فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۷، زمستان ۹۷

بررسی بکارگیری سیستم ذخیره ٢٤ ساعته سرمایش و گرمایش ساختمان‌های غیرمسکونی با استفاده از لوله‌های زیرزمینی و اثر آن بر کاهش مصرف انرژی و انتشار CO_2

عیسی خاکنژاد[۱]

اشکان عبدالی سوسن[۲*]

a.abdali@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۱۲/۰۳**

چکیده

با توجه به افزایش تقاضا برای ساخت ساختمان‌های با نیاز انرژی بالا، راه‌حل‌های فنی موردنیاز است تا با استفاده از آن‌ها بتوان به‌صورت بهینه و با حداقل نمودن مصرف انرژی، از آن استفاده نمود. لذا بررسی راه‌حل‌هایی که بتواند کاهش مصرف انرژی فسیلی و درنتیجه انتشار گازهای گل‌خانه‌ای را به دنبال داشته باشد، موردنیاز است. یکی از این راه‌حل ها، عبارت است از ذخیره‌سازی انرژی در منابع زیرزمینی که عمدتاً بر اساس استفاده ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود. گرما در طول روز ذخیره می‌شود و در طول شب استخراج می‌گردد. تقاضا از گرما و سرما برای ساختمان کاهش نمی‌یابد، اما با استفاده از یک ذخیره‌سازی زیرزمینی می‌توان مقدار انرژی خریداری‌شده و آسیب‌های زیست‌محیطی آن را کاهش داد.

در تحقیق حاضر یک بیمارستان در شهر تهران به نمایندگی از ساختمانی با نیاز انرژی حرارتی بالا موردمطالعه قرار گرفت و محاسبات حرارتی و سیالاتی برای ذخیره سرما و گرما توسط لوله‌های زیرزمینی در آن، توسط نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی گردید و بارهای حرارتی و برودتی ساختمان نیز توسط نرم‌افزارHAP4.5 محاسبه و در نرم‌افزار متلب وارد شد و اندازه و نحوه پاسخ سیستم ذخیره‌ساز و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن مطالعه گردید.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با به‌کارگیری سیستم ذخیره‌سازی 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 می‌گیرند، ۶۷٪ از نیاز سالیانه گرمایشی و ۳۴٪ از نیاز سالیانه سرمایشی تأمین و از انتشار سالیانه ۱۲۷ تن دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌شود.

کلمات کلیدی: ذخیره‌سازی سرما و گرما، لوله‌های زیرزمینی، سیستم ذخیره ساز انرژی ، مصرف انرژی، گازهای گل‌خانه‌ای.

۱-کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی، گروه مهندسی انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

Human & Environment., No. 47, winter 2019

Evaluation of the Application 24-hours heating and cooling storage system for non-residential buildings by using underground pipes and its effect to reduce energy consumption and CO_2 emissions

Isa Khaknezhad [1]
Ashkan Abdalisusan [2]*(Corresponding Author)
a.abdali@srbiau.ac.ir

Abstract

Due to increasing demand for high-energy buildings, technical solutions are required to use it optimally and minimum energy consumption. Thus, investigation on solution that can decrease the amount of energy and as a result GHG emissions following is needed. One of the solution is based on underground energy storage that used mainly 24-hour. Heat is stored during day and extracted during night. Heating and cooling demand of the building is not reduced, but using an underground storage can decrease the amount of energy that has to be bought and Environmental degradation.
In this investigate, the hospital considered in Tehran City, representing high energy performance buildings, heat transfer and fluid calculation for heat and cold storage is simulated with MATLAB program for underground pipes. Also heating and cooling load of the building calculated with HAP4.5 program and results are imported to MATLAB program, then system volume, ground response and reducing carbon dioxide emissions are studied.
The result of this survey showed that, by using 24-hour storage system during a year, which has 15 line of steel pipes with 600 meters length and nominal diameter of 3 inches where placed in 3 meters ground depth, 67% of heating load and 34% of cooling load can be met and CO_2 emissions reduced 127 ton per annum.

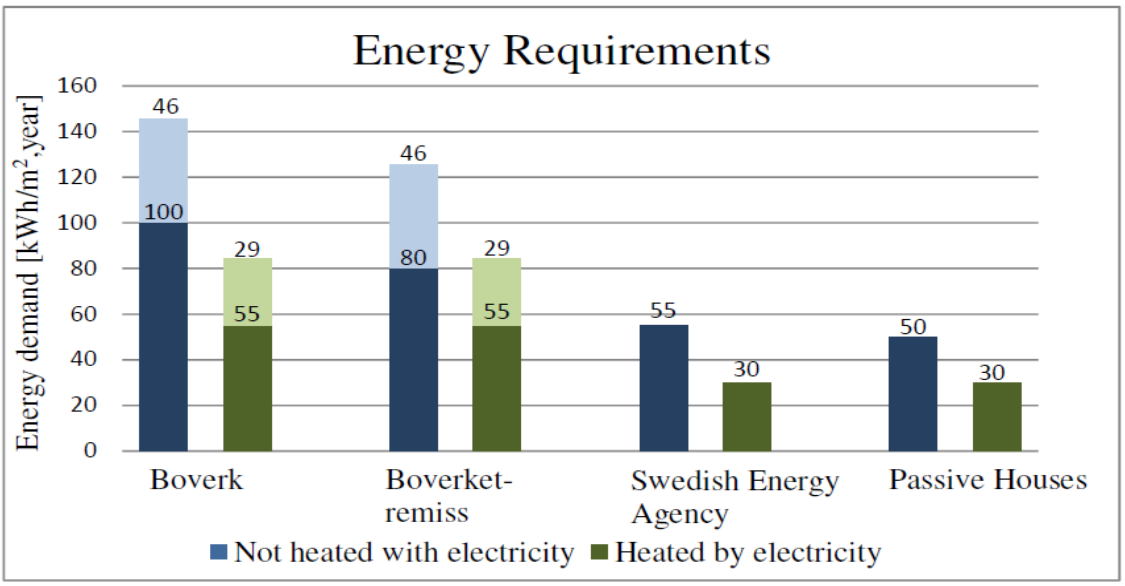
Key Words: Heat and cold storage, Underground pipes, Energy storage system, Energy consumption, GHG emissions.

1- MSc in Energy Systems Engineering, Department of Environment and Energy, Science and Research Branch, IAU, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Engineering, Astara Branch, IAU, Astara, Iran. *(Corresponding Author)*

مقدمه

در تمامی نقاط دنیا، تقاضا برای ساخت ساختمان‌هایی که ازلحاظ مصرف انرژی، بهینه باشند و نیز عملکرد مطلوبی از دیدگاه انرژی داشته باشند، در حال افزایش است. درنتیجه مهندسین به دنبال راه‌حل‌های فنی هستند تا با استفاده از آن‌ها بتوان با حداقل نمودن مصرف انرژی، آن را به‌صورت بهینه مصرف نمود و از آن استفاده کرد.

