تحلیل ترمواکونومیکی راهکارهای کاهش هدرروی انرژی در ساختمانهای کشور

فرشید باقری، وهاب مکاری‌زاده، آلبرت کوچاریان

پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، گروه انرژی و مدیریت مصرف

تهران، ایران

واژه‌های کلیدی: فرصتهای صرفه‌جویی انرژی، سیستمهای گرمایش و سرمایش، دوره بازگشت سرمایه، ساختمان

چکیده

مقاله حاضر اختصاص به بررسی و شبیه‌سازی راهکارهای کاهش هدرروی انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن در سیستمهای گرمایش و سرمایش ساختمان دارد. بدلیل سهم بسیار بالای این سیستمها از کل مصرف انرژی ساختمان، در این تحقیق ارزیابی میزان اثربخشی نمونه‌هایی از فرصتهای صرفه‌جویی مصرف انرژی در دو تیپ مرسوم از ساختمانهای کشور توسط یک ابزار محاسباتی جامع صورت پذیرفته است. نرم‌افزار مورد استفاده دارای قابلیتهایی چون مدلسازی ساختمانهای با کاربری مسکونی و غیرمسکونی در شرایط مختلف آب و هوایی کشور، محاسبه بارهای ساعتی سرمایشی و گرمایشی، تعیین ظرفیت و انتخاب تجهیزات سیستمهای تهویه مطبوع از بانک اطلاعاتی، محاسبه مصرف انرژی به صورت ساعت به ساعت، اعمال راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی و ارزیابی این راهکارها از دیدگاه بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد. تحلیل اقتصادی صورت گرفته، بر اساس پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه با لحاظ کلیه هزینه‌های سرمایه‌ای موردنیاز و عواید ناشی از اعمال راهکار صرفه‌جویی با در نظر داشتن نرخ تورم حاملهای انرژی، بهره پول، عمر مفید تجهیزات و ارزش اسقاطی آنها بوده و نشان‌دهنده میزان اثربخشی اعمال یک راهکار در کنار هزینه‌های موردنیاز آن می‌باشد. نتایج حاصل از این تحلیل نشان‌دهنده کارایی مناسبتر راهکارهایی نظیر عایقکاری جداره‌های خارجی ساختمان، جایگزینی پنجره‌های چندجداره با پنجره‌های ساده، استفاده از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ یا بویلر حرارت مرکزی و عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات گرمایش و سرمایش می‌باشد.

۱- مقدمه

روند رو به رشد مصرف انرژی در کشور پهناور ایران، لزوم برنامه‌ریزی کارآمد را در زمینه مدیریت مصرف به عنوان مناسبترین راه‌حل جلوگیری از بروز بحران به خوبی تبیین می‌نماید. در میان بخشهای مختلف مصرف‌کننده حاملهای انرژی، ساختمانها به عنوان مهمترین بخش از لحاظ میزان مصرف، اتلافات و پتانسیل صرفه‌جویی موجود، همواره مورد توجه بوده‌اند. تدوین مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران با هدف برآورده نمودن حداقل استانداردهای موردنیاز در

راستای بهره‌وری انرژی ساختمانهای کشور یکی از اقدامات مهم در این زمینه بوده است.

فرصتهای صرفه‌جویی انرژی[1] عبارتند از مجموعه اقداماتی که در راستای کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عایقکاری جداره‌های ساختمان و کانالها و لوله‌های تاسیسات، استفاده از شیشه‌های چند جداره بجای شیشه‌های تک جداره، نمونه‌هایی از فرصتهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان می‌باشند [۱]. این فرصتها با توجه به هزینه‌های اولیه موردنیاز و عواید ناشی از اعمالشان، قابل مقایسه می‌باشند. بر این اساس به منظور ارزیابی این راهکارها نیاز به تحلیل همه‌جانبه اقتصادی با درنظر داشتن همزمان هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عواید ناشی از کاهش مصرف انرژی، عمر مفید تجهیزات و ارزش اسقاطی آنها در کنار نرخ تورم و بهره پول سرمایه‌گذاری شده خواهد بود [٤-۲].

به منظور محاسبه میزان کاهش مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی فرصتهای صرفه‌جویی بایستی محاسبه بارهای ساعتی سرمایشی و گرمایشی ساختمان پس از اعمال این فرصتها مجددا صورت گرفته، ظرفیت جدید اجزای سیستمهای سرمایش و گرمایش تعیین و محاسبه مصرف انرژی آنها به انجام برسد. سپس هزینه‌های اولیه و عواید ناشی از اعمال راهکارها با درنظر داشتن نرخهای تورم و بهره پول در قالب پارامتر اقتصادی دوره بازگشت سرمایه قابل ارائه خواهند بود. بدین منظور نیاز به نرم‌افزاری جامع جهت مدلسازی ساختمان، انجام محاسبات بارهای سرمایشی و گرمایشی ساعتی، مصرف انرژی کلیه بخشهای ساختمان به صورت ساعت به ساعت، اعمال فرصتهای صرفه‌جویی مورد نظر و تحلیل نتایج آنها از دیدگاه اقتصادی می‌باشد. بر این اساس در این تحلیل از نرم‌افزاری جامع با قابلیتهای معرفی‌شده استفاده شده است[۲و۳].

در این مقاله برخی راهکارهای کاهش مصرف انرژی سیستمهای سرمایش و گرمایش ساختمان مورد بررسی قرار خواهند گرفت. همچنین دو تیپ مرسوم از ساختمانهای مسکونی و غیرمسکونی کشور بوسیله نرم‌افزار "بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان" شبیه‌سازی و نتایج اعمال تعدادی از راهکارهای صرفه‌جویی بر آنها ارائه خواهند شد. در نهایت پتانسیل صرفه‌جویی قابل حصول از طریق پیاده‌سازی نمونه‌هایی از این راهکارها در ساختمانهای سطح کشور مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲- راهکارهای افزایش بهره‌وری سرمایشی و گرمایشی ساختمان

بررسیها نشان می‌دهند که برخی از راهکارهای مرسوم و مناسب جهت افزایش بهره‌وری ساختمان از دیدگاه مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی عبارتند از [۱، ۲، ۳و ۵]:

۱. عایقکاری جداره‌های خارجی
۲. عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات گرمایش و سرمایش
۳. بکارگیری شیشه‌های چندجداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده
٤. درزگیری درب‌ها و پنجره‌ها
۵. سفید کردن جداره‌های خارجی ساختمان
٦. نصب سایه‌بانهای خارجی بر روی پنجره‌ها
۷. کاهش سطح پنجره‌های ساختمان
۸. کاهش دمای آسایش زمستانی و افزایش دمای آسایش تابستانی
۹. استفاده از اکونومایزر و یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی برای بازیافت حرارت گازهای خروجی از آن
۱۰. استفاده از کمپرسور سرعت متغیر در چیلرهای سانتریفوژ
۱۱. استفاده از فنهای سرعت متغیر جهت تامین هوا
۱۲. استفاده از چیلرهای جذبی بجای چیلرهای تراکمی
۱۳. استفاده از پنکه بجای سیستم سرمایش در موارد ممکن
۱٤. تهویه فضاهای زیرشیروانی

لازم به ذکر است که برخی راهکارها نظیر کاهش سطح پنجره‌های ساختمان فقط در ساختمانهای ساخته‌نشده قابل

---

1 - Energy Conservation Opportunities

اعمال بوده و پیاده‌سازی آنها در ساختمانهای ساخته‌شده کاملا غیرمنطقی می‌باشد.

