نقش جرم حرارتی خاک در کنترل شرایط محیطی ساختمان

برداشت میدانی در تعدادی از بناهای تاریخی شهر کاشان[1]

منصوره طاهباز[2]

دانشیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

شهربانو جلیلیان[3]

فاطمه موسوی[4]

کلیدواژگان: جرم حرارتی، زیرزمین، نوسان دما، اقلیم خرد، اقلیم محلی.

چکیده

ایرانیان باستان در مناطقی با توپوگرافی مناسب و زمین مستحکم از خاصیت جرم حرارتی زمین برای فراهم آوردن شرایط حرارتی مناسب در تابستان و زمستان‌های سخت استفاده می‌کرده‌اند. برای بررسی این موضوع و تعیین میزان کارایی فضاهای زیرزمینی در مناطق گرم و خشک ایران، در این مقاله به تحقیق میدانی در تعدادی از بناهای تاریخی شهر کاشان در تابستان و زمستان ۱۳۹۰ و زمستان ۱۳۹۲ پرداخته شده است. برای دستیابی به این هدف زیرزمین‌هایی با عمق‌های متفاوت (۳–، ۶–،۱۲–، و ۱۴– متر) برای برداشت اطلاعات انتخاب و سپس از دستگاه هواشناسی کسترل برای جمع‌آوری داده‌ها در این فضاها استفاده شد. همچنین برای ثبت اطلاعات محلی، یک دستگاه هواشناسی نیز به صورت ثابت و مرجع، روی بام نصب گردید. برای مقایسهٔ شرایط گرمایی فضاهای انتخابی با شرایط آسایش گرمایی انسان در داخل ساختمان، از نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که، زمانی که دمای هوای محلی در روز و شب تابستان بین ۲۷ تا ۴۳ درجهٔ سانتی‌گراد است، دمای هوا در زیرزمین‌های مختلف بین ۲۳ تا ۲۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. در زمستان در حالی که دمای هوای محلی بین ۳ تا ۱۴ درجه در شب و روز متغیر است، دمای هوا در زیرزمین‌ها بین ۱۰ تا ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد و تغییرات کم آن مرتبط با عمق زیرزمین یا امکان تبادل هوا با بیرون است. این امر نشان‌دهندهٔ تأثیر مهم جرم حرارتی خاک بر کنترل تغییرات دمایی در تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد منطقهٔ خشکی نظیر کاشان است.

مقدمه

استفاده از خاصیت جرم حرارتی خاک، راه‌حل کارآمدی برای کاهش نوسانات روزانه و سالیانه دما است. در گذشته ایرانیان برای مقابله با شرایط نامطلوب اقلیم‌های گرم یا سرد، از این خاصیت استفاده کرده و در داخل زمین پناه گرفته‌اند. زیرا زمین تنها مخزنی است که حرارت اضافی ساختمان می‌تواند مستمراً با هدایت بدان منتقل شود، آن‌چنان‌که تبادل حرارتی با محیط به حداقل برسد. بیش از یک قرن است که تحلیل‌های مربوط به دمای زمین موضوع مطالعه بسیاری

۱. این تحقیق، که حاصل یک تحقیق میدانی داوطلبانه بوده، با حمایت دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه کاشان و با اجازه از مدیریت خانهٔ عامری‌ها و خانهٔ احسان انجام گرفته است؛ نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از همهٔ آن عزیزان قدردانی و تشکر کنند.

۲. نویسندهٔ مسئول؛
m-tahbaz@sbu.ac.ir

۳. کارشناس ارشد معماری از دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی؛
Shahrbanoodjalilian@Yahoo.com

۴. کارشناس ارشد معماری از دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی؛ مدرس دانشگاه آزاد اسلامی، واحد غرب تهران؛
Mousavi484@Yahoo.com

پرسش‌های تحقیق

۱. جرم حرارتی خاک تا چه میزان بر تعدیل شرایط گرمایی فضاهای داخل بنا اثرگذار است؟

۲. آیا تأثیر جرم حرارتی خاک می‌تواند تا حدی باشد که دمای داخلی را تا محدودهٔ آسایش حرارتی انسان تعدیل کند؟

۳. در اقلیم کویری شهر کاشان، معماری زیرزمینی بناهای گودال‌باغچه چه تأثیری در تعدیل شدت گرمای تابستان و سرمای زمستان دارد؟

از علوم بوده است. یکی از اولین تحقیقات در این زمینه را لرد کلوین انجام داد که نتایج آن تحت عنوان «مشاهدات بر کاهش دمای زیرزمین» در سال ۱۸۶۱ انتشار یافت[۵]. مطالعات معاصر نشان می‌دهد که خاصیت عایق‌کنندگی زمین بسیار کم، اما جرم حرارتی آن زیاد است و جرم حرارتی موجب تأخیر زمانی در انتقال حرارت می‌شود و در شرایطی که نوسان روزانهٔ دمای هوا زیاد باشد، ظرفیت حرارتی خیلی بیشتر از عایق حرارتی اهمیت خواهد داشت. در مقالهٔ حاضر با استفاده از برداشت‌های میدانی انجام‌شده در تعدادی از ساختمان‌های زیرزمینی شهر کاشان، در شرایط گرم تابستان و سرد زمستان، این پدیده بررسی شده است. آشنایی با میزان کارآمدی فضاهای زیرزمینی و شناخت شگردهای به‌کاررفته در آن‌ها می‌تواند مقدمهٔ مناسبی را برای رسیدن به راه‌حل‌هایی برای بهبود شرایط گرمایی بناهای معاصر فراهم کند.

۱. ملاحظات تئوری

ساختمان‌سازی در زیرزمین همواره مورد توجه انسان بوده و در طول تاریخ و در بیشتر سرزمین‌ها می‌توان نمونهٔ ساختمان‌های زیرزمینی را مشاهده کرد. از مزیت‌های ساختمان‌سازی در درون زمین، کاهش بارهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان، امکان افزایش فضای سبز در محوطه، مقاومت ساختمان در برابر آتش‌سوزی، سکوت آکوستیکی زیاد، کاهش مساحت سطح خارجی ساختمان از لحاظ حفظ انرژی، و کاهش دید از ساختمان به خارج است. از معایب این نوع ساختمان‌ها، افزایش بارهای سازه‌ای، گرانی سیستم‌های ضد آب به‌کاررفته در بام که برای تعمیر نیز در دسترسی نیستند، لزوم کنترل رطوبت برای جلوگیری از میعان در اقلیم‌های سرد و مرطوب، و لزوم نصب درز حرارتی برای جلوگیری از دفع گرما به صورت هدایت از طریق دیوارهای سازه‌ای و سقف در فصول سرد است[۶]. مزایای استفاده از زمین در بهبود شرایط ساختمان، موجب تمایل به ساختمان‌سازی در درون زمین می‌شود. برای آشنایی با ویژگی‌های حرارتی جرم خاک در اینجا برخی مبانی تئوری مرور می‌شود.

۱. ۱. جرم حرارتی خاک

استفاده از مصالح رسانا و با جرم زیاد در ساختمان، موجب جذب و آزاد سازی تدریجی گرما می‌شود. در این حالت، دمای میانگین بدون تغییر باقی می‌ماند و

۵. دانلد واتسون و کنت لب، *طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*، ص ۹۰.
۶. فولر مور، *سیستم‌های کنترل محیط زیست (تنظیم شرایط محیطی در ساختمان)*، ص ۲۷۶.

تنها دماهای کمینه و بیشینهٔ در دو سوی این میانگین با کاهش نوسان مواجه خواهند شد. از سوی دیگر، گرمای محیط پس از ورود به مصالح و قبل از آنکه از سمت دیگر آن به داخل ساختمان وارد شود، باید از کل ضخامت جداره عبور کند. اگر مصالح این جداره‌ها از جنس مصالح رسانا و جرم آن‌ها زیاد باشد یک تأخیر زمانی عمده نیز در سیستم ایجاد خواهد شد. این دو تأثیر متمایز اغلب در ساختمان‌های حجیم سنتی، که حداقل مصالح عایق‌کننده در آن‌ها به کار رفته، به‌وضوح دیده می‌شود[۷]. از طرف دیگر، زمین، مهم‌ترین منبع جرم حرارتی، تحت تأثیر تابش‌های خورشیدی بسیار گرم می‌شود و دمای آن افزایش می‌یابد. دامنهٔ نوسان دمای این سطح نمایشگر بیشترین انحراف دما از دمای متوسط سالانه است. همان‌گونه که انرژی تابشی خورشیدی بر روی سطح افقی با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند، نوسان سالانهٔ دمای سطح زمین نیز با عرض جغرافیایی ارتباط دارد. بدین ترتیب دمای خاک نزدیک به سطح زمین، از دمای هوا تبعیت می‌کند و از تابستان تا زمستان نوسانات گسترده‌ای دارد[۸]. سایه‌اندازی بر سطح خاک عاملی است که می‌تواند به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از بیشینهٔ دمای آن بکاهد. همچنین آبی که مستقیماً از سطح خاک تبخیر می‌گردد نیز آن را خنک می‌کند، به طوری که ترکیب این دو با یکدیگر می‌تواند دمای سطح خاک را تا حدود ۸ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دهد[۹]. با افزایش عمق، نوعی تأخیر زمانی در دماها ایجاد می‌شود. به طور مثال در طول یک سال، دمای بیشینهٔ خاک در عمق حدود سه و نیم متری، معمولاً سه ماه بعد از دمای بیشینه در سطح زمین رخ می‌دهد[۱۰] به دلیل این تأخیر زمانی، دمای خاک با افزایش عمق نوسان کمتر و کمتری خواهد داشت. در عمق حدود ۶ متری نوسانات تابستانی‌ـ زمستانی تقریباً محو می‌شود و دمای ثابتی در طول سال ایجاد می‌شود که برابر با میانگین سالانهٔ دمای هوا است. در عین حال دمای زمین همواره پایین‌تر از بیشینهٔ دمای هوا بوده و با افزایش عمق، مقدار این اختلاف افزایش می‌یابد[۱۱].

۱. ۲. ساختمان‌سازی درون زمین

برای درک مزایای ساختمان‌سازی درون زمین باید ویژگی‌های حرارتی خاک و سنگ را شناخت. ویژگی‌های حرارتی خاک بسته به نوع، فشردگی، و رطوبت آن متفاوت است[۱۲] . به طور کلی خاصیت عایق‌کنندگی زمین بسیار کم است. مقاومت حرارتی ۳۰ سانتی‌متر خاک برابر مقاومت حرارتی ۲/۵ سانتی‌متر چوب است و بیش از ۳ متر خاک لازم است تا مقاومت حرارتی معادل یک دیوار کلاف‌دار و عایق‌بندی‌شده فراهم شود. بنا بر این زمین جانشینی برای عایق‌بندی نیست، بلکه به دلیل جرم زیاد می‌تواند مزیت تأخیر زمانی ایجاد کند. خاک در مقادیر کم می‌تواند، مانند یک ساختمان پرجرم، گرمای روز را به تأخیر اندازد و کاهش دهد. در مقادیر زیاد تأخیر زمانی خاک حدود شش ماه است[۱۳]. بدین ترتیب زمین در زمستان گرم‌تر و در تابستان خنک‌تر از هوا است. بنابراین فضاهای زیرزمینی محیطی ملایم‌تر از دمای ساختمان در بالای زمین فراهم می‌آورد. با کاهش عمق از سطح زمین، دمای خاک به دمای هوا نزدیک می‌شود (ت ۱).

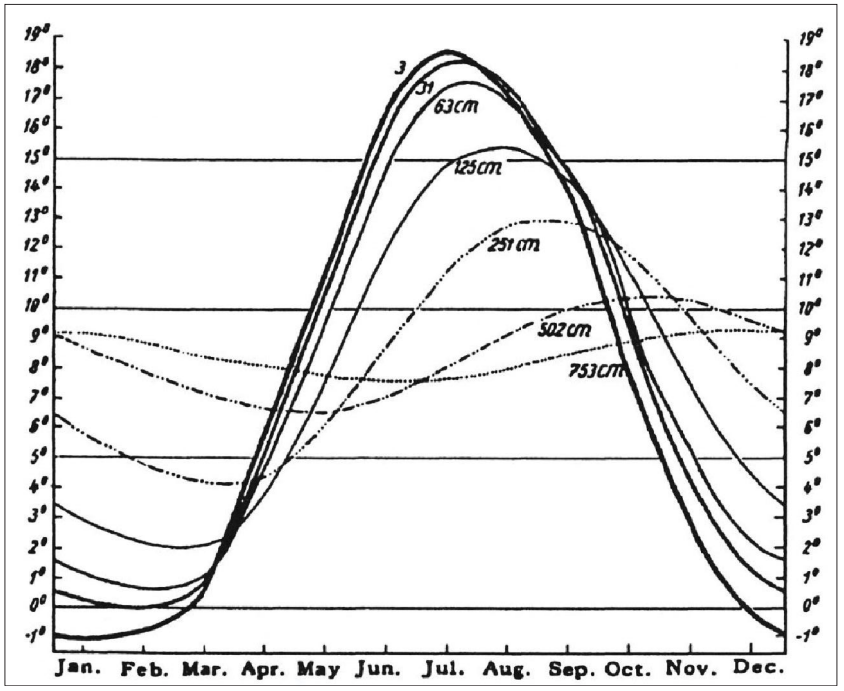
ساختمان‌سازی در درون زمین محسنات و مشکلاتی به همراه دارد که امکان استفاده از آن را به مناطق اقلیمی خاصی محدود کرده است. با توجه به مشکلات رطوبت و نشت آب‌های زیرزمینی و سیلاب‌ها، مناطق مرطوبی که رطوبت نسبی بالا و یا میزان رطوبت قابل‌ملاحظه در هوا و خاک دارند، همچنین مناطقی که نزدیک به آب‌های سطحی بزرگ مثل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و دریاها هستند و بستر آب‌های زیرزمینی در عمق کمی از سطح زمین قرار دارد، ساخت‌وسازهای زیرزمینی با مشکلات عدیده‌ای همراه است. در حالی که در مناطق گرم و خشک که زمستان‌ها در آن‌ها سرد و تابستان‌ها گرم است و معدل دمای سالیانهٔ آن‌ها بیش از ۱۵/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است، از یک طرف، امکان استفاده از سرمایش خاک در تابستان‌های گرم را دارند و از طرف دیگر، پس دادن گرمای بنا به خاک در زمستان در آن‌ها مشکلی جدی نخواهد بود[۱۴]. بررسی ساختمان‌های بومی زیرزمینی نشان می‌دهد که اکثر

۷. همان، ص ۲۷۳.
۸. واتسون و لب، همان، ص ۹۰ و ۹۱.
۹. نربرت لکنر، *گرمایش، سرمایش، روشنایی*، ص ۲۹۵.
۱۰. مور، همان، ص ۲۷۵.
۱۱. لکنر، همان، ص ۴۷۷
۱۲. برای کسب اطلاعات بیشتر و آشنایی با روش‌های محاسباتی رجوع کنید به: واتسون و لب، همان، ص ۹۱– ۹۵.
۱۳. لکنر، همان، ص ۲۹۵.
۱۴. لکنر، همان جا.

