

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ده، دی ماه ۹۹

امکان سنجی استفاده از انرژی زمین گرمایی در ساختمان به منظور کاهش انتشار

آلاینده دی اکسید کربن در محیط (مطالعه موردی شهر همدان)^۱

مهدی شعبانین^۲

محمدهادی کابلی^{۳*}

mohamadhadiKaboli@gmail.com

علی دهقان بنادکی^۴

لیلا زارع^۵

تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: رفتار حرارتی ساختمان های زیر زمین، نسبت به ساختمان های روی زمین متفاوت است. نزدیکی دمای درون زمین به متوسط دمای سالانه محیط، باعث کاهش تبادل حرارت این بناها، نسبت به ساختمان های روی زمین می شود. کاهش مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد. هدف این پژوهش امکان سنجی استفاده از انرژی زمین گرمایی در ساختمان به منظور کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن در شهر همدان با شرایط اقلیمی سرد در سال ۱۳۹۸ می باشد.

روش بررسی: شبیه سازی با استفاده از نسخه ۱-۰-۸ نرم افزار انرژی پلاس انجام شد. مدل مورد بررسی، نمونه فضایی استاندارد ۹۰۰ اشری با کاربری مسکونی در نظر گرفته شد. در ابتدا، مدل روی سطح زمین مستقر و مصرف انرژی آن معادل ۰/۴۲۴ مگاوات ساعت بر مترمربع مشخص شد. سپس نمونه در گام های متوالی و مساوی ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ متری در عمق زمین واقع و در هر گام مصرف انرژی مشخص شد.

یافته ها: یافته ها نشان داد که در عمق های یادشده، به ترتیب معادل ۱۴/۵۱، ۲۸/۳۸، ۴۴/۵۶، ۵۷/۲۵، ۷۴/۷۰ و ۷۹/۰۷ درصد نسبت به حالت اولیه نیاز سالانه انرژی نمونه کاهش یافته است. از طرفی میزان انتشار آلاینده دی اکسید کربن در محیط نیز به ترتیب معادل ۰/۶۵ و ۱/۲۷ و ۱/۹۹ و ۲/۵۷ و ۳/۳۵ و ۳/۵۵ درصد کاهش یافته است.

۱- این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی معماری نویسنده اول با عنوان " تعیین ویژگی های بلوک حاوی پلی استایرن به منظور حداکثر بهره وری انرژی در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد " مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب است.
۲- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- استادیار گروه معماری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران. * (مسوول مکاتبات).
۴- استادیار گروه عمران، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.
۵- استادیار گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

بحث و نتیجه گیری: استقرار ساختمان درون زمین، انتشار آلاینده دی اکسید کربن در محیط را کاهش می دهد.

واژه‌های کلیدی: بهره وری انرژی در ساختمان، انرژی زمین گرمایی، شبیه سازی، دی اکسید کربن، همدان.

Feasibility of using geothermal energy in building in order to reduce carbon dioxide pollutant emissions in environment

(Case Study: Hamedan)

Mahdi Shaabani¹
Mohammad Hadi Kaboli^{2*}
mohamadhadiKaboli@gmail.com
Ali Dehghan Banadaki³
Leila Zare⁴

Admission Date: November 13, 2019

Date Received: August 15, 2019

Abstract

Background and Objective: The thermal behavior of underground buildings is different from that of above ground buildings. The approaching temperature of the inner layers of the earth to the average annual outdoor temperature reduces the heat exchange of these buildings compared to buildings on the ground. Reducing energy consumption reduces greenhouse gas emissions. The purpose of this study is to evaluate the feasibility of using geothermal energy in buildings to reduce carbon dioxide emissions in the city of Hamedan with cold climatic conditions in 2019 .

Method: The simulation was performed by using version 8-1-0 of Energy Plus software. In the model, a standard 900 Ashrae sample space with residential usage was considered. At first the building was located on the ground as default and its energy consumption was set to 0/424 MWh /m². In later stages, the sample is gradually placed in depth in successive steps equal to 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 and 3 meters.

Findings: findings showed that in each depth, 14.51%, 28.38%, 44.56%, 57.25%, 74.70% and 79.07% of the annual energy requirements of the sample space has been reduced. On the other hand, in each scenario, the carbon dioxide pollutant emissions as the main greenhouse gas, has been declined to 0.65, 1.27, 1.99, 2.57, 3.35 and 3.55 percent, respectively.

Discussion and Conclusion: Therefore, It was concluded that Placement of buildings under the ground reduces carbon dioxide pollutant emissions in environment.

Keywords: Energy efficiency in building, geothermal energy, Simulation, Carbon dioxide, Hamedan.

1- Department of Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Architecture, Damavand Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*(Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Damavand Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4 - Assistant Professor, Department of Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

به تدریج به فضای درونی ساختمان منتقل شده و از دمای خاک مجاور بنا کاسته می شود. در طول روز این چرخه به صورت معکوس عمل کرده و خاک که در طول شب با انتقال حرارت ذخیره به فضای داخلی ساختمان اکنون کاهش دما یافته، شروع به جذب گرما از محیط نموده و موجب خنک سازی ساختمان می شود. از آنجا که همدان در اقلیم سردسیر کشور واقع شده، این نوسانات دمایی در فصول مختلف سال نیز دیده می شود، لذا بهره گیری از انرژی گرمایی زمین برای ساختمان های این شهر از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در تحقیقات انجام شده توسط دهقان و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی پارامتری یک مبدل زمین گرمایی، به تاثیر مستقیم فاصله، طول و قطر لوله های تبادل حرارتی در کارایی سامانه اشاره شده است (۴). بنابر تحقیقات وردا و همکاران (۲۰۱۶) نصب سامانه پمپ حرارتی افقی گرمایش زمینی در عمق ۲ متری در مقایسه با عمق یک متری موجب افزایش ۶۰٪ بازده مفید حرارتی خروجی سامانه شد (۵). لی و همکاران (۲۰۱۶) به ترکیب سامانه تبادل حرارتی زمینی و شبکه لوله های متراکم درون یک دیوار در پنج اقلیم مختلف چین پرداختند. نتایج شبیه سازی های نرم افزاری نشان داد که ساختمان های واقع در اقلیم گرم دارای بیشترین ظرفیت در ذخیره سازی انرژی تحت چنین سامانه ای هستند (۶). واریادیناتا و همکاران (۲۰۱۶) نیز در قالب یک مطالعه موردی در هتل ها و آپارتمان های مسکونی کالیفرنیا، امکان بهره گیری از پمپ های گرمایش زمینی به منظور تامین شرایط مطلوب را بررسی کرده و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از این روش می تواند منجر به کاهش تقاضای بار حرارتی ساختمان شود (۷). تحقیقات کومارسونی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد در صورت استفاده از سامانه تبدیل حرارتی زمینی می توان عملکرد حرارتی هواساز های فضای داخلی را بهبود بخشید (۸). عمادیان رضوی و آیت الهی (۱۳۹۲) زمین را به منزله یک منبع انرژی نامحدود معرفی کرده و در مقاله خود ضمن ارائه اطلاعات و بررسی مروری انواع روش های استفاده از ثبات حرارتی زمین در راستای ایجاد آسایش حرارتی ساختمان، نتیجه گرفتند که لازم است در

میزان مصرف انرژی های فسیلی در جهان طی دهه های اخیر روندی رو به افزایش داشته و پیامدهای منفی آن بر زندگی انسان تاثیرات زیادی داشته است. گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه ای متان و دی اکسید کربن و اثرات آن به روی کاهش کمیت و افت کیفیت محصولات کشاورزی و تغییرات آب و هوایی و بارش باران های اسیدی ناشی از اکسیدهای نیتروژن و سولفور حاصل از احتراق سوخت های فسیلی موجب صدمه رسیدن به جنگل ها، دریاچه ها و مرداب ها شده است (۱). فراوانی بیماری های قلبی، تنفسی، کاهش دید شهری، و افزایش آلودگی های محیطی، پیامدهای نامطلوب روند روبه افزایش مصرف انرژی های فسیلی است. بررسی ها نشان می دهد که در میان فعالیت های گوناگون بشر، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به بخش انرژی بوده است و از میان گازهای گلخانه ای بیشترین انتشار با ۸۲٪، ۱۱٪ و ۵٪ به ترتیب به CO_2 ، CH_4 و NO_2 اختصاص داشته است (۲). ساختمان ها به عنوان یکی از بخش های مصرف کننده انرژی در شهر، به طور تقریبی ۴۰٪ درصد مصرف سالانه انرژی در دنیا را به خود اختصاص می دهند که این نرخ در کشورهای مختلف به دلیل برخورداری از ویژگی های متفاوت، سهم متفاوتی را به خود اختصاص داده است (۳). لذا کاهش میزان مصرف بالای انرژی در ساختمان ها یکی از محورهای اساسی محدود ساختن این روند است.

بهره برداری از انرژی زمین گرمایی از روش های مورد استفاده در کاهش تبادل حرارت درون و بیرون ساختمان است. محدودیت نوسان دما طی شبانه روز و نیز فصول مختلف سال در عمق زمین موجب استفاده از این منبع انرژی پاک در معماری سکونتگاه های انسانی شده است. استفاده از این روش برای تامین بخشی از نیاز انرژی ساختمان برای تامین شرایط مناسب آسایش حرارتی فضاهای درونی، به طور ویژه در ساختمان های مستقر در اقلیم های دارای نوسانات دمایی بالا، موثر است. در طول روز گرمای بالای محیط خارج توسط زمین جذب و ذخیره شده و در طول شب که به طور معمول دمای محیط بیرون پائین تر از محدوده آسایش قرار گرفته، این گرما

طراحی ساختمان های در پناه زمین، به ملاحظات معماریانه توجه شود (۹). طاهباز و دیگران (۱۳۹۲) نیز به بررسی خاصیت جرم حرارتی زمین برای فراهم آوردن شرایط حرارتی مناسب در تعدادی از بناهای تاریخی کاشان پرداخته و نتیجه گرفتند که دمای هوا در زیرزمین این ابنیه طی تابستان و زمستان از نوسان کمتری در مقایسه با دمای خارج برخوردار بوده و به شرایط آسایش حرارتی انسان نزدیک تر است (۱۰).

در ایده بهره گیری از انرژی حرارتی زمین، با فرو بردن ساختمان در درون زمین بخش هایی از پوسته بیرونی آن، به جای تماس مستقیم با هوای آزاد که نوسانات دمایی بالاتری دارد، در مجاورت با توده خاک قرار گرفته و در نتیجه میزان تبادل حرارت آن با خارج به دلیل نوسانات محدود دمای خاک در عمق زمین کاهش می یابد. بخش هایی از کالبد بنا که در بدنه خارجی آن واقع شده، پوسته ای به شمار می روند که فضاهای داخلی را در بر گرفته و آنها را از محیط خارج ساختمان جدا می سازند. در محدوده داخلی یک فضای بسته، با کنترل و تنظیم عواملی همچون دمای هوا، رطوبت نسبی هوا، سرعت حرکت هوا، شرایط آسایش نسبی به لحاظ حرارتی برای ساکنان تامین می شود. از جمله کارکردهای یک ساختمان، ایجاد محیطی در داخل بنا، متفاوت از اقلیم غیر معتدل خارج به منظور تأمین آسایش حرارتی ساکنان است. بر این اساس، دو حوزه دمایی متفاوت در مجاورت یکدیگر شکل گرفته که تنها مرز بین این دو محیط پوسته خارجی بنا است. شدت اختلاف دمای این دو حوزه در اقلیم های غیر معتدل بسیار بالا است و جداره ها را با تنش که از وجود اختلاف زیاد شرایط اقلیمی حاکم در دو طرف جداره حاصل گشته، روبرو می کند. با وجود این تنش ها، نحوه رفتار جداره در این میان بسیار حائز اهمیت خواهد بود (۱۱).

