Archive of SID



# ذخیره‌سازی فصلی انرژی گرمایی خورشید در زمین

**سید عبدالمهدی هاشمی[1]، امیر حسین حسن زاده[2]، سید محمد طباطبایی[3]**

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه کاشان، hashemi@kashanu.ac.ir
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان، a.hasanzadeh.n@gmail.com[2]
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، mohammad.tabatabae@gmail.com

## چکیده

با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش قیمت آنها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در طی سالهای اخیر بسیار گسترش یافته است. یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی زمین گرمایی است که به عنوان یک منبع حرارتی در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از ضعف‌های سیستم‌های زمین‌گرمایی، کاهش دمای زمین در صورت استفاده مداوم از آن به عنوان یک منبع حرارتی است. بازگرداندن انرژی دریافتی از زمین در زمان استراحت سیستم، یکی از راهکارهای رفع این مشکل است. به این منظور از کلکتورهای خورشیدی برای دریافت انرژی خورشیدی و ارسال آن به زمین استفاده می‌شود. در این تحقیق به بررسی این روش و امکان اجرا شدن آن پرداخته شده است. به این منظور، یک سیستم هیبریدی خورشیدی-زمین گرمایی که در شهر قم نصب شده مورد آزمایش قرار گرفت. برای استفاده از انرژی زمین، کویل زمین‌گرمایی از نوع افقی مارپیچ به طول لوله 400 متر در عمق 2 متری خاک نصب شده است. برای دریافت انرژی خورشیدی، 16 متر مربع کلکتور خورشیدی از نوع تخت به کار برده شده است. نتایج ذخیره‌سازی نشان دهنده افزایش دمای متوسط زمین در حدود 5 درجه و دریافت نزدیک 43 درصد انرژی خورشیدی توسط زمین بود.

**واژه های کلیدی: انرژی حرارتی، ذخیره‌سازی، زمین گرمایی، کلکتور خورشیدی، بازیافت حرارت**

www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی و افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، موجب تغییر رویکرد جوامع به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر گردیده است. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی زمین گرمایی به دلیل در دسترس بودن، بعد از انرژی خورشیدی، بیشترین گسترش را در سطح جهان داشته است. به طوری که، امروزه استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی برای گرمایش ساختمان‌ها در سطح جهانی بسیار افزایش یافته است.

یکی از مشکلات سیستم‌های زمین گرمایی، کاهش دمای زمین در زمان استفاده مداوم به عنوان منبع حرارتی است. با افزایش برداشت حرارت از زمین، دمای متوسط خاک کاهش یافته و در نتیجه، ضریب عملکرد پمپ‌های حرارتی پایین می‌آید. کاهش ضریب عملکرد موجب افزایش دوره بازگشت سرمایه شده و در نتیجه استقبال از این گونه سیستم‌ها کاهش می‌یابد.

برای رفع این مشکل راهکارهای مختلفی ارائه شده است که عمده آنها به بازگرداندن حرارت دریافت شده از زمین تاکید دارند. یکی از این راهکارها استفاده متناوب از سیستم زمین گرمایی یکی از راهکارهای ارائه شده است تا در زمان استراحت سیستم، زمین بتواند انرژی از دست رفته را از اطراف خود دریافت کند. با توجه به اینکه در زیر زمین انتقال حرارت از نوع هدایتی انجام می‌گیرد، زمین برای بازیافت انرژی خود به زمان بیشتری احتیاج دارد.

استفاده از انرژی خورشیدی و انتقال آن توسط کلکتورهای خورشیدی به زمین، راهکاری است که بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این روش، سیستم خورشیدی قسمتی از بار حرارتی ساختمان را تامین می‌کند. بنابراین مقدار حرارت دریافت شده از زمین کاهش می‌یابد. همچنین در فصل گرما که سیستم گرمایش خاموش است، انرژی خورشیدی توسط کویل‌های زمین گرمایی به زمین منتقل می‌شود. به این ترتیب، مقدار برداشت انرژی از زمین کاهش یافته و قسمتی از آن هم در فصل گرما جبران می‌شود.

