بررسی میزان کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های خاک‌پناه در اقلیم گرم‌وخشک

(مورد پژوهی: شهر دزفول)

کوثر رحمتیان[1] و محسن بینا*[2]

تاریخ دریافت: 1402/12/23
تاریخ پذیرش: 1403/03/24
(صفحات 184-167)

چکیده

هدف: انتخاب معماری متناسب با اقلیم هر منطقه مسأله‌ای است که همواره مورد توجه بشر به‌ویژه معماران بوده است. معماری در پناه خاک نیز یک رویکرد طراحی است که از دوره باستان در تمدن‌های مختلف برای مقابله با شرایط بد آب‌وهوایی از قبیل گرما، توفان و ... وجود داشته است. همین‌طور در شهر دزفول که درگذشته از فضای مسکونی که شوادون نام داشت در ماه‌های گرم سال برای فرار از شرایط طاقت‌فرسای اقلیمی استفاده می‌شد. هدف اصلی این پژوهش معرفی ایده معماری در پناه زمین و بررسی اثرات آن برآسایش ساکنین و میزان مصرف انرژی در تمام فصول سال در اقلیم مورد نظر است.

روش تحقیق: در این تحقیق با شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر به بررسی و مقایسه عملکرد حرارتی و روشنایی دو بنای طراحی شده، یکی در پناه زمین و دیگری به‌عنوان شاهد روی سطح زمین پرداخته شده است.

نتایج و بحث: در این پژوهش به بررسی مواردی از قبیل تهویه و نور(که معماری خاک‌پناه به‌طور طبیعی از آن کم‌بهره است و برای بهبود شرایط نیاز به مصرف انرژی زیادی دارد) و میزان مصرف انرژی سرمایش و گرمایش و دما هوا داخل ساختمان که چه اندازه به شرایط مطلوب دمایی نزدیک است پرداخته شده. راهکارهایی جهت اصلاح و بهبود این شرایط از قبیل گودال باغچه، نورگیر سقفی، پنجره دوجداره، سایبان، عایق حرارتی و ...ارائه شده است.

نتیجه‌گیری: در نتیجه ضمن اینکه ساختمان خاک پناه نسبت به حالت شاهد (در روی سطح زمین)، از لحاظ دما هوا داخل ساختمان 6.56 درصد به حالت مطلوب نزدیکتر بود؛ میزان مصرف انرژی سالانه به‌دست آمده نیز نشان داد به لحاظ تهویه 28.3 درصد، انرژی روشنایی 15.16 درصد، انرژی سرمایشی 42.85 درصد و انرژی گرمایشی 46.16 درصد، از حالت بهینه‌تری برخوردار بود.

واژگان کلیدی: معماری خاک‌پناه، شوادون، دزفول، مصرف انرژی ساختمان، آسایش.

---

[1] **کارشناسی ارشد** مهندسی معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

[2] **استادیار** گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول. (نویسنده مسئول): bina@jsu.ac.ir

1- مقدمه

استفاده از معماری پایدار همچون گذشته و بهره‌مندی از ارکان چهارگانه (آب، خاک، خورشید و باد) برای پیش‌گیری از مصرف بی‌رویه انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی راه‌حل مناسبی است. یکی از این روش‌ها معماری خاک‌پناه است که در معماری گذشته ایران از زمین برای مقابله با شرایط نامناسب آب‌وهوایی از قبیل گرما، توفان و... استفاده شده است، مثلا در اقلیم گرم‌وخشک دزفول شوادون کاربرد داشته است. بنایی که حداقل 50 تا 80 درصد مساحت آن با خاک یا زمین پوشیده شده باشد، تا آزادی عمل بهتر و بیشتری در طراحی ایجاد کند، را ساختمان خاک‌پناه گویند.

همان‌گونه که دما مطلوب و خاک که عایق مناسبی است از نقاط مثبت معماری خاک‌پناه هستند، کاهش تهویه و نور از مهم‌ترین عوامل منفی تأثیرگذار در ساختمان خاک پناهند. تأسیسات برقی و مکانیکی که برای تأمین سرمایش و گرمایش، تهویه و نور مورداستفاده قرار می‌گیرند، نتیجه تحول در فناوری دنیای مدرن هستند و دنیای امروز را با بحران‌های زیادی از قبیل آلودگی و تخریب محیط‌زیست، بحران انرژی و... که همگی باعث کاهش کیفیت زندگی انسان‌ها شده، مواجه روبه‌رو است. در این پژوهش مسأله مد نظر قرارگرفته، این است که "چه میزان تفاوت میان ساختمان در پناه زمین و روی سطح زمین ازنظر مصرف انرژی و تأثیرات اقلیمی وجود دارد؟". با این مسأله به بررسی اثرات معماری خاک‌پناه برآسایش زندگی بشر، شناخت روش‌های بهره‌برداری از آن برای کاهش مصرف انرژی و بحران‌های اقلیمی و مقایسه این موارد با معماری روی سطح زمین در اقلیم گرم‌وخشک شهر دزفول پرداخته خواهد شد.

روش تحقیق در این پژوهش به‌صورت تجربی و با استفاده از مطالعه منابع مکتوب از قبیل مقالات و پایان‌نامه‌ها در مورد معماری خاک‌پناه و اقلیم گرم‌وخشک و شبیه‌سازی دو فضای مشابه یکی در پناه زمین و دیگری روی سطح زمین در نرم‌افزار شبیه‌سازی دیزاین بیلدراست. در اکثر مقالات با موضوع مشابه، این نوع معماری را به صورت توصیفی_تحلیلی مورد بررسی قرار داده‌اند.

در شبیه‌سازی انجام شده شرایط دو فضاها از نظر تهویه، دمای هوا داخل بنا، انرژی روشنایی و میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در تمام فصول سال مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند؛ و راهکارهای اصلاحی ارائه شده است که خود این راهکارها نیز مورد آزمون واقع شده‌اند و نتایج این آزمون‌ها از یافته‌های منحصر به فرد این پژوهشند.

1-1-پیشینه تحقیق

مطالعه تاریخچه استفاده از فضاهای زیرزمینی در دوران گذشته و معاصر نشان می‌دهد که این فضاها درگذشته دارای کاربری‌های متنوع مسکونی، تأسیسات زیرساختی شهری و مذهبی بوده‌اند. وجود مسائلی ازجمله کمبود فضا در مراکز متراکم شهری، ازدحام و شلوغی بیش‌ازحد، آلودگی صوتی، بصری و هوا، اقلیم ناسازگار و ... ضرورت بازنگری در طرح‌های شهری و معماری این محدوده‌ها را بیش‌ازپیش ضروری می‌نماید. توسعه زیرزمینی ابزار مهمی جهت تغییر ساختار شهرها برای مواجهه با چالش‌های آینده، بدون تخریب میراث تاریخی و آسیب رساندن به محیط‌زیست در سطح زمین خواهد بود (Molaei, 2011)تاکنون پایان‌نامه و مقالات زیادی در زمینه معماری خاک‌پناه نوشته شده که به دودسته (کاهش مصرف انرژی) و (آسایش حرارتی) تقسیم می‌شوند.

1-1-1-کاهش مصرف انرژی: تنوع ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی، سبب تنوع شیوه‌های معماری در نواحی مختلف ایران شده است. با توجه به تقسیم‌بندی‌های جغرافیایی ایران، حتی یک منطقه جغرافیایی محدود، عرضه‌کننده گوناگونی‌هایی در معماری است. تبعیت از شرایط اقلیمی و جغرافیایی در طراحی معماری به سازگاری انسان در محیط یاری می‌رساند و معماری مسکونی همواره تابع ویژگی‌های جغرافیایی بوده است (Hajitaher et al., 2024). جهت دستیابی به اصولی مناسب نیازمند آشنایی هر چه بیشتر معماران با اصول و قواعد اولیه بهینه سازی مصرف انرژی است که بتوانند

