بسم الله الرحمن الرحيم

راهنمای تهیه و شرایط ارسال نوشتارهای علمی در نشریه معماری اقلیم گرم و خشک

- هدف نشریه "معماری اقلیم گرم و خشک" انتشار نتایج پژوهش‌های علمی در زمینه معماری اقلیم گرم و خشک و موضوعات مرتبط با آن در حوزه‌های معماری سنتی، مرمت، هنرهای وابسته به معماری، شهرسازی، طراحی شهری و انرژی است.
- علاوه بر قرار گرفتن موضوع مقاله در زمینه تخصصی نشریه، مقالات یا بخشی از آن نباید در هیچ مجله‌ای در داخل یا خارج از کشور به طور هم زمان در جریال داوری و یا چاپ باشد. مقالات ارائه شده به صورت خلاصه مقاله درکنگره‌ها، سمپوزیوم‌ها، سمینارهای داخلی و خارجی که چاپ و منتشر شده باشد، می‌تواند در قالب مقاله کامل ارائه شوند.
- نشریه در رد یا قبول، ویرایش، تلخیص یا اصلاح مقاله‌های دریافتی آزاد است.
- اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر نویسندگان انجام می‌شود و مسؤلیت صحت محتوای مقالات به عهده نویسندگان است.
- در صورت استفاده از مطالب دیگران، منبع مورد نظر با شماره و اطلاعات کامل منبع مذکور ارجاع داده شود.
- مقالات مندرج لزوماً نقطه نظرات مسئولین نشریه نبوده و مسئولیت مقالات به عهده نویسندگان است.
- نوشتارهای علمی- پژوهشی پس از داوری و تصویب در هیات تحریریه به چاپ می‌رسند. نشریه از پذیرش سایر نوشتارها نظیر ترجمه، گردآوری، مروری و...) معذور است.
- نوشتارهای ارسالی نباید قبلا در نشریه دیگری به چاپ رسیده و یا بطور همزمان به سایر نشریات و یا سمینارها برای بررسی و چاپ ارائه شده باشد.
- نوشتارها ترجیحا به زبان فارسی باشد. با وجود این نشریه قادر است نوشتارهای انگلیسی زبان را نیز در صورت تایید به چاپ برساند.
- در تنظیم فایل اصل مقاله، رعایت بخش‌های زیر به ترتیب ضروری است:

✓ صفحه اول: بدون نام و مشخصات نویسنده (نویسندگان) و فقط شامل عنوان مقاله، چکیده فارسی (باید به تنهایی بیان کننده تمام مقاله و شامل بیان مسأله یا اهداف پژوهش، روش پژوهش، مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری و حداکثر ۳۰۰ کلمه باشد) و واژه‌های کلیدی باشد. واژه‌های کلیدی مربوط به متن و عنوان مقاله بلافاصله بعد از چکیده و بین ۳ تا ٦ کلمه نوشته شود.

✓ پرسش‌های پژوهش (حداکثر ۳ مورد)

✓ مقدمه: شامل بیان مسئله، بیان اهداف یا فرضیه، روش تحقیق (در معرفی روش تحقیق صرفاً به نام روش بسنده نشود و علاوه بر عنوان، مواردی همچون مراحل انجام، روش گردآوری اطلاعات، مراحل انجام و فرآیند پژوهش ذکر گردد)، و ساختار مقاله می‌باشد.

✓ پیشینه تحقیق

✓ بدنه اصلی پژوهش (چارچوب نظری، بحث و بیان یافته‌ها)

✓ نتیجه‌گیری

✓ تشکر و قدردانی: سپاسگزاری از همکاری و راهنمایی کسانی که در تدوین مقاله نقش داشته‌اند (در صورت نیاز)

✓ پی‌نوشت‌ها: شامل معادل‌های لاتین و توضیحات ضروری درباره اصطلاحات و مطالب مقاله، که به ترتیب با شماره در متن و به صورت پی‌نوشت در انتهای مقاله و قبل از فهرست مقاله درج گردد.

✓ منابع فارسی و لاتین شامل صرفا منابعی که در متن مورد استناد قرارگرفته‌اند، به ترتیب الفبا بر حسب نام خانوادگی نویسنده

✓ چکیده انگلیسی (حداقل ۳۵۰ و حداکثر ۵۰۰ کلمه)

نشریه معماری اقلیم گرم و خشک
زمینه انتشار: معماری
سال ششم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۷
ISSN: 2251-8185
صاحب امتیاز: دانشگاه یزد
سردبیر: دکتر علی غفاری
مدیرمسئول: دکتر کاظم مندگاری
مدیر داخلی: دکتر علی شهابی‌نژاد
ناشر: دانشگاه یزد
هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

۱.	دکتر سیّدمحمّدحسین آیت اللهی	دانشیار گروه معماری- دانشگاه یزد
۲.	دکتر نجما اسماعیل پور	استادیار گروه شهرسازی- دانشگاه یزد
۳.	دکتر بهناز امین‌زاده	دانشیار گروه شهرسازی- دانشگاه تهران
٤.	دکترمحمود رازجویان	استاد گروه معماری- دانشگاه شهیدبهشتی تهران
۵.	دکتر محمّدحسین سرائی	دانشیار گروه جغرافیا- دانشگاه یزد
٦.	دکتر علی غفاری	استاد گروه شهرسازی- دانشگاه شهیدبهشتی تهران
۷.	دکتر حمید ندیمی	دانشیار گروه معماری- دانشگاه شهیدبهشتی تهران
۸.	دکتر هادی ندیمی	استاد گروه معماری- دانشگاه شهیدبهشتی تهران

طرح روی جلد و لوگو: مهندس شهاب‌الدین خورشیدی
عکاس جلد: روستای چاه دادخدا، قلعه گنج، عکس از نادر علیدادی سلیمانی (رئیس میراث فرهنگی جیرفت)
ویرایش فارسی: سید محمدرضا قدکیان
ویرایش انگلیسی: محمدحسین افشاری
امور رایانه و صفحه‌آرایی: الهام اردکانی
چاپ: انتشارات دانشگاه یزد

نشانی نشریه: یزد، خیابان امام خمینی، کوچه سهل بن علی، دانشکده هنر و معماری، دفتر مجله معماری اقلیم گرم و خشک، تلفن: ۰۳۵۳۶۲۲۲۹۸۵
پست الکترونیک:ahdc@journal.yazd.ac.ir
تارنمای نشریه: http://smb.yazd.ac.ir
سیستم نشریه معماری اقلیم گرم و خشک دسترسی آزاد بوده و استفاده از مطالب و کلیه تصاویر آن با ذکر منبع بلامانع است.
نشریه معماری اقلیم گرم و خشک پس از چاپ در پایگاه اطلاع‌رسانی مجلات علمی و تخصصی ایران (magiran.com) پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، ISC و Google scholar نمایه می‌شود.

