



## بررسی سرمایه‌ش مستقیم زمینی ساختمان با استفاده از گمانه در چند شهر با اقلیم سرد و معتدل ایران

عسگر مینایی<sup>1</sup>، مهدی معرفت<sup>2\*</sup>

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\* تهران، صندوق پستی 111-14115، maerefat@modares.ac.ir

### چکیده

در این مقاله سرمایه‌ش مستقیم زمینی ساختمان با استفاده از گمانه در چند شهر ایران با اقلیم سرد مورد بررسی قرار گرفته است. شهرهای تبریز، اردبیل، ارومیه، زنجان، شهرکرد و همدان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ساختمان نمونه با کاربری اداری و مسکونی در نظر گرفته شده است. آب با گردش در داخل گمانه خنک شده و سپس این آب سرد شده هوای ورودی به اتاق را در فن کویل خنک می‌کند. در مقاله حاضر مبدل حرارتی و گمانه در نرم‌افزار متلب و ساختمان نمونه در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل شده‌اند. برای بررسی عملکرد حرارتی سیستم سرمایه‌ش مستقیم زمینی گمانه نیاز به کویل نرم‌افزار انرژی پلاس و متلب می‌باشد. برای کویل نرم‌افزار انرژی پلاس و متلب و کد MLE+ GUI استفاده شده است. عمق گمانه برابر با 60 متر در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای عمق گمانه 60 متر سرمایه‌ش مستقیم زمینی به جز ساعات اندک در بقیه ساعات می‌تواند آسایش حرارتی را هم در ساختمان با کاربری مسکونی و هم در ساختمان با کاربری اداری در تمامی شهرهای ذکر شده برقرار کند.

کلید واژگان: سرمایه‌ش مستقیم زمینی، مبدل حرارتی گمانه، اقلیم سرد و معتدل

## Direct Cooling System in Building Using Borehole Heat Exchanger in Several Cities of Iran with Cold Climates

Asgar Minaei, Mehdi Maerefat\*

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 14115-111, Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

### ABSTRACT

The direct utilization of the borehole as a heat sink of the building in several cities with cold climates is studied in the present article. Cities of Ardebil, Tabriz, Urmia, Zanjan, Shahr-e-Kord and Hamadan is considered for investigation. Both residential and office buildings are investigated. The water circulates through the U- shaped tubes in borehole and cools down. Then, the cooled water lowers down the air temperature entering to building in a fan coil. The borehole heat exchanger and fan coil is simulated in Matlab software and the building is simulated in the Energy Plus software. Using MIE+ GUI code, Matlab software is coupled to the Energy Plus software. The potential of the ground sink direct cooling in residential and office sample buildings is investigated for aforementioned cities. The results show that for all envisaged cities, by utilization of ground sink direct cooling system with borehole heat exchanger, the thermal comfort is satisfied in almost all of the cooling hours in both residential and office building.

**Keywords:** Borehole heat exchanger, Ground sink direct cooling system, Iranian cold cities

عمیق داخل زمین به‌صورت عمودی قرار داده می‌شود. داخل این حفره از موادی با ظرفیت حرارتی بالا پر می‌شود که دوغاب<sup>3</sup> نامیده می‌شود.

گمانه‌ها به‌طور متداول در پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این پمپ‌ها زمین در حالت سرمایه‌ش به‌عنوان چاه حرارتی برای کندانسور و در حالت گرمایش به‌عنوان چشمه حرارتی برای اواپراتور عمل می‌کند. در حالت سرمایه‌ش اگر دمای زمین به حد کافی پایین باشد، در این صورت زمین می‌تواند مستقیماً به‌عنوان چاه حرارتی به‌کار رود. به این سیستم، سیستم سرمایه‌ش مستقیم زمینی گفته می‌شود. در این صورت پمپ حرارتی از سیستم حذف می‌شود که این کار هم باعث کاهش هزینه‌های اولیه و هم باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود.

### 1- مقدمه

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سرمایه‌ش و گرمایش ساختمان به‌دلیل مصرف انرژی کم و سازگاری با محیط‌زیست در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر زمین است. دمای عمق زمین در فصول گرم کمتر از دمای هوای بیرون و در فصول سرد بیشتر از دمای هوای بیرون است. به همین دلیل زمین می‌تواند در حالت سرمایه‌ش به‌عنوان چاه حرارتی و در حالت گرمایش به‌عنوان چشمه حرارتی استفاده می‌شود. مبدل‌های حرارتی گمانه<sup>1</sup> متداول ترین نوع مبدل‌های حرارتی زمینی<sup>2</sup> است. این مبدل‌ها به‌طور معمول متشکل از یک لوله U شکل است که در یک حفره

<sup>1</sup> Borehole heat exchanger

<sup>2</sup> Ground heat exchangers

<sup>3</sup> Grout

Please cite this article using:

A.Minaei, M.Maerefat, Direct Cooling System in Building Using Borehole Heat Exchanger in Several Cities of Iran with Cold Climates, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 73-77, 2016 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

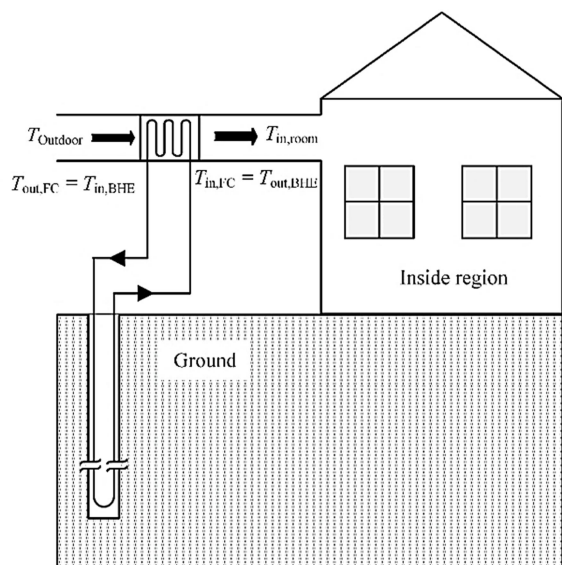


Fig.1 Schematic diagram of ground sink direct cooling system.

شکل 1 شماتیک سیستم سرماییش مستقیم زمینی

استفاده از پمپ حرارتی زمینی با لوله های افقی را بررسی کرده اند. مروری بر پژوهش های انجام شده نشان می دهد که تا به حال مطالعات محدودی در زمینه سرماییش مستقیم زمینی با گمانه انجام گرفته است. در این مطالعات ترکیب گمانه با فن کوئل در چند شهر مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در زمینه ترکیب گمانه با فن کوئل در شهرهای ایران مطالعه ای گزارش نشده است برآورد اولیه ما نشان می دهد که این سیستم می تواند برای سرماییش در بسیاری از شهرهای سرد و معتدل ایران مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل در این مقاله استفاده مستقیم از این گمانه ها برای سرماییش ساختمان بررسی خواهد شد.

## 2- سرماییش مستقیم زمینی

### 2-1- شبیه سازی حرارتی گمانه

نویسندگان مقاله حاضر یک مدل تحلیلی برای بررسی انتقال حرارت در مبدل های حرارتی گمانه در بازه زمانی کوتاه ارائه کرده اند [6]. در این مدل از روش مقاومت ظرفیت در داخل گمانه و حل معادله مشتق جزئی انتقال حرارت رانشی در راستای شعاعی در خارج از گمانه برای مدل سازی استفاده شده است. با توجه به این که این مدل می تواند برای دوره زمانی بالاتر از یک سال مورد استفاده قرار گیرد در مقاله [6] دمای سیال خروجی از گمانه به ازای دما و دبی های متغیر ورودی به گمانه با استفاده از تابع پاسخ براساس دمای متوسط سیال محاسبه شده است.