۲-۱- عایقکاری جداره‌های خارجی ساختمان

بار سرمایشی یک جداره بدون عایق بصورت زیر محاسبه می‌شود [۵و۶]:

$$Q = U_1.A.CLTD_1 \qquad (۱)$$

که در آن U_1 ضریب انتقال حرارت جداره بدون عایق، A مساحت جداره و $CLTD_1$ اختلاف دمای بارسرمایشی آن است و در برگیرنده همزمان اثرات هدایتی و تابشی می‌باشد. با فرض ثابت بودن A ، اگر جدار عایق کاری شود:

$$Q = U_2.A.CLTD_2 \qquad (۲)$$

که در آن U_2 ضریب انتقال حرارت جدار بعد از عایق‌کاری و $CLTD_2$ اختلاف دمای بار سرمایشی دیوار بعد از عایق‌کاری آن می‌باشد. از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_2 = \frac{K.U_1}{K + L.U_1} \qquad (۳)$$

که در آن K ضریب هدایت حرارتی و L ضخامت عایق می‌باشند. لذا کاهش بار سرمایشی جداره نسبت به حالت قبل عبارت خواهد بود از:

$$\frac{K}{K + L \times U_1} \times 100 \times \frac{CLTD_2}{CLTD_1} \qquad (٤)$$

بنابراین پایین بودن ضریب هدایت حرارتی عایق و یا بالا بودن ضخامت آن باعث کاهش بار خواهد شد. همچنین بار گرمایشی یک جداره بدون عایق بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = U_1 . A . \Delta T \qquad (۵)$$

که در آن U_1 ضریب انتقال حرارت جدار بدون عایق، A مساحت جدار و ΔT اختلاف دمای طرفین جدار است که در برگیرنده اثرات هدایتی می‌باشد. مشابه با بارهای سرمایشی پایین بودن ضریب هدایت حرارتی عایق و یا بالا بودن ضخامت آن باعث کاهش بارهای گرمایشی خواهد گردید.

۲-۲- عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات گرمایش و سرمایش

همواره بار ناخواسته‌ای از طریق کانالها و لوله‌های تاسیسات بر سیستمهای سرمایش و گرمایش تحمیل می‌گردد. این بار شامل بار حاصل از نشت هوا و انتقال حرارت میان جداره‌های کانالها و یا لوله‌های سرد و گرم تاسیسات سرمایش و گرمایش با محیط اطراف می‌باشد. مقدار متوسط این بار در حالتی که کانالها و لوله‌ها به خوبی درزبندی و عایق‌کاری نشده باشند در حدود ۱۰-۵ درصد از بار کل ساختمان است. با عایق‌بندی و درزگیری مناسب کانالها و لوله‌ها، این سهم به حدود ۲ درصد کاهش می‌یابد [۱، ۵ و ٦].

۲-۳- بکارگیری شیشه‌های چندجداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده

بکارگیری شیشه‌های چند جداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده به دو طریق موجب کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی می‌شود:

۲-۳-۱- کاهش انتقال حرارت هدایتی

بار سرمایشی یا گرمایشی هدایتی از پنجره بصورت زیر محاسبه می‌شود [۵و٦]:

$$Q = U \times A \times \Delta T \qquad (٦)$$

که در آن U ضریب انتقال حرارت شیشه، A مساحت شیشه و ΔT در فصل زمستان اختلاف دمای داخل و بیرون و در فصل تابستان اختلاف دمای بار سرمایشی (CLTD) می‌باشد. مقایسه پنجره‌های ساده و چند جداره نشان می‌دهد که یک پنجره ساده با قاب فلزی و بدون پوشش دارای ضریب انتقال حرارت $U = ٦/٢٥ \ [W/m^2.^oC]$ می‌باشد؛ در حالیکه یک پنجره دو جداره با فاصله هوایی ۳/۱٦ اینچ و قاب فلزی دارای ضریب انتقال حرارت $U = ٤/٢٢ \ [W/m^2.^oC]$ و یک پنجره سه

جداره با فاصله هوایی ۱/٤ اینچ و قاب فلزی دارای ضریب انتقال حرارت $U = ۲/٦٦$ $[W/m^2.^oC]$ می‌باشند.

۲-۳-۲- کاهش انتقال حرارت تابشی از طریق شیشه

این کاهش انتقال حرارت فقط مربوط به بارهای سرمایشی است. بار سرمایشی تابشی پنجره‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید [٥و٦]:

$$Q_{glass,rad} = MSHG \times CLF \times A \times SC_I \times SC_E \qquad (۷)$$

که در آن MSHG ماکزیمم گرمای اکتسابی از خورشید[1] بوده و برحسب عرض جغرافیایی شهر و ماه مورد نظر از جداولی قابل استخراج است. CLF فاکتور بار سرمایشی[2] بوده و در هر ساعت از شبانه‌روز از جداول مربوطه استخراج می‌شود. A مساحت پنجره می‌باشد. SCI ضریب سایه داخلی[3] و SCE ضریب سایه خارجی[4] می‌باشند. استفاده از شیشه‌های چندجداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده موجب کاهش ضریب سایه داخلی شده و بدین ترتیب بار سرمایشی را کاهش می‌دهد.

۲-٤- درزگیری درب و پنجره‌ها

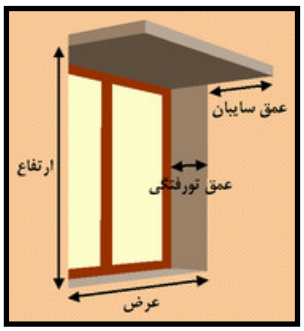
بار سرمایشی یا گرمایشی حاصل از نفوذ طبیعی هوا از رابطه زیر محاسبه می‌شود [٦]:

$$Q_{inf.} = 1.08 \times cfm_{inf.} \times \Delta T \qquad (۸)$$

که در آن Q_{inf} بار سرمایشی یا گرمایشی نفوذ طبیعی هوا، ΔT اختلاف دمای هوای بیرون و دمای داخل و cfm_{inf} میزان هوای نفوذی از طریق درز درب و پنجره برحسب فوت مکعب در دقیقه می‌باشند. اطلاعات موجود در جداول نفوذ هوا نشان می‌دهد که اگر درب و پنجره‌ها بطور مناسب درزبندی نشوند مقدار هوای نفوذی بزرگ و در نتیجه بار سرمایشی و گرمایشی ناشی از آن زیاد خواهد بود. لذا با درزگیری مناسب درب و پنجره‌ها میزان نفوذ و در نتیجه بارهای ناشی از آن کاهش خواهند یافت.

