18th International Power System Conference

۱۸ کنفرانس بین‌المللی برق

98-F-REN-594

ارزیابی اقتصادی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی

مرتضی یاری، نادر جوانی، علیرضا انصاری
گروه مهندسی مکانیک- مرکز تحقیقات مهندسی جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی
ایران – تبریز

واژه‌های کلیدی : پمپ حرارتی، کویل زمین گرمایی، مبدل دولوله، ضریب عملکرد، مدت زمان بازگشت سرمایه

چکیده:

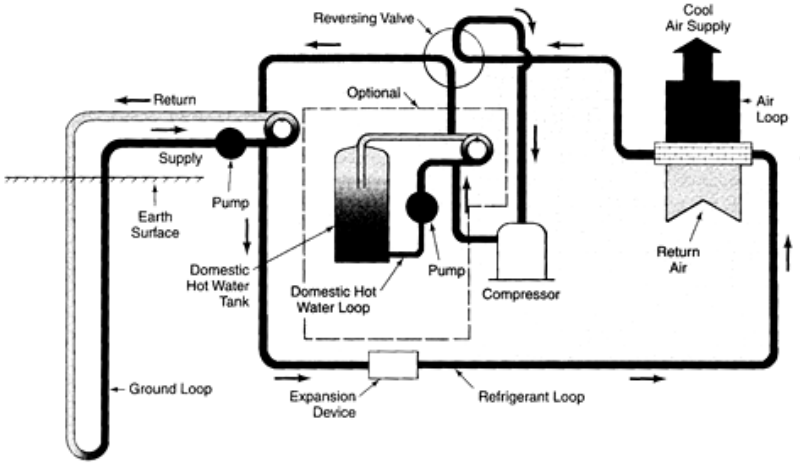
در این مقاله یک مطالعه اقتصادی و امکان‌سنجی در مورد پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی براساس شرایط ایران انجام شده است. پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نسبت به پمپ‌های حرارتی با منبع هوایی دارای ضریب عملکرد بالاتری هستند. در نتیجه باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف برق می‌شوند. از طرفی نسبت به پمپ‌های حرارتی با منبع هوایی دارای هزینه اولیه بالاتری نیز می‌باشند. در این بررسی اختلاف هزینه اولیه لازم در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی برآورد می‌شود. سپس با روشهای آنالیز اقتصادی مدت زمان بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود. بررسی‌های اقتصادی مدت زمان بازگشت سرمایه را در حدود ۶ سال نشان می‌دهند. در ضمن با یک روش پارامتریک تاثیر قیمت برق، مدت زمان بهره‌برداری از سیستم و درصد افزایش سالیانه قیمت برق برروی مدت زمان بازگشت سرمایه و عملکرد اقتصادی سیستم بررسی شده است.

مقدمه

پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی سیستم‌های تهویه مطبوعی هستند که از زمین به عنوان یک چشمه یا چاه حرارتی استفاده می‌کنند. اجزای تشکیل دهنده یک پمپ حرارتی زمین گرمایی در شکل (۱) نشان داده شده است. پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نسبت به سیستم‌های متداول تهویه مطبوع، مصرف انرژی پایین‌تری دارند. به علت اینکه دمای زمین نسبتا ثابت و به دمای داخل اتاق نزدیکتر است، پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی دارای بازده بالاتری می‌باشند[۱].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- اجزای تشکیل دهنده پمپ حرارتی زمین گرمایی (مود سرمایش)

بواسطه این بازده بالا، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف برق ایجاد خواهد شد. در مقابل این مزیت، پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بالاتری هستند. بخش مهمی از هزینه سرمایه‌گذاری در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی بواسطه هزینه حفاری کانال زمینی، هزینه لوله‌های پلی‌اتیلنی و نصب آنها می‌باشد[۱]. چون لوله‌های کویل زمین گرمایی از زیر زمین عبور می‌کنند، هزینه‌های شامل، هزینه لوله پلی‌اتیلنی، هزینه‌های حفر و پرکردن کانال، پمپ سیرکولاتور و سیال ضدیخ به قیمت تمام شده پمپ حرارتی اضافه می‌شود. البته در مناطق گرمسیری احتیاجی به استفاده از ضدیخ نیست[۱]. با اینکه سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی به هزینه اولیه بالاتری نیاز دارند، ولی به دلیل صرفه‌جویی در مصرف برق و مزایای فراوان فنی و زیست محیطی که دارا هستند، هزینه اضافی اولیه در یک مدت زمان مشخص قابل بازگشت است. البته بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهد پروژه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی اگرچه دارای نرخ برگشت سرمایه پایینی هستند اما برای استفاده در یک دوره بلند مدت دارای توجیه اقتصادی می‌باشند. طبق اطلاعات موجود در ادبیات فن مدت زمان بازگشت سرمایه پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی بطور متوسط بین ۵ الی ۷ سال می‌باشد[۲، ۳].

با توجه به رشد مصرف انرژی و افزایش قیمت برق، پیش‌بینی می‌شود که در سالهای آینده این سیستم‌ها جایگاه مناسبی بین سیستم‌های تهویه مطبوع در کشور بدست آورند. در این مقاله مقایسه‌ای بین پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی با پمپ‌های حرارتی منبع هوایی انجام خواهد شد. هزینه سرمایه‌گذاری اضافی که پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نسبت به پمپ‌های حرارتی با منبع هوایی دارند برآورد می‌شود. در نهایت نشان داده خواهد شد که آیا پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی دارای توجیه اقتصادی هستند یا نه؟

برای جواب به این سئوال، نیاز به یک بررسی اقتصادی جامع خواهد بود. به همین منظور کد کامپیوتری در زبان برنامه‌نویسی EES تهیه شد تا ضمن انجام محاسبات اقتصادی و تعیین مدت زمان برگشت سرمایه، مطالعاتی نیز برروی تغییرات پارامترهای مختلف نظیر قیمت برق و مدت زمان بهره‌برداری از پمپ حرارتی بر روی عملکرد اقتصادی

Archive of SID

www.SID.ir

سیستم به عمل آید.

