نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال یازدهم | شماره چهل و دوم | تابستان ۱۳۹۹
وصول: ۹۸/۰۶/۱۸ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۴
صص ۱۹۲-۱۷۷

بررسی رفتار حرارتی دوره OHP بناهای مسکونی خاک‌پناه در میمند کرمان

امیررضا خاکسار[۱]، سید مجید مفیدی شمیرانی*[۲]، محمود نیکخواه شهمیرزادی[۳]
۱. گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.
۲. استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده معماری و شهرسازی. (مسئول مکاتبات).
۳. گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

چکیده

با توجه به این‌که آسایش حرارتی در مسکن روزمینی عموماً از طریق تجهیزات مکانیکی تامین می‌شود، شناخت میزان آسایش حرارتی در بناهای زیرزمینی و خاک‌پناه- که در آن از هیچ‌گونه وسیله مکانیکی استفاده نمی‌شود-، ضرورت می‌یابد. لذا در این مقاله چگونگی رفتار حرارتی بناهای خاک‌پناه در روستای میمند کرمان به عنوان مساله اصلی مطرح شد. بدین منظور تاثیر متغیرهای معماری و اقلیمی بناهای خاک‌پناه میمند بر چگونگی رفتار حرارتی، هدف اصلی پژوهش تلقی گردید. سوال اصلی اینست که بناهای مسکونی خاک‌پناه میمند چه نوع رفتار حرارتی در دوره OHP (دوره گرم سال) از خود نشان می‌دهند که برای پاسخ به آن، از روش پژوهش موردی بهره گرفته شد. بناهای مسکونی خاک‌پناه در روستای میمند بصورتی انتخاب شدند که نماینده کل جامعه آماری باشد. این پژوهش با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در پی شناخت رفتار حرارتی بناهای مسکونی خاک‌پناه روستای میمند می‌باشد و اندازه‌گیری‌ها در روزهای ۱۱، ۱۲و ۱۳ مرداد سال ۱۳۹۸ به عنوان نماینده دوره گرم سال انجام شد. متغیرهای اقلیمی دمای‌هوا و رطوبت‌نسبی در بناهای خاک‌پناه توسط دستگاه ثبت داده، اندازه‌گیری و همچنین از ایستگاه همدید شهر بابک برای اطلاعات اقلیمی روستای میمند کمک گرفته شد. اطلاعات بدست آمده توسط دستگاه ثبت داده با استفاده از شاخص آسایش حرارتی گیونی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در نمودار زیست‌اقلیمی گیونی، محدوده آسایش حرارتی توسط متغیرهای درجه‌حرارت و رطوبت‌نسبی محدود شده است. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که رفتار حرارتی تمامی بناهای خاک‌پناه میمند در دوره گرم سال بسیار مطلوب بوده و بیشینه آسایش حرارتی مربوط به بنایی است که دارای بیشترین نفوذ در عمق خاک، شاکله دو اتاقی (دو اتاق پشت سر هم)، جهت‌گیری جنوبی و جنوب شرقی نسبت به تابش خورشید و قرارگیری در تراز ارتفاعی میانی توپوگرافی می‌باشد.

واژگان کلیدی: رفتار حرارتی، آسایش حرارتی، دوره گرم، بناهای مسکونی خاک‌پناه، میمند.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۱۱۶۴۸۸ Email: s_m_mofidi@iust.ac.ir

مقدمه

یکی از موثرترین تکنیک‌ها برای رفع معضلات بین آسایش حرارتی[1] و مصرف کم انرژی در اقلیم گرم وخشک، پناه-بردن بنا به زمین می‌باشد. بناهای خاک‌پناه[2] فضاهایی هستند که تمام یا درصدی از کالبد آن ها در زیرزمین ساخته شده باشد و در واقع شیوه‌ای از ساختمان‌سازی است که در آن از جرم حرارتی موجود زمین پشت دیوارهای خارجی ساختمان، جهت کاهش اتلاف حرارتی و متعادل نمودن دمای هوای داخلی در حد آسایش انسان استفاده می‌گردد (خدابخشیان،۱۳۹۰). با توجه به وجود مواردی نظیر مصرف بالای انرژی برای سرمایش و گرمایش ساختمان‌های روزمینی، بررسی رفتار حرارتی[3] بناهای مسکونی زیرزمینی و خاک‌پناه اهمیت می-یابد. به نظر می‌رسد بنای خاک‌پناه با توجه به ساختار خود می‌تواند علاوه بر تامین آسایش حرارتی، استفاده از سوخت فسیلی را کاهش دهد. خاک یکی از ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین مصالحی است که در محیط زندگی بشری یافت می‌شود. پناه‌بردن به دل خاک و استفاده از خاصیت حرارتی خاک یکی از ترفندهایی است که در گذشته بر حسب تجربه، در برخی از اقلیم‌ها مورد استفاده قرار می-گرفته است (آلمومین[4]،۱۰۴،۲۰۰۱). همچنین زمین یک منبع گرمایی تقریبا نامحدود می‌باشد و میزان ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی آن، این امکان را فراهم می‌سازد که از آن به منظور ذخیره‌سازی فصلی گرما استفاده شود. در عمق‌های کم خاک با افزایش عمق، نوسانات سالانه دمای خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش عمق، نوعی تاخیر زمانی در دماها ایجاد خواهد شد (مور،۲۷۵،۱۳۸۲). از آن‌جایی که عملکرد حرارتی خاک مهم‌ترین دلیل برای تشویق پذیرش فضاهای محاصره شده زمین است، انگیزه اصلی برای استفاده از آن، کاهش مصرف انرژی است (نصراللهی و اکرمی ابرقویی[5]، ۲۰۱۷،۲). در دوران معاصر، با توجه به بحران‌های موجود، نیاز برای صرفه‌جویی انرژی و نیاز به ساخت ابنیه با بهره-وری بالای انرژی، بیشتر احساس می‌شود. این عوامل توجه بشر را به فضاهای زیرزمینی و استفاده از ظرفیت حرارتی مصالح و زمین جلب کرده است (حزبئی و همکاران[6]،۲۰۱۵). یکی از مهم‌ترین علت پناه‌بردن به زمین در گذشته و همچنین در دنیای امروز، بهره‌گیری از ثبات حرارتی زمین در جهت تعدیل هوای داخل بنا و فرار از ناملایمات اقلیمی محسوب می‌شود. مساکن زیرزمینی از طریق حفره‌های مصنوعی یا طبیعی در زمین(غارها) یافت گردیدند (میلانویچ[7]، ۲۰۱۸). تکنیک خاک‌پناه یکی از راه-های آسایش حرارتی ایستا می‌باشد که از طریق افزایش ظرفیت حرارتی پوشش توده و همچنین ازدیاد زمان تاخیر حرارتی دیوارها حاصل می‌گردد (هبا[8]، ۲۰۱۸). با توجه به نظریه‌های مذکور می‌توان معماری خاک‌پناه را معماری هم-گام با محیط عنوان کرد که علاوه بر کاهش مصرف انرژی، می‌تواند رفتار حرارتی مطلوبی را ایفا نماید. البته این رفتار نسبی است و پاسخ آن در اقلیم‌ها و دوره های زمانی مختلف سال، یکسان نمی‌باشد. لذا می‌بایست ابتدا اقلیم منطقه مورد نظر به طور کامل شناسایی شود؛ سپس تاثیر آن را بر رفتار حرارتی بنای خاک‌پناه مشاهده نمود. معماری خاک‌پناه در نقاط مختلف دنیا بنا به دلایل متعددی ایجاد شده است و محل اقامت انسان‌های اولیه نیز بوده است. کندوان و میمند در ایران، کاپادوکیه[9] در ترکیه و مساکن زیرزمینی بولارگیا[10] در شمال تونس (شکل ۱)، مساوردی[11] در آمریکا، ، مساکن نیمه زیرزمینی در روستای بانپو[12] در نزدیکی ژیان در چین، نمونه‌هایی از معماری خاک‌پناه می-باشد که توسط انسان در دل کوه ایجاد شده‌اند. دلیل اصلی بوجود آمدن این مساکن را می‌توان شرایط آب و هوایی، دسترسی به مصالح ساختمانی معمولی، دسترسی به خاک مناسب، توپوگرافی زمین و فرم مناسب آن برای ساخت-و-ساز زیرزمینی، نیاز به محافظت در برابر مهاجمان و پیروی

1 . Thermal Comfort
2 . Earth-Sheltered
3 . Thermal Behavior
4 . Al-mumin
5 . Nasrollahi and Akrami Abarghuie

6 . Hazbei et al
7 . Milanovi´c
8 . Heba
9 . Cappadocia
10 . Bulla regia
11 . Mesa verde
12 . Banpo

از سنت‌های گذشته عنوان نمود (کارمودی و استرلینگ، ۱۹۹۳،۷۳).

شکل ۱- معماری خاک‌پناه در جهان؛ سمت راست: کاپادوکیه-ترکیه، سمت چپ: بولارگیا-تونس (ماخذ:.,Khodabakhshian et al 7,2012)

در استرالیا، در چندین شهر معدنی در مناطق بیابانی این کشور، درصد زیادی از مساکن و ساختمان‌های عمومی جهت فرار از گرمای شدید هوا در زیر سطح زمین قرار دارند. این نمونه‌ها شامل شهرهای واقع در جوار معادن عقیق، کوبر پدی[1]، وایت کلیفس[2]، آندآموکا[3] و بورا[4] شهر زیرزمینی و متروک واقع در کنار رودخانه می‌باشد که روزگاری شهر معدنی و مهمی از لحاظ استخراج فلز مس بوده است (آهل و فینچ[5]، ۱۹۷۹). در اسپانیا، سکونت‌گاه‌های زیرزمینی امروز نیز در منطقه آندالوسیا[6]ی جنوبی وجود دارد. بررسی‌های انجام شده در سال ۱۹۸۵ نشان داد که ۸۶۳۹ نفر در غارهای این منطقه ساکن بوده‌اند (مونی[7]، ۱۹۸۵). دمای تقریبا ثابت ۱۸ تا ۲۰ درجه، آسایش طبیعی درونی را تضمین کرده است که همگام با تجهیزات استاندارد خانه است. در زمستان دمای داخلی به اندازه کافی گرم است، اگرچه در تابستان همین دما، خنکی مطبوعی به وجود آورده است (گونزالو،۲۰۰۶). مطالعاتی در رابطه با میزان آسایش حرارتی بناهای زیرزمینی و خاک‌پناه انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. لبس[8] (۱۹۷۶) پس از بررسی معماری فضاهای زیرزمینی مشاهده کرد که فضاهای زیرزمینی از لحاظ آسایش حرارتی نسبت به فضاهای روزمینی عملکرد بهتری دارند. طاهباز و همکاران (۱۳۹۳) نقش جرم حرارتی خاک در کنترل شرایط محیطی ساختمان را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از وسایل اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی بهره گرفته شد. همچنین تاثیر مهم جرم حرارتی خاک بر کنترل تغییرات دمایی تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد منطقه خشکی نظیر کاشان مشخص شد. در ادامه عمادیان‌رضوی و آیت-الهی (۱۳۹۳) بهره‌گیری از ثبات حرارتی زمین در ایجاد آسایش حرارتی را مورد واکاوی قرار دادند. در این تحقیق مشاهده شد که در عمق‌های پایین‌تر خاک، پایداری حرارتی بیشتری در ساختمان خاک‌پناه وجود دارد. همچنین کانتین[9] (۲۰۱۰) مقایسه تطبیقی عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی تاریخی و مدرن در فرانسه را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش مشخص شد که در شرایط برابر محیطی، آسایش حرارتی بیشتری در ساختمان‌های تاریخی خاک‌پناه نسبت به بناهای مدرن وجود دارد. نتایج تحقیقات پاپدا و همکاران[10] (۲۰۱۶) در نقاط مختلف دنیا نشان داد که ساختمان‌های زیرزمینی مصرف انرژی کمتری نسبت به ساختمان مشابه خود در سطح زمین دارند. نصراللهی و اکرمی ابرقویی (۲۰۱۷) مشاهده کردند که عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی زمین‌پناه در یزد با افزایش عمق، بهتر می‌شود و آسایش حرارتی بیشتری را برای انسان در دوره-های مختلف زمانی سال ایجاد می‌کند. مسعودی‌نژاد و

1 . Coober pedy
2 . White cliffs
3 . Andamooka
4 . Burra
5 . Auhl and Finch
6 . Andalusia
7 . Mooney
8 . Labs
9 . Cantin
10 . Papada et al

همکاران (۱۳۹۷) رفتار حرارتی شوادان را در شهر دزفول مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر وجود شرایط آسایش حرارتی در فصول مختلف در این فضا و ثبات میانگین دمای‌تابشی تحت تاثیر ظرفیت حرارتی جداره‌ها به خصوص در دوره گرم سال است. همچنین سرعت جابه‌جایی هوا بسیار اندک و نزدیک صفر است که رطوبت را از در ورودی شوادان خارج می‌کند. درک و شناخت پیشینیان از وضعیت محیطی و اقلیمی دزفول، سبب خلق فضای زیرزمینی شوادان با هدف ایجاد آسایش حرارتی شده است. حیدری و ایمانی (۱۳۹۷) میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین را در اقلیم‌های تهران، یزد و تبریز مورد واکاوی قرار دادند. در این پژوهش مشخص شد که در اقلیم گرم و خشک، میزان بار سرمایشی در دوره گرم سال در بناهای زیرزمینی نسبت به بناهای روزمینی کاهش می‌یابد. برسانی و درویشی[1] (۲۰۱۹) در بررسی عملکرد حرارتی خانه‌های زیرزمینی مشاهده کردند که ساختمان روی زمین مصرف انرژی ٤٤-٪١٤٥ بیشتر در مقابل ساختمان زمین‌پناه دارد. صدوقی و همکاران[2] (۲۰۱۹) تجزیه و تحلیل عملکرد حرارتی یک سیستم خنک‌کننده ایستا در دزفول را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مشاهده شد که استفاده از بناهای خاک‌پناه(شوادان) در مناطق گرم و نیمه مرطوب که دمایی بالای ٤٠ درجه دارند، می‌تواند در بحث کاهش مصرف انرژی، موثر واقع گردد. همین‌طور چنین فضاهایی آسایش حرارتی را برای انسان ایجاد می‌نمایند. در اقلیم گرم و خشک به دلیل این‌که دمای زیر زمین در دوره گرم سال نسبت به دمای محیط خارج، کمتر و در دوره سرد سال بیشتر است، اغلب بناهای قدیمی دارای زیرزمین بوده‌اند و به ویژه در دوره گرم سال، از آن استفاده می‌شده است. در مقاله حاضر به بررسی رفتار حرارتی بناهای مسکونی خاک-پناه میمند در دوره OHP[3]- که به معنای دوره گرم سال و در این پژوهش مردادماه سال ۱۳۹۸ می‌باشد- پرداخته می-شود.

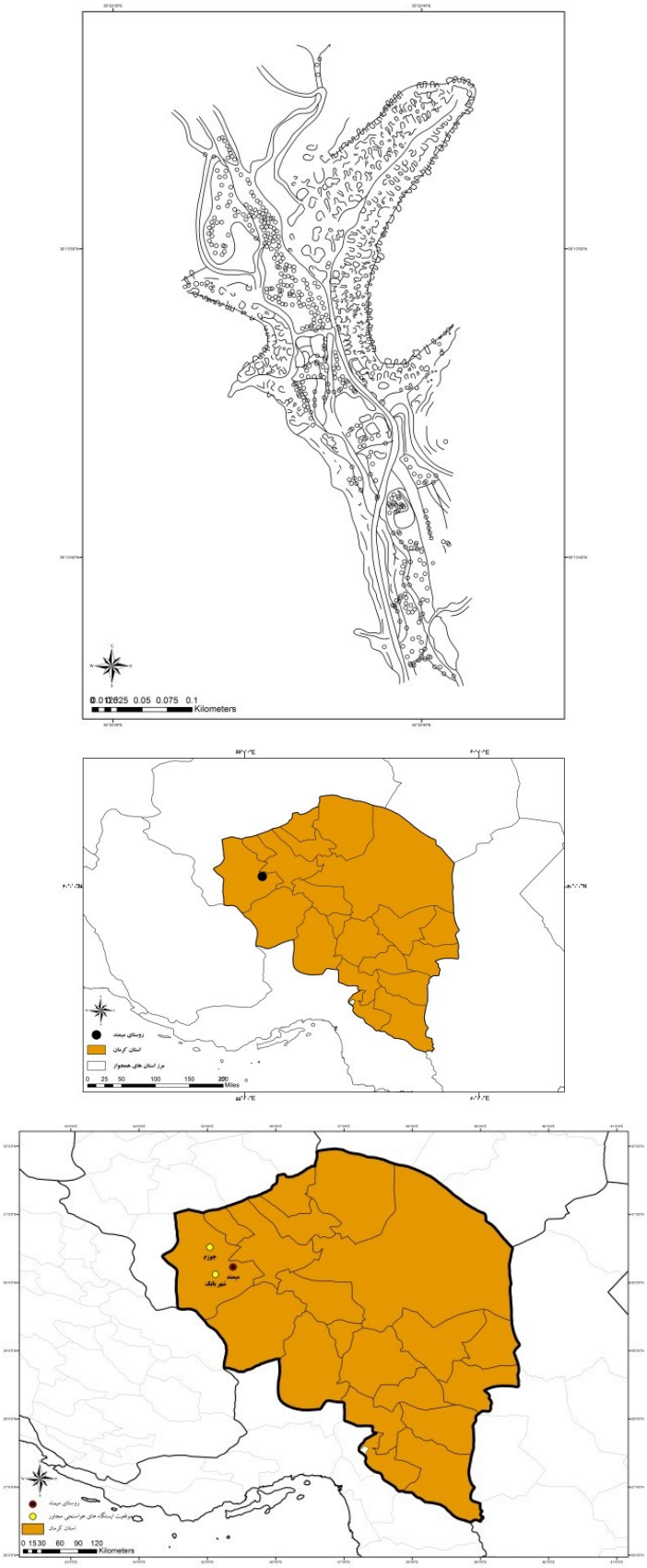
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

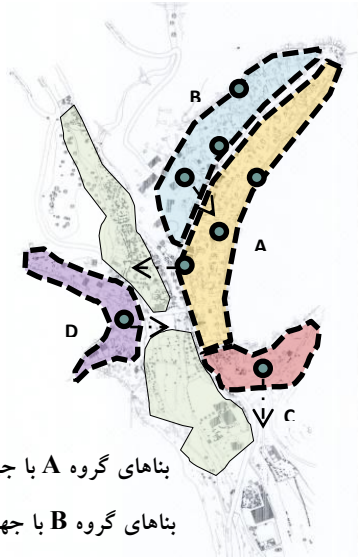
با توجه به غنای معماری بومی روستای میمند که در اقلیم خشک نیمه‌بیابانی قرار گرفته است، به عنوان محدوده پژوهش انتخاب شد (شکل ۲). روستای باستانی میمند در ۳۸ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شهر بابک و حدود ۸۰ کیلومتری منطقه جوزم از توابع استان کرمان می‌باشد. عرض جغرافیایی روستا ۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول آن ۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه است. همچنین ارتفاع آن از سطح دریا ۲۲٤۰ متر می‌باشد. مجموع بارندگی سالیانه آن نیز ۱۸۵ میلی‌متر می‌باشد. این روستا از شرق به رفسنجان، از جنوب به سیرجان، از شمال به استان یزد و از غرب به استان فارس محدود می‌شود. تاریخ اکتشافات و عملیات استخراج در آن به خصوص در مورد معدن به ٦۰۰۰ سال می‌رسد. بر اساس نظر هیات فرانسوی در مورد تاریخ‌نگاره‌های مکشوفه از میمند قدمت این منطقه ۱۲۰۰۰ سال بوده، این در حالی است که بسیاری دیگر نیز معتقدند قدمت این روستا به زمان هخامنشیان می‌رسد (طرح ملی ژئوتوریسم،۱۳۸۷).

روش تحقیق در این مطالعه، روش پژوهش موردی بر پایه اندازه‌گیری‌های کمی و میدانی است. همچنین به دلیل بررسی تاثیر متغیرهای معماری بر رفتار و آسایش حرارتی بناهای خاک‌پناه، روش تجزیه و تحلیل بصورت توصیفی و همبستگی می‌باشد. از حالت رگرسیون عددی نیز بهره گرفته می‌شود و تاثیرات معماری بناهای خاک‌پناه بر روی رفتار حرارتی و در نهایت میزان رابطه آن با آسایش حرارتی بدست می‌آید. از نمودار زیست‌اقلیمی گیونی به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت بررسی و ارزیابی میزان آسایش حرارتی بناهای خاک‌پناه، بهره گرفته می‌شود. پس از بررسی انواع بناها که تعداد آن حدود ۲۵۰۰ اتاق (بنا) می-باشد، نمونه موردی مشخص گردید.

1 . Breçani and Dervishi
2 . Sadoughi et al
3 . OverHeated Period



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی روستای میمند و ایستگاه‌های هواسنجی شهربابک و روستای جوزم در استان کرمان



جدول راهنما

بناهای گروه A با جهت‌گیری به سمت غرب

بناهای گروه B با جهت‌گیری به سمت جنوب شرق

بناهای گروه C با جهت‌گیری به سمت جنوب

بناهای گروه D با جهت‌گیری به سمت شرق

بناهای انتخابی از هر گروه

فضای سبز

مقیاس: ۱/٤۲۰۰

شکل ۳- موقعیت بناهای انتخابی در میمند به همراه تصاویر روستا

شکل٤- دستگاه اندازه‌گیری درجه‌حرارت و رطوبت نسبی

بدین ترتیب که ابتدا بافت طبیعی روستا به ٤ بخش تقسیم شد. سپس با توجه به مولفه‌های تاثیرگذار بر رفتار حرارتی بناهای خاک‌پناه میمند یعنی جهت‌گیری نسبت به تابش خورشید، تراز ازتفاعی قرارگیری در توپوگرافی، شاکله فضایی بناها و میزان عمق نفوذ بنا در خاک، گونه‌بندی صورت پذیرفت. نمونه موردی در این پژوهش ۸ بنای خاک‌پناه بومی است که طبق شکل۳، نمایانگر کل جامعه آماری می‌باشد. بنابراین روش نمونه‌گیری به شکل غیر-تصادفی(غیر احتمالی) و هدفمند می‌باشد. در شکل ۳، بناهای انتخابی و موقعیت قرارگیری آن‌ها مشخص شده است.

گفتنی است که برای اطلاعات کلان منطقه از داده‌های ایستگاه هواسنجی شهربابک کمک گرفته شده است. در این پژوهش از یک ایستگاه اندازه‌گیری برای ثبت داده‌های اقلیم محلی(محیط بیرونی) و همچنین یک ایستگاه سیار برای ثبت داده‌های خرد بناهای انتخابی استفاده شده است. داده-های خرد شامل دمای‌هوا و رطوبت‌نسبی می‌باشند. شکل ۵، تصویر وسیله اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی و کنترل آن با ایستگاه خودکار در ایستگاه سینوپتیک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری‌ها در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مردادماه ۱۳۹۸، به عنوان نماینده دوره گرم سال در ساعات ٦ صبح (سردترین زمان) و ۳ بعد از ظهر(گرم‌ترین زمان) انجام شده است.

به منظور سنجش رفتار حرارتی بناهای مسکونی خاک‌پناه میمند کرمان، مولفه‌های اقلیمی درجه‌حرارت و رطوبت‌نسبی در هریک از بناهای مشخص شده در شکل ۳، به کمک ابزارهای دقیق اندازه‌گیری وضعیت اقلیمی به شرح جدول ۱ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع ١٦٠ سانتی-متری(میانگین قد انسان) و بطور میانگین در هر روز ۳ بنا مورد بررسی قرار گرفت. ایستگاه سیار هر ۲۰ دقیقه از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا شد.(قبل از اعتبار سنجی به اعداد موجود در دستگاه‌های ثبت دما و رطوبت، نمونه‌ای بصورت آزمایشی انجام شد که مشخص گردید با توجه به حسگر دما و رطوبت، هر ۲۰ دقیقه می‌توان به اعداد مندرج در دستگاه ثبت داده برای صحت دما و رطوبت‌نسبی فضای مورد نظر استناد نمود. همچنین جابه‌جایی در دو نقطه ورودی و انتهایی برای هر بنا انجام شده است) در نهایت برداشت‌ها بصورت دستی وارد برگه‌های بررسی رفتار حرارتی شد.

جدول ۱- مشخصات دستگاه اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی

متغیر	دستگاه	میزان خطا	روش ذخیره	فاصله زمانی (دقیقه)	شرکت کالیبره‌کننده
درجه حرارت (۰C)	دیتالاگر Testo175-H2	۰/۲+ -	دستی	۲۰	آزمایشگاه واسنجی تستا
رطوبت نسبی (٪)	دیتالاگر Testo175-H2	۵٪ + -	دستی	۲۰	آزمایشگاه واسنجی تستا

شکل ۵- موقعیت قرارگیری ایستگاه ثابت برای اندازه‌گیری داده‌های اقلیم محلی روستای میمند

نتایج و بحث

بررسی رفتار حرارتی

به منظور مقایسه داده‌های کلان اقلیم با اقلیم محلی روستای میمند و صحت دقت اندازه‌گیری‌ها توسط دستگاه ثبت داده، اطلاعات اقلیمی از شبیه‌ترین روستای نزدیک به میمند(از لحاظ موقعیت جغرافیایی) یعنی روستای جوزم از ایستگاه همدید شهربابک گرفته شد. شهر بابک نزدیک‌ترین شهرستان به روستای میمند می‌باشد، اما استناد به اطلاعات اقلیمی آن دقیق نمی‌باشد؛ چرا که از لحاظ موقعیت جغرافیایی با روستای میمند تفاوت دارد. همچنین اطلاعات دقیقی در مورد اقلیم روستای میمند وجود ندارد. از این رو اطلاعات اقلیمی روستای جوزم در روز ۱۱ مرداد سال ۱۳۹۸ گرفته شد. با توجه به این‌که روستای جوزم از ارتفاع کمتری نسبت به روستای میمند برخوردار است، اعداد مشخص‌شده در جدول ۲، صحت دقت اندازه‌گیری توسط دستگاه ثبت داده را اعلام می‌کند.

بررسی تغییرات درجه‌حرارت و رطوبت‌نسبی

بطور کلی با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در دوره گرم سال، هر چه به سمت عمق خاک حرکت می‌شود، تغییرات دما و رطوبت‌نسبی، نسبت به اقلیم محلی محسوس‌تر می‌باشد. بناهای گروه A با جهت‌گیری به سمت غرب، بناهای B با جهت‌گیری به سمت جنوب شرق، بناهای C با جهت‌گیری نسبت به جنوب و بناهای D با جهت‌گیری نسبت به شرق واقع شده‌اند. این دسته‌بندی برای مواردی که مقدور بود در سه تراز ارتفاعی متفاوت(بالا، متوسط و پایین)، شاکله فضا بصورت دو اتاقی(دو اتاق پشت سرهم) و تک اتاقی، میزان عمق در خاک به سه حالت عمیق، نیمه عمیق و کم‌عمق انتخاب شد. بناهای A-1 و B-1 در بالاترین تراز ارتفاعی و با عمق حدودا ۱۰ متردر خاک (عمیق) با شاکله دو اتاقی، A-2 ، B-2 و D-1 با عمق ۹ متر با شاکله دو اتاقی و C-1 با

عمق حدود ۷/۵ متر در خاک(نیمه عمیق) در تراز متوسط با شاکله تک‌اتاقی و در نهایت A-3 با عمق ٤ متر (کم‌عمق) و B-3 با عمق ۹ متر در خاک در پایین‌ترین تراز ارتفاعی با شاکله تک‌اتاقی می‌باشند.

در روز ۱۱ مرداد ۱۳۹۸، بناهای گروه A، در روز ۱۲ مرداد بناهای گروه B و در روز ۱۳ مرداد بناهای گروه C و D مورد برداشت قرار گرفت. جداول ۳ الی ۸ اطلاعات برداشت‌های صورت‌گرفته در مورد متغیرهای اقلیمی درجه حرارت و رطوبت نسبی اقلیم محلی و بناهای مذکور را نشان می دهد. همچنین برداشت در بناها در دورترین و نزدیک‌ترین نقطه نسبت به ورودی انجام گرفت. شکل ٦ الی ۱۰ موقعیت برداشت را در انواع بناهای انتخابی نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه آمار هواشناسی ایستگاه جوزم با آمار ساعتی کوتاه‌مدت میمند در روز ۱۱ مرداد ۱۳۹۸

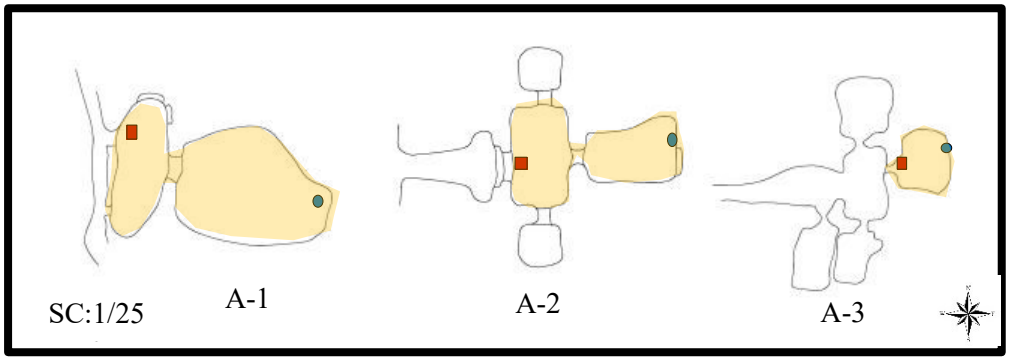
	کمینه درجه‌حرارت	بیشینه درجه‌حرارت	کمینه رطوبت‌نسبی	بیشینه رطوبت‌نسبی
روستای میمند				
۱۱ مرداد	۲۱/۳	۳۵/٦	۱۹/۵	۲۱/۱
روستای جوزم				
۱۱ مرداد	۲۲/٤	۳۵	۱۲	۳۰

جدول ۳- اطلاعات اقلیم محلی روستای میمند در روز ۱۱ مرداد ۱۳۹۸

درجه حرارت		**رطوبت نسبی**	
٦ صبح	۳ بعد از ظهر	٦ صبح	۳ بعد از ظهر
۲۱/۳	۳۵/٦	۲۱/۱	۱۹/۵

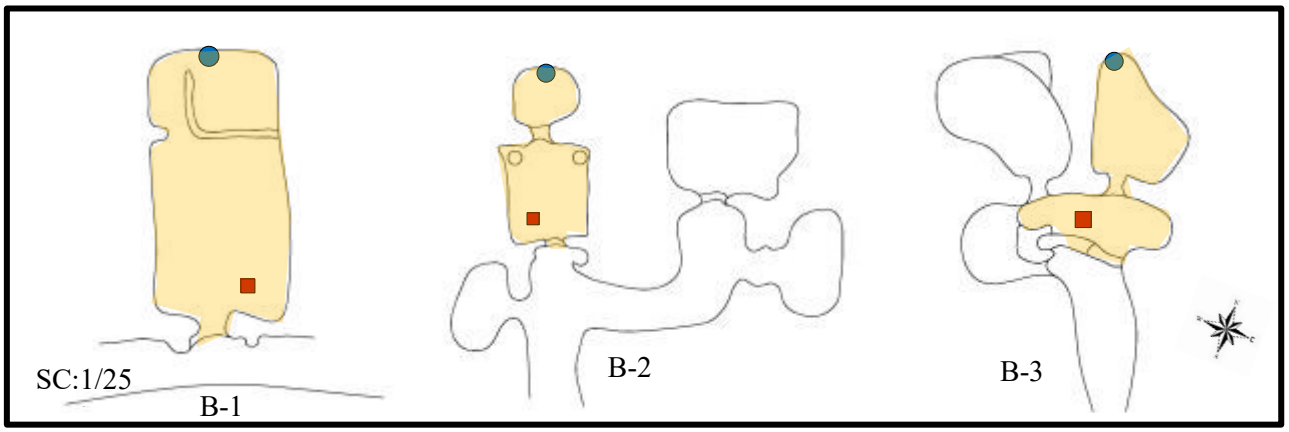
جدول ٤- اطلاعات اقلیمی بناهای مسکونی خاک‌پناه گروه A در روز ۱۱ مرداد ۱۳۹۸

بنا	نقطه اندازه‌گیری شده	متغیر					
		درجه حرارت			رطوبت نسبی		
		حداقل- ٦صبح	میانگین	حداکثر-۳ بعد از ظهر	حداقل-۳ بعد از ظهر	میانگین	حداکثر- ٦صبح
A-1	●	۲۰/٤	۲۱/۵	۲۲/٦	۳۵/٤	۳۸/۸	٤۲/۲
	■	۲۳/۸	۲٤/۵	۲۵/۲	۳۰/۱	۳٤/۹۵	۳۹/۸
A-2	●	۲۰/۸	۲۲/۳	۲۳/٦	۳٤/۲	۳۸/۲	٤۲/۲
	■	۲۲/۳	۲۳/۵	۲٤/۳	۳۲/۱	۳٦/۳	٤۰/۵
A-3	●	۲۳/۷	۲۵	۲٦/۵	۳٦/۷	۳۸/۳۵	٤۰
	■	۲٤	۲۵/۹	۲۷/۳	۳۵/۱	۳٦/۵۵	۳۸



شکل ٦– پلان بناهای مسکونی خاک‌پناه گروه **A** ؛ موقعیت برداشت با نقاط آبی و قرمز مشخص شده است.

شکل ۷– تصویر برداشت در دورترین و نزدیک ترین نقطه نسبت به ورودی در بنای **A-2** توسط دستگاه ثبت داده



شکل ۸- پلان بناهای مسکونی خاک‌پناه **B**؛ موقعیت برداشت با نقاط آبی و قرمز مشخص شده است.

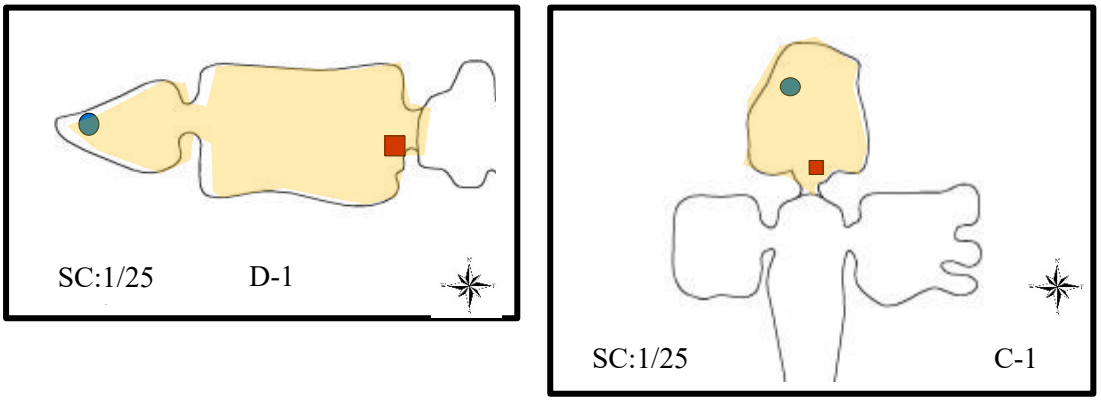
شکل ۹– تصاویر مربوط به بنای B-2

جدول ۵– اطلاعات اقلیم محلی روستای میمند در روز ۱۲ مرداد ۱۳۹۸

درجه حرارت		رطوبت نسبی	
٦ صبح	۳ بعد از ظهر	٦ صبح	۳ بعد از ظهر
۲۰/۷	۳۵	۲٦/۵	۲۲

جدول ٦– اطلاعات اقلیمی بناهای مسکونی خاک‌پناه گروه B در روز ۱۲ مرداد ۱۳۹۸

بنا	نقطه اندازه‌گیری شده	متغیر					
		درجه حرارت			رطوبت نسبی		
		حداقل- ٦صبح	میانگین	حداکثر-۳ بعد از ظهر	حداقل-۳ بعد از ظهر	میانگین	حداکثر- ٦صبح
B-1	●	۲۲/٤	۲۲/۹۵	۲۳/۵	۲۱/۵	۲۷/۱	۳۲/۷
	■	۲٤/۵	۲۵	۲۵/۵	۲۰/٤	۲۵/۲	۳۰
B-2	●	۲۰/۹	۲۲/۰۵	۲۳/۲	۲۹	۳۳/۵	۳۸
	■	۲۲/۲	۲۳/۱	۲٤	۳۱	۳۱/۵	۳۲
B-3	●	۲۳/۵	۲۳/۸	۲٤/۱	٤۸	٤۹	۵۰
	■	۲٤	۲٤/٤۵	۲٤/۹	٤۵	٤٦/۵	٤۸



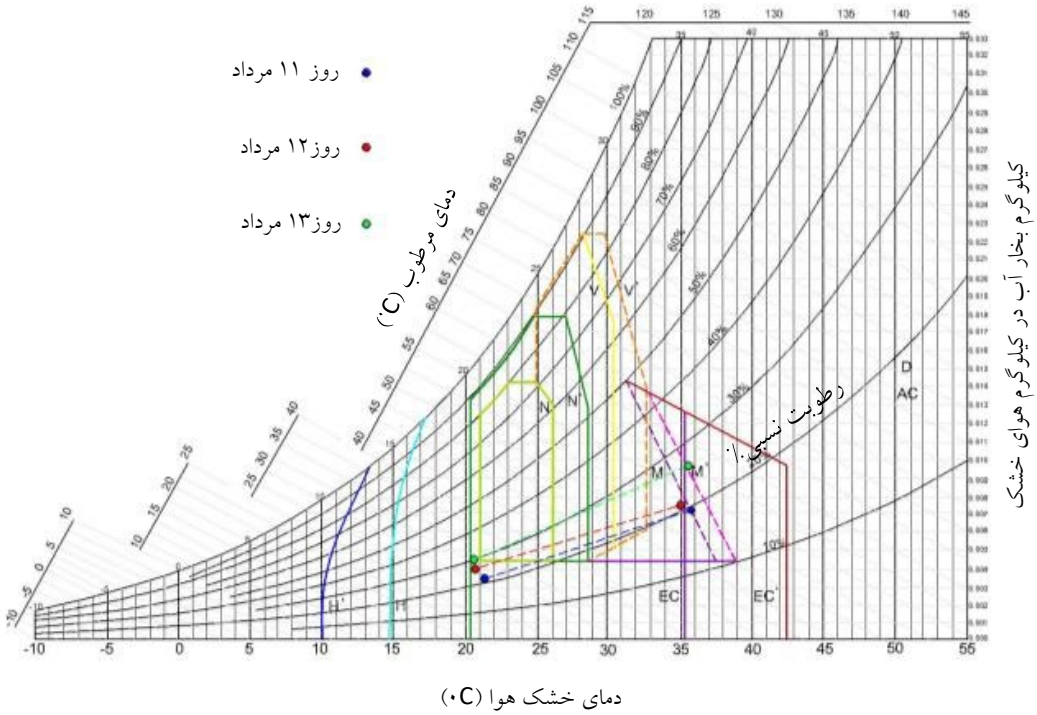
شکل ۱۰– پلان بناهای خاک‌پناه گروه‌های C و D؛ موقعیت برداشت با نقاط آبی و قرمز مشخص شده است

جدول ۷– اطلاعات اقلیم محلی روستای میمند در روز ۱۳ مرداد ۱۳۹۸

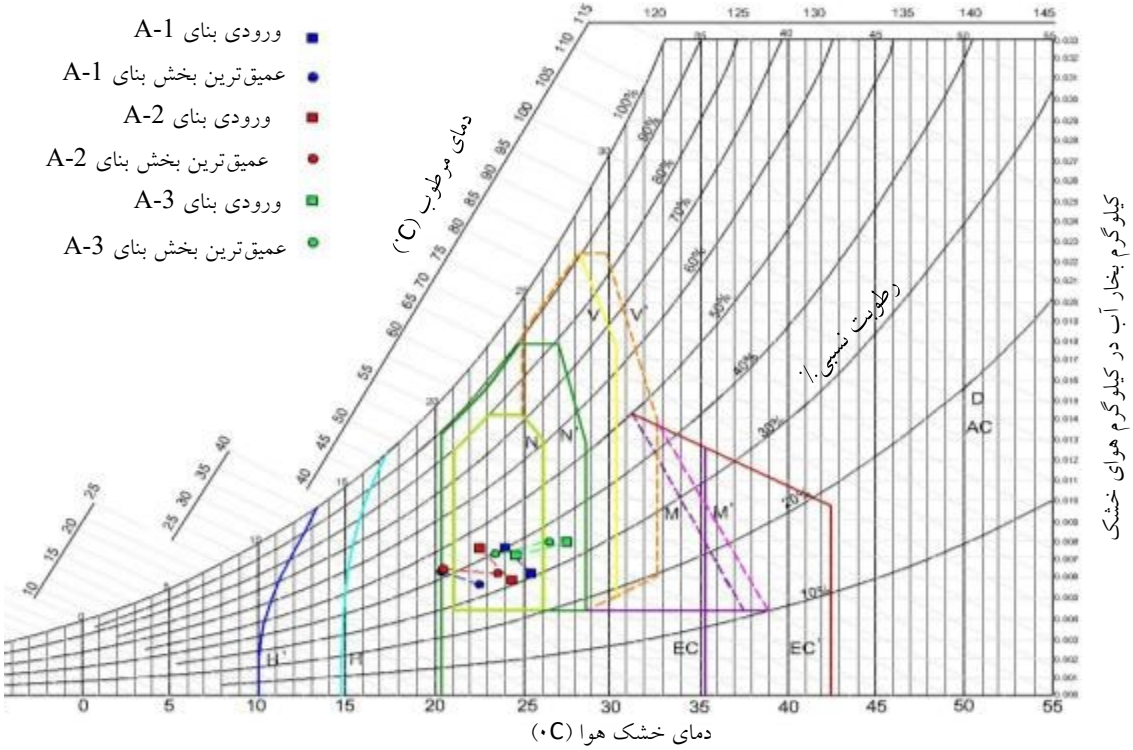
درجه حرارت		رطوبت نسبی	
٦ صبح	۳ بعد از ظهر	٦ صبح	۳ بعد از ظهر
۲۰/٦	۳۵/۷	۳۰	۲۷

جدول ۸– اطلاعات اقلیمی بناهای مسکونی خاک‌پناه گروه‌های C و D در روز ۱۳ مرداد ۱۳۹۸

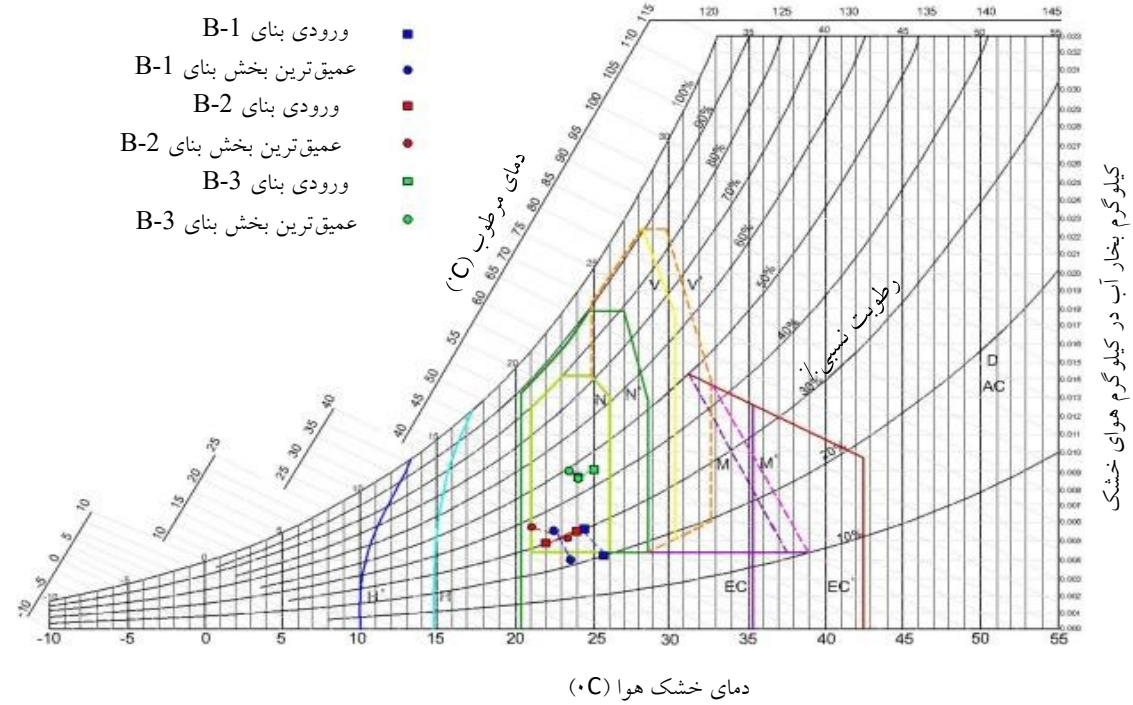
بنا	نقطه اندازه‌گیری شده	متغیر					
		درجه حرارت			رطوبت نسبی		
		حداقل-٦صبح	میانگین	حداکثر-۳ بعد از ظهر	حداقل-۳ بعد از ظهر	میانگین	حداکثر-٦صبح
C-1	●	۲۱/۸	۲۳/۲	۲٤/٦	۳٦	۳۹	٤۲
	■	۲۲/۸	۲٤/۲۵	۲۵/۷	۳۲	۳٤/۵	۳۷
D-1	●	۲۲/۱	۲۳/۰۵	۲٤	٤٦	٤۷/۵	٤۹
	■	۲٤	۲٤/۵	۲۵	٤۱	٤۲	٤۳



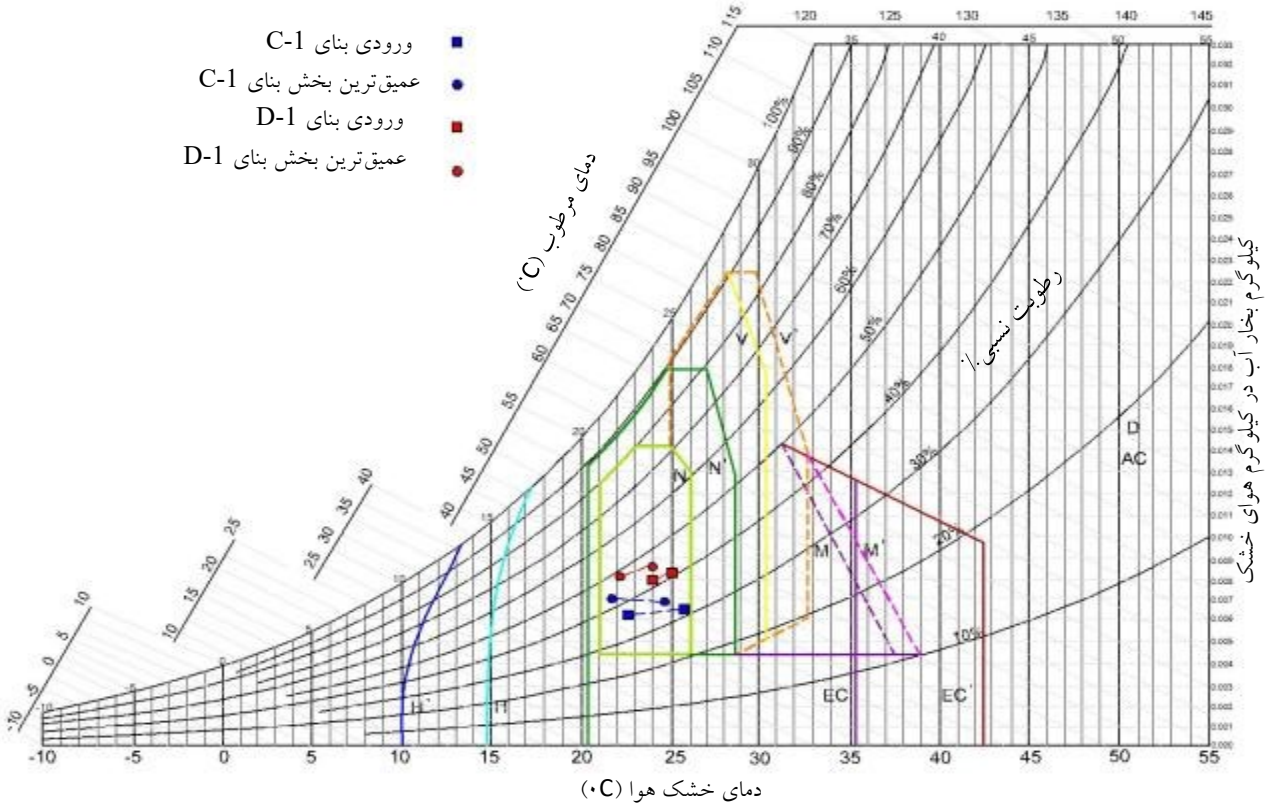
شکل ۱۱- نمودار زیست‌اقلیمی گیونی اقلیم محلی روستای میمند



شکل ۱۲- نمودار زیست‌اقلیمی گیونی بناهای گروه A



شکل ۱۳- نمودار زیست‌اقلیمی گیونی بناهای گروه B



شکل ١٤- نمودار زیست‌اقلیمی گیونی بناهای گروه C و D

بررسی آسایش حرارتی بناهای خاک‌پناه میمند

به منظور میزان آسایش حرارتی بناهای مسکونی خاک‌پناه میمند در دوره گرم سال از نمودار زیست‌اقلیمی گیونی استفاده شد. شکل ۱۱، رفتار حرارتی اقلیم محلی را در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرداد ۱۳۹۸ به عنوان نماینده دوره گرم سال نشان می‌دهد. شکل مذکور اختلاف دمای زیادی را در هنگام صبح و بعدازظهر نشان می‌دهد که از حدود آسایش خارج است. لذا بهره‌گیری از جرم حرارتی می‌تواند آسایش حرارتی را برای انسان ایجاد نماید. با توجه به شکل ۱۲، بنای A-2 با جهت‌گیری رو به سمت غرب، قرارگیری در تراز متوسط کوه و همچنین عمق حدود ۹ متر در خاک(عمیق‌ترین) و شاکله دو اتاقی بیشترین میزان آسایش حرارتی را در میان بناهای گروه A دارا می‌باشد. در شکل ۱۳، مشخص می‌شود که بنای B-2 با توجه به جهت‌گیری به سمت جنوب شرق، قرارگیری در تراز متوسط کوه، عمق حدود ۹ متر خاک و شاکله دو اتاقی، بیشترین میزان آسایش حرارتی را در میان بناهای گروه B دارا می‌باشد. بنای B-3 با توجه به رطوبت‌نسبی بالاتر نسبت به B-2، آسایش حرارتی کمتری دارد. یکی از مواردی که در تامین آسایش حرارتی نقش موثری دارد، ایجاد تهویه طبیعی در بناهایی است که رطوبت بالایی دارند. از آن‌جایی‌که تهویه طبیعی مناسبی در بناهای خاک‌پناه میمند صورت نمی‌پذیرد، بنای B-3 در تامین آسایش حرارتی به خوبی B-2 عمل نمی‌کند. همچنین در شکل ١٤، مشخص می‌شود که هر دو بنای C-1 و D-1 در تامین آسایش حرارتی مشابه هستند، با این تفاوت که بنای C-1 با توجه به عمق حدود ۷ متر نسبت به بنای D-1 با عمق حدود ۹ متر از لحاظ رطوبتی آسایش بیشتری فراهم می‌کند. در مجموع می‌توان این چنین اذعان نمود همگی بناهای خاک‌پناه دارای رفتار حرارتی مناسبی در

فصل گرم سال هستند. برای انتخاب بهترین بناهای خاک‌پناه در فصل گرم ،۲۳ الی ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد در نمودار زیست اقلیمی گیونی به عنوان اوج آسایشی دما و ۳۰ الی ۸۰ صد به عنوان اوج آسایش رطوبت انتخاب شده است.

بنابراین با توجه به شکل های ۱۲ الی ١٤ و با نگاهی دقیق‌تر می‌توان این‌چنین بیان کرد که در دوره گرم و در طول شبانه‌روز، بیشترین میزان آسایش حرارتی در میان کل بناهای مسکونی خاک‌پناه، مربوط به بناهای B-2 و C-1 می‌باشد که همگی در تراز متوسط کوه قرار گرفته‌اند. دلایل آن را می‌توان این‌طور گفت که جهت‌گیری جنوب شرقی و جنوبی بناها می‌تواند در اقلیم خشک نیمه‌بیابانی میمند دمای متعادل‌تری را در کل شبانه‌روز ایجاد کند. همچنین قرارگیری در تراز متوسط از جریان‌های هوایی سرد در شب و روز که در ارتفاعات بالا و بخش دره ایجاد می‌شود و میزان آسایش حرارتی را کم می‌کند، در امان است. عمق بناهای مذکور به ترتیب ۹ متر و ۷/۵ متر می‌باشد. به نظر می‌آید اگر بنای C-1 دارای عمق بیشتری و شاکله دواتاقی باشد، آسایش بیشتری نیز حاصل می‌شود. همچنین ساختمان‌های A-1 و A-2 با توجه به بیشترین میزان عمق فرورفتگی در خاک و جهت‌گیری غربی به عنوان سردترین بناهای روستای میمند انتخاب شدند که مدتی پس از غروب آفتاب از شرایط آسایش حرارتی دور می شوند. به طور کلی بناهای واقع در بخش شرقی روستا که جهت‌گیری غربی نسبت به تابش خورشید دارند، به دلیل میزان حداقلی دریافت گرما در طول روز، سردتر از قسمت‌های دیگر روستا هستند. در نهایت با توجه به شکل‌های۱۲ الی ١٤، این نتیجه حاصل می‌شود که تمامی بناهای خاک‌پناه روستای میمند دارای رفتار حرارتی بسیار مناسبی در دوره گرم سال می‌باشند.