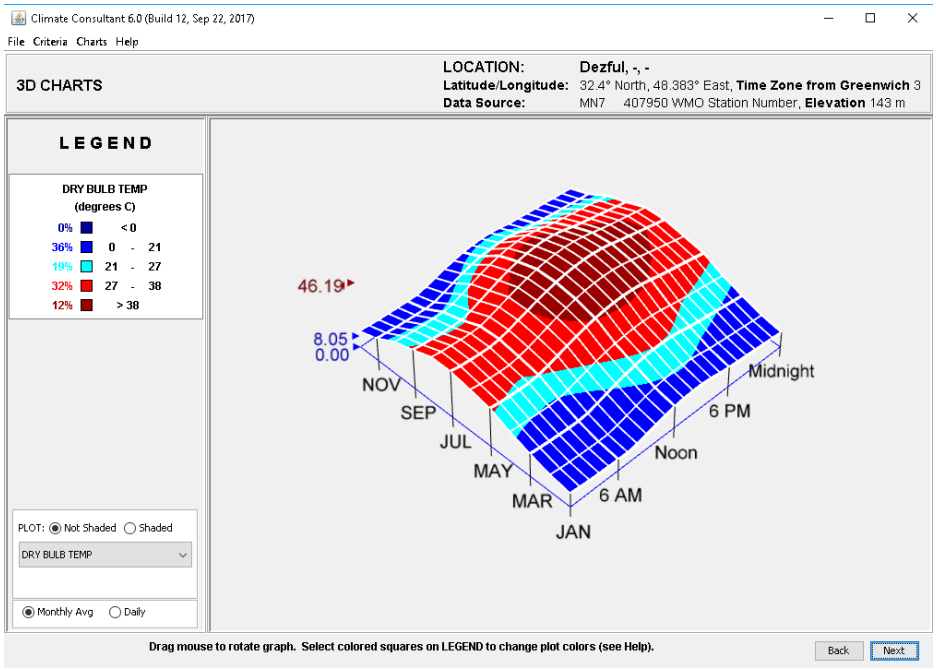
طرح‌های اولیه خود را هر چه بیشتر با محیط سازگار نمایند و با اضافه کردن الحاقات جزئی به طرح خود، میزان مصرف انرژی را تا حد قابل قبولی کاهش دهند (Heydariet al., 2022). اگر تنها مصرف انرژی در بخش ساختمانی کنترل شود، به میزان قابل توجهی از هدررفت انرژی پیش‌گیری خواهد شد. البته باید توجه داشت که انواع مختلف ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی شرایط یکسانی ندارند (Bahalou-Houreh, Borghei, 2023). معماری خاک‌پناه، رویکرد جدیدی نیست و از دوران باستان مورد استفاده بوده و انسان‌ها به طرق مختلف از آن بهره‌مند می‌شدند و همانند هر معماری دیگری نقاط ضعف و قوتی دارد که با تدابیر معمارانه و به‌کارگیری در شرایط درست می‌توان تمامی ضعف‌ها را به امکاناتی خاص تبدیل کرد. نقاط قوت این نوع معماریمانند حفظ فضای روی زمین و ذخیره انرژی در دنیا بسیار حائز اهمیت‌اند واز مهم‌ترین مؤلفه‌هایی‌هستند که بررسی و به‌کارگیری آن‌ها برای معماری واجب است (Jafari, 2008) در اقلیم‌های حاد، مانند اقلیم گرم‌وخشک، شرایط آب‌وهوایی به قدری وخیم و بحرانی است که، در صورت عدم توجه به مسائل اقلیمی استفاده از تأسیسات کنترل‌کننده، فضاهای داخلی ساختمان در اکثر مواقع سال ضرورت می‌یابد و در مواردی شرایط داخلی ساختمان‌های ناهماهنگ با اقلیم را نمی‌توان با استفاده از سیستم‌های مکانیکی با صرف هزینه معقول، در حد رضایت‌بخش به شرایط آسایش حرارتی رساند (Ghahramanizadeh, et al., 2024)ارزیابی‌ها در اقلیم گرم‌وخشک نشان می‌دهد که در ساختمان‌های خاک‌پناه در فصل سرد سال میانگین دمای هوا کمتر از محدوده آسایش حرارتی و در فصل گرم سال به محدوده آسایش انسان نزدیک‌تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ساختمان‌های خاک‌پناه در فصل سرد سال اتلاف حرارتی کمتری نسبت به ساختمان‌های روی سطح زمین‌دارند , (Golani,1981)(Arab, Farokhzad, 2019). میشل بی بارکر در تحقیقات خود با یک استثناء رو به روشد که علت آن کاربرد نادرست مصالح در ساختمان‌های خاک‌پناه بود و باعث مصرف انرژی یکسان با ساختمان‌های روی سطح زمین شده بود Belcher, & (Hacker, 2005). اتلاف حرارت در پناه‌خاک 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 است حدود 44 درصد کمتر از مدل رایج روی زمین ارزیابی شده است. در مجموع می‌توان گفت با بهره‌مندی از ایده معماری در پناه‌خاک، می‌توان صرفه‌جویی زیادی در مصرف انرژی در مواقع سرد سال در اقلیم گرم‌وخشک نمود(Emadian Razavi, 2018). شوادون مهم‌ترین شاخص و وسیله سرمایشی در دزفول است. این سیستم سرمایشی به دلیل بستر کنگلومرایی و وجود رودخانه دز، طراحی منحصر به فرد و ویژه خود را داشته و از لحاظ سیستم سرمایشی نسبت به سیستم‌های امروزی شرایط کاملا هویدا و قابل مقایسه‌ای دارد و می‌تواند به عنوان یک الگوی توسعه یافته در جهت کاهش مصرف انرژی و دستیابی به یک طرح اقلیمی استفاده شود (Seyedaghamiri, et al., 2018). ایده ساختمان در پناه‌خاک از راه‌های مسالمت‌آمیز همزیستی محیط‌زیست طبیعی با ساختمان است که هم ساختمان و هم محیط‌زیست اطراف، از آن سود می‌برند. با توجه به قابلیت‌هایی که در این نوع معماری درزمینه‌ی کاهش میزان مصرف انرژی و سوخت و همچنین سازگاری با محیط زیست وجود دارد، می‌تواند با رعایت استانداردهای امروزی، مورد استفاده بیشتر قرار گیرد . (Akrami Abarghuie, 2015)

2-1-1-آسایش حرارتی: زمین هزاران سال است که به طور گسترده در ساختمان‌ها در سراسر جهان استفاده شده است و توانایی خود را در مقاومت در برابر آزمون زمان نشان داده است. ساختمان‌هایی که با استفاده از زمین ساخته شده‌اند قابلیت استفاده مجدد، قابل بازیافت و ذاتا زیست‌تخریب‌پذیرند و به پوشش گیاهی اجازه می‌دهند پس از استفاده، مجددا در آنجا رشد کند و هیچ زباله‌ای را پشت سر نمی‌گذارند (Bata, 2022). اقلیم ازگذشته تا به امروزتأثیر زیادی بر نحوه زندگی داشته ولی متأسفانه با ورود تکنولوژی و راحت زیستی بشر در عصر حاضر، اقلیم کاربرد محسوس خود را از دست داده است. درگذشته سازه معماری بسیاری از شهرهای زیرزمینی به این صورت بوده که با توجه به توپولوژی

زمین و وزش باد، هوا در این فضاها جریان پیدا می‌کرده است (Azaripour, Hoseini, 2016). حاج‌آقا بابایی در پایان‌نامه خود که در زمینه خانه‌های دستکند میمند انجام داده است به این نتیجه دست‌یافته که کیفیت بالای آسایش حرارتی در خانه‌های دستکند میمند با نیاز حرارتی بدن انسان مطابقت نسبتا خوبی دارد و با مصرف انرژی کمتر به آسایش حرارتی انسان می‌رسدکه این ویژگی می‌تواند برای استفاده در خانه‌های مدرن امروزی به جهت دستیابی به ساخت مکانی با آسایش اقلیمی و با مصرف انرژی کمتر مفید باشد (Hajaghababaei, 2014). معماری فضاهای زیرزمینی در شهر دزفول، معماری با توجه به اصول پایدار است. فضای شوادون متأثر از اقلیم، مسائل فرهنگی و اجتماعی است و علاوه بر آن نماد تنوع و هویت است. طراحی شوادون‌ها هدفمند و کاملا هوشمندانه و با توجه به بستر طبیعی و در راستای توسعه پایدار است (Sattari Sarbangali, 2012). شوادون نمونه موفقی از اصول معماری پایدار در پاسخ‌گویی به شرایط محیطی منطقه بوده است (Mahmoudi, 2021). فضاهای شوادون در جهت ایجاد آسایش حرارتی محیطی طراحی شده‌اند. این فضاها علاوه برداشتن میانگین دمایی مناسب درطول سال که شرایط مطلوبی را به وجود می‌آورد، از تهویه طبیعی نیز برخوردارند(Hazbeiet al., 2014) . زمین به دلیل داشتن استعداد متفاوت حرارتی، در بسیاری از مناطق می‌تواند به‌عنوان عامل گرمایش و سرمایش استفاده شود (Seyedaghamiri et al., 2018). هوای خنک و تازه موجود در شوادون، هوایی است که شب گذشته وارد شوادون شده، ذخیره و نگهداری شده است. در روزهای تابستان که تأمین هوای خنک به ندرت صورت می‌گیرد، ذخیره کردن برودت دیوارهها بسیار مهم و حائز اهمیت است(Bina, 2008). برخی ویژگی‌های فضاهای زیرزمینی نشان‌دهنده آن است که استفاده از این فضاها برای رسیدن به اهداف پایداری می‌تواند مؤثر باشد. فضاهای زیرزمینی دارای قابلیت‌های زیادی در زمینه صرفه‌جویی انرژی، کاهش آلودگی هوا، آلودگی صوتی و بصری و ایجاد فضاهای شهری که به مسائل اقلیمی و کالبدی پاسخ دهد، است. پیش‌بینی موقعیت، شرایط و برنامه‌ریزی در روند و نحوه اجرای فضاهای زیرزمینی برای مقابله باتهدیدات طبیعی و غیر طبیعی امری حیاتی و مهم است(Mehdinia, Hashemi, 2016). با توجه به اطلاعاتی که از پژوهش‌های پیشین به دست آمده، در این مقاله به ارائه راهکارهایی برای استفاده از معماری خاک پناه در معماری مدرن پرداخته می‌شود.

2-1- اقلیم دزفول: شهر دزفول دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های ملایم و مطبوع بود و طبیعت سرسبز آن در اواخر زمستان تا اوایل بهار بسیار دلپذیر است . (Badelanzade, Aghamiri, 2011)اقلیم این منطقه گرم‌وخشک است. میانگین دمای هوا در گرم‌ترین ماه‌های سال از خرداد تا شهریور 46.19 و در سردترین ماه‌های سال از آذر تا اسفند 8.05 درجه طبق شکل1 است. طول و عرض جغرافیایی به ترتیب48.23 و 32.24 درجه و ارتفاع از سطح دریا143متر است.

3-1-مؤلفه دما: مهم‌ترین عاملی که آسایش انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دما است. منظور از دمای هوا، دمای خشک یعنی عددی که یک دماسنج معمولی در سایه و در شرایطی که جریان هوا بی‌تأثیر است، نشان می‌دهد (Kasmaei, 2006). طبق اطلاعات به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل1، به طورکلی در شهر دزفول دمای میانگین کل سال 26.7 درجه سانتی‌گراد برآورد می‌شود و گرم‌ترین ماه، تیرماه با میانگین دمای38 درجه و سردترین ماه، دی‌ماه با میانگین دمای 12 درجه سانتی‌گراد است. دیاگرام میانگین دمای خشک برای ماه-های مختلف در طول شبانه‌روز در شکل 1 نشان داده شده است. به دلیل اینکه میانگین دما در ماه‌های گرم با دمای آسایش اختلاف بیشتری دارد و همچنین بیشتر ماه‌های سال هوا گرم است، بایستی در طی طراحی با راهکارهایی چون استفاده ازحیاط مرکزی، استفاده از فضای سبز و یا احداث ساختمان در دل زمین از نوسان روزانه دما بهره برد.



