تاثیر سیستم گرمایش کفی در میزان مصرف انرژی

مهندس علی ساروخانی
شرکت سوپرپایپ اینترناشنال

یکی از راه‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در کشور، استفاده از سیستم‌های جدید گرمایشی می‌باشد. از موثرترین سیستم‌های گرمایشی که در دو دهه‌ی اخیر استقبال بی‌شائبه‌ای به خصوص در کشورهای اروپایی و صنعتی از آن شده است، سیستم گرمایش کفی **(Underfloor Heating)** می‌باشد.

در ذیل پس از معرفی این سیستم،به نحوه‌ی تاثیر آن در مصرف انرژی پرداخته می شود. در آخر یک مقایسه‌ی عملی بین سیستم گرمایش کفی و سیستم رادیاتور در یک خانه ارایه می‌شود. با توجه به موضوع سمینار، در این مقاله بیشتر به مزایا و تاثیر این سیستم در صرفه جویی مصرف انرژی توجه شده است. اطلاعات بیشتر در مورد این سیستم، نحوه‌ی طراحی و اجرا، و سایر مزایای آن در فرصتی دیگر و در صورت تماس علاقمندان ارایه خواهد شد.

تغییرات دما در سیستم‌های گرمایشی با رادیاتور بخاطر توزیع نامناسب حرارت بسیار زیاد است. ولی در سیستم گرمایش کفی شبکه‌ی لوله تمام کف را پوشش می‌دهد و بدین ترتیب توزیع حرارت بصورت یکنواخت می‌باشد. در سیستم گرمایش کفی آب با دمای متوسط ۴۰ الی ۴۵ درجه‌ی سانتیگراد در سیستم گردش می‌کند و حداکثر دمای کف ۲۹ درجه‌ی سانتیگراد است. در این سیستم بیش از ۶۰ درصد انرژی به صورت تابشی به محیط انتقال پیدا می‌کند.

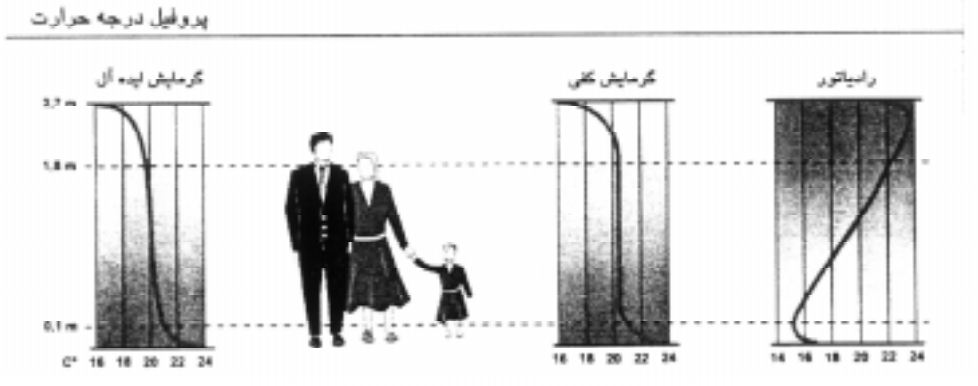
سیستم گرمایش کفی برای کف‌های مختلف با پوشش‌های متفاوت از جمله، سنگ، سرامیک، پارکت و موکت مناسب می‌باشد.

مزایای سیستم گرمایش کفی

۱- آسایش

سیستم گرمایش کفی همانطور که به آرامی و بطور یکنواخت محیط خانه را گرم می‌کند، برای انسان احساس مطبوعی فراهم می‌کند. این سیستم، برخلاف طرق معمول، سطح بالایی از گرمایش تابشی را بدون آنکه باعث خشک شدن هوا شود ایجاد می‌نماید.

پروفیل دما در این سیستم در مقایسه با سایر سیستم‌های گرمایشی منطبق‌ترین و نزدیک‌ترین حالت با پروفیل ایده‌آل شرایط راحتی انسان است. نتایج تحقیقات مختلف که از جمله در کتاب **ASHRAE** نیز اشاره شده است حاکی از آن است که آسایش افراد با دمای پایین‌تر



