تامین آسایش حرارتی فضای معماری در اقلیم گرم و خشک ایران با بهره مندی از رفتار حرارتی زمین (مطالعه موردی: استفاده از زمین در خانه‌های سنتی مناطق گرم و خشک ایران)

محمد رضا نادی[1]

کارشناس ارشد معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات مرکزی

دکترعباس ملک حسینی

استادیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

حسین صالحی

کارشناس ارشد آمایش سرزمین دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد

احمد فتحی نجف آبادی

کارشناس ارشد مرمت و احیاء بافتها و بناهای تاریخی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰٤/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰٦/۱٦

چکیده

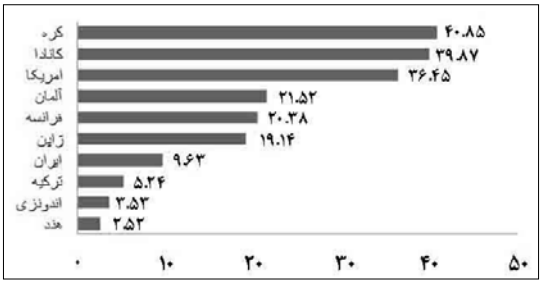
روند نامطلوب ساخت و ساز و عدم همسازی با کیفیات آب و هوایی بومی، صدمات جبران ناپذیری را بر طبیعت، محیط زیست پیرامونی و اقلیم جهانی زده است. روند صعودی مصرف منابع محدود فسیلی، افزایش بیشینه دمای هوا، رشد بیابانزایی، و ازدیاد هزینه‌های ساختمانی، از اثرات معماری نا آشنا با اقلیم محلی است. در این میان، مناطق گرم و خشک، از این هجمه ی نامناسب ساختمانی- بویژه در کشور در حال توسعه ی ایران - در امان نیستند. با توجه به خطری چنین هولناک، تمامی جهان رو به انواع توسعه ی پایدار گذاشته که این مهم در مورد مناطق خشک و بیابانی با وجود محدودیتهای جغرافیایی نیز صادق است. این در حالی است که در ایران – با وجود منابع وافر انرژیهای طبیعی و تجارب گرانقدر معماری کهن اقلیمی- طی سالیان گذشته به دلیل عدم توجه به این داشته‌های فرهنگی و طبیعی، شاهد تولید انواع هزینه‌های ساختمانی و اقلیمی- در بخش خانگی بیش از ۴۲٪ از کل سبد مصرفی انرژی کشور - بوده که نتیجه آن تخریب شرایط زیستی بوده است. از اینرو، این پژوهش بر آن است تا با روش توصیفی – تحلیلی و با مطالعات کتابخانه ای، پس از بررسی حجم مصرف انرژی و لزوم جایگزینی پایداری در معماری ملی و جهانی، در جهت هدف پژوهش به معرفی یکی از پایدارترین راهکارهای معماری در بومهای گرم و خشک، یعنی ارتباط با زمین و اصول آن پرداخته، و پس از شناخت ارتباط معنادار رفتار دما با عمق، جنس و تراکم خاک در مناطق گرم و خشک ایران – شاخص شهر یزد- سابقه ی این روش را در معماری سنتی کویری کشور کاویده، و سرانجام راهکارهایی را برای استفاده ی بهینه زمین در تامین شرایط آسایش دمایی - گرمایش و سرمایش ایستا - در معماری مسکونی گرم و خشک ایران پیشنهاد دهد.

واژگان کلیدی: زمین، اقلیم گرم و خشک، معماری پایدار، انرژی زمین گرمایی، خانه ی ایرانی، ایران.

۱- محمد رضا نادی (نویسنده مسئول) ۰۹۱۳۳۳۳۰۲۳۳ mrn11.dn@gmail.com

مقدمه

با نگاهی به شرایط کنونی جهان و دقت در روند صعودی و توزیع نابرابر جمعیت و افزایش استفاده از انرژی‌های تجدید ناپذیر و ناپاک مانند سوخت‌های فسیلی، و همچنین به دنبال آن ایجاد و گسترش مشکلات بسیار خطر ناک زیست محیطی، بسیاری از متفکران و دولتمردان در این هراس و اندیشه فرو رفته اند که درآینده ای نه چندان دور چگونه این نیاز به انرژی آدمیان را، که برای ایجاد شرایط زیستن است، با این منابع محدود انرژی فسیلی پاسخ خواهند گفت. با مطالعه‌ی آمار مربوط به سهم انواع انرژی در سبد مصرفی سالانه یا سرانه ی مصرفی انرژی به ازائ هر نفر در کشورهای مختلف می‌توان به ارزش انرژی در شرایط حال حاضر جهان و افزایش روزافزون وابستگی به آن (که متاثر از افزایش جمعیت و تولید می‌باشد) در آینده ای نه چندان دور پی برد. نمودار زیر مربوط به سرانه ی مصرف انرژی به ازائ هر فرد در چند کشور شاخص و مربوط به سالهای اولیه ی دهه گذشته ی (۲۰۰۳ میلادی) می‌باشد (نمودار شماره ۱).



نمودار شماره ۱: سرانه مصرف انرژی به ازاء هر نفر در چند کشور منتخب- میلیون بشکه معادل نفت خام

ترسیم مجدد بر اساس: حیدری، ۱۳۸۸، ۸۱

این مهم در حالی است که توزیع سهم انرژی در سبد مصرفی کشورهای مختلف، متفاوت بوده و در کشورهای پیشرفته بیشترین سهم مربوط به صنعت، تولید و درآمد متاثر از آن می‌باشد، اما در کشور در حال توسعه مانند ایران، بیشترین سهم مصرفی متعلق به بخش خانگی و تجاری می‌باشد که این مهم نشانگر نقش بسیار چشمگیر بخش خانگی و ساخت و ساز مسکونی در افزایش مصرف، هزینه و تخریب شرایط زیست محیطی در ایران بویژه در سالهای اخیر می‌باشد. برای روشن شدن موضوع، می‌بایست به نمودار زیر که نشاندهنده ی سهم بخش خانگی از کل سهم مصرف انرژی در ایران در سال ۱۳۸۸ می‌باشد، توجه ویژه نمود (نمودار شماره ۲)

نمودار شماره ۲: سهم بخش خانگی در مصرف انرژی در ایران در سال ۱۳۸۸ - میلیون بشکه معادل نفت خام

(ترسیم مجدد بر اساس: امینی، ۱۳۹۰، ۳۹)

رشد جمعیت شهرنشینی و افزایش تراکم خانه سازی و کمیت سکونت در دهه‌های اخیر، مشکلات فراوانی در مقیاس جهانی – و متاثر از این کانونهای جمعیتی- رو به وقوع نهاده که مهمترین آنان، مشکلات آب و هوایی و

زیستی در مقیاس خرد و کلان می‌باشد که از این رو می‌توان شهرها و خانه‌های شهری – بویژه در ایران- را یکی از شاخص ترین مراکز ایجاد انواع آلودگیهای زیستی و محیطی دانست. این آلودگی‌های زیستی عامل ایجاد تغییراتی در اقلیم‌های منطقه ای و جهانی شده که از آن جمله می‌توان به مواردی چون: گسترش جزایر گرمایی، انتشار بیش از حد گازهای گلخانه ای و گرم تر شدن دمای متوسط کره زمین، رشد پدیده ی بیابانزایی، رشد مقیاس و سرعت خشکی منابع آبی، تخریب کیفیات بهداشتی و نزول سلامت اجتماعی و... اشاره کرد. به دنبال ایجاد این مشکلات و با توجه به نقش عمده ی شهر، شهرنشینان و ابنیه ی شهری در تولید این معضلات آب و هوایی، امروزه در صنعت ساخت و ساز جهانی، معماران رو به سوی همسازی و همخوانی هرچه بیشتر با اقلیم بومی شتافته و در جهت ارتقا کیفیات اقلیمی، راهکارهای مختلفی را در ارتباط با شرایط هر زیست بوم ایجاد و یا از معماری گذشته دنبال می‌کنند. در مورد کشور ایران البته، معماری گذشته این خطه به بهترین نحو ممکن آن روزگار با اقلیم‌های چندگانه ی مختلف و از آن جمله اقلیم گرم و خشک و بوم‌های بیابانی از سر آشتی در آمده بود و حاصل این همسازی، خلق فضاهایی مطلوب و بسیار هوشمندانه و نشاط انگیز در تمامی‌تاریخش بوده است. اما امروزه متاسفانه شاهد رویارویی نامانوس مصنوعات انسانی در مقابل طبیعت خدادادی و همچنین عدم توجه به یافته‌های ارزشمند معماری کهن در جانمایی و شکل‌دهی فضاهای امروزی و دستیابی به آسایش حرارتی داخلی بهینه می‌باشیم که این مسئله خود گواهی بر ضرورت اصلاح بینش طراحی و روش اجرایی ساختمانی بویژه در بخش مسکونی کشور می‌باشد.

