Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین در اقلیم‌های تهران، یزد و تبریز*

فاطمه ایمانی**
شاهین حیدری***

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۰

چکیده

امروزه محدودیت‌های منابع انرژی، رشد چشمگیر مصرف آن و آثار مخربی که مصرف بالای انرژی بر محیط زیست تحمیل می‌کند، لزوم صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی را دوچندان کرده است. برای به حداقل رساندن وابستگی به انرژی، لازم است که ساختارهای نوآورانه‌ای با مصرف انرژی کمتر ساخته شوند. از آنجا که بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است (حدود ۴۰درصد) و بخش عمدهٔ آن صرف سرمایش، گرمایش و تهویه می‌شود، راهکارهای طراحی غیرفعال، کمک قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی می‌کنند. یکی از روش‌های کاهش کل انرژی مورد نیاز، جایگزینی ساختمان‌های زیرزمینی با ساختمان‌های معمولی بالای سطح زمین است. این مطالعه به بررسی الگوی تبادل حرارت، دریافت و اتلاف گرما، برای شناسایی اصولی که باعث می‌شود یک ساختمان زیرزمینی به‌عنوان یک سیستم ذخیرهٔ انرژی عمل کند، می‌پردازد. استفاده از دیوارهای زیرزمینی در اعماق مختلف، تأثیری مستقیم بر میزان مصرف انرژی و محیط‌زیست دارد. در این پژوهش، دمای خاک در سه اقلیم تهران و یزد و تبریز با استفاده از یک مدل حرارتی محاسبه گردیده و سپس تجزیه و تحلیل جداگانه‌ای با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار انرژی پلاس از یک ساختمان بالای سطح زمین و یک ساختمان زمین‌پناه با جبههٔ باز رو به جنوب در اعماق ۱- متری تا ۶- متری انجام می‌گیرد تا مشخص شود در اعماق مختلف، ساختمان به‌لحاظ مصرف انرژی چگونه رفتار می‌کند و در نهایت در کدام اقلیم عملکرد بهتری دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که با توجه به پارامترهای خاک در نظر گرفته‌شده برای هر سه اقلیم، میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در شهر یزد بیشتر از تهران و تبریز بوده است و به‌طور کلی، ساختمان‌های زیرزمینی در اقلیم گرم‌وخشک و در فصول گرم سال عملکرد بهتری دارند، تا جایی که بار سرمایشی را در بعضی از اعماق به صفر می‌رسانند.

کلیدواژه‌ها:

ساختمان زمین‌پناه، اقلیم، دمای خاک، نرم‌افزار انرژی پلاس.

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نگارندهٔ اول با موضوع *استفاده از جرم حرارتی زمین به منظور حداقل‌سازی مصرف انرژی* به راهنمایی آقایان دکتر شاهین حیدری و دکتر بهروز محمد کاری در سال تحصیلی ۱۳۹۳ـ۱۳۹۴ در دانشکده معماری پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران است.

** کارشناس‌ارشد انرژی و معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، iman_135@yahoo.com
*** استاد، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

پرسش‌های پژوهش

۱. رفتار ساختمان‌های زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه روی سطح زمین در اعماق مختلف به‌لحاظ مصرف انرژی چگونه است؟

۲. ساختمان‌های زیرزمین در کدام اقلیم عملکرد حرارتی بهتری دارند؟

مقدمه

تلاش‌های اخیر برای صرفه‌جویی و بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، وجود مسائل متعدد پیش روی توسعهٔ پایدار شهری، مصرف بالای انرژی در مجموعه‌های ساختمانی خصوصی و عمومی، به‌ویژه در مراکز شهرها برای سرمایش، گرمایش، نگهداری کالاها و...، ضرورت بازنگری در شیوه‌های برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت‌وسازهای فضاهای زیرزمینی به‌عنوان سامانه‌های غیرفعال خورشیدی را می‌طلبد.

ساختمان‌های زیرزمینی می‌توانند با بهره‌گیری از مزایایی که دمای خاک و همچنین پوشش زمین به‌عنوان نوعی عایق فراهم می‌کند، میزان تقاضای انرژی را در مقایسه با ساختمان‌های روی سطح زمین کاهش دهند (Dronkelaar, Mangkuto and Hensen 2014).

فضاهای زیرزمینی با کاهش تأثیر بصری روی سطح زمین و با آزاد نمودن و صرفه‌جویی در فضاهای روسطحی، ایجاد مناظر طبیعی و پارک‌ها و فضای سبز را امکان‌پذیر می‌کنند و همچنین انتقال کاربری‌هایی مثل توقفگاه‌ها و انبارها به زیرزمین، محیط شهری آرامش‌بخش و خوشایندی را به دور از آلودگی‌های صوتی، بصری و هوا به ارمغان می‌آورد (Carmody and Sterling 1984).

گودال باغچه‌ها، شوادان‌ها، قنات‌ها، آب‌انبارها، سرداب‌ها و روستاهای زیرزمینی و... با قابلیت‌های طبیعی در سرمایش، گرمایش و حفاظت، نمونه‌هایی از کاربرد فضاهای زیرزمینی (در تأمین سرمایش، گرمایش و نگهداری مواد غذایی و کالا) در شهرهای ایرانی می‌باشد (قیابکلو ۱۳۹۳).

۱. مطالعات پیشین

عملکرد انرژی ساختمان‌های زیرزمینی در گذشته با استفاده از تکنیک‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. کارمودی و استرلینگ پیشنهاد کردند که حتی در عمق بسیار کم و شرایط زیست‌محیطی طبیعی، دمای زمین به‌ندرت به دمای هوا در گرمای یک روز عادی تابستان در فضای باز می‌رسد، در نتیجه گرمای کمتری به داخل خانه به خاطر کاهش اختلاف دما هدایت می‌یابد (Carmody and Sterling 1984).

در مطالعات کارپنتر مشاهده می‌شود که ساختمان در پناه زمین بهترین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در هر طراحی را دارد. این پتانسیل تنها به‌علت کاهش اختلاف دما بین محیط داخلی و محیط خارجی نیست، بلکه به این دلیل نیز می‌باشد که ساختمان از تابش مستقیم خورشید محافظت می‌شود (Carpenter 1994).

کومار و همکاران یک مدل ریاضی برای مطالعهٔ انتقال حرارت و تغییرات رطوبت در ساختمان‌های در تماس با خاک در هند پیشنهاد کردند و پیش‌بینی‌های خود را با یک مدل ساختمانی موجود مقایسه نمودند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل دقیق نشان داد که ساختارهای در تماس با زمین سیستم‌های غیرفعال ذخیرهٔ انرژی هستند که می‌توانند برای صرفه‌جویی در انرژی و توسعهٔ ساختمان‌های صفر انرژی در هند مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در ارزیابی انواع مختلف ساختارهای در تماس با زمین در این مطالعه مشاهده شده است که در زمستان، میزان از دست رفتن گرما در ساختمان در پناه زمین در مقایسه با ساختارهای روی زمین کمتر است و نتایج نشان داده است که دمای سطح زمین به ازای ۲ متر در عمق رفتن، ۳ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که این منجر به کاهش انتقال حرارت از اجزای ساختمان به زمین می‌شود. بنابراین تأمین غیرفعال حرارت از زمین حتی در دماهای پایین در سرمای شدید زمستان، عاملی برای صرفه‌جویی در انرژی در ساختمان‌های در پناه زمین می‌باشد (Kumar, Sachdeva and Kaushik 2007).