انتقال حرارت از طریق پوسته خارجی ساختمان معمولا به شکل هدایت حرارت، همرفت و تابش صورت گرفته که از بین آنها هدایت، مهمترین عامل اتلاف یا کسب حرارت از طریق پوسته خارجی ساختمان ها است. عواملی همچون ساعات بهره برداری مستمر در طی شبانه روز و تعداد کاربران موجب گردیده تا صرفه جویی در مصرف انرژی

روش بررسی

طراحی ساختمان های مسکونی از ضرورت و اولویت بالاتری نسبت به سایر کاربری ها برخوردار شود. این موضوع در اقلیم هایی که متوسط دمای هوا در آن نسبت به دمای آسایش دارای تفاوت قابل ملاحظه است، اهمیتی مضاعف پیدا می کند. لذا با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف امکان سنجی استفاده از انرژی زمین گرمایی در اماکن مسکونی شهر همدان به منظور کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن انجام یافت.

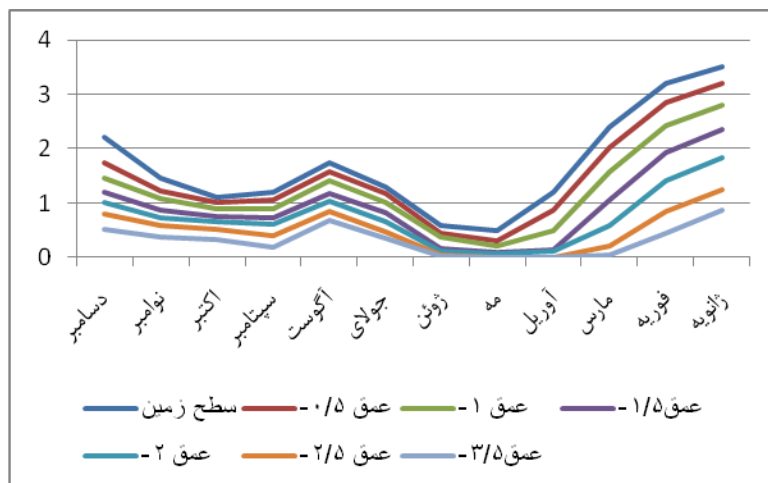
شهر همدان در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی واقع شده است. معدل سالانه دما در این شهرستان ۱۳/۱ و نوسان سالانه دما ۴۲/۲ درجه است. گاه در زمستان میزان برودت هوا به کمتر از ۳۲- درجه رسیده است. این در حالی است که حداکثر میزان دما در تابستان ها تا ۴۰ درجه بالا رفته است. متوسط نوسان دما در یک ماه غالباً بیش از ۱۰ درجه بوده و حتی به ۲۲ درجه نیز رسیده است. متوسط حداقل دما در شب های سرد زمستانی به ۸- و متوسط حداکثر دما در گرمترین روزهای تابستانی به ۳۴/۲ درجه بالای صفر می رسد (۱۲).

در این پژوهش توصیفی _ تحلیلی ابتدا نسبت به تحلیل تاثیر تغییر ارتفاع استقرار ساختمان در زمین در کاهش مصرف انرژی با همانندسازی کنترل شده شرایط از طریق شبیه سازی نرم افزاری اقدام شد. در این پژوهش با استقرار نمونه منتخب ۹۰۰ پیشنهادی استاندارد اشری به عنوان مدل در عمق های مختلف زمین در شهر همدان نسبت به مشاهده رفتار حرارتی و تبادل حرارت آن با زمین و محیط پیرامون از طریق پوسته بیرونی اقدام شد. این مدل نمونه شامل فضایی به ابعاد ۸*۶*۲/۷ متر بوده که در یکی از دیوارهای واقع شده در طول این فضا، دو پنجره مستطیل شکل افقی به ابعاد ۳*۲ متر به صورت متقارن قرار گرفت. همچنین برای تعیین اجزای تشکیل دهنده پوسته این فضا از مصالح متداول برای ساخت ابنیه مسکونی استفاده شد. براین اساس دیوارها با بلوک سفالی به عرض ۲۰، سقف و کف از دال بتنی به ضخامت ۲۰ و پنجره ها به صورت دوجداره

