

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



## تحلیل انرژی‌های گرمایی، ترموآکونومیک و بهینه‌سازی پمپ‌حرارتی زمین‌گرمایی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی

صادق مجتهدی<sup>۱</sup>، سیروس آقاجفی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی

<sup>۲</sup>دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مکانیک

Sadegh.mojtahedi@gmail.com

### چکیده

یکی از روش‌های سرمایه‌گذاری و گرمایش در منازل و مکان‌های تجاری استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی است. طبق آخرین آمار جهانی در سال ۲۰۱۵ ارائه شد بیشترین استفاده از این سیستم، در حالت سرمایه‌گذاری بوده است. به همین دلیل در این مقاله به تحلیل انرژی‌های گرمایی و ترموآکونومیک یک سیکل پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با مبدل حرارتی عمودی می‌پردازیم. سیال عامل این سیستم مبرد R134a می‌باشد. برای بهینه‌سازی این سیستم از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC) استفاده کرده ایم. توابع هدف این مطالعه بازگشت‌ناپذیری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بر روی سیستم می‌باشد. پارامترهای طراحی سیستم عبارت‌اند از: دمای تبخیر و چگالش در اواپراتور و کندانسور، دمای آب ورودی و خروجی از مبدل حرارتی زمین‌گرمایی، فشار مکش و دهش کمپرسور می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد با بهینه‌سازی انجام شده توسط الگوریتم ABC میزان بازگشت‌ناپذیری و هزینه سرمایه‌گذاری به ترتیب ۲۳/۷٪ و ۷/۵٪ کاهش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با مبدل حرارتی زمینی عمودی، الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی، تحلیل انرژی‌های گرمایی و ترموآکونومیک.

۱- کارشناسی ارشد مکانیک

۲- استاد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی



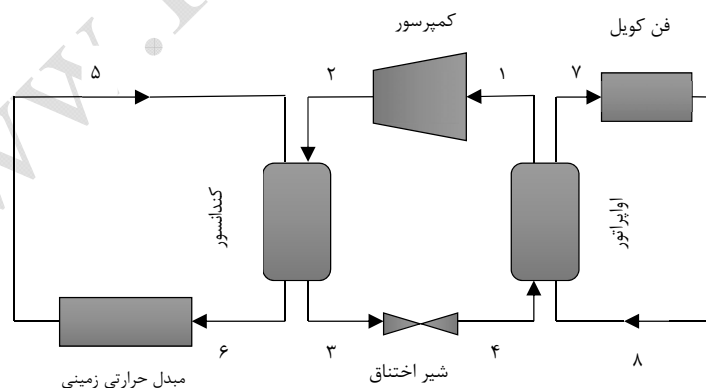
## ۱. مقدمه:

یکی از مشکلات جدی بشر کمبود منابع انرژی فسیلی و افزایش روز افزون گازها گلخانه‌ای به همراه توسعه جامعه مدرن است و انرژی تجدیدپذیر و پایدار راه حل مناسب برای مقابله با اثرات این مشکل است [۱]. پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی به عنوان یکی از انواع روشهای استفاده از انرژی زمین گرمایی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری می‌شود. میزان سرمایه‌گذاری کشورها بر روی انرژی زمین گرمایی در سال ۲۰۱۵ نسبت به ۲۰۱۰ حدود ۲ برابر و میزان مصرف این انرژی تجدیدپذیر ۴۵٪ افزایش داشته است [۲].

کارهای نوینی در زمینه بهینه‌سازی ترموآکونومیک پمپ حرارتی زمین گرمایی توسط گوران وال انجام شده است. وی در مطالعه خود، از روش ضرایب لاگرانژ برای به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر شامل هزینه برق و هزینه سرمایه‌گذاری سیستم استفاده کرد [۳]. هیپاسلی با استفاده از روابط بقای جرم، انرژی، انترپوی و اگزرژی، تحلیل ترمودینامیکی سیستم‌های GSHP با یک مبدل حرارتی U شکل را برای کاربرد گرمایش منطقه ای ارائه کرد [۴]. صیادی و همکارانش [۵-۶]، در دو تحقیق به بهینه سازی پمپ‌حرارتی با استفاده از الگوریتم فرگشتی پرداخته‌اند. وی در تحقیق اول ۸ و در تحقیق دوم ۱۲ متغیر تصمیم برای تابع هدف بازگشت‌ناپذیری سیستم و هزینه کل تولید محصول در نظر گرفته‌اند.