هزینه‌سرمایه‌گذاری‌پمپ‌حرارتی زمین گرمایی

تفاوت پمپ حرارتی با منبع هوایی و پمپ حرارتی زمین گرمایی در نوع کندانسور (اواپراتور) مورد استفاده می‌باشد. پمپ حرارتی با منبع هوایی از مبدل حرارتی نوع لوله – پره استفاده می‌شود اما در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی از مبدل دولوله استفاده می‌شود (شکل۲).

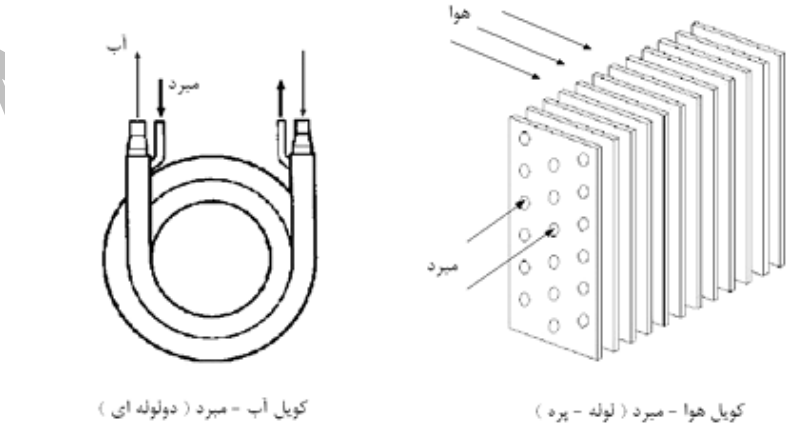
مبدل حرارتی دولوله‌ای جهت کوپل شدن پمپ حرارتی با کویل زمینی لازم می‌باشد[۴]. کویل زمینی بخش مهمی از هزینه‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی را تشکیل می‌دهد. از آنجاکه هزینه اولیه مورد نیاز مبدل حرارتی دولوله‌ای تقریبا معادل هزینه مبدل حرارتی هوا به هوا می‌باشد، این اختلاف، هزینه اضافی به همراه نخواهد داشت. اما بخش کویل زمینی هزینه اولیه زیادی را در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی اضافه می‌کند. اضافه نمودن و نصب یک کویل زمین گرمایی به پمپ حرارتی مستلزم صرف هزینه‌های اضافی زیر خواهد بود[۱] :

- هزینه لوله پلی‌اتیلنی
- هزینه حفر کانال و پرکردن آنها
- هزینه پمپ سیرکولاتور
- هزینه شن
- هزینه لوله‌کشی و اتصالات
- هزینه سیال ضدیخ (در صورت نیاز)

در ادامه هر یک از موارد فوق بطور جداگانه بررسی شده و نحوه محاسبه آنها ارائه خواهد شد. تمامی هزینه‌های فوق تابعی از ظرفیت سیستم هستند. برای محاسبه تمامی هزینه‌ها ضریب اطمینان ۱/۴ در نظر گرفته شده است.

محاسبه هزینه لوله پلی‌اتیلنی

لوله‌های مورد استفاده در کویل زمین گرمایی از نوع پلی‌اتیلن SDR-11 می‌باشند[۵]. جهت تبادل حرارت پمپ حرارتی با زمین، لوله‌های پلی‌اتیلنی را در عمق مناسب، در کانال‌های حفر شده در زمین، دفن می‌کنند. طول موردنیاز برای شبکه لوله پلی‌اتیلنی تابعی از ظرفیت پمپ حرارتی و نوع آرایش لوله‌ها می‌باشد.

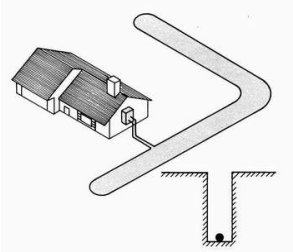
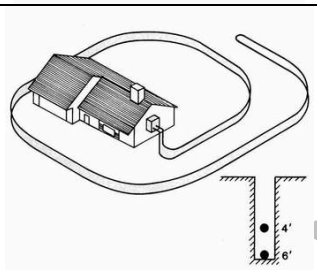
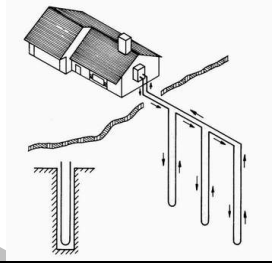


شکل ۲- نمای شماتیک مبدل دولوله‌ای و مبدل حرارتی لوله-پره

www.SID.ir

در جدول (۱) طول موردنیاز برای آرایش‌های مختلف کویل زمینی بر واحد تن تبرید ارائه شده است [۱]. قیمت لوله پلی‌اتیلنی براساس اطلاعات بدست آمده از شرکت سازنده برابر ۵۹۹۴ ریال برای هر متر می‌باشد. در این بررسی برای در نظر گرفتن مالیات، عوارض و هزینه حمل و نقل قیمت تمام شده لوله برابر ۶۲۰۰ ریال برای هر متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- طول لازم برای کویل زمینی برای آرایش‌های مختلف [۱]

Figure	Coil Type	Nominal Length
	Horizontal Single Layer	Pipe: 100-160 [m/ton]
	Horizontal Two Layer	Trench: 60-100 [m/ton] Pipe: 120-200 [m/ton]
	Vertical Single U-Tube	Bore: 50-65 [m/ton] Pipe: 70-125 [m/ton]

برای محاسبه هزینه لوله کافی است، طول لوله موردنیاز برای یک ظرفیت و آرایش مشخص از جدول (۱) استخراج کرده و در قیمت واحد لوله ضرب نماییم. بنابراین هزینه لوله پلی‌اتیلنی برابر است با:

(۱)

$$C_{pipe} = P_{pipe}(Rial/m) \times Q(ton) \times F_C(m/ton)$$

FC در معادله فوق طول لوله موردنیاز برای هر تن تبرید است که از جدول (۱) بدست می‌آید.