آن‌ها در مناطق گرم و خشک بنا شده‌اند. در این مناطق اتصال مستقیم ساختمان با زمین به این معنی که عایق‌بندی کمی در دیوارها باشد، امکان تبادل حرارت ساختمان با خاک عمیق زمین را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه دمای عمق خاک در تابستان همواره کمتر از دمای هوا و در زمستان بیشتر تر از آن است (ت ۱)، در تابستان‌های گرم اتصال مستقیم به زمین یک منبع سرمایش است و می‌تواند دمای فضاهای درون زمین را متناسب با عمق آن کاهش دهد. در زمستان‌ها نیز اگرچه دمای خاک در زیرزمین در حد آسایش نیست، ولی به میزان قابل‌ملاحظه‌ای گرم‌تر از دمای هوای شب است و همین امر مانع از انتقال و هدررفت گرمای هوای فضاهای زیرزمینی می‌شود[۱۵].

با توجه به کاربرد فراوان بناهای زیرزمینی، خصوصاً به صورت گودال‌باغچه در شهر کاشان با اقلیم گرم و خشک، در این مقاله به مشاهده و اندازه‌گیری میزان تعدیل دمای هوا در بناهای زیرزمینی این شهر، به طور نمونه‌ای از معماری زیرزمینی، پرداخته شده تا میزان تأثیر و شرایط اثرگذاری عمق خاک بر انواع نمونه‌های مورد مطالعه در اوج گرمای تابستان و اوج سرمای زمستان بررسی شود.

۱۵. لکنر، همان، ص ۴۷۸.



ت ۱. تأثیر دمای هوا بر دمای خاک در عمق‌های مختلف زمین در ماه‌های مختلف سال، مأخذ: Geiger et. al., 2003, p. 59

۲. روش انجام تحقیق

زندگی در بناهای زیرزمینی بخش وسیعی از تاریخ بشر را در بر می‌گیرد. استفاده از این شیوه از زمان سکونت در غارها آغاز شده است. در ایران نمونه‌های متنوعی از بناهای زیرزمینی هست. روستاهای کندوان و میمند نمونهٔ صخره‌ای این نوع بناها هستند. از انواع دیگر ساخت‌وسازهای درون زمین می‌توان به شوادان‌های دزفول و شوشتر، و اتاق‌های اطراف گودال‌باغچه‌ها و سرداب‌های یزد و کاشان اشاره کرد.

در این تحقیق چند فضای زیرزمینی با عمق‌های متفاوت در بناهای تاریخی کاشان بررسی شده‌اند. به منظور مقایسهٔ این نتایج با بناهای واقع در روی زمین، فضایی در طبقهٔ همکف و اتاقی در طبقهٔ اول در یکی از همان بناها به طور نمونهٔ شاهد انتخاب و از دستگاه‌های قابل‌حمل هواشناسی برای اندازه‌گیری درجه حرارت و میزان رطوبت این فضاها استفاده شد. دستگاه واقع در بام بنا شرایط اقلیم محلی را ثبت کرد و آمار شهر کاشان در روزهای مشاهده و اطلاعات طولانی‌مدت این شهر از سایت سازمان هواشناسی برداشت شد. اطلاعات حاصل به کمک برنامهٔ اکسل پردازش و با یکدیگر مقایسه گردید. بررسی هم‌زمان اطلاعات روزهای مشاهده و آمار طولانی‌مدت کاشان، بیانگر رابطهٔ اقلیم روزهای برداشت با اقلیم متداول شهر کاشان است. مقایسهٔ اطلاعات بام با اطلاعات همان روز در ایستگاه هواشناسی کاشان، تفاوت‌های میان اقلیم محلی و اقلیم میانه را آشکار می‌کند و مقایسهٔ اطلاعات هر فضا با اطلاعات روی بام، که نمایندهٔ اقلیم محلی است، نقش فضاهای زیرزمینی در تعدیل شرایط اقلیم محلی را نشان می‌دهد. در ادامه نتایج حاصله در مقایسه با معیارهای آسایش حرارتی، معرف میزان

تطابق شرایط گرمایی فضاهای زیرزمینی با نیازهای حرارتی انسان است. معیار آسایش زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی[۱۶] برای تحلیل شرایط گرمایی هوای داخل فضاها انتخاب شد، زیرا در این نمودار قابلیت جداره‌های ساختمانی در تعیین وضعیت گرمایی انسان در نظر گرفته شده ومناسب‌ترین معیار برای این منظور است[۱۷] (ت ۲).

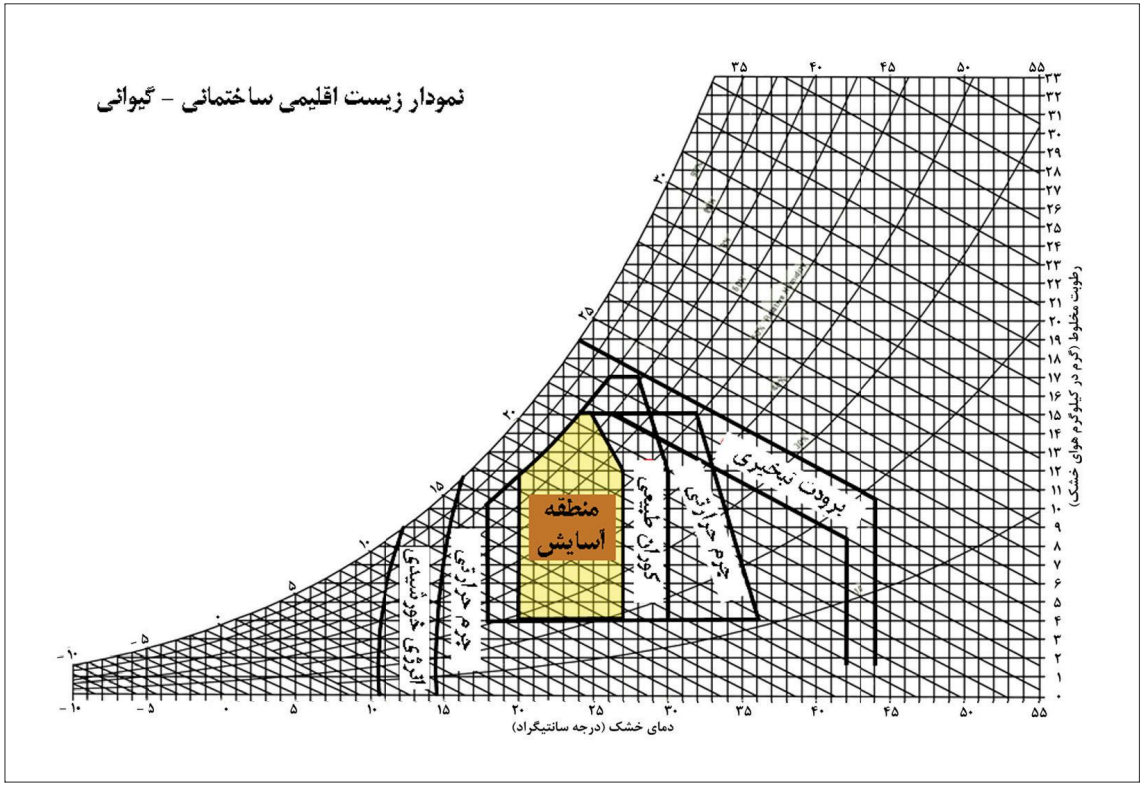
۳. مطالعات میدانی

۳. ۱. معرفی شرایط آب و هوایی کاشان

شهر کاشان از قدیمی‌ترین و تاریخی‌ترین شهرهای استان اصفهان است و در کویر مرکزی ایران قرار دارد. این شهر در ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی در ارتفاعی حدود ۹۸۲ متر از سطح دریا قرار گرفته و تابستان‌های آن گرم و خشک و زمستان‌ها سرد است. شدت گرما در تابستان گاه به ۴۷ درجه و شدت سرما در زمستان گاه به ۱۰- درجه می‌رسد[۱۸]. به دلیل تابستان‌های گرم و خشک، زمستان‌های سرد، سوزبادهای زمستانی، گردبادهای همراه با گرد و غبار کویری در تابستان نشان‌دهندهٔ اقلیم خشن این شهر است[۱۹].

۳. ۲. معرفی فضاهای مورد مطالعه

از میان بناهای تاریخی کاشان، چند فضای زیرزمینی شامل زیرزمین حیاط یوسفیان مجموعه عامری‌ها با عمق ۳ متر از



ت ۲. معیار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی، مأخذ: طاهباز، *دانش اقلیمی- طراحی معماری*، ص ۵۳.

۱۶. محمود رازجویان، *آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم*، ص ۴۰ -۵۴.

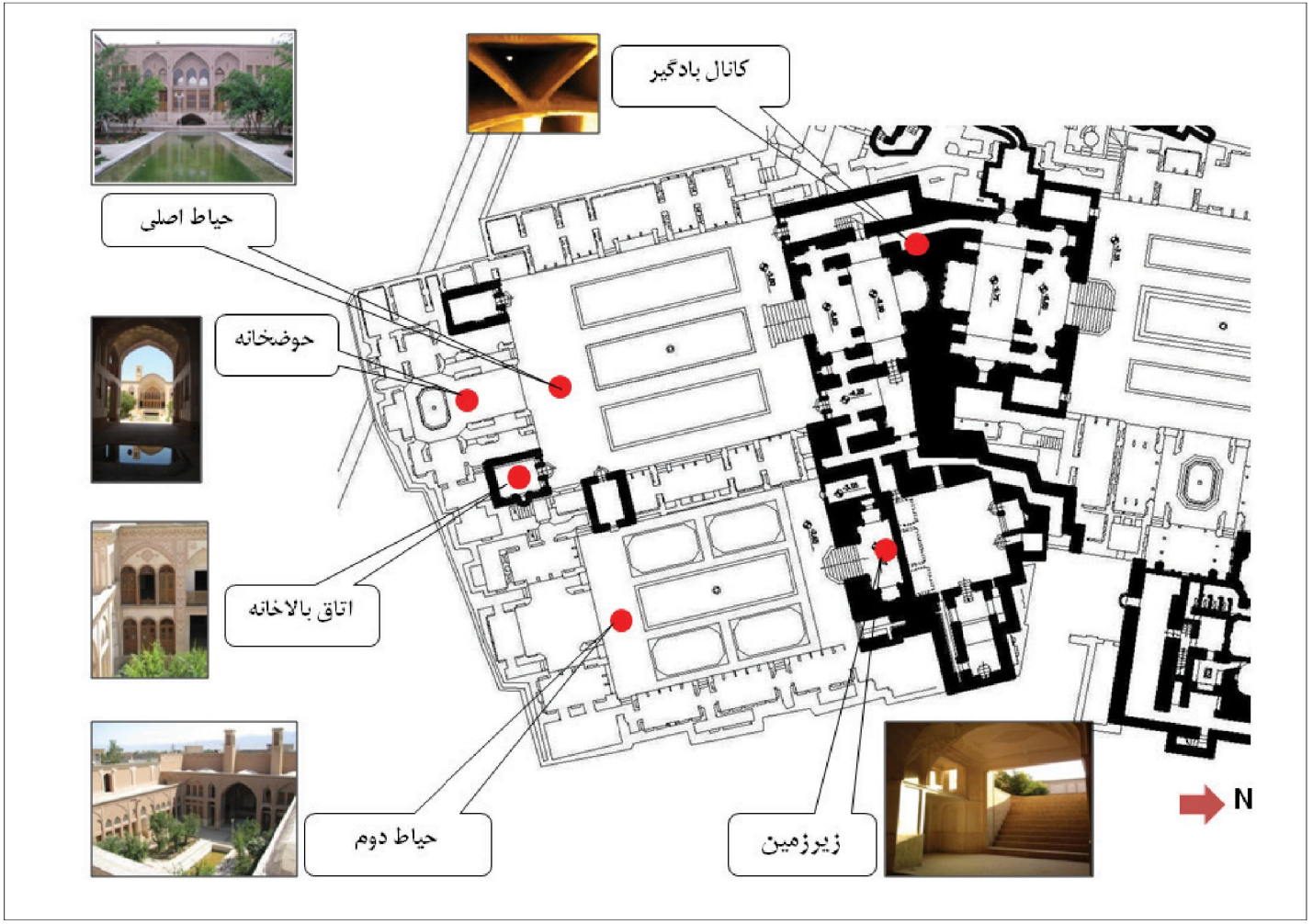
۱۷. معیار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی در مقایسه با سایر معیارهای آسایش داخل ساختمان مناسب‌تر است، زیرا بر زمینهٔ نمودار سایکرومتریک تهیه شده و علاوه‌بر شرایط آسایش انسان، عوامل دیگری از جمله اثر جرم حرارتی مصالح ساختمانی نیز در آن در نظر گرفته شده است (طاهباز، *دانش اقلیمی- طراحی معماری*، ص ۵۲).

۱۸. سایت سازمان هواشناسی، ایستگاه هواشناسی کاشان: www.irimo.ir

۱۹. بنیاد فرهنگ کاشان، http://www.kashanica.com/index/house/housedetail/24

کف حیاط، سه فضای دستکند خانهٔ احسان به عمق ۸ و ۱۲ متر از کف کوچه، سرداب مسجد آقابزرگ به عمق ۶ متر از کف کوچه و پاشیر آب‌انبار بازار کاشان به عمق ۱۴ متر از کف بازار، برای انجام برداشت‌های میدانی در گرم‌ترین روزهای تابستان و سردترین روزهای زمستان انتخاب شد. برای آشنایی بیشتر خلاصه‌ای از سابقهٔ تاریخی این بناها بیان می‌شود:

ـ مجموعـهٔ عامری‌ها شـامل ۷ حیـاط و حـدوداً ۸۵ اتاق اسـت. معماری آن به صورت گودال‌باغچه است و در همهٔ حیاط‌های این خانه سیستم حوضخانه و گردش جریان آب طراحی شده که در تابستان استفاده می‌شده است[۲۰]. در این مجموعـه زیرزمین رو به جنوب، واقع در حیاط یوسـفیان نمونهٔ اصلی و حیاط ابراهیم‌خان و اتاق بالاخانه و حوضخانه



۲۰. نک: «کاشان شهری با هفت‌هزار سال قدمت».

ت ۳. خانهٔ عامری‌ها و فضاهای انتخابی، مأخذ: نگارندگان.

واقع در این حیاط نمونهٔ شاهد انتخاب شدند (ت ۳).

ـ خانهٔ احسان بیش از صد سال قدمت دارد و از خانه‌های قدیمی کاشان است که دو حیاط مجزای اندرونی و بیرونی دارد[۲۱]. از این خانه سه فضای زیرزمین دستکند (۱ و ۲ و ۳) واقع در حیاط گودال‌باغچه به منزلهٔ نمونهٔ اصلی و حیاط گودال‌باغچه (۱۰) و اتاق جلوی فضای دستکند (۵) و اتاق مقابل بهارخواب رو به جنوب (۸) نمونهٔ شاهد انتخاب شدند (تصویر ۴).

