Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-020

تحلیل پارامتری عملکرد سیستم های گرمایشی و تهویه مطبوع (HVAC) بهره گیرنده از منابع انرژی تجدید پذیر برای ساختمان ها

مسعود تقوی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر، گروه مهندسی مکانیک، نوشهر، ایران؛ Masoudtaghavi67@Gmail.com

چکیده

امروزه کنترل اقلیم درونی ساختمان ها بخش عمده ای از م صرف انرژی در اتحادیه اروپا را شامل می شود. از این رو ارزیابی سیستم HVAC[1] با بهترین عملکرد یک هدف استراتژیک است، هم برای کاهش مصرف انرژی و هم به منظور کاهش تولید گازهای گلخانه ای. این مقاله تحلیل و بررسی کاملی از عملکرد سیستم های HVAC بهره گیرنده از منابع انرژی تجدیدپذیر را ارائه می کند. تکنولوژی های مورد بحث: دیگ بخار زیست توده، هوا گرمایی، زمین گرمایی و پمپ های حرارتی جذبی هستند. روش پیشنهادی، تمامی پارامتر ها را با توجه به تئوری "بزرگ بهتر است" تخمین می زند. برای هر پارامتر یک تابع تعریف شده است تا میزان وابستگی عملکرد هر تکنولوژی به آن را در یافت کند. این بررسی محیطی که هر سیستم در آن استفاده می شود و عمل می کند را نیز در نظر گرفته است. نتیجه، مجموعه ای از پارامتر های بدون بعد است که از طریق آن ها می توان عملکرد ها را مورد قیاس قرار داد، که می تواند شامل صرفه اقتصادی و اجرایی بودن یک تکنولوژی و همچنین کمکی به دستیابی اهداف اتحادیه ی اروپا تا سال ۲۰۲۰ باشد.

کلمات کلیدی: سیستم های تهویه مطبوع، منابع انرژی تجدید پذیر، تجزیه و تحلیل پارامتری.

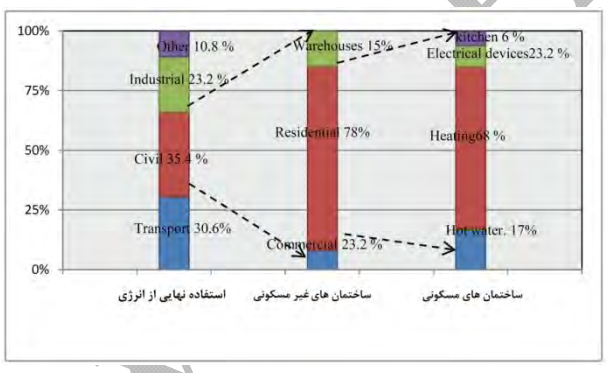
مقدمه

یک ساختمان مسکونی باید مکانی سالم باشد که در آن بتوان بهترین شرایط اقلیمی را دا شت. این امر در اغلب موارد م صرف انرژی بالا و هزینه ی بالای نصب سیستم ها را می طلبد. شکل ۱ نشان می دهد که کاربری های شهری به چه صورتی بخش عظیمی از مصرف انرژی اولیه را در اروپا به خود اختصاص می دهند [۱]. ستون اول درصد پخش انرژی اولیه را در بخش های مختلف را نشان می دهد، در حالی که بیشترین درصد از آن بخش شهری است. این بخش به طور کلی از ساختمان هایی تشکیل شده که برای مصارف خانگی و سکونت استفاده می شوند و در این مورد نیز بیشترین استفاده از انرژی صرف تطابق در زمستان و تابستان می شود. این نتیجه به چند فاکتور بستگی دارد (برای مثال: پوسته ی نامناسب ساختمان و یا نصبیات کهنه و منسوخ) که در برخی موارد می تواند مانعی برای رسیدن به آسایش اقلیمی درون ساختمان همراه با مراقب در برابر محیط باشد. بنابراین هدف سیستم های گرمایش و تهویه مطبوع بهره گیرنده از منابع انرژی تجدیدپذیر این نیازها را به خوبی دنبال می کنند، اما در اکثر اوقات، ویژگی های آن ها کاملا مناسب نیست. این سنجش یک مطالعه دقیق را اتخاذ می کند که سعی در فهم راه هایی دارد که ما را به سوی ارتقای این وضعیت هدایت می کند و به وسیله بررسی فاکتورها و عواملی که هم شرایط اقلیمی درونی و بیرونی و هم شرایط اقتصادی برای کاربران را تحت تاثیر قرار می دهند. این تحقیق برخی از جالب ترین سیستم های گرمایش و تهویه مطبوع مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر را با تحلیل پارامتری کیفیت ها و هزینه ی تکنولوژی های زیر را مورد بررسی قرار می دهد:

