

## مقایسه فنی و زیست محیطی سیستم ذخیره سازی سرمایش و گرمایش ۲۴ ساعته و سالیانه در ساختمان های غیر مسکونی با استفاده از لوله های زیرزمینی

عیسی خاکنژاد<sup>۱</sup>

اشکان عبدالی سوسن<sup>۲\*</sup>

[a.abdali@srbiau.ac.ir](mailto:a.abdali@srbiau.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به افزایش تقاضا برای ساخت ساختمان های با کارایی انرژی بالا، راه حل های فنی مورد نیاز است تا با حداقل نمودن مصرف انرژی، از آنها استفاده نمود. یکی از این راه حل ها، عبارت است از ذخیره سازی انرژی در منابع زیرزمینی که بر اساس استفاده کوتاه مدت یا بلندمدت در نظر گرفته می شود.

**روش بررسی:** در تحقیق حاضر یک بیمارستان در شهر تهران به نمایندگی از ساختمانی با نیاز انرژی حرارتی بالا مورد مطالعه قرار گرفت و محاسبات حرارتی و سیالاتی برای ذخیره سرما و گرما توسط لوله های زیرزمینی در آن، توسط نرم افزار متلب شبیه سازی گردید و بارهای حرارتی و برودتی ساختمان توسط نرم افزار HAP4.5 محاسبه و در نرم افزار متلب وارد شد و اندازه و نحوه پاسخ سیستم های ۲۴ ساعته و فصلی و نیز کاهش انتشار دی اکسید کربن مقایسه گردید.

**یافته ها:** سیستم ذخیره ساز حرارتی، تقاضا از گرما و سرما را برای ساختمان کاهش نمی دهد، اما با استفاده از یک ذخیره سازی زیرزمینی می توان مقدار انرژی خریداری شده و آسیب های زیست محیطی آن را کاهش داد.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج حاصل نشان داد، با به کارگیری سیستم ذخیره سازی ۲۴ ساعته در طی سال، که دارای ۱۵ خط لوله فولادی به قطر نامی ۳ اینچ و به طول ۶۰۰ متر که در عمق ۳ متری سطح زمین قرار می گیرد، ۶۷٪ از نیاز گرمایشی و ۳۴٪ از نیاز سرمایشی را تأمین و از انتشار ۱۲۷ تن دی اکسید کربن در سال جلوگیری می شود. در حالی که سیستم ذخیره سازی فصلی دارای ۴۵ خط لوله با مشخصات یکسان در عمق ۵ متری سطح زمین می باشد و ۹۸٪ از نیاز گرمایشی و ۳۹/۵٪ از نیاز سرمایشی را تأمین و از انتشار ۱۶۹/۲ تن دی اکسید کربن جلوگیری می کند.

**واژه های کلیدی:** ذخیره سازی ۲۴ ساعته، ذخیره سازی سالیانه، لوله های زیرزمینی، مصرف انرژی، گازهای گلخانه ای.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی، گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار، مهندسی سیستم های انرژی، گروه فنی و مهندسی، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

# **Technical and environmental evaluation of 24-hour heating and cooling storage system for 1 year in non-residential buildings using underground pipes**

**Isa Khaknezhad**<sup>1</sup>

**Ashkan Abdalisousan**<sup>2\*</sup>

[a.abdali@srbiau.ac.ir](mailto:a.abdali@srbiau.ac.ir)

Admission Date: December 23, 2017

Date Received: July 1, 2015

## **Abstract**

**Background and Objective:** Considering the demands on constructing high energy performance buildings, technical solution is needed to be used for decreasing and improving the energy consumption. One of this solutions is underground energy storage that is considered based on short-term or long-term usage.

**Method:** In this study, a hospital in Tehran city, as a high energy performance building, was investigated. Fluid and heat transfer calculation for heat and cold storage in the building was simulated using MATLAB software for underground pipes. Also heating and cooling loads of the building was calculated by HAP4.5 software and the results were imported to MATLAB software. Then the volume and quality of the 24-hour and seasonal systems and reduction of carbon dioxide emissions were compared.

**Findings:** Heating storage system does not reduce the heating and cooling demand of the building, but application of an underground storage can decrease the amount of bought energy and the subsequent environmental damage.

**Discussion and Conclusion:** The results showed that application of a 24-hour storage system with 15 lines of steel pipes with the length of 600 m and nominal diameter of 3 inches placed in a ground depth of 3 m, yields 67% heating load and 34% cooling load and reduce CO<sub>2</sub> emissions by 127 tons per year. However, application of a 1-year storage system with 45 lines of steel pipes with the same specification placed in a ground depth of 5 m, yields 98% heating load and 39.5% cooling load and reduces CO<sub>2</sub> emissions by 169.2 tons per year.

**Keywords:** 24-hour storage, 1-year storage, Underground pipes, Energy consumption; GHG emissions.

---

1- MSc in Energy Systems Engineering, Department of Energy Engineering and Economic, Environmental and Natural Resources Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Engineering and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.

\* (Corresponding Author)

## مقدمه

مطالبات در ساخت ساختمان‌های با کارایی انرژی بالا در بازارهای جهان در حال افزایش است. این خواسته‌ها در درجه اول توسط کشورهای اروپایی آغاز شد زیرا از یک طرف اهداف سخت‌گیرانه در استانداردهای مصرف انرژی در اروپا تدوین شد و از طرف دیگر به دلیل افزایش علاقه ساکنین ساختمان برای استفاده بهینه از انرژی و محیط‌زیست، این نیاز را معرفی نمود. اندرسون در سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش ذخیره چاهکی (BTES) برای ذخیره‌سازی گرما جهت یک کارخانه ریخته‌گری، که علاوه بر مصرف زیاد برق با انرژی حرارتی تلف‌شده زیادی مواجه است، توسط ۱۴۰ چاه به عمق ۱۵۰ متر که به‌عنوان مبدل حرارتی بر روی توده سنگی ۶۰۰۰۰۰ مترمکعبی هستند، استفاده نمود و در نهایت بر اساس اندازه‌گیری‌های دوساله محاسبه گردید که می‌توان ۳۸۰۰ مگاوات ساعت انرژی اتلافی را ذخیره نمود و ۲۶۰۰ مگاوات ساعت یعنی ۶۸ درصد را بازمی‌باید نمود و مابقی اتلاف حرارتی از سیستم ذخیره‌سازی است. همچنین با ذخیره‌سازی انرژی که جایگزین سوخت فسیلی گردیده است، انتشار دی‌اکسید کربن به میزان تقریبی ۱۷۰۰ تن در سال کاهش یافت (۱).

در سال بعد یعنی ۲۰۰۹، روش ذخیره‌سازی آبخوان (ATES) برای ذخیره سرما توسط پاک‌سوی پیشنهاد شد تا برای استفاده در ساختمان‌های آمریکا مورد استفاده قرار گیرد که در این روش آب ولرم یا سرد ذخیره‌شده را از سنگ‌های زیرزمینی خارج و پس از آن که انرژی خود را از دست داد دوباره به زیرزمین تزریق می‌شود برای ساختمان مورد مطالعه از ۷۷۰ مگاوات ساعت انرژی سرمایشی چیلر، ۳۴۴ مگاوات آن توسط سیستم فوق تأمین شد (۲).

پروژه اکتوکس با روش BTES و پروژه مدیسین هات با روش ATES دو نمونه پروژه با استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی بین فصلی می‌باشد. (۳). در پروژه اوتوکس که با ترکیب دو روش جمع‌آوری انرژی خورشید و ذخیره آن به‌وسیله سیستم BTES جهت تأمین گرمایش ۵۲ خانواده که هر یک در منازل به متراتژ ۱۴۰-۱۶۰ مترمربع زندگی می‌کنند، سیستم

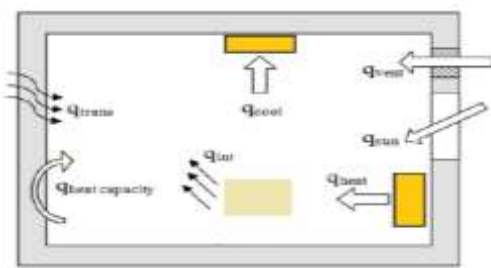
ذخیره چاهکی، به حجم ۵۰۰۰۰ مترمکعب شامل ۱۴۴ حلقه چاه حفاری‌شده به عمق ۳۵ متر در خاک استفاده گردیده است که به‌صورت شعاعی و به فاصله ۲/۲۵ متر از یکدیگر قرار دارند که توسط دو لوله پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند و نهایتاً توسط لوله به مرکز انرژی متصل گردیده‌اند و با این سیستم به ازای هر منزل مسکونی تقریباً ۵ تن سالیانه انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین پروژه مدیسین هات با روش ATES با استفاده از سه حلقه چاه گرم و سه حلقه چاه سرد که فاصله بین گروه چاه‌های سرد و چاه‌های گرم در حدود ۲۰۰ متر می‌باشد، برای ساختمانی به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ مترمربع انجام گردید و در نتیجه میزان مصرف سوخت‌های فسیلی برای گرمایش و سوخت جهت تولید برق مصرفی چیلر برای سرمایش کاهش یافت و در کل تخمین زده می‌شود که سالیانه ۴۸۰ تن از انتشار گازهای گلخانه‌ای از این ساختمان کاهش یابد. در نروژ امروزه تخمین زده‌شده است که حدود ۱۳۰۰۰ دستگاه پمپ‌های حرارتی زیرزمینی GSHP به ظرفیت ۴۵۰ مگاوات نصب گردیده‌اند که ۹۰ درصد این‌ها جهت استفاده در سیستم ذخیره انرژی به روش حفاری چاه با لوله‌کشی به شکل U بوده‌اند (۴).

