



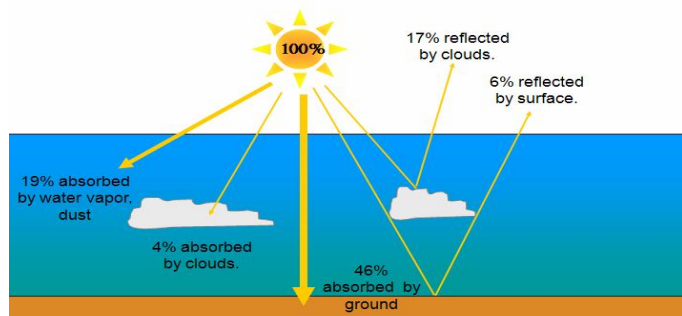
چشم اندازهای استفاده از فن آوری انرژی ژئوترمال (پمپهای حرارتی زمین گرمایی) در ایران

محمدحسین امراللهی، یزدان نجفی صارم

باشد [1]. حال این انرژی در حوزه انرژی زمین گرمایی قرار گرفته و جزو آن به شمار می‌رود. برای بهره‌برداری از این انرژی پمپهای حرارتی بهترین فناوری موجود در عصر حاضر می‌باشد، که این سیستم هم بصورت گرمایشی و هم به صورت سرمایشی بکار می‌رود [2] (شکل 1).

برای اولین بار این ایده در سال 1912 در سوئیس مطرح شد و

اکثر کارهای تحقیقاتی عمده و مهم در این زمینه در سالهای 1930 الی 1940 در ایالات متحده انجام گرفته است. در طی سالهای 1940 تا 1950 انیستیتو برق ادیسون اولین پمپ حرارتی زمین گرمایی که از نوع حلقه ای بود را به اجرا درآورد و به مرور زمان این تکنولوژی مورد توجه قرار گرفت تا اینکه در اوایل دهه 1970، همزمان با اولین شوک نفتی تحول عظیمی در این مورد بوقوع پیوست که تا کنون ادامه دارد. بیشترین سهم پمپهای حرارتی زمین گرمایی مربوط به ایالات متحده و اروپا بوده و بعد از آنها کشورهایی همچون ژاپن و ترکیه قرار دارند. در ابتدای سال 2000 در 27 کشور پمپهای حرارتی منبع زمینی (ژئوترمال) پیشرو در زمینه پمپهای حرارتی میزان ظرفیت نصب شده در حدود 6875 مگاوات حرارتی و میزان مصرف سالانه 23278 تراژول می‌باشد [3,4,5].



انرژی خورشیدی باعث ثابت نگه داشتن دمای داخل زمین در طول سال می‌شود

چکیده - پمپهای حرارتی زمین گرمایی یکی از بهترین راه‌کارهای کاهش مصرف انرژی و استفاده صحیح از آن در بخش تاسیسات و تهویه مطبوع می‌باشد. استفاده از پمپهای حرارتی زمین گرمایی برای تأمین نیازهای گرمایش و سرمایش ساختمانهای مسکونی، تجاری، اداری و صنعتی رو به افزایش است. این سیستمها از زمین، به عنوان یک چاه حرارتی در تابستان و یک منبع حرارتی در زمستان استفاده می‌کنند و در کلیه مناطق آب و هوایی قابل استفاده هستند. برخلاف سیستمهای تهویه مطبوع متداول که در آن سوخت فسیلی مورد احتراق قرار گرفته و تولید حرارت می‌کند در پمپهای حرارتی زمین گرمایی هیچگونه احتراقی نداشته و تنها وظیفه آن انتقال حرارت است.

در این مقاله به تحلیل شرایط عملکرد (در دو حالت گرمایش و سرمایش) پمپهای حرارتی زمین گرمایی می‌پردازیم و مزایا و معایب آنها در مقایسه با سیستمهای متداول تهویه مطبوع بررسی می‌گردد. در پایان بررسی اقتصادی و امکان‌سنجی بکارگیری پمپهای حرارتی زمین گرمایی در ایران انجام شده است. و با جمع بندی نتایج مدت زمان بازگشت سرمایه برای پروژه‌های پمپهای حرارتی زمین گرمایی برآورد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی - ژئوترمال، پمپ حرارتی زمین گرمایی، سیستم حلقه باز، سیستم حلقه بسته، ضریب عملکرد، آرایش عمودی، آرایش افقی

