بررسی روش‌های مختلف بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی

نغمه جمشیدی[۱]، زهره اسدی[۲*]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، تهران
۲- دانش آموخته، مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور
* تهران، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، njamshidi@mpnu.ac.ir

چکیده

در این مقاله، ساختمان آموزشی دانشگاه پیام‌نور قائم‌شهر به عنوان یک پروژه واقعی مورد مطالعه قرار گرفته و محاسبات بار و طراحی اولیه سیستم تهویه مطبوع برای آن با استفاده از نرم‌افزار کریر صورت پذیرفته است. با توجه به نیازهای خاص یک پروژه با کاربری آموزشی برای کلیه فضاها به‌جز آمفی‌تئاتر یعنی کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها، کتابخانه و فضای اداری، سیستم فن‌کوئل با هوای تازه و برای آمفی تئاتر با توجه به ملاحظات خاص طراحی آن استفاده از یک دستگاه هواساز حجم ثابت پیشنهاد شده است. در ادامه تأثیر متغیرهایی همچون نوع مصالح ساختمانی، رنگ ساختمان، زمان تشکیل کلاس و حضور افراد، زمان کارکرد سیستم تهویه مطبوع، تعداد پنجره‌ها، نوع شیشه پنجره، سایبان و نوع پنجره جهت کاهش بار حرارتی و برودتی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته و حالت بهینه در هر حالت تعیین می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که در ساختمان بهینه‌سازی شده، در تابستان حداقل ۶٪ و در زمستان ۱۱٪ کاهش بار سرمایش و گرمایشی را نسبت به ساختمان اولیه طراحی شده به همراه خواهد داشت.

کلیدواژگان

سیستم تهویه مطبوع، کاربری آموزشی، اقلیم معتدل و مرطوب، مصرف انرژی، نرم‌افزار کریر

۱- مقدمه

طراحی سیستم تهویه مطبوع برای یک پروژه، به گونه‌ای که به لحاظ تأمین شرایط آسایش مورد نظر و همچنین هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و جاری در وضعیت بهینه قرار داشته باشد، امری است که مستلزم داشتن برآوردی دقیق از شرایط پروژه اعم از کاربری، اقلیم، معماری و مسائل اقتصادی آن و به دنبال آن محاسبه‌ی دقیق بارهای گرمایی و در نهایت انتخاب سیستم مناسب می‌باشد. برآورد بارهای گرمایش و سرمایش جهت طراحی و انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع ضروری است. بارهای گرمایش و سرمایش شامل بارهای انتقالی (انتقال حرارت از جداره‌های خارجی ساختمان)، بارهای تابشی (ازطریق پنجره‌ها و نورگیرها)، بارهای داخلی (بارهای ناشی از روشنایی‌ها، افراد و بارهای داخلی دیگر) و بارهای ناشی از نفوذ هوا می‌باشند.

بخش ساختمان بیش از ۴۰٪ انرژی مصرفی کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد و در این میان گرمایش و سرمایش بیشترین سهم را دارند [۱]. شدت انرژی که برابر با نسبت مصرف نهایی به میزان تولید ناخالص داخلی تعریف می‌شود و شاخص مصرف انرژی در بخش ساختمان، برای ایران بسیار بالا می‌باشد و متوسط مصرف سوخت بخش خانگی در ایران ۲/۶ برابر شرایط مشابه کشورهای اروپایی است [۲]. تاکنون به‌منظور کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف از جمله ساختمان، فعالیت‌هایی صورت گرفته است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به تدوین استانداردهای ملی شماره ۷۸۲۱ [۳]، ۷۸۲۲ [۴]، ۸۶۲۱ [۵]، آموزش و اطلاع‌رسانی از طریق پایگاه‌های اینترنتی سازمانی [۱،۶،۷] اشاره نمود. مطالعات صورت‌گرفته به منظور تعیین پارامترهای اصلی موثر در اتلاف گرمایی و تعیین درصد اتلاف گرمایشی هرجزء، نشان می‌دهد که دیوارهای خارجی ساختمان با ۲۹/۸٪ بیشترین اتلاف گرمایی را به خود اختصاص می‌دهند. بعد از آن به‌ترتیب هوای نفوذی به محل با ۲۴/۶٪، درب و پنجره‌های خارجی با ۱۷/۴٪، سقف خارجی ۱۵/۳٪ و کف خارجی ۱۲/۹٪، میزان اتلاف گرمایی کل ساختمان را به خود اختصاص داده‌اند. این آمار بیانگر تاثیر بالای نوع مصالح و نحوه اجرا بر رفتار حرارتی ساختمان و آسایش ساکنین دارد [۸]. در روش‌های نوین ساخت وساز، به منظور سبک سازی و افزایش بازدهی، مصالح نوین و بازیافتی جایگزین مصالح رایج می‌گردد [۹،۱۰]. استفاده از این مصالح با توجه به دسترسی و سازگاری با محیط زیست راه‌حل مناسبی را به منظور استفاده کمتر از منابع طبیعی و انرژی فراهم می‌آورد.

در این مقاله، در ابتدا بار حرارتی و برودتی یک ساختمان آموزشی محاسبه شده و سیستم سرمایش و گرمایش مناسب آن پیشنهاد می‌گردد. سپس تاثیر طراحی‌های مختلف در ساختمان و استفاده از مصالح مختلف در ساختار ساختمان در میزان بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بررسی می‌شود تا بهترین حالت از لحاظ ذخیره و مصرف انرژی به‌دست آید.

۲- شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار

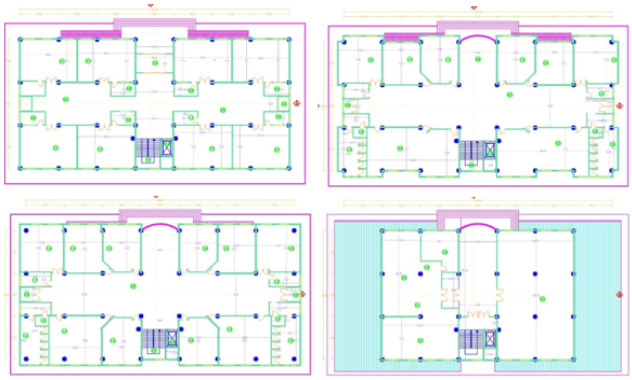
امروزه انجام مراحل طراحی بهینه‌ی سیستم‌های تهویه مطبوع شامل محاسبات بارهای گرمایش و سرمایش، انتخاب وشبیه‌سازی سیستم و همچنین تحلیل اقتصادی یک پروژه، نیازمند به‌کارگیری نرم‌افزارهایی است که برای این منظور ایجاد شده‌اند. در این بررسی جهت تحلیل و شبیه‌سازی ساختمان آموزشی دانشگاه پیام‌نور قائم‌شهر، یکی از معروف‌ترین نرم‌افزارهای مرتبط در این زمینه یعنی کریر[۱] مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- پروژه مورد بررسی

۳-۱. مشخصات هندسی ساختمان

شکل ۱ پلان طبقات مختلف ساختمان را نشان می‌دهد. چهار طرف ساختمان باز بوده و با هوای آزاد مرتبط است. مساحت کل طبقات ساختمان ۳۸۴۴/۴۴ مترمربع می‌باشد.

[1] Carrier or HAP



شکل ۱ پلان طبقات (از بالا به پایین به ترتیب طبقات همکف، اول، دوم و سوم) ساختمان دانشگاه شبیه‌سازی شده

۳-۲. مشخصات جغرافیایی آب وه وایی

ساختمان یاد شده درشهرستان قائم شهر واقع می‌باشد. این شهر دارای طول جغرافیایی -۵۲ و عرض ۳۶/۵ درجه با ارتفاع ۱۳۱ متر از سطح دریا می‌باشد و دارای شرایط اقلیمی معتدل و مرطوب است. در فصل تابستان دمای خشک در گرم‌ترین ۳۲/۵ °C و رطوبت نسبی ۶۰٪ و در فصل زمستان دمای خشک در سردترین ساعت ۲/۲ °C- و رطوبت نسبی ۸۹/۵٪ می‌باشد. این شرایط خارج ناحیه آسایش می‌باشند و برای رساندن به ناحیه آسایش باید تغییراتی بر روی هوا صورت گیرد؛ ازجمله برای تابستان با توجه به دمای خشک و رطوبت نسبتاً زیاد بایستی سرمایش با رطوبت‌زدایی انجام شود. در این حالت دمای خشک هوا، دمای‌تر و دمای نقطه شبنم و میزان بخار آب موجود در هوا همگی کاهش می‌یابند. در زمستان نیز برای رسیدن به ناحیه آسایش باید گرمایش به همراه مقداری رطوبت‌زنی(در صورت نیاز) انجام گیرد که درطی این فرایند دمای خشک، دمای‌تر، و نقطه شبنم هوا هر سه افزایش می‌یابند. این عملیات برای دمای طرح داخل ۲۳/۳ °C رطوبت ۵۰٪ (از ناحیه آسایش انتخاب شده) انجام می‌گیرد.

۳-۳. مشخصات حرارتی اجزای ساختمان

مشخصات حرارتی اجزای ساختمان در جدول ۱ آمده است. آنچه به لحاظ انتقال حرارت اهمیت خواهد داشت دیوارهای خارجی می‌باشد و دیوارهای داخلی در انتقال حرارت سهمی نخواهند داشت و فقط در مواردی برخی دیوارها که مجاور با فضایی هستند که گرمایش یا سرمایش برای آن انجام نمی‌شود، به عنوان پارتیشن در نظرگرفته شده و مقدار ضریب انتقال حرارت آن‌ها برآورد شده است. در رابطه با سقف‌ها در قسمت‌هایی از طبقات فضاها دارای سقف کاذب می‌باشند و ساختمان فاقد سقف خارجی بوده و سقف پایانی یاهمان سقف طبقه سوم نیز با توجه به آنکه در بالای آن شیروانی (شیب ۲۰٪) وجود داشته و برای این فضا گرمایش و سرمایش انجام نمی‌شود، به عنوان پارتیشن در نظر گرفته شده است. در رابطه با کف طبقات ساختمان، به جز کف طبقه اول، بقیه انتقال حرارت با خارج نخواهند داشت. لایه‌های مختلف دیوارها به‌قرار زیر است:

دیوار خارجی از داخل به خارج: نازک کاری، بلوک AAC، عایق پلی‌استایرن، بلوک AAC، ملات سیمانی، سنگ نما.

دیوار داخلی: نازک کاری، بلوک AAC، هوا، بلوک AAC، نازک کاری.

بام: نازک‌کاری، تیرچه بلوک، بتن سبک، عایق پلی‌استایرن، بتن سبک.

تمام پنجره‌های ساختمان با شیشه دو جداره بوده که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات حرارتی اجزای ساختمان

جنس لایه	ظرفیت گرمایی	دانسیته	ضریب هدایت
نازک کاری	800	1600	0.72
بلوک AAC	1000	700	0.71
عایق پلی استایرن	1340	14.4	0.04
ملات سیمانی	780	1860	0.72
سنگ نما	920	2400	2.5
هوا	1000	1.17	0.025
تیرچه بلوک	880	2300	1.4
بتن سبک	880	2300	1.4
موزاییک	745	2150	2.9
درب شیشه‌ای	750	2500	1.4
آجر	840	1700	1
HCB(Hollow Concrete Block)	880	1100	0.6
LECA(Light Expanded Clay Aggregate)	1000	900	0.23
CSEB wall(Compressed Stabilized Earth Block wall)	1000	1700	0.88

جدول ۲ مشخصات پنجره‌های ساختمان

لایه خارجی	ضخامت شیشه میلی متر	9
	ضریب عبور	0.501
	ضریب بازتابش	0.315
	ضریب جذب	0.184
لایه داخلی	ضخامت شیشه میلی متر	3
	ضریب عبور	0.841
	ضریب بازتابش	0.078
	ضریب جذب	0.081
	ضخامت حفره میلی متر(گاز هوا)	6

۳-۴ سایر اطلاعات ورودی به نرم‌افزار

موقعیت ساختمان در شرایط آب و هوای خیلی تمیز واقع شده است، بنابراین ضریب پاکیزگی هوای اتمسفر ۱/۱۵ در نظر گرفته می‌شود. طبق اطلاعات کسب شده از شرایط خاک قائم‌شهر و جنس خاک‌های اطراف ساختمان، مقدار متوسط قابلیت بازتاب زمین ۰/۲ و مقدار ضریب هدایت خاک محل با توجه به ترکیب‌بندی و ساختار خاک و مقدار رطوبت آن ۰/۸ $Btu/hr.ft.°F$ در نظر گرفته می‌شود.

مقدار وزن ساختمان نیز تأثیر مهمی در حفظ و ذخیره حرارت دارد. با توجه به کاربری آموزشی ساختمان، به لحاظ وزنی نوع آن متوسط بوده و مقدار lb/ft^2 ۷۴ برای کلیه فضاها درنظر گرفته شده است. با توجه به کاربری فضا، میزان هوای تازه مورد نیاز برای هریک از انواع فضاهای موجود در پروژه را بر مبنای مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان می‌باشد.

نوع روشنایی ساختمان از نوعی روشنایی که در سقف کاذب نصب می‌شود[1]. حداقل توان روشنایی با توجه به کاربری آموزشی w/ft^2 ۳ است. باتوجه به نوع کاربری ساختمان، درصد حضور این افراد به صورت ساعتی برای کل سال ثابت و به صورت جدول ۳ فرض شده است.

جدول ۳ درصد حضور افراد در ساعات مختلف روز

ساعت	درصد حضور افراد
۲۴ تا ۷	0
۷ تا ۸	5
۸ تا ۹	75
۹ تا ۱۱	90
۱۱ تا ۱۵	80
۱۵ تا ۱۶	45
۱۶ تا ۱۷	25
۱۷ تا ۱۸	15
۱۸ تا ۱۹	5
۱۹ تا ۲۴	0

در این ساختمان به علت فشار مثبت بودن کلیه فضاها به جز راهروها، نفوذ هوا تنها در راهروها این اتفاق می‌افتد، و میزان دو تعویض در ساعت فرض شده است. بارهای ناشی از نفوذ هوا به داخل فضا در تمام ساعات روز و بدون توجه به این که سیستم تهویه مطبوع روشن است یا خاموش محاسبه خواهد شد.

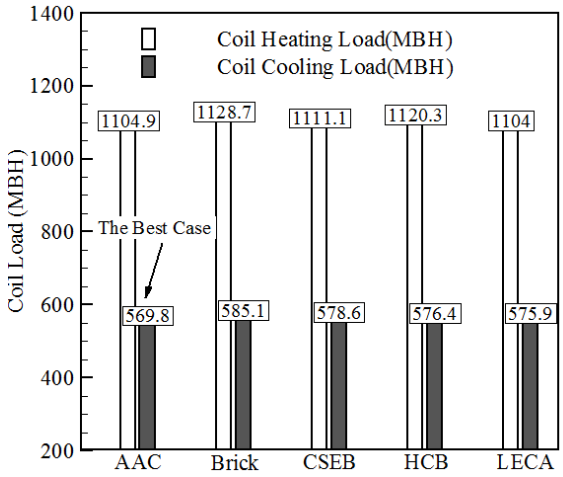
۴- نتایج

۴-۱. پیشنهاد سیستم تهویه مطبوع برای پروژه

با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی بار سرمایش ۹۲/۱ تبرید برای ظرفیت دستگاه‌ها و تجهیزات برودتی باید در نظرگرفته شود. همچنین ۱۰۰۶۰CFM هوای تازه نیز باید تأمین گردد. پیشنهاد می‌شود که جهت تأمین آب گرم و آب سرد مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش، از یک موتورخانه مرکزی استفاده گردد که آب گرم توسط دیگ و آب سرد توسط چیلر تراکمی تولید می‌شود. اما در رابطه با نوع سیستم تهویه، برای آمفی‌تئاتر باتوجه به بار نهان زیاد و ملاحظات خاص مربوط به آمفی‌تئاترها و تالارها در رابطه با توزیع هوا و مسائل صوتی، این فضا به عنوان یک زون فرض شده و از یک دستگاه هواساز حجم ثابت به دو منظور سرمایش و گرمایش و نیز تأمین هوای تازه استفاده می‌شود. برای کلیه فضاهای دیگر شامل کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها، کتابخانه و اداری، استفاده از سیستم فن‌کویل با هوای تازه پیشنهاد می‌گردد که بار سرمایش و گرمایش فضاها بر روی فن‌کویل‌ها بوده و از یک دستگاه هواساز صرفاً جهت تأمین هوای تازه آن استفاده می‌شود.

۴-۲. تأثیر نوع مصالح ساختمانی

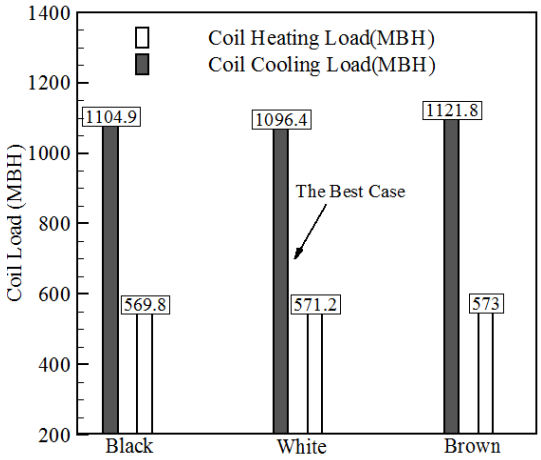
جهت بررسی اثر نوع مصالح در طراحی سیستم تهویه مطبوع از $AAC, CSEB, HCB, LECA$ و آجر در جداره‌های ساختمان استفاده شده و مقایسه بین حالت‌های مختلف جدار خارجی ساختمان در شکل ۲ انجام شده است. مشخصات حرارتی این مصالح در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به شکل حالت بهینه از لحاظ کاهش همزمان بار حرارتی و برودتی دیوار خارجی از جنس AAC می‌باشد.



شکل ۲ مقایسه بار حرارتی و برودتی در صورت استفاده از مصالح ساختمانی مختلف

۴-۳. تأثیر رنگ ساختمان

در این قسمت دمای کل ساختمان ۲۳/۳ °C ثابت نگه داشته شده و تاثیر تغییر رنگ دیوارهای خارجی ساختمان بر روی میزان بار گرمایش و سرمایش بررسی شده است. مقایسه با تغییر ضریب جذب جدار خارجی ساختمان بوده که رنگ خود ساختمان قهوه ای با ضریب جذب ۰/۶۸ است که با تغییر رنگ آن به سفید(روشن) ۰/۳۶ و برای سیاه ۰/۷۷ (تیره‌تر)در نظر گرفته شده است. نتایج به صورت نمودار در شکل ۳ آمده است. با روشن‌تر کردن جدار خارجی ساختمان حدود ۱/۵٪ بار نسبت به حالت اولیه کاهش دارد.



شکل ۳ مقایسه بار حرارتی و برودتی برای رنگ بیرون ساختمان مختلف

۴-۴. زمان تشکیل کلاس ها و حضور افراد

در این قسمت با ثابت نگه داشتن دمای کل ساختمان ۲۳/۳ °C تاثیر زمان حضور افراد و به عبارتی دیگر زمان تشکیل کلاس ها در ساختمان بر روی میزان بار بررسی شده است. در این بخش چهار حالت زیر مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۳ حالت اولیه طراحی با (A) نشان داده شده است.

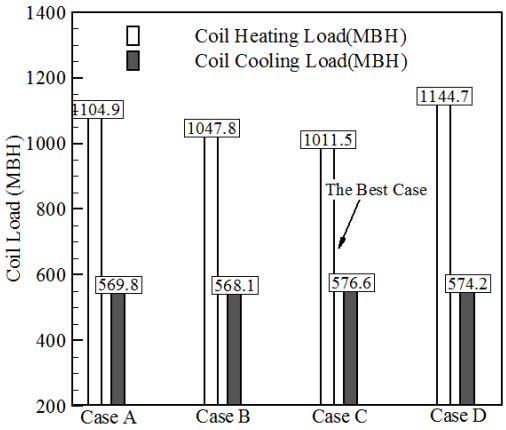
[1] Recessed unvented

الف) حالت اول (B): در این حالت به این شکل تغییرداده شده که ساعت تشکیل کلاس ها در ساختمان ساعت ۸تا ۱۹ بوده و درصد حضور افراد نیز به صورت جدول ۵ درکل سال یکسان باشد. در این حالت درصد حضور افراد طوری تغییر داده شده است که کلاس‌های کمتر در ساعات گرم‌تر روز تشکیل شود.

ب) حالت دوم (C): در این حالت تشکیل کلاس‌ها ساعت ۷ تا ۱۸ بوده و کلاس‌های کمتر درساعات گرم‌تر روز و در صبح بیشتر است (البته در این حالت نیز درصد حضور طوری تغییر داده شده است که مجموع درصد حضور افراد در کل روز ثابت و طبق حالت اولیه ساختمان باشد).

ب) حالت سوم (D): این حالت ساعت تشکیل کلاس ها ساعت ۹ تا ۱۸ بوده و درصد حضور افراد در بعدازظهر بیشتر شده است.

نتایج این بخش به صورت نمودار در شکل ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای کاهش مصرف انرژی بهتر است در زمستان حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات میانی روز و در تابستان نیز حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات اولیه صبح و یا بعدازظهر باشد.



شکل ۴ مقایسه بار حرارتی و برودتی در ساعات حضور افراد مختلف

۴-۵ زمان بهینه برای کارکرد سیستم تهویه مطبوع

در این بخش تاثیر روشن یا خاموش بودن سیستم تهویه مطبوع مورد بررسی قرارگرفته است. در حالت کلی فرض براین بود که سیستم تهویه در طول حضور افراد سیستم بتواند همان دمای ۲۳/۳ °C را تامین نماید. این بخش به شش قسمت زیر تقسیم شده است:

حالت اول (A): حالت اولیه طرحی سیستم

حالت دوم (B): عدم کنترل (خاموش کردن سیستم تهویه مطبوع) در کل سال در ساعات ۱۸ یعدازظهر تا ۴ صبح

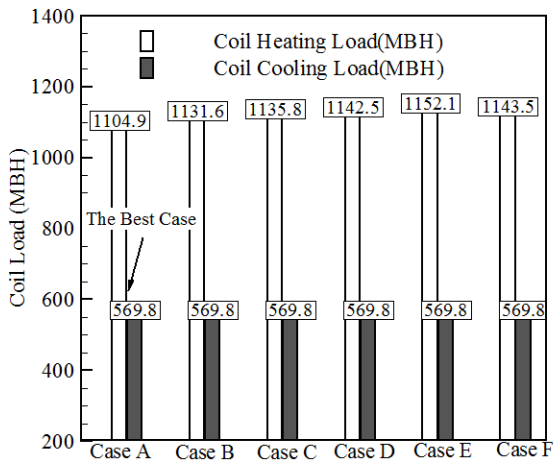
حالت سوم(C): عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۸ تا ۵ صبح

حالت چهارم(D): عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۸ تا ۶

حالت پنجم(E): عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۷ تا ۶ صبح

حالت ششم (F): عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۷ تا ۵ صبح

نتایج در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به این نمودار دیده می‌شود که بهترین حالت کنترل کردن سیستم همان حالت اول و یا طراحی اولیه سیستم می‌باشد.



شکل ۵ مقایسه بار حرارتی و برودتی در زمانهای مختلف کارکرد سیستم تهویه

۴-۶. کاهش تعداد پنجره ها

در این قسمت نیز با ثابت نگه داشتن دمای کل ساختمان تاثیر کاهش تعداد پنجره‌های ساختمان بررسی شده است. با توجه به بررسی‌ها و شکل فیزیکی ساختمان، تعداد پنجره‌های ساختمان زیاد است و به نظر می‌رسد که برای تامین نور ساختمان نیازی به تعداد زیادی پنجره نیست و می‌توان تعداد آن‌ها را کاهش داد (بخصوص برای نمای جنوبی ساختمان که مساحت زیادی را پنجره‌ها شامل می‌شوند). در این قسمت حالت‌های زیر بررسی شده است:

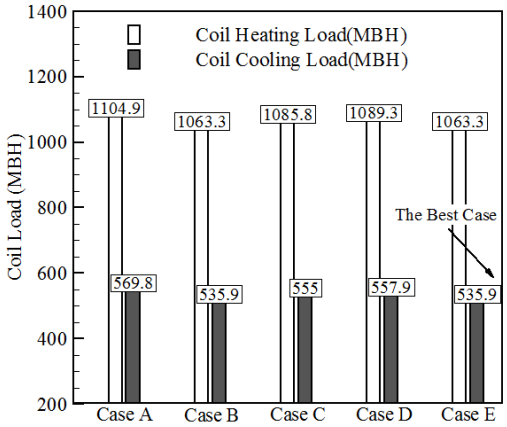
حالت اول (A): حالت اولیه طرحی سیستم

حالت دوم (B): در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره ها نصف گردد.

حالت سوم(C): در هر جدار مساحت پنجره‌ها یک سوم کمتر گردد.

حالت چهارم(D): در هر جداره مساحت پنجره‌ها یک چهارم کمتر گردد.

حالت پنجم(E): در هر جداره در کل ساختمان مساحت پنجره‌ها یک سوم کمتر شده ولی پنجره جنوبی راهروهای طبقه اول ودوم و سوم که نمای ساختمان را نیز شامل می‌شود بدون تغییر است و همان حالت اولیه می‌باشد.



شکل ۶ مقایسه بار حرارتی و برودتی در زمانهای مختلف کارکرد سیستم تهویه

باتوجه به شکل ۶ دیده می‌شود که به طور کلی کاهش تعداد و مساحت پنجره‌ها برای این ساختمان حدود ۶٪ بار ساختمان را کاهش می‌دهد که مقدار قابل توجهی است. با توجه به نتایج هم دیده می‌شود که کاهش تعداد پنجره‌ها بیشتر باعث کاهش بار در بار سرمایش ساختمان می‌شود.

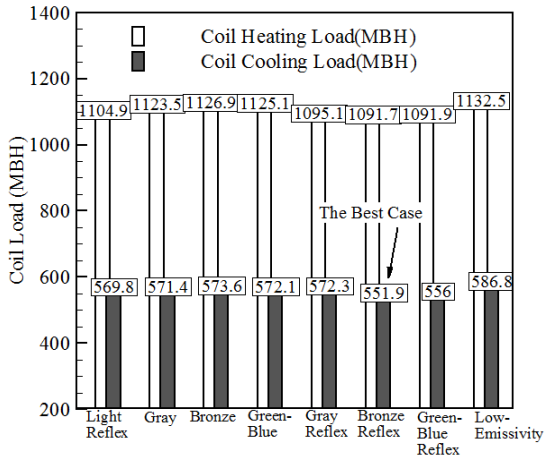
۴-۷. تغییر نوع شیشه پنجره

در این بخش با استفاده ثابت نگه داشتن دمای کل ساختمان تاثیر تغییر جنس شیشه پنجره‌های ساختمان بررسی شده است. این بررسی در دو بخش انجام شده است. ابتدا جنس شیشه‌های لایه خارجی پنجره تغییر داده شده و پس از دست آمدن بهترین شیشه برای لایه خارجی، شیشه‌های لایه داخلی نیز تغییر داده شده است.

قسمت اول) در این قسمت شیشه‌های لایه خارجی مطابق مشخصات جدول ۴ تغییر داده شده اما شیشه لایه داخلی همان شیشه حالت اولیه ساختمان است. نتایج در مقایسه با حالت اولیه(شیشه روشن رفلکس)در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به نمودار دیده می‌شود که بهترین درصد کاهش در بار سرمایش و گرمایش مربوط به شیشه برنز رفلکس می‌باشد.

جدول ۴ مشخصات شیشه خارجی پنجره دو جداره

	ضریب عبور	ضریب بازتاب	ضریب جذب
خاکستری ساده	0.479	0.062	0.459
برنزی ساده	0.496	0.057	0.447
سبز-آبی ساده	0.488	0.062	0.45
خاکستری رفلکس	0.309	0.310	0.381
برنزی رفلکس	0.312	0.305	0.383
سبز-آبی رفلکس	0.282	0.295	0.423
کم گسیل معمولی	0.639	0.116	0.245



شکل ۷ مقایسه بار حرارتی و برودتی در مشخصات شیشه خارجی پنجره دو جداره مختلف

قسمت دوم) با توجه به نتایج بخش قبل، شیشه برنز رفلکس برای لایه خارجی ثابت گرفته شده و شیشه لایه داخلی به شکل زیر تغییر می‌یابد:

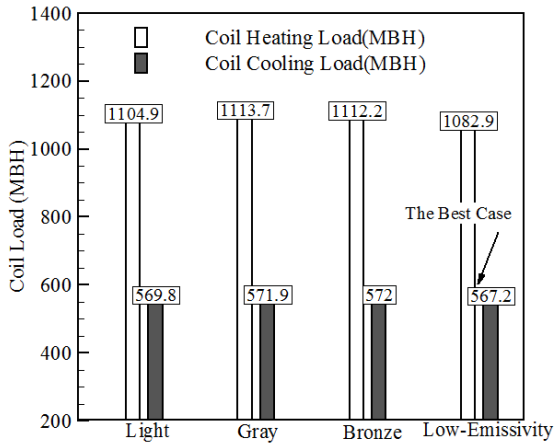
حالت اول (A): لایه داخلی روشن

حالت دوم (B): لایه داخلی خاکستری

حالت سوم (C): لایه داخلی برنز

حالت چهارم (D): لایه داخلی از نوع کم گسیل معمولی

نتایج این قسمت در مقایسه در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به این نمودار، بهترین درصد کاهش مربوط به حالت استفاده از شیشه کم‌گسیل معمولی در لایه داخلی است. بنابراین، در بهترین حالت، لایه خارجی شیشه برنز رفلکس و لایه داخلی شیشه کم گسیل استفاده گردد تا بارسرمایش (حدود ۰/۵٪) و هم بار گرمایش (حدود ۲٪) کاهش پیدا کند.



شکل ۸ مقایسه بار حرارتی و برودتی در مشخصات شیشه داخلی پنجره دو جداره مختلف

۴-۸ سایبان روی پنجره

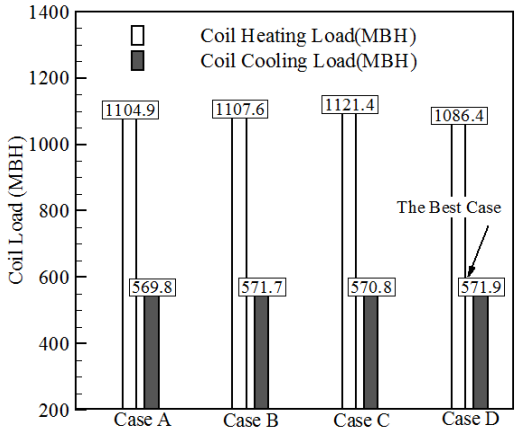
در این قسمت با ثابت نگه داشتن دما در ۲۳/۳ °C برای دمای کل ساختمان، تاثیر کاربرد سایبان بر روی پنجره‌های ساختمان بررسی شده است. در این قسمت ابتدا سایبان بر روی تمام پنجره های طبقه سوم بررسی شده است. حالت اولیه (A) سایبان افقی در پنجره‌ی طبقه سوم با عمق ۳۰ cm، به حالات زیر تغییر داده شده است:

حالت دوم (B): سایبان افقی در تمام پنجره های طبقه سوم با عمق ۱۰cm

حالت سوم(C): سایبان افقی در تمام پنجره های طبقه سوم با عمق ۵۰ cm

حالت چهارم(D): سایبان افقی در تمام پنجره های ساختمان با عمق ۵۰cm به جز پنجره های طبقه همکف، اعمال شده است.

نتیجه این مقایسه در شکل ۹ ارائه شده است.

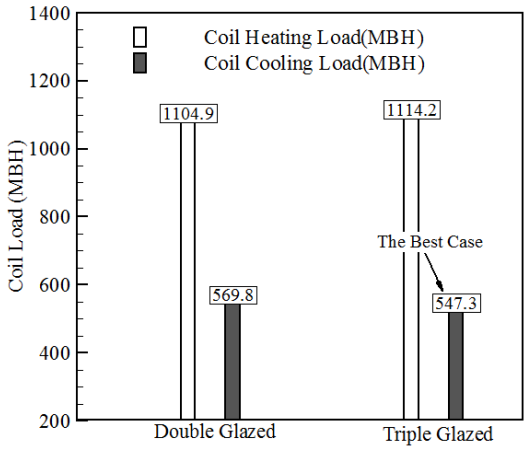


شکل ۹ مقایسه بار حرارتی و برودتی در حالت‌های مختلف سایبان

با اعمال سایبان بر روی پنجره تقریبا ۲٪ بار ساختمان را کاهش می‌دهد. استفاده از سایبان برای ساختمان‌هایی که مصرف انرژی آنها زیاد نیست، تاثیر مثبت بیشتری دارد.

۴-۹. تغییر نوع پنجره

این قسمت نیز با ثابت نگه داشتن دما در ۲۳/۳ °C برای کل ساختمان، تاثیر کاربرد پنجره سه جداره در ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات شیشه‌های پنجره با شیشه سه جداره در هر سه لایه همانند پنجره با شیشه دوجداره بوده و ضخامت لایه هوا نیز همان ۶ mm است. نتایج به‌صورت نمودار در شکل ۱۰ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پنجره با شیشه سه جداره در تابستان بار سرمایشی ۴٪ کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰ مقایسه بار حرارتی و برودتی در تغییر نوع پنجره

۵- ساختمان کامل بهینه‌سازی‌شده

در این قسمت، با استفاده از نتایج قسمت‌های پیشین، ساختمان بهینه‌سازی شده و به‌قرار زیر پارامترهای تاثیرگذار به صورت هم زمان تغییر داده شده‌اند: نوع بلوک به کار گرفته شده AAC و رنگ ساختمان سفید می‌باشد. زمان تشکیل کلاس ها و حضور افراد بین ساعات ۷ تا ۱۸ انتخاب شده است. مساحت پنجره‌ها یک سوم کمتر شده ولی پنجره جنوبی راهروهای طبقه اول و دوم و سوم که نمای ساختمان را نیز شامل می‌شود بدون تغییر مانده و سایبان افقی در تمام پنجره های ساختمان با عمق ۵۰ cm به جز پنجره های طبقه همکف می‌باشند. شیشه خارجی از نوع شیشه برنز رفلکس و شیشه داخلی کم گسیل انتخاب می‌گردد. با وجودیکه شیشه سه جداره کاهش مصرف ۴٪ انرژی را به‌همراه دارد، با توجه به تحمیل هزینه اجرایی زیاد نتایج ساختمان بهینه در دو حالت پنجره دو جداره و سه جداره ارائه شده است.

نتایج بیان می‌کنند که در صورت استفاده از پنجره دو جداره در ساختمان بهینه‌سازی شده در زمستان کاهش ۱۱/۷٪ در انرژی مورد نیاز گرمایشی و در تابستان کاهش ۶/۱۴٪ بار سرمایشی را به همراه خواهد داشت. درصورتی‌که از پنجره‌های سه جداره استفاده شود در زمستان و تابستان به ترتیب کاهش ۱۱/۸۴٪ و ۵/۱٪ بار حرارتی و برودتی را به همراه دارد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار کریر مقدار بار سرمایش و گرمایش برای یک ساختمان آموزشی واقع در شهر قائم‌شهر در شمال ایران در منطقه آب و هوایی معتدل و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با وجود اینکه ساختمان از مصالح و پنجره‌های خوبی برخوردار است، ولی باز هم می‌توان مقدار بار سرمایش و گرمایش را حدود ۱۲٪ درصد کاهش داد تا انرژی کمتری در ساختمان مصرف گردد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی به دست آمده برای ساختمان فوق پیشنهاد می‌گردد:

- برای رنگ ساختمان از رنگ روشن تری استفاده شود.
- برای کاهش مصرف انرژی بهتر است زمان تشکیل کلاس‌ها در بین ساعات ۷ تا ۱۸ باشد.
- مساحت پنجره‌ها یک سوم کمتر گردد، لیکن پنجره جنوبی راهروهای طبقه اول ودوم و سوم که نمای ساختمان را نیز شامل می‌شود بدون تغییر و همان حالت اولیه باشد.
- برای شیشه خارجی از شیشه برنز رفلکس و شیشه داخلی از کم‌گسیل استفاده گردد.
- سایبان افقی در تمام پنجره‌های ساختمان با عمق ۵۰ cm به جز پنجره‌های طبقه همکف نصب گردد.
- پنجره دوجداره با توجه به هزینه بیشتر پنجره سه‌جداره نصب شود.

۷- مراجع

[1] *U.S. Department of Energy website*. 2015 9 Aug; Available from: http://energy.gov/eere/wipo/weatherization-assistance-program. (in Persian فارسی)

[2] Planning, M.o.R.a.C., Upgrading and modernization based energy consultants, *Code 19 national building regulation-tep by Step Guide of building energy checklist*, 2008. (in Persian فارسی)

[3] Standard, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, *National Standard 7821 - doors and windows and curtain wall construction, set rankings- water test*, 2003.(in Persian فارسی)

[4] Standard, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, *National Standard 7822 - doors and windows and curtain wall construction to determine the air infiltration test method*, 2003. (in Persian فارسی)

[5] Standard, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, *National Standard 8621 - Masonry products - determine the average and high thermal resistance Heat resistance and heat flow meter method guarded hot plate*, 2006.(in Persian فارسی)

[6] *IFCO. Iranian fuel conservation company*. 2015; Available from: http://ifco.ir/english/index.asp.(in Persian فارسی)

[7] Webpage. *Upgrading and modernization based energy consultants,* 2015 28 July, Available from: http://www.mabnaco.net/. (in Persian فارسی)

[8] A. Emdadi, A. Libernilasen, M. Nemati, H. DorMohammadi, The effect of extrior wall inulation in walls composed of light concerete in reducing fuel consumption and final cost, *Second intenational conference in optimizing fuel consumption in buildings*, Tehran, 1381. (in Persian فارسی)

[9] B. Amiri, N. Nasrolahi, and H. Sadeghi. The feasibility of recycled materials replace traditional materials and their role in reducing energy consumption, *National Conference on climate, building and energy efficiency*. 2013. Isfahan: Iran Energy Efficiency Organization. (in Persian فارسی)

[10] Khazaee, I. and A. Khazaee. The use of agricultural waste for sustainable building materials: reviews, *The first national conference materials and structures in civil engineering*. 2012. Kerman: Graduate University of Advanced Technology. (in Persian فارسی)