



آنالیز حساسیت پارامترهای تاثیرگذار در بار حرارتی و برودتی و انرژی مصرفی ساختمان مسکونی

زهرة هوشمند^۱، مجید مهدویان^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان

۲. استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: آذر ۱۳۹۴ پذیرش مقاله: بهمن ۱۳۹۴	مصرف انرژی یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که وضعیت توسعه یافتگی کشورها را نمایان می‌سازد. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی، هم از نظر حفظ منابع انرژی و هم از نظر کاهش آلودگیهای محیط زیست بسیار با اهمیت می باشد. در بین چهار بخش عمده صنعت، کشاورزی، ساختمان و حمل و نقل مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران با حدود ۴۲٪ بیشترین مصرف را به خود اختصاص داده است. در این مقاله به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی، تاثیر تغییرات پارامترهای تاثیرگذار در میزان بار گرمایش و سرمایش ساختمان در میزان مصرف و هزینه برق و گاز یک ساختمان مسکونی توسط نرم‌افزار هپ‌کرپر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی هزینه برق و گاز ساختمان با انجام اقداماتی چون تغییر دمای طرح داخل به میزان یک درجه سانتیگراد ۷/۷ و ۳/۴ درصد، کاهش میزان نفوذ به صفر، ۲/۶ و ۱۸/۶ درصد، استفاده از عایق پلی‌استایرن به ضخامت ۱۰ سانتیمتر در دیوارهای خارجی، ۴/۵ و ۱۵/۳ درصد، تغییر پنجره از تک جداره به دوجداره با قاب وینیل ۵/۸ و ۶/۸ درصد، استفاده از بلوک لیکا با ضخامت ۲۰ سانتیمتر به جای آجر توپر ۱۰/۵ سانتیمتری، ۳/۹ و ۱۱/۹ درصد و کاهش دمای آب گرم خروجی از پکیج به میزان ۱۰ درجه سانتیگراد هزینه گاز ۱۱/۹ درصد، کاهش پیدا کرده است. در ضمن مناسب‌ترین جهت برای حصول کمترین هزینه برق و گاز وقتی است که بزرگترین دیوار در جهت شمال قرار گیرد و همچنین استفاده از سیستم پکیج و رادیاتور و کولر آبی موجب هزینه کمتر برق و گاز شده است. در ضمن با اعمال همزمان کل اقدامات، هزینه سالانه برق ساختمان ۲۱/۱ درصد و هزینه سالانه گاز ۴۰/۷ درصد کاهش داشته است.

واژگان کلیدی:

بار حرارتی و برودتی،
ساختمان مسکونی،
بهینه‌سازی مصرف انرژی،
نرم‌افزار Carrier.

۱. مقدمه:

نقش ساختمان‌ها در میزان مصرف انرژی و آلودگی‌های ناشی از آن به گونه‌ای است که ۴۰ درصد کل انرژی مصرفی اتحادیه اروپا مربوط به ساختمان‌ها بوده و از این میان ۶۳ درصد به ساختمان‌های مسکونی تعلق می‌گیرد. بعلاوه سهم ساختمان‌ها

* نویسنده مسئول m.mahdavian@qiet.ac.ir

بعنوان منبع نشر آلودگی طوری است که ساختمان‌های مسکونی چهارمین منبع نشر گازهای گلخانه‌ای در اتحادیه اروپا هستند که به مقدار ۱۰ درصد کل نشر گازهای گلخانه‌ای می‌باشد [۱]. در کشور ایران نیز بخش ساختمان بزرگترین مصرف کننده انرژی بوده و سهمی معادل ۴۲ درصد انرژی مصرفی را در مقایسه با سایر بخش‌ها دارد. همچنین حدود ۲۵ درصد گاز طبیعی کشور نیز توسط این بخش مصرف می‌شود [۲]. با توجه به بالا بودن سهم قابل توجه مصرف انرژی در این بخش، تلاش در جهت کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌ها از طریق محاسبه دقیق بارهای حرارتی و برودتی ساختمان و تجزیه و تحلیل آنها، از جمله راه‌های کاهش مصرف انرژی سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌باشد. عوامل زیادی بر بارهای حرارتی و برودتی ساختمان و در واقع در انتقال انرژی از آن تاثیرگذار هستند که از جمله می‌توان به نوع شرایط آب و هوایی، کاربری ساختمان، معماری، پوشش ساختمان و نوع سیستم گرمایش و سرمایش اشاره کرد. انتقال حرارت از پوشش ساختمان بیشترین تاثیر را در مقدار بار گرمایش و سرمایش دارد و از نقطه نظر نگهداری انرژی موثرترین راه برای کاهش این بارها استفاده از عایق روی دیوارهای خارجی ساختمان است [۳]. با استفاده از طراحی و معماری مناسب ساختمان و با بکارگیری آن براساس تجربه و بدون صرف هزینه می‌توان به کاهش موثری در زمینه مصرف انرژی دست یافت. از جمله اقداماتی که در این بخش قابل انجام است می‌توان به جهت‌گیری مناسب، محل قرارگیری مناسب پنجره‌ها و نسبت سطح آنها به دیوار، شکل ساختمان، سایه ساختمان‌های مجاور اشاره کرد. البته برای دستیابی به نتایج مطلوب در معماری ساختمان باید نوع شرایط آب و هوایی و نوع مصالح به کار رفته در پوشش ساختمان، کاربری ساختمان و دیگر پارامترهای مرتبط را نیز در نظر گرفت. در مورد کاربری ساختمان می‌توان گفت در ساختمان‌های مسکونی بخش عمده انرژی صرف گرمایش می‌شود در حالیکه در ساختمان‌های اداری و تجاری بیشترین مصرف را روشنایی به خود اختصاص داده است [۲].