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

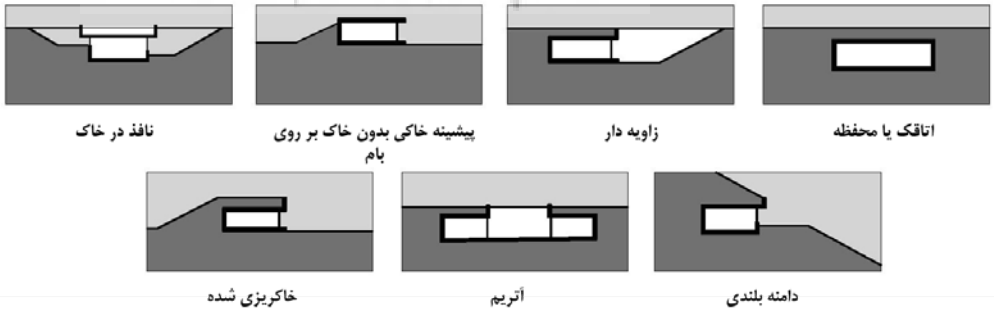
آنسلم پس از ارزیابی شرایط آب‌وهوایی زیرزمین و محاسبات دمای خاک، به محاسبهٔ جریان گرما از طریق سطوح ساختمان پرداخت و بهره‌وری انرژی هر دیوار در تماس با زمین را در اعماق مختلف مورد بررسی قرار داد و در نهایت با ارائهٔ ابزار ارزیابی عملکرد ساختمان‌های زیرزمینی، امکان دسترسی طراحان و برنامه‌ریزان در مناطق مختلف را به یک چارچوب ساده برای ارزیابی کارایی این ساختمان‌ها در مراحل اولیهٔ برنامه‌ریزی فراهم آورد. او رفتار دو ساختمان زمین‌پناه را با درصدهای متفاوتی از تماس نمای بیرونی با خاک مدل‌سازی کرد. نتایج او نشان دادند که ساختمانی که از درصد تماس بیشتر نمای بیرونی با خاک برخوردار است، شرایط بهتری را در محیط داخلی از نظر دمایی در هر دو فصل زمستان و تابستان نشان می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت هرچه درصد تماس نما با زمین بیشتر باشد، دریافت غیرفعال گرمایش و سرمایش سالانه بهتر خواهد بود (Anselm 2008).

استانیک و نواک نشان دادند که عوامل خارجی (شرایط آب‌وهوایی) که بر تعادل گرمایی سطح زمین تأثیر می‌گذارد، بیشترین اثر را بر دمای زمین دارد. از این رو نوع خاک (که توسط ضریب پخش حرارتی خاک معین می‌شود) تأثیر بسیار قوی‌تری در تعادل انرژی یک ساختمان زیرزمینی نسبت به ضریب هدایت حرارتی خاک دارد. علاوه بر آن، تجزیه و تحلیل آنان نشان داد که انرژی مورد نیاز سالانهٔ گرمایش ساختمان روی سطح زمین و ساختمان زمین‌پناه بستگی به نوع خاکی دارد که بر آن بنا شده‌اند (Staniec and Nowak 2011).

در نهایت، ون درانکلا در مطالعات خود به این نتیجه رسیده است که عملکرد انرژی ساختمان‌های زیرزمینی با توجه به گرمایش و سرمایش مورد نیاز آن، تابعی از چند ویژگی مانند نوع کاربری ساختمان (که بر دریافت‌های داخلی و برنامه ساختمان تأثیر می‌گذارد)، مصالح ساختمانی، اندازهٔ ساختمان و شکل ساختمان و شرایط آب‌وهوایی و میزان در عمق فرورفتن و نوع تعامل با زمین می‌باشد. وی بیان می‌دارد در کل بسیاری از محققان ساختمان‌های در پناه زمین با این ایده که ساخت‌وساز زیرزمینی صرفه‌جویی انرژی را با کاهش حرارت سالانه و بارهای خنک‌کننده در مقایسه با ساختارهای شناخته‌شدهٔ معمولی به همراه دارد، موافق‌اند. به‌طور کلی، این مطالعات که هرکدام در شرایط متفاوتی از اقلیم، کاربری، اندازه و شکل ساختمان و... انجام شده، نشان می‌دهد که ساختمان زیرزمینی به‌ترتیب ممکن است صرفه‌جویی تا ۲۳ـ۳۵٪ ، ۴۷ـ۸۰٪، ۳۳٪، ۵۰٪، ۷۰٪ در مصرف انرژی در مقایسه با ساختمان‌های مشابه بالای سطح زمین داشته باشند (Dronkelaar et al. 2014).

۲. ساختمان‌های زمین‌پناه

به‌طور کلی، در این روش، بخشی از ساختمان یا تمام آن توسط خاک پوشیده می‌شود. انواع مختلفی از روش‌های تعامل بین زمین و ساختمان در طراحی ساختمان‌های زیرزمینی وجود دارد که در تصویر ۱ نشان داده شده است.



تصویر ۱: انواع روش‌های تعامل بین زمین و ساختمان (کارمودی و استرلینگ ۱۹۹۳)

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

این طبقه‌بندی همهٔ انواع طراحی‌ها را شامل نمی‌شود اما یک دید کلی نسبت به انواع گونه‌های این سازه‌های زیرزمینی را می‌دهد تا بتوان با استفاده از آن یک ارزیابی از تأثیر کاهش انرژی با حفظ کیفیت محیط داخلی ارائه کرد. برای مثال بالاترین میزان کاهش انرژی را از یک ساختمانی که به‌طور کامل در زیر زمین قرار دارد را می‌توان به‌دست آورد اما باید خاطرنشان کرد که این نوع طراحی حفظ کیفیت محیط داخلی را سخت‌تر می‌کند (کارمودی و استرلینگ ۱۹۹۳).

به‌طور کلی، ساختمان‌های زمین‌پناه نیز مانند سایر طراحی‌ها مزایا و معایبی دارند. این مزایا و معایب را می‌توان در یک طبقه‌بندی کلی شامل میزان مصرف انرژی، مسائل روانی و فیزیولوژیکی، مسائل مربوط به استفاده از زمین و هزینه‌ها بررسی نمود.

از مزایای مربوط به میزان مصرف انرژی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کاهش مصرف انرژی به‌دلیل کاهش انتقال حرارت از زمین که خود از زیاد شدن مسیر انتقال حرارت در ساختمان‌های زمین‌پناه ناشی می‌شود (Barker 1986).

۲. کاهش مصرف انرژی به‌دلیل ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی به‌دلیل بالا بودن جرم حرارتی زمین اطراف ساختمان‌های زمین‌پناه (El-Hamid and Khair-El-Din 1991).

۳. کاهش مصرف انرژی به‌دلیل ثابت بودن دمای زمین که خود باعث می‌شود ساختمان زمین‌پناه در فصل تابستان به‌جای دریافت گرما از هوای گرم بیرون، از طریق تماس با زمین که دمای پایین‌تری نسبت به دمای هوای بیرون دارد، خنک شود و همچنین در زمستان خاک نسبتاً گرم محیط دمایی بهتری را نسبت به دمای هوای بیرون فراهم می‌کند. در اصل، زمین محیطی را که در آن ساختمان واقع شده است، تعدیل می‌کند (Barker 1986).

۴. کاهش مصرف انرژی به‌دلیل کاهش دریافت گرما به این علت است که در ساختمان زمین‌پناه، دیوارها و سقف‌هایی که با خاک پوشیده شده‌اند، دریافت گرمای تابشی خورشید را کاهش می‌دهند؛ چراکه جرم زمین می‌تواند مقدار قابل توجهی از تابش را قبل از آنکه به پوشش ساختمان برسد، جذب کند (Carmody and Sterling 1984).

از مزایای مرتبط با استفاده از زمین می‌توان به کاهش تأثیرات بصری، حفظ منظر طبیعی و پوشش گیاهی، حفظ فضای روی سطح و استفادهٔ بهینه از سطح زمین اشاره کرد. برای مثال، زمانی که فضای سبز و درختان در یک منطقه به‌علت ساخت‌وساز در زیرسطح زمین دست‌نخورده باقی بمانند، آسیب کمتری به چرخهٔ اکولوژی آن منطقه وارد می‌شود و بیشتر در مقابل ساخت‌وسازهای روی سطحی محافظت می‌شوند، همچنین فضاهای زیرزمینی با کمتر داشتن سطح نمای آزاد در شرایط نامساعد جوی مانند گردبادها، تندبادها و طوفان، صاعقه، تگرگ در مقابل نیروی‌های جانبی واردآمده بر سطوح ایمن‌ترند و نیز آتش‌سوزی‌های بیرونی کمتر به داخل آن‌ها نفوذ می‌کند. این فضاها در برابر آلودگی‌های صوتی و ارتعاشات نیز محافظت می‌شوند.

از جمله مزایای هزینه‌های توسعه و بهره‌برداری، می‌توان گفت که ساختمان‌های زمین‌پناه در مقایسه با ساختمان‌های روی زمین، هزینهٔ کمتری در برابر امنیت و حفاظت می‌پردازند. هزینه‌های دیگر شامل کاهش لرزش‌های ناشی از زلزله و انفجار، ثابت نگه داشتن دما و تمیزی و نظافت فضا نیز در مقایسه با ساختمان‌های روی سطح زمین، بسیار پایین‌تر است. برای بناهای روی سطحی، نماسازی و نازک‌کاری نیازمند هزینهٔ بالایی است، حال آنکه در یک بنای زیرسطحی، بسیاری از این هزینه‌ها کاهش می‌یابد؛ چراکه لزومی به نماسازی ندارد (کارمودی و استرلینگ ۱۹۹۳).