## ۲. مشخصات سیستم مورد مطالعه

پمپ حرارتی این تحقیق، یک پمپ حرارتی زمین گرمایی با مبدل حرارتی عمودی با سیال عامل R134a و ظرفیت سرمایشی ۵/۳ کیلووات است. در شکل ۱ نمای شماتیک از پمپ حرارتی و اجزای آن را مشاهده می‌کنید. کندانسور و کمپرسور از نوع مبدل حرارتی پوسته و لوله می‌باشد که مبرد در پوسته و آب در لوله جریان دارد. دمای آب ورودی و خروجی از اواپراتور به ترتیب ۱۵°C و ۱۰°C می‌باشد. دمای متوسط زمین ۲۲°C فرض شده است. دمای حباب خشک و تر استان تهران ۴۰°C و دمای طراحی ۲۲°C در نظر گرفته شده است [۵]. بازدهی الکتروموتور و فن کویل به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۷۵ فرض شده است.



شکل ۱: سیکل پمپ حرارتی زمین گرمایی مورد مطالعه

فرضیات حاکم بر سیستم عبارتند از:



- تمامی فرآیندهای سیستم به صورت حالت پایدار و جریان پایدار در نظر گرفته می‌شود.
- از اثرات انرژی جنبشی و پتانسیل چشم پوشی می‌شود.
- در این سیستم فرض شده‌است هیچ‌گونه واکنش شیمیایی و هسته‌ای وجود ندارد.
- جهت انتقال حرارت به سیستم و انتقال کار از سیستم مثبت در نظر گرفته شده‌است.

### ۳. تحلیل انرژی و انرژی

#### ۳-۱. معادله تعادل انرژی

در حالت کلی معادله تعادل انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{Q}_{net} + \sum \dot{m}_{in} h_{in} = \dot{W}_{net} + \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad (1)$$

طبق رابطه (۲) ضریب عملکرد پمپ حرارتی از تقسیم بار سرمایشی ساختمان به کار انجام شده در کمپرسور برست می‌آید:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \quad (2)$$

#### ۳-۲. معادله تعادل انرژی

انرژی کل  $\dot{E}_x$  را می‌توان به چهار مولفه تقسیم کرد؛ انرژی فیزیکی  $\dot{E}_x^{PH}$ ، جنبشی  $\dot{E}_x^{KN}$ ، پتانسیل  $\dot{E}_x^{PT}$  و انرژی شیمیایی  $\dot{E}_x^{CH}$  تقسیم کرد.

$$\dot{E}_x = \dot{E}_x^{PH} + \dot{E}_x^{CH} + \dot{E}_x^{KN} + \dot{E}_x^{PT} \quad (3)$$

در این تحقیق از انرژی شیمیایی، هسته‌ای، مغناطیسی، پتانسیل و جنبشی صرف‌نظر می‌کنیم. در نتیجه معادله بالانس انرژی در حالت کلی به صورت نشان داده می‌شود:

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m} e_{x,in} - \sum \dot{m} e_{x,out} = \dot{E}_{x,dcv} \quad (4)$$

$$e_x = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

در رابطه فوق  $\dot{Q}_k$  نرخ انتقال حرارت از لایه مرزی  $T_k$  در موقعیت  $k$ ،  $e_x$  انرژی ویژه و زیر نویس ۰ بیانگر خواص مواد در حالت مرده یا تعادل با محیط می‌باشد.

بالانس آنتروپی از رابطه (۶) حاصل می‌شود.

$$\dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_{out} s_{out} - \sum \dot{m}_{in} s_{in} - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} \quad (6)$$

با محاسبه  $\dot{S}_{gen}$  می‌توان مقدار تخریب انرژی یا بازگشت‌ناپذیری سیستم را از رابطه گوی-استودولا بدست آورد:



$$\dot{I} = \dot{E}_{X_{dest}} = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (7)$$

معادلات تعادل انرژی و بازگشت‌ناپذیری تک‌تک مولفه‌های سیستم GSHP در جدول (۱) نشان داده شده است.

