

فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی

سال سوم / شماره ۸ / پاییز ۱۳۹۶ / صفحات ۱۷۳-۱۴۷

طراحی بناهای خاک پناه بر مبنای اصول معماری پایدار جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان در اقلیم گرم و خشک: مطالعه موردی شهر شاهرود

مریم عرب

دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گنبد کاووس
m_arab1991@yahoo.com

محمد فرخ زاد

استادیار گروه معماری، دانشگاه گلستان (نویسنده مسئول)
m.farrokhzad@gu.ac.ir

در دهه های اخیر، بحران آلودگی محیط زیست در دنیا به طور گسترده ای مطرح شده که موجب نگرانی جامعه انسانی می باشد و با توجه به کاهش مستمر انرژی های تجدید ناپذیر و همچنین وجود منابع مناسب انرژی های پایدار (خورشیدی، زمین گرمایی، باد و...)، لازم است معماران به عنوان بخش مهمی از اجتماع که مداخله فراوانی در محیط زیست دارند، در ساخت و سازهای خود تامل بیشتری نموده و از ایده های جدید جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی های ناشی از آن بهره گیرند. معماری خاک اصیل ترین و کهن ترین نمونه معماری ایران زمین است و استفاده از خاک با خصوصیتی از قبیل ظرفیت حرارتی بالا و زمان تاخیر حرارتی قابل توجه، در مدیریت مصرف انرژی و رسیدن به معماری پایدار و سبز راهگشاست. این پژوهش که حاصل مشاهدات عینی، مطالعات کتابخانه ای و مدل های تجربی است، به صورت تحلیلی-توصیفی به تشریح اقلیم شاهرود با استفاده از داده های اقلیمی پرداخته و پس از طراحی مدل یک ساختمان اقامتگاه بین راهی به تحلیل مصرف انرژی آن می پردازد. نتایج حاصل بیانگر صرفه جویی بهینه در مصرف انرژی در صورت استفاده از مدل خاک پناه می باشد.

واژه های کلیدی: معماری خاک پناه، اقلیم گرم و خشک شاهرود، مدل سازی انرژی ساختمان، توسعه پایدار، رفتار حرارتی زمین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۳

۱. مقدمه

در چند دهه اخیر، با توجه به خطر ناشی از پدیده دگرگونی و آلودگی اقلیم، متفکران حوزه معماری وجهی از نگرش خود را به جهان پیرامونی با اهمیت بخشیدن به مقوله اقلیم سامان بخشیدند و پیدایش نگرش اقلیمی را در جوامع مهندسی ساختمان و روش معماری پایدار را در مکاتب معماری موجب شدند. نگرش اقلیمی مانند هر نگرش دیگر معماری با کاربر خود از چگونگی دیدن معماری می گوید و به او می گوید که بنا یک آسایشگاه اقلیمی است و آن را باید با شرایط محیطی اش بسنجد.

سه جزو اصلی نگرش اقلیمی، انسان، سرپناه و محیط طبیعی می باشد. (معماریان، ۱۳۸۴)

معماری پایدار، کاربرد مفاهیم توسعه پایدار در معماری، مباحث تازه را با نام های معماری پایدار، معماری اکولوژیکی، معماری سبز و معماری همساز با اقلیم که همگی دارای مفاهیم یکسان و معماری سازگار با محیط زیست می باشند، مطرح می نماید. مفهوم لغوی Sustainable که به پایداری مصطلح شده، قابل تامل است. به عبارتی، معماری پایدار وظیفه احداث ساختمان هایی را دارد که در طبیعت قابل تحمل باشند، علاوه بر آنکه نگهدار هویت و تطبیق عینیت با تصاویر ذهنی طی لایه های تاریخی، امروز و آینده باشد (گرچی مهبلانی، ۱۳۸۹). در نتیجه، معماری در بستر طبیعت با توجه به شرایط ذکر شده، حاصل نتایج توسعه پایدار است و معماری در پناه خاک نمونه ای از این گونه معماری در بستر طبیعت محسوب می شود. طراحی معماری به عنوان راه حلی که هدف آن خلق پناهگاهی برای ایمن شدن از گزند عوامل طبیعی باشد از ابتدای تاریخ مورد توجه بشر بوده است. مردم ایران بویژه ساکنان اقلیم های گرم مبدع شیوه هایی برای مقابله با گرمای طاقت فرسا بوده اند. گرمای طاقت فرسا بویژه در فلات مرکزی ایران یکی از عواملی است که در صورت فقدان تمهیدات لازم، گاه چنان تحمل ناپذیر می شود که می تواند جان بسیاری را در معرض خطر قرار دهد (رحیمی مهر، ۱۳۹۲). زمین به عنوان نخستین جایگاه و مصالح ساخت سرپناه، نقش بسزایی در شکل گیری معماری داشته است (برزگر، ۱۳۸۹). معماری خاک پناه پیشتر در اقلیم گرم و خشک ایران و به جهت دوری جستن از شرایط سخت آب و هوایی استفاده می گردید. در روند تبدیل زمین های کشاورزی به مناطق شهری،

افزایش جمعیت شهرنشینی در جهان، گسترش نگرانی در مورد حفظ و بهبود محیط‌زیست خصوصاً در مباحث مربوط به پدیده گرمایش زمین و رشد جمعیت، استفاده از فضای زیرزمینی فرصت‌هایی ارائه می‌نماید که به اصلاح و بهبود این روند کمک نماید (استرلینگ، ۱۳۸۸). توسعه زیرزمینی ابزار مهمی جهت تغییر ساختار شهرها برای مواجهه با چالش‌های آینده بدون تخریب میراث تاریخی و آسیب رساندن به محیط زیست در سطح زمین خواهد بود. (استرلینگ، ۱۳۸۸)

۲. روش تحقیق

این پژوهش حاصل مراجعه به منابع مکتوب، مقالات علمی و پژوهش‌های انجام شده در مورد معماری خاک‌پناه می‌باشد. لازم به ذکر است که تحلیل ساختگاه نقش مهمی در تصمیم‌گیری اینکه ساختمان زیرزمینی دارای فواید اقتصادی و انرژی نسبت به نوع معمول آن است، بازی می‌کند (خدابخشیان، ۱۳۹۲). اطلاعات اقلیمی این محدوده با استفاده از داده‌های علمی متئونورم^۱ به صورت ساعتی از طریق اتصال به ماهواره‌های هواشناسی با فرمت epw استخراج شد. داده‌های هواشناسی دما از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ و داده‌های تابش از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ به دست آمد و سپس جهت ساخت یک ساختمان پایدار به صورت گرافیکی به تحلیل مولفه‌های اقلیمی در فصول تابستان و زمستان و مقایسه نیازهای حرارتی در مطالعات زیست اقلیمی پرداخته شد.

پس از بررسی نقاط قوت و موانع طراحی بناهای خاک‌پناه به بررسی، تحلیل و در نتیجه، استفاده از نقاط قوت و ارائه راه حل برای مشکلات و مسایل ساختمان‌های خاک‌پناه پرداخته شد و پس از به دست آوردن و تعیین الگوهای طراحی ساختمان‌های خاک‌پناه، طراحی کاربری پروژه مورد نظر با عنوان اقامتگاه بین‌راهی با رویکرد معماری خاک‌پناه و با رعایت الگوهای طراحی بدست آمده، صورت گرفت. سپس مدل‌های حرارتی ساختمان طراحی شده اقامتگاه بین‌راهی خاک‌پناه با استفاده

1. Meteonorm

از نرم افزار دیزاین بیلدر^۱ یک مرتبه روی سطح زمین و در مرتبه دوم به صورت خاک پناه، شبیه سازی گردید.