یافته ها

بر اساس تحلیل های اولیه حاصل از شبیه سازی نرم افزاری مدل نمونه، با افزایش عمق استقرار مدل نمونه در زمین نیاز به مصرف انرژی به منظور تامین شرایط آسایش حرارتی فضای درونی کاهش یافته است. لازم به ذکر است که روند کاهش بار حرارتی در عمق های اولیه و سطحی که فاصله کمتری تا سطح زمین داشته از شدت بیشتری برخوردار بوده اما به تدریج با افزایش عمق نسبت به سطح زمین، از این شدت کاسته شده و منحنی آن شیب کمتری یافته است، به طوری که از عمق خاصی به بعد شاهد محدودیت این کاهش نیاز بار حرارتی بوده و با تثبیت دمای لایه های درونی زمین که به میزان متوسط دمای سالانه سطح زمین نزدیک شده، رفتار حرارتی درون فضا نیز تثبیت شده و افزایش عمق تاثیر چندانی بر این شاخص نداشته است. با توجه به متوسط دمای ماهانه در ایام مختلف سال، از اواسط اردیبهشت تا اوایل تیر و نیز از اوایل شهریور تا اواسط مهر دمای محیط در محدوده آسایش قرار داشته و بدون استفاده از تجهیزات سرمایش و یا گرمایش مکانیکی، شرایط آسایش حرارتی تقریباً قابل تامین است. لذا در این ایام، نسبت به دیگر ماه های سال میزان مصرف انرژی در شرایط یکسان به حداقل ممکن کاهش و در ماه های دیگر به تناسب میزان انحراف متوسط دمای محیط تا دمای آسایش محیطی، میزان مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش محدوده درونی فضا افزایش یافته است. این وضعیت در عمق های پائین تر نسبت به سطح زمین نیز با تغییراتی اندک قابل در شکل ۱ مشاهده است.

در نظر گرفته شدند. از آنجا که مدل نمونه تنها در جبهه ای از ساختمان که دارای دو بازشوی شفاف بوده در معرض هوای آزاد قرار داشته و سایر دیوارها و کف در زمین فرو رفته اند، لذا در جانمایی مدل نمونه، جبهه یاد شده در سمت جنوب واقع شد تا حداکثر انرژی خورشیدی را دریافت کند. همچنین دمای مبنای آسایش به منظور استفاده از سامانه های گرمایشی و سرمایشی مکانیکی، به ترتیب ۱۸ و ۲۷ درجه در نظر گرفته شد. به منظور انجام شبیه سازی با توجه به فرضیات پیش گفته، تنها متغیری که در مراحل مختلف آزمون دچار تغییر شده، عمق مدفون شدن بنا در زمین است، به طوری که مدل نمونه ابتدا بر روی سطح زمین فرض شده و بنابر اطلاعات پایه داده های اقلیمی، میزان بار حرارتی مورد نیاز به منظور تامین شرایط آسایش حرارتی درون فضا مشخص شد. در مراحل بعد به صورت تدریجی با گام های مساوی به ارتفاع نیم متر نسبت به یکدیگر، بنا در عمق های پائین تر واقع شده و مجدداً در شرایط جدید بار حرارتی مورد نیاز تعیین شد. این وضعیت تا عمق ۳ متری از سطح زمین ادامه یافته و نتایج در هر گام، مشخص و میزان صرفه جویی در مصرف انرژی به منظور تامین شرایط آسایش حرارتی درون فضا معین شد. با توجه به این که در تحقیقات مشابه معمولاً از نرم افزار انرژی پلاس به منظور شبیه سازی فضا و عملکرد حرارتی آن استفاده شده است (۱۳). در این تحقیق نیز از نسخه ۰-۱-۸ همان نرم افزار که توانایی شبیه سازی پوسته های همجوار خاک بنا را دارد، استفاده شد (۱۴).

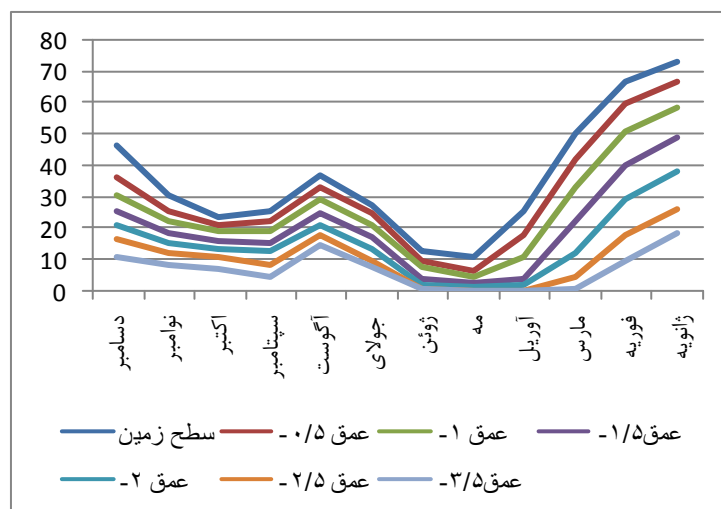


شکل ۱- میزان مصرف ماهانه انرژی برحسب MWh در عمق های متفاوت

Figure 1. Monthly energy consumption at different depths (MWh)

مصرف انرژی برحسب هر مترمربع زیربنای داخلی فضا در شکل ۲ ارائه شده است.

به منظور افزایش امکان مقایسه پذیری یافته ها و نیز نمایش تاثیر و ارتباط ابعاد فیزیکی مدل نمونه بر میزان مصرف انرژی مورد نیاز تجهیزات مکانیکی سرمایشی و گرمایشی فضا، میزان

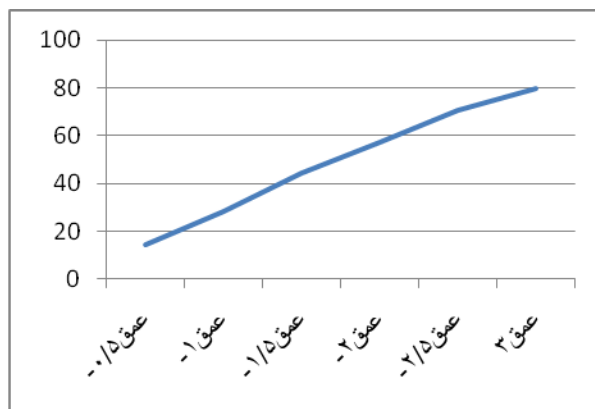


شکل ۲- میزان مصرف ماهانه انرژی برحسب KWh در عمق های متفاوت به ازای هر مترمربع

Figure 2. Monthly energy consumption at different depths per square meter (MWh)

افزایش هر گام و استقرار ساختمان در عمق های پائین تر، کاهش محسوس در میزان مصرف انرژی رخ داده اما به تدریج از شیب منحنی کاسته شده است.