۲۱. بنیاد فرهنگ کاشان، http://www.kashanica.com/index/house/housedetail/24

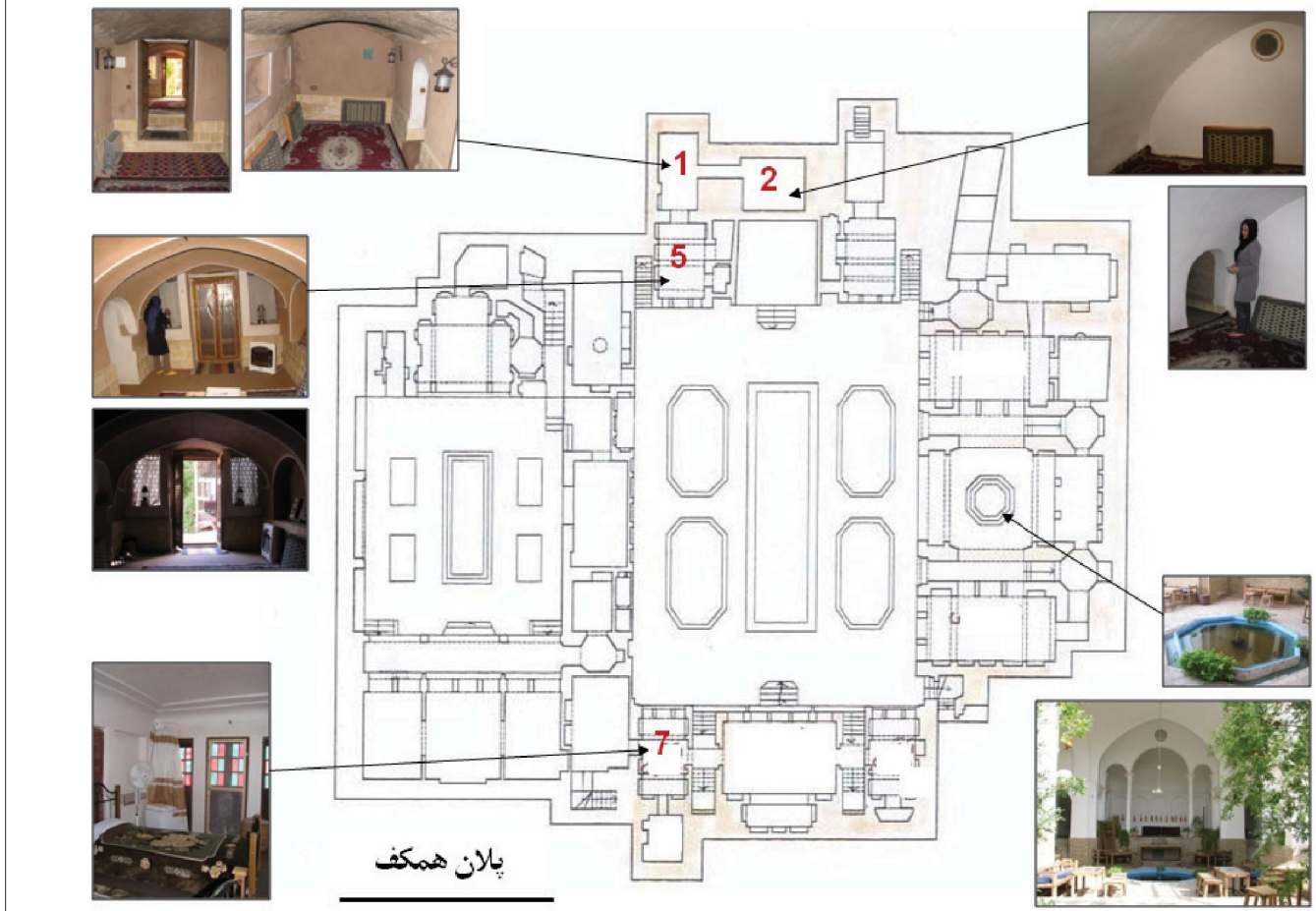
ت ۴. دستکندهای خانهٔ احسان و اتاق‌های اندازه‌گیری‌شده، مأخذ: نگارندگان.

ـ مدرسهٔ آقابزرگ کاشـان[۲۲] به سبک گودال‌باغچه ساخته شـده و فضاهای متعدد و متنوعـی دارد. از این مجموعه سـرداب واقع در حیاط گودال‌باغچه نمونهٔ اصلی و حجرهٔ واقع در ایـن حیاط، صفهٔ بزرگ جبهـهٔ جنوبی و فضای کتابخانـه واقـع در جبههٔ شـمالی نمونهٔ شـاهد انتخاب گردیدند (ت ۵).

ـ مجموعهٔ تاریخی بازار یکی از مهم‌ترین آثار تاریخی و دیدنی کاشان است که بخش‌های مختلف آن در طول زمان شکل گرفته اسـت. از جمله آب‌انبار و مسجد گذر نو که در حدود سـال ۱۲۳۱ قمری سـاخته شده اسـت[۲۳]. از این مجموعه فضای پاشـیر آب‌انبار نمونهٔ اصلی و محوطهٔ جلوی ورودی آب‌انبار و راستهٔ بازار نمونهٔ شاهد انتخاب گردیدند (ت ۶).

۲۲. عبـاس ولدی، مسـجد مدرسـه آقابزرگ کاشان:
http://abbas-valadi.persianblog.ir/post/122

ادامهٔ ت ۴.

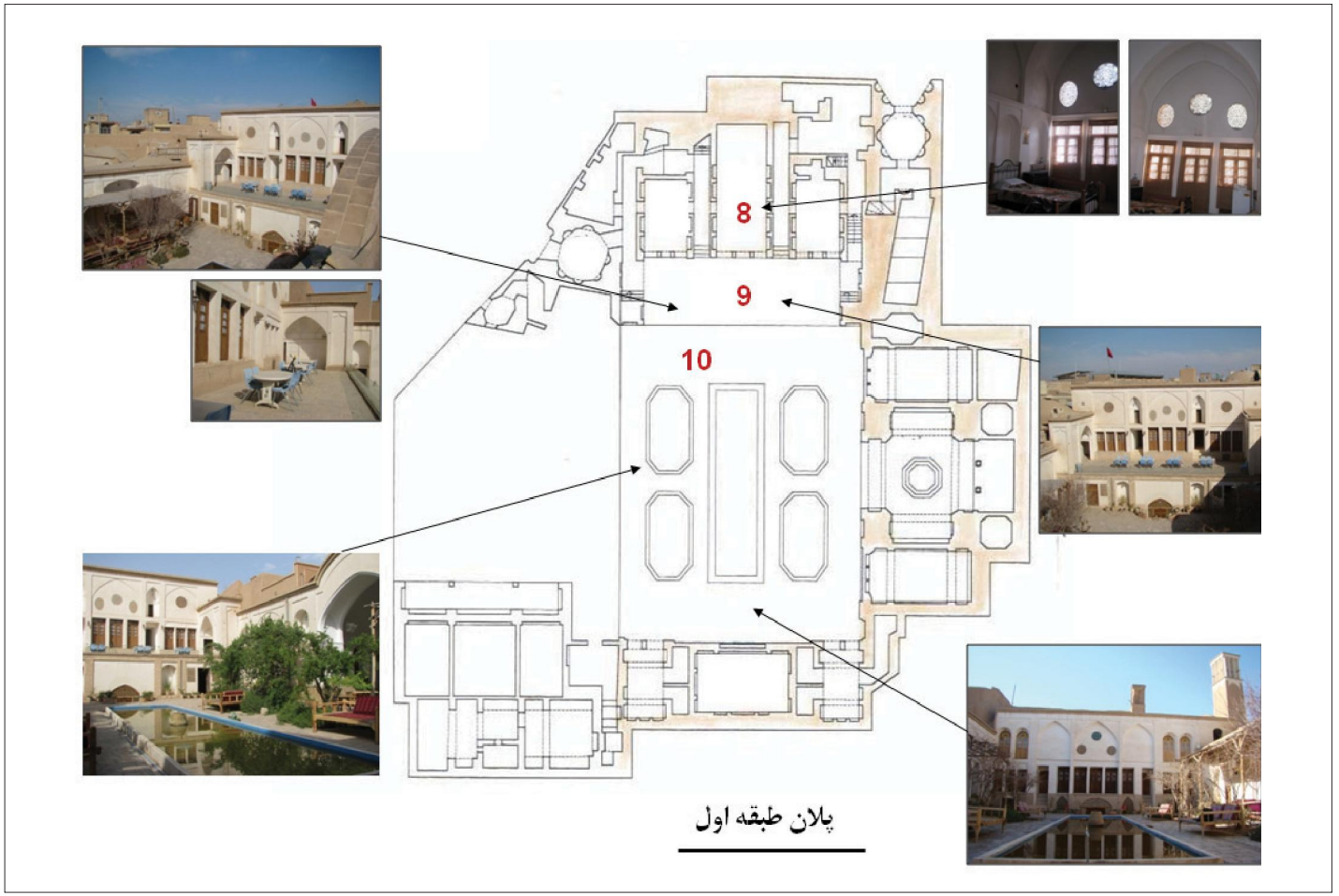


۳. ۳. گردآوری اطلاعات

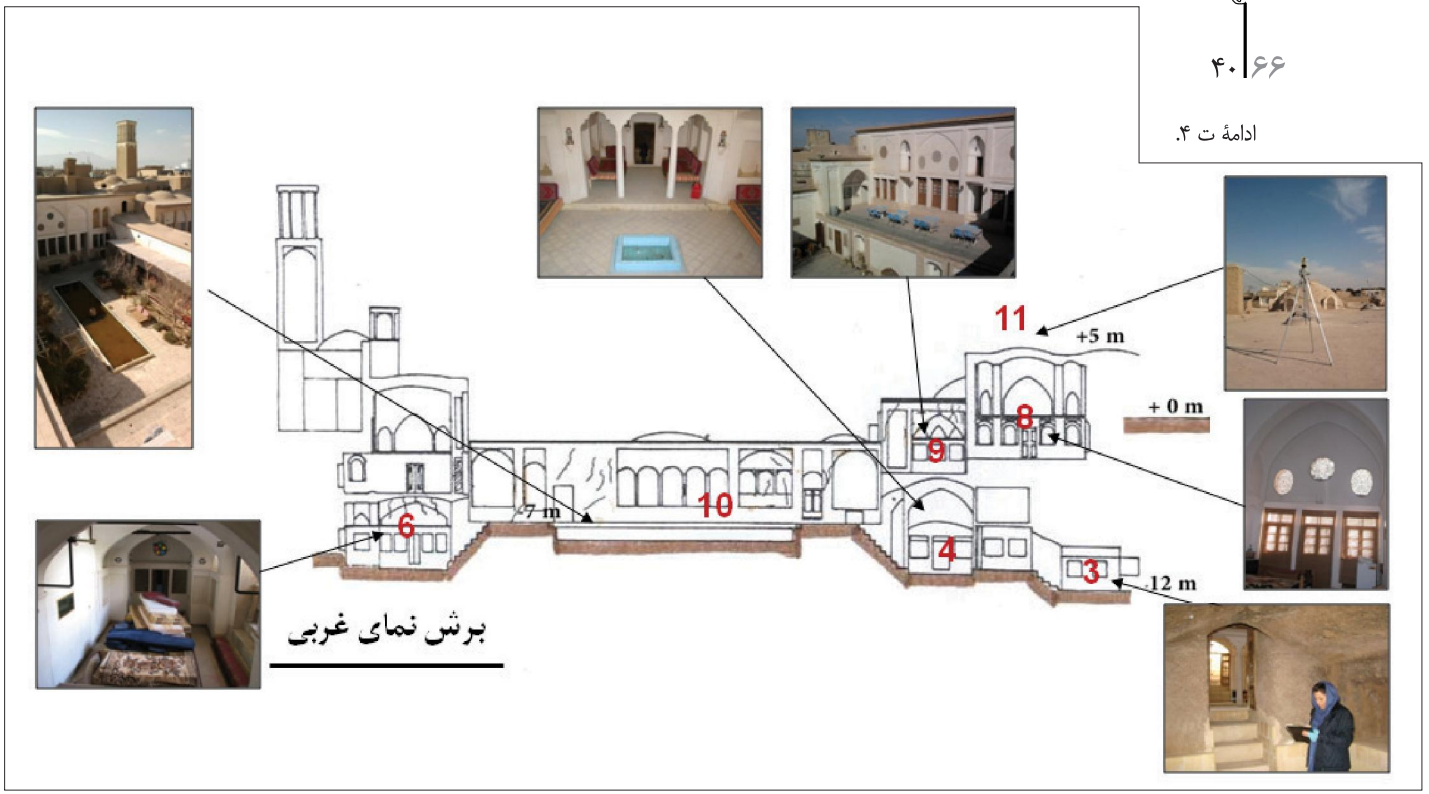
برداشت‌های میدانی در روزهای ۲۰ و ۲۱ تیر ماه ۱۳۹۰، ۲۰ تا ۲۲ دی ماه ۱۳۹۰ و ۱ تا ۲ تیر ماه ۱۳۹۲ یعنی در اوج گرمای تابستان و اوج سرمای زمستان انجام شده است. به منظور انجام برداشت‌های میدانی از دستگاه‌های کوچک هواشناسی قابل‌حمل به نام کسترل استفاده شد. یک دستگاه به صورت دستگاه مرجع برای ثبت شرایط اقلیمی در حد اقلیم محلی در بام خانه و در ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متری نصب گردید. سایر دستگاه‌ها برای شناخت شرایط حرارتی داخل بنا در فضاهای مورد بررسی و در تراز ارتفاعی ۷۰ سانتی‌متری (انسان نشسته روی زمین) قرار داده شدند. اطلاعات هواشناسی با این دستگاه‌ها در فواصل ۳۰ دقیقه ای برداشت و در حافظهٔ آن‌ها ذخیره شد. «ت ۷» محل استقرار دستگاه‌های ثابت و متحرک را نشان می‌دهد.