نرم افزار دیزاین بیلدر برای مدل سازی ساختمان از جنبه های مختلف مانند فیزیک ساختمان (مصلح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، محاسبه میزان نفوذ هوا، نوع پنجره، دهانه و روشنایی و ... کاربرد داشته و قابلیت مدل سازی انرژی ساختمان را دارد. موتور شبیه سازی نرم افزار مورد نظر، نرم افزار انرژی پلاس^۲ است که توسط وزارت انرژی آمریکا توسعه یافته و از دقیق ترین نرم افزارهای مدل سازی انرژی موجود در دنیا می باشد.

۳. مبانی نظری

مجتمع های خدماتی رفاهی بین راهی (اقامتگاه)

مکان هایی که به منظور ارائه خدمات مورد نیاز رانندگان و مسافران وسایل نقلیه خارجی در طول جاده های ترانزیتی کشور احداث می شوند و در آن خدمات و امکانات مورد نیاز مستقر می شوند. (وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۶)

توسعه پایدار و معماری

ساختمان ها در مقایسه با سایر مصنوعات دست بشر عمر نسبتاً طولانی تری دارند و در طول تمام مراحل نقشه کشی، ساختمان سازی، تجهیز کردن و تخریب یا استفاده دوباره از آن، در توسعه پایدار تاثیر گذار خواهند بود. یک ساختمان، محصول مرکبی از مصالح، مواد و ترکیبات است که متقابلاً بر هم اثر گذارند. بعلاوه، ساختمان اثر قابل ملاحظه ای بر سلامت

1.Designbuilder

2.Energyplus

انسان دارد. برای مثال، ۹۰ درصد زمان زندگی مردم اروپا در ساختمان و فضای معماری سپری می‌شود. (WGSC, 2004)

توسعه پایدار در رابطه با فعالیت‌های ساختمانی و محیط ساخته‌شده، اغلب ساختمان پایدار یا ساختار پایدار نامیده می‌شود. بخش ساختمان یکی از بزرگترین بخش‌های اقتصادی و اجتماعی در اروپا می‌باشد و به همراه محیط ساخته‌شده، به طور معناداری در تغییر روی محیط طبیعی تاثیر گذار است. بخش ساختمان و محیط ساخته‌شده، به عنوان دو حوزه کلیدی در توسعه پایدار جهانی مطرح شده‌اند. (CIB, 1999)

معماری خاک‌پناه

بنای در پناه خاک نشانگر استفاده از زمین در طراحی ساختمان برای بهبود کیفیت مشخصه‌های انرژی، زیبایی و ایزوله شدن آن است (Carmody and Sterling, 1984). با توجه به اینکه استفاده از زمین در طراحی بنا بیشتر یک ایده کلی است، تعریف پذیرفته‌شده جهانی در مورد بنا در پناه زمین وجود ندارد و بیشتر تعاریف، این معماری را به بنایی اطلاق می‌دارند که حداقل ۵۰ تا ۸۰ درصد مساحت سقف آن با زمین یا خاک پوشیده شده باشد. (Ahrens, Ellison and Sterling, 1981)

۴. مزایای بناهای خاک‌پناه

مهمترین علت پناه بردن به زمین در گذشته و همچنین در دنیای امروز، بهره‌گیری از ثبات حرارتی زمین در جهت تعدیل هوای داخل بنا و فرار از ناملایمات اقلیمی محسوب می‌شود. لذا به نظر محققان، کارایی حرارتی این نوع ساختارها اصلی‌ترین مزیت آنها شناخته شده است. از دیگر مزایای مهم معماری در پناه زمین می‌توان به افزایش فضای باز، کاهش آلودگی‌های بصری، کاهش آلودگی صوتی، کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری و ایمنی ساختمان از حوادث طبیعی اشاره نمود. در ادامه، مزایای اقلیمی ساختمان‌های خاک‌پناه نسبت به مدل روستی‌نویسی آن بررسی می‌گردد.

کارایی حرارتی

بررسی تاریخی معماری در پناه زمین و نمونه های معاصر نشان می دهد که این ایده جایگزینی کارآمد در طراحی واحدهای مسکونی (به جای نمونه های رایج) در جهت کاهش مصرف انرژی بویژه در مناطق دارای اقلیم خشن می باشد. به دلیل خنک تر بودن خاک پیرامون نسبت به هوای محیط در زمان هایی از سال، ساختمان زیرزمینی پتانسیل کاهش انرژی سرمایشی مورد نیاز را با کاهش انتقال حرارت از جداره های خارجی فراهم می سازد. کارمودی و استرلینگ (Carmody and Sterling, 1928) اظهار کرده اند که حتی در اعماق کمی از زمین، در گرم ترین لحظات یک روز تابستانی، دمای زمین بندرت به حدی برابر با دمای محیط بیرون می رسد. در نتیجه، گرمای کمتری به داخل ساختمان انتقال می یابد.

در واقع، بسیاری از محققان به این نتیجه رسیده اند که ساختمان های زیرزمینی در مقایسه با انواع ساختارهای رایج با کاهش بارگرمایشی و سرمایشی، صرفه جویی بیشتری در انرژی خواهند داشت. کارپنتر (Carpenter, 1994) ادعا می کند که ساختمان های در پناه زمین نسبت به هر طرح دیگری بیشترین ظرفیت را در صرفه جویی انرژی دارند. در این نوع ساختمانها نه تنها اختلاف دمای بین داخل و خارج کاهش می یابد، بلکه ساختمان از تابش مستقیم خورشید نیز محافظت می شود. در نهایت، بنا بر تحقیقات موجود، شکی وجود ندارد که خانه های در پناه زمین، کارایی حرارتی بهتری از نمونه های مشابه روی زمین دارند (Behr, 1982).

کارایی حرارتی این نوع ساختمان ها از طریق سه مزیت افزایش می یابد: اول، حذف تابش خورشیدی از دیوارها و بام؛ دوم، کاهش نفوذ ناخواسته هوا که تاثیر زیادی در جذب گرما در مناطق کویری دارد و سوم، جذب گرما از طریق دیوارها و بام در پناه زمین به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد، زیرا محیط اطراف ساختمان یعنی همان زمین، در فصل گرم سال دارای دمای کمتری نسبت به هوای بیرون است. (استرلینگ، ۱۳۸۸)

ایمنی ساختمان از حوادث طبیعی

از دیگر خصوصیات قابل توجه ساختمان‌های زیرزمینی، مقاومت بهتری است که در مقابل حوادث طبیعی از جمله بادهای شدید، طوفان و رعد و برق نشان می‌دهند. همچنین این ساختمانها آسیب‌پذیری کمتری در هنگام وقوع زلزله دارند (Baggs, 1991). به عنوان مثال، در زلزله سال ۱۳۵۸ در گناباد، بسیاری از گرمابه‌های قدیمی (که در زیر زمین واقع شده بودند) در روستاهای اطراف این شهر از آسیب زلزله در امان ماندند در حالی که گرمابه‌های نوساز با معماری جدید آسیب دیدند.