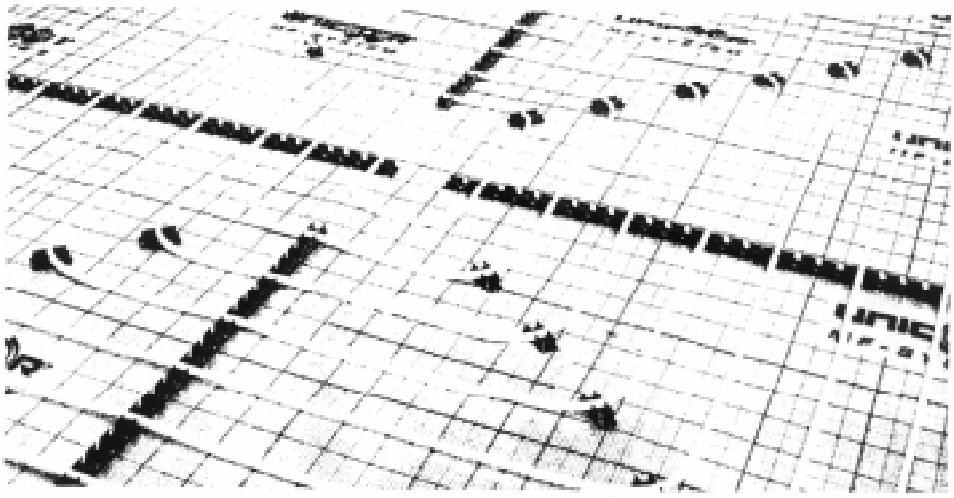
معرفی سیستم گرمایش کفی

قدمت سیستم گرمایش کفی به سال‌های دور بر می گردد. در انجام حفاری یک قصر در آناتولی که در سال ۱۲۰۰قبل از میلاد ساخته شده بود، کانال هایی در زیر کف کشف گردید که حکایت از یک سیستم مرکزی گرمایش کفی می کرد. بعدها این سیستم در المپیا (۸۰۰ قبل از میلاد)به کار گرفته شد و رومی ها از ۸۰سال قبل از میلاد این سیستم را بدلیل راحتی و آسایش آن به عنوان یک سیستم مدرن استفاده می کردند. در این سیستم‌ها گرما از طریق گازهای گرم حاصل از احتراق در کانال هایی که در زیر کف حفر شده‌اند، به کف فضاها انتقال پیدا می کرد.

به مرور زمان استفاده از این سیستم جهت گرمایش ساختمان‌ها به فراموشی سپرده شد، تا اینکه با عرضه‌ی تکنولوژی های جدید، مجدداً به صورت جدی در دهه های آخر قرن بیستم، مطرح گردید، با این تفاوت که این بار تامین گرمایش، از طریق آب گرم یا المنت های برقی مورد توجه قرار گرفت. هم اکنون سیستم گرمایش کفی در حدود نیمی از خانه های جدید اروپا استفاده می شود.

سیستم گرمایش کفی چیست؟

سیستم گرمایش کفی با چرخش آب گرم از میان شبکه‌ای از لوله های تلفیقی پنج لایه سوپرپایپ که در کف نصب گردیده‌اند، به آرامی حرارت را در تمامی سطح توزیع می کند.



تغییرات دما در سیستم‌های گرمایشی با رادیاتور بخاطر توزیع نامناسب حرارت بسیار زیاد است.

پوسیدگی، خوردگی و رسوب گرفتگی وجود ندارد و این لوله ها با طول عمری بیش از صد سال عملا هر گونه نیاز به نگهداری را حذف می کنند.

۵- صرفه‌جویی در مصرف انرژی و اقتصادی بودن

عایق حرارتی، انتخاب دمای محیط و همچنین سیستم گرمایشی نصب شده در یک ساختمان، پارامترهای مهمی در میزان مصرف انرژی می باشند. بدلیل سطح وسیع حرارتی تابشی، گرمایش کفی در مقایسه با گرمایش سنتی، با ۳ تا ۵ درجه سانتیگراد کاهش در دما می تواند همان شرایط مطلوب هوا در اتاق را فراهم کند. همانطور که می دانیم، به ازای هر یک درجه سانتیگراد کاهش دما با ۶٪ کاهش مصرف انرژی نیز مواجه خواهیم بود.

از طرف دیگر به علت اینکه دمای متوسط آب گرم در این سیستم بین ۴۰ تا ۴۵ درجه‌ی سانتیگراد، و نسبت به سیستم های گرمایشی متداول حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه‌ی سانتیگراد کاهش دارد، لذا از این نظر باعث تلفات حرارتی کمتر در مدار و صرفه جویی مضاعف در مصرف سوخت می باشد.

بعد دیگر صرفه جویی در مصرف انرژی، تلفات حرارتی نزدیک به صفر از کف و گوشه ها، بدلیل وجود عایق در تمام کف و کنج ها است.