شکل1- دیاگرام میانگین دما خشک در ماه‌های مختلف (نرم‌افزار ClimateConsultant)

Fig.1- Diagram of average dry temperature in different months (Climate Consultant software)

طبق استاندارد اشری(ASHREA, 2001) آسایش حرارتی، "شرایط رضایتمندی ذهن از محیط حرارتی" تعریف می‌شود. در تعریفی دیگر منطقه آسایش، محدوده‌ای از شرایط اقلیمی است که اکثر مردم در آن احساس عدم آسایش (سرما یا گرما) ندارند. مطالعات آسایش حرارتی بر مبنای آزمایش‌های کنترل‌شده و یا بر مبنای مطالعات میدانی صورت می‌گیرند. مطابق آنچه از نرم‌افزار Climate consultant برای اقلیم دزفول استخراج‌شده، داده‌های مربوط به رطوبت و دمای آسایش منطبق با جدول 1 است.

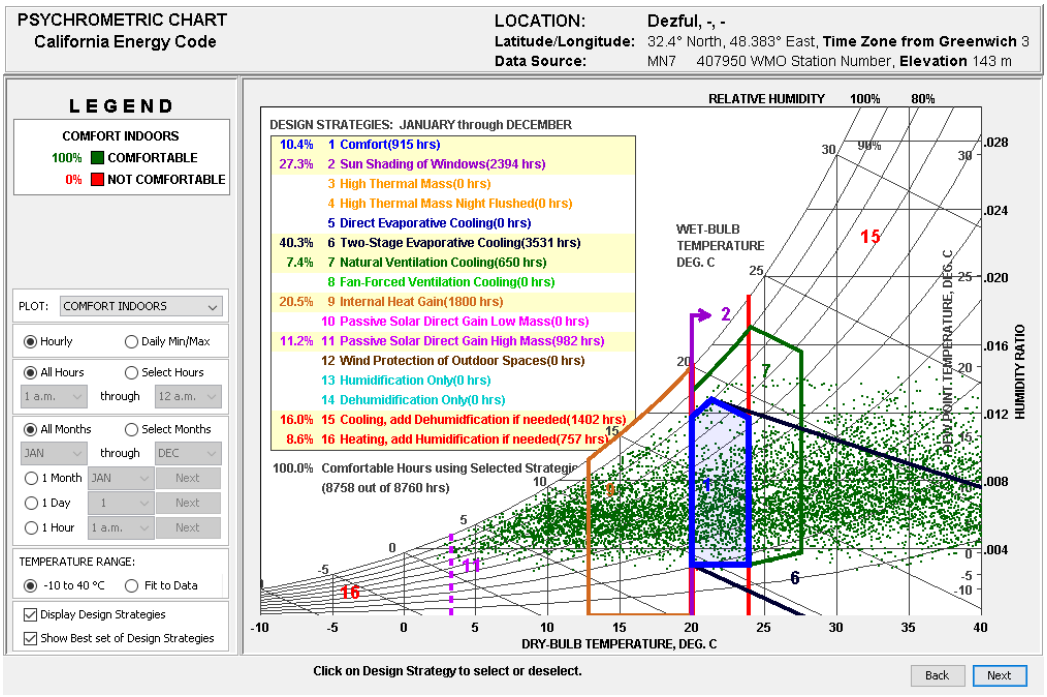
جدول1- محدوده آسایش دمایی شهر دزفول (نرم‌افزار Climate consultant)

Tab.1- Temperature comfort range of Dezful city (Climate Consultant software)

بیشترین رطوبت نسبی	کمترین رطوبت نسبی	بیشترین آستانه دمای آسایش	کمترین آستانه دمای آسایش
86.4 درصد	**35.6** درصد	**24.3**	**20.3**

از شکل2 می‌توان مواردی را که در آسایش حرارتی اقلیم دزفول دخیل هستند را استخراج نمود. در جدول نرم‌افزار مذکور به موارد مهم تأثیرگذار که درصد زیادی در آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند، اشاره شده است:

قسمت آبی رنگ منطقه آسایش حرارتی را در این اقلیم نشان داده است که 10.4 درصد از سال را به خود اختصاص داده است و اگر از سایبان برای بازشوها استفاده شود27.3 درصد به این مقدار بازه آسایش افزوده می‌شود. مورد بعدی تأثیرگذار، خنک کننده‌های تبخیری هستند که 40.3 درصد تأثیرگذارند. همچنین خنک کردن ساختمان با تهویه طبیعی 7.4 درصد در فصل‌های گرم سال، افزایش حرارت داخلی ساختمان 20.5 درصد و بهره‌گیری از نور خورشید در طول روز 11.2درصددر فصول سرد سال برآسایش حرارتی اثرمی‌گذارند. رطوبت‌زدایی دستگاه خنک‌کننده در صورت نیاز 16درصد و ایجاد رطوبت به همراه دستگاه گرمایش در ساختمان در صورت نیاز 8.6 درصد برآسایش حرارتی تأثیرگذار است.



شکل 2- استراتژی‌های طراحی در نمودار سایکرومتریک (نرم‌افزار ClimateConsultant)

Fig.2- Design strategies in psychometrics chart (Climate Consultant software)

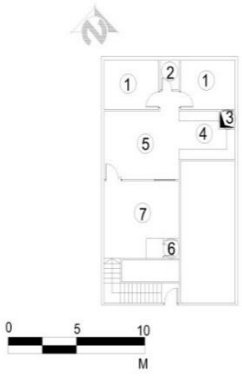
2– روش تحقیق

2–1– شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر: در این مقاله خروجی‌های انرژی سرمایشی، گرمایشی، روشنایی، تهویه و دمای هوای داخل ساختمان از نرم‌افزار Design Builder دریافت شده است. این نرم‌افزار در این موارد نسبت به نرم‌افزارهای CARRIER، ECOTECT و eques خروجی‌های دقیق‌تری ارائه می‌دهد. اگر چه این نرم افزار همردیف پلاگین‌های نرم افزار گرس هاپر است. لذا استفاده از این نرم‌افزار در این مورد مناسب شناخته شده است. شاهد این امراعتماد فراوان محققان به آن است.

2-2- تحلیل سایت: سایت مورد نظر در کوی سعدی دزفول واقع شده است. جهت‌گیری سایت به صورت شمالی_ جنوبی است که در دوطبقه ساخته شده. برای برداشت اطلاعات، یکی از اتاق‌های این خانه به ابعاد 4×3 در این سایت از نظر میزان مصرف انرژی، اتلاف حرارتی و ... مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. این اتاق در دو حالت، یکی روی زمین و دیگری زیرزمین، در دو شرایط کاملا یکسان بررسی‌شد(شکل 3).

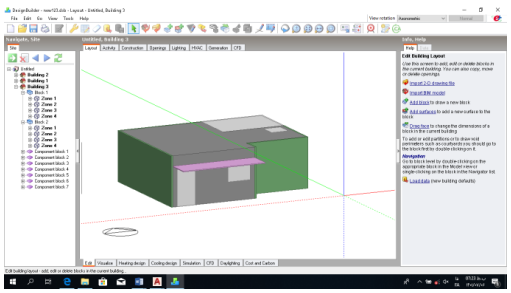
اطلاعات آب‌وهوایی که در شبیه‌سازی استفاده شده از اطلاعات هواشناسی دزفول در طی چند سال اخیر و نرم‌افزار Climate Consultant برداشت شده است. این اطلاعات برای تمام فصول مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. دمای داخلی اتاق در شکل 4 با استفاده از یک کولر کولر گازی 12 هزار وات به‌صورت دستی بر اساس دمای آسایش محیطی تنظیم شده است که البته موارد دیگری از قبیل تهویه، اتلاف حرارت از دیواره‌ها و پنجره و.... نیز بر آن تأثیر دارد. تهویه اتاق از طریق در و پنجره که به‌صورت ساعتی در فصول مختلف و در ساعت‌ها و بازه‌های متفاوت باز و بسته می‌شوند، انجام می‌پذیرد. روشنایی اتاق از طریق یک پنجره دو جداره به ابعاد 0.8 × 1.5متر و دو عدد لامپ 12 وات تأمین می‌شود. لایه‌بندی دیوارها، عایق‌کاری دیوارها و سقف بر اساس واقعیت در نرم‌افزار طراحی‌شده است. لازم به ذکر است که مدل‌سازی اتاق در پناه زمین درشکل 5 به همین صورت ولی با این تفاوت که دیوارهای اطراف بنا را زمین احاطه کرده، طراحی‌شده است. لایه‌بندی دیوارها در اشکال 6، 7و 8 نشان‌داده شده است.

1	اتاق خواب Bedroom	5	پذیرایی living room		
2	حمام Bathroom	6	سرویس بهداشتی Toilet		
3	نورگیر Patio	7	حیاط Yard		
4	آشپزخانه Kitchen				