اسامی داوران این شماره:

دکتر بهناز امین زاده، دانشگاه تهران

دکتر حمیدرضا بیگ زاده شهرکی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان یزد

دکتر حمیدرضا جیحانی، دانشگاه کاشان

دکتر بیتا حاجبی، مدرس دانشگاه هنر اصفهان

دکتر محمد حسینی، کارشناس ارشد میراث فرهنگی شهر یزد

دکتر حسین خسروی، دانشگاه هنر تهران

دکتر مهدی رازانی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

دکتر علی سروش، دانشگاه تهران

دکتر علی شهابی نژاد، دانشگاه یزد

دکتر سیده زینب عمادیان رضوی، دانشگاه یزد

دکتر نریمان فرح زا، دانشگاه یزد

دکتر علی محمدی، مدرس مدعو دانشگاه شهید بهشتی

دکتر احمد میرزا کوچک خوشنویس، پژوهشکده میراث فرهنگی

معماری اقلیم گرم و خشک

فهرست **شماره صفحه**

الگوهای معماری سبُک روستایی حوزه فرهنگی هلیل‌رود (کَوار، کُتوک، کَپر) ۱

حمید میرجانی، اعظم امیری

بازیابی ساختار فضایی و طرح کاشت باغ سالار جنگ شیراز بر اساس خاطرات ترنس اودانل ۲۳

علی اسدپور

ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک مطالعه موردی: استان کرمان ۴۳

لیلی السادات هاشمی رفسنجانی، شاهین حیدری

بازخوانی کیفیت فضایی و عملکرد موزه آب یزد از منظر کاربران ۶۷

مریم مفیدی نیستانی، نریمان فرحزا

ارزیابی عملکرد حرارتی بناهای زمین پناه در مواقع سرد سال (نمونه موردی: اقلیم گرم و خشک یزد) ۸۵

سیده زینب عمادیان رضوی

مقایسهٔ کالبد خانه‌های چهارصفه و حوضخانه‌ای سنتی شهر زواره ۱۰۱

سیده مریم طباطبائی زواره، نیما ولی‌بیگ، مریم عظیمی، بهروز شهبازی چگنی

نشریه معماری اقلیم گرم و خشک
سال ششم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۷

ارزیابی عملکرد حرارتی بناهای زمین پناه در مواقع سرد سال (نمونه موردی: اقلیم گرم و خشک یزد)

سیده زینب عمادیان رضوی[1*]

۱- استادیار، عضو هیأت علمی دانشگاه یزد، دانشکده هنر و معماری، یزد، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۳، تاریخ پذیرش نهائی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان اتلاف حرارت بناهای زمین پناه در مواقع سرد سال و مقایسه آن با بناهای رایج روی زمین انجام شده است. پیشینه پژوهش پیرامون ایده معماری در پناه زمین نشان می‌دهد علیرغم قدمت طولانی این ایده در معماری و شهرسازی ایران، تاکنون تحقیقات محدودی در رابطه با ارزیابی عملکرد حرارتی این نوع ساختارها صورت گرفته است. نکته قابل ذکر دیگر اینکه تحقیقات فوق غالباً رفتار حرارتی بناهای زمین پناه را در مواقع گرم سال مورد توجه قرار داده و از تاثیر ثبات حرارتی زمین بر کاهش اتلاف حرارت آن‌ها در مواقع سرد سال غفلت نموده‌اند. لذا در این پژوهش با استفاده از روش محاسباتی، حالت‌های مختلف ارتباط با خاک، در یک بنای زمین پناه در شهر یزد مدل‌سازی شده و از نظر اتلاف حرارت با بنای روی زمین در مواقع سرد سال مقایسه می‌گردد. همچنین به منظور محاسبه دمای زمین که محیط پیرامون بنای زمین پناه محسوب می‌گردد، از معادله پیشنهادی لبز استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که اتلاف حرارت مدل در پناه زمین با افزایش سطح تماس با خاک کاهش می‌یابد تا جایی که اتلاف حرارت در مدلی که از سه جبهه شمال، شرق و غرب در مجاورت با خاک می‌باشد حدود ٪۴۴ مدل رایج روی زمین ارزیابی شده است. در مجموع می‌توان گفت با بهره‌مندی از ایده معماری در پناه زمین، می‌توان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی در مواقع سرد سال در اقلیم گرم و خشک ایجاد نمود.

کلید واژه‌ها: اتلاف حرارت، معماری زمین پناه، ارزیابی عملکرد حرارتی، مصرف انرژی

[*]Email: z_emadian@yazd.ac.ir

پرسش اصلی پژوهش

عملکرد حرارتی بناهای زمین پناه در مقایسه با بناهای روی زمین در مواقع سرد سال چگونه است؟

۱- مقدمه

ساختمان‌ها به منظور دستیابی به محیطی مناسب جهت تامین آسایش انسان، طراحی می‌شوند. شرایط محیطی و اقلیمی، پارامترهای بسیار مهمی در طراحی ساختمان هستند. در گذشته، شرایط اقلیمی هر منطقه همواره یکی از موضوعات کلیدی در حوزه معماری بوده است. ساختمان‌سازان برای تامین شرایط آسایش انسان، می‌بایست به آفتاب، باد، بارندگی و سرمای زمستان و گرمای تابستان توجه می‌کردند و برای اجرای بنا نیز باید به امکانات موجود و مصالح بومی و در دسترس اهمیت می‌دادند. امروزه معماران و طراحان محیطی در مناطق مختلف جهان در جستجوی آموختن درس‌هایی از معماری بومی هستند تا با بهره‌مندی از آن‌ها به طرح‌هایی دست یابند که در حین استفاده از روش‌های ساخت و مصالح روز، حفظ هویت محلی و همچنین ملاحظات کاهش مصرف انرژی و همسازی با محیط زیست را مورد توجه قرار دهد.

عناصر معماری که پوسته حرارتی ساختمان را شکل می‌دهند (دیوارها، پنجره‌ها، کف و بام) به طرز قابل توجهی بر اقلیم داخلی ساختمان و در نتیجه شرایط آسایش انسان تاثیرگذار هستند. در واقع تبادل حرارتی ساختمان با محیط اطراف خود از طریق پوسته خارجی‌اش صورت می‌گیرد. ساختمان‌های زمین‌پناه تبادل حرارتی با محیط را از طریق پوسته خارجی مجاور خاک به خوبی کنترل می‌نمایند. اگر چه این فضاها در شکل بدوی خود به منظور سرپناه و محافظت در مقابل حمله حیوانات ساخته می‌شدند (Cusido et al.، 1987) اغلب در اقلیم‌های خشن[1]، به عنوان تنظیم‌کننده و تعدیل‌کننده دما کاربرد داشتند. (Alkaff et al، 2016)

به‌منظور کاهش تبادل حرارتی با محیط خارج، پیشینیان ما در اقلیم گرم و خشک و حتی اقلیم گرم و نیمه مرطوب ایران تدابیری بسیار کارا اندیشیده بودند. ساختارهای زمین پناه تدبیری طبیعی در کنترل شرایط نامطلوب محیطی در این مناطق بوده است. با جایگزینی خاک به جای محیط خارجی که نوسان دمایی بالایی را تجربه می‌کند، تبادل حرارت از طریق پوسته خارجی بنا کاهش یافته، شرایط حرارتی محیط داخلی بنا تعدیل و به محدوده آسایش حرارتی انسان نزدیک می‌شد. علیرغم قدمت طولانی این ایده در معماری و شهرسازی ایران، تاکنون تحقیقات محدودی در رابطه با ارزیابی عملکرد حرارتی این نوع ساختارها صورت گرفته است، در حالی که امروزه شاهد انجام تحقیقاتی گسترده در زمینه معماری زمین‌پناه در بسیاری از مناطق جهان هستیم. لذا به منظور بهره‌مندی حداکثر از ظرفیت‌های محیطی پهنه‌های اقلیمی کشور لازم است مطالعات پیرامون جنبه‌های مختلف معماری زمین پناه و به ویژه عملکرد حرارتی آن در مواقع گرم و سرد سال مورد توجه محققین قرار گیرد. از آنجایی که تحقیقات پیرامون اتلاف حرارتی این ساختارها در مواقع سرد سال کمتر مورد توجه قرار گرفته است، در این پژوهش با روشی مبنی بر محاسبه انتقال حرارت از پوسته خارجی، اتلاف حرارت در مدل‌های مورد آزمون در پناه زمین (در سه حالت مجاورت جداره‌های مختلف بنا با خاک) و مدل‌های روی زمین (در دو حالت دارای عایق حرارتی و فاقد عایق حرارتی) در شهر یزد به عنوان یکی از مناطقی که پیشینه‌ای بسیار غنی در معماری زمین پناه دارد، محاسبه و با یکدیگر

مقایسه می‌شود تا از این طریق عملکرد حرارتی این نوع ساختارها در مواقع سرد سال مورد ارزیابی قرار گیرد. امید است به عنوان گامی مؤثر در شناخت کامل‌تر این ایده محسوب گردد.