کلایتیز و همکاران^۲، با بررسی عایقکاری داخلی و خارجی دیوار در ساختمان‌های مسکونی پی بردند که عایقکاری خارجی ۸ درصد ذخیره انرژی بیشتر نسبت به عایقکاری داخلی دارد. اما با توجه به اینکه هزینه اولیه عایقکاری داخلی تقریباً ۵۰ درصد کمتر از عایقکاری خارجی است مدت بازگشت سرمایه در عایقکاری داخلی کوتاهتر است [۱]. السانعا و زدان^۳، یک دیواره با شش لایه از عایق و جرم حرارتی را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند وقتی دو لایه عایق استفاده شود بهترین عملکرد وقتی است که یک لایه عایق روی دیواره بیرونی و لایه دیگر در وسط قرار گیرد و وقتی سه لایه عایق استفاده شود اگر چیدمان به صورت یک لایه خارج، یک لایه میان و یک لایه داخلی باشد بهترین عملکرد را دارد [۴]. ایلدیز و همکاران^۴ با تحلیل میزان حساسیت برای رسیدن به موثرترین و مهمترین پارامترهای ساختمان در میزان بار سرمایش و گرمایش در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب با در نظر گرفتن یک آپارتمان در شهر ازمیر^۵ ترکیه به این نتیجه رسیدند که میزان حساسیت پارامترها در ساختمان‌های آپارتمانی با توجه به اینکه آپارتمان همکف باشد یا در طبقات میانی و در طبقات بالایی، متفاوت است. بعلاوه مساحت کلی پنجره، ضریب انتقال حرارت آن و ضریب بهره حرارتی خورشیدی^۶ (SHGC) شیشه‌ها بر این مبنا که در کدام جهت قرار دارند، بیشترین تاثیر را در عملکرد انرژی ساختمان‌های آپارتمانی در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب دارند [۵]. آندرسون^۷ و همکاران، با بررسی تاثیر جهت‌گیری در گرمایش و سرمایش ساختمان‌های مسکونی با استفاده از نرم‌افزار تحلیل انرژی BLAST در ۲۵ شرایط آب و هوایی ایالات متحده آمریکا به این نتیجه رسیدند در تمام شرایط آب و هوایی در صورتیکه بزرگترین پنجره ساختمان‌ها در جهت جنوب قرار گیرند بار کلی ساختمان کمتر از حالتی است که پنجره

² Kolaitis

³ Al-sanea and Zedan

⁴ Yildiz et al

⁵ Izmir

⁶ Solar Heat Gain Coefficient

⁷ Andersson

در جهت غرب و شرق قرار گیرد. با تغییر جهت به سمت شمال نیز بار کلی ساختمان کمتر از جهات شرق و غرب است اما نسبت به جهت جنوب بیشتر است [۶]. انتخاب نوع و اندازه مناسب سیستم گرمایش و سرمایش نیز به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک بسزایی می‌کند. به طور کلی برای داشتن یک ساختمان با کمترین میزان مصرف و استفاده مناسب از شرایط موجود باید تمامی پارامترها را در کنار هم در نظر گرفت. یکی از ابزارهای ضروری برای مطالعه مصرف انرژی در ساختمان‌ها نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی است که موجب می‌شود تا طراحان و مالکین ساختمان‌ها بدون نیاز به انجام محاسبات پیچیده قادر به انتخاب بهترین تجهیزات، اعمال روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و برآورد صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از آن‌ها گردند. از جمله این نرم‌افزارهای تحلیل انرژی نرم‌افزار کریر است که توانایی طراحی و انتخاب سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان را دارد و برای محاسبه مصرف انرژی و برآورد صرفه‌جویی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله اثر پارامترهایی چون تنوع مصالح در دیواره‌های خارجی، عایق کاری دیواره‌های خارجی، تنوع مصالح در سقف و عایق کاری آن، انواع پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره، اندازه‌های مختلف پنجره، تغییر دمای طرح داخل و جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان در میزان بار حرارتی و برودتی و مصرف انرژی یک واحد آپارتمان مسکونی واقع در شهر مشهد در طی یک سال با استفاده از نرم‌افزار کریر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. شبیه‌سازی:

۱.۱. شرایط ساختمان:

ساختمان مسکونی مورد نظر یک واحد آپارتمان ۸۵ متری بوده و سیستم گرمایشی-سرمایشی آن پکیج رادیاتور و کولر آبی است. آپارتمان مذکور متشکل از دو اتاق خواب، پذیرایی، آشپزخانه، حمام، تراس و سرویس بهداشتی بوده و از آنجا که دمای تمام فضاها یکسان است کل ساختمان یک زون در نظر گرفته شده است. این ساختمان در شهر مشهد واقع شده و از جهات شمال غرب و شمال شرق باز است. ارتفاع کف تا سقف هر فضا ۳ متر و تعداد افراد ساکن در آپارتمان ۲ نفر، کل روشنایی واحد معادل ۲۷۰ وات و مقدار مصرف وسایل برقی و گازی مطابق با مقادیر متوسط و برنامه کاری آن‌ها نیز متناسب با یک الگوی مصرف متعارف در نظر گرفته شده است. درجه حرارت طرح خارج شهر مشهد در تابستان ۹۶ و در زمستان ۱۲ درجه فارنهایت و درجه حرارت طرح داخل تابستان ۸۲ درجه و زمستان ۷۵ درجه فارنهایت در نظر گرفته شده است. دیوارهای خارجی ساختمان به رنگ متوسط و ضخامت آن ۱۸ سانتیمتر بوده که به ترتیب از داخل به خارج از ۱/۵ سانتیمتر گچ، ۱۰/۵ سانتیمتر آجر توپر، ۲ سانتیمتر ملات و ۴ سانتیمتر آجر نما تشکیل شده و ضریب انتقال حرارت آن $\frac{W}{m^2.K}$ ۲/۴۳۸ است. سقف ساختمان تیره رنگ و دارای ضخامت ۳۱/۵ سانتیمتر است که به ترتیب از داخل به خارج از ۱/۵ سانتیمتر گچ، ۲۰ سانتیمتر تیرچه بلوک سفالی، ۵ سانتیمتر بتون و ۵ سانتیمتر ایزوگام تشکیل شده و ضریب انتقال حرارت آن $\frac{W}{m^2.K}$ ۰/۷۰۲ است. کف ساختمان روی فضای تهویه شده و در طبقه پنجم قرار گرفته و از ۱ سانتیمتر سنگ، ۲ سانتیمتر ملات، ۵ سانتیمتر بتن، ۲۰ سانتیمتر تیرچه بلوک، ۲ سانتیمتر خاک گچ و ۰/۵ سانتیمتر گچ سفید تشکیل شده و ضریب انتقال حرارت آن $\frac{W}{m^2.K}$ ۱/۶۸۶ است. دیوارهای داخلی که پارتیشن محسوب می‌شوند از دو لایه خاک گچ و سفیدکاری هر کدام به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر در طرفین و ۱۰/۵ سانتیمتر آجر معمولی در داخل تشکیل شده و ضریب انتقال حرارت آن $\frac{W}{m^2.K}$ ۲/۱۴۳ است. درب ورودی آپارتمان تمام چوب با مساحت ۴/۵ مترمربع دارای ضریب انتقال حرارت $\frac{W}{m^2.K}$ ۲/۵۵ است و پنجره اتاق خواب یک از یک پنجره تک شیشه معمولی با ابعاد ۱/۵ در ۱/۵ متر، اتاق خواب دو ۱/۵ در ۱/۵ و پذیرایی ۱/۵ در ۴ متر تشکیل شده‌اند و دارای ضریب انتقال حرارت $\frac{W}{m^2.K}$ ۶/۳ هستند.