#### ۴. تحلیل ترموآکونومیک

در تحلیل ترموآکونومیک با در نظر گرفتن پارامترهای ترمودینامیکی و اقتصادی به طور همزمان شرایط بهینه‌ای برای عملکرد سیستم از نظر ترمودینامیکی و اقتصادی حاصل می‌گردد. در این تحلیل هدف به حداقل رساندن هزینه تک‌تک اجزا سیستم GSHP مورد مطالعه می‌باشد. معادلات برای محاسبه هزینه خرید تجهیزات برای پمپ حرارتی مبدل حرارتی عمودی در جدول (۲) شرح داده شده است.

جدول ۱: معادلات تعادل انرژی و بازگشت‌ناپذیری انرژی مولفه‌های GSHP [۴]

مولفه‌های سیستم	تعادل انرژی	بازگشت‌ناپذیری انرژی
کمپرسور	$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1)$	$\dot{I}_{comp} = T_0 \dot{m}_r (s_1 - s_2)$
کندانسور	$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_2 - h_3)$	$\dot{I}_{cond} = T_0 [\dot{m}_r (s_3 - s_2) + \dot{m}_{br} (s_6 - s_5)]$
اوپراتور	$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_4 - h_1)$	$\dot{I}_{evap} = T_0 [\dot{m}_r (s_1 - s_4) + \dot{m}_{br} (s_7 - s_8)]$
شیرفشارشکن	$h_3 = h_4$	$\dot{I}_{expv} = T_0 \dot{m}_r (s_4 - s_3)$
مبدل حرارتی زمینی	$\dot{Q}_{ghex} = \dot{m}_{br} c_{p,br} (T_6 - T_5)$	$\dot{I}_{ghex} = T_0 \left[ \dot{m}_{br} (s_5 - s_6) + \frac{\dot{Q}_{ghex}}{T_{soil}} \right]$
فن کویل	$\dot{Q}_{fan} = \dot{m}_{air} c_{p,air} (T_{o,air} - T_{i,air})$	$\dot{I}_{fan} = T_0 \left[ \dot{m}_w (s_8 - s_7) + \frac{\dot{Q}_{fan}}{T_{i,air}} \right]$

جدول ۲: معادلات هزینه سرمایه‌گذاری مولفه‌های GSHP [۷-۱۳]

مولفه‌های سیستم	معادلات هزینه سرمایه‌گذاری
کمپرسور	$Z_{comp} = \frac{39 \cdot 5 \dot{m}_r}{0 \cdot 9 - \eta_{is}} \left( \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \right) \ln \left( \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \right)$ $\eta_{is} = 0 \cdot 85 - 0 \cdot 046667 \left( \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \right)$
کندانسور	$Z_{cond} = 516 \cdot 621 A_{cond} + 268 \cdot 45$
اوپراتور	$Z_{evap} = 309 \cdot 143 A_{evap} + 231 \cdot 915$
شیرفشارشکن	$Z_{expv} = 114 \cdot 5 \dot{m}_r$
مبدل حرارتی زمینی	$ghex = 1 \cdot 1 L_p + 19 \cdot 1 L_b$ $L_p = 2 L_b$



$$Z_{fan} = \frac{39.5 V_{air}}{0.9 - \eta_{fan}} \left( \frac{P_8}{p_7} \right) \ln \left( \frac{P_8}{p_7} \right) \quad \text{فن کوئل}$$

## ۵. تابع هدف و متغیرهای تصمیم‌گیری

### ۵-۱. تابع هدف

در این مطالعه دو تابع هدف با عنوان بازگشت ناپذیری و هزینه سرمایه‌گذاری سیستم را توسط کدهای نوشته‌شده در نرم‌افزار متلب با الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی کمینه می‌کنیم.

$$Obj1 = \dot{I}_{tot} = \dot{I}_{comp} + \dot{I}_{cond} + \dot{I}_{evap} + \dot{I}_{expv} + \dot{I}_{ghex} + \dot{I}_{fan} \quad (۸)$$

$$Obj2 = CRF(Z_{comp} + Z_{cond} + Z_{evap} + Z_{expv} + Z_{ghex} + Z_{fan}) \quad (۹)$$

برای بدست آوردن هزینه سرمایه‌گذاری نیاز به دانستن عمر تجهیزات و بهره‌سالانه پول می‌باشد. برای بدست آوردن هزینه سرمایه‌گذاری در یک سال از تعریف ضریب بازافت سرمایه‌گذاری به صورت زیر استفاده می‌شود [۱۰].