درباره این روش تا کنون مقالات متعددی ارائه شده است. وانگ و کیو [1] در سال 2007 یک سیستم هیبریدی را مدل‌سازی نمودند. برای شبیه سازی از داده‌های تجربی یک سیستم ذخیره‌سازی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده وابسته بودن مقدار ذخیره‌سازی به شدت تشعشع خورشیدی است.

در سال 2010، وانگ و همکاران [2] به بررسی یک سیستم گرمایش پمپ حرارتی با کمک خورشید و سیستم ذخیره‌سازی فصلی پرداختند. در فصل گرما که به گرمایش نیاز نیست، سیستم ذخیره‌سازی فصلی به کمک کلکتورهای خورشیدی انرژی خورشید را در زمین ذخیره می‌کنند. سیستم ذخیره سازی بعد از فصل سرما شروع به ذخیره‌سازی کرد و نتایج تحلیل انرژی، نشان داد که نزدیک به 75 درصد انرژی دریافت شده از زمین در فصل سرما، در هنگام ذخیره‌سازی به زمین بازگشته است. سو و همکاران [3] در سال 2014 به تحلیل یک سیستم حرارتی هیبریدی برای گرمایش یک گلخانه در شهر شانگهای پرداختند. در این تحلیل از 500 متر مربع کلکتور برای ذخیره‌سازی حرارت در 4970 متر مکعب خاک، در فصل گرما استفاده شد. در سال اول نتایج نشان می‌داد که از 332 گیگاژول انرژی ذخیره شده در زمین، 209 گیگاژول آن در فصل سرما برداشت شده است. در سال 2014، غایبی و همکاران [4] به تحلیل عددی یک سیستم هیبریدی با منبع زمینی از نوع دو چاهی پرداختند. بستر خاک مورد مطالعه از نوع متخلخل انتخاب شد. بعد از انجام محاسبات، نتایج نشان داد که افزایش فاصله دو چاه موجب کاهش بازیافت حرارتی از زمین می‌شود. همچنین، افزایش دمای آب و نرخ برداشت حرارت موجب کاهش بازیافت حرارت می‌شود.

## شرح سیستم

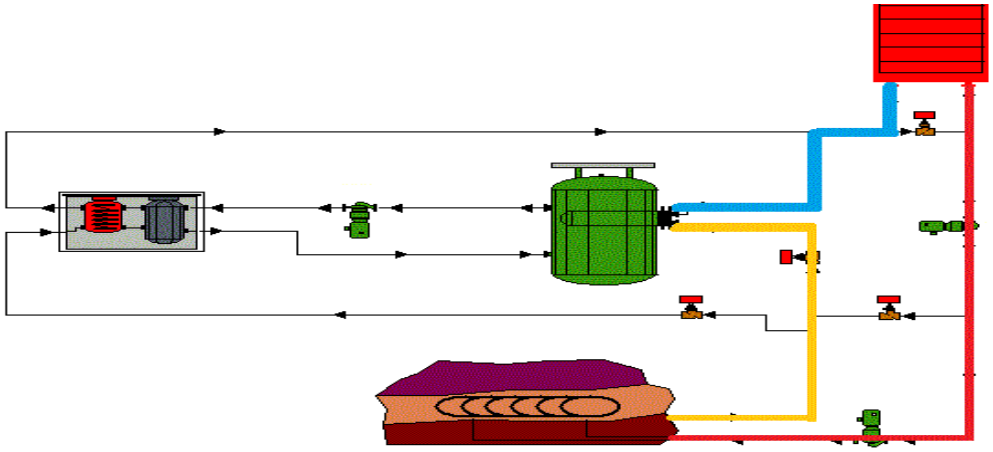
سیستم مورد مطالعه، یک سیستم هیبرید خورشیدی-زمین گرمایی نصب شده در شهرستان قم است که به منظور تامین آب گرم مورد نیاز برای گرمایش یک ساختمان طراحی شده است. با توجه به اینکه این سیستم در فصل سرما از ظرفیت حرارتی زمین برای گرمایش استفاده می‌کند، دمای زمین کاهش یافته و در دراز مدت ضریب عملکرد سیستم کاهش می‌یابد. بنابراین با

