مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 73-77

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

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

عسگر مینایی[1]، مهدی معرفت[2*]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 14115-111، maerefat@modares.ac.ir

چکیده

در این مقاله سرمایش مستقیم زمینی ساختمان با استفاده از گمانه در چند شهر ایران با اقلیم سرد مورد بررسی قرار گرفته است. شهرهای تبریز، اردبیل، ارومیه، زنجان، شهر کرد 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 سرمایش مستقیم زمینی گمانه نیاز به کوپل نرم‌افزار انرژی پلاس و متلب می‌باشد. برای کوپل 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 سرمایش 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: سرمایش 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 MlE+ 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

1- مقدمه

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سرمایش 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 سرمایش به‌عنوان چاه حرارتی و در حالت گرمایش به‌عنوان چشمه حرارتی استفاده می شود. مبدل‌های حرارتی گمانه[1] متداول ترین نوع مبدل‌های حرارتی زمینی[2] است. این مبدل‌ها به‌طور معمول متشکل از یک لوله U شکل است که در یک حفره عمیق داخل زمین به‌صورت عمودی قرار داده می‌شود. داخل این حفره از موادی با ظرفیت حرارتی بالا پر می‌شود که دوغاب[3] نامیده می‌شود.

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

[1] Borehole heat exchanger
[2] Ground heat exchangers
[3] Grout

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
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)

یکی از مهمترین پارامترها در کارکرد سیستم‌های سرمایش مستقیم زمینی، دمای مناسب زمین و پایداری آن می‌باشد، هر چقدر دمای زمین کمتر باشد توانایی این سیستم‌ها برای سرمایش بیشتر است. مورد دیگری که در مورد کارکرد این سیستم‌ها اهمیت دارد پایداری سرمایش است. در این سیستم‌ها زمین به تنهایی بار سرمایش ساختمان را تامین می‌کند، اگر در حین کار دمای زمین به‌شدت افزایش یابد توانایی سرمایش نیز به شدت کاهش می‌یابد [1].

در این سیستم همان‌طور که در "شکل 1" نشان داده شده است. آب با گردش در داخل گمانه گرمای خود را به زمین می‌دهد و خنک می‌شود و سپس این آب خنک شده با عبور از یک فن کوئل هوای ورودی به فضای داخلی ساختمان را خنک می‌کند. این سیستم سرمایش مستقیم زمینی (GSDCS[1]) نامیده می‌شود. در این سیستم پمپ و فن تنها قسمت‌های مصرف کننده انرژی هستند که هر دو از مصرف انرژی پایینی برخوردار هستند. به‌علت عدم وجود قسمت‌های پرمصرف 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 پرداخته‌اند. بررسی‌ها برای شهر تیانجین با دمای عمق زمین 15.7 ℃ انجام گرفته است. نتیجه بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از یک گمانه نمی شود بار سرمایش ساختمان در طول زمان سرمایش 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 مستقیم سرمایش زمینی را برای یک ساختمان اداری کم مصرف و استاندارد بررسی کرده‌اند. 5 شهر برای بررسی انتخاب شده است. این محققان اظهار کرده اند که در صورت استفاده از روش‌های غیرفعال در طراحی ساختمان امکان استفاده از سیستم سرمایش مستقیم زمینی وجود دارد.

در ایران نیز حیدری نژاد و همکاران [4] استفاده مستقیم از یک گمانه با یک فن کوئل و یک سیستم سرمایش تبخیری مستقیم برای شهر تهران را به‌صورت عددی بررسی کرده‌اند. در این مطالعه مبدل حرارتی زمینی به‌عنوان سیستم کمکی برای سیستم سرمایش تبخیری مستقیم به‌کار رفته است. آب در داخل گمانه سرد شده و سپس با عبور از فن‌کوئل هوای ورودی به ساختمان را پیش سرد می‌کند، سپس هوا وارد سیستم سرمایش تبخیری مستقیم شده و با استفاده از سرمایش تبخیری بیشتر سرد می‌شود و در نهایت این هوای سرد به اتاق می‌رود. برای مدل‌سازی گمانه از نرم‌افزار فلوئنت استفاده شده است. مدل‌سازی فقط برای یک روز کاری از ساعت 9-17 انجام شده است. این روز گرم‌ترین روز تابستان انتخاب شده است. نتایج کار حیدری‌نژاد و همکاران نشان می‌دهد که در صورت استفاده تنها از سیستم سرمایش تبخیری مستقیم آسایش حرارتی برقرار نمی‌شود ولی در صورتی که از ترکیب گمانه و سیستم سرمایش تبخیری مستقیم استفاده شود می‌توان آسایش حرارتی را برقرار کرد.

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

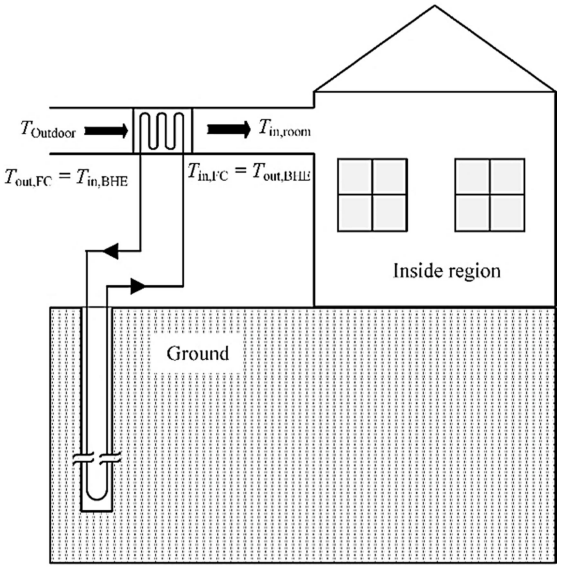

Fig.1 Schematic diagram of ground sink direct cooling system.

شکل 1 شماتیک سیستم سرمایش مستقیم زمینی

استفاده از پمپ حرارتی زمینی با لوله های افقی را بررسی کرده‌اند.

مروری بر پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تا به‌حال مطالعات محدودی در زمینه سرمایش 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 مطالعه‌ای گزارش نشده است برآورد اولیه ما نشان می‌دهد که این سیستم می‌تواند برای سرمایش در بسیاری از شهرهای سرد و معتدل ایران مورد استفاده قرار گیرد. به‌همین دلیل در این مقاله استفاده مستقیم از این گمانه ها برای سرمایش ساختمان بررسی خواهد شد.

2- سرمایش مستقیم زمینی

2 -1- شبیه‌سازی حرارتی گمانه

نویسندگان مقاله حاضر یک مدل تحلیلی برای بررسی انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی گمانه در بازه زمانی کوتاه ارائه کرده‌اند [6]. در این مدل از روش مقاومت ظرفیت در داخل گمانه و حل معادله مشتق جزئی انتقال حرارت رسانشی در راستای شعاعی در خارج از گمانه برای مدل‌سازی استفاده شده است. با توجه به این‌که این مدل می‌تواند برای دوره زمانی بالاتر از یک سال مورد استفاده قرار گیرد در مقاله [6] دمای سیال خروجی از گمانه به ازای دما و دبی‌های متغیر ورودی به گمانه با استفاده از تابع پاسخ براساس دمای متوسط سیال محاسبه شده است.

2-2- شبیه‌سازی حرارتی فن کویل

برای شبیه‌سازی فن کویل از روش $\varepsilon - NTU$ استفاده می‌شود. در مدل‌سازی فرض می‌شود که فقط انتقال حرارت محسوس در فن کویل روی می‌دهد. هدف ازشبیه‌سازی فن کویل محاسبه دمای آب و هوای خروجی از فن کویل به ازای دبی جرمی و دمای ورودی مشخص هوا و آب به فن کویل می‌باشد. هوای خروجی از فن کویل به اتاق می‌رود و ورودی آن نیز هوای محیط بیرون است. در فن کویل دمای هوا و آب خروجی از مبدل به‌صورت روابط (1) و (2) می‌باشد [7].

[1] ground sink direct cooling system

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

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

که ε ضریب تاثیر مبدل حرارتی می‌باشد و به‌صورت رابطه (3) تعریف می‌شود.

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

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

ضریب تاثیر 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 تاثیر به صورت رابطه (4) می‌باشد [7].

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

که $CR = \frac{(\dot{m}c_{\text{p}})_{\min}}{(\dot{m}c_{\text{p}})_{\max}}$ 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[1] [8] انتخاب شده است. اتاق استاندارد 600 یک فضای نمونه به ابعاد 2.7 m × 6 × 8 است و این اتاق دارای دو پنجره به ابعاد 3 m × 2 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 $5\text{W/m}^2 \times 48\text{m}^2 = 240\text{W}$ در نظر گرفته شده است. بار داخلی براساس کاربری ساختمان و وسایل گرمازای 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 کوپل 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.

شماتیکی 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 می‌نماید. در این شکل T_{Outdoor} دمای هوای محیط بیرون، $T_{\text{in,room}}$ دمای هوای ورودی به اتاق برای سرمایش اتاق، $T_{\text{in,BHE}}$ دمای آب ورودی به گمانه، $T_{\text{out,BHE}}$ دمای آب خروجی از گمانه، $T_{\text{in,FC}}$ دمای آب ورودی به فن کویل و $T_{\text{out,FC}}$ 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 به‌صورت شماتیک در "شکل 2" نشان داده شده است.

توزیع بار حرارتی ساختمان به‌شدت 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 ساختمان به‌گونه‌ای انتخاب شده است که مقاومت حرارتی دیوارهای خارجی از منظر مبحث 19 مقررات ملی ساختمان در محدوده مجاز باشد [11]. از بتن باضخامت 20 cm و لایه عایق پلی-استایرن باضخامت 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 $24\text{-}26.5\ ^0\text{C}$ درجه سلسیوس بیان کرده است. با توجه این‌که سیستم سرمایش مستقیم زمینی یک سیستم سرمایش غیرفعال می‌باشد. معیار آسایش نزدیک به محدوده بالایی یعنی $26\ ^0\text{C}$ انتخاب شده است. لازم به ذکر 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.

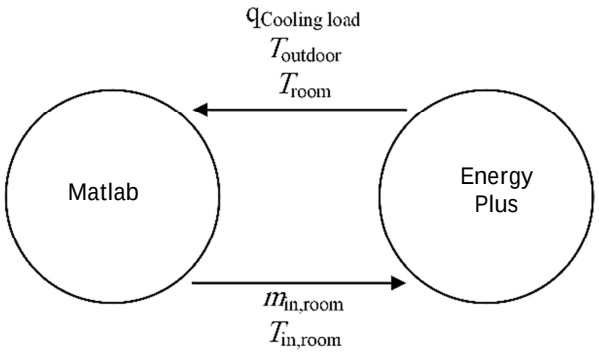

Fig.2 Schematic presentation of inputs of the Matlab from the Energy plus and vice versa

شکل 2 شماتیکی از ورودی‌های انرژی پلاس به متلب و بالعکس

[1] ANSI/ASHRAE Standard 140-2007

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

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

مواد	ρ (kgm^{-3})	c_P $(Jkg^{-1}K^{-1})$	k $(Wm^{-1}K^{-1})$	thikness (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	-
دوغاب	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 ^{0}C 26.0 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 سرمایش 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 سرمایش دارد را برای کاربری مسکونی نشان می‌دهد. ستون چهارم نیز بیانگر تعداد ساعاتی است که سیستم سرمایش زمینی می‌تواند آسایش را برای کاربری مسکونی برقرار کند.

با توجه به جدول 2 مشاهده می شود که برای شهر تبریز از 1165 ساعت سرمایش، 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 ^{0}C 26.0 نگه دارد. برای شهرهای دیگر نیز درصد ساعاتی که سیستم می تواند آسایش حرارتی را برقرار کند، برای شهر کرد برابر با 93.5% و برای اردبیل برابر با 98.5% است.

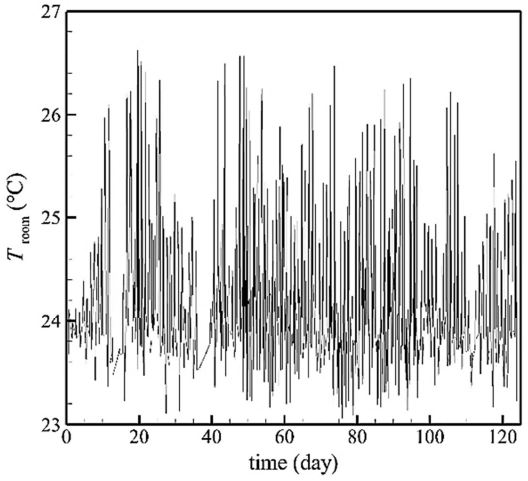

Fig. 3 variations of the room temperature for residential building in Tabriz city

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

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

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

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

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 سرمایش مستقیم زمینی با عمق گمانه 60m می‌تواند آسایش حرارتی را بطور تقریبی در همه زمان‌های نیازمند سرمایش برآورده کند. در همه شهرها به جز شهرکرد تعداد ساعات عدم اسایش 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 در 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 سرمایش سرمایش 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. درنهایت 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 سرمایش ساختمان می شود آسایش حرارتی در اکثر ساعات موردنیاز تهویه (بیش از 95 درصد ساعات موردنیاز تهویه) برای تمامی شهرهای مورد بررسی فراهم کرد و دمای اتاق را در همه ساعات کمتر از ^{0}C 26 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

Q	نرخ انتقال حرارت (W)
T	دما (K)
t	زمان (day)

علائم یونانی

ε	ضریب تاثیر فن کویل
ρ	چگالی (kgm^{-3})

زیرنویس‌ها

a	هوا
BHE	مبدل حرارتی گمانه
FC	فن کویل
in	ورودی
cooling load	بار سرمایش 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.

[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 Julay 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.