۱-۱- معماری زمین پناه در پهنه اقلیمی گرم و خشک ایران

استفاده از زیرزمین‌ها یکی از روش‌های سنتی مقابله با گرمای شدید در مناطق گرم و خشک (نظیر یزد، نائین، زواره،کرمان و...) و حتی مناطق گرم و نیمه مرطوب (دزفول، شوشتر و ...) ایران بوده است. در خانه‌های درون‌گرای فلات مرکزی ایران که به خانه‌های چهار فصل موسوم است، اطاق‌های اطراف حیاط بنابر فصل معین سال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تابستان تالار و اطاق های پشت به قبله که در سایه قرار دارند و خنک‌تر هستند، محل سکونت افراد خانواده می‌باشد. غالباً سرداب (زیرزمین) در زیر این قسمت است. در فصول گرم دمای سرداب به علت اینکه در زیرزمین است، از دمای سایر قسمت‌ها کمتر است. در مواقعی که دمای هوا بسیار بالا بوده، اهل خانه به سرداب رفته و از هوای خنک‌تر آن استفاده می‌کردند. (قبادیان،۱۳۸۲:۳۱)

تصویر ۱- راست: مقطع فضای زیرزمینی زیرِ هفت دری (زمستان نشین) خانه رسولیان (دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد)
تصویر۱- چپ: مقطع گودال باغچه خانه لاری‌ها (دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد)

یکی دیگر از شگردهای طراحی به کار رفته در پهنه اقلیمی گرم و خشک برای همسازی با اقلیم عبارت از ایجاد حیاط‌هایی پایین تر از سطح کوچه است که گودال باغچه نامیده می‌شود. گودال باغچه و زیرزمین‌های متعدد پیرامون آن، ضمن برخورداری از نور و تهویه کافی، سبب نشست هوای خنک در شب‌های تابستان می‌شود. (طاهباز، ۱۳۸:۱۳۹۲) در تماس بودن جداره اتاق‌های این فضاها با زمین اتلاف حرارتی در زمستان را نیز به حداقل می‌رسانده است. (تصویر ۱ و تصویر ۲)

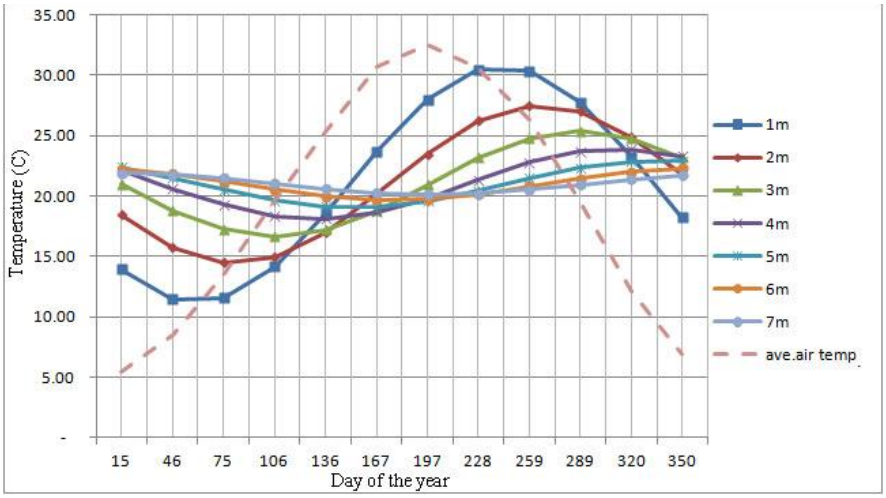
تصویر ۲- نمایی از گودال باغچه خانه لاری‌ها (دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد)

علاوه بر خانه‌ها، بسیاری از ابنیه سنتی ایران به دلیل حداقل‌سازی تبادل حرارتی با محیط پیرامون و بهره‌مندی از خاصیت ثبات حرارتی زمین در دل خاک ساخته می‌شدند. از جمله این موارد می‌توان به حمام‌ها، آب انبارها و یخچال‌ها اشاره نمود.[۲]

۱-۲- مروری بر مزایای معماری زمین پناه

دمای زمین در مقابل نوسانات قابل توجه دمای روی زمین، دارای ثبات حرارتی[۳] است. بنا برگفتهٔ کارمودی و استرلینگ، حتی در اعماق کمی از زمین، در گرم‌ترین لحظات یک روز تابستانی، دمای زمین به ندرت به حدی برابر با دمای محیط بیرون می‌رسد. درنتیجه گرمای کمتری به داخل ساختمان انتقال می‌یابد. (Carmody & Sterling، 1984).

نوسان روزانه، با افزایش عمق به سرعت کاهش می‌یابد. به طوری که در عمق ۶/۱ متری اکثر نوسانات حرارت از بین می‌رود و دمای زمین در طول سال ثابت است. دمای زمین در این عمق برابر با معدل دمای هوای سالیانهٔ منطقه است (واتسون و لبز، ۱۳۸۴). نتایج محاسبه دمای زمین تا عمق ۷ متری در شهر یزد بر اساس معادله معتبر کنت لبز[۴] نشان می‌دهد که در حالی که میانگین دمای هوای سالیانه حداقل ۵/۵ درجه سانتیگراد در ژانویه و حداکثر ۳۲/۵ درجه سانتیگراد در ژوئیه با نوسان حدود ۲۷ درجه سانتیگراد است، با افزایش عمق، نوسان دما کاهش می‌یابد و در نهایت از عمق ۷ متر به بعد دما تقریباً ثابت (حدود ۲۱ درجه سانتیگراد) می‌شود. (تصویر ۳) لذا در صورتی که خاک، جایگزین محیط خارج روی زمین شود، تبادل حرارتی بنا کاهش یافته و تامین آسایش حرارتی با صرف انرژی کمتر امکان می‌یابد.



تصویر۳- منحنی تغییرات دمای اعماق زمین در عمق ۱ تا ۷ متری را در مقایسه با میانگین دمای هوا در یک دوره یک ساله (عمادیان، ۱۳۹۰)

از سال ۱۹۴۰ ایدهٔ ساختمان‌های زیرزمینی در طراحی ساختمان‌ها در بعضی کشورها به دلایل مختلف به کار گرفته شده است. این ایده پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ به دلیل تأثیر آن بر صرفه‌جویی مصرف انرژی و کنترل اقلیم، مورد توجه قرار گرفت. بررسی تاریخی معماری در پناه زمین و نمونه‌های معاصر نشان می‌دهد که این ایده جایگزینی کارآمد در طراحی واحدهای مسکونی (به جای نمونه‌های رایج) به منظور کاهش مصرف انرژی است. در واقع بسیاری از محققین به این نتیجه رسیده‌اند که ساختمان‌های زمین پناه در مقایسه با انواع ساختارهای رایج روی زمین، مصرف انرژی را کاهش و تاثیرات اقتصادی مثبتی خواهند داشت.[۵]

کارپنتر ادعا می‌کند که ساختمان‌های در پناه زمین نسبت به هر طرح دیگری بیشترین ظرفیت را در صرفه‌جویی انرژی دارند. در این نوع ساختمان‌ها نه تنها اختلاف دمای بین داخل و خارج کاهش می‌یابد، بلکه جدارهای در تماس با زمین آن از تابش مستقیم خورشید نیز محافظت می‌شوند (Carpenter ،1994). کارایی حرارتی این نوع ساختمان‌ها به دلیل حذف تابش خورشیدی بر دیوارها و بام، جذب نشدن گرما از طریق دیوارها و بام (در مواقع گرم سال) و همچنین کاهش نفوذ ناخواستهٔ هوا (در مواقع سرد سال) به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. (Al-Mumin, 2001) از دیگر موارد مزایای ساختن در پناه زمین، می‌توان به آزادسازی فضای باز، تامین محیطی آرام با کاهش آلودگی صوتی در داخل بنا، ایمنی در مقابل حوادث طبیعی، کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری و راهکاری در جهت دفاع غیر عامل اشاره نمود. (عمادیان و آیت الهی، ۱۳۹۳).