هدف پژوهش

بنابراین، پژوهشگران در این پژوهش، با توجه به اهمیت و لزوم بهبود کیفیت زیست محیطی با کاهش مصرف انرژی‌های ناپاک و تامین شرایط آسایش دمایی در فضای معماری به روشهای پاک، به مطالعه‌ی یکی از شاخص‌ترین روش‌های سودمند معماری همساز با اقلیم بویژه در مناطق گرم و خشک، یعنی بهره مندی مناسب از زمین (زمین گرمایی به روش غیر فعال) با توجه به شناسایی خواص و اصول آن پرداخته و در انتها پس از بررسی سابقه ی موفق این روش در ابنیه مسکونی چند صد ساله ی ایرانی، اصولی را در جهت دستیابی بهینه به این روش در معماری مسکونی این حوزه ی اقلیمی کشور پیشنهاد می‌دهند.

فرضیه پژوهش

با توجه به شرایط بحرانی دمای خارجی در مناطق گرم و خشک ایران و وجود تنش‌های حرارتی بارز که به صورت نوسانات دمایی شبانه روزی با دامنه ی بیش از $40^{o}C$ نمایان می‌شود، همچنین لزوم هرچه بیشتر در دستیابی به روش‌های پاک و سازگار با اقلیم در تامین شرایط آسایش فیزیکی فضای داخلی معماری مسکونی، جهت کسب رفاه شرایط زندگی و بهبود شرایط آب و هوایی، فرض این پژوهش بر این اصل استوار است که: با توجه بر اینکه در مناطق گرم و خشک ایران محدوده ی حرارتی محیطی در ساعاتی از شبانه روز (و در طول سال) به طور ملموسی از محدوده‌ی آسایش تابستانی و یا زمستانی فاصله دارد، بنابراین در جهت تامین شرایط راحتی دمایی فضای داخلی و کنترل مصرف انرژی و کاهش آلودگی اقلیمی، می‌توان از عمق زمین به عنوان عظیم ترین انباره ی ذخیره ی حرارتی

سالیانه و یکی از مطلوبترین عایق‌های حرارتی در طراحی، ساخت و استفاده از ابنیه و به خصوص بخش مسکن در این مناطق بهره ی فراوان برد.

روش پژوهش

روش مطالعاتی در این پژوهش مستند بر اسناد علمی معتبر و به روش کتابخانه ای بوده که بر اساس شیوه ی پژوهشی توصیفی- تحلیلی، به تحلیل و تفسیر داده‌های حاصل از نتایج پژوهشهای مشابه قبلی در زمینه ی کیفیات رفتاری دمای عمق زمین در چند منطقه ی نمونه با آب و هوای گرم و خشک در ایران پرداخته شده که در انتها پس از مطالعه ی تجارب موفق در معماری بومی‌این مناطق در کشور (که همخوان با نتایج علمی جدید می‌باشد) نکات بهینه و اصولی پیشنهادی در جهت استفاده از روش گرمایش ایستا با زمین در معماری پایدار و صنعت ساخت و ساز کشور ارائه می‌شود.

اقلیم و معماری

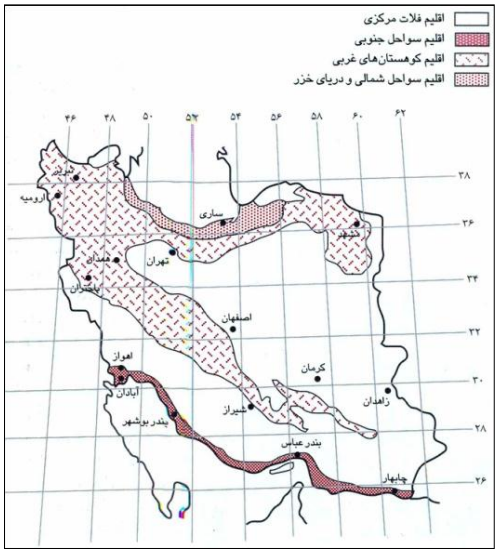
آنچه که امروزه بسیار در نظر می‌آید، اهمیت و توجه روز افزون به مقوله ی اقلیم و محیط زیست در پژوهش‌های مختلف علمی و رویکردهای گوناگون عملی در جهت تامین کیفیت سلامت محیطی و بهبود شرایط زیست محیطی جهانی است. بنابراین در مرحله ی نخست و برای دستیابی به الگوی صحیحی از توسعه بویژه در بخش معماری و صنعت ساختمان مطابق با الگوی پایداری و همسازی با اقلیم در جهان و ایران، ضروری می‌نماید که به طور خلاصه به شناختی درخور از اقلیم (به طور عام) و اقلیم گرم و خشک (به طور خاص در این پژوهش) دست یافته و در ادامه رویکرد معماری پایدار را به خصوص در همراهی با آب و هوای گرم و خشک و بوم بیابانی (ایران) معرفی کنیم. در مورد اقلیم تعاریف متعدد اما نزدیک به هم بسیاری موجود است که در ادامه به برخی از آنها که جامعیت بیشتری دارد اشاره می‌شود.

اقلیم:... وضعیت فیزیکی محیط جوی که از ویژگی یک محل جغرافیایی است اقلیم آن محل خوانده می‌شود. اقلیم یک محل معین، مجموعه ای از عوامل جوی است که مدتی بالنسبه طولانی دوام داشته و وضع آن محل را از نظر آب و هوایی در طی مدتی نسبتا متمادی مشخص می‌سازد، از جمله ی این عوامل، دما، ریزش باران، رطوبت، باد و فشار هوا می‌باشد (سید صدر، ۱۳۸۱، ۵۷).

آب و هوا یا اقلیم (Climate) که از واژه ی یونانی کلیما (klima) به معنی شیب یا میل گرفته شده است، نمایش عمومی جو و فرآیندهای هوا در یک مکان یا ناحیه طی یک دوره ی زمانی طولانی است... اقلیم، دستگاه بسیار بزرگی است که خود از روابط متقابل بین چندین دستگاه دیگر شامل هوا کره، آب کره، یخ کره و زیست کره تشکیل شده است و اگر در یکی از این دستگاهها تغییری به وجود آید، دیگر دستگاهها به سرعت یا به آرامی خود را با آن هماهنگ می‌سازند (ذوالفقاری، ۱۳۸۹، ٦).

با توجه به جامعیت مفهوم اقلیم، دانشمندان بر اساس شاخصها و روابط خاصی نظیر میزان تبخیر، رطوبت نسبی و بارش، تابش آفتاب، دما و... اقلیم‌های مناطق مختلف را دسته بندی کرده اند. در مورد ایران به سبب ویژگی‌های

خاص جغرافیایی، تقسیمات اقلیمی با روش‌های گوناگون، ریز اقلیم‌های متعددی بدست می‌دهد. اما با توجه به اینکه در این پژوهش، عمده ی توجه به معماری و محیط‌های کنترل شده و نه جغرافیای طبیعی ایران است بنابراین با کمی چشم پوشی از خطا می‌توان الگوی پیشنهادی دکتر حسن گنجی را معیار قرار داد که در آن اقلیم ایران به چهار دسته ی کلی تقسیم شده و نام بخش بزرگی از آن را اقلیم گرم و خشک نهاده است (که البته فلات مرکزی ایران را نیز در بر می‌گیرد) (شکل شماره ۱).



شکل شماره ۱- تقسیم بندی چهارگانه ی حوزه‌های ی جغرافیایی و اقلیمی ایران

منبع: کسمایی، ۱۳۸٤، ۸۳

سفلایی (۲۰۰۷) در توضیح طبقه ی اقلیمی گرم و خشک ایران می‌نویسد:

این اقلیم شامل قسمت‌های زیادی از فلات مرکزی ایران می‌شود، در آن حداقل به مدت ٦ ماه از سال باران نمی‌بارد (یا بسیار کم است). بنابراین، این مناطق بسیار گرم و خشک هستند. در این اقلیم تابستان بسیار گرم و خشک و زمستان بسیار سخت و سرد است. دراین نواحی، آسمان در طی ماههای عمده ای از سال بدون ابر بوده و هوا هیچ رطوبتی ندارد. تنوع دمایی (اختلاف) در این اقلیم بسیار زیاد است. در تابستان، مقدار و سختی تابش خورشید زیاد و در روز، ماکزیمم دمای هوا ۵۰- ۷۰ درجه ی سانتی گراد و در شب این مولفه به ۱۵- ۲۵ درجه سانتی گراد می‌رسد (Soflaee, 2007, 988).