میزان کاهش مصرف انرژی مدل نمونه در عمق های مختلف در شکل ۳ ارائه شده است. شیب منحنی در این نمودار در عمق های اولیه و در نزدیکی سطح زمین نسبتاً زیاد بوده و به ازای



شکل ۳- درصد کاهش مصرف انرژی در عمق های متفاوت

Figure 3. Percentage of energy consumption reduction at different depths

گاز همدان ملاک عمل قرار گرفت. در زمینه برق مصرفی واحدهای مسکونی شهر همدان جدیدترین آمار مربوط به سال ۱۳۹۶ و در حوزه گاز طبیعی، بخشی از این آمار مربوط به سال ۱۳۹۳ و بخشی دیگر مربوط به سال ۱۳۹۴ است. اطلاعات مورد نیاز در زمینه مصرف برق در جدول ۱ و اطلاعات مورد نیاز در زمینه مصرف گاز طبیعی در جدول ۲ را ارائه شده است.

به منظور تحلیل یافته های حاصل از پژوهش در کاهش گازهای گلخانه ای شهر همدان، دو حوزه کلی مصرف برق به منظور سرمایش در فصول گرم و مصرف گاز طبیعی در فصول سرد سال به منظور گرمایش فضاهای داخلی ساختمان های مسکونی مورد توجه واقع شد. بر این پایه، آخرین آمارهای رسمی موجود شرکت های خدمات رسان در زمینه توزیع برق و

جدول ۱- مصرف انرژی برق در ساختمان های مسکونی همدان

Table 1. Electricity consumption in Hamadan residential buildings

تعداد مشترکین خانگی (تعداد)	فروش انرژی در بخش خانگی (میلیون کیلو وات ساعت)	سرانه مصرفی هر مشترک (کیلو وات ساعت)	
۵۸۹۳۱۶	۱۰۹۳	۱۸۴۵/۶۹	استان همدان
۲۳۱۴۵۶	۴۵۲	۱۹۵۲/۸۵	شهرستان همدان

جدول ۲- مصرف انرژی گاز طبیعی در ساختمان های مسکونی همدان

Table 2. Natural gas energy consumption in Hamadan residential buildings

واحد	مقدار	
تعداد	۵۷۸۶۴۶	تعداد انشعابات گاز خانگی استان همدان (۹۳)
نفر	۱۳۲۱۶۸۵	تعداد مصرف کنندگان گاز خانگی استان همدان (۹۳)
میلیون متر مکعب	۱۳۷۹	کل مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی استان همدان (۹۴)
مترمکعب/نفر	۷۹۲	سرانه مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی استان همدان (۹۴)
مترمکعب/انشعاب	۱۸۰۹	سرانه مصرف هر انشعاب گاز طبیعی در بخش خانگی استان همدان (۹۴)

فضای داخلی در نظر گرفته می شود (۱۵). همچنین در بخش خانگی حدود ۷۱٪ از گاز طبیعی صرف گرمایش فضاهای داخلی در فصول سرد سال می شود (۱۶). با مبنا قرار دادن درصدهای فوق، سرانه های برق و گاز طبیعی مصرفی هر مشترک در بخش خانگی همدان به منظور تامین نیازهای سرمایشی و گرمایشی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- سرانه مصرف برق و گاز طبیعی مشترکین بخش خانگی استان همدان به منظور سرمایش و گرمایش ساختمان

Table 3- Per capita of electricity and natural gas consumption in Hamadan province for cooling and buildings heating

سرانه	درصد سهم	سرانه کلی هر مشترک	
سرمایش/گرمایشی	سرمایش/گرمایش		
۴۸۲/۲۱ (کیلو وات ساعت/سال)	٪۲۶	۱۸۴۵/۶۹ (کیلو وات ساعت/سال)	برق سرمایشی
۱۲۸۴/۳۹ (متر مکعب/سال)	٪۷۱	۱۸۰۹ (متر مکعب/سال)	گاز طبیعی گرمایشی

برپایه شکل ۳ در هریک از شش راهبرد ارائه شده به منظور استقرار ساختمان در عمق مشخصی از سطح زمین، میزان کاهش کل مصرف انرژی در بخش سرمایشی و گرمایشی نمونه مشخص شده است. ترکیب نتایج حاصل از کاهش مصرف انرژی براساس شکل ۳ با میزان مصرف انرژی مشترکین خانگی استان همدان، با استناد به آخرین آمارهای رسمی مشترکان شرکت های خدمت رسان برق شامل ۵۸۹۳۱۶ مشترک، گاز شامل ۵۷۸۶۴۶ مشترک و به طور متوسط ۵۸۳۹۸۱ مشترک در جدول ۴ ارائه شده است.

