

## تحلیل اکسرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در منطقه لاریجان

حسام الدین سالاریان<sup>۱\*</sup>

[h\\_salarian@iaunour.ac.ir](mailto:h_salarian@iaunour.ac.ir)

هومن نادری<sup>۲</sup>

مرتضی حسین زاده<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** در این مقاله یک سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با مبدل حرارتی بسته عمودی U شکل که انرژی مورد نیاز خود را از اعماق زمین تامین می کند مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل اکسرژی برای این سیستم انجام شده، همچنین راندمان و ضریب عملکرد آن بدست می آید.

**روش بررسی:** روابط انرژی، اکسرژی، آنتروپی و آنتالپی برای هر دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی اعمال شده و نتایج بر اساس شرایط جغرافیایی و آب و هوایی منطقه لاریجان ارائه گردیده است. به دلیل وجود چشمه آبگرم در این منطقه تحلیل جامع اکسرژی دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با مبدل حرارتی بسته عمودی U شکل و باز بدست می آید.

**یافته ها:** بیشترین اتلاف اکسرژی در هر دو سیستم مربوط به فن کندانسور می باشد. همچنین نتایج نشان می دهند که ضریب عملکرد و راندمان سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با کوئل زمینی باز بالاتر می باشد که به دلیل دمای بالا تر اولیه (دمای زمین یا چشمه آبگرم) می باشد.

**نتیجه گیری:** نتایج نشان می دهد پمپ حرارتی با سیکل باز دارای ضریب عملکرد و همچنین راندمان اکسرژی بالاتری نسبت به پمپ حرارتی زمین گرمایی با سیکل بسته می باشد.

**واژه های کلیدی:** پمپ حرارتی زمین گرمایی، انرژی، اکسرژی، ضریب عملکرد.

\*۱- (مسئول مکاتبات): استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

۲- کارشناس ارشد مکانیک دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، ایران.

۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، ایران.

## **Exergy Analysis of Geothermal Heat Pump in Larijan**

**Hesamoddin Salarian**<sup>1\*</sup>

[h\\_salarian@iaunour.ac.ir](mailto:h_salarian@iaunour.ac.ir)

**Homan Naderi**<sup>2</sup>

**Morteza Hosainzade**<sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** This study aims to investigate a Ground-Coupled Heat Pump system with vertical U-bend heat exchanger which can provide the energy needed from the depths of earth. Exergy of the system was analyzed and the performance efficiency and coefficient were obtained.

**Method:** In Larijan village, due to hot springs in the area, exergy analyses of two Ground-Coupled Heat Pump systems with vertical U-bend and open loop heat exchangers were compared. Energy, exergy, entropy and enthalpy equations of both Ground-Coupled Heat Pump systems were applied and results were presented based on geographic and climatic conditions of Larijan region.

**Results:** Moreover, it was found that the maximum exergy losses in both systems occurs in the fan condenser.

**Conclusion:** The results show that, due to higher temperatures (the temperature of the ground or the hot spring), the performance coefficient and the efficiency of geothermal heat pump system with the open loop heat exchangers are higher.

**Keywords:** Ground-Coupled Heat Pump, Energy, Exergy, coefficient of performance.

---

1- Assistant Professor, Islamic Azad University Nour Branch, Nour, Iran. \* ( *Corresponding Author* )

2- MSc, Mechanical Engineering Facult Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Iran.

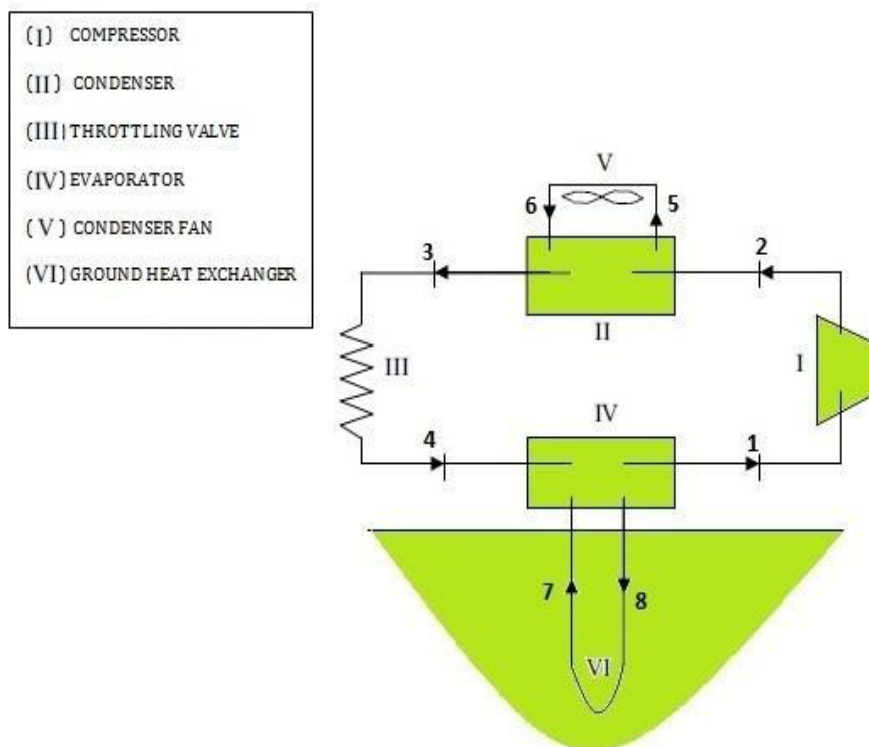
3- Assistant Professor, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Iran.