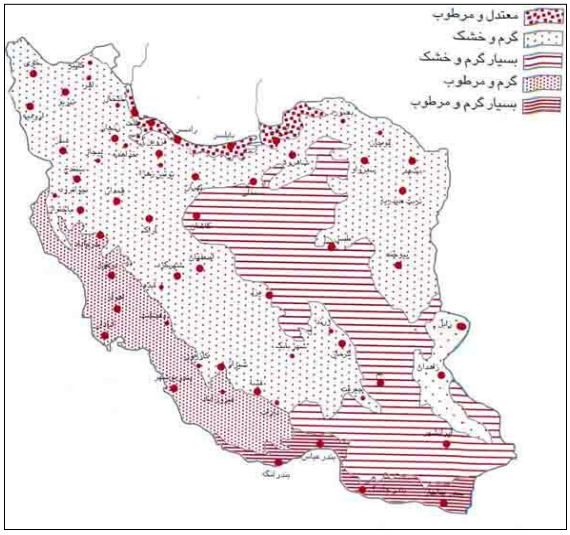
با توجه به شرایط آب و هوایی به شدت خشک در این حوزه ی اقلیمی کشور (شاخص شهر یزد) - که نوسان دمای شبانه روزی بسیار زیاد و موثر بر آسایش حرارتی انسان را موجب می‌شود - و وزش بادهای شدید کویری در سکونت‌گاه‌های بیابانی و نیمه بیابانی، و همچنین با درنظر گرفتن وسعت این مناطق و جمعیت ساکن در شهرها و مراکز جمعیتی این اقلیم کشور، می‌توان به حجم مصرف انرژی‌های فسیلی در جهت کنترل رفتار دمای داخلی فضای معماری و در پی آن شدت تولید آلودگی‌های زیست محیطی پی برد، چنانکه در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ آلودگی شهرهای تهران و اصفهان – که منتج از مصرف بی‌رویه‌ی انواع سوخت‌های فسیلی می‌باشد- بارها و بارها موجب

تعطیلی مراکز علمی و خدماتی مختلف شده است. بنابراین به طور بسیار قابل ملاحظه و معنی داری، می‌بایست شیوه‌های پاک را در وجوه مختلف توسعه پایدار و به خصوص بخش معماری و مسکن در کشور و در این اقلیم گسترده و خشک در جهت کاهش هزینه‌های اقتصادی و اقلیمی به کار بست.

واژه ی پایدار برای توصیف جهانی به کار می‌رود که در آن انسان و طبیعت بتوانند با در نظر گرفتن نیازهای حال و حقوق نسل‌های آینده و با حفاظت از محیط زیست و بدون ایجاد آثار مخرب جدی بر آن ادامه ی حیات دهند. توسعه ی پایدار به معنی ارائه ی راهکارهایی در مقابل الگوهای فانی کالبدی، اجتماعی و اقتصادی است که از بروز مسائلی چون افزایش بی‌رویه‌ی جمعیت، فقر، نابودی منابع و محیط زیست، تداخل در اکوسیستم کره‌ی زمین و در نتیجه خسارات ناشی از اثرهای زیانبار نابودی محیط زیست جلوگیری کند (محمودی، ۱۳۸۸، ۱) بر اساس تعریف کن یانگ[1] معماری پایدار را می‌توان طراحی اکولوژیک دانست. در واقع معماری پایدار را می‌توان نوعی از طراحی قلمداد کرد که در طول چرخه‌ی حیات خویش با سیستم اکولوژیکی زمین هماهنگی کامل دارد. در معماری پایدار، مصالح ساختمانی و انرژی مصرفی به گونه ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که کمترین تاثیر منفی روی محیط زیست را با کمترین اتلاف منابع داشته باشند (نادی، ۱۳۹۱، ٦۰).

زمین و معماری پایدار

چنانچه در پیش آمد از بهترین روش‌های معماری پایدار در بسیاری از مناطق جغرافیایی با کیفیت آب و هوایی خشک و البته به طور شاخص در مناطق گرم و خشک ایران مانند شهرهای یزد، زاهدان، تهران و اصفهان در ایران، استفاده از توانمندی زمین در تامین شرایط مطلوب دمایی و آسایش حرارتی داخلی برای زندگی ساکنان است (شکل شماره ۲).



شکل شماره ۲- وضعیت اقلیمی شهرهای شاخص یزد، زاهدان، تهران و اصفهان در نیمسال گرم

منبع: کسمایی، ۱۳۸٤، ۹۸

[1] Ken Yeang

ساختمان‌هایی که در تماس با زمین هستند از گزند خطراتی از قبیل دامنه گسترده نوسانات دما، انقباض و انبساط شدید حاصل از آفتاب، باران و برف و بوران شدید، بادهای شدید و آتش سوزی، تغییرات دائمی رطوبت، و منابع صوتی نامطلوب موجود در محیط آزاد به طور محسوسی در امانند.

در این استراتژی – پوشاندن پوسته ی زمین با خاک– انتقال حرارت بین داخل و خارج محدود می‌شود و ساختمان از اثر مستقیم شرایط بحرانی آب و هوا محدود می‌شود. بنابراین این روش می‌تواند یک محیط امن و راحت زندگی برای ساکنان بنا فراهم نماید (Faghih, 2013, 981).

یکی از بهترین فوائد ارتباط بنا با زمین را می‌توان کنترل انتقال حرارت دانست.

معادله جابه جایی گرما و حرارت دارای سه مولفه ی اصلیست که شامل مساحت پوسته، مقاومت حرارت پوسته ساختمان، اختلاف درجه حرارت می‌باشد. هنگامی که یک بنا در ارتباط با عمق زمین قرار می‌گیرد:

۱– مقداری از مساحت پوسته ساختمان (جدار بیرونی) که در ارتباط با فضای آزاد قرار داشته کم می‌شود و انتقال گرما کنترل خواهد شد

۲– زمین برای ساختمان به عنوان عایقی و پنامی مضاعف عمل کرده به طوری که پوسته ی زمین به مثابه یک لایه ی عایق حرارتی ضخیم، از انتقال حرارت به داخل زمین جلوگیری می‌کند.

۳– اختلاف درجه حرارت درون و برون ساختمان جای گرفته در عمق خاک به دلیل محدود بودن نوسانات دمایی درون زمین به حداقل می‌رسد. چرا که در عمق بیش از ۲ فوت (۰/٦ m) زیر سطح زمین نوسان دمای روزانه بسیار ناچیز است. در نتیجه می‌توان به این مهم دست یافت که استفاده از زمین یکی از مناسب ترین روش‌های پایداری، کاهش مصرف انرژی و کنترل انتقال حرارت است.

یکی از مسائل بسیار مهمی که می‌بایست در استفاده ی پایدار از زمین و بهره مندی از روش زمین گرمایی در نظر داشت، روند تغییرات دمایی درسطح و اعماق مختلف خاک در هر اقلیم خاص است. چه اینکه جنس لایه‌های خاک، تراکم و رطوبت موجود در آن از عواملی است که خاصیت پناه و عایق حرارتی بودن زمین و دمای آن در سطوح مختلف را تحت تاثیر قرار داده و راهکارهای معماری متفاوتی را طلب می‌کند. بنابراین در طراحی معماری، در قدم اول در نظر گرفتن دمای سطح زمین، در هر گونه اقلیمی و البته اقلیم‌های خشک و بیابانی، حائز اهمیت است.

تغییرات سالانه دمای سطح روی زمین می‌تواند توسط فرمول ساده زیر تعیین گردد:

$$T_S = T_M - A_S \, COS[360/365 \, (t-t_0)] \qquad (۱)$$

که در آن:

T_S= دمای سطح زمین در روز بر حسب (F)، T_M= میانگین سالانه دمای زمین بر حسب(F)، A_S= نوسان سالانه دمای سطح زمین بر حسب (F)، t= زمان سال که از اول ژانویه حساب می‌شود (قبادیان و فیض مهدوی، ۱۳۸۵، ۹۱)

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهمترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه میزان و جهت کلیه ی فرآیندهای فیزیک خاک به طور مستقیم وابسته به دما است(مزیدی، ۱۳۹۰،۳۹).