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۱۰)$$

در این مطالعه طول عمر سیستم ۱۵ سال و نرخ بهره ۰/۱۲ در نظر گرفته شده است.

### ۵-۲. متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم‌گیری دارای یک محدوده تغییرات می‌باشد که با کمینه‌سازی همزمان آن‌ها توابع هدف (۸) و (۹) نیز کمینه می‌شود. متغیرهای تصمیم‌گیری و محدوده تغییرات در جدول (۳) به قرار زیر است.

جدول ۳: محدوده تغییرات متغیرهای تصمیم‌گیری

$T_{cond} > T_{w,oghex}$	دمای اشباع مبرد در اواپراتور	$360 < P_1 < 400$	فشار مکش ( $P_1$ ) کمپرسور (kpa)
$T_{w,ighex} > T_{soil}$	دمای آب ورودی به مبدل حرارتی زمین گرمایی	$940 < P_2 < 1000$	فشار دهش ( $P_2$ ) کمپرسور (kpa)
$T_{w,o_{GHE}} < T_{cond}$	دمای آب خروجی از مبدل حرارتی زمین گرمایی	$T_{evap} < T_{w,oevap}$	دمای اشباع مبرد در اواپراتور

## ۶. الگوریتم‌های بهینه‌ساز

در دهه گذشته از الگوریتم‌های بهینه‌ساز به طور گسترده‌ای برای سیستم‌های انرژی استفاده شده است. در این مقاله ما از الگوریتم ABC که توسط درویس کارابوگا پیشنهاد شده است استفاده کرده ایم [۱۳].

الگوریتم ABC سه مولفه اصلی دارد:



- منبع غذا: منبع غذایی در واقع پاسخ‌های اولیه در فضای جستجو می‌باشد.
- زنبورکارگر: زنبورهایی که به طور خاص به منبع غذایی یا راه حل‌ها برای محاسبه تابع برازندگی و احتمال فرستاده می‌شود.
- زنبورهای غیرکارگر: زنبورهای غیرکارگر نیز خود به دو دسته تقسیم می‌شود؛
  - زنبور طلایه‌دار: زنبورهایی که در مرحله اول به‌طور تصادفی به منبع غذایی ارسال می‌شود.
  - زنبور جستجوگر: زنبورهایی که به طور تصادفی برای تولید پاسخ‌های جدید، محاسبه برازندگی هر منبع غذایی، مقایسه برازندگی و اطلاعات ذخیره شده و به اشتراک گذاشتن اطلاعات خود با سایر زنبورها.

پارامترهای اصلی الگوریتم ABC به شرح زیر قابل محاسبه است:

– پارامتر برازندگی منبع غذایی

$$Fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + F_i} & F_i > 0 \\ 1 + abs(F_i) & F_i \leq 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, D \quad (11)$$

– پارامتر احتمال انتخاب منبع غذایی

$$P_i = \frac{Fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} Fit_i} \quad (12)$$

– محاسبه موقعیت منبع غذایی جدید از منبع غذایی قبلی

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij}(X_{ij} - X_{ik}) \quad (13)$$

$k \in \{1, 2, \dots, SN\}, j \in \{1, 2, \dots, SN\}, \phi = \text{عدد رندوم} \in [-1, 1]. k \neq j$

– پارامتر حد، پارامتری است که به واسطه آن جواب‌هایی که در فرآیند بهینه‌سازی بهبود نیافته‌اند را کنار می‌گذارد تا سرعت همگرایی افزایش یابد.

