تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۸/۱۵
نوع مقاله: پژوهشی
شماره صفحه ۲۳-۴۱

بررسی تأثیر سایه‌بان‌های متحرک الحاقی به فضاهای نیمه‌باز بر مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی تهران*

مجتبی مهدوی‌نیا
استادیار گروه علم و فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: mahdavinia@art.ac.ir

ویدا وهابی
کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
E-mail: vidavahabi@yahoo.com

چکیده

یکی از راهکارهای مؤثر در معماری گذشته ایران، بهره‌گیری از سایه‌بان‌های متحرک به عنوان یکی از سامانه‌های غیرفعال ساختمانی بوده است که کاربرد گسترده‌ای داشته و می‌توان در معماری امروز از آن به منظور بهبود عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز بهره گرفت. در این پژوهش، برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی از مقایسه نتایج اندازه‌گیری تجربی استفاده شده است. شبیه‌سازی حرارتی در نرم‌افزار انرژی‌پلاس نسخه ۸/۹ صورت گرفت. برای شبیه‌سازی، عمق فضای نیمه‌باز، اندازه سطح بازشوی دیوار مجاور فضای نیمه‌باز و ضریب هدایت حرارتی آن در دو نوع بالکن و ایوان، به عنوان متغیر در نظر گرفته شدند و تأثیر الحاق سایه‌بان با لوورهای متحرک و پوشش شیشه‌ای متحرک بر عملکرد حرارتی فضای مجاور بالکن و ایوان بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن بود که در اوقات گرم سال، استفاده از سایه‌بان با لوورهای باز و در اوقات سرد سال، به کار بردن پوسته شیشه‌ای متحرک در جداره‌های باز، سبب ارتقا عملکرد حرارتی فضای مجاور فضای نیمه‌باز است. در اوقات گرم سال، تأثیر سایه‌بان الحاقی بر بهبود عملکرد حرارتی اتاق، با تغییر عمق تفاوت چندانی نمی‌کند ولی در اوقات سرد سال می‌تواند تا ۳۰٪ بارهای حرارتی را کاهش دهد. در انتها نیز دستورالعملی برای طراحی سایه‌بان‌های متحرک و الحاقی به فضاهای نیمه‌باز ساختمان‌های مسکونی شهر تهران ارائه گردید.

کلیدواژه‌ها: سایه‌بان، فضای نیمه‌باز، بالکن، کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی

---

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «تدوین راهنمای کاربردی طراحی سایه‌بان‌هایی از نوع پوشش محافظ پنجره با رویکرد افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان با تکیه بر تحلیل و مطالعه الگوهای بومی این عنصر در پهنه‌های اقلیمی ایران» است که توسط نگارندگان در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (National Science Foundation: INSF) انجام شده است.

مقدمه

اقداماتی که در زمینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها صورت می‌گیرد، غالباً راهکارهای تأسیساتی است و معمولاً هزینه‌های زیادی را به کارفرما تحمیل می‌کند. اما با توجه به اهمیت جایگاه معمار پروژه، چنانچه تصمیم‌گیری‌های اولیه وی در طراحی معماری بر اساس رویکرد محیطی و همساز با اقلیم صورت گیرد، با صرف هزینه‌ای ناچیز، می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی و هزینه‌های ناشی از آن صرفه‌جویی نمود. از این رو در شرایطی که بحران کمبود انرژی و توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است و با توجه به تأثیر استفاده از سایه‌بان در آسایش حرارتی و بصری ساکنین، می‌توان در معماری امروز از آن بهره گرفت تا قدمی در جهت کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای معماری همساز با اقلیم برداشت.

در این راستا معماران سنتی کشورمان نیز از راهکارهای متعددی برای ایجاد آسایش بهره برده‌اند؛ از جمله این راهکارها می‌توان به استفاده از عناصر سایه‌انداز متحرک الحاقی نظیر: شناشیل، سایه‌بان‌های متحرک و غیره اشاره کرد که به گونه‌های متفاوتی در معماری ایرانی دیده می‌شوند، لازم به ذکر است که این عناصر علاوه بر تامین آسایش حرارتی و بصری، جنبه زیبایی‌شناسی نیز داشته‌اند. سایه‌بان‌ها به لحاظ نقش بسیار موثری که در کاهش مصرف انرژی ساختمان دارند، در معماری امروز جهان نیز جایگاه خاصی یافته‌اند، اگرچه در معماری معاصر کشور ما این عنصر به فراموشی سپرده شده است.

شکل ۱. نمونه‌هایی از سایه‌بان‌های متحرک الحاقی در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران

اگرچه پژوهش‌هایی در خصوص نقش و عملکرد سایه‌بان ثابت در ساختمان‌ها صورت گرفته است اما با توجه به امکان متحرک بودن و انعطاف‌پذیری و الحاق سایه‌بان‌ها به ساختمان‌های موجود، پتانسیل استفاده از آنها به عنوان عایق شبانه در فصل سرد و افزایش عملکرد حرارتی، کنترل توسط کاربر، تغییر فضای نیمه‌باز به فضای بسته و ایجاد فضای حائل حرارتی، ارتقاء زیبایی‌شناسی بصری سیمای شهری و غیره، انجام پژوهشی در این حوزه ضروری به نظر می‌رسد. حیطه مطالعاتی تحقیق به ساختمان‌های مسکونی دوره معاصر که سایه‌بان‌های متحرک به فضاهای نیمه-باز[۱] همچون ایوان[۲]، بالکن[۳] و غیره الحاق شده است، اختصاص می‌یابد.

از اهداف این تحقیق می‌توان به بهبود عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز با بهره‌گیری از عناصر سایه‌انداز الحاقی در بناهای معاصر و تدوین دستورالعملی برای طراحی سایه‌بان‌های متحرک و الحاقی به فضاهای نیمه‌باز ساختمان‌های مسکونی شهر تهران اشاره کرد تا بتوان با استفاده مجدد از عناصر بومی معماری ایران در معماری معاصر، ضمن استفاده از زیبایی‌شناسی این عناصر در نمای ساختمان، بیشترین بازده را از لحاظ مصرف انرژی داشته باشد.

پیشینه نظری تحقیق

پژوهش‌های زیادی در خصوص نقش و عملکرد بالکن و فضاهای نیمه‌باز در ساختمان‌ها صورت گرفته است ولی در خصوص الحاق سایه‌بان و تغییر فضای نیمه‌باز به فضای بسته، تعداد مطالعات انجام گرفته اندک می‌باشد و بیشتر مطالعات در این حوزه به تغییر فضای نیمه‌باز به فضای بسته توسط پوسته‌ای از جنس شیشه پرداخته‌اند. در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت گرفته ذکر شده است.

در پژوهشی ذکر گردیده است که بالکن، به عنوان یک عنصر با عملکرد کنترل حرارت در ساختمان‌ها، با به حداقل رساندن کسب حرارت در فضاهای داخلی عمل می‌کند، بنابراین میزان انرژی مورد استفاده برای بار سرمایشی در ساختمان کاهش می‌یابد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر بالکن بر عملکرد حرارتی فضای داخلی در ساختمان اداری بلند مرتبه است. بالکن‌هایی با عمق ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ متر، در طبقات ۱، ۱۵، ۲۵ و ۴۰ در جبهه‌های شمالی، جنوبی، غربی و شرقی در ساختمان بلندمرتبه اداری مورد بررسی قرار گرفتند و سایت پروژه در شهر گرمسیری کوالالامپور در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی رایانه‌ای توسط نرم‌افزار انرژی‌پلاس برای محاسبه درجه حرارت داخلی فضا در شرایط با و بدون بالکن، انجام شد. این مطالعه نشان داد که، بالکن با عمق ۲/۵ متر برای طبقات اول، ۱۵ و۲۵ در جبهه غربی، شمالی و شرقی پیشنهاد می‌شود، درحالی‌که بالکن با عمق ۲ و یا ۲/۵ متر برای طبقه‌ی ۴۰ در جبهه جنوبی، غربی و شرقی در ساختمان بلند مرتبه‌ی اداری توصیه می‌گردد (Ayokunle, 2015).

در مطالعه دیگری به تأثیر انواع بالکن‌های بسته شده با شیشه بر مصرف انرژی ساختمان‌ها در شرایط اقلیمی اروپای شمالی پرداخته شده است. ابتدا، تأثیر یک بالکن شیشه‌ای در یک آپارتمان معمولی در سال‌های دهه ۱۹۷۰ بر مصرف انرژی ساختمان با نرم‌افزار IDA–ICE 4.6.1 بر اساس ۱۵۶ مورد متفاوت، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به نتایج آنالیز، پنج عامل کلیدی که بر طراحی مهندسی انرژی فضای شیشه‌ای تأثیر می‌گذارد؛ ادغام فضای بالکن با سیستم تهویه ساختمان، انتقال حرارت از ساختمان به بالکن و از بالکن به هوای بیرون، عدم نفوذ هوا در بالکن و ضریب جذب سطوح آن است. نتایج نشان داد که میزان تأثیر صرفه‌جویی انرژی یک فضای شیشه‌ای، در بین نمونه‌ها بسیار متفاوت است و تنها به ویژگی‌های فضا وابسته نمی‌باشد، بلکه به ویژگی‌های ساختمان نیز بستگی دارد. این مطالعه نشان داد که صرفه جویی انرژی در مناطق شمالی بیشتر از مناطق مرکزی اروپا است (Hilliaho, 2017).

در پژوهشی به بررسی کارایی انرژی فضای خورشیدی الحاق شده به ساختمان موجود در کشور پرتغال پرداخته شده است. این پژوهش برای چهار موقعیت بالکن در شش منطقه اقلیمی متفاوت با در نظر گرفتن شرایط تهویه، سایه–بان، تعداد جداره‌های شیشه و جهت‌گیری بالکن، انجام گرفته است. تجزیه و تحلیل عملکرد حرارتی انجام شده با استفاده از شبیه‌سازی ثابت می‌کند که با بهینه‌سازی، صرفه‌جویی در انرژی می‌تواند بسیار زیاد باشد و در اقلیم‌های با تابستان گرم خطر به‌وجود آمدن بیش‌گرمایی را می‌توان به وسیله تحلیل دقیق بر اساس مدل‌سازی کاهش داد (Aelenei *et al.*, 2014).

در مقاله دیگری نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های سالانه انجام شده برای واحدهای جداگانه یک ساختمان ده طبقه ارائه شده است. محاسبات در برنامه دیزاین بیلدر و شبیه‌سازی برای پوسته ساختمان و همچنین قسمت‌های جداگانه‌ای از داخل ساختمان و در شرایط آب‌وهوایی لهستان برای ارزیابی آسایش حرارتی داخل ساختمان در فصل تابستان انجام شده است. مراحل مختلف شبیه‌سازی برای بررسی تأثیر پنجره‌های مختلف، قاب پنجره‌های متفاوت و تأثیر سرمایش شبانه بر محیط آپارتمان‌ها انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده، نشان می‌دهد که مشکل گرم شدن بیش از حد در ساختمان‌های بزرگ دیده می‌شود. برای کاهش

درجه حرارت در داخل آپارتمان؛ باید پنجره‌هایی با ضریب نفوذ گرمای خورشید پایین، به‌کار برده شوند. این موضوع باید در روند بهینه‌سازی حرارتی ساختمان‌ها مورد توجه قرار گیرد (Dzieszko *et al.*, 2015).
کلارک (۲۰۰۸) در پژوهشی، تعدادی از مدل‌های مختلف بالکن با طراحی‌های متفاوت به منظور بررسی تأثیر آنها بر بار گرمایشی را، مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان می‌دهد که عناصر طراحی که بر روی ورود تابش خورشیدی به ساختمان مؤثرند، مانند: عمق بالکن، نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های فیزیکی شیشه و غیره، تأثیر قابل‌توجهی بر بارهای گرمایشی دارند.
در پژوهش دیگری، درجه حرارت ۲۲ بالکن و فضای مجاورشان، با هدف تعیین عوامل اصلی مؤثر بر توانایی بالکن شیشه‌ای برای گرم کردن و گرم ماندن بدون سیستم گرمایشی، موردمطالعه قرار گرفتند. بالکن‌های شیشه‌ای در مکان‌های مختلف، میزان سطوح شیشه‌ای متفاوت، میزان نفوذپذیری ساختار عمودی بالکن و توانایی بالکن برای جذب تابش خورشید، مورد سنجش واقع شدند. نتایج مشاهده ثبت دما نشان داد که برای کل سال، دمای هوا در هر دو بالکن شیشه‌ای و بدون پوشش شیشه، تقریباً بدون استثنا بیش از دمای هوای آزاد بود. به نظر می‌رسد که سه عامل مهم که بر درجه حرارت بالکن با پوشش شیشه تأثیر می‌گذارند؛ میزان نشت هوا در قاب بالکن، توانایی بالکن برای جذب تابش خورشیدی و کسب حرارت از فضای مجاور بالکن است (Hilliaho *et al.*, 2016).
در مقاله دیگری بیان شده است که دمای داخلی و اثرات صرفه‌جویی در انرژی بالکن‌های شیشه‌ای، به ویژه در فنلاند بسیار ویژه نیست، زیرا راهکارهای پیاده‌سازی شده برای این مسائل بهینه نمی‌باشد. هدف از این مطالعه معرفی روش‌های ساده ارزیابی برای صرفه جویی در انرژی و ارزیابی درجه حرارت هوا در داخل فضاهای شیشه‌ای و به منظور بررسی روش قابل اعتماد با کمک مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، از نمونه بلوک‌های آپارتمانی سال ۱۹۷۰ فنلاند است. نتایج نشان می‌دهد که با بررسی ۹ متغیر: مکان ساختمان، میزان جذب سطح بالکن، منبع تأمین‌کننده هوا، ضریب انتقال حرارت پنجره و در، ضریب انتقال حرارت دیوار خارجی، جهت قرارگیری نما، عمق بالکن، عرض بالکن، تعداد جبهه‌های شفاف بالکن، تعداد جداره‌های شیشه و میزان تهویه، دقت روش برای طراحی بهینه بالا می‌رود (Hilliaho *et al.*, 2016).
اندازه‌گیری تجربی و شبیه‌سازی در پژوهش دیگری نشان داد که بستن فضای باز بالکن با شیشه در ساختمان‌های مسکونی موجود در شهر آتن دارای پتانسیل قابل‌توجهی از لحاظ صرفه‌جویی در بار گرمایشی فضا در فصل زمستان دارد. این راهکار یک گزینه برای مقاوم‌سازی و بهینه‌سازی است که می‌تواند عملکرد حرارتی را ارتقا دهد و سبب ایجاد آسایش حرارتی برای مدت طولانی‌تری در طول سال است. بالکن‌های شیشه‌ای موجب افزایش عملکرد حرارتی می‌شود، بالکن‌های شیشه‌ای طبقات بالاتر، پتانسیل استفاده از فضا به عنوان سیستم گرمایش خورشیدی غیر فعال را نیز دارا هستند، اما نیاز است که از ماه می تا اکتبر، حداقل ۳۰٪ از مساحت جداره شیشه‌ای کاهش یابد، در نتیجه درجه حرارت نهایی در داخل بالکن شبیه بالکن‌های باز خواهد بود و این موضوع تأثیری بر بار سرمایشی اتاق مجاور در فصل تابستان نخواهد داشت (Yannas & Tsichritzis, 2015).
در مطالعه دیگری به بررسی بالکن‌های متفاوت با سایه‌بان‌های الحاقی پرداخته شده است. این مقاله بر خرداقلیم بالکن و میزان تأثیر بر شرایط محیط اتاق مجاور آن، متمرکز است. در این پژوهش میزان تأثیر سایه‌بان‌های متفاوت توسط اندازه‌گیری تجربی و مطالعات شبیه‌سازی بررسی شده است. اندازه‌گیری در ماه جولای ۲۰۱۶ در یونان که بالکن‌ها در همه ساختمان‌ها نمود دارند، انجام گرفته و نتایج به طور خلاصه و به شکل کاربردی برای وضعیت‌های مختلف بالکن و طراحی‌های متفاوت سایه‌بان طبقه‌بندی شده است. این نتایج می‌تواند برای ساختمان‌های موجود و یا جدید سبب کارایی بیشتر و عملکرد بهتر بالکن

و ارتقا کارایی حرارتی فضای مجاور بالکن شود (Antoniou & Yannas, 2017).
با توجه به بررسی‌های انجام شده در پیشینه تحقیق لازم است تا نحوه و میزان تأثیر ویژگی‌های بالکن، ایوان و سایه‌بان الحاقی متحرک در میزان درجه حرارت بالکن و اتاق مجاور آن در ساختمان مسکونی بررسی گردد. لذا در این پژوهش سعی می‌شود تا تأثیر عمق بالکن، باز یا بسته بودن جداره‌های بالکن، نوع بازشو و نسبت‌های متفاوت میزان بازشوی دیوار مشترک به سطح دیوار، بر میزان درجه حرارت اتاق مجاور فضای نیمه‌باز شبیه‌سازی و تحلیل شود. کاهش مصرف انرژی کل به تفکیک انرژی گرمایشی و سرمایشی از دیگر موارد مورد بررسی در این پژوهش خواهد بود.

روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش به منظور بهبود عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز با بهره‌گیری از عناصر سایه‌انداز الحاقی در بناهای معاصر و تدوین دستورالعملی برای طراحی سایه‌بان‌های متحرک و الحاقی به فضاهای نیمه‌باز، ساختمان‌های مسکونی شهر تهران انتخاب شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر این است که تأثیر عمق فضای نیمه‌باز، اندازه‌ی سطح بازشوی دیوار مجاور فضای نیمه‌باز و ضریب هدایت حرارتی آن در دو نوع بالکن و ایوان و تأثیر الحاق سایه‌بان با لوورهای متحرک و پوشش شیشه‌ای متحرک بر عملکرد حرارتی فضای مجاور بالکن و ایوان مشخص شود. با در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصل از الگوریتم‌های محاسباتی، نرم‌افزار انرژی‌پلاس۴ برای شبیه‌سازی انتخاب شد. انرژی‌پلاس بر پایه مشخصات ساختمان شامل ساختار فیزیکی، ساکنین، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی آن و همچنین داده‌های آب‌وهوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان، می‌تواند بارهای سرمایش و گرمایش را به منظور حفظ دما یا محدوده آسایش حرارتی خاصی در بنا محاسبه کند و دمای هوا و سطوح فضاهای ساختمان را بر اساس مشخصات ساختمان و سیستم‌های مکانیکی آن و شرایط آب‌وهوایی محل استقرار ساختمان، در هر زمان سال پیش‌بینی نماید (EnergyPlus Engineering, 2015).
در توضیح روایی و پایایی تحقیق که دو مقوله ابزار اصلی تحقیق و تعمیم‌پذیری نتایج را در برمی‌گیرد، توضیحات زیر قابل ذکر است:
۱- انرژی‌پلاس نرم‌افزار تحلیل انرژی و بار حرارتی می‌باشد که سرمایش، گرمایش، روشنایی و سایر موارد را در ساختمان شبیه‌سازی می‌کند. انرژی‌پلاس بر پایه مشخصات ساختمان شامل ساختار فیزیکی، ساکنین، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی آن و همچنین داده‌های آب‌وهوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان، می‌تواند بارهای سرمایش و گرمایش را به منظور حفظ دما یا محدوده آسایش حرارتی خاصی در بنا محاسبه کند و دمای هوا و سطوح فضاهای ساختمان را بر اساس مشخصات ساختمان و سیستم‌های مکانیکی آن و شرایط آب‌وهوایی محل استقرار ساختمان، در هر زمان سال پیش‌بینی نماید. با در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصل از الگوریتم‌های محاسباتی، نرم‌افزار انرژی‌پلاس برای شبیه‌سازی انتخاب شد.
۲- با توجه به اینکه این پژوهش برای فضای نیمه‌باز در ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران و به‌صورت اندازه‌گیری میدانی انجام گرفت و نتایج اعتبارسنجی شد، این نتایج را می‌توان برای هر ساختمان مسکونی که فضای نیمه‌باز دارد و در اقلیم مشابه شهر تهران (گرم و خشک) واقع شده است، استفاده نمود. به منظور اعتبارسنجی فرایند شبیه‌سازی نتایج، روش تجربی و اندازه‌گیری میدانی برای یک اتاق و فضای نیمه‌باز مجاور آن در شش روز متوالی انجام می‌گیرد. سپس از نتایج اندازه‌گیری و ثبت دما جهت

اعتبارسنجی شرایط شبیه‌سازی استفاده می‌شود. مراحل این پژوهش عبارتند از مدل‌سازی فضای اتاق و فضای نیمه‌باز و سایه‌بان‌های الحاقی، اعمال مشخصات فضای اتاق، وارد کردن داده‌های آب‌وهوایی، سپس تحلیل دمای متوسط تشعشعی فضا. گام انتهایی نیز به تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص دارد و بدین منظور، روش‌های آمار توصیفی و راهبرد استدلال منطقی، به منظور استخراج یافته‌های نهایی و تبیین چارچوب عملی پژوهش حاضر، به‌کار گرفته خواهد شد.

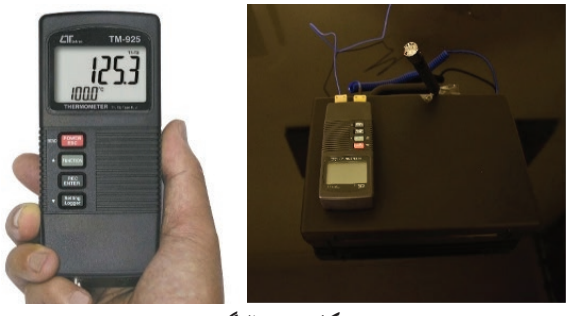
جمع‌آوری داده‌های پایه تحقیق

مطالعات میدانی

به منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس، درجه حرارت در یک بالکن باز که پتانسیل تبدیل شدن به یک فضای بسته را دارد و اتاق مجاور آن که با یک دیوار مشترک از هم تفکیک شده‌اند، ثبت شد. بالکن موردمطالعه به ابعاد ۲/۵×۱/۵ متر، به ارتفاع ۲/۸۰ متر در طبقه‌ی دوم ساختمان مسکونی، در مجاورت اتاقی به ابعاد ۳/۵×۳ متر و به ارتفاع ۲/۸۰ متر واقع شده است. ۶۰٪ دو جبهه شمالی و شرقی بالکن باز است که توسط پوشش شیشه‌ای متحرک، مسدود شده و در صورت نیاز کاربر به فضای بسته تبدیل می‌شود. برای برداشت دما از دو ثبت‌کننده دما با دو ورودی مدل Lutron، TM-925 استفاده شد. مشخصات دستگاه ثبت‌کننده دما در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱. مشخصات دستگاه ثبت‌کننده دما

ابعاد دستگاه	۱۳۵*۶۰*۳۳
ورودی‌ها	۲
نوع حسگر	ترموکوپل نوع K
بازه زمانی	۱-۳۶۰۰ ثانیه

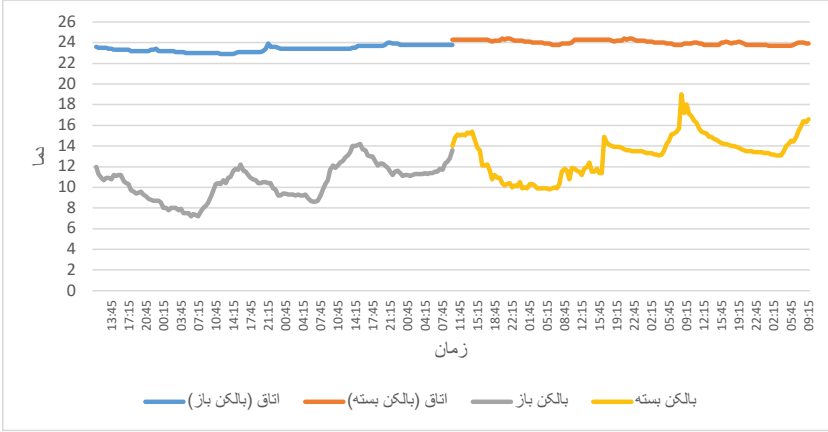


شکل ۲. دیتالاگر

یک دیتالاگر در مرکز بالکن و یک دیتالاگر در مرکز اتاق مجاور، اطلاعات درجه حرارت فضا را بر حسب درجه سانتیگراد ثبت کردند. ثبت دما از ۱۵ بهمن ماه شروع و در بازه‌های ۱۵دقیقه‌ای در طی شش شبانه‌روز انجام شد. در سه روز ابتدایی ثبت دما، بالکن از دو جبهه باز و با هوای بیرون در ارتباط مستقیم بود و در روزهای بعدی، دو جبهه شمالی و شرقی با شیشه مسدود شدند. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری و ثبت دمای انجام شده، صرفا جهت اعتبارسنجی شرایط شبیه‌سازی صورت گرفته است.

شکل ۳. فضای داخلی بالکن

شکل ۴. دماهای ثبت شده در مرکز بالکن و اتاق در روزهای ۱۵ تا ۲۰ بهمن ماه



اعتبارسنجی

بحث مهم در شبیه‌سازی کامپیوتری، دقت داده‌های ورودی به نرم‌افزار و همچنین چگونگی تفسیر اطلاعات خروجی آن است. در مدل‌سازی، شرایطی از جمله: جهت‌گیری جغرافیایی بالکن، ابعاد دقیق اتاق و بالکن، نسبت مساحت بازشو به سطح دیوار مشترک، ضخامت و عرض لوورهای سایه‌بان، فاصله لوورها از هم و زاویه لوورها در نظر گرفته شد. اطلاعات ورودی نرم‌افزار هر چه با دقت بیشتری باشد، نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شود. با این هدف، عوامل دیگری چون ویژگی مصالح دیوارها و پنجره، در شبیه‌سازی لحاظ گردید. شبیه‌سازی برای تنظیم شرایط با اطلاعات اندازه‌گیری شده، تحت آسمان صاف و بدون ابر CIE انجام گرفت. در کالیبره کردن[۵] این مدل، همه شرایط مطابق با وضع موجود در نظر گرفته شد. برای کالیبره کردن نتایج شبیه‌سازی با میزان اندازه‌گیری شده، مقدار درجه حرارت به دست‌آمده از شبیه‌سازی بالکن با مقادیری که در برداشت‌های میدانی توسط دو ثبت‌کننده دما به دست آمده بود، مقایسه شده و در صورت وجود مغایرت، اصلاحاتی در داده‌های ورودی نرم‌افزار صورت پذیرفت و به‌این‌ترتیب، تکرار این فرایند تا رسیدن به نتایج یکسان ادامه داشت.

به این منظور، دو روز آفتابی (۱۷ و ۲۰ بهمن) با تابش و دماهای تقریباً مشابه با فایل اطلاعات آب‌وهوایی نرم‌افزار انرژی‌پلاس انتخاب شد. دماهای حاصل از انرژی‌پلاس به‌صورت ساعتی و دماهای اندازه‌گیری به‌صورت بازه‌های پانزده دقیقه‌ای بود، به همین دلیل دماهای اندازه‌گیری شده به میانگین ساعتی تبدیل شد. درصد خطای داده‌های شبیه‌سازی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد: (۱)

(1) $NMBE^{۶}=100*\Sigma^{n}(y_i - \hat{y}_i)/(n-p)*\overline{y}$

y_i= utiliy data predicted data for period i

$\hat{y}_i$= simulation-predicted data for period i

$\overline{y}$= mean of utility data

n= # of data periods (12 months → n=12)

p= # parameters in baseline model (p=1)

جدول ۲. حداکثر درصد خطای مجاز

Statistic	Monthly	Hourly
NMBE	۵٪	۱۰٪

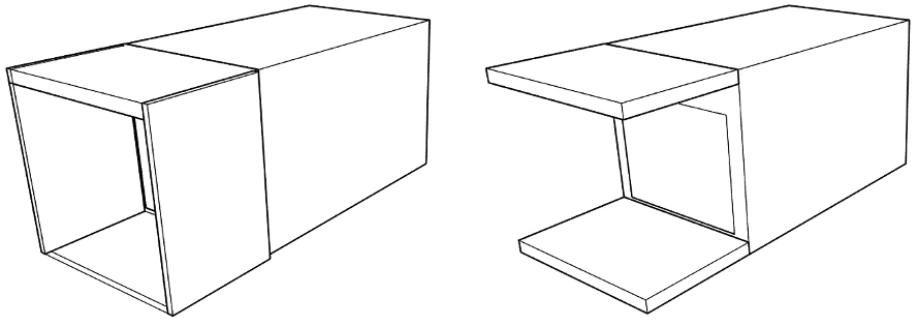
منبع: Antoniou & Yannas, 2017

با توجه به فرمول فوق و جایگذاری داده‌های به‌دست آمده از فرایند شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تجربی، داده‌های شبیه‌سازی ۹/۶۲ درصد نسبت به داده‌های اندازه‌گیری دارای خطا می‌باشد که با توجه به جدول ۲ طبق استاندارد اشری از حداکثر مجاز کم‌تر می‌باشد و می‌توان به آن استناد کرد. بنابراین، تغییرات دمایی سایر متغیرها با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس محاسبه می‌شود.

فرایند شبیه‌سازی

در مرحله اول اطلاعات آب‌وهوایی طبق آمار ۱۵ ساله موجود (۱۹۹۰-۲۰۰۵) شهر تهران برای ایستگاه مهرآباد جمع‌آوری و سپس شرایط جغرافیایی شهر تهران، نوع اقلیم و تغییرات دمایی بررسی می‌شود. در مرحله بعد ابتدا اطلاعات مصالح وارد و جداره‌ها تعریف می‌شوند، سپس شرایط همجواری زون‌های حرارتی با یکدیگر و با فضای بیرون تعریف شده و در مرحله بعد با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، نقطه تنظیم دمایی[۷] برای زمستان و تابستان به ترتیب برابر با ۲۰ و ۲۸ تعریف می‌شوند (دفتر مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۸۹).

ابعاد اتاق منطبق با اتاقی که توسط نرم‌افزار کالیبره می‌شود، با عرض ۳ متر، طول ۳/۵ متر و به ارتفاع ۲/۸ متر در نظر گرفته می‌شود. پنجره در تمام مراحل بر دیوار جنوبی اتاق که با بالکن مجاورت دارد، قرار می‌گیرد و سایر دیوارها داخلی هستند و نقش جداکننده دارند. واحد نمونه شبیه‌سازی در طبقه دوم یک ساختمان و در طبقات بالا و زیرین خود در همسایگی با واحدهای دیگر قرار می‌گیرد.



شکل ۵. مدل سه‌بعدی تعریف شده برای شبیه‌سازی حرارتی فضای بالکن و ایوان

در زمینه نسبت بهینه سطح بازشو به دیوار (WWR)[۸] مطالعات بسیاری انجام گرفته است. مطالعه‌ای که برای سنجش سطح بهینه پنجره در ساختمان مسکونی در شهر تهران (فیاض، ۱۳۹۲) انجام گرفته، سطح بهینه پنجره را ۱۵ تا ۲۰ درصد سطح اتاق پیشنهاد داده است ولی از آنجا که در مطالعه کراون (Craven & Garber, 2011) سایه‌بان، برای کاهش مصرف انرژی در خانه‌های قدیمی که عموما ابعاد بازشوها آنها بهینه نیست، پیشنهاد داده شده است، این نسبت به عنوان یک متغیر در نظر گرفته می‌شود و پژوهش برای یافتن میزان تأثیر سایه‌بان بالکن در ۵ نسبت سطح بازشو به دیوار (WWR) ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و ۲۰٪ انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که در هر پنج حالت ذکر شده، مرکز پنجره منطبق با مرکز دیوار واقع می‌شود. به منظور بررسی رفتار حرارتی دیوار، سقف و کف اتاق موردنظر در نرم‌افزار انرژی‌پلاس (نسخه ۸/۹) شبیه‌سازی می‌شود. مشخصات جدارهای شبیه‌سازی شده در جدول ۳ آمده است.

ضریب انتقال حرارتی سطحی برای هر یک از عناصر نمونه مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. پنجره مورد نظر با شیشه تک جداره ساده و با قاب آلومینیومی ساخته شده است که مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی با احتساب قاب آن دارای ضریب هدایت حرارتی ۵/۸ W/m^2K می‌باشد.

جدول ۳. مشخصات جداره‌های مدل پایه

	ترتیب لایه‌ها + ضخامت										ضریب انتقال حرارت (w/m²k)
دیوار	اندود گچ	۳ cm	بلوک سفالی	۱۵ cm	اندود سیمان	۲ cm	لایه‌های هوا	-	-	-	۱/۸۴
کف سقف	موزاییک	۲ cm	ملات ماسه و سیمان	۲ cm	سقف تیرچه بلوک سفالی	۲۰ cm	اندود سیمان	۳ cm	لایه‌های هوا	-	۱/۸۵
پنجره	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵/۸

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه سایه‌بان‌ها، مشاهده می‌شود که ویژگی‌های مختلف سایه‌بان بر بار حرارتی فضا تأثیرگذار است، اما به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترها، در این پژوهش تنها بعضی از پارامترها به عنوان متغیر لحاظ شده و دیگر پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴. مشخصات فیزیکی سایه‌بان لوردار الحاقی به فضای نیمه‌باز در فرایند شبیه‌سازی

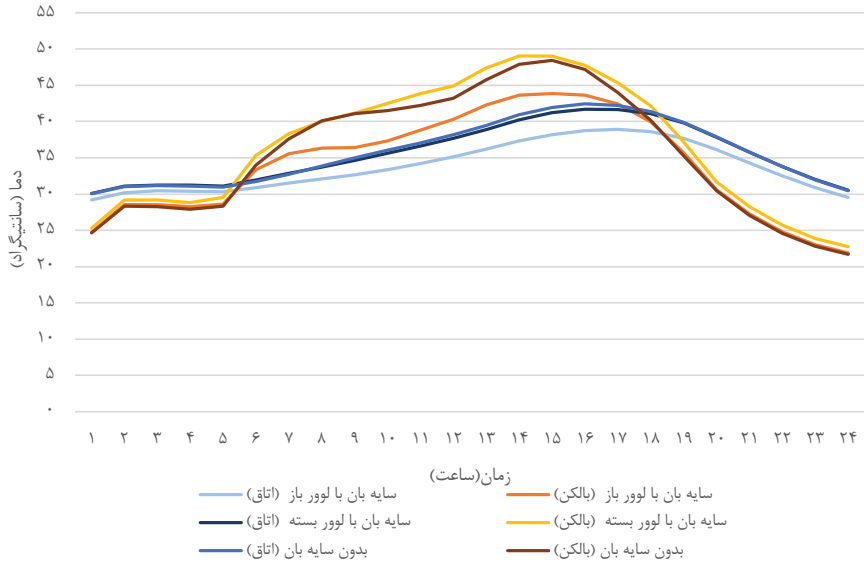
جنس	ضخامت لوور (میلی‌متر)	عرض لوور (میلی‌متر)	فاصله لوورها (میلی‌متر)	ضریب هدایت حرارت (w/mk)	قابلیت انتشار	قابلیت بازتاب
چوب	۱۰	۵۰	۵۰	۰/۱۵	۰/۹	۰/۰۰۱

تحلیل نتایج

تأثیر سایه‌بان‌ها بر درجه حرارت در ساختمان‌های مسکونی به عوامل متعددی بستگی دارد. در این پژوهش برای افزایش دقت نتایج بهینه‌سازی، با فرض ثابت بودن همه عوامل، تنها یک مورد در هر فرایند به عنوان متغیر در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است و نتایج آن به صورت نمودار، با نتایج شرایط بدون استفاده از سایه‌بان، در دو روز انقلاب تابستانی (اول تیر ماه) و انقلاب زمستانی (اول دی ماه)، مقایسه شده است. نتایج به صورت رفت و برگشت اصلاح می‌شود، بدین‌صورت که تأثیرگذارترین متغیر در هر مرحله، به عنوان پارامتر ثابت در مراحل دیگر استفاده می‌شود تا تأثیر هر متغیر به صورت مستقل و در بهینه‌ترین شرایط سنجیده شود.

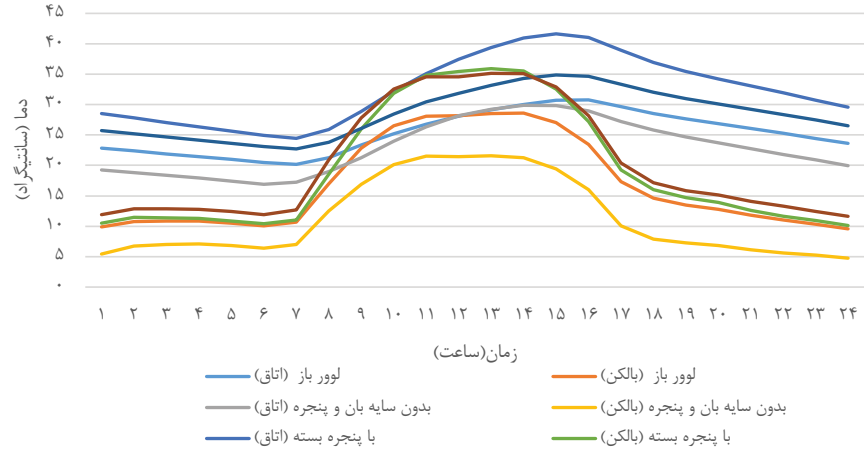
بررسی تحلیلی تأثیر استفاده از سایه‌بان‌های الحاقی به بالکن بر عملکرد حرارتی

در گام اول، برای سنجش عملکرد حرارتی، در اول تیر و اول دی ماه به عنوان روزهای طراحی[۹] شبیه‌سازی، دمای متوسط تابشی در میانه فضا برای کل ساعات شبانه‌روز مورد بررسی قرار می‌گیرد، لازم به ذکر است، در مجاورت دیوار جنوبی اتاق، بالکنی که از سه جبهه شمالی، شرقی و غربی باز می‌باشد، قرار دارد.



شکل ۶. دمای متوسط تابشی اتاق و بالکن برای دو مدل سایه‌بان در مقایسه با شرایط بدون سایه‌بان در طول شبانه‌روز (اول تیر ماه)

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که دمای متوسط تابشی در شرایطی که سایه‌بانی با لوور باز (۹۰ درجه) بر بالکن الحاق شده است، در اول تابستان در بالکن و اتاق، پایین‌تر و کم‌تر از شرایطی است که سایه‌بانی با لوور بسته (۰درجه) بر بالکن نصب شده است. از دیگر نتایج می‌توان به این نکته اشاره کرد که دمای متوسط تابشی در اتاق و بالکن در شرایطی که سایه‌بان نصب شده است، در هر دو حالت کمتر از شرایطی است که بالکن باز است و تابش خورشید بدون هرگونه مانعی به داخل فضا نفوذ می‌نماید.



شکل ۷. دمای متوسط تابشی اتاق و بالکن برای دو مدل سایه‌بان در مقایسه با شرایط بدون سایه‌بان در طول شبانه‌روز[۱۰] (اول دی ماه)

نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که دمای متوسط تابشی در شرایطی که سایه‌بانی بر بالکن الحاق نشده است و جبهه‌های باز بالکن با جداره‌ای شیشه‌ای پوشیده شده‌اند، در اول دی ماه در بالکن و اتاق، بالاتر و بیشتر از شرایطی است که سایه‌بانی با لوور باز بر بالکن نصب شده است. از دیگر نتایج می‌توان اشاره کرد در شرایطی که سایه‌بان با لوور بسته به بالکن الحاق شده است، در طول شب دمای بالکن بیشتر از حالات دیگر است و می‌توان ملاحظه نمود که دمای متوسط تابشی در اتاق و بالکن در شرایطی که جداره‌های بالکن باز هستند، کمتر از شرایطی است که بالکن بسته است و تابش مایل خورشید در اوقات سرد سال پس از ورود به بالکن، همانند اثر گلخانه‌ای، سبب گرم شدن اتاق مجاور می‌شود.

– عمق بالکن و سایه‌بان

در بالکن‌هایی با عمق‌های متفاوت، برای یافتن میزان تأثیر سایه‌بان و پوسته‌ی شیشه‌ای الحاقی به بالکن بر عملکرد حرارتی فضا، این شرایط مشابه با حالت‌های بدون سایه‌بان و جداره‌ی شیشه‌ای در بالکن، مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت، در اوقات گرم سال که زاویه تابش خورشید بیشتر است، تغییر میزان عمق بالکن، تأثیر متفاوتی بر عملکرد حرارتی سایه‌بان ندارد ولی در اوقات سرد سال به دلیل تابش مایل خورشید، با افزایش عمق بالکن، میزان تأثیر الحاق پوسته شیشه‌ای به بالکن بر عملکرد حرارتی فضا نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۵. درصد میزان تأثیر همزمان عمق بالکن و سایه‌بان در بهبود عملکرد حرارتی

عمق بالکن / روز سال	۰/۸ متر	۱/۲ متر	۱/۶ متر	۲ متر
۱ تیر ماه	٪ ۵/۵	٪ ۵/۵	٪ ۵/۴	٪ ۵/۳
۱ دی ماه	٪ ۲۲	٪ ۲۳	٪ ۲۵	٪ ۳۰

– نسبت سطح بازشوی جدار مشترک به دیوار (WWR) و سایه‌بان

برای یافتن میزان تأثیر سایه‌بان و پوسته شیشه‌ای الحاقی به بالکن بر عملکرد حرارتی فضا، دمای متوسط تابشی برای حالت‌های بدون سایه‌بان و جداره شیشه‌ای بالکن، در اتاق‌هایی با اندازه‌های پنجره‌ی متفاوت بر دیوار مشترک و مجاور بالکن، مورد سنجش قرار گرفت. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که با افزایش درصد سطح بازشو به نسبت دیوار مشترک، میزان تاثیرگذاری الحاق سایه‌بان به بالکن بر عملکرد حرارتی افزایش می‌یابد و این افزایش در اوقات سرد سال مشهودتر است.

جدول ۶. درصد میزان تأثیر همزمان WWR و سایه‌بان در بهبود عملکرد حرارتی

درصد بازشو / روز سال	٪۲۰	٪۴۰	٪۶۰	٪۸۰	٪۱۰۰
۱ تیر ماه	٪۵	٪۵/۲	٪۵/۳	٪۵/۵	٪۵/۷
۱ دی ماه	٪۱۹	٪۲۳	٪۲۶	٪۲۹	٪۳۰

– نوع بازشوی جدار مشترک و سایه‌بان

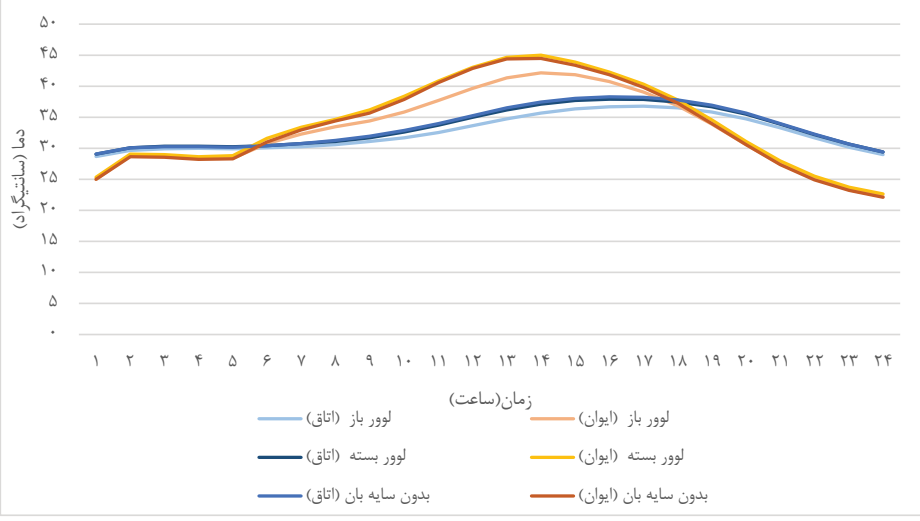
نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که در اول تیرماه، تأثیر الحاق سایه‌بان بر بالکن که ضریب هدایت حرارتی بالاتری دارد، ٪۲/۴ بیشتر از زمانی است که پنجره دوجداره بوده و ضریب هدایت حرارتی آن کم‌تر است. از دیگر نتایج این جدول در اول دی ماه این است که با الحاق جداره‌ی شیشه‌ای به بالکن، تاثیرگذاری بیشتری در بهبود عملکرد حرارتی به میزان ٪۱۳، نسبت به به‌کارگیری پنجره با ضریب هدایت حرارتی بالاتر را دارد.

جدول ۷. درصد میزان تأثیر همزمان نوع پنجره‌ی دیوار مشترک و سایه‌بان در بهبود عملکرد حرارتی

نوع بازشو / روزسال	پنجره با ضریب هدایت حرارتی ۱/۹۸	پنجره با ضریب هدایت حرارتی ۵/۸
۱ تیر ماه	٪۳	٪۵/۴
۱ دی ماه	٪۳۶	٪۲۳

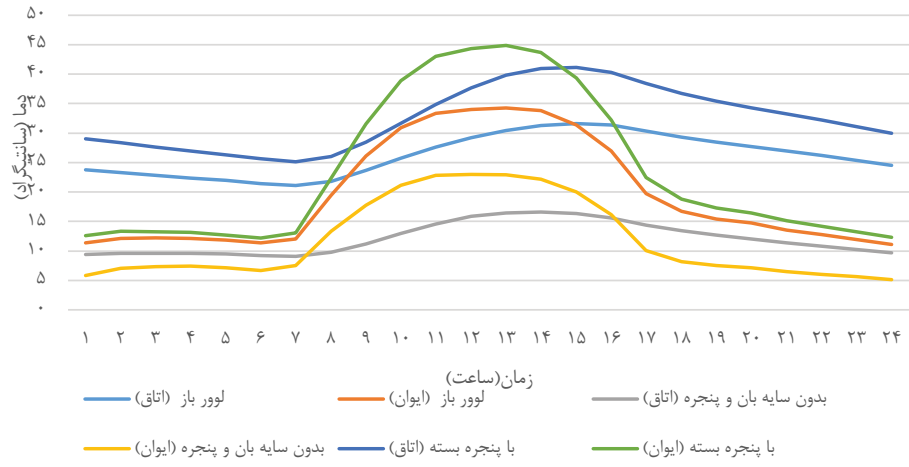
بررسی تحلیلی تأثیر استفاده از سایه‌بان‌های الحاقی به ایوان بر عملکرد حرارتی

در گام بعدی، عملکرد حرارتی، در اول تیر و اول دی ماه، با سنجش دمای متوسط تابشی در میانه فضا برای کل ساعات شبانه‌روز در شرایطی که در مجاورت دیوار جنوبی اتاق، ایوانی که فقط در جبهه جنوبی باز و با هوای آزاد در ارتباط می‌باشد، قرار دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۸. دمای متوسط تابشی اتاق و ایوان برای دو مدل سایه‌بان در مقایسه با شرایط بدون سایه‌بان در طول شبانه‌روز (اول تیر ماه)

نتایج شکل ۸ نشان می‌دهد که اول تیر ماه، دمای متوسط تابشی در شرایطی که سایه‌بانی با لوور باز (۹۰درجه) بر ایوان الحاق شده است، در ایوان و اتاق، کم‌تر از شرایطی است که سایه‌بانی با لوور بسته (۰درجه) بر ایوان نصب شده است. از دیگر نتایج می‌توان اشاره کرد که دمای متوسط تابشی در اتاق و ایوان در شرایطی که سایه-بان نصب شده است، در هر دو حالت کمتر از شرایطی است که ایوان باز است و تابش خورشید بدون هرگونه مانعی به داخل فضا ورود می‌کند.



شکل ۹. دمای متوسط تابشی اتاق و ایوان برای دو مدل سایه‌بان در مقایسه با شرایط بدون سایه‌بان در طول شبانه‌روز (اول دی ماه)

نتایج شکل ۹ نشان می‌دهد که دمای متوسط تابشی در شرایطی که سایه‌بانی بر ایوان الحاق نشده و جبهه باز ایوان با جداره‌ای شیشه‌ای پوشیده شده است، در اول دی ماه که انقلاب زمستانی محسوب می‌شود، در ایوان و اتاق، بالاتر و بیشتر از شرایطی است که سایه‌بانی با لوور باز بر ایوان نصب شده است. از دیگر نتایج می‌توان اشاره کرد در شرایطی که سایه‌بان با لوور بسته به ایوان الحاق شده است، در طول شب دمای اتاق با شیب کم‌تری دچار افت می‌شود و می‌توان توجه نمود که دمای متوسط تابشی در اتاق و ایوان در شرایطی که جداره‌های ایوان باز هستند، کمتر از شرایطی است که ایوان بسته است و تابش مایل خورشید در اوقات سرد سال پس از ورود به ایوان، همانند عملکرد گلخانه‌ای، سبب گرم شدن اتاق مجاور می‌شود.

- عمق ایوان و سایه‌بان

برای یافتن میزان تأثیر سایه‌بان و پوسته‌ی شیشه‌ای الحاقی به ایوان بر عملکرد حرارتی فضا، در ایوان‌هایی با عمق‌های متفاوت، این شرایط مشابه با حالت‌های بدون سایه‌بان و جداره‌ی شیشه‌ای در ایوان، مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به جدول ۸ می‌توان نتیجه گرفت، در اوقات گرم سال که زاویه تابش خورشید بیشتر است، تغییر میزان عمق ایوان، تأثیر متفاوتی بر عملکرد حرارتی سایه‌بان ندارد ولی در اوقات سرد سال به دلیل تابش مایل خورشید، با افزایش عمق ایوان، میزان تأثیر الحاق پوسته‌ی شیشه‌ای به ایوان بر عملکرد حرارتی فضا نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۸. درصد میزان تأثیر همزمان عمق ایوان و سایه‌بان در افزایش عملکرد حرارتی

عمق ایوان / روز سال	۰/۸ متر	۱/۲ متر	۱/۶ متر	۲ متر
۱ تیر ماه	٪ ۳/۸	٪ ۳/۷	٪ ۳/۶	٪ ۳/۶
۱ دی ماه	٪ ۲۹	٪ ۳۰/۲	٪ ۳۱/۱	٪ ۳۱/۹

– نسبت سطح بازشوی جدار مشترک به دیوار (WWR) و سایه‌بان

برای یافتن میزان تأثیر سایه‌بان و پوسته‌ی شیشه‌ای الحاقی به ایوان بر عملکرد حرارتی فضا، در اتاق‌هایی با اندازه‌های پنجره متفاوت بر دیوار مشترک و مجاور ایوان، دمای متوسط تابشی برای حالت‌های بدون سایه‌بان و جداره‌ی شیشه‌ای در ایوان، مورد سنجش قرار گرفت. نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که با افزایش درصد سطح بازشو به نسبت دیوار مشترک، میزان تاثیرگذاری الحاق سایه‌بان به ایوان افزایش می‌یابد و این افزایش در اوقات سرد سال مشهودتر می‌باشد.

جدول ۹. درصد میزان تأثیر همزمان WWR و سایه‌بان در افزایش عملکرد حرارتی

درصد بازشو / روز سال	٪ ۲۰	٪ ۴۰	٪ ۶۰	٪ ۸۰	٪ ۱۰۰
۱ تیر ماه	٪ ۲/۳	٪ ۲/۵	٪ ۲/۶	٪ ۲/۷	٪ ۲/۹
۱ دی ماه	٪ ۱۹	٪ ۲۳	٪ ۲۶	٪ ۲۹	٪ ۳۰

– نوع بازشوی جدار مشترک و سایه‌بان

نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که در اول تیرماه، تأثیر الحاق سایه‌بان بر ایوان که بازشوی جدار مشترک آنها، ضریب هدایت حرارتی بالاتری دارد بر عملکرد حرارتی، ٪۱/۴ بیشتر از زمانی است که پنجره دوجداره بوده و ضریب هدایت حرارتی آن کم‌تر است. از دیگر نتایج این جدول در اول دی ماه این است که با الحاق جداره شیشه‌ای به ایوان، عملکرد حرارتی به میزان ٪۱۱، نسبت به به‌کارگیری پنجره با ضریب هدایت حرارتی بالاتر، بهبود می‌یابد.