۱-۳- روش تحقیق

اگرچه ساختمان‌سازی در پناه زمین، ایده جدیدی در زمینه کاهش مصرف انرژی نیست، تا به حال تحقیقات محدودی در زمینه ارزیابی عملکرد حرارتی و بهینه‌سازی کیفیت این نوع ساختارها صورت گرفته است. در واقع عدم وجود اطلاعات کافی در رابطه با "رفتار انرژی" در این نوع ساختارها، از جمله دلایل عدم اشاعه این ایده در عصر حاضر بوده است.

بررسی روش‌های ارزیابی رفتار حرارتی بناهای در پناه زمین یا روش‌های محاسبه میزان جریان گرما در این بناها، بیان‌کننده دو روش کلی است. در روش اول که روشی تجربی عملی است، محققین از طریق اندازه‌گیری دمای فضای داخلی نمونه‌های موجود در پناه زمین و مقایسه آن‌ها با دمای محیط خارج و دمای فضای داخلی نمونه‌های رایج روی زمین، به ارزیابی رفتار حرارتی این بناها می‌پردازند. در بسیاری از موارد به منظور کاهش عوامل مداخله‌گر، مدل‌های مورد نظر توسط محققین طراحی و ساخته می‌شوند. از محدودیت‌های این روش می‌توان به هزینه بالا، بازه زمانی یک ساله برای آزمون مدل‌ها و عوامل مداخله‌گر اشاره نمود. تحقیقات انجام شده توسط گیونی (1976، Givoni) و کاسادا (1975، Kusuda) در این طبقه قرار می‌گیرد. در روش دوم به منظور مقایسه عملکرد حرارتی بنای در پناه زمین، از روش‌های ارزیابی حرارتی ساختارهای روی زمین (از طریق محاسبات) و تطبیق این محاسبات با شرایط بنا در پناه زمین استفاده نموده‌اند. در این روش‌ها، زمین به مثابه محیط بیرون ساختمان تلقی شده و دمای خاکِ مجاور ساختمان به جای دمای محیط در معادلاتِ انتقال حرارت منظور می‌شود. در این روش امکان مدل‌سازی بنا در حالت‌های مختلف و ارزیابی عملکرد حرارتی آن با توجه به این تغییرات وجود دارد. مطالعات موجود در این زمینه در حوزه تحقیقات مهندسین معمار و طراحان محیطی قرار گرفته و امکان مقایسه بین بنای در پناه زمین و روی زمین را فراهم می‌سازد.[۶] در تحقیق انجام شده توسط Al-Temeemi و Harris که با این روش انجام شده است، کارایی انرژی یک دیوار در تماس با زمین در اعماق مختلف خاک در شرایط اقلیمی کویت مورد بررسی قرار می‌گیرد. این ارزیابی از طریق شبیه سازی انتقال گرما از یک دیوار زیرزمینی در اعماق مختلف انجام می‌شود. سپس با نتایج یک دیوار روی زمین با "همان روش" مقایسه می‌شود. پیش‌بینی دماهای اعماق زمین در دوره یک ساله با استفاده از معادله لبز، که در آن ویژگی های فیزیکی و حرارتی خاک مورد نظر قرار گرفته انجام می‌شود. در این مطالعه یک دیوار دو طبقه به ارتفاع ۶ متر در اعماق ۶-۰، ۷-۱، ۸-۲ و ۹-۳ متری زمین با مقطع مشخص مورد آنالیز حرارتی فوق قرار می‌گیرد و با یک دیوار روی زمین با مصالح رایج در کویت مقایسه می‌شود. مقایسه‌ها در ۴ دوره زمانی نیمه آوریل، ژوئن، اکتبر و ژانویه انجام می‌شود. نتایج این مطالعه تاثیر خاک را در کنترل انتقال گرما از یک دیوار در اقلیم گرم و خشک حتی در صورت فقدان عایق حرارتی به روشنی نشان می‌دهد. (Al-Temeemi&Harris ،2003).

در تحقیقی دیگر Al-Mumin به منظور شبیه‌سازی حرارتی گودال باغچه‌ها، نرم‌افزاری تهیه نموده است. این نرم‌افزار بر اساس فایل اطلاعات هواشناسی که شامل داده‌های ساعتی دماست و همچنین ویژگی‌های حرارتی مصالح، منابع گرما، شرایط مرزی، محیط خارجی مورد نظر و سایر پارامترها جذب و اتلاف گرما را محاسبه می‌کند. (Al-Mumin ،2001)

در این پژوهش، به منظور مقایسه عملکرد حرارتی بنای در پناه زمین، از روش‌های ارزیابی ساختارهای روی زمین و تطبیق این محاسبات با شرایط بنای در پناه زمین استفاده شده است. در این روش، زمین به مثابه محیط بیرون ساختمان تلقی شده و دمای خاک مجاور ساختمان به جای دمای محیط در معادلات انتقال حرارت منظور می‌شود. لذا امکان تغییر در جبهه‌های مختلف مجاور سطح زمین و

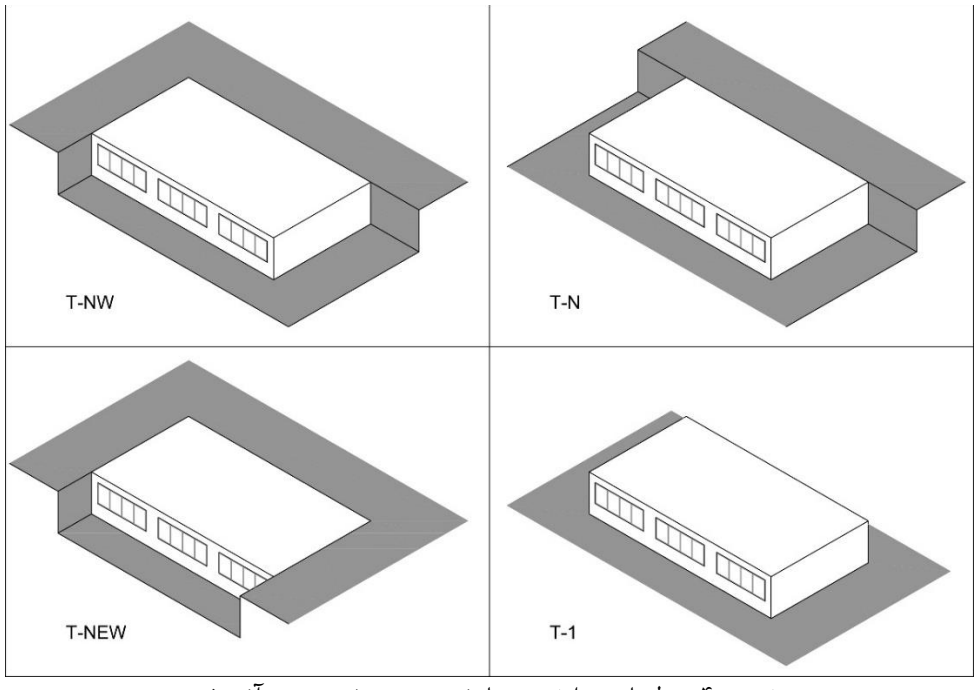
دریافت نور طبیعی به‌منظور ارزیابی مدل‌های متنوع وجود دارد.

