

بهینه‌سازی مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی یک مجتمع مسکونی در اقلیم گرم و خشک

نگین مفتونی*
کیانا معتقدی

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه الزهرا(س)، تهران، ایران
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه الزهرا(س)، تهران، ایران

چکیده

هدف از این تحقیق مطالعه میزان انرژی مصرفی یک ساختمان مسکونی در شرایط مختلف طراحی و تلاش برای بهینه کردن آن است. در این تحقیق ابتدا بار سرمایشی و گرمایشی یک برج مسکونی واقع در اقلیم گرم و خشک شهر تهران به کمک نرم‌افزار Carrier ۹۷۴۶۹۱ محاسبه شده‌است. سپس برای بهینه کردن مصرف انرژی، اثرات تغییر جنس و رنگ قسمت‌های خارجی دیوارها، تاثیر تغییر جنس پنجره‌ها و اثر وجود سایه‌بان به منظور کاهش ضریب گرما مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در نوع پنجره، بار گرمایی را به میزان قابل توجهی کاهش خواهد داد. با جایگزین کردن پنجره دو جداره رفلکسی به جای پنجره تک‌جداره، بار گرمایی لازم برای تامین شرایط آسایش در ساختمان در زمستان در حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. وجود سایه‌بان بر روی پنجره‌ها و همچنین تغییر در رنگ دیوارها هر کدام باعث ۳ درصد کاهش بار ساختمان می‌شود و در مقایسه با تغییر نوع پنجره از تاثیرگذاری کمتری برخوردار است. همچنین انتخاب جنس بهینه برای دیوار خارجی حدود ۹ درصد در زمستان و ۶ درصد در تابستان به کاهش بار ساختمان کمک می‌کند. نهایتاً با برآورد هزینه اقدامات اصلاحی و هزینه مصرف انرژی برای تامین بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان توسط سیستم تهویه مطبوع به محاسبه نقطه سر به سر، زمان بازگشت هزینه برای تغییر جنس پنجره و دیوار خارجی در حالت‌های مختلف پرداخته شد که زمان بازگشت هزینه برای انجام این تغییرات در حالت بهینه در حدود ۳ سال خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تهویه مطبوع، ضریب انتقال گرما، انرژی مصرفی، ساختمان، محاسبه اقتصادی.

Optimization of Cooling and Heating Loads in a Residential Building in a Hot and Dry Climate

N. Maftouni
K. Motaghed

Department of Mechanical Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran
Department of Mechanical Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract

The purpose of this research is to study the amount of energy consumed by the residential building and attempts to optimize it. In this work, the heating and cooling load of a residential tower in a hot and dry climate in Tehran has been calculated by Carrier software. To optimize energy consumption, changes in the material and color of the exterior walls and the change of the window's type and also the examination of the presence of shades to reduce the heat transfer coefficient were made. Results indicate that the change in the type of window will reduce the thermal and cooling load significantly. By replacing the single-layer window with the double-layer reflex one, the thermal load required to provide comfort conditions in the building in the winter is reduced by about 40%. The shading on the windows and also the change in the color of the external walls have each about 3 percentages reducing effect on the thermal and cooling load of the building, that is of less importance in comparison with the effect of windows type. Also choosing optimized materials for external walls leads to about 9 % load reduction in the winter and 6% in the summer. Finally, by calculating optimization process cost and also the cost of consuming energy for the building heating and cooling, the Break-even point and the return cost time regarding to the changes in the material of the window and the exterior wall were investigated. In the best situation the return cost time is about 3 years.

Keywords: Air conditioning, Heat transfer coefficient, Energy consumption, Building.

۱- مقدمه

انرژی مصرفی در هر سال در بخش خانگی و تجاری استفاده می‌شود که درصد قابل توجهی از آن در سیستم‌های تهویه مطبوع است. موارد ذکر شده سبب شده تا تحقیقات زیادی در مورد صرفه‌جویی انرژی در ساختمانها انجام شود. سوخت‌های فسیلی تا همین اواخر جزء منابع انرژی مطلوب و پرطرفدار در جهان بوده و به منابع دیگر انرژی ترجیح داده می‌شد اما معایب ناشی از مصرف بیش از حد این سوخت‌ها سبب شده تا توجهات به سمت منابع انرژی دیگر و روش‌هایی برای کاهش مصرف انرژی جلب شود. محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، رشد اقتصادی، تقاضای بیشتر و بحران‌های سیاسی و اقتصادی سبب شده تا کاهش مصرف انرژی مورد توجه قرار بگیرد تا حتی‌الامکان از این خطرات و بحران‌ها جلوگیری شود.

عدم دانش کافی در مورد عوامل تعیین‌کننده میزان انرژی مصرفی ساختمان، از عوامل مهم در عدم دستیابی به بهره‌وری انرژی در این

با توجه به آماري که سازمان‌های مختلف از جمله سازمان انرژی جهانی در خصوص میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف منتشر کرده‌اند، حدود ۳۰٪ انرژی جهان در بخش خانگی و تجاری مصرف می‌شود و از این میزان بخش مهمی صرف سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها به ویژه در مناطق گرم و مرطوب می‌شود [۱-۲]. با پیشرفت استانداردهای زندگی، نیاز بشر برای رسیدن به شرایط آسایش نیز بیشتر شده است. افراد خواستار آن هستند که در تمام محیط‌ها شرایط آسایش فراهم باشد.

رشد جمعیت میزان تقاضای انرژی برای بخش ساختمانی و رفاه در این بخش را افزایش داده است و اطمینان می‌رود که این آمار روند صعودی داشته باشد. آمارها در ایران نشان می‌دهد که ۳۵٪ از کل

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: nmaftouni@gmail.com

حوزه است. انرژی مصرفی ساختمان غالباً تحت تاثیر شش عامل است: (۱) شرایط آب و هوایی، (۲) پوشش ساختمانی، (۳) عملیات ساخت و ساز و نگهداری ساختمان، (۴) سیستم‌های انرژی ساختمان، (۵) فعالیت‌ها و رفتار ساکنان ساختمان و (۶) کیفیت محیط داخلی ساختمان [۳].

با توجه به اهمیت این دو موضوع، یعنی تأمین شرایط آسایش در ساختمان‌ها و نیاز روزافزون بشر در کاهش مصرف انرژی‌های پایان‌پذیر، در این پژوهش بار ساختمان در شرایط مختلف طراحی محاسبه شده‌است و تلاش شده تا با کاهش ضریب انتقال گرما، میزان انرژی صرفه‌جویی شده در هر حالت محاسبه شود و با تغییر در جنس و رنگ دیوارهای خارجی، نوع پنجره‌ها و هم‌چنین بررسی اثر وجود سایه‌بان برای هر پنجره، بهینه‌ترین حالت انتخاب شود. شایان ذکر است که به دلیل اهمیت بعد اقتصادی، تحلیل اقتصادی نیز انجام شده‌است و نتایج آن در پیشنهاد حالت بهینه، در کنار ملاحظات صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نظر گرفته شده است.

۱-۱- مروری بر مطالعات انجام شده

در این قسمت به مرور منتخبی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود. در هرکدام از این تحقیقات روی یک یا چند عامل تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی در ساختمان مطالعاتی صورت گرفته‌است.