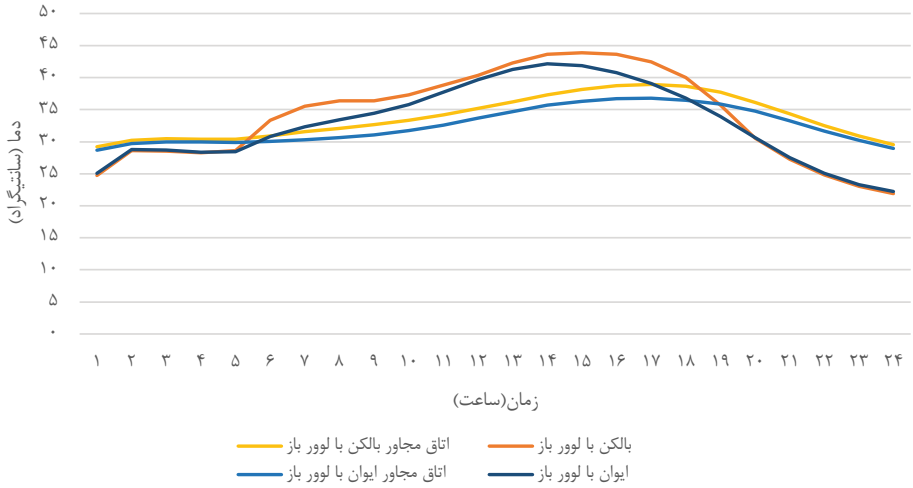
جدول ۱۰. درصد میزان تأثیر هم‌زمان نوع پنجره دیوار مشترک و سایه‌بان در افزایش عملکرد حرارتی

نوع بازشو / روزسال	پنجره با ضریب حرارتی ۱/۹۸	پنجره با ضریب حرارتی ۵/۸
۱ تیر ماه	٪ ۱/۳۱	٪ ۲/۷
۱ دی ماه	٪۳۳	٪۲۲

مقایسه تحلیلی عملکرد سایه‌بان در بالکن و ایوان

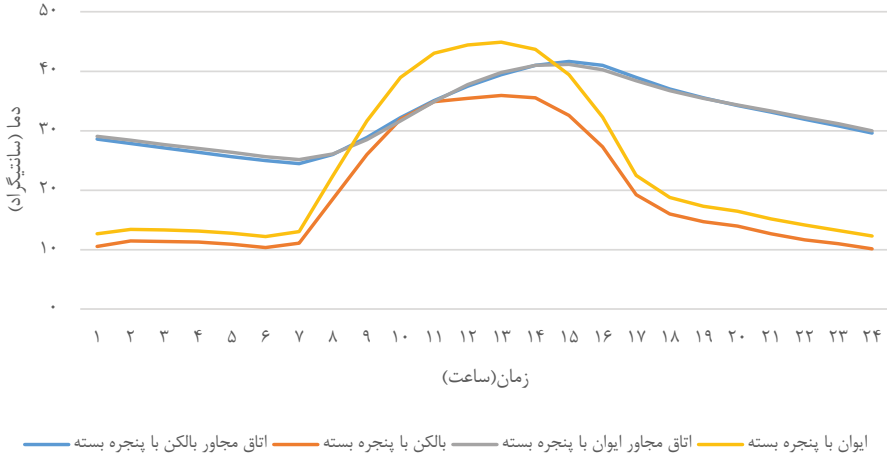
با مقایسه نتایج بالکن و ایوان در شکل ۱۰، می‌توان مشاهده کرد که اختلاف دمای اتاق با بالکن در اول تیر ماه، بیشتر از ایوان است که علت این امر، می‌تواند تابش ورودی بیشتری باشد که بالکن به نسبت ایوان

به‌دلیل جبهه‌های باز بیشتر، دریافت می‌کند و به‌دلیل اینکه بالکن گرم‌تر بوده و اتاق همچنان در سایه می‌باشد، اختلاف بیشتر است. در اوایل صبح، بالکن نسبت به ایوان افزایش دما دارد که این امر، به علت نفوذ تابش از سمت شرق است. در عصر هنگام نیز از جبهه غربی نفوذ تابش وجود دارد که در نمودار محسوس است. اصولاً بالکن و ایوان در غالب اوقات شبانه‌روز تغییرات دمایی مشابه دارند، به‌جز اوایل صبح و نزدیک غروب آفتاب که زاویه تابش خورشید در مقایسه با سایر ساعات روز، مایل‌تر می‌باشد.



شکل ۱۰. مقایسه‌ی دمای متوسط تابشی اتاق و فضای نیمه‌باز مجاور آن در طول شبانه‌روز (اول تیر ماه)

با توجه به شکل ۱۱ می‌توان دریافت که ایوان دمای بیشتری به نسبت بالکن در اول دی ماه تجربه می‌کند و به دلیل اینکه جداره‌ها شیشه‌ای هستند، بالکن علی‌رغم جذب تابش بیشتر، به دلیل اتلاف از جبهه‌های شرقی و غربی، مجموع دمای کم‌تری را دارد. جداره‌های شرقی و غربی در اول دی ماه جذب تابش نداشته و کمکی به افزایش اثر گلخانه‌ای نمی‌کنند و صرفا اتلاف دارند.



شکل ۱۱. مقایسه دمای متوسط تابشی اتاق و فضای نیمه‌باز مجاور آن در طول شبانه‌روز (اول دی ماه)

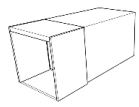
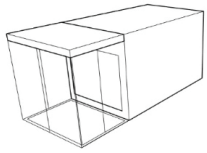
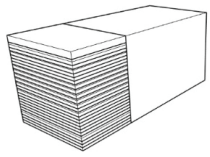
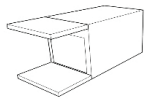
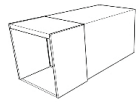
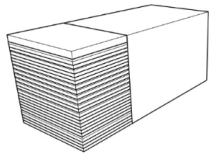
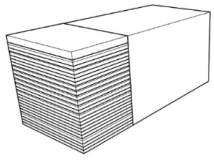
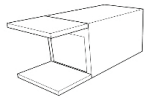
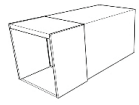
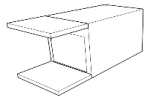
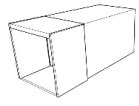
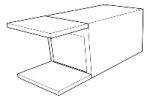
نتیجه‌گیری و ارائه راهکار طراحی بهینه

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته از نمودارها و مباحث فوق، می‌توان نتایج را به شرح زیر تبیین نمود:

- در اوقات گرم سال، برای فضای بالکن و ایوان، با الحاق سایه‌بانی لووردار و با لوورهای باز (۹۰ درجه)، می‌توان عملکرد حرارتی فضا را ارتقا داد.
- در اوقات سرد سال، برای فضای بالکن و ایوان، با الحاق پوسته‌ای شیشه‌ای و بدون استفاده از سایه‌بان در طول روز و بستن سایه‌بان با لوورهای بسته (۰ درجه) در طول شب که همچون جداره‌ای مانع از اتلاف حرارت داخل فضا می‌شود، می‌توان عملکرد حرارتی فضا را ارتقا داد.
- در اوقات گرم سال، تأثیر تغییر عمق با سایه‌بان الحاقی بر بهبود عملکرد حرارتی اتاق، تفاوت چندانی نمی‌کند اما در اوقات سرد سال می‌تواند تا ۳۰٪ بارهای حرارتی را کاهش دهد.
- در اوقات گرم سال، تأثیر اندازه‌ی سطح بازشو در دیوار مشترک با فضای نیمه‌باز بر بهبود عملکرد حرارتی ایجاد شده توسط سایه‌بان الحاقی، کم است ولی در اوقات سرد سال می‌تواند عملکرد حرارتی را تا ۳۰٪ بهبود دهد.
- با کاهش ضریب هدایت حرارتی پنجره‌ها در اوقات سرد سال، به‌دلیل پوشش شیشه‌ای بالکن و ایوان، عملکرد حرارتی این عناصر تا ۳۶درصد افزایش می‌یابد. در اوقات گرم سال پنجره با ضریب هدایت حرارتی بیشتر، باعث افزایش تأثیر سایه‌بان بر عملکرد حرارتی تا ۵/۴ درصد می‌شود.
- میزان بهبود عملکرد حرارتی توسط سایه‌بان الحاقی در بالکن بیشتر از ایوان می‌باشد که این تأثیر در اوقات گرم سال محسوس‌تر است.

با توجه به تحلیل‌ها و نتایج پژوهش، خلاصه‌ای از یافته‌های تحقیق برای طراحی سایه‌بان‌های متحرک و الحاقی به فضاهای نیمه‌باز ساختمان‌های مسکونی شهر تهران پیشنهاد شده است تا بتوان با استفاده مجدد از عناصر بومی معماری ایران در معماری معاصر، ضمن بهره‌گیری از ویژگی‌های زیبایی‌شناسی این عناصر در نمای ساختمان، بیشترین بازده را از لحاظ مصرف انرژی داشته باشد. با توجه به اینکه این پژوهش برای فضای نیمه‌باز در ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران انجام گرفت، این نتایج را می‌توان برای ساختمان‌های مسکونی که فضای نیمه‌باز دارند و در اقلیم مشابه شهر تهران (گرم و خشک) واقع شده‌اند، استفاده نمود.

جدول ۱۱. خلاصه یافته‌های تحقیق

	نوع فضای نیمه‌باز			روز	شب
ساختمان موجود	ایوان		زمستان		
	بالکن			برای فضای بالکن و ایوان، با الحاق پوسته‌ای شیشه‌ای و بدون استفاده از سایه‌بان در طول روز و بستن سایه‌بان با لوورهای بسته (۰ درجه) در طول شب که همچون جداره‌ای مانع از اتلاف حرارت داخل فضا می‌شود، می‌توان عملکرد حرارتی فضا را ارتقا داد.	
	ایوان		تابستان		
	بالکن			برای فضای بالکن و ایوان، با الحاق سایه‌بانی لووردار و با لوورهای باز (۹۰ درجه) در جبهه‌های باز، می‌توان عملکرد حرارتی فضا را ارتقا داد.	
ساختمان جدید	ایوان		عمق	با افزایش عمق ایوان، تأثیر استفاده از سایه‌بان الحاقی بر عملکرد حرارتی در اوقات گرم و سرد سال، بهبود می‌یابد.	
	بالکن			با توجه به اینکه عمق بالکن عملا در نقش سایه‌بان افقی ایفای نقش می‌کند، می‌توان از راهنمای طراحی سایه‌بان‌های ثابت افقی استفاده نمود.	
	ایوان		WWR	در اوقات سرد سال، با افزایش نسبت سطح بازشو به دیوار، تأثیر استفاده از پوشش شیشه‌ای الحاقی به فضای نیمه‌باز، بر عملکرد حرارتی فضا افزایش می‌یابد. در اوقات گرم سال، میزان تأثیر محسوس نیست. توصیه می‌شود که در محدوده پیشنهادی بهینه اسناد بالادستی و متون تخصصی مرتبط، از نرخ بالاتری از WWR استفاده شود.	
	بالکن				

تشکر و قدردانی

تشکر و قدردانی از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور ((National Science Foundation: INSF))، که ما را در انجام این پژوهش حمایت نمودند.

پی نوشت

۱. فضاهای نیمه‌باز به فضاهایی اطلاق می‌شود که امکان دسترسی از داخل ساختمان داشته و در ارتباط با هوای آزاد قرار دارند، به‌گونه‌ای که حداقل یک وجه آنها باز است.
۲. ایوان، فضایی مسقف است که از یک طرف با هوای آزاد به طور مستقیم ارتباط دارد.
۳. بالکن، سطحی است که از دو یا سه طرف به طور مستقیم در مجاورت هوای آزاد قرار گرفته است و زیر آن به‌وسیله فضای بسته‌ای اشغال نگردیده باشد.

4. Enegyplus
5. Calibration
6. Normal Mean Bias Error (NMBE)
7. Setpoint
8. Window to Wall Ratio
9. Design Days

۱۰- منظور از پنجره در نمودارهای دی ماه در شبیه‌سازی، جداره‌های شیشه‌ای الحاق شده به فضای نیمه‌باز می‌باشد.

فهرست منابع

- دفتر مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۸۹). مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نوزدهم «صرفه‌جویی در مصرف انرژی». تهران: نشر توسعه ایران.
- دفتر مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۹۲). مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث چهارم «الزامات عمومی ساختمان». تهران: نشر توسعه ایران.
- فیاض، ریما (۱۳۹۲). سطح بهینه پنجره ساختمان‌های مسکونی در اردبیل و تهران. نامه معماری و شهرسازی، ۱۰، ۱۱۹-۱۰۵.
- وبگاه اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری: www.chaharmahalmet.ir

- Ayokunle, O. T. (2015). *The effect of balcony on thermal performance of high rise office building in tropical climate.* Master Thesis in Architecture, Universiti Teknologi Malaysia.
- Aelenei, D., Azevedo Leal, H., & Aelenei, L. (2014). The use of attached-sunspaces in retrofitting design: the case of residential buildings in Portugal. *Energy Procedia,* 48, 1436 – 1441.
- Antoniou, A., & Yannas, S. (2017). *The residential balcony in the Mediterranean climates.* PLEA. ASHRAE GUIDLINE 14-2002P.15.
- Craven, C., & Garber-Slaght, R. (2011). *Evaluating Window Insulation: Curtains, Blinds, Shutters, and More.* Fairbanks: Cold Climate Housing Research Center.
- Clarke, J., Johnstone, C., Kim, J., & Strachan, P. (2008). Study of the Energy Performance of Korean Apartment Buildings with Alternative Balcony Configurations, *World Renewable Energy Congress (WRECX).*
- EnergyPlus Engineering. (2015). *The US Department of Energy.* Retrieved 23 May, 2015 from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm.
- Dzieszko, K., & Warchal, M. (2015). Influence of the balcony glazing construction on thermal comfort of apartments in retrofitted large panel buildings. *Procedia Engineering,* 108, 481 – 487.

- Hilliaho, K. (2017). *Energy Saving Potential and Interior Temperatures of Glazed Spaces: Evaluation through Measurements and Simulations.* Doctoral Dissertation in Science and Technology, Tampere University of Technology.
- Hilliaho, S., Köliö, A., Pakkala, T., Lahdenivu, J., & Vinha, J. (2016). Effects of added glazing on Balcony indoor temperatures: Fieldmeasurement. *Energy and Buildings*, 128, 458–472.
- Hilliaho, k., Kovalainen, V., Huuhka, S., & Lahdensivu, J. (2016). Glazed spaces: A simplified calculation method for the evaluation ofenergy savings and interior temperatures, *Energy and Buildings,* 125, 27–44.
- Yannas, S., & Tsichritzis, L. (2015). The glazing of balconies as a retrofitting solution for reducing the heating load of the adjacent room in Athens. *PLEA Conference–Architecture in (R)Evolution,* Bologna, Italy.

Vol. 13 • No. 30 • Spring 2021

Received: Received: 08 May, 2019 | Accepted: 06 November, 2019

Document Type: Research Paper

An Analytic Study of the Effect of the Movable Shading Devices Attached to Semi–Open Spaces on the Annual Energy Consumption: A Case Study of Residential Buildings in Tehran

Mojtaba Mahdavinia
Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Vida Vahabi
Master in Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Abstract

One of the most important components of a building that influences physical properties, environmental behavior and responses, and energy consumption is the building envelope. Therefore, accurate decision–making in this regard will be of particular importance. Most of the measures taken to reduce energy consumption in buildings are somehow active and mechanical strategies that not only impose the increase of construction cost on employers but also the emission of greenhouse gases in the global environment. Regarding the importance of the role of architects, if the initial decisions in the design process are made based on environmental issues and climatic approach, a considerable saving on cost and energy consumption can be achieved. In the meanwhile, passive systems are the most efficient and clean ways to meet the thermal needs of a building by means of utilizing renewable energy resources such as solar energy, wind power, and so on. In this type of system, fossil fuels and mechanical powers are rarely used. Among the mentioned methods, the element of shading device is one of the most effective solutions that has been widely used in traditional Iranian architecture. This solution has a high potential to be implemented in contemporary architecture as well. Measurements and simulation studies have shown that balcony form and solar protection can significantly affect the thermal comfort of occupants on the balcony as well as in the adjacent room. In this research, one of the existing buildings equipped with a glass–covered balcony was selected as a case study and experimental measurements were taken by two data loggers located in the balcony and adjoining room in order to record the temperature fluctuation. The simulation process was validated by comparing the experimental results. The base case building was modeled in Openstudio software (2.6.0) and Energyplus 8.9 and was then utilized for annual energy simulation. The depth of semi–open space, the window area of the adjoining wall, and its thermal conductivity coefficient in the two types of balconies and porches were considered as the variables. The effect of shading strategies such as movable louver and glass cover on thermal performance was comparatively investigated. The simulation results indicated that the use of an open–angle louver as well as a movable glass partition in summer and winter respectively would enhance the thermal performance of the room adjacent to semi–open space. Regarding under–construction buildings, the effect of using attached shading devices on thermal performance on cold days of a year increases based on the depth of the semi–open space along with window to wall ratio. Although the reduction of the thermal conductivity coefficient of window would make the attached glass partition more effective in the winter, the negative effect has to be considered in the summer. Based on the research findings, this paper concluded in determining a design guideline for the application of a movable attached shading device of semi–open spaces in residential buildings in Tehran metropolitan city.

Keywords: Shading device, semi–open space, balcony, energy consumption, optimization