Journal of Research and Urban *Planning*

Autumn 2023. Vol 14. Issue 54
ISSN (Print): 2228-5229 ISSN (Online): 2476-3845
https://jupm.marvdasht.iau.ir/

Research Paper

Evaluation of Energy Consumption in Earth Sheltered House as a Sustainable Pattern in Urban Environment (Case study: Shiraz City)

Ali Eghtedari: PhD Student; Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.
Tahereh Nasr*: Associate Professor; Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.
Khosrow Movahed: Associate Professor; Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.
Zahra Barzegar Marvasti: Assistant Professor; Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

ARTICL EINFO

Received:2021/11/12
Accepted:2022/02/21
PP: 51-70

Use your device to scan and read the article online

Keywords: Urban Planning, Underground Spaces, Sustainable Pattern, Earth Sheltered House, Energy Saving.

Abstract

In modern times, paying attention to controlling energy consumption in the city and its components, including buildings on a small and large scale, has particular importance, and a comprehensive look at urban planning can be very effective in achieving this goal. Supplying the required energy for cooling and heating of buildings is one of the main concerns of energy consumption management and in this regard, earth sheltered houses as a sustainable pattern by creating a constant temperature quality indoors, can make an effective contribution for reducing building energy utilization and in a higher position energy consumption of the city. In the present study, the thermal performance of the courtyard earth sheltered building was evaluated and its energy consumption was calculated in different cases of land subsidence and was compared with a non- ground shelter model located on the ground. In the general process of research, after conducting preliminary studies, building modeling was done with SketchUp software and then soil temperature in Shiraz was determined at different depths. In the next step, the climatic data of Shiraz city were extracted using Meteonorm software and finally thermal simulation was performed in Energyplus software. The simulation results showed that among all the depressions of the model in deep soil, the graph related to cooling energy at a depth of 6 meters, shows annual savings about 44% compared to the non-ground-shelter model and The heating energy diagram of the building in the same depth shows an 18% annual increase compared to the ground-based model; But eventually, the total annual heating and cooling energy of the model at a depth of 6 meters shows a decrease of 32% compared to the model located on the ground, which is in fact the highest amount of savings among other conditions.

Citation: Eghtedari, A., Nasr, T., Movahed, K., & Barzegar Marvasti, Z. (2023). **Evaluation of Energy Consumption in Earth sheltered House as a Sustainable Pattern in Urban Environment (Case study: Shiraz City)**. Journal of Research and Urban Planning, Vol 14, No 54, PP:51-70.
DOI: 10.30495/JUPM.2022.29273.4035
DOR:

* **Corresponding author:** Tahereh Nasr, **Tel:** +987136410041 **Email:** Nasr@iaushiraz.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Improving energy efficiency in the residential sector of urban areas will become an important part of achieving sustainable development in the near future, and how to reduce energy consumption and thus reduce greenhouse gas emissions is one of the most important issues related to sustainability and urban planning. In most countries, buildings are responsible for at least 40% of total energy consumption and in developing countries, the current figure is rising. In addition, energy consumption in the residential sector in developing countries is about 80% of total energy consumption and will increase in the future. Using land as a building material can be a powerful tool in fighting against increasing energy consumption and its destructive environmental effects. In this regard, earth sheltered structures as a kind of creative design is defined as an alternative to conventional buildings built on the ground about reducing Energy consumption. In this study, the consumption of cooling and heating energy in the submerged species (atrium) in accordance with the architectural model of traditional houses in Shiraz (central courtyard model), in the form of a new building model is investigated. The purpose of this study is comparing the consumption of cooling and heating energy among atrium earth sheltered species with non-ground shelter of the same model. The main question of the research is to what extent utilizing earth sheltered model can be effective in reducing the cooling and heating loads compared to its similar model on the ground level.

Methodology

At the beginning of the research, reputable scientific sites and articles were explored and the general stages of the research began. In order to enter the required information into Energy Plus 2011 software as thermal simulation software and to determine the heating and cooling loads of the model in different cases, different research steps were taken. In the first step, Shiraz city weather information was extracted from Meteonorm software. The second step was dedicated to determining the soil temperature at different depths of the earth in Shiraz city using the relevant formula. And in the third step, three-dimensional modeling of the building was built in SketchUp software so that by completing and entering the required initial information, the thermal simulation of the model in different conditions of ground and non-ground as a final step can be done.

Results and discussion

In this study, the consumption of cooling and heating energy in the central courtyard or atrium species as an old pattern in the traditional architecture of Shiraz with a hot and dry climate, in modern form was investigated. Heating and cooling diagrams show that with the immersion of the model in the soil, the cooling need will be reduced and the heating need will be increased to some extent.

Conclusion

Examination of the results of thermal simulation of earth sheltered residential building in Shiraz city in different situations of deep sinking, has shown that by gradually sinking the model in the ground, saving total heating and cooling energy of the building and reducing its cooling needs could be occurred. The sum of the annual heating and cooling loads indicates that the simulated construction model, in the second to sixth cases compared to the similar non-earthen model (the first case), has total annual heating and cooling needs and their amounts are respectively 17%, 19%, 20%, 28%, 32% savings. The highest amount of savings is related to the installation of the model at depth 6 meters..

فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی شهری

دوره ۱۴، شماره ۵۴، تابستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۵۲۲۹- ۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

https://jupm.marvdasht.iau.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی مصرف انرژی در مسکن زمین پناه به عنوان الگویی پایدار در محیط شهری (مطالعه موردی: شهر شیراز)

علی اقتداری: دانشجوی دکتری؛ گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

طاهره نصر[*] دانشیار؛ گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

خسرو موحد: دانشیار؛ گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

زهرا برزگر مروستی: استادیار مدعو، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

شماره صفحات: ۷۰-۵۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

برنامه‌ریزی شهری، الگوی پایدار، مسکن زمین پناه، صرفه جویی در مصرف انرژی

چکیده

در دوران معاصر، توجه به کنترل مصرف انرژی در شهر و اجزاء تشکیل‌دهنده آن از جمله ساختمان‌ها در مقیاس‌های کوچک و بزرگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و نگاهی جامع به برنامه‌ریزی شهری می‌تواند در راه رسیدن به این هدف بسیار تأثیر گذار باشد. تامین انرژی مورد نیاز سرمایش و گرمایش ساختمان ها از دغدغه های اصلی مدیریت مصرف انرژی است و در این راستا مسکن زمین‌پناه به عنوان الگویی پایدار با ایجاد کیفیت دمایی ثابت در فضای داخلی، می تواند سهم مؤثری در کاهش مصرف انرژی ساختمان و در مقیاسی بالاتر مصرف انرژی شهر داشته باشد. در پژوهش پیش رو، عملکرد حرارتی بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی به عنوان یکی از شاخص‌ترین گونه‌های این تکنیک ساختمان‌سازی پایدار مورد ارزیابی قرار گرفت و مصرف انرژی آن در حالات متفاوت فروروی در خاک محاسبه و با مدل غیر زمین‌پناه مستقر بر سطح زمین مقایسه شد. در روند کلی پژوهش، پس از انجام مطالعات اولیه، مدل‌سازی ساختمان با نرم‌افزار اسکچاپ انجام شد و سپس دمای خاک در شهر شیراز، در اعماق متفاوت تعیین گردید. در مرحله بعد داده‌های اقلیمی شهر شیراز با استفاده از نرم‌افزار متئونورم استخراج گردید و در نهایت شبیه‌سازی حرارتی در نرم افزار انرژی پلاس انجام شد. نتایج نشان داد که از میان تمامی حالات فرورفتگی مدل در اعماق خاک، نمودار مربوط به انرژی سرمایشی در عمق ۶ متری زمین، صرفه‌جویی سالیانه به میزان تقریبی ۴۴ درصد را نسبت به مدل غیر زمین پناه و نمودار انرژی گرمایشی بنا در همان عمق، افزایش ۱۸ درصدی سالیانه، نسبت به مدل مستقر بر سطح زمین را نشان می‌دهد؛ اما در نهایت، مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی سالیانه مدل در عمق ۶ متری زمین، کاهشی به اندازه ۳۲ درصد را نسبت به مدل مستقر بر سطح زمین نشان می‌دهد که در حقیقت بیشترین میزان صرفه جویی در میان سایر حالات است. لذا بهره گیری از این تکنیک ساخت و ساز می تواند در کاهش مصرف انرژی موفق باشد.

استناد: اقتداری، علی؛ نصر، طاهره؛ موحد، خسرو؛ برزگر مروستی، زهرا . (۱۴۰۲). **ارزیابی مصرف انرژی در مسکن زمین پناه به عنوان الگویی پایدار در محیط شهری(مطالعه موردی: شهر شیراز).** فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۱۴، شماره ۵۴، مرودشت: صص ۵۱-۷۰.

DOI: 10.30495/JUPM.2022.29273.4035

DOR:

[*] . **نویسنده مسئول:** طاهره نصر، **تلفن:** ۰۷۱-۳۶۴۱۰۰۴۱ ، **پست الکترونیکی:** Nasr@iaushiraz.ac.ir