در ایران نیز کارهایی در زمینه ذخیره انرژی به انجام رسیده است. مثلاً هدف منصوری و همکاران (۵) از به‌کارگیری سیستم‌های ذخیره‌سازی سرما، کاهش حداکثر نیاز انرژی الکتریکی و یکنواخت نمودن مصرف برق در سیستم تهویه مطبوع و تبرید ساختمان‌ها در طول ساعات شبانه‌روز است.

همچنین شبنم منصوری و همکاران در سال ۱۳۹۰ نیز یک سیستم ذخیره‌سازی سرما از نوع یخ بر روی کویل ذوب از داخل با مشخصات فنی اجزای مخزن ذخیره‌سازی به همراه پتانسیل‌های ساخت داخل هر یک از اجزاء مورد بررسی قرار دادند (۶). بر اساس نتایج تحلیل ترموهیدرودینامیکی مخزن ذخیره‌سازی، طراحی اجزای سازه‌ای مخزن ذخیره‌سازی با ظرفیت ذخیره‌سازی ۶۴۷ کیلووات ساعت سرمایش به انجام رسید.

به دست می‌آید و پاسخ دما در زمین محاسبه می‌شود. فرض بر این است که سیستم داخلی ساختمان، قادر به انتشار و جمع‌آوری انرژی معمول موردنیاز برای گرمایش یا سرمایش است. سیستم ذخیره انرژی، تنها منبع حرارتی‌اش، باید از انرژی ساختمان باشد. در این صورت تعادل استخراج و بازگشت انرژی به‌منظور حفظ اثر ذخیره‌سازی تضمین شود. ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از سیستم‌های لوله افقی در زمین متشکل از خاک-رس انجام می‌گیرد.

مدل ریاضی، سیستم به سه بخش فرعی تقسیم می‌گردد: ساختمان، لوله و زمین، که در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل ساختمان (شکل ۲) بارهای خارجی و رفتار فضای داخلی ساختمان را پوشش می‌دهد. مدل لوله (شکل ۵)، محاسبه توزیع درجه حرارت در لوله‌ها را مدل می‌نماید، که به انتقال انرژی از ساختمان به زمین مربوط می‌شود. در مدل زمین (شکل ۶)، پاسخ دما در زمین محاسبه می‌شود. مدل‌ها به یکدیگر متصل خواهند بود و رفتار سیستم در طول زمان محاسبه شده و بررسی می‌گردد. برای انجام این مدل‌سازی، از معادلات انرژی حاکم بر جریان سیالات و انتقال حرارت هدایت و همرفت استفاده خواهد گردید.



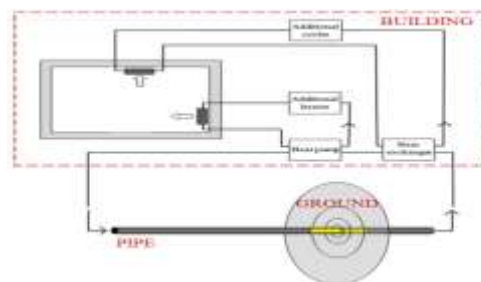
شکل ۲- مدل ساختمان با بارهای حرارتی آن

Figure 2- Building Model with its thermal loads

خراسانی آبگرمکنی را که توسط سلول‌های خورشیدی، سیال ذخیره‌ساز درون آبگرمکن را گرم و این گرما در سیال ذخیره می‌گردد تا در زمان‌های دیگر مصرف گردد بررسی نمود (۷). در تحقیق حاضر، از زمین برای برای سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود. همان‌طور که در مروری بر کارهای صورت گرفته مطرح شد، در ایران هنوز بر پایه روش استفاده از لوله‌های زیرزمینی، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی و ذخیره‌سازی انرژی بر اساس مصرف ۲۴ ساعته، صورت نگرفته است.

### مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این تحقیق، محاسبات نظری محاسباتی و برنامه‌نویسی (توسط برنامه متلب) است. برای انجام این تحقیق، یک بیمارستان به ابعاد  $50 \times 30$  مترمربع در چهار طبقه با ارتفاع هر طبقه  $3/5$  متر به عنوان یک ساختمان با عملکرد انرژی بالا در شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. برای انجام محاسبات، مدل ریاضی سیستم ذخیره‌ساز بر اساس معادلات انرژی بنا می‌گردد. سپس بارهای حرارتی و برودتی ساختمان توسط نرم‌افزار HAP4.5 با توجه به داده‌های آب‌وهوایی تهران در هر ساعت محاسبه و در نرم‌افزار متلب وارد می‌گردند. رفتار سیستم ذخیره‌ساز زیرزمینی نیز، مورد مطالعه قرار گیرد. محاسبه توزیع درجه حرارت در لوله



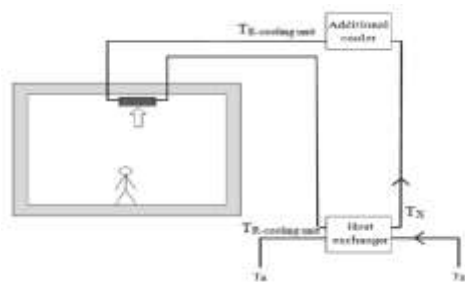
شکل ۱- شماتیک حجم کنترل سیستم شامل سه بخش ساختمان،

لوله و زمین

Figure 1- Schematic of system control volume consists of three sections: the building, the pipe and the ground

موردنیاز را برآورده کند، یک هیتر اضافی نیز وارد مدار می‌گردد. شماتیک این سیستم در شکل ۳ قابل مشاهده است.

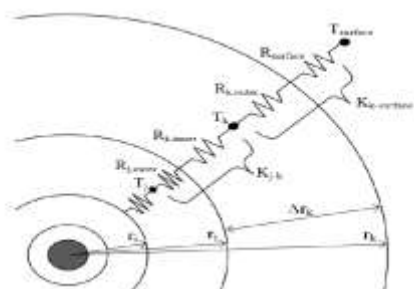
بخشی از تقاضای گرمایش در ساختمان از زمین با یک پمپ حرارتی استخراج می‌گردد. اگر این گرما نتواند میزان حرارت



شکل ۴- شماتیک سیستم سرمایشی

Figure 4- Schematic of cooling system

- حرارت خروجی سرمایشی که با  $(q_{cool})$  توسط یک مبدل حرارتی و کولر اضافی همانند شکل ۴ انجام می‌گیرد. در این سیستم،  $T_{E-cooling unit}$  و  $T_{R-cooling unit}$  ثابت در نظر گرفته می‌شوند. در حالی که  $V_{cooling unit}$  متغیر است و وابسته به میزان تقاضای سرمایش است.



شکل ۶- نحوه قرارگیری المان‌های زمین به همراه مقاومت

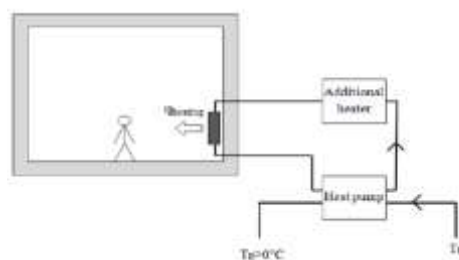
حرارتی مربوط به هر المان

Figure 6- Arrangement ground elements with thermal resistance of each element

$$\text{if } Re \geq 2300 \rightarrow Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{\frac{1}{3}} \Rightarrow \text{turbulent}$$

- رسانایی المان‌های مرزی خارجی (معادله ۲۰) مربوط به مقاومت نیمه خارجی آخرین المان زمین به همراه مقاومت حرارتی سطح زمین است. برای محاسبه  $R_{surface}$  راه حل ارائه شده توسط هنریک استفاده شده است (۹).

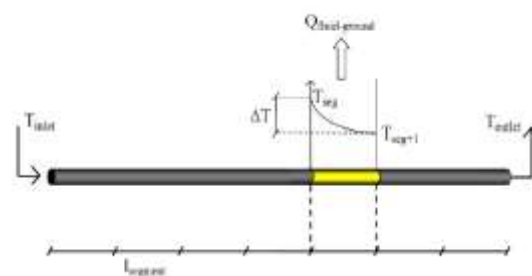
در روابط ۲۴ الی ۲۹ از جدول ۲، به نحوه محاسبه جریان حرارتی بین المان‌های غیر مرزی و بین المان‌های مرزی داخلی و خارجی، پرداخته شده است.



شکل ۳- شماتیک سیستم حرارتی ورودی به ساختمان

Figure 3- Schematic of entry heating loads

پمپ حرارتی تا زمانی می‌تواند گرما را از سیال در لوله‌های زیرزمینی استخراج و به ساختمان هدایت کند که درجه حرارت سیال خروجی آن که به منبع زیرزمینی بازمی‌گردد، از صفر درجه سانتی‌گراد بالاتر باشد. پمپ حرارتی از انرژی الکتریکی و گرمایی زمین برای تولید انرژی استفاده می‌نماید. (روابط ۱ الی ۱۴ در جدول ۲)



شکل ۵- مدل لوله

Figure 5- Pipeline model

در ادامه، به نحوه محاسبه رسانایی بین المان‌های غیر مرزی و بین المان‌های مرزی داخلی و خارجی، پرداخته می‌شود.