در مورد معایب ساختمان‌های زمین‌پناه، واقعیت این است که این ساختمان‌ها از آنجا که نسبت به ساختمان‌های روی سطح زمین ایزوله‌تر هستند و سطوح در معرض کمتری دارند، با برخی از مشکلات طراحی مواجه می‌باشند. هزینه‌های اضافی از حل‌وفصل این مشکلات به همراه دیگر مشکلات فنی، می‌تواند اشکالاتی را در مقایسه با ساخت‌وساز روی سطح زمین فراهم کند. از جمله معایب مرتبط با مصرف انرژی می‌توان به مصرف انرژی بیشتر در اثر تهویهٔ مکانیکی ساختمان‌های زمین‌پناه اشاره کرد. برای مثال، دفع حرارت مازادی که در ساختمان‌های زیرزمینی تولید شده، به‌جز از طریق تهویهٔ مطبوع و یا هواکش‌های قوی کاری سخت است. همچنین وجود دسترسی‌ها و ورودی‌ها و پنجره‌ها میزان تماس ساختمان با جرم زمین را کاهش می‌دهد که نتیجهٔ این کاهش مزایای مربوط به

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

صرفه‌جویی انرژی در اثر تماس با زمین را در بر دارد.

جالب توجه آن است که برخی از بزرگ‌ترین نقاط ضعف ساختمان‌های زیرزمینی فیزیکی یا فنی نیستند، بلکه عمدهٔ این مشکلات مسائل روانی را در بر می‌گیرد. فقدان نور طبیعی، نداشتن نمای بیرونی و جهت‌گیری فضایی، واکنش‌های روانی منفی، فقدان هوای تازه یا آلودگی هوایی، رطوبت بالا، سروصدای بیش از حد یا عدم سروصدا و در نهایت عدم وجود پذیرش عمومی از جمله کاستی‌ها به‌لحاظ مسائل روانی و فیزیولوژکی می‌باشند (Dronkelaar, Mangkuto and Hensen 2014). از معایب مرتبط به استفاده از زمین می‌توان گفت که استفاده از فضای زیر سطح زمین برگشت‌ناپذیر است، به این معنی که پس از ساخت یک ساختمان در زمین، آن بخش از زیر سطح زمین که برای ساخت‌وساز اختصاص یافته است، به‌کلی دستخوش تغییری برگشت‌ناپذیر شده که حتی با تخریب ساختمان زیرزمینی، دیگر امکان بازگشت به شرایط اولیه را ندارد. این برگشت‌ناپذیری محیط زمین‌شناختی‌ای را که در آن واقع می‌شوند، به هم می‌ریزند که برخی مواقع این به‌هم‌ریختگی موجب آسیب‌رسانی به خاک موجود گیاهان منطقه می‌گردد (Godard 2004).

وقوع سیل یکی از نگرانی‌ها در ایجاد ساختمان‌های زیر سطح زمین است. در این بناها باید اقدامات حفاظتی در مقابل آب‌های جاری، سیل، آب آتش‌نشانی و نفوذ آب از سطح زمین به داخل بنا پیش‌بینی گردد.

مسائل مربوط به ایمنی نیز جزء معایب زیرزمینی است. خروج از یک ساختمان عمیق در مواقع آتش‌سوزی و یا انفجار به‌علت محدود بودن نقاط دسترسی با سطح زمین با اختلال همراه می‌گردد. ارتباطات در درون شبکه‌های زیرزمینی و بین فضای روی سطح و زیر سطح زمین با مشکلاتی همراه است.

کاستی‌ها به‌لحاظ هزینه‌های اولیه برای احداث ساختمان‌های زیرزمینی، معمولاً در مقایسه با هزینه‌های مصرف‌شده برای ساختمان‌های متعارف معادل خود، نقطه‌ضعفی برای این ساختمان‌ها محسوب می‌شود. این مسئله به نوع کاربری و مکان بهینهٔ ایجاد بنا بستگی دارد. شرایط کار در محیطی محبوس، هزینه‌های جانبی مربوط به تأمین زمین، نقاط دسترسی محدود جهت انجام عملیات اجرایی، هزینهٔ حفاری، حمل ضایعات و دفع خاک حفاری‌شده، هزینه‌های این پروژه‌ها را افزایش می‌دهد (کارمودی و استرلینگ ۱۹۹۳).

از طرفی بالاتر بودن هزینه‌های ساخت‌وساز مسئلهٔ قطعی نیست؛ چراکه افزایش هزینه‌ها در زمینه‌ای از ساخت‌وساز را می‌توان با کاهش هزینه‌ها در زمینه‌ای دیگر جبران نمود. برای مثال، از آنجا که نیاز بار گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان زمین‌پناه در مقایسه با مورد مشابه روی سطح زمین کمتر است، می‌توان سیستم‌های مکانیکی کوچک‌تر و در نتیجه ارزان‌تری تهیه کرد (Al.temeemia and Harris 2004).

۳. روش‌شناسی

شبیه‌سازی کامپیوتری، محیطی مجازی را به‌منظور بررسی جزءبه‌جزء رفتار حرارتی اجزای ساختمان فراهم می‌آورد. تکنیک‌های روش تحقیق، مدل‌سازی و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای محاسبات عددی پیشرفته، روش مناسبی برای مطالعات مشاهداتی هستند. در این روش، امکان ساخت هرگونه بنایی در هر شرایط اقلیمی، در محیط مجازی وجود داشته و نتایج به‌دست‌آمده نیز هیچ‌گونه محدودیت عددی و زمانی ندارند (مسندی و حیدری ۱۳۸۹).

در ساختمان‌های زیرزمینی عوامل متعددی عملکرد حرارتی و نیاز گرمایشی و سرمایشی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند که می‌توان به شرایط محیطی خارج ساختمان مانند اقلیم و نوع خاک اطراف ساختمان، عمقی که ساختمان به زیرزمین فرو رفته و یا نوع تعامل ساختمان با زمین، شکل ساختمان، جنس جداره‌های ساختمان یا مصالح ساختمانی به‌کاررفته و نوع کاربری ساختمان که خود بر انرژی‌های دریافت‌شدهٔ داخل ساختمان اثر می‌گذارد، اشاره نمود (Dronkelaar et al. 2014). هریک از این عوامل، خود به‌تنهایی بر عملکرد حرارتی ساختمان تأثیر می‌گذارند، لذا در این مطالعه برای پی بردن به عملکرد حرارتی این ساختمان‌ها همهٔ شرایط به‌جز میزان عمق و اقلیم برای همهٔ مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شد تا صرفاً به بررسی این دو عامل در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های زیرزمینی پرداخته شود.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

در این پژوهش، ابتدا توسط یک معادلهٔ ریاضی برای تخمین الگوی سالانهٔ طولانی‌مدت از تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف زمین و در اقلیم‌های مختلف استفاده می‌شود و سپس داده‌های به‌دست‌آمده از معادله به‌همراه هندسهٔ مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار اکوتکت نسخهٔ ۲۰۱۰، به نرم‌افزار انرژی پلاس نسخهٔ ۲۰۱۱ منتقل می‌شوند.

انرژی پلاس یکی از شاخص‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل انرژی در ساختمان است. این نرم‌افزار بدون هیچ واسط گرافیکی بر پایهٔ مشخصات ساختمان شامل ساختار فیزیکی، ساکنین، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی آن و همچنین داده‌های هوایی سالانهٔ مکان ساختمان، می‌تواند بارهای گرمایش و سرمایش را به‌منظور حفظ دما یا محدودهٔ آسایش حرارتی خاص در بنا تنظیم کند (EnergyPlus Engineering Document 2013).