محاسبه هزینه حفر کانال و پرکردن آنها

جهت قرارگیری لوله‌های پلی‌اتیلنی در زمین، نیاز به حفر کانال با توجه به آرایش مورد استفاده خواهد بود. میزان حفر کانال تابعی از تناژ پمپ حرارتی و نوع آرایش لوله‌ها می‌باشد. هزینه حفر کانال از مرجع [۶] استخراج شده است. در جدول (۲) هزینه لازم برای حفاری کانال و پرکردن آنها در زمینهای مختلف بر واحد مترمکعب ارائه شده است.

www.SID.ir

در آرایش افقی عرض کانال موردنیاز برای جایگذاری لوله‌ها ۸۰ سانتیمتر می‌باشد. طول کانال تابعی از طول لوله و نوع آرایش افقی می‌باشد. با داشتن طول، عرض و عمق کانال، حجم کانال قابل محاسبه است. هزینه حفر کانال با توجه به حجم خاکبرداری و قیمت بدست آمده از جدول (۲) بدست خواهد آمد.

هزینه‌های حفاری و پرکردن کانال از روابط زیر قابل محاسبه است :

$$C_{Excavation} = V_{Trench}(m^3) \times P_{Excavation}(Rial/m^3) \quad (۲)$$

$$C_{Filling} = V_{Trench}(m^3) \times P_{Filling}(Rial/m^3) \quad (۳)$$

حفر کانال برای آرایش افقی و عمودی دارای هزینه‌های متفاوتی خواهد بود. در واقع حفر سوراخ و چاه عمیق، بواسطه سخت بودن لایه‌های زیرین زمین هزینه عملیاتی بیشتری لازم دارد. در آرایش عمودی، هزینه حفاری تابعی از قطر و عمق می‌باشد.

در محل‌هایی که فضای لازم برای دفن لوله‌ها در زمین وجود داشته باشد نظیرخانه‌های ویلایی و خارج شهر، استفاده از آرایش افقی مناسب می‌باشد. اما در اماکنی که محدودیت فضا وجود دارد، بایستی از آرایش عمودی استفاده کرد. استفاده از آرایش‌های عمودی هزینه‌های اولیه سیستم شامل هزینه حفاری و نصب لوله را افزایش خواهد داد. برای تامین بار حرارتی یک ساختمان ۱۰۰ متری، حداقل فضای موردنیاز برای نصب لوله‌ها با آرایش افقی، بطور سرانگشتی زمینی به مساحت ۳۰۰ متر مربع (۵۰×۶) می‌باشد[۷].

محاسبه هزینه پمپ سیرکولاتور

جهت گردش سیال عامل در کویل زمینی، نیاز به یک پمپ داریم. انتخاب پمپ سیرکولاتور براساس دبی و هد مورد نیاز انجام می‌شود. پمپ باید هد لازم برای غلبه بر افت فشار موجود در شبکه کویل زمینی و اتصالات را تامین نماید. دبی مورد نیاز تابعی از تناژ پمپ حرارتی می‌باشد. دبی موردنیاز برای هر تن تبرید، حدود ۹-۱۲ لیتر بر دقیقه می‌باشد[۵].

جدول ۲- هزینه حفاری و پرکردن کانال با وسیله مکانیکی تا عمق ۲ متر براساس نوع زمین

شرح	نوع زمین	واحد	بهای کل (ریال)
حفر کانال و ریختن خاک کنده شده در کنار محلهای مربوطه	نرم	مترمکعب	۱۶۲۰
حفر کانال و ریختن خاک کنده شده در کنار محلهای مربوطه	سخت	مترمکعب	۲۵۳۰
حفر کانال و حمل مواد کنده شده تا فاصله ۲۰ متری	لجنی	مترمکعب	۴۸۵۰
پرکردن کانالها	ـــــ	مترمکعب	۳۱۵

جدول ۳- قیمت و دبی پمپ سیرکولاتور

بهای پمپ (ریال)	محدوده دبی (لیتر بر دقیقه)	سازنده
۳۵۰۰۰۰	۱۰-۳۷	Lowara
۵۲۰۰۰۰	۱۰-۵۰	Dub

Archive of SID
www.SID.ir

در کد کامپیوتری امکان انتخاب پمپ با توجه به دبی موردنیاز وجود دارد. دو نوع پمپ با محدوده دبی متفاوت در این برنامه در نظرگرفته شده است. قیمت پمپ سیرکولاتور براساس اطلاعات ارائه شده توسط فروشندگان تهیه شده است. در جدول (۳) قیمت و محدوده دبی پمپ‌های مذکور ارائه شده است.