## مقدمه

همکاران که یک تحلیل جامع اکسرژی از اجزاء و همچنین کل سیستم دو پمپ حرارتی زمین گرمایی با استفاده از منابع دما پایین را ارائه داده‌اند. ما نیز در این مقاله سعی داریم تا تحلیل اکسرژی این سیستم را براساس شرایط محیطی منطقه لاریجان بررسی کنیم.

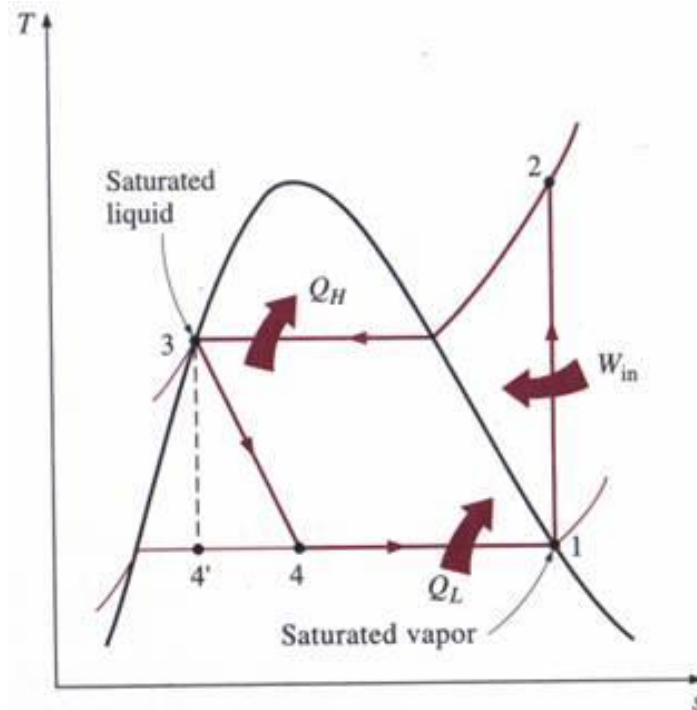
شماتیک یک پمپ حرارتی زمین گرمایی در شکل ۱ و نمودار T-S آن در شکل ۲ نشان داده شده است. اجزای اصلی سیستم عبارتند از: کمپرسور (I)، کندانسور (II)، شیر فشار شکن (III) و اواپراتور (IV). اجزای سیستم همانطور که در شکل مشخص است به یک مبدل (VI) متصل می‌باشند. گرمای زمین از طریق سیال گردش داخل مبدل حرارتی به اواپراتور منتقل شده و اواپراتور از این گرما استفاده نموده و مبرد را تبخیر می‌نماید. مبرد بخار شده وارد کمپرسور شده و تا دما و فشار بالاتری متراکم می‌گردد. مبرد سپس وارد کندانسور شده و در آنجا چگالش یافته و گرمای مفیدی که انتظار داریم را آزاد می‌کند. شیر فشار شکن، فشار مبرد را کاهش داده و دمای آن نیز کاهش پیدا می‌یابد. مبرد به اواپراتور بر می‌گردد و پروسه تکرار می‌گردد.

پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی نقش کلیدی در توسعه انرژی‌های پاک و استفاده از منابع انرژی با ارزش پایین ایفا می‌کنند. این پمپ‌ها با مبدل‌های حرارتی که در زمین قرار می‌گیرند به عنوان یک منبع گرمایی به شمار می‌آیند. استفاده از این پمپ‌ها بعلاوه صرفه اقتصادی و همچنین سازگاری با محیط زیست رونق زیادی پیدا کرده و در بسیاری از صنایع به ویژه در سیستم‌های سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). تحقیقات زیادی در زمینه عملکرد سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی و تحلیل اکسرژی آن انجام شده است که می‌توان از جمله به کار آقای هانگ و همکاران (۲) اشاره کرد که عملکرد سیستم برودتی پمپ حرارتی زمین گرمایی یک مدرسه در کشور کره جنوبی را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین آقای هیاسلی (۳)، که به تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی برای گرم کردن یک ساختمان در کشور ترکیه می‌پردازد. در ایران نیز آقای سیاوشی و همکاران که یک پمپ حرارتی زمین گرمایی با کوئل زمینی بسته عمودی U شکل را به عنوان یک سیستم گرمایشی در شهر کرمان بررسی کرده‌اند و همچنین آقای منصف راد و



شکل ۱- شماتیک سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی (۶)

Figure 1- Schematic of geothermal heat pump cycle



شکل ۲- نمودار T-S پمپ حرارتی زمین گرمایی (۶)

Figure 2- T-S Diagram of geothermal heat pump

### بررسی های ترمودینامیکی

فرض های زیر در محاسبات انجام شده و در بررسی هایی که در ادامه خواهد آمد، مورد استفاده قرار گرفته اند:

- ۱- تمامی فرآیندها در حالت پایدار و جریان پایدار انجام شده اند.
- ۲- انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل ناچیز و قابل چشم پوشی هستند و هیچگونه واکنش فیزیکی و شیمیایی نیز وجود ندارد.
- ۳- انتقال حرارت و افت فشار مبرد در اتصالات اجزاء و در طول لوله ها (به علت کوتاه بودن آن ها) ناچیز و قابل چشم پوشی در نظر گرفته می شوند.
- ۴- هوا یک گاز ایده آل با گرمای ویژه ثابت در نظر گرفته شده است.
- ۵- حالت مرده در فاز گرمایش در فشار جو (100KPa) و دمای 2°C در نظر گرفته شده است.
- ۶- بر اساس شرایط و مصالح ساختمان، دمای محیط داخل ۲۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می شود.

### آنالیز ترمودینامیکی

با استفاده از فرض های در نظر گرفته شده، معادلات موازنه اکسرژی بدست می آیند (۸،۷،۶،۵).

معادلات حاکم بر روابط انرژی، اکسرژی و جرم برای شرایط حالت پایدار به صورت رابطه (۱) می باشد:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (1)$$

قانون اول ترمودینامیک را می توان به صورت رابطه (۲) بیان کرد:

$$\dot{E}_i = \dot{E}_o \quad (2)$$

بالانس اکسرژی به صورت رابطه های (۳) و (۴) بیان می شود که در آن نرخ اکسرژی می باشد:

$$\dot{E}x_i - \dot{E}x_o = \dot{E}x_d \quad (3)$$

(۴)

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,i} - \dot{E}x_{mass,o} = \dot{E}x_d$$

با استفاده از رابطه بالا بالانس کلی اکسرژی به صورت رابطه (۵) ارایه می شود:

(۵)

$$\left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{w} + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_o \psi_o = \dot{E}x_d$$

در رابطه بالا  $\psi$  اکسرژی ویژه می باشد، اکسرژی ویژه به صورت رابطه (۶) بیان می شود:

$$\psi = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (6)$$

دمای زمین در عمق را می توان مطابق رابطه (۷) بدست آورد (۱۰،۹).

(۷)

$$T_{\infty}(z, t) = T_a + A_o e^{-\frac{z}{d}} \sin\left[\frac{2\pi(t-t_o)}{365} - \frac{z}{d} - \frac{\pi}{2}\right]$$

که در آن  $A_o$  دامنه تغییرات سالیان دما (°C) و  $T_a$  دمای میانگین (°C) می باشند.

### بازده انرژی و اکسرژی

معادلات بقای جرم و انرژی برای شیر فشار شکن با رابطه‌های (۱۸) الی (۲۰) نشان داده شده است.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_r \quad (۱۸)$$

$$h_3 = h_4 \quad (۱۹)$$

$$\dot{E}x_{dest,tv} = \dot{m}_r(\psi_3 - \psi_4) \quad (۲۰)$$

معادلات بقای جرم و انرژی برای اواپراتور با رابطه‌های (۲۱) الی (۲۴) نشان داده شده است.

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r \quad (۲۱)$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \quad (۲۲)$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_{ghe} \quad (۲۳)$$

$$(۲۴)$$

$$\dot{E}x_{dest,eva} = \left(1 - \frac{T_0}{T_4}\right) \dot{Q}_{eva} + \dot{m}_r(\psi_4 - \psi_1)$$

در رابطه ۲۳ زیر نویس Ghe بیانگر مبدل آب سطحی زمین گرمایی می باشد.