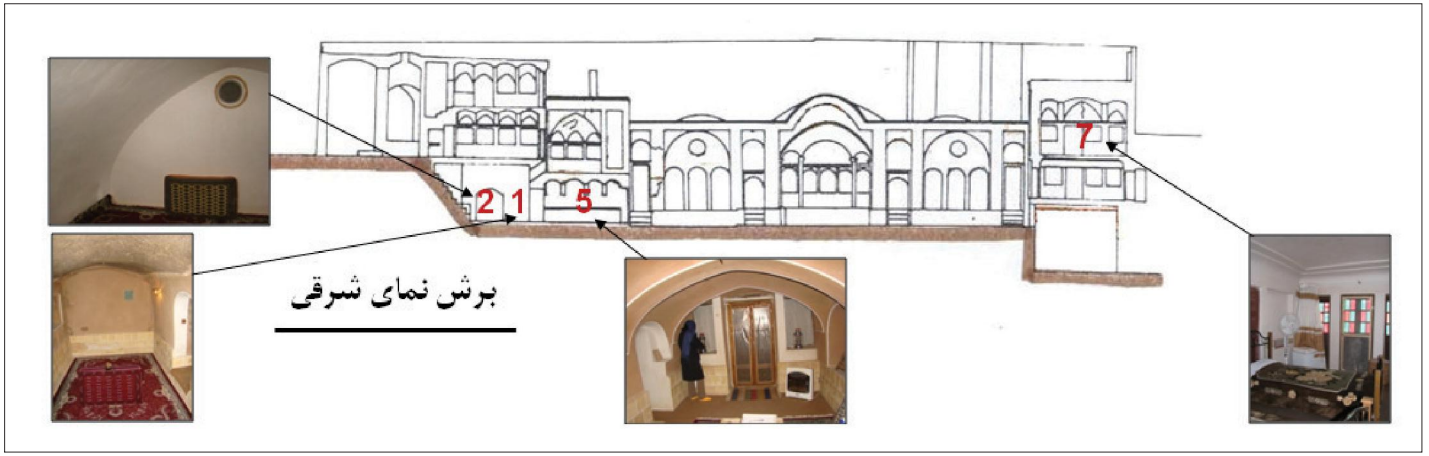
۲۳. نک: «کاشان شهری با هفت‌هزار سال قدمت»؛ رضا خیرخواه آرانی، *آب‌انبارهای کاشان*:
http://rezakh82.persianblog.ir/post/4

ادامهٔ ت ۴.



ادامهٔ ت ۴.

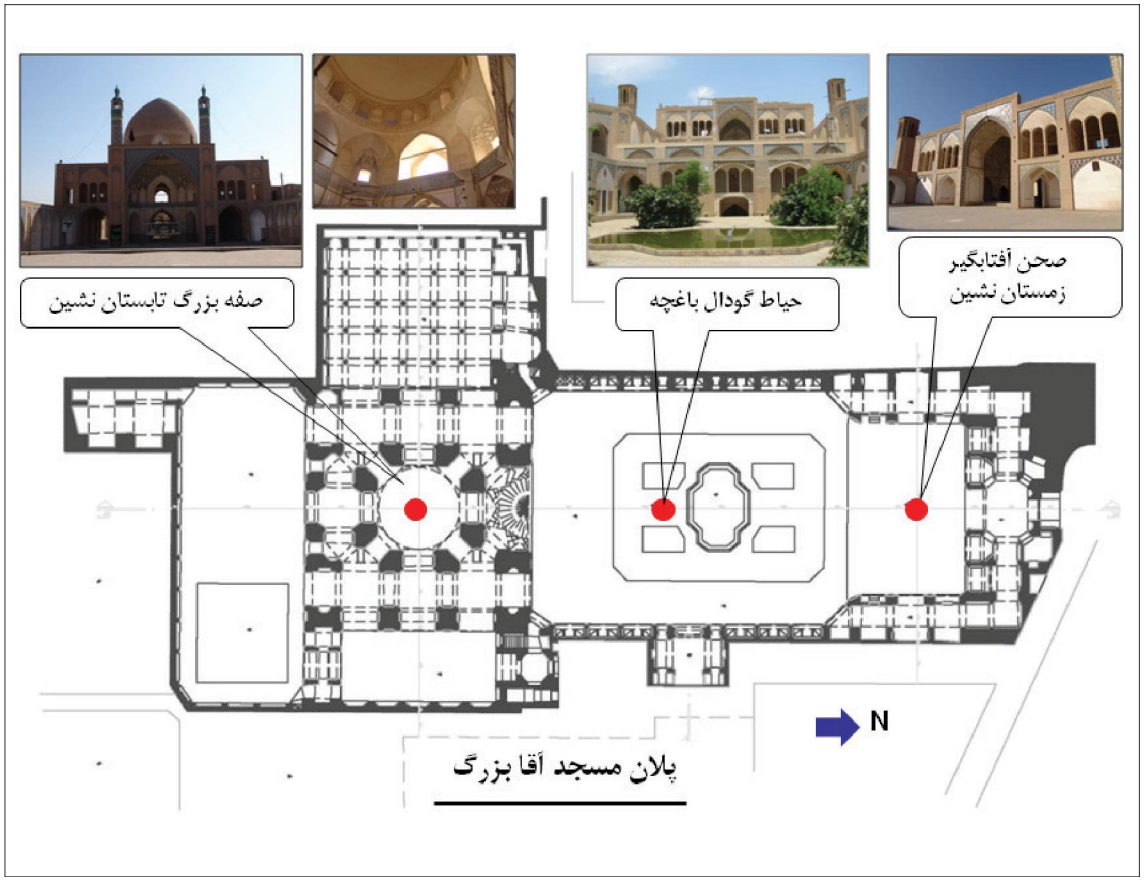




۴. تحلیل داده‌های میدانی

۴. ۱. تحلیل شرایط اقلیمی

به منظور ارزیابی شرایط گرمایی روزهای برداشت، در مقایسه با اقلیم متعارف شهر کاشان، میانگین حداقل و حداکثر دما و رطوبت نسبی روزهای برداشت (اقلیم شهری) با آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کاشان (ت ۸) مقایسه شد[۲۴]. این اطلاعات با نرم‌افزار سیکرون[۲۵] به نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی انتقال یافت (ت ۹). در این نمودار نقاط ریز پراکنده نشان‌دهندهٔ اقلیم بلندمدت کاشان و نقاط بزرگ نمایندهٔ داده‌های روزهای برداشت (۲۰ تا ۲۲ دی و ۲۰ تا ۲۱ تیر ۱۳۹۰) یعنی آمار کوتاه‌مدت است. مقایسهٔ این داده‌ها نشان می‌دهد که از یک سو، با گذشت زمان شرایط اقلیمی روزهای شهر گرم‌تر و خشک‌تر شده که این امر بیانگر نقش جزیرهٔ گرمایی بر ایجاد تغییرات اقلیمی است. از سوی دیگر، روزهای انتخاب‌شده برای برداشت، اعم از زمستان و تابستان، جزء گرم‌ترین و خشک‌ترین روزها در مقایسه با آمار بلندمدت مشابه است. داده‌های برداشت‌شده در شب نشان می‌دهد که تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در شرایط شبانهٔ اقلیم بلندمدت ایجاد نشده و شب‌های انتخابی نیز شرایط متعارفی دارند.



ت ۵. مسجد آقابزرگ و فضاهای انتخابی، مأخذ: نگارندگان.

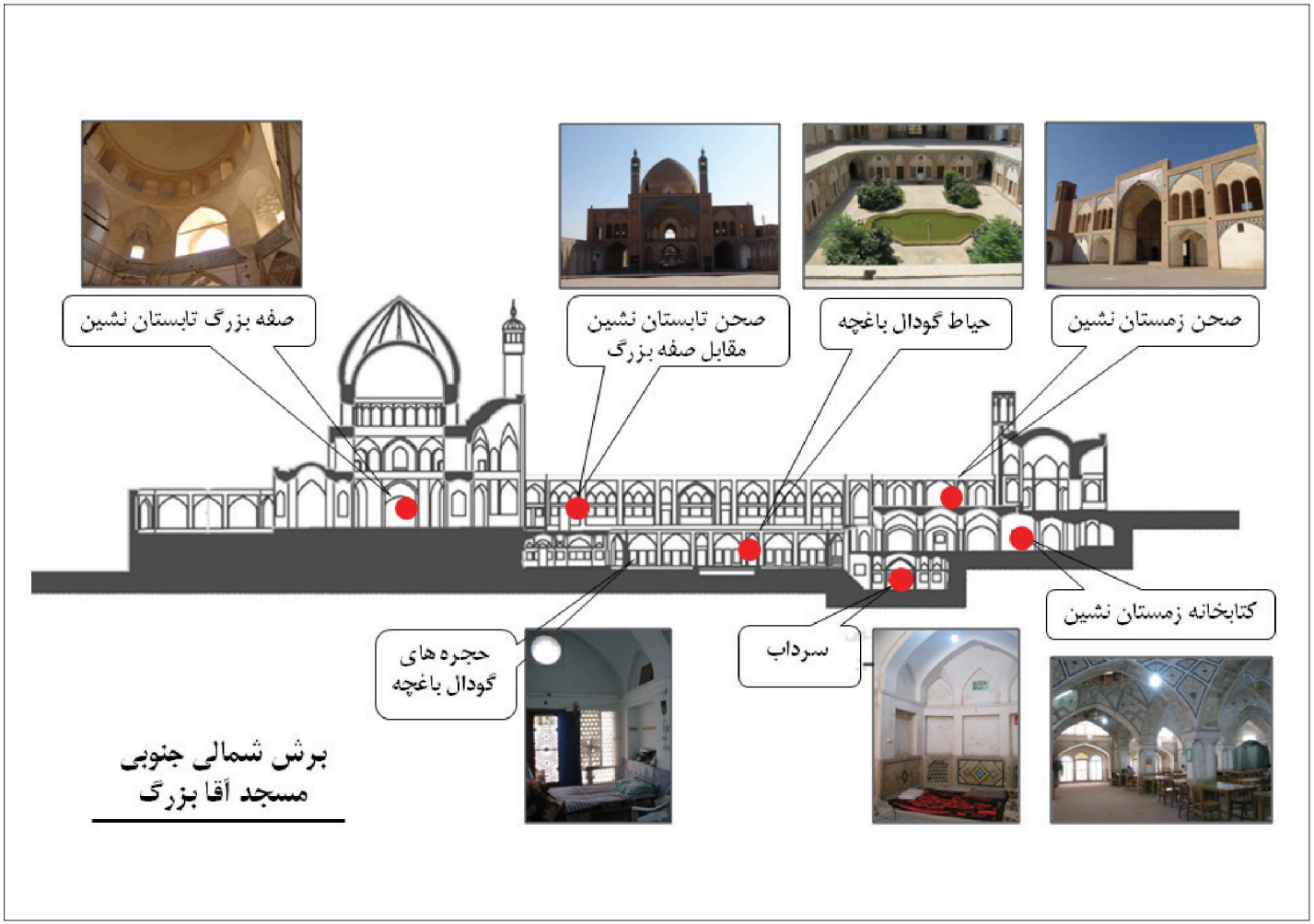
۴. ۲. تحلیل شرایط خرداقلیم در فضاهای مورد مطالعه

برای تحلیل شرایط خرداقلیم، داده‌های فضاهای مورد مطالعه با داده‌های دستگاه روی بام مقایسه و تأثیر جرم حرارتی بر تغییر شرایط حرارتی آن‌ها مشخص گردید.

ادامهٔ ت ۵.

۴. ۲. ۱. زیرزمین حیاط یوسفیان در مجموعه عامری ها

زیرزمین حیاط یوسفیان ۳ متر پایین‌تر از سطح حیاط و دهنهٔ آن به سمت حیاط باز است. مقایسهٔ شرایط زیرزمین با بام در فصول مختلف سال حاکی از آن است که با اینکه این زیرزمین با هوای بیرون رابطهٔ مستقیم دارد و تنها ۳ متر پایین‌تر از حیاط است، اما همواره نوسان دمایی آن کمتر از بام و تغییرات شرایط گرمایی

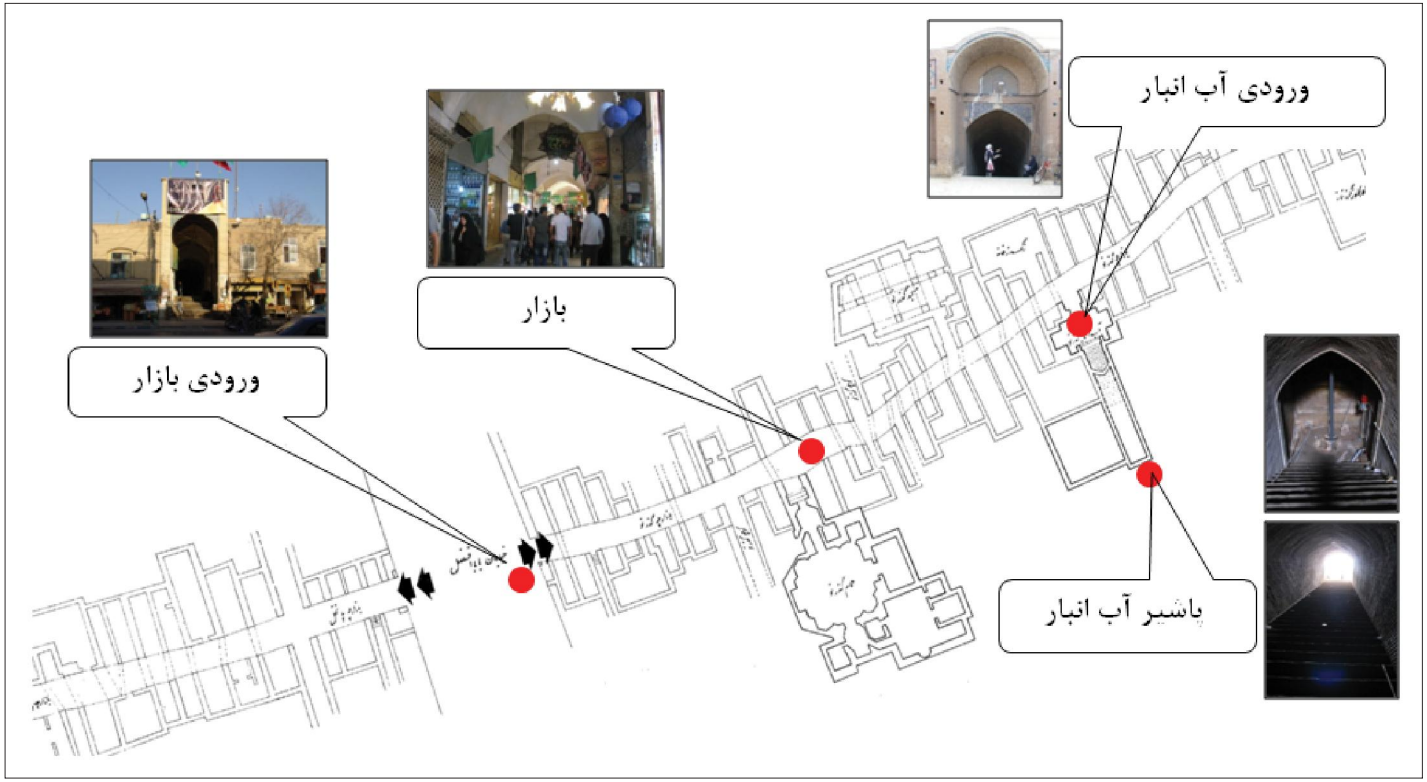


اقلیم محلی را تعدیل کرده است. نوسان دمایی این فضا در زمستان و تابستان حدود ۶ درجه است که بسیار کمتر از نوسان دمای هوای آزاد و در سایر قسمت‌های خانه است. همان‌طور که در «ت ۱۰» مشاهده می‌شود، نوسانات دمایی در یک بازهٔ زمانی یک و نیم روزه در تابستان، در زیرزمین مورد نظر ۶/۳ درجهٔ سانتی‌گراد و در همان بازهٔ زمانی در حوضخانه با ارتفاع ۰/۵ متر از سطح زمین ۹/۶ درجه و در اتاق سه‌دری بالاخانه با ۵ متر ارتفاع از سطح زمین ۱۱ درجه است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، در روزهای مشاهده در تابستان دمای این زیرزمین کمترین دمای اندازه‌گیری‌شده در فضاهای مختلف این خانه است (غیر از حوالی سحر).

