شبیه سازی و بهینه سازی مصرف انرژی گرمایشی ساختمان

فاطمه شاه محمدی
کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف
عزیز عظیمی
دانشجوی دکتری مکانیک تبدیل انرژی ، دانشگاه صنعتی شریف
سیامک کاظم‌زاده حنانی
عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف
آدرس پستی
shahmohamadi@ifco.ir

چکیده

در این مقاله شبیه‌سازی مصرف انرژی گرمایشی یک ساختمان نمونه که از سیستم گرمایشی مورد استفاده در آن حرارت مرکزی می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور نیازهای سیستم گرمایشی ساختمان مورد مطالعه در سه مرحله بررسی می‌شود: ۱- محاسبات بار حرارتی ساختمان۲- تعیین بار گرمایشی تحمیلی به سیستم و انتخاب سیستم ۳- محاسبه انرژی ورودی به تمام اجزا سیستم جهت برطرف نمودن بار حرارتی و محاسبه مصرف انرژیِ سالیانه. به این ترتیب که در ابتدا با استفاده از داده‌های اولیه‌ای همانند داده‌های آب و هوایی، مشخصات ساختمان، مصالح و غیره، بار گرمایشی ساختمان محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، سیستم گرمایشی بر اساس روش‌هایی همچون روش بار گرمایشی ماکزیمم انتخاب می‌شود و در مرحله سوم مصرف انرژی ساعتی با استفاده از برنامه تدوین شده تعیین می‌گردد. در نهایت با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده مزایای بهینه‌سازی ساختمان و بکارگیری راهکارهای مختلف کاهش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان از قبیل عایق‌کاری حرارتی ساختمان، کاهش نفوذ هوا و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی مصرف انرژی گرمایشی ساختمان، شبیه‌سازی کامپیوتری، سیستم حرارت مرکزی، راهکارهای کاهش مصرف انرژی

مقدمه

در کشور ما، مصرف انرژی در ساختمان، حدود ۴۰٪ از کل انرژی مصرف شده در کشور را بخود اختصاص می‌دهد که در مقایسه با سایر بخش‌ها سهم قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. در این میان از آنجا که در بین مولفه‌های مصرف انرژی در ساختمان، سیستم‌های گرمایشی ساختمان که عمدتا از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، از جمله مصرف کنندگان عمده انرژی می‌باشند، به طوریکه ۷۰٪ از گاز طبیعی مصرفی در ساختمان‌ها صرف گرمایش می‌شود، توجه به عوامل گوناگونی که در میزان مصرف انرژی در فرایند گرمایش ساختمان موثرند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این راستا و با توجه به پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی، استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی گرمایشی ساختمان امری ضروری تلقی

می‌شود. استفاده از شبیه‌سازی برای تخمین میزان مصرف انرژی به این لحاظ اهمیت دارد که میزان صرفه‌جویی انجام شده با اعمال پارامترهای تعیین کننده در مصرف انرژی ساختمان را امکان‌پذیر می‌سازد و از طرف دیگر از آنجا که در روش‌های شبیه‌سازی تمامی فاکتورهای فیزیکی مورد نیاز تحلیل انرژی ساختمان در نظر گرفته می‌شود و نیاز حرارتی و برودتی ساختمان بطور دقیق محاسبه می‌گردد، برای گرمایش و سرمایش تجهیزات مناسبی انتخاب می‌شوند که ظرفیت آنها پاسخگوی نیاز حرارتی و برودتی ساختمان می‌باشد. از این رو تحقیق بر روی نرم‌افزارهای تحلیل انرژی در ساختمان‌ها و تجربیات سایر کشورها و تهیه نرم‌افزاری متناسب با شرایط اقلیمی مناطق مختلف، مواد، مصالح و تجهیزات موجود در کشور یک نیاز اساسی محسوب می‌شود. با توجه به این نیاز، آنچه هدف اصلی این مقاله را پوشش می دهد ارائه یک روش شبیه‌سازی است که با وجود سادگی تمامی عوامل موثر بر مصرف انرژی در ساختمان را بشمار می‌آورد. از آنجا که سیستم حرارت مرکزی یکی از سیستم‌های متداول گرمایشی مورد استفاده در ساختمان‌های مسکونی کشور بشمار می رود، روش تدوین شده در این مقاله مصرف انرژی گرمایشی ساختمانی با سیستم حرارت مرکزی را شبیه سازی کرده و فاکتورهای موثر در میزان مصرف انرژی گرمایشی که از آن جمله می‌توان به شرایط اقلیمی و آب و هوایی، معماری ساختمان، مصالح ساختمان، تکنولوژی سیستم‌های گرمایش و کنترل سیستم گرمایش اشاره کرد، را مد نظر قرار داده و مصرف انرژی ساختمان را در ۸۷۶۰ ساعت محاسبه می‌کند.