www.SID.ir

Archive of SID



بازگرداندن حرارت دریافتی از زمین به آن، در فصل گرما، می‌توان این مشکل را بر طرف نمود. به این منظور، در فصل گرما که سیستم مورد استفاده نیست، انرژی دریافتی از کلکتورهای خورشیدی در زمین ذخیره می‌شود. در شکل (1) شماتیکی از نحوه گردش آب در این حالت نشان داده شده است.



**شکل 1- شماتیک سیستم مورد استفاده و نحوه گردش آب**

همانطور که مشاهده می‌شود، آب گرم خروجی از کلکتور به داخل کویل‌های نصب شده در زمین هدایت می‌شود و بعد از تبادل حرارت با زمین، از مسیر مخزن آبگرم، به سمت کلکتور باز می‌گردد.

## اجزای اصلی سیستم

برای انجام ذخیره‌سازی پمپ حرارتی و مخزن ذخیره آب از مدار خارج می‌گردد و تنها از کلکتورها و کویل زمینی استفاده می‌شود. در زیر به تشریح اجزای مورد استفاده می‌پردازیم.

## کلکتور خورشیدی

برای دریافت انرزی خورشیدی، کلکتورهای صفحه تخت که متداول‌ترین نوع کلکتور است، مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به محاسبات انجام گرفته در مورد بار حرارتی ساختمان، تعداد 12 کلکتور برای تامین بار حرارتی و آب گرم مصرفی ساختمان در نظر گرفته شده است. در جدول (1) برخی از مشخصات آبگرمکن مورد استفاده آورده شده است.

**جدول 1- مشخصات فنی آبگرمکن خورشیدی**

| | |
|---|---|
| ابعاد مؤثر جاذب | 1m×2m |
| زاویه نصب آب گرمکن | 45° |
| تعداد پوشش‌های شفاف | 1 |
| فاصله جاذب و شیشه | 3 cm |
| ضریب نشر شیشه | $\varepsilon_P$ =0/88 |
| ضریب عبور تابش | $(\alpha\tau)_\varepsilon$ =0/85 |
| ضخامت عایق | 5 cm |
| ضریب هدایت حرارتی عایق | 0/045W/m2.°C |
| ضخامت پره | 0/6 cm |

www.SID.ir

Archive of SID



معمولا برای نصب آبگرمکن‌های خورشیدی، آنها را در زاویه نزدیک با عرض جغرافیایی قرار می‌دهند. با اینکه شهرستان قم در عرض جغرافیایی 34/42 قرار دارد، اما با توجه به اینکه از کلکتورها تنها در فصل سرما استفاده می‌شود، زاویه نصب کلکتورها بزرگتر و $45^{\circ}$ در نظر گرفته شده است.

طبق توصیه سازنده، کلکتورها را می‌توان به صورت موازی با آرایش حداکثر 4 عدد در هر ردیف نصب نمود. در شکل (2) نحوه آرایش و نصب کلکتورها نشان داده شده است.

**شکل 2- نمایی از آب گرمکن‌های خورشیدی نصب شده در بام ساختمان**

ابتدای هر ردیف یک شیر کنترل برای امکان خارج کردن آن ردیف نصب شده است. با توجه به اینکه میزان تشعشع خورشید در فصل تابستان بسیار بیشتر از فصل زمستان است، در طول انجام آزمایش، یک ردیف از کلکتورها از جریان خارج شد. برای محاسبه انرژی مفید جمع‌آوری شده توسط آبگرمکن، از رابطه (1) استفاده می‌شود.

$$\dot{Q}_s = \dot{m} C_p (T_{S,out} - T_{S,in}) \quad (1)$$

در رابطه (1)، $\dot{m}$ دبی آب عبوری از کلکتور، $C_p$ ضرفیت گرمایی ویژه آب، $T_{s,out}$ دمای آب خروجی از کلکتور و $T_{s,in}$ دمای آب ورودی به کلکتور است. ظرفیت گرمایی ویژه آب ثابت و $4/2\ kJ/kg.^{\circ}C$ در نظر گرفته می‌شود.