هزینه شن

اطراف لوله‌های پلی‌اتیلنی، توسط شن پر می‌شود. پرکردن اطراف لوله با شن، باعث افزایش و بهبود انتقال حرارت سیال عامل با لایه‌های زیرین زمین می‌گردد. در ضمن باعث ایمنی بیشتر و جلوگیری از شکست شبکه لوله زمینی در مواقع زلزله و حرکت زمین می‌گردد[۱]. به فاصله ۵ الی ۱۰ سانتیمتر اطراف لوله پلی‌اتیلنی شن ریخته می‌شود. به علت وجود فضای خالی بین دانه‌های شن، لوله پلی‌اتیلنی امکان حرکت و جابجایی خواهد داشت.

هزینه شن براساس حجم شن موردنیاز تعیین می‌شود. قیمت شن از مرجع [۶] اقتباس شده است. در این مرجع قیمت هر متر مکعب شن ۱۵۰۰۰ ریال می‌باشد.

هزینه شن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{Sand} = V_{Sand}(m^3) \times P_{Sand}(Rial/m^3) \qquad (۴)$$

محاسبه هزینه لوله‌کشی و اتصالات

هزینه لوله‌کشی و اتصالات براساس هزینه نفر-ساعت لازم برای نصب کویل زمینی محاسبه می‌شود. دستمزد لوله‌کشی برای یکروز کاری ۱۵۰۰۰۰ ریال (۸ ساعت در روز) در نظر گرفته شده است. با توجه به مدت زمان لازم برای تکمیل و نصب لوله‌های کویل زمینی، هزینه نصب و لوله‌کشی محاسبه می‌شود.

برای مثال برای نصب لوله‌های کویل زمینی پمپ حرارتی با ظرفیت ۲ تن، ۲۴ نفر-ساعت کار موردنیاز است. در نتیجه کل هزینه لوله کشی و اتصالات در حدود ۴۵۰۰۰۰ ریال خواهد بود.

محاسبه هزینه سیال ضدیخ (اتیلن گلیکول)

سیالی که در کویل زمینی جریان دارد، ترکیبی از آب و سیال آنتی‌فریز می‌باشد. جهت جلوگیری از یخ‌زدگی آب در کویل زمینی، مخلوطی از آب و ضدیخ به عنوان سیال عامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر اتیلن گلیکول از آنتی‌فریزهای دیگری نیز نظیر متانول، پروپیلن گلیکول و کلسیم کلراید نیز استفاده می‌شود. در مراجع مقدار پیشنهادی سهم ضدیخ بین ۱۰٪ الی ۲۰٪ سیال عامل می‌باشد[۴،۱].

در این تحلیل سهم ضدیخ ۱۰٪ درنظر گرفته شده است. قابل ذکر است که در مناطق گرمسیر احتیاجی به استفاده از سیال ضدیخ نمی‌باشد. بنابراین هزینه مربوط به سیال ضدیخ حذف خواهد شد.

جهت محاسبه هزینه ضدیخ، لازم است تا حجم کل سیال موجود در شبکه لوله‌های زمینی محاسبه شود. با داشتن قطر داخلی لوله‌های پلی‌اتیلنی، می‌توان حجم داخلی لوله‌ها را محاسبه نمود.

$$V_{Pipe,in} = A_{Pipe}(m^2) \times L_{Pipe}(m) \qquad (۵)$$

قیمت هر لیتر ضدیخ نیز ۱۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است. با فرض اینکه ضدیخ ۱۰٪ حجم سیال داخل لوله پلی‌اتیلنی را تشکیل می‌دهد، می‌توان هزینه مربوط به سیال ضدیخ را از رابطه زیر بدست آورد.

$$C_{a.f} = V_{Pipe}(m^3) \times P_{a.f}(Rial/m^3) \times 10\% \qquad (۶)$$

Archive of SID

www.SID.ir

محاسبه انرژی صرفه‌جویی شده سالانه

برای یک ظرفیت تبرید مشخص برق مصرفی پمپ حرارتی زمین گرمایی کمتر از پمپ حرارتی با منبع هوایی می‌باشد. میزان صرفه‌جویی برق با محاسبه اختلاف برق مصرفی پمپ حرارتی زمین گرمایی و برق مصرفی پمپ حرارتی با منبع هوا بدست می‌آید. برای محاسبه برق مصرفی از ضریب عملکرد متوسط پمپ‌های حرارتی استفاده می‌شود.

در جدول (۴) ضریب عملکرد متوسط پمپ های حرارتی با منبع هوایی و زمین گرمایی برای مناطق گرم و سرد ارائه شده است. ضریب عملکرد متوسط در پمپ حرارتی با منبع هوایی برابر ۲/۱۵ و در پمپ حرارتی زمین گرمایی برابر ۳/۵ در نظر گرفته می‌شود [۸]. برای بدست آوردن مقدار برق صرفه‌جویی شده از رابطه ضریب عملکرد استفاده می‌نماییم:

$$COP = \frac{Q}{W} \qquad (۷)$$

جهت محاسبه میزان صرفه‌جویی سالیانه برق، بایستی مقدار صرفه‌جویی را در مدت زمان بهره‌برداری سالیانه پمپ حرارتی ضرب نماییم. برای مثال:

$$S_{annual}(kwh/yr) = E_{Save}(kw) \times U_{time}(hr/yr) \qquad (۸)$$

برای محاسبه درآمد کسب شده ناشی از صرفه‌جویی برق، باید قیمت هر کیلووات برق تعیین شود. قیمت برق طبق تعرفه‌های سال ۱۳۸۱ وزرات نیرو برای مصارف مختلف خانگی و تجاری در جدول (۵) ارائه شده است [۹].