مقدمه

از آنجا که توسعه پایدار شهری طی دهه‌های اخیر به تدریج به پارادایم نوین و اصلی در ادبیات نظری و علمی رایج در باب برنامه‌ریزی شهری بدل شده است، بنابراین در برنامه‌ریزی شهری بهینه و در ترسیم الگوی پایدار شهری، محورهایی چون پایداری اقتصادی، پایداری فرهنگی – اجتماعی و پایداری محیط زیست، نقش راهبردی دارند (Rafiee,et al. 2021:100). محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی های زیست محیطی، رشد اقتصادی، تقاضای بیشتر و بحران های سیاسی و اقتصادی سبب شده تا کاهش مصرف انرژی مورد توجه قرار بگیرد و حتی الامکان از این خطرات و بحران ها جلوگیری شود (Maftouni& Motaghedi, 2020:215). شهرها به عنوان مهم‌ترین ارکان مصرف‌کننده انرژی نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند، در این میان پرداختن به جایگاه انرژی در برنامه‌ریزی شهرها و ساختمان‌های موجود در آن ضرورت یافته تا بتوان راهکارهای جدید و مناسب را به خوبی شناسایی و در قالب دستورالعمل‌ها استخراج کرد (Mirmoghtadaii, et al., 2015:97). ارتقاء راندمان انرژی در بخش مسکونی مناطق شهری، در آینده نزدیک به بخش مهمی در دستیابی به توسعه پایدار تبدیل می‌شود و چگونگی کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از موضوعات کلیدی مرتبط با پایداری و برنامه‌ریزی و توسعه شهری است (Hajipour & Forouzaan, 2014:17). . جمعیت جهان و تقاضای مصرف انرژی در حال افزایش است. این رابطه به صورت مستقیم نیست، بلکه مناطقی که سریع‌ترین رشد همه‌جانبه را دارند بیشترین میزان نیاز را خواهند داشت و این انتظارات برای تقاضای مصرف انرژی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر خواهد شد (Wright, 2018:8). در اغلب کشورها، ساختمان‌ها مسئول حداقل ۴۰ درصد مصرف کل انرژی هستند و در کشورهای در حال توسعه، رقم فعلی در حال افزایش است. علاوه بر این، مصرف انرژی در بخش مسکونی در کشورهای در حال توسعه تقریبا ۸۰ درصد مصرف کل انرژی است و در آینده نیز افزوده خواهد شد. پیش‌بینی‌های آینده HVAC[3]، حالتی اشباع را برای مصرف انرژی در آینده نشان می‌دهد؛ مثال بارز این مسأله کشور چین است که طی ۵ سال گذشته، فروش سیستم‌های تهویه مطبوع در آن تقریبا دو برابر شده است؛ همچنین تقاضای بالقوه هندوستان برای رفع نیاز سرمایشی کشور، ۱۲ برابر ایالات متحده آمریکاست. بیشتر این افزایش از کشورهای آسیایی ناشی می‌شود جایی که مصرف انرژی ناشی از رشد اقتصادی و جمعیتی است، بنابراین تغییرات در روندهای جهانی باید به سمت سیستم غیرمتمرکز انرژی کم کربن ادامه یابد تا دسترسی به انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد و پایدار را برای همه تضمین کند. با توجه به چالش جهانی کنونی که خواستار توسعه اقتصاد های پایدار از طریق کربن زدایی است، بهره‌وری انرژی می‌تواند به طور بالقوه رشد اقتصادی اجتماعی را افزایش داده و توسعه پایدار را ترویج دهد. افزایش قابل توجه تقاضای انرژی را می‌توان به رشد سریع بخش ساختمان و خدمات جانبی ان در کنار افزایش تقاضا برای شرایط زندگی مناسب و محصولات رفاهی جدید نسبت داد. بهره‌وری انرژی یک هدف سیاستی بوده و وسیله‌ای برای کاهش انتشار دی اکسید کربن است؛ بنابراین بدیهی است که ساختمان‌های با بازدهی انرژی، محور برنامه‌های زیست‌محیطی باشند و مطالعاتی که ساختمان‌های با بازدهی انرژی را با اهداف توسعه پایدار (SDGs) پیوند می‌دهد بسیار پراهمیت هستند؛ زیرا این ساختمان‌ها می توانند به طور قابل توجهی به مسأله پایداری کمک کنند (Fogia,2018:10). بهره‌وری انرژی برای هر ساختمان الگویی است که باید در تمام دنیا مورد توجه قرار گیرد و در این راستا متخصصین ساختمان و محیط زیست بهتر است به خلق ساختمان‌هایی با کیفیت و با مصرف کم انرژی بپردازند. موضوع بهره‌برداری از زمین و استفاده از قابلیت‌های آن همواره از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران کشور بوده است (Karimi, et al., 2020:124). استفاده از زمین به عنوان یک ماده ساختمانی، می‌تواند ابزاری قوی در جنگ با افزایش مصرف انرژی و اثرات مخرب محیطی آن باشد و در این راستا، ساختارهای زمین‌پناه به عنوان یک نوع طراحی خلاقانه و جایگزینی برای بناهای متعارف ساخته شده بر سطح زمین جهت کاهش مصرف انرژی تعریف می‌شوند (Al-Temeemi & Harris, 2004:251). این بناها از توده زمین به عنوان محافظ تعدادی از دیوارهای خارجی خود یا همه آنها استفاده می کنند و به واسطه جرم حرارتی زمین، از شرایط دمایی پایداری در فضای داخلی برخوردار هستند (Carey,2016:23). در پژوهش حاضر سؤال اصلی این است که با توجه به اهداف توسعه شهری پایدار و در راستای برنامه‌ریزی شهری بهینه، استفاده از الگوی مسکن زمین پناه حیاط مرکزی در شهر شیراز به چه میزان می‌تواند در کاهش نیاز سرمایشی و گرمایشی ساختمان نسبت به مدل مشابه خود بر سطح زمین تأثیرگذار باشد.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

امروزه دستیابی به توسعه پایدار شهری یکی از مهمترین اهداف مدیران شهری در تمامی کشورهای توسعه‌یافته و اغلب کشورهای در حال توسعه است. از آنجایی که توسعه پایدار تحت تأثیر عوامل مختلفی است، دستیابی به آن مستلزم شناسایی دقیق عوامل کلیدی مؤثر بر آن و

[3]. Heating,Ventilation, Air conditioning

نیز تأثیراتی که این عوامل بر یکدیگر دارند می‌باشد (Nasr, 2019: 189). یکی از عوامل مؤثر در توسعه پایدار شهری توجه به عوامل زیست‌محیطی و اقتصادی است و در این راستا توجه به تکنیک های ساخت و ساز مسأله‌ای بسیار مهم می‌باشد.

تکنیک ساختمان‌سازی زمین‌پناه سبک جدیدی نیست و در گذشته در بسیاری از مناطق جهان برای تأمین آسایش حرارتی مورد استفاده قرار گرفته است. زندگی در بناهای زمین‌پناه هم‌زمان با استفاده از غارها آغاز گشت و در ساخت مسکن بیشترین کاربرد را داشته است. بسیاری از ساختارهای باستانی زمین‌پناه در مناطق گرم کشورهای چین، ترکیه، ایران، تونس و بسیاری از مکان‌های دیگر اجرا شده‌اند (Hassan & Somiyoshi, 2018:252) (شکل۱). معماری خاک‌پناه پیشتر در اقلیم گرم و خشک ایران و به جهت دوری جستن از شرایط سخت آب و هوایی استفاده می‌گردید (Arab & Farrokh zaad, 2017:182). گودال‌باغچه‌ها، شوادان‌ها، قنات‌ها، آب‌انبارها، سرداب‌ها و روستاهای زیرزمینی با قابلیت‌های طبیعی در سرمایش، گرمایش و حفاظت، نمونه‌هایی از کاربرد فضاهای زیرزمینی در تأمین سرمایش، گرمایش و نگهداری مواد غذایی و کالا در شهرهای ایرانی می باشد (Ghibakloo,2014:211).

شکل ۱- متماتا[4] خانه‌های غاری در کشور تونس

شکل ۲- گودال باغچه منزل سنتی تاج در شهر کاشان

شکل ۳- خانه زمین‌پناه گری نویل[5] در کشور انگلستان

اگرچه فضاهای زمین‌پناه به وسیله خاک پوشیده می‌شود و یا به صورت نیمه کامل یا کامل در خاک فرو می‌رود اما محدودیت‌های زمین‌شناختی سایت در تصمیم‌گیری و انتخاب گونه زمین‌پناه بسیار تأثیرگذار است (Al-Neama, 2011:20). سه تکنیک اصلی معماری زمین‌پناه شامل آتریوم (حیاط مرکزی)[6]، درون تپه ای[7] و یا تپه – خاکریز[8] می‌باشد.

مدل آتریوم (حیاط مرکزی): این بناها کاملا در زمین فرو می‌روند و دارای حیاط‌های مرکزی هستند که وظیفه نور رسانی، تهویه و ایجاد چشم‌انداز را برای فضاهای داخلی به عهده دارند. دسترسی اصلی به فضاهای زیرین از طریق راه پله مرتبط با سطح زمین شکل می‌گیرد (شکل۳ ، شکل۴، حالت الف).

مدل درون تپه‌ای: در این گونه، ساختمان درون کوه و یا شیب تپه مستقر می‌شود و کلیه بازشوها به منظور بهره‌گیری از انرژی خورشیدی معمولا رو به استوا (جنوب در نیمکره شمالی و شمال در نیمکره جنوبی) هستند (شکل۴، حالت ب).

مدل تپه – خاکریز: این تکنیک ساخت و ساز با ریختن و انباشتن خاک فشرده شده در اطراف بنا و روی سقف شکل می‌گیرد و خاک به تدریج از جداره‌های بنا به سمت محیط پیرامون شیب‌بندی می‌شود، بازشوها به طور معمول در یک یا چند جبهه بنا تعبیه می‌شوند (شکل۴، حالت پ).

مزایای ساختارهای زمین‌پناه عبارتند از: به حداقل رساندن مزاحمت برای محیط پیرامون و ایجاد کمترین آلودگی بصری، به حداقل رساندن هزینه‌های تعمیر و نگهداری با توجه به پوشیده شدن سطوح با خاک، محافظت بهتر در برابر شرایط جوی و محافظت بهتر از بنا در برابر صدا و لرزش (Benardos, et al., 2014:47). همچون سایر گونه‌های ساختمانی، فضاهای زمین‌پناه با وجود مزایای فراوان، دارای معایبی نیز می‌باشند؛ در حقیقت، پذیرش ایده زندگی در زمین دارای جنبه‌های اجتماعی و روان‌شناسی متعددی است که باید بررسی و شفاف‌سازی شوند؛ از دیدگاه بخشی از مردم جامعه، زندگی یا کار در فضاهای زیرزمینی، شامل احساساتی منفی از قبیل تاریکی، نم‌دار بودن، گیر افتادن، ترس از آوار، عدم جهت‌یابی، انزوای اقلیمی و تهویه نامناسب می‌باشد. اما اغلب محققان بر این باورند که این مسأله با دیدگاه‌های تاریخی راجع به کیفیت پایین طراحی و اجرای ضعیف برخی بناهای زیرزمینی قدیمی مرتبط بوده و در صورت آموزش و آگاه‌سازی مردم نسبت به مزیت‌های ساختمان‌های زمین‌پناه، این بناها با پذیرش و اقبال عمومی مواجه می‌شوند. به تازگی زندگی در فضاهای زیرزمینی توسط تعداد

4. Matmata
5. Gary Neville
6. Atrium (Court Yard)
7. In hill
8. Bermed plan

زیادی از مردم پذیرفته شده است، معماری زیرزمینی در دوران مدرن با تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای ساخته می‌شود که استفاده از این تکنولوژی‌های کارآمد در کنار اجرای پروژه‌هایی کم نظیر، ساختمان‌های زمین‌پناه را به فضاهایی با کیفیت و سازگار با محیط زیست بدل نموده است (جدول ۱). این بناهای خلاقانه، با مزایای فراوان خود حس تاریکی و خفگی ندارند و علاوه بر حفظ کیفیت محیط زیست طبیعی، نسبت به نیازهای روان شناسی ساکنین خود واکنشی مناسب دارند (Wright, 2016:8).

محیط حرارتی فضای زمین پناه متفاوت از سطح زمین است زیرا خاک در مقایسه با هوا دارای دو عملکرد ذخیره سازی حرارتی و عایق سازی می باشد(Sean Kim& Kim, 2018:260). بر اساس مسأله ثبات دمای خاک، خانه زمین‌پناه در تابستان حرارت داخلی را به خاک با دمای پایین تر پس می‌دهد و در زمستان خاک گرم، دمای بیشتری را نسبت به سطح زمین دارد و آن را به درون فضای زمین پناه پس می‌دهد (Anselm,2008:1216). در این پژوهش، مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه فرو رفته در زمین (آتریوم) متناسب با کهن الگوی معماری خانه‌های سنتی شهر شیراز (الگوی حیاط مرکزی) با شرایط اقلیمی نیمه گرم و خشک، در قالب یک مدل ساختمانی جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بر اساس مسأله ثبات دمای خاک، خانه زمین‌پناه در تابستان حرارت داخلی را به خاک با دمای پایین تر پس می‌دهد و در زمستان خاک گرم، دمای بیشتری را نسبت به سطح زمین دارد و آن را به درون فضای زمین پناه پس می‌دهد (Anselm,2008:1216). در این پژوهش، مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه فرو رفته در زمین (آتریوم) متناسب با کهن الگوی معماری خانه‌های سنتی شهر شیراز (الگوی حیاط مرکزی) با شرایط اقلیمی نیمه گرم و خشک، در قالب یک مدل ساختمانی جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام پژوهش، مقایسه مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه زمین‌پناه حیاط مرکزی با حالت غیرزمین پناه همان مدل می‌باشد. در این پژوهش میزان صرفه‌جویی در نیازهای گرمایشی و سرمایشی به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهایی نظیر ابعاد ساختمان، تیپولوژی، اقلیم، عمق فروروندگی نسبت به سطح زمین، میزان نفوذ هوا به داخل بنا، میزان شفافیت بنا، مصالح مصرفی و ویژگی‌های حرارتی خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. پیرامون کارایی انرژی در برنامه‌ریزی شهری در ایران پژوهش‌های متعددی انجام شده‌است.