خانه‌های در پناه زمین همچنین مقاومت بیشتری در مقابل آتش‌سوزی نسبت به خانه‌های روی زمین از خود نشان می‌دهند. در هنگام وقوع آتش‌سوزی، سازه این خانه‌ها آسیب کمتری در آتش می‌بیند (Jannadi and Ghazi, 1998). در نهایت، لازم است به استفاده از زیرزمین‌ها به عنوان راهکاری در جهت پدافند غیرعامل به هنگام وقوع جنگها نیز اشاره کرد.

آزاد سازی فضای بام

ساخت بنا در پناه زمین علاوه بر کارایی حرارتی، مزایای دیگری نیز در پی خواهد داشت. یکی از این مزیت‌ها، حداقل سازی تاثیر بصری ساختمان بر محیط است. زمانی که تغییر در محیط پیرامون، مطلوب تلقی نمی‌شود، ساخت بنا در پناه زمین، کیفیت سایت‌های خاص را حفظ می‌نماید (Wilkes and Packard, 1988). علاوه بر این، وجود خاک بر روی بام این نوع ساختارها ظرفیت ایجاد فضای باز (سبز) بیشتری را فراهم می‌سازد که نکته مهمی در طراحی خارجی ساختمان‌های زیرزمینی می‌باشد. حضور فضای سبز (به جای ساختمان‌های رایج) تاثیری مثبت بر محیط و انسان خواهد داشت.

همچنین برای شهرهای پرجمعیت که دچار محدودیت جا هستند، ساخت شهرها به صورت متراکم‌تر می‌تواند یک راه حل باشد. این بدان معنا نیست که تعداد افراد بیشتری در هر کیلومتر مربع

زندگی خواهند کرد، بلکه به معنای آن است که خط عمودی شهر با ادغام کامل فضای رو و زیر زمین، بیشتر استفاده خواهد شد. (Darmisevic, 1999)

کاهش میزان تعمیر و نگهداری

به دلیل مجاورت قسمت عمده سطوح خارجی ساختمان با زمین، پوسته ساختمان کمتر تحت تاثیر عوامل طبیعی نظیر باد، باران، تابش شدید، تگرگ، یخ زدگی و ... قرار می گیرد و در نتیجه، به تعمیر و نگهداری کمتری نیاز دارد. همچنین این ساختمانها از گرمای شدید و تابش ماورای بنفش خورشید (در اقلیم های گرم) که باعث رنگ پریدگی سطوح و از بین رفتن رنگ سطوح خارجی و کاهش کارایی عایق رطوبتی بام می شود، در امان هستند (Alison, 1975).

ساختمان در پناه زمین نسبت به سطوح ساختمان های رایج تحت تاثیر نوسانات دمایی کمتری قرار می گیرد. نوسان کمتر دما، انقباض و انبساط کمتری را در مصالح ساختمان به وجود آورده و در نتیجه، ترک های حرارتی را که امری معمول در بلوک های بتنی است، کاهش می دهد. (Lippsmeier, 1969)

۵. بررسی بستر مطالعه

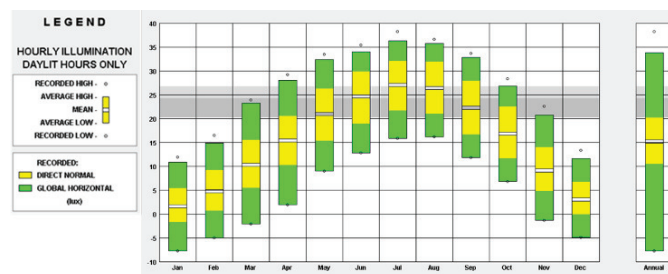
طراحی اقامتگاه های بین راهی با توجه به قرارگیری در خارج از محدوده شهرها و کارکردهای خاص در نظر گرفته شده برای آن، رعایت ضوابط ویژه ای را طلب می کند. قرارگیری در مناطق اقلیمی گرم و خشک کشور برای این اماکن مستلزم تنظیم شرایط محیطی مناسب جهت تامین آسایش ساکنان توأم با کاهش مصرف انرژی می باشد که یکی از این روشها، پیاده سازی الگوی معماری خاک پناه است. در این پژوهش، شاخصه های مکانیابی چنین فضای معماری خاصی استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت که به عنوان نمونه موردی در استان سمنان انجام شد. مولفه های اصلی این پروژه، دسترسی (جاده)، مقیاس پروژه، جهت، شیب، زمین شناسی، جنس خاک و سطح تراکم آبراهه ها در مکانیابی اقامتگاه بین راهی با رویکرد معماری خاک پناه می باشد. بررسی این

مؤلفه‌ها منجر به انتخاب ساختگاهی در فاصله ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان شاهرود شد و نتایج حاصل از رفتار حرارتی و عملکرد ساختمان مورد نظر طراحی شده در ساختگاه منتخب مورد مطالعه قرار گرفت.

شهرستان شاهرود در شمال شرقی استان سمنان و در عرض جغرافیایی ۳۶,۴۱۷ شمالی و طول جغرافیایی ۵۵,۰۳۳ درجه شرقی واقع شده است. اطلاعات اقلیمی این محدوده به صورت ساعتی با استفاده از نرم افزار متئونرم از طریق اتصال به ماهواره‌های هواشناسی دریافت شد و خروجی آن توسط نرم افزار دستیار اقلیمی به صورت داده‌های گرافیکی ارایه و سپس مورد تحلیل قرار گرفت.

بررسی اقلیمی منطقه

شکل (۱) تغییرات ماهانه دمای هوا را در شاهرود نشان می‌دهد. بر این اساس، جدول (۱) تدوین شده که در آن وضعیت متوسط دمای هر ماه از سال نسبت به محدوده آسایش و متوسط حداقل و حداکثر دمای هر فصل سال بیان شده است. بیشینه دما در این شهرستان در اواسط تابستان ۳۸ درجه سانتی‌گراد و کمینه آن ۸- درجه سانتی‌گراد در اوایل زمستان می‌باشد.



شکل ۱. محدوده دمای ماهانه شهرستان شاهرود (درجه سانتی‌گراد)

مأخذ: داده‌های هواشناسی بلندمدت

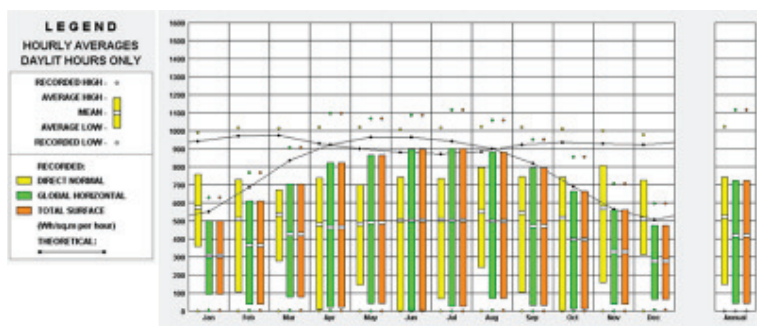
جدول ۱. یافته ها و تحلیل وضعیت دمای شاهرود در ماه های سال

فصل	ماه	بیان وضعیت متوسط دما	حداقل و حداکثر دما	درجه سانتی گراد
بهار	آوریل	پایین تر از محدوده آسایش	-	۱۵
	می		حداکثر دما فصلی	۲۱
	ژوئن		حداقل دما فصلی	۲۴
تابستان	ژوئیه	بالا تر از محدوده آسایش	حداکثر دما فصلی	۲۷
	اوت		-	۲۶
	سپتامبر		حداکثر دما فصلی	۲۲
	اکتبر		-	۱۶
پاییز	نوامبر	پایین تر از محدوده آسایش	حداقل دما فصلی	۹
	دسامبر		-	۳
زمستان	ژانویه	پایین تر از محدوده آسایش	حداقل دما فصلی	۱
	فوریه		حداکثر دما فصلی	۴
	مارس		حداقل دما فصلی	۱۰

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت

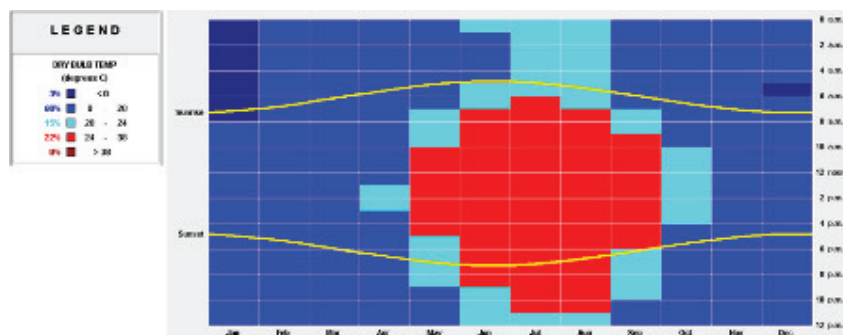
شکل (۲) میزان تابش ماهانه خورشید در شاهرود را به نمایش می گذارد که در جدول (۲) به حداقل و حداکثر آن در هر فصل اشاره شده است.

در پیش فرض محاسبه این قسمت، سطح دریافت کننده انرژی تابشی کاملاً افقی و به سمت جنوب قرار گرفته است. داده های ایستگاه هواشناسی نیز به مجموع ماهانه ساعات آفتابی پرداخته که در ستون انتهایی جدول به آن اشاره شده است. بیشینه تابش در این شهرستان در ماه تیر (ژوئیه) می باشد.



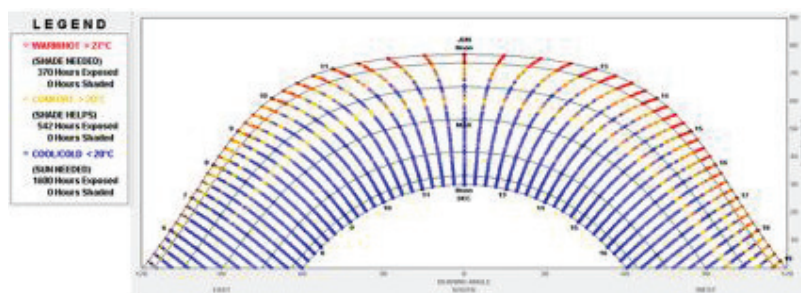
شکل ۲. محدوده تابش (ماهانه) شهرستان شاهرود

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت



شکل ۳. نمودار نیازهای اقلیمی سالانه بر اساس دمای هوای خشک

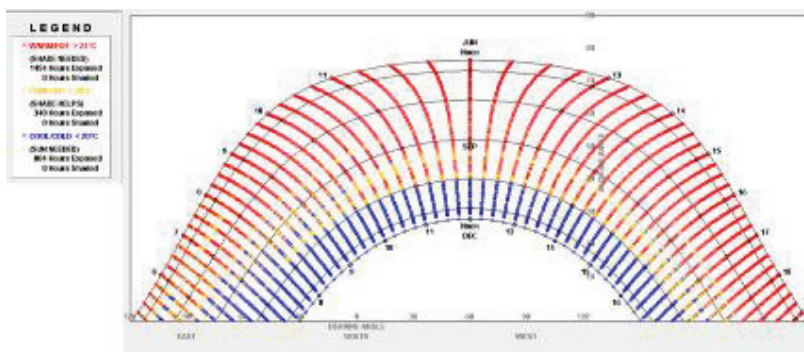
مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت



شکل ۴(الف). محدوده شرایط گرم، سرد و آسایش در حد فاصل ساعات طلوع تا غروب خورشید

در شهرستان شاهرود (زمستان و بهار)

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت



شکل ۴(ب). محدوده شرایط گرم، سرد و آسایش در حد فاصل ساعات طلوع تا غروب خورشید

در شهرستان شاهرود (تابستان و پاییز)

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت

جدول ۲. یافته‌ها و تحلیل میزان انرژی تابشی و ساعات آفتابی
شاهرود در ماه‌های سال

فصل	ماه	بیان وضعیت	تعیین حداقل و حداکثر ساعات آفتابی (h)
بهار	آوریل	متوسط تابش: ۴۶۵	۴۰۹
	می	حداکثر متوسط تابش: ۴۹۰	حداکثر ساعات آفتابی فصلی: ۴۳۴
تابستان	ژوئن	متوسط تابش: ۵۰۲	حداکثر ساعات آفتابی فصلی: ۴۴۶
	ژوئیه	حداکثر متوسط تابش: ۵۰۳	۴۳۴
پاییز	اوت	حداقل متوسط تابش: ۴۹۹	حداقل ساعات آفتابی فصلی: ۴۰۹
	سپتامبر	حداکثر متوسط تابش: ۴۷۲	حداکثر ساعات آفتابی فصلی: ۳۵۰
زمستان	اکتبر	متوسط تابش: ۳۹۷	۳۱۵
	نوامبر	حداقل متوسط تابش: ۳۲۸	حداقل ساعات آفتابی فصلی: ۲۹۲
بهار	دسامبر	حداقل متوسط تابش: ۲۷۸	حداقل ساعات آفتابی فصلی: ۲۸۵
	ژانویه	متوسط تابش: ۳۰۶	۲۹۲
تابستان	فوریه	حداکثر متوسط تابش: ۳۶۵	حداکثر ساعات آفتابی فصلی: ۳۱۵
	مارس	حداکثر متوسط تابش: ۴۲۵	حداقل ساعات آفتابی فصلی: ۳۵۰

مأخذ: داده‌های هواشناسی بلندمدت

اطلاعات ایستگاه هواشناسی میانگین رطوبت نسبی را در سه مقطع زمانی در طول شبانه‌روز تعیین می‌کند.

در جدول (۳) میزان حداقل و حداکثر رطوبت در هر بازه زمانی و برای هر فصل براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی عنوان شده است.

جدول ۳. یافته ها و تحلیل میزان رطوبت نسبی و بارش در فصول سال شاهرود

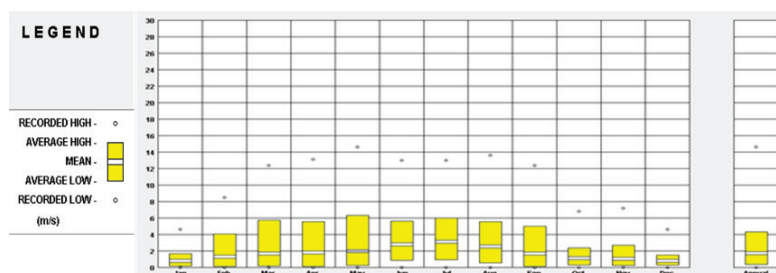
فصل	ماه	حداقل و حداکثر میزان رطوبت نسبی (متوسط ماهانه)	میزان رطوبت نسبی متوسط ماهانه (درصد)		
			حداقل	متوسط	حداکثر
بهار	آوریل	حداکثر فصلی	۴۰		
	می	حداقل فصلی	۲۳	۳۶	۵۶
تابستان	ژوئن	حداکثر فصلی	۲۲	۳۴	۵۶
	ژوئیه	حداقل فصلی	۲۱	۳۳	۵۴
	اوت	حداکثر فصلی	۲۳	۳۴	۵۰
	سپتامبر	حداقل فصلی	۲۵	۳۸	۵۸
پاییز	اکتبر	-	۶۰	۴۲	۵۹
	نوامبر	حداکثر فصلی	۳۴	۵۲	۶۸
زمستان	دسامبر	حداکثر فصلی	۵۲	۶۷	۸۱
	ژانویه	-	۴۴	۶۱	۵۸
	فوریه	حداقل فصلی	۳۵	۵۳	۷۰
	مارس	حداکثر فصلی	۲۳	۴۰	۵۶

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت

جدول ۴. تحلیل و بررسی میانگین وضعیت وزش بادها در شاهرود

فصل	ماه	جهت وزش باد غالب	متوسط سرعت وزش باد غالب (m/s)	دمای باد (درجه سانتی گراد)				تواتر باد غالب
				$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$	
بهار	آوریل	غرب	۱ نسیم ملایم	-	-	۱۰۰٪	-	۱۳٪
	می	شمال غرب	۱ نسیم ملایم	-	۳٪	۸۲,۳٪	۱۴,۷٪	۱۹,۵٪
	ژوئن	غرب	۲ نسیم ملایم	-	-	۸۷,۹٪	۱۲,۱٪	۱۱,۱٪
	تابستان	ژوئیه	۳ نسیم ملایم	-	-	۳۶,۷٪	۶۳,۳٪	۱۶,۷٪
	اوت	غرب	۲ نسیم ملایم	-	-	۶۲,۵٪	۳۷,۵٪	۱۱,۱٪
	سپتامبر	غرب	۱ نسیم ملایم	-	۱۴,۷٪	۸۲,۳٪	-	۳٪
پاییز	اکتبر	شمال غرب	۱ نسیم ملایم	-	۸,۳٪	۹۱,۷٪	-	۱۶,۷٪
	نوامبر	شمال غرب	۱ نسیم ملایم	-	۱۰۰٪	-	-	۸,۴٪
	دسامبر	جنوب شرق	۰ نسیم ملایم	۵,۹٪	۹۴,۱٪	-	-	۸,۴٪
	زمستان	ژانویه	۰ نسیم ملایم	۳٪	۹۷٪	-	-	۱۳,۹٪
	فوریه	شرق	۱ نسیم ملایم	-	-	۱۰۰٪	-	۸,۴٪
	مارس	غرب	۱ نسیم ملایم	-	-	۱۰۰٪	-	۱۳٪

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت



شکل ۵. محدوده سرعت باد (ماهانه) در شهرستان شاهرود (m/s)

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت

جدول ۵. جمع بندی مشخصات اقلیمی فصل تابستان و زمستان

در شهرستان شاهرود

فصل	ماه (لاتین)	متوسط دما نسبت به محدوده آسایش	محدوده دمای هوا (درجه سانتیگراد)	میزان دریافت انرژی تابشی $wh/m^2.hr$	محدوده ساعات آفتابی (در هر ماه)	محدوده رطوبت نسبی (درصد)	محدوده سرعت باد (m/s)	میزان دمای باد (D°)	تواتر باد غالب
تابستان	ژوئیه	نزدیک و بالاتر از	۲۲-۲۷	۵۰۳-۴۷۲	۴۳۴-۳۵۰	۵۸-۲۱	۳-۱	۲۱-۳۸	۳-۱۶,۷٪
	اوت	از	محدوده آسایش						
	سپتامبر	محدوده آسایش							
زمستان	ژانویه	پایین تر از	۱-۱۰	۴۲۵-۳۶۰	۳۵۰-۲۹۲	۷۰-۲۳	۱-۰	-۲۷-۰	۸,۴-۱۳,۹٪
	فوریه	از	محدوده آسایش						
	مارس	محدوده آسایش							

مأخذ: داده های هواشناسی بلند مدت

تحلیل و بررسی

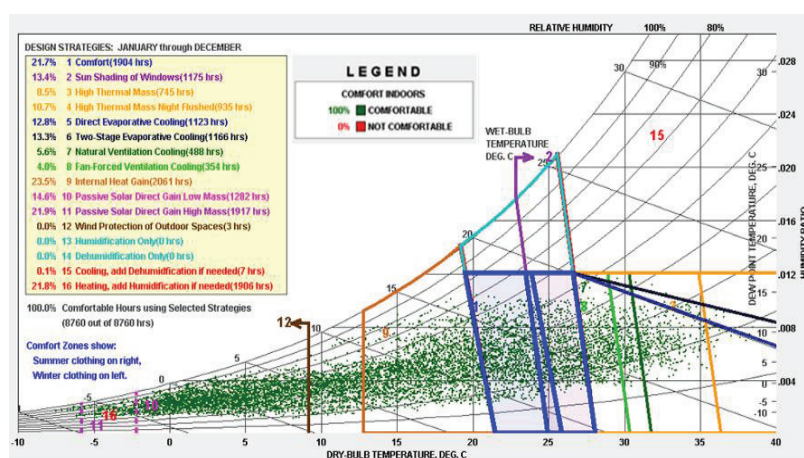
فصل تابستان: حدود منطقه آسایش از نظر دمای هوا برای ایران که بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد، در تابستان برابر ۲۱/۵ تا ۲۸ درجه سانتی گراد و محدوده آسایش رطوبت نسبی نیز بین ۳۰ تا ۶۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. لذا محدوده دمایی ثبت شده در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در تابستان نزدیک به محدوده آسایش قرار دارد. حداقل و حداکثر انرژی تابشی دریافتی، میزان بالایی است. میزان ساعات آفتابی در طول ماه نشان می‌دهد در فصل تابستان، به طور میانگین حدود ۱۴ ساعت از طول روز، تابش آفتاب برقرار است. با توجه به دمای بالای هوا، طولانی بودن ساعات آفتابی و دریافت انرژی تابشی زیاد، همچنین وزش باد گرم به صورت نسیم ملایم با محدوده دمایی ۳۸-۲۱ درجه سانتی گراد و تواتر زیاد که خود سبب تشدید میزان گرمای هوا می‌شود، انتظار می‌رود میزان رطوبت نسبی موجود در هوا پایین باشد، زیرا دما و رطوبت نسبی با یکدیگر رابطه عکس دارند. برداشت‌های صورت گرفته در میانگین ۱۰ ساله نیز نشان می‌دهد میزان رطوبت نسبی در طول روز در محدوده آسایش قرار گرفته است، اما در صبحگاه با کاهش دمای هوا، میزان رطوبت نسبی هوا افزایش یافته و به بالاتر از محدوده آسایش رسیده است.

فصل زمستان: حدود منطقه آسایش از نظر دمای هوا برای ایران، در زمستان برابر ۲۰ تا ۲۵/۷ درجه سانتی گراد و محدوده آسایش رطوبت نسبی نیز بین ۳۰ تا ۶۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. لذا محدوده دمایی ثبت شده در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در زمستان پایین تر از محدوده آسایش قرار دارد. میزان ساعات آفتابی در طول هر ماه نشان می‌دهد در روزهای فصل زمستان، میانگین حدود ۹ ساعت از طول روز، تابش آفتاب برقرار است. باد نیز به صورت نسیم ملایم و در محدوده دمایی ۲۷-۰ درجه سانتی گراد، با تواتر حدود ۱۴ درصد وزش دارد که سبب خنک‌تر شدن هوا می‌شود.

نیازهای حرارتی

در این بخش به تحلیل اطلاعات زیست اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۰ پرداخته شده است. شکل (۶) پیاده سازی شرایط کلیه ماه های سال را بر روی نمودار زیست اقلیمی سایکرومتریک نمایش می دهد.

خلاصه شرایط آسایش و نیازهای گرمایشی و سرمایشی منتج از این نمودار بر اساس استاندارد ۵۵ موسسه اشری در جدول (۶) جمع بندی شده است. در سطر آخر جدول، مجموع حداکثر مقادیر توصیه شده آورده شده است.



شکل ۶. توصیه های طراحی بر اساس نیازهای حرارتی بروندی و آسایش در نمودار

زیست اقلیمی شهر شاهرود (استاندارد آسایش اشری ۵۵)

مأخذ: داده های هواشناسی بلندمدت

جدول ۶. محدوده نیازهای حرارتی در شهر شاهرود (سالانه)

نیاز آسایش	توصیه های طراحی	میزان توصیه شده بر اساس نمودار زیست اقلیمی (درصد) زمان (ساعت)	نمودار زیست اقلیمی
ندارد	شرایط آسایش به صورت طبیعی برقرار است	۲۱,۷	۱۹۰۴
گرمایش	استفاده از سیستم های مکانیکی	۲۱,۸	۱۹۰۶
	بهری گیری از انرژی خورشیدی	۳۶,۵	۳۱۹۹
	ذخیره گرما درون ساختمان	۲۳,۵	۲۰۶۱
	ایجاد کوران در فضای داخلی	۵,۶	۴۸۸
سرمایش	طبیعی	۱۹,۲	۱۶۸۰
	استفاده از مصالح ساختمانی سنگین	۱۲,۸	۱۱۲۳
	کولر آبی	۳۰,۱	۲۶۴۳
	مکانیکی	۱۳,۴	۱۱۷۵

مأخذ: نگارندگان، استخراج از نمودار زیست اقلیمی

تحلیل و بررسی داده های هواشناسی شهر شاهرود نشان می دهد به علت وجود زمستان های سرد و تابستان های گرم باید از تبادل حرارت میان داخل و خارج ساختمان پیشگیری شود. نمودار شکل (۶) و جدول زیست اقلیمی (جدول ۶) نشان دهنده شرایط حاد در زمستان و وجود فصل های سرد است که با استفاده از تابش خورشید و نگهداری گرما در داخل ساختمان به وسیله مصالحی که به عنوان خازن حرارت عمل می کنند می توان شرایط آسایش را فراهم نمود. هر اندازه بتوان میزان انتقال حرارت را کاهش داد و آن را طولانی مدت ذخیره نمود، شرایط آسایش حرارتی مطلوبی در درون ساختمان فراهم می گردد.

۶. مدل سازی

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده های آب و هوایی و نیازهای حرارتی شهر شاهرود، تصمیم گرفته شد برای دستیابی به راهکار استفاده از مصالحی که به عنوان خازن حرارتی عمل کنند با بهره گیری از ثبات حرارتی زمین در قالب معماری خاک پناه، نسبت به طراحی اقدام گردد. در این معماری، زمین مجاور دیوارهای ساختمان به عنوان جرم حرارتی خارجی جهت کاهش اتلاف حرارتی و ثابت نگهداشتن دمای هوای داخلی مورد استفاده قرار می گیرد که باعث کاهش انتقال حرارت از داخل ساختمان به بیرون و بالعکس می گردد و در نتیجه می توان از این طریق، شرایط آسایش حرارتی را در داخل ساختمان در تابستان و زمستان فراهم کرد.

اطلاعات ورودی برای مدل سازی ساختمان

نتایج و اعتبار خروجی هر نرم افزار مدل سازی مستقیماً متأثر از اطلاعات ورودی برای مدل سازی ساختمان است و هر چه دقت و صحت اطلاعات ورودی بیشتر بوده و با مقادیر واقعی انطباق بیشتری داشته باشد، نتایج خروجی مدل سازی دقیق تر بوده و به واقعیت نزدیک تر است. در مدل سازی های مربوط به این مطالعه و گزارش تلاش شده از تمام جزئیات در طراحی استفاده گردد. در مدل سازی ساختمان اقامتگاه از این اطلاعات استفاده شده است: تراکم کاربران ساختمان (۱۸۳/ نفر در مترمربع)؛ دمای گرمایش (۲۲ درجه سانتی گراد و حداقل ۱۸ درجه سانتی گراد)؛ دمای سرمایش (۲۴ درجه سانتی گراد و حداکثر ۲۶ درجه سانتی گراد)؛ میزان نور مورد نیاز در فضاها (۳۰۰ لوکس)؛ تنظیم روشنایی مصنوعی با استفاده از میزان نور روز دریافتی فضاها (با استفاده از سیستم کنترل خطی)؛ نوع لامپ (لامپ LED همراه با سیستم کنترل خطی)؛ نرخ تعویض ناخواسته هوا (۰/۷ تعویض در ساعت)؛ مقدار آب گرم مصرفی (۶/ مترمکعب در روز)؛ سیستم گرمایشی (موتورخانه مرکزی با رادیاتور شوفاژ، همراه با تهویه طبیعی)؛ سیستم سرمایشی (سیستم خنک کننده موضعی، همراه با تهویه طبیعی)؛ سوخت سیستم سرمایش (برق)؛ سوخت سیستم گرمایش و آب گرم مصرفی (گاز طبیعی)؛

برنامه زمانبندی برای سیستم سرمایش و گرمایش کل ساعات روزهای سال می‌باشد؛ تهویه طبیعی (در تابستان سیستم به صورت ۱۰۰ درصد فعال می‌باشد و در زمستان بین ساعات ۸ صبح تا ۱۸ عصر، سیستم تهویه طبیعی ۳۰ درصد فعال و در ساعات ۱۸ عصر تا ۸ صبح، سیستم تهویه طبیعی ۱۰ درصد فعال می‌باشد).

مشخصات جداره‌های ساختمان‌ها

در انتخاب جداره‌های ساختمانی سعی شده از مصالح معمول و متداول ساختمانی و فقط با در نظر گرفتن عایق رطوبت استفاده شود که در جدول (۷) به جزییات ساختار ساختمان پرداخته شده است.

جدول ۷. جزییات ساختار ساختمان‌ها

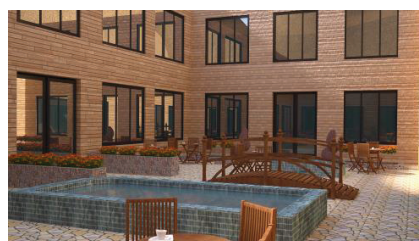
جداره	مصالح اصلی بکار رفته	ضخامت نهایی	ضریب هدایت حرارتی $w/m^2.k$	مقاومت حرارتی $m^2.k/w$
دیوار خارجی حائل	دیوار بتنی با عایق رطوبتی و پوشش گچ برگ در داخل	۰٫۵	۱٫۴۰۱	۰٫۷۱۴
دیوار خارجی گودال باغچه و دیوار خارجی جداره جنوبی	آجر هوادهی شده با پوشش گچ برگ داخلی و آجر نما در دیوار خارجی	۰٫۲	۱٫۱۳۶	۰٫۸۸
دیوار داخلی	آجر هوادهی شده با پوشش گچ برگ	۰٫۱۵	۱٫۱۸	۰٫۸۴۷
سقف طبقه همکف	بتن به همراه عایق رطوبتی و پوشش گچ برگ در داخل	۰٫۳	۱٫۹۷۴	۰٫۵۰۷
سقف طبقه اول	بتن به همراه عایق رطوبتی و پوشش گچ برگ در داخل	۰٫۴	۱٫۶۸۱	۰٫۵۹۵

مأخذ: نگارندگان

۷. مدل طراحی شده (اقامتگاه بین راهی)

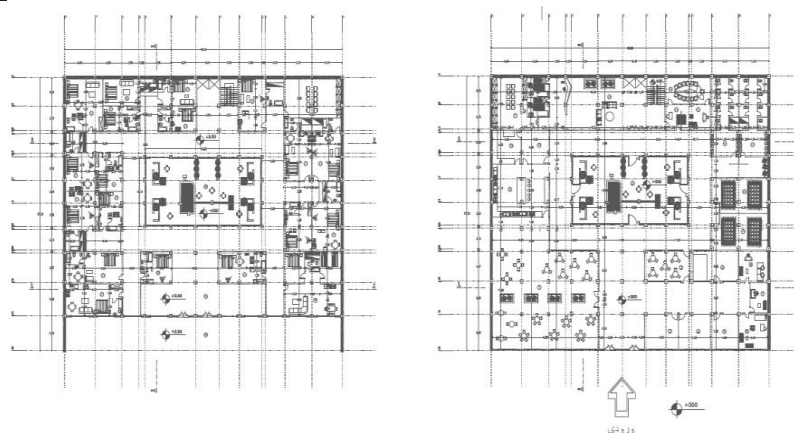
طراحی یک اقامتگاه بین راهی دو طبقه با معماری خاک پناه و با زیربنای (متر مربع) در اقلیم شهرستان شاهرود انجام گرفت. برای استفاده از نور و تابش آفتاب، گودال باغچه ای در مرکز اقامتگاه طراحی گردید و در جداره جنوبی آن نیز سعی شد این نیاز با استفاده از حداکثر سطح شیشه تامین شود. سپس مدل سازی حرارتی ساختمان طراحی شده در نرم افزار شبیه سازی انرژی دیزاین بیلدر انجام شد، بدین ترتیب که میزان مصرف انرژی ساختمان در فصول مختلف سال در شهرستان شاهرود در دو حالت اندازه گیری شد.

در مرحله اول، ساختمان مورد نظر روی سطح زمین و در مرحله دوم همان ساختمان بدون هیچ تغییری به طوری که سقف و جداره های شمالی، شرقی و غربی آن در تل خاک به عمق ۶ متر پوشیده شده بود، شبیه سازی گردید.

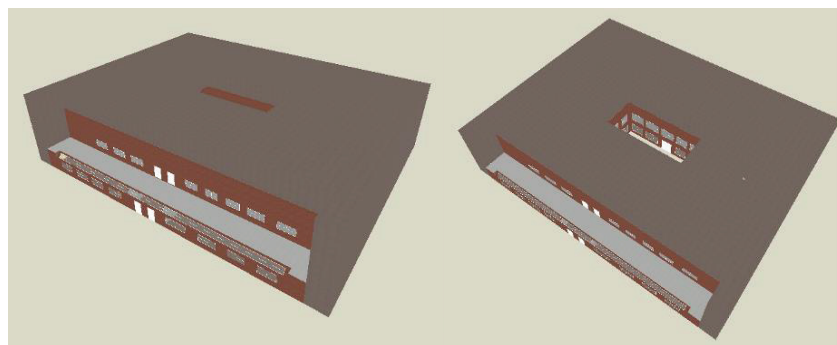


شکل ۷. (سمت راست پایین) نما رو به جنوب اقامتگاه بین راهی. (سمت چپ بالا) گودال باغچه ساختمان اقامتگاه بین راهی

مأخذ: نگارندگان



شکل ۸. (سمت راست) پلان اقامتگاه بین راهی طبقه همکف، (سمت چپ) پلان اقامتگاه بین راهی طبقه اول
مأخذ: نگارندگان



شکل ۹. پرسپکتیو مدل سازی ساختمان اقامتگاه بین راهی خاک پناه در نرم افزار دیزاین بیلدر
مأخذ: نگارندگان

۸. یافته های تحقیق

جدول (۸) میزان مصرف انرژی سالانه دو ساختمان مدل سازی شده را به تفکیک موارد مصرف و همچنین میزان مصرف سالانه ساختمان اقامتگاه بین راهی مدل طراحی شده در سطح زمین و با مدل خاک پناه، برای تامین گرمایش، سرمایش و روشنایی مصنوعی ساختمان نشان می دهد.

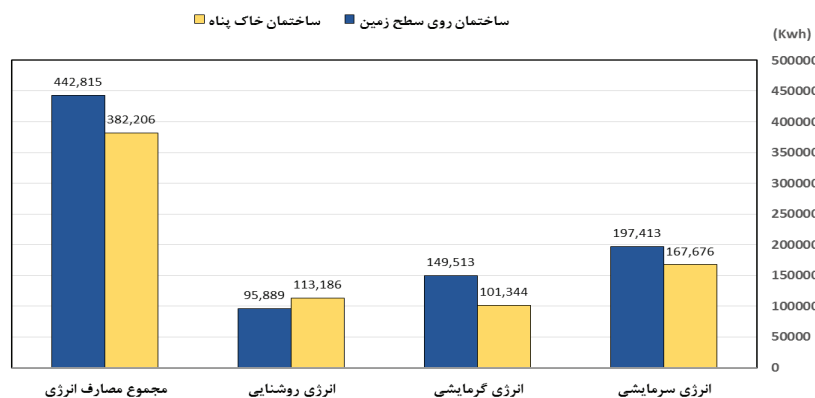
جدول ۸. میزان مصرف انرژی سالانه در ساختمان اقامتگاه بین راهی

مدل خاک پناه و روی سطح زمین آن

نوع ساختمان	انرژی سرمایشی (Kwh)	انرژی گرمایشی (Kwh)	انرژی روشنایی (Kwh)	مجموع مصارف انرژی (Kwh)
ساختمان خاک پناه	۱۶۷۶۷۶,۲	۱۰۱۳۴۳,۷	۱۱۳۱۸۶,۱	۳۸۲۲۰۶
ساختمان روی سطح زمین	۱۹۷۴۱۳,۲	۱۴۹۵۱۳	۹۵۸۸۸,۶۲	۴۴۲۸۱۴,۸۲
کاهش مصرف انرژی (%)	۱۵,۰۶%	۳۲,۲۲%	۱۸,۰۴%	۱۳,۶۹%

مأخذ: نگارندگان

بر اساس نتایج مدل سازی، ساختمان خاک پناه سالانه دارای ۱۶۷۶۷۶.۲ کیلووات ساعت مصرف انرژی سرمایشی، ۱۰۱۳۴۳.۷ کیلووات ساعت مصرف انرژی گرمایشی (تقریباً معادل ۹,۶۵ هزار مترمکعب گاز طبیعی) و ۱۱۳۱۸۶.۱ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی برای تامین روشنایی می باشد. در ساختمان احداث شده بر روی سطح زمین سالانه ۱۹۷۴۱۳.۲ کیلووات ساعت مصرف انرژی سرمایشی، ۱۴۹۵۱۳ کیلووات ساعت مصرف انرژی گرمایشی (تقریباً معادل ۱۴,۲۴ هزار مترمکعب گاز طبیعی) و ۹۵۸۸۸.۶۲ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی برای تامین روشنایی مصرف می شود. تفاوت مصرف انرژی میان دو ساختمان در نمودار شکل (۱۰) قابل ملاحظه است.



شکل ۱۰. مقایسه مصرف انرژی سالانه در اقامتگاه بین راهی مدل خاک پناه و روی سطح زمین

مأخذ: نگارندگان

۹. نتیجه گیری

نتایج مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های انجام شده برای کل ساختمان اقامتگاه بین‌راهی با ساختار خاک‌پناه و همچنین مقایسه حرارتی ساختمان مذکور با تمام ویژگی‌ها با نمونه شبیه‌سازی شده آن بر روی زمین نشان می‌دهد مصرف انرژی گرمایشی این ساختمان بسیار بیشتر از انرژی سرمایشی می‌باشد که به علت زمستان‌های بسیار سرد شاهرود می‌باشد.

در نمونه خاک‌پناه این ساختمان در مصرف انرژی سالانه در بخش گرمایش حدود ۳۲ درصد و در بخش سرمایش نیز ۱۵ درصد صرفه جویی شده است. در بخش روشنایی با توجه به اینکه ساختار معماری هر دو مدل یکسان بوده، اما در نمونه بررسی شده مدل خاک‌پناه با توجه به حجم خاک ۶ متری بالای سقف ساختمان، میزان نورگیری از طریق گودال باغچه کمتر از مدل ساختمان روی سطح زمین می‌باشد که باعث افزایش ۱۸ درصدی مصرف انرژی روشنایی در بخش مدل خاک‌پناه گردید. در نتیجه، مجموع مصارف انرژی در نمونه خاک‌پناه نسبت به نمونه روی سطح زمین آن ۱۳/۷ درصد صرفه جویی را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که با بررسی ارقام انرژی مصرف شده و با توجه به نوع کاربری ساختمان طراحی شده که اقامتگاه بین‌راهی از نوع الف می‌باشد، میزان مصرف انرژی مجموعه، میزان کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان خاک‌پناه نسبت به مدل روی سطح زمین آن رقم بالایی در صرفه جویی انرژی را به وجود آورده که معادل ۶۰۶۰۸,۶۲ کیلووات ساعت به طور سالانه می‌باشد که مقدار قابل توجهی است.

در مدل اصلی طراحی شده، به دلیل کاهشی که در دریافت نور طبیعی روز حاصل می‌شد، در ساختمان خاک‌پناه از سیستم لوله‌های نور طبیعی سقفی^۱ استفاده شده بود که به دلیل محدودیت نرم‌افزار، امکان مدل سازی آن در محاسبات صرفه جویی انرژی ساختمان وجود نداشت. چنانچه این مورد نیز در نظر گرفته شود، بخشی از افزایش مصرف انرژی الکتریکی جهت تامین روشنایی تعدیل خواهد شد.

نتایج حاصل از این ارزیابی در اقلیم منطقه مورد مطالعه (شاهرود) نشان می‌دهد از آنجا که در مواقع سرد سال میانگین دمای هوا بسیار کمتر از محدوده آسایش حرارتی می‌باشد و این در حالی است که میانگین دمای هوا در مواقع گرم سال، به محدوده آسایش انسان نزدیک‌تر است. در نتیجه، مدل های ساختمان خاک‌پناه در مواقع سرد سال اتلاف حرارتی بسیار کمتری نسبت به مدل های روی زمین دارند.

با توجه به میزان هزینه اولیه این نوع معماری که برای کمک به افزایش آسایش حرارتی کاربران ساکن در آن به صورت طبیعی اتخاذ می‌گردد و با در نظر گرفتن نتایج مدل سازی و پژوهش صورت گرفته، پیشنهاد می‌شود برای مناطق و اقلیم های دارای آب و هوای سخت و دارای اختلاف دمای نسبتاً بالا با دمای سطح آسایش، از احداث ساختمان ها در پناه خاک و پوشش بدنه های خارجی با مصالح طبیعی زمین استفاده گردد.

1. Natural Light Pipe System

منابع

- استرلینگ، ریموند و جان کارمودی (۱۳۸۸)، *طراحی فضاهای زیرزمینی*، ترجمه وحیدر ضا ابراهیمی، مشهد: نشر مرنديز، چاپ اول.
- برزگر، زهرا و مجید مفیدی شسمیرانی (۱۳۸۹)، "چگونگی بهره‌گیری از توده زمین در معماری بومی جهان"، فصلنامه علمی پژوهشی *باغ نظر*، شماره ۱۵.
- خدايخشيان، مقدی (۱۳۹۲)، "بنای خاک‌پناه ایده‌ای برای شهر پایدار، همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری"، بوکان، شرکت سازه کویر.
- رحیمی مهر، وحیده (۱۳۹۲)، "نگاهی به توسعه پایدار در معماری خاک‌پناه، اولین همایش ملی معماری، مرمت، شهرسازی و محیط زیست پایدار"، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه.
- گرچی مهلبانی، یوسف (۱۳۸۹)، "معماری پایدار و نقد آن در حوزه محیط زیست"، نشریه علمی-پژوهشی *انجمن علم معماری و شهرسازی ایران*، شماره ۱.
- معماریان، غلامحسین، (۱۳۹۳)، *سیری در مبانی نظری معماری*، تهران: انتشارات سروش دانش، چاپ نهم.
- وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۶)، "احداث مجتمع‌های خدماتی رفاهی و تیر پارک‌ها"، سازمان حمل و نقل و پایانه‌های خراسان شمالی.

- Ahrens. D; Ellison. T. and R. Sterling (1981), *Earth Sheltered Homes, Plans & Designs*, New York: University of Minnesota.
- Allison, T. (1975), "Building in the Kuwait Climate", Kuwait Institute Scientific Research.
- Al-Momin. Adil, A. (2001) , "Suitability of sunken courtyards in the desert climate of Kuwait", *Energy and Buildings* 33, pp.103-111
- Behr, R.A. (1982), *Suitable Thin Shell Structural Configurations for Earth Sheltered Housing*, ph.D. Thesis, Texas Tech University.
- Baggs, Sydney. A; Baggs, Joan. C. and David W. Baggs (1991), *Australian Earth-Covered Building*, New South Wales University Press, NSW Aus.
- Carmody. J. and R. Sterling (1984), *Earth Sheltered Housing Design*, second edition, New York, University of Minnesota, Space.
- CIB.(1999), *Agenda 21 on Sustainable Construction*, Rotterdam: CIB Report Publication 237.s
- Durmisevic, S. (1999) , *The future of the Underground Cities*, Vol.16, 4, pp. 233-245
- Jannadi, M.O. and S. Ghazi (1998), *Earth-Sheltered Housing: The Way of the Future*, *Journal of Urban Planning & Development*.
- Lippsmeier, G. (1969), *Building in the Tropics*, Verlag, Munich.
- WGSC, (2004), *Working Group for Sustainable Construction (WGSC), Working Group Sustainable Construction Methods and Techniques, Final Report*.