از بررسی اطلاعات انتقال‌یافته به نمودار گیوانی (ت ۱۱) می‌توان نتیجه گرفت که شرایط این زیرزمین در زمستان، در محدودهٔ نیاز به گرمایش قرار گرفته، این در حالی است که فضاهای بالای زمین در طول روز می‌توانند در معرض گرمایش خورشیدی باشند. بعد از غروب آفتاب، دمای هوای زیرزمین بالاتر از دمای خارج و دامنهٔ نوسانی محدودتر از آن است. در تابستان در حالی که دمای محیط بیرون در گرم‌ترین ساعات روز، ۴۰ تا ۴۴ درجهٔ سانتی‌گراد است، جرم حرارتی زمین و کانال بادگیر موجب شده که دمای هوای زیرزمین بین ۲۷ تا ۳۳ درجه تغییر کند که در محدودهٔ آسایش و قابل‌تحمل نمودار گیوانی است و نوسانی بسیار محدودتر نسبت به فضای باز دارد.

۲۴. سایت سازمان هواشناسی، ایستگاه هواشناسی کاشان: www.irimo.ir

۲۵. نک: منصوره طاهباز و پیمان امینی بهبهانی، *نرم‌افزار سیکرون*.



ت ۶. بازار کاشان و نقاط برداشت اطلاعات، مأخذ: نگارندگان.

ت ۷ (بالا). دستگاه‌های جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی، مأخذ: نگارندگان.
ت ۸ (پایین). اطلاعات کوتاه‌مدت و بلندمدت هواشناسی شهر کاشان در روزهای برداشت، مأخذ: سایت سازمان هواشناسی ایران.

کاشان	متوسط حداقل دما	متوسط حداکثر دما	حداقل رطوبت نسبتی	حداکثر رطوبت نسبتی
روز مشاهده	○C	○C	%	%
۳۰ تیر ۱۳۹۰	۲۴	۴۰	۹	۲۰
۳۱ تیر ۱۳۹۰	۲۵	۴۱	۷	۲۶
متوسط آمار تیر ۲۰۰۵ ۱۹۶۶	۸/۲۴	۸/۴۰	۱۹	۳۵
۲۱ دی ۱۳۹۰	۱	۱۵	۳۶	۷۰
۲۲ دی ۱۳۹۰	۳	۱۳	۲۸	۶۶
متوسط آمار دی ۲۰۰۵ ۱۹۶۶	۳/۰	۳/۱۰	۵۲	۷۶

۴. ۲. ۲. زیرزمین‌های دستکند خانهٔ احسان

در زمستان دو فضای دستکند خانهٔ احسان (۱ و ۲) که ۸ متر از سطح کوچه پایین‌تر ولی تقریباً هم‌تراز حیاط گودال‌باغچه (عمق ۷ متر نسبت به تراز کوچه) است، به دلیل محفوظ بودن در دل خاک و قرار گرفتن در پشت اتاق رو به حیاط، در طول شبانه‌روز دمایشان تقریباً ثابت و با نوسانی کمتر از دو درجه است. فضای دستکند سوم (۳) که پشت فضای حوضخانه و حدود ۵ متر از حیاط گودال‌باغچه پایین‌تر است (۱۲ متر پایین‌تر از تراز کوچه)، در زمستان و تابستان دمایی کمتر از دو دستکند قبلی دارد. دمای این فضاها در تابستان حدود ۲۲ تا ۲۷/۵ درجه یعنی در حد آسایش و در زمستان ۹ تا ۱۳ درجه یعنی کمی خنک است که به دلیل محفوظ بودن در زیرزمین با یک بخاری کوچک گرم می‌شود. این در حالی است که بام خانه و حیاط گودال‌باغچه نوسان دمایی بسیار بیشتری دارند، به طوری که حوالی ظهر در تابستان دمای آن‌ها به نزدیک ۴۰ درجه یعنی شرایط بسیار گرم می‌رسد و در زمستان، شب دما به حدود ۳/۵ درجه رسیده است (ت ۱۲ و ۱۳). سایر اتاق‌های واقع در این خانه، به دلیل پایین‌تر از تراز کوچه بودن و جرم حرارتی زیاد در جداره‌های خشتی آن‌ها شرایط گرمایی نسبتاً متعادل ولی گرم‌تری نسبت به زیرزمین‌های دستکند دارند. جدول و نمودارهای «ت ۹ و ۱۰» مقایسهٔ شرایط دمایی این فضاها با یکدیگر را نشان می‌دهد.

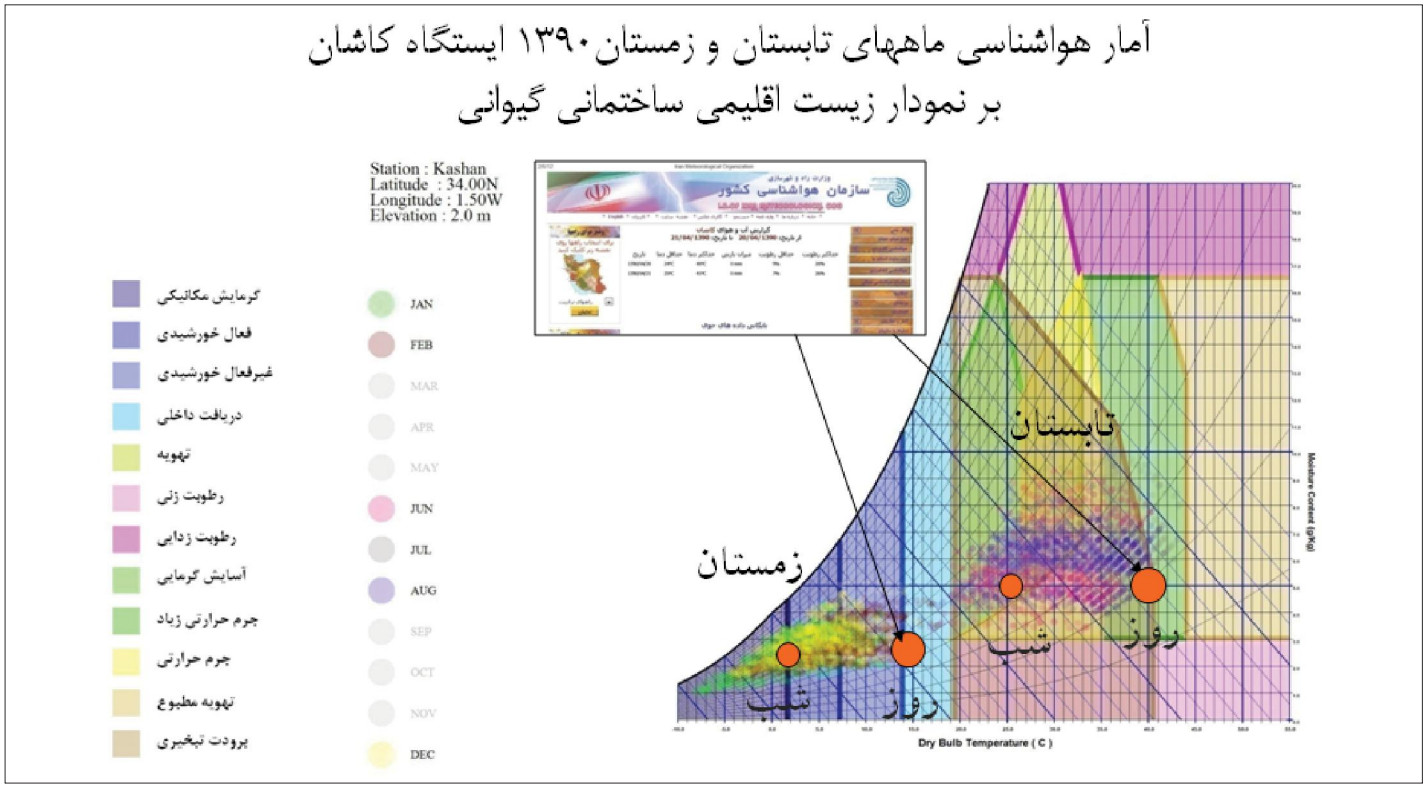
در فصل زمستان، وضعیت عمومی هوای کاشان به گونه‌ای است که بر اساس معیار زیست‌اقلیمی گیوانی در داخل ساختمان باید روزها از انرژی خورشیدی حداکثر استفاده و شب‌ها از سیستم‌های گرمایشی نظیر بخاری استفاده شود. در این شرایط وضعیت حیاط گودال‌باغچه کمی مطلوب‌تر است و همهٔ زیرزمین‌ها با نوسانی بسیار کم در محدودهٔ استفادهٔ غیرفعال از انرژی خورشیدی قرار دارند (ت ۱۴). بنا بر این می‌توان گفت که جرم حرارتی زمین تأثیر شایان توجهی در کاهش نوسان دمای روزانه و تثبیت آن دارد و موقعیت قرارگیری این فضاها در عمق

زمین و بازشوهای بسیار محدود آن‌ها می‌تواند انتقال حرارت به خارج را کنترل و دمای داخل را در حد مطلوب نگه دارد.

۴. ۲. ۳. سرداب مسجد آقابزرگ

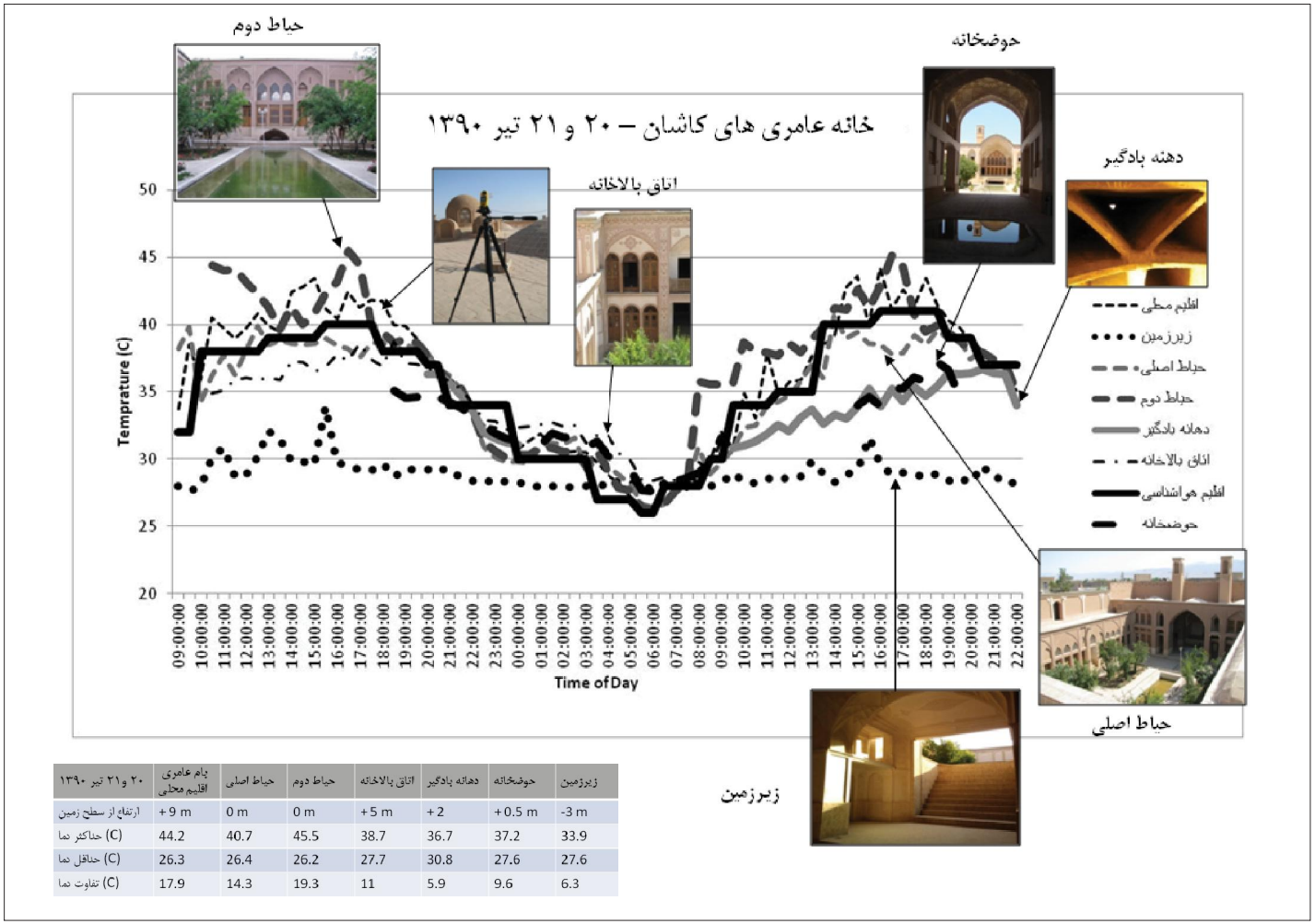
سرداب مسجد در حیاط گودال‌باغچه و ۶ متر پایین‌تر از سطح کوچه است. دمای هوای داخل این فضا در ظهر تابستان، در حالی که دمای خارج به بیش از ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسیده، حداکثر حدود ۲۹ درجه است. در مجاورت دهنهٔ بادگیر، به دلیل وزش نسیم خنک از کانال بادگیر، دما تا ۲۶ درجه نیز کاهش می‌یابد که فضایی مناسب برای استراحت در ظهر تابستان فراهم می‌کند (به گفتهٔ سرایدار مسجد، برای خوابیدن در ظهر تابستان باید از رواناز استفاده کرد). نمودار «ت ۱۵» تغییرات دمایی فضاهای مختلف مسجد را در یک بازهٔ دو ساعتهٔ حدود ظهر تابستان نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود سرداب خنک‌ترین مکان مسجد است. در شرایطی که هوای کتابخانه واقع در بالای سرداب، که با سیستم سرمایش مکانیکی خنک می‌شود، حداقل ۳۲ درجه است، هوای سرداب بسیار خنک‌تر و در محدودهٔ ۲۶ تا ۲۹ درجه است. این امر برتری سیستم‌های غیرفعال سرمایش طبیعی با استفاده از معماری همساز با اقلیم را نسبت به سیستم‌های سرمایش مکانیکی نشان می‌دهد.

اطلاعات پیاده‌شده روی نمودار گیوانی (ت ۱۶) حاکی از آن



ت ۹. اطلاعات کوتاه‌مدت و بلندمدت هواشناسی شهر کاشان در روزهای برداشت اطلاعات روی نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی، ترسیم با نرم‌افزار سیکرون (نقاط ریز آمار بلندمدت، نقاط بزرگ آمار کوتاه‌مدت روزهای برداشت)، مأخذ: نگارندگان.