1- مقدمه

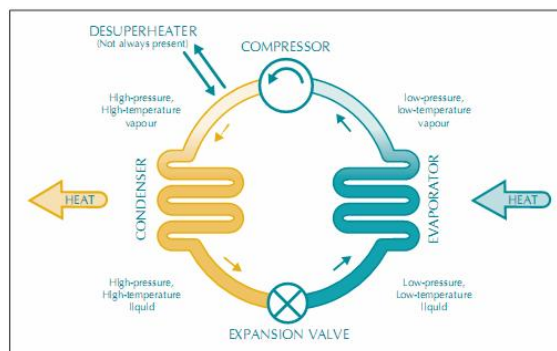
برای نگه داشتن دمای ساختمان در دمای آسایش، نیاز به منبع انرژی قابل ملاحظه هست. اغلب طراحان از سیستمهای مستقل سرمایش و گرمایش برای تامین دمای مطلوب استفاده می‌کنند و این سیستمها برای عملکرد نیاز به انرژیهای سوختهای فسیلی و انرژی الکتریکی دارند. نظر به اینکه 46% انرژی خورشیدی توسط زمین جذب می‌شود، این می‌تواند یکی از منابع فراوان انرژی و قابل دسترس برای تامین نیاز سرمایش و گرمایش ساختمانها

2- نحوه کارکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی

دمای زمین، برخلاف هوای محیط، تقریباً ثابت است. پمپ‌های حرارتی زمینی، از زمین یا آبهای زیرزمینی و یا هر دو، به عنوان منبع حرارت در زمستان و به عنوان چاه حرارتی در تابستان، استفاده می‌کنند. بنابراین پمپ‌های حرارتی زمینی، به عنوان سیستم‌های انرژی زمینی نیز نامیده می‌شوند. حرارت گرفته شده از زمین، به کمک سیالی نظیر آبهای زیرزمینی، و یا محلول آب و ضدیخ، و توسط پمپ حرارتی، به هوای داخل خانه منتقل می‌شود. در تابستان، عکس این فرآیند رخ می‌دهد، یعنی حرارت از هوای داخل، گرفته شده و توسط آبهای زیرزمینی یا محلول آب و ضدیخ، به زمین منتقل می‌گردد. [6].

در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی سیستم‌های تهویه مطبوع دو منظوره بوده که هم برای سرمایش در تابستان و هم برای گرمایش در زمستان قابل استفاده هستند. پمپ‌های حرارتی بین دو منبع سرد و گرم عمل می‌کنند. به طوری که با مصرف انرژی در کمپرسور می‌تواند گرما را از محیط گرم به محیط سرد انتقال دهند. این پمپ‌ها از زمین به عنوان یک منبع حرارتی استفاده می‌کنند (شکل 2).

در این فرآیند مبرد سیال شده را از میان یک مبدل حرارتی (اوپراتور) عبور داده و ضمن جذب حرارت از منبع دما پایین بخار می‌شود. مبرد بخار شده بوسیله کمپرسور دارای فشار لازم جهت به جریان افتادن در سیکل می‌گردد که ضمن آن میزان درجه حرارتش نیز افزایش می‌یابد. این مبرد به یک مبدل حرارتی مبرد به هوا وارد شده که در آنجا هوا بر روی آن به وزش در آمده و در نتیجه یک هوای گرم با درجه حرارت مناسب آسایش توسط کانال‌های توزیع



3- چرخه کارکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی

در هوا به داخل ساختمان تخلیه می‌شود. در نتیجه این انتقال حرارت مبرد دوباره تا حدودی به حالت مایع درآمده و با عبور از شیر انبساط کاملاً به صورت مایع درمیآید و این چرخه دوباره تکرار می‌گردد (شکل 3).

3- ملاحظات مربوط به بازده و ظرفیت پمپ حرارتی

زمین گرمایی

از آنجای که یک پمپ حرارتی نمی‌تواند مستقیماً حرارت تولید نماید بلکه آن انرژی تجدیدپذیر را از زمین جذب و انتقال می‌دهد. لذا آن می‌تواند انرژی بیشتری را نسبت مصرف خود ایجاد کند. بدین دلیل راندمان عادی پمپ حرارتی از 200 تا 600 درصد می‌باشد. بازده پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در مقایسه با پمپ‌های حرارتی هواساز نیز بیشتر می‌باشد و این بخاطر پایداری و دمای معتدل زمین می‌باشد (شکل 4). بنابراین با جایگزینی سیستم پمپ‌حرارتی زمین گرمایی به جای سیستم‌های تهویه مطبوع متعارف و هواسازها می‌توان به صرفه‌جویی مصرف انرژی 30% تا 70% در بار گرمایشی و کاهش 20% تا 50% در بار سرمایشی رسید. از طرفی پیک مصرف انرژی الکتریکی برای تأمین بار سرمایشی در مقایسه با سیستم متعارف تهویه مطبوع پایین بوده و این باعث کاهش دیماند در خواستی می‌گردد.

پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی، حرارت را با راندمان بالا منتقل می‌کنند



4- بازده پمپ حرارتی زمین گرمایی

با در نظر گرفتن بهینه‌سازی فنی - اقتصادی، پمپ حرارتی زمین گرمایی باید در اندازه‌ای انتخاب شود تا بتواند 60 تا 70 درصد بار ماکزیمم مورد نیاز را تأمین نماید. حداکثر بار گرمایشی که به ندرت در طول سال و در شرایط سخت آب‌وهوایی رخ می‌دهد، می‌تواند توسط یک دستگاه گرمایش کمکی برآورده شود. سیستمی که طبق این روش انتخاب می‌شود در حقیقت حدود 95 درصد از کل انرژی مورد استفاده برای گرمایش هوا و آب را تأمین می‌کند [7].