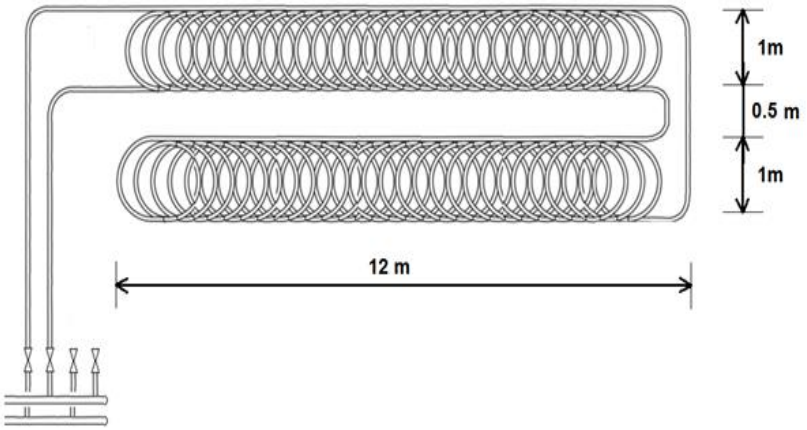
## کویل زمینی

برای استفاده از ظرفیت حرارتی زمین، سیستم‌های مختلفی ارائه شده است که مهم‌ترین آنها، کویل‌های افقی و عمودی هستند. به دلیل کم بودن هزینه نصب و استفاده از ذخیره‌سازی فصلی، و با توجه به در دسترس بودن محوطه آزاد، کویل زمینی از نوع افقی برای این سیستم در نظر گرفته شده است. با استفاده از اطلاعات مرجع [5] خواص حرارتی خاک تعیین شده است. طول کویل زمینی برای انتقال حرارت 15 kW بین آب و سطح خاک، 270 متر بدست آمد که برابر با میانگین تابش خورشید می‌باشد. برای کاهش سطح لوله‌گذاری و کاهش هزینه حفاری، از آرایش مارپیچی در کویل زمینی استفاده شده است.به دلیل هم‌پوشانی لوله‌ها در این نوع آرایش، طول لوله‌ای که در زمین قرار می‌گیرد افزایش خواهد یافت. بنابراین برای اطمینان از وجود سطح حرارتی مورد نیاز، طول لوله مورد استفاده به 400 متر افزایش یافت. کویل زمین، از دو کلاف لوله پلی‌اتیلن با آرایش نصب مطابق شکل (3) و در دو کانال به طول 12 متر و عمق 2 متر نصب شد.

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل 3- آرایش نصب کویل زمینی در زمین**

برای پر کردن کانال از مخلوط خاک و بنتونیت، برای افزایش میزان انتقال حرارت، استفاده شده است. در شکل (4) نحوه استقرار کویل زمینی در کانال حفاری شده، نشان داده شده است.

**شکل 4- نحوه استقرار کویل زمین در خاک**

برای تعیین مقدار حرارت دریافت شده توسط زمین، از رابطه (2) استفاده می‌شود.

$$\dot{Q}_s = \dot{m} C_p (T_{E,in} - T_{E,out}) \quad (2)$$

در رابطه (2)، $\dot{m}$ دبی آب عبوری از کویل زمین، $C_p$ ظرفیت گرمایی ویژه آب، $T_{E,in}$ دمای آب ورودی به کویل و $T_{E,out}$ دمای آب خروجی از کویل است.