٤. محاسبهٔ دمای خاک

همان طور که اشاره شد، برای مطالعهٔ عملکرد حرارتی مدل ساختمانی زیرزمینی در اعماق مختلف، نیاز به دمای خاک اطراف ساختمان می‌باشد و به‌دلیل تفاوت در پارامترهای فیزیکی خاک در نواحی مختلف یک شهر، دمای خاک در قسمت های مختلف، متفاوت است. ویژگی‌های مختلف خاک از جمله درصد رطوبت، جرم حجمی خشک، ضریب هدایت حرارتی و ضریب نفوذ گرمایی خاک تأثیر بسزایی در دمای خاک در طول سال دارند. برای مثال، یکی از عواملی که بر روی الگوی دمایی خاک اثرگذار است، رطوبت خاک می‌باشد. ویژگی‌های حجمی خاک مانند رسانندگی گرمایی و ظرفیت گرمایی که در انتقال حرارت نقش مهمی را ایفا می‌کنند، با افزایش میزان رطوبت درون خاک، افزایش می‌یابند (Givoni and Katz 1983). لذا در این پژوهش، میزان انواع پارامترهای خاک از جمله درصد رطوبت، جرم حجمی خشک، ضریب هدایت حرارتی و ضریب نفوذ گرمایی خاک برای هر سه شهر تهران و یزد و تبریز، یکسان در نظر گرفته شده است تا در شرایط یکسان، انتقال حرارت از طریق خاک بررسی شود.

دمای خاک بر اساس یک روش ریاضی ارائه‌شده توسط لبس برای پیش‌بینی الگوی سالانهٔ طولانی‌مدت از تغییرات دمای خاک به‌عنوان تابعی از عمق و زمان برای انواع خاک‌ها محاسبه می‌شود. این روش به‌اندازهٔ کافی دقیق و صحت آن توسط تحقیقات تجربی در مکان‌های مختلف اثبات شده است (Al.temeemia and Harris 2004).

معادلهٔ تخمین دمای زیر سطح زمین به‌عنوان تابعی از عمق و روز سال به شرح زیر است (Dronkelaar et al. 2014):

$$t_{(s,z)} = t_m + A_\circ \exp\left(-Z\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)\sin\left(\frac{2\pi(n-n_\circ)}{365} - z\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}} - \frac{\pi}{2}\right)$$

در رابطهٔ فوق:

$t_{(s,z)}$ $t_{(s,z)}$= دمای خاک در عمق و زمان مورد نظر (°C)

z z= عمق خاک از سطح زمین (m)

t_m t_m= دمای میانگین سالانه هوا (°C)

$n$$n$= شمارهٔ روز مورد نظر از اول ژانویه

$n_\circ$ $n_\circ$= شمارهٔ روز وقوع سردترین روز از سال از اول ژانویه

$\pi$$\pi$= عدد پی

$A_\circ$ $A_\circ$= دامنهٔ موج دمای هوا (°C)

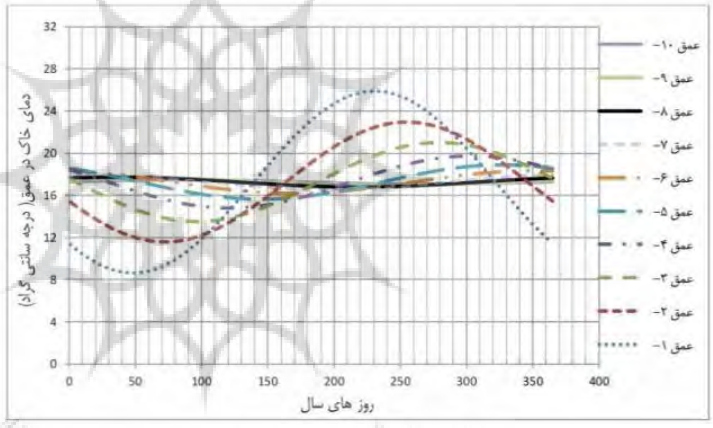
$\alpha$$\alpha$= ضریب نفوذ گرمایی خاک ($m^2/day$)

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

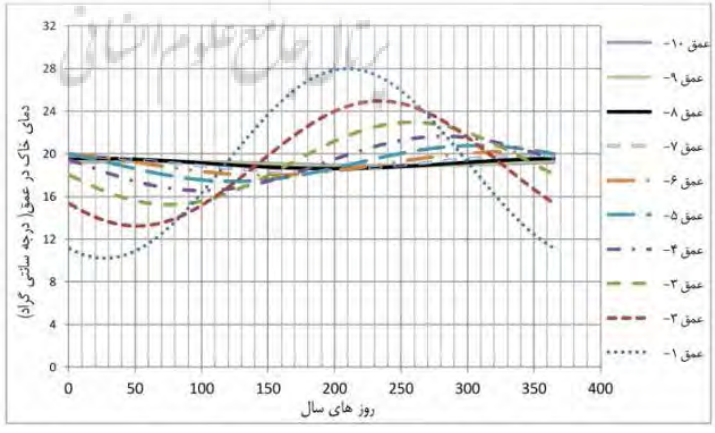
جدول ۱: پارامترهای مورد نیاز برای یافتن دمای خاک در سه شهر تهران و یزد و تبریز (قیابکلو ۱۳۹۳)

پارامترهای مورد نیاز خاک	درصد رطوبت	جرم حجمی خشک	ضریب هدایت حرارتی	ضریب نفوذ گرمایی	دامنهٔ موج دمای هوا	شمارهٔ روز وقوع سردترین روز از سال از اول ژانویه	دمای میانگین سالانهٔ هوا
	W	ρ *(kg/ m^3m^3)*	λ *(W/m.°K)*	a (m^3m^3/ *day)*	$A_s A_s$ (°C)	n_s	$t_m t_m$ (°C)
تهران	15	1285	1	0495/0	09/13	24	26/17
یزد	15	1285	1	0495/0	47/13	3	09/19
تبریز	15	1285	1	0495/0	21/14	22	92/11

با استفاده از رابطهٔ (۱) و پارامترهای جدول ۱، دمای اعماق مختلف خاک برای خاک ماسه‌ای سبک با میزان رطوبت ۱۵درصد در شهرهای تهران و یزد و تبریز (نمودارهای ۱ و ۲ و ۳) در اعماق مختلف (از عمق ۱- متری زمین تا ۱۰- متری) مورد محاسبه قرار گرفت که نمودار آن‌ها به شرح زیر است:

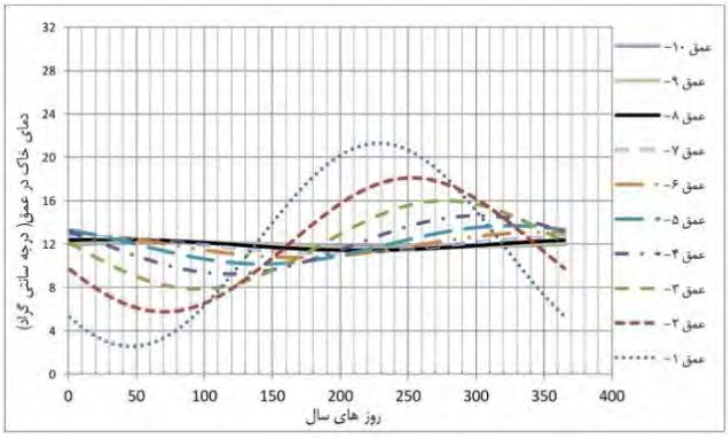


نمودار ۱: دمای خاک از نوع ماسه‌ای سبک در طول سال برای اعماق مختلف شهر تهران



نمودار ۲: دمای خاک از نوع ماسه‌ای سبک در طول سال برای اعماق مختلف شهر یزد

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018



نمودار ۳: دمای خاک از نوع ماسه‌ای سبک در طول سال برای اعماق مختلف شهر تبریز

محاسبات در این روش نشان می‌دهد که دمای خاک در عمق تقریباً ۷ متری برابر با متوسط دمای سالیانه در منطقهٔ مورد نظر است.

۵. شبیه‌سازی

به‌منظور بررسی پتانسیل کاهش انرژی در ساختمان‌های زیرزمینی و بررسی الگوهای ماهانه از عملکرد انرژی مدلی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی اکوتکت و انرژی پلاس، یکی برای وضعیت بالای سطح زمین و دیگری برای وضعیت زیرزمینی مربوطه شبیه‌سازی شد.