بطور کلی در یک سیستم گرمایش کفی می تواند باعث شود تا ۶۰٪ در مصرف انرژی صرفه جویی شود.

۶- حفاظت از محیط زیست

در دنیای صنعتی امروز، برای انتخاب سیستم های گرمایشی یکی دیگر از پارامترهای مهم، تاثیر آن بر محیط زیست و سهم آن در میزان آلودگی می باشد. همانطور که در بالا اشاره شد با توجه به اینکه سیستم گرمایش کفی در مصرف انرژی یا به عبارت بهتر مصرف سوخت بین ۲۵ تا ۵۰٪ نسبت به سایر سیستم های گرمایشی کاهش مصرف انرژی دارد، لذا به میزان زیادی نیز می تواند در کاهش آلودگی محیط زیست موثر واقع شود. از طرف دیگر طول عمر بالای سیستم (بیش از صد سال) و عدم صدمه رساندن به ساختمان و تجهیزات جانبی از جمله موارد دیگری هستند که به حفظ محیط زیست کمک می کنند.

محیط(Ambient Temperature) و دمای متوسط تشعشعی بالاتر(Mean Radiant Temprature) حاصل می شود.

۲- طراحی راحت و انعطاف پذیری

جانمایی رادیاتورها در هنگام طراحی ساختمان مشکلاتی را برای مهندسین باعث می شود. برای ساکنین ساختمان نیز، رادیاتورها اصولاً فضای مفید ساختمان را اشغال می کنند و باعث مشکلاتی در طراحی فضای داخلی و چیدمان اثاثیه می شوند. سیاه شدن دیوارها، پرده ها و سقف نیز از دیگر مشکلات استفاده از رادیاتور می باشد.

با سیستم گرمایش کفی، ضمن افزایش فضای کاربری به علت حذف رادیاتورها، امکان طراحی راحت فضاها با جلوه ها و ایده های نو عملی می گردد. بدون وجود رادیاتورها، شما می توانید اثاثیه منزل را هر جایی که خواستید قرار دهید. همچنین دیگر در این سیستم با پدیده ی سیاه شدن دیوارها و پرده ها مواجه نخواهیم شد.

۳-ایمنی و سلامتی

سطح داغ و لبه های تیز رادیاتور می تواند باعث ایجاد جراحت برای افراد گردد که سیستم گرمایش کفی فاقد آن است. از طرف دیگر، در سیستم گرمایش کفی، کف، خشک و گرم است، بنابراین موجودات ریز نمی توانند رشد و تکثیر نمایند و در نتیجه دیگر نگران حساسیت های تنگی نفس و غیره نمی باشیم. ضمن اینکه گرم کردن کف باعث می شود که تقطیر و رطوبت روی دیوارها و کاغذ دیواریها وجود نداشته باشد، لذا امکان کپک زدن نیز از بین می رود. با حرارت آرام ساطع از کف، جریان کنوکسیون هوا و بالطبع میزان ذرات گرد و خاک کاهش می یابد. گرمایش کفی یک سیستم ایده آل برای مبتلایان به آسم است.

۴- عدم نیاز به نگهداری

یکی از دلایل عمده‌ای که باعث گردید سیستم های گرمایش کفی مجدداً مورد توجه قرار بگیرند، تکنولوژی جدید ساخت لوله ها- از جمله لوله های تلفیقی سوپرپایپ - با طول عمر بالا است.

با توجه به تکنولوژی به کار رفته در لوله های تلفیقی سوپرپایپ، دیگر هیچگونه نگرانی بابت

بسیار کمی وجود دارند که راجع به مولفه ی تابشی انتقال حرارت فکر کنند و یا با اصول اولیه ی آن آشنا باشند.

فرق اساسی بین انتقال حرارت تشعشعی و حرارت محیطی اینست که درانتقال حرارت محیطی همه چیز عیناً به یک دما گرم می‌شوند ولی در انتقال حرارت به صورت تشعشعی (مادون قرمز)به خاطر ظرفیت اجسام در جذب اشعه، عمکرد کاملاً متفاوت است. این بدین معنی است که اگر لازم است که هوا و سایر اشیاء را گرم کنیم تا از آن طریق افراد گرم شوند، انرژی بسیار زیادتری نسبت به حالتی که فقط افراد را گرم می کنیم، مصرف خواهد شد.

... همانطور که مشخص است، انتقال حرارت به صورت تشعشعی برای انسان‌ها حالت ایده‌آل و مناسبی می باشد، ضمن اینکه بشر در کره‌ای زندگی می کند که میلیون ها سال به طریق تابشی در حال جذب انرژی است...