- در المان مرزی داخلی، مقاومت بین سیال و لوله و همچنین مقاومت نیمه اول المان دایره‌ای مربوط به زمین، لحاظ شده‌اند که رسانایی بین آن‌ها با روابط ۱۵ الی ۲۳ جدول ۲ محاسبه می‌شود، که در این روابط  $Nu$  عدد نوسلت است و به عدد  $Re$  بستگی دارد. اگر عدد رینولدز از ۲۳۰۰ کم‌تر باشد، عدد نوسلت برابر با ۴ فرض می‌گردد، در غیر این صورت از روی رابطه تجربی محاسبه می‌شود (۸).

$$\text{if } Re < 2300 \rightarrow Nu = 4 \Rightarrow \text{laminar}$$

توزیع جدید دما برای زمین محاسبه می‌گردد و حلقه حل بعدی، با داشتن این دمای جدید برای زمین، تکرار می‌گردد. - محاسبه تولید گازهای گلخانه‌ای: همان‌طور که اشاره شد و در فرضیات نیز آمده است، ساختمان به‌تنهایی قادر به پاسخ-گویی تقاضای سرمایشی و گرمایشی موردنیاز خود می‌باشد که این امر با استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی مستقر در موتورخانه امکان‌پذیر شده است. در اثر استفاده از این سیستم‌ها، که شامل چیلر و دیگ می‌باشند و به جهت تأمین انرژی این دستگاه‌ها به برق و گاز طبیعی احتیاج می‌باشد. لذا به‌ناچار تولید گازهای گلخانه‌ای که ناشی از برق مصرفی چیلر و گاز مصرفی دیگ صورت می‌گیرد. اما سیستم ذخیره‌سازی انرژی، مقداری از انرژی لازم را تأمین می‌کند و نیز از میزان کارکرد آن‌ها می‌کاهد و در نتیجه آن، تولید گازهای گلخانه‌ای و مخصوصاً تولید گاز دی‌اکسید کربن کاسته می‌شود، هرچند اندکی برق جهت کارکرد پمپ حرارتی لازم است و باعث تولید مقداری دی‌اکسید کربن می‌گردد. میزان انتشار و صرفه‌جویی گاز دی‌اکسید-کربن توسط رابطه‌های ۳۴ الی ۴۲ از جدول ۲ محاسبه می‌شوند. در رابطه ۳۵ بر طبق آخرین ترازنامه انرژی کشور اعداد متوسط بازده نیروگاهی و تلفات خطوط انتقال و توزیع به ترتیب ۳۸/۹٪، ۳/۰۲٪ و ۱۲/۹۳٪ می‌باشد (۱۱). همچنین ارزش حرارتی گاز متان ۹۴۳۴ کیلوکالری به ازای هر- مترمکعب می‌باشد (۱۲). از روابط ۴۰ و ۴۱ نیز با توجه به درصد بالای گاز متان در گاز طبیعی (۱۳) و وزن دی‌اکسید کربن تولیدی از سوختن یک مترمکعب متان (۱۴) استفاده شده است. همچنین میزان صرفه‌جویی ناشی از کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن براساس جدول (۱-۲۳۷) ترازنامه انرژی سال ۹۳، به ازای هر کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن برابر ۱۰۰ ریال است (۱۱) و با محاسبات فوق و کاهش انتشار بدست آمده، صرفه‌جویی زیست محیطی توسط سیستم ذخیره‌سازی بدست می‌آید.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا مقدار سرمایش و گرمایش موردنیاز ساختمان شرح داده می‌شود. سپس تقاضای ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته و سالیانه شرح

-تغییر درجه حرارت در هر المان، با توجه به تغییر انرژی داخلی و ظرفیت گرمایی در آن المان ارتباط دارد (برای هر مرحله زمانی). تغییر در درجه حرارت برای المان  $\dot{Q}$  با معادله ۳۰ و ۳۱ محاسبه می‌شود.

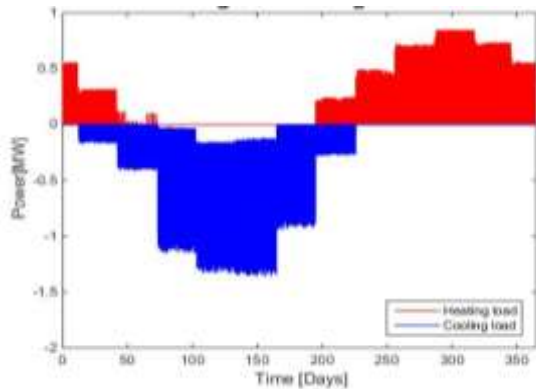
- نحوه تعامل بین ساختمان، لوله و زمین: مدل‌های ساختمان، لوله و زمین هم با استفاده از یک گام زمانی پایدار و پس از ساده سازی (روابط ۳۲ و ۳۳)، به هم مرتبط شده و محاسبات حالت پایا برای آن‌ها در هر مرحله زمانی، انجام می‌گیرد (۱۰).

- روند حل: برای شروع حلقه حل، مقادیر اولیه (در لحظه  $t=0$ ): موردنیاز است که عبارتند از دمای واحد مربوط به سرمایش و گرمایش (TE)، دمای داخل ( $T_{indoor}$ )، دمای هر المان زمین ( $T_{ground}$ ). سپس درجه حرارت خارج وارد می‌شود. همچنین در مواقع لزوم، اگر دماها مربوط به فواصل زمانی زیاد باشند، درجه حرارت با درون‌یابی محاسبه می‌گردد. پس از آن، محاسبات مربوط به از دست دادن یا به دست آوردن گرما به دلیل انتقال، تهویه و حرارت داخلی محاسبه می‌شود. مجموع این گرما به نام  $Q_{tot}$  خواهد بود و باعث تغییر در دمای محیط داخلی می‌شود. این تغییر دما به دمای داخل ( $T_{indoor}$ ) اضافه می‌گردد. در این مرحله دمای محاسبه‌شده، تحت عنوان  $T_{indoor-check}$  ذخیره می‌شود. اگر این دما، بزرگ‌تر، کوچک‌تر و یا بین حدود مشخص شده برای دمای داخل باشد، به ترتیب واحد سرمایش، واحد گرمایش و هیچ‌کدام از آن‌ها فعال می‌شوند. سپس دمای خروجی از واحد سرمایش/گرمایش ( $TR(t)$ ) با استفاده از اطلاعات مربوط به دمای ورودی به این واحد ( $TE(t)$ ) و مد سرمایش و یا گرمایش، مشخص می‌شود. در شکل ۴ شماتیک دمای خروجی  $TR$  که همان دمای ورود به لوله است ( $T_{inlet}$ ) مشاهده می‌شود.

با دانستن درجه حرارت محیط اطراف لوله، یعنی درجه حرارت در المان شعاعی مربوط به درونی‌ترین بخش زمین برای هر بخش از لوله مطابق

شکل ۵، توزیع دما در لوله را می‌توان محاسبه نمود. درجه حرارت زمین در گام قبلی محاسبه‌شده است. در این مرحله،

گرفته شده است، در طی سال را مشاهده می‌کنیم. در پایین آن‌هم حالت سرمایشی و گرمایشی دستگاه‌های تهویه دیده می‌شود. توان موردنیاز جهت کارکرد دستگاه‌ها در شکل ۸، به تصویر کشیده شده است. خطوط قرمز رنگ بالای صفر نشان‌دهنده توان گرمایشی موردنیاز و خطوط آبی‌رنگ در زیر صفر، مقادیر توان سرمایشی ساختمان است.



شکل ۸- توان موردنیاز برای گرمایش و سرمایش سالیانه  
Figure 8- The power needed for heating and cooling over the year

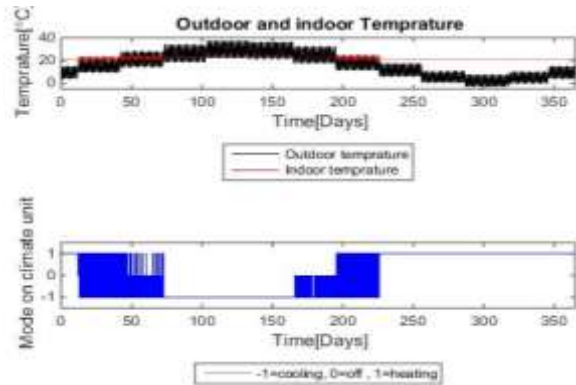
سرمایش و گرمایش در هر گام زمانی در طی سال به دست آمده است. از آنجایی که انتهای منحنی زیر صفر است، نشان می‌دهد که انرژی سرمایشی موردنیاز ساختمان از انرژی گرمایشی آن بیش‌تر است.

تقاضا و طراحی ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته: جهت ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته، نیاز است تا تقاضا بار سرمایشی و گرمایشی از روز تا شب متفاوت باشد. طبق شکل ۷، رفتار مشابه این توضیح در اوایل بهار و پاییز دیده می‌شود. بنابراین طراحی سیستم ذخیره‌سازی انرژی ۲۴ ساعته بر اساس دوره ۳۵ روزه می‌باشد و در این دوره زمانی مشخص، هر دو تقاضای سرمایشی و گرمایشی از روز تا شب وجود دارد.

نکته حایز اهمیت در رابطه با ذخیره ۲۴ ساعته و سالیانه، برابری انرژی استخراج‌شده از زمین با انرژی وارد شده به زمین است. بنابراین نیاز است تا تقاضاهای سرمایشی و گرمایشی در

داده می‌شود و در نهایت به میزان تغییر در انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از ذخیره‌سازی انرژی پرداخته می‌شود. با محاسبه توان موردنیاز دستگاه‌های تهویه در هر گام زمانی، بار سرمایشی و گرمایشی موردنیاز ساختمان در طی سال به دست می‌آید.

در شکل ۷، دمای محیط بیرون و دمای موردنیاز در داخل ساختمان، که بین ۲۱ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد در نظر



شکل ۷- مقایسه دمای بیرون و داخل ساختمان و نوع حالت کارکرد سیستم تهویه مطبوع

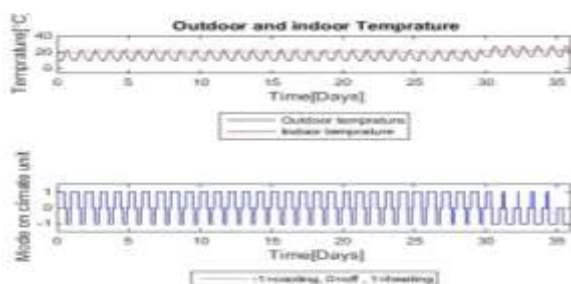
Figure 7- Compare the temperature outside and inside the building and the mode of air conditioning system

با توجه به نمودار شکل ۸ و یا قسمت پایینی شکل ۷، می‌توان فهمید که طول دوره‌ای که سیستم گرمایشی مورد استفاده است با طول دوره‌ای که سیستم سرمایشی در حال کار می‌باشند تقریباً یکسان است. اما می‌توان دید که میزان بار حداکثر سرمایشی از بار حداکثر گرمایشی بیش‌تر است. با جمع کردن بارهای سرمایشی و گرمایشی در طول سال، دیده می‌شود که انرژی سرمایشی بیش از انرژی گرمایشی موردنیاز است. انرژی گرمایشی و سرمایشی در مدت‌زمان محاسبه برابر اعداد زیر است:

انرژی گرمایشی:  $977,188 \text{ KWh}$  یا  $\text{KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$   
انرژی سرمایشی:  $162/8 \text{ KWh}$  یا  $1,582,029 \text{ KWh}$  یا  $\text{KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$

این تفاوت در انرژی مقدار موردنیاز برای سرمایش و گرمایش نیز در شکل ۹ نشان داده شده است که با توجه به جمع مقدار

بار سرمایشی و گرمایشی موردنیاز در دوره مشخصه: دوره مشخصه از روز ۱۳ سال شروع و تا روز ۴۸ به مدت ۳۵ روز از اواسط فروردین تا اواسط اردیبهشت ماه می باشد. اختلاف دمای داخل و خارج در این دوره در شکل ۱۰ در نمودار بالا نشان داده شده است و در نمودار پایین این شکل حالات تقاضای گرمایش و سرمایش در طی روزها و شبهای این دوره می بینیم.

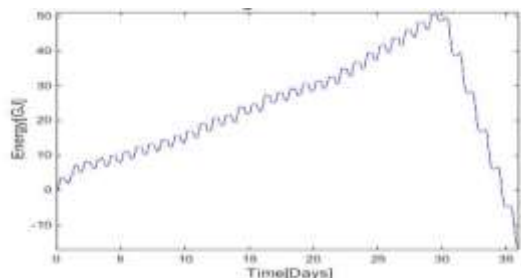


شکل ۱۰- مقایسه دمای بیرون و داخل ساختمان و نوع

حالت کارکرد سیستم تهویه مطبوع در دوره مشخصه

Figure 10- Compare the temperature outside and inside the building and the mode of air conditioning system over characteristic days

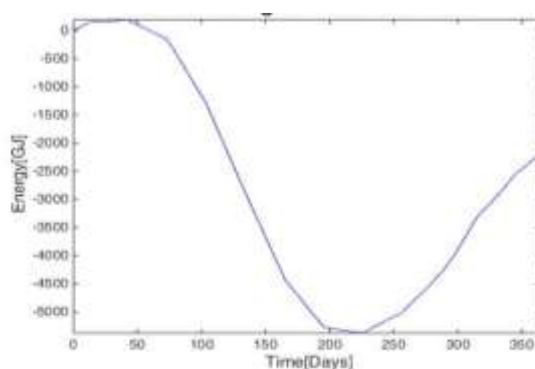
بیش تری در طی دوره مشخصه موردنیاز است. مجموع انرژی موردنیاز در طی این دوره ۳۵ روزه به صورت زیر است:  
انرژی گرمایشی: ۳۰,۶۵۸ KWh یا  $\text{KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$   
انرژی سرمایشی: ۵۱/۸ KWh یا  $\text{KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$   
(۵۹/۵ year) - مجموع انرژی حرارتی در طی دوره مشخصه در شکل ۱۲ مشاهده می شود.



شکل ۱۲- مجموع انرژی مورد تقاضا سرمایشی و گرمایشی در دوره مشخصه

Figure 12- Sum of cooling and heating energy demand over characteristic days

این دوره مشخصه اصلاح شوند تا برابر گردند. تقاضاهای اضافی سرمایشی و گرمایشی، که پس از این تغییرات موردنیاز است، توسط سیستم های دیگری تأمین خواهد شد. طراحی سیستم ذخیره سازی جهت این دوره مشخصه انجام گرفته و محاسبات برای نحوه پاسخ گویی بلندمدت سیستم ذخیره ساز، تکرار گردیده است.

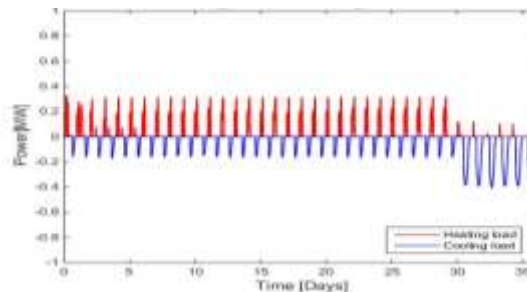


شکل ۹- مجموع انرژی موردنیاز سرمایشی و گرمایشی

سالانه

Figure 9- Sum of cooling and heating energy demand over the year

در شکل ۱۱، توان موردنیاز گرمایشی و سرمایشی در طی دوره مشخصه نشان داده شده است. می توان با توجه به شکل و محاسبات متوجه شد توان سرمایشی بیش تری موردنیاز است. با توجه به بزرگ تر بودن توان سرمایشی و مجموع زمان کارکرد بیش تر در حالت سرمایش نسبت به گرمایش، انرژی سرمایشی



شکل ۱۱- توان موردنیاز برای گرمایش و سرمایش در دوره مشخصه

Figure 11- The power needed for heating and cooling over characteristic days

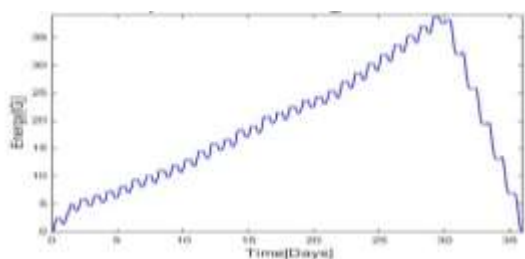


سرمایشی و گرمایشی اصلاح‌شده به‌صورت زیر محاسبه گردیده‌اند:

گرمایش اصلاح‌شده:  $30,658 \text{ KWh}$  که  $100\%$  گرمایش موردتقاضا با در نظر گرفتن الکتریسیته پمپ حرارتی یا  $51/8 \text{ KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$

سرمایش اصلاح‌شده:  $20,439 \text{ KWh}$  - که  $58\%$  سرمایش موردنیاز یا  $34/5 \text{ KWh}/(\text{m}^2\text{-year})$  - می‌باشد.

مجموع انرژی موردنیاز از سیستم ذخیره‌سازی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. که فقط انرژی به‌دست‌آمده از زمین می‌باشد و شامل گرمایش تولیدی ناشی از الکتریسیته پمپ حرارتی نیست. انرژی به‌دست‌آمده از زمین در روز اول تا سی‌ام دوره مشخصه بیش‌تر به‌صورت گرمایشی می‌باشد و به همین جهت نمودار با شیب مثبت حرکت می‌کند. ولی پس از روز سی‌ام انرژی سرمایشی اصلاح‌شده از گرمایشی بزرگ‌تر بوده و در نتیجه مجموع مقادیر انرژی از روز سی‌ام به بعد کاهش می‌یابد و شیب منفی می‌گردد و در نهایت همان‌طور که گفته شده بایستی مجموع انرژی اصلاح‌شده حرارتی که از زمین استخراج می‌شود با مجموع انرژی واردشده به آن برابر باشد، یعنی انتهای نمودار به صفر برسد.