معادله ی زیر بیانگر ارتباط بین دمای زیر سطحی با عمق و روز سال است:

$$T_{(x,t)} = T_m - A_s e^{-x\sqrt{\pi/365a}} cos\{2\pi/365[t-t_0 - (x/2)\ (\sqrt{365/\pi a})]\} \quad (۲)$$

که در آن:

$T_{(x,t)}$ = دمای زمین در عمق x متری در روز t از سال بر حسب (^oC)، T_m = دمای میانگین سالیانه زمین (برابر با وضعیت پایدار)، As= دامنه نوسان دمای سالیانه در سطح $(x = 0)$ بر حسب (^oC)، x = عمق زیر سطحی – زمین – بر حسب متر، t = زمان مورد نظر از سال (یا روز) که اول ژانویه برابر با عدد ۱ می‌باشد، t_0 = وضعیت و فاز پایدار، مطابق با روز از کمترین دمای سطح و α = نفوذ پذیری حرارتی (یا ضریب پخش گرمایی) خاک بر حسب (m_2/day) (Faghih ,2013,981).

امواج سالیانه حرارت سطح زمین به عمق خاک انتقال یافته و در عمق زمین یک الگوی سینوسی تغییرات دمایی را به وجود می‌آورد.

یک مدل تغییرات دمایی در عمق X با استفاده از معادله ی تغییرات دمای سطح زمین می‌توان تدوین کرد:

$$T_X = T_M - A_S\, e^{-xr}\ COS\ [360/365(t - t_0 - xl)] \quad (۳)$$

که در آن:

T_X= دما در عمق X در زمان $t\ (F)$، X = عمق (فوت)، e = عدد اولر ۲/۷۱۸۲۸ (عملکرد نمایشی)، r = تنزل لگاریتمی (ft^{-1})، l = زمان تاخیر(روز/ فوت)، a= پراکندگی حرارت خاک(فوت مربع/ روز) (قبادیان و فیض مهدوی، ۱۳۸۵، ۹۲)

و اما در مورد تعویق زمانی موج حرارت در داخل زمین از رابطه زیر استفاده می‌شود:

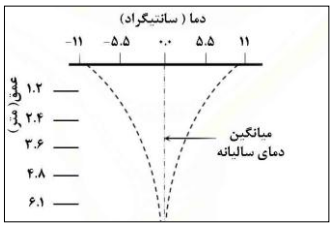
$$Z_2 - Z_1 = (X_2 - X_1)T/2\pi\sqrt{\pi/K_{HS}T} \quad (٤)$$

در این معادله Z_2-Z_1 = زمان تاخیر حرارتی در بین عمق X_2 , X_1 ؛ K_{HS} = قابلیت انتشار حرارتی خاک برحسب سانتی متر مربع بر ثانیه ؛ T= زمان یا دوره موج برحسب ثانیه. بر اساس این معادله اگر بیشترین دما در ساعت ۱۲.۵ در سطح زمین باشد ۵ ساعت بعد به عمق ۸ سانتی متری سطح زمین می‌رسد. طبق بررسی دکر[1] حرکت امواج گرمایی در انتقال به شرهای درونی زمین‌های همگن به صورت خطی انجام می‌گیرد. او با ترسیم مقادیر حداکثر دمای روزانه نشان داد، که رسیدن دمایی معین به عمق ۱۰ سانتی متری در حدود ۳ ساعت، به عمق ۳۰ سانتی متری ۱۲ ساعت و به عمق ٦۰ سانتی متری حدود ۳۳ ساعت طول می‌کشد(مزیدی، ۱۳۹۰، ٤۰) با توجه به اینکه پیک

[1] Decker

دمای زمین نسبت به دمای سطح با تاخیر اتفاق می‌افتد (بازه ی زمانی در حدود ۱۰ تا ۱۳ هفته)، می‌توان از آن به عنوان انباره گرمایی در اغلب اقلیمها استفاده کرد. همچنین نظر برخی محققین به خصوص در حوزه ی معماری بر این استوار است که به طور کلی دما در داخل زمین از عمق خاصی به بعد در شرایط ثابت قرار می‌گیرد. جرم حرارتی زمین سیکل نوسانات درجه حرارت سالانه را تعدیل می‌کند و به تاخیر می‌اندازد. در واقع پائین تر از عمق ۱ تا ۲ فوت مقدار زیادی از تغییرات روزانه درجه حرارت حس نمی‌شود.

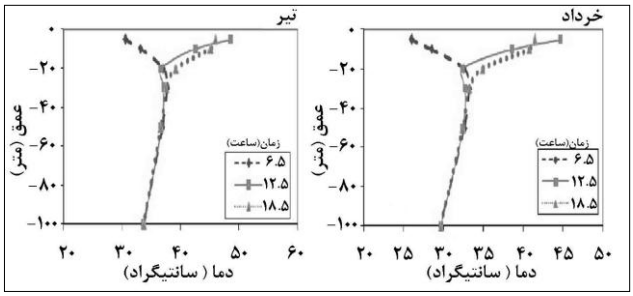
از عمق ٦/١ متر به بعد درجه حرارت زمین تقریبا ثابت است و برابر معدل درجه حرارت سالیانه در فضای خارج آن محل می‌باشد(قبادیان، ۱۳۸۵، ۲۷) در نمودار زیر می‌توان رفتار دمایی عمق‌های مختلف زمین را به نسبت تغییرات دمای سالانه در فضای آزاد به خوبی مشاهده کرد (نمودار شماره ۳)



نمودار شماره ۳: رفتار دمایی عمق خاک نسبت به دمای محیط بیرونی

ترسیم مجدد بر اساس: Faghih,2013,982

لازم به ذکر است که رفتار دمایی خاک بر حسب زمان و فصل مختلف است. چنانکه در ماههای سرد سال رفتار افزایشی دما و در فصول گرم رفتار کاهشی دمای داخل زمین را مشاهده می‌کنیم که این مهم در تنظیم کاربری فضاهای زیر زمینی نقش مهمی‌دارد. در نمودار زیر می‌توان رفتار دمایی عمق‌های مختلف خاک (بر حسب سانتی‌متر) را برای شاخص منطقه گرم و خشک ایران (شهر یزد) و در ماههای خرداد و تیر به عنوان حاد ترین شرایط گرمایی سالانه مشاهده کرد (نمودار شماره ٤)

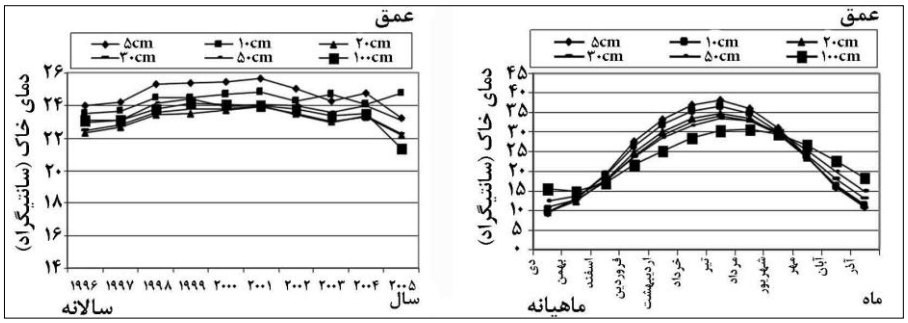


نمودار شماره ٤: دمای عمق زمین در شهر یزد در فصل تابستان

منبع: مزیدی، ۱۳۹۰، ٤٤

چنانکه مشاهده می‌شود در بازه ی زمانی گرم سال و در فصل‌های خرداد و تیر، رفتار دمایی در عمق زمین به نسبت دمای هوای مجاور سطح زمین رو به اعتدال و میل کاهشی (بر عکس فصول سرد که رفتار افزایشی دارد) می‌گذارد. نکته ی قابل ذکر این است که روند کاهشی و یا افزایشی در هر بازه‌ی زمانی متاثر از متوسط دمای خارجی در همان بازه‌ی زمانی می‌باشد.

همچنین می‌توان در تصاویر زیر تفاوت رفتار دمایی خاک را برای مناطق گرم و خشک ایران (شاخص شهرهای یزد و زاهدان) که بر اساس آمار اقلیمی‌یک دوره ی ۱۰ ساله (۱۹۹٦– ۲۰۰۵) برآورد شده است را متاثر از بازه‌های زمانی متفاوت (ماهانه و سالانه) مشاهده کرد (نمودار شماره ۵).