من معتقدم که این امکان وجود دارد که با حداقل یک سوم انرژی‌ای که در حال حاضر مصرف می کنیم، بتوانیم در کمال آسایش زندگی کنیم... "

یکی از ویژگی های سیستم گرمایش کفی اینست که افراد در دمای ۳الی ۴ درجه ی سانتیگراد پایینتر نسبت به سایر سیستم های گرمایشی نظیر رادیاتور احساس راحتی و آرامش می کنند. این مسئله نیز مشخص شده است که به ازای هر یک درجه کاهش درجه حرارت، ۶درصد کاهش مصرف انرژی داریم. لذا فقط به دلیل این مسئله بین ۱۸ تا ۲۴ درصد مصرف سوخت کمتر در سیستم گرمایش کفی نسبت به سایر سیستم های گرمایشی وجود دارد.

۲- استفاده از حرارت دقیقاً در جای مناسب آن

در سیستم های گرمایشی متداول (سنتی)قسمت اعظم حرارت از طریق جابجایی و گرم کردن هوا صورت می پذیرد و با توجه به اینکه هوای گرم شده به سمت بالا حرکت می کند، همیشه با تجمع حرارت در بالای سر، نزدیک سقف، جاییکه هیچ استفاده‌ای از آن نمی کنیم، مواجه هستیم. در حقیقت در این نوع سیستم های گرمایشی ما مجبوریم اینقدر فضای بالای سر را گرم کنیم تا مقداری از حرارت آن به پایین تر منتقل شود، اگرچه در چنین سیستم هایی همیشه مشکل سرد بودن ارتفاع پایین (ارتفاعی که پا در آن قرار دارد)باقی خواهد ماند.

روش‌های کاهش مصرف سوخت

یکی از مهمترین مزایای سیستم گرمایش کفی که باعث گسترش روزافزون آن شده است، کاهش موثر مصرف انرژی در مقایسه باسیستم های گرمایشی متداول می باشد. این سیستم در کشورهای صنعتی تا ۴۰ درصد و درکشور ما به دلیل استفاده‌ی از تجهیزات با راندمان پایین تر و عدم استفاده از عایق تا ۶۰ درصد در کاهش مصرف سوخت موثر است.

اما به چه صورت‌هایی این سیستم می تواند در کاهش مصرف انرژی موثر باشد؟ در ذیل به طرق مختلفی که سیستم گرمایش کفی می تواند در کاهش مصرف سوخت تاثیر بگذارد، اشاره شده است.

۱- انتقال انرژی به صورت تابشی

در سیستم گرمایش کفی، هوا گرم نمی شود، بلکه اجسام و افراد گرم می شوند. همانطور که در قبل اشاره شد در سیستم گرمایش کفی قسمت عمده‌ی حرارت به صورت تابشی به محیط انتقال پیدا می کند. استفاده از این خاصیت انتشار حرارت می تواند به میزان زیادی در کاهش مصرف انرژی موثر باشد. برای احساس بهتر گرمایش تابشی، یک روز سرد زمستانی را به خاطر آورید. در این حالت هنگامیکه از سایه خارج می شوید، تابش نور خورشید کاملاً محسوس و دلنشین می باشد.

در حقیقت این مولفه‌ی انتشار حرارت تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته و انتقال حرارت در سیستم های متداول و سنتی بیشتر از طریق جابجایی صورت می پذیرد. ، آقای دکتر هال **(Hall)** در مقاله‌ای تحت عنوان " بیایید بجای گرم کردن خانه، افراد خانه را گرم کنیم" آورده است:

"آیا می شود بدون اینکه بیلیون ها دلار صرف هزینه‌ی عایق و ... کنیم، هزینه های سرسام آور گرمایش را با روش های سالم تر و رضایت بخش تر به نسبت زیادی کاهش دهیم؟ .....

اطلاعات بسیاری راجع به نیازهای حرارتی ساختمان موجود است ولی چنین اطلاعاتی برای نیازهای حرارتی افراد کم است. ما ساختمان ها را گرم می کنیم تا از این طریق افراد گرم شوند و اصولاً این کار به خوبی انجام نمی شود.... یک راه برای گرم کردن افراد که نیاکان ما در میلیون ها سال قبل از آن استفاده می کردند، دراز کشیدن زیر نور خورشید می باشد. امروزه افراد

۴- قابلیت کارکرد با انرژی خورشیدی

دمای پایین مورد نیاز سیستم گرمایش کفی، این امکان مهم و اساسی را فراهم می آورد که به عنوان تنها سیستم تأمین گرمایش، بتوان از انرژی های پاک، مانند انرژی خورشیدی استفاده نمود.

