

بررسی دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورون چینی در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک - معتدل (تابستان و زمستان)*

علی دهار**

منصوره طاهباز***

محسن تابان****

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

علمی پژوهشی

چکیده

خورون چینی نوعی گره‌چینی آجری برجسته است که از عناصر تزئینی معماری سنتی اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک - معتدل خوزستان به شمار می‌رود. برجستگی خورون چینی منجر به سایه‌اندازی بر نما می‌شود و به‌ویژه در تابستان، سطح بزرگی از نما را می‌پوشاند. اثر خورون چینی بر کاهش نفوذ گرما از نما به داخل در تابستان، پیش‌تر در پژوهشی توسط نگارندگان با روش تجربی اثبات شد. با توجه به تفاوت زیاد دمای محیط در تابستان و زمستان، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات روزانه دمای سطح داخلی دیوار با نمای خورون چینی نسبت به دیوار بدون تزئینات در زمستان است تا از این راه، اثر خورون چینی بر دمای سطحی دیوار در دو فصل با یکدیگر مقایسه شوند. دو اتاقک یکسان که وجه جنوبی آن‌ها دیوار آجری است، در آبادان به‌عنوان نماینده اقلیم مورد مطالعه ساخته شدند. یک نقش خورون چینی با سایه‌اندازی زیاد بر دیوار آجری اتاقک‌ها، در یکی با دو سانتی‌متر برجستگی نسبت به زمینه و در دیگری بدون برجستگی اجرا شد. دمای محیط و دمای سطح داخلی دیوار جنوبی اتاقک‌ها در شش دوره اندازه‌گیری، هر دوره شامل سه شبانه‌روز پیوسته، در تابستان و زمستان ۱۳۹۸ ثبت شدند. برای اطمینان از درستی کارکرد مدل‌های ساخته‌شده، آزمایش به روش شبیه‌سازی تکرار شد. داده‌ها نشان دادند تغییرات روزانه نمودار اختلاف دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورون چینی و دیوار بدون خورون چینی، در تابستان و زمستان، از الگوی مشابهی پیروی کردند که تابعی از نوسان روزانه دمای محیط است. در هر یک از روزهای اندازه‌گیری، بیشترین و متوسط دمای روزانه سطح داخلی دیوار با نمای خورون چینی از دیوار دیگر کمتر بود؛ درحالی‌که کمترین دمای سطحی دیوار مقداری افزایش را نشان داد. این نتیجه به این معناست که خورون چینی اثر تعدیل‌کننده دارد و دامنه تغییرات دمای سطح داخلی دیوار را کاهش می‌دهد. میانگین کاهش بیشترین دمای سطحی روزانه دیوار جنوبی با نمای خورون چینی نسبت به دیوار بدون آن در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری تجربی در تابستان و زمستان، به ترتیب ۱ و ۱/۲ درجه سلسیوس، میانگین کاهش متوسط دمای سطحی روزانه دیوار ۰/۲ درجه سلسیوس و میانگین افزایش کمترین دمای سطحی روزانه دیوار ۰/۴ درجه سلسیوس محاسبه شد.

کلیدواژه‌ها:

خورون چینی، نمای جنوبی، دمای سطح داخلی، دمای محیط.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان تأثیر خورون چینی در نمای خانه‌های سنتی دزفول بر شرایط حرارتی ساختمان است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام و در تاریخ ۱۳۹۹/۶/۳ با موفقیت از آن دفاع شد.

** دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*** دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول، m58tahbaz@yahoo.com

**** استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۱۹ - بهار و تابستان ۱۴۰۰

صفحات ۲۳۰-۲۱۵ ۲۱۵

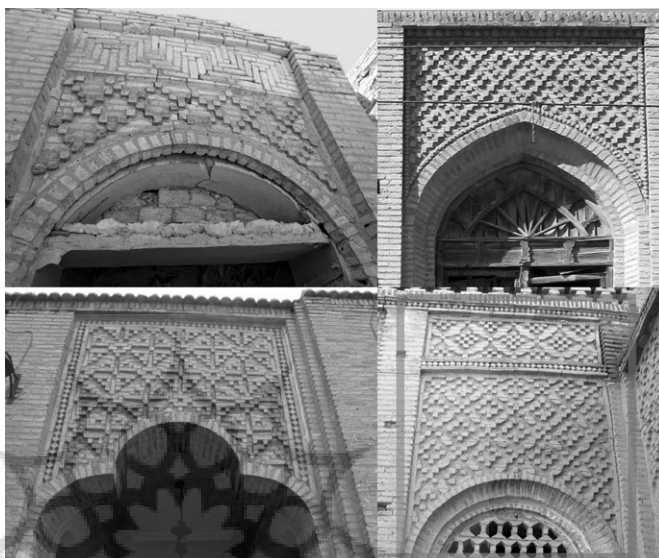
پرسش‌های پژوهش

۱. با توجه به اثر مثبت خورخورد چینی بر تعدیل دمای سطح داخلی دیوار جنوبی در تابستان، اثر آن بر دمای سطحی دیوار در زمستان چگونه است؟
۲. تغییرات روزانه نمودار اختلاف دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورخورد چینی و دیوار بدون خورخورد چینی در زمستان، در مقایسه با تابستان چگونه است؟
۳. مقادیر بیشترین، کمترین و متوسط روزانه دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورخورد چینی نسبت به دیوار بدون خورخورد چینی در تابستان و زمستان چگونه تغییر می‌کنند؟

مقدمه

نمای سطح وسیعی از پوسته خارجی ساختمان را در بر می‌گیرد و به همین دلیل اثر درخور توجهی بر تبادل حرارتی میان فضای کنترل‌شده داخل ساختمان با محیط دارد. مطالعات گذشته و در حال انجام، نقش مهم نمای ساختمان را به‌عنوان یکی از اجزای اصلی در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها نشان می‌دهند. نوع ساخت مورد استفاده در نما عامل کلیدی در تعیین کارایی انرژی ساختمان و در نتیجه سطح پایداری آن است (Planas, Cuerva, and Alavedra 2018) و به‌ویژه در شرایط اقلیمی دشوار مانند مناطق با سطح تابش، دما و نیاز سرمایشی یا گرمایشی زیاد، اهمیت بسیاری دارد. در شرایط گرم برای کاهش تبادل حرارتی از نما روش‌های متفاوتی وجود دارند. استفاده از جداره‌های خارجی گرمابندی‌شده با کمترین مقدار عامل کاهندگی و بیشترین مقدار تأخیر زمانی، یکی از راه‌های مؤثر در کاهش بار حرارتی و برودتی ساختمان است (امیدوار و رستی ۱۳۹۲). روش دیگر در جهت تأمین شرایط حرارتی مطلوب در ساختمان، کنترل تابش بر نماست. با کنترل تابش و تولید سایه می‌توان ۵ تا ۱۵ درصد مصرف انرژی سرمایشی مورد نیاز بنا را کاهش داد (Minangi and Alibaba 2018). «خورخورد چینی» نوعی گره‌چینی آجری برجسته است که در زمینه هندسه شطرنجی با استفاده از قطعات آجر با ضخامت یکسان و طول‌های متفاوت، به روش آموذ بر سطح نمای ساختمان اجرا می‌شود. این تزیین‌های آجری در معماری بناهای سنتی خوزستان و به‌خصوص در بافت تاریخی دزفول به کار رفته‌اند و از ویژگی‌های معماری بومی خوزستان به شمار می‌روند (تصویر ۱). نقش‌های هندسی خورخورد چینی به‌دلیل ساختار برجسته خود بر نما ضمن تولید سایه، زیبایی بی‌بدیلی به ساختمان می‌بخشند و سایه تولیدشده به‌ویژه در تابستان، سطح بزرگی از نما را می‌پوشاند (تابان و دیگران ۱۳۹۱). توجه به سایه‌اندازی نقش‌ها منجر به طرح فرضیه مبنی بر اثر خورخورد چینی بر کاهش انتقال حرارت از نما در تابستان شد (دهار، طاهباز، و تابان ۱۳۹۸). برای پاسخ به مسئله، دو اتاقک با ابعاد و جزئیات یکسان که وجه جنوبی آن‌ها دیوار آجری بود، ساخته شد. یک نقش خورخورد چینی با سایه‌اندازی زیاد بر دیوار جنوبی اتاقک‌ها، در یکی به شکل برجسته و در دیگری بدون برجستگی اجرا شد. آبادان به‌عنوان نماینده اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک- معتدل خوزستان، برای ساخت اتاقک‌ها و انجام مطالعات انتخاب شد. اندازه‌گیری به روش تجربی نشان داد که وجود خورخورد چینی بر نمای جنوبی یکی از اتاقک‌ها منجر به کاهش بیشترین دمای روزانه آن نسبت به اتاقک دیگر به‌طور میانگین برابر ۰/۸ درجه سلسیوس شد (همان ۱۳۹۸). در اقلیم مورد مطالعه که در بخش عمده‌ای از سال برای تأمین شرایط آسایش در داخل ساختمان نیاز به تهویه مطبوع است، توجه به این مطلب که کاهش بار سرمایشی برابر ۱ درجه سلسیوس منجر به کاهش چشمگیری در مصرف انرژی سالانه ساختمان می‌شود (Shurui et al. 2019)، بیانگر اهمیت نتایج به‌دست‌آمده است. در راستای توسعه نتایج پژوهش قبلی و با توجه به اختلاف زیاد دمای محیط و زاویه ارتفاع تابش منطقه خوزستان در تابستان و زمستان، چگونگی تغییرات روزانه دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورخورد چینی نسبت به دیوار بدون تزیینات در زمستان و مقایسه آن با تابستان به‌عنوان مسئله پژوهش حاضر مطرح شد. پژوهش به دو روش تجربی و شبیه‌سازی انجام شد؛ در روش تجربی، متغیرهای دمای محیط و اختلاف دمای سطح داخلی دیوار آجری (وجه رو به جنوب) اتاقک‌ها در شش دوره اندازه‌گیری در تابستان و شش