"دیگ های بخار زیست توده و پمپ های حرارتی" که این تکنولوژی های انتخاب شده دارای سیستم هایی با بازدهی انرژی بالا بوده و تاثیر محیطی اندک و هم چنین تولید پایین گازهای گلخانه ای دارد. جایگزینی سیستم های پیشین با این سیستم ها می تواند ما را در بازدهی انرژی و دستیابی به اهداف محیطی اتحادیه ی اروپا تا سال ۲۰۲۰ یاری کند. این مقاله سه نوع از سیستم های گرمایش و تهویه مطبوع را برای کل نیاز گرمایی سالانه مورد بررسی قرار داده است:

- ترکیبی از دیگ بخار زیست توده و پمپ حرارتی هوا
- پمپ حرارتی زمین گرمایی
- پمپ حرارتی جذبی

در نوع اول، به منظور دوری از مشکل ذوب یخ، پمپ حرارتی هوا فقط در تابستان استفاده می شود و در زمستان نیاز انرژی گرمایی به طور کامل توسط دیگ بخار زیست توده برطرف می شود.



شکل ۱: به اشتراک گذاری انرژی اولیه در برنامه های کاربردی عمرانی در اروپا (۲۰۱۲) [۱].

توضیحات روش تحقیق

این تحقیق هزینه کلی را ارز یابی می کند، بدین صورت که یک ارزش اقتصادی برای هر بخش از چرخه عمر[2] را از نصب تا حذف، بسته به میزان انرژی تولید شده توسط دستگاه محاسبه می کند. این مقاله به چندین مرحله تقسیم می شود: در ابتدا تمامی اطلاعات لازم برای توصیف کارکرد

[1] Heating, Ventilation, and Air Conditioning

[2] Life Cycle

www.SID.ir

Archive of SID

دستگاه از مشخصات فنی به دست می آیند، سپس هزینه ها به عنوان تابعی از انرژی مصرفی و دمای محیطی که دستگاه در آن نصب شده است محاسبه می شوند. در نهایت هر سه مورد بسته به عملکرد خود در مناطق شمال، مرکز و جنوب، به همراه محاسبه تمامی هزینه های مصرفی برای برطرف کردن نیاز های تابستان و زمستان ارزیابی می شوند. همان گونه که قبلا گفته شد، سه تکنولوژی مورد بررسی قرار گرفته است: اولین آن ها ترکیب دیگ بخار زیست توده و پمپ حرارتی هوا برای استفاده در زمستان و تابستان است. باقی موارد نیز شامل پمپ حرارتی زمین گرمایی و پمپ حرارتی جذبی بوده که می توانند جهت رفع ساختن نیاز حرارتی سالانه مورد استفاده باشند. هزینه کلی به عنوان تابعی از واحد انرژی تولیدی در طی کل طول عمر دستگاه به عنوان مجموعه هزینه های انجام شده به منظور رسیدن به آسایش دمایی محاسبه می شود.

$$C_{tot} = C_0 + C_i + C_m + C_{CO2} \qquad (۱)$$

جزئیات هزینه ها در جدول ۱ نمایان است. فرمول هایی که برای استخراج مقادیر در نظر گرفته شده استفاده شده اند نیز در جدول وجود دارند.