محاسبات بار حرارتی

همانطور که اشاره شد محاسبه بار حرارتی اولین مرحله شبیه سازی مصرف انرژی گرمایشی ساختمان می باشد. بار حرارتی ساختمان که در حقیقت میزان حرارتی است که به عناوین مختلف از ساختمان خارج می‌گردد، از دو منبع ناشی می‌شود:

- اتلاف حرارتی از جداره‌های ساختمان
- اتلاف حرارتی در نتیجه ورود هوای سرد خارج به داخل ساختمان از طریق نفوذ و تجدید هوا

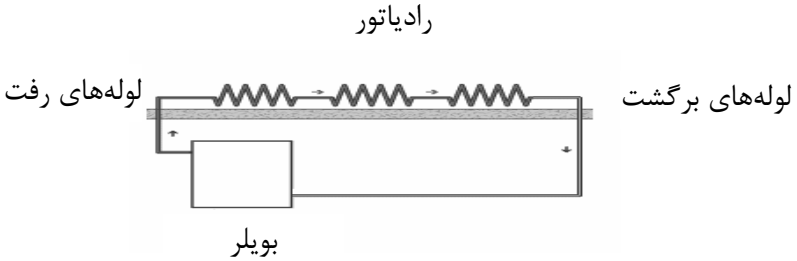
برای محاسبه اتلاف حرارتی ساختمان از نرم‌افزار Carrier که نرم‌افزار طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع است، استفاده شده است. در این نرم‌افزار روش تابع انتقالی که توسط ASHRAE ابداع شده، برای محاسبات بار حرارتی بکار می‌رود. در این خصوص و بمنظور محاسبات مربوط به بار حرارتی ساختمان، در اختیار داشتن اطلاعات آب و هوایی و مشخصات ساختمان، مصالح و ... ضروری می‌باشد. برای پاسخ به این نیازها، اطلاعات آب و هوایی مورد نیاز برنامه از سازمان هواشناسی اخذ و واحد مسکونی با مشخصات زیر انتخاب گردید:

زیر بنای مفید این ساختمان، $۲۴۰ m^2$ در دو طبقه می‌باشد. پلان دو طبقه کاملا مشابه یکدیگر می‌باشد. نورگیری اتاق‌ها از طریق پنجره‌های نمای شمالی و درب شیشه‌ای نمای جنوبی (۸۰٪ شیشه) صورت می‌گیرد. نماهای شرقی و غربی به علت همسایه فاقد پنجره هستند. ساختمان شمالی می‌باشد و ارتباط بین طبقات از طریق یک راه‌پله داخلی تامین می‌شود. دیوارهای خارجی در این ساختمان ۲۵ cm ضخامت دارند و از سمت بیرون با سنگ و از سمت داخل با گچ پوشیده شده‌اند.

دیوارهای داخلی به صورت تیغه ۱۳ سانتیمتری می‌باشند که پوشش طرفین این دیوارها گچ است.کف طبقات با موزائیک فرش شده‌اند و بام ساختمان به صورت تخت اجرا شده و پوشش نهایی بام این ساختمان آسفالت می‌باشد. در هر طبقه دو پنجره شمالی و یک پنجره جنوبی از شیشه ۴ میلیمتری با قاب فلزی وجود دارد که نورگیری اتاق‌ها از طریق این پنجره‌ها صورت می‌گیرد. نسبت سطح پنجره‌ها به سطح نمای شمالی در طبقه اول و دوم ۲۰٪ می‌باشد. این نسبت در نمای جنوبی ساختمان در طبقه اول و دوم ۸۰٪ می‌باشد. این مسئله بخوبی نشان می‌دهد که سطوح پنجره‌های جنوبی در طبقه اول و دوم فضای وسیعی از نمای ساختمان را بخود اختصاص داده است.

شبیه‌سازی سیستم حرارت مرکزی

پس از محاسبات مربوط به بار حرارتی، تعیین بار حرارتی تحمیلی به سیستم و محاسبه انرژی ورودی به تمام اجزای سیستم جهت بر طرف نمودن بار حرارتی، از مراحل اصلی شبیه‌سازی انرژی گرمایشی ساختمان بشمار می‌روند. از اینرو استفاده از برنامه شبیه‌سازی تدوین شده که با در اختیار داشتن بار ساعتی ساختمان، انتخاب نوع سیستم گرمایش، ظرفیت و چگونگی کنترل آن، تغییرات درجه حرارت داخل ساختمان و مصرف انرژی ساعتی را تعیین می کند، ضرورت می‌یابد. پایه اصلی روش شبیه‌سازی بکار رفته در این مقاله، قانون اول ترمودینامیک است که با بکارگیری این قانون به صورت غیردائم برای هر یک از اجزا، می‌توان به معادلاتی دست یافت که حالت سیستم را تفسیر می‌کنند. در این حالت چهار معادله دیفرانسیل بدست می‌آید که هر یک شرایط کارکرد یکی از چهار جز اصلی، منبع ایجاد گرمایش، لوله‌های انتقال آب گرم، لوله‌های برگشت آب و وسیله‌ای که گرمای آب گرم را به هوای داخل ساختمان منتقل می‌کند (رادیاتورها)، تحلیل می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱- اجزا اصلی یک سیستم حرارت مرکزی

این چهار معادله دیفرانسیل بطور گسسته یک دستگاه چهار معادله و چهار مجهول بدست می‌دهند که مجهولات این دستگاه دمای نقاط قبل و بعد از منبع ایجاد گرما و قبل و بعد از رادیاتورها می‌باشند. با توجه به رفتار سیستم فضای داخل تحت تهویه که یک رفتار غیرخطی را داراست، لازم است خطی‌سازی‌هایی در معادلات انجام شود تا یک دستگاه معادلات جبری بدست آید. در این قسمت این چهار معادله ارائه داده شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱- معادله منبع ایجاد حرارت

این معادله بفرم زیر است:

$$Q_s + m C_p (1-\theta)(T_1 - T_2) + \frac{1}{2}\overline{M C}_p (T_1 + T_2) = \left(\frac{1}{2}\overline{M C}_p + m C_p \theta\right) T_2' + \left(\frac{1}{2}\overline{M C}_p - m C_p \theta\right) T_1' \qquad (۱)$$

در این معادله، Δt گام زمانی، T درجه حرارت در زمان t، T' درجه حرارت در زمان $t + \Delta t$، θ عددی بین صفر و یک برای حل معادله به روش صریح یا ضمنی، Q_s حرارتی که طی زمان Δt به آب داخل دیگ داده می‌شود، m مقدار آب عبوری از دیگ طی زمان Δt و C_p گرمای ویژه آب هستند. $\overline{M C}_p$ نیز برابر است با حاصل‌ضرب جرم در گرمای ویژه معادل دیگ و آب داخل آن.

