

## انتخاب تأسیسات حرارتی و برودتی بر اساس ملاحظات اقتصادی

رسول سلفیان<sup>۱</sup>، مجتبی هراتیان<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان

۲- کارشناس ارشد، شرکت سامان انرژی اصفهان

### چکیده

در الگوی مصرف انرژی کشور بخش مسکونی و تجاری عمده ترین مصرف کننده انرژی کشور در مقایسه با بخش های دیگری چون صنعت حمل و نقل و کشاورزی می باشد. با توجه به مصارف گوناگون در بخش تجاری، مسکونی بیشترین سهم مصرف انرژی در این بخش صرف سرمایه گذاری و گرمایش و سیستم های تهویه می گردد. از آنجائیکه حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد مصرف انرژی ساختمانها صرف تأسیسات گرمایش و سرمایه گذاری و تأمین آب گرم مصرفی می شود، استفاده از تأسیسات با راندمان بالا که بیشترین صرفه جوئی در مصرف انرژی را بهمراه داشته باشد از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. البته باید توجه داشت که در انتخاب چنین تجهیزاتی پارامترهای دیگری همچون ساختار ساختمان و ملاحظات اقتصادی نقش بسزائی خواهند داشت. در این مقاله سعی شده است که با لحاظ نمودن ضوابط، کنترل و برنامه ریزی سیستم های سرمایشی و گرمایشی یک روش صحیح جهت بررسی، مقایسه و انتخاب تأسیسات حرارتی و برودتی براساس ملاحظات اقتصادی ارائه شود تا با انتخاب مناسب بتوان هزینه ها و میزان مصرف انرژی را کاهش داد.

### مقدمه

بالا بودن سهم قابل توجه مصرف نهایی انرژی در بخش های مختلف در ایران و اهمیت موضوع بهینه سازی مصرف انرژی در این بخش ها بی تردید نیازمند اتخاذ تصمیمات اساسی برای کاهش مصرف انرژی سیستم های سرمایه گذاری و گرمایش می باشد. از آنجائیکه حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد مصرف انرژی

ساختمان‌ها صرفاً تأسیسات گرمایش و سرمایش و تأمین آب گرم مصرفی می‌شود، می‌توان با لحاظ نمودن ضوابط، کنترل و برنامه‌ریزی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی یک روش صحیح جهت بررسی، مقایسه و انتخاب تأسیسات حرارتی و برودتی براساس ملاحظات اقتصادی ارائه نمود و با انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای در حفظ منافع زیست محیطی گام مؤثری برداشت.

## ۲- ضوابط انتخاب سیستم‌های گرمایشی

از آنجا که سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع در اشکال و سائزهای متفاوت، با کارایی‌های مختلف موجودند، به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب یک سیستم مناسب باید ضوابط زیر را رعایت نمود:

۱- نوع سیستم گرمایشی: سیستم‌های گرمایشی به دو روش تشعشعی و جابه‌جایی ویا ترکیبی از هر دو روش سبب گرم شدن محیط و یا افراد می‌شوند. انتخاب صحیح هر کدام به مشخصات مکان و نیازهای ویژه افراد و محیط مورد نظر بستگی دارد که در ذیل بیان شده‌اند:

**سیستم‌های گرمایشی تشعشعی:** به منظور صرفه‌جویی انرژی در تأسیسات گرمایشی، در فضاهای بزرگ و یا مکانهایی با سقفهای بلند نظیر کارگاهها و یا محیط‌هایی که میزان تهویه و یا نفوذ هوا زیاد است نظیر حمام‌ها، باید از سیستم‌های گرمایش تشعشعی استفاده شود. سیستم‌های گرمایش تشعشعی بجای گرم کردن محیط، افراد را مستقیماً گرم می‌کنند.