دوره اندازه‌گیری در زمستان ۱۳۹۸، هر دوره شامل سه شبانه‌روز پیوسته، ثبت شدند. در مرحله بعد، به‌منظور اطمینان از درستی کارکرد مدل‌های ساخته‌شده، پایش متغیرها به روش شبیه‌سازی در فضای مجازی تکرار شد. با بررسی و مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از اتاقک‌ها به پرسش‌های پژوهش پاسخ داده شد.



تصویر ۱: خون‌چینی در معماری سنتی خوزستان. به‌ترتیب از بالا-چپ در جهت ساعت‌گرد: عکاس‌خانه ژرژ یونانی در آبادان، خانه خیابان سیروس در اهواز (مجتهدزاده و نام‌آور ۱۳۹۱)، خانه سوزنگر در دزفول (تابان، مهرکی‌زاده، و نجاران ۱۳۹۸) و خانه مستوفی در شوشتر

۱. مرور ادبیات پژوهش

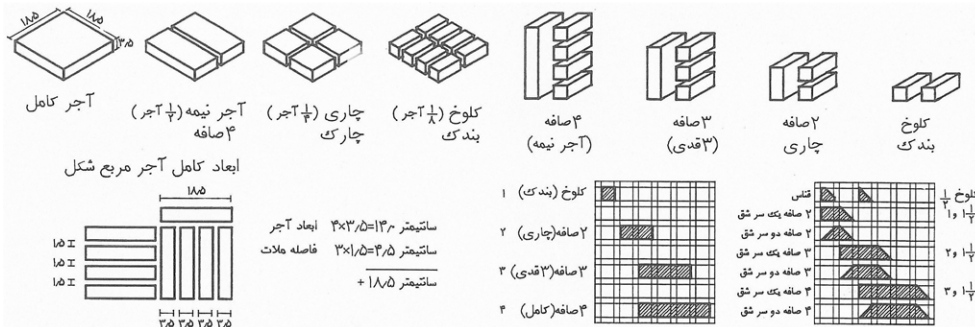
به‌منظور آشنایی با اهمیت پژوهش لازم است ابتدا ساختار خون‌چینی و پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه معرفی شود. از آنجا که خون‌چینی دارای تنوع زیادی در طرح‌های به‌کاررفته است، میزان سایه‌اندازی یکی از عواملی است که در انتخاب طرح خون‌چینی برای آزمایش و نحوه ساخت آن در نمای جنوبی، اهمیت فراوانی دارد.

۱.۱. ساختار خون‌چینی

تزئین‌های خون‌چینی با اجزای آجری به‌دست‌آمده از خرد کردن آجر سنتی به ابعاد $۱۸/۵ \times ۱۸/۵$ سانتی‌متر و ضخامت $۳/۵$ سانتی‌متر ساخته می‌شدند (نعیما ۱۳۷۶، ۵۲). با نصف کردن آجر مربع‌شکل سنتی، آجر نیمه به دست می‌آید که مبنای خرد شدن است و به آن چهارصافه می‌گویند. دیگر اجزای خون‌چینی با تقسیم چهارصافه به قطعات کوچک‌تر به دست می‌آیند. چهار جزء اصلی به‌ترتیب عبارت‌اند از نیمه (چهارصافه)، سه‌قدی (سه‌صافه)، چاری (دوقدی) و کلوخ (بندک) که به‌همراه اجزای فرعی که از اجزای اصلی ساخته می‌شوند، کل اجزای خون‌چینی را به وجود می‌آورند. در تصویر ۲، روش قرار گرفتن قطعات آجر در کنار هم و بر روی زمینه با هندسی مربعی برای ساخت خون‌چینی نشان داده شده است. خون‌هایی که نقش را به وجود می‌آورند، نسبت به زمینه، حدود دو سانتی‌متر برجستگی دارند (همان ۱۳۷۶). بررسی نقش‌های خون‌چینی در بافت قدیم دزفول نشان داد که ضخامت آجر به‌کاررفته در آن‌ها از $۲/۵$ تا $۴/۵$ سانتی‌متر متغیر است (زرگرزاده دزفولی و دیگران ۱۳۹۵).

۱.۲. پژوهش‌های مرتبط

مطالعه اثر نما بر کارایی انرژی ساختمان، موضوع پژوهش‌های متعددی است. «پلاناس»، «کوئروا» و «آلادورا» تفاوت زیادی، در برخی موارد بیش از دو برابر، را در نیاز انرژی ساختمان‌ها با نماهای متفاوت مشاهده کردند (Planas, Cuerva, and Alavedra 2018). تبادل حرارتی نما با محیط تحت اثر هندسه، اجزا و مصالح سازنده آن تغییر می‌کند؛



تصویر ۲: نحوه خرد شدن آجر به اجزای آن و چگونگی قرارگیری آن‌ها بر روی شبکه برای ساخت خون چینی (نعیما ۱۳۷۶)

برای مثال، بررسی اثر طراحی هندسی نما بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها نشان داد که انحراف از نمای مسطح، منجر به تغییر در سطح بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان شد (Hachem and Elsayed 2016) و استفاده از عناصر سایه‌انداز بر نما دوره تکرار عدم آسایش حرارتی را کاهش داد (Abdulkareem, Al-Maiyah, and Cook 2018). «کوما» و دیگران در پژوهشی که از نظر روش با پژوهش حاضر شباهت دارد، و به همین دلیل مورد توجه قرار گرفت، با ساخت دو اتاقک یکسان، به بررسی اثر پوشش گیاهی بر کاهش انتقال حرارت از سطح نما در تابستان در اقلیم قاره‌ای مدیترانه‌ای پرداختند؛ نتیجه نشان داد که در شرایط جریان آزاد بدون تهویه مطبوع، دمای سطح داخلی دیوار جنوبی اتاقک دارای نمای سبز نسبت به دیوار اتاقک بدون آن ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد کاهش داشت (Coma et al. 2014).

آجر از جمله مصالح رایج در ساخت پوسته خارجی ساختمان است و اثر مشخصات هندسی آن بر رفتار حرارتی جدار بارها مطالعه شده است؛ برای نمونه، «التمیمی» و دیگران برای تعیین هندسه بهینه حفره‌های آجری با هدف افزایش مقاومت حرارتی دیوار نشان دادند که در آجرهایی با نسبت حفره به حجم مشابه شکل سوراخ‌ها بر کاهش جریان حرارتی از طریق آجرها تأثیر داشت، درحالی‌که اثر تعداد سوراخ‌ها بر میانگین دمای سطح داخلی اندک بود (Al-Tamimi et al. 2017). بررسی انتقال حرارت در دیواره‌های دوجداره آجری با آجر سوراخ‌دار نشان داد که استفاده از لایه ملات به ضخامت ۱ سانتی‌متر برای پیوستن آجرهای توخالی به کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها کمک می‌کند (Boukendil, Abdelbaki, and Zrikem 2017).

تزیینات آجری نما به دلیل کثرت استفاده از آن‌ها در معماری سنتی ایران دارای اهمیت هستند و در پژوهش‌های متعددی به آن‌ها پرداخته شده است؛ برای مثال، زمرشیدی و صادقی حبیب‌آباد (۱۳۹۷) به بیان چگونگی روند تولید آجر و انواع آن، شناخت هنر آجرکاری و انواع آن در روش اجرا و هنرهای وابسته در معماری اسلامی ایران پرداختند. شکفته، احمدی، و عودباشی (۱۳۹۴) با مطالعه تزیینات آجرکاری عهد سلجوقی نشان دادند که ابداعات تزیینات آجرکاری در آن دوره، موجب شکل‌گیری روش‌های متفاوت آجرکاری و تزیینات در دوره‌های بعد از آن شد. نعیمی (۱۳۷۶) با مطالعه معماری بافت قدیم دزفول به معرفی تزیینات آجری آن از جمله خون چینی، ساختار و اجزای تشکیل‌دهنده و روش اجرای آن پرداخت. زرگرزاده دزفولی و دیگران (۱۳۹۵) به گونه‌شناسی و طبقه‌بندی نقش‌های خون چینی بافت قدیم دزفول بر اساس اجزای سازنده آن‌ها پرداختند. تابان، مهرکی‌زاده، و نجاران (۱۳۹۸) عناصر سایه‌انداز مانند تزیینات برجسته آجری در مسکن سنتی دزفول را معرفی کرده و آن‌ها را به صورت عناصر نورگیر، نورگیر-سایه‌انداز و سایه‌اندازها در مدلی سه‌بعدی نمایش داده‌اند.

از میان پژوهش‌های انجام‌شده، تاکنون فقط دو پژوهش به بررسی تزیینات آجری برجسته نما به روش خون چینی از نقطه‌نظر اقلیمی پرداخته‌اند. تابان و دیگران (۱۳۹۱) کوشیدند تا با شناخت نحوه شکل‌گیری الگوهای خون چینی‌های بافت قدیم دزفول، نقش این الگوها را در تعدیل شرایط اقلیمی، از طریق بررسی میزان سایه‌اندازی آن‌ها بر روی جداره‌ها در تابستان ارزیابی کنند؛ نتایج نشان داد که در دیوارهای خون چینی شده، میزان سایه تا ۴/۵ برابر بیشتر از دیگر سطوح

بدون خون چینی است. دهار، طاهباز، و تابان (۱۳۹۸) با روش تجربی به بررسی اثر خون چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان پرداختند؛ نتایج نشان دادند که نقش‌های برجسته خون چینی بر نما بیشترین دمای روزانه اتاقک آزمایش را نسبت به اتاقک بدون خون چینی به‌طور میانگین ۰/۸ درجه سلسیوس کاهش دادند. نکته مورد توجه در پژوهش‌های اخیر، سایه‌اندازی خون چینی بر نما و اثر آن بر کاهش دمای داخل در تابستان بود. اختلاف زیاد دمای محیط در تابستان و زمستان و کاهش زاویه ارتفاع تابش در زمستان، در اقلیم مورد مطالعه، انگیزه‌بخش انجام پژوهش با هدف بررسی اثر خون چینی بر دمای سطح داخلی دیوار در زمستان و مقایسه آن با تابستان بود.

۲. روش پژوهش

پژوهش ابتدا به روش تجربی و با ساخت نمونه در تماس با شرایط آب‌وهوایی تابستانی و زمستانی و اندازه‌گیری متغیرهای مؤثر انجام شد و در مرحله بعد به‌منظور اطمینان از درستی کارکرد مدل‌های تجربی، به روش شبیه‌سازی و در فضای مجازی تکرار و با بررسی داده‌های به‌دست‌آمده به پرسش‌های پژوهش پاسخ داده شد. در ادامه، نخست محل و زمان انجام پژوهش و سپس دو روش پژوهش تجربی و شبیه‌سازی به‌ترتیب شرح داده می‌شوند.

۲.۱. محل انجام پژوهش

بخش وسیعی از جلگه خوزستان، از نظر اقلیمی و با معیار آسایش انسان، دارای تابستان بسیار گرم و نیمه‌خشک و زمستان معتدل است. معدل دمای سالانه ۲۳ تا ۲۷ درجه و نوسان دمای سالانه ۳۵ تا ۴۱ درجه سلسیوس است. در تابستان متوسط بیشترین دمای روزانه ۴۲ تا ۴۶ درجه و متوسط کمترین دما در شب ۱۸ تا ۲۸ درجه سلسیوس است. این مقادیر در زمستان به‌ترتیب ۱۶ تا ۲۴ درجه و ۳ تا ۹ درجه سلسیوس هستند. در این پهنه اقلیمی می‌توان از شهرهای مهمی مانند آبادان، اهواز، دزفول و شوشتر نام برد. مهم‌ترین هدف‌های طراحی اقلیمی در آن به‌ترتیب محافظت ساختمان در برابر هوای گرم خارج و تابش شدید آفتاب در تابستان هستند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۱۳۸۵؛ کسمایی ۱۳۷۱). آبادان در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۱۵ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. جدول ۱ راهکارهای طراحی اقلیمی و میزان پاسخ‌گویی آن‌ها به نیاز حرارتی ساختمان در آبادان را نشان می‌دهد که با کمک فایده اقلیمی آن مربوط به میانگین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ خورشیدی و نرم‌افزار کلاسیک کانسالتنت نسخه ۶ تهیه شد. اعداد جدول بیانگر اهمیت توجه به تدابیر سرمایشی در اقلیم مورد مطالعه هستند. به‌دلیل فراهم بودن شرایط مطالعه تجربی در آبادان، این محدوده به‌عنوان نماینده اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک معتدل خوزستان برای مدل‌سازی انتخاب شد.

جدول ۱: تدابیر طراحی و میزان پاسخ‌گویی آن‌ها به نیاز حرارتی در آبادان (از نرم‌افزار Climate Consultant 6.0)

میزان پاسخ‌گویی به نیاز حرارتی (درصد)	تدابیر طراحی (Design Strategies)	
۹/۸	شرایط آسایش طبیعی	
۱۹/۸	دریافت حرارت درونی	
۱۱/۳	دریافت مستقیم خورشیدی غیرفعال بر اساس جرم حرارتی بالا	تدابیر گرمایشی
۷/۳	گرمایش مکانیکی همراه با رطوبت‌زنی	
۲۷/۲	محافظت بازوها در برابر تابش (ایجاد سایه)	
۳۸	سرمایش مکانیکی	
۱۹/۴	سرمایش مکانیکی همراه با رطوبت‌زدایی	تدابیر سرمایشی
۱/۶	رطوبت‌زدایی	
۹/۲ (مکانیکی)	تهویه به روش طبیعی یا مکانیکی	

۲.۲. شرح روش پژوهش تجربی

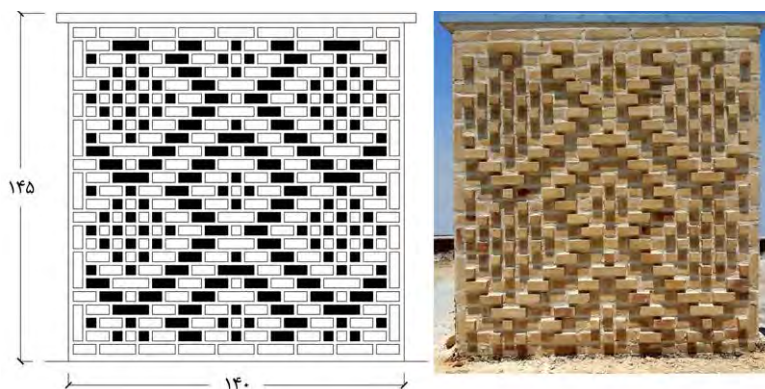
روش تجربی با ساخت دو اتاقک یکسان، مطابق تصویر ۳ انجام شد (دهار، طاهباز، و تابان ۱۳۹۸). اتاقک‌ها در آبادان بر روی بام ساختمانی در تراز ارتفاعی ۹ متر نسبت به تراز متوسط محوطه پیرامون ساختمان ساخته شدند. فضای پایین آن‌ها بسته و بدون تهویه مطبوع بود. محل و موقعیت ساخت اتاقک‌ها به شکلی انتخاب شد تا در هیچ زمانی از سال، هیچ سایه‌ای بر روی آن‌ها قرار نگیرد. طول، عرض و ارتفاع بیرونی اتاقک‌ها به ترتیب مساوی ۱۴۰، ۱۰۰ و ۱۴۵ سانتی‌متر است. ابعاد اتاقک‌ها با توجه به اندازه مصالح مورد استفاده در ساخت آن‌ها انتخاب شد. جهت‌گیری اتاقک‌ها به سمت جنوب است. با توجه به اینکه به دلیل زاویه ارتفاع خورشید سایه خون‌چینی بر بدنه جنوبی از سایر بدنه‌ها بیشتر است، نمای جنوبی برای انجام مطالعات در اتاقک‌ها انتخاب شد (همان ۱۳۹۸). وجه جنوبی هر اتاقک دیواری آجری به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر^۳ است که یک نقش خون‌چینی با سایه‌اندازی زیاد در آن اجرا شده است. این نقش در هر دو اتاقک یکسان است با این تفاوت که در یکی (اتاقک A) بدون برجستگی و در دیگری (اتاقک B) به مقدار دو سانتی‌متر نسبت به نما برجسته است (تصویر ۴). سایر وجه‌های اتاقک‌ها از جنس ساندویچ پانل^۴ ساخته شدند و با سازه‌ای از جنس چوب چهارتراش^۵ و با استفاده از پیچ به یکدیگر و دیوار آجری و کف مهار شدند. استفاده از ساندویچ پانل به منظور به حداقل رساندن تبادل حرارت از سایر وجه‌ها و کاربرد سازه چوبی به منظور به حداقل رساندن امکان تشکیل پل حرارتی است. اتصالات ساندویچ پانل‌ها به یکدیگر برای جلوگیری از تشکیل پل حرارتی فارسی‌بر شدند و برای پوشاندن درزهای میان اتصالات و هواپندی از فوم پلی‌یرتان استفاده شد. اندازه‌ها، جزئیات ساخت و اتصالات اجزای اتاقک‌ها در تصویر ۵ نشان داده شده است.

۲.۲.۱. انتخاب نقش خون‌چینی

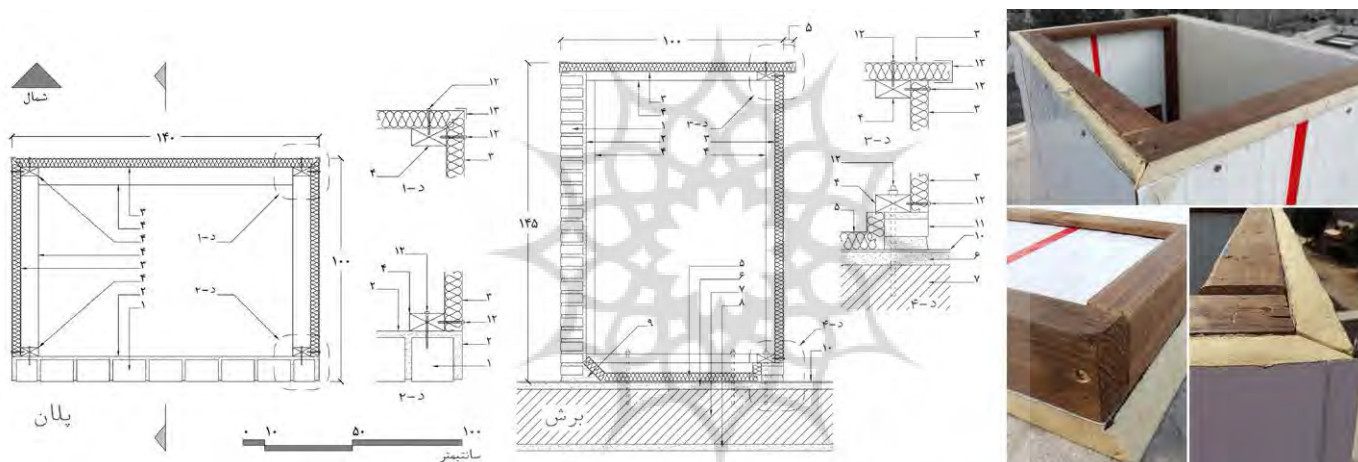
برای انتخاب خون‌چینی در ساخت اتاقک، ابتدا از میان نقش‌های شناسایی‌شده، نقش‌های سه‌جزئی که از سه جزء کلوخ، دوصافه و سه‌صافه ساخته شده‌اند، به دلیل فراوانی آن‌ها، به‌عنوان مجموعه مرجع انتخاب شدند؛ سپس با توجه به موضوع پژوهش، نقشی که بیشترین سایه‌اندازی را بر نمای جنوبی داشت، از میان آن‌ها انتخاب شد (همان ۱۳۹۸). ابعاد کلوخ، دوصافه و سه‌صافه به کاررفته در ساخت نقش خون‌چینی برگزیده، به ترتیب مساوی ۴، ۹/۵ و ۱۵ سانتی‌متر^۶ و فاصله بندهای آجر مساوی ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند.



تصویر ۳: اتاقک A با نقش بدون برجستگی و اتاقک B با نقش خون‌چینی برجسته بر نمای جنوبی آن‌ها



تصویر ۴: نمای جنوبی اتاقک B دارای نقش خون چینی برجسته، اندازه‌ها به سانتی‌متر هستند.



۱. دیوار آجری؛ ۲. پلاستر سیمان؛ ۳. ساندویچ پانل؛ ۴. چوب چهارتراش؛ ۵. کرسی آجری؛ ۶. عایق حرارتی پلی استایرن؛ ۷. بتن سبک؛ ۸. سازه سقف؛ ۹. اندود داخلی؛ ۱۰. پیچ ضدزنگ؛ ۱۱. ماهیچه بتنی؛ ۱۲. عایق رطوبتی یا روبه آلومینیوم؛ ۱۳. ورق کالوایزه

تصویر ۵: پلان، برش و جزئیات ساخت اتاقک‌های آزمایش در شکل نشان داده شده است. استفاده از سازه چوبی و اتصال‌های فارسی بر ورق‌های ساندویچ پانل به منظور کاهش امکان تشکیل پل حرارتی است.

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۱۹ - بهار و تابستان ۱۴۰۰

۲۲۱

۲.۲.۲. متغیرها، ابزارها و روش اندازه‌گیری

متغیرهای اندازه‌گیری شده عبارت‌اند از: دمای سطح داخلی دیوار آجری (وجه رو به جنوب) اتاقک‌ها (T_s) و دمای محیط (T_E)، که هدف از اندازه‌گیری آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. اندازه‌گیری در شش دوره در تابستان و شش دوره در زمستان ۱۳۹۸، هر دوره شامل سه شبانه‌روز پیوسته و در مجموع هجده شبانه‌روز، در بازه‌های زمانی ده دقیقه‌ای انجام شد. جدول ۳ برنامه زمانی ثبت متغیرها را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری دمای سطح داخلی دیوارهای آجری از دماسنج تماسی به همراه حسگرهای تماسی استفاده شد. در هر اتاقک، سه حسگر بر روی سطح داخلی دیوار در سه تراز ارتفاعی متفاوت نصب شدند. تصویر ۶ موقعیت نصب حسگرها را نشان می‌دهد. در هر یک از اتاقک‌ها دماهای نشان داده شده توسط حسگرها، در هر دوره اندازه‌گیری، در فاصله‌های زمانی ده دقیقه‌ای و در سه شبانه‌روز متوالی ثبت شدند. میانگین عددی دماهای به دست آمده از سه حسگر نیز به عنوان دمای سطح داخلی دیوار ثبت شد. برای اندازه‌گیری دمای محیط، از دستگاه ثبت‌کننده دما استفاده شد که به دور از تابش مستقیم و درون یک جعبه چوبی به رنگ سفید (مشابه با جعبه

استیونسن) به ابعاد بیرونی $50 \times 30 \times 30$ سانتی متر و ارتفاع ۱۲۰ سانتی متر از سطح قرار گرفت. در دوره‌های اندازه‌گیری، جعبه حاوی دستگاه ثبت‌کننده دمای محیط در محل استقرار اتاقک‌های آزمایش قرار گرفت. جزئیات ساخت وجه‌های جعبه به نحوی بود که امکان گردش هوا درون آن به راحتی میسر بود و در تمام مدت آزمایش، دستگاه ثبت‌کننده در سایه قرار داشت (تصویر ۶). مشخصات فنی دستگاه‌های اندازه‌گیری در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲: متغیرها و هدف از اندازه‌گیری آن‌ها

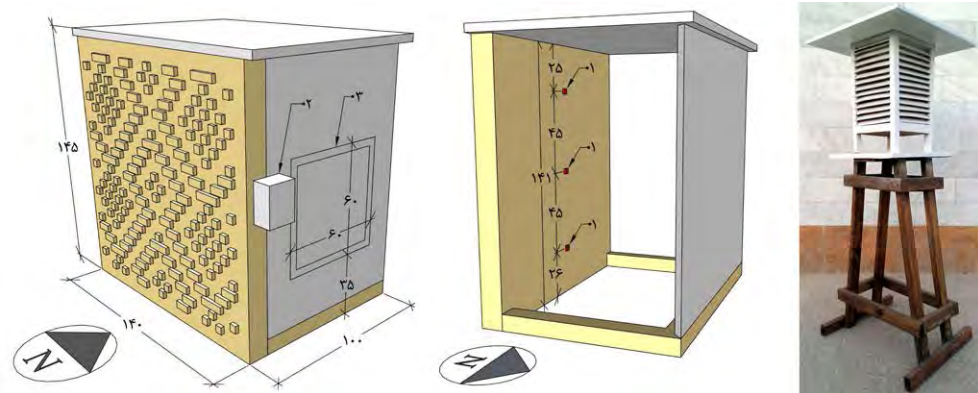
هدف از اندازه‌گیری	تعریف متغیر	علامت اختصاری
	دمای سطح داخلی دیوار آجری اتاقک بدون خون‌چینی	T_{SA}
بررسی تغییرات دمای سطح داخلی دیوار آجری (وجه جنوبی)	دمای سطح داخلی دیوار آجری اتاقک دارای خون‌چینی	T_{SB}
اتاقک‌ها نسبت به یکدیگر و دمای محیط	اختلاف دمای سطح داخلی دیوار آجری اتاقک‌ها	$T_{SA} - T_{SB}$
	دمای محیط	T_E

جدول ۳: برنامه زمانی ثبت متغیرها به مدت ۷۲ ساعت در هر دوره اندازه‌گیری

فصل	دوره اندازه‌گیری	
	شروع - ساعت ۰۰:۰۰ بامداد	پایان - ساعت ۰۰:۰۰ بامداد
تبر	۱۳۹۸/۰۳/۳۱	۱۳۹۸/۰۴/۰۳
	۱۳۹۸/۰۴/۱۵	۱۳۹۸/۰۴/۱۸
تابستان	۱۳۹۸/۰۴/۳۱	۱۳۹۸/۰۵/۰۳
	۱۳۹۸/۰۵/۱۴	۱۳۹۸/۰۵/۱۷
شهریور	۱۳۹۸/۰۵/۳۱	۱۳۹۸/۰۶/۰۳
	۱۳۹۸/۰۶/۱۵	۱۳۹۸/۰۶/۱۸
دی	۱۳۹۸/۰۹/۲۹	۱۳۹۸/۱۰/۰۲
	۱۳۹۸/۱۰/۱۷	۱۳۹۸/۱۰/۲۰
زمستان	۱۳۹۸/۱۱/۰۴	۱۳۹۸/۱۱/۰۷
	۱۳۹۸/۱۱/۱۸	۱۳۹۸/۱۱/۲۱
اسفند	۱۳۹۸/۱۲/۱۱	۱۳۹۸/۱۲/۱۴
	۱۳۹۸/۱۲/۲۳	۱۳۹۸/۱۲/۲۶

جدول ۴: مشخصات ابزار اندازه‌گیری متغیرها

متغیر	علامت اختصاری	واحد	ابزار اندازه‌گیری	تفکیک‌پذیری	دقت	بازه‌های زمانی ثبت اطلاعات	روش ثبت اطلاعات	شرکت سازنده و کالیبره‌کننده
دمای سطح داخلی دیوار آجری (وجه جنوبی) اتاقک	T_s	درجه سلسیوس	دماسنج و ثبت‌کننده دمای تماسی مدل TM-946 با استفاده از پراب دما (Type K) مدل TP-01	۰/۱ درجه سلسیوس	$\pm (0.5 + 0.1\%)$ درجه سلسیوس	۱۰ دقیقه	اتوماتیک	Lutron Electronics
دمای محیط	T_E		ثبت‌کننده دما و رطوبت نسبی مدل MIC-98583		درجه ± 0.6 سلسیوس			MIC Meter Industrial Company



۱. حسگر دمای تماسی؛ ۲. جعبه محل قرارگیری دماسنج تماسی؛ ۳. درجه دسترسی به داخل اتاقک

تصویر ۶: شکل چپ موقعیت قرارگیری ابزار اندازه‌گیری در اتاقک‌های آزمایش و شکل راست جعبه چوبی محل قرارگیری دستگاه دماسنج محیطی را نشان می‌دهند. اندازه‌ها به سانتی‌متر هستند.

۳.۲. شرح روش شبیه‌سازی

اتاقک‌های آزمایش مشابه با آنچه در محیط واقعی ساخته شد و مطابق با جزئیاتی که در روش پژوهش تجربی شرح داده شد، در فضای مجازی ساخته شدند. برای ساخت مدل سه‌بعدی اتاقک‌ها از نرم‌افزار راینو^۷ استفاده شد و سپس مدل‌های ساخته‌شده به محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر^۸ انتقال یافتند. «گرس‌هاپر افزونه‌ای^۹ برای نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بعدی راینو و یک ویرایشگر الگوریتم گرافیکی است که به طراحان اجازه می‌دهد دامنه‌ای از فرم‌های پارامتریک ساده تا پیچیده را بدون نیاز به تجربه برنامه‌نویسی تولید کنند» (Tabadkani et al. 2019). شبیه‌سازی با استفاده از افزونه‌های لیدی‌باگ^{۱۰} و هانی‌بی^{۱۱} در محیط گرس‌هاپر انجام شد. لیدی‌باگ امکان استفاده از اطلاعات آب‌وهوایی و ترسیم نمودار و دیاگرام‌های آن‌ها را در محیط گرس‌هاپر به کاربر می‌دهد؛ مانند بررسی تابش و سایه‌اندازی که ممکن است در نهایت با مصرف کلی انرژی یک ساختمان در ارتباط باشند. به‌منظور اطلاعات بیشتر در زمینه آنالیز شبیه‌سازی، هانی‌بی از طریق گرس‌هاپر به موتورهای شبیه‌سازی متعددی متصل می‌شود که انرژی‌پلاس برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان در میان آن‌ها از اعتبار بیشتری برخوردار است (Zomorodian and Tahsildoost 2017). اعتبار موتور شبیه‌ساز انرژی‌پلاس که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی شناخته شده است، بر اساس استانداردهای BESTEST و اشری-۱۴ تأیید شده است (زمردیان و تحصیلدوست ۱۳۹۴). شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های فایل اقلیمی (با پسوند EPW) آبادان مربوط به میانگین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ خورشیدی (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی) انجام شد. مصالح مورد استفاده در ساخت مدل‌های مجازی از کتابخانه مصالح نرم‌افزار انرژی‌پلاس و مشابه با مدل‌های تجربی انتخاب شدند. در تعریف شرایط مرزی جداره‌های مختلف از دو شرط «در ارتباط با محیط خارجی» برای جداره جنوبی و «آدیاباتیک» برای سایر جداره‌ها استفاده شد تا به‌جز بدنه جنوبی، تبادل حرارت از سایر بدنه‌های اتاقک‌ها با محیط حداقل باشد. لازم به توضیح است همان‌گونه که در روش پژوهش تجربی شرح داده شد، در ساخت اتاقک‌های واقعی نیز تلاش شد با تمهیداتی مانند استفاده از مصالح عایق حرارتی، به حداقل رساندن پل‌های حرارتی و هوابندی اتصال‌ها، تبادل حرارتی از سایر وجه‌های اتاقک‌ها با محیط، به‌جز وجه جنوبی، به حداقل برسد. جدول ۵ مشخصات شبیه‌سازی اتاقک‌های آزمایش را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی برای دوره یک‌ساله و در بازه‌های زمانی شصت‌دقیقه‌ای انجام شد؛ سپس داده‌های مورد نظر متناظر با دوره‌های اندازه‌گیری در روش پژوهش تجربی (برنامه زمانی جدول ۳) از آن استخراج شدند.

جدول ۵: مشخصات شبیه‌سازی اتاقک‌ها

نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بعدی	راینو/گرس‌هاپر
نرم‌افزار شبیه‌سازی	افزونه‌های لیدی‌باگ و هانی‌بی برای گرس‌هاپر
موتور محاسباتی	انرژ‌ی پلاس
داده‌های اقلیمی	داده‌های اقلیمی آبادان مربوط به میانگین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ خورشیدی
برنامه‌ی زمانی ثبت داده‌ها	شبیه‌سازی برای دوره‌ی یک‌ساله انجام شد؛ سپس داده‌های مورد نظر متناظر با دوره‌های اندازه‌گیری در روش پژوهش تجربی (جدول ۳) از آن استخراج شدند.
گام‌های زمانی محاسباتی	۶۰ دقیقه
جزئیات ساخت مدل‌ها	مطابق با اتاقک‌های ساخته‌شده در محیط واقعی (روش پژوهش تجربی)
مشخصات حرارتی مصالح بدنه‌ی جنوبی اتاقک‌ها	آجر از کتابخانه‌ی مصالح نرم‌افزار - R-Value= 0.114157 و U-Value= 8.759843
شرایط مرزی بدنه‌ی جنوبی اتاقک‌ها	در ارتباط با محیط خارجی
شرایط مرزی سایر بدنه‌های اتاقک‌ها	آدیاباتیک؛ به دلیل جلوگیری از تبادل حرارتی با محیط؛ زیرا هدف بررسی تبادل حرارت از وجه جنوبی است.
خروجی	دمای سطح داخلی وجه جنوبی اتاقک‌ها

۳. یافته‌های پژوهش

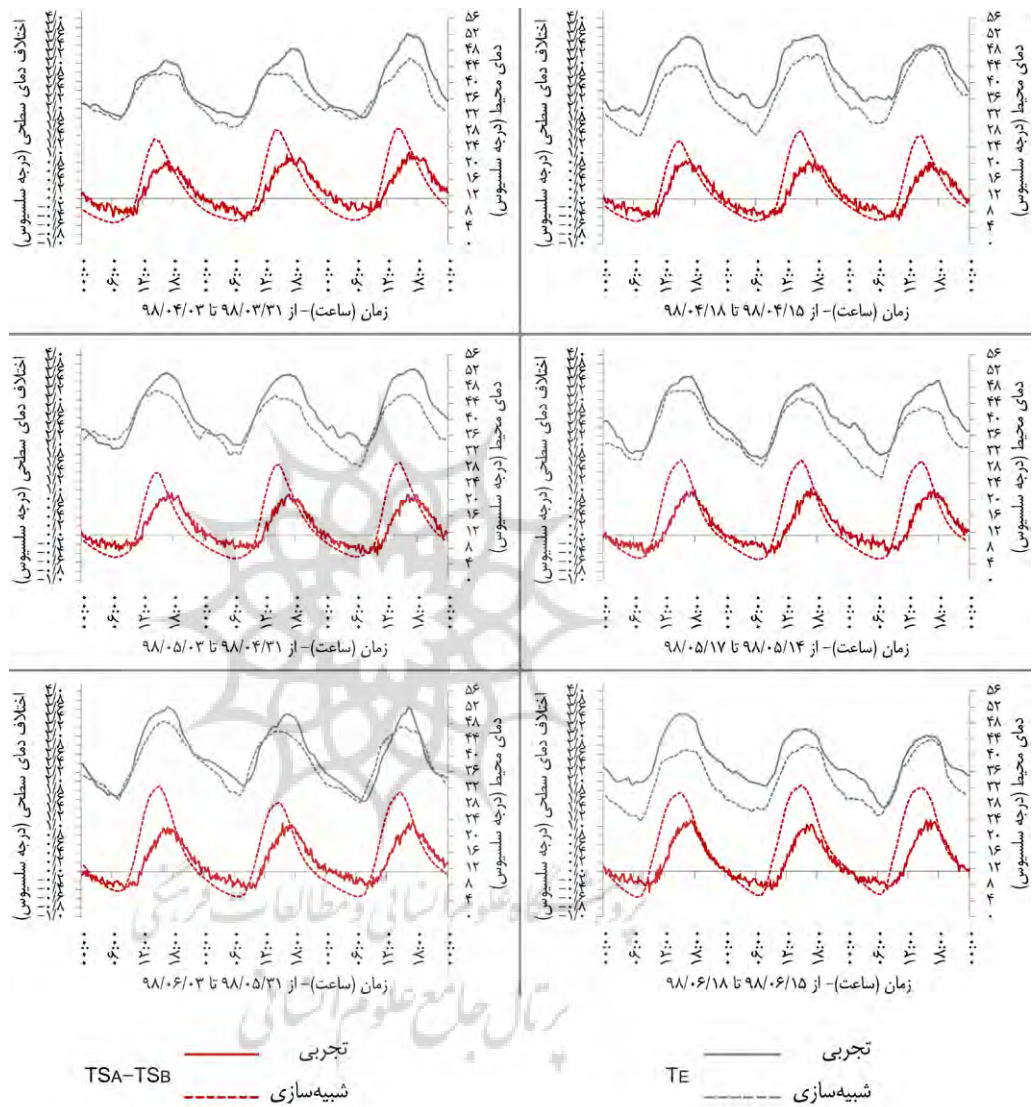
اندازه‌گیری تابستانی در شش دوره و اندازه‌گیری زمستانی در شش دوره، مطابق با برنامه‌ی زمانی درج‌شده در جدول ۳ انجام شدند. اختلاف میان دمای سطح داخلی دیوار آجری (بدنه رو به جنوب) اتاقک بدون خون‌چینی و اتاقک دارای خون‌چینی ($TS_A - TS_B$) و تغییرات دمای محیط (TE) در هر دوره شامل سه شبانه‌روز پیوسته به دو روش تجربی و شبیه‌سازی ثبت شدند. داده‌های تجربی در بازه‌های زمانی ده‌دقیقه‌ای و داده‌های شبیه‌سازی در بازه‌های زمانی شصت‌دقیقه‌ای ثبت شدند.

۳.۱. ارائه داده‌ها

داده‌های به‌دست‌آمده به‌منظور بررسی و مقایسه آن‌ها بر روی نمودار انتقال یافتند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۰ استفاده شد. تصویر ۷ تغییرات متغیرهای پیش‌گفته را در دوره‌های اندازه‌گیری تابستان و تصویر ۸ تغییرات آن‌ها را در دوره‌های اندازه‌گیری زمستان نشان می‌دهد. نمودارهای اختلاف بیشترین، کمترین و متوسط روزانه دمای سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) اتاقک‌ها در هر کدام از هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری در تابستان و زمستان در تصویر ۹ نشان داده شده است.

۳.۲. بررسی داده‌ها

نمودارهای $TS_A - TS_B$ که معرف اختلاف دمای سطح داخلی دیوار جنوبی بدون خون‌چینی و دیوار با نمای خون‌چینی است، در تابستان و زمستان، از الگوی تغییرات مشابهی پیروی کردند که متناسب با تغییرات روزانه دمای محیط (TE) بود (تصویر ۷ و ۸). روند تغییرات نمودارها در دوره‌های اندازه‌گیری تابستان (تصویر ۷) منظم بود اما در زمستان (تصویر ۸) استثنایی مشاهده شدند که دلیل آن‌ها تغییر ناگهانی در دمای محیط بود؛ برای مثال در روز ۵ و ۲۴ بهمن‌ماه، افت ناگهانی در دمای روز منجر به کاهش اختلاف دمای سطحی دیوارها و برهم خوردن نظم نمودار در روش تجربی شد و در روز ۳۰ آذر، افت مشابهی در نمودار اختلاف دمای سطحی دیوارها در روش شبیه‌سازی مشاهده شد. داده‌ها نشان دادند که در تمام شرایط اندازه‌گیری زمستانی و تابستانی، نمودار $TS_A - TS_B$ در طی روز مثبت و در طی شب منفی شده است. مطابق نمودارهای تصویر ۹، بیشترین دمای روزانه سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) اتاقک دارای

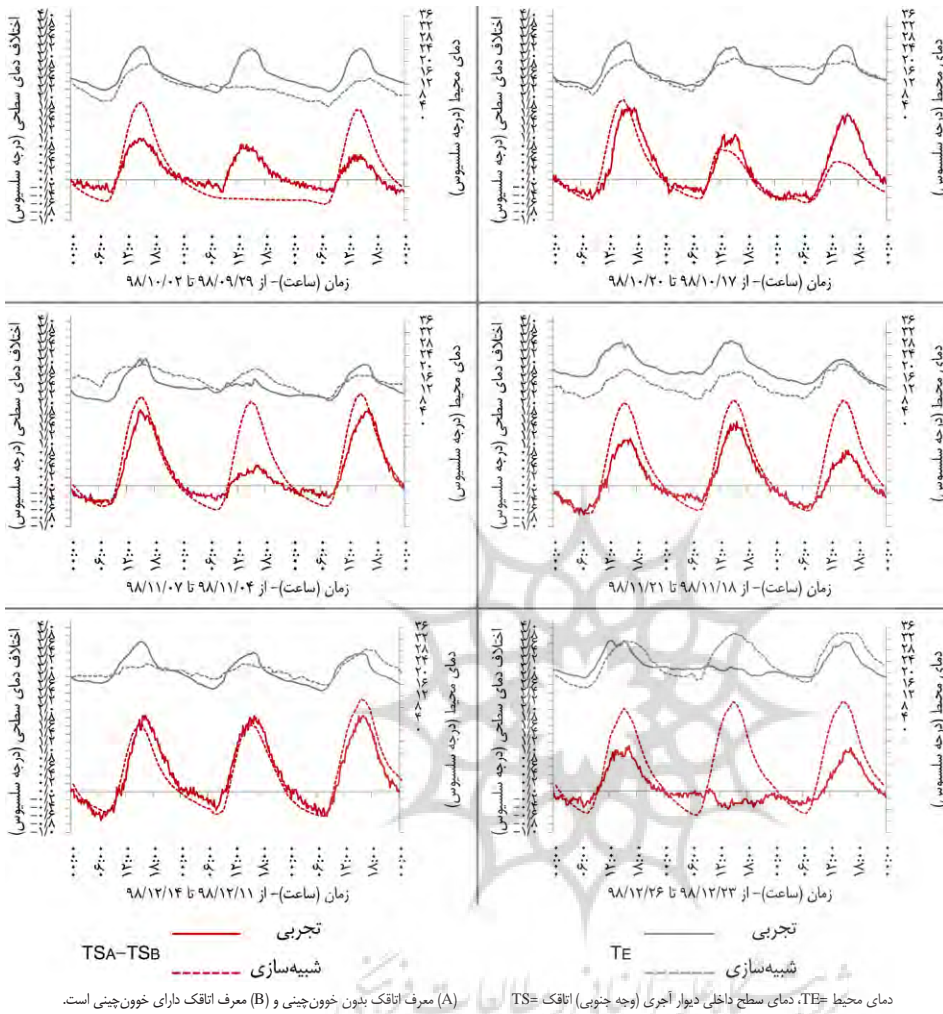


دمای محیط = TE، دمای سطح داخلی دیوار آجری (وجه جنوبی) اتاقک = TS

(A) معرف اتاقک بدون خون چینی و (B) معرف اتاقک دارای خون چینی است.

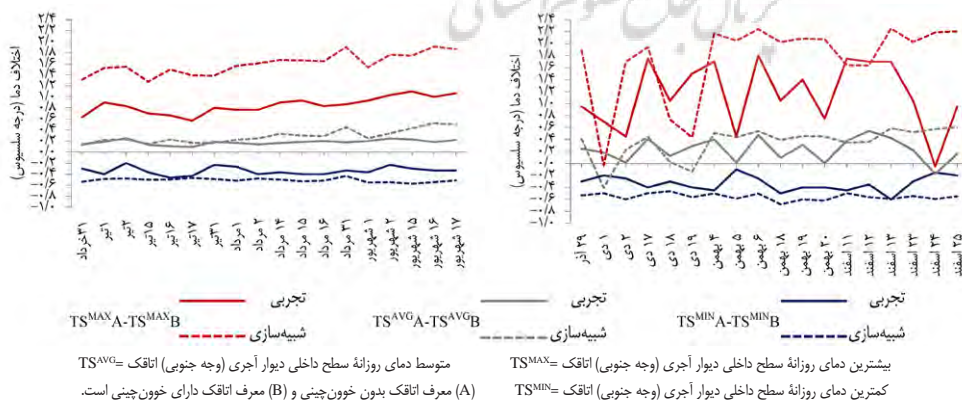
تصویر ۷: نمودار اختلاف میان دمای سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) دو اتاقک در دوره‌های

اندازه‌گیری تابستان ۱۳۹۸ با روش تجربی و شبیه‌سازی



تصویر ۸: نمودار اختلاف میان دمای سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) دو اتاقک در دوره‌های اندازه‌گیری زمستان ۱۳۹۸ با روش تجربی

و شبیه‌سازی



تصویر ۹: نمودارهای اختلاف بیشترین، کمترین و متوسط دمای روزانه سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) اتاقک‌ها در روزهای

اندازه‌گیری تابستان (چپ) و زمستان (راست) ۱۳۹۸ با روش تجربی و شبیه‌سازی

خوون چینی (TS_{B}^{MAX}) از اتاقک بدون خوون چینی (TS_{A}^{MAX}) کمتر بود؛ درحالی که کمترین دمای شبانه سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) اتاقک دارای خوون چینی (TS_{B}^{MIN}) بیش از اتاقک دیگر (TS_{A}^{MIN}) بود. همچنین متوسط دمای روزانه سطح داخلی دیوار آجری (بدنه جنوبی) اتاقک دارای خوون چینی (TS_{B}^{AVG}) از اتاقک بدون خوون چینی (TS_{A}^{AVG}) کمتر بود. مقادیر اختلاف به شرح زیر است:

میانگین اختلاف بیشترین دمای سطحی دیوارها با دو روش تجربی و شبیه‌سازی، در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری تابستان، به ترتیب برابر $+1$ و $+1/6$ درجه سلسیوس و در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری زمستان به ترتیب برابر $+1/2$ و $+1/7$ درجه سلسیوس محاسبه شد.

میانگین اختلاف متوسط دمای سطحی دیوارها با دو روش تجربی و شبیه‌سازی، در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری تابستان به ترتیب برابر $+0/2$ و $+0/3$ درجه سلسیوس و در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری زمستان به ترتیب برابر $+0/2$ و $+0/4$ درجه سلسیوس محاسبه شد.

میانگین اختلاف کمترین دمای سطحی دیوارها با دو روش تجربی و شبیه‌سازی، در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری تابستان به ترتیب برابر $-0/4$ و $-0/5$ درجه سلسیوس و در مجموع هجده شبانه‌روز اندازه‌گیری زمستان به ترتیب برابر $-0/4$ و $-0/6$ درجه سلسیوس محاسبه شد.

نتایج نشان دادند که استفاده از خوون چینی در نمای جنوبی در تابستان و زمستان می‌تواند موجب تعدیل و کاهش نوسان دمای سطح داخلی دیوار گردد و از این منظر دارای اثر مثبت است. با توجه به عایق بودن سایر بدنه‌های اتاقک‌ها، تبادل حرارت آن‌ها با محیط حداقل است؛ از این رو می‌توان نتیجه گرفت اتاقکی که در نمای جنوبی آن از تزیینات خوون چینی استفاده شده باشد، در تابستان در طی روز خنک‌تر و در زمستان در طی شب گرم‌تر خواهد بود. دلیل این امر را می‌توان در اثر برجستگی‌های خوون چینی دانست که در روزهای تابستان، سایه‌اندازی بیشتری نسبت به زمستان ایجاد می‌کنند و در شب‌های زمستان تابش معکوس به آسمان سرد شب را کاهش می‌دهند و لذا از تغییرات زیاد نوسان دمای سطح داخلی دیوار و فضای داخلی اتاق جلوگیری می‌کنند.

۴. محدودیت‌های پژوهش

اندازه‌گیری تجربی متغیرها به شکل پیوسته در کل ایام تابستان و زمستان ممکن نبود؛ به همین دلیل در هر فصل در شش دوره، هر دوره سه شبانه‌روز پیوسته، تکرار شد؛ بنابراین انتظار می‌رود که نتایج به کل فصل تعمیم‌پذیر باشند. برای کنترل درستی کارکرد مدل‌سازی تجربی، از روش شبیه‌سازی نیز استفاده شد. در شبیه‌سازی، فرض بر این بود که اتاقک کاملاً عایق شده و فقط از دیوار جنوبی امکان تبادل حرارت با دمای بیرون را دارد. از شباهت نمودارهای $TS_{A}-TS_{B}$ در دو روش شبیه‌سازی و تجربی این اطمینان حاصل می‌شود که تمهیدات به‌کاررفته در عایق کردن سایر بدنه‌های دو اتاقک به‌منظور به حداقل رساندن تبادل حرارت از آن‌ها موفقیت‌آمیز بوده و عمده تبادل حرارت با محیط از بدنه جنوبی اتاقک‌ها اتفاق افتاده و تبادل حرارت از سایر بدنه‌ها اندک است. لذا می‌توان به کارکرد صحیح مدل‌ها و نتایج تجربی نیز مطمئن بود.

نتیجه

اثر خوون چینی بر کاهش نفوذ گرما از نما به داخل در تابستان، پیش‌تر در پژوهشی با روش تجربی اثبات شد. با توجه به تفاوت زیاد دمای محیط در تابستان و زمستان و کاهش زاویه ارتفاع تابش در زمستان، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات روزانه دمای سطح داخلی دیوار با نمای خوون چینی نسبت به دیوار بدون تزیینات در زمستان است تا از این راه، اثر خوون چینی بر دمای سطحی دیوار در دو فصل با یکدیگر مقایسه شوند. دو اتاقک یکسان که وجه جنوبی آن‌ها دیوار آجری است، در آبادان به‌عنوان نماینده اقلیم مورد مطالعه ساخته شدند. یک نقش خوون چینی با سایه‌اندازی زیاد بر دیوار آجری اتاقک‌ها، در یکی با برجستگی نسبت به زمینه و در دیگری بدون برجستگی اجرا شد. دمای محیط و

دمای سطح داخلی دیوار جنوبی اتاقک‌ها در شش دوره اندازه‌گیری، هر دوره شامل سه شبانه‌روز پیوسته، در تابستان و زمستان ۱۳۹۸ ثبت شدند. برای اطمینان از درستی کارکرد مدل‌های ساخته‌شده، آزمایش به روش شبیه‌سازی تکرار شد. شباهت روند تغییرات نمودار اختلاف دمای روزانه سطح داخلی بدنه جنوبی اتاقک‌ها در روش تجربی و شبیه‌سازی حاکی از دقت به‌کاررفته در عایق‌کاری حرارتی و کارکرد درست مدل تجربی است؛ از این رو نتایج تجربی قابل اعتماد هستند و بر اساس آن‌ها به پرسش‌های پژوهش به شرح زیر پاسخ داده شد:

۱. اجرای خووون چینی بر نمای جنوبی اتاقک در زمستان، مشابه با تابستان، موجب کاهش دامنه تغییرات روزانه دمای سطح داخلی دیوار شد و بر تعدیل و کاهش نوسان دمای سطح داخلی دیوار در روز و شب اثر مثبت داشت.

۲. با وجود کاهش چشمگیر دمای محیط و زاویه ارتفاع تابش در زمستان نسبت به تابستان، تغییرات روزانه نمودار اختلاف دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خووون چینی و دیوار بدون خووون چینی در هر دو فصل از الگوی مشابهی پیروی کردند که متناسب با تغییرات روزانه نمودار دمای محیط بود؛ به عبارت دیگر، اجرای خووون چینی بر نمای جنوبی اتاقک بر چگونگی تغییرات دمای سطح داخلی دیوار نسبت به دیوار بدون خووون چینی، در تابستان و زمستان اثر مشابهی داشت.

۳. اندازه‌گیری روزانه در تابستان و زمستان نشان داد که بیشترین دمای روزانه و متوسط دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خووون چینی نسبت به دیوار بدون خووون چینی کمتر بود؛ در حالی که کمترین دمای سطح داخلی دیوار با نمای خووون چینی نسبت به دیوار بدون تزئینات مقداری افزایش نشان داد.

۴. پژوهش حاضر برای اولین بار اثر خووون چینی بر دمای سطح داخلی دیوار در گرم‌ترین و سردترین اوقات سال را در بستر معماری سنتی خوزستان مورد بررسی و مقایسه قرار داد. پژوهش بیانگر اهمیت تزئینات آجری برجسته بر نمای ساختمان از منظر طراحی اقلیمی است و می‌تواند راهگشای پژوهش‌های آینده باشند. موارد زیر به‌عنوان پیشنهاد پژوهش مطرح می‌شوند:

- بررسی اثر شیوه‌های ناماسازی آجری برجسته در معماری بومی اقلیم‌های مختلف بر تبادل حرارت از نما؛
- بررسی اثر شیوه‌های نوین آجرکاری برجسته نما بر دمای سطح داخلی دیوار در اقلیم‌های مختلف.

پی‌نوشت‌ها

۱. فایل با پسوند EPW برگرفته از سایت <http://climate.onebuilding.org> مربوط به شهر آبادان
2. Climate Consultant 6.0
۳. عرض دیوار با توجه به روش اجرای خووون چینی، معادل عرض آجر نیمه (چهارصافه) انتخاب شد.
۴. ساختار ساندویچ پانل شامل دو ورقه فولادی گالوانیزه به ضخامت ۰/۷۵ میلی‌متر و ۴۰ میلی‌متر فوم پلی‌یرتان در میان آن‌هاست.
۵. چوب چهارتراش به ابعاد ۸×۴ سانتی‌متر استفاده شد.
۶. اندازه‌های آجر به‌کاررفته در ساخت دیوار ۲۰×۱۰×۴ سانتی‌متر بود که با برش آن، اجزای خووون چینی با اندازه‌های مورد نظر ساخته شدند.

7. Rhinoceros
8. Grasshopper
9. Plugin
10. Ladybug
11. Honeybee

منابع

- امیدوار، امیر، و بهنام رستی. ۱۳۹۲. تأثیر محتوای رطوبتی مصالح ساختمانی بر عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی ساختمان.

مهندسی مکانیک مدرس ۱۳ (۱۰): ۱۵۶-۱۵۲.

- تابان، محسن، محمد رضا پورجعفر، محمدرضا بمانیان، و شاهین حیدری. ۱۳۹۱. تأثیر اقلیم بر شکل تزیینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی خون‌چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول. *نقش جهان* ۲ (۳): ۷۹-۹۰.

- تابان، محسن، محمد مهرکی‌زاده، و سارا نجاران. ۱۳۹۸. شناخت عناصر سایه‌انداز در مسکن سنتی دزفول. *معماری و شهرسازی آرمانشهر* (۲۷): ۲۵-۴۱.

- دهار، علی، منصوره طاهباز، و محسن تابان. ۱۳۹۸. بررسی اثر خون‌چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان، در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان. *معماری اقلیم گرم و خشک* ۷ (۱۰): ۱۱۹-۱۳۹.

- زرگرزاده دزفولی، مجتبی، سید کیانوش لاری‌بقال، نجمه سالاری‌نسب، و مهناز بابایی‌مراد. ۱۳۹۵. خون‌چینی تکامل و تناسب ابعاد آجر در نماسازی‌های آثار معماری دزفول. *مطالعات معماری ایران* ۱ (۹): ۴۷-۶۵.

- زمردیان، زهراسادات، و محمد تحصیل‌دوست. ۱۳۹۴. اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ای. *انرژی ایران* ۱۸ (۴): ۱۱۵-۱۳۳.

- زمرشیدی، حسین، و علی صادقی حبیب‌آباد. ۱۳۹۷. آجر و هنر آجرکاری از دوران باستان تا امروز. *مطالعات شهر ایرانی اسلامی* ۹ (۳۳): ۵-۱۷.

- شکفته، عاطفه، حسین احمدی، و امید عودباشی. ۱۳۹۴. تزیینات آجرکاری سلجوقیان و تداوم آن در تزیینات دوران خوارزمشاهی و ایلخانی. *پژوهش‌های معماری اسلامی* ۳ (۶): ۸۴-۱۰۶.

- کسمایی، مرتضی. ۱۳۷۱. *پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط‌های مسکونی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

- مجتهدزاده، روح‌الله، و زهرا نام‌آور. ۱۳۹۱. در جست‌وجوی هویت شهری اهواز. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۵. *نشریه ۱۶۲-۱*، مقررات و معیارهای طراحی و اجرایی جزئیات تیپ ساختمانی جلد اول: اقلیم و ویژگی‌های ساختمانی، روش‌های ساخت و تکنولوژی ساختمان، مصالح ساختمانی و ضوابط کاربرد آن. تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور فنی.

- نعیم، غلامرضا. ۱۳۷۶. *دزفول شهر آجر*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.

- Abdulkareem, Mahmood, Sura Al-Maiyah, and Malcolm Cook. 2018. Remodeling façade design for improving day lighting and the thermal environment in Abuja's low-income housing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (3): 2820-2833.

- Al-Tamimi, Ahmed S., Mohammed A. Al-Osta, Omar S. Baghabra Al-Amoudi, and Rached Ben-Mansour. 2017. Effect of Geometry of Holes on Heat Transfer of Concrete Masonry Bricks Using Numerical Analysis. *Arab J Sci Eng* (42): 3733-3749.

- Boukendil, Mohammed, Abdelhalim Abdelbaki, and Zaki Zrikem. 2017. Numerical simulation of coupled heat transfer through double hollow brick walls: Effects of mortar joint thickness and emissivity. *Applied Thermal Engineering* (125): 1228-1238.

- Coma, Juliá, Gabriel Pérez, Cristian Solé, Albert Castell and Luisa F. Cabeza. 2014. New green facades as passive systems for energy savings on buildings. *Energy Procedia* (57): 1851-1859.

- Hachem, Caroline, and Mohanmed Elsayed. 2016. Patterns of façade system design for enhanced energy performance of multistory buildings. *Energy and Buildings* (130): 366-377.

- Minangi, Faisal Saleh, and Halil Zafer Alibaba. 2018. Effect of shading on thermal performance of Dormitory Building on Hot Climate. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations* 6 (4): 610-621.

- Planas, C., E. Cuerva, and P. Alavedra. 2018. Effects of the type of facade on the energy performance of

- office buildings representative of the city of Barcelona. *Ain Shams Engineering Journal* (9): 3325–3334.
- Shurui, Guo, Hanyu Yang, Yanru Li, Yin Zhang, and Enshen Long. 2019. Energy Saving Effect and Mechanism of Cooling Setting Temperature Increased by 1°C for Residential Buildings in Different Cities. *Energy & Buildings* (202).
- Tabadkani, Amir, Masoud Valinejad Shoubi, Farzaneh Soflaei, and Saeed Banihashemi. 2019. Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction* (106).
- Zomorodian, Zahra S., and Mohammad Tahsildoost. 2017. Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics. *Energy and Buildings* (134): 80-93.



■ Indoor Surface Temperature Variations of South Walls with *khavun-chini* Facades in Hot and Semi-Arid-Temperate Climate (Summer and Winter)

Ali Dahar

Ph.D. Candidate, Department of Architecture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Mansoureh Tahbaz

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

Mohsen Taban

Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi Shapur University of Technology

Khavun-chini, which is one of the traditional ornamental features of architecture in the hot and semi-arid-temperate climate of Khuzestan, is a kind of brickwork with protruded elements. Protrusion in *khavun-chini* brickwork covers a large area of the facade in shade especially during the summer. The effect of *khavun-chini* on reducing heat gain through the south facade in summer has already been proven experimentally. This study aims to investigate the daily variations of the indoor surface temperature of walls with *khavun-chini* facade compared to plain walls in winter in order to compare the effect of *khavun-chini* on the indoor wall surface temperature in two seasons. Two identical chambers, the south faces of which were brick walls, were built in Abadan as representative of the studied climate. A *khavun-chini* pattern with a high shading effect was executed on their walls—one with a two-cm protrusion from the surface and the other without any protrusion. The indoor surface temperatures of south walls and the ambient temperatures were recorded in six measurement periods, each period including three consecutive days and nights in the summer and winter of 2019. The experiment was repeated by simulation to ensure the correct performance of the constructed models. The data showed that the daily variations of the indoor surface temperature graphs of both the south wall with *khavun-chini* facade and the plain wall follow a similar pattern in summer and winter, since they are a function of daily fluctuations in the ambient temperature. In every measurement day, the maximum and mean temperatures of the indoor surface of the wall with *khavun-chini* was lower than the other wall, while its minimum wall surface temperature was higher. This result means that *khavun-chini* has a moderating effect and reduces the range of temperature variations. The average decreases of the daily maximum wall surface temperature in a total of eighteen days of experimental measurement in summer and winter were 1° and 1.2° C, respectively; the average decrease of the mean wall surface temperature was 0.2, and the average increase of the minimum wall surface temperature was 0.4° C.

Keywords:

khavun-chini, south facade, indoor surface temperature, ambient temperature