درصدی از کل انرژی برق مصرفی ساختمان صرف سرمایش و بخشی از انرژی گاز مصرفی صرف گرمایش فضاهای داخلی می شود، لذا باید در محاسبات، سهم هریک از حامل های انرژی مذکور که فقط در بخش سرمایشی و گرمایشی مصرف شده منظور شود. بر اساس روال معمول حدود ۲۶٪ از انرژی برق مورد استفاده در ساختمان های مسکونی به منظور سرمایش

به منظور همسان سازی یافته، بر مبنای تبدیل واحدهای بین المللی، هر یک متر مکعب گاز طبیعی معادل ۱۰/۵۵ کیلو وات ساعت برق در نظر گرفته شده است (۱۷). براین اساس و به استناد جدول ۳ میزان سرانه کل انرژی مصرفی در بخش خانگی ساختمان های استان همدان به منظور سرمایش و گرمایش را به شرح زیر برآورد شده است:

تبدیل سرانه گاز طبیعی از متر مکعب به کیلو وات ساعت در سال (کیلو وات ساعت/سال) $13550/31 = 10/55 * 1284/39$

سرانه کل انرژی مصرفی:

(کیلو وات ساعت/سال) $14032/52 =$ (معادل گاز

طبیعی) $13550/31 + 482/21$ (برق)

جدول ۴- پیش بینی میزان کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی بخش خانگی استان همدان

Table 4. Forecasting the Reduction of Cooling and Heating Energy Consumption in Hamadan Province

کاهش نسبت به حالت پایه		مصرف سالانه انرژی سرمایش/گرمایش (مگاوات ساعت/سال)	عمق تداخل ساختمان و زمین (متر)	
درصد	مقدار (مگاوات ساعت/سال)			
۱۴/۵۱	۱۱۸۹/۰۵	۷۰۰۵/۶۷	۰/۵	راهبرد شماره یک
۲۸/۳۸	۲۳۲۵/۶۶	۵۸۶۹/۰۶	۱	راهبرد شماره دو
۴۴/۵۶	۳۶۵۱/۵۶	۴۵۴۳/۱۶	۱/۵	راهبرد شماره سه
۵۷/۲۵	۴۶۹۱/۴۸	۳۵۰۳/۲۴	۲	راهبرد شماره چهار
۷۴/۷	۶۱۲۱/۴۵	۲۰۷۳/۲۷	۲/۵	راهبرد شماره پنج
۷۹/۰۷	۶۴۷۹/۵۶	۱۷۱۲/۱۵	۳	راهبرد شماره شش

میزان و سهم بخش خانگی، تجاری و عمومی کشور طی سال ۱۳۹۵ در تولید و انتشار گازهای گلخانه ای در جدول ۵ ارائه شده است.

فعالیت بخش های مختلف که مستلزم مصرف انرژی است، منجر شده تا سالانه مقادیر قابل توجهی از گازهای آلاینده و گلخانه ای منتشر شود. براساس آخرین گزارش های موجود،

جدول ۵- انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور در سال ۱۳۹۵

Table 5. Greenhouse gas emissions from country energy production and consumption in 2016

N2O	CH4	CO2	SPM	CO	SO3	SO2	NOX	
۵۳۴	۴۳۴۸	۱۴۹۰۰۸۵۲۱	۱۲۴۴۸	۵۲۰۸۳	۴۲۹	۳۸۴۱۸	۱۲۷۶۷۱	میزان انتشار (تن)
۴/۸۶	۶/۹۲	۲۵/۴۴	۳/۵۵	۰/۵۲	۴/۷۵	۴/۳۵	۶/۷۷	سهم بخش خانگی، تجاری و عمومی (درصد)
۰/۱	۰/۸	۷۳۲۹/۳	۴/۴	۱۲۴/۵	۰/۱	۱۱/۱	۲۳/۶	سرانه انتشار (کیلوگرم/نفر)

در زمین، بتوان درصد و میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای ناشی از مصرف انرژی در بخش خانگی را کاهش داد. پیش بینی مقادیر این کاهش برای دی اکسید کربن که اصلی ترین گاز گلخانه ای است، برای ساختمان های مسکونی استان همدان در قالب هریک از راهبردها در جدول ۶ ارائه شده است.

براساس جدول ۵ از میان انواع گازهای گلخانه ای ناشی از تولید و مصرف انرژی در بخش خانگی، تجاری و عمومی کشور، دی اکسید کربن بیشترین میزان، سهم و سرانه را به خود اختصاص داده است. با توجه به این که هر کیلو وات ساعت تولید برق از نیروگاه بخاری ۸۱۷ گرم کربن دی اکسید منتشر می کند (۱۸). انتظار می رود با اعمال راهبردهای شش گانه استقرار ساختمان

جدول ۶- پیش بینی کاهش مقدار انتشار دی اکسیدکربن ناشی از اعمال راهبردهای شش گانه در ساختمان های خانگی

استان همدان

Table 6. Predicting the Reduction of Carbon Dioxide Emissions due to Six-Scenario Implementation in residential buildings of Hamedan province

عمق تداخل ساختمان و زمین (متر)	پیش بینی میزان کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی (مگاوات ساعت/سال)	پیش بینی کاهش مقدار دی اکسیدکربن (میلیون تن/سال)	درصد کاهش انتشار در مقایسه با سال پایه (۱۳۹۵)
۰/۵	۱۱۸۹/۰۵	۰/۹۷	۰/۶۵
۱	۲۳۲۵/۶۶	۱/۹۰	۱/۲۷
۱/۵	۳۶۵۱/۵۶	۲/۹۸	۱/۹۹
۲	۴۶۹۱/۴۸	۳/۸۳	۳/۵۷
۲/۵	۶۱۲۱/۴۵	۵/۰۰	۳/۳۵
۳	۶۴۷۹/۵۶	۵/۲۹	۳/۵۵