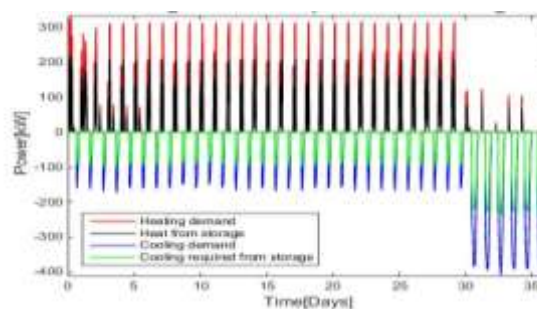
شکل ۱۴- مجموع انرژی حرارتی اصلاح‌شده (حاصله از سیستم ذخیره‌ساز) در دوره مشخصه

Figure 14- Sum of the modified thermal energy over characteristic days

در دوره مشخصه می‌باشد. سیستم ذخیره‌سازی بایستی بدون گرمایش اضافی این‌ها را مدیریت نماید. طول لوله‌ها بر طبق

اصلاح بار سرمایشی و گرمایشی موردنیاز در دوره مشخصه: برای محاسبه رفتار ذخیره‌ساز حرارتی، درخواست انرژی و بازگشت انرژی به ذخیره‌ساز بایستی برابر باشند. راه‌حل برای محاسبات کنونی، کاهش میزان سرمایش موردتقاضا از ذخیره‌ساز، چنان‌چه جمع انرژی سرمایش و گرمایش تغییر یافته صفر می‌گردد.

در شکل ۱۳، سرمایش و گرمایش موردنیاز و سرمایش و گرمایش اصلاح‌شده را مشاهده می‌کنیم. خطوط قرمز، گرمایش موردنیاز و خطوط آبی سرمایش موردتقاضا، خطوط سیاه گرمای به‌دست‌آمده از زمین (ذخیره‌ساز) و خطوط سبز سرمایش اصلاح‌شده حاصله از سیستم ذخیره‌ساز هستند. چنان‌چه در شکل می‌بینیم فقط قسمتی از گرمایش موردنیاز از زمین به دست می‌آید که به خاطر الکتریسیته مصرفی در پمپ حرارتی که نهایتاً به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. توجه شود که مجموع انرژی گرمایشی اصلاحی (مساحت زیر خطوط سیاه) با مجموع انرژی سرمایشی اصلاح‌شده (مساحت زیر خطوط سبز) برابر است. در حالت توصیف‌شده انرژی گرمایشی سیستم ذخیره‌ساز، در حدود  $58\%$  انرژی سرمایشی اصلاح‌شده است. بدان معنی که  $58\%$  انرژی سرمایشی می‌تواند از سیستم ذخیره‌سازی تأمین گردد (خطوط سبز). در نهایت مقادیر انرژی



شکل ۱۳- توان گرمایشی و سرمایشی موردنیاز و اصلاح‌شده در دوره مشخصه

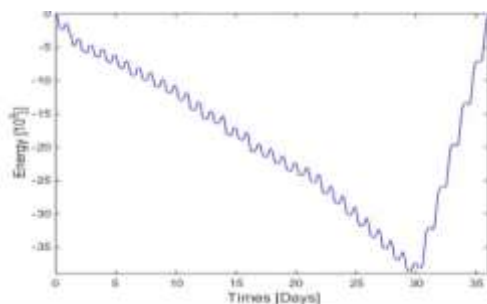
Figure 13- The power needed and modified for heating and cooling over characteristic days

طراحی ذخیره‌ساز انرژی بر اساس تقاضای اصلاح‌شده جهت کنترل آب‌وهوا: برای تصمیم‌گیری در رابطه با اندازه ذخیره‌ساز، محدودیت‌هایمان پوشش دادن توان و مقدار انرژی اصلاح‌شده

هنگامی که انرژی وارد و استخراج شده از زمین برابر باشند، پاسخ بلندمدت سیستم پایا است. در شکل ۱۷ مجموع انرژی استخراج شده از زمین (سیستم ذخیره ساز) و وارد شده به زمین در طی دوره مشخصه ۳۵ روزه نشان داده است. در شکل ۱۸ توزیع دما در زمین با ۹ مرتبه تکرار در دوره مشخصه ۳۵ روزه جهت تعیین اندازه زمین جهت ذخیره سازی دیده می شود. محاسبات این مورد در بخش میانی لوله انجام گرفته است. در این شکل محور X نماینده شعاع حلقه ها از مرکز لوله تا سطح زمین می باشد.

به این ترتیب توزیع دما از ورودی لوله تا انتهای خروجی لوله به طول ۶۰۰ متر در زمان های مختلف از دوره مشخصه به شکل ۱۹ خواهد بود.

دماهای ورودی و خروجی از این لوله در طی این دوره مشخصه که تکرار گردیده است در شکل ۲۰ دیده می شود. نواحی آبی رنگ دمای ورودی و نواحی قرمز رنگ دماهای خروجی از لوله می باشند. لازم به توضیح است اگر نواحی قرمز پایین تر از آبی باشند یعنی سیال درون لوله خنک شده است.



شکل ۱۶- مجموع انرژی حرارتی سیستم ذخیره ساز در دوره مشخصه با تعداد - کافی خطوط لوله  
Figure 16- Sum of thermal energy of storage system with enough number of pipes over characteristic days

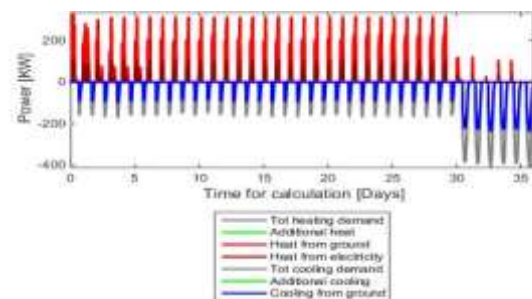
پمپ انتخابی و لوله در نظر گرفته شده، ۶۰۰ متر می باشد و دمای سطح زمین نیز ۸ درجه سلسیوس است.

در محاسبات شبیه سازی در نرم افزار متلب جهت یافتن مقدار مناسب تعداد خطوط لوله، اعداد را وارد می کنیم و در نهایت اعداد مناسب این سیستم به طول لوله ۶۰۰ متر و با خطوط مورد نیاز ۱۵ خط می باشد. با تعداد خطوط کافی همه تقاضای اصلاح شده تأمین می شود. درصدهای انرژی که توسط ذخیره سازی پوشش داده می شود برابر اعداد زیر است:

۱۰۰٪ از انرژی گرمایشی اصلاح شده و یا ۱۰۰٪ از انرژی گرمایشی مورد تقاضا

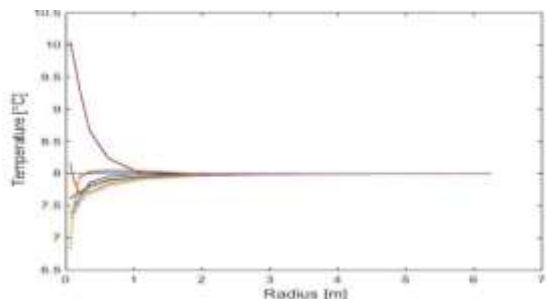
۱۰۰٪ از انرژی سرمایشی اصلاح شده و یا ۵۸٪ از انرژی سرمایشی مورد تقاضا که در شکل ۱۵ مشاهده می شود.

هنگامی که تعداد لوله ها به اندازه کافی باشد، سرمایش و گرمایش اصلاحی به صورت کامل تأمین می گردد. و مجموع انرژی وارد به زمین با مجموع انرژی استخراج شده از آن در طی دوره مشخصه برابر می شود و به همین جهت انتهای نمودار صفر است (شکل ۱۶).

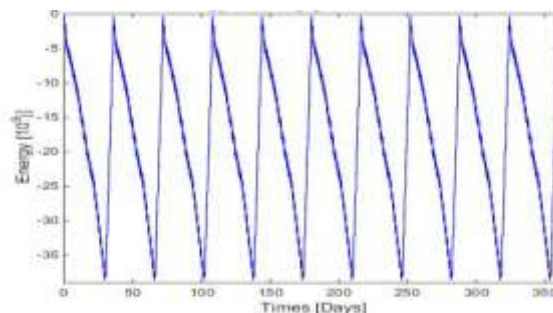


شکل ۱۵- توان حرارتی سیستم ذخیره ساز در دوره مشخصه با تعداد کافی خطوط لوله

Figure 15- Heating and cooling power of storage system with enough number of pipes over characteristic days

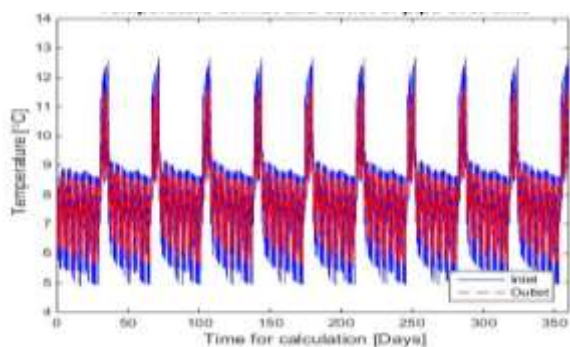


شکل ۱۸- توزیع دما در زمین تا شعاع ۸ متری در اطراف لوله در دوره مشخصه و تکرار دوره در سال  
Figure 18-The temperature in the ground around 8 meters radius of the pipe the repeated period of characteristic days



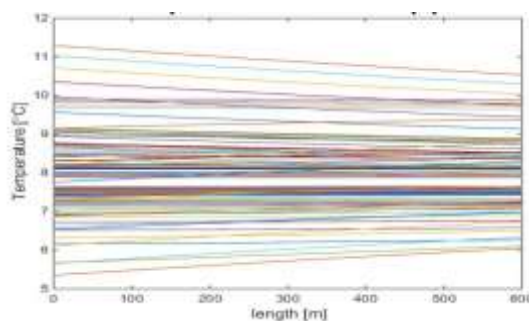
شکل ۱۷- مجموع انرژی حرارتی سیستم ذخیره‌ساز در دوره مشخصه و تکرار دوره در سال

Figure 17- Sum of thermal energy of storage system over the repeated period of characteristic days



شکل ۲۰- توزیع دما در لوله در دوره مشخصه و تکرار دوره در سال

Figure 20- The pipe Temperature over the repeated period of characteristic days



شکل ۱۹- توزیع دما در طول لوله در زمان‌های مختلف دوره مشخصه و تکرار دوره در سال

Figure 19- Temperature distribution over length of the pipe at different times of the repeated period of characteristic days

ذخیره سرمایش کل: ۳۳۶,۵۴۲ KWh یا  $5.42 \text{ KWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$

- تقاضا و طراحی ذخیره‌ساز یک‌ساله: در این بخش محاسبات مربوط به مقایسه سیستم ذخیره‌سازی انرژی یک‌ساله با ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته انجام شده است. در ابتدا میزان تقاضای سرمایش و گرمایش اصلاح گردید، به‌گونه‌ای که برابر شوند. سپس اندازه و حجم موردنیاز به‌دست‌آمد و در نهایت پاسخ دمایی زمین و لوله مورد مطالعه قرار گرفت.

اصلاح تقاضای بار حرارتی سالیانه: میزان تقاضای بار سرمایشی از گرمایشی بیش‌تر می‌باشد و لذا برای جلوگیری از سرمایش گرمایش بیش‌تر از نیاز و صفر بودن انرژی درخواستی از زمین لازم هست، میزان بار سرمایشی اصلاح شود تا با بار گرمایشی

استفاده بهینه از سیستم فوق که برای دوره مشخصه و ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته طراحی شده، بدین‌صورت است که در طی سال هم از سیستم استفاده شود، در این صورت درصدی از انرژی گرمایشی مورد تقاضای سالانه تأمین کند:

انرژی گرمایشی: ۶۷٪ درصد از نیاز سالیانه (شامل انرژی ناشی از توان الکتریکی پمپ حرارتی)

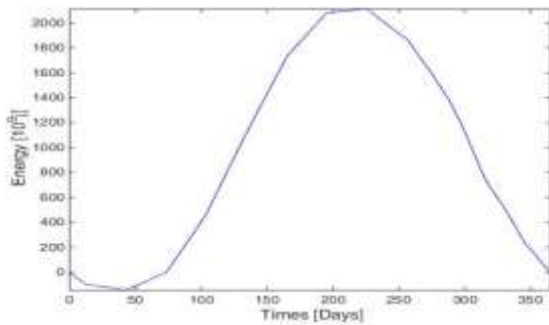
انرژی سرمایشی: ۳۴٪ درصد از نیاز سالیانه

یعنی اعداد زیر ذخیره می‌شوند:

ذخیره گرمایش کل: ۶۵۳,۶۳۶ KWh (۸,۸۷۸ KWh) مربوط به انرژی الکتریکی هیت پمپ) یا  $8.878 \text{ KWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$

۵۳/۹۲

بخش باقی مانده انرژی گرمایشی توسط انرژی الکتریکی پمپ حرارتی و بخش باقی مانده سرمایه‌گذاری توسط سیستم سرمایه‌گذاری مرکزی تأمین می‌گردند. در شکل ۲۲ نیز برابری میزان سرمایه‌گذاری و گرمایش اصلاح شده از سیستم ذخیره‌ساز مشخص شده است.



شکل ۲۲- مجموع انرژی حرارتی خالص زمین با ذخیره سالانه

Figure 22- Sum of the energy that is entering and released from the ground with 1-year storage

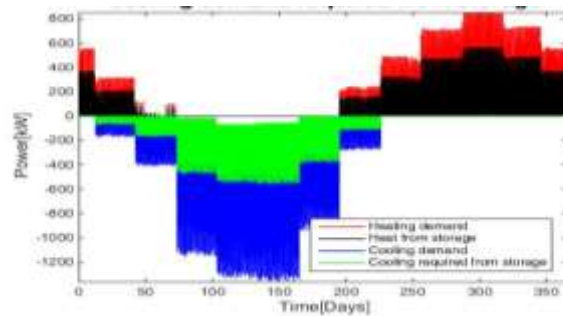
قابل ملاحظه‌ای است. نتیجه میزان ذخیره‌سازی در شکل ۲۳ نشان داده شده است. قسمت‌های سبزرنگ نشان‌دهنده انرژی اضافه شده به مجموعه جهت پوشش کامل بار اصلاح شده می‌باشد و اگر تعداد خطوط به ۵۰ برسد، دیگر نیازی به سیستم‌های اضافی نیست. در این حالت ذخیره‌سازی سالیانه مدیریت مقادیر زیر را بر عهده دارد:

۹۸٪/۱ از انرژی گرمایشی اصلاح شده و یا ۹۸/۱٪ از انرژی گرمایشی مورد تقاضا

۹۵٪/۹ از انرژی سرمایه‌گذاری اصلاح شده و یا ۳۹/۵٪ از انرژی سرمایه‌گذاری مورد تقاضا

در شکل ۲۴ مجموع انرژی وارده به زمین و استخراج شده از آن دیده می‌شود. درخواست سرمایه‌گذاری و گرمایش حتی اگر طراحی بر اساس پیک حرارتی نباشد، بسیار به هم نزدیک هستند. و به همین جهت انتهای نمودار نزدیک به صفر و تقریباً برابر ابتدای آن می‌باشد.

برابر شود. میزان بار باقی مانده سرمایه‌گذاری که بیش از مقدار اصلاحی می‌باشد بایستی توسط سیستم دیگری تأمین شود. در شکل ۲۱ بخش‌های سیاه‌رنگ و سبز نشان‌دهنده بارهای اصلاح شده می‌باشند که از سیستم ذخیره‌ساز تأمین می‌شوند.



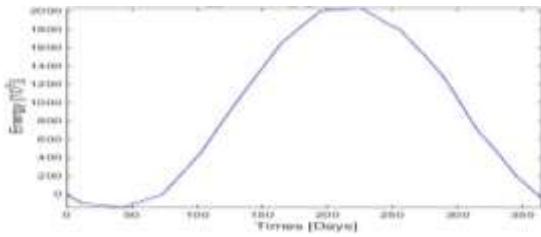
شکل ۲۱- تقاضای سالانه و میزان اصلاح شده آن جهت ذخیره سالانه

Figure 21- The power of heating and cooling demand and modified for 1-year storage

گرمایش اصلاح شده: ۹۷۷,۱۷۲ KWh که ۱۰۰٪ گرمایش مورد تقاضا می‌باشد (با در نظر گرفتن الکتریسیته پمپ حرارتی) سرمایه‌گذاری اصلاح شده: ۶۵۱,۴۵۸ KWh که ۴۱٪ سرمایه‌گذاری مورد نیاز می‌باشد.

طراحی سیستم ذخیره سالانه بر اساس بارهای اصلاح شده: نکته اول که باید در این طراحی مدنظر قرارداد این است که اگر قرار باشد سیستم پاسخ‌گویی بالاترین پیک اصلاح شده باشد، اندازه سیستم و تعداد خطوط لوله بیش از اندازه خواهند بود، لذا با فرض جواب‌گویی سیستم تا حد پیک بار سرمایه‌گذاری و نه بزرگ‌ترین پیک آن طراحی را انجام می‌دهیم.

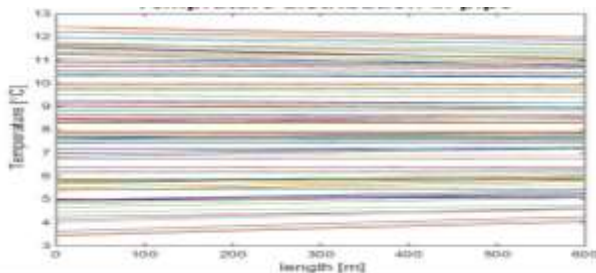
در محاسبات شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب جهت یافتن مقدار مناسب تعداد خطوط لوله، اعداد را وارد می‌کنیم و در نهایت اعداد مناسب این سیستم طول لوله ۶۰۰ متر و با ۴۵ خط خواهد بود. همان‌طور که می‌بینیم تعداد خطوط، نسبت به ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته حدود سه برابر شده است که عدد



شکل ۲۴- مجموع انرژی حرارتی خالص زمین با ذخیره سالانه و تعداد لوله کافی

Figure 24- Sum of the energy that is entering and released from the ground with enough number of pipes for 1-year storage

شعاع ۵ متری دیده می‌شود. همچنین تغییرات دمای سیال درون لوله در ذخیره سالانه در رنج گسترده‌تری نسبت به ذخیره ۲۴ ساعته می‌باشد (شکل ۲۶).

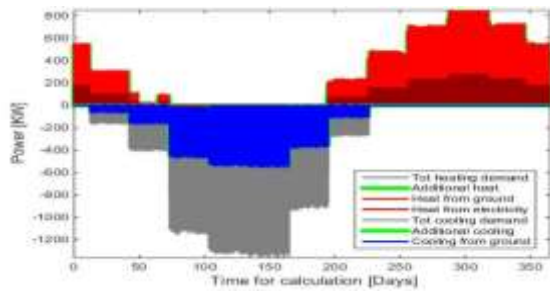


شکل ۲۶- توزیع دما در طول لوله در زمان‌های مختلف بر اساس ذخیره‌سازی سالانه

Figure 26- Temperature distribution over length of the pipe at different times pipe for 1-year storage

ذخیره گرمایش کل: ۹۵۹,۲۶۰ KWh (۳۱۹,۷۵۳ KWh/۲/۹) مربوط به انرژی الکتریکی هیت پمپ) یا KWh/(m<sup>2</sup>-year) ذخیره سرمایه‌ش کل: ۸۴۵,۶۲۴ KWh- یا KWh/(m<sup>2</sup>-۱۵۹/۵۳ year)

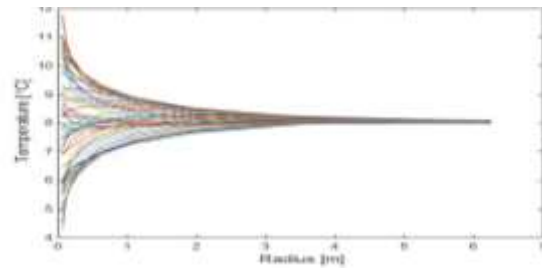
بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای: در اثر استفاده از این سیستم‌های مرکزی سرمایه‌ش و گرمایشی که شامل چیلر و دیگ نیز می‌باشند و به جهت تأمین انرژی این دستگاه‌ها به برق



شکل ۲۳- تقاضای سالانه و میزان اصلاح‌شده آن با تعداد لوله کافی

Figure 23- The power of heating and cooling demand and modified power with enough number of pipes for 1-year storage

در رابطه با نحوه پاسخ‌گویی زمین و لوله در ذخیره سالانه، با توجه به این‌که برای ذخیره‌سازی سالانه هر خط لوله در مقایسه با ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته، به عمق و فواصل بیشتری نیاز دارد. با توجه به شکل ۲۵ تأثیر لوله در زمین اطراف آن، تا



شکل ۲۵- توزیع دما در زمین تا شعاع ۸ متری در اطراف لوله در دوره یک‌ساله ذخیره‌سازی سالانه

Figure 25- The temperature in the ground, around the 8 meters radius of the pipe for 1-year storage

با سیستم کنترل دمای ورودی و خروجی از لوله، میزان ذخیره‌سازی سالانه برابر مقادیر زیر می‌باشد:  
انرژی گرمایشی: ۹۸٪ درصد از نیاز سالانه (شامل انرژی ناشی از توان الکتریکی پمپ حرارتی) انرژی سرمایه‌ش: ۳۹/۵٪ درصد از نیاز سالانه  
که بارهای حرارتی زیر ذخیره می‌شوند:

تولید گازهای گلخانه‌ای و مخصوصاً تولید گاز دی‌اکسید کربن ناشی از سوختن گاز طبیعی در نیروگاه که به جهت تولید برق است و یا در دیگ- آب گرم مرکزی کاسته می‌شود. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

و گاز احتیاج می‌باشد، لذا به‌ناچار انتشار گازهای گلخانه‌ای که ناشی از برق مصرفی چیلر و گاز مصرفی دیگ صورت می‌گیرد. اما سیستم ذخیره‌سازی انرژی، مقادیری از انرژی لازم را تأمین می‌کند و نیز از میزان کارکرد آن‌ها می‌کاهد و در نتیجه آن

### جدول ۱- میزان انتشار و کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub>

Table 1- CO<sub>2</sub> emissions and its reduced

تجهیزات	انتشار CO <sub>2</sub> -بدون ذخیره سازی (تن)	کاهش انتشار CO <sub>2</sub> با سیستم ذخیره سازی ۲۴ ساعته (تن)	کاهش انتشار CO <sub>2</sub> با سیستم ذخیره سازی سالیانه (تن)
دیگ آبگرم و مشعل	۲۲۰/۶	-۱۴۷/۷	-۲۱۶/۵
پمپ حرارتی	-	+۷۷/۱	+۱۱۳
چیلر تراکمی	۱۶۶/۴	-۵۷	-۶۵/۷
مجموع	۳۸۷	-۱۲۷/۶	-۱۶۹/۲
درصد کاهش انتشار			- ۴۳/۰/۷
صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش انتشار			۱۶ ۹۲۰ ۰۰۰ ریال
			۱۲ ۷۶۰ ۰۰۰ ریال

### نتیجه‌گیری

با توجه به لزوم کاهش مصرف انرژی در دنیا و به‌ویژه اروپا و در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، نیاز به استفاده بهینه از انرژی‌های موجود خواهد بود. لذا لزوم یافتن راه‌حل‌های فنی و استفاده از آن‌ها در آینده‌ای نزدیک در کشورمان اساساً دور از انتظار نخواهد بود. روش پیشنهادی در این تحقیق، جهت حذف محدودیت شرایط ویژه ذکر شده، یک روش نوآورانه بر اساس ذخیره‌سازی انرژی در لوله‌هایی افقی با طول مشخص و در عمق خاصی از سطح می‌باشد که از درجه حرارت زمین استفاده می‌نماید. از طرفی در روزهای خاصی از سال که عمدتاً اوایل بهار و پاییز خواهد بود، در طی روز و شب هر دو نیاز سرمایشی و گرمایشی وجود دارد لذا ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت ۲۴ ساعته انرژی نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور یک بیمارستان که نمونه‌ای از ساختمان با مصرف انرژی بالا می‌باشد مورد بررسی قرار دادیم.

از منظر ذخیره‌سازی انرژی در طی سال، سیستم ذخیره‌سازی بلندمدت (سالیانه) از سیستم ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت مفیدتر می‌باشد. ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته مورد بحث، ۶۷٪ از نیاز سالیانه گرمایشی و ۳۴٪ از نیاز سالیانه سرمایشی را تأمین می‌کند، در حالی که در ذخیره‌سازی سالیانه، ۹۸٪ از نیاز سالیانه گرمایشی و ۳۹/۵٪ از نیاز سرمایشی تأمین می‌شود. البته این مقادیر فقط از نظر تئوری است و در عمل ممکن است به دلیل- افت انرژی مقادیر متفاوت باشد و فقط جنبه مقایسه دارند. به دلیل طراحی جهت برآورده کردن نیاز حرارتی مدت محدودی در سال، مقدار انرژی ذخیره‌شده سیستم ۲۴ ساعته کم‌تر می‌باشد. همچنین به هنگام وقوع حداکثر بارهای حرارتی گرمایشی و سرمایشی، سیستم ذخیره سالیانه پوشش بیش‌تری خواهد داشت.

به سبب کوتاه بودن مدت‌زمان حالات گرمایشی و سرمایشی در ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته، مقدار انرژی ذخیره‌شده در مدت‌زمان

فسیلی سوزانده شده برای تأمین برق مذکور، کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل کاهش ساعات و توان موردنیاز از دیگ آبگرم، مقدار کیلووات ساعت گرمایشی که توسط دیگ تأمین می‌شود، کاهش می‌یابد و در نتیجه آن مترمکعب گاز طبیعی مصرفی کم-تر شده و در نهایت انتشار گازهای گلخانه‌ای و مخصوصاً دی‌اکسید کربن کم‌تر می‌شود. با بهره‌گیری از دو سیستم مذکور ۱۲۷/۶ تن با استفاده از سیستم ذخیره ۲۴ ساعته و ۱۶۹/۲ تن یا سیستم ذخیره‌سازی فصلی، از مجموع انتشار ۳۸۷ تن در سال کاسته می‌شود. به عبارت دیگر ۳۲/۹٪ و ۴۳/۷٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای با به‌کارگیری سیستم‌های ذخیره روزانه و فصلی جلوگیری می‌شود.

مشابه از سیستم ذخیره سالیانه کم‌تر می‌باشد. در مقابل حجم زمین موردنیاز سیستم ۲۴ ساعته و تعداد خطوط لوله موردنیاز آن کم‌تر می‌باشد.

به سبب انرژی ذخیره‌شده کم‌تر، تعداد خطوط لوله سیستم ۲۴ ساعته از سیستم سالیانه خیلی کم‌تر می‌باشد (۱۵ خط در مقابل ۴۵ خط لوله ۶۰۰ متری) و علت این تفاوت زیاد، علاوه بر مورد بالا، به علت بالا بودن توان موردنیاز سرمایشی در تابستان و گرمایشی در زمستان می‌باشد که با دوره مشخصه استفاده از سیستم ۲۴ ساعته که بهار و پاییز از بسیار متفاوت است. به دلیل کاهش ساعات و توان موردنیاز از چیلر، کیلووات ساعت برق مصرفی چیلر کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان سوخت‌های

## جدول ۲- روابط محاسباتی مدل ساختمان، لوله و زمین و انتشار گاز CO<sub>2</sub>

Table 2- Equations of the building model, the pipe, the ground and CO<sub>2</sub> emissions

شماره رابطه	شرح	رابطه
۱	انرژی تولیدشده توسط پمپ حرارتی	$q_{heatpump} = q_{ground} + q_{electric}$
۲	ضریب COP پمپ حرارتی	$COP = \frac{q_{heatpump}}{q_{electric}}$
۳	قدرت موردنیاز هیتر اضافی	$q_{heater\ additional} = q_{demand} - q_{heatpump}$
۴	رابطه دمای ورودی و خروجی سیستم زیرزمینی	$T_R = T_E + \frac{q_{heatpump} - q_{electric}}{m_{fluid} \times C_{fluid}}$
۵	دبی سیال در سیستم تهویه ساختمان	$v_{cooling\ unit} = \frac{-q_{demand}}{\rho_{fluid} \times C_{fluid} (T_R - cooling\ unit - T_E - cooling\ unit)}$
۶	دمای خروجی از سیستم لوله‌کشی زیرزمینی	$T_R = T_E + \frac{v_{cooling\ unit}}{v_{pipe}} (T_R - cooling\ unit - T_E - cooling\ unit)$
۷	رابطه عدم نیاز به کولر اضافی	$T_R \leq (T_R - cooling\ unit - T_{drop}) [^{\circ}C]$
۸	عدم برقراری رابطه ۷	$T_R = T_R - cooling\ unit - T_{drop}$
۹	دمای ورودی به کولر اضافی در صورت نیاز	$T_x = T_R - cooling\ unit - \frac{v_{pipe}}{v_{cooling\ unit}} (T_R - T_E) [^{\circ}C]$
۱۰	بار سرمایشی کولر اضافی	$q_{additional\ cooler} = \rho_{fluid} C_{fluid} v_{cooling\ unit} (T_x - T_R - cooling\ unit)$
۱۱	شار حرارتی منتقل شده از دیوار به درون ساختمان	$q_{trans} = U_m A_{around} (T_{out} - T_{indoor})$
۱۲	حرارت سیستم تهویه	$q_{vent} = m_{Air}^{\circ} C_{air} (T_{in} - T_{indoor})$
۱۳	دمای خروجی از هر بخش لوله	$T_{seg+1} = T_{seg} + (T_{amb,seg} - T_{seg}) e^{-\frac{L_{seg}}{LC}}$
۱۴	LC طول مشخصه	$LC = \frac{1}{K_{fluid}} v_{fluid} C_{fluid} \rho_{fluid}$

$K_{j-k} = \frac{1}{R_{j,outer} + R_{k,inner}} = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_j}{r_j - 0.5\Delta r_j}\right)}{2\pi\lambda_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_j + 0.5\Delta r_j}{r_j}\right)}{2\pi\lambda_j}}$	رسانایی بین المان‌های غیر مرزی زمین	۱۵
$K_{fluid-1} = \frac{1}{R_{fluid-pipe} + R_{inner,1}} = \frac{1}{R_{fluid-pipe} + \frac{\ln\left(\frac{r_{inner} + 0.5\Delta r_1}{r_1}\right)}{2\pi\lambda_1}}$	رسانایی بین المان‌های مرز داخلی لوله و زمین	۱۶
$R_{fluid-pipe} = \frac{1}{h \times A} = \frac{1}{\frac{Nu \times \lambda_{fluid}}{D} \times \pi D} = \frac{1}{\pi \times \lambda_{fluid} \times Nu}$	مقاومت بین سیال و سطح داخلی لوله	۱۷
$Pr = \frac{\mu_{fluid} c_{fluid}}{\lambda_{fluid}}$	عدد پرانتل Pr	۱۸
$Re = \frac{\rho_{fluid} U_{fluid} D_{inner}}{\mu_{fluid}} = \frac{4\rho_{fluid} v_{fluid}}{2\pi r_{inner} \mu_{fluid}}$	عدد رینولدز RE	۱۹
$K_{k-surface} = \frac{1}{R_{k,outer} + R_{surface}} = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_k}{r_k - 0.5\Delta r_k}\right)}{2\pi\lambda_k} + R_{surface}}$	رسانایی المان‌های مرزی خارجی	۲۰
$R_{pipe-surface} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ground}} \ln\left(\frac{2D}{r_{inner}}\right)$	مقاومت کل (مقاومت از لوله تا سطح زمین)	۲۱
$R_{ins} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ins}} \ln\left(\frac{D + d_{ins}}{D}\right) [mK/W]$	مقاومت عایق	۲۲
$R_{Surface} = R_{pipe-surface} + R_{ins} - \sum_1^j (R_{inner} + R_{outer})$	مقاومت سطح زمین	۲۳
$q_{i-j} = K_{i-j} (T_i - T_j)$	شار حرارتی بین المان‌های غیر مرزی	۲۴
$\Delta q_j = q_{i-j} - q_{j-k} [W/m]$	تفاضل شار حرارتی بین المان‌های غیر مرزی	۲۵
$q_{pipe-1} = \frac{v_{fluid} c_{fluid} \rho_{fluid} (T_{seg} - T_{seg+1})}{L_{seg}}$	شار حرارتی در المان‌های مرز داخلی	۲۶
$\Delta q_1 = q_{pipe-1} - q_{1-2}$	تفاضل شار حرارتی در المان‌های مرز داخلی	۲۷
$q_{k-surface} = K_{k-surface} (T_j - T_{surface})$	شار حرارتی بین المان‌های مرز خارجی	۲۸
$\Delta q_k = q_{j-k} - q_{k-surface}$	تفاضل شار حرارتی در المان‌های مرز خارجی	۲۹
$\Delta T_j = \Delta t \frac{(\Delta q_j)}{\rho c_{j,ground} \times \pi \times (r_i^2 - r_j^2)}$	تغییر در درجه حرارت برای المان زام	۳۰
$T_{j,new} = T_{j,old} + \Delta T_j$	دمای جدید المان زام	۳۱
$\Delta t_{stable} \approx \frac{C_{j,ground} \Delta T}{(K_{i-j} + K_{j-k}) \Delta T} [S]$	گام زمانی پایدار	۳۲
$\Delta t_{stable} = 0.95 \times \min\left(\frac{\rho c_{j,ground} \times \pi \times (r_i^2 - r_j^2)}{K_{i-j} + K_{j-k}}\right)$	رابطه ساده شده برای گام زمانی پایدار	۳۳
$electricity_{chiller} = energy_{cooling\ load} \times \frac{ikw}{kw}$	میزان مصرف برق چیلر تراکمی	۳۴
$gas_{energy} = electricity_{chiller} \times \frac{1}{\eta_{power\ plant}} \times \frac{1}{1 - (loss_{transmission\ network} + loss_{distribution\ network})} [kcal]$	گاز مصرفی در نیروگاه جهت تولید برق چیلر	۳۵



$gas\ consumption = gas_{energy}[kcal] \times \frac{1}{9434} [m^3/kcal]$	حجم گاز مصرفی به جهت تولید برق چیلر	۳۶
$co2\ emissions = gas\ consumption[m^3] \times 1.27 [kg\ CO_2/m^3]$	میزان دی‌اکسید کربن ناشی از چیلر	۳۷
$gas_{energy} = energy_{heating\ load}[kcal] \times \frac{1}{\eta_{burner}}$	میزان کیلوکالری گاز طبیعی به جهت تولید انرژی گرمایشی توسط مشعل دیگ آبگرم	۳۸
$gas\ consumption = gas_{energy}[kcal] \times \frac{1}{9434} [m^3]$	حجم گاز مصرفی در مشعل دیگ آبگرم	۳۹
$CH_4 + 2(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$	معادله سوختن گاز متان با هوای استوکیومتریکی	۴۰
$co2\ emissions = gas\ consumption[m^3] \times 1.98 [kg\ CO_2/m^3]$	میزان دی‌اکسید کربن ناشی از دیگ و مشعل	۴۱
$electricity_{heat\ pump} = energy_{heating\ load} \times \frac{1}{COP} [kwh]$	میزان انرژی موردنیاز پمپ حرارتی	۴۲

Ahwaz city and comparing it with conventional cooling systems (In Persian). 02nd International Conference on Heating, Ventilating and Air Conditioning; 2010; Tehran.

- Mansouri Sh, et al. Study on technical specification of the cold storage tank of the ice type on a melting coil from inside with a capacity of 647 kWh (In Persian). 26th International Power System Conference; 2011; Tehran.
- Khorasani M. Using of energy storage tank in design of solar water heaters (In Persian). 6th Conference on Emerging Trends in Energy Conservation; 2013; Tehran.
- ASHRAE. ASHRAE HANDBOOK. Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers; 2009.
- Henrik K. Thermal Modelling of Water-Based Floor Heating Systems. Göteborg, Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; 2010.

#### Reference

- Andersson O, et al. Deliverable 10 - Sweden - Preliminary design of a seasonal heat storage for IIT Flygt. IGEIA – Integration of geothermal energy into industrial applications; 2008 retrieved 21 April 2013; Emmaboda, Sweden.
- Paksoy H, et al. Aquifer Thermal Energy Cold Storage System at Richard Stockton College. EFFSTOCK 2009 (11th International) - Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability; 2009; Stockholm.
- Wong B, et al. Recent Inter-seasonal Underground Thermal Energy Storage Applications in Canada. 2006 IEEE EIC Climate Change Technology; 2006.
- Stene J, et al. Large-Scale Ground-Source Heat Pump Systems in Norway. IEA Heat Pump Annex 29 Workshop; 2008; Zurich.
- Mansouri Sh, et al. Designing a cold storage system for an office building in

13. UnionGas. chemical composition of Natural Gas 2016. <https://www.uniongas.com>
14. EIA. How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned? 2016. <https://www.eia.gov>
10. Martínez I. HEAT AND MASS TRANSFER. Termodinámica básica y aplicada. Madrid: Ed. Dossat; 1992.
11. Ministry of Energy. 1393 Energy balance sheet (In Persian); 2014.
12. Standard natural gas piping in industrial areas (In Persian); 2005 .