سیستم‌های گرمایش جابه‌جایی: این نوع سیستم‌ها نظیر بخاریهای معمولی، شوفاژ، فن‌کوئل و ... که با جابجایی هوا سبب گرم شدن یک محیط می‌شوند باید برای مکانهایی با ارتفاع سقف متوسط، تهویه و نفوذ کم هوا که عایقکاری نیز شده‌اند بکار روند.

**۲- سیستم‌های حرارتی منفرد و مرکزی:** برای ساختمانهای اداری و یا تجاری بزرگ و مجتمع‌های مسکونی با فرض در نظر گرفتن اصول کاهش اتلاف حرارت ساختمان نظیر عایقکاری، تهویه مناسب و جلوگیری از نفوذ هوا، سیستم حرارت مرکزی با آب گرم توصیه می‌شود. هزینه‌های اجرا و بهره‌برداری از این نوع سیستم در مقایسه با سیستم‌های حرارت مرکزی با بخار کمتر است.

**۳- سیستم‌های حرارتی از کف:** سیستم گرمایش از کف با استفاده از لوله‌های حاوی آب گرم داخلی کار می‌کند. در مکانهایی که دارای سقف بلند می‌باشند (نظیر کارگاهها و یا برخی از سالنهای اجتماعات و کنفرانسها) کاربرد این سیستم توصیه می‌شود.

۴- انتخاب سیستمهای گرمایش مرکزی: الزاماً باید با توجه به ناحیه بندی فضا، کاربرد شیرهای ترموستاتیک و کنترلرهای ساعت دار جهت کنترل دمای بخشهای مختلف ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی با توجه به تعداد ساعات کار بخشهای مختلف ساختمان صورت می گیرد.

۵- در منازلی که سیستم حرارتی منفرد پیشنهاد می شود، کاربرد بخاریهای گازی با راندمان بالا (فن دار) در فضاهایی با مساحت  $(m^2)$  ۳۰ تا ۱۰۰ و یا دارای برگ چسب انرژی توصیه می شوند.

۶- یکی از فاکتورهای تعیین کننده انتخاب نوع تجهیزات گرمایشی، هزینه های جاری سیستم است. باید، بین دو یا چند نوع سیستم گرمایشی، سیستمی که مجموع هزینه های اولیه و جاری سیستم پایین تر است انتخاب شود. هزینه های جاری یک سیستم گرمایشی به پارامترهای بسیاری از قبیل مساحت مکان مورد نظر، ظرفیت سیستم و تعداد ساعات کار آن بستگی دارد.

۷- در برخی از محیط ها نظیر اتاق خواب ها، سالنهای مطالعه تا مساحت حدود  $(m^2)$  ۶۰ کاربرد سیستمهای گرمایش ذخیره ای الکتریکی در شرایط غیرپیک پیشنهاد می شود. این سیستمها با مصرف الکتریسیته در شرایط غیر پیک ( در طول شب- ساعت ۱ تا ۷ بامداد) انرژی حرارتی را در آجرهای مخصوصی ذخیره کرده و با آزاد نمودن حرارت در طول روز، شرایط دمایی حدود  $(^{\circ}C)$  ۱۴ تا ۱۸ برای محیط مورد نظر فراهم می آورد.

۸- در صورت کاربرد سیستم شوفاژ برای گرمایش منازل، علاوه بر وجود ترموستات و کنترل دما از موتورخانه، به منظور کنترل مستقل دمای اتاق ها و بخشهای مختلف ساختمان، برای هر رادیاتور و یا گروهی از رادیاتورها باید شیر ترموستاتیک جداگانه در نظر گرفته شود.

۹- انتخاب سیستمهای گرمایش همراه با تهویه مطبوع باید حتی الامکان با توجه به برگ چسب انرژی دستگاه صورت گیرد.

۱۰- کاربرد سیستمهای گرمایشی الکتریکی (با مصرف برق در شرایط پیک) با توجه به بالا بودن هزینه های جاری آنها توصیه نمی شوند ولی در صورت لزوم برای گرمایش محیط های مسکونی کوچک، حداکثر تا  $(m^2)$  ۳۰ که دارای تعداد ساعات استفاده کم می باشند، می توان به کار برد.

۱۱- در سیستمهای حرارت مرکزی بجای کاربرد یک بویلر جهت افزایش قابلیت انعطاف پذیری و صرفه جویی انرژی، انتخاب چند بویلر با ظرفیتهای متفاوت توصیه می شود. از آنجا که سیستمهای HVAC معمولاً در کل ظرفیت گرمایش (یا سرمایش) خودکار نمی کنند، بدین ترتیب می توان با استفاده از چند بویلر با ظرفیت های متفاوت، شرایط نیمه بار را بهینه کرده و راندمان کل سیستم را در ساختمانهای بزرگ افزایش داد.

- ۱۲- پمپهای حرارتی که در هر دو نوع سیستم متمرکز<sup>۱</sup> و جداگانه<sup>۲</sup> موجود است، برای هم گرمایش و هم سرمایش محیط به کار می‌روند. از سیستمهای متمرکز برای گرمایش و یا سرمایش اتاق‌های جداگانه و از سیستمهای جداگانه برای گرمایش و یا سرمایش کل منازل مسکونی استفاده می‌شود. هزینه‌های اولیه این نوع سیستمها بالا بوده و با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و هزینه پایین سوخت گاز، انتخاب این نوع تجهیزات برای گرمایش و یا سرمایش، توصیه نمی‌شود.
- ۱۳- برای کارگاهها و یا سالن‌هایی که دارای سقف با ارتفاع بلند هستند، باید از سیستم گرمایش از کف و یا یونیت هیتر با جریان آب گرم استفاده شود.
- ۱۴- برای کارگاهها و یا سالنهایی که دارای سقف با ارتفاع بلند هستند، باید از سیستم گرمایش از کف با جریان آب گرم و یا یونیت هیتر با جریان آب گرم استفاده شود.

### ۳- ضوابط انتخاب سیستم‌های سرمایشی

سیستم‌های سرمایشی رایج و موجود که برای سرمایش منازل مسکونی و یا ساختمانهای اداری به کار می‌روند شامل کولرهای آبی، سیستمهای سرمایش تراکمی سیستم سرمایش جذبی و پمپهای حرارتی می‌باشند. انتخاب هر یک از این تجهیزات با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و نوع کاربری ساختمان باید با رعایت ضوابط زیر صورت گیرد.

۱- لذا برای ساختمانهای اداری و تجاری و مکان‌هایی که حضور افراد و نیاز به تهویه زیاد می‌باشد، سیستم‌های سرمایش مرکزی و برای ساختمانهای مسکونی با توجه به شرایط آب و هوایی خشک منطقه و کنترل بهتر در جهت صرفه جویی، سیستمهای منفرد کولرهای آبی توصیه می‌شود.

۲- عمده مصرف انرژی سیستم‌های سرمایش جذبی گاز طبیعی و سیستم‌های سرمایش تراکمی الکتریسیته می‌باشد. از سوی دیگر ضریب کارایی سیستمهای سرمایش جذبی نسبت به سیستمهای سرمایش تراکمی بسیار پایین‌تر است. بنابراین کاربرد سیستم‌های سرمایش جذبی در مکان‌هایی که انرژی حرارتی اتلافی و یا امکان ایجاد سیستم‌های Cogeneration وجود داشته باشد و یا سوخت دارای قیمت بسیار پایینی باشد، نسبت به سیستمهای سرمایش تراکمی اولویت دارند. با توجه به هزینه پایین گاز طبیعی نسبت به الکتریسیته در منطقه مورد نظر، عمده‌تاً هزینه مصرف انرژی سیستمهای سرمایش جذبی نسبت به سرمایش تراکمی کمتر است، لذا برای ساختمانهای بزرگ اداری و یا تجاری سیستمهای سرمایش جذبی توصیه می‌شود.

۳- با گذشت زمان و تغییر هزینه‌های انرژی، مشاوران تأسیسات می‌توانند برای مکانهایی که انرژی حرارتی اتلافی وجود ندارد براساس روش ارائه شده مقایسه اقتصادی بین سیستمهای سرمایش جذبی و

تراکمی را انجام داده و سیستم مناسب سرمایه‌ش ساختمان را تعیین کنند. لازم به ذکر است هزینه خرید و نصب سیستم‌های سرمایه‌ش جذبی نسبت به سرمایه‌ش تراکمی بالاتر و هزینه تعمیرات و نگهداری آنها پایین تر است.

۴- در بیشتر مراکز و ساختمانها بیش از ۳۵ درصد انرژی الکتریکی مصرفی برای تولید آب سرد در سیستم های HVAC بکار برده می شود. لذا استفاده از چیلرهای با راندمان و تکنولوژی بالا می تواند در صرفه جویی انرژی بسیار مؤثر باشد. براین اساس توصیه می شود، با در نظر گرفتن محاسبات اقتصادی ارائه شده در صورت کاربرد چیلرهای تراکمی، چیلرهای با تکنولوژی جدیدتر که دارای مصرف انرژی (Kw/ton) ۰/۵ بوده و حدود (Kw/ton) ۰/۱۵ تا ۰/۳ نسبت به چیلرهای موجود در مصرف انرژی صرفه جویی خواهند داشت، انتخاب شوند.

۵- در صورت استفاده از کولرهای گازی در موارد خاص (اتاق های منفرد)، باید حتی المقدور کولرهای گازی با راندمان بالا (EER~8.5)<sup>۱</sup> استفاده شود. برای انتخاب کولرهای گازی، ظرفیت دستگاه باید نیاز سرمایه‌ش بخش مربوطه تناسب لازم داشته باشد.

#### ۴- کنترل و برنامه ریزی سیستم های گرمایشی

هر سیستم گرمایشی برای هر فضای گرم شده باید دارای یک یا چند سیستم قطع و وصل کنترل اتوماتیک برحسب دمای داخلی فضای مربوطه باشد. اگر سیستم گرمایشی برای چندین فضا مشترک باشد، براساس مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) در صورت تحقق کلیه شرایط زیر، قطع و کنترل اتوماتیک گرمایش می تواند توسط یک سیستم واحد انجام گیرد :

مساحت کل فضاهای مربوطه از ۴۰۰ متر مربع کمتر باشد.

نحوه استقرار ، استفاده و اشغال فضاها مشابه و یکسان باشد.

شاخص خورشیدی فضاها و گروه اینرسی حرارتی فضاها یکی باشد.

اگر گرمایش سطحی بیش از ۵۰۰ متر مربع، شامل چندین فضا، توسط یک سیستم مرکزی صورت گیرد، لازم است علاوه بر سیستم های قطع و کنترل اتوماتیک اشاره شده در بند فوق، از یک یا چند سیستم تنظیم اتوماتیک مرکزی برحسب دمای خارجی نیز پیش بینی شود.

اگر مساحت فضا یا فضاهای گرم شده از ۴۰۰ مترمربع بیشتر باشد، توصیه می شود سیستمی برای ارزیابی مصرف انرژی جهت گرمایش و تأمین آب گرم مصرفی ( همانند کنتور) پیش بینی شود.

<sup>1</sup> - Energy Efficiency Ratio:  
[www.me-en.com](http://www.me-en.com)

پایگاه اینترنتی آب و آهن و آتش (مهندسی مکانیک)  
نسبت ظرفیت سرمایه‌ش دستگاه برحسب (Btu/h) به توان الکتریکی مصرفی آن برحسب (W) در شرایط عملکرد طراحی

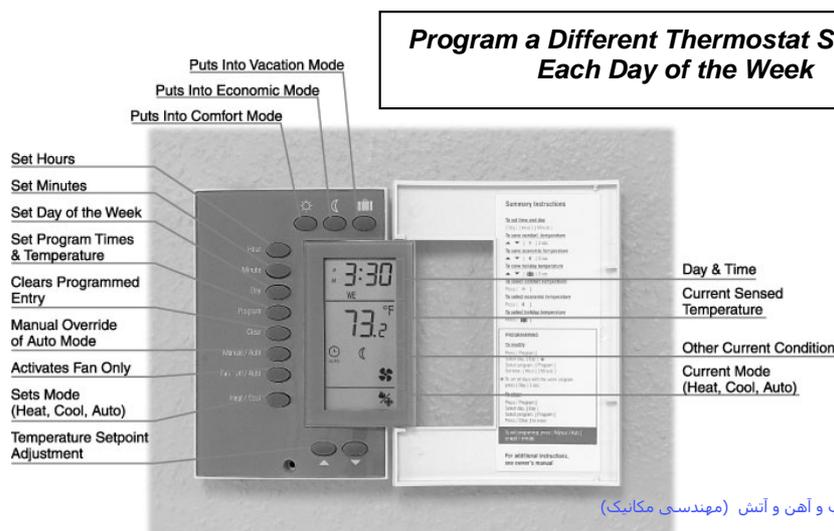
با توجه به مصرف سوخت بالای بویلرها، به منظور کنترل دقیق دما، میزان آب جبرانی، میزان اختلاط سوخت و هوا و در نهایت کاهش مصرف انرژی آنها و رسیدن به حداکثر راندمان کاربرد سیستم های کنترل دیجیتالی مستقیم نظیر حسگرها میکروپروسورها و نرم افزارهای موجود در این زمینه توصیه می شوند.

با توجه به اینکه به ازای کاهش هر ۱۰ درصد هوای اضافی راندمان بویلر یک درصد افزایش می یابد کنترل و کاهش درصد هوای اضافی بویلر باید با دقت و اطمینان از سنسورها صورت گیرد. نصب دمپره های اتوماتیک دودکش و یا نصب اکونومایزر جهت کاهش تلفات گرمایی از بویلرها و افزایش راندمان آنها پیشنهاد می شود.

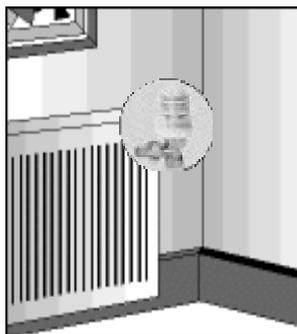
عملیات تعمیرات و بازمینی در بهره برداری از سیستم های گرمایشی نظیر بویلرها باید به صورت دوره ای و با دقت صورت گیرد. بازرسی و بازمینی عایق مخازن و لوله ها، پاک نمودن دوده از سطوح انتقال حرارت، بازرسی و تعمیرمکانهای نشت بخار می تواند تا حدود زیادی از اتلاف انرژی جلوگیری بعمل آید.

فیلترهای هوای برگشتی در سیستم HVAC باید حداقل هر دو ماه یکبار تعویض یا بازمینی شوند. کاهش تنظیمات ترموستات سیستم های گرمایش به میزان یک درجه فارنهایت حدود سه درصد هزینه های گرمایش را کاهش می دهد لذا ترموستات سیستم های گرمایش باید در دمای ۶۸ درجه فارنهایت (۲۰ °C) تنظیم شود و در زمانهایی که مکان مورد نظر برای چند روز استفاده نمی شود ترموستات باید در دمای ۵۵ درجه فارنهایت تنظیم شود. دمای آب گرم مصرفی باید در محدود ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه فارنهایت تنظیم شود.

کاربرد ترموستاتهای قابل برنامه ریز در سیستم های HVAC جهت روشن و خاموش کردن و کنترل دمای فضای مورد نظر در ساعات مختلف شبانه روز توصیه می شوند. کاربرد چنین ترموستاتهایی در کاهش هزینه های سالیانه گرمایش و سرمایش ساختمان به میزان حدود ۱۰ درصد مؤثر است. شکل (۱) نمونه ای از کاربرد ترموستاتهای قابل برنامه ریزی را نشان می دهد.



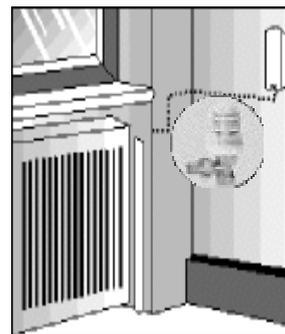
اگر سیستم گرمایش ساختمان های اداری و یا تجاری سیستم شوفاژ باشد علاوه بر رعایت موارد ۱ و ۲ اشاره شده در این بخش کاربرد و نصب شیرهای کنترل دما (Thermostatic Valve) برای هر رادیاتور به منظور کنترل دمای مکانهایی با نوع کاربری و نحوه قرارگیری متفاوت در ساختمان توصیه می شوند .



Radiator thermostat with built-in sensor



Thermo-Electric Radiator Valve



Radiator thermostat with remote sensor

شکل (۲) نمونه هایی از شیرهای ترموستاتیک فوق الذکر را نشان می دهد.

## ۵- کنترل و برنامه ریزی سیستم های سرمایشی

در کنترل و برنامه ریزی سیستم های سرمایشی، علاوه بر رعایت ضوابط ارائه شده در مبحث (۱۹-۴-۲) مقررات ملی ساختمان باید موارد زیر را نیز مد نظر قرار داد :

در تابستان با توجه به شرایط دمایی شبانه روز ترموستات سیستم های سرمایشی را باید به گونه ای تنظیم نمود که شرایط آسایش افراد با حداقل اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان فراهم شود. در ساختمانهای بزرگ، در صورت استفاده از چیلرهای تراکمی، جهت ارتقاء راندمان کل سیستم، کاربرد چند چیلر با ظرفیت های نابرابر در شرایط نیمه بار توصیه می شود.

کاربرد موتورهای دور متغیر به منظور کاهش ظرفیت چیلرهای گریز از مرکز و کاهش مصرف انرژی پیشنهاد می شود.

به منظور افزایش کارایی سیستم های HVAC کاربرد موتورهای بالا و استفاده از میکروپروسورها جهت کنترل بهینه توصیه می شوند.

در شروع راه اندازی سیستمهای سرمایشی، تنظیمات ترموستات را نباید در دمای سردتر از شرایط نرمال قرار داد. این کار به سرعت سرد کردن فضای اتاق کمکی نکرده و در شرایطی همراه با هزینه اضافی خواهد بود.

لوازم الکتریکی و گرمازا (نظیر لامپهای تلوویزیون و ...) باید دور از ترموستاتهای تنظیم دمای اتاق قرار گیرند. در غیراینصورت سبب می شود که سیستم های سرمایشی در مدت زمان بیشتری از آنچه مورد نیاز است، کار کنند.

### ۶- روش انتخاب صحیح تأسیسات حرارتی و برودتی بر اساس ملاحظات اقتصادی

در اینجا مقایسه اقتصادی میان دو نوع سیستم گرمایشی و سرمایشی و انتخاب سیستم نامناسب مورد توجه قرار می‌گیرد. علاوه بر هزینه های خرید و نصب هزینه کلی یک سیستم گرمایشی و سرمایشی شامل هزینه های انرژی در طول دوره عمر سیستم نیز می‌شود.

این مقایسه با توجه به هزینه های متفاوت سوخت ها و تجهیزات گرمایشی و سرمایشی و ضریب کارایی متفاوت آنها طبق مراحل زیر صورت می‌گیرد:

کلیه سوخت ها را که براساس واحدهای مختلف اندازه گیری می‌شوند، با توجه به محتوی انرژی آنها به یک واحد تبدیل کرده و هزینه آنها براساس دلار بر میلیون بی تی یو ( \$/MBtu ) محاسبه کنید.

راندمان یا ضریب کارایی تجهیزات گرمایشی و سرمایشی را از طریق سازندگان تجهیزات مشخص کنید. لازم به ذکر است که ضریب کارایی برخی از سیستمها مانند پمپهای حرارتی ممکن است بیش از ۱۰۰٪ باشد. به عنوان مثال راندمان ۲۰۰٪ برای یک پمپ حرارتی که در زمستان برای گرمایش بکار می‌رود، به معنای این است که به ازای هر کیلووات ساعت مصرف الکتریسیته، معادل دو کیلووات ساعت انرژی حرارتی (۶۸۲۶ Btu) وارد ساختمان می‌شود.

هزینه مصرف انرژی هر سیستم را با توجه به هزینه سوخت مصرفی و راندمان آن برحسب ( \$/MBtu ) محاسبه کنید. سپس با توجه به بار حرارتی و سرمایشی فعلی ساختمان هزینه سالیانه مصرف انرژی سیستم های مورد نظر محاسبه می‌شود.

با توجه به رابطه زیر هزینه کلی یک سیستم گرمایشی و سرمایشی محاسبه می‌شود. سیستمی که هزینه کلی کمتر از دوره عمر خود دارد از نظر اقتصادی مناسب خواهد بود.

$$\text{Lifetime Cost} = \text{Purchase Price} + (\text{Annual energy Cost} \times \text{Lifetime})$$

در اینجا تنها به منظور تبیین روش مقایسه اقتصادی بین تجهیزات گرمایش و سرمایشی مثال زیر ارائه می‌شود. فرض کنید برای یک ساختمان با نیاز گرمایشی ۵۰ MBtu در فصل زمستان ( و حدود ۲۵ MBtu نیاز سرمایش در فصل تابستان ) دو نوع سیستم گرمایشی و سرمایشی، یکی سیستم گرمایش با سوخت پروپان و راندمان ۸۲٪ همراه با سیستم تهویه مطبوع و EER=۷ جهت سرمایش و دیگری پمپ حرارتی با راندمان بسیار بالا (برای گرمایش ۲۲۰٪ و برای سرمایش با EER=۱۱ )، براساس محاسبات بار حرارتی ساختمان و شرایط منطقه، مناسب برگزیده شده باشند. هزینه سوخته های متفاوت و هزینه مصرف انرژی سیستمهای گرمایش و سرمایش در جداول یک ارائه شده است.

جدول (۱) ظرفیت حرارتی و هزینه سوخت های متفاوت

Fuel Type	Unit	Approx. 1995 Unit Price	Energy Content in Btu
Propane/LPgas	Gallon	0.95 (\$/gal)	۹۴,۰۰۰ (Btu/gal)
Fuel oil	Gallon	0.81 (\$/gal)	۱۳۹,۴۰۰ (Btu/gal)
Kerosene	Gallon	0.85 (\$/gal)	۱۳۵,۰۰۰ (Btu/gal)
Electricity	KWh	0.084 (\$/kWh)	۳,۴۱۳ (Btu/kWh)

جدول (۲) جدول هزینه های مصرف انرژی تجهیزات مختلف گرمایش و سرمایش (براساس هزینه های تقریبی سوختها در سال ۱۹۹۵)

Fuel Type	Unit Price	Annual System Efficiency	Cost Per Million Btu
Propane or LP gas	0.95 (\$/gal)	Standard-70%	14.44 \$
		High-efficiency-82%	12.33 \$
Fuel Oil	0.81 (\$/gal)	Standard-70%	8.3 \$
		High-efficiency-82%	7.09 \$
Electricity(Heating)	0.084	Standard-170%	14.48 \$
		High-efficiency-200%	12.31 \$
Heat Pump		Super-High-efficiency-220%	11.18 \$
Electricity(cooling)	0.084	*EER=7(205%)	12.01 \$
Air Conditioning		EER=9(264%)	9.32 \$
		EER=11(322%)	7.64 \$

EER ( Energy Efficiency Ratio) : نسبت راندمان انرژی است که برای مقایسه راندمان فصلی برخی از تجهیزات سرمایش به کار می رود و به صورت نسبت ظرفیت سرمایش برحسب ( Btu/hr) به کل توان الکتریکی ورودی به سیستم برحسب وات تعریف می شود. اگر واحدهای به کاررفته در تعریف EER یکسان شود همان Cop ضریب عملکرد سیستم بدست می آید.