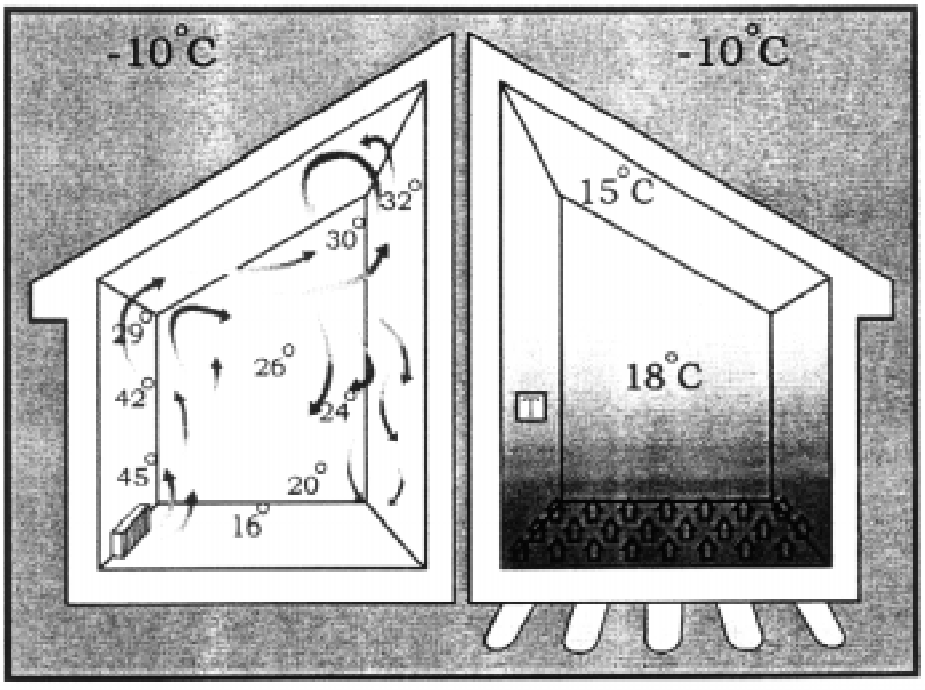
با توجه به محدودیت منابع سوخت، سیستم هایی که بتوانند در تامین گرمایش علاوه بر سوخت از انرژی تابشی خورشید به عنوان یک جایگزین مطمئن استفاده کنند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در حال حاضر سیستم گرمایش کفی در استفاده از انرژی خورشید منحصر به فرد می باشد.

طبق آمار سازمان بهینه سازی مصرف سوخت، هزینه ی انرژی در روستاها علی رغم حجم استفاده‌ی کمتر، دو برابر شهرها است زیرا در روستاها از گاز طبیعی کمتر استفاده می شود. بنابراین، استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم گرمایش کفی می تواند به عنوان یک راه مؤثر در زمینه کاهش مصرف سوخت در این مناطق نیز مطرح شود.

۵- قابلیت بهره‌بری از تکنولوژی مدرن

امروزه یکی از بحث های روز، استفاده از تجهیزاتی است که با راندمان بالا کار کند. از مهمترین وسایل تولید گرما، دیگ است. در چند سال اخیر کشورهای صنعتی موفق به ساخت دیگی با نام دیگ چگالشی (Condensing Boiler) شده اند. به طور مختصر می توان دیگ های چگالشی را بدین صورت معرفی نمود:

دیگ های معمول (غیر چگالشی) فقط از گرمای محسوس سوخت استفاده نموده و از گرمای نهان سوخت استفاده نمی کنند. در حالی که، حدود ۲۰ درصد انرژی سوخت بصورت نهان می باشد. از طرف دیگر، حداکثر راندمان دیگ های غیر چگالشی ۸۰ درصد می باشد. در کشور ما وضع بحرانی تر از این است و طبق گفته ی آقای مهندس ستاری راندمان بخاری های تولیدی در ایران ۶۰ درصد و آبگرمکن ها ۷۰ درصد می باشد. با توجه به اینکه در عمل این وسایل گرمایشی در نقطه‌ی طراحی کار نمی کنند، راندمان متوسط آنها کمتر از ۵۰ درصد است. این درحالی است که در دیگ های چگالشی راندمان به ۹۸ درصد افزایش پیدا کرده است.



برخلاف این نوع سیستم های گرمایشی، در سیستم گرمایش کفی حرارت از کف و به صورت تابشی به محیط ساطع می شود. لذا دیگر با تجمع حرارت در بالا و نزدیک سقف در این سیستم مواجه نیستیم. این مسئله نیز از طریق دیگر باعث صرفه جویی در مصرف سوخت به میزان قابل توجهی خواهد شد. میزان دقیق صرفه جویی در مصرف سوخت بستگی به پارامترهای مختلفی نظیر ارتفاع سقف، نوع مصالح مختلفی که در سقف استفاده شده و دمای هوای خارج دارد.

شکل فوق مقایسه‌ی توزیع دما در یک ساختمان برای دو سیستم گرمایش کفی و رادیاتور می باشد.

۳- دمای پایین آب در گردش سیستم

همانطور که قبلاً اشاره شده متوسط دمای آب در گردش سیستم گرمایش کفی ۴۰ الی ۴۵ درجه‌ی سانتیگراد می باشد. در حالیکه در سایر سیستم های گرمایشی دمای متوسط آب گرمایش ۷۵ الی ۸۰ درجه سانتیگراد است. هر چه دمای آب سیستم گرمایش کمتر باشد به علت اختلاف دمای کمتر با محیط، پرت حرارتی کمتری دارد و بالطبع مصرف سوخت نیز بدین ترتیب کاهش پیدا خواهد نمود. نکته‌ی جانبی دیگر این است که در دمای پایین تر مسلماً عمر تجهیزات، از قبیل دیگ ها، پمپ ها، شیرآلات و سیستم لوله کشی بسیار بیشتر است.

از ویژگی های این کلکتور اینست که می توان درپوش هر شیر رفت را با یک شیر محرک برقی تعویض کرد. ترموستات هایی که در هر فضا نصب شده اند جهت باز و بسته کردن مدار، به شیر محرک برقی فرمان می دهند. بدین ترتیب ضمن اینکه تعیین دما برای هر فضا به صورت جداگانه امکان پذیر می شود، در صورت عدم نیاز به حرارت بیشتر در یک فضا، شیر مربوط به آن فضا با فرمان ترموستات قطع شده و از مصرف بی رویه‌ی سوخت جلوگیری میشود.

ترموستات هایی که در سیستم گرمایش کفی به کار می روند هم می تواند از نوع معمولی با تنظیم دمای قطع و وصل، و یا از نوع قابل برنامه ریزی بر اساس روزهای هفته و ساعت های شبانه روز باشد. نوع اخیر می تواند به عنوان مثال، گرمایش یک محیط اداری را در روزهای آخر هفته به طور خودکار قطع کند.

نوع دیگر ترموستاتی برای سیستم گرمایش کفی سوپرپایپ، قابل استفاده است، می تواند دمای آب سیستم را نیز متناسب با دمای هوای بیرون تنظیم کند. بنابراین در روزهای گرم تر زمستان، دمای آب کمتر، و صرفه جویی بیشتری در مصرف سوخت صورت می گیرد.

۷- سایر ویژگی هایی که باعث کاهش مصرف سوخت می شوند

توزیع یکنواخت و مناسب حرارت در کل فضا باعث می شود که برخلاف سایر سیستم های حرارتی (مانند رادیاتور) نیازی به گرم کردن بیش از حد یک نقطه به منظور گرم کردن کل فضا، نباشد.

از طرف دیگر در سیستم گرمایش کفی چون هوا به اندازه‌ی اجسام گرم نمی شود و بخش عمده‌ی گرما از طریق تابشی انتقال پیدا می کند، لذا در صورت تعویض و یا نفوذ هوا به دلیل باز و بسته شدن درها و یا پنجره ها، میزان تلفات انرژی مانند سایر سیستم های گرمایشی نخواهد بود.

به علت استفاده از عایق در گرمایش کفی، این سیستم علاوه بر حذف اتلاف انرژی از کف و کنج ها، در اشاعه‌ی فرهنگ استفاده از عایق در ساختمان مؤثر است.

یک مثال عملی

برای اینکه تاثیر گرمایش کفی را در مصرف سوخت به صورت واضح تر نشان دهیم یک مثال عملی در این زمینه ارائه می کنیم.

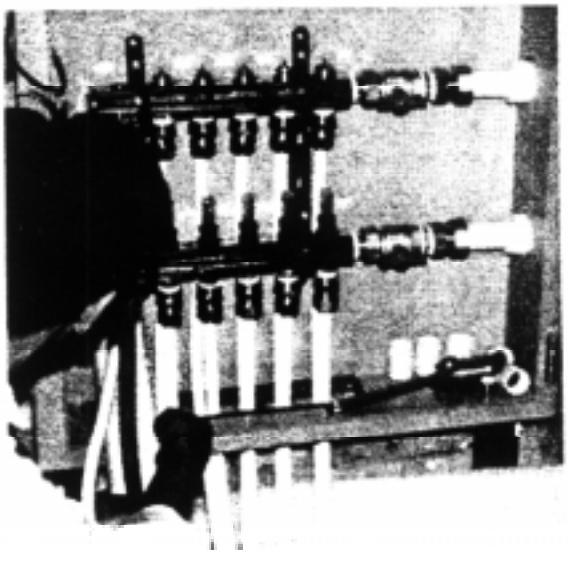
نکته‌ی قابل تأمل این است که هرچه دمای آب برگشتی به دیگ‌های چگالشی کمتر باشد، راندمان آن بالاتر بوده و اصولاً دمای برگشت در این سیستم‌ها نباید از ۵۵ درجه‌ی سانتیگراد بیشتر باشد. لذا سیستم گرمایش کفی با دمای برگشتی بین ۳۰ تا ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد مناسب‌ترین سیستم برای کار با دیگ‌های مدرن چگالشی می‌باشد.

۶- استفاده موثر از سیستم‌های کنترلی و تفکیک فضاها

یکی دیگر از دلایل مهمی که در سیستم‌های گرمایشی سنتی باعث اتلاف حرارت می‌شود، مشکل عدم کنترل دما بر حسب شرایط مختلف جوی در طول فصل سرمایش می‌باشد. این مسئله به اندازه‌ای اهمیت دارد که طبق آماری که معاون سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت اعلام کرده‌اند چیزی در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد مصرف انرژی ساختمان را می‌توان با کنترل دما کاهش داد.

از ویژگی‌های بارز سیستم گرمایش کفی، استفاده موثر از کنترل دما در هر فضا و همچنین تفکیک فضاهای مختلف بر اساس بار حرارتی مستقل می‌باشد.

سیستم گرمایش کفی به یک سیستم کلکتور مرکزی ویژه مجهز است. خود این مجموعه از دو کلکتور رفت و برگشت با شیر هواگیری، و شیر پرکن تشکیل شده است. مدار هر فضا مجهز به یک شیر سوزنی قطع و وصل روی کلکتور رفت و یک شیر تنظیم دبی با نمایانگر مخصوص روی کلکتور برگشت میباشد.



مطابق ASHRAE میزان مصرف سالیانه سوخت به صورت زیر حساب می شود:

$$\frac{(Q_{design}) \times (DD_h) \times (24) \times (Cd)}{1{,}000{,}000 \times (T\,max) \times E} = E_{annual}$$

که اجزای آن عبارتند از:

Q design (Btu/hr):اتلاف حرارتی کل ساختمان

DDh (Degree day heating):درجه گرمایی که عبارتست از واحدی بر اساس اختلاف دما و زمان که از آن در برآورد مصرف انرژی گرمایی ساختمان استفاده می شود.روز درجهٔ گرمایی سالانه(DDH) مجموع روز درجه ها در طول یک سال تقویمی است و مطابق مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان برای شهر تهران ۱۸۱۰ می باشد.

d C:ضریب تصحیح درجه گرمایی بر اساس ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK سال ۱۹۸۹ که برای DDh ذکر شده در بالا ۷۶.۰ به دست می آید.

۲۴ :نمایانگر تعداد ساعتهای مصرف سیستم

T max (F) : اختلاف دمای طراحی که در برآورد اتلاف حرارتی ساختمان در نظر گرفته شده‌اند.

دمای طرح بیرون ۰۲F :

دمای داخل در سیستم رادیاتور ۲۷F :

E(Fuel efficiency factor):ضریب کارآیی سوخت که برای گاز ۵۵.۰ در نظر گرفته شده است.

E annual (MBtu/year) : میزان انرژی حرارتی سالانه ساختمان

$$\frac{98{,}879 \times 1810 \times 24 \times 0.76}{1{,}000{,}000 \times (72 - 20) \times 0.55} = 114.14 \text{ MBtu/year}$$

چنانچه ارزش حرارتی گاز را (371 53.76 B tu/hr) 39.2 m J/ k g در نظر بگیریم، میزان مصرف سالانه سوخت برای این ساختمان معادل 3o72.72 k g یا معادل $3778.72 m^2$ خواهد شد.

حال همین مسئله را در سیستم گرمایش کفی بررسی می کنیم:

دمای داخل اتاق ها در سیستم گرمایش کفی 68^0 F یا 20^0 C

به عنوان نمونه یک ساختمان مسکونی با زیر بنای ۱۷۵متر مربع را در شمال تهران در نظر می گیریم، این ساختمان دارای ۳ اتاق خواب،آشپزخانه،پذیرایی و نشیمن و دارای ۳ واحد سرویس بهداشتی می باشد.

گرمایش این ساختمان یک بار برایرادیاتور و یک بار نیز برای سیستم گرمایش کفی طراحی شده است.

شرایط اولیه ی طرح برای هر دو حالت یکسان می باشند:

دمای طرح بیرون: ۲۰ °F : یا۶.۷ °C ـ

ضریب هدایت حرارت دیوارهای خارجی: $1.25 m^2.k/w$ یا $22 Btu/hr.ft^2.{}^oF$

ضریب هدایت حرارت سقف: $1.o2 w/m.k$ یا $.o.18 Btu/hr.ft^2.{}^oF$

ضریب هدایت حرارت شیشه (شیشه ها تک جداره می باشند:

$6.4 w/m^2.k$ یا $1.13 Btu.hr.ft^2.{}^oF$

برای رادیاتور:

دمای داخل اتاق ها در سیستم رادیاتور : 72°F یا 22.2.°C

دمای داخل سرویس های بهداشتی در سیستم رادیاتور: 76°F یا 24.4°C

ضریب هدایت حرارت کف $1.14 w/m^2.k$ یا $.2 Btu/hr.ft^2.{}^oF$

میزان اتلاف حرارتی در فضاهای مختلف در جدول زیر محاسبه شده است:

	Area (squre feet)	Q_{design} (Btu/hr)
Bedroom-1	167.85	8516
Bedroom-2	150.64	8467
Bedroom-3	195.83	6069
Dining room,Kitchen	1189.94	71266
Service-1	48.42	2200
Service-2	91.46	2361

Q_{design}: 98,879 Btu/hr (Total)

خیلی بیشتر از مقدار بدست آمده در فوق خواهد بود.

منابع و ماخذ:

۱- متون فنی شرکت سوپرپایپ اینترناشنال

۲- متون فنی شرکت Uponor

۳- کتاب ASHRAE HANDBOOK- FUNDAMENTALS سال 1989

۴- کتاب HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT-ASHRAE HANDBOOK سال 2000

دمای داخل سرویس های بهداشتی در سیستم گرمایش کفی $72^{o}F$ یا $22.^{o}C$

کف عایق شده، اما ضرایب اتلاف حرارتی از دیوارها و سقف مانند حالت رادیاتور می باشد.

میزان اتلاف حرارتی در فضاهای مختلف در جدول زیر محاسبه شده است:

	Area (squre feet)	Q_{design} (Btu/hr)
Bedroom-1	167.85	5590
Bedroom-2	150.64	5714
Bedroom-3	195.83	3252
Dining room,Kitchen	1189.94	48791
Service-1	48.42	1376
Service-2	91.46	1070

Q_{design} : 65,793 Btu/hr (Total)

با جاگذاری در فرمول به نتایج زیر می رسیم:

$$\frac{65,793 \times 1810 \times 24 \times 0.76}{1,000,000 \times (68 - 20) \times 0.55} = 82.28 \text{ MBtu/year}$$

در صورتیکه ارزش حرارتی گازرا $39.2\ MJ/Kg$ ($37153.76\ Btu/hr$) در نظر بگیریم میزان مصرف سالانه سوخت برای این ساختمان $2214.5\ kg$ یا معادل $2723.87 m^3$ خواهد شد.

نسبت مصرف سوخت در دو حالت فوق، طبق ذیل خواهد بود:

$$\frac{\text{Fuel cosumption per year (Radiator)}}{\text{Fuel consumption per year (Under floor heating)}} = \frac{3778.72}{2723.87} = 1.3872$$

همانطور که مشخص است مصرف سوخت در سیستم رادیاتور حدود ۳۹ درصد در خانه‌ی مسکونی فوق نسبت به سیستم گرمایش کفی بیشتر می باشد.

البته لازم به ذکر است که این میزان افزایش مصرف سوخت در حالتی در نظر گرفته شده که در هر دو سیستم، امکانات کنترلی و ترموستاتی در هر دو سیستم به صورت یکسان رعایت شود. با توجه به عدم رعایت این موضوع در رادیاتورها، کاهش مصرف سوخت در عمل