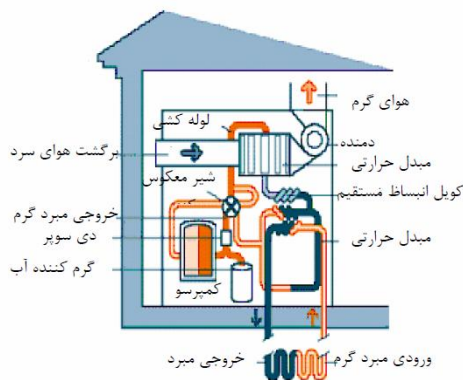
4- اجزاء تشکیل دهنده پمپ‌های زمین گرمایی

پمپ‌های حرارتی زمینی دو بخش عمده دارند. یک مدار لوله‌کشی زیرزمینی در خارج ساختمان، و یک دستگاه پمپ حرارتی در داخل ساختمان قرار می‌گیرد. لوله‌ها نیز به دو قسمت تقسیم می‌شوند که شامل لوله‌های داخل ساختمان و بیرون ساختمان است که لوله‌های درونی در واقع درون دستگاه مادر قرار داشته و کار پرداخت هوا و تهیه آبگرم را بر عهده دارند و هوای

حرارت در واحد طول مبدل، از زمین می‌باشد، که به صورت وات بر متر از طول گودال، بیان می‌شود. مقادیر عمومی آن بین 40 تا 70 W/m است. البته ضریب هدایت خاک تعداد ساعت‌های استفاده شده از پمپ حرارتی در سال، تعداد گودال‌های اطراف، می‌توانند در اندازه این پارامتر مؤثر باشند. با معلوم بودن ظرفیت سرمایش اواپراتور پمپ حرارتی، طول مورد نیاز برای گودال، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [4]:

$$\text{Length [m]} = \frac{\text{ظرفیت اواپراتور پمپ حرارتی [W]}}{\text{نرخ دریافت حرارت در واحد طول مبدل [W/m]}}$$

جهت انتخاب سیستم صحیح پمپ حرارتی زمینی، فاکتورهای مختلفی باید در نظر گرفته شوند. مشخصات زمین شناسی منطقه (نظیر نفوذپذیری کافی برای سیستم‌های باز الزامی می‌باشد)، ابعاد و امکان بهره برداری از سطح (با توجه به آنکه سیستم بسته افقی احتیاج به سطح مشخصی از زمین برای نصب دارد) و مشخصات گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مهمترین مواردی خواهند بود که باید مدنظر قرار گیرند. در فاز طراحی، سیستم زمینی باید طوری انتخاب شود که کاربردی بهینه، با حداقل هزینه حاصل گردد.



شکل 5- اجزاء پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی

5- مزایا و معایب استفاده از انرژی ژئوترمال

این سیستم‌ها از جنبه‌های زیست محیطی به عنوان یکی از مهم‌ترین تکنولوژی‌های جهت کاهش گازهای آلاینده از قبیل دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد و اکسیدهای نیتروژن بشمار می‌آیند. انرژی ژئوترمال را می‌توان در تمام مدت 24 ساعت شبانه روز و در هر 365 روز سال برای هر دو منظور گرمایش و سرمایش استخراج و استفاده کرد. این انرژی، یک انرژی بومی است و احتیاج به وارد کردن و یا صادر کردن آن به کشور دیگری نیست. احداث این سیستم در همه جا امکان پذیر بوده لذا در مناطق دورافتاده نظیر روستاهای کوچک که انتقال انرژی در مقیاس نسبتاً بالا هزینه بر می‌باشد، علاوه بر کمک اقتصادی به منطقه و افزایش سطح رفاه عمومی خواهد شد.

پرداختی نیز توسط کانال کشی موجود در ساختمان توزیع می‌گردد (شکل 5). لوله های برونی از لوله های درونی دارای اهمیت بیشتری هستند. سیستم لوله‌کشی خارج می‌تواند یک سیستم باز یا یک حلقه بسته باشد.

یک پمپ حرارتی با سیستم باز، از انتقال حرارت به و از آب‌های زیرزمینی بهره می‌گیرد. مثلاً در حالت گرمایش، آب چاه به یک مبدل حرارتی وارد شده و حرارت آن گرفته می‌شود. این آب سپس به داخل آبهای سطحی مانند رودخانه و یا برکه، تخلیه می‌شود و یا به داخل یک چاه آب دیگر می‌ریزد.