بر اساس جدول (۲) هزینه سالیانه مصرف انرژی هر تجهیز به منظور گرمایش ساختمان در فصل زمستان عبارتست از:

50 (MBtu)= 616.5	×Propane gas .....	12.33 (\$/MBtu)
		(\$/Winter)
50 (MBtu)= 559	×Heat Pump .....	11.18 (\$/MBtu)
		(\$/Winter)

با فرض اینکه سرمایه‌گذاری ساختمان در فصل تابستان در حالت اول توسط یک سیستم تهویه مطبوع با  $EER=11$  همراه با سیستم گرمایش سوخت پروپان و در حالت دوم توسط همان پمپ حرارتی با  $EER=11$  صورت گیرد، هزینه سالیانه مصرف انرژی هر تجهیز به منظور سرمایه‌گذاری ساختمان در فصل تابستان عبارتست از:

25 (MBtu) = × Propane gas heat \$ Air Conditioner .....	12.01 (\$/MBtu)
	300.25 (\$/Summer)
25 (MBtu) = × Heat Pump .....	7.64 (\$/MBtu)
	191 (\$/Summer)

با فرض در نظر گرفتن دوره عمر ۲۰ ساله برای هر یک از تجهیزات انتخابی و هزینه خرید و نصب آنها، هزینه کلی آنها براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Lifetime Cost} = \text{Purchase Price} + (\text{Annual energy Cost} \times 20 \text{ years})$$

نتایج در جدول (۳) ارائه شده است:

جدول (۳) نتایج مقایسه اقتصادی دو سیستم گرمایش و سرمایه‌گذاری

System	Purchase & Installation Price-\$	Energy Cost (20 years)-\$	Life time Total Cost \$
Propane gas + Air Conditioner	4000	18335	22335
Heat Pump (Super-Hi-	5500	15000	20500

با توجه به جدول (۳) ملاحظه می‌شود که بین دو سیستم تعیین شده، نصب پمپ حرارتی با راندمان بسیار بالا از نظر اقتصادی مناسب‌تر خواهد بود. لازم به ذکر است که با تغییر قیمت سوخت، هزینه‌های خرید و نصب تجهیز و یا بار حرارتی فصلی ساختمان امکان تغییر نتایج وجود خواهد داشت، لذا مشاوران تأسیسات باید در مورد هر ساختمان براساس روش فوق ارقام واقعی هزینه‌ها را بطور دقیق و شفاف در جداول مربوطه تهیه کرده و به همراه نتایج و تصمیم‌گیری نهایی به کارفرما ارائه دهند.

## مراجع

- [۱]. مقررات ملی ساختمان ، مبحث ۱۹ صرفه جوئی در مصرف انرژی ، وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، چاپ اول، ۱۳۸۱.
- [2]. "Greening Federal Facilities, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Management Program" 2nd Ed., may 2001.
- [3]. Guide to Specifying High-Frequency Electronic Ballast, November 1996.
- [۴]. سلفیان ر.، جانی قربان ع. و بدری زاده الف، "گزارش مرحله اول مدیریت انرژی و کاربرد انرژیهای تجدیدپذیر در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان"، شرکت سامان انرژی اصفهان، مرداد ماه ۱۳۸۱.
- [۵]. جانی قربان ع. و قلی پور ر.، "گزارش مرحله دوم مدیریت انرژی و کاربرد انرژیهای تجدیدپذیر در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان"، شرکت سامان انرژی اصفهان، بهمن ۱۳۸۱.