### 2-2- شبیه سازی حرارتی فن کوئل

برای شبیه سازی فن کوئل از روش  $\epsilon - NTU$  استفاده می شود. در مدل سازی فرض می شود که فقط انتقال حرارت محسوس در فن کوئل روی می دهد. هدف از شبیه سازی فن کوئل محاسبه دمای آب و هوای خروجی از فن کوئل به ازای دبی جرمی و دمای ورودی مشخص هوا و آب به فن کوئل می باشد. هوای خروجی از فن کوئل به اتاق می رود و ورودی آن نیز هوای محیط بیرون است. در فن کوئل دمای هوا و آب خروجی از مبدل به صورت روابط (1) و (2) می باشد [7].

یکی از مهمترین پارامترها در کارکرد سیستم های سرماییش مستقیم زمینی، دمای مناسب زمین و پایداری آن می باشد، هر چقدر دمای زمین کمتر باشد توانایی این سیستم ها برای سرماییش بیشتر است. مورد دیگری که در مورد کارکرد این سیستم ها اهمیت دارد پایداری سرماییش است. در این سیستم ها زمین به تنهایی بار سرماییش ساختمان را تامین می کند، اگر در حین کار دمای زمین به شدت افزایش یابد توانایی سرماییش نیز به شدت کاهش می یابد [1].

در این سیستم همان طور که در "شکل 1" نشان داده شده است. آب با گردش در داخل گمانه گرمای خود را به زمین می دهد و خنک می شود و سپس این آب خنک شده با عبور از یک فن کوئل هوای ورودی به فضای داخلی ساختمان را خنک می کند. این سیستم سرماییش مستقیم زمینی (GSDCS<sup>1</sup>) نامیده می شود. در این سیستم پمپ و فن تنها قسمت های مصرف کننده انرژی هستند که هر دو از مصرف انرژی پایینی برخوردار هستند. به علت عدم وجود قسمت های پر مصرف مانند کمپرسور، این سیستم یک سیستم غیرفعال است.

لی و همکاران [1] استفاده از سیستم GSDCS را برای تهویه یک ساختمان در شهر هاربین چین بررسی کرده اند. کارکرد این سیستم در 50 روز کار متوالی در تابستان بررسی شده است. ساعات کاری سیستم در یک روز 12 ساعت بوده است.

دنگ و همکاران [2] نیز در یک کار تحلیلی به بررسی و تحلیل استفاده از گمانه همراه با یک فن کوئل پرداخته اند. بررسی ها برای شهر تیانجین با دمای عمق زمین  $15.7^{\circ}\text{C}$  انجام گرفته است. نتیجه بررسی آن ها نشان می دهد که با استفاده از یک گمانه نمی شود بار سرماییش ساختمان در طول زمان سرماییش تامین کرد و به همین دلیل نیاز به چهار گمانه است که این خود هزینه های اولیه را افزایش می دهد.

پاهود و همکاران [3] نیز استفاده از یک سیستم سرماییش زمینی را برای یک ساختمان اداری کم مصرف و استاندارد بررسی کرده اند. 5 شهر برای بررسی انتخاب شده است. این محققان اظهار کرده اند که در صورت استفاده از روش های غیرفعال در طراحی ساختمان امکان استفاده از سیستم سرماییش مستقیم زمینی وجود دارد.

در ایران نیز حیدری نژاد و همکاران [4] استفاده مستقیم از یک گمانه با یک فن کوئل و یک سیستم سرماییش تبخیری مستقیم برای شهر تهران را به صورت عددی بررسی کرده اند. در این مطالعه مبدل حرارتی زمینی به عنوان سیستم کمکی برای سرماییش تبخیری مستقیم به کار رفته است. آب در داخل گمانه سرد شده و سپس با عبور از فن کوئل هوای ورودی به ساختمان را پیش سرد می کند، سپس هوا وارد سیستم سرماییش تبخیری مستقیم شده و با استفاده از سرماییش تبخیری بیشتر سرد می شود و در نهایت این هوای سرد به اتاق می رود. برای مدل سازی گمانه از نرم افزار فلوئنت استفاده شده است. مدل سازی فقط برای یک روز کاری از ساعت 9-17 انجام شده است. این روز گرم ترین روز تابستان انتخاب شده است. نتایج کار حیدری نژاد و همکاران نشان می دهد که در صورت استفاده تنها از سیستم سرماییش تبخیری مستقیم آسایش حرارتی برقرار نمی شود ولی در صورتی که از ترکیب گمانه و سیستم سرماییش تبخیری مستقیم استفاده شود می توان آسایش حرارتی را برقرار کرد.

همچنین باری و همکاران [5] در یک مطالعه تجربی در شهر تبریز

<sup>1</sup> ground sink direct cooling system

می‌نماید. در این شکل  $T_{Outdoor}$  دمای هوای محیط بیرون،  $T_{in,room}$  دمای هوای ورودی به اتاق برای سرمایش اتاق،  $T_{in,BHE}$  دمای آب ورودی به گمانه،  $T_{out,BHE}$  دمای آب خروجی از گمانه،  $T_{in,FC}$  دمای آب ورودی به فن کویل و  $T_{out,FC}$  دمای آب خروجی از فن کویل می‌باشد.

### 3- بحث و نتایج

دما و دبی آب خروجی از فن کویل ورودی‌های نرم‌افزار متلب به انرژی پلاس هستند. همچنین دمای هوای محیط بیرون، بار حرارتی اتاق و دمای اتاق ورودی‌های نرم‌افزار انرژی پلاس به نرم‌افزار متلب هستند. این ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت شماتیک در "شکل 2" نشان داده شده است.

توزیع بار حرارتی ساختمان به شدت بر روی عملکرد مبدل حرارتی گمانه اثر می‌گذارد. مصالح ساختمان و نوع جداره پنجره‌ها نیز بر روی بارهای حرارتی تأثیر می‌گذارند. به همین دلیل انتخاب مصالح ساختمان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. مصالح ساختمانی به‌گونه‌ای انتخاب شده است که مقاومت حرارتی دیوارهای خارجی از منظر مبحث 19 مقررات ملی ساختمان در محدوده مجاز باشد [11]. از بتن با ضخامت 20 cm و لایه عایق پلی-استایرن با ضخامت 5 cm در دیوار خارجی و سقف استفاده شده است. پنجره‌ها نیز دوجداره می‌باشند.

در جدول 1 خواص حرارتی مصالح و ضخامت مصالح ساختمان، مبدل حرارتی گمانه و خاک اطراف گمانه نشان داده شده است. لازم به‌ذکر است که خواص حرارتی مصالح ساختمان در جدول 1 از مبحث 19 مقررات ملی ساختمان [11] استخراج شده است.

در کاربری مسکونی فرض می‌شود در تمام ساعات شبانه‌روز، اتاق در شرایط آسایش حرارتی است. استاندارد اشری 2009 [12] معیار آسایش حرارتی برای سرمایش بطور تقریبی بین  $24-26.5^{\circ}C$  درجه سلسیوس بیان کرده است. با توجه این‌که سیستم سرمایش مستقیم زمینی یک سیستم سرمایش غیرفعال می‌باشد. معیار آسایش نزدیک به محدوده بالایی یعنی  $26^{\circ}C$  انتخاب شده است. لازم به‌ذکر است که بررسی ما نشان داد که در دو ماه اول سال بار سرمایش برای ساختمان نمونه شهرهای مورد بررسی در تمامی ساعات به‌طور تقریبی برابر صفر است. به همین دلیل دوره زمانی مدل‌سازی از اول خرداد تا آخر شهریور در نظر گرفته می‌شود.

عمق گمانه در این مقاله برابر با 60m در نظر گرفته شده است. این عمق با استفاده از روش برنیر برای ساختمان نمونه با استفاده از روش برنیر [13] برای شهر تبریز به‌دست آمده است. برای شهرهای دیگر نیز همین عمق در نظر گرفته شده است.

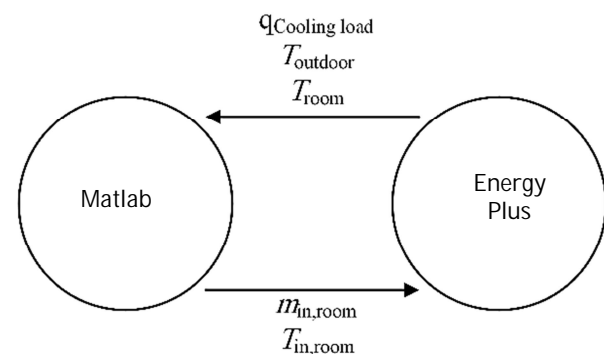


Fig.2 Schematic presentation of inputs of the Matlab from the Energy plus and vice versa

شکل 2 شماتیک از ورودی‌های انرژی پلاس به متلب و بالعکس

$$T_{in,room} = T_{Outdoor} + \varepsilon(T_{Outdoor} - T_{in,FC}) \quad (1)$$

$$T_{out,FC} = T_{in,FC} + C(T_{Outdoor} - T_{in,room}) \quad (2)$$

که  $\varepsilon$  ضریب تأثیر مبدل حرارتی می‌باشد و به صورت رابطه (3) تعریف می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{\dot{m}_a c_{pa}(T_{Outdoor} - T_{in,room})}{\dot{m}_a c_{pa}(T_{Outdoor} - T_{in,FC})} \quad (3)$$

در رابطه (3)  $\dot{m}_a$  دبی جرمی هوا،  $c_{pa}$  گرمای هوا ویژه در فشار ثابت،  $T_{in,room}$ ،  $T_{in,FC}$  و  $T_{Outdoor}$  به ترتیب دمای هوای بیرون، دمای هوای ورودی به اتاق و دمای آب ورودی به مبدل می‌باشد.

ضریب تأثیر به مشخصات هندسی فن کویل، مشخصات حرارتی آب و هوا و دبی جرمی هر دو سیال بستگی دارد. برای یک مبدل حرارتی با جریان ناهمسو ضریب تأثیر به صورت رابطه (4) می‌باشد [7].

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 - CR))}{1 - CR \exp(-NTU(1 - CR))} \quad (4)$$

که  $CR = \frac{(\dot{m}c_p)_{min}}{(\dot{m}c_p)_{max}}$  و  $NTU$  تعداد واحد انتقال می‌باشد.

### 3-2- کویل ساختمان با مبدل حرارتی گمانه و فن کویل

در این قسمت برای ساختمان نمونه اتاق 600 استاندارد انسا-اشری 140-2007 [8] انتخاب شده است. اتاق استاندارد 600 یک فضای نمونه به ابعاد  $2.7 \times 6 \times 8$  m است و این اتاق دارای دو پنجره به ابعاد  $2 \times 3$  متر در دیوار جنوبی است. پنجره‌ها در ارتفاع 20 cm از کف زمین قرار گرفته‌اند. دیوار جنوبی و سقف در ارتباط با محیط خارج و دیگر دیوارها آدیاباتیک (در ارتباط با محیطی مشابه) در نظر گرفته شده‌اند. کف اتاق نیز به‌صورت متصل با زمین در نظر گرفته شده است.

تعداد افراد حاضر در اتاق یک نفر در نظر گرفته شده است. بار روشنایی به‌طور معمول  $5W/m^2$  برای هر متر مربع در نظر گرفته می‌شود [9]. با توجه به این‌که سطح اتاق برابر با  $48m^2$  می‌باشد. به‌همین دلیل بار کل روشنایی  $5W/m^2 \times 48m^2 = 240W$  در نظر گرفته شده است. بار داخلی براساس کاربری ساختمان و وسایل گرمایشی استفاده شده داخل آن متفاوت می‌باشد. در این اتاق فرض شده است که یک تلویزیون و یک کامپیوتر وجود دارد. براساس مرجع [9] برای این دو وسیله مجموع بار داخلی 250W می‌باشد. نرخ تعویض هوا 0.5 ACH می‌باشد.

مبدل حرارتی گمانه و فن کویل در نرم‌افزار متلب مدل می‌شوند و ساختمان نمونه در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل می‌شود. برای بررسی استفاده مستقیم از مبدل حرارتی گمانه در اتاق نمونه نیاز به کویل نرم‌افزار انرژی پلاس و متلب است. بدین منظور از نرم‌افزار متلب و کد MLE+ GUI استفاده می‌شود. کد MLE+ GUI توسط برنال و همکاران [10] در دانشگاه پنسیلوانیا توسعه یافته است. این ابزار برای استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار متلب در طراحی، بهینه‌سازی و ... در نرم‌افزار انرژی پلاس توسعه داده شده است. این ابزار به‌عنوان رابط بین نرم‌افزار انرژی پلاس و نرم‌افزار متلب عمل می‌نماید.

شماتیک از سرمایش مستقیم زمینی در "شکل 1" نشان داده شده است. آب در داخل گمانه به گردش درآمده و دمای آن کاهش می‌یابد. آب خروجی از گمانه به فن کویل رفته و در آن‌جا هوای ورودی به اتاق را سرد

<sup>1</sup> ANSI/ASHRAE Standard 140-2007

جدول 2 بررسی سرمایه‌ش مستقیم زمینه با گمانه برای چند شهر ایران برای کاربری مسکونی

Table 2 direct ground cooling for several cities of iran for residential building

کاربری اداری		کاربری مسکونی		دمای خاک	شهر
ساعات	ساعات	ساعات	ساعات		
آسایش	تهویه	آسایش	تهویه		
570	610	1125	1165	12	تبریز
265	270	323	330	10	اردبیل
590	620	1025	1050	12	ارومیه
515	550	825	855	11.5	زنجان
490	550	790	850	11.7	شهر کرد
705	740	1130	1175	12.5	همدان

در جدول 2 نتایج کاربری اداری نیز شامل شده است. در کاربری اداری فرض شده است که سیستم از ساعات 8 تا 18 روشن می‌باشد و در بقیه ساعات خاموش می‌باشد. با توجه به جدول 2 مشاهده می‌شود که سیستم سرمایه‌ش مستقیم زمینی با عمق گمانه 60m می‌تواند آسایش حرارتی را بطور تقریبی در همه زمان‌های نیازمند سرمایه‌ش برآورده کند. در همه شهرها به جز شهرکرد تعداد ساعات عدم آسایش حرارتی برای شهر اردبیل 5 ساعت، شهرکرد برابر 60 ساعت و بقیه شهرها به‌طور تقریبی 40 ساعت می‌باشد. با توجه به این‌که مقدار ساعات عدم آسایش در شهرکرد اندکی بالاست به همین دلیل می‌شود عمق گمانه را در این شهر برای ساختمان نمونه بیشتر در نظر گرفت. نتایج نشان می‌دهد با افزایش 20% درصدی عمق گمانه نسبت به مقدار فعلی ساعات عدم آسایش در این شهر به کمتر از 30 ساعت می‌رسد.

#### 4- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله استفاده مستقیم از مبدل حرارتی گمانه برای سرمایه‌ش ساختمان با کاربری مسکونی و اداری در چند شهر ایران مورد بررسی قرار گرفته است. مبدل حرارتی زمینی در نرم‌افزار متلب و ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل شده‌اند. در نهایت برای بررسی عملکرد حرارتی سیستم نرم‌افزار انرژی پلاس و متلب به هم دیگر کوپل شده‌اند.

برای ساختمان با کاربری مسکونی در صورت از استفاده از گمانه برای سرمایه‌ش ساختمان می‌شود آسایش حرارتی در اکثر ساعات مورد نیاز تهویه (بیش از 95 درصد ساعات مورد نیاز تهویه) برای تمامی شهرهای مورد بررسی فراهم کرد و دمای اتاق را در همه ساعات کمتر از 26 °C نگه داشت.

با ساختمان با کاربری اداری نیز سیستم با عمق گمانه 60m می‌تواند آسایش حرارتی به جز ساعاتی اندک در بقیه ساعات فراهم کند. برای شهر کرد پیشنهاد شده است که مقدار عمق طراحی 20 درصد بیشتر در نظر گرفته شود تا تعداد ساعات عدم آسایش کمتر از 30 ساعت شود.

#### 5- فهرست علائم

$C_p$	گرمای ویژه در فشار ثابت ( $Jkg^{-1}K^{-1}$ )
$k$	ضریب هدایت حرارتی ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $kgs^{-1}$ )
$NTU$	تعداد واحد انتقال

جدول 1 خواص ترموفیزیکی مصالح ساختمان، خاک و مبدل حرارتی گمانه

Table 1 Thermal properties of building construction materials. Soil and borehole

مواد	$\rho$ ( $kgm^{-3}$ )	$C_p$ ( $Jkg^{-1}K^{-1}$ )	$k$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	thickness (cm)
بتن	2300	960	1.4	20
گچ	800	1000	0.3	3.0
سنگ نما	2590	880	2.9	2
آسفالت	2100	920	0.7	2
پلی استایرن	35	1300	0.037	5
خاک	2000	752	1.08	-
لوله	1100	1680	0.42	-
دو غاب	2000	1900	1.5	-
آب	998	4200	0.6	-

"شکل 3 تغییرات دمای اتاق را در ساعات مورد نیاز تهویه برای ساختمان با کاربری مسکونی شهر تبریز را این دوره 123 روزه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که این سیستم در بیشتر ساعات مورد دمای اتاق پایین‌تر از 26.0 °C است و به غیر از 40 ساعت در بقیه ساعات سیستم می‌تواند آسایش حرارتی را در دخل اتاق تامین نماید.

جدول 2 آسایش حرارتی سیستم سرمایه‌ش زمینی در چند شهر مختلف ایران مورد بررسی قرار گرفته است. هر دو کاربری مسکونی و اداری در این جدول شامل شده است. در این جدول همچنین دمای خاک در عمق زمین نیز آورده شده است. دمای عمق زمین در هر شهر برابر با دمای متوسط سالیانه آن شهر می‌باشد. ستون سوم در این جدول تعداد ساعات تهویه یعنی ساعاتی که اتاق نیاز به سرمایه‌ش دارد را برای کاربری مسکونی نشان می‌دهد. ستون چهارم نیز بیانگر تعداد ساعاتی است که سیستم سرمایه‌ش زمینی می‌تواند آسایش را برای کاربری مسکونی برقرار کند.

با توجه به جدول 2 مشاهده می‌شود که برای شهر تبریز از 1165 ساعت سرمایه‌ش، سیستم قادر است در 1125 ساعت (نزدیک 96 درصد کل ساعات مورد نیاز تهویه) آسایش حرارتی را برقرار کند و دمای اتاق را پایین‌تر از 26.0 °C نگه دارد. برای شهرهای دیگر نیز درصد ساعاتی که سیستم می‌تواند آسایش حرارتی را برقرار کند، برای شهر کرد برابر با 93.5% و برای اردبیل برابر با 98.5% است.

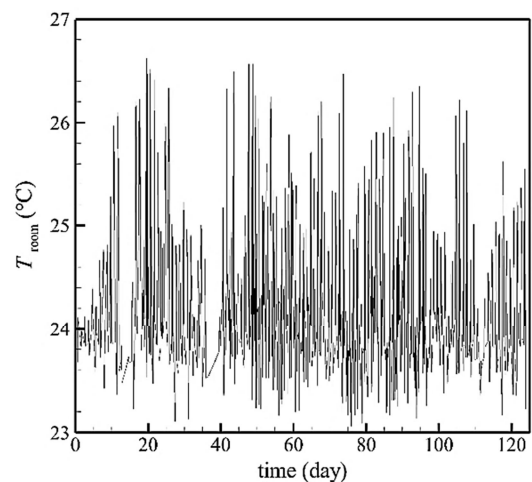


Fig. 3 variations of the room temperature for residential building in Tabriz city

شکل 3 تغییرات دمای اتاق برای ساختمان کاربری مسکونی در شهر تبریز

- [3] D. Pahud, M. Belliardi, P. Caputo, Geocooling potential of borehole heat exchangers' systems applied to low energy office buildings, *Renewable Energy*, Vol. 45, pp. 197–204, 2012.
- [4] G. Heidarinejad, V. Khalajzadeh, S. Delfani, Performance analysis of a ground-assisted direct evaporative cooling air conditioner, *Building and Environment*, vol. 45, no. 11, pp. 2421–2429, 2010.
- [5] M. Yari, N. Javaani, A. Ansari, H. Moradian, Design and Installation of the First Geothermal Heat Pump in Iran, *Proceedings World Geothermal Congress*, Antalya, Turkey, April 24-29, 2005
- [6] A. Minaei, M. Maerefat, A new analytical model to study heat transfer in Borehole heat exchangers in short time periods, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 199-209, 2016 (in Persian فارسی)
- [7] S.K. Wang, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, second edition, chapter 15, McGraw-Hill, 2001
- [8] ASHRAE. *Standard Method of Test For The Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2007.
- [9] *Equipment and Lighting Loads*, <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads>, accessed on July 2016
- [10] W. Bernal, M. Behl, T. X. Nghiem, R. Mangharam, MLE+: a tool for integrated design and deployment of energy efficient building controls, *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*, ACM, pp. 123–130, 2012.
- [11] Housing and urban development center, *National Building Regulations 19*, Iran, Tehran, 2010 (in Persian فارسی)
- [12] ASHRAE, *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals*, SI Edition, Chapter 9, Atlanta: ASHRAE Inc, 2009.
- [13] M. A. Bernier, Closed-loop ground-coupled heat pump systems, *Ashrae Journal*, Vol. 48, No. 9, pp. 12–25, 2006.

$Q$	نرخ انتقال حرارت (W)
$T$	دما (K)
$t$	زمان (day)
علائم یونانی	
$\varepsilon$	ضریب تاثیر فن کویل
$\rho$	چگالی ( $\text{kgm}^{-3}$ )
زیر نویس‌ها	
$a$	هوا
BHE	مبدل حرارتی گمانه
FC	فن کویل
in	ورودی
cooling load	بار سرمایه‌های ساختمان
out	خروجی
Outdoor	محیط بیرون
s	خاک
w	آب

## 6- مراجع

- [1] Z. Li, W. Zhu, T. Bai, M. Zheng, Experimental study of a ground sink direct cooling system in cold areas, *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 11, pp. 1233–1237, 2009.
- [2] N. Deng, X. Yu, Y. Zhang, H. Ma, H. Wang, Numerical analysis of three direct cooling systems using underground energy storage: A case study of Jinghai County, Tianjin, China, *Energy and Buildings*, Vol. 47, pp. 612–618, 2012.