در حال حاضر یکی از کاملترین نرم‌افزارها در زمینه شبیه‌سازی انرژی ساختمان، نرم‌افزار تحلیل ساعتی کریر تحت ویندوز است. نرم‌افزار هپ که محصول شرکت کریر آمریکاست یک نرم‌افزار کامپیوتری بوده که مهندسان به کمک آن سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC) را برای ساختمان‌ها طراحی می‌کنند. این نرم‌افزار دو قابلیت دارد یکی تخمین بار ساختمان و طراحی و تعیین اندازه سیستم و دیگری شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محاسبه قیمت انرژی مصرفی آن است. نرم‌افزار هپ با استفاده از قابلیت تخمین بار، اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب و تعیین اندازه تجهیزات را به کاربر داده و با توجه به این اطلاعات، سیستم‌ها و تاسیسات لازم برای ساختمان انتخاب می‌شود. بعبارتی نرم‌افزار مراحل چون، محاسبه بار سرمایش و گرمایش برای فضا، منطقه (زون) و کویل سیستم تهویه مطبوع محاسبه نرخ جریان هوا برای فضا، زون و سیستم، محاسبه کویل سرمایش و گرمایش، محاسبه فن‌های سیرکوله، محاسبه چیلر و بویلر را انجام می‌دهد. در بخش شبیه‌سازی، نرم‌افزار تخمین انرژی مصرفی سالانه و همچنین هزینه انرژی مصرفی برای سیستم تهویه مطبوع و غیر از سیستم تهویه مطبوع که در ساختمان استفاده شده را انجام می‌دهد. این کار با شبیه‌سازی عملکرد ساختمان برای یک سال قابل انجام است. بنابراین از این تحلیل جهت مقایسه مصرف انرژی و هزینه انرژی برای سیستم‌های تهویه مطبوع مختلف برای انتخاب بهترین سیستم استفاده می‌شود. شبیه‌سازی ساعت به ساعت عملکرد سیستم گرمایش و تهویه مطبوع در ساختمان، شبیه‌سازی ساعت به ساعت عملکرد تجهیزات موتورخانه در ساختمان، شبیه‌سازی ساعت به ساعت عملکرد سیستم‌های غیر از تهویه مطبوع، شامل روشنایی و سایر وسایل مورد استفاده در ساختمان، هزینه انرژی مصرفی براساس نرخ صنایع همگانی مصرفی برق و گاز و براساس ساعت روز و میزان تقاضا و تهیه گزارشات جدولی و گرافیکی بصورت اطلاعات ساعتی، روزانه و سالانه از جمله کارهایی هستند که نرم‌افزار در هنگام تحلیل انرژی انجام می‌دهد.

۲.۲. طراحی و تعیین اندازه سیستم گرمایش و سرمایش:

با توجه به مقادیر بارهای حرارتی و برودتی محاسبه شده ساختمان می‌توان اندازه مناسب سیستم گرمایش و سرمایش را تخمین زد. از آنجا که رادیاتور یک سیستم گرمایش طبیعی است که بدون فن و بر اساس اختلاف درجه حرارت موجب جریان هوای گرم در فضا می‌شود، انتخاب آن براساس تعداد پره‌هایش صورت می‌گیرد. بدین منظور بار گرمایشی فضا بر ظرفیت حرارتی یک پره تقسیم شده و تعداد مناسب پرها برای آپارتمان مورد نظر محاسبه شده است. بار حرارتی کلیه فضاها با احتساب ۱۵ درصد ضریب اطمینان پس از انجام طراحی توسط نرم‌افزار $47800 \frac{Btu}{hr}$ بدست آمده است. اگر ظرفیت گرمایی هر پره برابر با $500 \frac{Btu}{hr}$ باشد در این صورت:

$$n = \frac{47800}{500} \cong 9 \quad (1)$$

تعداد پره‌های مورد نیاز آپارتمان

طبق محاسبات سرانگشتی به ازای هر مترمربع یک پره برای ساختمان مورد نیاز است و برای واحدهایی که در طبقه آخر قرار دارند ۱۰ درصد به این مقدار افزوده می‌شود. با توجه به اینکه مساحت آپارتمان ۸۵ متر است تعداد پره ۸۵ و با احتساب ۱۰ درصد تعداد پره‌های مورد نیاز آپارتمان ۹۴ پره به دست می‌آید که با نتایج طراحی یکی است. مقدار بار حرارتی فضا توسط نرم‌افزار به تفکیک برای پذیرایی، اتاق خواب یک و اتاق خواب دو به ترتیب برابر $27300 \frac{Btu}{hr}$ ، $11800 \frac{Btu}{hr}$ و $8800 \frac{Btu}{hr}$ بدست آمده بنابراین تعداد پره‌های مورد نیاز فضاها با توجه به رابطه بالا به ترتیب ۵۴، ۲۴ و ۱۸ پره تخمین زده می‌شود. دمای هوای خروجی از کولر آبی باید ۱۰ درجه بالاتر از دمای مرطوب خارج باشد یعنی ۷۴ درجه فارنهایت در نظر گرفته شود. دمای انتخابی طرح داخل نیز بین ۸۵-۸۰ درجه فارنهایت است که در این پروژه ۸۲ درجه در نظر گرفته شده است [۷]. نتایج

حاصل از طراحی کولر آبی نشان می‌دهد، میزان هوای مورد نیاز کولر ۳۸۵۳ cfm است به عبارت دیگر جهت تامین شرایط مطلوب در فضا به یک کولر با ظرفیت ۳۹۰۰ cfm نیاز است.

۳. نتایج و بحث:

با توجه به نتایج شبیه سازی ساختمان و پس از انتخاب سیستم گرمایش و سرمایش مناسب برای ساختمان، به بررسی تاثیر تغییر پارامترهای موثر بر بار حرارتی و برودتی و میزان مصرف سیستم گرمایش و سرمایش پرداخته شده است. این پارامترها به صورت اقدامات کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت و همچنین در قالب ارزیابی مقدار تاثیر جهت به کارگیری در ساخت ساختمان های آینده ارائه شده‌اند.

۱.۳. اقدامات کوتاه مدت:

اقدامات کوتاه مدت صورت گرفته تغییر دمای طرح داخل تابستان و زمستان، تغییر دمای آب گرم خروجی از پکیج و تغییر میزان نفوذ هستند. تغییر دمای طرح داخل اقدامی بدون هزینه و کوتاه مدت است که تاثیر مناسبی در کاهش هزینه برق و گاز ساختمان دارد. در حالت مبنا دمای طرح داخل تابستان ۲۸ درجه سانتیگراد و در زمستان ۲۴ درجه سانتیگراد است. افزایش دمای طرح داخل تابستان به میزان یک درجه سانتیگراد، ۷/۷ درصد کاهش هزینه برق را در پی داشته و تغییر دمای طرح داخل زمستان از ۲۴ درجه به ۲۳ درجه سانتیگراد موجب کاهش ۳/۴ درصدی هزینه گاز ساختمان شده است. تغییر دمای آب گرم خروجی از پکیج: در حالت مبنا درجه پکیج طوری است که دمای آب خروجی از آن جهت گرمایش فضا در رادیاتورها در فصل زمستان ۸۰ درجه سانتیگراد و در فصل پاییز ۶۰ درجه سانتیگراد است. حال اگر دمای آب خروجی از پکیج ۱۰ درجه کمتر در نظر گرفته شود هزینه گاز ۱۱/۹ درصد کاهش خواهد یافت. تغییر نفوذ در این پروژه بصورت حجمی و بر اساس تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت (ACH^۸) محاسبه شده است. در حالت مبنا مقدار ACH یک در نظر گرفته شده و دو مقدار نیم و صفر (بدون نفوذ) با آن مقایسه شده که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد.

۲.۳. اقدامات میان مدت:

این اقدامات شامل استفاده از عایق در دیوارهای خارجی و سقف است که نتایج در جدول (۳) آمده است. عایق مورد استفاده در این پروژه پلی‌استایرن منبسط شده با ضخامت‌های ۵ و ۱۰ سانتیمتر است. استفاده از عایق با ضخامت ۱۰ سانتیمتر موجب

جدول (۱): تاثیر تغییر دمای طرح داخل در هزینه برق و گاز

دمای طرح تابستان °F	دمای طرح زمستان °F	هوا دهی مورد نیاز فضا (cfm)	بار گرمایی فضا (MBH)	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز پکیج (m ³)	هزینه برق ساختمان (ریال)	هزینه گاز ساختمان (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
۲۸	۲۴	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-
۲۹	۲۳	۲۶۹۵	۴۶/۱	۲۷۰۰	۲۱۲۲	۲۱۷۰۰۰۰	۱۸۲۴۰۰۰	۷/۷	۳/۴

⁸ Air Changed per Hours

جدول (۲): بررسی تاثیر نفوذ در هزینه برق و گاز ساختمان

مقدار ACH	هوا دهی مورد نیاز فضا (cfm)	بار گرمایی فضا (MBH)	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز پکیج (m^3)	هزینه برق ساختمان (ریال)	هزینه گاز ساختمان (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
مینا	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-
۰/۵	۳۶۶۸	۴۰/۸	۳۷۰۰	۱۹۴۲	۲۳۲۰۰۰۰	۱۶۹۶۰۰۰	۱/۴	۱۰/۲
صفر	۳۴۸۷	۳۳/۷	۳۵۰۰	۱۷۱۸	۲۲۹۰۰۰۰	۱۵۳۶۰۰۰	۲/۶	۱۸/۶

جدول (۳): بررسی تاثیر استفاده از عایق در دیوارهای خارجی و سقف

ضخامت عایق (cm)	هوا دهی مورد نیاز فضا (cfm)	بار گرمایی فضا (MBH)	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز پکیج (m^3)	هزینه برق ساختمان (ریال)	هزینه گاز ساختمان (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
مینا	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-
۵	۳۳۰۵	۳۷/۸	۳۳۰۰	۱۸۵۸	۲۲۶۰۰۰۰	۱۶۳۲۰۰۰	۳/۹	۱۳/۶
۱۰	۳۲۱۸	۳۶/۴	۳۲۰۰	۱۸۱۴	۲۲۴۵۰۰۰	۱۶۰۰۰۰۰	۴/۵	۱۵/۳
۵	۳۶۶۲	۴۵/۳	۳۷۰۰	۲۰۹۷	۲۳۲۰۰۰۰	۱۸۲۴۰۰۰	۱/۴	۳/۴
۱۰	۳۵۸۸	۴۴/۴	۳۶۰۰	۲۰۶۸	۲۳۰۵۰۰۰	۱۷۹۲۰۰۰	۲	۵/۱

جدول (۴): بررسی تاثیر انواع پنجره در هزینه برق و گاز ساختمان

نوع پنجره	نوع شیشه	نوع قاب پنجره	هوا دهی مورد نیاز فضا (cfm)	بار گرمایی مورد نیاز فضا (MBH)	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز پکیج (m^3)	هزینه برق مصرفی ساختمان (ریال)	هزینه گاز مصرفی ساختمان (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
دو	بیرنگ	آلومینیوم	۳۳۹۰	۴۲/۹	۳۴۰۰	۲۰۲۱	۲۲۷۵۰۰۰	۱۷۶۰۰۰۰	۳/۳	۶/۸
جداره	رفلکس	وینیل	۲۹۵۰	۴۲/۹	۳۰۰۰	۲۰۲۱	۲۲۱۵۰۰۰	۱۷۶۰۰۰۰	۵/۸	۶/۸
	نشرکم	وینیل	۳۳۰۱	۴۲/۲	۳۳۰۰	۱۹۹۸	۲۲۶۰۰۰۰	۱۷۲۸۰۰۰	۳/۹	۸/۵
	بیرنگ	وینیل	۳۳۳۳	۴۲/۲	۳۴۰۰	۱۹۹۸	۲۲۷۵۰۰۰	۱۷۲۸۰۰۰	۳/۳	۸/۵
سه جداره	رفلکس	وینیل	۲۹۴۰	۴۲/۲	۳۰۰۰	۱۹۹۸	۲۲۱۵۰۰۰	۱۷۲۸۰۰۰	۵/۸	۸/۵
	نشرکم	وینیل	۳۳۶۷	۴۱/۷	۳۴۰۰	۱۹۸۲	۲۲۷۵۰۰۰	۱۷۲۸۰۰۰	۳/۳	۸/۵

کاهش هزینه برق و گاز به مقدار ۴/۵ و ۱۵/۳ درصد شده است. همچنین استفاده از عایق با ضخامت ۱۰ سانتیمتر در سقف هزینه برق و گاز را ۲ و ۵/۱ درصد کاهش داده است. دلیل کاهش بیشتر هزینه‌ها در استفاده از عایق در دیوارها این است که ضریب انتقال حرارت دیوارها در مقایسه با سقف در حالت مینا بیشتر است بنابراین استفاده از عایق ضریب انتقال حرارت دیوار را کاهش بیشتری می‌دهد.

جدول (۵): بررسی تغییر سطح پنجره در هزینه برق و گاز

درصد تغییر	درصد تغییر هزینه برق	هزینه گاز مصرفی (ریال)	هزینه برق مصرفی (ریال)	مصرف گاز پکیج (m^3)	ظرفیت کولر (cfm)	بار گرمایی فضا (MBH)	هوادهی مورد نیاز (cfm)	درصد کاهش سطح	درصد افزایش سطح
۱/۷ افزایش	۳/۷ افزایش	۱۹۲۰۰۰۰	۲۴۴۰۰۰۰	۲۲۱۵	۴۵۰۰	۴۹	۴۴۷۸	-	۲۵
۳/۴ افزایش	۵ افزایش	۱۹۵۲۰۰۰	۲۴۷۰۰۰۰	۲۲۳۷	۴۷۰۰	۴۹/۷	۴۷۱۳	-	۴۰
۱/۷ کاهش	۱/۴ کاهش	۱۸۵۶۰۰۰	۲۳۲۰۰۰۰	۲۱۴۱	۳۷۰۰	۴۶/۷	۳۶۸۸	۲۵	-

جدول (۶): تاثیر جهت گیری ساختمان در هزینه برق و گاز

درصد کاهش هزینه برق	هزینه برق (ریال)	ظرفیت کولر (cfm)	هوادهی مورد نیاز (cfm)	جهت دیوار
۶/۵	۲۲۰۰۰۰۰	۲۹۰۰	۲۸۹۷	شمال
۳/۳	۲۲۷۵۰۰۰	۳۴۰۰	۳۳۶۸	شمال شرق
۰/۷	۲۳۳۵۰۰۰	۳۸۰۰	۳۸۱۱	شرق
-	۲۳۵۲۰۰۰	۳۹۰۰	۳۹۱۲	جنوب شرق
۰/۷	۲۳۳۵۰۰۰	۳۸۰۰	۳۷۵۷	جنوب
۲/۵ افزایش	۲۴۱۰۰۰۰	۴۳۰۰	۴۲۴۶	جنوب غرب
۲/۵ افزایش	۲۴۱۰۰۰۰	۴۳۰۰	۴۳۶۰	غرب

۳.۳. اقدامات بلند مدت:

اقداماتی که در این زمینه می توان انجام داد تغییر نوع پنجره، تغییر سطح پنجره می باشد. نتایج این حالت در جدول (۴) و (۵) آمده است. در بررسی پنجره از انواع پنجره دو و سه جداره با شیشه های مختلف استفاده شده است. در انتخاب پنجره می توان گفت پنجره دوجداره با شیشه رفلکس و قاب وینیل بهترین انتخاب است چرا که بیشترین تاثیر را در کاهش بار گرمایی و سرمایای ساختمان دارد در حالیکه پنجره سه جداره با شیشه رفلکس و قاب وینیل کاهش ناچیزی در مقایسه با نوع دوجداره آن داشته و با توجه به هزینه اولیه یک پنجره سه جداره انتخاب یک پنجره دوجداره مقرون به صرفه تر است. کاهش هزینه برق در این شرایط ۵/۸ درصد و کاهش هزینه گاز ۶/۸ درصد است. تغییر سطح پنجره: افزایش سطح پنجره به میزان ۲۵ و ۴۰ درصد به ترتیب موجب افزایش ۳/۷ و ۵ درصدی هزینه برق و افزایش ۱/۷ و ۳/۴ درصدی هزینه گاز شده و کاهش سطح پنجره به مقدار ۲۵ درصد موجب کاهش ۱/۴ درصدی هزینه برق و ۱/۷ درصدی هزینه گاز شده است.

۴.۳. پیشنهادات:

اعمال بعضی تغییرات روی ساختمان های موجود امکان پذیر نیست بنابراین در قالب پیشنهاد برای ساختمان های نو ساز ارائه شده اند. این اقدامات جهت گیری ساختمان، استفاده از مصالح جدیدتر در دیوارهای خارجی و قرارگیری ساختمان در طبقات آپارتمان است. جهت گیری ساختمان اقدامی بدون هزینه و از پارامترهای مهم در بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان می باشد. در جدول (۶) تاثیر جهت گیری ساختمان در هزینه برق و گاز ارائه شده است. در حالت مبنا جهت دیوار اصلی با داشتن دو

پنجره بزرگ در جهت شمال غرب و دیوار دیگر با داشتن یک پنجره کوچک در جهت شمال شرق قرار دارد. بهترین جهت برای ساختمان، چرخش آن به میزان ۴۵ درجه است که در این حالت دیوار اصلی در جهت شمال و دیواره دیگر در جهت شرق قرار گرفته به عبارت دیگر ساختمان شمالی است و منجر به کاهش ۶/۵ درصدی هزینه برق شده است. در ضمن این نکته قابل ذکر است که جهت‌گیری ساختمان مورد نظر روی بار گرمایشی بی‌تاثیر است. در واقع تغییر جهت موجب تغییر بهره حرارتی خورشید و در نتیجه تغییر بار درون ساختمان می‌شود اما از آنجا که این تغییرات تأثیری در بار حرارتی ساختمان نداشته می‌توان گفت تابش خورشید در فصل زمستان و در شرایط آب و هوایی شهر مشهد آنقدر نیست که موجب گرمایش فضا شود بنابراین با تغییر جهت، بار گرمایی فضا نیز تغییر نمی‌کند. در بررسی تغییر لایه‌های دیوار از مصالح ساختمانی متداول در کشور استفاده شده است. در جدول (۷) اطلاعات مربوط به مصالح رایج در کشور ارائه شده است. در بررسی تغییرات لایه‌های دیوار از مصالحی چون بلوک سفالی، بلوک لیکا^۹ و بلوک هبلکس (بتن هوادار اتوکلاو شده) به جای آجر توپر استفاده شده است. جدول (۸) تأثیر جنس‌های مختلف در دیوار بررسی شده است. بلوک هبلکس بیشترین کاهش را در هزینه برق و گاز ساختمان داشته به طوری که باعث کاهش ۳/۹ درصدی هزینه برق و کاهش ۱۳/۶ درصدی هزینه گاز شده است اما انتخاب لیکا به علت مزایای بیشتر نسبت به هبلکس بعنوان لایه اصلی مناسب‌ترین انتخاب است.

جدول (۷): مصالح رایج کشور [۸ و ۹]

نوع مصالح	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت حرارتی ($kJ/kg.°C$)	هدایت حرارتی ($w/m.K$)
آجرتوپر	۱۷۰۰	۰/۸۴	۱/۱
بلوک سفالی	۱۳۰۰	۰/۸۴	۰/۵
بلوک لیکا	۹۰۰	۱	۰/۲۳
بلوک هبلکس	۷۰۰	۱	۰/۱۷
پلی استایرن	۱۵	۱/۳۴	۰/۰۴
پلی اورتان	۴۰	۱/۳	۰/۰۳۳

جدول (۸): بررسی تأثیر تغییر مصالح دیواره در هزینه برق و گاز

مصالح جایگزین شده بجای آجرتوپر	ضخامت لایه‌های دیوار (cm)	هوا دهی مورد نیاز (cfm)	بار گرمایی فضا (MBH)	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز پکیج (m^3)	هزینه برق ساختمان (ریال)	هزینه گاز مصرفی ساختمان (ریال)	کاهش درصدی هزینه	کاهش درصدی
حالت مبنا	۱۰/۵	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-
آجرتوپر	۲۲	۳۴۴۹	۴۵	۳۵۰۰	۲۰۸۷	۲۲۹۰۰۰۰	۱۸۲۴۰۰۰	۳/۴	۲/۶
بلوک سفالی	۱۵	۳۷۰۶	۴۶/۵	۳۷۰۰	۲۱۳۵	۲۳۲۰۰۰۰	۱۸۵۶۰۰۰	۱/۷	۱/۴
بلوک لیکا	۲۰	۳۲۶۳	۳۹/۱	۳۳۰۰	۱۹۰۰	۲۲۶۰۰۰۰	۱۶۶۴۰۰۰	۱۱/۹	۳/۹
بلوک هبلکس	۲۰	۳۲۴۵	۳۸/۱	۳۳۰۰	۱۸۶۸	۲۲۶۰۰۰۰	۱۶۳۲۰۰۰	۱۳/۶	۳/۹

^۹LECA

جدول (۹): بررسی تاثیر موقعیت ساختمان در آپارتمان روی هزینه برق و گاز

موقعیت ساختمان	هوا دهی (cfm)	مورد نیاز (cfm)	بار گرمایی (MBH)	فضا	ظرفیت کولر انتخابی (cfm)	مصرف گاز (m ³)	هزینه برق ساختمان (ریال)	هزینه گاز ساختمان (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
مینا	۳۸۵۳	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-	-
روی پارکینگ	۴۰۹۷	۴۰۹۷	۶۰/۹	۴۱۰۰	۲۵۷۶	۲۳۸۰۰۰۰	۲۲۴۰۰۰۰	۱/۳ افزایش	۱۸/۶ افزایش	
روی زمین	۳۸۳۵	۳۸۳۵	۵۱	۳۸۰۰	۲۲۶۳	۲۳۳۰۰۰۰	۱۹۵۲۰۰۰	۰/۷ کاهش	۳/۴ افزایش	

جدول (۱۰): بررسی اعمال کل تغییرات در هزینه برق و گاز ساختمان

موقعیت	هوا دهی (cfm)	مورد نیاز (cfm)	بار گرمایی (MBH)	ظرفیت کولر (cfm)	مصرف گاز (m ³)	هزینه برق مصرفی (ریال)	هزینه گاز مصرفی (ریال)	درصد کاهش هزینه برق	درصد کاهش هزینه گاز
مینا	۳۸۵۳	۳۸۵۳	۴۷/۸	۳۹۰۰	۲۱۷۶	۲۳۵۲۰۰۰	۱۸۸۸۰۰۰	-	-
کوتاه مدت	۲۴۲۵	۲۴۲۵	۳۳/۳	۲۴۰۰	۱۵۱۲	۲۱۲۵۰۰۰	۱۴۰۸۰۰۰	۹/۷	۲۵/۴
میان مدت	۳۱۹۷	۳۱۹۷	۳۲/۹	۳۲۰۰	۱۷۰۲	۲۲۴۵۰۰۰	۱۵۳۶۰۰۰	۴/۵	۱۸/۶
بلند مدت	۳۰۵۴	۳۰۵۴	۴۳/۲	۳۱۰۰	۲۰۳۰	۲۲۳۰۰۰۰	۱۷۶۰۰۰۰	۵/۲	۶/۸
پیشنهادات کل اقدامات	۲۲۸۰	۲۲۸۰	۳۹/۱	۲۳۰۰	۱۹۰۰	۲۱۱۰۰۰۰	۱۶۶۴۰۰۰	۱۰/۳	۱۱/۹
+	۶۰۰	۶۰۰	۱۳/۴	۶۰۰	۱۰۰۰	۱۸۵۵۰۰۰	۱۱۲۰۰۰۰	۲۱/۱	۴۰/۷

قرارگیری ساختمان در طبقات مختلف آپارتمان نیز در میزان بار گرمایی و سرمایی تاثیرگذار است. در حالت مینا ساختمان روی فضای تهویه شده قرار گرفته است به عبارت دیگر روی یک طبقه دیگر قرار دارد. در این بخش دو حالت قرارگیری ساختمان روی فضای تهویه نشده مثل پارکینگ و قرارگیری آن روی زمین بررسی شده است که نتایج در جدول (۹) آورده شده است. با توجه به نتایج شبیه سازی می توان گفت قرار گرفتن ساختمان روی فضای تهویه شده (مینا) کمترین اتلاف حرارتی را در میان سه حالت بررسی شده دارد.

۵.۳. اعمال تغییر کل پارامترها روی ساختمان:

در جدول (۱۰) تاثیر تمام پارامترهای ذکر شده روی هزینه های ساختمان طی یک سال انجام گرفته است. اقدامات کوتاه مدت که تغییر دمای طرح داخل به میزان یک درجه سانتیگراد، تغییر میزان نفوذ از مقدار یک برای ACH به صفر (بدون نفوذ) و تغییر درجه پکیج است کاهش ۹/۷ و ۲۵/۴ درصدی هزینه برق و گاز، با انجام اقدامات میان مدت یعنی استفاده از عایق در دیوار و سقف کاهش ۴/۵ و ۱۸/۶ درصدی هزینه برق و گاز، با انجام اقدامات بلند مدت که شامل تغییر نوع پنجره و سطح آن است کاهش ۵/۲ و ۶/۸ درصدی هزینه برق و گاز، اعمال همزمان پیشنهادات یعنی تغییر جهت و تغییر مصالح دیوار کاهش ۱۰/۳ و ۱۱/۹ درصدی هزینه برق و گاز صورت گرفته و با اعمال کل اقدامات و پیشنهادات هزینه برق و گاز ۱۹/۲ درصد و ۲۵/۴ درصد کاهش یافت است.

جدول (۱۱): ظرفیت‌های مورد نیاز کولر گازی برای هر فضا جهت تامین گرمایش و سرمایش

بار سرمایی مورد نیاز فضا (MBH)	بار گرمایی مورد نیاز فضا (MBH)	ظرفیت سرمایشی کولر (MBH)	ظرفیت گرمایشی کولر (MBH)	برق مصرفی جهت سرمایش (KW)	برق مصرفی جهت گرمایش (KW)	پذیرایی
۱۲/۳	۲۱/۹	۲۲	۲۲/۸	۲	۱/۸۵	پذیرایی
۵/۶	۱۱/۷	۱۱/۹	۱۲/۸	۰/۹۶	۱/۰۱	اتاق خواب یک
۲/۴	۸/۷	۸/۵	۹/۴	۰/۶۲	۰/۶۷	اتاق خواب دو

جدول (۱۲): ظرفیت‌های مورد نیاز بخاری برای هر فضا جهت تامین گرمایش

بار گرمایی مورد نیاز فضا ($\frac{Kcal}{hr}$)	ظرفیت گرمایشی بخاری ($\frac{Kcal}{hr}$)	پذیرایی
۷۰۰۰	۷۰۰۰	پذیرایی
۳۰۰۰	۵۰۰۰	اتاق خواب یک
۲۳۰۰	۵۰۰۰	اتاق خواب دو

جدول (۱۳): مقایسه هزینه‌های سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در طول یک سال

هزینه برق (ریال)	هزینه گاز (ریال)	هزینه کلی برق (ریال)	هزینه کلی گاز (ریال)	درصد هزینه برق	درصد هزینه گاز	سیستم
۵۹۰۰۰۰	۲۲۰۸۰۰۰	۲۳۵۰۰۰۰	۲۸۸۰۰۰۰	۲۵	۷۶/۷	کولر آبی و پکیج
۵۹۰۰۰۰	۲۷۵۲۰۰۰	۲۳۵۰۰۰۰	۳۴۲۴۰۰۰	۲۵	۸۰/۴	کولر آبی و بخاری
۵۹۲۰۰۰۰	-	۷۶۸۰۰۰۰	۶۷۲۰۰۰۰	۷۷	-	کولر گازی

۶.۳. تغییر سیستم گرمایش و سرمایش:

سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان در حالت مبنا کولر آبی و پکیج و شوفاژ است. در این بخش تغییر نوع سیستم گرمایش و سرمایش در میزان مصرف برق و گاز ساختمان بررسی شده است. از آنجاکه کولر گازی نوع ظرفیت پایین سیستم‌های انبساط مستقیم است شبیه‌سازی آن توسط نرم‌افزار به این صورت است که در پنجره سیستم نوع تجهیزات از نوع پایانه‌ای و فن کویل انبساط مستقیم مجزا انتخاب می‌شود. درجه حرارت هوای خروجی از کولر گازی برای سرمایش بین ۵۵ تا ۶۵ درجه فارنهایت است که ۵۸ درجه فارنهایت در نظر گرفته شده است. ضریب کنارگذر کویل اواپراتور از آنجاکه کولر گازی بر اساس ۱۰۰ درصد هوای برگشت کار می‌کند بین ۰/۱ تا ۰/۴ خواهد بود که می‌توان به طور متوسط آن را ۰/۱۵ در نظر گرفت. تامین گرمایش فضا نیز یا توسط کویل گرمایشی آبگرم یا بخار و یا بصورت هیت پمپ انجام می‌شود. در پروژه حالت هیت پمپ در نظر گرفته شده و درجه حرارتی خروجی از آن که بین ۱۰۰ تا ۱۱۵ درجه می‌باشد ۱۰۵ درجه فارنهایت انتخاب شده است. با وارد کردن اطلاعات و طراحی کولرگازی توسط نرم‌افزار ظرفیت متناسب با نیاز هر فضا تخمین زده شده است که در جدول (۱۱) قابل مشاهده است. بار گرمایی موردنیاز فضا برای انتخاب بخاری نیز در جدول (۱۲) آورده شده است. از آنجا که واحد رایج در ظرفیت بخاری کیلوکالری بر ساعت است از این واحد در جدول استفاده شده است. مقدار مصرف برق و گاز و هزینه‌های حاصل از آن در هر سه حالت در جدول زیر بررسی شده است. مصرف پکیج با ظرفیت MBH ۸۵/۳ (کاتالوگ

بوتان) بدست آمده است. هزینه برق و گاز سالانه ساختمان به جز سیستم سرمایش و گرمایش به ترتیب ۱۷۶۰۰۰۰ و ۶۷۲۰۰۰ ریال است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مصرف مربوط به کولر گازی است بطوریکه ۷۷ درصد از هزینه برق ساختمان را در بر می‌گیرد. بخاری نیز نسبت به پکیج مصرف بیشتری دارد و با توجه به امنیت بیشتر سیستم پکیج این سیستم برای یک ساختمان مسکونی پیشنهاد می‌شود. در مورد سیستم سرمایشی نیز می‌توان گفت که کولر آبی در مناطق با آب و هوای گرم و خشک سیستم سرمایشی مناسبی می‌باشد همچنین هزینه آن (اولیه و جاری) در مقایسه با کولر گازی بسیار پایین‌تر و مقرون به صرفه‌تر است بنابراین برای ساختمان‌های مسکونی پیشنهاد می‌شود.

۴. نتیجه‌گیری:

در این مقاله یک واحد آپارتمان مسکونی واقع در شهر مشهد با مساحت ۸۵ مترمربع واقع در طبقه پنجم با سیستم کولر آبی و پکیج و شوفاژ مورد بررسی قرار گرفته است. نرم‌افزار مورد استفاده جهت تخمین بار حرارتی و برودتی ساختمان کریر بوده و ظرفیت کولر و پکیج به ترتیب ۳۸۵۳ cfm و $4780 \frac{Btu}{hr}$ برآورد شده است؛ در شبیه‌سازی ساختمان و بررسی تغییرات پارامترهای مختلف در میزان بار حرارتی و برودتی و هزینه‌ها نتایج حاکی از این امر است که انجام اقدامات کوتاه مدت که شامل افزایش دمای طرح داخل تابستان و کاهش دمای طرح داخل زمستان به مقدار یک درجه سانتیگراد، تغییر مقدار ACH (نفوذ) از یک به صفر (بدون نفوذ) و کاهش درجه پکیج است بیشترین تاثیر را در کاهش هزینه برق و گاز ساختمان داشته است و در کنار آن پارامترهای دیگری چون استفاده از عایق در دیوار و سقف، تغییر پنجره از تک جداره به دوجداره با شیشه رفلکس، کاهش ۲۵ درصدی سطح پنجره، جهت‌گیری ساختمان به سمت شمال و استفاده از بلوک لیکا به جای آجر توپر در دیوارهای هزینه برق و گاز ساختمان کاهش معادل ۲۱/۱ درصد و ۴۰/۷ درصد داشته است. همچنین با بررسی قرارگیری ساختمان در سه حالت روی زمین، روی فضای تهویه شده و تهویه نشده، کمترین مصرف مربوط به قرارگیری ساختمان روی فضای تهویه شده است. در ضمن با بررسی سه نوع سیستم گرمایی و سرمایی کولر آبی و پکیج، کولر آبی و بخاری و کولر گازی کمترین مصرف مربوط به کولر آبی و پکیج بوده است.

۵. مراجع:

- [1] Kolaitis, I., Malliotakis, E., Dimos, A., "Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential building", *Energy and Buildings*, Vol. 64, pp. 123-131, (2013).
- [۲] فریدونی، ف.، مافی، م.، "شناسایی عوامل موثر بر عرضه و مصرف انرژی در ایران با رویکرد اصلاح الگوی مصرف"، نخستین کنفرانس بین‌المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی، مرکز همایش‌های صدا و سیما، تهران-ایران، (۱۳۹۴).
- [3] Ozel, M., "Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method", *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 2429-2435, (2011).
- [4] Al-Sanea, S., Zedan, M., "Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass", *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 13-24, (2011).
- [5] Yildiz, Y., Durmus, Z., "Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates", *Energy*, Vol. 36, pp. 4287-4296, (2011).
- [6] Andersson, B., Place, W., Kammerud, R., "The impact of building orientation on residential heating and cooling", *Energy and building*, Vol. 8, pp. 205-224, (1985).
- [۷] ثمالی، ب.، وکیل‌الرعایا، و.، "طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع با نرم‌افزار 4.5 carreirv، چاپ اول، انتشارات صنعتی شه‌میرزادی، تهران، (۱۳۹۰).

[۸] محمدی، ش.، "مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار مطالعه موردی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران"، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۸ شماره ۱، صفحات ۶۹-۷۸، (۱۳۹۲).

[۹] مقررات ملی ساختمان ایران مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی بخش ساختمان‌های فولادی، وزارت مسکن و شهرسازی، (۱۳۸۸).

Sensitivity analysis of effective parameters on heating and cooling load and energy consumption of residential building

Z. Hooshmand and M. Mahdavian

ARTICLE INFO

Article History:

Received: Des 2015

Accepted: Feb 2016

Keywords:

Heating and cooling load,
Residential building,
optimization of energy consumption,
HAP Carrier.

ABSTRACT

Energy consumption is one of the most important factors that reveals development situation of the countries. Management and optimization of energy consumption due to both conservation of energy resources and reduction of environmental pollution is also very important. In Iran Among the four major sectors of industry, agriculture, construction and transportation, energy consumption of buildings with the highest consumption accounted for about 42 percent. In this paper in order to optimize energy consumption, the impact of changes in effective parameters on heating and cooling load of buildings in the consumption and cost of electricity and fuel has been studied by HAP Carrier software. According to simulation results, the costs of electricity and fuel to the building by taking steps such as changing the internal design temperature within one degree Celsius, 7.7 and 3.4 percent, lower infiltration rate to zero, 2.6 and 18.6 percent, the use of 10 cm thick polystyrene insulation in roof and exterior walls, 4.5 and 15.3 percent, change from single-glazed windows to double with vinyl frame, 5.8 and 6.8 percent, using 20 cm thick leca blocks instead of 10.5 cm thick solid brick, 3.9 and 11.9 percent has been reduced. Also, reducing hot water output temperature from package to 10 degree Celsius reduces gas costs to 11.9 percent. The most appropriate orientation for achieving the lowest cost of electricity and fuel is when the biggest wall towards the north, use the package system and radiator and evaporative cooler would lower the cost of electricity and fuel as well. In addition, the simultaneous application of all proceedings, the annual cost of electricity and fuel is reduced to 21.1 and 40.7 % respectively.