بحث و نتیجه گیری

میزان صرفه جویی در مصرف انرژی روند بارز و قابل توجهی داشته، اما بعد از رسیدن به اعماقی که دمای لایه های زمین دارای نوسانات محدودتر شده و تقریباً از ثبات حرارتی در طول سال برخوردار است، افزایش گام های ناشی از عمق استقرار ساختمان، تاثیر چندانی بر میزان مصرف انرژی ندارد. در مناطقی نظیر همدان کاهش مصرف انرژی ناشی از استقرار ساختمان در درون زمین، می تواند پیامدهای منفی زیست محیطی ناشی از مصرف بالای انرژی را کاهش دهد. نتایج تحقیق نشان داد که برای یک ساختمان با کاربری مسکونی که مشخصات آن طبق نمونه مدل استاندارد ۹۰۰ اشری تعریف شده، در صورت استقرار در اعماق ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ متری از سطح زمین، به ترتیب معادل ۱۴/۵۱، ۲۸/۳۸، ۴۴/۵۶، ۵۷/۲۵ و ۷۴/۷۰ درصد در میزان انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش به منظور رساندن دمای بخش داخلی نمونه به محدوده آسایش حرارتی در طول سال صرفه جویی می شود. در این وضعیت های استقرار، میزان انتشار دی اکسیدکربن به عنوان اصلی ترین گاز گلخانه ای در محیط، برای نمونه یاد شده

در شرایط یکسان، رفتار حرارتی ساختمان های واقع شده در زیر زمین با ساختمان های مستقر بر سطح زمین متفاوت است. براساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی مدل نمونه استاندارد یک فضا در عمق های متفاوت زمین در شهر همدان مشاهده شد که با افزایش عمق استقرار ساختمان در زمین، میزان نیاز به انرژی برای رساندن دمای داخل فضا به محدوده آسایش حرارتی کاهش یافته است. اگرچه این میزان کاهش نیاز به انرژی در اعماق مختلف، متفاوت بوده اما پس از یک عمق مشخص به دلیل ثبات یافتن دمای لایه های درونی زمین در یک نقطه ثابت شده و از آن پس تغییر بارزی در روند یاد شده مشاهده نشد. در تحلیل این موضوع باید به دمای لایه های زمین در اعماق مختلف اشاره شود. در لایه های بالاتر، دمای زمین به دمای هوای سطح زمین نزدیک است و با افزایش عمق، اختلاف این دو درجه حرارت، نمود بیشتری یافته، تا در عمقی که تقریباً دمای زمین در مقدار ثابتی نزدیک به متوسط درجه حرارت سالانه محیط واقع می شود. بنابراین در گام های استقرار مدل نمونه در عمق زمین، به دلیل روند تدریجی افزایش اختلاف دمای لایه های درونی زمین و سطح زمین،

استقرار در زمین تا محدوده ای معین، از دامنه نوسانات دما کاسته شده که همین موضوع تاثیر مثبت خود را بر رفتار حرارتی ساختمان و کاهش نیاز به مصرف انرژی نشان می دهد. لذا در مجموع می توان گفت نتایج به دست آمده از این پژوهش به طور کلی ضمن همگرایی با نتایج تعدادی از تحقیقات پیشین که به آنها اشاره شد، تایید می کند که افزایش عمق استقرار ساختمان در زمین تارتفاعی مشخص، کارایی حرارتی فضاهای داخلی را بهبود بخشیده و تاثیر نوسانات دمای محیط خارجی بر محدوده آسایش حرارتی فضای داخلی ساختمان را کاهش می دهد.

با استناد به یافته ها و در محدوده شرایط انجام پژوهش که متغیرهای موثر در کسب این نتایج را بیان می کند، به طور کلی می توان گفت، با بهره گیری از انرژی زمین گرمایی و کاهش مصرف انرژی های فسیلی به منظور رساندن دمای فضای داخلی به محدوده آسایش، میزان انتشار آلاینده دی اکسید کربن را در محیط می توان کاهش داد. برای تحقیقاتی که ممکن است در آینده به منظور تداوم و تکمیل تحقیق حاضر پی گرفته شود، پیشنهاد می شود موضوعاتی نظیر هزینه های ناشی از خاکبرداری به منظور استقرار ساختمان در عمق زمین و بررسی مقرون به صرفه بودن هزینه های یاد شده در مقایسه با کاهش هزینه مصرف انرژی، بررسی امکان تهویه و برخورداری از هوای سالم و بهداشتی برای سلامت ساکنان این ساختمان ها، امکان بهره مندی فضاهای درونی از نور کافی برای روشنایی مناسب و نیز استفاده از انرژی گرمایشی ناشی از تابش خورشید در فصول سرد، مورد توجه پژوهشگران واقع شود.

Reference

1. Barimani M, Kabi nejadian A. Renewable energy and sustainable development in iran. *Renewable and New Energies*. 2014;1(1):21-26.
2. Bazazan F, Khosravani N. Measurement of carbon dioxide emissions by different sectors of production and households due to energy consumption in Iran.

به ترتیب معادل ۰/۶۵ و ۱/۲۷ و ۱/۹۹ و ۲/۵۷ و ۳/۳۵ و ۳/۵۵ درصد کاهش یافت.