در سال ۲۰۱۸ یاشینو و همکارانش با مطالعه بر روی چهار ساختمان اداری در چهار شهر مختلف به ارزیابی سه عامل تاثیرگذار بر میزان انرژی مصرفی ساختمان، شرایط آب و هوایی، پوشش ساختمان و فعالیت ساکنان ساختمان پرداختند [۴]. در کار آنها با تغییر در عامل تاثیرگذار پوشش ساختمانی، میزان انرژی لازم برای ایجاد شرایط آسایش در ساختمان محاسبه شده‌است.

در تحقیقی دیگر گروهی از پژوهشگران به ارزیابی تاثیر انواع مختلف پنجره بر روی میزان بار در فصل زمستان و تابستان پرداختند. مطالعه بر روی ساختمانی مسکونی در چهار شهر متفاوت اروپا انجام شد. مقایسه‌ای بر روی عملکرد دو نوع پنجره سه‌جداره و دوجداره انجام گرفت. نتایج این تحقیق مشخص کرد که در تابستان پنجره سه‌جداره بسیار شبیه پنجره دوجداره عمل می‌کند و بهبود عملکردی در این فصل چشمگیر نخواهد بود. در حالی که در فصل زمستان در همه حالات پنجره سه‌جداره انتخاب بهتری خواهد بود [۵].

هم‌چنین سدینی و همکارانش تلاش کردند تا با تغییر پارامترهای مختلف ساختمان میزان انرژی مصرفی را کاهش دهند. در پژوهش آنها چند نوع جنس دیوار و دو نوع مدل متفاوت سقف با یکدیگر مقایسه شدند. آنچه در این مقاله مشاهده شد آن بود که عوامل اقلیمی و هواشناسی نقش مهمی در انتخاب اجزا و طراحی بهینه خواهند دارند [۶].

در سال ۲۰۱۲ ژائو و مگیولس مروری بر مدل‌های جدید و پیشرفته در پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان داشتند. عوامل زیادی بر روی میزان انرژی مصرفی ساختمان تاثیرگذارند و پیچیدگی میزان و نحوه تاثیر هر کدام از این عوامل، با استفاده از نرم‌افزارهای مناسب که دقت بالا داشته، در عین حال ساده باشند و بتوانند این عوامل را پیش‌بینی کنند، بررسی می‌شود. برای محاسبه دقیق رفتار انرژی و گرمایی ساختمان به اطلاعات زیاد و محاسبات پیشرفته نیاز است. این مقاله به

مدل‌ها و روش‌های محاسباتی می‌پردازد که جزئیات و دقت بالایی دارند و بر روی پیش‌بینی مشکلات، بهینه‌سازی پارامترهای مدل برای عملکرد بهتر، ساده‌سازی‌های مناسب و مقایسه مدل‌های مختلف تحت شرایط خاص تمرکز می‌کند. ورودی‌های هر کدام از مدل‌ها باید با دقت بالا انتخاب شوند تا نتایج شبیه‌سازی قابل اعتماد باشد [۷].

یکی از موارد تاثیرگذار بر بار ساختمان، انواع مختلف سایه‌بان است. حقانی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ تاثیر سایه‌بان کرک‌راهی را بر روی میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی بررسی کردند و مشخص شد که وجود کرک‌راه مثبتی بر بار کل فضای ساختمان دارد [۸]. در این پژوهش فقط وجود سایه‌بان مورد مطالعه قرار گرفته‌است.

در سال ۲۰۱۸ ابراهیمی‌مقدم و همکارانش با بررسی ضریب جذب رنگ‌های مختلف برای رنگ دیوار خارجی ساختمانی در شهر مشهد، بهترین رنگ که منجر به مصرف کمینه انرژی در تمام فصول سال شود را انتخاب کردند. در تحقیق آنها ساختمان مورد نظر توسط نرم‌افزار Gambit به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی و شبکه‌بندی شده است و انرژی تابشی خورشید برای آن توسط نرم‌افزار Fluent شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که رنگ طوسی برای نمای ساختمان، میزان مصرف برق و گاز را در همه فصول کاهش می‌دهد [۹].

تغییرات اقلیمی نیز انرژی مصرفی ساختمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سجادیان و همکارانش در سال ۲۰۱۵ مطالعه‌ای بر تغییرات آب و هوایی و تاثیر آن بر عملکرد ساختمان‌ها از بعد انرژی داشتند. شبیه‌سازی مصرف انرژی با تعیین ویژگی‌های ساختمانی انجام شد و مشخص شد چه نوع پوششی بهترین عملکرد را خواهد داشت. هم‌چنین مشخص شد تغییرات آب و هوایی به مرور زمان تاثیری در انتخاب نوع سیستم و طراحی اولیه ساختمان نمی‌گذارد [۱۰].

در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای در مورد تاثیر تغییر پنجره در یک اتاق به مساحت ۴*۶ متر مربع و به ارتفاع ۳/۵ متر، توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شده‌است. در مقاله این گروه به صحت نتایج به دست آمده در نرم‌افزار اکتفا شده است و به اعتبارسنجی نتایج پرداخته نشده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره در مقایسه با حالتی که از پنجره تک‌جداره استفاده شده است، به ترتیب باعث کاهش ۱۷ و ۳۸ درصدی در بار گرمایشی اتاق می‌شود [۱۱].

تا امروزه تحقیقی که به صورت جامع تاثیر پارامترهای متعدد و متنوعی نظیر جنس دیوار، نوع پنجره، وجود سایه‌بان، ضریب جذب دیوار و ... را بر بار ساختمان در فصل‌های مختلف سال بررسی کرده باشد و از دیدگاه اقتصادی نیز نظری بر طراحی داشته باشد، مشاهده نشده است.

در پژوهش حاضر برای اولین بار به صورت هم‌زمان تاثیر نوع پنجره، سایه‌بان، جنس دیوار خارجی و ضریب جذب دیواره (رنگ) بر بار گرمایشی و سرمایشی در یک برج مسکونی در فصل‌های مختلف سال مطالعه شده است. با انتخاب ساختمانی واقعی برای مطالعه، اثر نواحی مختلف گرمایی بر یکدیگر نیز در نتایج لحاظ شده‌است. شایان ذکر است که اعتبارسنجی نتایج نیز از نظر دور نمانده است. هم‌چنین از آنجایی که نتایج طراحی بدون در نظر گرفتن بعد اقتصادی به‌ویژه در

در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ سه حالت مختلف از لایه‌های دیوار خارجی که در این پژوهش مدل‌سازی شده‌اند، آورده شده است. ضریب انتقال گرما کل برای دیوارها در این حالت‌ها به ترتیب 0.71 W/K.m ، 0.45 W/K.m و 0.328 W/K.m است [۱۲].