در پمپ‌های حرارتی با سیستم‌های بسته، انتقال حرارت با زمین، به وسیله یک حلقه لوله‌کشی که در زیرزمین مدفون شده، انجام می‌پذیرد و مثلاً در حالت گرمایش، حرارت توسط یک محلول آب و ضدیخ (و یا مبرد) که بوسیله سیستم تبرید پمپ حرارتی چندین درجه از خاک اطراف خنک‌تر شده است، از خاک گرفته می‌شود. لوله‌کشی یک سیستم حلقه بسته پمپ حرارتی در دو آرایش اصلی عمودی و افقی انجام می‌گیرد (شکل 6). با توجه به انواع سیستم‌های اتصال پمپ حرارتی به زمین، و مشخصات زمین شناسی در اغلب مناطق شهری در ایران، به دلیل عدم دسترسی به منابع آب زیرزمینی در نزدیکی سطح، یا منابع سطحی دائمی آب در طول سال، معمولاً نمی‌توان از سیستم‌های باز برای سیکل زمینی استفاده نمود. در میان سیستم‌های بسته نیز، گاهی به دلیل محدودیت در سطح قابل دسترسی برای قرارگیری لوله های سیکل زمینی، بهترین انتخاب، استفاده از یک سیستم بسته عمودی است. در این نوع سیستم‌ها معمولاً از یک لوله U شکل از جنس پلی اتیلن که بصورت عمودی در یک چاه با قطر و طول مناسب قرار می‌گیرد و به عنوان مبدل حرارتی زمینی با زمین تبادل حرارتی می‌کند، استفاده می‌شود. مخلوط آب و ضدیخ به عنوان حامل گرما برای تبادل گرما از پمپ حرارتی به زمین و بالعکس استفاده می‌شود. لوله‌ها در آرایش عمودی بسته به شرایط خاک و اندازه سیستم، در چاله‌هایی به قطر 150 میلیمتر در عمق 18 تا 60 متری زمین قرار می‌گیرند. حدوداً 80 تا 110 متر لوله‌کشی برای هر تن (12000 Btu/h یا 3/5 kW) از ظرفیت پمپ حرارتی، مورد نیاز است [3] و [4] [8] و [9] و [10].

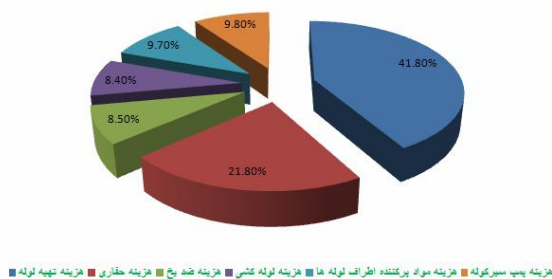
استفاده از آرایش افقی، بیشتر در مکان‌هایی با قابلیت دسترسی به فضای زیاد، متداول می‌باشد. لوله‌ها بسته به تعداد آنها در گودال‌هایی که به طور معمولی 1 تا 1/8 متر عمق دارند، قرار داده می‌شوند. معمولاً 120 تا 180 متر برای هر تن ظرفیت پمپ حرارتی، مورد نیاز است. [9] و [4].

یک پارامتر عمومی برای محاسبه عمق گودال، میزان دریافت

6- بررسی اقتصادی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی

پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالا، نسبت به دیگر سیستم‌های متداول دارند. اما بواسطه هزینه تعمیرات و نگهداری پایین‌تر و مصرف انرژی الکتریکی کمتر، هزینه سرمایه‌گذاری اضافی اولیه آنها در مدت زمان کمی مستهلک می‌گردد.

با توجه به اینکه لوله‌های کویل زمین گرمایی، از زیر زمین عبور می‌کنند، لذا هزینه‌های حفر و پر کردن کانال، پمپ سیرکوله، سیال ضدیخ به قیمت تمام شده پمپ حرارتی اضافه می‌شود. بخش عمده‌ای از هزینه سرمایه‌گذاری پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی مربوط به هزینه حفاری کانال زمینی، هزینه لوله‌های پلی اتیلنی و نصب آنها می‌باشد. شکل 7 درصد وزنی اجزاء تشکیل دهنده هزینه‌های سیستم بسته عمودی را نشان می‌دهد. [3] و [11].



شکل 7- درصد وزنی اجزاء تشکیل دهنده هزینه‌های سیستم بسته عمودی

هزینه نصب لوله‌های زیرزمینی برای حلقه باز آبی، با ظرفیت 3، 4 و 5 تن به ترتیب حدود 506، 405 و 675 \$/ton و برای سیستم بسته افقی، حدود 741 \$/ton، و برای سیستم Slinky، حدود 904 \$/ton و برای سیستم عمودی، حدود 1028 \$/ton می‌باشد.

هزینه‌های نصب داخلی بدون لوله‌کشی زیرزمینی، با کانال‌کشی و بدون کانال‌کشی، برای واحدهای خانگی کوچک، با توان 3، 4 و 5 تن به ترتیب (4700 - 5900)، (5550 - 7000)، و (6000 - 8100) دلار می‌باشد.