است که در شرایطی که دمای هوا روی بام مجموعهٔ عامری‌ها، در محدودهٔ استرس گرمایی شدید و خیلی شدید واقع شده (دما ۳۶ تا ۴۴ درجه و رطوبت بین ۵٪ تا ۱۰٪)، دمای هوای صفهٔ بزرگ قسمت جنوبی مسجد، به دلیل ظرفیت گرمایی بالا و امکان بهره‌گیری از جریان‌های طبیعی هوا در حد پایین محدودهٔ آسایش گیوانی است (دما ۳۴ تا ۳۵ درجه و رطوبت ۱۰٪). کتابخانهٔ مسجد، در ضلع شمالی گودال‌باغچه، به دلیل استفاده از سیستم مکانیکی شرایط خاصی دارد. دمای حجرهٔ واقع در گودال‌باغچهٔ مسجد (۳۵ تا ۳۹ درجه) معادل کمترین دمای برداشت‌شده در بام است، اما رطوبت آن بیشتر و در محدودهٔ جرم حرارتی معیار گیوانی است که نشان‌دهندهٔ هماهنگی معماری این فضا با نیازهای آن است (دما ۳۶ درجه و رطوبت حدود ۱۰٪). دمای

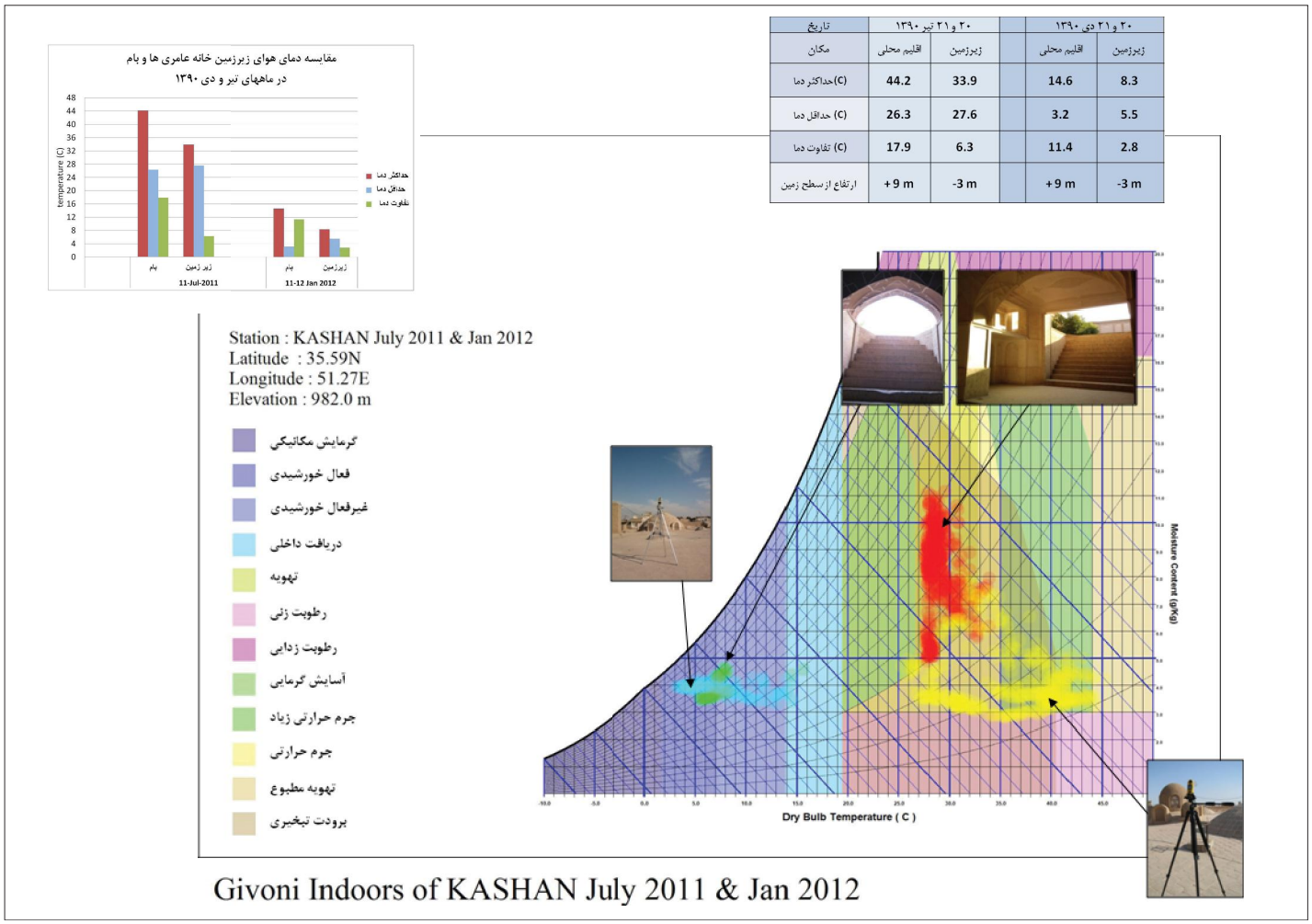


۲۰ و ۲۱ تیر ۱۳۹۰	بام عامری اقلیم محلی	حیاط اصلی	حیاط دوم	اتاق بالاخانه	دهانه بادگیر	حوضخانه	زیرزمین
ارتفاع از سطح زمین	+9 m	0 m	0 m	+5 m	+2	+0.5 m	-3 m
حداکثر دما (C)	44.2	40.7	45.5	38.7	36.7	37.2	33.9
حداقل دما (C)	26.3	26.4	26.2	27.7	30.8	27.6	27.6
تفاوت دما (C)	17.9	14.3	19.3	11	5.9	9.6	6.3

ت ۱۰. نمودار و جدول دمای فضاهای مختلف مجموعه عامری‌ها در زمان برداشت، مأخذ: نگارندگان.

سرداب مسجد بسیار کمتر و رطوبتش بیشتر و در محدودهٔ جرم حرارتی و جریان باد معیار گیوانی است. بادگیر سرداب (دما در زیر خروجی بادگیر ۲۶ درجه است) و گود بودن آن نسبت به سطح گودال‌باغچه با این نیاز گرمایی هماهنگ است (دما ۲۶ تا ۲۷ درجه و رطوبت حدود ۲۰٪). بنا بر این سرداب موفق‌ترین فضا با استفاده از سیستم‌های غیرفعال است که بودنش در عمق زمین و بهره‌گیری از بادگیر، به طور کامل در محدودهٔ آسایش واقع شده است. صرف نظر از شدت گرمای ظهر، این فضا همواره کاملاً خنک و مطبوع است و برای استراحت در آن استفاده از یک رونداز ضروری می‌نماید (ت ۱۶).

در حال حاضر از این فضای خنک برای بازی پینگ‌پنگ طلاب مدرسه استفاده می‌شود.



تاریخ	۳۰ و ۳۱ تیر ۱۳۹۰			۳۰ و ۳۱ دی ۱۳۹۰	
مکان	اقلیم محلی	زیرزمین		اقلیم محلی	زیرزمین
حداکثر دما (C)	44.2	33.9		14.6	8.3
حداقل دما (C)	26.3	27.6		3.2	5.5
تفاوت دما (C)	17.9	6.3		11.4	2.8
ارتفاع از سطح زمین	+9 m	-3 m		+9 m	-3 m

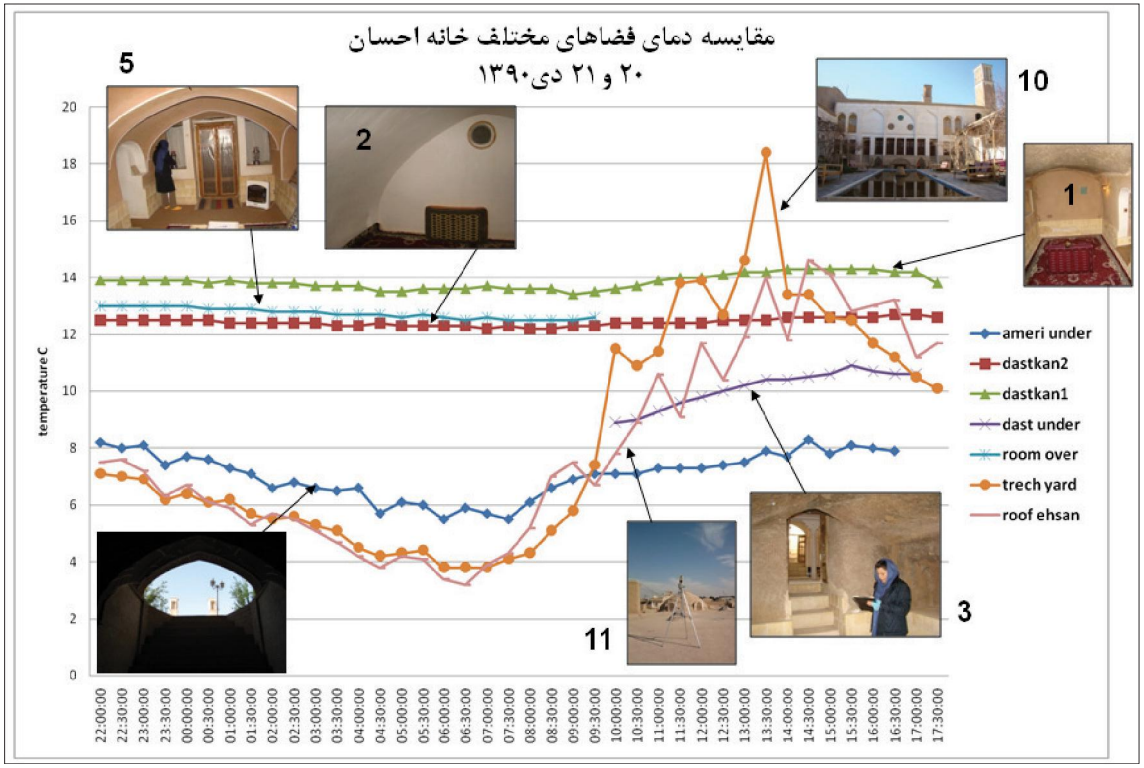
ت ۱۱. شرایط گرمایی در زیرزمین مورد مطالعهٔ خانهٔ عامری‌ها روی نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی، مأخذ: نگارندگان.

۴. ۲. ۴. پاشیر آب انبار بازار گذرنو

از بررسی دمای هوای پاشیر آب‌انبار بازار، واقع در عمق ۱۴ متری زیرزمین، مشاهده می‌شود که در روزها و شب‌های تابستان که دمای هوا از ۳۶ تا ۴۲ درجه متغیر است، دمای پاشیر نزدیک به محدودهٔ آسایش یعنی حدود ۲۱ تا ۲۴ درجه بوده است. در زمستان با تغییرات دمایی محیط بیرون، دمای هوای این مکان از ۱۰ درجه کمتر نشده است. در روزهای زمستان، اگرچه انرژی گرمایی خورشید می‌تواند دمای محلی را تا ۱۴ درجه برساند (بیشتر از دمای هوا در عمق ۱۴ متری پاشیر)، با این حال در شب‌های زمستان، که دمای محلی به شرایط خیلی سرد می‌رسد، این فضا گرم‌تر است و می‌تواند با استفاده از جرم حرارتی خاک نوسانات دمایی را کنترل کند (ت ۱۷ و ۱۸).

11-12 Jan 2012	بام احسان اقلیم محلی	حیاط گودال باغچه	دستکن ۱	دستکن ۲	دستکن ۳	اتاق بالاخانه ۵	اتاق جنوبی ۸
ارتفاع از سطح زمین	+ 5 m	-7 m	-8 m	-8 m	-12 m	-7 m	-3 m
(C) حداکثر دما	14.6	18.7	15	13.9	10.9	15.2	8.3
(C) حداقل دما	3.2	3.6	13.4	12.2	8.9	12.4	5.5
(C) تفاوت دما	11.4	15.1	1.6	1.7	2	2.8	2.8

22-23 June 2013	بام احسان اقلیم محلی	حیاط گودال باغچه	دستکن ۱	دستکن ۲	دستکن ۳	اتاق بالاخانه ۵	اتاق جنوبی ۸
ارتفاع از سطح زمین	+ 5 m	-7 m	-8 m	-8 m	-12 m	-7 m	-3 m
(C) حداکثر دما	40	39	26.5	27.5	22	30.5	32
(C) حداقل دما	25	25	25.5	26.5	21	29	31
(C) تفاوت دما	15	24	01	1	1	1.5	2

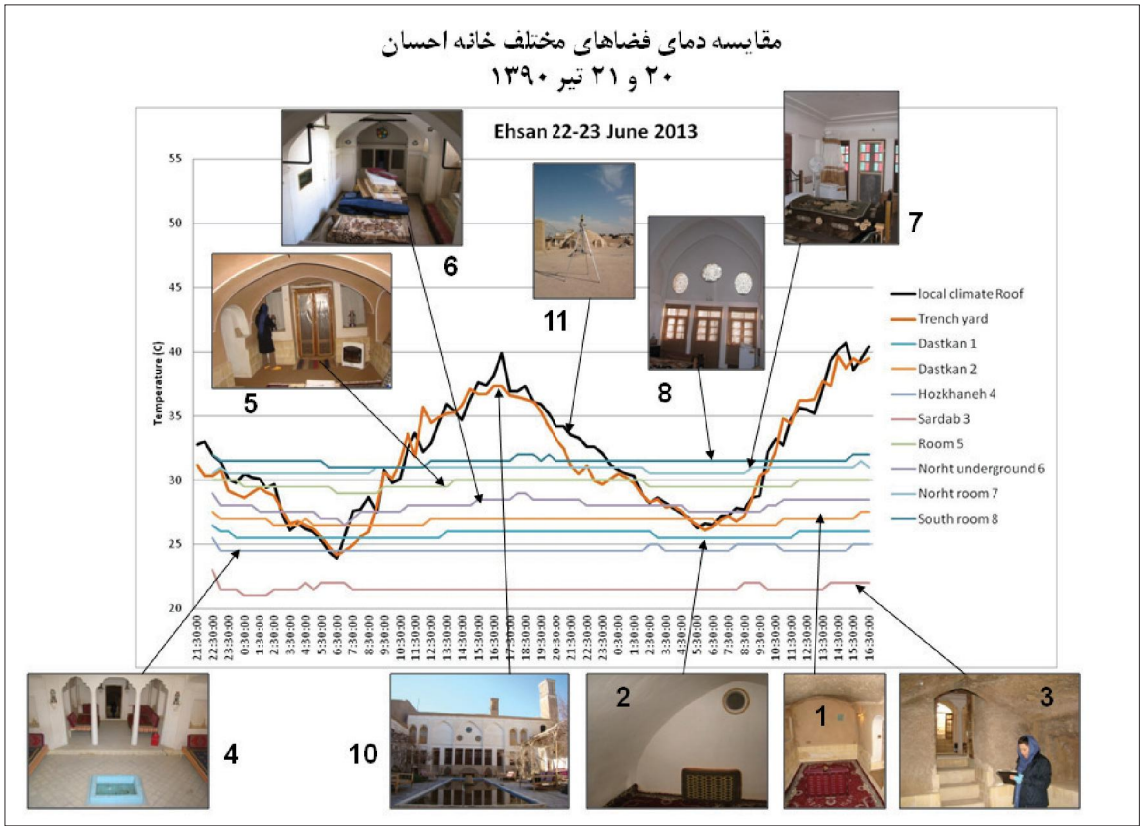


ت ۱۲ (بالا). دمای برداشت‌شده در خانهٔ احسان، راست: تابستان، چپ: زمستان، مأخذ: نگارندگان.
ت ۱۳ (پایین). تغییرات دمایی در خانهٔ احسان در زمستان، مأخذ: نگارندگان.