نتیجه‌گیری

همان طور که ذکر شد دلایل مختلفی را می‌توان برای شکل‌گیری بناهای خاک‌پناه عنوان نمود. یکی از مهم‌ترین این عوامل، رفتار حرارتی بناهای مذکور می‌باشد. از این رو در این مقاله، رفتار حرارتی بناهای خاک‌پناه میمند در دوره گرم سال مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. پس از دسته‌بندی انواع بناهای روستا به گونه‌های مختلف، نمونه موردی پژوهش انتخاب، بررسی و تحلیل شد. اندازه‌گیری‌های محیطی نظیر دما و رطوبت‌نسبی نشان داد که: با افزایش نفوذ عمق بنا در خاک، میزان نوسانات دما و رطوبت‌نسبی بنا نسبت به محیط بیرون کاهش می‌یابد. این اتفاق به دلیل ازدیاد جرم حرارتی می‌باشد که بنای مورد نظر را نسبت به تغییرات اقلیمی بیرونی، پایدارتر می‌سازد. همچنین مشخص شد که به لحاظ آسایش حرارتی، بهترین جهت‌گیری بنا در این روستا جهت‌گیری جنوبی و جنوب شرقی نسبت به تابش خورشید می‌باشد. با توجه به این‌که جهت‌گیری‌های غربی و شرقی کمترین میزان دریافت انرژی تابشی را دارند، در ساعاتی از روز از محدوده آسایش حرارتی خارج می شوند. از طرفی بناهایی که در ارتفاعات بالایی قرار دارند نسبت به بناهای پایین‌تر، دمای کمتری دارند که در دوره گرم سال می‌تواند به آسایش حرارتی آن فزونی بخشد. البته در برخی مواقع نظیر قبل از طلوع آفتاب از حدود آسایش خارج می‌شود و استفاده از لباس نسبتا گرم ضرورت می‌یابد. همچنین شاکله دو اتاقی فضاها به دلیل اینکه عموما دارای عمق بیشتری می‌باشد و همچنین سرد و گرم شدن آن نسبت به شاکله یک اتاقی–که معمولا فضای بزرگ‌تری هستند–، آسان‌تر می‌باشد، در مجموع آسایش حرارتی بیشتری فراهم می کند. در ادامه نتایج نمودار زیست‌اقلیمی گیونی نشان داد که تمامی بناهای خاک‌پناه روستای میمند در دوره گرم سال دارای رفتار حرارتی بسیار مناسبی بوده و بناهای B-2 و C-1 بهترین بناها از لحاظ تامین آسایش حرارتی و بناهای A-1 و A-2 سردترین آن در دوره گرم سال هستند. در مجموع می‌توان این چنین گفت که بناهای خاک‌پناه روستای میمند با ویژگی‌های جهت‌گیری جنوبی و جنوب شرقی نسبت به تابش خورشید، تراز ارتفاعی متوسط در توپوگرافی، شاکله دو اتاقی و عمق حداکثری نفوذ بنا در خاک می‌توانند آسایش حرارتی بیشتری را برای انسان در دوره گرم سال ایجاد نمایند.

منابع

1. Al-Mumin, A.A., 2001, Suitability of Sunken Courtyards in the Desert Climate of Kuwait, Energy and Buildings, 33(2), pp. 103- 111.
2. Auhl, I., and Finch, P., 1979, Burn in Colour,

Hawthorndene. S. Australia: Investigator Press, Edition 1.
3. Breçani, R., and Dervishi, S., 2019, Thermal and energy performance evaluation of underground bunkers: An adaptive reuse approach, Sustainable Cities and Society, Vol 46, 101444.
4. Cantin, R., 2010, Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in france. Building Environ, 45(2), pp. 473-484.
5. Carmody, J., and Sterling, R., 1993, Underground space Design New York:Van nostrand Reinhold Press, Edition 1, 352 Pages.
6. Emadian Razavi, S.Z., and Ayatollahi, S.M.h., 2014, Taking advantage of the earth's thermal stability to create thermal comfort, Soffeh Journal, 24(64), pp. 33-42.
7. Gonzalo, R, 2013, Design of buildings with high energy efficiency, Translated By Khoshue, A., Sayyadi, E., and Mabhut, M.R, Louts Press, Edition 1, 208 pages.
8. Hazbei, M., Nematollahi, O., Behnia, M., and Adib, Z., 2015, Reduction of energy consumption using passive architecture in hot and humid climates, Tunn. Undergr. Space, Technol, Vol 47, pp. 16-27.
9. Heba, H., and Sumiyoshi, D., 2018, Earth-sheltered buildings in hot-arid climates: design guidelines, Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, Vol 7, pp. 397-406.
10. Heidary, Sh.,and Imani, F., 2018, Evaluation of underground building energy consumption compared to similar models on the Earth's surface climates in Tehran, Yazd and Tabriz, Iranian Journal of Architectural Studies, 7(13), pp. 89-105.
11. Khodabakhshian, M., 2012, Earth-shelter Building, a way to save energy. The first conference on climate, building and energy consumption optimization, Esfahan
12. Khodabakhshian, M., Mofidi Shemirani, S.M., and Habib, F., 2012, Typology of Earth-shelter Architecture in Iran. International Journal of Architecture and Urban Development, 2(4), pp. 5-10.
13. Labs, K.., 1976, The Architectural Underground, Underground Space, Vol 1, pp. 135- 156.
14. Masoudinezhad, M., Tahbaz, S.M., and Mofidi shemirani, S.M., 2018, Investigation of thermal behavior of
15. Shavadan, Case Study: Dezful Souzangar House, Iranian Journal of Architectural Studies, 7(13), pp. 49-70.
16. Milanovi´c, A., Folic, N., and Folic, R., 2018, Earth-Sheltered House: A Case Study of Dobraca Village House near
17. Kragujevac, Serbia, Sustainability, MDPI, Open Access Journal, 10(10), pp. 1-15.
18. Mooney, B., 1985, Modern cavemen of Spain, Toronto Globe And Mail Press, No , Edition .
19. Moore, F., 2002, Environmental control systems, Translated By Azari, R., and Keynezhad, M.a., Tabriz Islamic Art University Press, Edition 1, 527 pages.
20. Nasrollahi, N., and Akrami Abarghuie, F., 2017, Thermal Performance of Earth-Sheltered Residential Buildings: a Case Study of Yazd. Naqshejahan, 6(4) , pp. 056–067.
21. National Geotourism Initiative, 1387, A rocky village of Meymand, In http://www.kerman.medu.ir, Tuesday, December 5, 2010 at 7:45 pm.
22. Papada,L., Katsoulakos, N., and Kaliampakos, D., 2016, Fighting energy poverty by going underground. Procedia Engineering, Vol 165, pp. 49-57.
23. Sadoughi, A., Kibert, C., Mirmohammad Sadeghi, F., and Jafari, S., 2019, Thermal performance analysis of a Traditional passive cooling system in Dezful, Iran, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol 83, pp. 291-302.
24. Tahbaz, M., Jalilian, Sh., and Mousavi, F., 2014, The role of soil thermal mass in controlling the environmental conditions of buildings, field survey in a number of monuments in the city of Kashan, Soffeh Journal, 24(66), pp. 31-66.
25. Tan, Z., Roberts, A., Christopoulos, G., Kwok, K., Car, J., Li, X., and Soh, C., 2019, Working in underground spaces:
26. Architectural parameters, perceptions and thermal comfort measurements. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol 71, pp. 428-439.