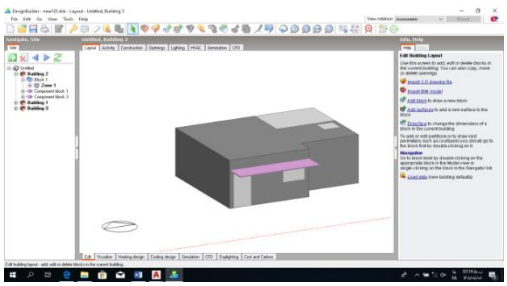
شکل 3-پلان نمونه تجربی مورد آزمایش

Fig.3- Plan of experimental sample to be tested



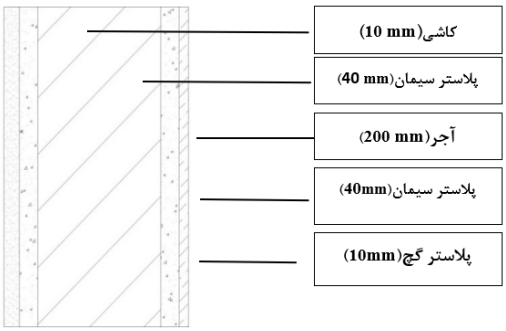
شکل4- شبیه‌سازی ساختمان روی سطح زمین

Fig.4- Building simulation on the ground



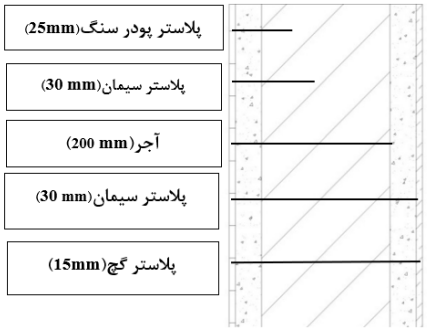
شکل5- شبیه‌سازی ساختمان زیر سطح زمین

Fig.5- Simulation of underground building



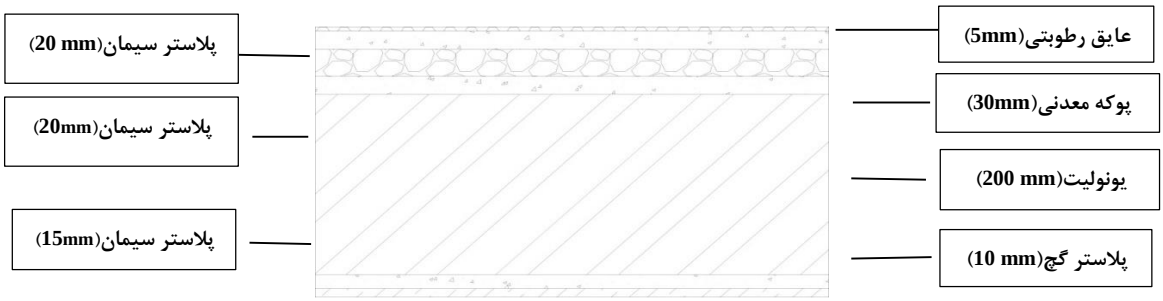
شکل6- لایه‌بندی دیوار داخلی

Fig.6- Inner wall layering



شکل7- لایه‌بندی دیوار خارجی

Fig.7- External wall layering



شکل8- لایه‌بندی سقف

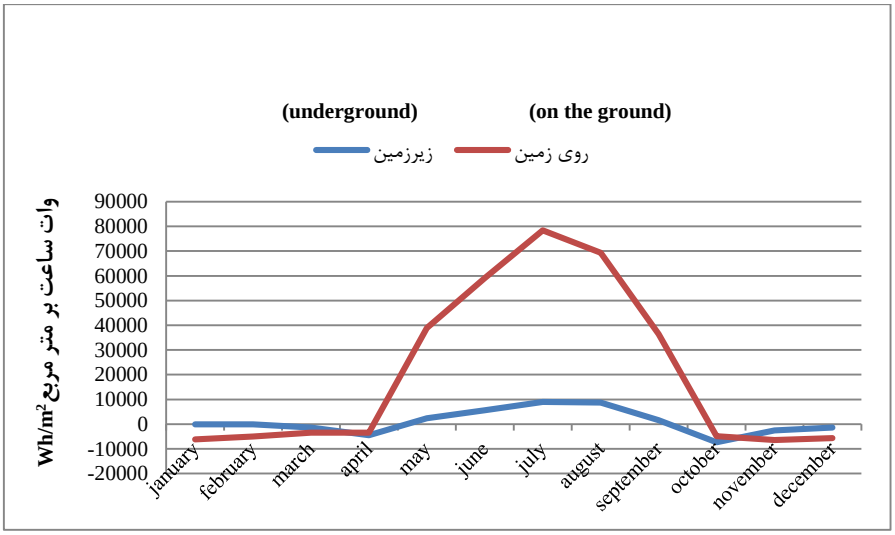
Fig.8- Roof layering

2-3- بررسی و تحلیل یافته‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار برای ساختمان رو و زیر سطح زمین:

2-3-1-اتلاف حرارت از طریق تهویه

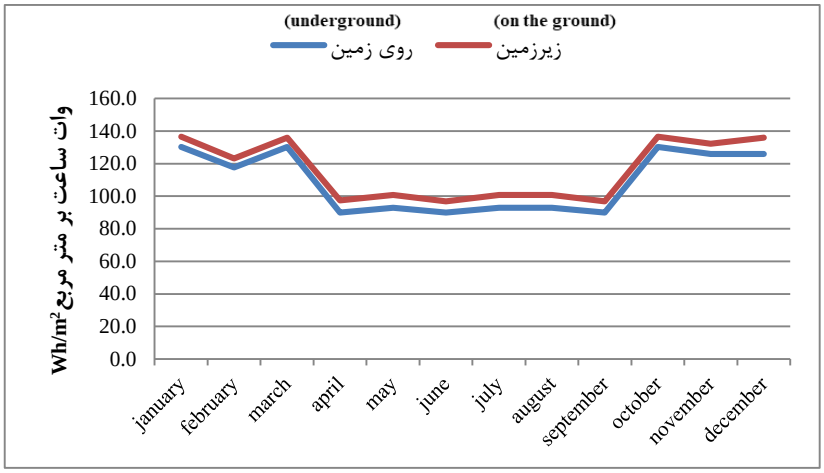
در شکل9 خروجی دیاگرامی تهویه کل فضای اتاق در 12 ماه سال در دو فضای زیر و روی زمین ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در فصول سرد سال مقدار تهویه با علامت منفی به معنای از دست دادن گرما و در فصول گرم سال مقدار اتلاف از طریق تهویه با علامت مثبت به معنای دریافت گرما نشان داده می‌شود. در ساختمان روی سطح زمین در فصول سرد سال هرچه سردترین فصل نزدیک می‌شود، میزان اتلاف بیشترین مقدار عدد منفی(November) و در ساختمان خاک‌پناه در ابتدای فصل بهار و پاییز میزان اتلاف، بیشترین مقدار عدد منفی(October، April) را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در ساختمان روی سطح زمین در فصول گرم سال هرچه گرم‌ترین فصل نزدیک می‌شود، مقدار اتلاف، بیشترین مقدار عدد مثبت(July) را به خود اختصاص می‌دهد. زیرا در فصل تابستان، فضا با اتلاف حرارت بیشتری روبه‌رو است. همچنین در ساختمان خاک‌پناه در فصول گرم سال هرچه گرم‌ترین فصل نزدیک می‌شود، مقدار اتلاف، بیشترین مقدار عدد مثبت(July) را به خود اختصاص می‌دهد و بالعکس در فصول سرد مقدار عددی کمتری دارد. چون اتلاف حرارت در زیرزمین آن‌هم در زمستان به دلیل باز و بسته شدن کمتر در و پنجره‌ها کاهش می‌یابد. همچنین هرچه مقدار عدد تهویه بیشتر باشد، تنفس برای افراد حاضر در محیط بهتر صورت گرفته و از آسایش حرارتی بهتری برخوردار می‌شود. درصد بهینه‌سازی تهویه روی زمین نسبت به زیرزمین 95.97 درصد بیشتر است(حدود 96 درصد در ساختمان روی سطح زمین تهویه بهتری صورت می‌گیرد).

2-4– روشنایی: در شکل10 میزان روشنایی و مقدار مصرف انرژی در هر دو فضا (یکی زیر و یکی روی سطح زمین) به یک نسبت و تقریبا یک‌روال ثابت را در پی گرفته‌اند. به دلیل یکسان بودن شرایط(قرار دادن 2 لامپ 12 ولت) تفاوت عددی این دو فضا به خاطر اختلاف ارتفاع آن‌هاست. فضای روی سطح زمین نور طبیعی بیشتر و فضای زیر سطح زمین نور طبیعی کمتری در روز توسط پنجره‌ای که در نورگیر ساختمان قرار دارد دریافت می‌کند. دلیل شکست‌ها در نمودار، تغییرات فصل و تغییر زمان در طلوع و غروب خورشید و در همین راستا نیاز متفاوت به انرژی روشنایی در ساختمان است. درصد بهینه‌سازی روشنایی روی زمین نسبت به زیرزمین 6.42 درصد است(ساختمان زیرزمین 6.42 درصد نسبت به ساختمان روی زمین انرژی بیشتری برای روشنایی مصرف می‌کند).



شکل 9- مقایسه اتلاف حرارت از طریق تهویه در رو و زیر سطح زمین

Fig.9- Comparison of heat loss through ventilation on the surface and under the ground

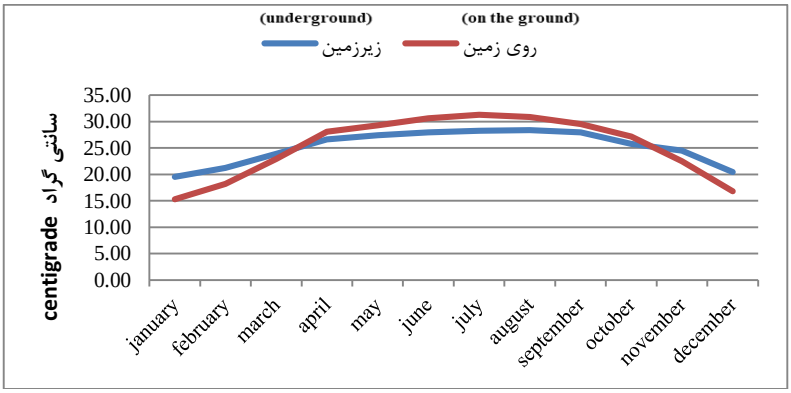


شکل 10- مقایسه مصرف انرژی روشنایی در رو و زیر سطح زمین

Fig.10- Comparison of lighting energy consumption above and below the ground

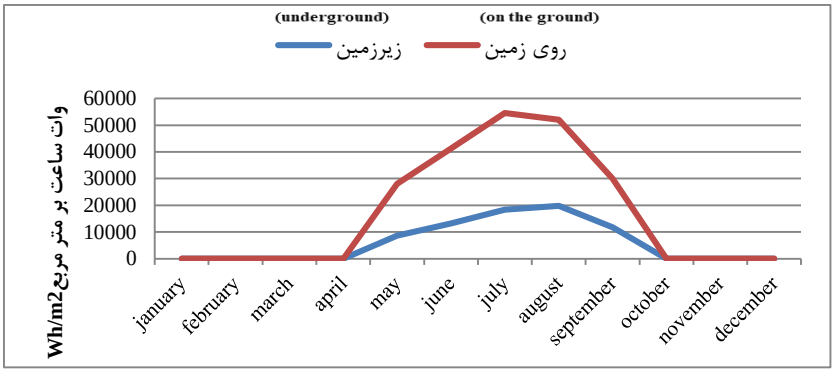
2-5– دمای هوای داخل: در شکل 11 دمای هوای داخل ساختمان به عوامل مختلفی از قبیل تهویه، اتلاف حرارت از دیوارها، در، پنجره و.... بستگی دارد. این دما در حالت خاموش بودن کولرگازی است. در ساختمان روی سطح زمین دمای هوای داخل بین 16 تا 31 درجه در کل سال است که در فصل گرم (گرم‌ترینJuly) بیشترین دما را به دلیل تابش مستقیم آفتاب، اتلاف حرارت و...دارد و در ساختمان خاک‌پناه دمای داخل بین19 تا 28 درجه در کل سال است که در فصل گرم (گرم‌ترین August) بیشترین دما را دارد درحالی‌که در فصل گرما در دو موقعیت در اتاق به صورت ساعتی از کولر گازی استفاده‌شده است. ساختمان روی سطح زمین در فصل سرد(سردترینJanuary) کمترین دما را دارد. همچنین ساختمان خاک‌پناه در فصل سرد(سردترین January) نیز کمترین دما را دارد. در فصول گرم سال ساختمان خاک‌پناه حداکثر 3 درجه خنک‌تر و در فصول سرد سال حداکثر 3 درجه گرم‌تر از ساختمان روی سطح زمین است و به محدوده آسایش نزدیک‌تر بوده و بر مصرف انرژی سرمایش و گرمایش اثر مستقیم دارد. اما در اواسط ماه‌های April و November نمودارها باهم تلاقی یافته و دما در آن محدوده در دو فضا به یک‌میزان شده است. درصد بهینه‌سازی دمای هوای داخل ساختمان، روی زمین نسبت به زیرزمین 0.19 درصد بیشتر است.

2-6–انرژی سرمایشی: شکل **12** مربوط به مقدار مصرف انرژی وسیله سرمایشی (کولر گازی) درون اتاق‌هاست. در فصل سرد سال و تعدادی از ماه‌های بهار و پاییز با توجه به دمای هوای شهرستان دزفول وسیله سرمایشی خاموش و عدد آن در نمودار صفر است.



شکل11- مقایسه دما هوا داخل ساختمان در رو و زیر سطح زمین

Fig.11- Comparison of air temperature inside the building above and below ground level



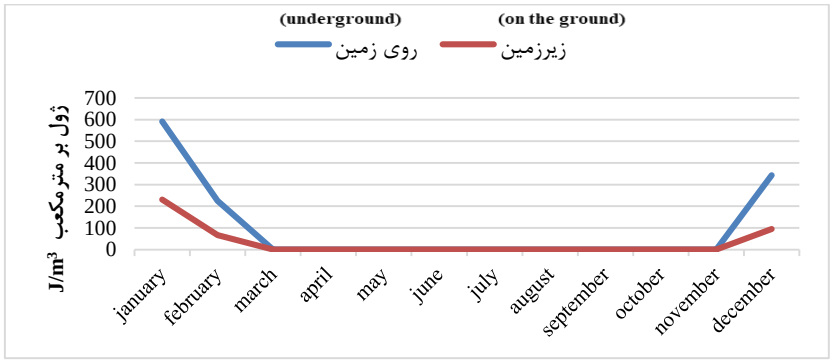
شکل 12- مقایسه مصرف انرژی سرمایشی در رو و زیر سطح زمین

Fig.12-Comparison of cooling energy consumption above and below ground

در ساختمان روی سطح زمین از Mayماه تا September کولر گازی روشن و در فصلJuly بیشترین مصرف انرژی را داراست. هرچه گرم‌ترین ماه سال نزدیک‌تر می‌شود مقدار تهویه و زاویه خورشید بیشتر و به همین نسبت دمای هوای داخل اتاق بیشتر می‌شود و نیاز است که کولر گازی مدت‌زمان بیشتری و با مصرف انرژی بیشتری فعال باشد.

همچنین در ساختمان خاک‌پناه نیز از Mayماه تا September کولر گازی روشن و در ماه August بیشترین مصرف انرژی را داراست. بنابراین همانند ساختمان روی سطح زمین هرچه گرم‌ترین ماه سال نزدیک می‌شود، مقدار تهویه بیشتر و به همین نسبت دمای هوای داخل اتاق نیز بیشتر می‌شود و نیاز است کولر گازی در مدت زمان بیشتر با مصرف انرژی بیشتر فعال باشد. نمودار زیرزمین نشان‌دهنده مصرف انرژی کمتر نسبت به روی زمین است و دلیل آن دمای هوای داخلی کمتر و تهویه کمتر آن است. درصد بهینه‌سازی انرژی سرمایشی زیرزمین نسبت به روی زمین 65.15 درصد است. در ماه August که زیرزمین بیشترین مصرف انرژی سرمایشی را به خود اختصاص می‌دهد، حدود 32241.5 کیلووات ساعت نسبت به ساختمان روی سطح زمین انرژی کمتری مصرف می‌کند.

7-2- انرژی گرمایشی: در شکل13 به انرژی مصرفی سسیستم گرمایشی فضا که از نوع فن کویل است می‌پردازد. با توجه به اقلیم دزفول در فصل پاییز و زمستان نیاز چندانی به وسیله گرمایشی در فضا احساس نمی‌شود. فقط از ماهDecember تا February در ساعات محدودی از شب از این وسیله گرمایشی استفاده می‌شود. ماه January بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است که طبیعتا سردترین ماه در دزفول است. میزان مصرف انرژی در زیرزمین کمتر از روی سطح زمین است و دلیل آن تهویه کمتر و وجود زمین با ظرفیت حرارتی بالا است. درصد بهینه‌سازی انرژی گرمایشی زیرزمین نسبت به روی زمین 66.24 درصد است.



شکل13- مقایسه مصرف انرژی گرمایشی در رو و زیر سطح زمین

Fig.13- Comparison of heating energy consumption above and below the surface of the earth

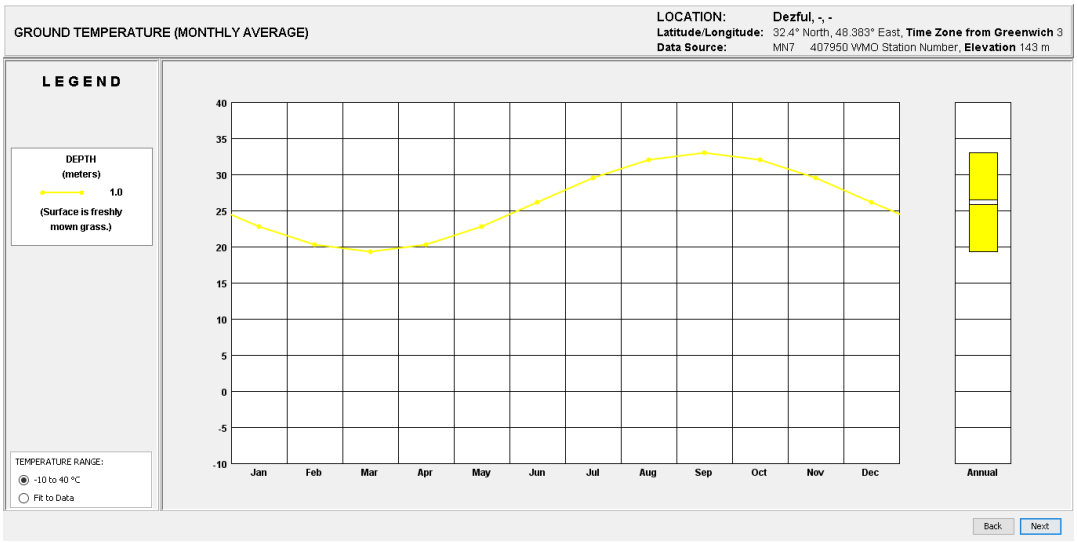
2-8-مصرف انرژی: پس ازمدل‌سازی و شبیه‌سازی طرح ها و حالت‌های موردنظر، میزان انرژی موردنیاز برای تهویه، روشنایی، سرمایش و همچنین میزان مصرف انرژی سالیانه ساختمان رابه دست آورده وسپس به بررسی تأثیر برخی عوامل همچون عمق خاک‌پناه ساختمان،نورگیری و .... درمصرف انرژی سالیانه پرداخته می‌شود.

2-9-ساختار دیوارها: از مهم‌ترین پارامترهای اتلاف انرژی درساختمان، نوع پوشش‌های ساختمان است. این پوشش‌ها عبارت‌اند از دیوارها، پنجره‌ها، کف و سقف .درساختمان‌های در پناه زمین دیوارها به علت مجاورت با خاک، از اهمیت بیشتری در بررسی کارآیی این نوع ازساختمان‌ها برخوردارند. ساختارهای مختلف، به دلیل متفاوت بودن درضریب انتقال حرارتی خود، رفتارهای مختلفی درمیزان مصرف انرژی نشان می‌دهند. هرچه این مقدارکمترباشد، میزان اتلاف حرارت از ساختمان کمتر است. در ادامه میزان صرفه‌جویی انرژی با ایده در پناه زمین با ساختارهای متفاوت، جهت تعیین میزان تأثیر این مورد در ایده زمین پناه مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول 2 اجزا ساختارها مورد بررسی قرارگرفته و ویژگی‌های حرارتی آن‌ها ذکر شده است:

باتوجه به نتیجه حاصله از شبیه‌سازی ساختارهای مختلف، هرچه ضریب انتقال حرارت کمترشود، میزان کارآیی ایده ساختمان در پناه زمین بیشترمی‌شود. نتایج حاکی از این است که ساختار بلوک AAC کمترین ضریب انتقال حرارت را داشته وبیشترین صرفه‌جویی درانرژی اولیه را داراست.

2-10- عمق خاک پناهی: طبق شکل 14 هرچه درصد سطحی که بازمین ارتباط دارد بیشتر و هرچه سازه درعمق بیشتری از سطح زمین باشد، اثر بیشتری بر روی کاهش مصرف انرژی می‌گذارد. از سوی دیگر هزینه سازه‌هایی که در عمق بیشتری از زمین هستند و باید بار زیاد خاک را تحمل کنند، بیشتراست. با این اوصاف می‌توان گفت بسیاری از مزایای وابسته به برقراری تعادل بین صرفه‌جویی انرژی و هزینه وابسته به عمق زمین پناهی است.

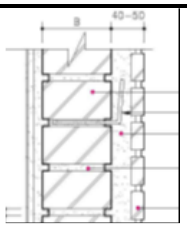
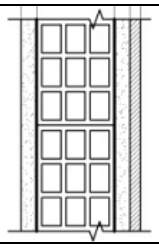
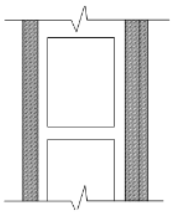
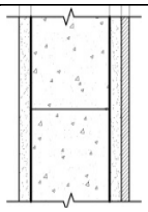


شکل14- دما زمین (نرم‌افزار ClimateConsultant)

Fig.14- Earth's temperature (Climate Consultant software)

جدول 2- انواع ساختار دیوار

Tab.2-Types of wall structure

نوع ساختار	جزئیات اجرایی	لایه‌های تشکیل‌دهنده از داخل به خارج	d [m]	λ [kw/m]	R [kw/m²]	Total	ضریب انتقال حرارت [kw/m²]
1_دیوار آجری		اندود داخلی گچ (چگالی1300kg/m³)	0.005	0.57	0.01	0.27	3.692
		گچ‌وخاک	0.02	1.1	0.02		
		آجر توپر	0.22	1.1	0.2		
		ملات ماسه سیمان (چگالی 2000 kg/m³)	0.025	1.8	0.2		
		آجرنما	0.03	1	0.03		
2_دیوارباً بلوک سفالی توخالی		اندود داخلی گچ	0.005	0.57	0.01	0.46	2.17
		گچ‌وخاک	0.02	1.1	0.02		
		بلوک سفالی	0.22	0.56	0.39		
		ملات ماسه سیمان (چگالی2000 kg/m³)	0.025	1.8	0.01		
		آجرنما	0.03	1	0.03		
3_دیوار با بلوک لیکا		اندود داخلی گچ	0.005	0.57	0.01	1.4	0.714
		گچ‌وخاک	0.015	1.1	0.01		
		بلوک لیکا	0.15	0.11	1.33		
		ملات ماسه سیمان (چگالی2000 g/m³)	0.025	1.8	0.01		
		آجرنما	0.03	1	0.01		
4_دیوار با بلوکAC C		اندود داخلی گچ	0.005	0.57	0.01	1.56	0.64
		گچ‌وخاک	0.02	1.1	0.02		
		بلوک	0.15	0.1	1.49		
		ملات ماسه سیمان (چگالی2000 (g/m³	0.025	1.8	0.01		
		آجرنما	0.03	1	0.03		

2-11-بررسی متغیرها در شبیه‌سازی: - موقعیت قرارگیری ساختمان به صورت شمالی_ جنوبی است که در این صورت با توجه به اقلیم دزفول و زاویه خورشید باید برای در و پنجره‌های خارجی سایبان در نظر گرفت. موقعیت قرارگیری پنجره و در ساختمان به سمت جنوب به دلیل وجود همسایگی‌ها و موقعیت سایت است.

- ازآنجاکه پنجره بر عملکرد حرارتی و کیفیت نور وارده تأثیر دارد جنس پنجره مانند آنچه در واقعیت وجود دارد بهتر است به‌صورت دوجداره با قاب PVC مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان استفاده شود. نسبت در و پنجره به دیوار به‌عنوان یک پارامتر مهم طراحی خاک‌پناه در نظر گرفته‌شده است و افزایش این پارامتر می‌تواند باعث افزایش گرمای تابش خورشیدی سقف شود و منجر به افزایشدمای سطح سقف و دمای هوای داخلی شود.

-میزان مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان خاک‌پناه 34750 کیلووات ساعت نسبت به ساختمان روی سطح زمین کمتر است که دلیل آن اتلاف حرارت کمتر، تهویه کمتر و عدم دریافت نور مستقیم خورشید است که این‌ها از مزایای این رویکرد در معماری است زیرا در مصرف انرژی سرمایشی برای ماه‌های گرم سال صرفه‌جویی می-شود.

- تهویه در ساختمان خاک پناه نسبت به ساختمان روی سطح زمین بسیار کمتر است به‌طوری‌که حدود 95 درصد بهینه‌سازی در مصرف انرژی صورت می‌گیرد که

علت اصلی آن بسته بودن فضا و تبادل کمتر هوای تازه با بیرون ساختمان است که از عوامل اصلی آسایش حرارتی برای ساکنین آن فضا است. برای بهبود این وضعیت باید راهکارهایی در طراحی اندیشیده شود مانند طراحی آتریوم در فضا و قرار دهی پنجره‌های هم‌اندازه رو به روی‌هم برای ورود و خروج هوا که تأثیر به‌سزایی در تهویه هوا خواهند داشت.

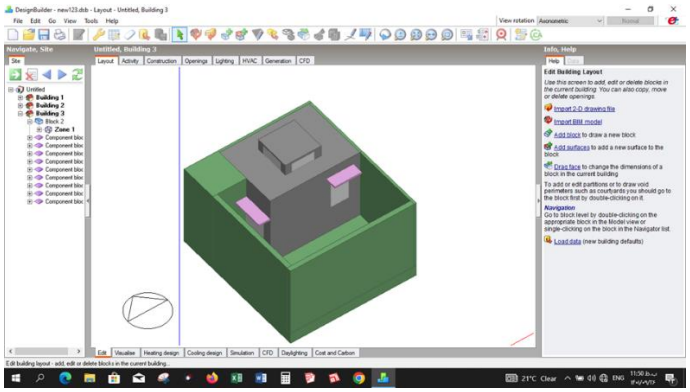
- یکی دیگر از عواملی که بر مصرف انرژی اثر دارد روشنایی ساختمان است به‌گونه‌ای‌که هرچه روشنایی طبیعی در طول روز کمتر باشد، نیاز به لامپ‌ها بیشتر و درنتیجه انرژی بیشتری مصرف می‌شود. در نمونه شبیه-سازی نشان داد که ساختمان روی سطح زمین حدود 10 درصد انرژی کمتری نسبت به ساختمان خاک‌پناه مصرف می‌کند و علت آن‌هم برخورداری از نور مستقیم است. اگر در ساختمان خاک‌پناه جهت کشیدگی ساختمان به سمت جنوب باشد و یا از پنجره‌های روی بام یا از آتریوم برای بهره‌مندی از نور خورشید استفاده شود عملکرد روشنایی ساختمان خاک پناه مانند ساختمان روی سطح زمین شده و به همان مقدار انرژی مصرف می‌کند.

- اختلاف دمای هوای داخل ساختمان خاک‌پناه در طول روز و طول سال بسیار کمتر از بنای روی زمین است و به دما آسایش حرارتی بدن انسان هم خیلی نزدیک است که علت اصلی آن اتلاف حرارت کمتر در این فضا است و نیاز کمتری به مصرف انرژی برای وسایل سرمایشی و گرمایشی دارد.

- یکی دیگر از عواملی که بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد و جز موارد مهم محسوب می‌شود اتلاف حرارت ساختمان است که البته نسبت به ساختمان‌هایی که روی سطح زمین ساخته می‌شوند مقدار کمتری دارد زیرا دیواره‌های آن با هوای بیرون ارتباط مستقیم ندارند و نور مستقیم خورشید را دریافت نمی‌کند. یکی از عوامل اصلی، جداره‌های ساختمان است که در ساختمان خاک پناه بهتر است برای جلوگیری از فشار خاکی که اطراف ساختمان را احاطه می‌کند از بتن مسلح برای اجرای سقف و دیواره‌ها و عناصر باربر ساختمان استفاده شود و اگر از آجر استفاده می‌شود تحت فشار عمودی قرار نگیرند. مورد دیگر رطوبتی است که از کف و بدنه ساختمان ممکن است آن را درگیر کند که از مهم‌ترین راهکارهای مقابله، زهکشی قبل از شروع ساخت بنا و احداث بنا در بالای شیب است. موارد دیگری نیز از جمله عایق‌بندی رطوبتی، استفاده از مصالح ضدآب و استفاده از ایزولاسیون که البته مختص مناطق مرطوب است، استفاده می‌شوند.

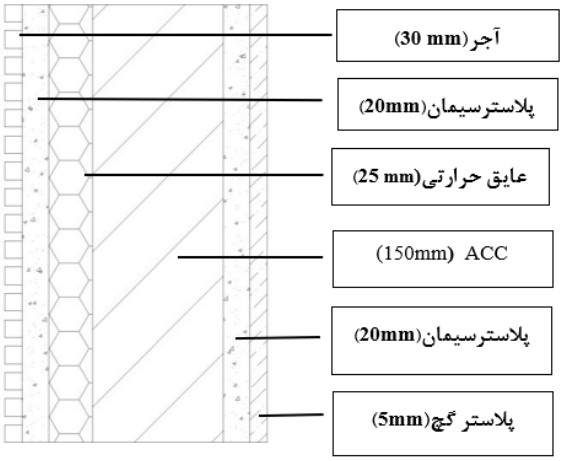
12-2- شبیه‌سازی مطابق اصلاحات

طبق مواردی که در بالا ذکر شد یک شبیه‌سازی جدید در شکل15 انجام‌شده و تمام موارد در شبیه‌سازی جدید اصلاح شده است. این موارد شامل جنس دیواره‌ها که در اشکال16،17و 18 نشان داده شده، استفاده از نورگیر سقفی، قرار دادن گودال‌باغچه، ایجاد سایه‌بان و ... هستند که با استفاده از خروجی‌های به‌دست آمده به تحلیل مواردی از قبیل تغییرات دمایی، مصرف انرژی سرمایشی و روشنایی، مقدار اتلاف حرارت از طریق تهویه و ... پرداخته و این موارد با مدل خام خاک‌پناه که تحلیل و مقایسه شده‌اند.