الف) حالت آتریوم‌دار ب) مستقر در دامنه کوه پ) حالت تپه- خاکریز

شکل ۴- طبقه‌بندی کلی خانه‌های زمین‌پناه - (Reference: Saqaff, et al., 2016)

جدول ۱- متغیر های طراحی بناهای زمین پناه در گونه بندی های متفاوت

متغیر	تپه خاکریز یا درون تپه ای	آتریوم (حیاط مرکزی باز یا سرپوشیده)
سیستم غیرفعال خورشیدی	کارآیی بالا	کارایی کمتر
ثبات حرارتی	کارایی کمتر	کارآیی بالا
بهره وری از نور طبیعی	کارآیی بالا	کارایی کمتر
محافظت در برابر باد	کارایی کمتر	کارآیی بالا
محاظت در برابر آلودگی صوتی	کارایی کمتر	کارآیی بالا
آسایش بصری اقلیم	کارآیی بالا (دید یک طرفه) کارآیی بالا در اقلیم معتدل	ضعیف (دید به آسمان) کارآیی مناسب در اقلیم گرم و خشک

(Reference: Saqaff, et al., 2016:697)

مقایسه با یک ساختمان مستقر بر سطح زمین با همان ابعاد و کیفیت، به دلایلی چون اضافه شدن هزینه، وجود بار اضافی تحمیل شده به سازه و مصرف بیشتر بتن و فولاد بالاتر می‌باشد، اما بحث هزینه بالای ساخت بنای زیر زمینی جامعیت ندارد و حتی برخی هزینه ساخت آن را با این استدلال که بناهای زیرزمینی به ویژه در مناطقی با آب و هوای نامناسب، به تهویه مکانیکی کمتر پس از بهره‌برداری و مصالح

مصرفی کمتری نیاز دارند ارزان‌تر ازساخت بناهای مشابه روی زمین می‌دانند (Neama Al-, 2011:19). به تازگی زندگی در فضاهای زیرزمینی توسط تعداد زیادی از مردم پذیرفته شده است، معماری زیرزمینی در دوران مدرن با تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای ساخته می‌شود که استفاده از این تکنولوژی‌های کارآمد در کنار اجرای پروژه‌هایی کم نظیر، ساختمان‌های زمین‌پناه را به فضاهایی با کیفیت و سازگار با محیط زیست بدل نموده است (جدول ۱). این بناهای خلاقانه، با مزایای فراوان خود حس تاریکی و خفگی ندارند و علاوه بر حفظ کیفیت محیط زیست طبیعی، نسبت به نیازهای روان شناسی ساکنین خود واکنشی مناسب دارند (Wright, 2016:8). محیط حرارتی فضای زمین پناه متفاوت از سطح زمین است زیرا خاک در مقایسه با هوا دارای دو عملکرد ذخیره سازی حرارتی و عایق سازی می باشد(Sean 2018:260 ,Kim& Kim). حتی در اعماق کم نیز، دمای زمین در یک روز تابستانی به ندرت به دمای هوای بالای زمین نزدیک است؛ لذا فضای داخلی زمین‌پناه گرمای کمتری دریافت می‌کند. خاکی که اطراف ساختار زمین‌پناه را احاطه می‌کند جرم حرارتی عظیمی را ایجاد کرده و این جرم حرارتی، نوسانات روزانه و فصلی دمای فضای داخلی را کاهش می‌دهد و آن را در مقایسه با بناهای مستقر بر سطح زمین ثابت نگه می‌دارد (Benardos, et al., 2014:8). سیستم ذخیره فصلی خاک بدین شکل است که انرژی در یک فصل دریافت و در فصل سردتر توزیع می‌شود و بدین معناست که انرژی در ایامی که تابش شدید آفتاب وجود دارد جمع آوری می‌شود و در ایام سرد سال که با کاهش انرژی تابشی خورشید مواجه هستیم توزیع می‌گردد اما برای بهبود کارآیی این سیستم استفاده از عایق حرارتی ضروری است. بر اساس مسأله ثبات دمای خاک، خانه زمین‌پناه در تابستان حرارت داخلی را به خاک با دمای پایین تر پس می‌دهد و در زمستان خاک گرم، دمای بیشتری را نسبت به سطح زمین دارد و آن را به درون فضای زمین پناه پس می‌دهد (Anselm,2008:1216). معماری شهر شیراز با سابقه‌ای طولانی در زمینه ساخت فضاهای زیرزمینی، از گذشته تا امروز نمونه‌های متعددی از این فضاهای پایدار را در خود جای داده است که وجود خانه‌های سنتی دارای حیاط مرکزی پایین‌تر از سطح معبر و نیمه فرو رفته در زمین، زیرزمین‌های خدماتی و مسکونی موجود در این خانه‌ها، سرداب‌ها و حوضخانه‌ها مؤید این موضوع هستند. این کاربری‌های زیرزمینی در حالت معاصر خود به صورت فضاهای ورزشی، تجاری، خدماتی و غیره در شهر گسترش یافته‌اند؛ از طرفی کوه‌پایه‌های شمالی شهر نیز از سالیان قبل بستری برای ساخت و ساز بوده که الگوهای ساخت و ساز پلکانی بر شیب کوه و نیمه فرورفته در کوه یا تپه با کاربری مسکونی در آنها به وفور یافت می‌شود. ساخت و سازها در این نواحی تابع قواعد مناسبی نبوده و در صورت تعیین الگویی مناسب در جهت کاهش مصرف انرژی و حفظ سیمای طبیعی منطقه، می‌توان گام‌هایی مؤثر را در جهت توسعه پایدار شهری برداشت. در این پژوهش، مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه فرو رفته در زمین (آتریوم) متناسب با کهن الگوی معماری خانه‌های سنتی شهر شیراز (الگوی حیاط مرکزی) با شرایط اقلیمی نیمه گرم و خشک، در قالب یک مدل ساختمانی جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام پژوهش، مقایسه مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه زمین‌پناه آتریوم‌دار با حالت غیرزمین پناه همان مدل می‌باشد. به منظور پی بردن به عملکرد حرارتی این مدل، همه شرایط به جز میزان عمق فرورفتگی برای تمامی مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شده تا صرفا به بررسی این عامل در میزان مصرف انرژی در آن پرداخته شود. در این پژوهش میزان صرفه‌جویی در نیازهای گرمایشی و سرمایشی به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهایی نظیر ابعاد ساختمان، تیپولوژی، اقلیم، عمق فروروندگی نسبت به سطح زمین، میزان نفوذ هوا به داخل بنا، میزان شفافیت بنا، مصالح مصرفی و ویژگی‌های حرارتی خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. پیرامون کارایی انرژی در برنامه‌ریزی شهری در ایران پژوهش‌های متعددی انجام شده که سه نمونه از مهمترین آنها شامل بررسی مقایسه‌ای سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در حوزه برنامه‌ریزی کاربری زمین در ایران و انگلیس (Barakpour & Mosanenzadeh, 2011)، بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی: شهر شیراز (Hajipour& Forouzaan,2014) و مقایسه تطبیقی جایگاه مصرف انرژی در سیستم برنامه‌ریزی شهری آلمان و ایران (Mirmoghtadai, et al., 2016) می‌باشد. نقش انرژی در بناهای زیرزمینی در گذشته با تکنیک‌های متنوعی بررسی شده است که پژوهش‌هایی پیرامون توزیع بهینه عایق حرارتی در بدنه ساختمان‌های زیرزمینی، مروری عمیق بر انتقال حرارت زمین در ساختمان‌های در تماس با زمین، آنالیز حرارتی دو بعدی بناهای زیرزمینی، شناسایی معادلات هدایت حرارتی به صورت دو بعدی همگی از این جمله هستند اما بر خلاف تحقیقات گسترده در زمینه نقش انرژی و عملکرد حرارتی در بناهای زیرزمینی، شیوه‌نامه‌های مناسبی در این زمینه وجود ندارد. محققان زیادی بر این باورند که بناهای زیرزمینی در مقایسه با بناهای سطح زمین از مصرف انرژی کمتری در زمینه سرمایش و گرمایش برخوردارند. کومار[9] و همکارانش بر اساس پژوهش خود دریافتند که در طول زمستان میزان تبادل حرارت در بناهای زمین‌پناه در مقایسه با بناهای روی زمین کمتر می‌باشد و نتایج تحقیقات آنها نشان داد که دمای سطح کف با فرورفتن در عمق زمین به اندازه‌ی دو متر، به میزان ۳ تا ۸ درجه افزایش می‌یابد

[9]. Kumara

(Kumara, et al., 2007:2450). استانیک[0] و نواک[1] طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که متغیرهایی نظیر شرایط آب و هوایی بر تعادل حرارتی سطح زمین تأثیرگذار بوده و بیشترین تاثیر را نیز بر دمای خاک دارند و در این تحقیق مشخص شد که نوع خاک و ضریب هدایت حرارتی آن تأثیر قوی‌تری در متعادل‌سازی مصرف انرژی در بناهای زمین‌پناه دارند. همچنین آنالیزهای آنها پیرامون مقایسه نیاز حرارتی میان یک بنای مستقر بر سطح زمین و مشابه آن در زیر زمین نشان داد که یک بنای زیرزمینی با توجه به نوع خاک پیرامون آن و ضخامت عایق حرارتی پوشیده بر سطح آن می‌تواند با کاهش نیاز حرارتی به اندازه ۳۰ تا ۷۰ درصد نسبت به مدل مشابه روسطحی خود مواجه شود (Staniec & Nowak, 2011:211). ون درونکلار[2] و همکارانش در پژوهشی در رابطه با مقایسه بنای روی زمین و زیرزمین با در نظر گرفتن متغیرهایی متفاوت به این نتیجه رسیدند که عملکرد انرژی ساختمان‌های زیرزمینی با توجه به گرمایش و سرمایش مورد نیاز آن، تابعی از چند ویژگی مانند نوع کاربری ساختمان، اندازه و شکل ساختمان، شرایط آب و هوایی، میزان فرورفتن درخاک و نوع تعامل با زمین می باشد (Van Dronkelaar, et al., 2014:129). با آن که تحقیقات مفصلی در اغلب کشورها در زمینه ساختمان‌سازی زمین‌پناه صورت گرفته، اما در کشور ایران با داشتن نمونه‌های غنی تاریخی و پتانسیلی بالا برای احداث نمونه های معاصر ، تنها تحقیقات اندکی وجود دارد که در ادامه برخی از آن‌ها در راستای صرفه‌جویی در مصرف انرژی شرح داده می‌شوند. نصراللهی و اکرمی پژوهشگرانی هستند که در تحقیق خود، ساختمان خاک‌پناه را از نقطه نظر بهره‌وری انرژی با تأثیر متقابل کاربری‌های مختلف در شهر یزد با استفاده از شبیه‌سازی حرارتی به کمک نرم‌افزار انرژی پلاس بررسی کردند و نتایج حاکی از آن بود که با افزایش عمق فرو رفتن ساختمان در خاک، کاربری مسکونی بیشترین و کاربری آموزشی کمترین میزان همبستگی را با کاهش مصرف انرژی دارد و در شرایط عمق بهینه، کاربری مسکونی ۶۹ درصد و کاربری مذهبی، اداری و آموزشی به‌ترتیب ۶۱، ۶۰ و ۵۴ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی خواهند داشت (Akrami& Nasrollahi, 2016:41). ایمانی و حیدری در زمینه مصرف انرژی در بناهای زمین پناه، پژوهشی انجام دادند که در آن دمای خاک در سه اقلیم تهران و یزد و تبریز با استفاده از یک مدل حرارتی محاسبه گردید و سپس تجزیه و تحلیل جداگانه ای با استفاده از شبیه سازی در نرم افزار انرژی پلاس از یک ساختمان بالای سطح زمین و یک ساختمان زمین پناه با جبهه باز رو به جنوب در اعماق ۱- تا ۶- متری انجام گرفت تا مشخص شود در اعماق مختلف، ساختمان به لحاظ مصرف انرژی چگونه رفتار می کند و در نهایت در کدام اقلیم عملکرد بهتری دارد. نتایج شبیه سازی نشان داد که با توجه به پارامترهای خاک در نظر گرفته شده برای هر سه اقلیم، میزان صرفه جویی در مصرف انرژی در شهر یزد بیشتر از تهران و تبریز بوده است و به طور کلی، ساختمان‌های زیرزمینی در اقلیم گرم و خشک و در فصول گرم سال عملکرد بهتری دارند تا جایی که بار سرمایشی را در بعضی از اعماق به صفر می رسانند. بررسی‌ها نشان داد که کاستی‌های فراوانی در زمینه تحقیقات انجام شده بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های زمین‌پناه وجود دارد و انجام پژوهش هایی مرتبط با بهینه‌سازی مصرف انرژی مانند میزان عمق فرو رفتن ساختمان در خاک، کاربری بنا، نور، تهویه، تنوع مصالح مصرفی، نوع خاک ، تیپولوژی و ترکیب بناهای زمین پناه با سیستم های فعال با استفاده از تکنیک ها و روش‌های منطقی، نیازمند توجهی جدی است (Imani& Heydari, 2016:89). شهر شیراز با اقلیم نیمه گرم و خشک و داشتن نمونه های سنتی فضاهای زیرزمینی از جمله شهرهایی است که پتانسیل احداث نمونه های معاصر این فضاها را در قالب کاربری های متفاوت و از جمله کاربری مسکونی را داراست و ارتباط بین این فضاها و نحوه مصرف انرژی در آنها تا کنون در این شهر مورد پژوهش قرار نگرفته است . فرضیات اقتباس شده از چهارچوب نظری پژوهش شامل موارد زیر می‌باشد.

فرضیه اول: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک، بر کاهش مجموع نیاز گرمایشی و سرمایشی سالیانه بنا مؤثر است.

فرضیه دوم: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک، بر کاهش مجموع نیاز سرمایشی سالیانه بنا مؤثر است.

فرضیه سوم: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک بر کاهش مجموع نیاز گرمایشی سالیانه بنا مؤثر است.

مواد و روش تحقیق

هدف از انجام این پژوهش که با روش کمی انجام شده است تعیین نیاز حرارتی و برودتی یک مدل ساختمانی حیاط مرکزی است که به تدریج در عمق زمین فرو رفته و حالتی زمین‌پناه به خود می‌گیرد و در نهایت مصرف بارهای گرمایشی و سرمایشی مدل در هر یک از حالات فرو رفته در زمین با حالت غیر زمین‌پناه مستقر بر سطح زمین مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در مرحله شروع انجام پژوهش، به منظور تسلط بر مفاهیم مرتبط با واژگان کلیدی و بررسی سوابق موضوع و اطمینان از بدعت آن، سایت‌های معتبر علمی و مقالات مورد کنکاش قرار گرفت

[0] . Staniec
[1] . Nowak
[2] . Van Dronkelaar

و مراحل کلی پژوهش آغاز گردید. جهت ورود اطلاعات مورد نیاز به نرم‌افزار انرژی‌پلاس ۲۰۱۱، به عنوان نرم‌افزار شبیه‌ساز حرارتی و تعیین بارهای گرمایشی و سرمایشی مدل در حالات مختلف گام‌های پژوهشی متفاوتی برداشته شد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد. در گام اول، اطلاعات آب و هوایی شهر شیراز و داده‌های اقلیمی مورد نیاز، از نرم‌افزار متئونورم[3]استخراج گردید. گام دوم به تعیین دمای خاک در اعماق متفاوت زمین در شهر شیراز با استفاده از فرمول مربوطه اختصاص یافت و در گام سوم، مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان در نرم‌افزار گرافیکی اسکچاپ[4]انجام شد تا با تکمیل و ورود اطلاعات اولیه مورد نیاز، شبیه‌سازی حرارتی مدل در حالات مختلف زمین‌پناه و غیر زمین‌پناه به عنوان گام آخر صورت پذیرد. در ساختمان‌های زیرزمینی عوامل متعددی عملکرد حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از جمله می‌توان به شرایط محیطی خارج ساختمان، نوع خاک اطراف ساختمان، عمق فروروی در زمین، نوع تعامل ساختمان با زمین، شکل ساختمان، مصالح ساختمانی به کار رفته و نوع کاربری ساختمان اشاره نمود (Van Dronkelaar, et al., 2014:130). از آن جا که میزان فروروی و نحوه تعامل ساختمان با زمین از مهم‌ترین و مؤثرترین متغیرهای تعیین عملکرد حرارتی در بناهای زمین‌پناه می باشد، لذا در این پژوهش، مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در گونه حیاط مرکزی یا آتریوم به عنوان الگویی ریشه دار درمعماری سنتی شهر شیراز با اقلیم گرم و خشک، در حالت زمین‌پناه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور پی بردن به عملکرد حرارتی و مقایسه آن در حالات متفاوت فروروندگی مدل در زمین ، همه شرایط به جز میزان عمق فرورفتگی در زمین برای تمامی مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شده تا صرفا به بررسی این عامل در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های زمین‌پناه پرداخته شود.

بحث و یافته‌های تحقیق

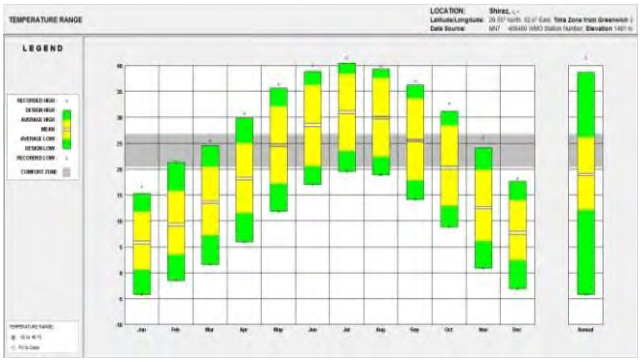
شناخت بستر انجام پژوهش و نحوه استخراج اطلاعات آب‌وهوایی

شهر شیراز به عنوان مرکز استان فارس، در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه و در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه، در منطقه نیمه گرم و خشک ایران قرار گرفته است و ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا حدود ۱۵۱۹ متر است. بر اساس آخرین داده‌های ارائه شده از سوی مرکز آمار، جمعیت شهر شیراز ۱۸۶۹۰۰۱ نفر بوده است و به عنوان پنجمین شهر پرجمعیت ایران شناخته می شود (Barzegar& Heydari, 2012;46; Nasr, 2019:190). استخراج اطلاعات آب و هوایی شهر از ضرورت‌های محاسبات انرژی گرمایشی و سرمایشی مدل است که با نرم افزار متئونورم که نرم‌افزاری کم نظیر برای تولید داده‌های هواشناسی برای نقاط جغرافیایی مختلف دنیا می‌باشد، صورت پذیرفت. با استفاده از این برنامه می‌توان اطلاعات هواشناسی هر نقطه‌ای از زمین را دریافت کرد و در برنامه‌های مرتبط استفاده نمود. به عنوان مثال اطلاعاتی همچون دمای هوا در ساعات معین روز و شب، شدت تابش نور خورشید، میزان رطوبت و خشکی هوا، نوع آب و هوا و دمای‌خشک، دمای خیس، سرعت باد، میزان تابش تشعشعی خورشید و بسیاری از پارامترهای دیگر از این نرم افزار قابل برداشت است. این برنامه اطلاعات خود را از ۸۳۲۵ ایستگاه هواشناسی معتبر، ۵ ماهواره هواشناسی و ۳۰ سال تجربه دریافت می‌کند (www.Metonorm.com). در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار متئونورم، اطلاعات آب‌وهوایی شهر شیراز استخراج گردید و به منظور محاسبه نیازهای سرمایشی و گرمایشی مدل در نرم افزار انرژی پلاس[5]استفاده شده است.

شکل نمودار ۵، متوسط دمای ماهانه شهر شیراز، متوسط حداکثر دمای ماهانه و متوسط حداقل دمای ماهانه را نسبت به محدوده دمای آسایش نشان می‌دهد و جدول(۲) تغییرات ماهانه دمای هوا را در شهر شیراز نشان می‌دهد که در آن وضعیت متوسط دمای هر ماه از سال نسبت به محدوده آسایش و متوسط حداقل و حداکثر دمای هر فصل سال مشخص شده است. حدود منطقه آسایش از نظر دمای هوای ایران که بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد، برابر ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتی گراد و محدوده رطوبت نسبی بین ۳۰ تا ۶۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. با توجه به جدول ۲، متوسط دمای شهر شیراز در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر زیر محدوده آسایش حرارتی و در ماه های ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و تا حد زیادی در ماه اکتبر بالاتر از محدوده آسایش حرارتی هستند. متوسط بیشینه دما در فصل تابستان ۳۸ درجه سانتی گراد و متوسط کمینه دما در فصل زمستان ۱ درجه است. تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های نیمه سرد از ویژگی‌های اقلیمی شهر شیراز بوده که خود باعث بالا بودن نیاز سرمایشی در ماه‌های گرم می‌باشد اما در ماه‌های سرد سال بالا رفتن نرخ پوشش کاربران فضا، می‌تواند نیازهای گرمایشی را کاهش دهد. متوسط رطوبت هوا در شهر شیراز به صورت تقریبی بین ۲۲ درصد تا ۶۳ درصد متغیر است که ارقام پایین‌تر مربوط به فصل تابستان می‌باشد. دما و رطوبت نسبی با یکدیگر رابطه عکس دارند لذا دمای بالای هوا، طولانی بودن ساعات آفتابی و دریافت انرژی تابشی زیاد، کاهش رطوبت نسبی را موجب می شود.