بنابراین هزینه‌های کل نصب برای یک سیستم با ظرفیت 3 تن برای پمپ حرارتی هوایی، حدود 4400 \$، حلقه باز آبی 6900 \$، حلقه بسته افقی 8100 \$، حلقه بسته Slinky، 8600 \$ و حلقه بسته عمودی، حدود 9000 \$ می‌باشد.

هزینه‌های عملکرد یک پمپ حرارتی زمینی به علت صرفه‌جویی در سوخت، در مقایسه با سیستم گرمایشی دیگر نسبتاً کمتر می‌باشد. چون پمپ حرارتی زمینی، سوخت کمتر و

برخی دیگر از مزایای این سیستم می‌توان موارد ذیل را نام برد:

^a شرایط کاری بهتر و تامین آسایش بالاتر.
^a ایمنی و جنبه‌های مثبت زیست محیطی. به دلیل عدم احتراق در آن هیچگونه شعله و یا دودی نداریم تا خطرات آتش سوزی، خفگی و آلاینده‌گی زیست محیطی داشته باشیم.

^a به طور تقریبی می‌توان گفت قابلیت نصب شدن در تمام نقاط دنیا را دارد و جای کمی نیز اشغال می‌کند.
^a کارکرد و ظرفیت نصب آن مستقل از شرایط آب و هوایی محل مورد نظر است.

^a صرفه جویی در مصرف انرژی‌های فسیلی را در پی دارند به این دلیل که هیچگونه سوخت فسیلی در آن مورد احتراق قرار نمی‌گیرد و انرژی مصرفی آنها صرفاً الکتریسیته می‌باشد.

^a راندمان حرارتی آن 50 تا 70 درصد بیشتر از سیستم‌های حرارتی رایج است.

^a راندمان برودتی آن 10 تا 40 درصد بیشتر از سیستم‌های برودتی رایج است.

^a پمپ‌های حرارتی زمینی بسیار بی‌صدا بوده و بسیار ایمن و محافظت شده هستند.

^a استفاده از یک منبع انرژی پایدارتر و دماهای نسبتاً ثابت در طول سال.

^a داشتن طرح ساده‌تر و هزینه نگهداری کم‌تر.

در مقابل این مزایا، پمپ‌های حرارتی زمینی، نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری نسبت به سیستم‌های متداول هستند. بخش مهمی از هزینه سرمایه‌گذاری در پمپ‌های حرارتی زمینی بواسطه مبدل حرارتی زمینی می‌باشد. چون لوله‌های زمینی در عمق مشخصی از زمین قرار می‌گیرند، هزینه‌هایی شامل، هزینه لوله پلی اتیلن، هزینه‌های حفر و پر کردن کانال، پمپ سیرکولاتور و سیال ضدیخ (در مناطق سردسیر) به قیمت پمپ حرارتی می‌افزایند [11].

اما در این بین مهمترین عامل بازدارنده در استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی میزان هزینه سرمایه‌گذاری بالا است و این مشکل در کشورهایی همچون ایران خود را بیشتر نمایان ساخته و با توجه به قیمت فوق العاده پایین سوخت‌های فسیلی در وضعیت فعلی در ایران هیچگونه عامل محرکی در استفاده از آنها فعلاً وجود ندارد.

بود.

در انتخاب تجهیزات حرارتی و برودتی معمولی بحرانی ترین شرایط را در نظر میگیرند اما در انتخاب پمپ حرارتی عموماً معیار انتخاب پمپ را حد فاصل بار حداکثر و میانی بالاتر در نظر میگیریم که برای مثال فوق میتوان 70 کیلو وات حرارتی را ملاک قرار بدهیم که بار برودتی را نیز ارضا میکند. برای زمانیکه بار حرارتی ساختمان را پمپ حرارتی به تنهایی نتواند تامین کند از المنتهای برقی موجود در پمپ حرارتی کمک میگیرند. البته این انتخاب نیز وجود دارد که پمپ حرارتی با توجه به حداکثر بار حرارتی ساختمان تعیین شود که با این کار هزینه سرمایه گذاری اولیه را بیشتر کرده‌ایم اما با این وجود هنوز امکان استفاده از المنتهای برقی استندبای وجود دارد. در پمپ های حرارتی که وظیفه تامین هوا و آبگرم منزل را با همدیگر برعهده دارند به دلیل محدودیتهای موجود در سرمای بالای زمستان این امکان وجود دارد که پمپ حرارتی نتواند هر دو کار را به نحو شایسته‌ای انجام دهد که در این صورت المنت های برقی وارد مدار می‌شوند.

هزینه سالانه بکارگیری انواع سیستم‌های جهت ساختمان نمونه براساس قیمت‌های با یارانه و بدون یارانه مطابق شکل 8 خواهد بود. ملاحظه می‌شود، بدون حذف یارانه حامل‌های انرژی استفاده از روش مذکور توجیه اقتصادی ندارد.

ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی به جای سیستم‌های متداول بر اساس قیمت واقعی حامل‌های انرژی بررسی و نتایج آن در جدول 4 درج گردیده است. همان‌طوریکه ملاحظه می‌گردد استفاده از روش مذکور بجای سیستم‌های متداول امروزی علاوه بر صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی، سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالای آن در مدت کمی حدود 3 سال مستهلک می‌شود.

8- نتیجه گیری

پمپ‌های حرارتی و بالخصوص پمپ های حرارتی زمینی، یکی از موثرترین و مفیدترین دستگاههای تأمین انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان می‌باشند. با توجه به کارکرد پایدار این سیستم‌ها، و پتانسیل فراوان منابع زمینی، این سیستم‌ها کارایی خوبی دارند. از طرفی این سیستم ها در مقایسه با سایر سیستم های سرمایشی و گرمایشی، انرژی کمتری مصرف می‌نمایند، هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها کم، عملکرد آنها آرام است، فضای مورد نیاز آنها در ساختمان، نسبتاً کوچک می‌باشد و به لحاظ زیست محیطی، با محیط سازگار هستند. با توجه به نکات ذکر شده، به کارگیری این سیستم‌ها می‌تواند، در مصارف تهویه مطبوع

الکتریسیته بیشتری مصرف می‌کند صرفه‌جویی نسبی، بستگی به قیمت برق و سوخت در آن منطقه دارد. اگر پمپ حرارتی در ناحیه‌ای که قیمت برق گران است استفاده شود، هزینه‌های عملکرد افزایش می‌یابد.

پمپ‌های حرارتی زمینی با بازده‌های متفاوتی در دسترس هستند. پمپ‌های حرارتی زمینی سیکل باز ، ضریب عملکرد (COP) گرمایش در بین 3 تا 4 و ضریب عملکرد سرمایش آنها، در محدوده 3/5 تا 6 می‌باشد. پمپ‌های حرارتی زمینی سیکل بسته ، ضریب عملکرد (COP) گرمایشی 2/5 تا 4 ، و ضریب عملکرد سرمایشی ، بین 3 تا 7 می باشد. در سالهای اخیر بهبود زیادی در بازده پمپ‌های حرارتی زمینی حاصل شده است. امروزه با توسعه فن‌آوری ساخت کمپرسورها، موتورها و انجام کنترل‌های مناسب، بازده سیستم‌های زمینی افزایش یافته است. ضریب عملکرد متوسط در پمپ حرارتی زمین گرمایی 3/5 و در پمپ حرارتی با منبع هوا 2/15 در نظر گرفته می‌شود [12].

برای تحلیل اقتصادی پروژه از روش مدت زمان لازم برای برگشت سرمایه یعنی مدت زمانی که لازم است، سود سالیانه حاصل از پروژه، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را جبران نماید. در واقع پس از سپری شدن این مدت است که پروژه به مرحله سوددهی میرسد. با محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه و مقایسه با عمر سیستم، می‌توان نشان داد که آیا پروژه اقتصادی است یا نه؟ [14]

7- محاسبات اقتصادی برای یک ساختمان نمونه

برای مقایسه انواع سیستم‌های متداول سرمایش و گرمایش با پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی یک ساختمان نمونه با سطح زیر بنای 1000 متر مربع با بار گرمایشی 450GJ/year ، بار برودتی 250GJ/year و آب گرم 150GJ/year در نظر می‌گیریم. مقادیر حداکثر و متوسط بار گرمایشی و برودتی مطابق جدول 1 می‌باشد .

هزینه پرداختی سوخت به جهت مصرف گرمایشی آن در ساختمان را به ازای هر یک میلیون بی‌تی‌یو بر اساس قیمت انواع سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته محل مصرف ، ارزش حرارتی سوخت‌ها و راندمان تجهیزات محاسبه می‌کنیم (جدول 2و3).

راندمان سیستم‌های گرمایش متداول با سوخت‌های فسیلی نفت و گازوئیل و گازطبیعی از 65% تا 85% است که در این بررسی 75% فرض شده و ضریب عملکرد پمپ‌های حرارتی منبع هوایی 2/15 و پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی 3/5 لحاظ شده است.

با توجه به این مقادیر، فرمولها و فرضیات بالا هزینه برای هر یک میلیون بی‌تی‌یو انرژی حرارتی مفید مصرفی مطابق جدول 2 خواهد

