

بررسی میزان مطابقت بناهای خاک‌پناه میمند با اقلیم آن از لحاظ آسایش حرارتی

امیررضا خاکسار^۱، سید مجید مفیدی شمیرانی^{۲*}، محمود نیکخواه شه میرزادی^۳

۱- گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان

۲- استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده معماری و شهرسازی

۳- گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان

چکیده

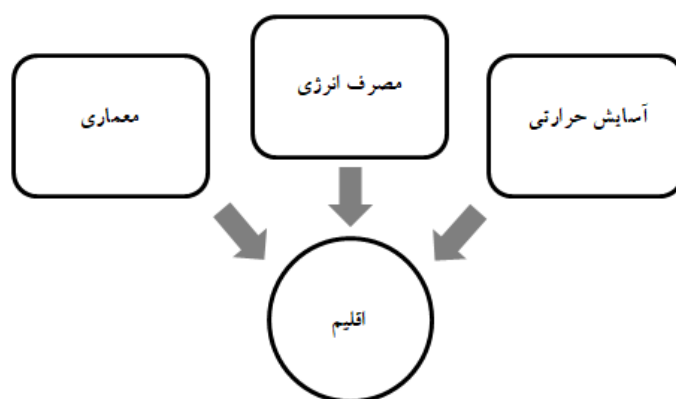
اقلیم را می‌توان یکی از مهم‌ترین موضوعات مرتبط با معماری دانست که اطلاعات آن قبل از طراحی می‌تواند در جهت ایجاد آسایش حرارتی کمک شایانی کند. از تبعات عدم توجه به اقلیم در معماری، بناهای نامناسب از لحاظ تامین آسایش حرارتی می‌باشد که می‌بایستی در آن از سوخت فسیلی استفاده شود. همچنین عدم ایستگاه‌های همدید و هواسنجی جهت شناخت اقلیم یک منطقه خاص از دیگر مسائلی است که نمی‌توان میزان تطابق معماری با اقلیم مورد نظر را بطور دقیق بررسی نمود. در پژوهش حاضر ساخت و شناخت اقلیم یک منطقه از طریق نرم‌افزار و میزان همسازی معماری و اقلیم آن، دغدغه پژوهش می‌باشد. بنابراین بررسی میزان انطباق بناهای خاک‌پناه میمند از اقلیم خود مساله اصلی مقاله تلقی گردید. همچنین شناسایی تاثیرگذارترین متغیرهای اقلیمی بر شکل‌گیری بناهای روستای میمند از لحاظ آسایش حرارتی به عنوان هدف اصلی پژوهش انتخاب شد. برای تحقق هدف، از روش تحقیق پژوهش موردی بر پایه اندازه‌گیری‌های میدانی کمک گرفته شد و از نرم‌افزار تخصصی به عنوان روش جمع‌آوری اطلاعات استفاده گردید. همچنین از نمودارهای حاصله از نرم‌افزار به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است که روستای میمند به عنوان نمونه موردی انتخاب شد و مطالعات میدانی در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرداد سال ۱۳۹۸ انجام گرفت. متغیرهای درجه حرارت و رطوبت نسبی توسط دستگاه ثبت داده حصول یافت و سپس اقلیم روستای میمند در طی دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹ در نرم‌افزار متانورم ساخته شد. سپس خروجی آن و بطور خاص اطلاعات درجه حرارت و رطوبت نسبی با داده‌های کلی ایستگاه همدید شهر بابک و همچنین خروجی دستگاه ثبت داده جهت صحت‌سنجی مقایسه و کنترل شد. پس از صحت‌سنجی اطلاعات نرم‌افزار متانورم، فایل EPW اقلیم روستای میمند وارد نرم‌افزار کلایمیت کانسولنت گردید. نتایج نشان داد که بیشترین متغیر تاثیرگذار اقلیمی بر شکل‌گیری بناهای خاک‌پناه میمند، مولفه درجه حرارت می‌باشد و حداکثر تطابق معماری روستای میمند با اقلیم آن از نظر آسایش حرارتی در بخش‌های شکل پلان و تناسبات، شاکله بنا، مصالح و جرم حرارتی، نسبت بازشو به دیوار، ضخامت جداره‌ها و سایه‌بان‌های قابی شکل بود. کمترین میزان توجه در جهت‌گیری بناها نسبت به تابش خورشید بود که احتمالاً به دلایل بافت طبیعی روستا شکل گرفته است. همچنین بناهایی که بطور همزمان دارای جهت‌گیری جنوبی و یا جنوب شرقی نسبت به تابش خورشید، قرارگیری در تراز ارتفاعی میانی توپوگرافی، شاکله مربعی پلان و عمق حداکثری نفوذ بنا در خاک بودند، به عنوان همسازترین بناها با اقلیم از نظر آسایش حرارتی انتخاب شدند. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان اذعان نمود که بناهای خاک‌پناه روستای میمند از جنبه‌های متعددی با اقلیم خود مطابقت دارد که نتیجه آن آسایش حرارتی در دوره‌های زمانی سال می‌باشد و در نهایت راهکارهای معماری همساز با اقلیم آن می‌تواند الگویی برای معماری معاصر دیگر مناطق مشابه اقلیم میمند باشد.

کلید واژه‌ها: اقلیم، آسایش حرارتی، بناهای خاک‌پناه میمند، نرم‌افزار، صحت‌سنجی.

مقدمه

معماری معاصر با تقلید از الگوهای مدرن و بدون توجه به خصوصیات اقلیمی هر منطقه، بناهای مشابهی را در اقلیم‌های مختلف احداث کرده که برای انطباق با شرایط آسایش انسان، نیازمند بهره‌گیری گسترده از منابع انرژی فسیلی می‌باشند. توجه به نیروهای طبیعی و زوال‌ناپذیری چون آفتاب، باد و بهبود بخشیدن به شرایط حرارتی فضاهای زیستی از دیرباز در ایران معمول بوده است. استفاده از این نیروها در ساختمان به صرفه‌جویی در مصرف سوخت و مهم‌تر از آن به ارتقای کیفیت آسایش و سالم‌سازی محیط زیست منتهی می‌شود. شکل ۱، نقش شناخت اقلیم را در معماری مناسب، مصرف انرژی حداقل و در نهایت آسایش حرارتی نشان می‌دهد. هر منطقه اقلیمی، تیپولوژی و سیماشناسی معماری

متناسب با آن اقلیم را دارد (معماریان، ۱۳۷۵، ۱۰). برای ساخت ساختمانی جدید که با محیط اطرافش مطابقت داشته باشد می‌بایست اقلیم آن به درستی شناخته شود (پیکوار، ۲۰۰۳). با توجه به اهمیت آب و هواشناسی در طراحی مسکن، شناخت عناصر اقلیمی و استفاده از آن‌ها جهت بهینه‌سازی مسکن و کاهش مصرف انرژی یک امر مهمی است (علیچانی و کاویانی، ۱۳۸۶، ۵). همچنین کاهش مصرف انرژی تجدیدناپذیر در ساختمان از طریق شناخت اقلیم حاصل می‌گردد (سام و همکاران، ۲۰۰۷). طراحی ساختمان با توجه به ویژگی‌های اقلیم منطقه می‌تواند در بیشتر مواقع آسایش حرارتی را بدون بکارگیری وسایل مکانیکی به ارمغان آورد (مرادی، ۱۳۸۶).



شکل ۱- ارتباط موثر اقلیم با سه گانه معماری، مصرف انرژی و آسایش حرارتی

کلی این تقسیم‌بندی‌ها برای معماری کاربرد چندانی ندارد، لذا شرایط اقلیمی را به چهار دسته گرم و خشک، سرد، معتدل و گرم و مرطوب تقسیم کرده‌اند (نمازیان، ۱۳۸۹). توجه به اقلیم و عوامل اقلیمی نخستین گام و زیراساس هرگونه طراحی منطبق با صرفه‌جویی یا ممیزی انرژی در معماری است. تنها پس از شناخت اقلیم می‌توان به مواردی چون طراحی بنا و استفاده از مصالح پرداخت (حیدری، ۱۳۹۴). به نظر می‌رسد که نتیجه صدها سال بهینه‌سازی برای فراهم آوردن یک منطقه راحت، استفاده از فناوری‌های ساختمانی در دسترس و همساز با اقلیم بوده است (بوداج و لنگ، ۲۰۰۴). طراحی اقلیمی منجر به استفاده حداقل انرژی تجدیدناپذیر در ساختمان می‌شود (حاتمی و رزانه و همکاران،

خلق شرایط محیطی راحت و مطلوب زندگی و تامین امنیت ساکنین بنا از گزند شرایط نامساعد محیطی و جوی از اصول معماری و ساختمان به شمار می‌رود. طراحی همساز با اقلیم عبارتست از نگهداری وضعیت میکروکلیمایی مسکن در محدوده آسایش (فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۶۱). از نظر کنترل فضاهای داخلی ساختمان، اولین گام در استفاده از انرژی‌های طبیعی، هماهنگ‌سازی ساختمان و به طور کلی محیط مسکونی با شرایط اقلیمی حاکم بر آن است. کیفیت نسبی آب و هوا در هر منطقه، نوع اقلیم آن منطقه را مشخص می‌کند که با کیفیت اقلیمی مناطق دیگر متمایز می‌شود. شرایط اقلیمی زمین از نظر هواشناسی به ۳۲۲ منطقه و از نظر کشاورزی به ۱۶ منطقه تقسیم شده است، ولی به طور

۲۰۱۴). همچنین آسایش حرارتی شامل فاکتورهای اقلیمی و انسانی می‌شود (اشری، ۲۰۱۷). در زمان‌های گذشته، معماری و شهرسازی شهرها به طور قابل توجهی از عوامل اقلیمی تأثیرپذیر بود. طوری که در طراحی مسکن توجه ویژه‌ای به اقلیم آن می‌گردید. طی چند دهه اخیر دگرگونی‌های اجتماعی و تحولات اقتصادی، توسعه شهرها و رشد شهرنشینی را به دنبال داشته است. به دنبال این تحولات چهره و بافت شهرها نیز تغییر یافت (کامیابی، ۱۳۹۵). طراحی پاسخگو به اقلیم قادر به حداقل رساندن مصرف انرژی تجدیدناپذیر و ایجاد آسایش حرارتی می‌باشد که یکی از مهم‌ترین بحث‌ها در دنیای معاصر می‌باشد (مطلع و همکاران، ۲۰۱۸). در شکل‌گیری شرایط آسایش انسان از دیدگاه اقلیمی، چهار عنصر دما، رطوبت، باد و تابش نقش دارند. لحاظ کردن ویژگی‌های اقلیمی یک منطقه در معماری می‌تواند شرایط داخل و حتی بیرون ساختمان را به بهترین شرایط ممکن از لحاظ آسایش حرارتی نزدیک کند و استفاده از سوخت‌های فسیلی را به حداقل رساند (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷). طراحی درست فرم‌های معماری - که مطابق با اقلیم باشد - یکی از موثرترین روش‌ها برای دستیابی به آسایش حرارتی است (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹). توسلی (۱۳۶۰) به تأثیر عوامل اقلیمی و تاریخی در معماری شهرهای یزد، نائین، زواره، طبس، کاشان و بعضی مناطق مرکزی ایران پرداخته است. رازجویان (۱۳۶۷) ضمن تعیین و تشریح نمودارهای آسایش، شرایط آسایش و معماری مناسب با اقلیم را در نقاط مختلف ایران بررسی نموده است. کسمایی (۱۳۷۲) ایران را به مناطق مختلف اقلیمی تقسیم‌بندی نموده است و با توجه به معیارهای ماهانی و جدول بیوکلیماتیک اولگی و جدول بیوکلیماتیک ساختمانی، اصول و کلیات معماری همساز با اقلیم در نقاط زیادی از ایران را مشخص نموده است. آسیایی و همکاران (۱۳۸۳) طی مطالعاتی نقش معماری همساز با ویژگی اقلیمی مناطق در جهت بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی را در ایران مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار دادند. همچنین کاظمی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی میزان تطابق مدارس نوساز شهر اصفهان با شاخص‌های اقلیم معماری این شهر پرداخته است. وی با استفاده از جداول ماهانی و نمودار منطقه آسایش اصفهان و باتوجه به دیاگرام‌های اقلیمی شاخص‌های معماری متناسب

با اقلیم اصفهان مانند جهت ساختمان در ارتباط با عوامل اقلیمی مانند تابش و بردار باد، ابعاد پنجره‌ها، بررسی وضعیت سایبان‌ها و تعیین عمق و اندازه مناسب آن مشخص کرده است. در مرحله بعد با استفاده از اطلاعات بدست آمده توسط کارنامه ساختمانی و پلان مدارس جامه آماری، به بررسی هماهنگی معماری مدارس نوساز شهر با استانداردهای به دست آمده، پرداخته است. شاطریان (۱۳۸۷) در کتاب اقلیم و معماری به بررسی اقلیم و معماری شهرهای مختلف ایران، و بناهای قدیمی و تاریخی آن‌ها پرداخته است. از طرفی فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی انطباق معماری ساختمان‌های شهر سمنان با شرایط زیست‌اقلیمی آن به روش ماهانی پرداختند. همچنین هاتومبو و همکاران (۲۰۰۹)، تابش پرتو پیش‌بینی شده در عرض جغرافیایی کم با استفاده از بانک اطلاعاتی متانورم را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش که از نرم‌افزار متانورم جهت بررسی میزان تابش خورشید استفاده گردید، روش‌هایی بهینه برای طراحی کلکتورهای آفتابی پیشنهاد داده شد. کامیابی و همکاران (۱۳۸۹) نقش عناصر آب و هوایی در معماری فضای سستی سمنان را بررسی کرده‌اند. همچنین نیکقدم و همکاران (۱۳۹۱) به مقایسه تحلیلی پهنه‌بندی اقلیمی مناطق جنوبی ایران با روش کوپن - تراورتا و معیارهای آسایش گیونی پرداختند. یاران و مهران‌فر (۱۳۹۲) الگوهای مناسب اقلیمی در بافت‌های مسکونی کم‌ارتفاع در اقلیم معتدل (واشینگتن دی. سی، ریچموند، ویرجینیایچ، آنتالیا، رشت، سئول و نی گاتا) را بررسی کردند. از سویی دیگر حبیبی‌خامنه و محمدی (۱۳۹۳) مطالعه معماری ساختمان‌های شهر تهران براساس عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: منطقه ۵ شهرداری) را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که از نرم‌افزار کلایمیت کانسولنتنت برای تحلیل اقلیم استفاده شد، مشخص گردید که اگر احکام معماری به وسیله شاخص‌های آسایش دمایی انجام شود، زمان استفاده از وسایل سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های منطقه ۵ تهران کاهش می‌یابد. همچنین سیوبانو و همکاران (۲۰۱۴)، تأثیر داده‌های اقلیمی اندازه‌گیری/ شبیه‌سازی شده در ارزیابی نیاز انرژی در ساختمان‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش که از نرم‌افزار متانورم جهت ساخت اقلیم در منطقه‌ای از کشور رومانی استفاده شد، به ارزیابی دقیق تقاضای انرژی حرارتی در ساختمان دانشگاه

متانورم و کلایمیت کانسولنتت جهت ساخت اقلیم روستای میمند می‌باشد که دارای هیچ‌گونه ایستگاه همدید و هواسنجی نمی‌باشد. همچنین میزان مطابقت بناهای زیرسطحی و خاک‌پناهی میمند از اقلیم خود مورد بررسی قرار می‌گیرد که تا به حال در تحقیقات پیشین صورت نپذیرفته است. از نتایج این تحقیق می‌توان در چگونگی ساخت اقلیمی خاص، بدون ایستگاه همدید از طریق نرم‌افزار استفاده نمود تا در نهایت بتوان به بررسی میزان تطابق معماری با اقلیم و یا طراحی همساز با اقلیم آن پرداخت.

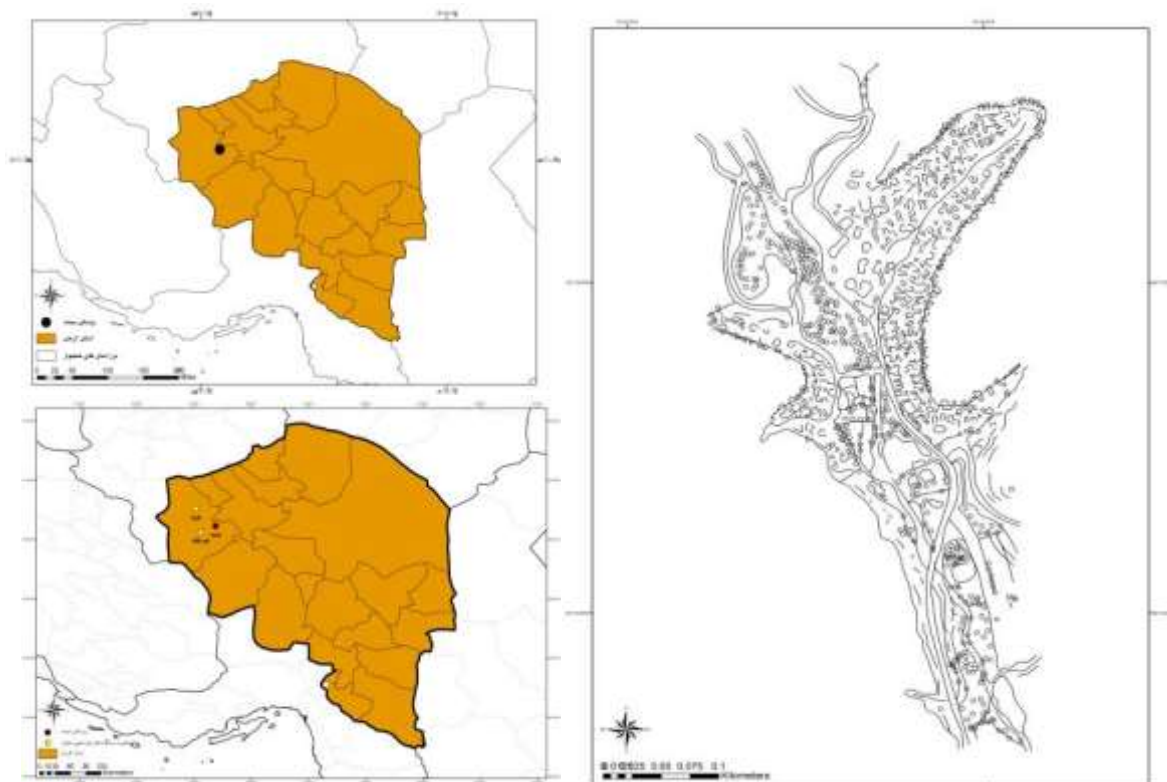
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

روستای باستانی میمند در ۳۸ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شهر بابک و ۸۰ کیلومتری روستای جوزم (تقریباً ۲۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا) از توابع استان کرمان می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳). عرض جغرافیایی روستا، ۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول آن ۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه است. همچنین ارتفاع آن از سطح دریا ۲۲۴۰ متر می‌باشد. این روستا از شرق به رفسنجان، از جنوب به سیرجان، از شمال به استان یزد و از غرب به استان فارس محدود می‌شود. بر اساس نظر هیأت 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).

ترانسیلوانیا پرداخته شده است. کامیابی (۱۳۹۵) تطبیق سیستم طبقه‌بندی اقلیمی بر معماری شهرهای استان خراسان رضوی را مورد بررسی قرار داد. همچنین شاعری و همکاران (۱۳۹۶)، بررسی دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد در ساختمان‌های سنتی مسکونی بوشهر در فصل گرما را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از نرم‌افزار کلایمیت کانسولنتت جهت ارزیابی داده‌های اقلیمی بوشهر استفاده شد. جوادیان و نعمتی (۱۳۹۷) به بررسی آسایش حرارتی در انطباق معماری با شرایط اقلیمی در شهر سمنان پرداختند. در این پژوهش که از شاخص‌های زیست‌اقلیمی گیونی و اولگی استفاده شده است، مشخص شد که معماری سنتی سمنان راه‌حل‌های منطقی برای یک زندگی دلپذیر را در این مناطق فراهم نموده است. هوانگ و همکاران (۲۰۱۹)، تاثیر فرم‌های رابط را بر آسایش حرارتی انسان در اقلیم گرم مرطوب بررسی کردند. بقائی دامغانی و همکاران (۲۰۱۹)، استراتژی‌های طراحی زیست‌اقلیمی: یک راهنما برای ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم Cfa را بررسی کردند. نتایج نشان از تعمیم استراتژی‌های گیونی برای مناطق مشابه دارد که تعیین کننده آسایش حرارتی انسان می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)، بررسی تفاوت‌های آسایش حرارتی مناطق روستایی و شهری در اقلیم داغ تابستان و سرد زمستانی را بررسی کردند. کامنی‌نمتجوآ و همکاران (۲۰۱۹)، تاثیر تغییرات آب و هوا بر تقاضا برای انرژی گرمایش و سرمایش در بیمارستان‌ها: مطالعه موردی از شش جزیره واقع در منطقه اقیانوس هند را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که از نرم‌افزار متانورم جهت ساخت اقلیم و بدست آوردن داده‌های ساعتی در فضای باز مربوط به دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، تابش و فشار اتمسفر ثبت شده در ۳۰ سال گذشته استفاده گردید، از نرم‌افزار انرژی‌پلاس برای ارزیابی عملکرد حرارتی بیمارستان‌ها تحت تهویه طبیعی و سپس تقاضای انرژی در طی پنج دوره (گذشته، جریان، ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰) استفاده شد. پژوهش‌های پیشین به اهمیت توجه معماری به اقلیم پرداخته است که همگی حاکی از این است که با استفاده حداقل سوخت فسیلی، آسایش حرارتی در بناهای همساز با اقلیم فراهم می‌شود. آنچه که این تحقیق را از دیگر پژوهش‌ها متمایز می‌سازد، استفاده از نرم‌افزارهای

جدول ۱- معرفی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و فرض‌های بکار رفته و کشور و موسسه‌های طراح آن (IPCC, 2001)



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



شکل ۳- تصویر کلی از روستای میمند

وارد نرم‌افزار کلاسیک کانسولنت گردید و خروجی‌های آن و نرم‌افزار متانورم با خروجی دستگاه ثبت داده مقایسه و کنترل شد. گفتنی است که اطلاعات اقلیمی درجه‌حرارت و رطوبت نسبی روستای میمند در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مردادماه سال ۱۳۹۸ بصورت میدانی توسط نگارندگان بدست آمد (شکل ۴). همچنین اطلاعات بدست‌آمده از دستگاه ثبت داده با داده‌های ایستگاه همدید شهربابک مقایسه و کنترل شد. برای مقایسه داده‌های دستگاه ثبت داده با اطلاعات منطقه میمند، روستای جوزم به عنوان

روش تحقیق در این مطالعه، پژوهش موردی بر پایه اندازه‌گیری‌های کمی و میدانی بوده و روستای میمند به عنوان نمونه موردی انتخاب گردید. همچنین روش جمع‌آوری داده، نرم‌افزارهای تخصصی می‌باشد و در ابتدا داده‌های کلی عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای مربوط به روستای میمند- که توسط ایستگاه همدید شهربابک تهیه شد- وارد نرم‌افزار متانورم گردید. سپس اقلیم روستای میمند با فرمت EPW در طی دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹ ساخته شد. در مرحله بعد فایل EPW

میمند و اطلاعات اقلیمی روستای جوزم بیان شده است. در مرحله بعد پس از مقایسه نتایج دستگاه ثبت داده با داده‌های نرم‌افزار متانورم، این اطمینان ایجاد شد که اطلاعات حاصله از نرم‌افزار متانورم در تمامی دوره‌های زمانی سال مورد تعمیم می‌باشد (جدول ۲). مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی در جدول ۳ آمده است.

نزدیک‌ترین و شبیه‌ترین منطقه به میمند (شکل ۲) و مکانی که داده‌های اقلیمی آن در طی روزهای اندازه‌گیری میدانی یعنی ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرداد در دسترس بود، مقایسه و کنترل گردید و با اعمال ضرایب خطا (به جهت تفاوت در میزان ارتفاع از سطح دریا، عرض و طول جغرافیایی)، در نهایت نتایج صحت خروجی دستگاه ثبت داده را تایید نمود. در جدول ۱، مقایسه خروجی‌های دستگاه ثبت داده در روستای



شکل ۴- برداشت میدانی؛ موقعیت دستگاه ثبت داده در روستای میمند

جدول ۱- مقایسه داده‌های حاصل از دستگاه ثبت داده در منطقه میمند با متغیرهای اقلیمی روستای جوزم در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرداد سال ۱۳۹۸

روستای میمند	کمینه درجه حرارت	بیشینه درجه حرارت	کمینه رطوبت نسبی	بیشینه رطوبت نسبی	روز مشاهده
۱۱ مرداد	۲۱/۳	۳۵/۶	۱۹/۵	۲۱/۱	
۱۲ مرداد	۲۰/۷	۳۵	۲۲	۲۶/۵	
۱۳ مرداد	۲۰/۶	۳۵/۷	۲۷	۳۰	
متوسط آمار ۳ روز برداشت	۲۰/۸۶	۳۵/۴۳	۲۲/۸۳	۲۵/۸۶	
روستای جوزم	کمینه درجه حرارت	بیشینه درجه حرارت	کمینه رطوبت نسبی	بیشینه رطوبت نسبی	روز مشاهده
۱۱ مرداد	۲۲/۴	۳۵	۱۲	۳۰	
۱۲ مرداد	۲۱/۵	۳۵/۷	۱۸	۲۲	
۱۳ مرداد	۲۱	۳۵/۹	۲۰	۲۴	
متوسط آمار ۳ روز بررسی	۲۱/۶۳	۳۵/۵۳	۱۶/۶۶	۲۵/۳۳	

جدول ۲- داده‌های حاصل از نرم‌افزار متانورم در منطقه میمند در روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مرداد

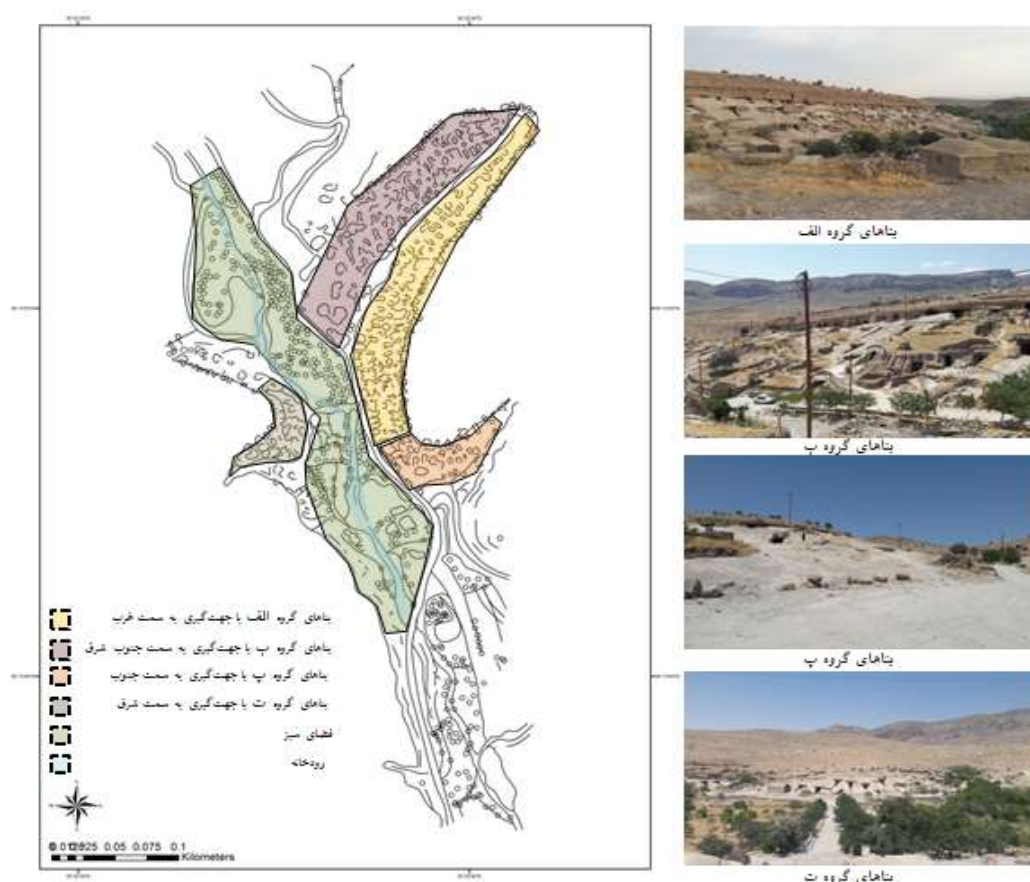
روستای میمند	کمینه درجه حرارت	بیشینه درجه حرارت	کمینه رطوبت نسبی	بیشینه رطوبت نسبی	نرم‌افزار
۱۱ مرداد	۲۱	۳۵/۳	۱۷/۵	۲۳	
۱۲ مرداد	۲۰/۵	۳۴/۹	۲۰	۲۶	
۱۳ مرداد	۲۰/۶	۳۵/۵	۲۶	۳۰	
متوسط آمار ۳ روز	۲۰/۷۰	۳۵/۲۰	۲۱/۱۶	۲۶/۳۳	

جدول ۳- مشخصات دستگاه اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی

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

آسایش حرارتی بررسی نمود. همان طور که در شکل ۵ آمده است، روستای میمند قابل تفکیک به ۴ بخش الف، ب، پ و ت است که ۴ جهت‌گیری متفاوت نسبت به تابش خورشید دارند و به ترتیب شامل جهت‌گیری غربی، جنوب شرقی، جنوبی و شرقی می‌باشند. از طرفی تیپولوژی پلان بناهای روستای میمند دارای سه شکل مربعی، مستطیلی و شکل‌های غیر هندسی می‌باشد و همچنین از لحاظ قرارگیری بناها در شیب تپه به سه بخش تراز پایین، تراز متوسط و تراز بالا قابل تقسیم است.

پس از صحت خروجی نرم‌افزار، فایل EPW وارد نرم‌افزار کلایمیت‌کانسولنت گردید و اقلیم روستای میمند مورد بررسی قرار گرفت. گفتنی است که روش تجزیه و تحلیل داده‌ها بصورت توصیفی و همبستگی اتخاذ گردید. از حالت رگرسیون عددی نیز بهره گرفته شد و تأثیرات عناصر اقلیمی بر شکل‌گیری معماری خاک‌پناهی میمند و در نهایت میزان مطابقت آن با اقلیم بدست آمد. از نمودارهای نرم‌افزارهای متانورم و کلایمیت‌کانسولنت به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها کمک گرفته شد تا بتوان توسط آن میزان مطابقت بناهای خاک‌پناه میمند با اقلیم آن را از لحاظ



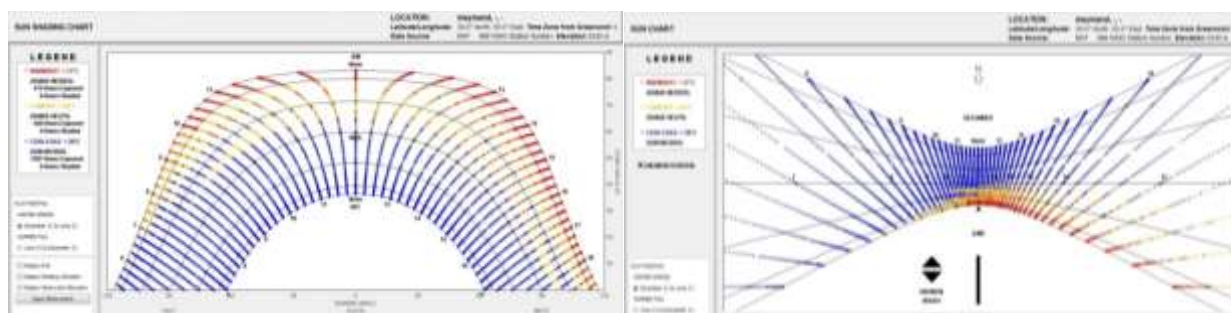
شکل ۵- پلان و تصاویر روستای میمند؛ تقسیم‌بندی روستای میمند به ۴ بخش

نتایج و بحث

تابش خورشید

در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و در روستای میمند، خورشید در اوج تابستان و در تیرماه با زاویه ارتفاع ۸۰ درجه در ساعت ۱۲ ظهر و زاویه ارتفاع ۳۳ درجه در ساعت ۱۲ ظهر در اوج زمستان و در دی‌ماه می‌تابد. همچنین زاویه سمت خورشید در تابستان از ۶۰ درجه شمال شرق به ۶۰

درجه شمال غرب و در زمستان از ۱۲۰ درجه جنوب شرق به ۱۲۰ جنوب غرب در زمستان می‌باشد. ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور در محدوده دمای تابشی آسایشی قرار می‌گیرد. ماه‌های مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین دمای تابشی سرد و تیرماه دمای تابشی گرم دارد. شکل ۶، نحوه تابش خورشید در روستای میمند را نشان می‌دهد.



شکل ۶- زوایای تابش و سمت خورشید به همراه میزان دمای تابشی در روستای میمند، خروجی نرم‌افزار کلاسمیت‌کانسولنت

سایه‌بان‌های افقی با زاویه عمودی سایه اندازه‌گیری می‌شود. این سایه‌بان‌ها در صورتی کاملاً موثر هستند که زاویه خورشید مقابل نمای مورد نظر قرار گرفته، زیاد باشد (کسمایی، ۱۳۸۴). لذا با توجه به زاویه ارتفاع خورشید در هنگام ظهر در دوره گرم سال که محدوده‌ای بین ۷۰ الی ۸۰ درجه می‌باشد، وجود سایه‌بان‌های افقی در بناهای گروه‌های ب و پ روستای میمند می‌تواند در ایجاد آسایش حرارتی بویژه در دوره گرم سال کمک شایانی نماید (شکل ۷).

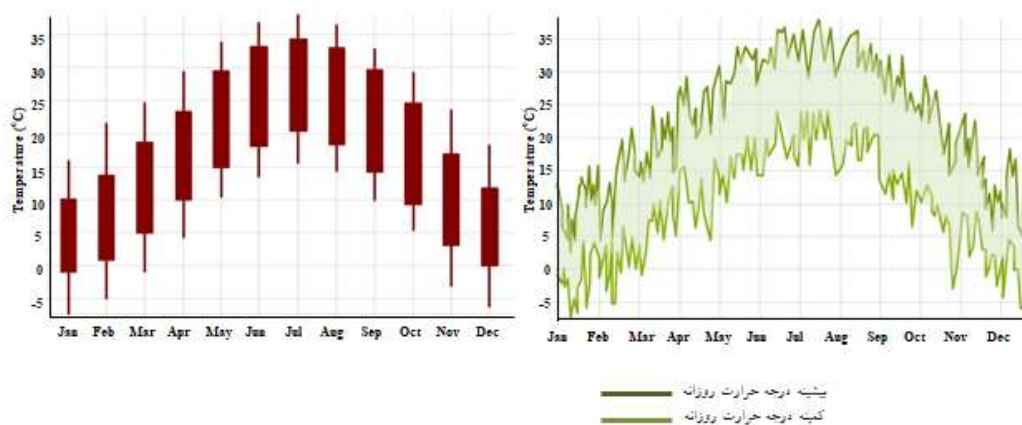
درجه حرارت

میانگین سالانه درجه‌حرارت در روستای میمند ۱۵/۹۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و سردترین دمای ماه سال مربوط به دی‌ماه است که میانگین آن ۱/۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گرم‌ترین ماه مربوط به تیر است که دمای میانگین آن ۲۷/۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اطلاعات مربوط به درجه‌حرارت روستای میمند در شکل ۸ و جدول ۴ آمده است.

بیشترین درجه‌حرارت ناشی از تابش آفتاب در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد می‌باشد که بین ۲۷ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد و میزان آن ۱۶ درصد نسبت به کل سال است. بیشترین میزان درجه‌حرارت تابش خورشید در ساعت ۳ بعدازظهر در تیرماه می‌باشد. بیشترین فراوانی تابش خورشید در محدوده دمایی ۰ الی ۲۱ درجه سانتی‌گراد است که میزان آن ۵۹ درصد در کل سال می‌باشد. در ماه‌های آذر و دی در ساعات ۷ الی ۸ صبح درجه حرارت تابش خورشید کمتر از ۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار آن حدود ۴ درصد نسبت به کل سال می‌باشد. با توجه به قرارگیری بناهای خاک‌پناه روستای میمند در ۴ بخش (شکل ۵)، بیشترین بناهایی که می‌توانند از تابش خورشید استفاده کنند بناهای گروه‌های ب و پ می‌باشند. بناهای گروه‌های الف و ت به ترتیب در هنگام غروب و طلوع خورشید دریافت انرژی تابشی خواهند داشت که میزان حداقلی نسبت به گروه‌های ب و پ دارند. همچنین در دوره سرد سال با توجه به این‌که خورشید از ۱۲۰+ درجه جغرافیایی به ۱۲۰- درجه جغرافیایی حرکت می‌کند بسیاری از بناهای گروه‌های الف و ت از دریافت تابش خورشید محروم می‌باشند که منجر به کاهش آسایش حرارتی می‌گردد. از طرفی عملکرد و نحوه عمل



شکل ۷- سایه‌بان قابی شکل در بناهای خاک‌پناه میمند



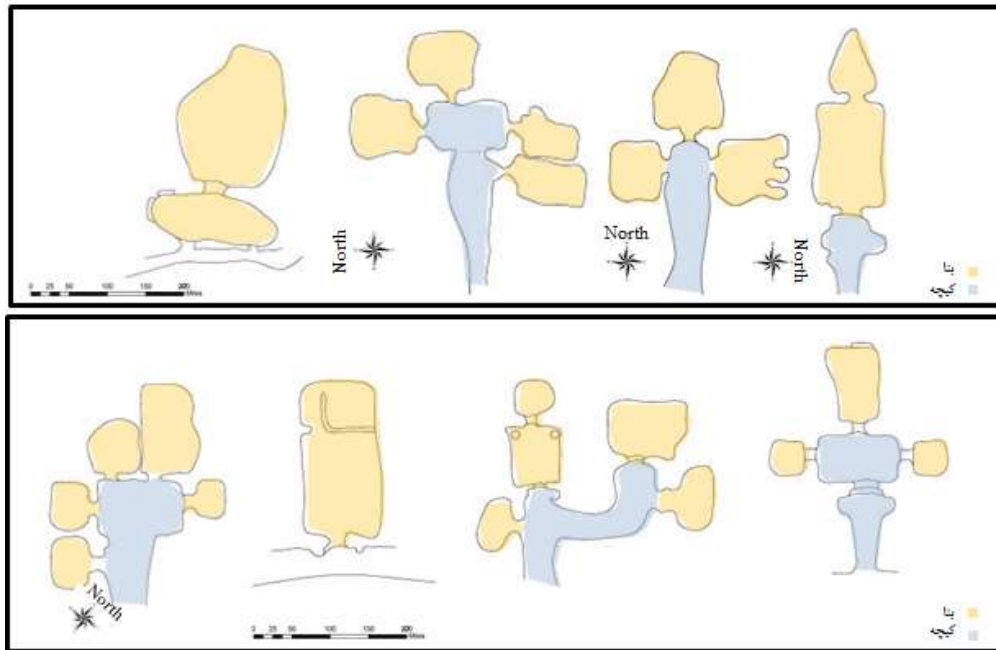
شکل ۸- نمودار درجه‌حرارت روستای میمند بصورت روزانه و ماهانه، دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹، خروجی نرم‌افزار متانورم

جدول ۴- متوسط و متوسط کمینه و بیشینه درجه‌حرارت روستای میمند در ماه‌های مختلف سال، دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹

اسفند	مهر	مرداد	شهریور	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
۱۱/۵۵	۶/۹۵	۳/۵۰	۵/۳۵	۹/۷۰	۱۶/۴۵	۲۱/۶۰	۲۵/۵۰	۲۷/۳۰	۲۵/۵۰	۲۲	۱۶/۴۰	متوسط درجه حرارت
۵/۱۰	۱	-۱/۱۰	۰	۳/۳۰	۹/۳۵	۱۴/۳۵	۱۸/۵۵	۲۰/۶۰	۱۸/۲۵	۱۴/۹۰	۱۰	متوسط کمینه درجه حرارت
۱۸/۳۵	۱۳/۴۰	۹/۶۰	۱۱/۵۰	۱۶/۷۰	۲۴/۲۵	۲۹/۳۰	۳۲/۶۰	۳۴	۳۲/۸۰	۲۹	۲۳	متوسط بیشینه درجه حرارت

محدوده سرد می‌باشد. به منظور کاهش تاثیر هوای سرد باید نسبت سطح خارجی ساختمان در برابر حجم آن را به حداقل رساند. بنابراین فرم‌های ساختمانی فشرده و متراکم با پلان مربع و حجم نزدیک به مکعب توصیه می‌گردد (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷). با توجه به انواع گونه‌شناسی در مجموعه بناهای میمند، فرم‌های متراکم می‌توانند کمترین اتلاف حرارت را داشته باشند. در شکل ۹ انواع حالات پلان در روستای میمند به همراه مسیرهای بیرونی آن - موسوم به کیچه - نشان داده شده است.

بروکس، محدوده دمایی بین ۲۱ الی ۲۸ درجه سانتی‌گراد (در عرض جغرافیایی ۲۴ الی ۳۰ درجه) و رطوبت بین ۳۰ الی ۷۰ درصد را به عنوان منطقه آسایش حرارتی قرار می‌دهد (حیدری، ۱۳۹۳). لازم به ذکر است که الگی (۱۹۶۳)، منطقه آسایش از لحاظ رطوبت را محدوده‌ای بین ۲۰ الی ۸۰ درصد اعلام می‌کند. با توجه به جدول ۴ که متوسط درجه حرارت ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد، می‌توان متوجه شد که روستای میمند در دوره گرم سال در منطقه آسایش بوده و در دوره سرد سال از محدوده آسایش دور گردیده است. لذا منطقه از لحاظ دمایی متمایل به



شکل ۹- انواع تیپولوژی پلان در روستای میمند؛ شکل غالب، مربع می‌باشد؛ بالا: بناهای مربوط به گروه‌های الف، پ و ت، پایین: بناهای مربوط به گروه ب.

دارند مانند بتن، آجر، خشت و خاک، باعث می‌شود پایداری حرارتی بنا افزایش یابد، یعنی با تغییر دمای هوای بیرون، هوای داخل زیاد سرد و یا گرم نشود (جوادیان و نعمتی، ۱۳۹۷). به نظر می‌رسد با توجه به این‌که تمامی بناهای روستای میمند در داخل خاک نفوذ کرده‌اند، این عامل می‌تواند با توجه به ظرفیت حرارتی بالا و ضخامت زیاد جداره‌ها، در ایجاد شرایط حرارتی مطلوب به فضای داخلی کمک نماید (شکل ۱۰).

با توجه به شکل ۹، پلان و فرم غالب در روستای میمند به ترتیب مربعی و مکعبی می‌باشد که می‌تواند بیشترین میزان آسایش حرارتی را بویژه در دوره سرد سال برای انسان ایجاد کند. همچنین با توجه به نوسانات نسبتاً زیاد دما در طول دوره سرد و گرم سال در روستای میمند، استفاده از جرم حرارتی و ضخامت مناسب جداره‌ها می‌تواند در کاهش نوسانات دمای بیرون نقش موثری ایفا نماید. از طرفی استفاده از مصالح سنگین که ظرفیت حرارتی بالا



شکل ۱۰- استفاده از جرم حرارتی در روستای خاک‌پناه میمند، جداره‌های قطور و جداکننده بین بناها

از سوی دیگر هر چه بنا بتواند آفتاب بیشتری را دریافت نماید به آسایش حرارتی بیشتری بویژه در دوره سرد سال دست خواهد یافت. لذا بناهای گروه‌های ب و پ از این نظر نسبت به بناهای الف و ت آسایش حرارتی بیشتری را

بدست می‌آورند (شکل ۵). از طرفی کازالاین و همکاران (۲۰۲۰) نسبت بازشو به دیوار را عاملی مهم در میزان آسایش حرارتی داخلی اعلام می‌کنند. موقعیت پنجره، مساحت پنجره، و نسبت پنجره به دیوار -که هرچه این

میزان کمتر باشد، پایداری حرارتی داخلی بیشتر است- نیز از مهم‌ترین موارد قابل توجه در آسایش حرارتی بنا هستند. با توجه به موارد گفته شده، میزان نسبت بازشو به دیوار در بناهای خاک‌پناه میمند هرچه کمتر باشد، اتلاف حرارت کمتر، پایداری حرارتی داخلی بیشتر و در نتیجه آسایش حرارتی حداکثری بویژه در دوره سرد سال ایجاد می‌گردد. تقریباً تمامی بناهای خاک‌پناه میمند دارای نسبت حداقل ممکن بازشو به دیوار می‌باشند (شکل ۱۱).

رطوبت نسبی

میانگین سالانه رطوبت نسبی در روستای میمند ۲۸/۵ درصد است و بیشینه آن در ماه‌های آذر و دی به میزان ۴۵ درصد و کمینه آن در تیرماه نزدیک به ۲۰ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که ۸ ماه از سال دارای رطوبت کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد. اطلاعات دقیق‌تر مربوط به رطوبت نسبی روستای میمند در شکل ۱۲ و جدول ۵ بیان گردیده است.

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که حدود ۲۹ درصد زمان سال رطوبت نسبی کمتر از ۲۰ درصد، ۵۳ درصد زمان دارای رطوبت نسبی ۲۰ تا ۴۰ درصد، ۱۵ درصد زمان سال دارای رطوبت نسبی ۴۰ تا ۶۰ درصد و ۳ درصد زمان دارای رطوبت نسبی ۶۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد. لذا استنباط می‌شود که روستای میمند در اکثر ماه‌های سال دارای حداقل میزان رطوبت می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی ماهیانه در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که میزان رطوبت نسبی منطقه میمند تقریباً دارای آسایش بوده و نیازی به تمهید خاصی جهت افزایش و یا کاهش رطوبت وجود ندارد. لازم به ذکر است که رطوبت نسبی بناها با توجه به افزایش ارتفاع تا حدودی کاهش می‌یابد که به علت افزایش جریان باد با توجه به

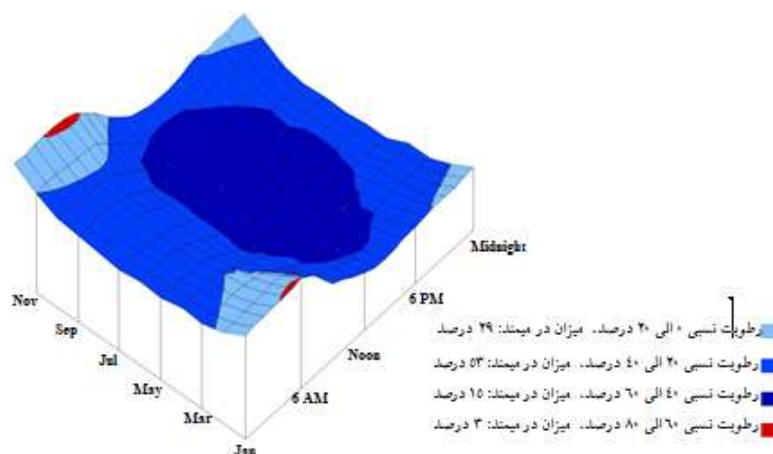
افزایش ارتفاع است (شاعری و همکاران، ۱۳۹۶). لذا بناهایی که در سطح تراز ارتفاعی میانی و متمایل به پایین توپوگرافی منطقه میمند قرار دارند، می‌توانند از رطوبت حاصل از پوشش گیاهی و رودخانه موجود در منطقه بهره برده و در نتیجه آسایش حرارتی بیشتری برای انسان ایجاد نمایند. شکل ۵ تراکم بناهای خاک‌پناه روستای میمند را در بخش میانی توپوگرافی نشان می‌دهد. همچنین به دلیل پیوستگی افقی بناهای خاک‌پناه میمند احتمالاً تهویه طبیعی به خوبی صورت نمی‌پذیرد (خدابخشیان، ۱۳۹۱). در صورت فرض بالا بودن رطوبت منطقه این احتمال وجود داشت که در اکثر بناها به دلیل ماند رطوبت و عدم کوران داخلی مناسب، نارضایتی حرارتی در داخل بناهای میمند وجود داشته باشد.

بارش

در روستای میمند تمامی ماه‌ها به غیر از مرداد و شهریور دارای بارش هستند و بیشترین بارش مربوط به ماه‌های آذر و دی می‌باشد (شکل ۱۳). مجموع بارش سالیانه در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹ نزدیک به ۱۵۰ میلی‌متر (میانگین بین ۱۴۵ الی ۱۶۰ میلی‌متر) می‌باشد. مجموع بیشینه بارندگی‌ها حدود ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۳ میزان بارش روستای میمند را نشان می‌دهد. همچنین میزان بارندگی بصورتی است که احتمال وجود سیل در منطقه حداقل بوده و در این‌صورت می‌توان تراز ارتفاعی میانی قرارگیری بناهای خاک‌پناه میمند را نسبت به ترازهای پایین، مناسب‌تر دانست.



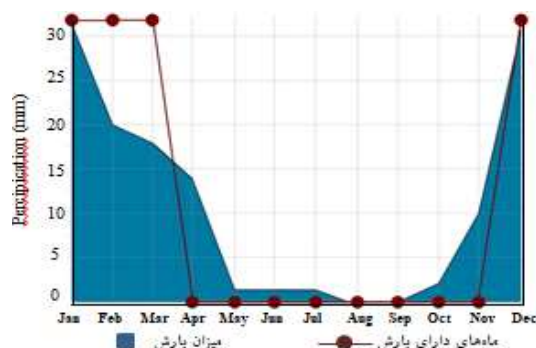
شکل ۱۱- نسبت حداقل بازشو به دیوار در بناهای خاک‌پناه روستای میمند



شکل ۱۲- میزان رطوبت نسبی روستای میمند در ماه‌ها و ساعات مختلف، خروجی نرم‌افزار کلاسمیت کانسولنت

جدول ۵- متوسط و کمینه و بیشینه رطوبت نسبی روستای میمند در ماه‌های مختلف، دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹

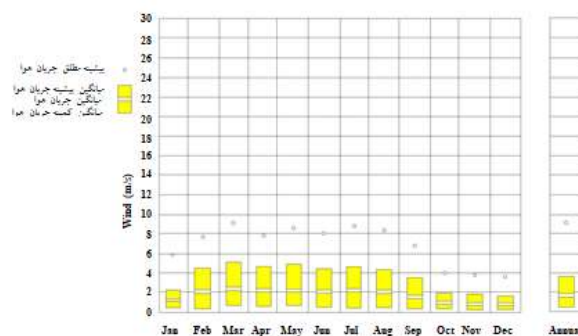
اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	مجموع
۲۸/۹۰	۳۵/۵۰	۴۵	۴۵/۳۰	۳۳	۲۳/۵۰	۲۱/۶۵	۲۱/۹۵	۲۰/۳۵	۲۱/۴۰	۲۱/۷۰	۲۶/۵۰	متوسط رطوبت نسبی
۱۵/۴۰	۱۹/۷۰	۲۵/۸۰	۲۵/۴۰	۱۷/۴۰	۱۱/۶۰	۱۱/۴۰	۱۱/۶۰	۱۱/۸۰	۱۱/۸۰	۱۱/۷۵	۱۴/۲۰	متوسط کمینه رطوبت نسبی
۴۵/۲۲	۵۳/۷۰	۶۶	۶۷/۲۰	۵۰/۶۶	۳۸/۳۵	۳۶/۱۰	۳۵/۷۰	۳۲	۳۵/۶۵	۳۶/۵۰	۴۲/۹۵	متوسط بیشینه رطوبت نسبی



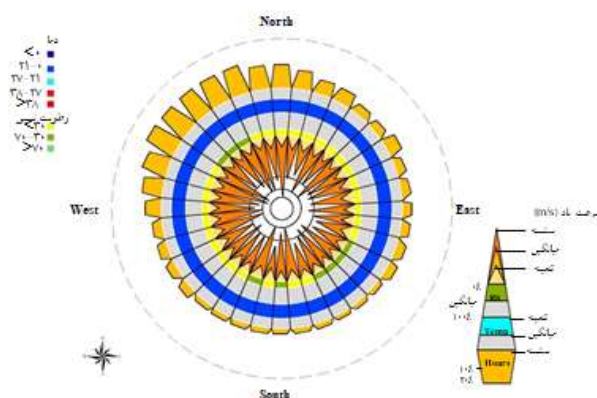
شکل ۱۳- مجموع بارش ماهیانه و سالیانه روستای میمند در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹، خروجی نرم‌افزار متانورم

۹ متر بر ثانیه نیز می‌رسد، اما در ارتفاع حدود ۲۵ متری از سطح زمین (حداکثر ارتفاع تراز بناهای روستای میمند) سرعت باد حدود ۱/۵ متر بر ثانیه ثبت می‌شود.

باد در روستای میمند میانگین سرعت باد در تمامی ماه‌های سال حدود ۱ متر بر ثانیه می‌باشد و در شکل ۱۴ مشخص می‌شود که اسفندماه بیشترین میزان سرعت باد یعنی تقریباً ۲ متر بر ثانیه و آذرماه، کمترین میزان سرعت یعنی ۰/۷ متر بر ثانیه را ثبت می‌کند. همچنین در شکل ۱۵ مشخص می‌شود که بیشترین میزان و ساعات جهت باد از سمت شمال و شمال غرب به سمت جنوب میمند می‌باشد. همچنین در ارتفاعات، سرعت باد در ساعاتی از شبانه‌روز به



شکل ۱۴- میزان سرعت باد در روستای میمند در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹ خروجی نرم‌افزار کانسولنت



شکل ۱۵- میزان شدت و جهت باد در روستای میمند در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹، خروجی نرم‌افزار کانسولنت

نرم‌افزار متانورم و کلاسمیت کانسولنت مشخص نمود که در دوره گرم سال نسبت به دوره سرد سال آسایش حرارتی بیشتری وجود دارد. همچنین اقلیم میمند در دوره‌های معتدل سال نیز دارای آسایش حرارتی می‌باشد. از این رو راهکارهای گرمایشی نسبت به سرمایشی اولویت می‌یابد. بطور کلی بررسی بناهای روستای میمند نشان داد که معماری دارای انطباق با اقلیم می‌باشد که منتج به آسایش حرارتی در دوره‌های زمانی سال می‌گردد. این مطابقت نسبی است و در بخش‌هایی از معماری حداکثر و در بخش‌هایی از آن حداقل است. بیشترین عاملی که می‌توان به عنوان تاثیرگذارترین متغیر اقلیمی بر شکل‌گیری بناهای روستای میمند نام برد، عنصر اقلیمی درجه حرارت است که اختلاف تقریباً بالایی را در دوره‌های زمانی سال ثبت می‌کند. لذا بیشترین راهکارهای معماری در مواجهه با متغیر درجه حرارت مشاهده شد. جهت بکارگیری صحیح نوسان زیاد دمای هوا باید از مصالح سنگین و متراکم با ظرفیت حرارتی زیاد و زمان تاخیر بیش از ۸ ساعت در دیوارها، کف و بام‌ها استفاده نمود (رازجویان، ۱۳۹۳). در بررسی راهکارهای

با توجه به این‌که بیشترین مقدار و جهت باد از سمت شمال غرب به سمت جنوب می‌باشد لذا بناهایی که جهت‌گیری شمال غربی نسبت به مختصات جغرافیایی دارند، کمترین میزان آسایش حرارتی را بویژه در دوره سرد سال خواهند داشت. با توجه به شکل ۵، تقریباً می‌توان گفت که بناهای خاک‌پناه میمند دارای جهت‌گیری شمال غربی نمی‌باشند. گفتنی است که در ارتفاعات جریان هوا افزایش می‌یابد (شاعری و همکاران، ۱۳۹۶). لذا بناهایی که در ترازهای بالایی روستای میمند قرار گرفته‌اند نسبت به بناهایی با تراز پایین‌تر، در معرض بیشتر جریان هوا قرار گرفته و در نتیجه میزان آسایش حرارتی آن بویژه در دوره سرد سال کمتر می‌شود. لذا بناهایی که در ترازهای میانی و پایین روستای میمند قرار گرفته‌اند از نظر آسایش حرارتی بهتر عمل می‌کنند.

میزان مطابقت بناهای میمند با اقلیم آن

نتایج این بخش نشان داد که اقلیم روستای میمند تقریباً خشک نیمه‌بیابانی متمایل به سرد است و اطلاعات حاصل از

جهت‌گیری بنا نسبت به تابش خورشید رعایت شده است. همچنین از آن‌جایی که تمامی بناهای خاک‌پناه میمند دارای یک در ورودی هستند، لذا دارای حداقل بازشو بوده و نسبت پنجره به دیوار آن کمترین میزان ممکن می‌باشد. لذا به پایداری حرارتی فضاهای داخل کمک می‌نماید و دارای انطباق با اقلیم خود می‌باشد. از طرفی مسیرهای حرکتی حداقل بین دو اتاق متوالی در بناهای میمند، شکل‌های متراکم نظیر مربع و تناسبات مکعبی بناها، می‌تواند در تسریع گرما و سرمای فضا نقش به‌سزایی داشته باشد که تقریباً ۹۰ درصد بناهای خاک‌پناه میمند دارای این تطابق با اقلیم می‌باشند. ارتفاع کوتاه بناها که تقریباً بین ۱/۹۰ الی ۲/۱۰ متر می‌باشد، کمک شایانی در عدم اتلاف گرما در دوره سرد سال می‌کند که منجر به آسایش حرارتی می‌گردد (شکل ۱۶).

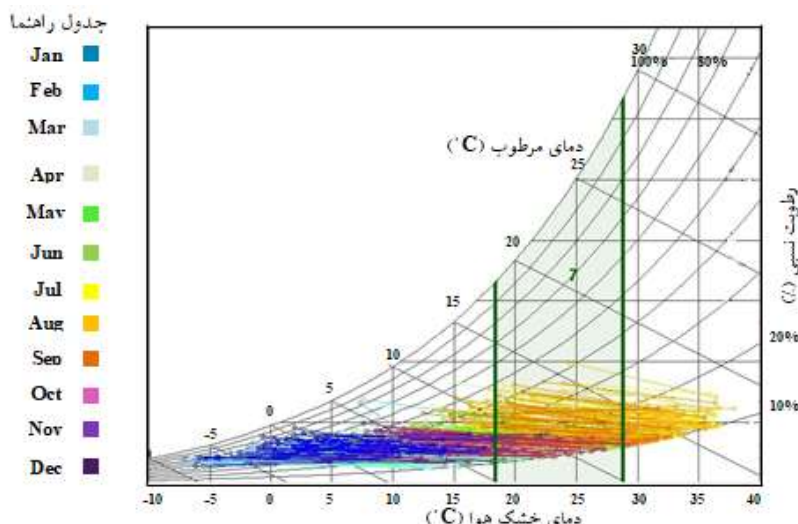
معماری روستای میمند در برابر متغیر درجه حرارت مشخص گردید که بهره‌گیری از جرم حرارتی سنگین و خاصیت ظرفیت حرارتی مصالح خاک به عنوان شاخص‌ترین بخش انطباق بناهای روستای میمند با اقلیم آن لحاظ شده است. گفتنی است که پس از بررسی میدانی، عمق نفوذ بناها در خاک متفاوت بوده و در بازه ۴ الی ۱۱ متر قرار می‌گیرد. با توجه به این ویژگی هرچه عمق نفوذ بنا در خاک بیشتر گردد، متغیرهای اقلیمی فضاهای داخلی نسبت به بیرون کاهش می‌یابد. از سویی دیگر جهت‌گیری بنا نسبت به خورشید به عنوان کمترین بخش قابل توجه جهت انطباق معماری و اقلیم بدست آمد و احتمالاً جهت‌گیری بناها به دلایل بافت طبیعی منطقه میمند بوده است. البته لازم به ذکر است که در بخش‌هایی از روستا از جمله بخش‌های ب و ت در شکل شماره ۵، به این مهم، دقت شده و



شکل ۱۶- ارتفاع حداقل در فضای داخلی بناهای خاک‌پناه میمند

عمودی باعث ایجاد سایه شده که در کاهش دمای محیط بسیار تاثیرگذار است (شاعری و همکاران، ۱۳۹۶). لذا وجود سایه‌بان‌های طبیعی در بناهای خاک‌پناه میمند نیز کمک شایانی به آسایش حرارتی بناها بویژه در دوره گرم سال می‌کند که از این جهت مطابقت و همسازی معماری و اقلیم وجود دارد. با توجه به سرد بودن تقریبی منطقه و دور بودن داده‌های دمایی از منطقه آسایش که در نمودار زیست‌اقلیمی گیونی در شکل ۱۷ به نمایش در آمده است، جریان هوا بویژه در دوره سرد سال می‌تواند منجر به کاهش آسایش حرارتی بناها گردد.

پس از عنصر اقلیمی درجه حرارت، متغیرهای تابش خورشید، باد، رطوبت و بارش به ترتیب مولفه‌های تاثیرگذار بر شکل‌گیری بناهای روستای میمند محسوب شدند. بخش‌هایی که در معماری بناهای میمند در تطابق با تابش خورشید بدست آمد، جهت‌گیری بناها و سایه‌بان بود. از لحاظ جهت‌گیری و با توجه به میزان و ارتفاع تابش خورشید، تقریباً ۴۰ درصد - بناهای گروه‌های ب و پ- بناهای روستای میمند دارای مطابقت با آن بوده و حدود ۶۰ درصد - بناهای گروه‌های الف و ت- مطابقت ندارد که همان‌طور که در قبل ذکر شد شکل‌گیری آن‌ها به دلایل بافت طبیعی منطقه بوده است. استفاده از سایه‌بان‌های افقی و



شکل ۱۷- نمودار زیست‌اقلیمی گونی روستای میمند در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۹، آمار روزانه در تمامی ماه‌های سال.

خروجی نرم‌افزار کلاسیکیت کانسولنت

حرارتی در دوره‌های زمانی سال می‌گردد. تمامی این راهکارها می‌تواند پاسخ مثبتی به همسازی معماری با اقلیم روستای میمند باشد تا از طریق راهکارهای معماری و نه با کمک سوخت فسیلی، به آسایش حرارتی دست یافت. همچنین با توجه به نتایج بدست‌آمده می‌توان این‌گونه گفت که بیشترین مطابقت بناهای میمند با اقلیم آن مربوط به بناهایی است که همزمان دارای جهت‌گیری جنوبی و یا جنوب شرقی نسبت به تابش خورشید، قرارگیری در تراز میانی توپوگرافی، شکل مربعی پلان و فرم‌های متراکم و دارای عمق نفوذ حداکثری در خاک باشند. در ادامه نتایج مطالعه فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که متغیر درجه حرارت نسبت به سایر مولفه‌های اقلیمی نقش چشمگیرتری در شکل‌گیری بناهای شهر سنندج داشته است. همچنین عدم تطابق بیش از ۵۰ درصد بناهای شهر سنندج با اقلیم آن منجر به مصرف بیش از حد انرژی و در نهایت آلودگی محیط زیست شده است. همچنین نتایج بررسی حبیبی خامنه و محمدی (۱۳۹۳) نمایانگر آن است که مطالعات اقلیمی تاثیر به‌سزایی در ساخت‌وساز و طراحی مسکن دارد. آگاهی و شناخت رفتارهای اقلیمی، امکان دستیابی به مصالح همساز با اقلیم و چگونگی استفاده از انرژی طبیعی را در پی دارد. همان‌طور که سایر مطالعات انجام‌شده در این راستا از جمله کاظمی و همکاران (۱۳۸۷) و کامیابی و همکاران (۱۳۸۹) بر این موضوع تاکید داشتند.

لذا با توجه به تحلیل‌های به عمل آمده و جهت‌گیری بناها نسبت به جهت باد مشخص شد که تمامی بناهای خاک‌پناه میمند در برابر جریانات هوایی بویژه سرد در امان هستند. در این بخش لازم به ذکر است که وجود راه‌های ارتباطی بیرونی موسوم به کیچه، از برخورد بنا با بادهای سرد جلوگیری می‌کند (شکل ۹). لذا از این جهت مطابقت کامل معماری با عنصر اقلیمی جریان هوا مشاهده گردید. همچنین با توجه به رطوبت کم منطقه و قرارگیری آن در محدوده تقریبی آسایش، واکنش خاص معماری به عنصر اقلیمی مذکور مشاهده نمی‌شود. البته می‌توان گفت که آسایش حرارتی بناهایی که در ترازهای ارتفاعی متوسط و پایین توپوگرافی قرار گرفته‌اند نسبت به ترازهای ارتفاعی بالایی توپوگرافی، به دلیل بهره‌گیری از رطوبت پوشش گیاهی و رودخانه موجود تا حدودی مناسب‌تر می‌باشد. در انتها با توجه به میزان بارش حداقل در روستای میمند و عدم بحران آن، عکس‌العمل خاصی از سوی معماری به عنصر اقلیمی مذکور لحاظ نگردیده است. با این حال به غیر از تراز ارتفاعی پایین روستا، ترازهای بالاتر می‌تواند به دلایل مصون‌ماندن از سیل و طغیان رودخانه مناسب‌تر باشد. با توجه به موارد گفته شده می‌توان این‌چنین گفت که بناهای خاک‌پناه روستای میمند به غیر از جهت‌گیری نسبت به تابش خورشید که به دلایل بافت طبیعی روستا می‌باشد، دارای حداکثر تطابق با اقلیم خود بوده که مسبب حداکثر آسایش

در مطالعه صالحی و همکاران (۱۳۹۶) از بین تمامی بناهای شهر ایلام، حدود ۵۰ درصد در انطباق با اقلیم طراحی شده‌اند و پس از دسته‌بندی انواع بناها به بافت‌های زمانی قدیم، میانی و جدید، مشخص گردید که بافت میانی شهر ایلام (۱۵ الی ۳۰ سال پیش) دارای بیشترین انطباق و بافت جدید کمترین میزان انطباق با اقلیم را دارند. در پژوهشی که از سوی جوادیان و نعمتی (۱۳۹۷) صورت پذیرفت، مشخص گردید که تاثیرگذارترین متغیرهای اقلیمی بر شکل‌گیری معماری بناهای سمنان - که تقریباً دارای اقلیمی مشابه روستای میمند می‌باشد-، عناصر درجه حرارت و تابش آفتاب می‌باشند که جهت انطباق با اقلیم، کاهش اتلاف حرارت ساختمان و بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در دوره سرد سال، بهره‌گیری از نوسان روزانه دما و محافظت در برابر تابش آفتاب در تابستان به عنوان اهداف طراحی معماری مطابق با اقلیم عنوان شدند. نتایج تحقیق حاضر -که از طریق نرم‌افزارهای تخصصی بدست آمد- نشان داد که عنصر درجه حرارت به عنوان تاثیرگذارترین متغیر اقلیمی بر شکل‌گیری معماری بناهای خاک‌پناه میمند بوده است. پس از بررسی تحقیقات پیشین، می‌توان گفت که متغیر درجه حرارت همواره جزء یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین مولفه‌های اقلیمی در مناطق خشک با اختلاف دمای نسبتاً شدید در دوره‌های زمانی سال مطرح بوده است. لذا جهت بررسی و یا طراحی مطابق با اقلیم، عنصر درجه حرارت به عنوان تاثیرگذارترین متغیر در اقلیم‌هایی مشابه روستای میمند محسوب شده و بیشترین راهکارهای معماری می‌بایستی در واکنش و عکس‌العمل صحیح با عنصر درجه حرارت باشد تا در نهایت آسایش حرارتی حصول گردد.

نتیجه‌گیری

در مورد مطابقت معماری با اقلیم یک منطقه مطالعات متعددی صورت گرفته است که عمده این تحقیقات به تاثیر متغیرهای اقلیمی بر شکل‌گیری معماری آن پرداخته‌اند. اندکی از تحقیقات داخلی و برخی از تحقیقات خارجی بر مبنای داده‌های نرم‌افزار به موضوع شناخت اقلیم و به بررسی میزان مصرف انرژی در معماری آن پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات برخی از آن‌ها نشان داد که بناهای همساز با اقلیم مصرف انرژی کمتری جهت آسایش حرارتی نسبت به

بناهای در تناقض با اقلیم دارند. تعدادی از مطالعات به بررسی همسازي معماری با اقلیم بصورت کتابخانه‌ای و میدانی پرداخته‌اند که نتایج تحقیقاتشان حاکی از آسایش حرارتی مناسب بناهای همساز با اقلیم می‌باشد. اما در حوزه انطباق اقلیم و معماری زیرسطحی و یا خاک‌پناهی (بطور خاص روستای میمند کرمان) از طریق نرم‌افزار تحقیقی مشاهده نشده است. از این رو در مقاله حاضر، میزان انطباق بناهای خاک‌پناه روستای میمند با اقلیم آن از لحاظ آسایش حرارتی صورت پذیرفت. در این پژوهش برای اولین بار از نرم‌افزار تخصصی جهت ساخت و شناخت اقلیم روستای میمند کمک گرفته شد و جهت صحت‌سنجی با داده‌های میدانی که توسط نگارندگان بدست آمد، کنترل گردید. در این پژوهش ابتدا اقلیم روستای میمند در نرم‌افزار متانورم ساخته شد و خروجی گرافیکی و عددی آن توسط نرم‌افزار کلاسمیت کانسولنت بدست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد با توجه به نمودارهای حاصل از نرم‌افزارهای متانورم و کلاسمیت کانسولنت، اقلیم منطقه میمند، خشک بوده و دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های تقریباً سرد می‌باشد. لذا بهره‌گیری از راهکارهای گرمایشی نسبت به سرمایشی در اولویت قرار گرفت. همچنین مشخص شد که عنصر اقلیمی درجه حرارت به عنوان تاثیرگذارترین مولفه بر شکل‌گیری بناهای خاک‌پناه میمند مطرح بوده است. از این رو پس از بررسی معماری روستای میمند مشخص گردید که بیشترین مطابقت بناهای میمند با اقلیم در قسمت‌های استفاده از جرم حرارتی خاک جهت به تاخیرانداختن گرما و سرما در دوره‌های مختلف زمانی سال، شکل مربعی پلان و در نهایت تناسبات مکعبی بنا که فرم‌های فشرده را ایجاد می‌کند و در تسریع سرد و گرم شدن فضا کمک می‌کند، شاکله بنا بصورت برون‌گرا که میزان تماس بنا با محیط بیرونی را حداقل می‌سازد، نسبت مناسب میزان بازشو به سطح دیوار که کمترین میزان ممکن می‌باشد و در پایداری حرارتی فضای داخلی نقش موثری را ایفا می‌نماید، ضخامت زیاد جداره‌ها که گاه دیوار بین دو بنای خاک‌پناه در میمند به ۲ متر نیز می‌رسد و در نهایت وجود سایه‌بان‌هایی که از تابش زننده آفتاب در دوره گرم سال جلوگیری کرده و اجازه ورود تابش به فضای داخلی در دوره سرد سال را مهیا می‌سازد. با توجه به موارد قبلی گفته شده، مولفه جهت‌گیری بنا به

- vernacular architecture in Nepal, *Energy Build.* 81, pp. 227-242.
5. Ciobanu, D., Eftimie, E., Jaliu, C. 2014. The Influence of Measured/simulated Weather Data on Evaluating the Energy Need in Buildings, *Energy Procedia*, Volume 48, Pages 796-805.
 6. Farajzadeh. Asl, M., Ghorbani, A., and Lashkari, H., 2008, Survey of Sanandaj Architecture Adaptation to its Climatic Conditions by Mahani Method, *Journal of the Teacher of Humanities*, 12(2), pp. 161-180.
 7. Habibi Khamene, M., and Mohammadi, H., 2013, Study of Architecture of Tehran City Buildings by Climatic Elements (Case Study: District 5 Municipality), *Geographical Land Quarterly*, 11(41), pp. 51-64.
 8. Hatami Varzaneh, E., Amini, M., and Bemanian, M., 2014, Impact of Hot and Arid Climate on Architecture (Case Study: Varzaneh Jame Mosque), *Procedia Engineering* 94, pp. 25 – 32.
 9. Hatwaambo, S., Jain, P., Perers., and Karlsson, B. 2009, Projected beam irradiation at low latitudes using Meteoronorm database, Volume 34, Issue 5, Pages 1394-1398.
 10. Heidari, Sh, 2015, planning and managing energy resources, University of Tehran Press, Edition 2, 197 Pages.
 11. Huang, X., Xiaoli, M., and Qingyuan Zh, 2019, Effect of building interface form on thermal comfort in gymnasiums in hot and humid climates, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 8, Issue 1, pp. 32-43.
 12. Javadiyan, R., and Nemati, M., 2018, nvestigation of thermal comfort in architectural adaptation to climatic conditions in Semnan, *Journal of Geographic Information System Usage and Remote Sensing in Planning*, 9(1), pp. 74-90.
 13. Kaasalainen, T., Mäkinen, A, Lehtinen, T, Moisisio, M and Vinha, J., 2020, Architectural window design and energy efficiency: Impacts on heating, cooling and lighting needs in Finnish climates, *Journal of Building Engineering*, Volume 27, 100996.
 14. Kameni Nematchoua, M., Yvon, A, Kalameu, O, Asadi, S, Choudhary, R., and Reiter, S. 2019, Impact of climate change on demands for heating and cooling energy in hospitals: An in-depth case study of six islands located in the Indian Ocean region,

عنوان کمترین بخش توجه بناهای روستای میمند به اقلیم محسوب شد که احتمالاً به دلایل بافت طبیعی روستا شکل گرفته است. البته گفتنی است که در بخش‌هایی از روستا جهت‌گیری بنا نسبت به خورشید رعایت شده است و در قسمت‌های مذکور آسایش حرارتی بیشتری نسبت به فضاهای دیگر در دوره‌های زمانی سال ایجاد شده است. پس از عنصر اقلیمی درجه حرارت، متغیرهای تابش، باد، رطوبت نسبی و بارش نیز به ترتیب در شکل‌گیری بناهای روستای میمند تاثیرگذار بوده‌اند. با در نظر گرفتن همزمان متغیرهای اقلیمی درجه حرارت، تابش، بارش، باد و رطوبت نسبی می‌توان گفت که بیشترین مطابقت معماری با اقلیم مربوط به بناهایی است که دارای جهت‌گیری جنوب شرقی و جنوبی نسبت به تابش آفتاب، قرارگیری در تراز میانی توپوگرافی، دارای شکل‌های متراکم مربعی و تناسبات مکعبی و در نهایت دارای عمق نفوذ بنا در خاک در بیشترین حالت ممکن باشند که در نتیجه آسایش حرارتی در دوره‌های زمانی مختلف سال را ایجاد می‌کند. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که میزان مطابقت بناهای خاک‌پناه روستای میمند با اقلیم آن قابل قبول بوده و همین امر موجب گردیده است که با وجود چندین هزار سال پس از ساخت بناهای آن، همچنان پایدار و از لحاظ حرارتی مطلوب باشد. در پژوهش‌های آتی نیز بررسی رفتار حرارتی بناهای خاک‌پناه میمند بصورت میدانی و مقایسه آن با نتایج تحقیق حاضر از نظر مطابقت آن با اقلیم پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Alijani, B., and Kaviyani, M., 2007, Basics of meteorology, Samt Press, Edition 17, 592 Pages.
2. Ashrae standard 55-2017, 2017, Thermal environmental conditions for human occupancy. American society of Heating. Refrigerat-ing and Air-conditioning Engineers, Inc, Atlanta Ga.
3. Baghaei Daemei, A., Eghbali, S-R., and Mehrinejad Khotbehsara, E., 2019, Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones, *Journal of Building Engineering*, Volume 25, 100758.
4. Bodach, W., and Lang, J., 2014, Climate responsive building design strategies of

- Method and Givoni Comfort Criteria, Journal of Architecture and Urban Development of Utopia, 15, pp. 119-130.
26. Piquer, A., 2003, Strategy for Sustainable Development of the Built Environment for the Mediterranean Climate, University of Strathclyde.
 27. Razjouyan, M., 1988, Comfort in a climate-friendly architecture, Shahid Beheshti University Press, Edition 1, 224 Pages.
 28. Salehi, B., Ghanbaran, A., and Ferdowsian, S. 2017, are examining the status and formulation of climate - friendly design criteria in Ilam Residential Buildings (Using the Mahani Method), Ilam Extension Science Quarterly, Eighteenth period, No 29 and 57, pp 105-117.
 29. Sam, M., Hui, 2007, Sustainable building technologies for hot and humid climates, in: Hong Kong and Hangzhou Seminar for for Sustainable Building, pp. 1-6.
 30. Shaeri, J., Yaghubi, M., AliAbadi, M., and VakiliNezhad, R. 2017, Investigation of Temperature, Relative Humidity and Wind Flow Rate in Traditional Bushehr Residential Buildings in Heat Season, Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Development, Volume 22, Number 4, pp 93-105.
 31. Shateriyan, R, 2008, Climate and architecture, Azar-Portrait of knowledge Press, Edition 5, 680 Pages.
 32. Tavassoli, M., 1981, Urban Construction and Architecture in Warm and Dry Climate of Iran, Department of Urban Planning and Regional Planning, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Edition 4, 134 Pages.
 33. Xiong, Y., Liu, J., Kim, J., 2019, Understanding differences in thermal comfort between urban and rural residents in hot summer and cold winter climate, Building and Environment, Volume 165, 106393.
 34. Yaran, A., and Mehranfar, A., 2013, Appropriate climatic patterns in low-lying residential textures (comparative study of cities with temperate climates: Washington DC, Richmond, Virginia Beach, Antalya, Rasht, Seoul, Ni Gata), Journal of Garden view, 27(10), pp. 3-14.
 - Sustainable Cities and Society, Sustainable Cities and Society, Volume 44, Pages 629-645.
 15. Kamyabi, S., Doustmohammadi, M., and Pahlavani, A., 2010, The Role of Climatic Elements in Traditional Space Architecture (Semnan City), Regional Conference of Iranian House, Gonbad Kavous, Islamic Azad University, Gonbadkavous Branch.
 16. Kamyabi, S., 2015, Implementation of Climate Classification System on the Architecture of Khorasan Razavi Cities, Quarterly Geography of the Land, 13(50), pp. 91-105.
 17. Kasmaee, M., 1993, Iran Climatic Zoning - Housing and Residential Environments, Building and Housing Research Center Press, Edition 1, 500 Pages.
 18. Kazemi, A., Atayi, H., and Tavousi, T., 2008, Climatic and Architecture of New Isfahan Schools, Geography and Development Quarterly, 6(11), 97-114.
 19. Khodabakhshian, M., 2012, The typology of Earth- sheltered Buildings in arid climates of Iran, Doctoral dissertation on architecture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
 20. Memarian, Gh., 1996, Introduction to Iranian residential architecture, Iran University of Science & Technology Publications, Edition 1, 448 pages.
 21. Moradi, S., 2007, Regulating environmental conditions, Shahidi Press, Edition 11, 268 pages.
 22. Motealleh, P., Zolfaghari, M., and Parsaee, M., 2018, Investigating climate responsive solutions in vernacular architecture of Bushehr city, HBRC Journal, 14, pp. 215-223.
 23. Namaziyan, A., 2010, Principles of using sunlight in architectural design (adjusting architectural requirements), Shahid Beheshti University Press, Edition 1, 332 Pages.
 24. National Geotourism Plan Report, The rocky village stays, 2008, retrieved from National Geosciences Database of Iran Web site, www.ngdir.ir.
 25. Nikghadam, N., Mofidi Shemirani, S. M., and Tahbaz, M., 2012, Analytical Comparison of Climate Zones of Southern Regions of Iran by koppen-Traverta