نتایج به دست آمده از این پژوهش را می توان با نتایج برخی از پژوهش های قبلی خارجی و داخلی مقایسه کرد. در حوزه پژوهش های خارجی وردا و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود نشان دادند که چنانچه سامانه پمپ حرارتی افقی گرمایش زمینی از عمق ۱ متری به عمق ۲ متری سطح زمین انتقال داده شود، بازده مفید حرارتی خروجی سامانه ۶۰٪ افزایش می یابد. پژوهش حاضر نیز ضمن تایید کلی تاثیر مثبت افزایش عمق استقرار ساختمان بر بهبود رفتار حرارتی ساختمان، نشان داد که تغییر استقرار ساختمان از عمق ۱ متری به عمق ۲ متری سطح زمین، میزان صرفه جویی در مصرف انرژی به منظور گرمایش و سرمایش را از ۲۳۲۵/۶۶ به ۴۶۹۱/۴۸ مگا وات ساعت در سال می رساند. لی و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود نشان دادند که ساختمان های واقع در اقلیم گرم دارای بیشترین ظرفیت در ذخیره سازی انرژی تحت سامانه های حرارتی زمینی هستند. در پژوهش حاضر که با توجه به فرض اولیه آن، ساختمان مورد بررسی در اقلیم سرد کشور قرار گرفته، مشخص شد که قابلیت ذخیره سازی انرژی زمین گرمایی در پوسته کالبدی ساختمان واقع در اقلیم سرد نیز می تواند بر رفتار حرارتی ساختمان موثر بوده و آن را ارتقا دهد. واریادیناتا و همکاران (۲۰۱۶) با تحقیق خود نشان دادند که پمپ گرمایش زمینی می تواند منجر به کاهش تقاضای بار حرارتی ساختمان شود. پژوهش فعلی نیز به استناد نتایج به دست آمده ضمن تایید نتایج پژوهش ایشان، نشان داد که با افزایش عمق استقرار ساختمان در زمین تا محدوده ای مشخص، می توان تقاضای بار حرارتی به منظور تامین سرمایش و گرمایش بنا را کاهش داد و در نتیجه با کاهش نیاز به مصرف انرژی های فسیلی در تامین سرمایش و گرمایش ساختمان، از میزان تولید و انتشار دی اکسید کربن در محیط کاست. در حوزه پژوهش های داخلی نیز طاهباز و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود نشان دادند که دمای هوا در فضای زیر زمین ابنیه تاریخی کاشان طی تابستان و زمستان نوسان کمتری در مقایسه با دمای خارج دارد. پژوهش حاضر نیز در همین راستا نشان داد که با افزایش عمق

10. Tahbaz M, Jalilian Sh, Musavi F. The role of soil thermal mass in controlling the environmental conditions of buildings. *Soffeh*. 2014;24(3):31-51.
11. Purdeihimi S, Gosili B. Investigation of thermal identities of exterior shell walls by case study: Ardabil rural areas. *Rural House and Environment*. 2015;34(150):53-70.
12. Malekhoseini A, Dargahi M. Analysis of features and principles of architecture compatible with the cold climate: case study Hamedan. *Zagros Outlook*. 2010;2(4):23-35.
13. Barbaresi A, Torreggiani D, Bennis S, Tassinari P. Undergroud cellar thermal simulation: Definition of a method for modelling performance assessment based on experimental calibration. *Energy and Buildings*. 2014;(76):3763-372.
14. Ghiaee M, Mahdavinia M, Tahbaz M, Mofidi shemirani M. Methodology of Selection Energy Simulator applied softwares in Architecture field. *City Identity*. 2013;7(13):45-55.
15. Iran Energy Efficiency Organization. Optimization of power consumption in residential and office lighting systems. Tehran: Iran Energy Efficiency Organization; 2013.
16. Nakhaee niazi G. Energy consumption management in residential buildings (natural gas energy). Third edition. Tehran: Farhang-e ruz; 2013.
17. Gas Consumption. The calculator provides indicative conversion of gas consumption in cubic metres to kilowatt hours and megawatt hours. [Internet]. 2019[undate; cited 2019 April 20th]. Available from: <http://www.calculate.org/en/energy-fuel/gas-consumption.html>
- Environmental Economics and Natural Resources. 2016;(1):1-25.
3. Rafieyan M, Fath jalali A, Dadashpur H. Investigation and feasibility of the effect of form and density of residential blocks on city energy consumption, Case study of Hashtgerd new town. *Armanshahr Architecture and Urban*. 2011;4(6):107-116.
4. Dehghan B, Sisman A, Aydin M. Parametric investigation of helical ground heat exchangers for heat pump applications. *Energy and Buildings*. 2016;(127):999-1007.
5. Verda V, Cosentino S, Lo Russo S, Sciacavelli A. Second law analysis of horizontal geothermal heat pump systems. *Energy and Buildings*. 2016;(124):236-240.
6. Li A, Xu X, Sun Y. A study on pipe – embedded wall integrated with ground source- coupled heat exchanger for enhanced building energy efficiency in diverse climate regions. *Energy and Buildings*. 2016;(123):139- 157.
7. Wiryadinata S, Modera M, Jenkins B, Karnbluth K. Technical and economic feasibility of unitary, horizontal ground-loop geothermal heat pumps for space conditioning in selected California climate zone. *Energy and Buildings*. 2016;(119):164- 172.
8. Kumar soni S, Pandey M, Nath Bartaria V. Experimental analysis of a direct expansion ground coupled heat exchange system for space cooling requirements. *Energy and Buildings*. 2016;(119):85- 92.
9. Emadian razavi Z, Ayatollahi M. Taking advantage of the earth's thermal stability to provide thermal comfort. *Soffeh*. 2014;24(1):33-42.

in greenhouse gas emissions: An econometric approach. Iran Energy. 2014; 17(3):23-38.

18. Sadeghi H, Nuri shirazi M, Biabani khameneh K. The role of electricity generation from renewable sources