در اکثر کشورهای اروپایی الزامات موردنیاز برای مصرف انرژی در ساختمان توسط تنظیم یک مکمل به مقررات ساخت‌وساز، معرفی می‌گردد. به‌عنوان‌مثال، هیأت‌مدیره مسکن ملی سوئد، یکی از این مقررات را برای ساخت‌وساز ساختمان، برنامه‌ریزی کرده است(۱). مقررات استفاده از انرژی در ساختمان با توجه به این سند، نحوه مصرف انرژی موردنیاز برای گرمایش، سرمایش و گرمایش آب مصرفی را تنظیم‌شده است. به‌عنوان‌مثال، تقاضای موردنیاز جهت مصرف انرژی، برای ساختمان‌های غیرمسکونی با استفاده از منابع گرمایشی به‌غیراز برق و همچنین تقاضا برای مصرف انرژی حرارتی، توسط برق در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



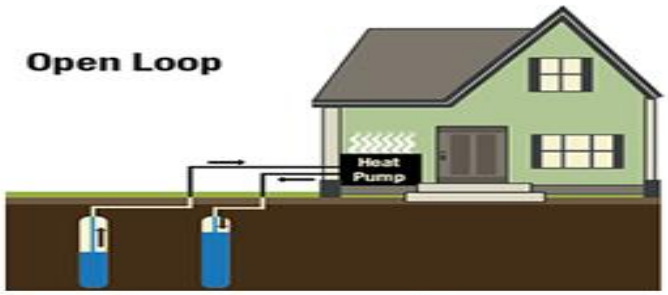
شکل۱-مشخصات موردنیاز برای مصرف انرژی

انرژی موردنیاز در دو میله اول شکل ۱ نشان داده‌شده است. برای ساختمان‌های با جریان تهویه بالا، با توجه به بهداشت بالا، میزان مصرف می‌تواند علاوه بر این، به مقدار بیش‌تر از موردنیاز، افزایش یابد. حداکثر مقدار مجاز برای اضافه شدن به این میزان سرانه انرژی، که انرژی اضافی تلقی می‌گردد، توسط رنگ روشن‌تر نشان داده‌شده است.

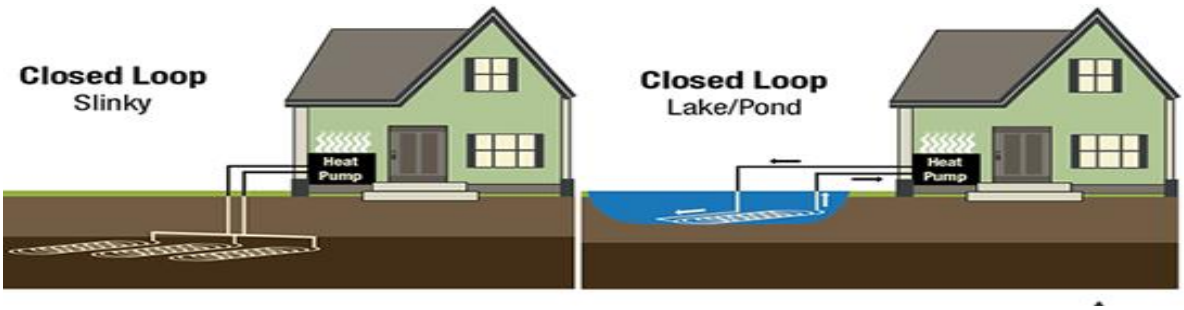
در اکتبر ۲۰۱۰، هیأت‌مدیره مسکن ملی سوئد، پیشنهاد تجدیدنظر از نحوه مصرف انرژی مربوط به سال ۲۰۰۹ را ارایه نمود. این نسخه، عملکرد انرژی مصرفی ساختمان را نیز در نظر می‌گرفت (۲). الزامات عملکرد انرژی ارایه‌شده در این پیشنهاد در گروه دوم از میله ها دیده می‌شود.

یک استراتژی همه‌جانبه مدیریتی در اتحادیه اروپا نیز تصویب‌شده است و هدف آن، مصرف انرژی کم‌تر در این قاره است. در آژانس انرژی سوئد، در مورد ساختمان‌ها، بحثی مطرح است تحت عنوان "نزدیک به ساختمان صفر "، که بدان معنی است که این ساختمان دارای یک عملکرد انرژی بسیار بالاست

و مقدار کمی از انرژی استفاده‌شده باید از منابع انرژی تجدید-پذیر و یا از برق یا حرارت تولیدشده در سایت و یا نزدیک به ساختمان تأمین گردد. نتیجه این بحث‌ها در اتحادیه اروپا، این است که باید تمام ساختمان‌های جدید تا پایان سال ۲۰۲۰، نزدیک به ساختمان صفر ساخته شوند. برای ساختمان‌های مربوط به بخش دولتی، این تاریخ باید حتی قبل از آن، یعنی تا پایان سال ۲۰۱۸ صورت پذیرد (۳). محدودیت‌های استفاده از انرژی بر اساس تصمیم آژانس انرژی سوئد را می‌توان در گروه سوم از میله‌های ۰شکل ۱ دید. همان‌طور که دیده می‌شود، این محدودیت‌ها شامل نصف کردن حد پایین مصرف کنونی است. آژانس انرژی سوئد با استفاده از این قوانین، به یک دید در آینده، برای کاهش تقاضای انرژی مصرفی، اشاره می‌کند. در گروه چهارم میله‌های شکل۱ نیز مصرف انرژی در ساختمان‌های با مصرف انرژی نزدیک به صفر (Passive) نشان داده‌شده است. سیستم‌های انرژی زمین گرمایی به دو طریق ساخته می‌شوند، یا به‌گونه‌ای طراحی می‌گردند تا به‌طور پیوسته از حرارت زمین یا از حرارت آب‌های زیرزمینی استفاده کنند و یا ابتدا مجهز به سیستم ذخیره انرژی می‌گردند تا بتوانند در موارد لزوم از این انرژی استفاده می‌کنند. سیستم‌های مختلف برای استخراج گرما از زمین که در شکل‌های۲ و ۳ نشان داده‌شده‌اند(۴). تمام این سیستم‌ها با استفاده از درجه حرارت زمین ، که کاملاً ثابت فرض می‌شود استفاده می‌کنند. به این صورت که با استفاده از یک پمپ حرارتی، درجه حرارت زمین را بالا می‌برند تا برای گرمایش یک ساختمان و ...، استفاده شود.



شکل۲- سیستم‌های حلقه باز برای استخراج گرما از زمین(۴)



شکل۳- سیستم‌های حلقه بسته برای استخراج گرما از زمین(۴)

برای سیستم‌های حلقه بسته افقی، لوله‌ها در حدود ۱-۲ متر در عمق زمین قرار داده می‌شوند. درجه حرارت زمین در طول زمستان، هنگامی‌که ساختمان به گرمایش احتیاج دارد افت می‌کند. این‌که با چه سرعتی و چه مقدار درجه حرارت افت می‌کند وابسته به ظرفیت گرمایی زمین و همچنین ضریب هدایت زمین است. در طول فصل تابستان، تابش خورشید به سطح زمین، باعث افزایش درجه حرارت در اطراف لوله می‌شود. بر این اساس، اندرسون در سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش ذخیره چاهکی 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 سنگی۶۰۰ ۰۰۰ مترمکعبی هستند، استفاده نمود و درنهایت بر اساس اندازه‌گیری‌های دوساله محاسبه گردید که می‌توان ۳۸۰۰ مگاوات ساعت انرژی اتلافی را ذخیره نمود و ۲۶۰۰ مگاوات ساعت یعنی ۶۸ درصد را بازیابی 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 (۵).

در چند سال اخیر علاقه به استفاده از سیستم‌های ذخیره‌ساز زیرزمینی بین فصلی در کانادا افزایش‌یافته است. دو نمونه پروژه اجراشده را اشاره می‌کنیم (۶). پروژه اکوتوکس با روش BTES و پروژه مدیسین هات با روش ATES می‌باشد. در پروژه اوتوکس که با ترکیب دو روش جمع‌آوری انرژی خورشید و ذخیره آن به‌وسیله سیستم BTES جهت تأمین گرمایش۵۲ خانواده که هریک در منازل به متراژ 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 را کاهش می‌یابد.

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 ساختمان بلندمرتبه به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ مترمربع انجام گردید و درنتیجه 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.

همان‌طور که در مروری بر کارهای صورت گرفته مطرح شد، در ایران هنوز بر پایه این روش، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، صورت نگرفته است. رفتار سیستم ذخیره‌سازی انرژی بر اساس مصرف ۲۴ ساعته نیز ازجمله دیگر نو آوری‌های این تحقیق است. چالش‌های اصلی در تحقیق به این موضوع برمی‌گردد که تا چه حد، ذخیره‌سازی گرما و سرما می‌تواند با توجه به خواسته‌های کاربران از ساختمان، مفید واقع شود و همچنین چگونه زمین، به ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، پاسخ می‌دهد. و این سیستم تا چه اندازه در کاهش گازهای گل‌خانه‌ای مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

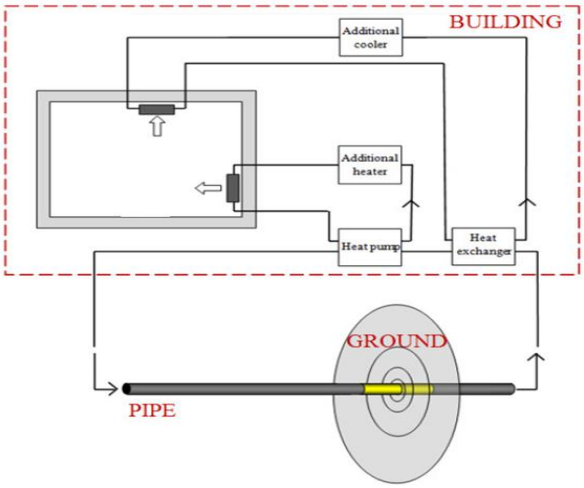
روش مورداستفاده در این پایان‌نامه، محاسبات نظری محاسباتی و برنامه‌نویسی (توسط برنامه متلب) است. برای انجام این تحقیق، یک بیمارستان موردمطالعه قرار می‌گیرد و محاسبات مربوطه حرارتی و سیالاتی برای ذخیره سرما و گرما توسط لوله‌های زیرزمینی در آن اعمال می‌گردد. برای انجام محاسبات، مدل ریاضی از سیستم ذخیره‌ساز بر اساس معادلات انرژی بنا می‌گردد. سپس بارهای حرارتی و برودتی ساختمان توسط نرم افزارHAP4.5 با توجه به داده‌های آب‌وهوایی تهران ساعت در هر ساعت محاسبه و در نرم‌افزار متلب وارد می‌گردند. رفتار سیستم ذخیره‌ساز زیرزمینی نیز، موردمطالعه قرار گیرد. محاسبه توزیع درجه حرارت در لوله به دست می‌آید و پاسخ دما در زمین محاسبه می‌شود. ساختمان، زمین و لوله از طریق معادلات ساختاری به یکدیگر ارتباط پیداکرده‌اند.

ساختمان موردمطالعه دارای فعالیت‌ها و بارهای داخلی به نمایندگی از یک بیمارستان به ابعاد ۳۰×۵۰ مترمربع در چهار طبقه با ارتفاع هر طبقه ۳/۵ متر است که کاربری طبقه همکف بخش اداری و پذیرش و کلینیک، طبقه اول اتاق‌های بستری خصوصی، طبقه دوم بخش اعمال جراحی و ریکاوری و طبقه سوم نیز اتاق‌های بستری عمومی می‌باشد. شرایط دمایی و گرمایی در ساختمان تنها به میزان استفاده از درجه حرارت معمول برای گرمایش و سرمایش طراحی می‌گردد. این بدان

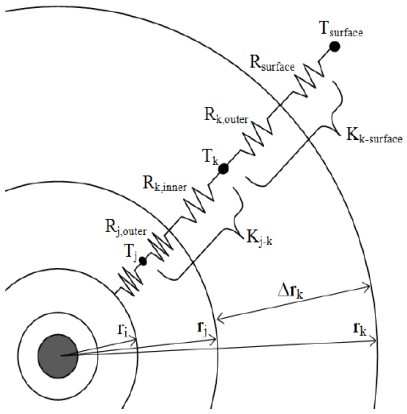
معناست که یک فرض بر این است که سیستم داخلی ساختمان، قادر به انتشار و جمع‌آوری انرژی معمول موردنیاز برای گرمایش یا سرمایش است. سیستم ذخیره انرژی، تنها منبع حرارتی‌اش، باید از انرژی ساختمان باشد. این بدان معناست که تعادل استخراج و بازگشت انرژی به‌منظور حفظ اثر ذخیره‌سازی تضمین شود. ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از سیستم‌های لوله افقی در زمین متشکل از خاک رس انجام می‌گیرد. خاک رس دارای خواصی است که انتقال انرژی به زمین و سرعت این انتقال، به این خواص مرتبط هستند. دمای سطح نیز دیگر عامل مرتبط با این محاسبات می‌باشد. شماتیک مدل ریاضی استفاده‌شده در محاسبات مطابق شکل ۴ می‌باشد.

در ابتدا تمام داده‌ها بارگذاری می‌شود، برای مثال هندسه ساختمان، ابعاد لوله، حدود بالا و پایین درجه حرارت و اطلاعات مواد برای دیوارها، زمین و سیال. درجه حرارت خارج و بار حرارتی داخلی نیز برای کل دوره محاسبه توسط نرم‌افزار HAP شناخته‌شده‌اند.

پس از واردکردن داده‌ها، مطابق شکل ۵، رسانایی در زمین در بین المان‌ها محاسبه می‌شود. توجه داریم که رسانایی وابسته به زمان نیست و بنابراین در خارج از حلقه مربوط به زمان است محاسبه می‌شود. همچنین شعاع مربوط به هر المان، یعنی شعاع هر دایره در شکل۵، به‌صورت لگاریتمی با توجه به فاصله آن‌ها از لوله، افزایش می‌یابد. این امر به خاطر این است که دمای نقاط نزدیک به لوله، تغییرات بیش‌تری دارند و المان‌های اطراف لوله باید کوچک‌تر انتخاب شوند، اما المان‌های دور از لوله، تغییرات دمایی کم‌تری دارند و نیازی به در نظر گرفتن المان‌های کوچک برای آن‌ها نیست. تغییر لگاریتمی شعاع المان‌ها، امکان استفاده از المان‌های کم‌تری را برای زمین فراهم می‌کند که افزایش سرعت محاسبات را در پی دارد.



شکل۴- شماتیک حجم کنترل سیستم



شکل ۵- نحوه قرارگیری المان‌های زمین به همراه مقاومت حرارتی مربوط به هر المان

در مرحله بعد، گام زمانی پایدار توسط رابطه‌های ۱و۲، محاسبه می‌گردد. مدل‌های ساختمان، لوله و زمین هم با استفاده از یک گام زمانی پایدار، به هم مرتبط شده و محاسبات حالت‌پایا برای آن‌ها در هر مرحله زمانی، انجام می‌گیرد. گام زمانی پایدار با توجه به رفتار مدل زمین تعیین می‌شود(۷).

رابطه۱

$$\Delta t_{stable} \approx \frac{C_{j,ground}\ \Delta T}{\left(K_{i-j}+K_{j-k}\right)\Delta T}\ [S]$$

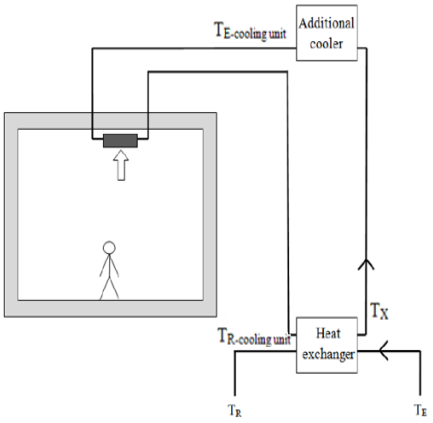
بر طبق معادله ۱ و ساده‌سازی بر اساس نکاتی که در ذیل اشاره می‌شود نهایتاً به معادله زیر می‌رسیم:

رابطه۲

$$\Delta t_{stable} = 0.95 \times \min\left(\frac{\rho c_{j,ground} \times \pi \times \left(r_i^2 - r_j^2\right)}{K_{i-j}+K_{j-k}}\right)[S]$$

گام زمانی پایدار برای رسیدن به جواب پایدار و بدون نوسانات، ضروری است. اگر گام زمانی بسیار بزرگ باشد، مقدار انرژی ($q_{i-j}\Delta t$) بسیار زیاد می‌شود تا جایی که ΔT در داخل المان تغییر علامت می‌دهد و همین امر، موجب نوسانی شدن پاسخ می‌گردد و به همین جهت ضریب ۰/۹۵ در معادله فوق دیده می‌شود.

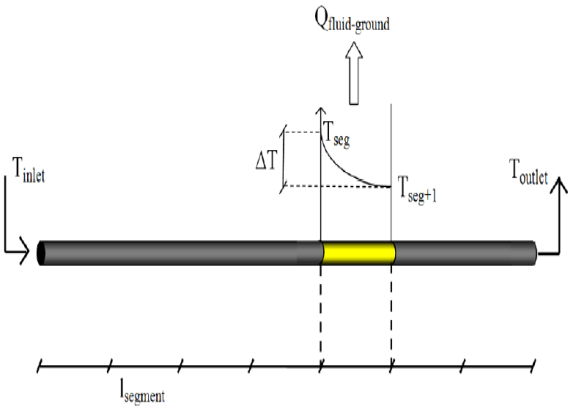
برای شروع حلقه حل، مقادیر اولیه (در لحظه t=0):موردنیاز است که عبارتند از دمای واحد مربوط به سرمایش و گرمایش (TE)، دمای داخل (T_{indoor})، دمای هر المان زمین (T_{ground}). سپس درجه حرارت خارج وارد می‌شود. همچنین در مواقع لزوم، اگر دماها مربوط به فواصل زمانی زیاد باشند، درجه حرارت با درون‌یابی محاسبه می‌گردد. پس‌ازآن، 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.



شکل ۶- مدل دماهای سیستم

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 مشخص‌شده 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 ۶ 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 ۷، توزیع دما در لوله را می‌توان محاسبه نمود. درجه حرارت زمین در گام قبلی محاسبه‌شده است.



شکل ۷- مدل تهیه‌شده برای لوله

در این مرحله، توزیع جدید دما برای زمین محاسبه می‌گردد و حلقه حل بعدی در گام زمانی 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، مقادیری از انرژی لازم را تأمین می‌کند و نیز از میزان کارکرد آن‌ها می‌کاهد و درنتیجه آن، تولید گازهای گل‌خانه‌ای و مخصوصاً تولید گاز دی‌اکسید کربن که ناشی از سوختن گاز طبیعی در نیروگاه که به جهت تولید برق است و یا از سوختن گاز طبیعی در دیگ آب گرم مرکزی 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 چیلر :

میزان مصرف برق چیلر تراکمی از رابطه۳ محاسبه می‌شود

رابطه۳ $$electricity_{chiller} = energy_{cooling\ load} \times \frac{ikw}{kw}\ [kwh]$$

ضریب $^{ikw}/_{kw}$ نسبت کیلووات برق مصرفی به کیلووات سرمایش تولیدشده است و در مشخصات فنی چیلر انتخابی موجود است.

بر طبق آخرین ترازنامه انرژی کشور، برای این میزان برق مصرفی، نیاز به تولید برق بیشتری با توجه به بازده نیروگاه و اتلافات خطوط انتقال و توزیع می‌باشد. اعداد متوسط بازده نیروگاهی و تلفات خطوط انتقال و توزیع به ترتیب ٪۳۸/۹، ٪۳/۰۲ و ٪۱۲/۹۳ می‌باشد. (۸)

پس میزان کیلووات ساعت درخواستی به جهت تولید برق چیلر موردنظر از گاز مصرفی در نیروگاه با رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه۴

$$gas_{energy} = electricity_{chiller} \times \frac{1}{\eta_{power\ plant}} \times \frac{1}{1 - (loss_{transmition\ network} + loss_{distribution\ network})}\ [kwh\ or\ kcal]$$

عمده سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور را گاز طبیعی تشکیل می‌دهد. لذا بر اساس جدول ارزش حرارتی سوخت‌ها که مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران منتشر کرده است، ارزش حرارتی گاز متان ۹۴۳۴ کیلوکالری به ازای هر مترمکعب می‌باشد.(۹)

درنتیجه میزان گاز مصرفی به جهت تولید برق چیلر عبارت است از:

رابطه۵ $$gas\ consumption = gas_{energy}[kcal] \times \frac{1}{9434}\ [m^3/kcal]$$

دی‌اکسید کربن تولیدشده ناشی از احتراق یک مترمکعب گاز متان در نیروگاه‌های کشور نیز از جداول (۱-۲۵۵) و میزان گاز مصرفی نیز از جدول (۱-۱۳۵) در ترازنامه انرژی قابل‌محاسبه است که برابر ۱/۲۷ کیلوگرم دی‌اکسید کربن درازای احتراق یک مترمکعب گاز طبیعی می‌باشد.(۸)

پس میزان دی‌اکسید کربن تولید برابر است با:

رابطه۶ $$co2\ emissions = gas\ consumption[m^3] \times 1.27\ [kg\ CO_2/m^3]$$

به همین ترتیب می‌توان با داشتن انرژی سرمایشی صرفه‌جویی شده، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از آن را نیز پیش‌بینی کرد.

انتشار و صرفه‌جویی گاز دی‌اکسید کربن دیگ و مشعل: میزان کیلوکالری درخواستی به جهت تولید انرژی گرمایشی توسط مشعل دیگ آب‌گرم ازنظر گاز مصرفی با رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه۷ $$gas_{energy} = energy_{heating\ load}\ [kcal] \times \frac{1}{\eta_{burner}}$$

درنتیجه میزان گاز مصرفی در مشعل دیگ آب‌گرم عبارت است از:

رابطه۸ $$gas\ consumption = gas_{energy}[kcal] \times \frac{1}{9434}\ [m^3/kcal]$$

گاز طبیعی از ترکیب حجمی به‌صورت ٪۹۵ متان، ٪۳/۲ اتان، ٪۰/۲ پروپان، ٪۱ نیتروژن و ٪۰/۶ مابقی گازها تشکیل‌شده است(۱۰). لذا با توجه به درصد بالای متان، معادله سوختن گاز شهری را با معادله سوختن گاز متان جایگزین می‌کنیم. با فرض اینکه هوای واکنش هوای استوکیومتریک است، جهت

واحد حجم سوزانده شده از گاز متان، به همان میزان گاز دی‌اکسید کربن حاصل می‌شود:

رابطه۹ $$CH_4 + 2(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$$

هر مترمکعب گاز متان، یک مترمکعب گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌کند و وزن هر مترمکعب آن ۱/۹۶ کیلوگرم است که این عدد بسیار نزدیک به مقدار ۱۱۷ پوند دی‌اکسید کربن به ازای هر یک‌میلیون بی تی یو گاز طبیعی(۱/۹۸ کیلوگرم دی اکسید کربن به ازای هر مترمکعب گاز طبیعی)نزدیک است که مدیریت اطلاعات انرژی آمریکا منتشر کرده است.(۱۱)

پس میزان دی‌اکسید کربن تولید برابر است با:

رابط ۱۰ $$co2\ emissions = gas\ consumption[m^3] \times 1.98[kg\ CO_2/m^3]$$

به همین ترتیب می‌توان با داشتن انرژی گرمایشی صرفه‌جویی شده، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از آن را نیز پیش‌بینی کرد.

قابل‌ذکر است این کاهش انتشار در دیگ با استفاده از به‌کارگیری پمپ حرارتی صورت پذیرفته است، پس باید انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از انرژی الکتریسیته موردنیاز پمپ حرارتی که در نیروگاه تولید می‌شود، از مجموع کاهش انتشار دی‌اکسید کربن دیگ و چیلر کسر شود که با استفاده از روابط (۴) الی (۶) محاسبه می‌شود. منتهی در رابطه (۴) باید میزان انرژی موردنیاز پمپ حرارتی که با استفاده از رابطه (۱۱) به‌دست‌آمده است جایگزین شود.

رابطه۱۱

$$electricity_{heat\ pump} = energy_{heating\ load}[kwh] \times \frac{1}{COP}$$

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(۱۳) و با محاسبات فوق و کاهش انتشار بدست آمده، صرفه جویی زیست محیطی توسط سیستم ذخیره سازی بدست می‌آید.

تجزیه و تحلیل داده ها

ابتدا مقدار سرمایش و گرمایش موردنیاز ساختمان شرح داده می‌شود. سپس تقاضای ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته شرح داده می‌شود و درنهایت به میزان تغییر در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از ذخیره‌سازی انرژی روزانه 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 ۸ دمای محیط بیرون و دمای موردنیاز در داخل ساختمان، که بین ۲۱ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است، در طی سال را مشاهده می‌کنیم. در پایین آن‌هم حالت سرمایشی و گرمایشی دستگاه‌های تهویه دیده می‌شود. از روز اول که برابر اول فرودین می‌باشد به مدت ۱۲ روز سیستم تهویه در حالت گرمایش می‌باشد. بدین معنی که اگر از سیستم ذخیره‌سازی گرما استفاده شود، در این دوره انرژی از سیستم ذخیره‌سازی استخراج می‌شود. از روز ۱۳ تا روز ۴۸ سیستم تهویه در هر دو حالت گرمایش و سرمایش بکار گرفته می‌شود که به معنی ذخیره‌سازی گرما و استخراج گرما از زمین می‌باشد. در طی تابستان حالت غالب سیستم سرمایشی و حالت خاموش (روز ۴۹ الی ۱۹۵) است. در اوایل فصل پاییز به مدت حدود یک ماه (روز ۱۹۶ الی ۲۲۶) سیستم به‌صورت دوحالته سرمایشی و گرمایشی کار می‌کند. پس‌ازآن تا انتهای سال سیستم در حالت گرمایشی خواهد بود. توان موردنیاز جهت کارکرد دستگاه‌ها در شکل ۹، به تصویر کشیده شده است. خطوط قرمزرنگ بالای صفر نشان‌دهنده توان گرمایشی موردنیاز و خطوط آبی‌رنگ در زیر صفر، مقادیر توان سرمایشی ساختمان است.

با توجه به نمودار شکل ۹و یا قسمت پایینی شکل ۸، می‌توان فهمید که طول دوره‌ای که سیستم گرمایشی مورداستفاده 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

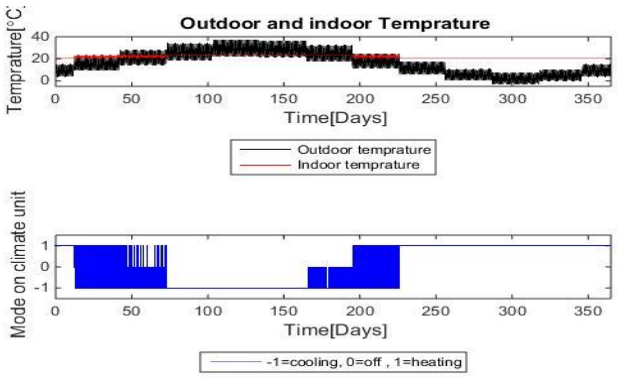
جمع‌کردن بارهای سرمایشی و گرمایشی در طول سال، دیده می‌شود که انرژی سرمایشی بیش از انرژی گرمایشی موردنیاز است. انرژی گرمایشی و سرمایشی در مدت‌زمان محاسبه برابر اعداد زیر است:

انرژی گرمایشی: ۹۷۷,۱۸۸ KWh یا ۱۶۲/۸ KWh/(m^2-year)

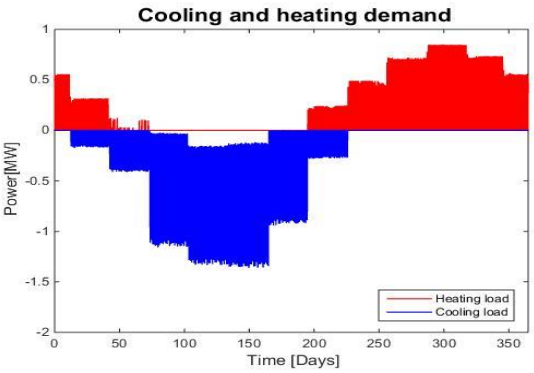
انرژی سرمایشی: -۱,۵۸۲,۰۲۹ KWh یا -۲۶۳/۶ KWh/(m^2-year)

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 ۸، رفتار مشابه این توضیح در بهار و پاییز دیده می‌شود. بنابراین طراحی سیستم ذخیره‌ساز 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، برابری انرژی استخراج‌شده از زمین با انرژی واردشده به زمین است. بنابراین نیاز است تا تقاضاهای سرمایشی و گرمایشی در این دوره مشخصه اصلاح شوند تا برابر گردند. این اصلاح یعنی انرژی بسیار زیادی از ذخیره‌ساز گرفته نشود به‌گونه‌ای که است. تقاضاهای اضافی سرمایشی و گرمایشی، که پس‌ازاین تغییرات موردنیاز است، توسط سیستم‌های دیگری تأمین خواهد شد. طراحی سیستم ذخیره‌سازی جهت این دوره مشخصه انجام‌گرفته و محاسبات برای نحوه پاسخ‌گویی بلندمدت سیستم ذخیره‌ساز، تکرار گردیده است. 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 اردیبهشت‌ماه می‌باشد. اختلاف دمای داخل و خارج در این دوره در شکل ۱۰ در نمودار بالا نشان داده‌شده است و در نمودار پایین این شکل حالات تقاضای گرمایش و سرمایش در طی روزها و شب‌های این دوره می‌بینیم. در شکل۱۱، توان موردنیاز گرمایشی و سرمایشی در طی دوره مشخصه نشان داده‌شده است. می‌توان با توجه به شکل و محاسبات متوجه شد توان سرمایشی بیشتری موردنیاز است.



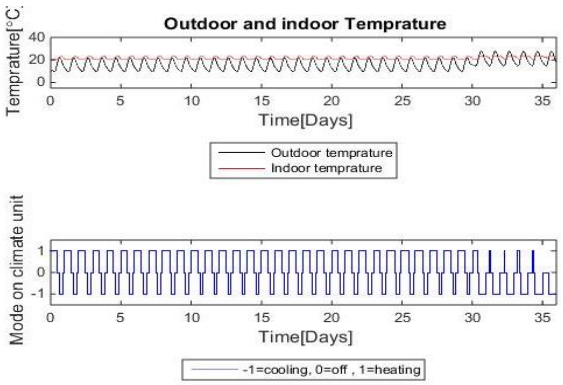
شکل ۸- مقایسه دمای بیرون و داخل ساختمان و نوع حالت کارکرد سیستم تهویه مطبوع



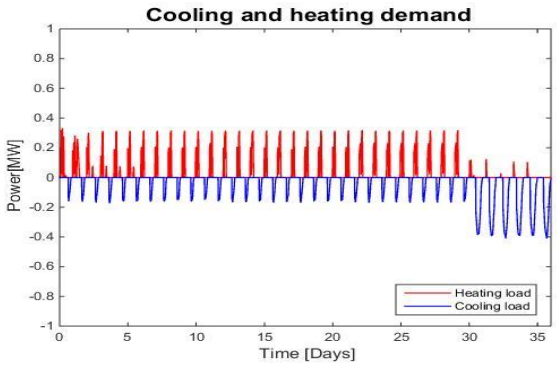
شکل ۹- توان موردنیاز برای گرمایش و سرمایش

در حالت سرمایش نسبت به گرمایش، انرژی سرمایشی بیشتری در طی دوره مشخصه موردنیاز است. مجموع انرژی موردنیاز در طی این دوره ۳۵ روزه برابر ۳۰,۶۵۸ KWh انرژی گرمایشی و -۳۵,۲۳۱ KWh انرژی سرمایشی است.

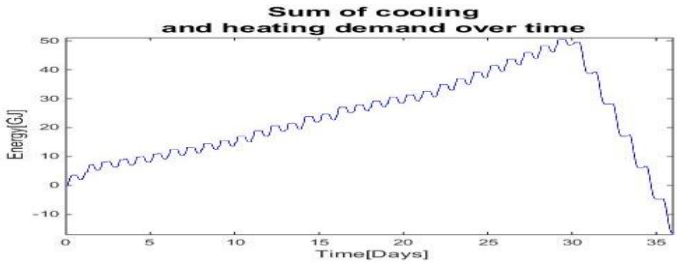
مجموع انرژی حرارتی در طی دوره مشخصه در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. همان‌طور که می‌بینیم انتهای نمودار در زیر صفر می‌باشد و این بدان معنی است که انرژی موردنیاز سرمایشی بزرگ‌تر از انرژی موردنیاز گرمایشی است.



شکل ۱۰- مقایسه دمای بیرون و داخل ساختمان و نوع حالت کارکرد سیستم تهویه مطبوع در دوره مشخصه



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



شکل ۱۲- مجموع انرژی موردنیاز سرمایشی و گرمایشی در دوره مشخصه

با توجه به بزرگ‌تر بودن توان سرمایشی و مجموع زمان کارکرد بیش‌تر 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 تغییریافته 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.

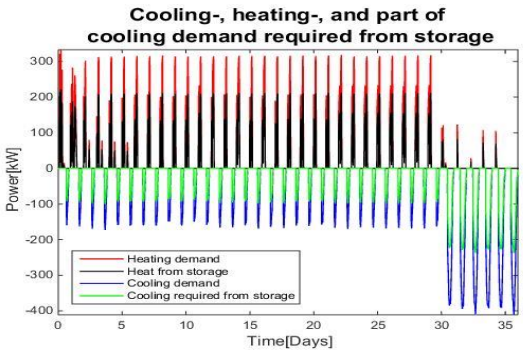
چنان‌چه در شکل می‌بینیم فقط قسمتی از گرمایش موردنیاز از زمین به دست می‌آید که به خاطر الکتریسیته مصرفی در پمپ حرارتی که نهایتاً به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. توجه شود که مجموع انرژی گرمایشی اصلاحی (مساحت زیر خطوط- سیاه) با مجموع انرژی سرمایشی اصلاح‌شده (مساحت زیر خطوط سبز) برابر است.

درنهایت مقادیر انرژی سرمایشی و گرمایشی اصلاح‌شده به‌صورت زیر محاسبه گردیده‌اند:

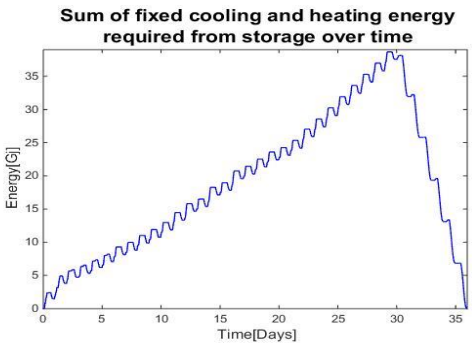
گرمایش اصلاح‌شده: ۳۰,۶۵۸ KWh که ۱۰۰٪ گرمایش موردتقاضا می‌باشد (با در نظر گرفتن الکتریسیته پمپ حرارتی)

سرمایش اصلاح‌شده: ۲۰,۴۳۹ KWh- که ۵۸٪ سرمایش موردنیاز می‌باشد.

مجموع انرژی موردنیاز از سیستم ذخیره‌سازی در شکل ۱۴ نشان داده‌شده است. که فقط انرژی به‌دست‌آمده از زمین می‌باشد و شامل گرمایش تولیدی ناشی از الکتریسیته پمپ حرارتی نیست. درنهایت همان‌طور که گفته‌شده 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 ۱۳-نمودار توان گرمایشی و سرمایشی موردنیاز در مقایسه با توان گرمایشی و سرمایشی اصلاح‌شده در دوره مشخصه



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

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 در دوره مشخصه می‌باشد سیستم ذخیره‌سازی بایستی بدون گرمایش اضافی این‌ها را مدیریت نماید. طول لوله‌ها بر طبق پمپ انتخابی و لوله در نظر گرفته‌شده، ۶۰۰ متر می‌باشد. و دمای سطح زمین نیز ۸ درجه سلسیوس است.

در محاسبات شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب جهت یافتن مقدار مناسب تعداد خطوط لوله، اعداد را وارد می‌کنیم و درنهایت اعداد مناسب این سیستم به صورت : طول لوله برابر ۶۰۰ متر و تعداد خطوط موردنیاز خط ۱۵ می باشد.

با تعداد خطوط کافی همه تقاضای اصلاح‌شده تأمین می‌شود. درصدهای انرژی ذیل توسط ذخیره‌سازی پوشش داده می‌شود:

۱۰۰٪ از انرژی گرمایشی اصلاح‌شده و یا ۱۰۰٪ از انرژی گرمایشی موردتقاضا ۱۰۰٪ از انرژی سرمایشی اصلاح‌شده و یا ۵۸٪ از انرژی سرمایشی موردتقاضا که در شکل۱۵ مشاهده می‌شود.

در شکل۱۶ توزیع دما در زمین جهت تعیین اندازه زمین جهت ذخیره‌سازی دیده می‌شود. محاسبات این مورد در بخش میانی لوله انجام‌گرفته است. در این شکل محور X نماینده شعاع حلقه‌ها از مرکز لوله تا سطح زمین می‌باشد. چنان‌چه مشخص است تا شعاع دو الی سه متری اطراف لوله تحت تأثیر دمای لوله قرارگرفته است. که به معنی عمق سیستم ذخیره‌سازی در زمین می‌باشد.

به‌این‌ترتیب توزیع دما از ورودی لوله تا انتهای خروجی لوله به طول ۶۰۰ متر در زمان‌های مختلف از دوره مشخصه به شکل۱۷ خواهد بود. دماهای ورودی و خروجی از این لوله در طی این دوره مشخصه که تکرار گردیده است در شکل۱۸ دیده می‌شود. نواحی آبی‌رنگ دمای ورودی و نواحی قرمزرنگ دماهای خروجی از لوله می‌باشند. لازم به توضیح است اگر نواحی قرمز پایین‌تر از آبی باشند یعنی سیال درون لوله خنک شده است.

استفاده بهینه از سیستم فوق که برای دوره مشخصه و ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته طراحی‌شده، بدین‌صورت است که در طی سال هم از سیستم استفاده شود، در این صورت مقادیر زیر را از کل انرژی مورد تقاضای سالانه تأمین کند:

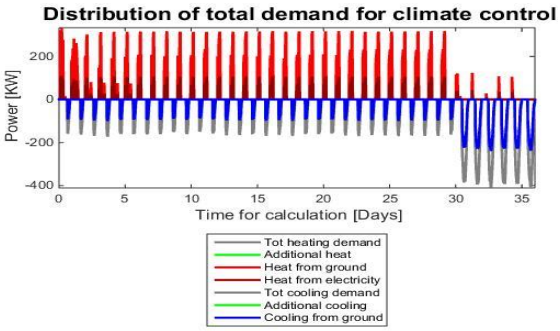
ذخیره گرمایش کل: ۶۵۳,۶۳۶ KWh (۲۱۷ ,۸۷۸ KWh مربوط به انرژی الکتریکی هیت پمپ) معادل ٪۶۷ درصد از نیاز سالیانه

ذخیره سرمایش کل: ۵۴۲ ,۳۳۶ KWh- معادل با ٪۳۴ درصد از نیاز سالیانه

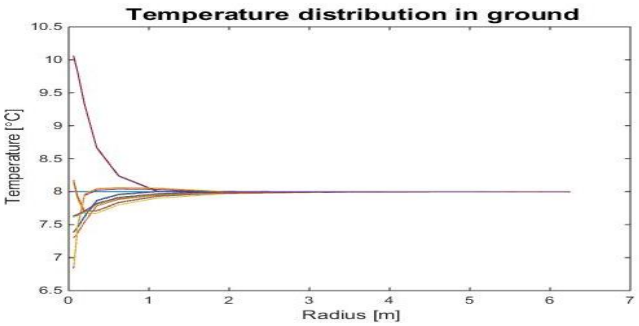
به‌عبارت‌دیگر تقاضا برای گرمایش و سرمایش هر مترمربع در سال پس از کسر ذخیره‌سازی برابر خواهد بود با:

انرژی گرمایشی: ۵۳/۹۲ KWh/(m^2-year)

انرژی سرمایشی: -۱۷۳/۲ KWh/(m^2-year)

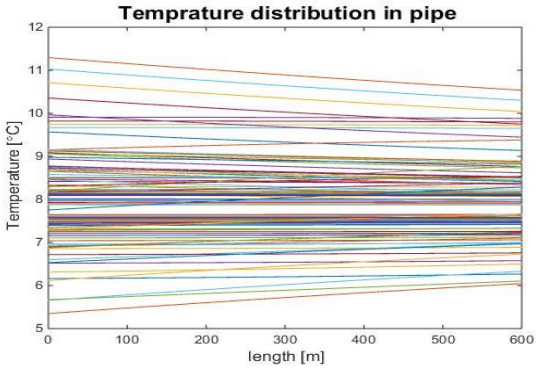


شکل ۱۵- توان حرارتی سیستم ذخیره‌ساز در دوره مشخصه با طول و تعداد کافی خطوط لوله

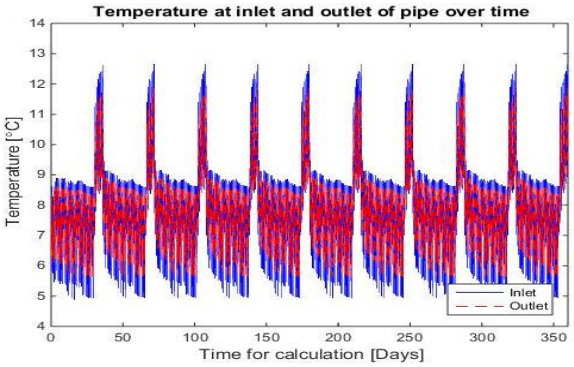


شکل۱۶- توزیع دما در زمین تا شعاع ۸ متری در اطراف لوله در دوره مشخصه و تکرار دوره در سال

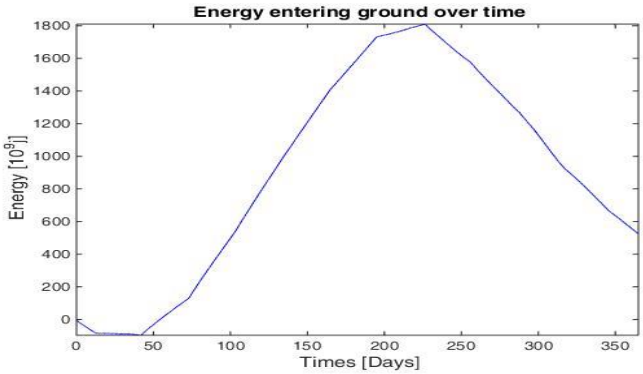
در این صورت توجه داریم توسط سیستم کنترلی دمای خروجی سیال از لوله که در محدوده ۴ تا ۱۲ درجه تنظیم‌شده است ، تا حدودی انرژی استخراج‌شده از زمین و برگشت داده‌شده به زمین را، متعادل می‌گردد. (شکل۱۹)



شکل ۱۷- توزیع دما در طول لوله در زمان‌های مختلف دوره مشخصه و تکرار دوره در سال



شکل ۱۸- توزیع دما در لوله در دوره مشخصه و تکرار دوره در سال



شکل ۱۹- مجموع انرژی حرارتی زمین با استفاده از سیستم ذخیره‌سازی و استفاده در طی سال مجهز به سیستم کنترلی دمای خروجی لوله

مقادیر انتشار گازهای گل‌خانه‌ای: سیستم ذخیره‌سازی انرژی، مقادیری از انرژی لازم را تأمین می‌کند و درنتیجه آن تولید گازهای گل‌خانه‌ای و مخصوصاً تولید گاز دی‌اکسید کربن که ناشی از سوختن گاز طبیعی در نیروگاه که به جهت تولید برق است و یا در دیگ آب گرم مرکزی کاسته می‌شود. نتایج بدست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- مقایسه انتشار CO_2 ناشی از بکارگیری تجهیزات و سیستم ذخیره ۲۴ ساعته

تجهیزات	انتشار CO_2–بدون ذخیره سازی(تن)	کاهش انتشار CO_2 با سیستم ذخیره سازی (تن)
دیگ آب‌گرم و مشعل	۲۲۰/۶	-۱۴۷/۷
پمپ حرارتی	–	+۷۷/۱
چیلر تراکمی	۱۶۶/۴	-۵۷
مجموع	۳۸۷	-۱۲۷/۶
درصد		- ۳۲/۹٪

درمجموع دی‌اکسید کربن کاهش‌یافته :ton ۱۲۷/۶ (کاهش انتشار ۳۲/۹٪ نسبت به‌کل انتشار) می‌باشد و صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش انتشار نیز ۱۲,۷۶۰,۰۰۰ریال می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بر اساس شبیه‌سازی انجام‌شده ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته جهت روزهای ۱۳ تا ۴۸م سال طراحی گردید و در این مدت و با در نظر داشتن لزوم برابری انرژی وارده به سیستم ذخیره‌ساز (زمین) و استخراجی از آن، بارهای حرارتی که توسط این سیستم تأمین می‌شود اصلاح گردید. درنتیجه این اصلاح بارهای حرارتی طی دوره مشخصه، ۱۰۰٪ نیاز گرمایشی و ۵۸٪ از نیاز سرمایشی بیمارستان از سیستم ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته با ابعاد ۱۵ خط لوله ۶۰۰ متری که در عمق سه متری سطح کار گذاشته‌شده بودند، تأمین گردید.

استفاده بهینه از سیستم فوق که برای دوره مشخصه و ذخیره‌سازی ۲۴ ساعته طراحی‌شده، بدین‌صورت است که در طی سال هم از سیستم استفاده شود، در این صورت با اندکی نابرابری انرژی وارده و استخراج‌شده از سیستم ذخیره‌ساز مواجه می‌شویم که در مقایسه با بار مورد تقاضای سالیانه قابل‌اغماض خواهد بود. درنتیجه با به‌کارگیری سیستم طراحی‌شده بر اساس ذخیره ۲۴ ساعته و استفاده در طی سال، از انرژی گرمایشی مورد تقاضای سالیانه که برابر $KWh/(m^2$-year) ۱۶۲/۸هست، فقط نیاز به تأمین $KWh/(m^2$-year) ۵۳/۹۲ توسط سیستم دیگ خواهد بود و مابقی آن توسط پمپ حرارتی تأمین می‌شود.از تقاضای انرژی سالیانه سرمایشی که $KWh/(m^2$-year) ۲۶۳/۶- می‌شد، نیز نیاز است تا چیلر $KWh/(m^2$-year) ۱۷۳/۲- را تأمین نماید. به‌عبارت‌دیگر ۶۷٪ از نیاز سالیانه گرمایشی و ۳۴٪ از نیاز سالیانه سرمایشی را تأمین می‌کند.

از آنجایی‌که سیستم برای دوره مشخصه طراحی گردیده بود، انرژی کم‌تری ذخیره می‌کند و پاسخ‌گوی نیاز حداکثری بار سرمایشی و گرمایشی که در تابستان و زمستان رخ می‌دهد، نیست.

انتشار گازهای گل‌خانه‌ای ۱۲۷/۶ تن با استفاده از سیستم ذخیره ۲۴ ساعته،از مجموع انتشار ۳۸۷ تن در سال کاسته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر ۳۲/۹٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای با به‌کارگیری سیستم‌های ذخیره روزانه جلوگیری می‌شود و در نتیجه این کاهش نیز به میزان ۱۲,۷۶۰,۰۰۰ریال در هر سال صرفه‌جویی می‌گردد.

منابع

1. Energy management, BFS 2011:26. (2011).
2. Investigations of consequencies-Revision of part 9, BFS 2011:6 (2011).

3. National strategy for low energy buildings-, ER 2010:39 (2010).
4. Lund J, Sanner B, Rybach L, Curtis R, Hellström G. Geothermal (Ground-Source) heat pumps - A world overview. GHC BULLETIN. 2004; Vol 25, No. 3.
5. Andersson O, Hägg M, editors. Deliverable 10 - Sweden - Preliminary design of a seasonal heat storage for ITT Flygt. IGEIA – Integration of geothermal energy into industrial applications; 2008 retrieved 21 April 2013; Emmaboda, Sweden.
6. Wong B, Snijders A, McClung L, editors. Recent Inter-Seasonal Underground Thermal Energy Storage Applications in Canada. 2006 IEEE EIC Climate Change Technology; 2006.
7. Martínez I. HEAT AND MASS TRANSFER. Termodinámica básica y aplicada. Madrid: Ed. Dossat; 1992.

۸. وزارت‌نیرو. ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳. ۱۳۹۳.

۹. استاندارد لوله کشی گاز طبیعی در محطه های صنعتی, (۱۳۸۴).

10. UnionGas. chemical composition of Natural Gas 2016. Available from: https://www.uniongas.com.
11. EIA. How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned? 2016. Available from: https://www.eia.gov.