۲-٥- نصب سایه‌بانهای خارجی بر روی پنجره‌ها

سایه‌بان خارجی ممکن است بصورت سایه‌بان بالایی[5] و یا سایه‌بانهای چپ و راست یک پنجره و یا ترکیبی از همه آنها بر روی دیوار نصب گردیده و مانع از ورود تمام یا بخشی از تشعشعات خورشیدی به داخل فضا گردد. بر اساس عمق برآمدگی و فاصله یک سایه‌بان از لبه پنجره، عمق تورفتگی و جهت جغرافیایی پنجره و زاویه میل خورشیدی (وابسته به زمان) محاسبه سطح تحت سایه شیشه امکانپذیر گردیده و ضریب سایه خارجی پنجره مشخص می‌گردد. در نرم‌افزار مورد استفاده، تمامی اثرات با توجه به عرض جغرافیایی محل، جهت جغرافیایی پنجره و مشخصات هندسی ذکر شده لحاظ گردیده و برای هر ساعت، سطح تحت سایه پنجره و در نتیجه ضریب سایه مربوطه محاسبه می‌گردند. در شکل ۱ مشخصات مربوط به یک Overhangh قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱: سایه‌بان خارجی بالای پنجره

۲-٦- کاهش سطح پنجره‌های ساختمان

کاهش سطح پنجره‌ها بدلیل انتقال حرارت بالاتر آنها نسبت به دیوارها فرصت مناسبی در راستای صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان می‌باشد. بیشتر بودن انتقال حرارت در پنجره‌ها نسبت به دیوارها به دو دلیل: ۱) بالاتر بودن ضریب انتقال حرارت هدایتی آنها ۲) عبور تشعشعات خورشیدی در فصول

---

1. Maximum Solar Heat Gain (MSHG)
2. Cooling Load Factor (CLF)
3. Internal Shading Coefficient
4. External Shading Coefficient

5 - Overhang

گرم سال می‌باشد. از آنجاییکه میزان انتقال حرارت سطوح مختلف (پنجره‌ها و دیوارها) با مساحتشان رابطه مستقیم دارد، کاهش سطح پنجره‌ها و جایگزینی آنها با دیوار (تا حد امکان) منجر به کاهش تبادل حرارت هدایتی و تشعشعی با محیط و در نتیجه کاهش بارهای حرارتی و برودتی خواهد گردید.

۲-۷- کاهش دمای آسایش زمستانی و افزایش دمای آسایش تابستانی

بار سرمایشی یا گرمایشی جداره‌ها برابر است با [٦]:

$$Q = U \times A \times \Delta t \qquad (۹)$$

که در آن U ضریب انتقال حرارت، A مساحت و ΔT اختلاف دمای طرفین جدار در زمستان و $CLTD$ در تابستان می‌باشد. در محاسبه ΔT، دمای داخل ساختمان موثر بوده و با تغییر آن بارهای گرمایشی و سرمایشی دچار تغییر می‌گردند. بر طبق استانداردهای انجمن مهندسان تاسیسات آمریکا[1]، با حفظ رطوبت نسبی در حدود ٤٥ تا ٥٠ درصد می‌توان دمای فضای داخل را در فصل تابستان روی F ۷۸ (^{o}C ۲۵/۵) و در فصل زمستان روی F ٦٥ (^{o}C ۱۸/۳) تنظیم کرد [٦]. با تنظیم دمای اتاق روی دماهای فوق در فصول زمستان و تابستان مقدار ΔT کاهش یافته و از بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان بطور قابل ملاحظه‌ای کاسته خواهد شد. لازم به ذکر است که اعمال این فرصتها بدون هزینه می‌باشد.

۲-۸- استفاده از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن برای بازیافت حرارت دفعی از گازهای خروجی دیگ حرارت مرکزی

نصب اکونومایزر برای بازیافت حرارت دودهای خروجی از بویلر یکی از روشهای بسیار مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد[۱].در اینجا منظور از اکونومایزر، یک مبدل حرارتی است که آب ورودی به بویلر را توسط گازهای خروجی از آن پیش‌گرم می‌نماید. پتانسیل صرفه‌جویی استفاده از اکونومایزر براساس راندمان یا به عبارت بهتر تاثیرپذیری[2] آن، در محدوده ۲ تا ۱۰ درصد از کل سوخت مصرفی بویلر می‌باشد. یکی دیگر از روشهای مناسب برای بازیافت انرژی، نصب یک مبدل حرارتی به منظور استفاده از حرارت دفعی گازهای خروجی از بویلر برای پیش‌گرم کردن هوای ورودی به بویلر می‌باشد[۱و۲]. یکی از مزیت‌های این بازیافت حرارتی نسبت به استفاده از اکونومایزر (برای پیش‌گرم کردن آب ورودی)، اینست که هوای ورودی به بویلر که از فضای بیرون تامین می‌شود، بسیار سردتر از آب ورودی به بویلر می‌باشد و لذا میزان بازیافت حرارت در این حالت بیشتر از اکونومایزر می‌باشد.

درصد صرفه‌جویی استفاده از پیش‌گرم‌کن هوا زمانیکه از اکونومایزر نیز استفاده شده باشد در محدوده ۱ تا ٤ درصد از هزینه سوخت مصرفی بوده و هنگامیکه از اکونومایزر استفاده نشده باشد به بیش از ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

۲-۹- استفاده از کمپرسور سرعت متغیر در چیلرهای سانتریفوژ

چیلرهای سانتریفوژ زمانی که در نزدیکی بار کامل کار می‌کنند، پرراندمان‌ترین نوع چیلرها هستند. اما زمانیکه در بارهای کم کار می‌کنند راندمانشان به شدت افت می‌کند. علت این پدیده، ویژگیهای عملکردی کمپرسورهای سانتریفوژ می‌باشد. بدین سبب اگر در این نوع چیلرها از کمپرسورهای با دور متغیر استفاده شود، مصرف انرژی آنها در بارهای غیرنامی بهینه گردیده و در حدود ۱۰ تا ٤۰ درصد در مصرف انرژی کل چیلر صرفه‌جویی حاصل می‌شود[۱].