جدول ۴- مقدار ضریب عملکرد انواع پمپ حرارتی برای شرایط آب و هوایی مختلف [۸]

شرایط آب و هوایی	آب و هوای سرد	آب و هوای گرم
پمپ حرارتی با منبع هوایی	۱/۸	۲/۵
پمپ حرارتی زمین گرمایی	۳/۱	۳/۹

جدول ۵- تعرفه برق مصرف کنندگان خانگی در استان آذربایجان شرقی

مصرف کننده خانگی			
میزان مصرف	تا ۲۵۰ کیلووات	۲۵۰-۱۰۰۰ کیلووات	بیشتر از ۱۰۰۰ کیلووات
بهای برق (kwh / ریال)	۱۳۷/۵	۴۱۲/۵	۴۵۰
مصرف تجاری - عمومی			
نوع انشعاب	فشار متوسط	فشار ضعیف	کمتر از ۳۰ کیلووات
بهای برق (kwh / ریال)	۲۰۴	۲۲۵	۴۱۳

با استفاده از تعرفه‌های جدول (۵) می‌توان درآمد سالیانه کسب شده ناشی از صرفه‌جویی برق را برای مشترکین خانگی و تجاری محاسبه نمود. چنانکه مشاهده می‌شود تعرفه‌های متفاوتی برای مصارف خانگی و تجاری وجود دارد. در بخش خانگی متوسط برق مصرفی ماهیانه عامل تعیین‌کننده‌ای در قیمت تمام شده

Archive of SID
www.SID.ir

برق دارد. در واقع قیمت برق با افزایش متوسط برق مصرفی ماهیانه، بصورت تصاعدی افزایش پیدا می‌کند.

در تحلیل اقتصادی انجام شده بهای برق بطور متوسط ۲۵۰ ریال بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است. البته در انتها تاثیر قیمت برق بر روی مدت زمان بازگشت سرمایه مطالعه شده است. در ضمن بواسطه افزایش سالانه بهای برق، هر سال در حدود ۱۵٪ به قیمت برق اضافه می‌شود. بنابراین صرفه‌جویی سالیانه ΔM از فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

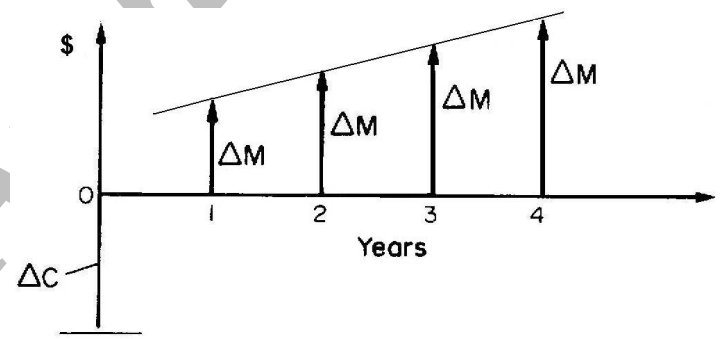
$$\Delta M = S_{annual}(kwh/yr) \times P_E(Rial/kwh) \quad (۹)$$

محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه

برای تحلیل اقتصادی پمپ حرارتی از روش مدت زمان لازم برای بازگشت سرمایه استفاده شده است. مدت زمان لازم برای برگشت سرمایه، مدت زمانی است که سود سالیانه حاصل از پروژه، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را جبران می‌کند. در واقع پس از سپری شدن این مدت است که پروژه به مرحله سوددهی می‌رسد.

چنانکه می‌دانیم پول دارای ارزش زمانی است. با اضافه شدن بهره به سرمایه امروز، مقدار سرمایه سال به سال افزایش می‌یابد. جهت مقایسه هزینه سرمایه‌گذاری با صرفه‌جویی سالانه، باید تمامی هزینه‌ها و درآمدها با نرخ بهره i به سال مرجع برده شوند. روش محاسبه سود سالیانه حاصل در بخش قبل ارائه شد. برای محاسبه مدت زمان برگشت سرمایه باید صرفه‌جویی‌های سالانه با نرخ بهره i به مبدا زمان بازگشت داده شوند تا امکان جمع جبری درآمدها و هزینه‌ها فراهم شود.

با برابر قرار دادن هزینه سرمایه‌گذاری با صرفه‌جویی‌های سالانه برگشت داده شده به سال صفر، می‌توان مدت زمان بازگشت سرمایه را محاسبه نمود. اگر افزایش بهای سالیانه برق j ٪ در نظر گرفته شود، جریان مالی پروژه بصورت شکل (۳) درخواهد آمد.



شکل ۳- جریان مالی با در نظرگرفتن j ٪ افزایش صرفه‌جویی سالانه

فرمول محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه نیز به صورت زیر می‌باشد.

$$\Delta C = \Delta M \times \left(\frac{1-(1+j)^{n} \cdot (1+i)^{-n}}{i-j} \right) \quad (۱۱)$$

در رابطه فوق n مدت زمان بازگشت سرمایه می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

توصیف کد کامپیوتری

به منظور انجام محاسبات اقتصادی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی، یک کد کامپیوتری در زبان برنامه‌نویسی EES تهیه شد. این کد کامپیوتری دارای قابلیت بررسی پارامتریک متغیرهای مختلف می‌باشد. این کد دارای رابط گرافیکی کاربر GUI بوده و استفاده از آن ساده می‌باشد. نتایج خروجی برنامه شامل محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه و ترسیم جریان مالی پروژه می‌باشد.

بواسطه قابلیت این کد کامپیوتری، امکان بررسی اقتصادی پارامتریک سیستم پمپ حرارتی وجود دارد. در واقع میتوان تاثیر پارامترهایی نظیر قیمت برق، لوله، بهای حفر کانال و پرکردن آن را بر روی عملکرد اقتصادی پمپ حرارتی زمین گرمایی بررسی نمود. از پارامترهای دیگری که تاثیر زیادی بر روی مدت زمان بازگشت سرمایه پمپ‌های حرارتی دارد، مدت زمان بهره برداری از پمپ حرارتی می‌باشد. افزایش مدت زمان بهره‌برداری باعث صرفه‌جویی بیشتری در مصرف برق و در نتیجه باعث افزایش بهره‌وری اقتصادی سیستم خواهد شد.