فلوچارت الگوریتم ABC در شکل (۲) به نمایش درآمده است.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir

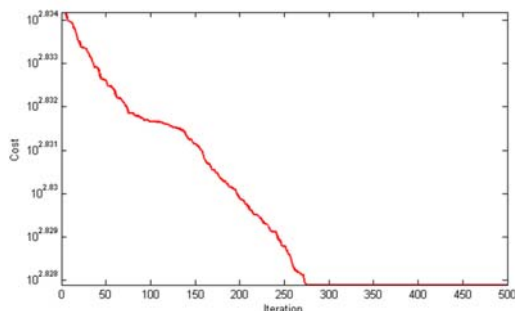


www.Renewenergy.ir

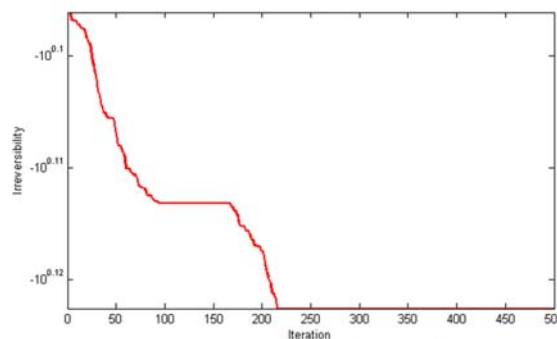
شکل ۲: فلوچارت الگوریتم ABC

جدول ۴: پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ABC

مقادیر	پارامترهای الگوریتم
۱۰۰	اندازه جمعیت کلونی
۵۰۰	تعداد دفعات تکرار
۰/۰۰۱	کران بالا ضریب شتاب
چرخ رولت	فرآیند انتخاب



(ب)



(الف)

شکل ۳: نحوه همگرایی تابع هدف (الف) بازگشت‌ناپذیری و (ب) هزینه‌های سرمایه‌گذاری

## ۷. نتایج

پمپ‌حرارتی زمین‌گرمایی با مبدل حرارتی عمودی شکل (۱) با شش متغیر تصمیم‌گیری که محدوده تغییرات قابل قبول هرکدام در جدول (۳) بیان شد و با پارامترهای تنظیم الگوریتم ABC در جدول (۴) نشان داده‌ایم بهینه‌سازی را انجام می‌دهیم. به منظور محاسبه خواص ترمودینامیکی سیکل پمپ‌حرارتی زمین‌گرمایی از نرم‌افزار EES استفاده شده‌است. با توجه به فرضیات مطرح شده برای سیکل خواص تک تک نقاط در جدول (۵) درج شده‌است.

جدول ۵: مشخصات ترمودینامیکی نقاط GSHP

نقاط سیکل	دما (° C)	آنتالپی (kJ/kgK)	آنتروپی (kJ/kg)	دبی جرمی (kg/s)
۱	۹٫۹	۲۵۷	۰٫۹۴	۰٫۰۳۱
۲	۵۱٫۹	۲۸۶	۰٫۹۲	۰٫۰۳۱
۳	۲۷٫۲	۸۹٫۶	۰٫۳۳	۰٫۰۳۱
۴	۶٫۲	۸۹٫۶	۰٫۳۴	۰٫۰۳۱
۵	۲۵	۱۰۵	۰٫۳۷	۰٫۱۴۸
۶	۳۵	۱۴۷	۰٫۵۱	۰٫۱۴۸
۷	۱۱	۴۴٫۸	۰٫۱۶	۰٫۲۹
۸	۱۵	۶۳٫۵	۰٫۲۲	۰٫۲۹

نحوه همگرایی الگوریتم ABC برای بهینه‌سازی بازگشت‌ناپذیری و هزینه سرمایه‌گذاری بر روی GSHP در شکل (۳) به نمایش در آمده‌است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌کنید معادله (۸) در ۲۲۸ و معادله (۹) در تکرار ۲۷۴ چرخه جستجوی غذا همگرا شده‌است. الگوریتم ABC با برقراری تعادل بین دو عامل "جستجو" به معنای تولید پاسخ‌های جدید و





"بهره‌وری" به معنای توانایی پرورش پاسخ‌های فعلی برای رسیدن به پاسخ‌های بهتر، یک روش بسیار مناسب برای بهینه‌سازی این مطالعه بوده است.

جدول (۶) نشان‌دهنده مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم جهت طراحی و بهینه‌سازی سیستم مورد مطالعه ما می‌باشد.