۲-۱۰- استفاده از فنهای سرعت متغیر جهت تامین هوا

یکی از ساده‌ترین و کارآمدترین روشهای صرفه‌جویی انرژی استفاده از فن‌هایی است که موتور آنها قابلیت کارکرد در سرعتهای مختلف را دارد. (البته پره‌های خود فن نیز ممکن است قابلیت تغییر زاویه را داشته باشند). پتانسیل صرفه‌جویی

---

1. ASHRAE

2. Effectiveness

این بخش در محدوده۵۰ تا ۸۵ درصد از انرژی مصرفی فن می‌باشد که مقدار بسیار بزرگی است. در سیستم‌هاییکه ۱۰۰ درصد هوای تازه بیرون را وارد فضا می‌کنند محدوده مذکور به ۲۵ تا ٤٥ درصد تغییر می‌یابد[۱].

۲-۱۱- استفاده از چیلرهای جذبی بجای چیلرهای تراکمی

هرچند که ضریب عملکرد چیلرهای جذبی پایینتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد اما به دلیل اینکه سوخت مصرفی آنها فسیلی می‌باشد هزینه مصرف انرژی پایینتری داشته و با توجه به سرمایه‌های بسیار زیاد موردنیاز جهت تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، از دیدگاه تولیدکنندگان انرژی نیز بسیار مفید می‌باشند. لذا جایگزینی چیلرهای تراکمی بوسیله چیلرهای جذبی یکی از راهکارهای مناسب مدیریت انرژی در ساختمان از دیدگاه تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی می‌باشد [۲].

۲-۱۲- سفید کردن جداره‌های خارجی ساختمان

تاثیر اختلاف دمای بار سرمایشی (CLTD) بر بار سرمایشی ساختمان در رابطه (۱) کاملا مشهود می‌باشد. رنگ خارجی جداره‌ها مستقیما بر میزان CLTD تاثیر دارد؛ به گونه‌ایکه هر چقدر قابلیت جذب تشعشات خورشیدی توسط این جداره‌ها بدلیل روشنتر بودن این رنگ کاهش یابد مقدار CLTD آن جدار و در نتیجه بار سرمایشی مربوطه کاهش می‌یابند [٦].

۲-۱۳- استفاده از پنکه بجای سیستم سرمایش در موارد ممکن

یکی از کارآمدترین روشهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده نکردن از تجهیزات سرمایش می‌باشد. در برخی از شرایط آب و هوایی فصلی و یا برخی ساعات شبانه‌روز، وضعیت دما و رطوبت به گونه‌ای است که می‌توان با باز کردن پنجره‌ها و استفاده از یک پنکه، شرایط نسبتا مطبوعی را برقرار نمود. بنابراین هرگز لزومی به استفاده از تجهیزات پرمصرف سرمایش نمی‌باشد. این کار باعث صرفه‌جویی فوق‌العاده‌ای در مصرف انرژی مربوط به سیستم سرمایش می‌گردد[۲و ۳].

۲-۱٤- تهویه فضاهای زیرشیروانی

در بسیاری از ساختمان‌ها فضاهایی میان بام اصلی ساختمان و سقف طبقه آخر قرار دارند. در فصل تابستان در اثر تابش خورشیدی بر بام ساختمان هوای داخل این فضاها گرم می‌شود و بواسطه انتقال حرارت هدایتی، بار برودتی بر ساختمان تحمیل می‌گردد. علاوه بر آن، ممکن است بخشی از کانال‌کشی ساختمان از داخل این فضا عبور کرده باشد و گرم بودن آن باعث اتلافات قابل توجه برودتی گردد. لذا در صورتیکه این هوا مداوما عوض شود بار سرمایشی مربوطه کاهش خواهد یافت. اگر ساختار ساختمان به گونه‌ای باشد که این تهویه به صورت آزاد صورت گیرد، بدون صرف انرژی نتیجه مطلوبی حاصل می‌گردد، اما در صورت نیاز می‌توان از یک فن برای تهویه کارآمدتر بهره جست. با تهویه فضاهای زیر شیروانی بسته به میزان مساحت بام و حجم این فضا می‌توان معادل ۳۰ تا ۷۰ درصد از بار برودتی ناشی از وجود این فضا را کاهش داد و در مصرف انرژی سرمایشی صرفه‌جویی نمود [۱].

۳- متدولوژی تحلیل اقتصادی

بسیاری از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی با مشکل اساسی توجیه‌ناپذیری اقتصادی از دیدگاه مصرف‌کنندگان مواجه بوده و عامل اصلی عدم پیاده‌سازی آنها، هزینه‌های سرمایه‌گذاری موردنیاز می‌باشد. اما بررسی هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه جهت پیاده‌سازی یک طرح به تنهایی ناکافی بوده و بایستی مزایای آن نیز در طی دوره بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور نیاز است که بسیاری از پارامترهای مهم اقتصادی مانند نرخ تورم[1]، نرخ بهره یا تنزیل[2]، نرخ افزایش قیمت حاملهای انرژی، قیمت اسمی و طول عمر مفید اجزای سیستمها، هزینه حمل و نقل و نصب تجهیزات، هزینه تعمیرات و نگهداری و ارزش اسقاطی آنها در قالب یک پارامتر قابل ارزیابی ارائه گردیده و بوسیله آن اخذ تصمیم در پیاده‌سازی یا عدم پیاده‌سازی یک راهکار صورت پذیرد.

---

1 - Inflation Rate
2 - Interest Rate or Discount Rate

بررسی‌ها نشان می‌دهند که کاملترین و در عین حال ملموس‌ترین پارامتر اقتصادی جهت ارزیابی عواید اعمال یک فرصت صرفه‌جویی در مصرف انرژی که اثر پارامترهای اساسی ذکر شده فوق نیز در آن ملحوظ شده باشد، پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه[1] می‌باشد [۲، ۳ و٤]. در این حالت به منظور اخذ مقایسه معنی‌دار، تمامی مخارج یا هزینه‌ها و منافع یا درآمدها بایستی به صورت ارزشهای معادل روز یا اصطلاحاً ارزش فعلی[2] درآیند. برای این امر از نرخ بهره یا تنزیل در قالب رابطه (۱۰) استفاده می‌شود[٤] :

$$PW = \frac{1}{(1+d)^n}.FW \qquad (۱۰)$$

که در آن؛PW ارزش فعلی، d نرخ بهره سالانه، n تعداد سالها و FW ارزش آینده[3] مربوط به هزینه‌ها یا درآمدها می‌باشند. نرخ بهره یا نرخ تنزیل سالانه عبارتست از درصد کاهش ارزش پول سرمایه‌گذاری شده در مدت یک سال و غالباً بین ۸ تا ۱۲ درصد می‌باشد. در بررسی‌های جامع اقتصادی برای محاسبه ارزش فعلی هزینه‌ها یا درآمدها دو حالت وجود خواهند داشت. حالت نخست برای محاسبه ارزش فعلی پرداختهایی است که فقط یکبار صورت می‌گیرند (مانند هزینه تعویض یک شیشه ساده با شیشه سه جداره).

حالت دوم برای محاسبه ارزش فعلی پرداختهایی است که به دفعات صورت می‌گیرند (مانند هزینه‌های انرژی مصرفی). برای حالت اول، ارزش فعلی هزینه‌ای که قرار است پس از n سال و به صورت یکجا پرداخت شود از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$PW = Pr.Cr \qquad (۱۱)$$

که در آن Cr هزینه یکبار پرداخت و Pr ضریب ارزش فعلی یکبار پرداخت[4] می‌باشند:

$$Pr = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^n \qquad (۱۲)$$

در این رابطه i نرخ تورم می‌باشد. برای حالت دوم ارزش فعلی هزینه‌ای که قرار است به صورت سالانه طی n سال پرداخت شود از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد:

$$PW = Pa.Ca \qquad (۱۳)$$

که در آن Ca هزینه سالانه و Pa ضریب ارزش فعلی پرداخت سالانه[5] بوده و از رابطه (۱٤) محاسبه می‌گردد:

$$Pa = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)\left[\left(\frac{1+i}{1+d}\right)^n - 1\right] / \left(\frac{1+i}{1+d} - 1\right) \qquad (۱٤)$$

تحلیل اقتصادی بکار رفته در این مقاله بر اساس پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه و با محاسبه ارزش فعلی کلیه هزینه‌ها و عواید ناشی از اعمال راهکارهای صرفه‌جویی و درنظر داشتن عمر مفید و هزینه‌های مربوط به تعویض تجهیزات و ارزش اسقاطی آنها و نیز نرخهای تورم و بهره پول سرمایه‌گذاری شده، صورت پذیرفته است.

٤- معرفی ابزار محاسباتی بهینه‌سازی مصرف انرژی

همانطوریکه در مقدمه بدان اشاره شد، به منظور محاسبه اثرات اعمال فرصتهای صرفه‌جویی بر مصرف انرژی ساختمان و تحلیل اقتصادی آن، نیاز به انجام محاسبات طولانی و تکرارپذیر بوده که انجام آن بدون استفاده از امکانات نرم‌افزاری تقریبا غیرممکن است. لذا در این تحلیل از نرم‌افزاری با قابلیتهای زیر استفاده شده است[۲و۳]:

۱) مدلسازی معماری ساختمان به صورت کامل.
۲) تعیین پروفیلهای زمانی کارکرد بخشهای مختلف مصرف‌کننده انرژی در ساعات مختلف شبانه‌روز برای ماههای مختلف سال.
۳) انجام کلیه محاسبات سیستم روشنایی فضاها [۷].
٤) محاسبه بارهای سرمایشی ساعتی [۹].
۵) محاسبه بارهای گرمایشی [۹].

1 - Payback Period (PP)
2 - Present Worth (PW)
3 - Future Worth (FW)
4 - Single Payment Present Worth Factor
5 - Annual Payment Present Worth Factor

٦) تعیین ظرفیت سیستم تهویه مطبوع و انتخاب اجزای آن از بانک اطلاعاتی نرم‌افزار.
۷) محاسبه مصرف انرژی سالیانه سیستم سرمایشی به صورت ساعت به ساعت بر اساس روش موازنه بارهای گرمایی [۹].
۸) محاسبه مصرف انرژی سالیانه سیستم گرمایش بر اساس روش روز درجه[1] [۹].
۹) محاسبه مصرف انرژی سیستم روشنایی و کلیه تجهیزات خانگی، اداری و غیره به صورت ساعت به ساعت در طول سال.
۱۰) تعیین سیستمهای سرمایش و گرمایش بهینه از دیدگاه اقتصادی براساس پارامتر هزینه چرخه عمر سالیانه شده.
۱۱) اعمال فرصتهای صرفه‌جویی مختلف و تحلیل اقتصادی نتایج حاصل از آن با لحاظ نمودن کلیه پارامترهای سرمایه‌ای، جاری، نرخهای تورم و بهره پول در قالب پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه.
۱۲) ارائه گزارشهای تحلیلی مربوطه.

۵- صحت‌سنجی ابزار محاسباتی مورد استفاده

به منظور استفاده از هر ابزار محاسباتی بایستی ابتدا صحت و دقت محاسبات آن ارزیابی شود. صحت و دقت محاسبات مربوط به بارهای سرمایشی ساعتی و گرمایشی و تعیین ظرفیت اجزای سیستمهای تهویه مطبوع نرم‌افزار مورد استفاده در این تحلیل، با نرم‌افزار معتبر بین‌المللی HAP 4.0 (Carrier) محک زده شده و در مرجع [۲] موجود می‌باشند. این مقایسه بیانگر وجود حداکثر ۱۰-۲ درصد اختلاف در نتایج بارهای سرمایشی و گرمایشی و سیستمهای مربوطه برای مثالهای عملی می‌باشد.

همچنین صحت محاسبات مربوط به مصرف سالیانه انرژی و مقادیر ویژه آن بوسیله دو نمونه واقعی از ساختمانهای مسکونی آپارتمانی شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مربوطه در مرجع [۳] موجود می‌باشند. مقایسه نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار با مقادیر واقعی قبضهای برق و گاز این ساختمانها بیانگر تفاوت حداکثر ۷ درصدی در نتایج مربوطه می‌باشد. بر این اساس دقت محاسبات بخشهای مختلف این نرم‌افزار در حد کاملا مناسبی بوده و قابل استفاده در تحلیلهای مورد نظر این مقاله می‌باشند.

٦- انتخاب ساختمانهای نمونه

از آنجاییکه دیدگاه موردنظر در این تحلیل یک دیدگاه جامع می‌باشد، بایستی تیپهای مرسومی از ساختمانهای کشور مورد شبیه‌سازی قرار گیرند تا امکان تعمیم نتایج وجود داشته باشد. یکی از نکات قابل توجه در تحلیل فرصتهای صرفه‌جویی اینست که نوع کاربری ساختمان به دلیل تاثیر بر شرایط آسایش طرح داخل، ساعات کارکرد در شبانه‌روز، تیپ اجزای سازه‌ای و معماری و سیستمهای سرمایش و گرمایش مورد استفاده کاملا تاثیرگذار بر وضعیت مصرف انرژی موردنیاز سرمایش و گرمایش بوده و بایستی مدنظر قرار گیرد. بر این اساس در این مقاله یک تیپ مرسوم از ساختمانهای مسکونی و یک تیپ مرسوم از ساختمانهای غیرمسکونی کشور شبیه‌سازی و مورد تحلیل قرار خواهند گرفت.

ساختمان مسکونی مورد بررسی یک ساختمان آپارتمانی ٤ طبقه ۸ واحدی مستقر در شهر تهران با تعداد ۳۰ نفر ساکن و زیربنای کل ٦٩٦ مترمربع می‌باشد که ۲۰ درصد از روشنایی آن توسط لامپهای فلورسنت فشرده D-Type (کم‌مصرف) و ۸۰ درصد بوسیله لامپهای التهابی ٦۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ وات تامین می‌گردد. این ساختمان از تیپهای مرسوم جامعه آپارتمان‌نشین کشور می‌باشد [۳]. لازم به ذکر است که علت انتخاب شهر تهران به عنوان شهر مورد بررسی - اثر این انتخاب بر محاسبات بارهای سرمایشی و گرمایشی خواهد بود - شرایط آب و هوایی آن می‌باشد که هر ساختمان در آن نیازمند هر دو سیستم سرمایش و گرمایش خواهد بود و امکان بررسی همزمان اثرات ناشی از اعمال فرصتهای صرفه‌جویی بر هر دوی این سیستمها وجود خواهد داشت. نیازهای سرمایشی و گرمایشی واحدهای ساختمان مذکور به ترتیب بوسیله کولر

1- Heating Degree Days

آبی و گرمایش مرکزی با دیگ چدنی گازسوز به همراه رادیاتورهای فولادی برطرف می‌گردند. سازه این ساختمان بتنی و رنگ خارجی جداره‌های آن نیمه‌روشن می‌باشند. پنجره‌های مورد استفاده متشکل از شیشه‌های تک جداره ساده با قاب فلزی معمولی و درزبندی متوسط هستند.

ساختمان غیرمسکونی مورد بررسی، ساختمانی اداری مستقر در یکی از مراکز تحقیقاتی وزارت نیرو می‌باشد. این ساختمان یک ساختمان ۳ طبقه با تعداد ٤٨ دفتر کار و زیربنای کل ۱۳۸۰ مترمربع و تعداد ۹۰ نفر کارمند بوده و در شهر تهران قرار گرفته است. ۵ درصد از روشنایی این ساختمان با لامپهای فلورسنت فشرده D-Type (کم‌مصرف) و مابقی با لامپهای فلورسنت T10 ٤٠ واتی تامین می‌گردد. تمامی دفاتر کار مجهز به تعدادی کامپیوتر و بعضا پرینتر و اسکنر بوده و سیستمهای سرمایش و گرمایش مرکزی توام فن‌کویل و هواساز جهت برطرف نمودن نیازهای سرمایشی و گرمایشی این ساختمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سیستم مذکور از چیلرهای تراکمی آب‌خنک و دیگهای چدنی گازسوز جهت تامین سرمایش و گرمایش موردنیاز فضاها بهره‌گیری شده است. سازه این ساختمان بتنی و رنگ خارجی جداره‌های آن تیره می‌باشند. پنجره‌های مورد استفاده متشکل از شیشه‌های دو جداره ساده با قاب آلومینیومی و درزبندی مناسب هستند. مشخصات کامل و نقشه‌های این ساختمانها در مرجع [۳] ارائه گردیده‌اند. همانطوریکه پیشتر ذکر گردید، مقایسه نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار با مقادیر واقعی قبضهای برق و گاز مشترکین این ساختمانها بیانگر حداکثر تفاوت ۷ درصدی در نتایج مربوطه و در نتیجه قابلیت اطمینان بالای نتایج محاسبات نرم‌افزار می‌باشد.

۷- نتایج شبیه‌سازی ساختمانها و تحلیل اقتصادی بهره‌گیری از برخی راهکارهای بهینه‌سازی در سیستمهای گرمایش و سرمایش آنها

به منظور بررسی دقیق میزان کارآمدی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمانهای کشور، در این بخش نتایج شبیه‌سازی دو ساختمان مذکور و اعمال ٦ نمونه از راهکارهای صرفه‌جویی بر آنها، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این راهکارها براساس میزان اثربخشی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان و پارامتر جامع اقتصادی دوره بازگشت سرمایه مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. راهکارهای مورد بررسی عبارتند از: ۱) عایقکاری کلیه جداره‌های خارجی ساختمان ۲) عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات گرمایش و سرمایش ۳) بکارگیری شیشه‌های چندجداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده ٤) سفید کردن جداره‌های خارجی ساختمان ۵) نصب سایه‌بانهای خارجی بر روی پنجره‌ها و ٦) استفاده از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی برای بازیافت حرارت از گازهای خروجی آن. در اینجا با توجه به وضعیت سازه‌ای جداره‌های خارجی موجود در ساختمانهای مورد بررسی ۳ سانتیمتر عایق مرسوم فوم به جداره‌ها اضافه شده است. همچنین فرض شده که از عایق پشم شیشه مخصوص به ضخامت بهینه - برای هر لوله یا کانال- برای عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات استفاده شود.

پس از مدلسازی دو ساختمان معرفی شده، به منظور محاسبه پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه با درنظر داشتن اثرات کلیه پارامترهای معرفی شده فرضیاتی اعمال گردیدند:

۱. نرخ تورم ١٤٪ = i (بر اساس اطلاعات بانک مرکزی ایران).
۲. نرخ بهره پول ۱۲٪ = d .
۳. قیمت متوسط برق بخش خانگی با توجه به تعرفه‌های سال ٨٤ برابر با ١٥٤/٥ ریال بر کیلوواتساعت [۷و۸].
٤. قیمت متوسط گاز بخش خانگی و عمومی در سال ٨٤ به ترتیب برابر با ۸۰ و ۲۰۰ ریال بر مترمکعب [۷].

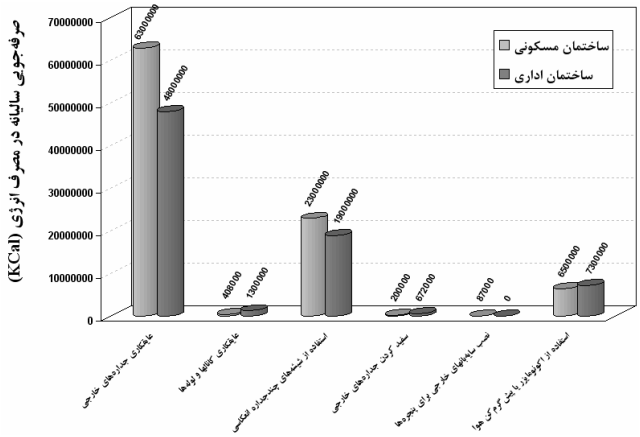
لازم به ذکر است که بدلیل نوسانات قیمت حامل برق و ارائه تعرفه‌های مختلف متغیر در سالهای ۸۵ و ٨٦ از سوی توانیر و مشخص نبودن مقادیر دقیق آن، در تحلیل اقتصادی صورت گرفته از قیمتهای مربوط به سال ٨٤ استفاده شده تا مقادیر هزینه‌ها و عواید ناشی از آنها واقعی و متناسب باشند. به همین دلیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیز بر اساس قیمتهای این سال

در محاسبات وارد شده‌اند تا تحلیل اقتصادی بصورت صحیح صورت پذیرد.

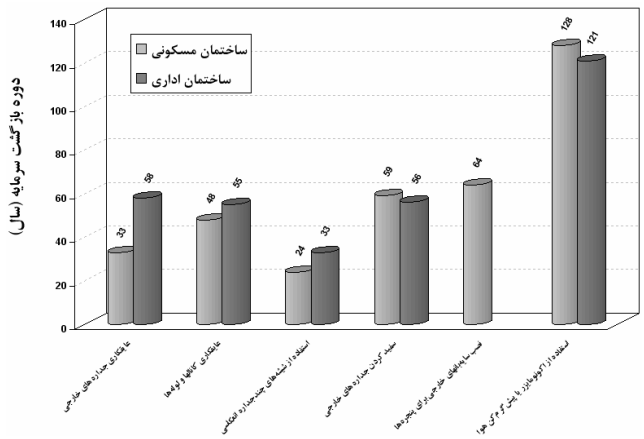
در نمودار شکل ۲ میزان صرفه‌جویی در مصرف سالیانه انرژی حاصل از اعمال فرصتهای مذکور در ساختمانهای مورد بررسی ارائه گردیده است. این کاهش مصرف دربرگیرنده هر دو حامل انرژی برق و گاز می‌گردد. همانطوریکه مشخص است بدلیل اختصاص بالاترین سهم از اتلافات حرارتی و برودتی ساختمان به جداره‌های خارجی آن، عایقکاری این جداره‌ها بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی را دارا می‌باشد. پس از آن، بهینه‌سازی وضعیت عملکرد پنجره‌ها از طریق جایگزینی شیشه‌هایشان با بهترین نوع موجود یعنی سه جداره انعکاسی - بدلیل اهمیتشان از دیدگاه اتلافات هدایتی و تشعشعی ساختمان در فصول گرم و سرد سال- دارای جایگاه ویژه‌ای در کاهش مصرف انرژی ساختمانهای مورد بررسی بوده است.

بازیافت حرارت گازهای حاصل از احتراق دیگ حرارت مرکزی از طریق بهره‌گیری از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به بویلر، عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات، سفید کردن جداره‌های خارجی و نصب سایه‌بان خارجی بر روی پنجره‌ها به ترتیب از اولویتهای بعدی در راستای کاهش مصرف انرژی سیستمهای گرمایش و سرمایش برخوردار خواهند بود. نکته قابل توجه دیگر در این نمودار اینست که بدلیل عمق تورفتگی مناسب در پنجره‌های ساختمان اداری مورد بررسی و وجود سایه‌بان خارجی در آن، تمام سطح شیشه‌های آن در سایه قرار داشته و نصب سایه‌بان خارجی بر روی آنها دیگر تاثیری جهت کاهش مصرف انرژی سیستم سرمایش نخواهد داشت. مقایسه ساختمانهای مسکونی و اداری مورد بررسی نشان می‌دهد که بدلیل ضخامت بیشتر جداره‌های خارجی و استفاده از شیشه‌های دوجداره در ساختمان اداری، پتانسیل کوچکتری برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی آن نسبت به ساختمان مسکونی وجود دارد. اما بدلیل ظرفیت بالاتر موتورخانه و لوله و کانال‌کشیهای مربوطه در ساختمان اداری، پتانسیل بالاتری در اعمال راهکارهایی نظیر استفاده از اکونومایزر و پیش‌گرم‌کن هوا یا عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات نسبت به ساختمان مسکونی وجود خواهد داشت. همچنین از آنجاییکه رنگ جداره‌های خارجی در ساختمان اداری تیره و در ساختمان مسکونی نیمه‌روشن می‌باشد و با توجه به ابعاد بزرگتر سطوح خارجی ساختمان اداری، صرفه‌جویی بیشتری در سفید کردن رنگ جداره‌های خارجی این ساختمان نسبت به ساختمان مسکونی حاصل خواهد گردید.

در نمودار شکل ۳ دوره بازگشت سرمایه موردنیاز جهت اعمال فرصتهای صرفه‌جویی ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که مشابه با توضیحات مربوط به شکل ۲، استفاده از سایه‌بان خارجی بر روی پنجره‌های ساختمان اداری تاثیری بر کاهش مصرف انرژی نداشته و به همین دلیل نتایج مربوطه در این نمودار ارائه نگردیده‌اند.



شکل ۲: میزان صرفه‌جویی سالیانه در مصرف



شکل ۳: دوره بازگشت سرمایه در

همانطوریکه در نمودار شکل ۳ مشخص است، استفاده از شیشه‌های چند جداره انعکاسی (در اینجا ۳ جداره) بجای شیشه‌های موجود در این ساختمانها، مناسبترین گزینه با در نظر گرفتن همزمان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و کاهش مصرف انرژی بوده است. بررسی این نمودار نشاندهنده دوره‌های بازگشت سرمایه بسیار طولانی برای فرصتهای مورد بررسی خصوصا بازیافت حرارتی از طریق بهره‌گیری از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی می‌باشد. علت این امر ارزان بودن حاملهای انرژی و پرهزینه بودن اعمال راهکارهای صرفه‌جویی در کشورمان می‌باشد. در صورتیکه قیمت حاملهای انرژی واقعی و بدون یارانه بوده و هزینه‌های اعمال این فرصتها بواسطه گسترش تولید تجهیزات موردنیازشان در داخل کشور و سرمایه‌گذاری گسترده بر روی آنها کاهش یابد، دوره‌های بازگشت سرمایه چندین برابر کوچکتر خواهند شد که در آنصورت پیاده‌سازی آنها از دیدگاه اقتصادی کاملا توجیه‌پذیر خواهد گردید. اما در حال حاضر دوره بازگشت سرمایه برخی از این راهکارها از عمر مفید ساختمان بالاتر بوده و از دیدگاه اقتصادی توجیه‌پذیر نخواهند بود.

نکته مهمی که در اینجا وجود دارد اینست که برخی از این راهکارها نظیر سفید کردن رنگ جداره‌های خارجی، برای ساختمانهای ساخته نشده بدون هزینه بوده - زیرا بجای استفاده از رنگهای تیره و سنگ نماهای غیر روشن می‌توان از رنگهای روشن استفاده نمود که تفاوت قیمت محسوسی ندارند - و رعایت آنها در ساختمان‌سازی بدون آنکه هزینه اضافی بر سیستم تحمیل نماید، باعث کاهش مصرف انرژی ساختمان خواهد گردید؛ در حالیکه برای ساختمانهای ساخته شده نیاز به صرف هزینه اضافی جهت اعمال آنها وجود خواهد داشت. بر این اساس استفاده از آنها در طراحی و اجرای سازه‌ای و معماری ساختمان توصیه می‌گردد.

مقایسه ساختمانهای اداری و مسکونی مورد بررسی نشان می‌دهد که با توجه به هزینه‌های اولیه اعمال راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و میزان صرفه‌جویی حاصله، در نهایت ممکن است با وجود صرفه‌جویی بالاتر در یکی از این دو ساختمان نسبت به دیگری، به دلیل هزینه‌های بسیار بالاتر اعمال فرصت در آن ساختمان دوره بازگشت سرمایه بزرگتری نتیجه گردد. عکس این موضوع نیز صادق می‌باشد.

در نهایت اولویت‌بندی این راهکارها از دیدگاه اقتصادی و برای مصرف‌کنندگان انرژی در ساختمانهای مختلف (مسکونی و غیرمسکونی) بصورت ۱) بکارگیری شیشه‌های چندجداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده ۲)عایقکاری کلیه جداره‌های خارجی ساختمان ۳) عایقکاری کانالها و لوله‌های تاسیسات گرمایش و سرمایش ٤) سفید کردن جداره‌های خارجی ساختمان ٥) نصب سایه‌بانهای خارجی بر روی پنجره‌ها و ٦) استفاده از اکونومایزر یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی برای بازیافت حرارت دفعی از گازهای خروجی از آن، خواهد بود.

۸- جمع‌بندی

در این مقاله برخی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان و چگونگی اثربخشی آنها مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور مطالعه میزان اثربخشی این راهکارها، دو ساختمان نمونه از تیپ مرسوم ساختمانهای مسکونی و غیرمسکونی کشور انتخاب و توسط یک ابزار محاسباتی بهینه‌سازی، شبیه‌سازی گردیدند. همچنین اثرات اعمال برخی فرصتهای صرفه‌جویی بر کاهش نیازهای گرمایشی و سرمایشی آنها مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل اقتصادی بر اساس پارامتر جامع دوره بازگشت سرمایه صورت پذیرفت.

بررسیها نشان دادند که عایقکاری جداره‌های خارجی ساختمان، استفاده از شیشه‌های چند جداره انعکاسی (در اینجا سه جداره) بجای شیشه‌های موجود و بهره‌گیری از اکونومایزرها و پیش‌گرم‌کن‌های هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان را ایجاد می‌نمایند. همچنین نتایج تحلیل اقتصادی راهکارهای موردنظر نشان داد که استفاده از شیشه‌های سه جداره انعکاسی بجای شیشه‌های موجود، عایقکاری جداره‌های خارجی

ساختمان و کانالها و لوله‌های تاسیسات دوره بازگشت سرمایه کوتاهتری نسبت به سایر راهکارهای بررسی شده دارند.

در مجموع نتایج نشان می‌دهند که بدلیل ارزان بودن حاملهای انرژی و بیش از حد گران بودن اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشورمان، دوره‌های بازگشت سرمایه نسبتا طولانی بوده و به همین دلیل است که سازندگان ساختمان تمایلی به بهره‌گیری از تکنیکهای مذکور ندارند. لذا در صورتیکه قیمت حاملهای انرژی و هزینه‌های اعمال راهکارهای بهینه‌سازی واقعی شوند، با توجه به عمر مفید ساختمان تمامی این راهکارها از دیدگاه اقتصادی توجیه‌پذیر بوده و مورد اجرا قرار خواهند گرفت.

در نهایت می‌توان از دیدگاه ملی راهکارهای فوق را از لحاظ تاثیر بر کاهش کل مصرف انرژی کشور مورد ارزیابی قرار داد. از آنجاییکه بر اساس نتایج مرجع [۳] ساختمانهای مورد بررسی در این مقاله از تیپ مرسوم ساختمانهای موجود در کشور انتخاب شدند، نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته به منظور تعیین مرتبه بزرگی در صرفه‌جویی قابل حصول برای کل کشور با تقریب مناسبی قابل تعمیم می‌باشد. با توجه به اختصاص سهم بالایی از مصرف برق و گاز کشور به بخش خانگی که مشتمل بر بیش از ۱٦میلیون مشترک می‌باشد [۷] – اگر تنها بخش خانگی مورد نظر قرار گیرد – اگر فرض شود که سه راهکار با صرفه‌جویی بزرگتر تنها در نیمی از این مشترکین اجرا شوند و نیم دیگر بطور کامل این راهکارها را در ساختمان‌سازی رعایت کرده باشند، صرفه‌جویی بسیار بالایی در مصرف انرژی کل کشور قابل حصول خواهد بود. محاسبه میزان صرفه‌جویی کل نشان می‌دهد که عایقکاری جداره‌های خارجی، استفاده از شیشه‌های سه جداره انعکاسی بجای شیشه‌های ساده، نصب اکونومایزر و یا پیش‌گرم‌کن هوای ورودی به دیگ حرارت مرکزی به ترتیب منجر به کاهش حدودا ٦۳ ، ۲۳ و ٦/۵ ترا کیلوکالری در سال – که معادل با ٤۳/۱، ۱۵/۷ و ٤/٤ میلیون بشکه نفت خام می‌باشد – برای تنها نیمی از مشترکین خانگی کشور خواهند گردید. مرتبه بزرگی این رقم نشان‌دهنده کارایی فرصتهای صرفه‌جویی در بهینه‌سازی مصرف انرژی کشور بوده و اهمیت عنایت ویژه به این راهکارها را کاملا روشن می‌نماید.

۹- مراجع

[1] Wulfinghoff D. R., Energy Efficiency Manual, Energy Institute Press, 1999.

[۲]پژوهشگاه نیرو، گزارش پروژه نرم‌افزار صرفه‌جویی انرژی در ساختمانهای تجاری، گروه انرژی و مدیریت مصرف،۱۳۸٤.

[۳]پژوهشگاه نیرو، گزارش مرحله دوم پروژه تعیین معیار مصرف انرژی الکتریکی در ساختمانهای مسکونی، گروه انرژی و مدیریت مصرف، ۱۳۸۵.

[٤]اسکونژاد م.م.، اقتصاد مهندسی یا ارزیابی پروژه‌های صنعتی، چاپ ششم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷٤.

[5] Kreider J. F., Handbook of Heating, Ventilating and Air Conditioning, CRC Press, 2001.

[6] ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2005.

[۷] دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸٤، زمستان ۱۳۸۵.

[8] www.edsm.tavanir.org\

[9] Davis G., Feasibility Studies for Energy Efficiency Projects, California Energy Commission, 2000.