نتایج کد کامپیوتری

مدت زمان بازگشت سرمایه معیار مناسبی برای مقایسه اقتصادی پروژه‌ها می‌باشد. با محاسبه مدت زمان بازگشت سرمایه و مقایسه با عمر سیستم، می‌توان نشان داد که آیا پروژه از نظر اقتصادی سودمند است یا نه؟

هزینه سرمایه‌گذاری اضافی موردنیاز برای پمپ حرارتی زمین گرمایی با ظرفیت ۲ تن تبرید محاسبه می‌شود. سپس هزینه برق صرفه‌جویی شده سالیانه نسبت به پمپ حرارتی با منبع هوایی برای ظرفیت مذکور محاسبه می‌شود. در نهایت با روش مدت زمان لازم برای برگشت سرمایه نشان داده خواهد شد که در چه مدتی سرمایه‌گذاری اضافی بواسطه صرفه‌جویی سالانه جبران خواهد شد.

به همین منظور با استفاده از کد کامپیوتری و فرضیات جدول (۶)، برای دو آرایش مختلف افقی تک لایه و دولایه، مدت زمان بازگشت سرمایه و سهم بخشهای مختلف هزینه سرمایه‌گذاری بدست می‌آید.

جدول ۶- فرضیات در نظرگرفته شده در کد کامپیوتری

شرح	مقدار	واحد
بهای برق	۲۵۰	ریال بر کیلوات ساعت
نرخ رشد بهای برق	٪۱۵	سالانه
نرخ بهره	٪۴	سالانه
مدت زمان بهره‌برداری	۲۵۰۰	ساعت در سال

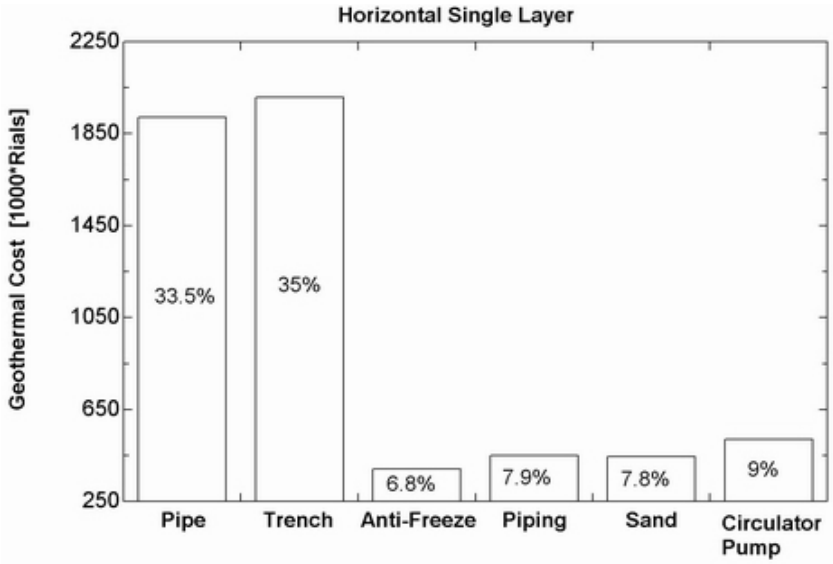
در شکل (۴) برای آرایش افقی تک لایه سهم هر یک از بخش‌های تشکیل دهنده سرمایه گذاری اضافی نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود بخش مهمی از هزینه‌ها شامل هزینه حفاری و هزینه لوله می‌باشد. مدت زمان برگشت سرمایه برای این آرایش حدود ۶/۴ سال است.

در شکل (۵) برای آرایش افقی دو لایه نمودار مشابهی نشان داده شده است. در این مورد هزینه

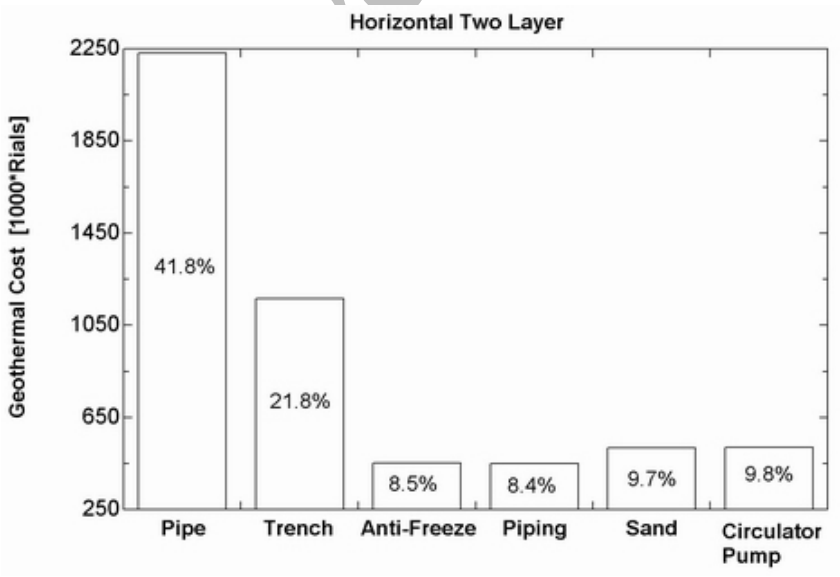
Archive of SID

www.SID.ir

حفاری به حدود نصف مقدار هزینه آرایش افقی تک لایه کاهش می‌یابد. اما هزینه لوله بخاطر افزایش طول لوله، کمی افزایش خواهد داشت. هزینه سیال ضدیخ نیز به نسبت افزایش طول لوله، کمی افزایش خواهد داشت. مدت زمان بازگشت سرمایه برای این حالت به حدود ۶ سال کاهش می‌یابد.



شکل ۴ – سهم سرمایه‌گذاری لازم برای بخشهای مختلف کویل زمینی برای آرایش تک لایه



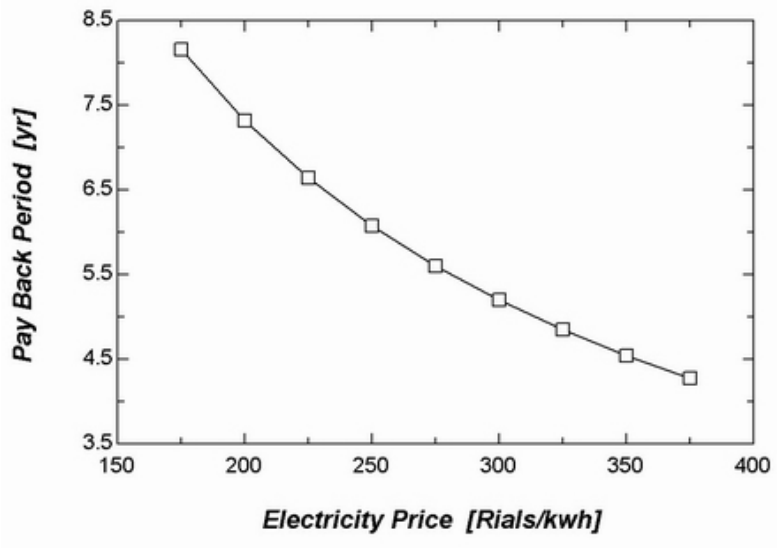
شکل ۵ – سهم سرمایه‌گذاری لازم برای بخشهای مختلف کویل زمینی برای آرایش دولایه

برای نشان دادن تاثیر قیمت برق برروی مدت زمان برگشت سرمایه، نمودار (۶) رسم شده است. با افزایش بهای فعلی برق از ۱۷۵ ریال الی ۳۷۵ ریال مدت زمان بازگشت سرمایه از حدود ۸/۲ سال به ۴/۳ سال کاهش

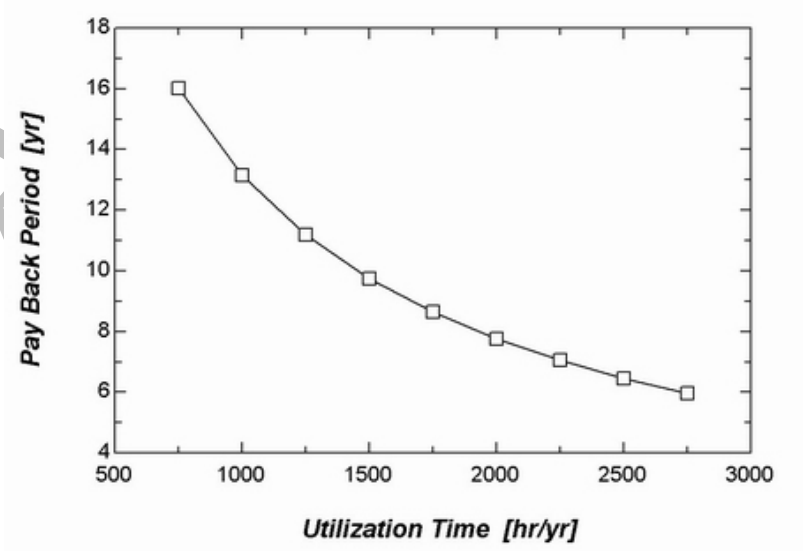
www.SID.ir

می‌یابد. در حال حاضر برای مصارف خانگی قیمت تمام شده هر کیلووات برق برای مشترکان پرمصرف نزدیک به ۳۵۰ ریال می‌باشد.

در شکل (۷) تاثیر مدت زمان بهره برداری برروی مدت زمان بازگشت سرمایه نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان بهره‌برداری از سیستم، مدت زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد. در واقع هرچه در طول سال، از سیستم بیشتر استفاد شود، میزان برق صرفه‌جویی شده نسبت به سیستم پمپ حرارتی متداول بیشتر خواهد شد. در نتیجه افزایش صرفه‌جویی، مدت زمان جبران سرمایه‌گذاری اضافی اولیه کاهش خواهد یافت و پروژه زودتر به مرحله سوددهی خواهد رسید.