---

[1] . Metonorm
[1] . Sketchup
[1] . Energy plus



شکل ۵- دمای متوسط ماهانه و مقدار متوسط کمینه و بیشینه دمای شهر شیراز در ماه‌های مختلف- (Reference: Meteorological data, 2009-2018)

جدول ۲- تحلیل وضعیت دمای شیراز در ماه‌های سال

ماه (لاتین)	متوسط دما نسبت به محدوده آسایش	متوسط بیشینه دما	وضعیت آسایش حرارتی(کمتر یا بیشتر)	میزان دریافت انرژی تابشی متوسط ساعتی	محدوده رطوبت نسبی	محدوده سرعت باد	متوسط کمینه دما
ژانویه	۵	۱۳	کمتر	۴۳۲	۵۹	۱	۱
فوریه	۹	۱۶	کمتر	۴۵۶	۴۸	۱	۳
مارس	۱۳	۲۱	کمتر	۴۳۰	۴۱	۲	۷
آوریل	۱۷	۲۵	در محدوده آسایش	۴۳۳	۳۹	۲	۱۲
می	۲۴	۳۳	در محدوده آسایش	۵۹۷	۲۵	۲	۱۸
ژوئن	۲۸	۳۷	بیشتر	۶۲۷	۲۲	۲	۲۱
جولای	۳۰	۳۸	بیشتر	۵۳۴	۲۴	۲	۲۳
آگوست	۲۹	۳۷	بیشتر	۷۱۰	۲۵	۲	۲۲
سپتامبر	۲۵	۳۳	بیشتر	۵۶۰	۲۶	۱	۱۸
اکتبر	۲۰	۲۸	بیشتر	۶۳۶	۳۱	۱	۱۳
نوامبر	۱۲	۲۰	کمتر	۵۲۵	۴۷	۱	۶
دسامبر	۷	۱۳	کمتر	۴۷۵	۶۳	۱	۳

(Reference: Meteorological data, 2009-2018)

محاسبه دمای خاک در اعماق مختلف

برای مطالعه عملکرد حرارتی ساختمان زمین‌پناه، دمای خاک در عمق‌های متفاوت و اطراف ساختمان مورد نیاز است و به دلیل تفاوت در پارامترهای فیزیکی خاک در نواحی مختلف یک شهر، دمای خاک در قسمت های مختلف متفاوت است. (Ghiabakloo, 2014:217). انتقال حرارت در خاک و دمای خاک در اعماق مختلف که ناشی از این انتقال حرارت می باشد به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد؛ در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می کند. به طور کلی دمای خاک شامل یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه می‌باشد این دما در فصول گرم از سطح به عمق کاهش می‌یابد و طی فصول سرد از سطح به سمت عمق افزایش پیدا می‌کند (Parsafar & Maroofi, 2011:141).

قابل ذکر است که ویژگی‌های متفاوت خاک از جمله ضریب نفوذ گرمایی، درصد رطوبت، جرم حجمی خشک و ضریب هدایت حرارتی خاک نیز تاثیر بسزایی در دمای خاک در طول سال دارند. برای تخمین دمای خاک در اعماق مختلف در طول سال، روش‌های متعددی ارایه شده‌اند. رابطه زیر، براساس تئوری اشری و هیلل خلاصه شده است (Ghiabakloo, 2014:217).

$$t_{s,z} = t_m + A_0 exp\left(-z\sqrt{\frac{\pi}{۳۶۵\alpha}}\right) sin\left[\frac{۲\pi(n-n_0)}{۳۶۵} - z\sqrt{\frac{\pi}{۳۶۵\alpha}} - \frac{\pi}{۲}\right] \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، $t_{s,z}$= دمای خاک در عمق و زمان مورد نظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، z= عمق خاک از سطح زمین بر حسب متر، t_m= دمای میانگین سالانه هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد، n= شماره روز موردنظر از اول ژانویه، n_0= شماره روز وقوع سردترین روز سال از اول ژانویه، π= عدد پی، A_0= دامنه موج دمای هوا $(^{\circ}C)$ و α= ضریب نفوذ گرمایی خاک بر حسب m^2/day است که از رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$\alpha = \frac{۴/۸۶\lambda_s}{\rho_s[۷۳/۰ + ۱۸/۴(w \div ۱۰۰)]} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، λ_s= ضریب هدایت حرارتی خاک بر حسب $W/m.\,^{\circ}K$، ρ_s= جرم حجمی خاک بر حسب kg/m^3، w= درصد رطوبت که برابر است با نسبت جرم آب به جرم بخش جامد (دو وزن خشک و مرطوب خاک به راحتی با وزن‌کردن نمونه خاک قبل و بعد از قرار دادن آن در کوره به دست می‌آید).

با استفاده از فرمول محاسبه دمای خاک و پارامترهای مستخرج از جدول ۳ دمای خاک برای خاک ماسه‌ای سبک با رطوبت ۵ درصد در شهر شیراز برای عمق‌های ۰/۵- تا ۹- محاسبه شده است. این محاسبات برای روز مشخصی از هر ماه سال، مطابق جدول ۴ انجام شده و نتایج در شکل نمودار ۶ به نمایش گذاشته شده است. سردترین روز سال در شهر شیراز به‌صورت تقریبی پانزدهم دی ماه و معادل پنجم ماه ژانویه است که در معادله (۱) وارد شده و سپس پانزدهم هر ماه بعد از آن در یک دوره یک ساله به‌صورت شماره روز موردنظر برای محاسبه دمای خاک در آن روز در نظر گرفته شده است.

الگوی سالانه دمای پوسته زمین به‌صورت یک موج سینوسی بوده و منحنی تغییرات آن در اعماق مختلف نشان می‌دهد که هر چه عمق بیشتر شود، میزان تغییرات دمای خاک در طول سال دارای نوسانات کمتری بوده و تقریبا از دمای میانگین هوای سالانه کاهش می‌یابد. این اتفاق تا جایی ادامه پیدا می‌کند که در عمق سه متری زمین حدود ۹ درجه، عمق شش متری حدود ۴ درجه و در عمق ۹ متری زمین، اختلافی حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بین دمای خاک در فصول گرم و سرد سال مشاهده شود.

بررسی دمای خاک در فصول مختلف شهر شیراز نشان می‌دهد که هر چه عمق فرو رفتن در خاک بیشتر شود، دمای خاک ثبات حرارتی بیشتری پیدا می‌کند. محاسبات در این روش حاکی از آن است که دمای خاک به‌صورت تقریبی در عمق ۶ متری زمین برابر متوسط دمای سالیانه در شهر شیراز است و در عمق نزدیک به ۱۰ متر ثبات حرارتی سالیانه برقرار می‌شود که در شکل نمودار ۶ نشان داده شده است.

مدل‌سازی نمونه توسط نرم‌افزار اسکچاپ

به دلیل گستردگی پارامترهای دخیل در مصرف انرژی، تصمیم‌گیری در رابطه با راهبردها و اجزاء طراحی عملا بدون استفاده از ابزارهای شبیه سازی امکان‌پذیر نیست. از سویی تعامل بین عناصر طراحی، اقلیم، کاربران، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، تهویه و روشنایی بسیار پیچیده بوده و تنها با استفاده از شبیه‌سازی تمامی عوامل مداخله‌گر در کارآیی انرژی ساختمان قابل بررسی است (Zomorrodian & Tahsil doost, 2015:117). اسکچاپ نرم‌افزاری قدرتمند همراه با ابزارهای متنوع جهت ساخت، ویرایش و انتشار مدل‌های سه بعدی است که مدل‌سازی ساختمان زمین‌پناه آتریوم دار با استفاده از آن انجام می‌گیرد. در ساختارهای زمین‌پناه فرو رفته در زمین که دارای آتریوم می‌باشند، ساختمان در سایتی مسطح در زمین فرو می‌رود و فضاهای زیستی پیرامون یک حیاط مرکزی سازماندهی می‌شوند. پنجره‌ها و درب‌های شیشه‌ای که بر روی دیوارهای اطراف حیاط تعبیه می‌شوند نور، حرارت خورشید و چشم‌انداز را برای فضاهای داخلی ایجاد می‌کنند. دسترسی به بنا از طریق یک پله ارتباطی صورت می‌پذیرد و حیاط مرکزی تهویه طبیعی را برای فضاهای داخلی ممکن می‌سازد. از دیدگاه برخی محققین، این ایده، ذخیره‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی را در اقلیم‌های سرد کاهش می‌دهد؛ زیرا با فروروی بنا در زمین، بخشی از حیاط و جداره های مجاور آن در سایه قرار می‌گیرد ودر معرض تابش خورشید نیستند (Anselm,2012:135). مدل پیشنهادی مکعبی به ابعاد ۱۴ در ۱۴ متر است که حفره‌ای به ابعاد ۵ در ۵ متر در آن به عنوان حیاط از مرکز آن کاسته شده است. مساحت مدل به صورت تقریبی ۱۷۰ مترمربع و معادل مساحت ساختمانی سه خوابه در شهر شیراز است. حالات مختلف فرو رفتن مدل در زمین در جدول ۵ نمایش

داده شده است. به منظور تمرکز بر درونگرایی، استفاده بهینه از حیاط مرکزی موجود و تبادل حرارتی بهتر مدل با خاک، تمامی نورگیرها رو به حیاط باز شده و نورگیری از طریق جداره های بیرونی بنا حذف شده است.

استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس برای آنالیز انرژی مدل ساختمانی زمین‌پناه

ساختمان یک محیط بسیار پیچیده است. جایی که پوسته و جداره‌های بیرونی ساختمان، سیستم‌ها و تجهیزات تأسیساتی و سیستم نورپردازی و روشنایی مهم‌ترین مولفه‌های مصرف انرژی را شکل می‌دهند و به صورت سیستمی یکپارچه رفتار انرژی را مشخص می‌نمایند. لذا درک و فهم عملکرد انرژی به مثابه نتیجه و حاصل همه جنبه‌های فرآیند طراحی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و خود پیچیدگی زیادی را در بر دارد که ابزارهای مدل‌سازی و تحلیلی تا حد زیادی می‌تواند به فهم مطلب کمک کنند (Eghtedari ,et al., 2020:197). از برنامه‌های شبیه‌ساز مصرف انرژی، قبل از ساختن ساختمان و یا ایجاد تغییرات در آن بعد از ساخت، می‌توان استفاده کرد و هزینه مصرف انرژی را برآورد کرد تا حالت بهینه ذخیره و مصرف انرژی به دست آید (Maddahi &Tavanaii, 2019:109).

جدول ۳- پارامترهای مورد نیاز برای یافتن دمای خاک در شهر شیراز

پارامترهای مورد نیاز خاک	درصد رطوبت	جرم حجمی خشک	ضریب هدایت حرارتی	ضریب نفوذ گرمایی	دامنه موج دمای هوا	شماره روز وقوع سردترین روز از سال از اول ژانویه	دمای میانگین سالانه هوا
	w	ρs (kg/m^3)	λs (W/m.°K)	α (m^2/day)	A_0	n_0	(°C) t_m
شیراز	۵	۱۲۸۵	۱/۴	۰/۱	۱۰/۸۵	۵	۱۸/۷

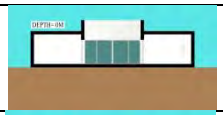
منبع: داده‌های آماری بلند مدت هواشناسی شهر شیراز، مرکز ژئوتکنیک شهرداری شهر شیراز، ۱۳۹۹.

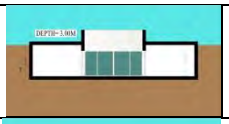
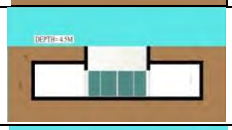
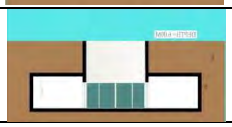
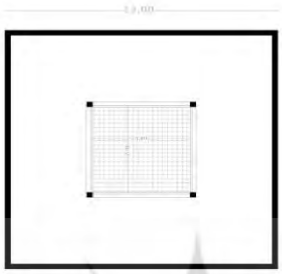
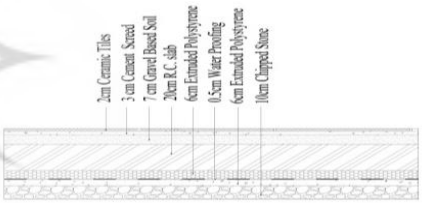
جدول ۴- تعیین شماره روزهای سال در هر ماه جهت تخمین دمای خاک در روز مورد نظر

ماه	ژانویه	فوریه	مارچ	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شماره روز وقوع سردترین روز سال از اول ژانویه در یک بازه زمانی یکساله	۵	۳۵	۶۵	۹۴	۱۲۵	۱۵۶	۱۸۷	۲۱۸	۲۴۹	۲۸۰	۳۱۰	۳۴۰

منبع: یافته های تحقیق، ۱۴۰۰.

جدول ۵- نمایش حالت متفاوت فروروی مدل زمین‌پناه در خاک به همراه جزییات کالبدی

	میزان پوشانندگی با خاک	نمایش تصویری
حالت اول	بدون پوشش خاک و بر سطح زمین	
حالت دوم	فروروی در عمق ۰/۵ متری خاک	
حالت سوم	فروروی در عمق ۱/۵ متری خاک	

	میزان پوشانندگی با خاک	نمایش تصویری
حالت چهارم	فروروی در عمق ۳ متری خاک	
حالت پنجم	فروروی در عمق ۴/۵ متری خاک	
حالت ششم	فروروی در عمق ۶ متری خاک	
		
ترسیم شماتیک مدل انتخاب شده	ترسیم پلان مدل انتخاب شده	الگوی پیشنهادی برای طراحی یک واحد سه خوابه در مدل انتخاب شده
		
جزییات کف	جزییات دیوار و سقف	

(Reference: Research findings,2021)

انرژی پلاس یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در دنیا می‌باشد که یک شبیه‌سازی جامع انرژی مرتبط با ساختمان را در اختیار معماران و محققان، به منظور کاربرد در مدل‌های انرژی قرار می‌دهد. برخی از قابلیت های این نرم افزار عبارتند از: محاسبه بارهای حرارتی بر ا ساس بالانس حرارتی، شبیه سازی‌های یکپارچه، مدل سازی بهینه شده انتقال حرارت از زمین، مدل سازی انتقال حرارت بین اجرام بصورت ترکیبی، بررسی آسایش حرارتی، محاسبات پیشرفته در رابطه با پنجره و محاسبات مربوط به آلاینده‌های جوی (www.energyplus.net). پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده، نشان‌دهنده آن است که این نرم‌افزار با دقتی قابل قبول مصرف انرژی ساختمان را محاسبه می‌نماید. از جمله مهم‌ترین پرسشی که پیرامون به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان ممکن است به ذهن خطور نماید، اعتبارسنجی و دقت این نرم‌افزارها در محاسبات مصرف انرژی در مقایسه با میزان واقعی آن است (Yu et al., 2008:1536). از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به دو پژوهش در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ اشاره نمود. در پژوهش نخست که توسط اسکین[1] و ترکمن[2] رابطه با مقایسه میزان بارهای حرارتی و سرمایشی توسط نرم‌افزار انرژی پلاس و میزان واقعی آن در یک بازه ۲۴ ساعته صورت پذیرفته، نتیجه این‌گونه است که میزان این اختلاف بسیار ناچیز بوده و به‌ترتیب برای بارهای حرارتی ۳ درصد و برای بارهای سرمایشی ۵ درصد است (Eskin & Turkmen, 2008:768). در پژوهش بعدی که توسط نتو[3] و فیورلی[4] در برزیل انجام شده است، نتیجه حاکی از آن است که نرم‌افزار انرژی پلاس با دقتی در حدود ۱۳± ، مقادیر انرژی مصرفی

[1] . Skin
[2] . Turkman
[3] . Neto
[4] . Fiorelli
[6]
[7]
[8]
[9]

ساختمان را شبیه سازی می‌نماید که مقدار قابل قبولی است(Neto & Fiorelli,2016:2171). در شروع مرحله شبیه سازی، فضایی که آنالیز انرژی آن مد نظر است، مطابق ابعاد مربوط به خود به صورت یک محدوده حرارتی[20] تعریف شده است. همچنین محدوده پیرامونی مدل که به‌عنوان خاک مطرح شده‌اند با توجه به عمقشان، از دمای آن‌ها که در هر ماه اطلاعات آن برای شهر شیراز موجود است، میانگین‌گیری و برای نرم‌افزار تعریف شده است. برای انجام شبیه‌سازی حرارتی، ساختمان مدل‌سازی شده به همراه اطلاعات آب و هوایی شهر شیراز در نرم‌افزار انرژی‌پلاس وارد شده است. در مرحله بعد، گزینه مربوط به محاسبه سایه[21] منظور بررسی بحث سایه‌اندازی و گزینه اعمال انتقال حرارت جابه‌جایی برای داخل و خارج برای بررسی انتقال حرارت روی دیواره‌ها فعال گردید. تعریف مصالح ساختمانی برای جداره‌ها و پنجره‌ها مطابق با جدول ۵، بخش بعدی کار بود که در آن، مصالح بر اساس اطلاعات داده شده به نرم‌افزار و در قالب لایه بندی برای کف، سقف، دیواره‌ها و پنجره به همراه ضریب نهایی انتقال حرارت آنها نمایش داده شده است.

درجدول شماره ۶ نیز به جزییات لایه بندی دیوارها، کف و سقف اشاره شده است .

تعیین SET POINT: دمای آسایش بر اساس استاندارد اشری ۵۵ و مطابق شکل ۷، بر اساس دمای هوای متوسط ماهانه محیط آزاد تعریف می‌شود. معمولا این مقدار ۲۱ درجه سانتی‌گراد به منظور گرمایش و ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای سرمایش انتخاب می‌شود که محدوده آسایش بین دو دمای ذکر شده است.

سیستم روشنایی: سیستم روشنایی در ساختمان مورد نظر بر اساس استاندارد اشری ۹۵ ، ۵۰۰ لوکس و روشنایی ساعتی آن با توجه به کاربری مسکونی بودن در نظر گرفته شده و حرارت حاصل از نورپردازی مصنوعی داخل بنا در بخش ورود اطلاعات اولیه و محاسبات نرم‌افزار لحاظ شده است .

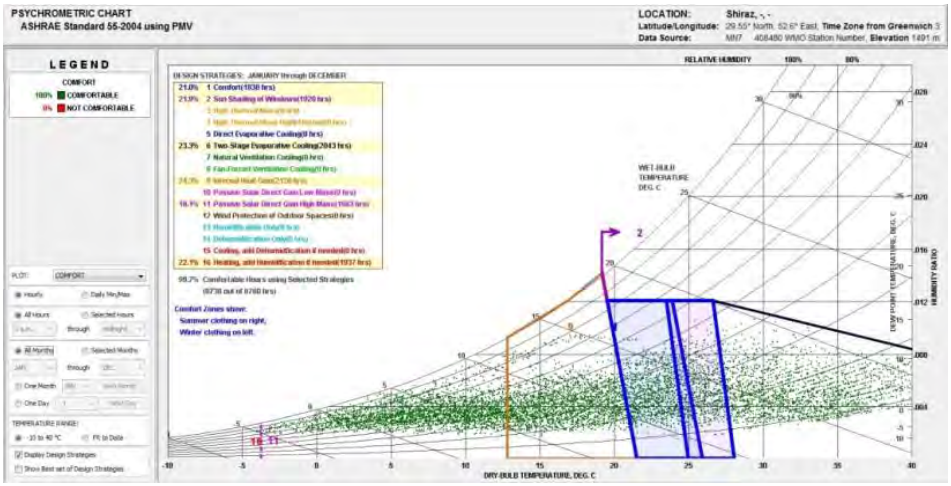
نرخ دفعات تعویض هوا : بر اساس استاندارد اشری۲-۶۲ و با توجه به نوع کاربری فضا با عایق‌بندی مناسب ، در محاسبات انرژی گرمایشی و سرمایشی، دفعات تعویض هوا ۰/۷ در ساعت در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در شبیه‌سازی حرارتی انجام شده سیستم تهویه خاصی معرفی نشده و تنها نیاز گرمایشی و سرمایشی مدل مورد بررسی قرارگرفته است.

جدول ۶- مشخصات مدل ساختمانی

عناصر	مصالح (با ذکر ضخامت لایه‌ها)	ضخامت نهایی (m)	ضریب نهایی انتقال حرارت (u value) (W/m2. K)
بدنه (A)	پلاستر گچی ۲ سانتی‌متر+ بتن مسلح ۳۰ سانتی‌متر+ عایق پلی استایرن ۶ سانتی‌متر + عایق رطوبتی ۰/۵ سانتی‌متر	۰/۳۸۵	۰/۹۸
کف (B)	سرامیک ۲ سانتی‌متر+ ملات ماسه سیمان ۳ سانتی‌متر + شن‌ریزی ۷ سانتی‌متر+ بتن مسلح ۲۰ سانتی‌متر+ عایق پلی استایرن ۶ سانتی‌متر + عایق رطوبتی ۰/۵ سانتی‌متر	۰/۳۸۵	۱/۸۹
سقف (Detail A)	پلاستر گچی ۲ سانتی‌متر + بتن مسلح ۳۰ سانتی‌متر + عایق پلی استایرن ۶ سانتی‌متر + عایق رطوبتی ۰/۵ سانتی‌متر	۰/۳۸۵	۰/۹۸
پنجره دو جداره	شیشه به ضخامت ۳ میلی‌متر در دو لایه پر شده با گاز عایق آرگون	۰/۰۱۳	۴/۳

(Reference:Research findings,2021)

[20] . Thermal Zone
[21] . Shadow Calculation



شکل ۷- تعیین دمای آسایش استاندارد در نمودار زیست اقلیمی شهر شیراز- (Reference: Research finding,2021)

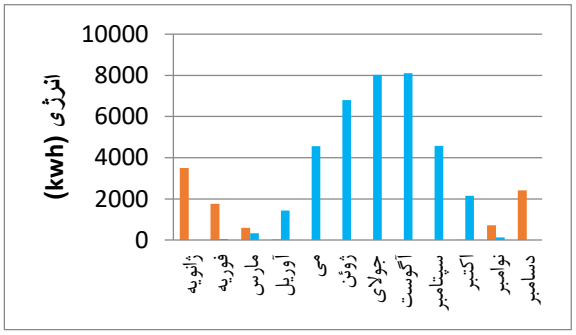
تجهیزات: بر اساس استانداردهای موجود در آرشیو نرم‌افزار انرژی پلاس میزان حرارت تولید شده از تجهیزاتی مانند گاز، یخچال و غیره در محاسبات نیاز انرژی و تاثیر کلی آن بر فضای داخلی دیده شده است.

یافته‌های پژوهش پیرامون تحلیل رفتار حرارتی مدل در حالات مختلف فروروی در زمین

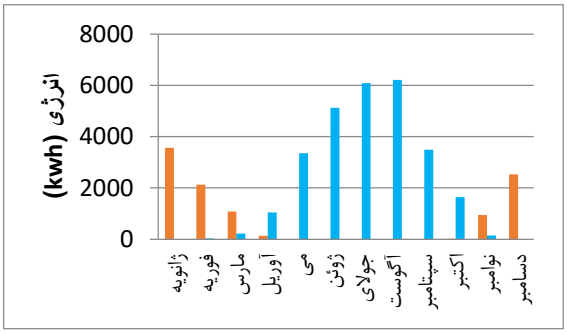
در این قسمت، مدل آتریوم دار در حالات مختلف، ابتدا بر روی سطح زمین به صورت غیرزمین پناه و در ادامه با فرورفتگی تدریجی در عمق‌های نیم متری تا شش متری زمین به صورت نیمه تا کاملا زمین پناه مورد آنالیز حرارتی قرار گرفت تا میزان بارهای گرمایشی و سرمایشی آن برای رسیدن به آسایش حرارتی در هر فصل مشخص شود. برای تعیین شرایط مرزی جداره هایی که با خاک در تماس بودند از میانگین دمای ماهانه خاک در شهر شیراز استفاده شده است. شماره روزهایی از سال که از اول ژانویه محاسبه شده و در محاسبه دمای خاک در رابطه (۱) وارد شده، در جدول ۴ آورده شده است.

بر همین اساس در هر یک از این روزها بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان محاسبه و سپس بار ماهیانه آن مشخص شده است. در حالت اول مدل آتریوم دار با استقرار بر سطح زمین در معرض تغییرات بلافصل آب و هوایی است و سقف و کلیه جداره های داخلی مدل در فصول گرم و سرد بیشترین تبادل حرارتی را با هوای پیرامون خود دارند، لذا نیازهای گرمایشی و سرمایشی آن بسیار زیاد است (شکل نمودار۸). در حالت دوم، با فرو رفتن مدل در عمق نیم متری زمین، خنکای خاک به ویژه از طریق کف بنا بر فضای داخلی تاثیر گذاشته و از بار سرمایشی آن در فصول گرم می‌کاهد. در فصول سرد با توجه به کم شدن زاویه تابش خورشید نسبت به سطح زمین، فضای داخلی حیاط در سایه بیشتری قرار گرفته و در نتیجه نیاز گرمایشی مدل افزایش می یابد. تغییرات شرایط جوی به صورت مستقیم بر عمق کمی از خاک تاثیرگذار است و نفوذ سرما در این عمق نیز می‌تواند موجب بالا رفتن نیاز گرمایشی شود (شکل نمودار۹). در حالت سوم، جداره‌های بنا با خاک بیشتری پوشانده می شوند که همین مسأله باعث بهره‌گیری بنا از خنکای خاک شده و سطح کمتری از بنا را در معرض تابش آفتاب قرار می‌دهد؛ لذا مدل با کاهش بار سرمایشی نسبت به حالات اول و دوم مواجه است. سایه موجود در حیاط با توجه به کاهش زاویه تابش خورشید در فصول سرد و استقرار هوای سرد و سنگین در حیاط مرکزی بنا را در موقعیتی قرار می دهد که نیاز گرمایشی آن مشابه مدل مستقر بر سطح زمین باشد (شکل نمودار۱۰). حالت چهارم به مدلی اختصاص یافته که سه متر در عمق زمین فرو رفته است. تابش آفتاب بر بام و عدم پوشش آن با خاک و درنتیجه دریافت تابش عمدی خورشید بر سقف در فصل تابستان، از جمله دلایلی است که بار سرمایشی زیادی را به مدل تحمیل می‌شود، اما از طرفی پوشیده شدن کل بدنه با خاک، ساختمان را از تابش شدید افتاب به ویژه در ساعات اولیه و پایانی روزهای تابستان محفوظ می‌دارد. مدل با فروروی در عمق بیشتر زمین، در فصول گرم سال دسترسی بیشتری به خاک با دمای پایین دارد که تبادل حرارتی مناسبی بین خاک خنک و فضای داخلی شکل می گیرد. مدل در این حالات نیز با توجه به حیاط مرکزی سرد و سایه‌دار، در فصول سرد نیاز گرمایشی بالایی دارد و از طرفی ساطع شدن حرارت فضای داخلی از طریق سقف به آسمان خنک شب، حتی با وجود عایق‌بندی سقف، سهمی مؤثر در افزایش بارهای گرمایشی بنا دارد (شکل نمودار ۱۱). بر اساس شکل نمودارهای ۱۲ و ۱۳ در حالات پنجم و ششم استقرار مدل در زمین، جداره‌ها به همراه سقف مدل به صورت کامل با ضخامتی از خاک پوشانده می‌شود که در فصول گرم به عنوان مانعی در برابر نفوذ تابش افتاب به فضای داخلی عمل می‌کنند و در کنار آن سایه موجود بر جداره‌های حیاط در خنک‌سازی فضای داخلی مؤثر است. اما در فصول سرد سال، وجود حیاط مرکزی سرد و سایه‌دار در مرکز مدل و استقرار هوای سرد در آن که موجب افزایش تبادل حرارت فضای داخل

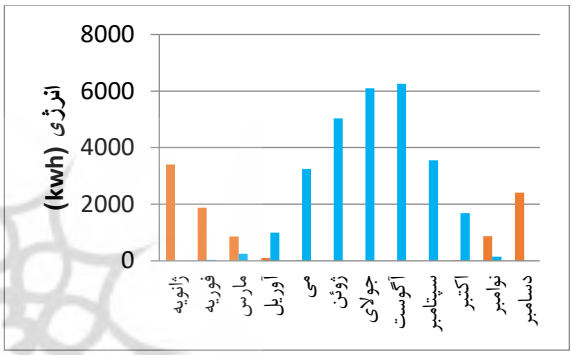
و بیرون است می‌تواند امکان بهره‌گیری بنا از گرمای عمق خاک را کاهش داده و نیاز گرمایشی مدل را بالا ببرد. لازم به ذکر است که منبع تمامی نمودارهای ۸ تا ۱۶ نویسندگان مقاله و بر اساس پژوهش انجام شده توسط آن‌ها است و همچنین رنگهای آبی و نارنجی موجود در نمودارها به ترتیب بیانگر نیاز سرمایشی و گرمایشی مدل است.



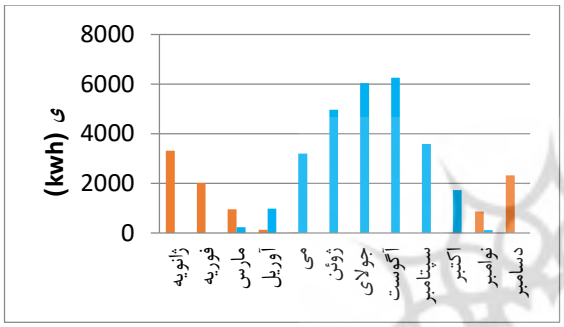
شکل۸ – نیازهای گرمایشی و سرمایشی (روی سطح زمین)



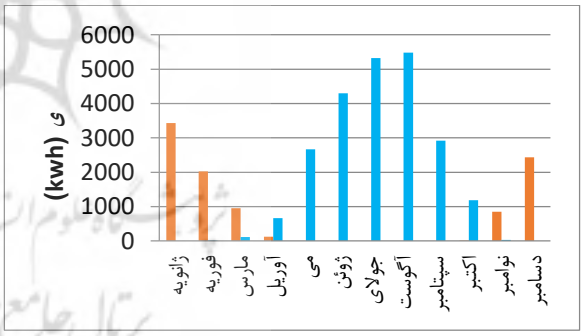
شکل ۹- نیازهای گرمایشی و سرمایشی (عمق ۰/۵ متری خاک)



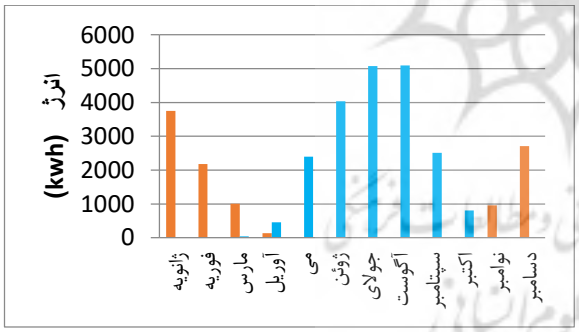
شکل۱۰- نیازهای گرمایشی و سرمایشی (عمق ۱/۵ متری خاک)



شکل۱۱- نیازهای گرمایشی و سرمایشی (عمق ۳ متری خاک)



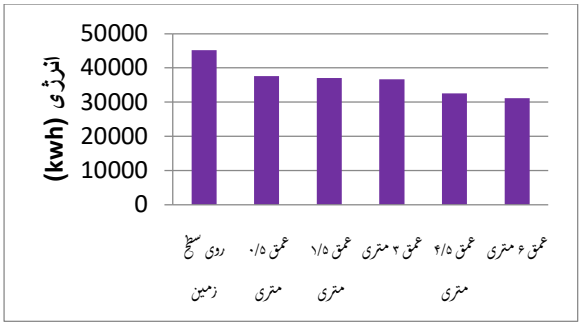
شکل۱۲- نیازهای گرمایشی و سرمایشی (عمق ۴/۵ متری خاک)



شکل ۱۳- نیازهای گرمایشی و سرمایشی (عمق ۶ متری خاک)

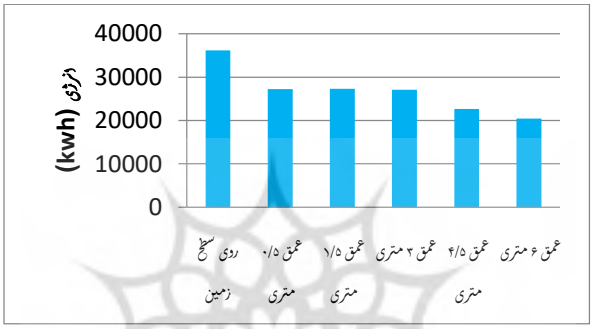
در این قسمت، فرضیه‌های مربوط به هر سؤال با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده برای حالات مختلف فروروی مدل در خاک، آزمون می‌شوند و با توجه به خروجی نرم‌افزار می‌توان نتایج فرضیات پژوهش را به شرح ذیل خلاصه نمود:

فرضیه اول: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک، بر کاهش مجموع نیاز گرمایشی و سرمایشی سالیانه بنا مؤثر است. با توجه به شکل نمودار ۱۴ مستخرج از شبیه‌سازی حرارتی مشخص می‌شود که با فرو رفتن مدل در عمق خاک، مجموع نیاز سرمایشی و گرمایشی سالیانه رفته رفته کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در عمق ۶ متری خاک این کاهش به بیشترین مقدار خود می‌رسد، لذا فرضیه در آزمون موفق است.



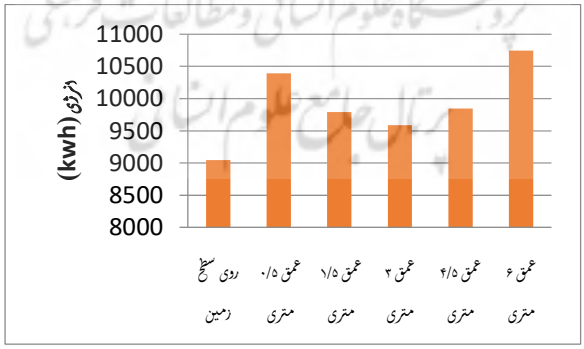
شکل ۱۴- مصرف سالانه مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی در اعماق ۰/۵ تا ۶ متری خاک در مقایسه با مدل مشابه روی زمین

فرضیه دوم: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک، بر کاهش مجموع نیاز سرمایشی سالیانه بنا مؤثر است. با توجه به شکل نمودار ۱۵ مستخرج از شبیه‌سازی حرارتی مشخص می‌شود که با فرو رفتن مدل در عمق خاک، مجموع نیاز سرمایشی سالیانه رفته رفته کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در عمق ۶ متری خاک این کاهش به بیشترین مقدار خود می‌رسد، لذا فرضیه در آزمون موفق است.



شکل۱۵- مجموع نیاز سرمایشی سالیانه

فرضیه سوم: فرو رفتن یک بنای زمین‌پناه دارای حیاط مرکزی در عمق خاک، بر کاهش مجموع نیاز گرمایشی سالیانه بنا مؤثر است. با توجه به شکل نمودار ۱۶ مستخرج از شبیه‌سازی حرارتی مشخص می‌شود که با فرو رفتن مدل در عمق خاک، مجموع نیاز گرمایشی سالیانه رفته رفته افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در عمق ۶ متری خاک این افزایش به بیشترین مقدار خود می‌رسد و حتی از مدل مستقر بر سطح زمین نیز مصرف انرژی گرمایشی بالاتری دارد، لذا فرضیه در آزمون موفق عمل نمی‌کند و دلیل عمده آن وجود هوای سرد در حیاط مرکزی و سایه حاصل از جداره ها بر سطح حیاط و کاهش نفوذ تابش خورشید به حیاط جهت گرمایش فضای داخلی است.



شکل ۱۶- مجموع نیاز گرمایشی سالیانه

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

بحران انرژی جهان، به چیزی فراتر از کمبود سوخت‌های فسیلی بدل شده و حرکت به سمت توسعه پایدار و تأکید بر کارایی انرژی در برنامه‌ریزی شهری امری ضروری است . شهر شیراز با استقرار در اقلیم نیمه گرم و خشک و داشتن سابقه ای طولانی در زمینه ساخت بناهای زیرزمینی از جمله شهرهایی است که می تواند با توسعه این فضاها به ویژه در بخش کاربری مسکونی گامی موثر در زمینه کاهش مصرف

انرژی بردارد. تحقیق پیرامون ساخت مسکن زمین پناه به عنوان تکنیکی پایدار و موثر بر کاهش مصرف انرژی یکی از اصلی ترین نیازهای مطالعاتی شهر شیراز متناسب با شرایط ساختاری و ویژگی های فضایی آن بود که با توجه به عدم وجود مطالعاتی در این زمینه به آن پرداخته شد. این پژوهش با روش کمی به منظور بررسی مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در مسکن زمین‌پناه گونه حیاط مرکزی انجام گرفته است. بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی حرارتی بنای مسکونی زمین پناه در شهر شیراز در حالات مختلف فرو روی در عمق زمین، نشان داده است که با فرو رفتن تدریجی مدل در زمین، صرفه‌جویی در مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان و کاهش نیاز سرمایشی آن ایجاد می‌شود و فرضیه‌های اول و دوم پژوهش در آزمون موفق است؛ اما فرضیه سوم پژوهش در آزمون موفق نبوده و فرو رفتن بنا در خاک موجب افزایش نیاز گرمایشی سالیانه می‌گردد. نمودار مربوط به انرژی سرمایشی در عمق ۶ متری (حالت ششم)، صرفه‌جویی سالیانه به میزان ۴۴ درصد را نسبت به مدل غیر زمین‌پناه (حالت اول) نشان می‌دهد و در عین حال نمودار مرتبط با انرژی گرمایشی بنا، افزایش ۱۸ درصدی سالیانه را نسبت به مدل مستقر بر سطح زمین نشان می‌دهد؛ اما در نهایت مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی سالیانه مدل کاهشی به اندازه ۳۲ درصد را نسبت به مدل مستقر بر سطح زمین نشان می‌دهد که در حقیقت بیشترین میزان صرفه‌جویی است (شکل نمودار۱۳). کلیه نمودارها حاکی از آن هستند که بناهای زمین‌پناه در کاهش بارهای سرمایشی نسبت مطالعه شکل نمودار ۱۴ که به مجموع بارهای گرمایشی و سرمایشی سالانه اشاره می‌کند، نشان می‌دهد مدل ساختمانی شبیه‌سازی شده، در حالات دوم تا ششم نسبت به مدل مشابه غیر خاک پناه (حالت اول)، در مجموع نیاز گرمایشی و سرمایشی سالیانه خود، به ترتیب به اندازه ۱۷ درصد، ۱۹ درصد، ۲۰ درصد، ۲۸ درصد، ۳۲ درصد صرفه‌جویی دارد که بالاترین مقدار صرفه‌جویی، مربوط به استقرار مدل در عمق ۶ متری خاک است.تحقیق پیرامون این موضوع نشان داد که مسکن زمین پناه در کاهش مجموع نیازهای سالیانه گرمایشی و سرمایشی موثر است اما در زمینه کاهش بار سرمایشی موفق تر است. ساختمان‌های زمین‌پناه، به عنوان جایگزینی مناسب برای بخش زیادی از ساخت و سازهای موجود بر سطح زمین، از نظر کاهش مصرف انرژی و در عین حال احیاء فضاهای آزاد رو سطحی، مطرح می‌شوند و در صورت توسعه در مکان‌های مشخصی از ایران که پتانسیل ساخت آنها را دارند می توان گام‌های مؤثری را در جهت توسعه پایدار برداشت. بررسی تناسبات متفاوت حیاط مرکزی به لحاظ ابعاد و فرم در مسکن زمین پناه و تاثیر فاکتورهایی مانند اقلیم، نوع خاک، بارندگی، نور طبیعی بر مصرف انرژی در این ساختارها و همچنین ساخت مسکن زمین‌پناه از جنبه‌های اقتصادی، موضوعاتی هستند که می‌توانند به صورت تخصصی در مطالعات آتی توسط پژوهشگران علاقمند در این زمینه دنبال شوند.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی: هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تأمین شد.

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Akrami, F., & Nasrollahi, N. (2016). Investigating the Effect of Energy Efficiency for the Earth-Sheltered Buildings in Different Uses (Case Study: Hot-arid Climate of Yazd). Scientific Journal of Maremat & Me'mari-e Iran, 6(11), 41-50. [In Persian]
2. Al-Neama, B. (2011). Energy Performance of Earth Sheltered Spaces in Hot Arid Regions. MSc Dissertation. The British University in Dubai, Faculty of Engineering & It.
3. Al-Temeemi, A., & Harris, D. J. (2004). A guideline for assessing the suitability of earth sheltered mass-housing in hot-arid climates. Energy and Buildings, 36, 251–260. doi.org/10.1016/j.enbuild.
4. Anselm, A. J. (2008). Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing. Energy and Buildings, 40(7), 1214-1221. doi.org/10.1016/j.enbuild.
5. Anselm, A. J. (2012). A Review of Energy Conservation Properties in Earth Sheltered Housing. Itec publication. dx.doi.org/10.5772/51873.
6. Arab, M., & Farokhzaad, M. (2017). Design of Earthen Buildings Based on Sustainable Architecture Principles to Reduce Building Energy Consumption in Hot and Dry Climates: Case study: Shahroud. Energy Policy and Planning Research, 3(2), 147-173. [In Persian]

7. Barakpour, N., & Mosananzadeh, F. (2011). A comparative study of energy consumption optimization policies in the field of land use planning in Iran and the United Kingdom. Motaleaat E Shahri, 1(1), 41-60. [In Persian]

8. Barzegar, Z., & Heydari, S. (2013). Investigating the Effect of Solar Radiation on Building Bodies on Energy Consumption of the Home Sector (A Case Study of Southwest and Southeast Orientation in Shiraz). Journal of Fine Arts, 18(1), 45-56.

9. Benardos, I., Athanasiadis, N., & Katsoulakos F. (2014). Modern Earth Sheltered Constructions: A Paradigm of Green Engineering. Tunnelling and Underground Space Technology, 41, 46–52. doi.org/10.1016/j.tust.2013.11.008.

10. Carey, T. (2016). The Thermal Performance of An Earth Sheltered Shipping Container. BA Dissertation, The University of Southern Queensland. DOI:10.18517/ijaseit.7.4.2235.

11. Eghtedari, A., Nasr, T., Movahed, K., & Barzegar Marvasti, Z. (2020). Investigating the Energy Saving Rate of Earth sheltered Housing in Comparison with the Land-based Model (Case Study: Shiraz). Tunneling and Underground Space Engineering, 9(2), 185-206. [In Persian]

12. Eskin, N., & Turkmen, H. (2008). Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey. Journal of Energy and Building, 40(7), 763-773. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.008.

13. Foggia, G. D. (2018). Energy Efficiency Measures in Buildings for Achieving Sustainable Development Goals. Heliyon, 4(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953

14. Ghiabakloo, Z. (2014). Passive cooling, Tehran, Jahad Daneshgahi Publications. [In Persian] .ISNB:879-964-210-143-6.

15. Hassan, H., & Sumiyoshi, D. (2018). Earth-sheltered Buildings in Hot-Arid Climates: Design Guidelines. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 7(4), 397-406. https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.05.005.

16. Imani, F., & Heydari, S. (2018). Investigating the Energy Consumption of An Underground Building Compared to A Similar Model On the Ground in Climates Tehran, Yazd, and Tabriz. Motaleat E Memari E Irani, 13(7), 89-105. [In Persian]

17. Karimi, B., Peyvastehgar, Y., & Taghvai, M. (2020). Analysis and evaluation of the spatial development trend of Shiraz metropolis on the horizon of 1410 using the Earth transformation model and Holderin technique. Journal Research and Urban Planning, 11(40), 123-136. [In Persian]

18. Khodabakhshian, M., & Mofidi, M. (2014). Underground Spaces in Arid Climate Architecture of Iran. Hoviat e Shahr, 8(17), 35-44. [In Persian]

19. Kumara, R., Sachdevab, S., & Kaushik, S. C. (2007). Dynamic Earth-Contact Building: A Sustainable Low-Energy Technology. Building and Environment, 42(6), 2450-2460. DOI:10.1016/j.buildenv.2006.05.002

20. Maddahi, M., & Tavanaii, F. (n.d.). Optimizing the thermal performance of the exterior walls of an intermediate residential building in cold and dry climates using energy simulator software (Case study: Mashhad city). Energy Engineering and Management, 9(3), 108-121. [In Persian]

21. Maftouni, N., & Motaghedi, K. (2020). Optimization of cooling and heating loads in a residential building in hot and dry climate. Mohandesi E Mechanic, 5(3), 215-224. [In Persian]

22. Mirmoghtadai, M., Mousavian, M. F., & Gomarian, P. (2016). Comparative comparison of the position of energy in the urban planning system of Germany and Iran. Baagh E Nazar, 13(43), 91-100. [In Persian]

23. Nasr, T. (2019). The significance of future studies in sustainable development Scenarios (case study: Shiraz city). Modiriat E Shahri, 55, 189-208. [In Persian]

24. Neto, A., & Fiorelli, F. (2008). Comparison Between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. Journal of Energy and Building, 40(12), 2169-2176. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.013

25. Parker, H. (2004). Underground Space: Good for Sustainable Development, and Vice Versa. International Tunnelling Association (ITA) Open Session World Tunnel Congress, Singapore.

26. Parsafar, N., & Maroufi, S. (2011). Estimation of temperature of different soil depths from air temperature using regression relations, neural network and neural-fuzzy network (Case study: Kermanshah region). Journal of Soil and Water Knowledge, 21(3), 140-152. [In Persian]

27. Saqaff, A., Alkaff, S. A., & Sim, S. C. (2016). A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 692-713. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.085

28. Sean Kim, B., & Kim, K. (2018). Analyses on Thermal Insulation Performance of Earth-Covered Wall for Residential Underground Space by Using a Numerical Simulation Program. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 3(2), 259-266. 10.3130/jaabe.3.259

29. Staniec, M., & Nowak, H. (2011). Analysis of the earth-sheltered buildings' heating and cooling energy demand depending on the type of soil. Civil and Mechanical Engineering (1), 221–235. https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60185-X

30. Van Dronkelaar, C., Costola, D., Mangkuto, R., & Hensen J. (2014). Heating and cooling energy demand in underground buildings; potential for saving compared to aboveground buildings for various climates and buildings functions. Energy and Buildings, 71, 129-136. 10.1016/j.enbuild.2013.12.004

31. Wright, J. (2016). Earth Integration and Thermal Mass (for Global Energy Use Reduction). MSc Thesis, The University of Arizona.

32. Yu, J., Yang, Ch., & Tian, L. (2008). Low-Energy Envelope Design of Residential Building in Hot Summer and Cold Winter in China. Journal of Energy and Building, (40), 1536-1546. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.020

33. Zomordian, Z., Tahsildoost, M. (2015). Validation of energy simulation software in buildings: with an experimental and comparative approach. Iranian Journal of Energy, 18(4), 115-132. [In Persian]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی