بررسی تأثیر تهویه طبیعی بر اقلیم داخلی ساختمان در شرایط حاد حرارتی نواحی کوهستانی گلستان

میلاد کریمی*، شاهین حیدری، سید مجید مفیدی شمیرانی*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

چکیده

در این پژوهش، تأثیر تهویه طبیعی بر اقلیم داخلی باتوجه‌به عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره ساختمان هنگام رخ دادن شرایط حرارتی بحرانی در نواحی کوهستانی استان گلستان بررسی شده است. چنین پژوهشی در مناطق کوهستانی استان گلستان به‌ویژه در ساختمان‌های نوساز انجام نگرفته و این پژوهش، نشان‌دهنده ناکارآمدی ساختمان‌های جدید در ایجاد شرایط حرارتی مناسب برای ساکنین است. روش تحقیق در این پژوهش ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای، شبیه‌سازی و مطالعات تجربی است. این تحقیق با ارزیابی شرایط آسایش حرارتی ساکنان با استفاده از یک پرسش‌نامه برای تعیین منطقه آسایش و منابع عدم آسایش آن‌ها در ماه‌های گرم سال آغاز گردید. ساکنین هنگام پاسخ به پرسش‌نامه از رطوبت بالای فضا که بین ۵۸/۸ درصد تا ۶۵ درصد متغیر بود، گلایه داشتند که یکی از دلایل نگرانی و عدم آسایش آن‌ها است. سپس با ثبت داده‌های محیطی در محل پژوهش و جمع‌آوری داده‌های مختلف، اقدام به شبیه‌سازی عملکرد حرارتی- رطوبتی جداره‌های ساختمان ازطریق نرم‌افزار WUFI PLUS به‌منظور ارزیابی تأثیر آن‌ها بر شرایط آب‌وهوای داخلی در هنگام استفاده از تهویه طبیعی، شد. فرضیه این پژوهش، عدم توانایی تهویه طبیعی بر بهبود اقلیم داخل ساختمان در طول شرایط بحرانی است. بر اساس یافته‌ها، جداره‌های ساختمان موجود، تأثیر چندانی در کاهش رطوبت نسبی فضا نداشته و حتی در صورت استفاده از تهویه طبیعی، رطوبت نسبی متناسب با شرایط موجود در فضای خارجی نوسان می‌یابد و شرایط آسایش همچنان مهیا نمی‌شود. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از تهویه طبیعی در شرایط حرارتی بحرانی، موجب افزایش دمای هوای داخلی می‌شود. درنهایت، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که روش‌های ساخت‌وساز موجود و عدم بهره‌گیری از ویژگی‌های معماری بومی، موجب عدم دستیابی به آسایش حرارتی در فضای داخلی ساختمان حین رخ دادن شرایط حاد حرارتی حتی در هنگام استفاده از تهویه طبیعی شده است.

کلمات کلیدی: آسایش حرارتی، عملکرد حرارتی- رطوبتی، معماری بومی، جداره ساختمان، تهویه طبیعی.

* دانشجوی دکتری، گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.
** استاد، گروه معماری، دانشکده معمای، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. shheidari@ut.ac.ir
*** استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

مقدمه

جداره ساختمان به‌عنوان یک مانع بین فضای خارجی و داخلی عمل می‌کند و در معرض شرایط مختلف جوی است و علاوه بر حفظ امنیت و حفاظت از ساکنین، باید ملاحظات زیبایی‌شناختی و اجتماعی – فرهنگی را نیز در نظر بگیرد. اساسی‌ترین نقش جداره ساختمان در معماری بومی تضمین آسایش حرارتی ساکنین یک فضا است. شناسایی و ارزیابی ویژگی‌های معماری بومی در طول زمان می‌تواند موجب تبیین اصول مناسب برای طراحی‌های آینده در اقلیم موردنظر باشد. هدف این پژوهش بررسی اثرگذاری تهویه طبیعی بر شرایط آسایش حرارتی ساکنین فضاهای مسکونی در اقلیم کوهستانی استان گلستان در هنگام رخ دادن شرایط حرارتی بحرانی، است. جداره‌های ساختمان به‌عنوان آن دسته از عناصر ساختمانی تعبیر می‌گردند که موجب جداسازی مابین فضای داخل و خارج می‌شود. این عناصر شامل دیوارهای مات، شفاف و همچنین سقف است (Loonen et al., 2013). اصطلاحات زیادی برای توصیف جداره و تقسیم‌کننده فضای خارجی و داخلی وجود دارد. جداره یک اصطلاح عمومی است که کل پوسته یک ساختمان را توصیف می‌کند و به‌طور سنتی، اصطلاح دیوار برای توصیف یک سازه باربر عمودی استفاده می‌شود. جداره ساختمان در ابتدا برای تمایز بین مصالح نما و سازه فلزی زیرین آن مورداستفاده قرار می‌گرفت (Moloney, 2011). عملکرد حرارتی–رطوبتی سیستم‌های جداره ساختمانی (دیوارها، سقف‌ها و کف‌ها) که در معرض آب‌وهوای فضای خارجی قرار دارند، تحت تأثیر رطوبت اولیه، نفوذ رطوبت، انتشار هوای داخلی و نفوذ یا خروج هوا از فضای داخلی و سازه است (Salonvaara & Ojanen, 2003). عملکرد حرارتی–رطوبتی جداره ساختمان بر عمر خدمات‌رسانی ساختمان، انرژی‌های مورد نیاز، آسایش در محیط داخلی و کیفیت هوای داخل خانه که مستقیماً با سلامت ساکنین در ارتباط است، تأثیر می‌گذارد (Bagarić et al., 2020). در سالیان اخیر، نرم‌افزارهای بسیاری در حوزه انرژی و شبیه‌سازی‌های مرتبط با آن تولید گشته و مورداستفاده محققان قرار گرفته است. این نرم‌افزارها را می‌توان در دسته‌بندی‌های مختلفی بر اساس نوع کارکرد آن‌ها طبقه‌بندی نمود. شبیه‌سازهای انرژی، ابزار اقتصادی کارآمد و ازنظر فنی انعطاف‌پذیر برای مطالعه پارامترهای مختلف ساختمان‌ها در مقیاس واقعی هستند (Yousefi et al., 2017).

سؤال اصلی این پژوهش بدین شرح است که آیا می‌توان ازطریق تهویه طبیعی در هنگامی‌که شرایط حاد حرارتی در فضای داخلی در طول ماه‌های گرم سال اتفاق می‌افتد، به بهبود اقلیم داخلی ساختمان کمک نمود؟ دلیل انتخاب مناطق کوهستانی گلستان، بررسی تأثیر هم‌زمان رطوبت و حرارت در ماه‌های گرم سال که دمای هوا به بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، است و فرض بر این است که کارایی تهویه طبیعی در بهبود آسایش حرارتی ساکنان فضا در این زمان از سال کاهش می‌یابد. این پژوهش شامل دو بخش است. در نیمه اول با استفاده از پرسش‌نامه به بررسی شرایط آسایش حرارتی ساکنین فضا و اقلیمی داخلی ساختمان پرداخته شده و در نیمه دوم به بررسی عملکرد حرارتی–رطوبتی جداره ساختمان در هنگام استفاده از تهویه طبیعی و تأثیر آن بر وضعیت اقلیم داخلی در روزهای گرم سال پرداخته می‌شود.

ادبیات موضوع

به‌منظور بسط موضوع این پژوهش، در ابتدا به بررسی تحقیقات و پژوهش‌های صورت‌گرفته پیرامون آن

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

پرداخته شده است.

ایزدیار و همکاران (۲۰۲۰)، در مورد روش‌های ارزیابی پس از سکونت افراد در فضا ذکر می‌کنند؛ «روش‌های ارزیابی پس از اشغال، می‌توانند ساکنان با فرهنگ‌های مختلف، رفتارها و انطباق‌پذیری‌های متفاوت را که دارای توانایی و ظرفیت کنترل آسایش خود ازطریق ایجاد تغییر حالات رفتاری و ایجاد سرمایش یا گرمایش و یا تغییر لباس یا تغییر محل خود هستند، را تحت نظر قرار دهد. ازآنجاکه روش‌های ارزیابی پس از اشغال ابزاری معتبر برای کشف شکاف بین عملکرد فعلی و رفتار، تجربیات و انتظارات ساکنین ازطریق بازخورد آن‌ها است، به نظر می‌رسد یک روش مفید برای ارزیابی وضعیت فعلی و ایده‌های جدید احتمالی است» (Izadyar et al., 2020). آب روش و محمدکاری (۱۳۸۸)، به پژوهش پیرامون عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره‌های ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب پرداختند. آن‌ها از ووفی پرو به‌عنوان شبیه‌ساز استفاده نموده و نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که افزایش رطوبت در اجزای ساختمانی علاوه بر ایجاد مشکلات مرتبط با رطوبت و کاهش عمر مفید عایق حرارتی، موجب افزایش ضریب انتقال حرارت و همچنین کاهش مقاومت کلی جداره می‌شود. آن‌ها در پژوهشی دیگر، به ارزیابی عملکرد حرارتی-رطوبتی بتن سبک در جداره‌های ساختمانی در شرایط آب‌وهوایی حاد در اقلیم گرم و مرطوب پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در اقلیم گرم و مرطوب، افزایش چگالی و ضخامت بتن سبک موجب کاهش ریسک چگالش در شرایط آب‌وهوایی بحرانی شده و میزان رطوبت لایه بتن سبک را کاهش می‌دهد و درنتیجه هدایت حرارتی این لایه کاهش می‌یابد (آب روش و محمدکاری، ۱۳۹۰). الدین[1] و همکاران (۲۰۱۷)، از برنامه‌های متنوعی برای مطالعه آسایش حرارتی ساکنین یک فضا بر اساس توسعه جداره ساختمان استفاده نمودند. کاراگیوزیس[2] (۲۰۰۱)، با ارزیابی تأثیر جریان هوا بر عملکرد رطوبتی جداره ساختمان نشان داد که نفوذ هوا ازطریق جداره ساختمان تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره دارد و انجام اقداماتی به‌منظور بهبود مصرف انرژی توسط نفوذناپذیری جریان هوا در جداره منجر به بهبود عملکرد رطوبتی نمی‌شود. کاراگیوزیس و سالونوارا[3] (۲۰۰۱) در پژوهشی، عملکرد حرارتی-رطوبتی یک ساختمان با سیستم دیوار بتنی هوادهی‌شده را ارزیابی نمودند. پوزاس و گونزالس[4] (۲۰۱۶) از دیزاین بیلدر برای تشخیص رفتار حرارتی-رطوبتی در داخل خانه‌های بومی در دره Jerte استفاده کردند. استیمن[5] و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی بر اهمیت مدل‌سازی دقیق تعامل حرارتی-رطوبتی بین ساختمان و محتوای ریزذرات آن برای ارزیابی اقلیم داخلی متمرکز شدند. تاریکو[6] و همکاران (۲۰۰۹)، نشان دادند که تصور نادرست از پروفیل‌های رطوبتی فضای داخلی منجر به نتیجه‌گیری نادرست در مورد عملکرد رطوبتی جداره ساختمان می‌شود. بنابراین، بسیار مهم است که از یک مدل دقیق‌تر، که مبتنی بر تحلیل حرارتی-رطوبتی کلی ساختمان است، برای تولید پروفایل رطوبت داخلی استفاده شود. پائولینی[7] و همکاران (۲۰۱۷)، عملکرد حرارتی-رطوبتی ساختمان‌های مسکونی در فضاهای شهری و روستایی را موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در درون شهر، باتوجه‌به فضای روستایی، بارهای حرارتی به ترتیب ۱۲ درصد و ۱۶ درصد برای ساختمان‌های غیر عایق و عایق‌دار کاهش یافته و بار سرمایشی نیز، ۴۱ درصد و ۳۹ درصد افزایش یافته است. تحقیقات بسیاری نیز پیرامون استفاده از نرم‌افزار ووفی برای

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]

[DOI: 10.22034/42.183.17]

بررسی رفتار حرارتی-رطوبتی اجزای ساختمان انجام گرفته است:

فلاد[8] و همکاران (۲۰۱۶)، از ووفی، برای تجزیه‌وتحلیل تأثیر مدل‌سازی حرارتی-رطوبتی حالت ناپایدار در ارزیابی انتقال حرارت استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از چنین برنامه‌هایی برای طراحی بهینه حرارتی و یا ارتقای حرارتی جداره‌های خارجی در مکان‌های مختلف جغرافیایی، موردنیاز است. میلووانوویچ و میکولیچ[9] (۲۰۱۱)، ابزارهای قابل‌قبول برای ارزیابی انتقال هم‌زمان حرارت، هوا و رطوبت در اجزای ساختمان را بررسی کردند. باگیرچ[10] و همکاران (۲۰۲۰) نیز، در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار ووفی پرو، به تجزیه‌وتحلیل عملکرد حرارتی-رطوبتی ساندویچ پنل‌های پیش‌ساخته دارای لایه هوای میانی که از زباله‌های ساخت‌وساز ساخته شده بودند، پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که چنین جداره‌هایی ازنظر جنبه رطوبتی و حرارتی تحت شرایط واقعی آب‌وهوای خارجی و شرایط استفاده کاربران واقعی می‌توانند عملکردی رضایت‌بخش داشته باشند. بارکلی[11] و همکاران (۲۰۱۴)، از ووفی پرو و انرژی پلاس برای تعیین عملکرد حرارتی-رطوبتی کل ساختمان در ساختمان‌های کنفی آهکی استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دربرگیری انتقال رطوبت، تأثیر زیادی بر رطوبت نسبی داشته اما تأثیر کمی بر نیازهای کلی گرمایشی و سرمایشی دارد. چانگ و کیم[12] (۲۰۱۵)، عملکرد حرارتی-رطوبتی دو دیوار مختلف را که عمدتاً در کشور کره مورداستفاده قرار می‌گیرد، با استفاده از برنامه شبیه‌سازی ووفی بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای هوای داخلی کمتر موجب انباشت رطوبت بیشتر خصوصاً در سازه‌های چوبی می‌شود. همچنین در بررسی عملکرد طولانی‌مدت رطوبتی مشخص شد که مقادیر رطوبت ذخیره‌شده در سازه‌های دیوار بتنی بیشتر از سازه‌های چوبی است. دستا[13] و همکاران (۲۰۱۱)، مطالعه تجربی در مورد انتقال هم‌زمان حرارت، هوا و رطوبت ازطریق یک جداره ساختمان سبک، تحت شرایط مرزی جوی واقعی را انجام دادند. گلس[14] و همکاران (۲۰۱۳)، مقدمه‌ای کوتاه بر شبیه‌سازی حرارتی-رطوبتی مبتنی بر کامپیوتر ارائه دادند که نشان‌دهنده تأثیرگذاری مفید شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار طراحی مفید است و به تعدادی از ملاحظات مهم در رابطه با ورودی‌ها و محدودیت‌های مدل اشاره می‌کنند. سلطان‌زاده و قاسمی نیا نیز در پژوهشی بر روی جداره‌های ساختمان که بر سه محدوده اقلیمی گلستان متمرکز شده، انواع ساختمان‌های مختلف در آن منطقه را بر اساس اقلیم خرد آن ناحیه طبقه‌بندی نموده‌اند (Soltanzadeh & Ghaseminia, 2016). نتایج حاصل از بررسی ادبیات مرتبط با این پژوهش را می‌توان به شرح زیر نام برد:

- اکثر مطالعات در مناطق نیمه گرمسیری و اقیانوسی مرطوب (Cfa و Cfb) انجام گرفته است.
- در اکثر مطالعات از ترکیب مطالعات تجربی و شبیه‌سازی استفاده شده است.
- می‌توان اذعان داشت که ارزیابی تأثیر عملکرد تهویه طبیعی بر اقلیم داخلی باتوجه‌به عملکرد حرارتی-رطوبتی کل ساختمان و در شرایط حرارتی بحرانی در این منطقه موردبررسی قرار نگرفته است.

علاوه بر موارد فوق لازم به ذکر است که نرم‌افزار شبیه‌سازی اغلب از داده‌های ورودی مانند مشخصات هندسی ساختمان، داده‌های مرتبط با آب‌وهوا، انواع بارهای داخلی، داده‌های مرتبط با سیستم تهویه مطبوع و داده‌های مرتبط با اجزا و شرایط متفاوت، استفاده می‌کند.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

اقلیم گلستان

گلستان با قرارگیری در جنوب دریای خزر دارای اقلیم معتدل و مرطوب و معماری متناسب با این اقلیم بوده که به‌مرور این معماری مورد غفلت واقع شده است.

به دلیل رطوبت زیاد و بارندگی، به‌ویژه در مناطق روستایی، بیشتر ساختمان‌ها جدا و به دور از یکدیگر ساخته می‌شوند و به دلیل وجود چوب فراوان در این منطقه، ساختمان‌ها عمدتاً از جنس چوب یا مواد سبک ساخته شده و سپس توسط سقف‌های شیب‌دار پوشانده می‌شوند (Galogahi et al., 2016). تهویه، بخشی جدایی‌ناپذیر از معماری بومی است، اما به دلیل تراکم بناها و معماری مدرن امروزی، در نواحی شهری استفاده بهینه از انرژی باد دیگر به‌عنوان یک عامل تهویه داخلی در نظر گرفته نمی‌شود. اگرچه باتوجه‌به رطوبت زیاد در این اقلیم، تهویه طبیعی در ساختمان‌ها می‌تواند کمک‌کننده باشد (Galogahi et al., 2016). در این منطقه میانگین دما در تابستان بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در زمستان، ۰ تا ۵ درجه سانتی‌گراد است (کسمائی، ۱۳۸۲). بر اساس تحقیقات سلطان‌زاده و قاسمی نیا، اقلیم گلستان را می‌توان به سه منطقه دشت گرگان، نواحی دامنه کوه و ناحیه کوهستانی تقسیم کرد. آن‌ها در مورد منطقه کوهستانی گلستان ذکر می‌کنند؛ «این منطقه در امتداد کوه‌های البرز شرقی از غرب به شرق واقع شده است و به‌تدریج به سمت شمال شرقی که ارتفاع کم است، متمایل می‌شود. این مناطق با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر، دارای آب‌وهوای معتدل و مرطوب با جنگل‌ها احاطه شده است. در مناطقی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر و بیشتر، چگالی جنگل و رطوبت هوا به‌تدریج کاهش می‌یابد. در زمستان به دلیل وزش باد سیبری در کوهستان، تراکم ابرها، میزان بارش برف و باران در این آب‌وهوا افزایش می‌یابد و هوا بسیار سرد می‌شود، درحالی‌که در تابستان معتدل است» (Soltanzadeh & Ghaseminia, 2016). محل انجام این پژوهش، مناطق روستایی علی‌آباد کتول در ناحیه کوهستانی استان گلستان (Csa) با رطوبت بالا و دمای بالا در طول ماه‌های گرم سال است. در طول مطالعه خود در این منطقه، با دو نوع معماری متمایز مواجه شدیم. در معماری سنتی این منطقه با استفاده از شموشه بافی، اقدام به ساخت بنا می‌نمودند و رویکرد ساخت‌وساز مدرن با هدف بهبود سبک بومی با استفاده از بلوک‌های بتنی و ملات گل است. تمامی بناهای این منطقه دارای ویژگی‌های مشابه هستند، ازجمله اینکه بر روی سکوهایی با ارتفاع بیش از یک متر و با ایوان‌های وسیع در ضلع جنوبی ساخته شده‌اند. بیشتر خانه‌های این منطقه دو طبقه بوده که طبقه پایین آن به انبارها و طبقه بالا به سکونت افراد اختصاص یافته است. هر فضا در این خانه‌ها دارای بازشوهایی برای دسترسی به تهویه طبیعی است. پلان‌های این اقامتگاه‌ها و همچنین چیدمان اتاق‌ها به‌صورت خطی است.

مصالح جداره ساختمان را می‌توان به‌طورکلی در دو گروه سنگین و سبک تقسیم نمود. اغلب، سازه‌های غیرمتراکم و سبک بیشتر موردتوجه سازندگان است. مشاهده شده است که در بسیاری از خانه‌های سنتی، دیوارهای مستحکم را با سقف‌های نازک، معمولاً سقف‌های کاهگلی ترکیب می‌کردند. پوشش‌ها و مصالح ساختمانی سبک در زمانی که دما و رطوبت بیشتر می‌شود، رایج‌تر هستند (Soltanzadeh & Ghaseminia, 2016). شرایط دمایی در مناطق معتدل مناسب است اما شرایط رطوبت مناسب نیست. رطوبت بالا اغلب محیط ناخوشایندی را برای افراد ایجاد می‌کند. در این محیط، هدف اساسی طراحی پایدار باید حذف رطوبت ازطریق جریان هوا باشد. از ویژگی‌های

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

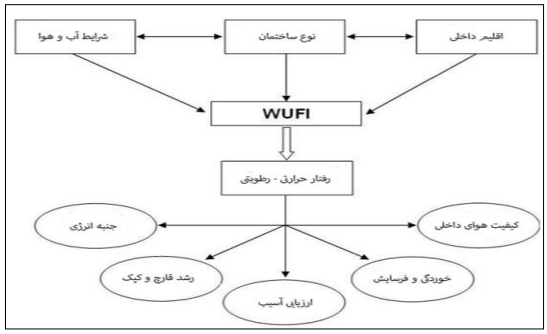
معماری بومی در این مکان‌ها می‌توان به بازشوهای وسیع، ساختمان‌های گسترده با محوطه باز و وجود سقف‌های شیب‌دار به دلیل بارندگی اشاره نمود. همچنین در مناطق معتدل، قسمت‌های غربی ساختمان باید از مصالح سنگین با ظرفیت حرارتی بالا ساخته شود تا از انتقال حرارت آفتاب بعدازظهر به داخل ساختمان جلوگیری شود (کسمائی، ۱۳۸۲).

روش تحقیق

این پژوهش بر اساس ترکیبی از روش‌های تحقیق میدانی، تحقیقات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی صورت گرفته است. در این پژوهش، پرسش‌نامه‌ای برای ارزیابی آسایش حرارتی ساکنان در ساختمان موردمطالعه، طراحی شده است. دلیل استفاده از پرسش‌نامه در این پژوهش، تعیین سطح آسایش ساکنان فضا و کشف دلایل احتمالی عدم آسایش حرارتی آن‌ها است. داده‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی نیز ازطریق پایش میدانی به دست آمده‌اند. در طول روز از دیتالاگرها برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی داخل و خارج فضا استفاده شد. به دلیل شرایط اقلیمی ایدئال در شب‌ها و همچنین رواج روزهای بسیار گرم تابستان، اقدام به ثبت درجه حرارت و رطوبت نسبی در طول روز از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر شد. برای ثبت پارامترهای محیطی، از دو دیتالاگر مشابه استفاده شده است. مشخصات لایه‌های ساختمان نمونه ثبت و پس از بررسی و تجزیه‌وتحلیل پاسخ‌های پرسش‌نامه، ساختمان در نرم‌افزار SketchUp مدل‌سازی شده و با استفاده از ووفی پلاس ورژن ۳,۲ که یک برنامه شبیه‌سازی عملکرد حرارتی-رطوبتی کلی ساختمان است، نمونه موجود در آب‌وهوای موردنظر شبیه‌سازی شد. داده‌های ورودی ضروری این نرم‌افزار شامل اجزای جداره ساختمان موردنظر، جهت‌گیری ساختمان، شرایط اولیه دما و رطوبت و همچنین دوره زمانی مدنظر است. مصالح و شرایط آب‌وهوایی را می‌توان از پایگاه داده‌های موجود که ضمیمه نرم‌افزار ووفی است و یا از دیگر منابع موجود انتخاب نمود (آب روش و محمدکاری، ۱۳۸۸). یکی از کاستی‌های نرم‌افزارهای تجزیه‌وتحلیل حرارتی و رطوبتی، عدم توانایی آن‌ها در پاسخ‌گویی به رطوبت داخل جداره ساختمان یا نوسان شرایط داخلی و خارجی است. ووفی، برنامه‌ای برای رفع این مشکل است (Philip Parker & Lozinsky, 2010). نرم‌افزار ووفی، نرم‌افزاری است که امکان شبیه‌سازی یک‌بعدی یا دوبعدی از حرکت رطوبت و حرارت را در امتداد جداره ساختمان یا لایه‌های دیگر در جریانی غیریکنواخت (گذرا) فراهم می‌کند. پردازنده پسین ووفی، دمای هر ساعت و جریان‌های حرارتی ناشی از شبیه‌سازی کامل شرایط ناپایدار را باتوجه‌به شرایط حرارتی-رطوبتی در جداره، که ناشی از قرار گرفتن در معرض آب‌وهوا و رفتار ساکنین است، تجزیه‌وتحلیل می‌کند. ووفی خانواده‌ای از محصولات نرم‌افزاری است که اجازه می‌دهد، محاسبه واقع‌بینانه از انتقال حرارت و رطوبت هم‌زمان یک‌بعدی و دوبعدی در حالت ناپایدار در دیوارها و سایر اجزای سازنده چندلایه در معرض هوای طبیعی صورت پذیرد. این نرم‌افزار با مقایسه دقیق با اندازه‌گیری‌های به‌دست‌آمده در آزمایشگاه و آزمایش در فضای باز، تأیید شده است. هر دو ابزار شبیه‌سازی یک و دوبعدی با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی بارها مورد تأیید قرار گرفته‌اند (Flood et al., 2016). چانگ و کیم نیز در مورد ووفی ذکر می‌کنند؛ «مدل شبیه‌سازی ووفی، یک مدل انتقال حرارت و جرم حالت ناپایدار است که می‌تواند برای ارزیابی توزیع حرارت و رطوبت برای طیف گسترده‌ای از دسته‌بندی‌های مصالح

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

ساختمانی و شرایط آب‌وهوایی مورداستفاده قرار گیرد. نرم‌افزار شبیه‌سازی ووفی به اطلاعات آب‌وهوای ساعتی برای یک سال کامل نیاز دارد؛ ازجمله دمای حباب خشک ساعتی، تابش خورشیدی، رطوبت، سرعت و جهت باد» (Chang & Kim, 2015: 3435-3436). نمودار معماری نرم‌افزار ووفی در تصویر شماره ۱ نمایش داده شده است.



ت ۱. معماری نرم‌افزار ووفی (Milovanović & Mikulić, 2011)

به‌منظور شبیه‌سازی، اجزای ساختمان موجود با کتابخانه ووفی مطابقت داده شد و برخی از ویژگی‌های آن‌ها اصلاح گردید. برای شرایط اولیه شبیه‌سازی، از دما و رطوبت نسبی ثبت‌شده در ساختمان موردمطالعه استفاده گردید. اطلاعات مرتبط با اقلیم بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی منطقه و نرم‌افزار Meteonorm 7.3 استخراج و مورداستفاده قرار گرفت و بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده در اقلیم تأیید شد. به علت رخ دادن شرایط بسیار حاد حرارتی در فصل تابستان در این منطقه، این شبیه‌سازی در فصل گرم برای چند سال متمادی انجام گرفت. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار، با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در محیط پژوهش، مدلی بر اساس داده‌های اولیه، شبیه‌سازی شد و این مدل، با داده‌های نهایی جمع‌آوری‌شده در محیط مقایسه گردید که انطباق‌پذیری نتایج را با نوسان کمی نشان داد.

توصیف نمونه موردی

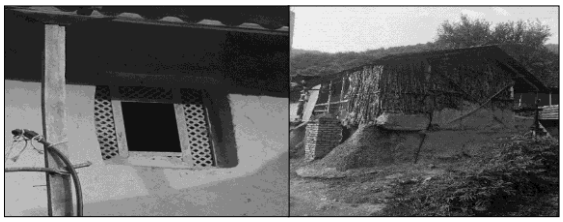
در این مطالعه، ساختمانی را که در سالیان اخیر در منطقه کوهستانی گلستان (در ریگ چشمه علی‌آباد کتول) ساخته شده است، انتخاب و تأثیر عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره ساختمان را بر شرایط اقلیم داخلی در شرایط حاد حرارتی که افراد از تهویه طبیعی برای بهبود اقلیم داخلی استفاده می‌کنند، ارزیابی شد. ساختمان‌های موردمطالعه در مجموعه‌ای متشکل از چهار ساختمان مشابه که مجاور یکدیگر هستند، قرار گرفته است (تصویر شماره ۲).

ت ۲. ساختمان موردمطالعه

باتوجه‌به اینکه تمام ساختمان‌های جدید ساخته‌شده در منطقه ازنظر روش‌ها و مصالح ساختمانی تقریباً معادل این نمونه بودند و اکثر این سازه‌ها دارای نقشه‌های تقریباً یکسانی هستند، این ساختمان به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شد و پژوهش در طبقه دوم آن صورت گرفت. دیوارهای ساختمان از بلوک‌های سیمانی با گچ و خاک در دو طرف تشکیل شده است که در قسمت داخلی فضا از گچ سفید و در قسمت خارجی از گل استفاده شده است. تمامی درها و پنجره‌ها مانند سایر ساختمان‌های بومی منطقه، تماماً از چوب ساخته شده‌اند و هیچ‌گونه سایبان و لووری در بالا و روی آن تعبیه نشده است. بازشوها در معماری بومی دارای لته‌هایی به‌عنوان محافظ بر روی خود هستند. همچنین در برخی از مناطق نیز بازشوهای شیاردار (یا دارای لوور) مشاهده می‌شود. تصویر شماره ۳، یکی از ساختمان‌های بومی این اقلیم با شیوه ساخت شموشه بافی است و نمونه بازشوی بومی موجود در

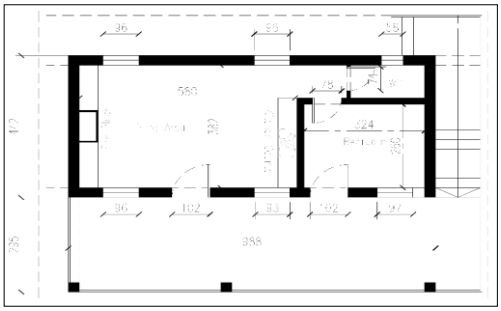
[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

این منطقه نیز نشان داده شده است.



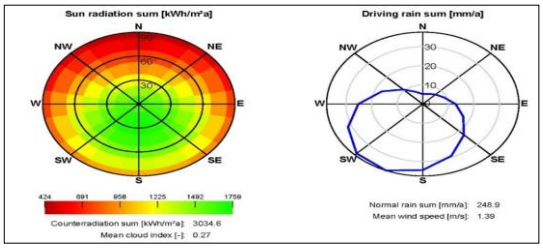
ت ۳. نمونه‌ای از ساختمان بومی در منطقه و بازشوی سنتی موجود در اقلیم

این ساختمان، همان‌طور که پلان آن در تصویر شماره ۴ نشان داده شده است، دارای یک اتاق‌خواب و مساحت کلی ۴۳/۶۶ مترمربع است. طبقه دوم در ارتفاع ۳/۵۵ متری از زمین قرار گرفته است. تمام پنجره‌ها تک جداره بوده و همگی قابل باز شدن هستند و جنس فریم آن‌ها از چوب است. برای روزهای گرم، اتاق نشیمن فقط دارای یک پنکه سقفی است و هیچ‌گونه سیستم تهویه مطبوعی در ساختمان وجود ندارد. این سازه دارای سقف شیب‌دار دو طرفه از جنس ورق‌های گالوانیزه است. ورودی اصلی رو به شمال غربی و دارای ایوان مسقف است.

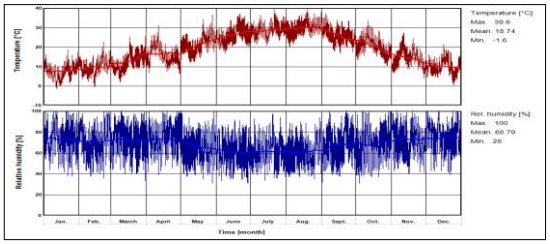


ت۴. پلان ساختمان مورد مطالعه

علاوه بر موارد ذکرشده، اطلاعات مربوط به آب‌وهوای محل پژوهش در تصاویر شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است که نمایانگر بیشینه دمای ۳۹/۶ درجه سانتی‌گراد و بیشینه رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد در طول سال است. جهت جریان باد غالب در منطقه سمت جنوب و جنوب غربی با میانگین سرعت ۱/۳۹ متر بر ثانیه است.



ت ۵. نمودارهای تابش خورشیدی و کج باران در اقلیم موردنظر (برگرفته از فایل آب‌وهوا در نرم‌افزار ووفی پلاس)



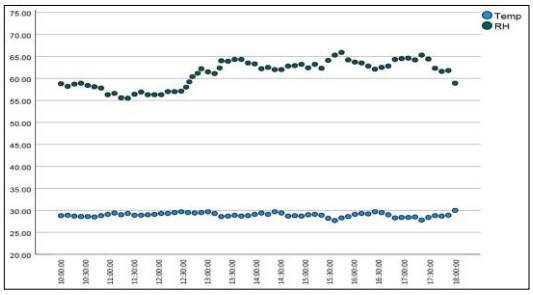
ت ۶. نمودارهای دما و رطوبت نسبی سالیانه در اقلیم موردنظر (برگرفته از فایل آب‌وهوا در نرم‌افزار ووفی پلاس)

اندازه‌گیری‌های میدانی

در این پژوهش برای اندازه‌گیری عوامل محیطی از دو دیتالاگر UNI-T UT333 BT استفاده شد که میزان دقت آن برای رطوبت نسبی برابر با ۵± درصد و برای دمای هوا، برابر ۱± درجه سانتی‌گراد است. زمان ثبت داده‌های اقلیم به مدت یک هفته در تیرماه صورت گرفته و ثبت اطلاعات در هر ۶۰ ثانیه انجام شده است. بازه ثبت اطلاعات نیز از ساعت ۱۰ صبح الی ۱۸ بوده است. محل قرارگیری دیتالاگرها، یکی در فضای باز بیرونی (ایوان) در ارتفاع ۱/۲ متری و دیگری در داخل فضای داخلی (نشیمن) و در ارتفاع ۱/۲ متری از سطح زمین است. اطلاعات جریان هوا نیز از سایت هواشناسی منطقه گردآوری شد. میانگین سرعت جریان هوا در محیط خارجی برابر با ۱ متر بر ثانیه بوده که نتیجه نسیم‌های دائمی موجود در منطقه است. دما و

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

رطوبت نسبی ثبت‌شده در فضای خارجی برای یک روز در تصویر شماره ۷ نمایش داده شده است.

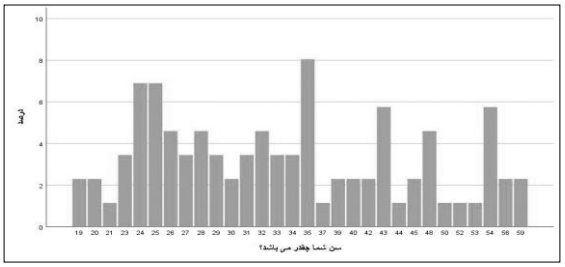


ت ۷. داده‌های ثبت‌شده توسط دیتالاگر برای یک روز

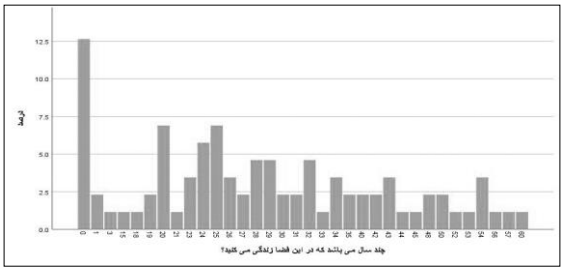
اطلاعات برداشت‌شده از این مرحله در جهت اعتبار سنجی نرم‌افزار و همچنین ایجاد فایل آب‌وهوا مورداستفاده قرار گرفت. برای بررسی تأثیرگذاری جریان هوا بر روی رطوبت نسبی و دمای هوای محیط با استفاده از باز گذاشتن بازشوهای ساختمان نسبت به ثبت داده‌ها اقدام شد. حداکثر رطوبت نسبی ثبت‌شده، ۶۵/۹ درصد و حداقل آن ۵۵/۵ درصد است. علاوه بر این، میانگین دمای خارجی ثبت‌شده ۲۹/۷ درجه سانتی‌گراد است که حداقل آن ۲۷/۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. میانگین رطوبت نسبی در فضای داخلی ۶۲ درصد و دما بین ۲۹/۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این، جزئیات لایه‌های مختلف جداره ساختمان و ویژگی‌های حرارتی-رطوبتی آن‌ها بر اساس اطلاعات سازندگان و مقررات ملی ساختمان ایران ثبت و سپس مقادیر با استفاده از کتابخانه مواد ووفی اصلاح شد.

مطالعات آسایش حرارتی

در این مطالعه، پرسش‌نامه‌هایی بین افراد ۱۸ تا ۶۰ ساله توزیع شد. رطوبت و دما در طول پاسخ‌دهی افراد اندازه‌گیری شد. تنها ۸۷ مورد از ۱۰۰ پرسش‌نامه توزیع‌شده تأیید و تکمیل شد. اکثر افراد طبق استاندارد اشری ۵۵-۲۰۱۷ لباس راحتی برابر با ۰/۴۸-۰/۶۱ clo بر تن داشته و هنگام پاسخ‌دهی به پرسش‌نامه در فضای داخلی خانه در حالت نشسته قرار داشتند. سؤالات این پرسش‌نامه بر اساس ضمیمه استاندارد اشری ۵۵-۲۰۱۷ طراحی شد و شامل سؤالاتی در مورد مشخصات ساکنان، احساس حرارتی، منابع عدم آسایش، انتظارات حرارتی و واکنش به عدم آسایش در فضای زندگی آن‌ها است. تصویر شماره ۸، فراوانی سن پاسخ‌دهندگان را نشان می‌دهد. اکثر پاسخ‌دهندگان را جوانان تشکیل می‌دادند که برخلاف تصور، بیانگر جوان‌سازی جمعیت در منطقه است که می‌توان انتظار داشت آرای حرارتی تا کمی مشابه هم باشند. در تصویر شماره ۹، سال‌های سکونت افراد در این محل نمایش داده شده است که بیانگر سکونت بیش از ۲۰ سال اکثریت پاسخ‌دهندگان در این مکان است که نشان‌دهنده خو گرفتن اکثریت افراد با محیط اقلیمی است.



ت ۸. نمودار میله‌ای فراوانی سن پاسخ‌دهندگان (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)

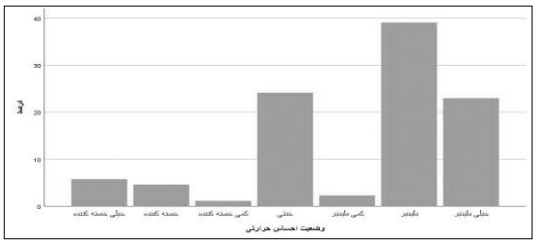


ت ۹. نمودار میله‌ای فراوانی سال‌هایی که پاسخ‌دهندگان در محیط زندگی کرده‌اند (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)

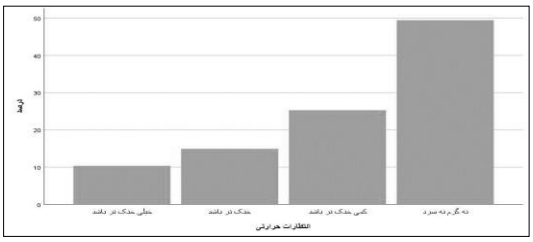
طبق تصاویر شماره ۱۰ و ۱۱ و بر اساس اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه‌ها، می‌توان اذعان داشت که اکثر

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

افرادی که مدت‌زمان طولانی‌تری در این محل زندگی کرده‌اند، احساس حرارتی مطلوب‌تری نسبت به محیط داشته‌اند. ازآنجایی‌که رطوبت نسبی و دما در طول پرسش‌نامه ثبت شد، می‌توان نتیجه گرفت که اکثر پاسخ‌دهندگان در دماهایی بین ۲۸/۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و سطوح رطوبت نسبی بین ۵۸/۸ درصد تا ۶۵ درصد احساس آسایش می‌کردند. طبق تصویر شماره ۱۱، ارزیابی انتظارات حرارتی افراد نشان می‌دهد که اکثریت افراد، انتظار اصلاح حرارتی در فضای فعلی را نداشته، درحالی‌که برخی نیاز به سرمایش در محیط حرارتی خود دارند. این نمودارها مشخص‌کننده محدوده آسایشی افراد باتوجه‌به شرایط موجود هستند که می‌توان باتوجه‌به آن‌ها شرایط افراد در حالت حاد حرارتی را پیش‌بینی نمود. تصویر شماره ۱۲، منابع عدم آسایش حرارتی را که توسط افراد گزارش شده است، نشان می‌دهد.



ت ۱۰. نمودار میله‌ای فراوانی احساس حرارتی افراد (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)



ت ۱۱. نمودار میله‌ای فراوانی انتظارات حرارتی افراد (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)

بر اساس این نمودار، مهم‌ترین منابع عدم آسایش برای افراد، رطوبت بسیار بالا در محیط و کاهش سرعت جریان هوا در طول روز است که به نظر می‌رسد می‌توان مقادیر رطوبت نسبی در محیط را با ایجاد تهویه طبیعی در محل زندگی آن‌ها کاهش داد. بر اساس داده‌های استخراج‌شده از پرسش‌نامه‌ها، اکثر ساکنین فضاها از دمای هوای بیش‌ازحد در محیط داخلی نیز ناراضی بودند و افرادی که مدت کوتاهی در این محیط زندگی کرده‌اند، بیشتر از افزایش دمای هوا گله‌مند هستند. مطابق تصویر شماره ۱۳، بیشترین میزان عدم آسایش در بعدازظهر رخ می‌دهد، زمانی که دما در بالاترین حد خود قرار دارد.

ت ۱۲. نمودار فراوانی منابع عدم آسایش در فضا (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)

ت ۱۳. نمودار میله‌ای ساعات عدم آسایش (برگرفته از نرم‌افزار SPSS 26)

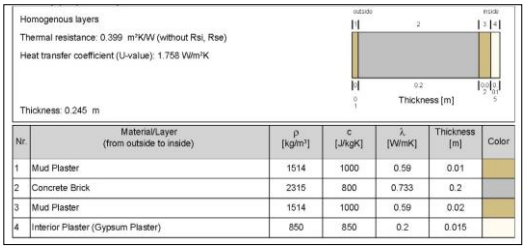
شبیه‌سازی

در این مرحله، با بررسی ساختمان موردنظر، عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره‌ها بررسی و کارایی جداره‌های ساختمان موجود ارزیابی شد.

به‌منظور مدل‌سازی، ویژگی‌های تمام جداره‌های ساختمان، ازجمله جزئیات ساخت‌وساز آن را برداشت کرده و سایر اطلاعات مرتبط با الگوی مصرف انرژی در ساختمان و بارهای داخلی جهت وارد کردن به نرم‌افزار

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

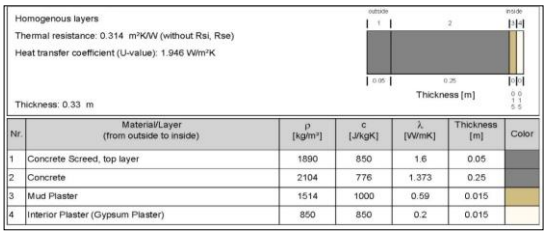
مورداستفاده قرار گرفتند. همچنین، کلیه عناصر ساختمانی که در روند شبیه‌سازی تأثیری بر نتایج نداشتند، حذف شدند. ناحیه حرارتی اصلی در این مطالعه دارای چهار دیوار خارجی، سه دیوار داخلی، یک کف و یک سقف، و همچنین پنج پنجره و دو در است. در این محیط، جداره خارجی شامل یک لایه بلوک بتنی میانی و ملات گل در طرفین بوده و در قسمت داخلی بر روی ملات گل، از گچ استفاده شده است. این جداره دارای ضخامت کل ۲۴/۵ سانتی‌متر و دارای ضریب هدایت حرارتی ۱/۷۵۸ W/m2k است. تصویر شماره ۱۴، جزئیات دیوار خارجی ساختمان را نشان می‌دهد. برای این مؤلفه، جذب تابش موج کوتاه روی ۰/۴ و گسیل موج بلند از سطح به هوای خارجی با استفاده از کتابخانه ووفی بر روی ۰/۹ تنظیم شده است. ثابت ضریب سایه‌اندازی برای اکثر دیوارهای خارجی روی ۱ (بدون سایه) تنظیم شده است، درحالی‌که تابش خورشید در سطح داخلی روی ۰/۴۲ تنظیم گردید (تنظیم‌شده توسط شبیه‌ساز). برای هر مؤلفه، انتقال حرارت و رطوبت به‌طور جداگانه نیز محاسبه شد.


Homogenous layers
Thermal resistance: 0.399 m²K/W (without Rsi, Rse)
Heat transfer coefficient (U-value): 1.758 W/m²K
Thickness: 0.245 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Mud Plaster	1514	1000	0.59	0.01	
2	Concrete Brick	2315	800	0.733	0.2	
3	Mud Plaster	1514	1000	0.59	0.02	
4	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.015	

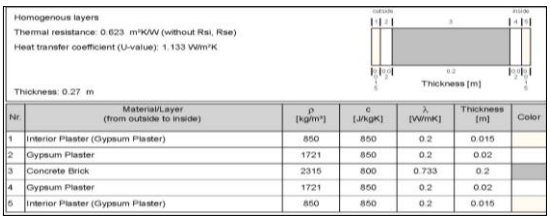
ت ۱۴. لایه‌های تشکیل‌دهنده دیوار خارجی (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

سقف و کف طبقه اول دارای اجزای یکسانی هستند که شامل یک هسته بتنی به ضخامت ۲۵ سانتی‌متر و یک لایه روکش بتنی به ضخامت ۵ سانتی‌متر در لایه بالایی و لایه‌ای از ملات گل و گچ در قسمت پایینی است. کف ساختمان‌های این منطقه به‌جز فضاهای بهداشتی فاقد سنگ، کاشی و سایر کف‌پوش‌ها هستند. تصویر شماره ۱۵، عناصر سقف و کف فضای اصلی زندگی افراد را نشان می‌دهد. تابش خورشید در سطح داخلی برای این مؤلفه، بر روی ۰/۲۲۶ تنظیم گردید. جزئیات دیوارهای داخلی در تصویر شماره ۱۶ نشان داده شده است. مساحت کل این دیوار ۱۰ مترمربع بوده و جهت دیوار بزرگ‌تر در امتداد محور شمالی – جنوبی ساختمان است. تابش خورشید در سطح داخلی برای این ترکیب روی ۰/۰۵۲ تنظیم شد. ساکنین فضا می‌توانند از تمام بازشوهای ساختمان جهت دسترسی به تهویه طبیعی استفاده کنند. این ساختمان دارای ۵ پنجره (غیر از سرویس بهداشتی) به مساحت ۴/۷ مترمربع است و تمامی آن‌ها، ۴/۴۵ متر بالاتر از سطح زمین قرار دارند. همگی تک جداره از جنس چوب هستند و پنجره‌های جبهه شمالی فاقد سایبان جداگانه هستند. اطلاعات مربوط به این بازشوها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.


Homogenous layers
Thermal resistance: 0.314 m²K/W (without Rsi, Rse)
Heat transfer coefficient (U-value): 1.946 W/m²K
Thickness: 0.33 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Concrete Screed, top layer	1890	850	1.6	0.05	
2	Concrete	2104	776	1.373	0.25	
3	Mud Plaster	1514	1000	0.59	0.015	
4	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.015	

ت ۱۵. لایه‌های تشکیل‌دهنده سقف و کف در محیط اصلی (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)


Homogenous layers
Thermal resistance: 0.623 m²K/W (without Rsi, Rse)
Heat transfer coefficient (U-value): 1.133 W/m²K
Thickness: 0.27 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.015	
2	Gypsum Plaster	1721	850	0.2	0.02	
3	Concrete Brick	2315	800	0.733	0.2	
4	Gypsum Plaster	1721	850	0.2	0.02	
5	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.015	

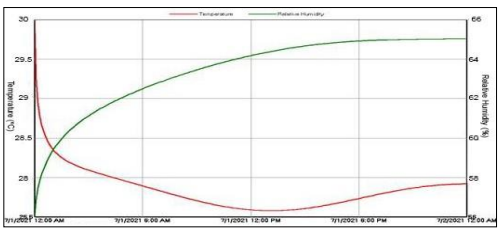
ت ۱۶. لایه‌های تشکیل‌دهنده دیوار داخلی (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

ج۱. مشخصات جداره‌های شفاف (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

Uw – Mounted	5.05 W/m²k
Frame Factor	0.07
Solar Energy Transmittance Hemispherical	0.64
Long Wave Radiation Emissivity (mean glazing/frame)	0.8

ساختمان به سه منطقه مختلف ازنظر شرایط حرارتی تقسیم شد: فضای اصلی طبقه اول که مورد تحلیل قرار گرفت (منطقه حرارتی اولیه)، فضاهای بین سقف طبقه اول و سقف شیب‌دار (منطقه زیرشیروانی) و فضای زیر طبقه اول (طبقه همکف). دمای اولیه در لایه‌های ساختمان بر روی ۳۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی اولیه بر روی ۸۰ درصد و دمای اولیه فضای مورد تحلیل روی ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت آن روی ۶۰ درصد تنظیم شد. توزیع انرژی خورشیدی در سطوح داخلی متناسب با مساحت و مقدار آن برابر با ۰/۱ تنظیم شد. محاسبات سایه‌اندازی به‌صورت پیش‌پردازش انجام شد. به‌منظور محاسبه بارهای داخلی برای شبیه‌سازی‌ها، از تنظیمات کتابخانه ووفی استفاده شد و شرایط بارهای داخلی برای یک خانواده چهار نفره فرض گردید و برخی از داده‌ها اصلاح شد. بر اساس بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی محلی، سرعت جریان هوا در ساعات مختلف روز بین ۱ متر بر ثانیه تا ۱/۵ متر بر ثانیه تنظیم شد. مقاومت پوشش افراد در اکثر اوقات روز روی ۰/۴۸ Clo تنظیم شد (بر اساس داده‌های حاصل از نظرسنجی‌ها). از اندازه‌گیری‌های ثبت‌شده در محیط برای حداقل و حداکثر دما و رطوبت نسبی در طول روز استفاده شد. دمای ایدئال برای شرایط طراحی به ترتیب برای حداقل و حداکثر آن برابر با ۲۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۷ درجه سانتی‌گراد و برای رطوبت نسبی به ترتیب برابر ۳۰ درصد و ۶۰ درصد تنظیم گردید. برای محاسبات جریان هوا، پروفیل روزانه‌ای تعریف شد که در آن ساکنین در طول شرایط حرارتی بحرانی، پنجره‌ها را باز کرده تا از جریان هوا استفاده کنند. ضریب تخلیه بازشوها برابر با ۰/۶ و توان جریان برابر با ۰/۶۵ است. این شبیه‌سازی مدت پنج سال متوالی (خرداد تا مهر) در ماه‌های گرم سال انجام گرفت. محل قرارگیری ساختمان در تنظیمات نرم‌افزار در دسته‌بندی محوطه باز انتخاب و ضخامت لایه مرزی باد، ۲۷۰ و پروفایل توان جریان هوا ۰/۱۴ انتخاب شد. برای اعتبارسنجی نتایج، ازطریق روش تجربی، مدل با استفاده از داده‌های ثبت‌شده از محیط پژوهش، شبیه‌سازی شد، سپس خروجی‌های شبیه‌سازی تجزیه‌وتحلیل شده و با داده‌های ثبت‌شده مقایسه گردید. در تصویر شماره ۱۷، مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار برای محیط داخل در طول یک روز باتوجه‌به داده‌های ثبت‌شده در محیط خارجی نمایش داده شده است. مقایسه مقادیر این تصویر با عوامل ثبت‌شده در محیط داخل نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی، اختلاف بسیار کمی با نتایج واقعی داشته و این شبیه‌سازی می‌تواند نتایج واقعی را پیش‌بینی کرده و محدوده‌ای از مقادیر دمای هوای داخلی و رطوبت نسبی که بسیار مشابه مقادیر ثبت‌شده در محیط پژوهش است را ارائه کند.



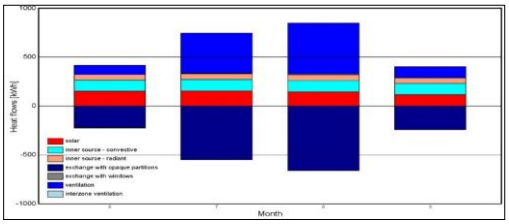
ت ۱۷. تغییرات میزان رطوبت و دمای هوای فضای داخلی در طول یک روز (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

یافته‌ها

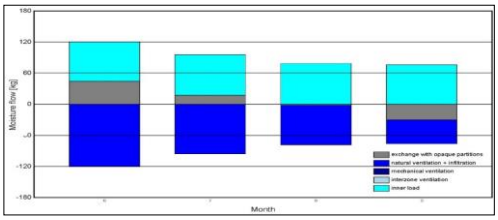
تصاویر شماره ۱۸ و ۱۹، تأثیر منابع حرارتی و رطوبتی ازطریق همرفت، تابش و سایر منابع را بر

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

فضای داخلی نشان می‌دهند.

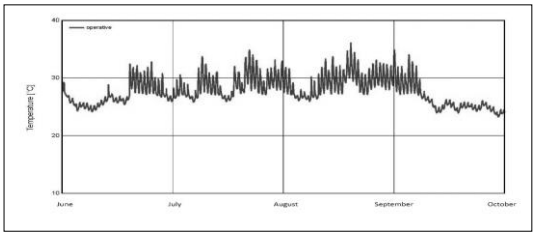


ت ۱۸. جریان‌های حرارتی ماهیانه در طول ماه‌های گرم سال (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)



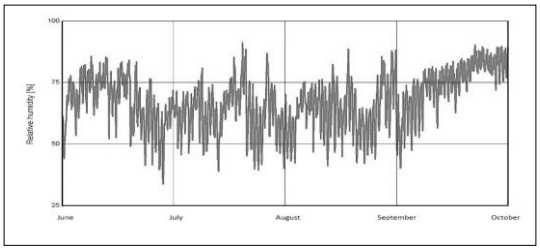
ت ۱۹. جریان‌های رطوبتی ماهیانه در طول ماه‌های گرم سال (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

ازآنجایی‌که در این شبیه‌سازی امکان استفاده از تهویه طبیعی در طول شرایط حرارتی بحرانی (در دمای هوای بالاتر از سطح استاندارد حرارتی اشری) مهیا بوده است، افزایش مقادیر در ماه‌های تیر و مرداد به دلیل وجود تهویه برای رفع این مشکل است. این نمودارهای ماهانه، تأثیر جریان حرارتی و رطوبتی در ساختمان در طول یک ماه و همچنین تأثیر جریان تهویه طبیعی در خنثی کردن تأثیر سایر منابع را نشان می‌دهند جریان‌های حرارتی مثبت نمایانگر جریان‌های واردشده به ساختمان هستند که ازطریق تابش خورشیدی، همرفت و تابش از منابع حرارتی داخلی و همچنین ازطریق تهویه طبیعی ایجاد گردیده‌اند و بیشتر آن جذب جداره‌های داخلی می‌شوند. در نمودار جریان رطوبتی ماهیانه می‌توان مشاهده نمود که رطوبت نسبی در فضای داخلی ازطریق تهویه طبیعی از بین می‌رود. همان‌طور که در تصویر شماره ۲۰ نشان داده شده است، حداقل دمای مؤثر در طول ماه‌های گرم سال، ۲۳/۲ درجه سانتی‌گراد و حداکثر ۳۶/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین آن در طول ماه‌های گرم ۲۷/۷ درجه سانتی‌گراد است.



ت ۲۰. تغییر در دمای مؤثر در طول ماه‌های گرم سال (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

همچنین همان‌طور که در تصویر شماره ۲۱ نشان داده شده است، رطوبت نسبی با استفاده از تهویه طبیعی در فضای داخلی در ابتدای شبیه‌سازی حداقل ۵/۳ درصد بوده و با گذشت زمان افزایش یافته و در اواسط شهریور به حداکثر ۹۱/۱ درصد می‌رسد.



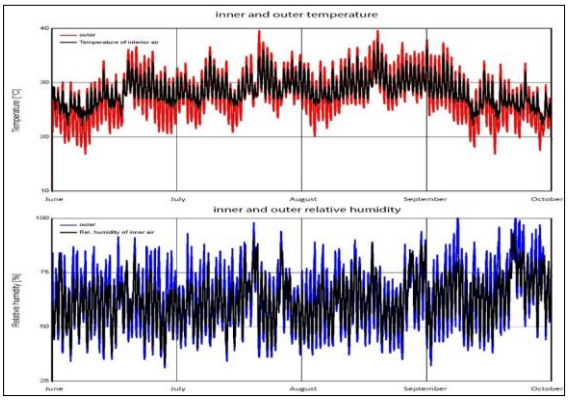
ت ۲۱. تغییر در رطوبت نسبی محیط در طول ماه‌های گرم سال (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

در طول این شبیه‌سازی، میانگین درصد رطوبت نسبی ۶۶/۹ درصد است. حداکثر رطوبت در محوطه بیرونی در طول این شبیه‌سازی‌ها ۱۰۰ درصد و میانگین آن در فضای خارجی ۶۲/۹ درصد است. درنتیجه، استفاده از تهویه طبیعی در شرایط حرارتی بحرانی می‌تواند رطوبت نسبی را کاهش دهد، اما دمای هوای داخلی افزایش می‌یابد. تصویر شماره ۲۲ نشان می‌دهد که دمای هوای داخل به‌طور مداوم در سطح مناسبی در مقایسه با فضای باز است، اما رطوبت نسبی فضای داخلی دارای نوسانات مشابه فضای بیرون است. در طول شبیه‌سازی، حداکثر دمای بیرونی ۳۹/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین آن ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد است. در این تصویر دمای

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]

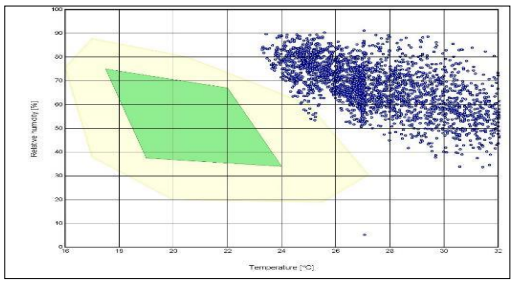
[DOI: 10.22034/42.183.17]

هوای خارجی و رطوبت نسبی هوای خارجی به ترتیب با رنگ‌های قرمز و آبی نمایش داده شده است.



ت ۲۲. وضعیت دما و رطوبت نسبی فضای داخلی در مقایسه با فضای خارجی (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

همان‌طور که در تصاویر قبلی مشاهده شد، افزایش رطوبت محیط خارجی تأثیر مستقیمی بر افزایش رطوبت نسبی فضای داخلی دارد و استفاده از تهویه طبیعی در شرایط بحرانی تأثیر معناداری بر کاهش این مقدار ندارد. نمودار نوسانات دمای هوا نشان می‌دهد که وقتی از تهویه طبیعی استفاده می‌شود، نوسانات دمای هوای داخل از الگویی مشابه با نوسانات دمای هوای خارج پیروی می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از نظرسنجی‌ها و داده‌های ثبت‌شده در محل پژوهش و همچنین با بررسی نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی، می‌توان نتیجه گرفت که جداره‌های ساختمانی موجود نمی‌توانند به‌طور مناسب از افزایش رطوبت نسبی فضای داخلی در درازمدت جلوگیری کنند و همچنین استفاده از تهویه طبیعی در شرایط بحرانی باعث آسایش ساکنین آن فضا نمی‌شود. تصویر شماره ۲۳، رابطه بین دمای آسایش و رطوبت نسبی را بر اساس شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد. بر اساس این تصویر می‌توان مشاهده نمود، اکثر نقاط شبیه‌سازی‌شده خارج از منطقه آسایش موردنظر هستند و نشان‌دهنده عدم آسایش افراد باتوجه‌به شرایط موجود بنا و حتی با استفاده از تهویه طبیعی در شرایط حاد حرارتی است.



ت ۲۳. نسبت بین دمای آسایش و رطوبت نسبی (برگرفته از نرم‌افزار ووفی پلاس)

نتیجه

در این مطالعه، تأثیر تهویه طبیعی بر اقلیم داخلی باتوجه‌به عملکرد حرارتی-رطوبتی جداره ساختمان هنگام شرایط حرارتی بحرانی در منطقه کوهستانی استان گلستان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. با استفاده از پرسش‌نامه به بررسی شرایط آسایش حرارتی ساکنان و شناسایی منابع عدم آسایش آن‌ها اقدام شد. نتایج این مرحله نشان داد که اکثر ساکنینی که مدت طولانی‌تری نسبت به دیگران در محیط زندگی کرده‌اند، انطباق حرارتی بیشتری دارند، اما اکثر آن‌ها از رطوبت بیش‌ازحد محیط در ساعات خاصی از روز شکایت داشتند. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی نیز نشان می‌دهد که استفاده از مصالح فعلی در آب‌وهوای موردنظر، مانع انتقال رطوبت به فضای داخلی نمی‌شود و ممکن است به‌طور بالقوه باعث عدم آسایش حرارتی ساکنان گردد. علاوه بر این، یافته‌های این مطالعه نشان داد که استفاده از تهویه طبیعی برای کاهش رطوبت نسبی در ساختمان موجود در هنگام شرایط حاد حرارتی ممکن است مؤثر نبوده و نوسانات دمایی در فضای داخلی، مشابه

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]

نوسانات در فضای خارج گردد. با در نظرگیری نتایج شبیه‌سازی و نتایج مطالعه آسایش حرارتی، می‌توان دریافت که در شرایط بحرانی، تهویه طبیعی نمی‌تواند شرایط اقلیم داخل را به‌طور مناسب بهبود بخشد. پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری در مورد عملکرد حرارتی-رطوبتی شیوه‌های ساخت‌وساز سنتی (شموشه بافی) در اقلیم مربوطه انجام پذیرد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در سایر نقاط کوهستانی استان گلستان نیز کاربرد داشته باشد، اما در سایر ریز اقلیم‌های دیگر استان گلستان نیازمند تحقیقات بیشتری است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری میلاد کریمی است که در دانشکده معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب انجام شده است. نویسندگان همچنین از Fraunhofer IBP برای ارائه مجوز ووفی پلاس که در این پژوهش استفاده شد، تشکر می‌کنند.

پی‌نوشت

1. Al-Din
2. Karagiozis
3. Karagiozis & Salonvaara
4. Pozas & González
5. Steeman
6. Tariku
7. Paolini
8. Flood
9. Milovanović & Mikulić
10. Bagarić
11. Barclay
12. Chang & Kim
13. Desta
14. Glass

فهرست منابع

– آب روش، مهدیه؛ محمدکاری، بهروز. (۱۳۸۸). عملکرد حرارتی رطوبتی جدارهای ساختمانی در اقلیم گرم و مرطوب. *هفتمین همایش ملی انرژی*. تهران: کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران.

– آب‌روش، مهدیه؛ محمدکاری، بهروز. (۱۳۹۰). بررسی پدیده میعان و تأثیر آن بر عملکرد حرارتی و رطوبتی بتن سبک در جدارهای ساختمانی. *اولین کنفرانس ملی بتن سبک*. تهران: دانشگاه تهران.

– کسمائی، مرتضی. (۱۳۸۲). *اقلیم و معماری*، چاپ دوم. اصفهان: نشر خاک.

- Al-din, S. S. M., Iranfare, M. & Surchi, Zh. N. S. (2017). Building Thermal Comfort Based on Envelope Development: Criteria for selecting right case study in Kyrenia- North Cyprus. *Energy Procedia, 115*, 80-91. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.009
- Bagarić, M., Banjad Pečur, I. & Milovanovi, B. (2020). Hygrothermal performance of ventilated prefabricated sandwich wall panel from recycled construction and demolition waste – A case study. *Energy and Buildings, 206*, 109573. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109573
- Barclay, M., Holcroft, N., & Shea, A. D. (2014). Methods To Determine Whole Building Hygrothermal Performance Of Hemp–Lime Buildings. *Building and Environment, 80*, 204-212. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.003
- Chang, S. J. & Kim, S. (2015). Hygrothermal Performance Of Exterior Wall Structures Using A Heat, Air And Moisture Modeling. *Energy Procedia, 78*, 3434-3439: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.328
- Desta, T. Z., Langmans, J. & Roels, S. (2011). Experimental Data Set for Validation of Heat, Air and Moisture Transport Models of Building Envelpes. *Building and Environment, 46(5)*, 1038-1046: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.002
- Flood, C., Scott, L. & Gleeson, W. (2016). *Application Of Transient Hygrothermal Modelling To Assess Thermal Transmittance: A Case Study In Dublin, Ireland*. Proceedings of the20th CIB World Building Congress – Intelligent Built Environment for Life, Tampere, Finland.
- Galogahi, S. Z., Majidaee, M., Beheshti, H. & Alishah, M. Gh. (2016). Effecs of Window Position on Natural Cross Ventiationin Vernacular Architecture of Mazandara (Case Study SARI). *Journal of Fundametal and Applied Sciences, 8*(2), 567-586. http://dx.do.org/10.4314/jfas.8vi2s.68
- Glass, S. V., TenWolde, A. & Zelinka, S. L. (2013). Hygrothrmal Simulation: A Tool For Building Enveloe Design Analysis. *Wood Design Focus, 23*, 18-25.
- Izadyar, N., Miller, W., Rismanchi, B. & Garcia-Hansn, V. (2020). Impacts Of Façade Openings' Geometry On Natural Ventilation And Occupants' Perceptin: A Review. *Building and Environment, 170*, 106613. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106613
- Karagiozis, A. (2001). Impact of air leakage on the thermal and moisture performance of the building envelope. In Proceedings of the Air Barriers III Conference: Air Barrier Solutions for Buildings in North American Climates. https://technicalreports.ornl.gov/cppr/y2001/pres/1116

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]

[DOI: 10.22034/42.183.17]

Model for Building Envelope Performance Analysis. *4th Internatioal Building Physics Conference: Energy Efficiency and New Approaches*, Istanbul, Turkey. 355-362: http://nparc.cistiicist.nrccnrc.gc.ca/eng/view/accepted/?id=c9d0241a-88da-41be-b964-16accee8e577
- Yousefi, F., Gholipour, Y. & Yan, W. (2017). A Study Of The Impact Of Occupant Behaviors On Energy Performance Of Building Envelopes Using Occupants' Data. *Energy and Buildings, 148*, 182-198 https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.085

DOI: 10.22034/42.183.17

06.pdf
- Karagiozis, A. & Salonvaara, M. (2001). Hygrothermal System-Performance Of A Whole Building. *Building and Environment, 36*, 779-787. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00063-9
- Loonen, R., Trcka, M., Cóstola, D. & Hensen, J. (2013). Climate Adaptive Building Shells: State-Of-The-Art And Future Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25*, 483–493. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016
- Milovanovic, B. & Mikuć, D. (2011). Assessment Method For Combined Heat, Air And Moisture Transfer In Building Components. *Energy Management in Cultural Heritage*, Dubrovnik, Croatia.
- Moloney, J. (2011). *Designing Kinetics For Architectural Facades - State Change* (Vol. 1). Routledge.
- Montalbán Pozas. B. & Neila González, F. J. (2016). Hygrothermal Behaviour And Thermal Comfort Of The Vernacular Housings In The Jerte Valley (Central System, Spain). *Energy and Buildings, 130*, 219-227. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.045
- Paolini, R., Zani, A., MeshkinKiya, M., Castaldo, V. L., Pisello, A. L., Antretter, F., Poli, T. & Cotana, F. (2017). The Hygrothermal Performance Of Residential Buildings At Urban And Rural Sites: Sensible And Latent Energy Loads And Indoor Environmental Conditions. *Energy and Buildings, 152*, 792-803. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.018
- Parker, P. P. & Lozinsky, C. (2010). Thermal And Hygrothermal Analysis In Building Envelope Commissioning. *Proceedings of Building Enclosure Science & Technology (BEST2) Conference.*
- Salonvaara, M. & Ojanen, T. (2003). Indoor Air Humidity Variations And Its Effects On The Moisture Performance Of Building Envelope. *Building Simulation, 8*, 1163-1170: http://www.ibpsa.org/building-simulation-2003/
- Singh, M. K., Mahapatra, S. & Sudhir, A. K. (2009, October 11-14). Study to Enhance Comfort Status in Naturally Ventilated Vernacular Buildings of Northeast India. *Solar World Congress, ISES*, South Africa. 1442-1450: https://www.researchgate.net/publication/230642027_Study_to_enhance_comfort_status_in_naturally_ventilated_vernacular_buildings_of_northeast_India
- Soltanzadeh, H. & Ghaseminia, M. (2016). Climatic Building Envelope Employed In Vernacular Residential Architecture In Golestan-Iran. *International Journal Of Architecture And Urban Development, 6*(1 (19)), 53-64: https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=522194
- Steeman, M., De Paepe, M. & Janssens, A. (2010). Impact Of Whole-Building Hygrothermal Modelling On The Assessment Of Indoor Climate In A Library Building. *Building and Environment, 45*(7), 1641-1652: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.012
- Tariku, F., Kumaran, K. & Fazio, P. (2009, June 15-18). The Need for an Accurate Indoor Humidity

[Downloaded from jhre.ir on 2025-12-17]
[DOI: 10.22034/42.183.17]