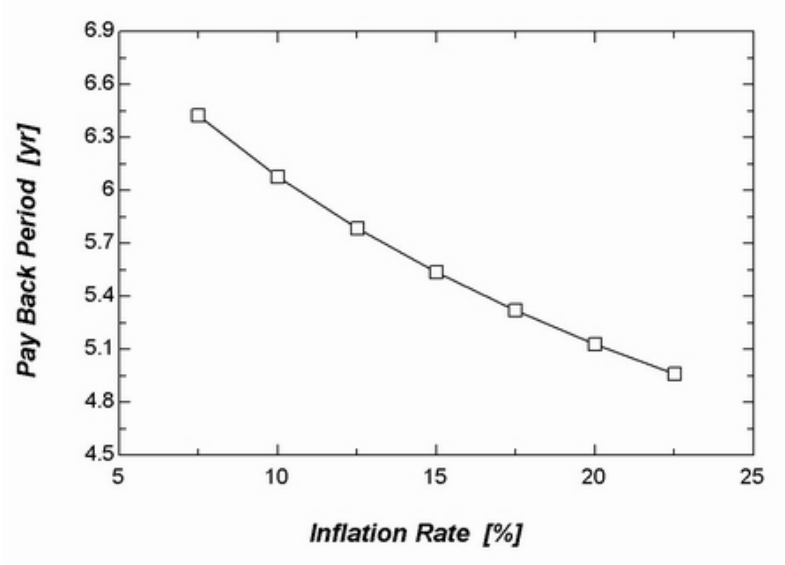


شکل ۶ – تاثیر قیمت برق بر روی مدت زمان بازگشت سرمایه



شکل ۷ – تاثیر مدت زمان بهره‌برداری بر روی مدت زمان بازگشت سرمایه

www.SID.ir



شکل ۸ – تاثیر نرخ افزایش قیمت برق بر روی مدت زمان بازگشت سرمایه

در شکل (۸) تاثیر نرخ افزایش قیمت برق بر روی بازگشت سرمایه نشان داده شده است. با افزایش سالیانه قیمت برق، مدت زمان برگشت سرمایه کاهش می‌یابد. با افزایش سالانه ۲۰ درصدی قیمت برق، مدت زمان بازگشت سرمایه حدود ۱/۵ سال کاهش خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از تحلیل‌های فوق بطور خلاصه عباتند از :

۱) مدت زمان بازگشت سرمایه در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی برای مصارف خانگی بین ۶ الی ۸ سال است. با توجه به سیاست دولت مبنی بر افزایش سالانه قیمت برق و حذف یارانه‌ها به نظر می‌رسد که در سالهای آتی، سیستم‌های زمین گرمایی جذابیت بیشتری پیدا کنند و مدت زمان بازگشت سرمایه در آنها کمتر شود.

۲) در شهرهای جنوبی کشور به علت گرم و شرجی بودن هوا نیاز است که پمپ حرارتی در مدت زمانی نزدیک به ۶ ماه از سال بطور مداوم در مود سرمایش کار کند. بنابراین استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف برق خواهد شد. افزایش صرفه‌جویی باعث کاهش مدت زمان برگشت سرمایه می‌شود. در ضمن در شهرهای گرم جنوب احتیاجی به استفاده از سیال ضدیخ نیست. بنابراین بخشی از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه حذف شده و بالطبع مدت زمان بازگشت سرمایه کوتاهتر خواهد شد. با توجه به محاسبات انجام شده و در نظرگرفتن موارد فوق، مدت زمان بازگشت سرمایه پیش‌بینی شده برای شهرهای گرم جنوبی کمتر از ۴ سال بدست می‌آید.

۳) با اینکه بهای انرژی در ایران بواسطه یارانه‌های تخصیصی پایین است ولی باید در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرده و اقداماتی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی انجام شود تا این سرمایه‌های ملی برای نسل‌های آینده حفظ شود. بنابراین استفاده از سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی که صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی

Archive of SID

www.SID.ir

دارند بایستی بعنوان یک راهکار مناسب مورد توجه مسئولان قرار گیرد. در واقع بجای تخصیص یارانه‌ها برای انرژی لازم است تا این یارانه‌ها برای سیستم‌هایی که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند، اختصاص یابند. با این کار هم سرمایه‌های ملی حفظ خواهند شد و هم منافع اقتصادی و زیست محیطی فراوانی نصیب کشور خواهد شد.

۴) در صورتیکه مسائل زیست محیطی، ایمنی، آرامش و آسایش مصرف کنندگان در نظر گرفته شود، با افزایش توان تولیدی برق نیروگاهها و فرهنگ‌سازی استفاده از سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی حتی امکان رقابت با سیستم‌های مرسوم را نیز خواهد داشت.

فهرست علائم و اختصارات

سیال ضدیخ..... a.f.

سطح مقطع لوله..... A

هزینه..... C

ضریب عملکرد..... COP

انرژی صرفه‌جویی شده..... E_{save}

طول لوله کویل زمینی..... L

بها (قیمت)..... P

ظرفیت..... Q

صرفه جویی..... S

مدت زمان بهره‌برداری..... U_{time}

حجم..... V

توان مصرفی..... W

هزینه سرمایه‌گذاری اضافی..... ΔC

صرفه‌جویی سالیانه..... ΔM

مراجع

1. OKLAHOMA STATE UNIVERCITY, “Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems” , NRECA Research Project. 1989.
2. Tonya L.B. , Paul J.L. , “Geothermal Heat Pump Performance” , Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology, 1992.
3. Holihan P. , “Analysis of Geothermal Heat PumpManufacturers Survey Data”, Energy Information Administration/ Renewable Energy , 1998.
4. Silberstein, E. “Heat Pumps” , DELMAR Thomson Learning , 2003.
5. Whitman, W.C. Johnson, W.M. Tomczyk J.A. , “Refrigeration & Air Conditioning Technology” , DELMAR Thomson Learning , 4 edittion , 2000.

۶. معاونت امور فنی. دفتر امور فنی و تدوین معیارها. "فهرست بهای واحد پایه رشته تاسیسات مکانیکی رسته ساختمان". مدیریت و برنامه‌ریزی کشور – سازمان مدارک علمی و انتشارات. ۱۳۸۱.

7. Bryan , O. “Ground Coupled Loop System Design Manual” , Brad Manufacturing Company , Volume I , March 1995.
8. Kevin Rafferty, P.E. “An Information Survival Kit for the Prospective Geothermal Heat Pump Owner” , GeoHeat Center , Oregon Institute of Technology.

۹. وزارت نیرو. "تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آنها". شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان – استان آذربایجان شرقی. ۱۳۸۱.

Archive of SID

www.SID.ir