معادلات بقای جرم و انرژی برای فن کندانسور با رابطه‌های (۲۵) الی (۲۸) نشان داده شده است.

$$\dot{m}_{air,i} = \dot{m}_{air,o} = \dot{m}_{air} \quad (۲۵)$$

$$\dot{Q}_{cfan} = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{o,a} - T_{i,a}) \quad (۲۶)$$

$$\dot{Q}_{cfan} = \dot{Q}_{cond} \quad (۲۷)$$

$$\dot{E}x_{dest,cfan} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{i,a}}\right) \dot{Q}_{cfan} + \dot{m}_a(\psi_5 - \psi_6) \quad (۲۸)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_w \quad (۲۹)$$

$$\dot{Q}_{ghe} = \dot{m}_w C_{p,w} (T_8 - T_7) \quad (۳۰)$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_{ghe} \quad (۳۱)$$

$$(۳۲)$$

$$\dot{E}x_{dest,ghe} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{ground}}\right) \dot{Q}_{ghe} + \dot{m}_w(\psi_7 - \psi_8)$$

#### یافته ها

با توجه به مشخصات سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی اول و جزئیات تجربی که در برخی مراجع آمده است (۱۶، ۱۵، ۱۴، ۳، ۱)؛ مقادیر اولیه مورد نیاز برای محاسبات در جدول ۱ آمده است.

با توجه به مشخصات سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی دوم و جزئیات تجربی که در برخی مراجع آمده است (۱۸، ۱۷، ۴)؛ مقادیر اولیه مورد نیاز برای محاسبات در جدول ۲ آمده است.

بر اساس مقادیر اولیه و جداول ترمودینامیکی (۱۸) آنالیز انرژی سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی بدست آمد که نتایج پمپ حرارتی اول در جدول ۳ و پمپ حرارتی دوم در جدول ۴ آمده است.

با استفاده از فرض‌های در نظر گرفته شده، معادلات موازنه کار خروجی، ضریب عملکرد و راندمان‌های اکسرژی بدست می‌آید (۱۳، ۱۲، ۱۱).

ضریب عملکرد سیستم به صورت نسبت انرژی خروجی مفید به کل انرژی ورودی بیان می‌شود که در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{condenser}}{\dot{W}_{compressor,act}} \quad (۸)$$

کار واقعی کمپرسور با رابطه (۹) نشان داده شده است.

$$\dot{W}_{comp,act} = \frac{\dot{W}_{comp}}{\eta_{comp,m} \eta_{comp,el}} \quad (۹)$$

و بازده اکسرژی به صورت نسبت اکسرژی کلی خروجی به اکسرژی کلی ورودی تعریف می‌گردد که در رابطه (۱۰) نشان داده شده است:

$$\eta = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{dest}}{\dot{E}x_{in}} \quad (۱۰)$$

پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی پیشنهادی

#### پمپ حرارتی زمین گرمایی اول

این پمپ حرارتی قابلیت استفاده از گرمای عمق را دارا می‌باشد. مبدل حرارتی سیستم، بسته عمودی (U) شکل می‌باشد. چاه زمین گرمایی ۱۸۰ متر است. پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به هوا می‌باشد. برای جلوگیری از یخ زدن آب در هوای بسیار سرد زمستان یک مخلوط وزنی ۱۰ درصد پروپیلن گلیکول به آن اضافه می‌شود. مبرد نیز (R-22) می‌باشد.

#### پمپ حرارتی زمین گرمایی دوم

دمای چشمه آبگرم آب اسک در حدود ۳۰ درجه سانتیگراد است. مبدل حرارتی این سیستم باز است که دارای ۲ چاه اکتشافی و تزریقی می‌باشد. آب گرم از چاه اکتشافی به سمت پمپ حرارتی حرکت می‌کند و آب سرد از پمپ حرارتی به چاه تزریقی بر می‌گردد. آب سرد بازگشتی در چشمه، گرم می‌شود و پروسه دوباره تکرار می‌شود. پمپ حرارتی زمین گرمایی از نوع آب به هوا می‌باشد. مبرد نیز (R-22) می‌باشد.

#### معادلات موازنه انرژی

معادلات بقای جرم و انرژی برای کمپرسور با رابطه‌های (۱۱) الی (۱۳) نشان داده شده است.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad (۱۱)$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r(h_{2a} - h_1) \quad (۱۲)$$

$$\dot{E}x_{dest,comp} = \dot{m}_r(\psi_1 - \psi_{2a}) + \dot{w}_{comp} \quad (۱۳)$$

معادلات بقای جرم و انرژی برای کندانسور با رابطه‌های (۱۴) الی (۱۷) نشان داده شده است.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad , \quad \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_a \quad (۱۴)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r(h_{2a} - h_3) \quad (۱۵)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{cfan} = \dot{m}_w(h_5 - h_6) \quad (۱۶)$$

$$(۱۷)$$

$$\dot{E}x_{dest,cond} = \left(1 - \frac{T_0}{T_3}\right) \dot{Q}_{cond} + \dot{m}_r(\psi_{2a} - \psi_3)$$

زمین گرمایی اول می‌باشد. شکل ۶ نشان دهنده اتلاف اکسرژی در اجزاء سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی دوم می‌باشد.

شکل ۳ مقایسه ضریب عملکرد و شکل ۴ مقایسه راندمان دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز و سیکل بسته عمودی U شکل را نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان دهنده اتلاف اکسرژی در اجزاء سیستم پمپ حرارتی

#### جدول ۱- مقادیر اولیه سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی اول

Table 1- The initial values of the first geothermal heat pump system

ردیف	شرح	مقدار	واحد
۱	فشار خروجی اواپراتور	۵۶۰	Kpa
۲	درجه حرارت خروجی اواپراتور	۱۰	°C
۳	فشار خروجی کمپرسور	۲۱۰۰	Kpa
۴	درجه حرارت خروجی کندانسور	۵۰	°C
۵	نرخ جریان جرمی میرد R-22	۰/۰۱۹	Kg/s
۶	نرخ جریان جرمی هوا	۰/۱۴۹	Kg/s
۷	نرخ جریان جرمی آب- ضد یخ	۰/۱۴۷	Kg/s
۸	راندمان آدیباتیک کمپرسور	۰/۷۸	KW

#### جدول ۲- مقادیر اولیه سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی دوم

Table 2- Initial values of Geothermal Heat Pump System II

ردیف	شرح	مقدار	واحد
۱	فشار خروجی اواپراتور	۷۶۰	Kpa
۲	درجه حرارت خروجی اواپراتور	۲۴	°C
۳	فشار خروجی کمپرسور	۱۹۴۰	Kpa
۴	درجه حرارت خروجی کندانسور	۵۵	°C
۵	نرخ جریان جرمی میرد R-22	۰/۰۳۷۲	Kg/s
۶	نرخ جریان جرمی هوا	۰/۲۹۸	Kg/s
۷	نرخ جریان جرمی آب	۰/۳۰۱۲	Kg/s
۸	راندمان آدیباتیک کمپرسور	۰/۷۸	KW

جدول ۳- آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی اول

Table 3: Energy Analysis of the first geothermal heat pump system

ردیف	-	-	-	1	2s	2a	3	4	5	6	7	8
شرح	-	-	-	خروجی اوپراتور	خروجی کمپرسور	خروجی کمپرسور	خروجی کنانسور	خروجی شیر فشار شکن	ورودی فن کنانسور	خروجی فن کنانسور	خروجی آب- ضد یخ	ورودی آب- ضد یخ
سیال	R-22	هوا	آب- ضد یخ	R-22	R-22	R-22	R-22	R-22	هوا	هوا	آب- ضد یخ	آب- ضد یخ
فاز	حالت مرده	حالت مرده	حالت مرده	بخار سوپر هیت	بخار سوپر هیت	بخار سوپر هیت	مایع	مایع- بخار	گاز	گاز	مایع	مایع
دما (°C)	۲	۲	۲	۱۰	۷۱	۷۹	۵۰	۴	۴۵	۲۵	۱۰/۴	۱۵/۳۵
فشار (kpa)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۶۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۵۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
آنالتی (KJ/Kg)	۴۱۴۳۸	۲۷۵۱۲	۸۳۸	۴۰۸/۶	۴۳۶۳	۴۴۴۱	۲۶۸/۰۹	۲۶۸/۰۹	۳۱۵/۵	۲۹۸/۱۸	۴۴/۰۲	۶۴/۴۴
آنترنی (KJ/Kg.K)	۱/۹۳	۱/۶۱	۰/۰۰۳	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۷۶	۱/۲۲	۱/۲۵	۱/۷۶	۱/۶۹	۰/۱/۶	۰/۲۲
نرخ جریان جرم (Kg/s)	۰/۰۱۹	۰/۱۴۹	۰/۱۴۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۱۴۹	۰/۱۴۹	۰/۱۴۷	۰/۱۴۷
اكسرژی ویژه (KJ/Kg)	-	-	-	۴۰/۴۷	۴۷/۱۷	۷۶/۹۶	۴۸/۹۶	۴۰/۷۱	۲/۲۳	۲/۱۶	۰/۱۰	۱/۴۱
اكسرژی (KW)	-	-	-	۰/۸۸۲	۱/۴۰۹	۱/۹۳۰	۰/۹۳۰	۰/۷۷۳	۰/۴۸۱	۰/۳۲۱	۰/۰۱۵	۰/۲۰۷

جدول ۴- آنالیز انرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی دوم

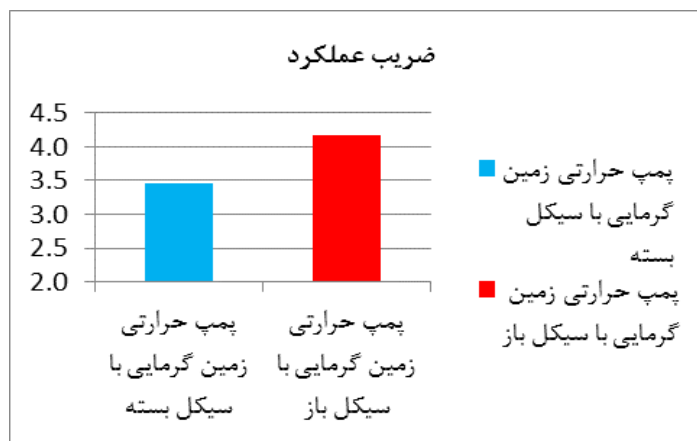
Table 4- Energy analysis of geothermal heat pump system II

ردیف	-	-	-	1	2s	2a	3	4	5	6	7	8
شرح	-	-	-	خروجی اواپراتور	خروجی کمپرسور	خروجی کمپرسور	خروجی کندانسور	خروجی شیر فشار شکن	ورودی فن کندانسور	خروجی فن کندانسور	خروجی آب	ورودی آب
سیال	R-22	هوا	آب	R-22	R-22	R-22	R-22	R-22	هوا	هوا	آب	آب
فاز	حالت مرده	حالت مرده	حالت مرده	بخار سوپر هیت	بخار سوپر هیت	بخار سوپر هیت	مایع	مایع-بخار	گاز	گاز	مایع	مایع
دما (°C)	۲	۲	۲	۲۴	۷۵	۸۳	۵۵	۱۳/۸	۴۵	۲۵	۲۳/۵	۲۷/۵
فشار (Kpa)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۶۰	۱۹۴۰	۱۹۴۰	۱۹۴۰	۷۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
آنالتی (KJ/Kg)	۴۱۴/۳۸	۲۷۵/۱۲	۸۳۸	۴۱۷/۷	۴۴۲/۴	۴۴۸/۴	۲۷۰/۳	۲۵۹/۱	۳۱۵/۵	۲۹۸/۱۸	۹۸/۲۱	۱۱۵/۳۳
آنرژوی (KJ/Kg.K)	۱/۹۳	۱/۶۱	۰/۰۳	۱/۷۶۰	۱/۷۶۰	۱/۷۷۸	۱/۲۲۹	۱/۳۰۶	۱/۷۶	۱/۶۹	۰/۳۴۵	۰/۴۰۲
نرخ جریان جرم (g/s)	۰/۰۳۷۲	۰/۲۹۸	۰/۳۰۱۲	۰/۰۳۷۲	۰/۰۳۷۲	۰/۰۳۷۲	۰/۰۳۷۲	۰/۰۳۷۲	۰/۲۹۸	۰/۲۹۸	۰/۳۰۱۲	۰/۳۰۱۲
اکسرژی ویژه (KJ/Kg)	-	-	-	۵/۰۰۷	۷۴/۷۷	۷۵/۳۷	۴۸/۶۹	۴۳/۸۲	۲/۲۳	۲/۱۶	۳/۴۲	۴/۸۶
اکسرژی (KW)	-	-	-	۱/۸۶۲	۲/۷۸۱	۲/۸۰۰	۱/۸۱۱	۱/۶۳۰	۰/۹۶۲	۰/۶۴۳	۱/۰۳۰	۱/۴۶۵



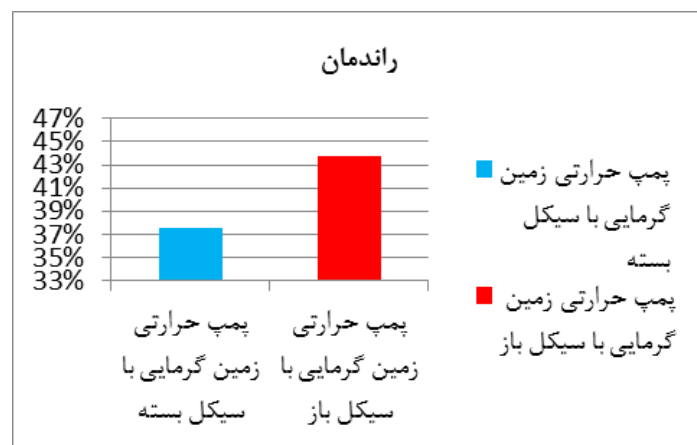
با توجه به نتایج آنالیز انرژی سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی و روابط گفته شده، ضریب عملکرد، راندمان و اتلاف اکسرژی اجزاء سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی به دست آمد. شکل ۳ مقایسه ضریب عملکرد و شکل ۴ مقایسه راندمان دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز و سیکل بسته

با توجه به نتایج آنالیز انرژی سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی و روابط گفته شده، ضریب عملکرد، راندمان و اتلاف اکسرژی اجزاء سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی به دست آمد. شکل ۳ مقایسه ضریب عملکرد و شکل ۴ مقایسه راندمان دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز و سیکل بسته



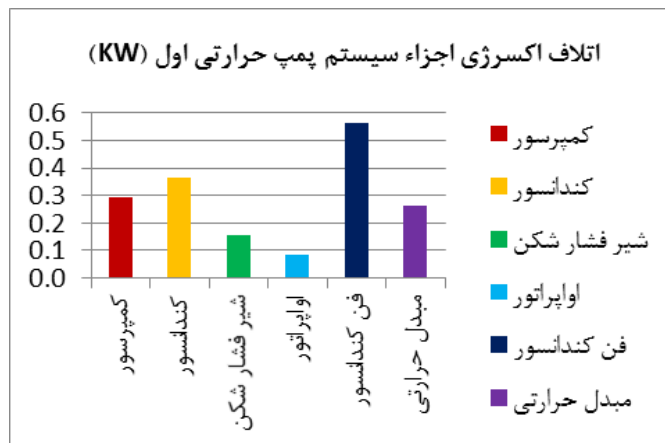
شکل ۳ - مقایسه ضریب عملکرد

Figure 3- Compares the coefficient of performance between open and closed cycle



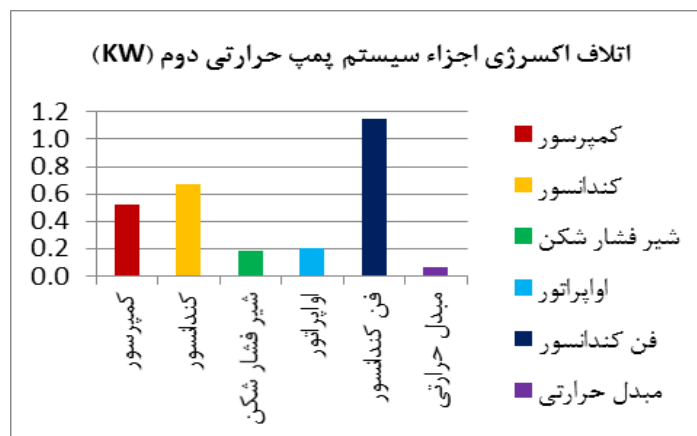
شکل ۴ - مقایسه راندمان

Figure 4- Compares the efficiency



شکل ۵ - اتلاف اکسرژی اجزاء سیستم پمپ حرارتی اول

Figure 5- Exergy loss of the first heat pump system components



شکل ۶- اتلاف اکسرژی اجزاء سیستم پمپ حرارتی دوم

Figure 6- Exergy loss components of the second heat pump system

### بحث و نتیجه گیری

سیستم، بیشترین اتلاف اکسرژی مربوط به فن کندانسور می باشد. بنابراین مهم ترین جزء که بهبود آن منجر به افزایش کارایی سیستم می شود، فن کندانسور می باشد.

### منابع

- 1- Siavoshi kord, A., Jazayeri, S.A., 2012. Optimization and analysis of a vertical ground-coupled Heat pump. *International Journal of Renewable Energy Research*, pp.637-657.
- 2- Hwang, Y., Lee, J., Jeong, Y., Koo, K., Lee, H., Kim, I., Jin, S., Kim, S., 2008. Cooling Performance of a vertical ground-coupled-heat pump system installed in a school building. *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 1(5), pp.737-757.
- 3- Hepbasli, A., 2005. Thermodynamic analysis of a ground-source heat pump system for district heating. *International Journal of Energy Research*, Vol. 29, pp.671-687.
- 4- Monsefrad, M., javaherdeh, K., 2012. Exergy analysis of two types of GSHP using low temperature sources. *Proceedings of the Fourth International Conference on*
- 8- Wark, K., 1995. *Advanced thermodynamics for engineers*. (McGraw-Hil).
- 9- Vries, D.A., 1963. *Thermal Properties of Soils*. In W.R. van Wijk (ed.) *Physics of Plant Environment* (North-Holland Publishing Company, Amsterdam).
- 10- Vries, D.A., 1975. *Heat Transfer in Soils*. In D.A. de Vries and N.H. Afgan (ed.) *Heat and Transfer in the Biosphere* (Script a Book Co., Washington, DC).

در نتایج ارایه شده، خصوصیات اکسرژی دو سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می دهند که ضریب عملکرد و راندمان سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی با کویل زمینی باز بالاتر می باشد که به دلیل دمای بالا تر اولیه (دمای زمین یا چشمه آبگرم) می باشد. این نتایج در مقایسه با تجربیات گذشته نیز منطقی به نظر می رسد. اما برتری سیکل بسته به سیکل باز در دسترس بودن آن و امکان استفاده از آن در تمامی نقاط می باشد، اگرچه بهره برداری از سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز به مراتب ساده تر می باشد. بنابراین به طور کلی، سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز مزایای بیشتری نسبت به سیکل بسته دارا می باشد.

بر اساس ادعاهای ذکر شده در منابع مختلف، راندمان سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی در محدوده ۴۰ الی ۷۰ درصد بیان شده بود؛ که نتایج این تحقیق نیز، این ادعا را تصدیق می کند.

بر اساس تحلیل اکسرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل بسته عمودی (U) شکل، بیشترین اتلاف اکسرژی به ترتیب مربوط به فن کندانسور، اوپراتور، شیر فشارشکن، مبدل حرارتی، کمپرسور و کندانسور می باشد. بر اساس تحلیل اکسرژی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی سیکل باز، بیشترین اتلاف اکسرژی به ترتیب مربوط به فن کندانسور، کمپرسور، کندانسور، شیر فشارشکن، مبدل حرارتی و اوپراتور می باشد. در هر دو

Heating, cooling and air conditioning, Iran, Tehran Olympic Hotel, 23-25 June.

- 5- Cengel Y., Boles MA, 2001. *Thermodynamics: An engineering approach* (McGraw-Hill, 4th edition).
- 6- Chua, K.J., Chou, S.K., Yang, W., 2010. *Advanced heat pump systems: a review*. *Applied Energy*, Vol. 87, pp.3611-3624.
- 7- Kotas, T., 1985. *The exergy method of thermal plant analysis*. Tiptree, Essex: Anchor Brendon Ltd.

- Shiraz University, School of Mechanical Engineering, 26-28 May.
- 17- Kara, YA., 1999. Utilization of low temperature geothermal resources for space heating by using GHPs, PhD thesis, Ataturk University, Erzurum, Turkey, pp.130-135.
  - 18- Kara, YA., Yuksel, B., 2000. Evaluation of low temperature geothermal energy through the use of heat pump. *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, pp.773-781.
  - 19- Esen, H., Inalli, M., Esen, M., Pihtili, K., 2007. Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers. *Building and Environment*, Vol. 42(10), pp.3606-3615.
  - 20- Sonntag, R., Borgnakke, C., VanWaylen, G., 1986. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York :( John Wiley & Sons, 4th edn, 74).
  - 11- Bejan, A., 1988. *Advanced engineering thermodynamics* (John Wiley & Sons).
  - 12- Yang, H., Cui, P., Fang, Z., 2010. Vertical-borehole ground-coupled heat pump: a review of models and systems. *Applied Energy*, Vol. 87, pp.16-27.
  - 13- Kavanaugh, SP., Rafferty, K., 1997. *Ground-source heat pumps: design of geothermal system for commercial and institutional building*. ASHRAE.
  - 14- Hepbasli, A., 2002. Performance evaluation of a vertical ground source heat pump system in Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*, Vol. 26, pp.1121-1139.
  - 15- Hepbasli, A., Akdemir, O., 2004. Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system. *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp.737-757.
  - 16- Siavoshi kord, A., Jazayeri, S.A., Siavoshi, P., 2012. Analysis of the Geothermal Heat Pump climate of Tehran. *Twentieth Annual International Conference on Mechanical Engineering*, Iran, Shiraz,