جدول ۱: لیست هزینه ها به همراه فرمول مربوطه

هزینه	فرمول	واحد قیمت
C_0	$\frac{C_0^*(P)}{P}.\frac{1}{hours_{U.L.}}$	€/kWh
C_i	$\frac{c^*(P)}{P}.\frac{1}{\Delta\eta(E.T.)}.€_u$	€/kWh
C_m	بسته به نوع هر تکنولوژی	€/kWh
C_{CO2}	$\frac{kg_{CO2}}{kWh}.€_{kg\ CO2}$	€/kWh

هزینه اولیه[1] (C_0)

هزینه اولیه، هزینه ای است که صرف نصب و راه اندازی دستگاه می شود. این یک هزینه ی مخصوص برای هر واحد انرژی مفید تولیدی است و با در نظر گرفتن طول عمر کارکرد محاسبه می شود که بدین وسیله بتوان هزینه ابتدایی را به کل زمان کارکرد مربوط ساخت. تمامی اجزاء سیستم و دستگاه در تعریف هزینه ابتدایی قرار می گیرند.

این هزینه شامل تمامی چیزهای لازم برای نصب، سیستم ها، ذخیره گرمایی و تانک های سوخت است و همچنین در صورت استفاده از انرژی زمین گرمایی، هزینه کندن چاه برای یافتن مکان مناسب نیز وجود خواهد داشت. هزینه اولیه، حتی هزینه حذف سیستم در پایان عمر کارکرد را هم در بر می گیرد.

هزینه تولید[2] (C_i)

این هزینه یک مقدار اقتصادی برای تولید هر واحد از انرژی گرمایی است و به نیروی ایجاد شده توسط سیستم و همچنین دمای محیط بیرونی بستگی دارد. اما تنها برای سیستم هایی که هوا را به عنوان منبع گرمایی مورد استفاده قرار می دهند. تغییرات عملکرد اطلاعات و داده ها برای پمپ های حرارتی با اندازه گیری چرخه ی ایده آل بر روی نمودار فشار- آنتالپی برای هر دمای خارجی، محاسبه شده است. در سیستم جذبی ذکر شده در این مقاله، تفاوت و تغییرات عملکرد به طور مستقیم توسط سازنده اعمال می شود [۲].

هزینه سالانه نگهداری تجهیزات[3] (C_m)

هزینه سالانه نگهداری تجهیزات به فعالیت های مورد نیاز به منظور کارکرد صحیح تمامی اجزاء دستگاه در طول عمرشان وابسته است. این هزینه تعمیرات زمان بندی شده، تعمیرات اصلاحی و کارکرد سیستم را در بر می گیرد. برای تعمیرات زمان بندی شده، یک کارشناس فنی، سیستم را بازدید می کند و هزینه تابعی از توان تولیدی و میزان کاربری است. به طور معمول یک بازدید سالانه نیاز است. ارزیابی اقتصادی تعمیرات اصلاحی سخت تر است، زیرا که به عوامل شانسی بستگی دارد.

در حالت کلی می توان گفت که تعمیرات زمان بندی شده اگر به صورت خوبی انجام پذیرند، می توانند هزینه های تعمیرات اصلاحی را تا حد قابل توجهی کاهش دهند. مقادیر این هزینه ها و عملکرد سیستم با در نظر گرفتن شرکت های فعال در بخش و همچنین مقادیر استاندارد نیروی انسانی برگرفته از جداول رسمی ارزیابی شده اند [۳]. همانند هزینه اولیه، هزینه سالانه نگهداری تجهیزات نیز یک هزینه مخصوص به ازای واحد انرژی مفید تولیدی است و با توجه به عمر عملکرد به منظور مرتبط سازی هزینه ابتدایی با کل دوره عملکرد محاسبه می شود.

هزینه تولید CO2

هزینه تولید گاز دی اکسید کربن ساطع شده به عنوان هزینه ی تاثیر محیطی حاصل از عملکرد سیستم گرمایش و تهویه مطبوع محاسبه می شود. مقدار دی اکسید کربن تنها در موردی محاسبه می شود که از سوختن سوخت های فسیلی حاصل شده باشند [۴]. در مورد اول، مقدار داده شده توسط موسسه عمومی در نظر گرفته شده است که تولید دی اکسید کربن به ازای تولید برق، $510g_{CO2}/kWh$ برای هر کیلو وات ساعت در سال ۲۰۰۹ بوده است. برای پمپ حرارتی جذبی رابطه زیر استفاده می شود:

$$\frac{kg_{CO2}}{kWh} = \frac{\%(CO_2 - f)\dot{m}_f}{p} \qquad (۲)$$

پارامترهای موجود در فرمول می توانند از سیستم های مورد مطالعه به دست آیند [۲]. پس از به دست آوردن میزان دی اکسید کربن تولیدی، تخمین هزینه اختصاص داده شده به هر کیلوگرم دی اکسید کربن یک مقدار اقتصادی، میسر می شود. ارزیابی این پارامتر و متغیر آسان نیست، زیرا که به عوامل کثیری وابسته است، اما به طور کلی و به طور میانگین، مقداری برابر $0.03\ €/kg_{CO2}$ دارد [۵]. هنگامی که تمامی هزینه های جدول ۱ برای سیستم ها محاسبه شدند، ارزیابی هزینه کلی با جمع کردن هزینه ها ممکن بوده، سپس توسعه تحلیل پارامتری هزینه کلی به عنوان تابعی از نیروی نصب شده و شرایط محیطی میسر می شود.

[1] Initial Cost
[2] Cost for Production
[3] Maintenance

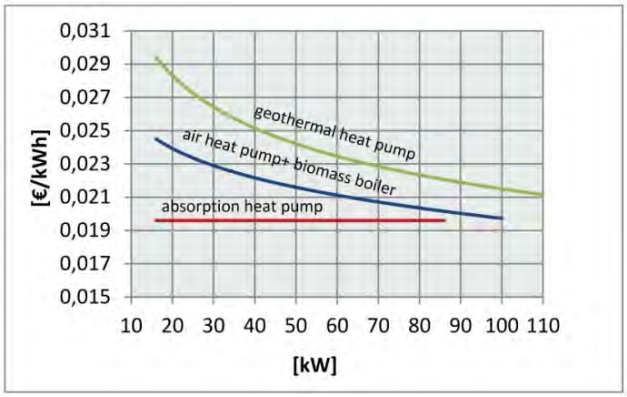
www.SID.ir

Archive of SID

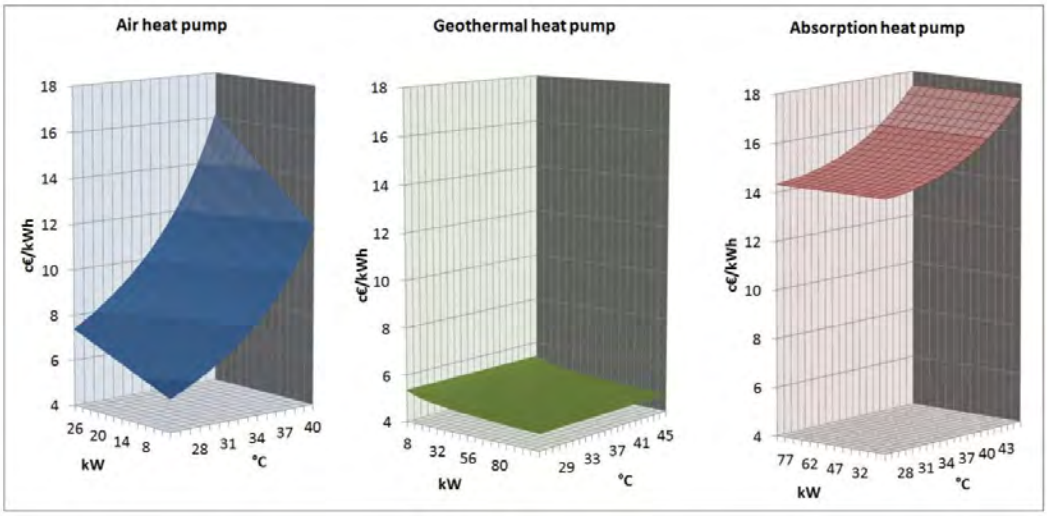
برای ارزیابی هزینه ها در مناطق اقلیمی متفاوت، میانگین دمای روزانه در نظر گرفته شده و پس از آن فرکانس یک دمای خاص مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت این امر ممکن می شود که بتوان هزینه سالانه کلی را به عنوان جمعی از کل هزینه ها برای یک دمای خاص، ضرب شده در تعداد روزها با آن دما را محاسبه کرد. ساعات کارکرد روزانه هر کدام از سیستم های گرمایش و تهویه مطبوع با توجه به منطقه در نظر گرفته می شود.

نتایج

شکل ۲ هزینه اولیه برای سیستم های متفاوت بررسی شده را نشان می دهد. این مقدار به عنوان تابعی از مقدار انرژی که هر سیستم در طول عمر خود تولید می کند محاسبه شده است. این مقدار در سرتاسر نیاز سالانه قرار می گیرد. به همین منظور سیستم هایی که دیگ بخار زیست توده و پمپ حرارتی داشتند با هم مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که مشاهده می شود خط نمودار و گرایش پمپ جذبی حرارتی ثابت است که این به دلیل تشکیل شدن این تکنولوژی از دستگاه هایی مودولار می باشد، بنابراین هزینه مخصوص برای نصب یکسان خواهد ماند. هزینه ی انرژی مصرفی اولیه به طور جداگانه برای هر سیستم ارزیابی و بین تابستان و زمستان تقسیم شده است. در شکل ۳، C_i در تابستان و در شکل ۴، در زمستان ارزیابی شده است. مقادیر به واحد یورو نشان داده شده اند. شکل ۵ و ۶ مقدار هزینه های تعمیرات و تولید دی اکسید کربن را نشان می دهد. توجه داشته باشیم که Cm برای تمامی پمپ های حرارتی مورد بررسی یکسان است. مقدار C_{co2} ثابت است. پس از به دست آوردن کلیه هزینه های مخصوص ارزیابی آن ها مقدور می شود، بنابراین آن ها را با هم جمع کرده و هزینه کلی C_{tot} را به دست می آوریم که مقدار اقتصادی برای یک کیلو وات ساعت از انرژی مفید در طول عمر هر سیستم گرمایش و تهویه مطبوع می باشد. موارد خاصی از سه منطقه مختلف اقلیمی مطالعه شده است: شمال، مرکز و جنوب کشور ایتالیا که از نظر آب و هوایی و جغرافیایی مشابه کشور ایران می باشد که برای هر کدام هزینه کلی C_{tot} در ارتباط با نیروی حرارتی نشان داده شده است (شکل ۷).



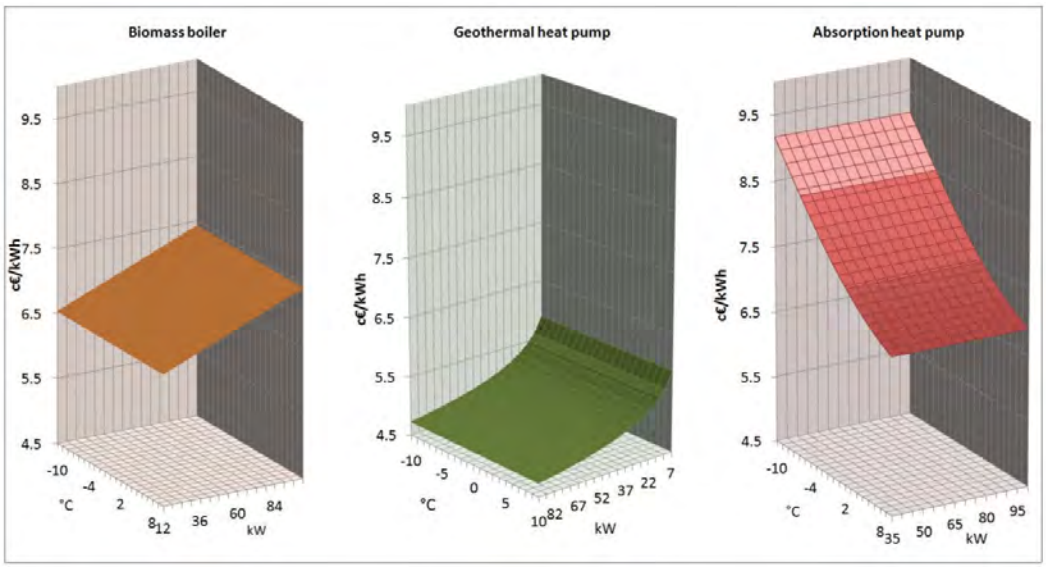
شکل ۲: هزینه اولیه (C_0)



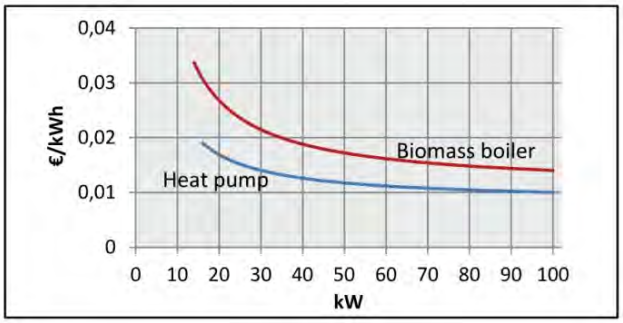
شکل ۳: هزینه تولید (C_i) برای تابستان

www.SID.ir

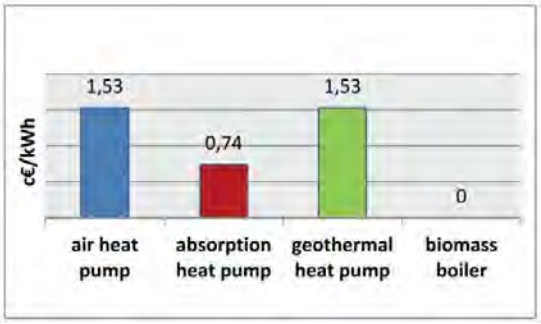
Archive of SID



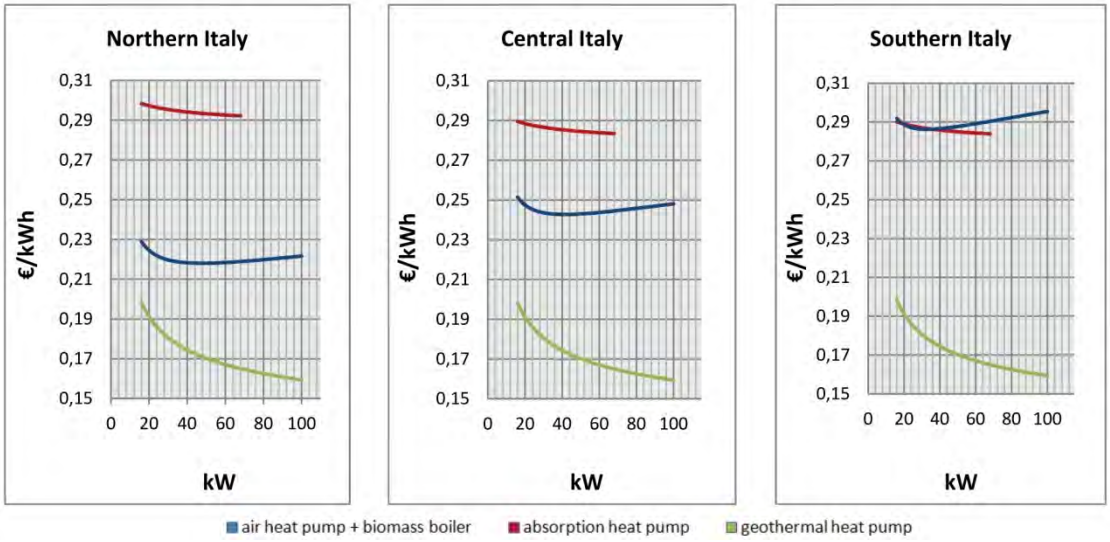
شکل ۴: هزینه تولید (C_i) برای زمستان



شکل ۵: هزینه سالانه نگهداری تجهیزات



شکل ۶: هزینه تولید CO2



شکل ۷: هزینه کلی برای مناطق شمال، مرکز و جنوب

بحث

در نمودار های نشان داده شده در شکل ۷، تفاوت قابل توجهی بین مناطق مختلف اقلیمی مشاهده نمی شود. زیرا ناشی از جبران شدن هزینه های یک فصل در جمع شدن با فصل دیگر است. ترکیب دیگ بخار زیست توده با پمپ حرارتی هوا بارزترین تفاوت میان مناطق مختلف اقلیمی را نشان می دهد. در حقیقت در مناطق اقلیمی گرم، این سیستم هزینه بیشتری دارد چرا که بازده پمپ حرارتی هوا به دلیل افزایش دمای هوای خارجی در تابستان کاهش پیدا می کند. برای دیگر مناطق اقلیمی، ترکیب پمپ حرارتی و دیگ بخار زیست توده ارزان تر خواهد بود، به خصوص برای مناطق اقلیمی سرد. پمپ حرارتی جذبی برای ما زیان محسوب می شود. این تکنولوژی برای بخش خانگی، سیستمی نو و جدید محسوب شده و به تازگی در بازار انرژی ظهور پیدا کرده است. ولی هنوز توانایی رقابت با دیگر

www.SID.ir

Archive of SID

پمپ های حرارتی الکتریکی و اعتبار تثبیت شـــده آن ها را ندارد. نتیجه بسیار مهمی که می توان گرفت، در مورد پمپ حرارتی زمین گرمایی است که هزینه ی زیادی دارد. تحلیل و بررسی دقیق اقتصادی که تمامی عواملی را که هزینه های یک عملکرد را تشـــکیل می دهند مورد ارزیابی قرار داده شـــده که از هزینه کلی فرآیند و برخی جنبه های اســـتراتژیک پرده برداری کرده است، مانند عمر طولانی و مصرف کم آن، که باعث شده است در میان سیستم های دیگر، که ارزان تر هستند و عمر کمتر و هزینه استفاده بیشتری دارند، به عنوان تکنولوژی ای درحال ظهور محسوب شود.