جدول ۶: مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در الگوریتم ABC

مقادیر بهینه متغیر تصمیم	متغیر تصمیم
۳۴٫۸۲	$T_{w,i,ghex}$ (°C)
۲۳٫۸۵	$T_{w,o,ghex}$ (°C)
۳۸۷٫۵	$P_1$ (kPa)
۹۸۵٫۶	$P_2$ (kPa)
۱۰٫۵	$T_{evap}$ (°C)
۲۶٫۸	$T_{cond}$ (°C)

جدول (۷) و (۸) بیانگر نتایج حاصل از تحلیل انرژی و ترموآکونومیک GSHP مورد مطالعه و نتایج صیادی و همکارانش [۵] می‌باشد.

مطابق جدول (۷) بیشترین بازگشت‌ناپذیری (تخریب انرژی) به ترتیب در مبدل حرارتی زمینی، فن کویل، کمپرسور، اواپراتور رخ می‌دهد و کمترین میزان بازگشت‌ناپذیری در شیر اختناق صورت می‌پذیرد. میزان بازگشت‌ناپذیری با استفاده از الگوریتم ABC به میزان ۲۳/۷٪ نسبت به رفرنس [۵] کاهش یافته است.

همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌کنید بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری به برای مبدل حرارتی زمین‌گرمایی می‌باشد سپس بیشترین هزینه‌ها برای اواپراتور، کندانسور، کمپرسور، فن کویل و کمترین آن برای شیرفشارشکن می‌باشد. میزان هزینه سرمایه‌گذاری با استفاده از الگوریتم ABC به میزان ۷/۵٪ نسبت به رفرنس [۵] کاهش یافته است.

جدول ۷: نتایج تحلیل انرژی

نتایج رفرنس [۵]	نتایج GSHP مورد مطالعه
۰٫۰۶۳	۰٫۰۳۱
-	۰٫۲۹۰

دبی جرمی مبرد (kg/s)

دبی جرمی آب در فن کویل (kg/s)



۰,۳۴۰	۰,۱۴۸	دبی جرمی آب در مبدل حرارتی زمینی (kg/s)
۰,۵۷۱	۰,۲۵۱	بازگشت‌ناپذیری کمپرسور (kW)
۰,۲۱۶	۰,۱۴۴	بازگشت‌ناپذیری کندانسور (kW)
۰,۳۳۹	۰,۱۴۹	بازگشت‌ناپذیری اواپراتور (kW)
۰,۰۴۶	۰,۰۴۹	بازگشت‌ناپذیری شیراقتناق (kW)
۰,۴۱۹	۰,۳۵۲	بازگشت‌ناپذیری مبدل حرارتی زمینی (kW)
۰,۰۴۰	۰,۲۹۸	بازگشت‌ناپذیری فن کویل (kW)
۱,۶۵۶	۱,۲۴۳	بازگشت‌ناپذیری کل سیستم (kW)
۶,۶۳۹	۵,۸۶	ضریب عملکرد سیستم

جدول ۸: نتایج تحلیل اقتصادی

نتایج رفرنس [۵]	نتایج GSHP مورد مطالعه	
۱,۳۳	۱,۸۹	مساحت اواپراتور (m <sup>2</sup> )
۲,۱۳	۰,۹۱	مساحت کندانسور (m <sup>2</sup> )
۱۶۲	۱۵۹	طول مبدل حرارتی زمینی (m)
۵۱۲	۲۵۴,۱	هزینه کمپرسور (\$)
۷۵۱	۷۳۹,۷	هزینه کندانسور (\$)
۷۹۶	۷۹۹,۹	هزینه اواپراتور (\$)
۳۳۹۵	۳۳۸۹,۸	هزینه مبدل حرارتی زمین‌گرایی (\$)
-	۳,۵۹	هزینه شیر اقتناق (\$)
۱۵۶	۱۶۳,۵	هزینه فن کویل
۵۶۱۰	۵۱۸۸,۶	کل هزینه سرمایه‌گذاری (\$)

## ۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل انرژی‌های نو و ترموآکونومیک یک پمپ حرارتی زمین‌گرایی که در حالت سرمایه‌گذاری عمل می‌کند پرداختیم. برای اعتبارسنجی مطالعه خود نتایج حاصل شده را با نتایج مطالعه صیادی و همکارانش [۵] مقایسه کردیم. به طور کلی می‌توان نتایج حاصل از این مقاله را به صورت زیر بیان کرد:

- ❖ بیشترین میزان تخریب انرژی‌های نو و بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری بر روی سیستم به مبدل حرارتی زمینی با مقادیر ۰/۳۵۲ کیلووات و ۳۳۸۹/۸ دلار آمریکا تعلق دارد.
- ❖ کمترین میزان تخریب انرژی‌های نو و بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری بر روی سیستم به شیر فشارشکن با مقادیر ۰/۰۴۹ کیلووات و ۳/۵۹ دلار آمریکا تعلق دارد.



❖ میزان بازگشت ناپذیری کل و هزینه سرمایه‌گذاری با استفاده از الگوریتم ABC نسبت به نتایج مطالعه صیادی و همکارانش با الگوریتم EA به ترتیب ۲۳/۷٪ و ۷/۵٪ کاهش یافته است.

علامت	هزینه سرمایه‌گذاری (\$) Z	زیرنویس‌ها
مساحت (m <sup>2</sup> )	A	هوای
ضریب عملکرد	COP	آب مبدل حرارتی زمینی
فاکتور بازیابی سرمایه	CRF	کمپرسور
نرخ انرژی (kW/h)	$\dot{E}_x$	کنندانسور
پمپ حرارتی زمین گرمایی	GSHP	تخریب
آنتالپی ویژه (kJ/kg)	h	اواپراتور
نرخ بازگشت ناپذیری (kW/h)	$\dot{I}$	فن کویل
نرخ بهره	I	مبدل حرارتی زمینی
نرخ جریان جرمی (kg/s)	$\dot{m}$	میرد
سال‌های عملکرد سیستم	N	خاک
فشار (kPa)	P	آب
نرخ انتقال حرارت (kW)	$\dot{Q}$	حالت مرده (حالت اولیه)
دما (°C K)	T	
توان (kW)	$\dot{W}$	

### منابع

- [1]. Zhu, Na, et al. "Recent research and applications of ground source heat pump integrated with thermal energy storage systems: A review." Applied thermal engineering 71.1 (2014): 142-151.
- [2]. Lund, John W., and Tonya L. Boyd. "Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review." Geothermics 60 (2016): 66-93.
- [3]. Wall, Göran. "Optimization of refrigeration machinery." International Journal of Refrigeration 14.6 (1991): 336-340.
- [4]. Hepbasli, A., and O. Akdemir. "Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system." Energy conversion and management 45.5 (2004): 737-753.
- [5]. Sayyaadi, Hoseyn, Emad Hadaddi Amlashi, and Majid Amidpour. "Multi-objective optimization of a vertical ground source heat pump using evolutionary algorithm." Energy Conversion and Management 50.8 (2009): 2035-2046.
- [6]. Sayyadi, Hoseyn, and Mostafa Nejatolahi. "Thermodynamic and thermoeconomic optimization of a cooling tower-assisted ground source heat pump." Geothermics 40.3 (2011): 221-232.
- [7]. Valero, Antonio, et al. "CGAM problem: definition and conventional solution." Energy 19.3 (1994): 279-286.
- [8]. Selbaş, Reşat, Önder Kızıllkan, and Arzu Şencan. "Thermoeconomic optimization of subcooled and superheated vapor compression refrigeration cycle." Energy 31.12 (2006): 2108-2128.
- [9]. Sanaye, Sepehr, and Ali Shirazi. "Thermo-economic optimization of an ice thermal energy storage system for air-conditioning applications." Energy and Buildings 60 (2013): 100-109.
- [10]. Bose, James Edwin. Closed-loop ground-coupled heat pump design manual. The University, 1984.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

[www.Renewenergy.ir](http://www.Renewenergy.ir)



- [11]. Kavanaugh, Stephen Paul. Simulation and experimental verification of vertical ground-coupled heat pump systems. Oklahoma State Univ., Stillwater (USA), 1985.
- [12]. Philippacopoulos, Aristodimos J., and Marita L. Berndt. "Influence of debonding in ground heat exchangers used with geothermal heat pumps." *Geothermics*30.5 (2001): 527-545.
- [12]. Bi, Yuehong, et al. "Comprehensive exergy analysis of a ground-source heat pump system for both building heating and cooling modes." *Applied Energy*86.12 (2009): 2560-2565.
- [13]. Karaboga, Dervis, and Celal Ozturk. "A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm." *Applied soft computing* 11.1 (2011): 652-657.

[www.Renewenergy.ir](http://www.Renewenergy.ir)