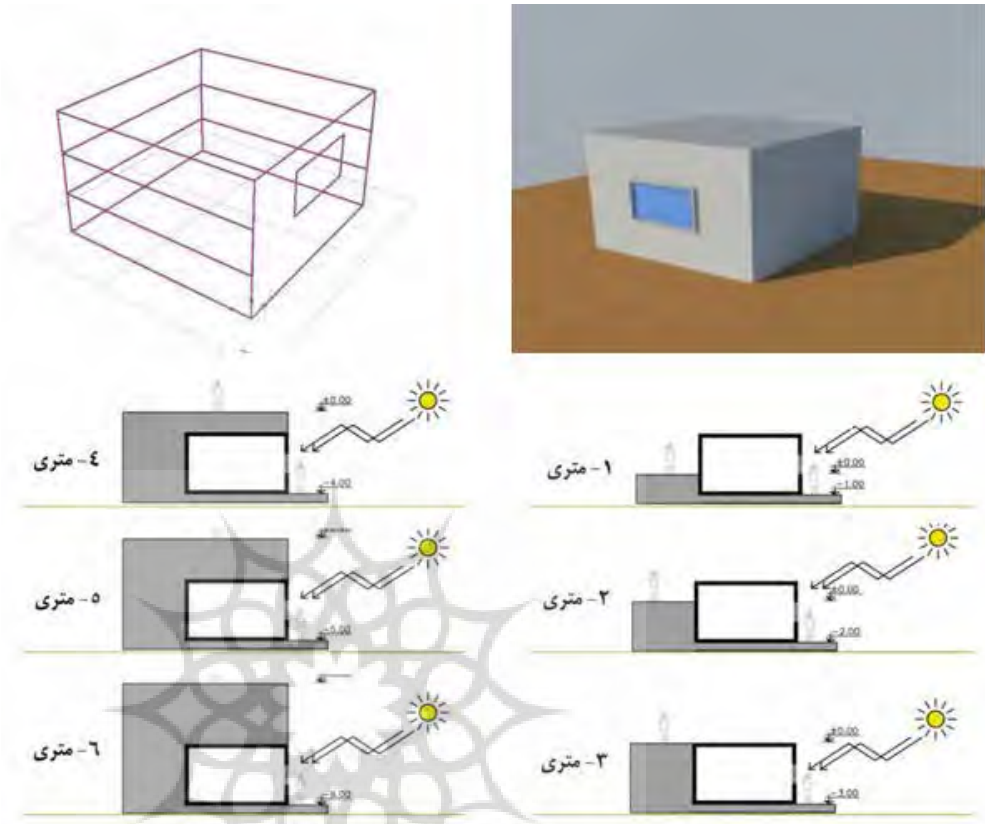
محاسبات برای یک ساختمان با یک فضای واحد با یک جبههٔ باز به‌سمت جنوب انجام می‌شود (تصویر ۲). برای شبیه‌سازی دو ساختمان بر روی زمین و دیگری در زیرزمین، تعدادی از پارمترهای اصلی برای هر دو ساختمان مانند هم تنظیم می‌شوند. مدل‌سازی ساختمان مورد مطالعه در نرم‌افزار اکوتکت انجام شد. مشخصات این مدل ساختمانی مطابق جدول ۲ دارای یک زون حرارتی با ابعاد ۵×۵ متر و ارتفاع ۳ متر و یک پنجره با پروفیل آلومینیومی و شیشهٔ تک‌جداره از نوع شفاف ۶ میلی‌متری رو به جبههٔ جنوب به ابعاد ۲×۱ متر است. جداره‌های شمالی، غربی و شرقی ساختمان هریک به سه قسمت مساوی تقسیم شده‌اند تا در حین شبیه‌سازی در نرم‌افزار انرژی پلاس بتوان دمای خاک آن عمق را به جداره نسبت داد.

مصالح درنظرگرفته‌شده برای جداره‌ها بلوک‌های بتنی با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر و اندود سیمان می‌باشد و برای کف و سقف مدل نیز همین مصالح تعریف شده است. برای محاسبات بار حرارتی ساختمان (میزان گرمایش و سرمایش) دمای مبنا برای هر سه شهر تهران و یزد و تبریز، برای سرمایش ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و برای گرمایش ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد تعریف شده است. سایر مقادیر مانند میزان نرخ تهویه ۰/۵ بار در ساعت و میزان دریافت‌های داخلی برای مدل روی زمین و مدل زیرزمینی صفر در نظر گرفته شده است.

٦. تحلیل رفتار مدل‌ها

در این قسمت، مدل مورد نظر در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در شرایط آب‌وهوایی سه شهر تهران و یزد و تبریز، مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد تا عملکرد حرارتی آن، یعنی میزان سرمایش و گرمایش و شرایط دمایی آن نسبت به مدل مشابه آن بر روی زمین مشخص گردد. برای تعیین شرایط مرزی جداره‌هایی که با خاک در تماس هستند، از میانگین دمای ماهانهٔ خاک که در بخش قبل مورد محاسبه قرار گرفت، در این بخش استفاده شده است.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018



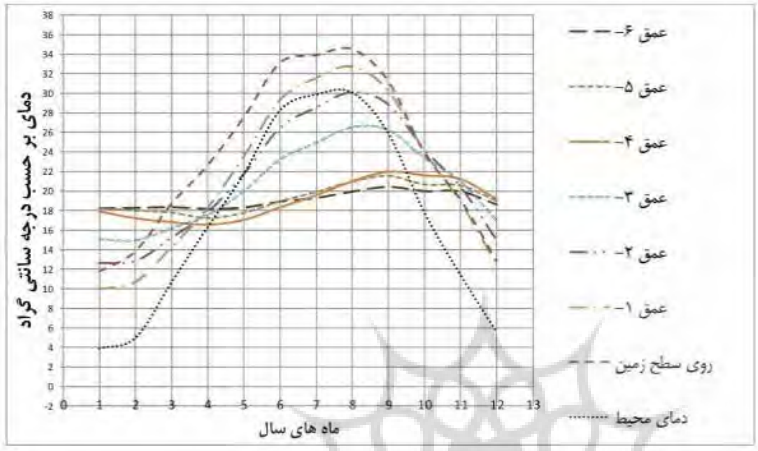
تصویر ۲: مدل ساختمانی جهت شبیه‌سازی (نگارنده)

جدول ۲: مشخصات مدل ساختمانی جهت شبیه‌سازی

	ساختمان روی زمین	ساختمان زیرزمینی
مساحت کف	۲۵m^۲	۲۵m^۲
مساحت سقف	۲۵m^۲	۲۵m^۲
ارتفاع	۳ m	۳ m
ابعاد پنجرهٔ جداره جنوبی	۱ m × ۲ m	۱ m × ۲ m
مصالح جداره و سقف	بلوک بتنی ۱۵ سانتی‌متری+ اندود سیمان	بلوک بتنی ۱۵ سانتی‌متری+ اندود سیمان
مصالح کف	بلوک بتنی ۱۵ سانتی‌متری+ اندود سیمان	بلوک بتنی ۱۵ سانتی‌متری+ اندود سیمان
دمای مبنای گرمایش	۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد
دمای مبنای سرمایش	۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد	۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد

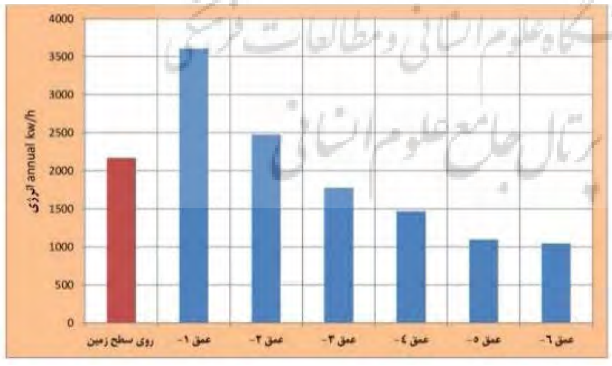
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

با توجه به نمودارهای مدل ساختمانی در اعماق ۱- تا ۶- متری زمین در شهر تهران و مقایسهٔ آن با مدل مشابه آن بر روی زمین می‌توان دریافت که در همهٔ اعماق در ماه‌های گرم سال، دمای داخل زون طبق نمودار ۴ نسبت به مدل مشابه روی زمین کمتر است، اما در فصول سرد سال تقریباً از عمق ۳- متر به پایین دمای داخل زون شرایط بهتری نسبت به مدل مشابه روی زمین دارد.