نتیجه‌گیری

نصب یک سیستم می تواند به عوامل متعدد و فاکتورهای خارجی بستگی داشـــته باشـــد که بیشـــتر مواقع تحت تاثیر تصـــمیمات کاربر و یا محدود به مرزهای ناشـــی از محیط خارجی، مانند کمبود فضـــا اســـت. برای مثال پمپ حرارتی زمین گرمایی به مقدار زیادی خاک نیاز دارد تا بتواند لوپ ها و دور های آن را در زمین کار گذاشـــت که تقریبا اجرای آن در محیط شـــهری غیر ممکن اســـت. نکته ای که باید بدان توجه داشـــت این اســـت که پمپ های حرارتی جذبی هرچند در رقابت عقب هستند، دورنمای روشنی در آینده ی نزدیک دارند. به علاوه، این تکنولوژی شـــانس زیادی برای به کار رفتن در سیستم های تولید سه گانه (CCHP[1]) و یا در دستگاه های خنک کننده خورشـــیدی دارد. این راه حل ها می توانند مصـــرف بالای انرژی برای تهویه مطبوع هوا در تابستان را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. این تکنولوژی می تواند از منبع زمین گرمایی نیز اســـتفاده کند که بدین وســـیله با کاهش مســـتقیم هزینه عملکرد و جدا شـــدن از دمای خارجی، که به عنوان عاملی اساسی مد نظر است، بازده گرمایی را بیشتر می کند.

امکان استفاده از انواع سوخت ها، دریچه های متفاوت و جالبی را به سوی ما باز می کند، این ملاحظات نقطه آغازی برای پیشرفت های آینده مانند پمپ حرارتی جذبی زمین گرمایی با اســـتفاده از آب گرم تولید شـــده توســـط پنل های خور شیدی حرارتی است. این راه حل ها در واقع ترکیب و آمیزه ای از ویژگی های مثبت تکنولوژی های بررسی شده می باشد. با توجه به تشابه وضعیت آب و هوایی و جغرافیایی ایران و ایتالیا می توان با بررسی دقیق تر و استفاده از تجربیات قبلی و کارهای صورت گرفته در اروپا، خصوصاً ایتالیا گامی بلند در این زمینه برداشت.

فهرست علائم

C_{tot}	هزینه کلی برای هر کیلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی
C_0	هزینه اولیه برای هر کیلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی
C_i	هزینه تولید انرژی اولیه برای هر کلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی
C_m	هزینه هزینه سالانه نگهداری تجهیزات برای هر کیلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی
C_{CO2}	هزینه تولید گاز دی اکسید کربن برای هر کیلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی
$C_0(P)$	هزینه نصب به عنوان نیروی نصب شده
$C_0^*(P)$	مصرف دستگاه گرمایش و تهویه مطبوع برای هر کیلو وات ساعت انرژی مفید تولیدی و به عنوان نیروی نصب شده
hours U.L.	ساعت عمر مفید
€u	هزینه سوخت و یا برق برای هر واحد مصرف
Δη (E.T.)	تغییرات در عملکرد به عنوان دمای خارجی
kg CO2	جرم دی اکسید کربن تولید شده
€kg.CO2	هزینه برای هر کیلوگرم دی اکسید کربن تولیدی
$\%_{(CO2\text{-}f)}$	درصد دی اکسید کربن در جریان خروجی پمپ های حرارتی جذبی
m_f	جریان خروجی پمپ های حرارتی جذبی

مراجع

[1] ENEA. RAPPORTO ENERGIA E AMBIENTE, L'Analisi, ENEA unita centrale studi e strategie, 2012.
[2] Robur. Manuale di progettazione GAHP-AR. 2009.
[3] Assistal. Tabelle installazione manutenzione gestione impianti tecnologici 1 gennaio 2012.
[4] Ispra. ISPRA, Produzione termoelettrica ed emissioni di CO2, 2011.
[5] ENEA. Tecnologie di cattura a sequestrazione della CO2, a cura di G. Girardi, 2011.
[6] L. Stefanutti. Impianti per gli edifici sostenibili, guida ASHRAE alla progettazione costruzione e gestione, Tecniche Nuove, 2009.
[7] R. Dalmastro, G. Noce. Manuale di geotermia a sonde verticali. Hoepli, 2011.
[8] L. de Pascalis, G. Starace. Refrigerazione ad assorbimento. Editore Delfino, 2011.
[9] L. Stefanutti. Impianti di climatizzazione. Tecniche Nuove, 2011.

[1] Combined Cooling, Heating and Power

www.SID.ir