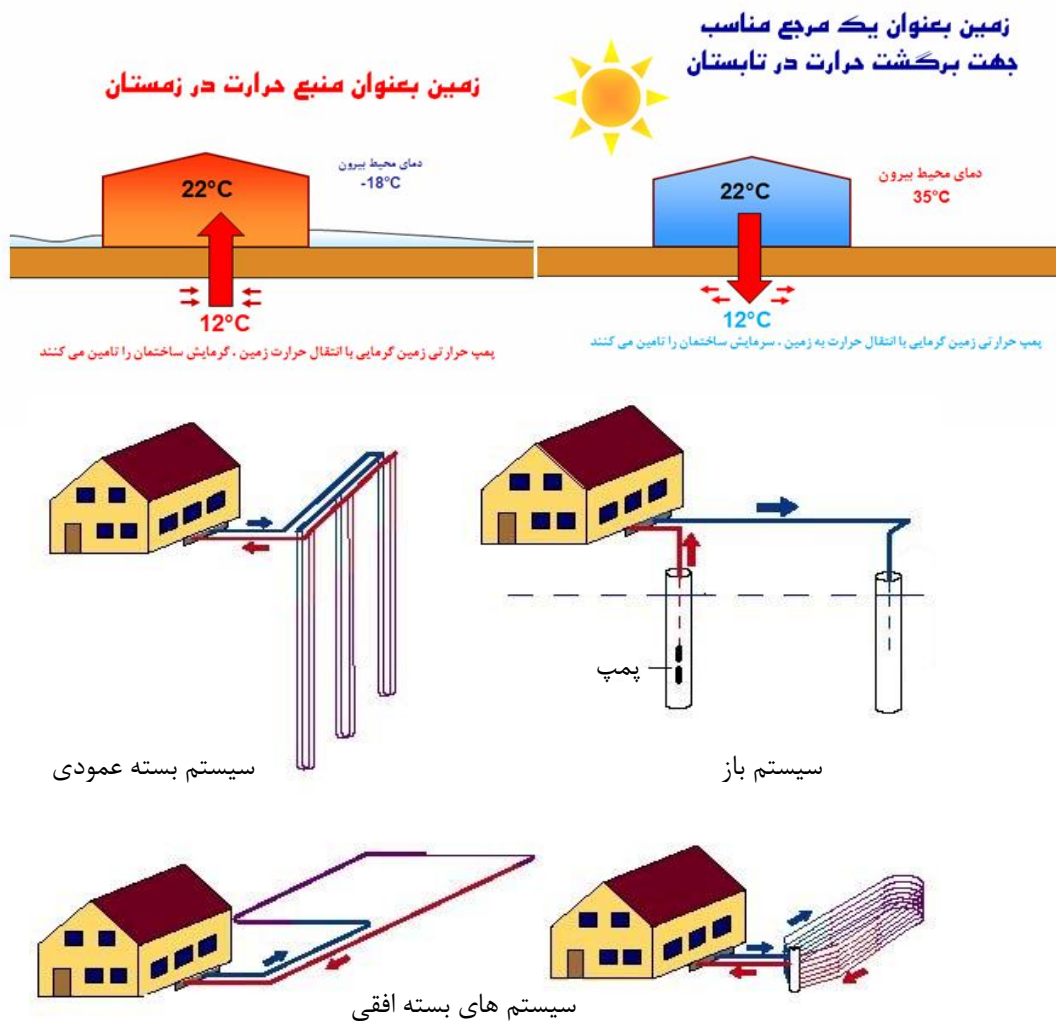
- [4] Burkhar Sanner, "Description of Ground Source Types For the Heat Pump".
- [5] Geothermal Heat Pump Utilization in the United States, J.W. Lund, 2001
- [6] Burkhar Sanner, "Description of Ground Source Types For the Heat Pump".
- [7] ARI Standard. Geothermal Heat Pumps 2000.
- [8] Geothermal Heat Pump Performance, Geo-Heat Centre Tonya. L.B.
- [9] Heat Sources-technology, economy and environment, T. Berntson, 2002.
- [10] Description of ground source types for the heat pump, B. Sanner, 2002.
- [11] Application of the Exergetic Cost Theory to the CGAM Problem, A. Valero, Journal of Energy, 1993.
- [12] Central Heat pump and Air conditioner Installation, DOE/G012002-0781 Feb, 2002.
- [13] Tonya L.B. , Paul J.L. , "Geothermal Heat Pump Performance" , Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology, 1992.
- [14] Hepbasli A. , "Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir ,Turkey" , Int. Journal of Energy Research, 2002.
- [15] Geothermal Heat Pump Utilization in the United States, J.W. Lund, 2001.
- [16] Heating and cooling with a Heat pump, Canada cat No. M -91-2/41-1995 E.
- [17] Kevin Rafferty, P.E. "An Information Survival Kit for the Prospective Geothermal Heat Pump Owner" , GeoHeat Center , Oregon Institute of Technology.
- [18] <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>
- [19] Geothermal Heat Pump Manufacturing Activities October 2009
- [20] www.geothermal.marlin.org
- [21] www.eren.doe.gov/geothermal/power plant

مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

با توجه به توسعه اقتصادی نیاز جهان به انرژی نیز به سرعت افزایش پیدا کرده است بر اساس آمارهای جهانی موجود استفاده از انواع انرژی ها در طی سالیان گذشته از رشد سریعی برخوردار بوده است. با تحلیل اقتصادی بکارگیری پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در ایران در وضعیت فعلی توجیه اقتصادی ندارد ولی با حذف یارانه‌های حامل‌های انرژی یکی از راهکارهای موثر صرفه‌جویی خواهد بود و مدت زمان بازگشت سرمایه برای پروژه‌های پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی حدود 3 سال خواهد بود.

9- مراجع

- [1] Natural Resources Canada (NRCAN), Residential Earth Energy Systems: A Buyer's Guide, NRCAN's Renewable and Electrical Energy Division (REED), ISBN 0-662-30980-4, Cat. No. M92-236/2001E, Ottawa, ON, Canada, 2002, 48 pp.; and NRCAN, Commercial Earth Energy Systems: A Buyer's Guide, NRCAN's REED, ISBN 0-662-32808-6, Cat. No. M92-251/2002E, Ottawa, ON, Canada, 2002, 99 pp.
- [2] "Largest Geothermal System in Ohio goes to high school", Engineered System, Mars 2001, Vol.18, Issue3.
- [3] Kavanaugh S.P., K.Rafferty, "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", 1997 ASHRE.



جدول 1- مقادیر حداکثر و متوسط بار گرمایشی و برودتی بر حسب kW

57	: حداکثر بار برودتی برای یک روز بسیار گرم آفتابی	80	: حداکثر بار حرارتی برای یک روز بسیار سرد
54	: بار برودتی برای یک روز متوسط	67	: بار حرارتی برای یک روز متوسط

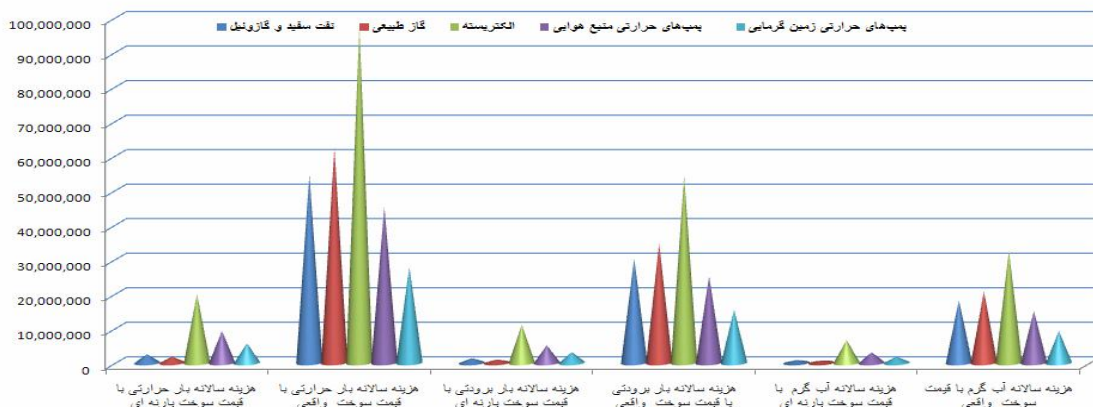
جدول 2 - ارزش حرارتی و قیمت انواع حامل های انرژی

انواع سوخت	ارزش حرارتی سوختها	قیمت سوخت با یارانه	قیمت سوخت بدون یارانه
سوخت نفت سفید و گازوئیل	36500 BTU/Lit	165 ریال/Lit	3500 ریال/Lit
گاز طبیعی	36500 BTU / m ³	120 BTU / m ³	4000 ریال / m ³
الکتریسیته	3413 BTU/kwh	160 BTU/kwh	779 ریال/kwh

جدول 3 - ارزش هزینه یک میلیون بی تی یو انرژی مفید

نوع سیستم	هزینه یک میلیون بی تی یو انرژی حرارتی (یا یارانه سوخت) بر حسب ریال	هزینه یک میلیون بی تی یو انرژی حرارتی (بدون یارانه سوخت) بر حسب ریال
نفت سفید و گازوئیل	6027	127854
گاز طبیعی	4384	146119
الکتریسته	46879	228244
پمپ های حرارتی منبع هوایی	21804	106160
پمپ های حرارتی زمین گرمایی	13394	65213

1000000 × قیمت سوخت
 راندمن × ارزش حرارتی سوخت



شکل 8- مقایسه هزینه مصرف انرژی ساختمان نمونه با روش های مختلف

جدول 4 - نتایج ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم پمپ های حرارتی زمین گرمایی به جای سیستم های متداول

کلید هزینه ها بر حسب ریال می باشد	پمپ های حرارتی منبع		الکتریسته	گاز طبیعی	گازوئیل
	گرمایی	هوایی			
هزینه انرژی سالانه	استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی				
	100,000,000				
گرمایش	27,813,345	45,277,240	97,346,066	62,319,754	54,529,731
سرمایش	15,452,220	25,154,612	54,082,416	34,622,897	30,295,005
آب گرم	9,271,332	15,092,767	32,449,449	20,773,738	18,177,003
جمع هزینه انرژی سالانه	52,536,897	85,524,619	183,877,931	117,716,389	103,001,739
ارزش صرفه جویی سالانه	32,987,722		131,341,034	65,179,492	50,464,842
نرخ برگشت سرمایه بر حسب سال	3.03		0.76	1.53	1.98