۲- مدل‌های مورد آزمون بنای در پناه زمین

به‌منظور ارزیابی اتلاف حرارت در ساختمان در پناه زمین پیشنهاد می‌شود انتقال حرارت در یک مدل با کاربری مسکونی به ارتفاع ۳ متر در یک طبقه زیرزمین با ابعاد ۱۵ در ۸ متر مربع (واحدی مسکونی به متراژ ۱۲۰ متر مربع) محاسبه گردد.[۷] به منظور ارزیابی تاثیر مساحت و جهت جداره‌های در تماس با خاک بر اتلاف حرارت مدل‌ها، فضای فوق در ۳ نوع در پناه زمین (نوع اول: ارتباط با خاک در جبهه شمال، شرق، غرب، نوع دوم: ارتباط با خاک در جبهه شمال و نوع سوم: ارتباط با خاک در جبهه شمال و غرب) و نوع رایج روی زمین طراحی می‌شود. تصویر ۴ مدل‌های حرارتی در پناه زمین و روی زمین مورد آزمون را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که به منظور حداقل‌سازی تاثیر عوامل مداخله‌گر، تمام مدل‌های فوق دارای یک طبقه روی زمین هستند تا انتقال حرارت از سقف حذف شود.

در شبیه سازی مورد نظر:

- متغیرهای مستقل: عمق قرارگیری بنا، مساحت و جهت جداره‌های در تماس با خاک
- متغیر وابسته: میزان اتلاف حرارت در مواقع سرد سال
- متغیرهای تعدیل کننده[۸]: مصالح و ضخامت جداره، روز سال و مساحت نورگیر است.
- زمان انجام مطالعات: روز ۱۵ ام ماه ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر به عنوان مواقع سرد سال (دمای میانگین پایین‌تر از ۲۱ درجه سانتیگراد) در نظر گرفته شده است.



تصویر ۴- مدل‌های حرارتی در پناه زمین و روی زمین مورد آزمون

به‌منظور بررسی تاثیر مساحت نورگیر بر متغیر وابسته تحقیق، محاسبات مورد نظر با در نظر گرفتن مساحت نورگیر برابر با ۸٪ و ۱۲٪ و ۱۵٪ مساحت کف مدل‌ها انجام شده و ارزیابی می‌شود. دلیل انتخاب نسبت های فوق، مراجعه به منابعی است که مساحت مناسب سطوح شیشه‌ای را در مناطق با تابستان‌های گرم ۱۵-۱۰٪ مساحت کف فضا برآورد کرده‌اند (Givoni,1998:153). مدل های مورد آزمون بر اساس جداره‌های در تماس با خاک، کدگذاری شده‌اند. به عنوان مثال، کد T-NEW مدلی است که جبهه شمال N، شرق E و غرب W آن در مجاورت خاک است. در جدول ۱ ویژگی‌های انواع مدل‌های حرارتی مورد آزمون تشریح شده است. همچنین جدول۲ ضریب انتقال حرارتی و مقاومت حرارتی جداره های به کار رفته در مدل‌ها را ارائه داده است. سطوح نورگیر در این مدل‌ها، شیشه دو جداره شفاف و انتقال حرارتی آن برابر با ۲/۹۴ $(W/m^2.K)$ فرض شده است.

جدول ۱- ویژگی انواع مدل‌های حرارتی مورد آزمون

ردیف	کد مدل مورد آزمون	وضعیت قرارگیری نسبت به زمین	جبهه مجاور خاک	ویژگی های جداره خارجی
۱	T-NEW	زیرِزمین	شمال، شرق، غرب	مجاور خاک نوع۳، مجاور فضای باز نوع۲
۲	T-N		شمال	مجاور خاک نوع۳، مجاور فضای باز نوع۲
۴	T-NW		شمال،غرب	مجاور خاک نوع۳، مجاور فضای باز نوع۲
۵	T-1	روی زمین	-	جداره نوع ۱
۶	T-1-INS	روی زمین	-	جداره نوع ۲ (عایق)

جدول ۲- انتقال حرارتی و مقاومت حرارتی جداره‌های پیشنهادی (مقاومت سطح داخلی و خارجی در محاسبات منظور شده است)

نوع جداره	مصالح تشکیل دهنده جداره	انتقال حرارتی $(W/m^2.K)$	مقاومت حرارتی (m^2K/W)
نوع۱	cm۱۰ آجر نما، cm۳ ملات سیمان، cm۵ عایق حرارتی، cm۲۰آجر، cm۳گچکاری	۰/۵	۲/۰۰۴
نوع۲	cm۱۰ آجر نما، cm۳ ملات سیمان، cm۲۰آجر، cm۳گچکاری	۱/۵۲	۰/۶۵۸
نوع۳	cm۱۰ آجر محافظ عایق، عایق رطوبتی، آجر cm۲۰، cm ۳ سیمانکاری	۱/۵۲	۰/۶۵۸

۳- روش تقریبی محاسبه اتلاف حرارت از بنا

در این تحقیق، روشی تقریبی[۹] برای محاسبه اتلاف حرارت از بنا در مواقع سرد سال، بر اساس راهنمای CIBSE2006،[۱۰] به کار رفته است. در این روش، دمای محیط به عنوان دمای طراحی شرایط پایدار به منظور گرمایش به کار می‌رود (CIBSE,2006:5-10).[۱۱] دمای داخل بر اساس معیار آسایش فضای نشیمن واحدهای مسکونی معرفی شده توسط CIBSE2006، ۲۲-۲۳ درجه سانتیگراد در زمستان و ۲۵-۲۳ درجه سانتیگراد در زمستان تعیین شده است. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه ارزیابی

مورد نظر اختصاص به مواقع سرد سال دارد، پنجره مدل‌ها در محاسبات اتلاف حرارت، در طول شب و روز بسته و در نتیجه تعداد دفعات تعویض هوا ۱ فرض شده است.

دمای محیط در معادله اتلاف حرارت، دمای خاک در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه دمای خاک در اعماق مختلف زمین تغییر می‌کند، به منظور محاسبه جریان گرما از یک دیوار قائم داخل خاک، نیاز به محاسبه دمای میانگین خاک در یک مقطع قائم داریم. در حال حاضر معتبرترین معادله ارائه شده برای محاسبه میانگین دمای مجاور یک دیوار قائم درون خاک، معادله پیشنهاد شده توسط لبز است که در این قسمت با توجه به شرایط ترموفیزیکال خاک شهر یزد و همچنین شرایط آب و هوایی یزد تهیه شده است: (واتسون و لبز،۱۹۸۴، ۹۳)

معادله فوق عبارتست از:

$$T_{(a-b)} = T_m + \frac{A_s}{(b-a)\sqrt{2\pi/365\alpha}} \exp^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}}\ Cos\left[\frac{2\pi}{365}\left(t - t_o - \frac{x}{2}\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right) - 45.6\right]\Bigg|_a^b \qquad (۱)$$

که در آن:

$T_{(a-b)}$ میانگین دمای مقطع قائم که از عمق a تا b، a قسمت بالایی مقطع و b قسمت پایینی مقطع ، T_m میانگین سالیانه دمای سطح زمین (به درجه سانتیگراد)، A_s دامنه نوسان سالیانه دمای سطح زمین (به درجه سانتیگراد)، t روز سال، x عمق زمین، t_o تاریخ دمای سطح حداقل، a ضریب انتشار حرارتی خاک[۱۲] (m^2 per day)، e پایه لگاریتم نپری مساوی با ۲/۷۱۸۲۸ است. با جایگذاری T_m برابر با ۲۱ درجه سانتیگراد، A_s برابر با ۱۴/۶۲ درجه سانتیگراد، t_o برابر با روز ۳۶ ام سال و a برابر با ۰/۰۵ m^2 per day در یزد معادله فوق به صورت زیر در می‌آید:[۱۳]

$$T_{(a-b)} = 21 + \frac{24.9}{(b-a)} \exp^{-0.4x}\ Cos(0.99t - 23.87x - 81.24)\Big|_a^b \qquad (۲)$$

٤- یافته‌های تحقیق

بر اساس معادله (۲)، دمای مجاور دیوار ۳ متری قرار گرفته در عمق ۰ تا ۳ متری زمین در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر در جدول ۳ ارائه شده است.

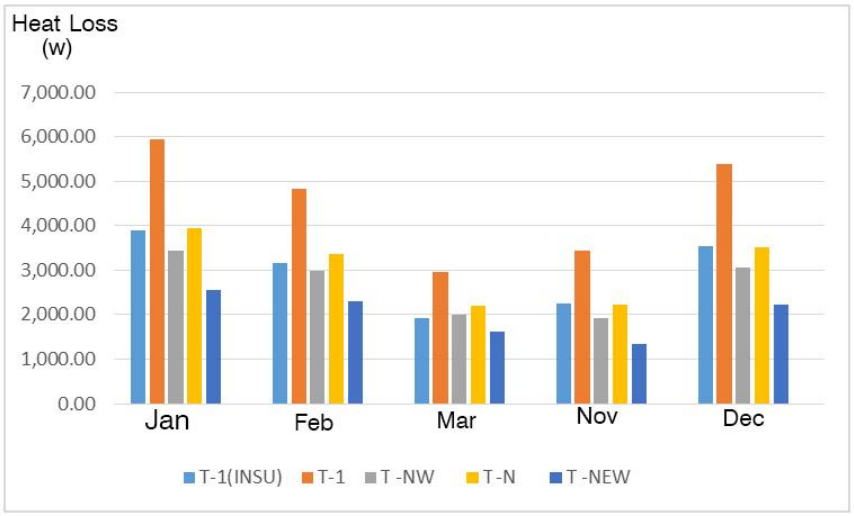
جدول ۳- دمای مجاور دیوار ۳ متری قرار گرفته در عمق ۰ تا ۳ متری زمین در مواقع سرد سال در یزد

	ژانویه	فوریه	مارس	نوامبر	دسامبر
دمای مجاور دیوار قرار گرفته در عمق ۰ تا ۳ متری زمین (درجه سانتیگراد)	۱۶	۱۴	۱۳	۲۴	۲۰

جدول ۴ و تصویر ۵ اتلاف حرارت در مدل‌های حرارتی مورد آزمون را به تفکیک ماه‌های سرد در حالتی که مساحت نورگیر ۱۵٪ مساحت کف است، نمایش می‌دهد.

جدول ۴- اتلاف حرارت در مدل های حرارتی مورد آزمون به تفکیک ماه‌های سرد سال (مساحت نورگیر۱۵٪ مساحت کف)

ماه سال	مدلهای مورد آزمون بنا در پناه زمین و روی زمین				
	T-NEW	T-N	T-NW	T-1	T-1(INSU)
JAN	۲۵۶۴	۳۹۳۸	۳۴۵۳	۵۹۳۸	۳۹۰۲
FEB	۲۳۰۳	۳۳۶۲	۲۹۸۹	۴۸۲۱	۳۱۵۵
MAR	۱۶۰۷	۲۲۱۱	۱۹۹۸	۲۹۷۲	۱۹۱۹
NOV	۱۳۴۲	۲۲۲۰	۱۹۱۰	۳۴۵۱	۲۲۳۹
DEC	۲۲۲۰	۳۵۲۵	۳۰۶۵	۵۳۸۱	۳۵۲۹
Annual (Winter)	۱۰۰۳۶	۱۵۲۵۶	۱۳۴۱۵	۲۲۵۶۳	۱۴۷۴۴

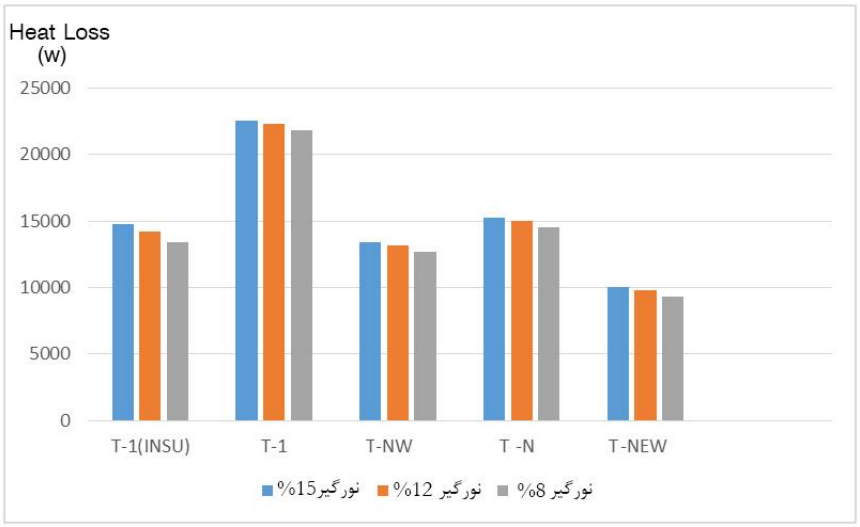


تصویر۵- اتلاف حرارت بر حسب وات در مدل‌های حرارتی مورد آزمون به تفکیک ماه‌های سرد سال (مساحت نورگیر۱۵٪ مساحت کف)

جدول ۵ و تصویر ۶، مجموع اتلاف حرارت سالیانه در مدل‌های حرارتی مورد آزمون در پناه زمین و روی زمین، در شرایطی که مساحت نورگیر ٪۱۵، ٪۱۲ و ٪۸ است، نمایش می‌دهد.

جدول۵- اتلاف حرارت سالیانه (مواقع سرد سال) در مدل‌های حرارتی مورد آزمون (بر حسب وات) براساس مساحت نورگیر

اتلاف حرارت سالیانه (بر اساس مساحت نورگیر نسبت به کف)	مدل‌های مورد آزمون بنا در پناه زمین و روی زمین				
	T-NEW	T-N	T-NW	T-1	T-1(INSU)
(مساحت نورگیر:۱۵٪ مساحت کف)	۱۰۰۳۶	۱۵۲۵۶	۱۳۴۱۵	۲۲۵۶۳	۱۴۷۴۴
(مساحت نورگیر:۱۲٪مساحت کف)	۹۷۵۲	۱۴۹۷۳	۱۳۱۳۱	۲۲۲۸۰	۱۴۲۲۹
(مساحت نورگیر:۸٪مساحت کف)	۹۲۸۰	۱۴۵۰۰	۱۲۶۵۸	۲۱۸۰۷	۱۳۳۶۹



تصویر۶- اتلاف حرارت سالیانه مواقع سرد سال در مدل‌های حرارتی مورد آزمون بر اساس مساحت نورگیر (بر حسب وات)

۵- نتیجه‌گیری

از مقایسه اتلاف حرارت در مدل‌های مورد آزمون نتایج زیر حاصل می‌شود:

- مدل T-NEW که سه جبهه شمال، شرق و غرب آن در مجاورت زمین است، بهترین عملکرد حرارتی را در مواقع سرد سال دارد.
- در بین سایر مدل‌های در پناه زمین، مدل T-NW (جداره‌های شمالی و غربی در مجاورت زمین) که نسبت به مدل T-N (جداره شمالی در مجاورت زمین) سطح تماس بیشتری با زمین دارد، اتلاف حرارت کمتری به محیط دارد.
- مدل عایق روی زمین (T-INS)، اتلاف حرارتی تقریباً برابر مدل T-N (جداره شمالی در مجاورت زمین) دارد.
- اتلاف حرارت مدل T-NW که جداره‌های شمالی و غربی آن در مجاورت زمین است، از مدل عایق روی زمین نیز کمتر است.
- اتلاف حرارت مدل T-NEW که سه جبهه مجاور خاک دارد، ۴۴٪ اتلاف حرارت مدل T-1 (فاقد عایق روی زمین)، حدود ۶۶٪ مدل T-N (جداره شمالی در مجاورت زمین)، ۷۵٪ مدل T-NW (جداره‌های شمالی و غربی در مجاورت زمین) و ۶۸٪ T-1-INS (عایق روی زمین) است.

- در نهایت عملکرد حرارتی مدل‌های مورد آزمون در مواقع سرد سال را می‌توان به ترتیب زیر طبقه‌بندی نمود:

۱. مدل T-NEW (جداره‌های شمالی، شرقی و غربی مجاور زمین) بهترین عملکرد حرارتی
۲. مدل T-NW (جداره‌های شمالی و غربی مجاور زمین)
۳. مدل T-1-INS (عایق روی زمین)
۴. مدل T-N (جداره شمالی مجاور زمین)
۵. مدل T-1 (فاقد عایق روی زمین)، ضعیف‌ترین عملکرد حرارتی را دارد.

در ارزیابی فوق، عمق زمین، مساحت و جهت جداره‌های در تماس با خاک، عوامل مستقل تحقیق و میزان اتلاف حرارت از مدل مورد آزمون، عامل وابسته و مصالح و ضخامت جداره، روز سال و مساحت سطوح شفاف، عوامل تعدیل‌کننده

محسوب می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی اتلاف حرارت در مدل‌های مورد آزمون نشان می‌دهد که:

- اتلاف حرارت در مدل‌های مورد آزمون با جایگیری در عمق زمین و افزایش مساحت جداره های در تماس با خاک، کاهش می‌یابد. این در حالی است که جهت جداره‌های در تماس با خاک بر اتلاف حرارت آن‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.
- واضح است که با کاهش مساحت سطوح شیشه ای (نورگیر)، اتلاف حرارت از مدل‌ها نیز کاهش می‌یابد. البته با کاهش مساحت نورگیر تناسبات اتلاف حرارت بین انواع مدل‌ها تقریباً ثابت می‌ماند. به عنوان مثال اتلاف حرارت مدل T-NEW بدون وابستگی به مساحت نورگیر همواره حدود ۴۴٪ مدل فاقد عایق روی زمین است.
- هر چه دمای محیط پایین‌تر باشد، اختلاف اتلاف حرارت در مدل‌های روی زمین و در پناه زمین افزایش می‌یابد.
- در اتلاف حرارت از بنا، تاثیر استفاده از مصالح عایق کمتر از قرارگیری نیمی از دیوارهای خارجی بنا در پناه زمین است.

تحقیقی که از نظر گذشت با طرح این سوال آغاز گردید که عملکرد حرارتی بناهای زمین پناه در مواقع سرد سال، در مقایسه با بناهای روی زمین چگونه است. از مجموع آنچه به آن اشاره شد، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که بهره‌برداری از معماری در پناه زمین در مواقع سرد سال نیز امکان پذیر و از نظر عملکرد حرارتی دارای جایگاهی واجد اعتبار است. لذا می‌تواند در دستور کار معماران، کارفرمایان و سرمایه گذاران بخش ساختمان قرار گیرد. امید است که تحقیقات بیشتر پیرامون تمهیدات و تدابیر معمارانه و در نتیجه افزایش ساخت و ساز این معماری، امکان بهره‌گیری از این منبع انرژی خدادادی را فراهم نماید.

پی نوشت‌ها

1- Harsh Climate

۲- لازم به ذکر است که ساختن این ابنیه در دل زمین، علاوه بر بهره برداری از ثبات حرارتی زمین دلایل دیگری نیز داشته است (از جمله امکان سوار شدن آب بر آنها) که ذکر آن‌ها در محدوده تحقیق حاضر نمی‌گنجد.

3- Thermal stability

4- Labs

۵- منابع زیر نتایج تحقیقات در زمینه میزان صرفه جویی در انرژی ساختارهای زمین پناه را نشان می‌دهند:

– McMillian, J.Q. (2001). *The Earth Sheltered Home*.

- Boyer, L.L. & W.T.Grondzik.(1983). *Habitability and Energy Performance of Earth Sheltered Dwellings*. pp. 39-64

- Khair-el-Din, A.M. (1984). *Earth Sheltered Housing: an Approach to Energy Conservation in Hot Arid Areas*. pp. 365-369.

- Benardos, A., Athanasiadis, I.& Katsoulakos, N. (2014). *Modern earth sheltered constructions: A paradigm of green engineering*. Tunnell. Underground Space Technol. 41, pp.46-52

- Derradji, M. & Aiche, M. (2014). *Modeling the soil surface temperature for natural cooling of buildings in hot climates*. Proc. Comput. Sci. 32, 615–621.

- Foruzanmehr, A. & Vellinga, M.(2011). *Vernacular architecture: questions of comfort and practicability*. Build. Res. Inf. 39 (3), pp. 274–285.

- Hassan, H., Arima, T., Ahmed, A., Sumiyoshi, D. & Akashi, Y. (2014). *Testing the Basements Thermal Performance as an Approach to the Earth-Sheltered Buildings Application at Hot Climates, Case Study (Egypt)*. Asim, Ngoya, Japan.
- Tundrea, H., Maxineasa, S.G., Simion, I.M., Taranu, N., Budescu, M. & Gavrilescu, M. (2014). *Environmental impact assessment and thermal performances of modern earth sheltered houses*. Environ. Eng. Manag. J. 13 (10). Pp 2363-2369.
- Van Dronkelaar, C., Cóstola, D., Mangkuto, R. & Hensen, J. (2014). *Heating and cooling energy demand in underground buildings: potential for saving in various climates and functions*. Energy Build.ngs 71, 129–136.

۶- در تحقیق انجام شده توسط Al-Temeemi و Harris کارایی انرژی یک دیوار در تماس با زمین در اعماق مختلف خاک در شرایط اقلیمی کویت مورد بررسی قرار می‌گیرد.(Al-Temeemi&Harris,2003) در مطالعاتی دیگر الممین به منظور شبیه سازی حرارتی گودال باغچه ها، نرم افزاری کامپیوتری (نوشته شده درFORTRAN) به نامSUNCORT تهیه نموده است. .-Al) Mumin,2001)

۷- با توجه به اینکه بناهای در پناه زمین دارای سطوح در تماس با خاک در جبهه های شمال، شرق و غرب است، مدل فوق دارای کشیدگی شرقی–غربی است تا بتواند بهترین نورگیری را از جبهه جنوب داشته باشد. همچنین مساحت ۱۲۰ متر مربع به عنوان میانگین مساحت ساخت و ساز رایج در طبقه زیرزمین در شهر یزد در نظر گرفته شده است.

۸- متغیر تعدیل کننده متغیری است که در روابط بین دو متغیر مستقل و وابسته اثر می‌گذارد. در واقع متغیر تعدیل کننده عاملی است که به وسیله محقق انتخاب، اندازه گیری یا دستکاری می‌شود تا مشخص شود که تغییر آن موجب تغییر رابطه بین متغیر مستقل و متغیر وابسته می‌شود یا نه. (حسن زاده، ۱۳۹۰: ۴۳)

9- Approximate model
10- The Chartered Institution of Building Services Engineering

۱۱- در این ارزیابی، اتلاف حرارت کلی ساختمان، مجموع اتلاف حرارتی است که از طریق پوسته ساختمان و تهویه از دست می‌رود.

$$\Phi_t = \left[\Sigma(AU) + C_v\right](\theta_{ei} - \theta_{ao})$$

که در آن:

Φ_t مجموع اتلاف گرما (W)، $\Sigma(AU)$ مجموع حاصلضرب مساحت و ضریب انتقال حرارتی سطوحی که جریان گرما از آن‌ها اتفاق می‌افتد(W.K^{-1})، C_v انتقال گرما از طریق تهویه(W.K^{-1}) ، θ_{ei} دمای محیطی و θ_{ao} دمای هوا به (℃)

انتقال گرما از طریق تهویه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_v = \frac{1}{3} NV$$

که در آن: N تعداد دفعات تعویض هوا برای هوای وارد شده به فضا با دمای هوای خارج (h^{-1})، V حجم اتاق(m^3)

۱۲- ضریب انتشار حرارتی خاک با قابلیت هدایت حرارتی(k) تقسیم بر ظرفیت گرمایی که حاصل ضرب تراکم(ρ) و گرمای ویژه(c) است، مصالح مورد نظرتعریف می شود. در هر مدل آنالیز ریاضی، ضریب انتشار خاک باید به عنوان ویژگی ثابت خاک، مقداری خاص باشد. اگرچه باید اشاره شود که ضریب نفوذ خاک، ویژگی ای بسیار قابل تغییر است که با زمان و عمق تا حد زیادی تغییر می کند. دو عامل اصلی که قابلیت هدایت حرارتی خاک و تا حدی ظرفیت گرمایی خاک را معین می کند، مقدار رطوبت و نسبت شن/رس آن می باشد. قابلیت هدایت حرارتی خاک با افزایش رطوبت تا حد زیادی افزایش می یابد، همچنین خاکی که عمدتاً شامل رس باشد، قابلیت هدایت حرارتی بالاتری از خاک همراه با شن دارد. نسبت شن/رس یا وجود هر مواد دیگری در

خاک که بر ظرفیت در خود نگهداشتن آب و ویژگیهای ترموفیزیکی خاک تاثیر گذار است، به طرز قابل توجهی با عمق، حتی در لایه های نزدیک به سطح تغییر می کند(Givoni,1994: 228) .

۱۳- بنابر نظر واتسون و لبز، با اضافه کردن ۱/۷ درجه سانتیگراد به میانگین سالیانه دمای هوا، میانگین سالیانه دمای سطح به طور تقریبی به دست می‌آید. در یزد، میانگین سالیانه دمای هوا در یک دوره ۵۰ ساله، ۱۹/۳ درجه سانتیگراد است. در نتیجه میانگین سالیانه دمای سطح زمین تقریباً ۲۱ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. دامنه نوسان سالیانه دمای سطح زمین، نمایشگر بیشترین انحراف دما از دمای متوسط سالیانه است. از آنجائیکه اندازه این فاکتور نیز در دسترس نیست، واتسون و لبز پیشنهاد کرده اندکه A_s به این طریق محاسبه شود: نصف تفاوت میانگین دمای هوای ماهیانه ژوئیه و ژانویه به اضافه ۱/۱ درجه سانتیگراد. میانگین دمای هوای ماهیانه ژوئیه و ژانویه یزد با توجه به آمار ۵۰ ساله برابر است با ۳۲/۵۱ و ۵/۴۷ درجه سانتیگراد. این مقادیر ما را به مقدار ۱۴/۶۲ برای دامنه نوسان سالیانه دمای سطح زمین در شهر یزد می‌رساند. t_o نمایانگر روزی است که در آن حداقل دمای سطح را داریم. بنابر تئوری انتقال حرارت دوره ای، سیکل موجی دمای سطح زمین به طور متوسط حدود $1/8$ سیکل یا ۴۶ روز پس از دوره موج تابش خورشیدی است. از آنجائیکه روز حداقل تابش خورشید روز ۳۵۵ سال است، t_o با زمان تاخیر ۴۶ روز، روز ۳۶ سال خواهد بود. جنس خاک در اطراف شهر یزد اغلب از نوع شن یا شن رسی[۱۳] است. رطوبت خاک بسیار کم و عمق آبهای زیرزمینی حدود ۸۰ الی ۱۰۰ متر است. (مصاحبه با دکتر عظیم زاده) با در نظر گرفتن تراکم $kg/m^3$۱۷۰۱ ، گرمای ویژه ۸۴۰ (J/kg.k) و ضریب هدایت حرارتی ۰/۹۱ (w/m.k) برای خاک خشک ضریب انتشار ۰/۰۵۵ m^2per day حاصل می‌شود. (Shipp,1981: 53-64) و (Al-Temeemi&Harris,2001: 839)

منابع

- Alkaff, S.A., Sim, S. & Efzan, M.E. (2016). *A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development*. Renew. Sustain. Energy Rev.60, pp692-713.-- Al-Mumin, Adil A. (2001). *Suitability of sunken courtyards in the desert climate of Kuwait*. Energy and Buildings 33 103-111.
- Al-Temeemi, A.A. & Harris, D.J. (2003). *The effect of earth contact on heat transfer through a wall in Kuwait*. Energy and Buildings 35. pp 399–404.
- Benardos, A., Athanasiadis, I. & Katsoulakos, N. (2014). *Modern earth sheltered constructions: A paradigm of green engineering*. Tunnell. Underground Space Technol. 41, pp.46-52.
- Boyer, L.L. & Grondzik, W.T. (1983). *Habitability and Energy Performance of Earth Sheltered Dwellings*. pp. 39-64.
- Carmody, J. & Sterling, R. (1984). *Design considerations for underground buildings*. Underground Space 8
- Carpenter, P., Sod It. (1994). *An Introduction to Earth Sheltered Development in England and Wales*. Coventry University: Coventry
- CIBSE Guide A, Environmental design. (2006). The Chartered Institution of Building Services Engineering. Yale Press. London.
- Cusido, J., Mira, M., Roset, J. & Isalgue, A. (1987). *Thermal behaviour of a medieval sheltered building*. Energy Build. 10 (1), pp 19–27.
- Derradji, M. & Aiche, M. (2014). *Modeling the soil surface temperature for natural cooling of buildings in hot climates*. Proc. Comput. Sci. 32, 615–621.
- Foruzanmehr, A. & Vellinga, M.(2011). *Vernacular architecture: questions of comfort and practicability*. Build. Res. Inf. 39 (3), pp. 274–285.
- Givoni, B. (1976). *Man,climate and architecture*, 2nd ed.Vannostrand Reinhold, New York.
- Givoni, B. (1998). *Climate Consideration in Building and Urban Design*. New York. Van Nostrand Reinhold.
- Givoni, B. (1994). Passive and low energy cooling of buildings. Vannostrand Reinhold, New York.
- Hassan, H., Arima, T., Ahmed, A., Sumiyoshi, D. & Akashi, Y. (2014). *Testing the Basements Thermal Performance as an Approach to the Earth-Sheltered Buildings Application at Hot Climates, Case Study (Egypt)*. Asim, Ngoya, Japan.
- Khair-el-Din, A.M. (1984). *Earth Sheltered Housing: an Approach to Energy Conservation in Hot Arid Areas*. pp. 365-369.

- McMillian, J.Q. (2001). *The Earth Sheltered Home*
- Shipp, P. H. (1981). Thermal characteristics of a large earth sheltered building (part I & II). Underground Space 6. pp 53-64.
- Tundrea, H., Maxineasa, S.G., Simion, I.M., Taranu, N., Budescu, M. & Gavrilescu, M. (2014). *Environmental impact assessment and thermal performances of modern earth sheltered houses*. Environ. Eng. Manag. J. 13 (10). Pp 2363-2369.
- Van Dronkelaar, C., Cóstola, D., Mangkuto, R. & Hensen, J. (2014). *Heating and cooling energy demand in underground buildings: potential for saving in various climates and functions*. Energy Build.ngs 71, 129–136.
- Wang, F. & liu, Y. (2002) *Thermal environment of the courtyard style cave dwelling in winter*. Energy and Buildings 34 985-1001

ـ حسن زاده، رمضان. (۱۳۹۰). روش های تحقیق در علوم رفتاری. تهران: نشر ساوالان، چاپ دهم.

ـ قبادیان، وحید. (۱۳۸۲). بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران. تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

ـ طاهباز، منصوره. (۱۳۹۲). دانش اقلیمی، طراحی معماری. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

ـ واتسون، دانلد و لبز، کنت. (۱۳۸۴). طراحی اقلیمی، اصول نظری و کاربرد انرژی در ساختمان. ترجمه: وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

ـ عمادیان رضوی، سیده زینب. (۱۳۹۰). ثبات حرارتی زمین و رفتار حرارتی بنا، پایان نامه دکتری معماری، استاد راهنما: شهرام پوردیهیمی. دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی.

ـ عمادیان رضوی، سیده زینب و سید محمد حسین آیت الهی. (۱۳۹۳). بهره گیری از ثبات حرارتی زمین در ایجاد آسایش حرارتی. فصلنامه علمی پژوهشی صفه. سال بیست و چهارم، شماره ۶۴.