نمودار شماره ۵: رفتار ماهانه و سالانه ی دمای خاک در طی سالهای ۲۰۰۵-۱۹۹٦ در شهر یزد.

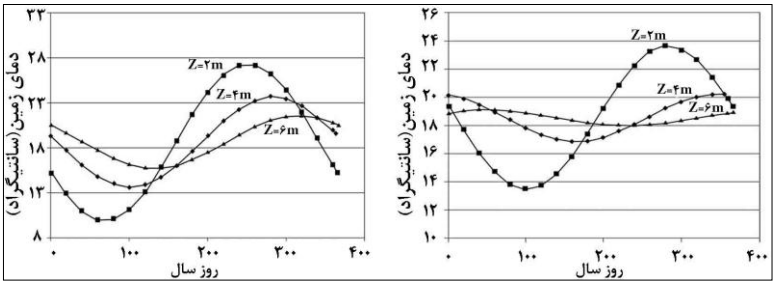
ترسیم مجدد بر اساس: سبزی پرور، ۱۳۸۹، ۱۳۰

چنانچه در تصاویر فوق پیداست دمای خاک علاوه بر عمق خاک متاثر از بازه ی زمانه ی ماهانه و سالانه رفتاری متفاوت دارد، به طوری که در الگوی ماهانه بر اساس شرایط اقلیمی موجود، دمای عمق خاک متاثر از میانگین دمای ماه مورد مطالعه است و به نسبت الگوی سالانه (که در دوره ی ۱۰ ساله در شرایط اعتدال بیشتری به سر می‌برد) افت و خیز و نوسان حرارتی بیشتری دارد. بنابراین باید در بهره مندی از زمین، به دوره ای که قصد استفاده از آن است بسیار توجه و در مورد آن تمهیدات مناسب را در نظر گرفت. همچنین در مورد الگوی دمایی زمین باید به وابستگی رفتار حرارتی عمق آن به خواص و جنس خاک منطقه نیز توجه ویژه داشت. چه اینکه نوع خاک و گرمای ویژه ی آن[1] و همچنین میزان رسانندگی گرمایی[2]، چگالی[3] و پخشندگی حرارتی[4] آن در انتقال گرما اثر چشمگیری خواهد داشت که این مسئله را می‌بایست بویژه در انتقال لوله‌های تاسیساتی یا کانال‌های هوا و یا سیال به عمق زمین و استفاده از انرژی نهفته ویا حرارت داخل زمین و انتقال آن به محیط داخلی ساختمان مورد نظر قرار داد.

طبق تحقیقات انجام شده برای عمق‌های کم زیر سطح خاک اثر خواص خاک قابل چشم پوشی است اما هنگامی که عمق افزایش می‌یابد، هر چه قدر رسانندگی گرمایی خاک بیشتر باشد، نوسانات حرارتی خاک بیشتر است و هر چه قدر ظرفیت گرمایی خاک افزایش یابد دمای خاک در عمق خاصی از خاک کاهش می‌یابد (میریان، ۱۳۹۰، ٥٤)

در نمودارهای زیر می‌توان تاثیر عوامل ذکر شده را در نوسانات دمایی در عمق دو نوع خاک شنی (رسانش گرمایی بالاتر و پخشندگی حرارتی بیشتر) و خاک از نوع مخلوط شن و ماسه (چگالی و گرمای ویژه ی بالاتر) برای شهر گرم و خشک تهران (بر اساس تقسیمات چهارگانه اقلیمی‌ایران–حسن گنجی) با هم مقایسه کرد (نمودار شماره ٦).

[1] Specific Heat
[2] Thermal conductivity
[3] Density
[4] Thermal Diffusivity



نمودار شماره ٦: دمای عمق انواع خاک در طول سال در تهران،

راست: خاک از نوع مخلوط شن و ماسه، چپ: خاک از نوع شنی.

ترسیم مجدد بر اساس: میریان، ۱۳۹۰، ٥٤

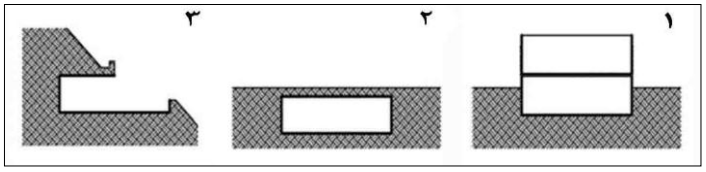
چنانکه در نمودار فوق پیداست الگوی حرارتی خاک با رسانندگی گرمایی بالاتر (خاک شنی) در عمق‌های مختلف در عین کنترل تنش حرارتی به نسبت سطح، اما دارای نوسانات دمایی داخلی بیشتری به نسبت خاک با گرمای ویژه ی بالاتر (خاک مخلوط شن و ماسه) می‌باشد. برای شهر تهران و در خاک شنی و در عمق ٦ متر، حد بالا و پائین نوسان دمایی در حدود ν^0C به نسبت روزهای سال، اما در خاک مخلوط شن و ماسه و در عمق ٦ متر، بیشنه مقدار تنش حرارتی در طول سال و برای همان شهر در حدود $۱/۲^0C$ می‌باشد که خود گواه تاثیر کیفیت خاک در تنظیم شرایط حرارتی عمق زمین می‌باشد.

استفاده از زمین در معماری مسکونی سنتی ایران (اقلیم گرم و خشک)

چنانچه در پیش آمد، زمین با رفتار اعتدالی حرارتی که نسبت به دمای بیرون از خود نشان می‌دهد یکی از بهترین راهکارهای هم آوایی با اقلیم در حوزه‌های جغرافیایی با آب و هوای خشک و به خصوص یکی از مناسب ترین رویکردها در تامین شرایط دمایی آسایش داخلی با کمترین هزینه در مناطق گرم و خشک می‌باشد.

اگرچه امروزه مطالعات و تحقیقات فراوانی در مورد توانایی خاک در تامین شرایط راحتی دمایی انجام و بسیاری از نمونه‌های موفق اجرا و یا در حال اجراست، اما این روش ساختمانی متعلق به دانش امروزی و تکنیک‌های مدرن نیست، چه اینکه نمونه‌های بسیار زیبا و توانمندی را در گوشه و کنار دنیا و در تمدن‌های بزرگ گذشته می‌توان یافت که به قصد یکجا نشینی و سکونت طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. کشور ایران به عنوان یکی از تمدن‌های بزرگ شناخته شده در دنیای کهن، دارای نمونه‌های بسیار مبتکرانه از انواع بهره مندی از زمین در موقعیت‌ها، مقیاس‌ها، فضاها و کاربری‌های مختلف در معماری تاریخی خود بوده که در ادامه به برخی از انواع استفاده از عمق خاک در معماری مسکونی مناطق گرم و خشک آن می‌پردازیم.

به طور عمده می‌توان الگوی استفاده از زمین در معماری تاریخی ایران و بویژه کاربری مسکونی آنرا مشتمل بر سه الگوی تپه‌ای (یا محصور در شیب طبیعی زمین)، زیر سطحی (یا فرورفته در خاک) و زیر زمینی جستجو کرد (شکل شماره ۳).



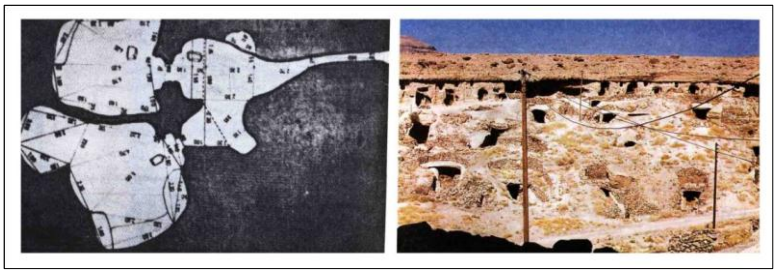
شکل شماره ۳: انواع الگوی رایج ارتباط ساختمان با زمین در معماری مسکونی بومی ایران

۱- زیر زمینی (نیمه در خاک) ۲- زیرسطحی (فرو رفته در عمق) ۳- تپه (فرارگیری در دامنه و شیب)

ترسیم مجدد بر اساس: نادی، ۱۳۹۰، ٦

از نمونه‌های اولیه توسعه ی زیر سطحی سکونتی بسیار زیبا و هوشمندانه در جهان باستان، مجموعه خانه‌های زیر زمینی روستای صخره ای و دستکند میمند در ایران با سابقه ای چند هزار ساله و با اقلیمی گرم و خشک که طبق الگوی شماره ی ۱ یعنی تپه ای (قرارگیری در دامنه و شیب) ساخته شده اند می‌باشد. نکته ی قابل توجه آنکه پس از گذشته چندین هزار سال همچنان در این مجموعه (که نمونه ای از استفاده از زمین در مقیاس کلان در حوزه ی خرد اقلیمی می‌باشد)، زندگی با آرامش بسیار خوبی برقرار است (شکل شماره ٤).

روستای میمند با عمری حدود دو هزار سال، همیشه و در طول تاریخ، زندگی را تجربه کرده و در هیچ برهه زمانی خالی از سکنه نشده است. اهالی میمند همیشه نیازهای خود را از داخل روستا تامین می‌کردند و معماری خود را با آگاهی از شرایط اقلیمی و با مواد و مصالح بومی موجود در منطقه شکل می‌دادند (حناچی، ۱۳۸٦، ٦۱) این روستا در غرب استان کرمان، در نزدیکی شهر بابک واقع است و در نوع خود در ایران منحصر به فرد می‌باشد. تمامی ساختمان‌های این روستا در طی قرون گذشته در دل کوه، همانند یک سری غارهای بزرگ کنده شده و تنها ارتباط بین داخل و خارج این ابنیه زیر زمینی، در ورودی می‌باشد. این در هم محل ورود و خروج اهل خانه و هم جهت تامین نور و تهویه است. این ساختمان‌ها بسیار پایدار می‌باشند، به خاطر اینکه بدنه آنها سنگ یکپارچه است و در داخل زمین قرار دارند و به همین دلیل برای سده‌های طولانی، مسکن اهالی این منطقه بوده اند (قبادیان، ۱۳۸۵، ۲۹). به علت شیب اطراف دره میمند، خانه‌ها در چهار یا پنج طبقه بر روی هم قرار گرفته اند.ارتفع داخلی این خانه‌ها دو متر و دارای وسعتی نزدیک به ۱٦ تا ۲۰ متر مربع است. با وجود دمای بالای منطقه، خانه‌ها بسیار خنک می‌باشند (برزگر، ۱۳۸۹، ۲۲). نوسان درجه حرارت در طی شبانه روز در داخل بنا بسیار اندک است و باد و باران به داخل آن نفوذ نمی‌کند و در مقابل آتش سوزی مقاوم می‌باشند (قبادیان، ۱۳۸۵، ۲۹).



شکل شماره٤: روستای زیر زمینی میمند، ایران

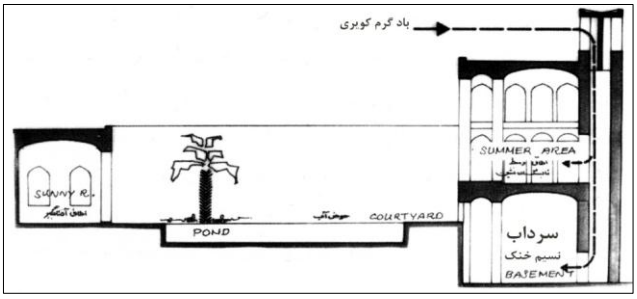
به ترتیب از چپ به راست: پلان یکی از خانه‌های زیر زمینی، نمایی از روستای خفته در دل کوه

منبع: قبادیان، ۱۳۸۵، ۳۰

علاوه بر سکونت زیر سطحی در مقیاس کلان، نمونه‌های بسیار هوشمندانه ای از بهره مندی از زمین در الگوهای مختلف ۲ و ۳ را می‌توان در فضاهای و عناصر معماری خانه‌های مناطق گرم و خشک ایران بویژه در شهرهای یزد و کاشان مشاهده کرد. لازم به ذکر است که در این مناطق بدلیل نوسانات دمایی زیاد در شبانه روز، تابش شدید آفتاب و وزش بادهای کویری، معماران در گذشته با خلاقیت بسیار بالایی اقدام به خلق فضاهایی زیبا با حداکثر استفاده از انرژی‌های طبیعی و تهویه طبیعی جهت تامین شرایط آسایش فیزیکی و دمایی کرده اند که در ادامه به معرفی برخی از این فضاهای مسکونی خواهیم پرداخت.

۱- سرداب

(۱) اطاق زیر زمینی که تابستان در آنجا به سر ببرند (۲) زیرزمین بادگیردار، در این زیر زمین‌ها نیز، در زیر کانال بادگیر، چاه آب کنده شده، باد به درون چاه و سپس بر سطح آب رسیده از کانال افقی و چاه دیگری به سطح زیر زمین می‌رسد (سید صدر، ۱۳۸۱، ۳٤۷) سرداب در خانه‌های ایرانی نواحی گرمسیری، زیر زمینی است که سقف آن ۷۰ سانتی متر تا یک متر بالاتر از سطح حیط مرکزی است و معمولا در بخش تابستان نشین خانه‌ها قرار گرفته است. هوا از طریق بادگیر و پنجره‌های ما بین سطح حیاط و سقف سرداب، در داخل جریان می‌یابد (قیابکلو، ۱۳۹۲، ۲۱۵) (شکل شماره ۵).

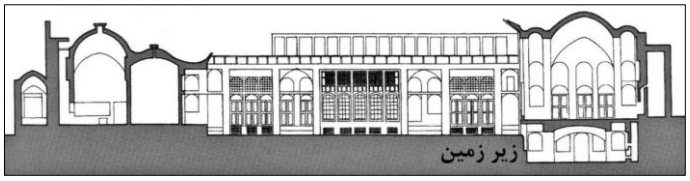


شکل شماره ۵: سرداب و جایگاه آن در زیر زمین در خانه‌های مناطق گرم و خشک ایران

منبع: توسلی، ۱۳۸۱، ۱۰۸

۲- زیرزمین

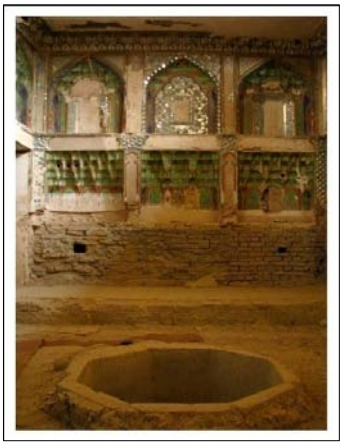
مهمترین فضای خانه در طول روزهای گرم و طاقت فرسای تابستان، زیرزمین است. در خانه‌هایی که دارای گودال باغچه نیست، همه یا بخشی از فضاهای زیر طبقه همکف را زیر زمین اشغال کرده است.... روزنهای کوچکی که در ازاره ی طبقه همکف قرار گرفته وظیفه ی نورگیری زیرزمین را به عهده داشته است (معماریان، ۱۳۸٦، ۲۹٤). سقف این بناها فقط به اندازه ی یک نورگیر و گاهی کمتر، از کف اصلی بالاتر است و به خاطر حداقل تبادل حرارتی همواره در بناهای ایرانی مورد توجه خاص قرار می‌گیرند (فلاح فر، ۱۳۸۹، ۱٤۱) (شکل شماره ٦).



شکل شماره ٦: زیرزمین و ارتباط آن با عمق زمین در خانه‌های ایرانی– خانه ی بروجردی‌ها، کاشان منبع: قاسمی سیچانی، ۱۳۹۱، ۱۵۰

۳- حوضخانه

زیرزمین حوض داری که در مواردی، جوی آبی نیز از وسط آن عبور می نماید. حوضخانه را تابستان نشین، نوعی بنای مسکونی تابستانه در مسیر حرکت آب قنات‌ها با حوضی در میان، فضایی پائین تر از کف حیاط با حوضی در میانه و مناسب برای روزهای گرم تابستان...تعریف کرده اند (سید صدر، ۱۳۸۱، ۲٤۹) (شکل شماره ۷)

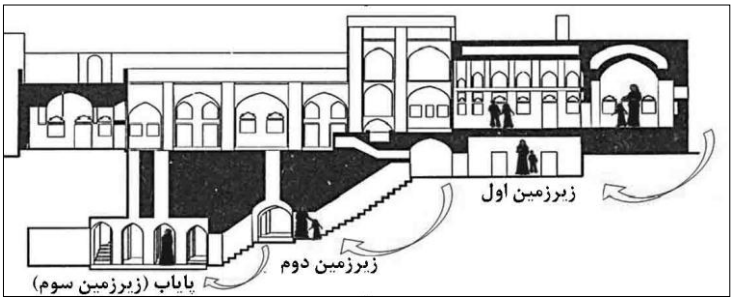


شکل شماره ۷: حوضخانه، فضایی درون زمین در خانه‌های مناطق گرم و خشک، اصفهان، ایران

منبع: نگارندگان

٤- پایاب

پایاب فضایی بسیار خنک در پائین ترین بخش خانه است....میزان خنکی پایاب به حدی است که بعضی از انواع خوراکی‌ها را برای آنکه در تابستان فاسد نشود، در آن قرار می‌دادند (معماریان، ۱۳۸٦، ۲۹٤). گفتنی است در اقلیم گرم و مرطوب ایران، فضاهایی از خانه را که در پائین ترین سطح خانه و در درون زمین جای می‌گرفته اند را شوادان می‌خواندند (شکل شماره ۸).



شکل شماره ۸: موقعیت پایاب (یا شوادان) خانه‌های ایرانی در زمین

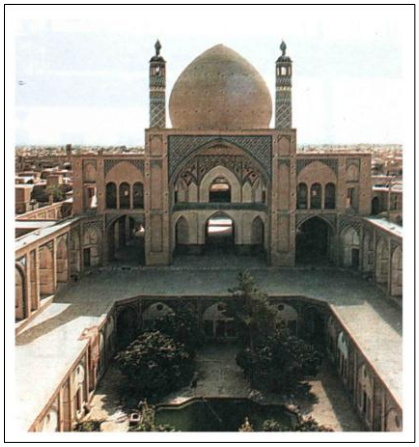
ترسیم مجدد بر اساس: Faghih,2013,984

۵- شبستان

شبستان همان زیرزمین یا سرداب است که در سایر نواحی گرم و خشک بسیار متداول است....سقف آن حدود یک متر از سطح حیاط بالاتر بوده و مابقی شبستان در زیرزمین قرارداشته است (قبادیان، ۱۳۸۵، ۳۱) قابل ذکر است که این فضا بیشتر در نواحی گرم و مرطوب با این نام شناخته میشود و چنانچه گفته شد در نواحی کویری با نام سرداب شناخته می‌شود.

٦- گودال باغچه

گودی درختکاری شده در میانه‌ی حیاط، قسمتی از بنا که به واسطه ی خاکبرداری در هنگام ساخت بنا (به منظور استفاده از این خاک برای تهیه مصالح مورد نیاز) گود و پس از درختکاری تبدیل به باغچه شده است (سید صدر، ۱۳۸۱، ٤٧٦). در خانه‌های سنتی مناطق بیابانی و گرم و خشک ایران، حیاط را به منظور استفاده از تعدیل حرارتی زمین و دسترسی به ساختمایه مورد نیاز، همچنین سهولت دسترسی به آب قنات و یا راحتی در سوار شدن آب ورودی خانه به باغچه‌ها حفر می‌کردند به گونه ای که عمق زیاد آن باعث اختلاف ارتفاع سطح حیاط از سطح کوچه شده که این اختلاف ارتفاع سبب افزایش ارتفاع جداره‌ها و افزایش طول سایه اندازی بر سطح حیاط و فضاهای زیر زمینی و در نتیجه کاهش دمای محیطی می‌شده است. این گونه حیاط‌ها را گودال باغ و یا گودال باغچه می‌نامیدند (شکل شماره ۹) گودال باغچه‌ها گذشته از دستیابی به آب روان زیرزمین، جایگاههای خنک و دلچسبی را برای تابستان گرم و سوزان آن سامان فراهم ساخته است. چنانکه مثلا در کاشان، روزهایی که گرما نزدیک به ٤٥ درجه می‌رسد گودال باغچه‌های آن شهر برای مردم گرمازده پناهگاه بسیار خوبی است و گاه می‌شود که اختلاف درجه گرمای گودال باغچه و حیاط باور کردنی نیست (معماریان، ١٣٨٤، ٣٢٠).



شکل شماره ۹: نمونه ای از گودال باغچه در ابنیه مناطق گرم و خشک- مدرسه ی آقا بزرگ، کاشان

منبع: قبادیان، ۱۳۸۵، ٢٥٤

به نظر نگارنده یکی از روش‌های مورد قبول در استفاده از زمین در تنظیم شرایط آسایش داخلی، بهره مندی از مصالح زمین محل ساختمان (در صورت دارا بودن شرایط استفاده در اقلیم مورد نظر) در ساخت ساختمان میباشد.این روش در معماری گذشته ایران، به استفاده از مصالح بوم آورد و خود بسندگی مشهور است. برای نمونه در شهرهای مناطق گرم و خشک و بیابانی ایران، ساخت مایه‌ی اصلی ساختمان از خاک منطقه یعنی خشت و آجر می‌باشد (البته ضخامت جداره‌ها متناسب با اقلیم و تابش آفتاب متغیر است). چرا که این ساختمایه، تقریبا ویژگی‌های کنترل حرارتی زمین را متناسب با ارتفاع و ضخامت جداره، در هدایت و تنظیم انتقال دمای داخل به خارج و بالعکس در تمام طول سال ایفا می‌کرده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش دریافتیم که حجم مصرفی انرژی در مقیاس کلان و خرد، به طور شاخص متاثر از سرانه و فاکتور پراکندگی جمعیت، فرهنگ مصرفی قشر مخاطب و همچنین متغیر وابسته به اقلیم و جغرافیای هر منطقه می‌باشد. چه اینکه با تغییر در هریک از دو اصل جمعیتی و یا اقلیمی، روش و سرانه ی مصرف انرژی متغییر خواهد بود. در کشور ایران، وجود دو فاکتور ۱. شیب صعودی نمودار رشد تراکم شهرنشینی و ۲. روش نادرست ساخت و ساز بویژه در بخش خانگی و از طرفی عدم توجه و سازگاری با کیفیات اقلیمی‌مناطق متنوع، سبب شده است که عدد برآورد مصرف انرژی فسیلی در حوزه ی مسکونی فراتر از هر بخشی و حتی بخش تولیدی و صنعتی کشور و همچنین چند برابر استاندارد جهانی قرار گیرد که نشانگر کاهش تولید داخلی و درآمد ملی، کاهش ذخایر فسیلی، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی بویژه گسترش گاز CO_2و تخریب کیفیات آب و هوایی به صورت روز افزون می‌باشد. عدم مطالعه و استفاده از روشهای توسعه ی همساز با اقلیم در وجوه گوناگون و بویژه ی در بخش معماری مسکونی در ایران، و به طور خاص در مناطق گرم و خشک کشور که دارای تنشهای حرارتی با دامنه ی زیاد در طول شبانه روز و سال بوده و از نظر منابع تامین رطوبت محیطی دچار فقر شدید می‌باشند، افزایش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر و فسیلی (به عنوان عامل اصلی آلودگی‌های اقلیمی) جهت تامین کمبود بارهای حرارتی، برودتی و رطوبتی به روش فعال و ناپاک، برای تنظیم شرایط آسایش فضای داخلی معماری را به همراه خواهد داشت. بنابراین با توجه به حجم ساخت و ساز ابنیه ی قابل سکونت در انواع موقت (اسکانهای گردشگری) و دائم (بخش خانگی و تجاری) در پهنه ی جغرافیایی گرم و خشک کشور و شیب صعودی مصرفی انرژی‌های ناپاک در این بناها و افزایش شدت آلودگی اقلیمی متاثر از این درصد بالای مصرفی، می‌بایست به طور جد در انواع اهداف و برنامه‌های توسعه ی بلند مدت و کوتاه مدت آتی کشور جایگزینی هرچه زودتر روشهای معماری پایدار و همساز با اقلیم منطقه ای را در صنعت ساختمان کشور (بویژه در این پهنه ی اقلیمی‌خاص) نتیجه داد. از این رو این پژوهش سعی در معرفی و ارائه ی اصول استفاده از یکی از کارآمد ترین و مهمترین رویکردهای معماری پایدار (فعال و غیر فعال) در اقلیم گرم و خشک ایران، یعنی استفاده از عمق زمین محل ساخت به عنوان عظیم ترین منبع ذخیره حرارتی طبیعی و عامل موثر در کاهش بار گرمایشی و سرمایشی مکانیکی فضای معماری و همچنین روشی پاک، کم هزینه، قابل دسترس و جایگزین در صنعت ساختمانی کشور را دارد. این روش از قدیمی‌ترین تکنیک‌های پایداری در معماری سنتی ایرانی در مناطق خشک و بویژه گرم می‌باشد که از شاخص ترین آنها می‌توان به توسعه و سکونت زیر سطحی در شهر میمند و یا فضاهای زیر زمینی نظیر سرداب و شبستان و زیرزمین در خانه‌های شهرهایی نظیر یزد و کاشان نام برد. در روش استفاده از زمین و عمق خاک جهت تامین و تکمیل شرایط آسایش فیزیکی برای مخاطب معماری – بویژه در حوزه ی اقلیم گرم و خشک ایران–، می‌بایست موارد مهم زیر را در نظر داشت:

●توجه به ویژگی‌های خاک منطقه از قبیل تراکم، جنس و رطوبت خاک. در بخش عمده ای از مناطق گرم و خشک ایران که مقدار رطوبت زیر سطحی خاک کم و ناچیز می‌باشد می‌توان این روش را با اطمینان، هزینه و جزییات اجرایی کم و با قابلیت بهره برداری زیاد و در عمقهای مختلف به کار بست.

●توجه به عمق بهره برداری زمین. چه اینکه رفتار سینوسی نوسان دما با نسبت فاصله از سطح خاک رابطه ی عکس دارد.

●توجه به زمان بهره برداری. در شهر یزد به عنوان شاخص ترین مرکز شهری اقلیم گرم و خشک ایران، در زمان فصل گرم و در ماههای خرداد و تیر (به عنوان حادترین شرایط گرمایی محیط)، تحلیل نمودار رفتار دما در عمق زمین شیب منفی و کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین در فصل سرد، رفتار حرارتی زمین در جهت کنترل شرایط سرد بیرونی، دارای شیب افزایشی دما می‌شود که می‌بایست در نحوه ی استفاده از فضای زیر زمینی در این مناطق اقلیمی‌به این تغییر الگوی جهش دمایی توجه ویژه نمود. این مسئله در معماری کهن ایران به طور چشمگیری مورد توجه بوده و کاربری فضاهای معماری در موارد متعددی متاثر از این خاصیت خاک تعریف می‌شده است. برای مثال در معماری مسکونی سنتی در مناطق گرم و خشکی مانند شهرهای یزد، کاشان، زواره و اردستان، زیرزمین عموما در فصل گرم مورد استفاده روزمره قرار می‌گرفته است.

●توجه به بازه ی بهره مندی از عمق خاک. مطالعه ی رفتار حرارتی عمق خاک در شهر یزد نشان داد که شیب نمودار دمایی در بازه‌ی زمانی کوتاه مدت و ماهانه بسیار ملموس تر از شیب نمودار دمایی عمق زمین در کل سال (که دارای نوسان ناچیزی می‌باشد) است.

●توجه به نسبت اختلاط ریز مواد تشکیل دهنده ی خاک منطقه و میزان تراکم آن. در شهر تهران به عنوان نماینده ی کلان شهر در اقلیم گرم و خشک ایران، مطالعه ی رفتار دما در محلی با خاک دارای رسانش گرمایی بالاتر و پخشندگی حرارتی بیشتر، نوسان حرارتی برابر $۷^{o}C$ را در عمق ٦ متری – به عنوان تراز ثبات دمایی زمین- از خود نشان می‌دهد. این در حالی است که در نقطه ای دیگر با شرایط مشابه پیش فرض اما با ساختار خاک متفاوت که دارای چگالی و گرمای ویژه ی بالاتری می‌باشد نوسانات عمق ٦ متری زمین، عدد ^{o}C ۱/۲ را نشان می‌دهد که حاصل از تفاوتی در حدود ^{o}C ۵ در تنش حرارتی عمق زمین در بازه ی زمانی مشخص، در این دو نوع خاک می‌باشد. شناخت تجربی این ویژگی خاک در معماری سنتی گرم و خشک ایران، سبب شده تا مصالح ساختمانی ابنیه مسکونی در این مناطق از خاک همان محل تهیه شده و این رویکرد، همسازی هر چه بیشتر خانه ایرانی با اقلیم محلی، تنظیم شرایط دمایی به روش طبیعی و پایدار، کنترل هزینه‌های ساختمانی، خلق چشم انداز بومی و کاهش آلودگی‌های اقلیمی را نتیجه داده است.

منابع

امینی، فیروزه و توانپور، مصطفی و دیگران (۱۳۹۰)، **ترازنامه ی انرژی سال ۱۳۸۸- تحولات جهانی بخش انرژی**، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو، تهران.

برزگر، زهرا و مفیدی شمیرانی، سید مجید (۱۳۸۹)، **چگونگی بهره گیری از توده زمین در معماری بومی جهان**، فصلنامه علمی- پژوهشی باغ نظر، شماره ۱۵، صص ۱۳-۲۶.

توسلی، محمود (۱۳۸۱)، **ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران**، انتشارات پیام، تهران.

حناچی، پیروز و مهران، مهرداد (۱۳۸٦)، **سیاست‌ها، الگوها و نمونه‌های احیاء در بافت روستای میمند**، نشریه ی علمی پژوهشی هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، شماره ۳۰، صص ۵۳-٦۲.

حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، **برنامه‌ریزی انرژی در ایران (با تکیه بر بخش ساختمان)**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

ذوالفقاری، حسن (۱۳۸۹)، **آب و هوا شناسی توریسم**، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، تهران.

سبزی پرور، علی اکبر. طبری، حسین و آیینی، علی (۱۳۸۹)، **برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی**، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ٥٤، ۱۲۵-۱۳۷.

سید صدر، سید ابوالقاسم (۱۳۸۱)، **دایرۀ المعارف معماری و شهرسازی(مصور)**، انتشارات آزاده، تهران.

فلاح فر، سعید (۱۳۸۹)، **فرهنگ واژه‌های معماری سنتی ایران**، نشر کاوش پرداز، تهران.

قاسمی سیچانی، مریم (۱۳۹۱)، **خانه‌های اصفهان**، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.

قبادیان، وحید (۱۳۸۵)، **بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

قبادیان، وحید و فیض مهدوی، محمد (۱۳۸۵)، **طراحی اقلیمی**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

قیابکلو، زهرا (۱۳۹۲)، **مبانی فیزیک ساختمان ٤ (سرمایش غیر فعال)**، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، تهران.

کسمایی، مرتضی، (۱۳۸٤)، **اقلیم و معماری**، انتشارات نشر خاک، اصفهان.

محمودی، محمد مهدی (۱۳۸۸)، **توسعه ی مسکن همساز با توسعه ی پایدار**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

مزیدی، احمد و فلاح زاده، فاطمه (۱۳۹۰)، **روند دمای سالانه خاک در ایستگاه یزد**، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره ۲٤، صص ۳۹-۵۰.

معماریان، غلامحسین (۱۳۸٦)، **آشنایی با معماری مسکونی ایران(گونه شناسی درونگرا)**، انتشارات سروش دانش، تهران.

معماریان، غلامحسین (۱۳۸٤)، **آشنایی با معماری اسلامی ایران(ساختمانهای درون شهری و برون شهری)**، انتشارات سروش دانش، تهران.

میریان، صدیقه سادات و خلجی اسدی، مرتضی و رضایی حریری، محمد تقی (۱۳۹۰)، **امکان سنجی استفاده از سیستم لوله‌های زیرزمینی جهت تامین درصدی از انرژی بنا**، نشریه ی علمی پژوهشی هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، شماره ٤٦، صص ۵۱-٦۲.

نادی، محمد رضا (۱۳۹۱)، **طراحی مجتمع پایدار در اقلیم گرم و خشک: مطالعه ی موردی شهر نجف آباد**. پایان نامه ی کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشگاه آزاد سلامی واحد علوم و تحقیقات مرکزی. دانشکده ی معماری و شهرسازی، صفحه ٦۰.

نادی، محمد رضا (۱۳۹۰)، **آسایش در پناه خاک (راهکار پایداری در بوم بیابانی)**، اولین همایش ملی بوم‌های بیابانی، گردشگری و هنرهای محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، صص ۱-۱۰.

Faghih, N. Othuman Mydin MA & Ismail MR (2013). **Ancient Climate Architectural Design Approach**. European Researcher journal; (47) 3-4: 978 – 985.

Soflaee, F & Shokhouhian, M (2007). **Environmental effect courtyard in sustainable architecture of Iran (Hot-arid regions, meso-climate BWks) - (Case study: courtyard houses in Isfahan & Kerman)**. 2nd PALENC conference and 28th AIVC conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in in the 21st Century, Crete Island, Greece, p:988-994.