۲- معادله انتقال‌دهنده گرمای آب گرم به هوای داخل ساختمان

معادله‌ای که مربوط به قسمتی از سیستم است که وظیفه انتقال‌حرارت به هوای داخل ساختمان را دارد، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} &-\frac{C_1 \Delta t}{2^2}\left[\left(T_3 + T_4 - 2\overline{T}_a\right)^n - n\theta\left(T_3 + T_4 - 2\overline{T}_a\right)^{n-1}\left(T_3 + T_4\right)\right] + m C_p (1-\theta)(T_3 - T_4) \\ &+ \frac{1}{2} M_L C_p (T_3 + T_4) = \left(\frac{1}{2} M_L C_p - m C_p \theta + \frac{C_1 \Delta t}{2^2} n\theta\left(T_3 + T_4 - 2\overline{T}_a\right)^{n-1}\right) T_3' \\ &+ \left(\frac{1}{2} M_L C_p + m C_p \theta + \frac{C_1 \Delta t}{2^2} n\theta\left(T_3 + T_4 - 2\overline{T}_a\right)^{n-1}\right) T_4' \end{aligned} \qquad (۲)$$

در این معادله $\overline{T}_a$ درجه حرارت فضای تحت تهویه بین t و $t + \Delta t$، M_L جرم آب داخل رادیاتور و C_1 و n ضرائبی از رابطه مربوط به رادیاتور می‌باشند.

$$Q_L = -C_1 \Delta t\left(\overline{T}_L - \overline{T}_a\right)^n \qquad (۳)$$

در این معادله Q_L حرارت ایجاد شده توسط رادیاتور بین زمان t و $t + \Delta t$، $\overline{T}_L$ درجه حرارت متوسط آب داخل رادیاتور و C_1 ضریبی مناسب است که برای هر رادیاتور معلوم مشخص است.

۳- معادله لوله‌های رفت

معادله‌ای که مربوط به لوله‌های رفت است، به صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} &-\frac{A_H \Delta t}{2R_H}\left[(1-\theta)(T_2 + T_3) - 2T_\infty\right] + m C_p (1-\theta)(T_2 - T_3) + \frac{1}{2} M_H C_p (T_2 + T_3) = \\ &\left(\frac{1}{2} M_H C_p - m C_p \theta + \frac{A_H \Delta t}{2R_H}\theta\right) T_2' + \left(\frac{1}{2} M_H C_p + m C_p \theta + \frac{A_H \Delta t}{2R_H}\theta\right) T_3' \end{aligned} \qquad (۴)$$

در این معادله A_H سطح انتقال‌حرارت لوله‌های رفت، R_H مقاومت حرارتی لوله‌های رفت، T_∞ دمای هوای بیرون و M_H جرم آب داخل لوله‌های رفت می‌باشد.

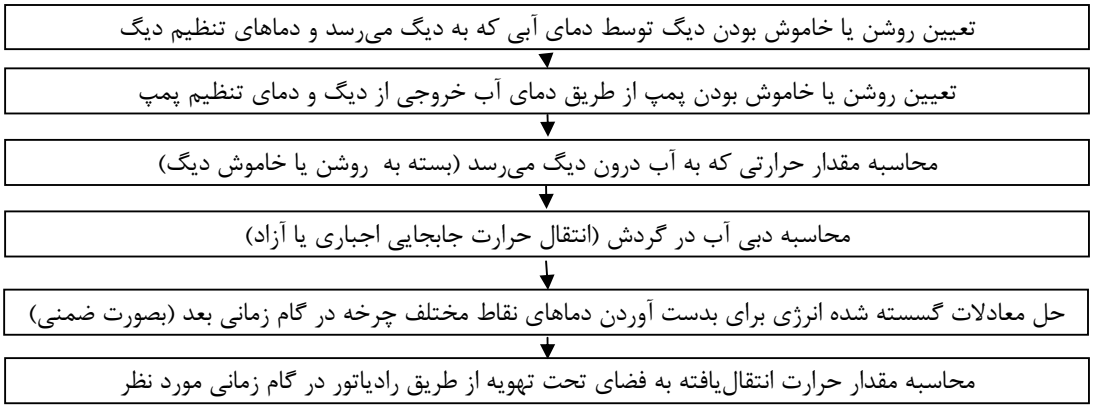
۴- معادله لوله‌های برگشت

معادله دیفرانسیل لوله‌های برگشت مشابه معادله دیفرانسیل لوله‌های رفت می‌باشد.

$$-\frac{A_C\Delta t}{2R_C}\left[(1-\theta)(T_4+T_1)-2T_\infty\right]+mC_p(1-\theta)(T_4-T_1)+\frac{1}{2}M_CC_p(T_4+T_1)=$$
$$\left(\frac{1}{2}M_CC_p-mC_p\theta+\frac{A_C\Delta t}{2R_C}\theta\right)T_4'+\left(\frac{1}{2}M_CC_p+mC_p\theta+\frac{A_C\Delta t}{2R_C}\theta\right)T_1' \quad (۵)$$

در این معادله A_C سطح انتقال‌حرارت لوله‌های برگشت، R_C مقاومت حرارتی لوله‌های برگشت و M_C جرم آب داخل لوله‌های برگشت است.

با این معادلات و مشخص‌بودن مشخصات سیستم زمان t می‌توان مشخصات چرخه مذکور را در زمان $t+\Delta t$ بدست آورد. کنترل‌های مختلفی را می‌توان روی این سیکل قرار داد. از آن جمله می‌توان درجه‌حرارت تنظیم دیگ، درجه‌حرارت تنظیم پمپ، نوع رادیاتورها و ..... را نام برد. الگوریتم محاسبه چرخه سیستم حرارت مرکزی در شکل ۲ و الگوریتم محاسبه انرژی مصرفی ساعتی برای سیستم حرارت مرکزی در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۲- الگوریتم تحلیل چرخه سیستم حرارت مرکزی برای هر گام زمانی

شكل۳- الگوريتم محاسبه انرژي مصرفي ساعتي براي سيستم حرارت مركزي

پارامترهای موثر در مصرف انرژی گرمایشی ساختمان

استفاده از شبیه‌سازی برای تخمین میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان به این لحاظ اهمیت دارد که میزان صرفه‌جویی انجام شده با اعمال پارامترهای تعیین کننده در مصرف انرژی ساختمان را امکان‌پذیر می‌سازد و از طرف دیگر از آنجا که در روش‌های شبیه‌سازی تمامی فاکتورهای فیزیکی مورد نیاز تحلیل انرژی گرمایشی ساختمان در نظر گرفته می‌شود و نیاز حرارتی ساختمان بطور دقیق محاسبه می‌گردد، برای گرمایش تجهیزات مناسبی انتخاب می‌شوند که ظرفیت آنها پاسخگوی نیاز حرارتی ساختمان می‌باشد. از اینرو، پس از شبیه‌سازی مصرف انرژی گرمایشی شناسایی پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی گرمایشی، بمنظور بهینه سازی مصرف انرژی گرمایشی ضروری می باشد.

بطور کلی، عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان‌ها به عوامل زیر بستگی دارد: شرایط اقلیمی، سطح زیربنا، شرایط اقتصادی خانوار، شرایط فرهنگی، وسایل گرمایشی مورد استفاده، نوع سوخت مصرفی، مصالح ساختمانی به کار رفته، عایق‌کاری ساختمان، درزبندی ساختمان، ظرفیت سیستم، نوع کنترل و ... . در مورد سیستم حرارت مرکزی، بمنظور مشاهده رابطه میان پارامترهای در نظر گرفته شده و میزان مصرف انرژی گرمایشی، با استفاده از برنامه شبیه‌سازی تدوین شده و تغییر در هر یک از پارامترهای موثر، تاثیر این عوامل در میزان مصرف انرژی گرمایشی یک به یک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- پوشش ساختمان

در زمینه پوشش ساختمان توجه به دو گرینه موثر بر صرفه‌جویی انرژی گرمایشی ساختمان ضروری می‌باشد: عایق‌کاری حرارتی دیوارها و عایق‌کاری حرارتی دیوارها، بام‌ها و کف‌ها.

الف- عایق‌کاری حرارتی دیوارها

انرژی از طریق کلیه سطوح پیرامونی ساختمان (پوشش ساختمان) اعم از دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، بازشوها و نظایر آنها که از یک طرف به فضای خارج یا فضای کنترل نشده و از طرف دیگر با فضای کنترل شده داخل ساختمان در ارتباط هستند، به جهت عدم عایق‌کاری حرارتی مناسب ساختمان به هدر می‌رود. از اینرو رعایت عایق‌کاری حرارتی در طراحی و اجرای ساختمان‌ها و انتخاب مصالح مصرفی مناسب که اولا نیاز به گرمایش و سرمایش را کاهش می‌دهد و ثانیا از هدر رفتن گرما و سرمای تولید شده جلوگیری بعمل آورد، اهمیت زیادی داشته و باعث صرفه‌جویی شایانی در مصرف انرژی خواهد شد.

برای بررسی اثر عایق‌کاری حرارتی دیوارها، چهار نوع پوشش ساختمانی در نظر گرفته شده است: B پوشش معمولی (بدون استفاده از عایق حرارتی)، C پوشش B باضافه ۵cm عایق، D پوشش B باضافه ۱۱cm عایق و E پوشش B باضافه ۱۶cm عایق می‌باشند. جدول ۱ نتایج حاصل از این موارد را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اثرعایق کاری دیوار بر مصرف انرژی گرمایشی ساختمان

نوع پوشش ساختمان	B	C	D	E
انرژی مصرفی (گیگاژول)	۵۲۸/۰۴	۴۹۰/۴۹	۴۸۱/۲۴	۴۷۶/۴۶
درصد صرفه‌جویی	-	۷	۹	۱۰

ب- عایق‌کاری حرارتی دیوارها، بام‌ها و کف‌ها

پس از عایق‌کاری دیوارها به عنوان اصلی‌ترین پوششی که ساختمان را در معرض هوای خارج قرار می‌دهد، توجه به عایق‌کاری بام‌ها و کف‌ها به عنوان سطوح موثر در انتقال حرارت ساختمان‌ها ضروری می‌باشد. جدول ۲ نتایج ناشی از توجه به عایق‌کاری حرارتی ساختمان به عنوان اولین راهکار موثر در کاهش میزان مصرف انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- اثرعایق‌کاری دیوار، بام وکف بر مصرف انرژی گرمایشی ساختمان

نوع پوشش ساختمان	B	F	G	H
انرژی مصرفی (گیگاژول)	۵۲۸/۰۴	۳۶۷/۶۴	۳۵۲/۲۶	۳۳۱/۲۶
درصد صرفه‌جویی	-	۳۰	۳۳	۳۷

مقایسه نتایج شبیه سازی ارائه شده در جداول ۱ و ۲ بر این مطلب تاکید دارند که با عایق‌کاری حرارتی بام‌ها و کف‌ها علاوه بر عایق‌کاری حرارتی دیوارها می‌توان در حداقل ۳۰٪ میزان مصرف انرژی

را کاهش داد. لازم بـذکر اسـت از آنجـا کـه طبقـه اول ایـن سـاختمان بـر روی پارکینـگ قـرار دارد، عایق‌کاری کف تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی گرمایشی این ساختمان دارد.

۲- نفوذ هوا

به منظور بررسی اثر نفوذ هوا در انرژی مصرفی پوشش ساختمانی B (بدون استفاده از عـایق حرارتـی) در چهار وضعیت درزبندی زیاد، متوسط، کم و بدون نفوذ شبیه‌سازی شده‌اند.

درزبندی زیاد شامل ساختمان‌هایی است که قدیمی هستند و درزبندی مناسبی ندارند. وضعیت درزبندی متوسط نشان دهنده حالتی است که ساختمان درزبندی متوسطی دارد. ساختمان‌های جدید که درها و پنجره‌های آنها خوب درزبندی شده‌اند در گروه درزبندی کم قرار می‌گیرند و وضعیت بدون نفوذ نشان دهنده حالتی است که درزبندی ساختمان ایده‌آل می‌باشد و هیچ راهی برای نفوذ هوا به داخل ساختمان وجود ندارد. لازم بذکر است که این حالت تنها برای نشان دادن بهتر تاثیر نفوذ هوا بر میزان مصرف انرژی در نظر گرفته شده است و در عمل نمی‌توان چنین حالتی را برای ساختمان‌های موجود در کشور در نظر گرفت. جدول ۳ نتایج بدست آمده از تاثیر میزان نفوذ هوا بر مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را نشان می‌دهد.

جدول ۳- اثر میزان نفوذ هوا بر مصرف انرژی گرمایشی ساختمان

وضعیت نفوذ هوا	انرژی مصرفی (گیگاژول)	درصد صرفه‌جویی
زیاد	۵۸۲/۳۲	-
متوسط	۵۲۸/۰۴	۹
کم	۴۸۱/۱۵	۱۷
بدون نفوذ هوا	۴۴۴/۰۳	۲۴

با توجه به رابطه نفوذ هوا با مصرف انرژی گرمایشی، درزگیری درها و پنجره‌ها، نصب فنر بر روی درها، پر کردن منافذ و شکاف‌ها، مسدود کردن نورگیرهای سقفی، نصب هواکش بـا دریچـه خودکـار، نصـب دریچه یا درپوش بر دودکش، بستن کانـال‌هـای پشـت بـام مـی‌تواننـد بـه عنـوان راهکارهـای عملـی جلوگیری از نفوذ هوا به داخل و کاهش انرژی مصرفی ساختمان مورد استفاده قرار گیرند.

۳- ظرفیت سیستم

انتخاب درست ظرفیت سیستم در کاهش مصرف انرژی گرمایشی تاثیر بسزایی دارد و می‌توان گفت یکی از موارد مهم دیگری که در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی گرمایشی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است انتخاب صحیح ظرفیت سیستم گرمایشی ساختمان می‌باشد. بمنظور مشاهده تاثیر ظرفیت سیستم در میزان مصرف انرژی گرمایشی در مورد سیستم حرارت مرکزی نیز از مفهومی بنام ضریب ظرفیت در جداول استفاده شده، که حاصل تقسیم حداکثر توان ایجاد حرارت توسط سیستمبه حداکثر اتلاف حرارتی ساختمان می باشد. در این خصوص، چند ظرفیت مختلف برای سیستم حرارت مرکزی در نظر گرفته شده و شبیه‌سازی بر پایه این ظرفیت‌ها صورت گرفت که نتایج آنها در جدول ۴

ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، با صحیح انتخاب نمودن ظرفیت سیستم، انرژی کمتری مصرف می‌شود (علاوه بر اینکه هزینه اولیه کاهش پیدا می‌کند). حداقل دمای فضا و تعداد ساعات سرد که در این جدول آمده است در تشخیص این که آیا ظرفیت انتخاب شده می‌تواند پاسخگوی نیاز حرارتی ساختمان باشد یا خیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۴- اثر ظرفیت سیستم بر انرژی مصرفی

ضریب ظرفیت سیستم	انرژی مصرفی (گیگاژول)	ساعات سرد	حداقل دمای فضا
۰/۸	۳۵۲/۷۵	۲۲	۱۶/۴۸
۱	۳۹۶/۳۸	۰	۱۹/۵۸
۱/۲	۴۲۳/۶۶	۰	۱۹/۹۵
۱/۵	۴۷۲/۹۸	۰	۱۹/۹۸
۱/۸	۴۹۲/۹۱	۰	۱۹/۶

بحث دیگری که در مورد سیستم‌های حرارت مرکزی مطرح است، تاثیر متقابل ظرفیت سیستم حرارت مرکزی و ظرفیت رادیاتورها می‌باشد. این مورد در جدول ۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۵- تاثیر متقابل ظرفیت سیستم حرارت مرکزی و ظرفیت رادیاتورها
(ظرفیت سیستم حرارت مرکزی ۱)

ضریب ظرفیت رادیاتور	انرژی مصرفی (گیگاژول)	ساعات سرد	حداقل دمای فضا
۰/۸	۳۳۱/۱۵	۲۵	۱۶/۲۳
۱	۳۷۴/۷۸	۰	۱۹/۴۲
۱/۲	۳۹۶/۳۸	۰	۱۹/۵۴
۱/۵	۴۲۷/۷۱	۰	۱۹/۸۰
۱/۸	۴۶۵/۳۱	۰	۱۹/۳۱
۲/۲	۴۷۳/۶۶	۰	۱۹/۶۵

۴- حالات کنترل رادیاتور

بمنظور کنترل وضعیت رادیاتورها، تعداد وضعیت قابل تصور برای شیر رادیاتورها به عنوان کنترلرهای رادیاتور مورد بررسی قرار می‌گیرد. حالت کنترل ۱ نشان دهنده وضعیتی است که رادیاتور تنها دو حالت تغییر می کند، یا کاملا باز است یا کاملا بسته. حالت کنترل ۲ به معنای این است که رادیاتور می‌تواند در سه حالت کاملا باز، نیمه‌باز و کاملا بسته عمل نماید. حالات کنترل بعدی، که بین وضعیت کاملا باز و کاملا بسته قرار می‌گیرند این دامنه را به حالات بیشتری تقسیم بندی می کنند. جدول ۶ تعداد حالات کنترل رادیاتور در میزان مصرف انرژی گرمایشی را نشان می‌دهد.

جدول ۶- تعداد حالات کنترل رادیاتور بر میزان مصرف انرژی گرمایشی

تعداد حالات کنترل رادیاتور	انرژی مصرفی (گیگاژول)
۱	۵۷۸/۹۲
۲	۵۵۹/۰۳
۳	۵۴۱/۹۰
۴	۵۳۵/۶۴
۵	۵۲۸/۰۴

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله محورهای اصلی بحث دو موضوع مدل‌سازی ساختمان و بهینه‌سازی انرژی بود. در ابتدا با استفاده از روش تدوین‌شده در این مقاله، شبیه‌سازی مصرف انرژی یک ساختمان با سیستم حرارت مرکزی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از برنامه تدوین‌شده، پارامترهای مختلف تغییر داده شده و عوامل موثر بر صرفه‌جویی انرژی شناسایی شدند. این عوامل عبارتند از: عایق‌کاری پوسته‌های ساختمان، درزبندی ساختمان، انتخاب ظرفیت مناسب برای سیستم حرارت مرکزی و نوع کنترل سیستم. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که در ساختمان‌ها با صرف هزینه‌های نسبتا کم می‌توان گام بزرگی در صرفه‌جویی انرژی برداشت.

مراجع

1- Al-Homoud, M.S., "Computer-Aided Building Energy Analysis Techniques", Building and Enviroment, 36, pp. 421-433, 2001.

2- Pegues, J., "The Benefit of 8760 Hour-by-Hour Building Energy Analysis", White papers, Carrier Co.

3- Hong, T., Chou, S.K., and Bony, T.Y., "A Design Day for Building Load and Energy Estimation", Department of Mechanical and Production Engineering, National University of Singapore.

4- Bulut, H., Buyukalka, O., Yilmaz, T., "Bin Weather Data for Turkey, Applied Energy", 70, pp. 131-155, 2001.

5- ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Inc, Atlanta, 1997.

6- McQuiston, F.C., and Spitler, J.D., "Cooling and Heating Load calculation Manual", ASHRAE, 1992.

7- Martin, P.L., and Oughton, D.R., "Heating and Air-conditioning of Buildings", Butterworths, 1989.