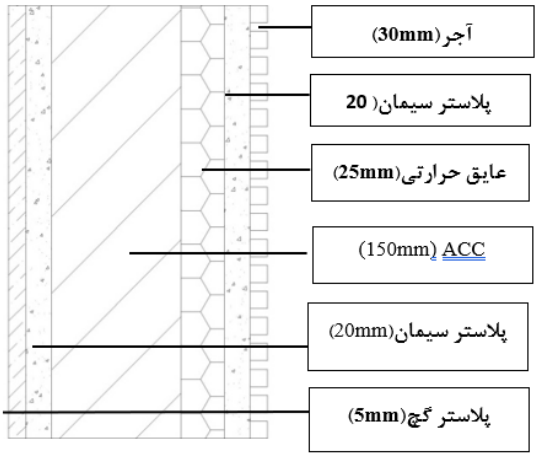


شکل15- شبیه‌سازی ساختمان زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

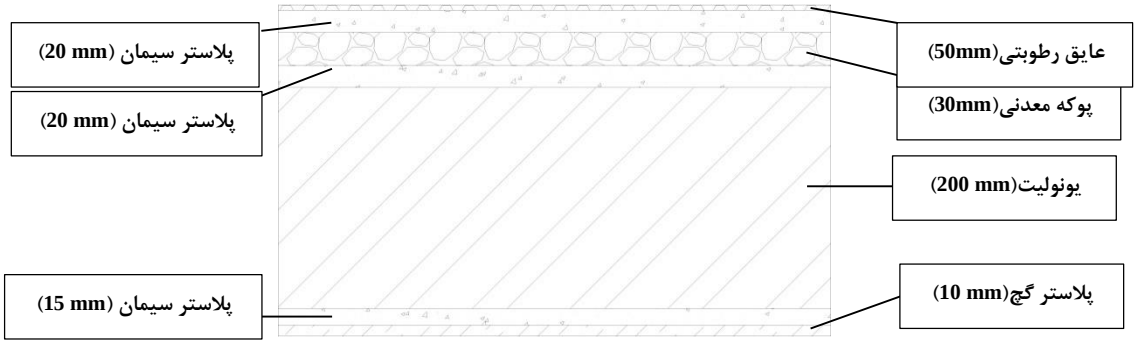
Fig.15- Simulation of the building below the ground level in a modified state



شکل16- لایه بندی دیوار داخلی
Fig.16- Inner wall layering



شکل17- لایه بندی دیوار خارجی
Fig.17- External wall layering



شکل18- لایه‌بندی سقف
Fig.18- Roof layering

3- نتایج و بحث

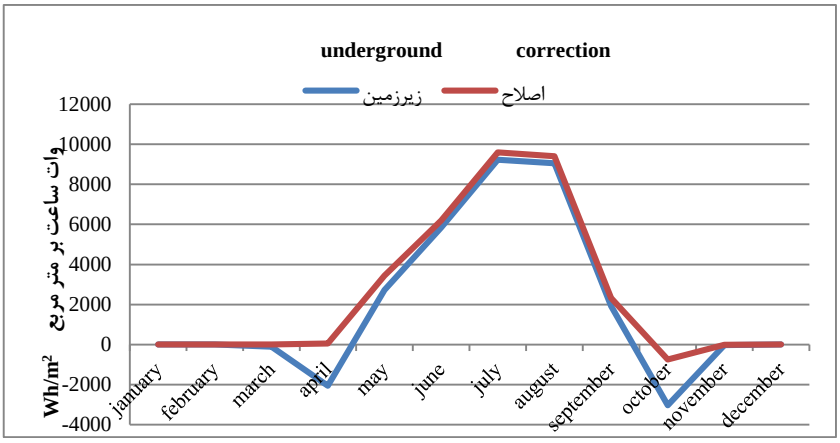
3-1- بررسی و تحلیل یافته‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار برای ساختمان رو و زیر سطح زمین:

3-1-1-اتلاف حرارت از طریق تهویه

در شکل19 از گودال باغچه استفاده شده و دیوار سمت پنجره و نصف دیواری که درب در آن قسمت قرار دارد از حصار خاک‌پناهی خارج شده‌اند. همچنین وجود نورگیر در سقف باعث نورگیر شدن بیشتر ساختمان و افزایش جزئی اتلاف حرارت در ماه‌های گرم سال شده است. البته در ماه‌های سرد سال اتلاف حرارت را بسیارکم کرده است. در هر دو حالت اتلاف حرارت از طریق تهویه در ماه‌هایJanuary، February و December که ماه‌های سرد در دزفول محسوب می‌شوند صفر بوده و فقط در ماه‌های March و November مقدار کمی گرما از دست‌داده است. در ماه‌های گرم سال به ویژه درJuly و August که گرم‌ترین ماه‌های سال در دزفول محسوب می‌شوند ساختمان گرمای زیادی را دریافت می‌کند. (منفی بودن اعداد به معنای از دست دادن گرما و مثبت بودن آن به معنای دریافت گرما است) (میزان اتلاف حرارت از طریق تهویه در شبیه‌سازی اصلاح‌شده نسبت به شبیه‌سازی پایه 28.31 درصد کمتر است).

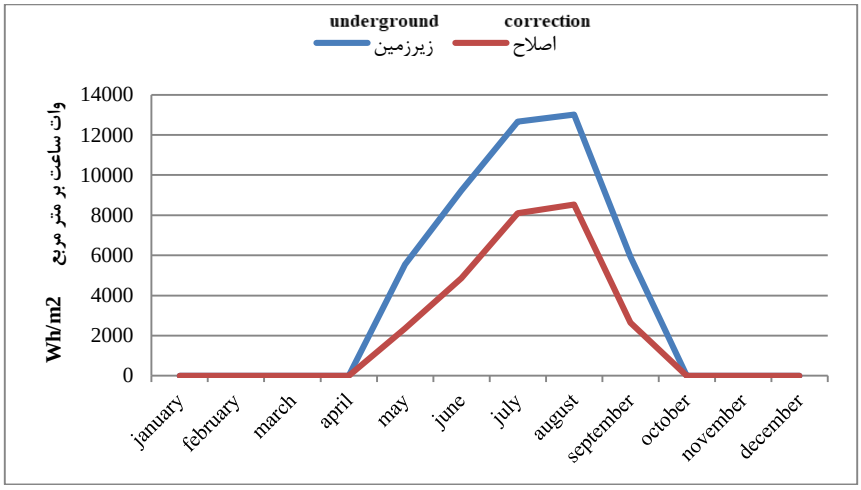
3-1-2-انرژی سرمایشی

در شکل20 به دلیل عایق شدن دیوارها، کف و سقف و سایبان گذاشتن برای پنجره‌ها میزان مصرف انرژی برای سرمایش ساختمان کمتر شده و42.85 درصد نسبت به حالت پایه انرژی کمتری مصرف می‌شود.



شکل19- مقایسه اتلاف حرارت از طریق تهویه در رو و زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

Fig.19- Comparison of heat loss through ventilation on and under the surface of the ground in the modified state



شکل 20- مقایسه مصرف انرژی سرمایشی در رو و زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

Fig.20- Comparison of cooling energy consumption above and below the ground in the modified state

3-1-3-انرژی گرمایشی

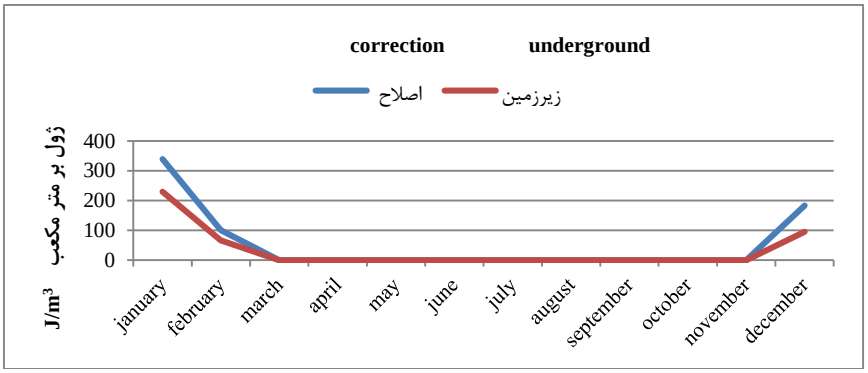
در شکل21 به دلیل وجود گودال باغچه و خروج یک دیوار از حالت خاک‌پناهی و وجود نورگیر سقفی، میزان مصرف انرژی نسبت به حالت خاک‌پناهی کامل 37.29درصد بیشتر اتلاف حرارت دارد ولی همچنان 46.16 درصد نسبت به ساختمان روی سطح زمین از حالت بهینه‌تری برخوردار است.

3-1-4-انرژی روشنایی

در شکل 22 به دلیل وجود گودال باغچه و نورگیر سقفی، ساختمان در طول روز در بازه‌ی زمانی بیشتری از نور خورشید بهره‌مند می‌شود و نیاز کمتری به روشن کردن لامپ دارد و در همین راستا انرژی روشنایی کمتری مصرف می‌شود. دلیل شکست‌ها در نمودار، تغییرات فصل و تغییر زمان طلوع و غروب خورشید است که باعث نیازهای متفاوت به انرژی روشنایی در ساختمان می‌شود. در شبیه‌سازی اصلاح‌شده، 15.16 درصد انرژی روشنایی کمتری نسبت به حالت پایه مصرف می‌شود.

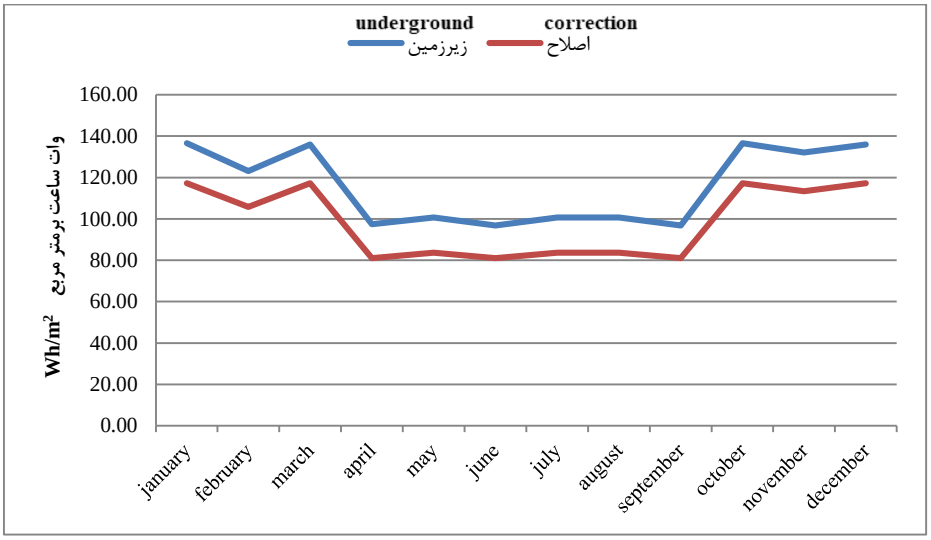
3-1-5- دما هوا داخل ساختمان

در شکل23 به دلیل بهینه بودن حالت تهویه، عایق بودن بدنه ساختمان و نصب سایبان، ساختمان گرمای کمتری دریافت کرده و دمای هوای داخل ساختمان کاهش‌یافته و همچنان در بازه دمایی آسایش قرار دارد و 6.56 درصد حالت بهینه‌تری نسبت به حالت پایه دارد.



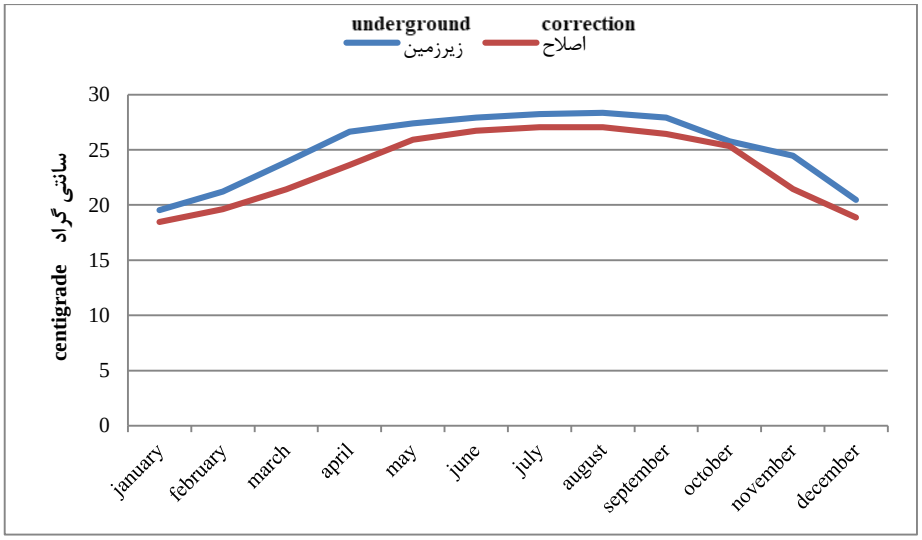
شکل 21- مقایسه مصرف انرژی گرمایشی در رو و زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

Fig.21- Comparison of heating energy consumption above and below the surface of the earth in the modified state



شکل22- مقایسه مصرف انرژی روشنایی در رو و زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

Fig.22- Comparison of energy consumption of lighting above and below the ground in the modified state



شکل23- مقایسه دما هوا داخل ساختمان در رو و زیر سطح زمین در حالت اصلاح‌شده

Fig.23- Comparison of air temperature inside the building above and below ground level in the modified state

4– نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر که در شهر دزفول با اقلیم گرم‌وخشک انجام شده است نشان می‌دهد که شوادون رویکرد مناسبی درگذشته برای این اقلیم بوده است که از مزایا و معایبی برخوردار است. معایب آن همان‌طور که اشاره شد شامل سرعت پایین تهویه، بی‌بهره‌گی از روشنایی طبیعی و احتمال وجود رطوبت است که برای موارد ذکرشده راه‌حل‌هایی پیشنهاد و مورد تحلیل و بررسی قرار داده شدکه این موارد شامل استفاده از گودال باغچه در یکی از اضلاع ساختمان، استفاده از نورگیر سقفی، سایبان برای در و پنجره، عایق حرارتی، آتریوم و پنجره به سمت جنوب شرقی (با توجه به جهت مناسب تابش) است تا از تهویه و نور طبیعی روز برخوردار شود. از مزایای فضای خاک پناه شوادون نزدیک بودن دما فضا به دما آسایش و در همین راستا مصرف انرژی کمتر جهت سرمایش و گرمایش فضا خاک‌پناه است. با این وجود، فضا از آسایش حرارتی مناسبی برخوردار بوده و درزمینه روشنایی حدود 15 درصد و در زمینه انرژی سرمایشی که حدود 7 ماه از سال از آن استفاده می‌شود حدود 43 درصدو انرژی گرمایشی که حدود 3 ماه از سال از آن استفاده می‌شود 46 درصداز کاهش مصرف انرژی برخوردار است.

مراجع

Akrami Abarghuie, Fatemeh. (2016). Earth-Sheltered Building, an Idea Compatible with Environment. Human & Environment. 1(14): 61-70. [in Persian]

Arab, M., Farokhzad, M. (2019). Locating a roadside residence with the architectural approach of Khak Panah in Semnan province. Scientific Research Quarterly of Golestan University. (32) :181-198. [in Persian]
https://civilica.com/doc/1455362

Azaripour, K., Hoseini B. (2016). Investigating the architecture and air circulation of underground cities in the world. The 9th Congress of Pioneers of Progress. [in Persian]

Badelanzade, E., Aghamiri N. (2011). Investigating and comparing the ancient bridges of Dezful and Shushtar and the factors affecting their destruction and restoration process. National Conference on Archeology and Architecture of Dezful Water Structures. [in Persian]

Bata, F. (2022). Digital Earthen Shelters: Additively Manufacturing Mass Customized Refugee Shelters Using On-Site Earthen Materials. Delft University of Technology.

Belcher, S. E., & Hacker, J. N. (2005). Building Services Engineering Research and Technology. https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa

Bina, M. (2008). Climatic analysis of Shavadoon in Dezful houses. Journal of Fine Arts. (33) :39-46. [in Persian]

Bahalou-Houreh, N., & Borghei, S. M. R. (2023). Energy optimization of an educational building in Tehran with different configurations of windows, curtains, lighting system and temperature regulation along with economic analysis. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 11(1), 29-44. doi: 10.22061/jsaud.2023.9529.2118. [in Persian]

Emadian Razavi, S. Z. (2018). Evaluating Thermal performance of Earth-sheltered Buildings in Heating Season (Case Study: Hot-Arid Climate of Yazd). Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 6(7), 85-99. doi: 10.29252/ahdc.2018.1413 [in Persian]

Eghtedari, M., &Mahravan, A. (2021). Evaluation a hybrid passive cooling system for a building using experimental and commercial software (Design Builder). Environmental Science and Technology, 8(2), 74-80.

Givoni, B. (1981). Earth Temperature Modification, International Expert Group Meeting on Passive Cooling and Dehumidification University of Miami, Technical Seminar. [in Persian]

Hajaghababaei, N. (2014). Evaluation of the thermal performance of the architecture in the shelter of the earth. Kordjamshidi M. Ilam University. [in Persian]

Hajitaher N, Amirhajloo S, Neyestani J. (2024). Principles of Climate Responsive Architecture in Qajarid Residential Architecture in Ashtian, Iran. Parseh J Archaeol Stud. 8(27), 337-361. doi:https://dx.doi.org/10.22034/PJAS.8.27.337. [in Persian]

Hazbei, M., Adib, Z., & Nasrollahi, F. (2014). Natural ventilation effect on Shavadoons in Dezful by applying CFD modeling. The Monthly

passive defense considerations. Inactive Defense Magazine. 7(2) :29-40. [in Persian]

Molaei, A. (2011). Sustainable architecture with the approach of using underground spaces. The third national urban development conference. Islamic Azad University, Sanandaj branch. [in Persian]

Nasrollahi, N., Akrami, F. (2015). Evaluating the effect of energy efficiency of Khak Panah buildings in different uses. Journal of Conservation and Architecture in Iran. [in Persian]

Sattari Sarbangali, Hassan. (2012). Shevadon, an indicator of resistance economy in Iranian architectural art. National conference on the role of lifestyle in resistance economy. [in Persian]

Sattari, H. (2013). Shavadon; An indicator of resistance economy in Iranian art and architecture. National conference on the role of lifestyle in resistance economy. [in Persian]

Seyedaghamiri, M., Hajizade, M., Masrori, N. (2018). Revival of Shvadon with geothermal-cold phenomenon.Journal of research in civil engineering and architecture of Iran, approach: intelligent method. 3(11) :35-48. [in Persian]

Seyedaghamiri, M., Hajizade, M., Masrori, N. (2019). Shavadon archetype of sustainable ecosystem. Journal of research in civil engineering and architecture of Iran, approach: intelligent method. 4(12) :21-28. [in Persian]

Zhang, L., Sang, G., Zhu, Y., Cui, X., Han, W., Zhang, Y., & Yu, H. (2023). Thermal regulation mechanism of air-drying shelter to indoor environment of earth buildings located in Turpan basin with extremely dry and hot climate conditions. Sustainable Cities and Society, 91, 104416.

Scientific Journal of Bagh-e Nazar, 11(30), 37-48. [in Persian]

Heidari, E., Mahdinejad, J., & doulabi, P. (2024). The Impact of Building Adjacency on Reducing Cooling Energy Consumption in Residential Buildings through the Relationship between Form and External Shading (Case Study: Historical Context of Bushehr). Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 12(1), -. doi: 10.22061/jsaud.2024.10158.2181. [in Persian]

Jafari, S. (2008). Architecture with land. Tahbaz M, Pourdihimi S. Shahid Beheshti University. [in Persian]

Kasmaei, M. (2006). Climate and architecture. Baztab Publications. [in Persian]

Ghahramanizadeh, N., taghipour, M., eskandari, H., & movahed, K. (2024). The effect of form and openings in the natural ventilation of central courtyard houses in hot and humid climate from the perspective of velocity and age of air using CFD method (case study: Bushehr city, Dehdashti house). Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 11(2), 165-181. doi: 10.22061/jsaud.2023.9557.2124. [in Persian]

Mahlbani Georgia, Moffrid Bushehri, A, Azizada Arai and Ranabakhsh. (2017). The effect of windows in reducing the thermal and cooling load of the building using simulation in Design Builder software. New and renewable energies magazine,4(1).8-1. [in Persian]

Mahmoudi, S., & Rezvani, A. (2021). Study the architecture of earth shelter and its role in underground habitat formation (Case Study: Iranian Shavadans). Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry, 12(7).

Mehdinia, A., Hashemi, J. (2016). Basics of architectural design of underground spaces with