جدول ۳- مشخصات لایه‌های دیوار خارجی (حالت ۱) [۱۲]

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی ($\text{K.m}^2/\text{W}$)
صفحه گچی (gypsum board)	25	0.155
بلوک بتنی سبک (LW concrete block)	203	0.58
آجرنمای ساختمانی (face brick)	100	0.076

جدول ۴- مشخصات لایه‌های دیوار خارجی (حالت ۲) [۱۲]

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی ($\text{K.m}^2/\text{W}$)
صفحه گچی (gypsum board)	25	0.155
عایق صفحه‌ای (RSI-1.2 board insulation)	25	1.22
بلوک بتنی سبک (HW concrete block)	203	0.58
آجرنمای ساختمانی (face brick)	100	0.076

جدول ۵- مشخصات لایه‌های دیوار خارجی (حالت ۳) [۱۲]

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی ($\text{K.m}^2/\text{W}$)
صفحه گچی (gypsum board)	25	0.0155
عایق صفحه‌ای (RSI-1.2 board insulation)	50	2.44
بلوک بتنی سبک (LW concrete block)	203.2	0.58
آجر نمای ساختمانی (face brick)	100	0.076

نقشه ساختمان نمونه به این صورت است که نقشه طبقه اول، طبقه دوم تا هشتم و طبقه نهم تا پانزدهم هر کدام متفاوت است و برای هر کدام اندازه‌گیری‌های مورد نیاز در محاسبه بار انجام گرفته‌است. به علت زیاد بودن حجم محاسبات فقط جزییات و مشخصات طبقه دوم در این مقاله آمده‌است. در جدول‌های ۶ و ۷ این مشخصات ارائه شده‌است. در شکل ۱ نمای کلی از این طبقات مشاهده می‌شود.

شرایط فعلی، چندان قابل استفاده نیست، تحلیل اقتصادی و برآورد هزینه‌ها نیز صورت پذیرفته است.

۲-۱- تعریف مساله

در این پژوهش برای یک ساختمان مسکونی ۱۵ طبقه واقع در شهر تهران محاسبات بار سرمایشی و گرمایشی انجام شده‌است و تغییرات ضریب انتقال گرما با تغییر در نوع پنجره، جنس و رنگ دیوارهای خارجی و همچنین وجود سایه‌بان بررسی شده و میزان تاثیر آن بر روی حداکثر بار مورد نیاز ساختمان در زمستان و تابستان مشخص شده‌است. محاسبات تهویه مطبوع با نرم‌افزار کریر انجام شده، میزان بار گرمایشی و سرمایشی در حالت بیشینه در شرایط مختلف حساب می‌شود.

۲- شبیه‌سازی ساختمان

۲-۱-۱- شرایط و فرضیات ساختمان نمونه

ساختمان مفروض، یک ساختمان مسکونی ۱۵ طبقه است که طبقه همکف شامل لابی، پارکینگ، انباری و طبقه ۱- و نیز پارکینگ می‌باشد. فرض شده است که هر ۴ سمت ساختمان آزاد است و همسایه‌ای در مجاورت ساختمان نیست.

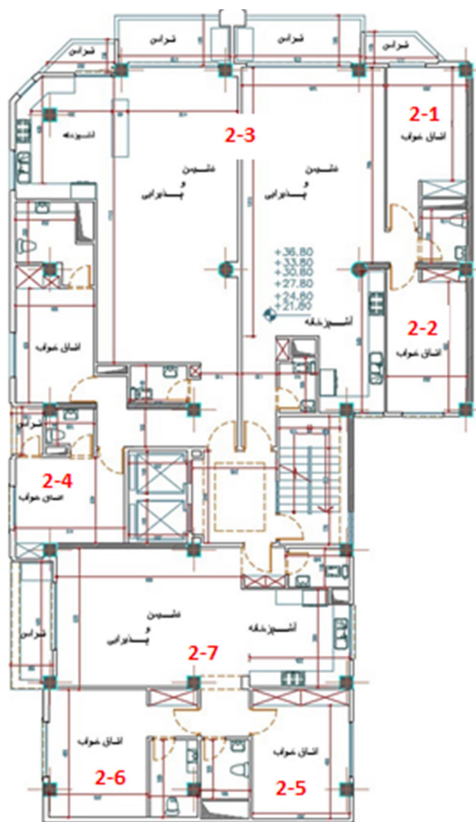
در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات لایه‌های دیوار داخلی و سقف آمده است. این مشخصات برای تمام حالات یکسان است. سه نوع مختلف پنجره، تک جداره، دو جداره و دو جداره رفلکسی، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. رسانایی گرمایی این پنجره‌ها به ترتیب 0.11 W/K.m ، 0.08 W/K.m و 0.05 W/K.m است [۱۲]. درب‌های واحدهای مسکونی که به راه پله باز می‌شوند در این بخش مدنظر قرار نمی‌گیرند و فقط درب‌های تراس که در بعضی از واحدها وجود دارد در این بخش آورده شده است. جنس درب، چوبی فرض شده است و رسانایی گرمایی آن نیز 0.45 W/K.m در نظر گرفته شده است. البته درب لابی ساختمان تمام شیشه‌ای فرض شده است و رسانایی گرمایی این نوع درب 0.6 W/K.m است. قابل ذکر است تمام فرضیات و اطلاعات ورودی با توجه به مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) انتخاب شدند [۱۲].

جدول ۱- مشخصات لایه‌های دیوار داخلی [۱۲]

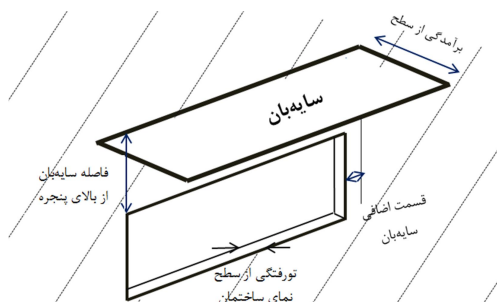
نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی ($\text{K.m}^2/\text{W}$)
گچ سفید (stucco)	25	0.035
آجر ساختمانی (common brick)	101.5	0.139

جدول ۲- مشخصات لایه‌های سقف [۱۲]

نام هر لایه	ضخامت (mm)	مقاومت گرمایی ($\text{K.m}^2/\text{W}$)
گچ (gypsum)	25	0.121
عایق صفحه‌ای (RSI-2.5 board insulation)	25	1.222
بلوک سیمانی (LW concrete block)	203.2	0.355
ایزوگام (iso)	20	0.482



شکل ۱- نمایی از طبقات دوم تا هشتم ساختمان



شکل ۲- نمایی از سایه بان و پارامترهای هندسی

۲-۲- وارد کردن فضاها در نرم افزار

هر ساختمان متشکل از قسمت‌هایی است که فضا نامیده می‌شود. فضا می‌تواند شامل یک اتاق یا چند اتاق یا کل ساختمان باشد. هر فضا پارامترهایی نظیر درب، دیوار، پنجره و... دارد. هر کدام از این پارامترها می‌توانند بر روی محاسبه بار برودتی و برودتی تاثیر بگذارند. در نمونه مورد مطالعه هر اتاق یک فضا در نظر گرفته شد و تمام جزئیات این فضاها در نرم‌افزار Carrier وارد شد.

در قسمت بعدی، منابع گرما در هر فضا تعیین شد. اطلاعات این بخش در محاسبه بار برودتی مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات شامل روشنایی فضا، چراغ‌های خاص، تجهیزات برقی و افراد بود و برای هر بخش برنامه‌ای برای ساعات و روزهای مختلف در نظر گرفته شد. همچنین جهت محاسبه انتقال گرما، اطلاعات دیوار، درب و پنجره وارد

جدول ۶- مشخصات طبقه دوم

نام فضا	مساحت کف (m ²)	طول ناخالص دیوار (جهت) (m)	ضخامت دیوار (m)
2-1	14.8	4.25 (E) 3 (N)	0.2 0.15
2-2	15.52	4.9 (E) 3 (S)	0.2 0.15
2-3	131.56	13 (E) 1.37 (NW) 6.03 (W)	0.15 0.2 0.2
2-4	29.88	5.05 (W) 1.05 (S)	0.2 0.15
2-5	15.33	4.25 (E) 3.65 (S)	0.15 0.15
2-6	20	4.8 (W) 3.7 (S)	0.2 0.2
2-7	67.06	7.6 (W) 2.68 (E) 1.05 (N)	0.15 0.2 0.15

جدول ۷- مشخصات طبقه دوم

نام فضا	مساحت پنجره (جهت) (m ²)	طول پارتیشن (m)	مساحت در (جهت) (m ²)
2-1	2.77 (N)	0.7	ندارد
2-2	1.54 (S)	2.75	ندارد
2-3	19.7 (N) 0.777 (NW) 2.33 (W)	6.8	ندارد
2-4	1.55 (W)	ندارد	ندارد
2-5	3.8 (E)	3	ندارد
2-6	3.8 (E)	4.9	ندارد
2-7	6.8 (W) 2.2 (E)	6.7	1.47 (N)

تاثیر وجود سایه بان بر روی پنجره‌ها نیز بررسی شد. برای تمام پنجره‌های ساختمان نمونه، سایه‌بانی با مشخصات یکسان زیر در نظر گرفته شد. برآمدگی از سطح دیوار ۳۰ cm و ارتفاع از بالای پنجره ۱۵ cm و قسمت اضافی از سمت چپ و راست ۱۰ cm و تورفتگی پنجره ۵ cm. در شکل ۲ نمایی از قرارگیری سایه بان و پارامترهای هندسی بین پنجره و سایه بان نشان داده شده‌است.

گرفته شد و در نتیجه مجموعاً برای کل ساختمان مورد بررسی در این پژوهش ۸۳ ناحیه ایجاد شد.

یکی دیگر از مواردی که باید مشخص شود، نحوه تأمین هوای تازه برای فضاهاست. در سیستم‌های پایانه‌ای به دو طریق تهویه مستقیم و تهویه عمومی، تهویه فضاها انجام می‌گیرد.

در تهویه مستقیم (Direct Ventilation) هوای مورد نیاز برای تهویه فضا به صورت مستقیم و از طریق یک کانال از هوای بیرون گرفته می‌شود. هوای بیرون پس از گرمایش یا گرمایش و یا با ترکیب با هوای برگشتی داخل فضا، برای تأمین هوای تازه وارد فضای ساختمان می‌شود. در سیستم تهویه عمومی (Common Ventilation Systems) برای تأمین هوای تازه از سیستم هواساز استفاده می‌شود که باید تمام اجزای هواساز مشخص شود.

اطلاعات مربوط به ترموستات نیز وارد نرم‌افزار شد. این اطلاعات شامل نقطه تنظیم سرمایشی و نقطه تنظیم گرمایشی است. این دماها همان دمای طرح داخل است که با توجه به شرایط آسایش افراد حاضر در فضا مشخص می‌شود. برای منازل مسکونی دمای طرح داخل برای سرمایش ۲۵/۵ درجه و برای گرمایش ۲۱/۱ درجه سلسیوس است.

اطلاعات تعیین اندازه (Sizing Data) نیز شامل دو نوع اطلاعات مربوط به تعیین اندازه سیستم و اطلاعات تعیین اندازه ناحیه می‌شود. در این بخش باید ضرایب اطمینانی اعمال شود تا اطمینان حاصل شود که محاسبات طراحی درست و عملی است. ضرایب اطمینانی که باید مشخص شوند عبارتند از: ضریب سرمایش محسوس و ضریب سرمایش نهان و ضریب گرمایش. این ضرایب به ترتیب ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ در نظر گرفته شد [۱۳]. ضرایب اطمینان سرمایشی سبب افزایش نرخ جریان هوای رفت و بارهای کویل سرمایش می‌شود و ضریب اطمینان گرمایشی بار کویل گرمایش را افزایش می‌بخشد.

۳- روش تحقیق

در این مطالعه به منظور محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان مورد نظر از نسخه ۴.۵۲ نرم‌افزار کریر استفاده شد. Carrier's Hourly Analysis Program یا همان HAP یک نرم‌افزار است که قابلیت تخمین بار ساختمان را دارد. این نرم‌افزار از استاندارد ASHREA برای محاسبه بار برای یک سال استفاده می‌کند [۱۵]. از روابط زیر به منظور اعتبار بخشیدن به نتایج استفاده شد، تمامی روابط از کتاب محاسبات تاسیسات ساختمان مهندس طباطبایی استخراج شده است [۱۶].

در محاسبات بار گرمایشی، معادلات اتلاف گرمایی از طریق جداره‌های ساختمان و نفوذ هوا از درزها به صورت معادله‌های (۱) و (۲) آمده است.

اتلاف گرمایی از جداره‌های ساختمان نظیر در و پنجره و دیوار:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o) \quad (1)$$

U ضریب انتقال گرما از در، پنجره و دیوار، A مساحت و T_i و T_o به ترتیب دمای داخل و خارج ساختمان هستند.

اتلاف گرمایی نفوذ هوا از درزها:

$$Q = V \cdot (0.0749 \times \text{تصحیح} + 0.241) \cdot (T_i - T_o) \quad (2)$$

نرم‌افزار شد. اطلاعات وارد شده شامل موقعیت دیوار، مساحت ناخالص دیوار، تعداد پنجره در هر دیوار بود. مشخصات سقف و نورگیر نیز وارد نرم‌افزار شد. این مشخصات شامل موقعیت، مساحت ناخالص بام، نورگیر و ... بود.

یکی از پارامترهای مهم در محاسبات سرمایش و گرمایش و تحلیل انرژی، میزان نفوذ هواست. نفوذ هوا به علت نشتی اطراف در و پنجره، باز و بسته شدن در و پنجره و جریان دودکش رخ می‌دهد. در این مطالعه، میزان تعویض هوا با توجه به تعداد دیوار مجاور با هوای بیرون انجام گرفت.

اطلاعات کف فضا برای محاسبه انتقال گرما از طریق کف برای محاسبات بار سرمایشی و گرمایشی کاربرد دارد. نوع کف، مساحت کف، ضریب انتقال گرما و ... باید در این قسمت مشخص و وارد شود. اطلاعات مربوط به پارتیشن بین فضای تهویه شده و تهویه نشده نیز از مواردی بود که به نرم‌افزار داده شد. جدول ۸ مهم‌ترین اطلاعات ورودی و فرضیات را نشان می‌دهد.

جدول ۸- اطلاعات ورودی و فرضیات نرم‌افزار کریر [۱۳]

مقدار	داده ورودی
0.424 W/K.m	ضریب انتقال گرمای سقف
0.568 W/k.m	ضریب انتقال گرمای کف
کف بالاتر از یک محیط تهویه نشده	نوع کف
20 m ²	مساحت کف
2.8 m	ارتفاع از کف تا سقف در هر فضا
سنگین	وزن ساختمان
۱	ضریب پاکیزگی هوا

۲-۳- وارد کردن اطلاعات سیستم تهویه مطبوع در نرم‌افزار

در این بخش سیستم تهویه مطبوع برای ساختمان در نظر گرفته می‌شود. نوع سیستم انتخابی بسیار مهم است زیرا نوع محاسبات نرم‌افزار با توجه به سیستم انتخابی مشخص می‌شود. نوع تجهیزات و کنترل‌گرها با توجه به نوع سیستم در نظر گرفته شده است.

سیستم‌هایی که در نرم‌افزار کریر وجود دارند همگی دارای کویل سرمایشی هستند که سیال خنک‌کننده آن‌ها یا آب سرد خروجی از چیلر است و یا مبرد در سیستم‌های انبساط مستقیم است [۱۳].

نوع سیستم تهویه مطبوع برای ساختمان مورد نظر در این پژوهش، سیستم پایانه‌ای (Terminal Unit) در نظر گرفته شده است. این نوع سیستم پرکاربردترین سیستم است که مهم‌ترین نوع آن فن-کویل دو لوله‌ای (2-Pipe Fan Coil) می‌باشد. از این فن‌کویل در ساختمان‌های اداری، تجاری و مسکونی استفاده می‌شود [۱۴].

تعداد ناحیه (Zone) برای ساختمان باید به نرم‌افزار داده شود. هر ناحیه عبارت است از چند اتاق که دارای یک کنترل‌کننده (ترموستات) است. گاهی هر اتاق دارای یک ترموستات است پس هر اتاق یک ناحیه محسوب می‌شود و در بعضی از مواقع برای تعدادی از فضاها یک ترموستات در نظر گرفته می‌شود. در این پروژه اتاق خواب‌های هر واحد مسکونی یک ناحیه مجزا و پذیرایی و آشپزخانه با هم یک ناحیه در نظر

۴- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی، نتایج به دست آمده از نرم افزار کریر با محاسبات دستی سنجیده شد. به دلیل حجم بالای محاسبات، محاسبات دستی فقط برای طبقه دوم انجام شد و نتایج به دست آمده از این محاسبات با نتایج نرم افزار کریر مقایسه شد. اعتبارسنجی برای حالت مبنا (دیوار با ضریب انتقال گرما ۰,۷۱ W/K.m و پنجره تک جداره) انجام شد و میزان خطای نسبی محاسبه شد. در محاسبه بار گرمایشی، اتلاف گرمایشی از درب، پنجره و هم-چنین اتلاف از طریق نفوذ هوا از درزها در نظر گرفته شد. در جدول (۹) نتایج محاسبات بار گرمایشی مربوط به فضای ۶-۲ در طبقه دوم ساختمان آورده شده است. نتیجه محاسبات نرم افزار برای بار گرمایشی این فضا ۱,۷ kW بود که با توجه به محاسبات دستی، خطای نسبی در حدود ۷ درصد به دست آمد.

جدول ۹- نتایج محاسبات بار گرمایشی

منطقه بار گرمایی	بار گرمایی (W)
اتلاف گرمایی از دیوار غربی	140.5
اتلاف گرمایی از دیوار جنوبی	100.29
اتلاف گرمایی از سقف	70.2
اتلاف گرمایی از کف	83.3
اتلاف گرمایی از پارتیشن‌ها	484.7
اتلاف گرمایی از پنجره	122.18
اتلاف گرمایی از طریق نفوذ هوا از درزها	706.4
بار گرمایی کل (از طریق محاسبات دستی)	1597.45
بار گرمایی کل (از طریق نرم‌افزاری)	1700

در محاسبه بار سرمایشی عوامل مختلفی مانند تلفات از جداره‌ها، گرمای تابشی خورشیدی، انتقال گرمای هدایتی از پنجره‌ها، بار سرمایشی افراد، بار سرمایشی روشنایی و بار ناشی از نفوذ هوا از درزها دخیل هستند. محاسبه بار بیشینه سرمایشی به صورت دستی بسیار وقت گیر است زیرا هر فضا با توجه به جهت قرارگیری، در ساعت خاصی به دلیل تابش خورشید و اتلاف گرمایی ناشی از آن، بار بیشینه متفاوتی خواهند داشت. در محاسبات فرض شده بیشینه بار بین ساعت ۴ تا ۶ عصر رخ می‌دهد. در این حالت بار محاسبه شده به نتیجه حاصل از نرم افزار بسیار نزدیک و خطای نسبی در حدود ۳ درصد بوده است. در جدول (۱۰) نتایج محاسبات بار سرمایشی برای فضای ۶-۲ از ساختمان قابل مشاهده است.

جدول ۱۰- نتایج محاسبات بار سرمایشی

منطقه بار گرمایی	بار گرمایی (W)
گرمای تابشی خورشید از پنجره	1380.98
جداره‌های خارجی	35.98
بار هدایتی پنجره	58.61
روشنایی	322.7
بار ناشی از نفوذ هوای خارج	56.21
بار سرمایشی کل (از طریق محاسبات دستی)	1924.34
بار سرمایشی کل (از طریق نرم‌افزاری)	2000

V حجم هوای نفوذی است.

$$V = v \cdot n \quad (3)$$

v حجم فضای اتاق و n تعداد دفعات تعویض هوای اتاق است.

نفوذ هوا به داخل ساختمان همواره یکی از روش‌های مهم دفع گرما در زمستان است. در این پژوهش برای محاسبه حجم هوای ورودی از روش حجمی استفاده شده است. از معادله (۳) حجم هوای ورودی (V) به دست می‌آید.

معادلات (۱۰,۹,۷,۴)، معادلات حاکم و تاثیرگذار در محاسبات بار سرمایشی هستند.

$$Q = SHG \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (4)$$

SHG گرمای تابشی از خورشید توسط پنجره‌ها است. یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث گرم شدن ساختمان می‌شود، گرمای تابشی خورشیدی جذب شده از طریق پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی می‌باشد ضرایب K1 تا K6 به ترتیب عبارت‌اند از ضریب تصحیح، ضریب ذخیره، ضریب قاب پنجره، ضریب ارتفاع، ضریب نقطه شبنم و ضریب پاکیزگی. معادلات (۵) و (۶) برای محاسبه ضریب ارتفاع و ضریب نقطه شبنم کاربرد دارند.

$$K_4 = [1 + 0.007[1 + 0.007 \times \frac{H}{1000}]] \quad (5)$$

H ارتفاع می‌باشد.

$$K_5 = [1 \pm 0.07 \times \frac{(66.8 - D.P.T)}{10}] \quad (6)$$

D.P.T نقطه شبنم است.

بار سرمایشی جداره‌ها (سقف، دیوارهای خارجی و درب):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_e \quad (7)$$

$$\Delta T_e = 0.78 \cdot \frac{R_s}{R_m} \cdot \Delta T_{em} \cdot (1 - 0.78 \times \frac{R_s}{R_m}) \cdot \Delta T_{es} \quad (8)$$

در معادله (۸) Rm و Rs به ترتیب بیشینه تابش از شیشه در شرایط مورد نظر و در عرض جغرافیایی ۴۰ درجه در ماه جولای می‌باشد. ΔT_{em} و ΔT_{es} به ترتیب اختلاف دمای معادل برای دیوار رو به سایه و آفتاب در شرایط مورد نظر است.

بار سرمایشی رسانشی پنجره‌ها:

$$Q = (U \times A)_{window} \times \Delta T \quad (9)$$

بار سرمایشی ناشی از روشنایی:

$$Q = 3.41 \times W \times F_u \times F_s \times CLF \left[\frac{Btu}{hr} \right] \quad (10)$$

در معادله (۱۰) مقدار کل گرمای لامپ‌ها برحسب وات F_u و F_s به ترتیب ضریب استفاده از روشنایی و ضریب نوع روشنایی است. CLF ضریب تبدیل گرمای روشنایی به بار سرمایشی است.

لامپ‌ها از طریق تبدیل انرژی الکتریکی به روشنایی و گرما، انرژی گرمایی تولید می‌کنند و لامپ‌های موجود در ساختمان همیشه مقداری گرما به محیط داخل می‌افزایند که این میزان گرما از معادله (۱۰) به دست می‌آید.

بارهای سرمایشی ناشی از نفوذ هوای خارج نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = 1.08 \times V \times (T_o - T_i) \times BF \quad (11)$$

در معادله (۱۱) BF ضریب میانبر است.

در جدول ۱۳ میزان هزینه تغییر پارامترهای در نظر گرفته شده با توجه به فهرست بهای سال ۱۳۹۷ و میزان مساحت دیوار خارجی و میزان شیشه پنجره به کار رفته در کل ساختمانشان داده شده است.

جدول ۱۲- هزینه انرژی سرمایشی و گرمایشی صرفه جویی شده در یک سال نسبت به حالت مینا

نوع پنجره و دیوار خارجی	هزینه انرژی گرمایشی صرفه جویی (تومان)	هزینه انرژی سرمایشی صرفه جویی (تومان)	هزینه انرژی صرفه جویی شده در طول یک سال (تومان)
مینا	-	-	-
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره	5,366,300	5,124,600	10,490,900
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره رفلکسی	7,436,100	8,576,700	16,012,800
دیوار حالت ۲- پنجره تک جداره	685,300	5,574,000	6,259,300
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره	5,810,200	8,025,900	13,836,100
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره رفلکسی	7,885,900	14,827,500	22,713,400
دیوار حالت ۳- پنجره تک جداره	5,047,200	2,715,300	7,762,500
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره	6,262,800	16,677,900	22,940,700
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره رفلکسی	8,211,900	18,911,400	27,123,130

جدول ۱۳- هزینه تغییر جنس دیوار خارجی و شیشه پنجره

نوع پنجره و دیوار خارجی	هزینه (تومان)
مینا	-
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره	489,241,046
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره رفلکسی	552,593,809
دیوار حالت ۲- پنجره تک جداره	201,801,200
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره	691,042,246
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره رفلکسی	754,395,009
دیوار حالت ۳- پنجره تک جداره	320,670,400
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره	809,911,446
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره رفلکسی	873,246,209

نقطه سربه سر بازگشت سرمایه، یعنی مدت زمانی که میزان سود و هزینه برابر می شود، از تقسیم هزینه لازم برای تغییر پارامتر بر میزان هزینه انرژی صرفه جویی شده به دست می آید. در شکل ۳ نقطه سربه سر برای حالت های مختلف قابل مشاهده است.

۵- محاسبات اقتصادی

یکی از موارد تاثیرگذار در انتخاب پارامترهای مناسب، مقرون به صرفه بودن طراحی از نظر اقتصادی است. بدین منظور علاوه بر محاسبه میزان انرژی صرفه جویی شده به محاسبات اقتصادی نیز پرداخته شد تا نقطه سربه سر زمان بازگشت هزینه مصرفی برای تغییر جنس پنجره و تغییر جنس دیوار مشخص شود.

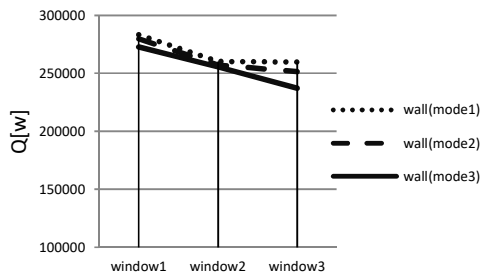
محاسبات اقتصادی با توجه به فهرست بهای رشته ابنیه در سال ۱۳۹۷ و تعرفه برق مصوب وزارت نیرو در سال ۱۳۹۷ صورت گرفت [۱۷]. مدل شامل دیوار با ضریب انتقال گرما ۰٫۷۱ W/K.m (حالت ۱) و پنجره تک جداره با ضریب انتقال گرما ۵٫۸ W/K.m به عنوان حالت مینا در نظر گرفته شد و میزان هزینه تغییرات پارامتر و میزان صرفه جویی در مصرف انرژی با توجه به حالت مینا محاسبه شدند. در جدول ۱۱ میزان انرژی صرفه جویی شده در گرمایش و سرمایش در مدت زمان یک سال برای حالت های مختلف نسبت به حالت مینا آورده شده است.

جدول ۱۱- میزان انرژی سرمایشی و گرمایشی صرفه جویی شده در یک

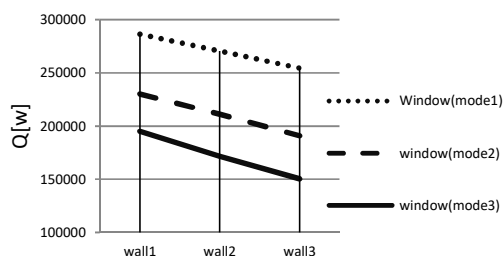
سال نسبت به حالت مینا

نوع پنجره و دیوار خارجی	گرمایش صرفه جویی شده (MWh)	سرمایش صرفه جویی شده (MWh)
مینا	-	-
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره	53.663	17.082
دیوار حالت ۱- پنجره دو جداره رفلکسی	74.361	25.859
دیوار حالت ۲- پنجره تک جداره	6.853	18.580
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره	58.102	26.753
دیوار حالت ۲- پنجره دو جداره رفلکسی	78.859	49.425
دیوار حالت ۳- پنجره تک جداره	50.472	9.051
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره	62.628	55.593
دیوار حالت ۳- پنجره دو جداره رفلکسی	82.119	63.038

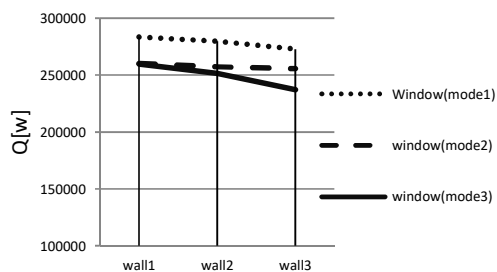
در جدول ۱۲ میزان هزینه صرفه جویی شده در انرژی مصرفی سرمایشی و گرمایشی در مدت زمان یک سال آورده شده است. قابل ذکر است که چون سیستم تهویه مطبوع برای ساختمان فن کویل دو لوله ای در نظر گرفته شده است، هم در سرمایش و هم در گرمایش با استناد به بهای برق میزان صرفه جویی به ازای هر کیلووات ساعت محاسبه شد. میزان بها برای تابستان ۳۰۰ تومان و برای زمستان ۱۰۰ تومان در نظر گرفته شد، زیرا میزان متوسط انرژی مصرفی ماهانه در تابستان بالاتر است و این مازاد مصرف سبب افزایش بهای انرژی الکتریکی می شود [۱۷].



شکل ۵- تغییرات در بیشینه بار سرمایشی برای ساختمان مفروض با تغییر در جنس پنجره

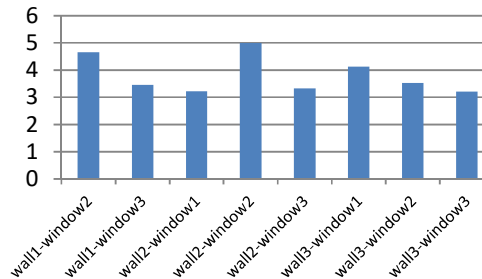


شکل ۶- تغییرات در بیشینه بار گرمایشی برای ساختمان مفروض با تغییر در جنس دیوار



شکل ۷- تغییرات بیشینه بار سرمایشی برای ساختمان مفروض با تغییر در جنس دیوار

بر اساس مقایسه نمودارهای شکل های ۴ و ۵ می توان نتیجه گرفت که با کاهش ضریب انتقال گرمای پنجره (تغییر پنجره از نوع ۱ به ۳)، میزان بار گرمایشی بیشینه در زمستان در مقایسه با بار سرمایشی در تابستان تغییر چشم گیری خواهد داشت و کاربرد و سودمندی تغییر در مدل پنجره و انتخاب پنجره با ضریب انتقال گرمای پایین در زمستان مطلوبتر خواهد بود. تله گرمایی از عواملی است که سبب می شود در تابستان، کاهش ضریب انتقال گرمای پنجره نتیجه مطلوبی بر کاهش بار سرمایشی نداشته باشد [۱۷]. این نتیجه هم سو با مقاله بویانو در سال ۲۰۱۳ نیز می باشد [۱۸]. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می دهد که با تغییر تمامی پنجره ها از نوع تک جداره با ضریب انتقال گرمای ۵/۸ W/K.m به پنجره دوجداره رفلکسی با ضریب انتقال گرمای ۱/۱ W/K.m، در بار گرمایشی مورد نیاز برای تامین آسایش ساکنین حدود ۴۰ درصد صرفه جویی رخ می دهد که



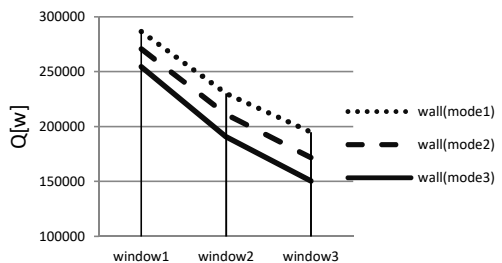
شکل ۳- نمودار نقطه سربه سر با تغییر در جنس دیوار خارجی و پنجره

کمترین نقطه سربه سر برای حالتی است که پنجره تک جداره معمولی و دیوار خارجی با ضریب انتقال گرما ۰/۴۵ w/k.m باشد، که در این صورت پس از حدود ۳ سال و ۲ ماه، هزینه صرف شده جهت بهینه سازی و تغییر پارامترها برمی گردد. البته از آنجایی که اتلاف انرژی از پنجره تک جداره بسیار بیشتر است، بهتر است از طرح هایی که دارای پنجره های مناسبتری هستند استفاده شود، هر چند زمان سربه سر شدن اندکی بیشتر باشد.

۶- بحث و بررسی نتایج

در این تحقیق بهینه سازی مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی یک مجتمع مسکونی در اقلیم گرم و خشک (شهر تهران) انجام شد. همان طور که قبلا ذکر شد، هدف این مطالعه کاهش بار مورد نیاز برای تامین شرایط آسایش در ساختمان مسکونی بوده است تا حتی الامکان در انرژی مصرفی ساختمان صرفه جویی رخ دهد. بدین منظور در این مطالعه کاهش ضریب انتقال گرما مدنظر قرار گرفت.

در این مطالعه با تغییر در نوع پنجره و لایه های دیوار خارجی، تاثیر کاهش ضریب انتقال گرما دیوارها و پنجره ها مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با سه مدل دیوار خارجی و سه مدل پنجره حداکثر بار سرمایشی و گرمایشی محاسبه شد. در شکل های ۴ و ۵ به ترتیب حداکثر میزان بار سرمایشی و گرمایشی لازم برای ساختمان با توجه به تغییرات در نوع دیوار برای هر یک از پنجره ها ارائه شده است. در شکل های ۶ و ۷ نیز به ترتیب حداکثر میزان بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان مفروض با توجه به تغییرات در نوع پنجره برای هر یک از دیوارها قابل مشاهده است.



شکل ۴- تغییرات در بیشینه بار گرمایشی برای ساختمان مفروض با تغییر در جنس پنجره

مختلفی است و پیشنهاد می‌شود که در ابتدا تک‌تک این اجزا و تغییرات مورد آنالیز قرار بگیرند تا میزان هزینه صرف شده بابت تغییر در جنس و مدل، از نظر انرژی و اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

۸- نمادها

A	مساحت (m ²)
BF	ضریب میانبر
CLF	ضریب تبدیل گرمای روشنایی به بار سرمایشی
D.P.T	نقطه شبنم (K)
F _s	ضریب نوع روشنایی
F _u	ضریب استفاده از روشنایی
H	ارتفاع (m)
k ₁	ضریب تصحیح
k ₂	ضریب ذخیره (s)
k ₃	ضریب قاب پنجره
k ₄	ضریب ارتفاع
k ₅	ضریب نقطه شبنم
k ₆	ضریب پاکیزگی
n	دفعات تعویض هوای اتاق
Q	بار گرمایی (W)
R _m	بیشینه تابش از شیشه برای ماه جولای و عرض ۴۰ درجه
R _s	بیشینه تابش از شیشه در شرایط مورد نظر
SHG	گرمای تابشی از خورشید توسط پنجره‌ها
T _i	دمای داخل ساختمان (K)
T _o	دمای محیط خارج (K)
U	ضریب انتقال گرما (kgm ⁻¹ s ⁻²)
v	حجم فضا (m ³)
V	حجم هوای نفوذی (m ³)
W	مقدار کل گرمای لامپها (W)
ΔT _{es}	اختلاف دمای معادل برای دیوار رو به آفتاب در شرایط مورد نظر (K)
ΔT _{em}	اختلاف دمای معادل برای دیوار رو به سایه در شرایط مورد نظر (K)

۹- مراجع

- [1] Lu Z.S., Wang R.Z., Experimental performance investigation of small solar air-conditioning systems with different kinds of collectors and chillers. *Solar Energy*, Vol. 11, pp 07–14, 2014.
- [2] Wrobel J., Sanabria Walter P., Schmitz G., Performance of a solar assisted air conditioning system at different locations. *Solar Energy*, Vol.92, pp 69–83, 2013.
- [3] Zhao H., Magoules F., A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.16, pp 3586–3592, 2012.
- [4] Yoshino H., Hong T., Nord N., IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods, *Energy and Buildings*, Vol. 152, pp 124–136, 2012.
- [5] Gasparellaa A., G. Pernigottob G., Cappellettic F., Analysis and modeling of window and glazing systems energy performance for a well-insulated residential building. *Energy and Buildings*, Vol. 43, 1030–1037, 2011.

این مقدار قابل توجه است. در مقابل تنها ۹ درصد صرفه‌جویی در بیشینه بار سرمایشی ساختمان مفروض رخ می‌دهد.

در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود تغییر در نوع دیوار نیز بر بار کلی ساختمان تاثیرگذار است. مقایسه بین نتایج نهایی مشخص می‌کند که با تغییر در جنس دیوارهای خارجی، در تابستان ۶٪ و در زمستان ۹٪ بار مورد نیاز ساختمان کاهش می‌یابد.

تغییر در رنگ دیوارهای خارجی و تاثیر بر بار بیشینه نیز به کمک نرم‌افزار اعمال و محاسبه شد. تغییر در رنگ دیوارها بر روی ضریب جذب و در نتیجه بار گرمایشی و سرمایشی تاثیرگذار است. سه حالت برای رنگ دیوار خارجی در نظر گرفته شد. دیوار روشن (سفید)، دیوار معمولی (خاکستری) و دیوار تیره (سیاه) به ترتیب با ضرایب جذب ۰/۴۵، ۰/۶۷۵ و ۰/۹ حالت‌هایی بودند که مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج شبیه‌سازی تاثیر تغییر رنگ دیوار بر روی بار بیشینه را مشخص کرد. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی فصل‌ها رنگ دیوار معمولی (خاکستری) با ضریب جذب ۰/۶ برای این ساختمان مناسب‌تر است و حدوداً سه درصد بار را کاهش می‌دهد.

وجود سایه‌بان بر روی تک‌تک پنجره‌ها از موارد دیگری بود که مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گواه آن بود که در مساله حاضر سایه‌بان تاثیر چشمگیری بر بار کل ساختمان ندارد. از آنجایی که ساختمان نمونه در این مقاله در هر ۴ جهت پنجره دارد و تاثیر جهات مختلف بر نتیجه بیشینه بار مورد نیاز ساختمان متفاوت است، برای این نمونه وجود سایه‌بان کمتر از سه درصد از بار ساختمان می‌کاهد.

با توجه به هزینه مصرفی هر کیلووات ساعت برق و هزینه تغییر جنس پنجره و جنس دیوار خارجی، برآورد اقتصادی انجام شد و کم‌ترین نقطه سربه‌سر برای حالتی به دست آمد که پنجره تک‌جداره معمولی و دیوار خارجی با ضریب انتقال گرمای ۰/۴۵ W/K.m باشد، که در این صورت پس از سپری شدن حدود ۳ سال و ۲ ماه هزینه صرف شده جهت بهینه‌سازی طرح، برمی‌گردد اما از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، اتلاف پنجره تک‌جداره زیاد است و این گزینه مناسب نیست. با انتخاب پنجره دو جداره رفلکسی (پنجره حالت ۳) و دیوار با ضریب انتقال گرمای ۰/۳۲۸ W/K.m (دیوار حالت ۳) متوسط بار در یک سال و بیشینه بار مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش ساختمان در مقایسه با حالت‌های دیگر کمتر است. زمان بازگشت هزینه نیز در این حالت ۳ سال و ۳ ماه خواهد بود که در نتیجه هم از بعد اقتصادی و هم از بعد انرژی، بهترین گزینه در بین حالت‌های مختلف موجود به نظر می‌رسد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر، با تغییر در ضریب انتقال گرمای دیوارهای خارجی و پنجره‌ها، رنگ دیوارهای خارجی و وجود سایه‌بان بر روی پنجره‌ها تاثیر بر میزان بار بیشینه مورد نیاز در ساختمان در تابستان و زمستان مورد ارزیابی قرار گرفت.

مشخص شد که تغییر در ضریب انتقال گرمای دیوار خارجی تاثیر قابل قبولی در بار بیشینه گرمایشی و سرمایشی دارد و تغییرات رنگ دیوارها و وجود سایه‌بان تاثیر کمتری در صرفه‌جویی خواهد داشت. در مجموع در این پژوهش مشخص شد که میزان تاثیر تغییر ضریب انتقال گرما در بار گرمایشی و سرمایشی لازم برای ساختمان، وابسته به عناصر

- [6] Sadineni B., Madala S., Boehm R.F., Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, 3617–3631, 2011.
- [7] Zhao H., Magoules F., A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp 3586–3592, 2012.
- [۸] حقانی م.، محمدکاری ب.، فیاض ر. بررسی تأثیر سایه بان های کرکره ای در صرفه جویی مصرف انرژی ساختمان های اداری تهران. *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، دوره ۱۷، شماره ۴، ص ص ۱۷-۲۸، ۱۳۹۶.
- [۹] ابراهیمی مقدم الف.، هاشمیان س.م.، ابراهیمی مقدم الف.، بررسی تأثیر ضریب جذب خورشیدی دیواره بیرونی ساختمان مسکونی بر کاهش مصرف انرژی. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، جلد ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷.
- [10] Sajjadiana S.M, Lewisa J., Sharples S., Energy Heating and Cooling Loads in High Performance Construction Systems- Will Climate Change Alter Design Decisions? *Procedia Engineering*, Vol.118, pp 498 – 506, 2015.
- [۱۱] گرجی مهلبانی ی.، مفرد بوشهری الف.، عزیززاده آرایلی ر.، تأثیر ضریب پنجره بر بار حرارتی و برودتی ساختمان با استفاده از شبیه سازی در نرم افزار دیزان بیلدر. *مجله علمی- ترویجی انرژی های تجدیدپذیر و نو*، سال چهارم، شماره ۱، ص ص ۱-۸، بهار و تابستان ۱۳۹۶.
- [۱۲] میثت نوزدهم مقررات ملی ساختمان. *مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن*، ویرایش سوم، ۱۳۸۹.
- [۱۳] محمدرضا رزاقی اصفهان.، راهنمای کامل نرم افزار (HAP4.5) Carrier. *یزدا*، چاپ اول.
- [14] Edward G.Pita., Air Conditioning Principles and systems. *An energy approach*, fourth edition.
- [15] ANSI/ASHRAE Standards 62-1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, *ASHRAE Standards and Guidelines*, 2004.
- [۱۶] سید مجتبی طباطبایی.، محاسبات تاسیسات ساختمان شامل: حرارت مرکزی، تهویه مطبوع، آبرسانی و دفع فاضلاب ساختمانی. *روزبهان*، چاپ هیجدهم، ۱۳۹۳.
- [۱۷] ابلاغ فهرست بهای واحد پایه رشته ابنیه سال ۱۳۹۷، *سازمان برنامه و بودجه کشور*، ۱۳۹۶.
- [18] Gasparella A., et. al. Analysis and modeling of window and glazing systems energy performance for a well-insulated residential building. *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 1030-1037, 2011.
- [19] Boyano A., Hernandez P., and Wolf O Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studied based on EnergyPlus simulation. *Energy and Buildings*, Vol.65, pp 19 – 28, 2013.