### دستگاه داده برداری

برای تعیین ظرفیت حرارتی هر یک از اجزای سیستم، باید دمای ورودی و خروجی هر قسمت، اندازه‌گیری شود. برای اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات از یک دستگاه داده‌برداری دما با قابلیت برنامه‌ریزی و ثبت اطلاعات طولانی مدت با ورودی و خروجی

www.SID.ir

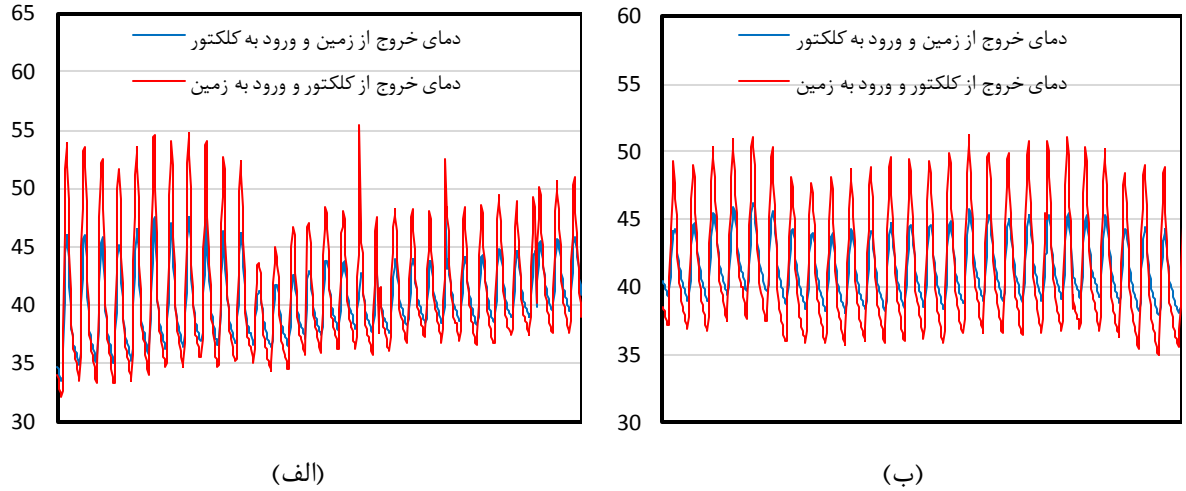
Archive of SID



دیجیتال استفاده می‌شود. حسگر مورد استفاده از نوع دیجیتال و با دقت 0/1 و محدوده دمایی 40°C- تا 125°C انتخاب شد. همچنین برای تعیین دبی عبوری از کلکتور و کویل زمینی، از دو کنتور آب با دقت اندازه‌گیری 0/1 lit استفاده شد.

## نتایج

بعد از تعیین مکان و نصب حسگر دما و راه‌اندازی دستگاه داده‌برداری، سیستم در حالت ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، شروع به کار کرد. فاصله برداشت اطلاعات، 1 دقیقه در نظر گرفته شد و داده‌برداری از تاریخ 93/3/31 تا 93/5/27 به صورت شبانه‌روزی انجام گرفت. در شکل (5)، تغییرات دمایی آب ورودی و خروجی کلکتور و زمین، به صورت متوسط ساعتی، نشان داده شده است.




(الف) (ب)

**شکل 5- تغییرات دما به صورت متوسط ساعتی در (الف): تیرماه (ب): مرداد ماه**

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در روزهای اول تیر ماه میانگین دمای خروجی از کلکتور بالاتر از روزهای دیگر است. این به دلیل گرم بودن هوای محیط و قدرت بیشتر خورشید در این روزها است. تغییرات دمایی زمین نیز در روزهای اول بسیار شدید است و به تدریج با دریافت حرارت کلکتور خورشیدی، دمای زمین از 35°C در روزهای اول تیر، به 40°C در روزهای پایانی مرداد ماه می‌رسد.

برای هر دو حالت، دبی آب عبوری از زمین و کلکتور اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری در جدول (2) ارائه شده است.

**جدول2- مقدار دبی آب بر حسب kg/sec**

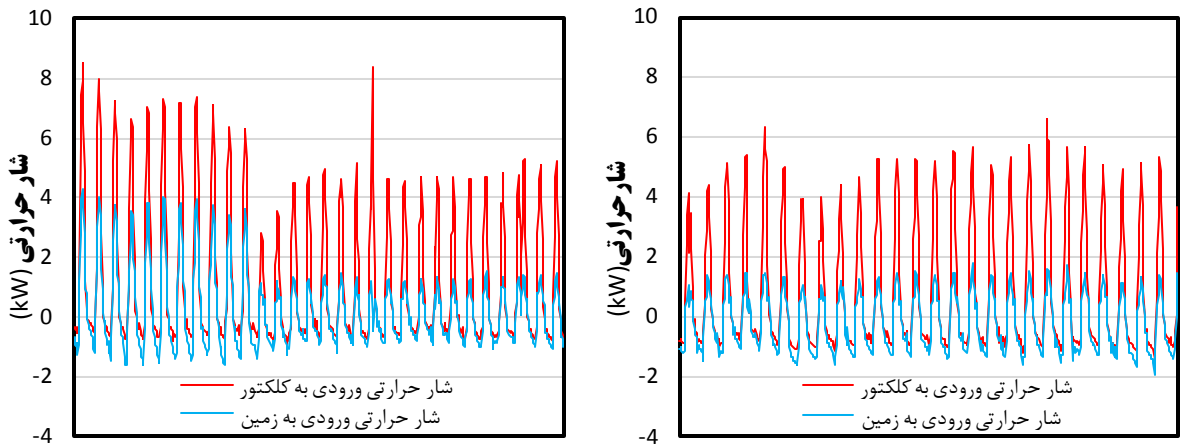
| حالت | کلکتور | کویل زمین |
|---|---|---|
| حالت ذخیره سازی | 0/234 | 0/063 |
| حالت گردش آب | 0/089 | 0/118 |

بعد از تعیین دبی عبوری و اندازه‌گیری دما، شار حرارتی کلکتور و کویل زمین از روابط (1) و (2) محاسبه می‌شود. نتایج محاسبات به صورت متوسط ساعتی در شکل (6) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

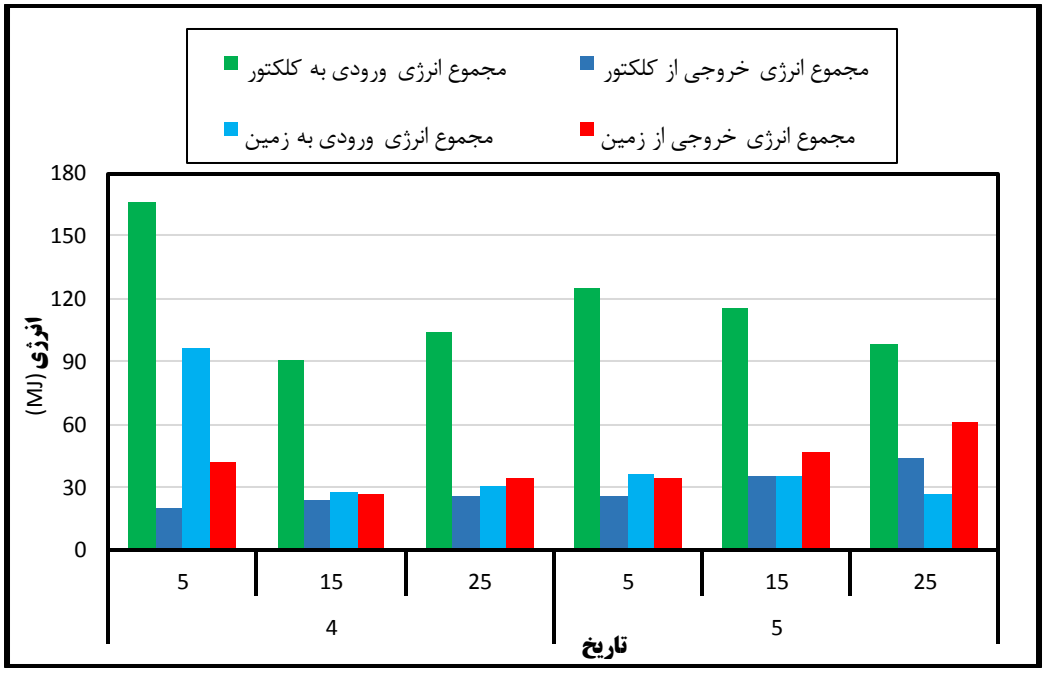





**شکل 6- شار حرارتی ورودی به کلکتور و کویل زمین در (الف): تیر ماه (ب): مرداد ماه**

با توجه به شکل (6) مشاهده می‌شود که شار حرارتی در بعضی از مواقع منفی شده است. با بررسی بیشتر مشخص شد که این مقادیر مربوط به شب است که کلکتور انتقال حرارت به سمت آسمان دارد. در روزهای اول تیر ماه شار حرارتی کلکتور بیشتر از روزهای دیگر است که با توجه به شکل (5) انتظار می‌رفت.

در شکل (7) مجموع انرژی ورودی و خروجی هر قسمت از سیستم برای 6 روز مختلف، با فاصله زمانی 10 روز، نشان داده شده است.




**شکل 7- مجموع انرژی ورودی و خروجی اجزای سیستم**

www.SID.ir

Archive of SID



## نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی ذخیره‌سازی حرارت خورشیدی در زمین پرداخته شد. برای انجام کار از کلکتور به مساحت $16\ m^2$ و کویل زمینی از نوع افقی به طول لوله 400 متر استفاده شد. نتایج داده‌برداری طی یک بازه 58 روزه نشان می‌دهد که به طور متوسط، 43 درصد تشعشع ورودی به کلکتور در زمین ذخیره‌سازی می‌شود و 7 درصد آن صرف گرمایش آب گرم مصرفی می‌گردد. مابقی آن به صورت‌های مختلف اتلاف می‌شود. مجموع انرژی ورودی توسط کلکتور در این بازه 6388MJ بوده است که از این می‌توان برای گرمایش $51\ m^3$ آب از دمای $20^\circ C$ به دمای $50^\circ C$ از آن استفاده کرد.

مجموع انرژی ورودی به زمین 2402 MJ است که از این مقدار، 2330 MJ آن در طول شب از طریق کلکتور اتلاف می‌شود. بنابراین تنها 72 MJ انرژی طی این مدت ذخیره گشته است.

## تشکر و قدر دانی

این تحقیق با حمایت مالی شرکت گاز استان قم انجام شده است و بدین لحاظ از همکاری این شرکت سپاس‌گذاری می‌شود.

## منابع

[1] Wang, H., Qi, C., "Performance study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump **system** for residential buildings". *Energy and Buildings*, 2008, 40(7), pp. 1278-1286.

[2] Wang, X., et al., "Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas". *Energy and Buildings*, 2010, 42(11), pp. 2104-2110.

[3] Xu, J., et al., "Performance investigation of a solar heating system with underground seasonal energy storage for greenhouse application". *Energy*, 2014, 67, pp. 63-73.

[4] Ghaebi, H., Bahadori, M., and Saidi, M., "Performance analysis and parametric study of thermal energy storage in an aquifer coupled with a heat pump and solar collectors, for a residential complex in Tehran, Iran". *Applied Thermal Engineering*, 2014, 62(1), pp. 156-170.

[5] Ochsner, T. E., Horton, R., and Ren, T., "A new perspective on soil thermal properties". *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(6), pp. 1641-1647.

www.SID.ir