از بررسی اطلاعات انتقال‌یافته به نمودار گیوانی (ت ۱۸) می‌توان نتیجه گرفت که، فضاهای بالای زمین در زمستان در طول روز در محدودهٔ نیاز به گرمایش است، اما با استفاده از گرمایش خورشیدی تا حدی گرم می‌شوند. در این شرایط پاشیر آب‌انبار نیز با نوسان دمایی کمتر در محدودهٔ نیاز به گرمایش قرار می‌گیرد. بعد از غروب آفتاب، دمای هوای پاشیر بالاتر از دمای خارج می‌شود. در تابستان در حالی که محیط بیرون در گرم‌ترین ساعات روز، با دمایی حدود ۴۲ درجهٔ سانتی‌گراد است، جرم حرارتی زمین دمای هوای پاشیر را حدود ۲۴ درجه نگه می‌دارد که در محدودهٔ آسایش نمودار گیوانی قرار می‌گیرد.

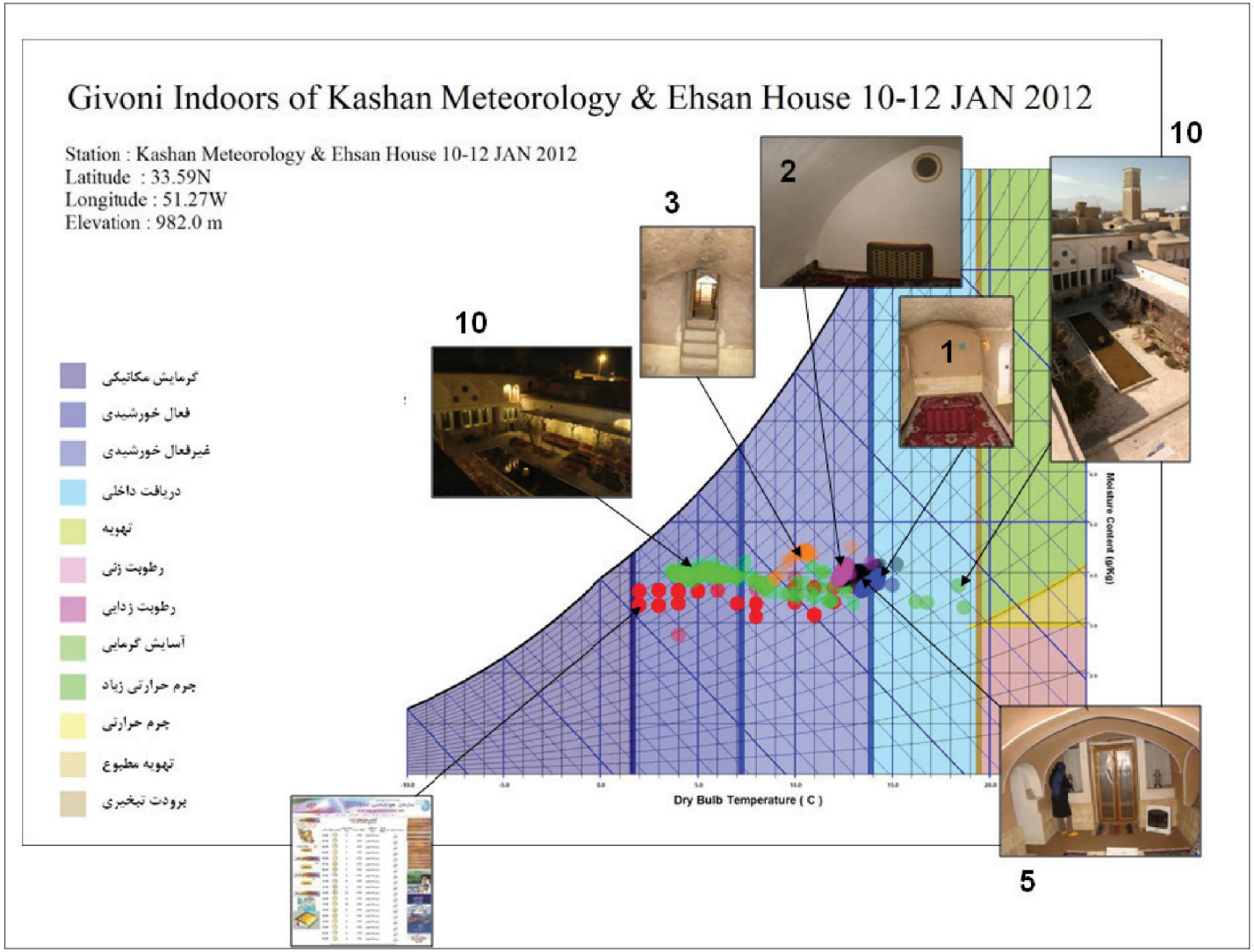
۵. نتیجه‌گیری

مطالعات انجام‌شده نشان داده است که، اگر ساختمان کاملاً در زیرزمین قرار گرفته باشد، جرم حرارتی خاک، دماهای نسبتاً پایداری را در طول سال فراهم می‌آورد که منجر به ذخیره‌سازی فصلی گرما می‌شود. به این معنا که گرمای جذب‌شده به وسیلهٔ سطوح در تابستان، چندین ماه ذخیره می‌شود تا دفع گرما را در فصول دیگر متعادل سازد و در تابستان نیز خاک نسبتاً خنک، تبدیل به یک منبع بزرگ ذخیرهٔ گرما می‌شود که عنصری باارزش برای سرمایش است[۲۶]. به منظور اندازه‌گیری این تغییرات تحقیق میدانی در شهر کاشان با اقلیمی گرم و خشک انجام شده است.



ادامهٔ ت ۱۳. تغییرات دمایی در خانهٔ احسان در تابستان، مأخذ: نگارندگان.

مقالهٔ حاضر نتیجهٔ تحقیقات میدانی در شهر کاشان در چند نوع فضای زیرزمینی با عمق‌های متفاوت (۳، ۶، ۸، ۱۲، و ۱۴ متری)، برای نشان دادن میزان کارایی فضاهای زیرزمینی در معماری سنتی ایران است. گردآوری داده‌های هواشناسی با استفاده از دستگاه هواشناسی قابل‌حمل کسترل در روزهای ۲۰ و ۲۱ تیر (اوج گرمای تابستان) و ۲۰ تا ۲۲ دی (اوج سرمای زمستان) سال ۱۳۹۰ و ۱ تا ۲ تیر ماه ۱۳۹۲ در زیرزمین‌های خانه‌های عامری و احسان، سرداب مسجد آقابزرگ و پاشیر آب‌انبار بازار صورت گرفته

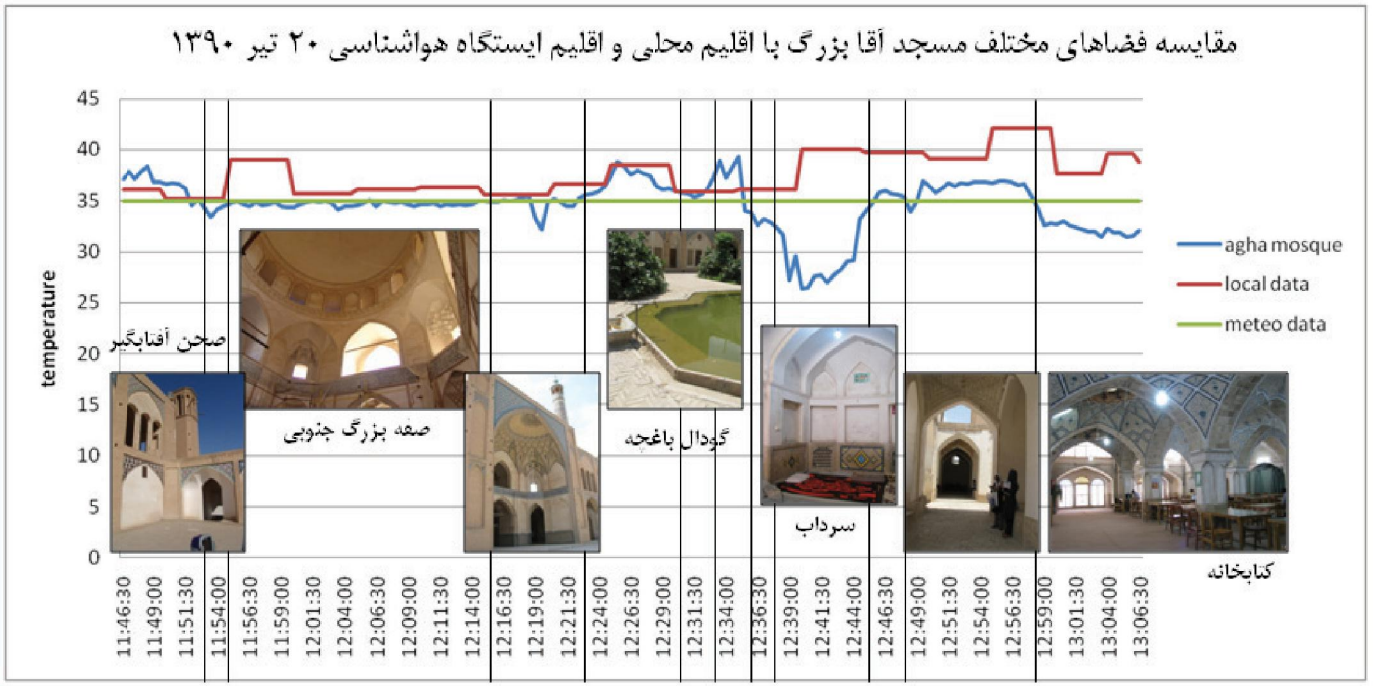


ت ۱۴. شرایط دمایی در دستکند خانهٔ احسان، مأخذ: نگارندگان.

است. این تحقیق نشان داد که فضاهای زیرزمین در مقایسه با فضاهای هم‌جوار بالای زمین از نظر کارایی حرارتی در زمستان و تابستان بسیار مطلوب‌تر هستند. مقایسهٔ شرایط اقلیم خرد داخل این فضاها با معیار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیوانی نشان داد که در زمان‌های دیده‌بانی شرایط آسایش در این فضاها فراهم و یا در حد قابل‌قبول و قابل‌تحمل است که با اتخاذ تمهیداتی ساده، می‌تواند به حد آسایش برسد. نکتهٔ قابل‌توجه در این فضاها کنترل نوسانات دمایی در زمستان و تابستان و روز و شب است. نتایج نشان داد که در ظهر تابستان، علی‌رغم دمای محلی بسیار گرم و بیش از ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، دمای این فضاها در حد قابل‌تحمل برای انسان است. مهم‌ترین نکات حاصل از این تحقیق به شرح زیر است:

۱. مقایسهٔ اقلیم محلی و اقلیم خرد فضاهای زیرزمینی در

12 JULY 2011 11:45 - 12:45	بام عامری اقلیم محلی	حیاط آفتابگیر	صفه بزرگ	حیاط گودال باغچه	حجره در حیاط گودال باغچه	سرداب بادگیر
ارتفاع از سطح زمین	+ 9 m	0 m	0 m	-4 m	-4 m	-6 m
حداکثر دما (C)	44	37.9	35	38.8	36.4	29.2
حداقل دما (C)	39	36.2	34.5	36.4	35.1	26.4
تفاوت دما (C)	1.3	1.7	0.5	2.4	1.3	2.8



ت ۱۵. بالا: تغییرات دمایی در مسجد آقابزرگ، پایین: اطلاعات برداشت‌شده در مسجد آقابزرگ، مأخذ: نگارندگان.

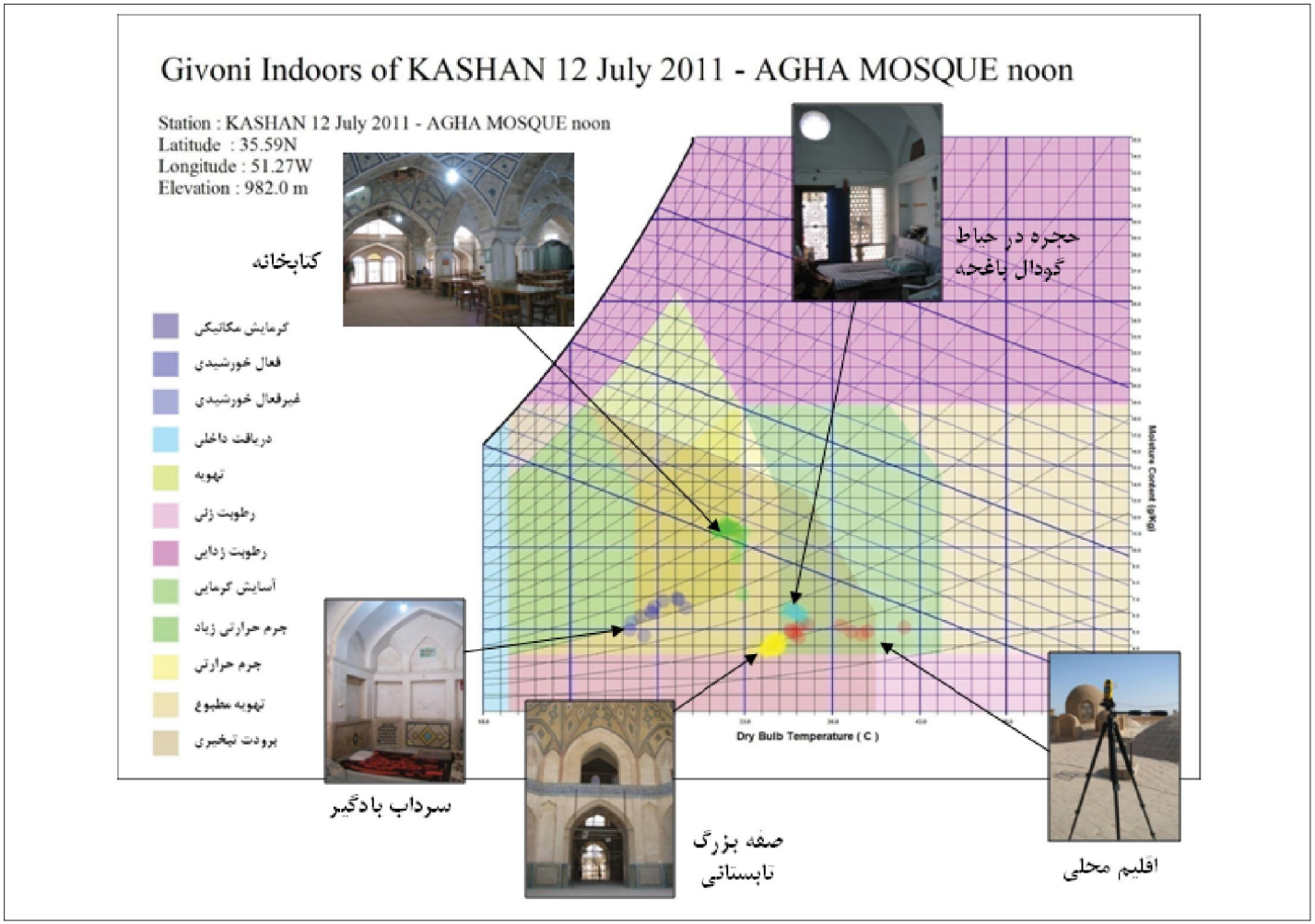
۲۰ و ۲۱ تیر و ۲۰ تا ۲۲ دی ماه نشان می‌دهد که خاک می‌تواند در پایین آوردن نوسان دمایی روزانه مؤثر باشد و آن را به حد ثابتی برساند.

۲. عمق زیرزمین و دسترسی آن به هوای بیرون دو عامل مهم و مؤثر بر نقش جرم حرارتی زمین در کنترل شرایط دمایی است. زیرزمین خانهٔ عامری‌ها با عمق ۳ متر پایین‌تر از سطح حیاط و ارتباط با هوای آزاد، بیشترین نوسان دمایی را دارد، در حالی که دستکند خانهٔ احسان، با عمقی بیش از ۶ متر و فقدان ارتباط مستقیم با هوای بیرون، شرایط حرارتی کنترل‌شده و نزدیک‌تر به آسایش انسان دارد.

۳. زیرزمین‌های دستکند در خانهٔ احسان، به دلیل بودن در عمق بیشتر (۸ و ۱۲ متری از تراز کوچه) و فقدان ارتباط

۲۶. مور، همان جا.

ت ۱۶. شرایط حرارتی در مسجد آقابزرگ، مأخذ: نگارندگان



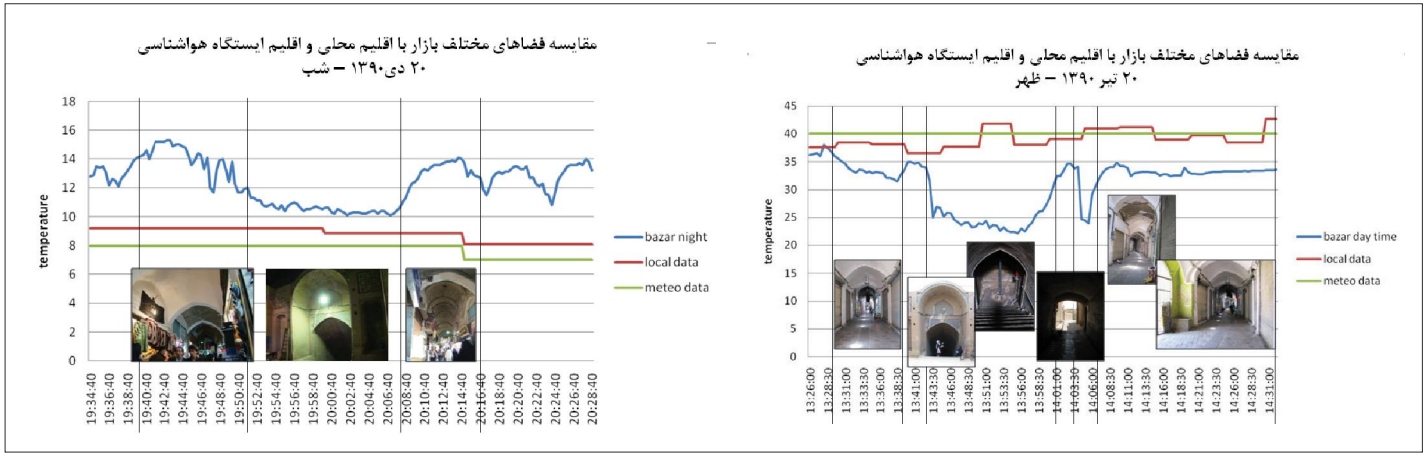
مستقیم با هوای حیاط گودال‌باغچه، همچنین نداشتن هیچ‌گونه ارتباط با فضاهای مجاور (به دلیل داشتن سقف و دیوارهای دستکند) نوسان دمایی بسیار کم (کمتر از ۱ درجه) دارد. این فضاها عملاً دمای ثابتی را در روز و شب نشان می‌دهند که فارغ از تغییرات دمایی محیط و در حد قابل‌تحمل برای انسان است. برای رساندن دمای این فضاها به حد آسایش کافی است که از تجهیزات گرمایشی برای مدتی کوتاه استفاده شود.

۴. در ظهر تابستان کاشان، با هوای خشک و دمایی بین ۴۰ تا ۴۴ درجهٔ سانتی‌گراد، ترکیب جرم حرارتی و تهویهٔ طبیعی ناشی از بادگیر، فضای داخل سرداب مسجد آقابزرگ را به محیطی مناسب و در حد آسایش گرمایی تبدیل کرده است. در این فضا (سرداب مسجد) شرایط حرارتی بهتری نسبت به کتابخانهٔ همان مسجد که در آن از سیستم‌های تهویه مطبوع استفاده می‌کنند، فراهم شده است.

۵. در روزهای زمستان، به دلیل تأثیرگرمایی انرژی خورشید، فضاهای روی زمین شرایط حرارتی بهتری نسبت به فضاهای زیرزمین دارند، اما بعد از غروب آفتاب فضاهای زیرزمینی، خواه با هوای آزاد ارتباط داشته یا نداشته باشند، کنترل دمایی بهتری دارند و می‌توانند نسبت به هوای بیرون گرمای بیشتری را در خود نگه دارند. همچنین قابلیت تعدیل شرایط گرمایی و کنترل نوسانات دما را نیز دارند.

۶. پاشیر آب‌انبار بازار که عمیق‌ترین فضای مورد مطالعه است (۱۴ متر عمق از قسمت ورودی) علی‌رغم باز بودن دهنهٔ ورودی و ارتباط مستقیم هوایی با محیط بیرون، نوسان دمایی بسیار کمی در روز و شب (۱ درجه) را نشان داد. دمای این فضا در تابستان‌ها در حد آسایش (۲۳ درجه) و در زمستان نیز در حد قابل‌تحمل انسان (۱۱ درجه) است. این فضا، به دلیل داشتن رطوبت بالا و فقدان تهویهٔ مناسب، عملاً قابل‌سکونت نیست، ولی می‌تواند پناهگاهی برای فرار از گرمای شدید تابستان یا سرمای زمستان به مدت کوتاه باشد. چنین فضاهایی، برای این که قابل‌سکونت شوند، نیاز به تأمین تهویه (هوای تازه) و نور کافی دارند.

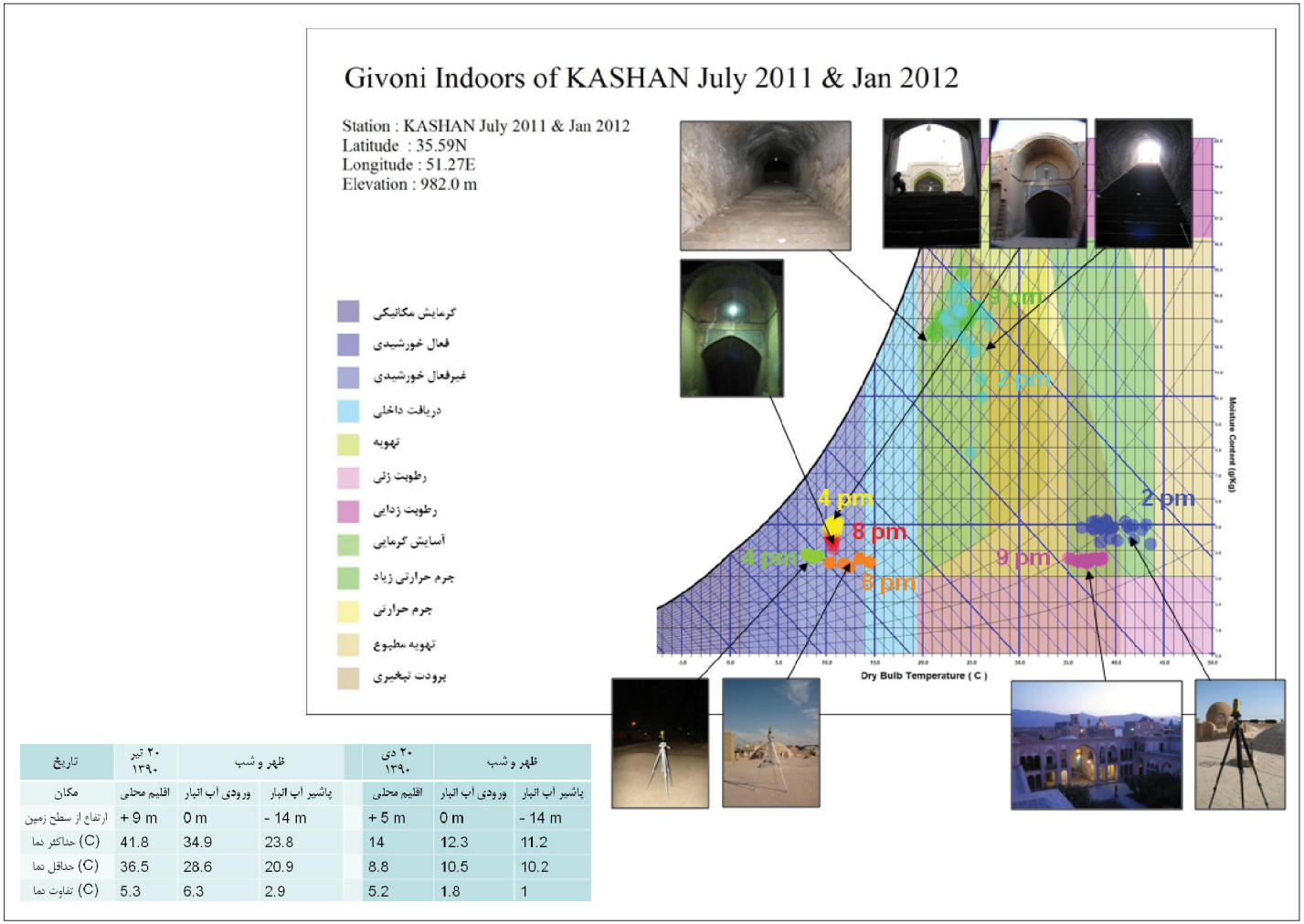
بررسی شرایط آسایش در زیرزمین‌های مختلف شهر کاشان نشان‌دهندهٔ شناخت مردم این خطه از ویژگی‌ها و نیازهای اقلیمی این شهر از یک سو و آگاهی از توان فضاهای زیرزمین (خاک) در تعدیل دما و کاهش نوسانات آن است. این امر موجب طراحی و ساخت زیرزمین در غالب بناهای سنتی کاشان شده که



ت ۱۷. تغییرات دمایی در پاشیر آب‌انبار بازار در مقایسه با فضاهای داخل بازار، راست: ظهر تابستان، چپ: شب زمستان، مأخذ: نگارندگان.

برای سکونت در روزهای بسیار گرم تابستان و انبار کردن مواد غذایی در فصول گرم و حتی سرد استفاده شده است. علاوه‌بر این در شب‌های زمستان که دمای هوای بیرون به کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و امکان وقوع سوز باد و استرس سرمایی هست، زیرزمین‌ها با کنترل انتقال حرارت، فضاهای مناسبی برای اقامت طولانی‌مدت افراد و پناهگاهی برای فرار از سوز سرما هستند. تعبیهٔ بادگیر و اتصال آن به زیرزمین برای تهویهٔ هوا و جلوگیری از تجمع رطوبت در این فضاها از دیگر راهکارهای هوشمندانه‌ای است که به ارتقای سطح آسایش منجر شده است. امید آنکه به این شگردها در معماری امروز مجدداً توجه شود و نیز با عنایت به نیازهای زندگی مدرن، به شکلی مناسب و کاربردی بازآفرینی شود.

ت ۱۸. راست: شرایط حرارتی در پاشیر آب‌انبار بازار، چپ: اطلاعات برداشت‌شده در پاشیر آب‌انبار بازار در روزهای برداشت، مأخذ: نگارندگان.



تاریخ	۲۰ تیر ۱۳۹۰	ظهر و شب		۲۰ دی ۱۳۹۰	ظهر و شب	
مکان	اقلیم محلی	ورودی آب انبار	پاشیر آب انبار	اقلیم محلی	ورودی آب انبار	پاشیر آب انبار
ارتفاع از سطح زمین	+ 9 m	0 m	- 14 m	+ 5 m	0 m	- 14 m
حداکثر دما (C)	41.8	34.9	23.8	14	12.3	11.2
حداقل دما (C)	36.5	28.6	20.9	8.8	10.5	10.2
تفاوت دما (C)	5.3	6.3	2.9	5.2	1.8	1

منابع و مآخذ

«کاشان شهری با هفت‌هزار سال قدمت»، در *مسافران دوماهنامهٔ بین‌المللی میراث فرهنگی گردشگری و هتل‌داری*، ش ۳۲:
http://www.mosaferan.ir/main.asp?ID=00273. 25/11/1392

بنیاد فرهنگ کاشان:
http://www.kashanica.com/index/house/housedetail/24. 25/11/1392

خیرخواه آرانی، رضا. *آب‌انبارهای کاشان، کاشان دیرپای*:
http://rezakh82.persianblog.ir/post/4. 25/11/1392

رازجویان، محمود. *آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم*، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۸.

سایت سازمان هواشناسی، ایستگاه هواشناسی کاشان: www.irimo.ir

طاهباز، منصوره و پیمان امینی بهبهانی. *نرم‌افزار سیکرون*، تهران: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۰.

طاهباز، منصوره، *دانش اقلیمی- طراحی معماری*، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۲.

لکنر، نربرت. *گرمایش، سرمایش، روشنایی*، ترجمهٔ محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی، ۱۳۸۵.

مور، فولر. *سیستم‌های کنترل محیط زیست (تنظیم شرایط محیطی در ساختمان)*، ترجمهٔ محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری، تبریز: انتشارات دانشگاه هنر اسلامی، ۱۳۸۲.

نیکوکار نوش‌آبادی، سیدمحمدجواد. *مسجد آقابزرگ کاشان*، کی‌آشیان، سایت جامع گردشگری کاشان:
http://www.keyashiyan.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=8. 27/2/1387.

واتسون، دانلد و کنت لب. *طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*، ترجمهٔ وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.

ولدی، عباس. *مسجد مدرسهٔ آقابزرگ کاشان*، پرشین بلاگ:
http://abbas-valadi.persianblog.ir/post/122. 27/10/1388.

Geiger, Rudolf & Robert H. Aron & Paul Todhunter. *The Climate Near the Ground*, Sixth Edition, New York: Rowman & Littlefield Publisher INC, 2003.