نمودار ۴: مقایسهٔ دمای هوای داخل ساختمان در اعماق ۱- متری تا ۶- متری و ساختمان روی زمین در شهر تهران

همچنین با توجه به نمودار ۵، نمودار میزان مصرف انرژی گرمایشی در شهر تهران مشخص می‌شود که ساختمان در دو عمق ۱- متری و ۲- متری، میزان مصرف انرژی بیشتری را نسبت به مدل مشابه روی سطح زمین دارد و بردن ساختمان به زیر زمین در این اعماق از نظر مصرف انرژی گرمایشی در زمستان به‌صرفه نیست. این روند اما در اعماق ۳- متری تا ۶- متری کاهش می‌یابد و میزان مصرف انرژی گرمایشی حتی در اعماق ۵- و ۶- متری به میزان نصف مقدار مصرف در ساختمان مشابه روی سطح زمین می‌رسد.

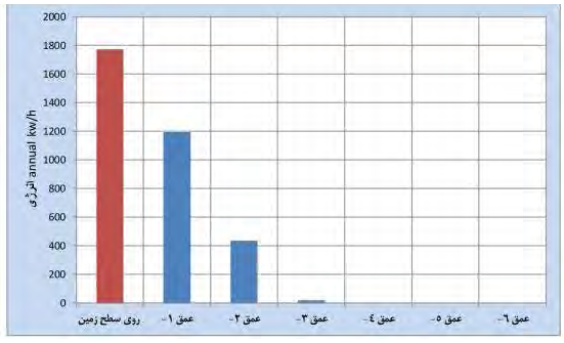


نمودار ۵: مصرف سالانهٔ انرژی گرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر تهران

از مطالعهٔ نمودار ۶ مربوط به مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان‌های زیرزمین در شهر تهران مشخص می‌شود که در تمامی اعماق از ۱- متری تا ۶- متری میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان زیرزمینی نسبت به مدل مشابه بر روی سطح زمین کمتر است. این روند هرچه پایین‌تر می‌رویم، کمتر می‌شود تا جایی که از عمق

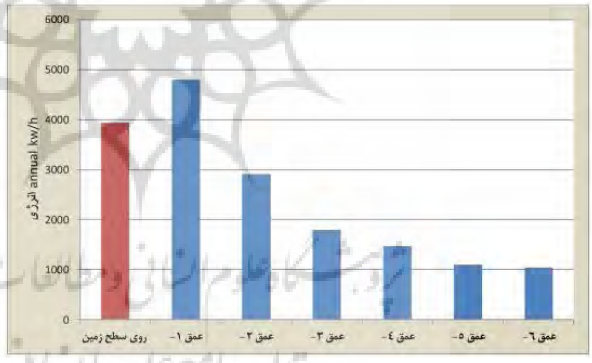
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

۳- متری به صفر نزدیک شده و از عمق ۴- متری میزان مصرف انرژی سالانهٔ سرمایشی کاملاً به صفر می‌رسد.



نمودار ۶: مصرف سالانهٔ انرژی سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر تهران

برای مشخص شدن بهتر میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی یک ساختمان در زیر سطح زمین در مقایسه با ساختمان مشابه روی سطح زمین در شهر تهران، از نمودار ۷، نمودار مصرف سالانهٔ انرژی گرمایش و سرمایش، استفاده می‌کنیم تا مشخص شود در هر عمق از زیر سطح زمین، چه میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی نسبت به ساختمان بر روی سطح داریم.



نمودار ۷: مصرف سالانهٔ مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر تهران

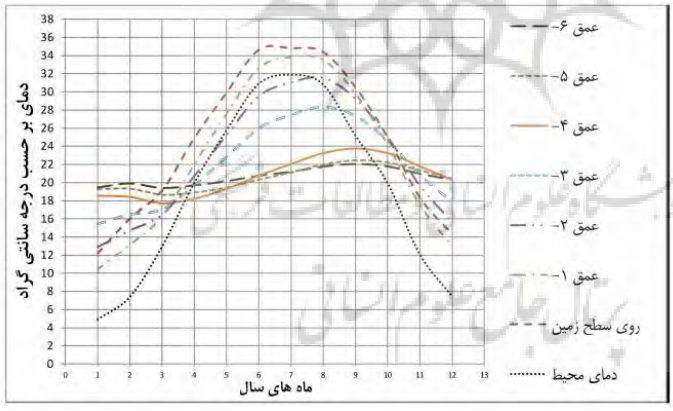
جدول ۳: درصد تغییرات مدل ساختمانی در زیرزمین در مقایسه با مدل مشابه روی سطح زمین در تهران

مدل ساختمانی	عمق ۱- متری	عمق ۲- متری	عمق ۳- متری	عمق ۴- متری	عمق ۵- متری	عمق ۶- متری
درصد تغییرات دورهٔ سرمایش	۶۸/-۳۲	۵۲/-۷۵	۰۱/-۹۹	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰
درصد تغییرات دورهٔ گرمایش	+۲۲/۶۶	+۲۲/۱۴	۱۳/-۱۸	۱۵/-۳۲	۳۲/-۴۹	۷۸/-۵۱
درصد تغییرات کل	+۷۱/۲۱	۱۶/-۲۶	۵۳/-۵۴	۶۸/-۶۲	۱۲/-۷۲	۴۸/-۷۳

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که ساختمان در عمق ۱- متری زمین، میزان مصرف انرژی سالانهٔ بیشتری نسبت به مدل مشابه خود بر روی زمین داراست که این میزان ۲۱/۷۱درصد افزایش را به همراه دارد. در عمق ۲- متری با آنکه ۱۴/۲۲درصد افزایش در میزان انرژی گرمایشی را باعث می‌شود، با کاهش ۷۵/۵۲درصد در مصرف انرژی سرمایشی، درمجموع نسبت به ساختمان مشابه روی زمین کاهش مصرف انرژی سالانهٔ ۲۶/۱۶درصدی را به همراه دارد. در اعماق ۱- و ۲- متری انتقال حرارت توسط هدایت از طریق خاک در زمستان بیشتر است؛ چراکه مسیر انتقال حرارت از جداره‌ها تا محیط خارجی، در این اعماق کوتاه می‌باشد و انتقال حرارت سریع‌تر از زمانی اتفاق می‌افتد که ساختمان در مجاورت هوای بیرونی باشد و در نتیجه، اتلاف حرارت بیشتر می‌شود و نیاز گرمایشی ساختمان زیرزمینی در این اعماق نسبت به ساختمان روی سطح زمین افزایش می‌یابد، حال آنکه نیاز سرمایشی به‌دلیل در امان بودن از تابش مستقیم خورشید روی جداره‌های خارجی ساختمان کاهش پیدا می‌کند. در اعماق ۳- متری تا ۶- متری کاهش در هر دو انرژی سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های زیرزمینی حاصل می‌شود. درمجموع می‌توان گفت که بردن ساختمان به زیر زمین، بیشترین کاهش انرژی را در مصرف انرژی سرمایشی به همراه دارد تا انرژی گرمایشی. شایان ذکر است که در اعماق ۵- و ۶- متری میزان مصرف انرژی سالانه به میزان ۷۳/۴۸درصد کاهش می‌یابد که میزان چشمگیری است.

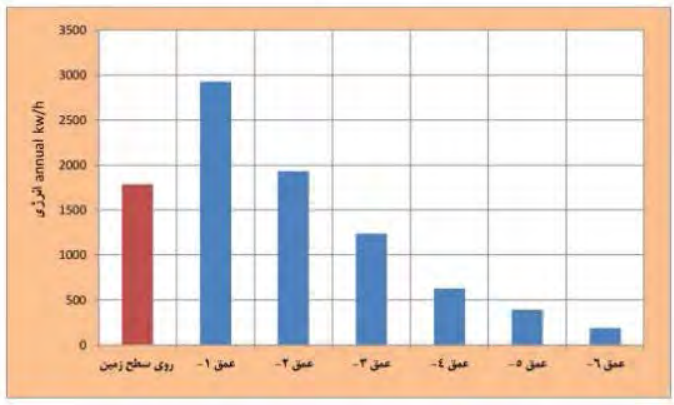
شبیه‌سازی در شهر یزد مشابه شبیه‌سازی در شهر تهران انجام شده و دمای داخل زون و میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی به‌صورت ماهانه در ۶ متری عمق زیرزمین محاسبه شده است. با توجه به نمودارهای مدل ساختمانی در اعماق ۱- تا ۶- متری زمین در شهر یزد و مقایسهٔ آن با مدل مشابه آن بر روی زمین، می‌توان دریافت که در همهٔ اعماق با توجه به نمودار ۸ در ماه‌های گرم سال، دمای داخل زون نسبت به مدل مشابه روی زمین کمتر است، اما در فصول سرد سال تقریباً از عمق ۳- متر به پایین، دمای داخل زون شرایط بهتری را نسبت به مدل مشابه روی زمین داراست.



نمودار ۸: مقایسهٔ دمای هوای داخل ساختمان در اعماق ۱- متری تا ۶- متری و ساختمان روی زمین در یزد

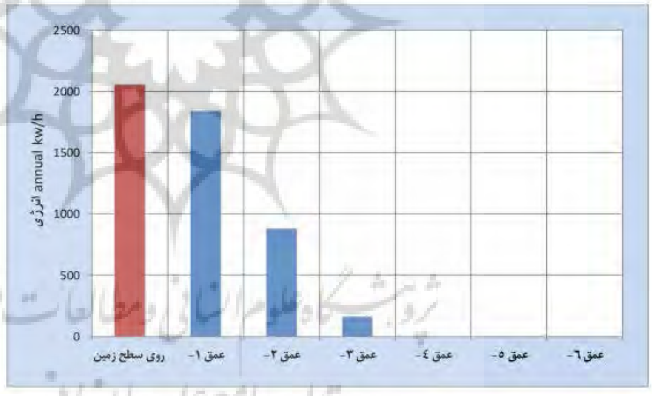
همچنین با توجه به نمودار ۹، نمودار میزان مصرف انرژی گرمایشی در شهر یزد، مشخص می‌شود که ساختمان در دو عمق ۱- متری و ۲- متری میزان مصرف انرژی بیشتری را نسبت به مدل مشابه روی سطح زمین دارد و بردن ساختمان به زیرزمین در این اعماق از نظر مصرف انرژی گرمایشی در زمستان به‌صرفه نیست؛ چراکه همانند شهر تهران کوتاه بودن مسیر انتقال حرارت توسط هدایت از طریق خاک باعث اتلاف انرژی بیشتر می‌شود. اما در اعماق ۳- متری تا ۶- متری میزان نیاز گرمایشی ساختمان زیرزمینی کاهش می‌یابد تا جایی که در اعماق ۵- و ۶- متری کاهش چشمگیری را به میزان ۹۰ درصد کمتر نسبت به ساختمان روی زمین شاهد هستیم.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018



نمودار ۹: مصرف سالانهٔ انرژی گرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر یزد

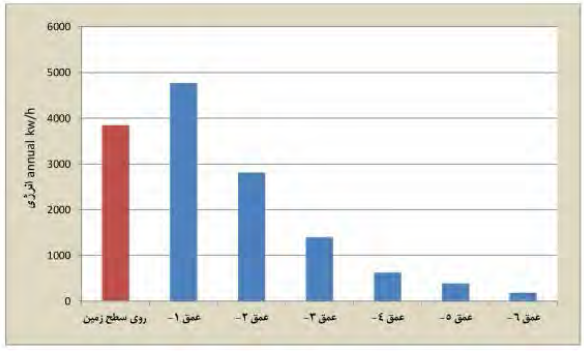
از مطالعهٔ نمودار ۱۰ مربوط به مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان‌های زیرزمین در شهر یزد مشخص می‌شود که در تمامی اعماق از ۱- متری تا ۶- متری، میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان زیرزمینی نسبت به مدل مشابه بر روی سطح زمین کمتر است. این روند هرچه پایین‌تر می‌رویم کمتر می‌شود تا جایی که از عمق ۳- متری به صفر نزدیک شده و از عمق ۴- متری به پایین میزان مصرف انرژی سالانهٔ سرمایشی کاملاً به صفر می‌رسد.



نمودار ۱۰: مصرف سالانهٔ انرژی سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر یزد

با توجه به نمودار ۱۱، نمودار مصرف سالانهٔ انرژی گرمایش و سرمایش در شهر یزد، و همچنین جدول ۴ مشخص می‌شود که ساختمان در عمق ۱- متری زمین، میزان مصرف انرژی سالانهٔ بیشتری نسبت به مدل مشابه خود بر روی زمین داراست و این میزان ۲۴/۰۱درصد افزایش را به همراه دارد. در عمق ۲- متری با آنکه ۷/۹۹درصد افزایش در میزان انرژی گرمایشی را باعث می‌شود، با کاهش ۵۷/۲۷درصد در مصرف انرژی سرمایشی، درمجموع نسبت به ساختمان مشابه روی زمین کاهش مصرف انرژی سالانهٔ ۲۶/۹۲درصدی را باعث می‌شود. در اعماق ۳- متری تا ۶- متری کاهش در هر دو انرژی سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های زیرزمینی حاصل می‌شود، به‌طوری که در عمق ۶- متری میزان مصرف انرژی سالانهٔ ساختمان زیرزمینی با کاهش ۹۵/۱۲درصدی همراه می‌باشد. به‌طور کلی، ساختمان‌های زیرزمینی در اقلیم گرم و خشک یزد، بیشتر با کاهش میزان بارهای سرمایشی همراه هستند تا بارهای گرمایشی.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

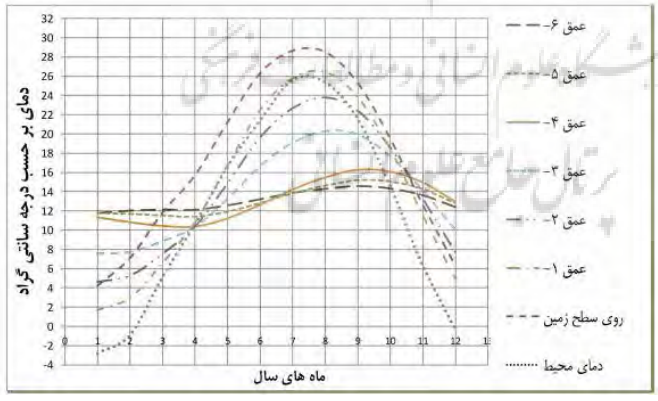


نمودار ۱۱: مصرف سالانهٔ مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری
در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در شهر یزد

جدول ۴: درصد تغییرات مدل ساختمانی در زیرزمین در مقایسه با مدل مشابه روی سطح زمین در یزد

مدل ساختمانی	عمق ۱- متری	عمق ۲- متری	عمق ۳- متری	عمق ۴- متری	عمق ۵- متری	عمق ۶- متری
درصد تغییرات دورهٔ سرمایش	۵۴/-۱۰	۲۷/-۵۷	۱۴/-۹۲	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰
درصد تغییرات دورهٔ گرمایش	۷۸/۶۳+	۹۹/۷+	۰۱/-۳۱	۰۹/-۶۵	۲۳/-۷۸	۵۰/-۸۹
درصد تغییرات کل	۰۱/۲۴+	۹۲/-۲۶	۷۲/-۶۳	۷۶/-۸۳	۸۸/-۸۹	۱۲/-۹۵

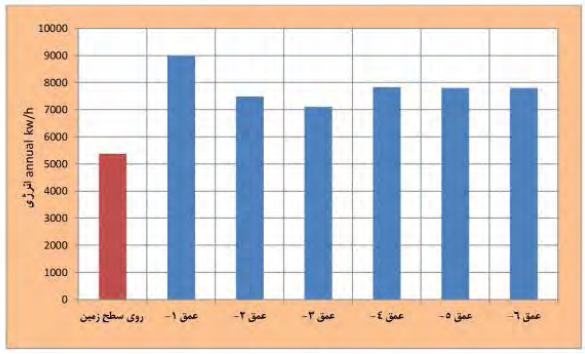
در این قسمت، مدل مورد نظر در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در شرایط آب‌وهوایی شهر تبریز مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. نمودار دمای ماهانه طبق نمودار ۱۲ بیانگر شرایط مطلوب دمایی ساختمان زیرزمینی نسبت به ساختمان روی سطح در فصول گرم سال است.



نمودار ۱۲: مقایسهٔ دمای هوای داخل ساختمان در اعماق ۱- متری تا ۶- متری و ساختمان روی زمین در تبریز

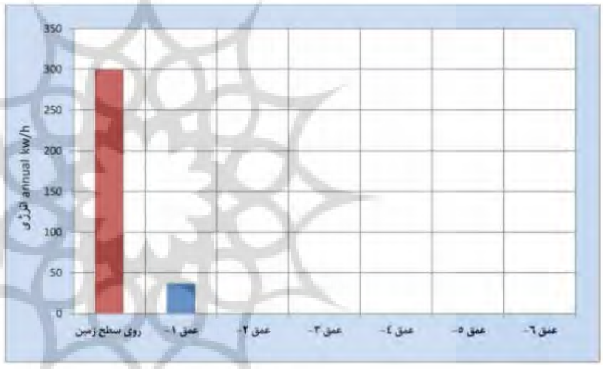
همچنین با توجه به نمودار ۱۳، نمودار میزان مصرف انرژی گرمایشی در شهر تبریز مشخص می‌شود که ساختمان در همهٔ اعماق میزان مصرف انرژی بیشتری را نسبت به مدل مشابه روی سطح زمین دارد و بردن ساختمان به زیر زمین در این اعماق، از نظر مصرف انرژی گرمایشی در زمستان به‌صرفه نیست.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018



نمودار ۱۳: مصرف سالانهٔ مجموع انرژی گرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در تبریز

نمودار ۱۴، نمودار سالانهٔ مصرف انرژی سرمایشی در شهر تبریز، کاهش انرژی را از عمق ۱- به پایین نشان می‌دهد که از عمق ۲- به بعد این میزان به صفر می‌رسد.



نمودار ۱۴: مصرف سالانهٔ مجموع انرژی سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در تبریز

با توجه به نمودار ۱۵، مصرف سالانهٔ انرژی گرمایش و سرمایش ساختمان زیرزمینی در شهر تبریز در همهٔ اعماق، سالانه بیشتر از مدل مشابه خود بر روی زمین است.

نمودار ۱۵: مصرف سالانهٔ مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در مقایسه با مدل مشابه روی زمین در تبریز

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

نتیجه

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت:

الگوی سالانهٔ دمای پوستهٔ زمین به‌صورت یک موج سینوسی بوده و منحنی تغییرات آن در اعماق مختلف نشان می‌دهد که هرچه عمق بیشتر شود، میزان تغییرات دمای خاک در طول سال، دارای نوسانات کمتری بوده و تقریباً از دمای میانگین هوای سالانهٔ منطقهٔ مورد نظر تبعیت می‌کند و دمای خاک در عمق ۱۰ متری تقریباً برابر با متوسط دمای سالیانه در منطقهٔ مورد نظر است.

در ساختمان‌های زیرزمینی در شهر تهران و یزد، در اعماق ۱- متری تا ۶- متری در زیر زمین در مقایسه با مدل مشابه آن بر روی زمین، می‌توان دریافت که در همهٔ اعماق، در ماه‌های گرم سال، دمای داخل زون نسبت به مدل مشابه روی زمین کمتر است، اما در فصول سرد سال، تقریباً از عمق ۳- متر به پایین دمای داخل زون شرایط بهتری را نسبت به مدل مشابه روی زمین داراست.

در شهر تهران و یزد، میزان مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان‌های زیرزمینی در دو عمق ۱- متری و ۲- متری نسبت به مدل مشابه روی سطح زمین بیشتر است و بردن ساختمان به زیرزمین در این اعماق، از نظر مصرف انرژی گرمایشی در زمستان به‌صرفه نیست. این روند اما در اعماق ۳- متری تا ۶- متری کاهش می‌یابد و میزان مصرف انرژی گرمایشی حتی در اعماق ۵- و ۶- متری، حدوداً به میزان نصف مقدار مصرف در ساختمان مشابه روی سطح زمین می‌رسد.

به‌طور کلی در شهرهای تهران و یزد و تبریز، در تمامی اعماق از ۱- متری تا ۶- متری میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان زیرزمینی نسبت به مدل مشابه بر روی سطح زمین کمتر است. این روند هرچه پایین‌تر می‌رویم کمتر می‌شود تا جایی که در شهر تهران و یزد از عمق ۳- متری به صفر نزدیک شده و از عمق ۴- متری میزان مصرف انرژی سالانهٔ سرمایشی، کاملاً به صفر می‌رسد.

در شهر تبریز، بردن ساختمان به زیرزمین از نظر مصرف انرژی نسبت به ساختمان مشابه روی سطح زمین مقرون‌به‌صرفه نیست. نمودار سالانهٔ مصرف انرژی سرمایشی کاهش این انرژی را از عمق ۱- به پایین نشان می‌دهد، اما از آنجا که اقلیم شهر تبریز سرد است، میزان مصرف انرژی گرمایشی در این ساختمان‌ها بیشتر می‌باشد تا آنجا که میزان مصرف سالانه مجموع انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های زیرزمینی در اعماق ۱- متری تا ۶- متری از مدل مشابه آن بر روی زمین بیشتر است.

با توجه به نوع خاک و شرایط مدل ساختمانی درنظرگرفته‌شده در این مطالعه، میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در شهر یزد بیشتر از شهر تهران و تهران نیز بیشتر از تبریز است و می‌توان گفت که عملکرد ساختمان‌های زیرزمینی در فصول گرم در جهت کاهش بار سرمایشی ساختمان، در همهٔ اعماق و در هر سه اقلیم نسبت به عملکرد ساختمان در فصول سرد سال، بهتر است. بنابراین از مقایسهٔ عملکرد حرارتی ساختمان‌های زیرزمینی می‌توان دریافت که عملکرد حرارتی این ساختمان‌ها در اقلیم‌های تهران و یزد و تبریز، متفاوت است و ساختمان‌های زیرزمینی در اقلیم‌های گرم و خشک یزد، عملکرد حرارتی بهتری دارند.

منابع

ـ ایمانی، فاطمه. ۱۳۹۴. *استفاده از جرم حرارتی زمین به‌منظور حداقل سازی مصرف انرژی*. پردیس هنرهای زیبا، تهران: دانشگاه تهران.

ـ قیابکلو، زهرا. ۱۳۹۳. *مبانی فیزیک ساختمان ۴ (سرمایش غیرفعال)*. تهران: جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

ـ کارمودی، جان، و ریموند استرلینگ. ۱۹۹۳. *طراحی فضاهای زیرزمینی*. ترجمهٔ وحیدرضا ابراهیمی. تهران: مرندیز.

ـ مسندی، مریم، و شاهین حیدری. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی بام‌ها، راهکار بررسی دقیق تأثیرات دمایی در محیطی مجازی. نشریه *هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی* (۴۲): ۵ـ۱۲.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

– Al. Temeemi A.A and D.J. Harris. 2004. *A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered-mass-housing in hot-arid climates*. Energy and Buildings (36): 251–260.

– Anselm, akubue Jideofor. 2008. *Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a-supplementary energy saving system in residential housing*. Energy and Buildings journal (40): 1214-1219.

– Barker.M. 1986. *Using the earth to save energy: four underground buildings*. Tunneling and-Underground Space Technology (1): 59–65.

– Carmody, J. and Sterling, R. 1984. *Design considerations for underground buildings, Undergr.*-Space (8): 352–362.

– Carpenter.P. 1994. *An Introduction to Earth Sheltered Development in England and Wales*. Coventry:-Coventry University.

– Dronkelaar Cv, D. Cóstola, R.A. Mangkuto and J.L.M. Hensen. 2014. *Heating and cooling energy-demand in underground buildings: Potential for saving in various climates and functions*. Energy and Buildings (71): 129–136.

– ----------. 2014. *Underground Building (Master Thesis)*. Eindhoven University of Technology.-Eindhoven.

– *Earth Sheltered Housing: An Approach to Energy Conservation*.1991. Hamid.A and Khair-El-Din.M-*in Hot Arid Areas*. Architecture and Planning (3): 3-18.

– EnergyPlus Engineering Document. 2013. *The Reference to EnergyPlus Calculations*. Developed in-collaboration by NREL, LBNL, ORNL, and PNNL.

– Givoni, L. Katz .1983. *Earth Temperatures and Underground Buildings*. Energy and Buildings (8):-15-25.

– Godard. J .2004. *Urban Underground Space and Benefits*. World Tunnel Congress 2004 and 30th-ITA General Assembly. Singapore.

– Kumar.R, Sachdeva.S and Kaushik.S. 2007. *Dynamic earth-contact building: a sustainable low-energy technology*. Building and Environment (42): 2450–2460.

– Staniec Maja and Nowak Henryk. 2011. *Analysis of the earth-sheltered buildings' heating and-cooling energy demand depending on type of soil*. Civil and Mechanical Engineering (1): 221–235.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 12:58 +0330 on Saturday September 22nd 2018

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی