

تعیین مقادیر بهینه ابعاد و بازشوی پنجره در بناهای مسکونی اقلیم گرم و مرطوب شهر عسلویه

چکیده

در اقلیم گرم و مرطوب به دلیل دما و رطوبت بالا، ایجاد منطقه آسایش در شرایط بحرانی، تنها از طریق تهویه طبیعی امکان پذیر نیست. استفاده مداوم از سرمایش مکانیکی ساکنین بنا را از هوای تازه، محروم و سلامت آن‌ها را تهدید می‌کند. پوسته به‌ویژه پنجره‌های ساختمان، بر تبادل حرارت میان درون و بیرون، بارهای سرمایشی و تقاضای انرژی بنا و آسایش حرارتی ساکنین تأثیرگذار هستند. در پژوهش حاضر، با کمک نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، با هدف به حداقل رساندن ساعات نارضایتی و حرارت ناشی از تابش خورشیدی هنگام بهره‌گیری از تهویه طبیعی، ضمن بررسی تأثیرگذاری جنس جداره‌های بنا و شیوه سایه‌اندازی روی پنجره‌ها بر نسبت بهینه پنجره به سطح نما، با روش بهینه‌سازی، ابعاد و میزان بازشوی بهینه پنجره‌ها در ساختمان‌های مسکونی شهر عسلویه تعیین شد. برای پیکربندی‌های مختلف متداول و بهینه، مجموع ساعاتی که می‌توان از طریق تهویه طبیعی به آسایش حرارتی دست یافت، محاسبه شد. مطابق با یافته‌ها جنس شیشه (ضرایب عبور نور مرئی و انتقال حرارت) و بهره حرارتی خورشیدی، مهم‌ترین عامل در تعیین مقادیر بهینه هستند. در نسبت ۳۰٪، با مصالح بهینه، دریافت حرارت از ۳۵۷۴ کیلووات طی یک سال، به ۲۷۰ رسید. مقادیر ۱۰٪، ۱۶٪، ۱۸٪، ۲۰٪، ۲۲٪، ۲۴٪، ۲۶٪، ۳۲٪، ۳۴٪، ۳۶٪ برای نسبت پنجره به دیوار، با میزان بازشوی پنجره به ترتیب برابر با ۷۵٪، ۴۹٪، ۸۴٪، ۵۴٪، ۶۶٪، ۳۶٪، ۹۴٪، ۳۸٪، ۵٪ بهینه هستند.

واژه‌های کلیدی: نسبت پنجره به دیوار، آسایش حرارتی، تهویه طبیعی، بهینه‌سازی، ضریب بهره حرارتی خورشیدی، عسلویه

ماده انشای هنرهای زیبا

Determining the optimal dimensions and opening area for windows in residential buildings in the hot-humid climate of Asalouyeh city

Objective: It is not possible to establish thermal comfort zones in extreme conditions solely through natural ventilation in hot and humid climates. Continuous use of mechanical cooling also deprives building users of access to fresh air, which threatens their health. On the other hand, the building's skin and windows play a crucial role in the heat exchange between the indoors and outdoors. Consequently, they impact the cooling loads, energy demands of the building, and the thermal comfort of the residents. This study aimed to minimize the total annual discomfort hours and solar radiation heat gain from external windows while utilizing natural ventilation in a residential building in the hot-humid climate of Asalouyeh City. The study also examined the impact of transparent and opaque wall materials, as well as window shadings, on the optimal Window-to-Wall Ratio, which aims to minimize solar gain and discomfort hours.

Method: For each common and proposed configuration of building construction and different values for WWR (10%-90%), the annual Predicted Mean Vote and the Percentage of Dissatisfied were determined at 1-hour intervals in a sitting zone of the case study building. The indices were also determined for the thermal peak day at 30-minute intervals. The obtained values were compared with the comfort range recommended by ASHRAE Standard 55 ($+0.5 < PMV < -0.5$, $0 < PPD < 80\%$). The annual total hours during which achieving thermal comfort through natural ventilation is possible were calculated. Finally, the optimal window-to-wall ratio (WWR) and opening areas in the optimal construction configuration were determined using the optimization method.

Results: showed that with a WWR of 30% (a common ratio in building construction), the total annual solar radiation heat gain decreased from 3574 kW to 270 kW with the implementation of the proposed materials. The seating area remained within the comfortable temperature range for at least 737 hours throughout the year, thanks to natural cooling. 10%, 16%, 18%, 20%, 22%, 24%, 26%, 32%, 34%, 36% for the WWR in combination with 75%, 49%, 84%, 54%, 66%, 36%, 94%, 38%, 5%, 5% for the open areas were the optimal values. The optimal properties for transparent surfaces include aluminum thermal break window frames, a 1-meter overhang, and left and right side-fin shadings for windows made from lightweight concrete cast (Conductivity: 0.3800 W/m-K, Specific Heat: 1000.00 J/kg-K, Density: 1200.00 kg/m³, Thickness: 0.002 m), and 6mm/6mm air blue double-glazed glass (SHGC: 0.15, LT: 0.15, U-Value: 2.555 W/m²-K). The conductivity, specific heat, density, and thickness of the outermost and innermost layers were 0.16 and 0.17 W/m-K, 880.00 and 900.00 J/kg-K, 2800.00 and 1390.00 kg/m³, 0.002 and 0.005 m, respectively. The study also introduced the thermal properties of non-transparent surfaces.

Conclusion: Findings showed that the glass properties (Light Transmission and Thermal transmittance or U-Value) and Solar Heat Gain Coefficient (total solar transmission) are the most important factors in determining the optimal design compared to other parameters (including thermal insulation, R-value of non-transparent surfaces, shading devices). Although minimizing WWR is recommended for hot and humid climates, this ratio can be increased by choosing the appropriate glass.

Keywords: Asalouyeh City, Natural ventilation, Optimization, Solar Heat Gain Coefficient, Thermal comfort, Window-to-Wall Ratio

مقدمه

به‌طور کلی در اقلیم گرم و مرطوب، افزایش بهره‌گیری از تهویه و کوران هوا به‌منظور کنترل رطوبت بالا، و سایه‌اندازی به‌منظور کنترل تابش و کاهش جذب حرارت، در طراحی اقلیمی بنا حائز اهمیت است. دما و رطوبت بالا در اقلیم‌های گرم و مرطوب، از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های استفاده از تهویه طبیعی است. اگرچه تهویه طبیعی به کاهش مصرف انرژی ساختمان منجر می‌شود، حد کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی است. برای ایجاد آسایش حرارتی به‌ویژه در شرایط بحرانی، استفاده از دستگاه‌های سرمایش مکانیکی ضروری است. از سوی دیگر، استفاده مداوم از سرمایش مکانیکی مانند کولرهای گازی، ساکنین ساختمان را از هوای تازه محروم می‌کند. افراد ۹۰٪ از زمان خود را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند (ژائو، یین، هی، دنگ، ۲۰۲۳؛ زمردیان، تحصیلدوست و حافظی، ۲۰۱۶). ساختمان‌های هواپندیده و فاقد تهویه مناسب، اگرچه تلفات انرژی سیستم‌های سرمایش مکانیکی را کاهش می‌دهند، کیفیت هوای داخل و سلامت ساکنین را به خطر می‌اندازند (کمپتون، دالی، کوکویاناکیس، دیوژبری، ۲۰۲۲؛ لی، دی‌بیاسیو، سانتینی، ۱۹۹۶).

از سوی دیگر، ساختار و مشخصات پوسته ساختمان و کارایی حرارتی آن، بر تبادل حرارت میان فضای بیرون و درون، دریافت بهینه انرژی خورشیدی، بار سرمایشی و میزان تقاضای انرژی، و به‌طور کلی رفتار حرارتی ساختمان تأثیرگذار است. جداره‌های شفاف، به دلیل مقاومت حرارتی کمتر، تأثیرگذاری بیشتری دارند. اگرچه، به حداقل‌رساندن سطوح نورگذر نسبت به پوسته بیرونی بنا (به دلیل ضریب انتقال حرارت بالا)، در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۹) نیز توصیه شده است، اما به نظر می‌رسد، به حداقل‌رساندن مساحت پنجره، در همه موارد و اقلیم‌ها، راهکار مناسبی نباشد و تعیین نسبت بهینه سطح پنجره (جداره شیشه‌ای) به سطح دیوار (کل نما)، ضمن در نظر گرفتن پارامترهایی مانند ضریب بهره خورشیدی و نیازهای تهویه و روشنایی، منطقی‌تر باشد.

با توجه به موارد بیان‌شده، پژوهش حاضر به تعیین سطح بهینه پنجره (مقادیر بهینه نسبت سطح پنجره به سطح غیرشفاف نمای ساختمان) و همچنین مقادیر بهینه بازشوی پنجره، در یک فضای متداول مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب شهر عسولویه، با هدف کاهش و به حداقل‌رساندن ناراضایتی حرارتی و میزان حرارت ناشی از تابش روی سطح پنجره، بر مبنای پیکربندی‌های مختلف جداره‌های شفاف و غیرشفاف داخلی و خارجی بنا و سایه‌اندازی‌های روی پنجره، در ساخت‌وساز متداول و پیشنهادی شهر عسولویه می‌پردازد. بر اساس اهداف مطرح‌شده، پرسش‌های زیر، پژوهش حاضر را هدایت می‌کنند:

۱. در صورت بهره‌گیری از تهویه طبیعی، در پیکربندی‌های مختلف جداره‌های شفاف و غیرشفاف و حالات مختلف سایه‌اندازی روی پنجره، در مقادیر مختلف نسبت پنجره به دیوار، وضعیت آسایش حرارتی چگونه است (مجموع ساعات ناراضایتی و آسایش حرارتی و همچنین میزان تابش دریافتی از پنجره‌های خارجی چه قدر است)؟
۲. در شرایط مذکور، کدام پارامتر بر مقادیر نسبت پنجره به دیوار تأثیرگذارتر است؟
۳. از میان پیکربندی‌های مختلف، مدل بهینه کدام است؟
۴. در مدل نهایی، در صورت بهره‌گیری از تهویه طبیعی، مقادیر بهینه نسبت پنجره به دیوار و بازشوی پنجره از منظر آسایش حرارتی (به حداقل‌رساندن ساعات ناراضایتی، به حداقل‌رساندن میزان تابش دریافتی از پنجره‌های خارجی) چه قدر است؟

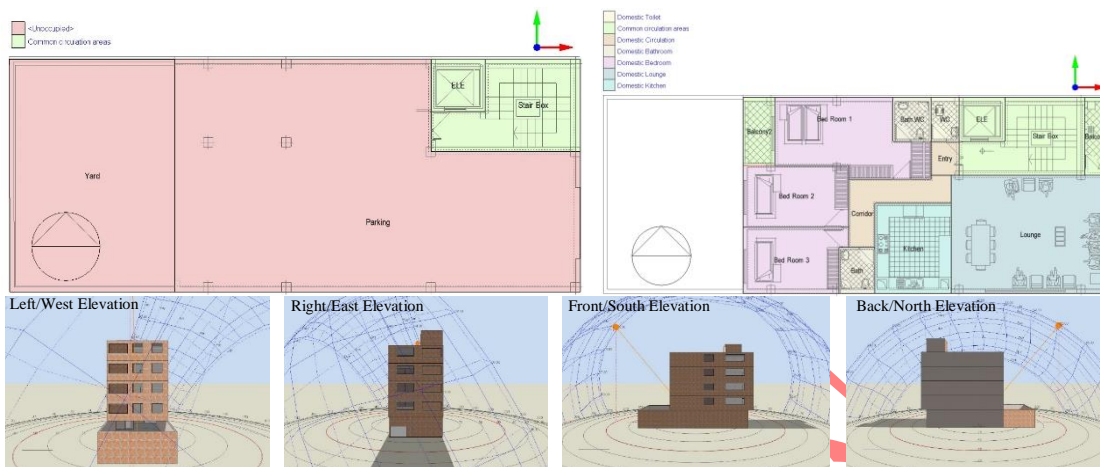
روش پژوهش

مهم‌ترین بخش پژوهش حاضر، تعیین نسبت بهینه پنجره به جداره غیرشفاف، مقادیر بهینه میزان بازشوی پنجره، و محاسبه مجموع ساعات آسایش حرارتی با استفاده از تهویه طبیعی در پیکربندی‌های مختلف جداره‌های شفاف و غیرشفاف بنا و سایه‌اندازی پنجره، در اقلیم گرم و مرطوب شهر عسولویه است. مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسخه 6.1.0.006 (موتور انرژی‌پلاس نسخه 8.9) صورت گرفت. زون‌های مختلف در یک ساختمان، باید شرایط آسایش حرارتی منحصر به فرد خود را داشته باشند. در پژوهش حاضر، زون نشیمن در نظر گرفته شد؛ با این فرض که افراد بخش اعظمی از زمان خود را در این فضا سپری می‌کنند و از اتاق‌های خواب تنها برای استراحت در شب استفاده می‌کنند. کلیه طبقات یک ساختمان (شامل چهار طبقه روی پیلوت)، به‌طور کامل، مدل‌سازی شد. این ساختمان به دلیل کشیدگی و جهت‌گیری شرقی غربی آن، و قرارگیری زون نشیمن در جبهه جنوبی و دریافت تابش خورشیدی از سمت جنوب و شرق و جنوب‌شرقی، که مطابق با مطالعات پیشین، جهت‌گیری بهینه محسوب می‌شود، انتخاب شد. از آنجاکه بدترین شرایط از نظر تبادل حرارتی با محیط بیرون، یکی دیگر از ملاک‌های انتخاب پلان بود، ساختمانی انتخاب شد که در نیش معبر واقع شده است. این ساختمان از سه طرف با محیط بیرون در ارتباط است. زون نشیمن از دو طرف با بیرون، و از یک طرف با یک فضای کنترل‌نشده در ارتباط است. در تصویر ۱، پلان‌ها، زون‌ها و نماهای ساختمان نمایش داده شده است.

مطابق با این تصویر، برای طبقه همکف، چهار زون شامل آسانسور، فضای پارکینگ، پله‌ها، و حیاط تعریف شد. برای طبقات اول تا چهارم، زون‌های آسانسور، پله‌ها، فضای ورودی واحد، راهروهای داخلی، سرویس‌ها، اتاق‌های خواب، بالکن‌ها، نشیمن، و آشپزخانه تعریف شد. در تعریف قالب آهر زون حرارتی (تصویر ۱)، برای آسانسور، پله‌ها و بالکن‌ها، تنظیمات فضای متداول گردشی^۲ و برای پارکینگ و حیاط، فضای اشغال‌نشده^۳ در نظر گرفته شد. برای سایر فضاها شامل فضای ورودی واحد و راهروهای داخلی^۴، سرویس‌ها^۵، اتاق‌های خواب^۶، نشیمن^۷ و آشپزخانه^۸ متناسب با کاربری هر فضا یا زون، قالب مناسب (طبق موارد پی‌نوشت) در نظر گرفته شد. نوع زون‌ها استاندارد (تنظیمات فضاها کنترل‌شده)، و برای فضاهایی اشغال‌نشده مانند حیاط، تنظیمات فضای کنترل‌نشده^۹ در نظر گرفته شد. نوع فعالیت افراد در هر فضا یا زون، متناسب با کاربری فضا تعریف شد. برای فضاهایی چرخشی و حرکتی مانند آسانسور، پله‌ها، پارکینگ، حیاط، بالکن‌ها و فضای ورودی واحدها، حالت ایستاده یا راه‌رفتن (قدم‌زدن)^{۱۰}، برای اتاق‌های خواب، نشیمن و آشپزخانه، به‌ترتیب، فعالیت‌های خوابیدن، پخت‌وپز، و تکیه‌دادن در حالت نشسته^{۱۱} انتخاب شد. برای عایق پوشاک، کلوفاکتور ۱/۰۰ و ۰/۵۰ کلو به‌ترتیب برای زمستان و تابستان انتخاب شد. برای آشپزخانه و نشیمن، تجهیزات متداول مسکونی لحاظ شد.

– بررسی تأثیر جنس جداره‌ها و شیوه سایه‌اندازی روی پنجره بر نسبت بهینه پنجره به دیوار و مجموع ساعات آسایش حرارتی با تهویه طبیعی مدل‌هایی که در نرم‌افزار، با هدف بررسی تأثیر مشخصات جداره‌ها (مقاومت حرارتی جداره‌های غیرشفاف، ضریب عبور نور مرئی، ضریب بهره حرارتی خورشیدی، و ضریب تبادل حرارتی جداره‌های شفاف) و سایه‌اندازی روی پنجره شبیه‌سازی شده‌اند، در جدول ۱ ارائه شده است. با هدف مقایسه و تعیین میزان تأثیرگذاری هر تغییر بر شاخص آسایش و میزان دریافت تابش خورشیدی، مدل شماره ۱ در این جدول، به‌عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی سایر موارد، تغییرات روی مدل پایه اعمال شد. در تمام حالات و مدل‌ها، تهویه طبیعی بدون سرمایش یا گرمایش مکانیکی، آب گرم مصرفی با برق شبکه، تنظیم شد. تأثیر تغییر هر پارامتر بر شاخص آسایش حرارتی (PMV)، درصد ناراضایتی (PPD)، و میزان دریافت حرارت از طریق تابش خورشیدی بر پنجره‌های خارجی (برحسب کیلووات) (انتقال تابش خورشیدی

موج کوتاه از طریق تمام پنجره‌های خارجی)، برای یک سال، در بازه‌های زمانی یک ساعت (۸۷۶۰ گرید)، و همچنین به منظور سهولت مقایسه، برای یک روز (بیک حرارتی) در بازه‌های زمانی هر ۳۰ دقیقه (۴۸ گرید) تعیین شد. با توجه به اینکه حد کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی است، و با هدف تعیین ساعاتی که بدون تهویه مکانیکی نیز آسایش برقرار است، شاخص آسایش ملاک عمل قرار گرفت. همچنین، در اقلیم گرم و مرطوب، کنترل تابش حائز اهمیت است.



تصویر ۱: پلان‌ها و زون‌های طبقه همکف و تپ‌طبقات و نماهای ساختمان شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

جدول ۱: مدل‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

توضیحات	تعداد مدل	WWR (%)	وضعیت سایه‌اندازی	شیشه	قاب پنجره	جداره غیرشفاف	شماره مدل
<p>مدل شماره ۱، به‌عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد.</p> <p>بازشو در تمام موارد، ۵٪ در نظر گرفته شد.</p> <p>در جدول ۲ و تصویر ۲، ترتیب مصالح لایه‌های جداره‌های غیر شفاف ارائه شده است.</p> <p>مشخصات UPVC:</p> <p>Conductivity: 0.17 W/m-K Specific Heat: 900.00 J/kg-K Density: 1390.00 kg/m³ Thickness: 0.02 m</p> <p>شیشه فلوت دو جداره ۶ میلی‌متری، با ۶ میلی‌متر فاصله بین دو جداره، پر شده با هوا، با مشخصات زیر، به‌عنوان شیشه متداول در نظر گرفته شد:</p> <p>SHGC: 0.486 LT: 0.505 U-Value: 3.157 W/m²-K</p>	۱۰	۱۰-۹۰	بدون سایه‌بان	متداول (دو جداره)	متداول (UPVC)	متداول (بدون عایق)	۱
<p>مشخصات قاب چوبی رنگ‌شده:</p> <p>Conductivity: 0.19 W/m-K Specific Heat: 2390.00 J/kg-K Density: 700.00 kg/m³ Thickness: 0.02 m</p>	۱۰	۱۰-۹۰	مدل پایه	مدل پایه	چوبی رنگ‌شده	مدل پایه	۲
<p>مشخصات قاب آلومینیومی حرارت‌شکن:</p> <p>Conductivity W/m-K (Outermost/Innermost Layer): 0.16 / 0.17 Specific Heat J/kg-K (Outermost/Innermost Layer): 880.00 / 900.00 Density kg/m³ (Outermost/Innermost Layer): 2800.00 / 1390.00 Thickness m (Outermost/Innermost Layer): 0.002 / 0.005</p>	۱۰	۱۰-۹۰	مدل پایه	مدل پایه	آلومینیومی حرارت‌شکن	مدل پایه	۳
<p>به عمق ۵/۵ متر، از جنس بتن سبک، در طرفین پنجره‌ها در نظر گرفته شد (تصویر ۳).</p> <p>Conductivity: 0.3800 W/m-K Specific Heat: 1000.00 J/kg-K Density: 1200.00 kg/m³ Thickness: 0.002 m</p>	۱۰	۱۰-۹۰	سایه‌بان افقی و عمودی	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	۴
<p>جداره‌های پیشنهادی در جدول ۲ ارائه شده است.</p> <p>مشخصات شیشه بهینه^۲ مطابق با مطالعات و مقالات پیشین (بنی‌هاشمی، گلی‌زاده، حسینی، شکوری، ۲۰۱۵):</p> <p>SHGC: 0.15 LT: 0.15 U-Value: 2.555 W/m²-K</p>	۱۰	۱۰-۹۰	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	پیشنهادی (با عایق)	۵
<p>مشابه با مدل شماره ۴ است. عمق سایبان ۱ متر در نظر گرفته شد.</p> <p>مشخصات شیشه ۶ میلی‌متری:</p> <p>SHGC: 0.587 LT: 0.570 U-Value: 6.121 W/m²-K</p>	۱۰	۱۰-۹۰	سایبان افقی و عمودی	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	۷
<p>فاصله سایه‌انداز تا شیشه 0.015 متر، نوارها به ضخامت 0.001 متر و به عرض 0.025 متر و با conductivity معادل 0.9 W/m-K و با جهت‌گیری افقی و به فاصله 0.019 متر از یکدیگر، و با زاویه ۴۵ درجه و کاهنده تابش خورشیدی</p>	۱۰	۱۰-۹۰	پرده داخلی رفلکتیو	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	۹
<p>تمام شرایط بهینه مطابق با یافته‌های مدل‌های ۱ تا ۹ لحاظ شد.</p>	۱۰	۱۰-۹۰	شرایط بهینه	شرایط بهینه	شرایط بهینه	شرایط بهینه	۱۰

* برای تعریف مشخصات حرارتی شیشه در نرم‌افزار می‌توان تعداد جداره‌ها را مشخص و سپس برای هر جداره، مشخصات حرارتی (و پارامترهایی مانند میزان «جذب حرارت» یا ضریب جذب، میزان «گسیل (قابلیت انتشار یا گسیلندگی)»^{۱۶} «سانایی حرارتی» یا «ضریب هدایت حرارتی»^{۱۷} را تعیین کرد؛ و یا سه متغیر اصلی «ضریب بهره حرارتی خورشیدی»، «ضریب انتقال حرارت» و «ضریب عبور نور» را به‌طور کلی برای مجموعه جداره‌ها تعیین نمود. در پژوهش بنی‌هائمی و همکاران، مشخصات حرارتی چند شیشه متداول مورد استفاده در ایران معرفی شده است و طبق یافته‌ها، برای اقلیم گرم و مرطوب (شهر بندرعباس)، شیشه دوجداره در فصل سرد سال، اندکی به بار گرمایشی ساختمان اضافه می‌کند که در مقایسه با میزان کاهش مصرف انرژی در فصل گرم سال ناچیز است. بعلاوه، در میزان بارهای سرمایشی در صورت استفاده از شیشه با مشخصات (U-value:2.555, LT:0.15, SHGC:0.15)، اختلاف قابل‌توجهی بین جهت‌گیری‌های مختلف مشاهده نشده است. در مجموع، در مطالعه حاضر، با هدف به حداقل رساندن تابش خورشیدی و تأمین آسایش حرارتی و به حداقل رساندن ساعات ناراضیاتی (و نه کاهش بارهای سرمایش یا گرمایش ساختمان)، شیشه با سه مشخصه، مدلسازی و با یکدیگر مقایسه شد.

آماده انتشار هنرهای زیبا

جدول ۲: مشخصات (جنس، ضخامت و مقاومت حرارتی) مصالح موردنظر برای لایه‌های جداره‌های غیرشفاف افقی و قائم خارجی و داخلی پلان همکف و تپ‌طبقات

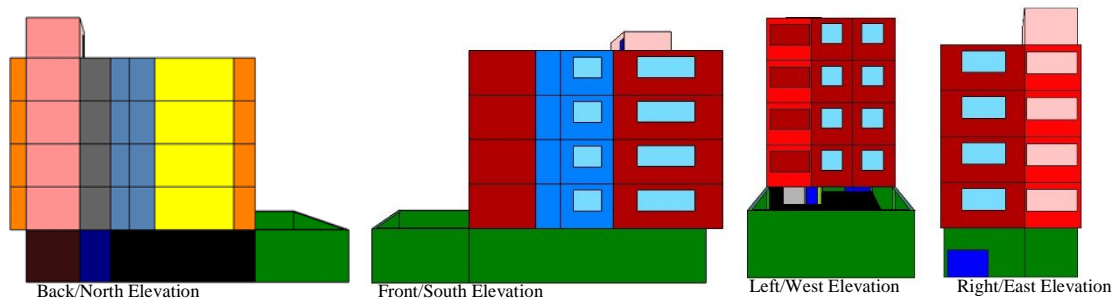
موقعیت	شماره	رنگ	محل (بیرون/داخل)	لایه‌ها (بیرون/داخل)											
دیوارهای خارجی	۱	نارنجی	درز انقطاع/بالکن	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. ملات ماسه‌سیمان		۵. سنگ تراورتن (بیرونی)*		-	-
				R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m	-	-
	۲	زرد	درز انقطاع/اتاق	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. اندود گچ و خاک		۶. گچ پرداختی	
				R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.018	0.02m	R=0.087	0.005m
	۳	آبی	درز انقطاع/سرویس	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. ملات ماسه و سیمان		۶. کاشی (سرامیک)	
				R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.03m	R=0.01	0.025m
	۴	خاکستری	درز انقطاع/چاه آسانسور	۱. نرمة (بیرونی سیاه)		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. زبره		۶. نرمة (روشن‌تر)	
				R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.02m	R=0.023	0.02m
	۵	گلبهی	درز انقطاع/باکس پله	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. ملات ماسه و سیمان		۶. سنگ تراورتن	
				R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m
	۶	قرمز	بیرون/اتاق یا نشیمن	۱. سنگ تراورتن (بیرونی)		۲. ملات ماسه‌سیمان		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. اندود گچ و خاک		۶. گچ پرداختی	
				R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.018	0.02m	R=0.087	0.005m
	۶-۱	قرمز	باکس پله/نشیمن	۱. سنگ تراورتن (داخلی)		۲. ملات ماسه‌سیمان		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. اندود گچ و خاک		۶. گچ پرداختی	
R=0.018				0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.018	0.02m	R=0.087	0.005m	
۷	آبی	بیرون/سرویس یا آشپزخانه	۱. سنگ تراورتن (بیرونی)		۲. ملات ماسه‌سیمان		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. ملات ماسه‌سیمان		۶. کاشی (سرامیک)		
			R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.03m	R=0.01	0.025m	
۸	گلبهی	بالکن/باکس پله	۱. سنگ تراورتن (بیرونی)		۲. ملات ماسه‌سیمان		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. ملات ماسه‌سیمان		۶. سنگ تراورتن (داخلی)		
			R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m	
۹	خاکستری	چاه آسانسور/باکس پله	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. ملات ماسه‌سیمان		۵. سنگ تراورتن (داخلی)		-	-	
			R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m	-	-	
۱۰	خاکستری	چاه آسانسور/سرویس	۱. نرمة		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. پلی‌استایرن		۵. ملات ماسه‌سیمان		۶. کاشی (سرامیک)		
			R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.5	0.03m	R=0.023	0.03m	R=0.01	0.025m	
۱۱	سبز	بیرون/پارکینگ یا پله‌همکف	۱. سنگ تراورتن (بیرونی)		۲. ملات ماسه‌سیمان		۳. بلوک سفالی		۴. ملات ماسه‌سیمان		۵. سنگ تراورتن (داخلی)		-	-	
			R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m	-	-	
۱۲	سیاه	درز انقطاع/پارکینگ	۱. نرمة (سیاه)		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. ملات ماسه‌سیمان		۵. سنگ تراورتن (داخلی)		-	-	
			R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m	-	-	
۱۳	سورمه‌ای	درز انقطاع/چاه آسانسور در پارکینگ	۱. نرمة (سیاه)		۲. زبره		۳. بلوک سفالی		۴. زبره		۵. نرمة		-	-	
			R=0.023	0.01m	R=0.023	0.02m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.02m	R=0.023	0.01m	-	-	

داده جدول ۲: مشخصات (جنس، ضخامت و مقاومت حرارتی) مصالح مورد نظر برای لایه‌های جداره‌های غیر شفاف خارجی و داخلی پلان همکف و تیپ طبقات

لايه‌ها (بيرون/داخل)														محل (بيرون/داخل)		رنگ	شماره	موقعیت				
-		-		۵. سنگ تراورتن		۴. ملات ماسه سیمان		۳. بلوک سفالی		۲. زبره		۱. نرمه		درز انقطاع / باکس پله پارکینگ		قهوه‌ای	۱۴	خارجی دیوارهای				
-	-	-	-	R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.02m	R=0.023	0.01m									
-		۶. سرامیک		۵. ملات ماسه و سیمان		۴. ایزوگام		۳. بلوک سفالی		۲. ملات ماسه و سیمان		۱. سنگ تراورتن (بیرونی)		جان پناه (بیرون/بالکن)		قرمز	۱۵	داخلی دیوارهای				
-	-	R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.025	0.005m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m									
-		-		۵. گچ پرداختی		۴. اندود گچ و خاک		۳. بلوک سفالی		۲. اندود گچ و خاک		۱. گچ پرداختی		اتاق/اتاق یا راهرو		سرخابی	۱۶	داخلی دیوارهای				
-	-	-	-	R=0.087	0.005m	R=0.018	0.02m	R=0.195	0.08m	R=0.018	0.02m	R=0.087	0.005m									
-		-		۵. کاشی (سرامیک)		۴. ملات ماسه و سیمان		۳. بلوک سفالی		۲. اندود گچ و خاک		۱. گچ پرداختی		اتاق یا راهرو / سرویس یا آشپزخانه		صورتی	۱۷	داخلی دیوارهای				
-	-	-	-	R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.195	0.08m	R=0.018	0.02m	R=0.087	0.005m									
-		-		۵. کاشی (سرامیک)		۴. ملات ماسه و سیمان		۳. بلوک سفالی		۲. ملات ماسه و سیمان		۱. کاشی (سرامیک)		سرویس / سرویس یا آشپزخانه		آبی	۱۸	داخلی دیوارهای				
-	-	-	-	R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.195	0.08m	R=0.023	0.03m	R=0.01	0.025m									
-		-		۵. سنگ تراورتن (داخلی)		۴. ملات ماسه سیمان		۳. بلوک سفالی		۲. ملات ماسه سیمان		۱. سنگ تراورتن (داخلی)		باکس پله/پارکینگ		سبز	۱۹	داخلی دیوارهای				
-	-	-	-	R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.03m	R=0.018	0.02m									
۷. سرامیک		۶. ملات ماسه و سیمان		۵. شیب‌بندی با بتن سبک		۴. سقف تیرچه بلوک		۳. پلی‌استایرن		۲. هوای درون سقف کاذب		۱. پانل گچی		کف فضاهای خشک		بنفش	۲۰	سقف‌های				
R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.12	0.06m	R=0.35	0.25m	R=0.5	0.03m	R=0.14	0.06m	R=0.043	0.01m									
۷. سرامیک		۶. ملات ماسه و سیمان		۵. ایزوگام		۴. بتن شیب‌بندی سبک		۳. تیرچه بلوک		۲. هوای درون سقف کاذب		۱. پانل گچی ضد آب		کف سرویس‌ها، آشپزخانه، بالکن		سفید	۲۱	سقف‌های				
R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.025	0.005m	R=0.12	0.06m	R=0.35	0.25m	R=0.14	0.06m	R=0.043	0.01m									
-		-		-		۴. موزاییک		۳. ملات ماسه و سیمان		۲. بتن شیب‌بندی		۱. بلوکاز		کف پارکینگ		سیاه	۲۲	کف				
-	-	-	-	-	-	R=0.015	0.025m	R=0.023	0.030m	R=0.050	0.100m	R=0.176	0.300m									
۱۰. پانل گچی		۹. هوای سقف کاذب		۸. پلی‌استایرن		۷. تیرچه بلوک		۶. شیب‌بندی با بتن سبک		۵. اندود ماسه و سیمان		۴. ایزوگام		۳. ماسه بادی		۲. ملات ماسه و سیمان		۱. موزاییک		سبز	۲۳	نام
0.043	0.01	0.14	0.06	0.05	0.03	0.35	0.25	0.12	0.06	0.015	0.02	0.025	0.005	0.013	0.02	0.023	0.03	0.015	0.025			

شماره جداره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
ضریب هدایت حرارتی	0.482	0.226	0.273	0.255	0.266	0.250	0.296	0.288	0.482	0.273	0.530	0.482	0.436	0.482	0.470	0.321	0.480	0.728	0.530	0.392	0.619	1.723	0.642

* رنگ و طرح بافت نهایی روی جداره‌ها، با هدف سهولت تشخیص و اطمینان از صحت ترتیب‌بندی مصالح، برای مثال، حصول اطمینان از به‌کارگیری عمیق پلی‌استایرن به سمت داخل جداره تعیین شد. بافت سنگ تراورتن در بخش‌های داخلی و نمای بیرونی ساختمان متفاوت در نظر گرفته شد.

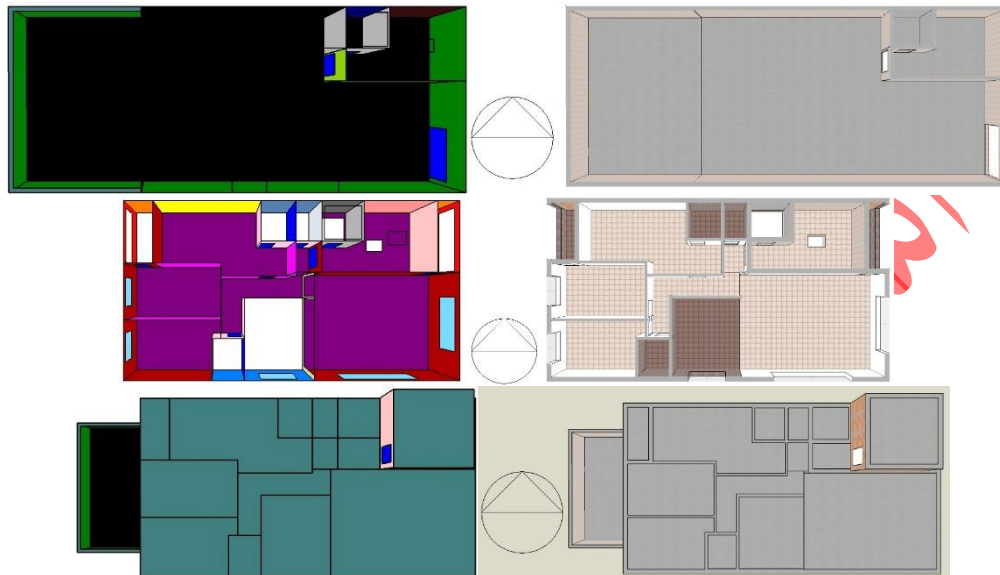


Back/North Elevation

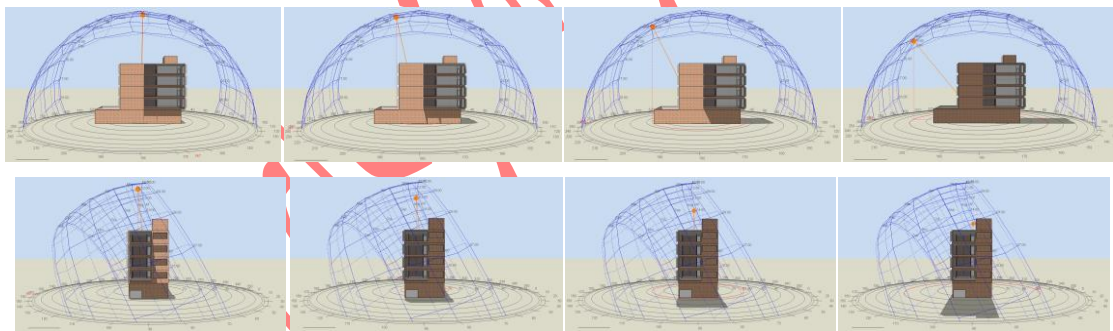
Front/South Elevation

Left/West Elevation

Right/East Elevation



تصویر ۲: مصالح جداره‌های غیر شفاف در پلان‌های همکف، تیپ طبقات، نماها و بام ساختمان شبیه‌سازی شده در نرم افزار



تصویر ۳: از چپ به راست، سایه روی پنجره‌های زون نشیمن در نمای جنوبی (ردیف بالا) و شرقی (ردیف پایین) در ساعات ۱۲ تا ۱۵ روز ۱۷ جولای (WWR90%)

– بهینه‌سازی

با هدف تعیین طراحی بهینه، روش بهینه‌سازی (الگوریتم ژنتیک) در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با موتور انرژی‌پلاس به کار گرفته شد. بهینه‌سازی روشی برای شناسایی و تعیین گزینه‌های طراحی است که به بهترین شکل، اهداف طراحی و عملکرد موردنظر را برآورده می‌سازد. این فرآیند، مشابه با انجام مطالعه پارامتریک است. در این روش، چگونگی تغییر عملکرد بنا یا طرح، با تغییر مشخصات بنا بررسی و بهینه‌ترین حالت شناسایی می‌شود. برای این منظور، یک یا چند متغیر طراحی مانند جنس شیشه و نسبت پنجره به دیوار، و اهدافی مانند به حداقل رساندن مصرف انرژی، انتشار کربن، یا نارضایتی تعریف می‌شود. بهتر است حداکثر سه متغیر تعریف شود. در نهایت، با استفاده از روش بهینه‌سازی، می‌توان تأثیر متغیر موردنظر (انواع مختلف شیشه و درصدهای مختلف نسبت پنجره به دیوار) را بر میزان انتشار کربن، میزان نارضایتی و مصرف انرژی بررسی کرد، و بهینه‌ترین مقادیر برای متغیرهای موردنظر را در طراحی به کار گرفت. در پژوهش حاضر، متغیرها، نسبت پنجره به دیوار، بین ۱۰ تا ۹۰ درصد (بازه‌های ۱٪)، و میزان بازشوی پنجره خارجی، بین ۰ تا ۱۰۰ (بازه‌های ۱٪)، در سطح یک طبقه (و نه فقط زون حرارتی موردنظر) تعریف شد. اهداف، به حداقل رساندن ساعات نارضایتی و به حداقل رساندن دریافت تابش خورشید از طریق پنجره‌های خارجی (برحسب کیلووات‌ساعت) تعیین شد. محاسبات برای مدل‌های پایه (شماره ۱) و مدل بهینه نهایی، طی یک سال (۱ ژانویه تا ۳۱ دسامبر) انجام شد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

آسایش حرارتی افراد، شرایط ذهنی است که میزان رضایت آن‌ها از محیط را بیان می‌کند (اشری، ۲۰۱۷). آسایش حرارتی، مجموعه شرایطی است که حداقل برای ۸۰ درصد از کاربران فضا، از نظر حرارتی مناسب باشد و در آن شرایط، احساس سرما یا گرما نکنند. دو رویکرد اصلی شامل تعادل حرارتی و تطبیقی، برای ارزیابی آسایش حرارتی به کار می‌رود. شاخص‌های «تخمین میانگین آرای افراد»^۹ و «تخمین درصد نارضایتی»^{۱۰} از جمله روش‌های بررسی شرایط آسایش در رویکرد تعادل حرارتی است که مبنای استاندارد بین‌المللی ایزو ۷۷۳۰ قرار گرفته است. شاخص اول، یک تقسیم‌بندی ۷ درجه‌ای است که از ۳- (سرد) تا ۳+ (گرم) تغییر می‌کند. در استاندارد اشری ۵۵، مقادیر بین ۰/۵+ تا ۰/۵-، و در آخرین نسخه استاندارد ایزو ۷۷۳۰، مقادیر بین ۰/۷+ تا ۰/۷- نیز به‌عنوان حدود آسایش تعیین شده است (اشری، ۲۰۱۷؛ اشری، ۲۰۲۰؛ ایزو، ۲۰۰۵).

طراحی بهینه و انتخاب مصالح مناسب برای جداره‌های بیرونی، علاوه بر ایجاد و حفظ شرایط آسایش در داخل بنا، می‌تواند به آسایش حرارتی در فضاهای پیاده اطراف و کاهش جزایر گرمایی شهری (سونگ، ۲۰۱۶) نیز منجر شود. علاوه بر آسایش حرارتی ساکنین، کیفیت نور روز، بارهای انرژی سرمایشی و گرمایشی، نرخ تهویه طبیعی و کیفیت هوای درونی می‌تواند تابعی از نسبت پنجره به دیوار بنا باشد. نسبت پنجره به دیوار از تقسیم مجموع مساحت سطح پنجره (با مساحت قاب‌ها) بر مجموع مساحت ناخالص سطح جداره بیرونی (مجموع مساحت کلیه دیوارهایی که فضای درونی ساختمان را از بیرون جدا می‌کنند) محاسبه می‌شود. در برخی موارد، تنها سطح شیشه‌ای مدنظر قرار می‌گیرد و مساحت قاب‌ها باید از مساحت کل پنجره کم شود. اما برای مثال، در سیستم رتبه‌بندی «طراحی برای بهبود بهره‌وری»^{۱۱} مساحت قاب‌ها نیز باید لحاظ شود. همچنین نماهای شیشه‌ای اسپندرال^{۱۲} در محاسبات سطوح شیشه‌ای (صورت کسر) در نظر گرفته نمی‌شوند. اگرچه در محاسبه مساحت دیوار (مخرج کسر) لحاظ می‌شوند.

مطابق با نتایج یک مطالعه (گویا، هاسه، پرینو، ۲۰۱۳)، مقادیر بهینه این نسبت، وابسته به هندسه ساختمان نیست. مطابق با مطالعات پیشین، شرایط اقلیمی، مشخصات جداره‌ها (مقاومت حرارتی^{۱۳} جداره‌های غیرشفاف، ضریب عبور نور مرئی^{۱۴}، ضریب بهره حرارتی خورشیدی^{۱۵}، و ضریب تبادل حرارتی^{۱۶} جداره‌های شفاف)، و سایه‌اندازی روی پنجره، پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت بهینه هستند. به‌گونه‌ای که افزایش نوسان روزانه دما و اختلاف درجه حرارت بیرون با فضای درونی، سایه‌اندازی نامناسب، و جداره‌هایی با عملکرد نامناسب، می‌تواند به کاهش این نسبت منجر شود. ضریب بهره حرارتی خورشید (گروندزیک، کوک، ۲۰۱۹)، بیانگر میزان مقاومت پنجره (سطح شیشه‌ای و قاب) در برابر حرارت ناشی از تابش خورشیدی است. مقادیر این نسبت می‌تواند بین ۰ و ۱ متغیر باشد. هرچه مقادیر این ضریب بالاتر باشد، به معنی مقاومت کمتر پنجره در برابر تابش خورشیدی و عبور بیشتر تابش و افزایش حرارت ناشی از تابش خورشیدی در فضای داخل است. اگرچه این امر در برخی اقلیم‌ها برای بهره‌گیری از گرمایش غیرفعال مناسب است. علاوه بر این ضریب، کمیت «ضریب سایه»^{۱۷} نیز در برخی منابع معرفی شده است که در محاسبات آن، تنها سطح شیشه‌ای پنجره لحاظ می‌شود. نسبت «عبوردهی نور به گرما»^{۱۸} نیز از تقسیم میزان عبور نور مرئی به ضریب بهره حرارتی خورشیدی به‌دست می‌آید. مقادیر بالاتر این نسبت به معنای کارآمدی نور واردشده به فضای داخل در تأمین روشنایی روز است. در یک پژوهش (بینارتی، ایستیاچی، ساتویکو و ایسوانتو، ۲۰۱۳)، به‌منظور کاهش مصرف انرژی، مقادیر بالاتر این نسبت در اقلیم‌های گرم و مرطوب توصیه شده است. علاوه بر موارد بالا، جهت‌گیری پنجره (آهارماتی، مگیار، ۲۰۱۵) نیز حائز اهمیت است.

اگرچه برخی پژوهش‌های پیشین نیز با استفاده از روش شبیه‌سازی در نرم‌افزارهایی مانند دیزاین بیلدر و ایندور کلایمت؛^{۱۹} لِه ارزیابی نسبت بهینه پنجره به دیوار پرداخته‌اند، با این حال، در مطالعات مختلف، حدود متفاوتی برای این نسبت تعیین شده است. نتایج یک پژوهش (مشیری، ۱۳۸۸) نشان داد حتی در شهرهایی با اقلیم مشابه و گرم و مرطوب (بندرعباس و بلم آبریزل در مطالعه مذکور)، طراحی بنا و نیازمندی‌های ساکنین با یکدیگر متفاوت است. بندر عسلویه در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۴۹ دقیقه و ۹۴ ثانیه شمالی، و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶۲ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی، با ۱۸ متر ارتفاع از سطح آب‌های آزاد، در شرقی‌ترین نقطه استان بوشهر واقع شده است. طبق تقسیم‌بندی چهارگانه اقلیم ایران که بر مبنای پهنه‌بندی اقلیمی کوپن تعیین شده است، منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر در اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) قرار می‌گیرد. همچنین مطابق با تقسیم‌بندی اقلیمی هشت‌گانه رسمی در استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۲۵۳ (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۰؛ ۱۴۰۱)، که در آن، مناطق مختلف کشور بر اساس شرایط سالیانه دما و رطوبت (میانگین حداکثر و حداقل دما در تابستان و زمستان، و میانگین رطوبت نسبی در تابستان و زمستان) طبقه‌بندی شده‌اند، شهر عسلویه دارای اقلیم گرم و مرطوب و با نیاز غالب سرمایش است. ناکنون، برای شهر عسلویه به‌طور خاص، مقادیر این نسبت تعیین نشده است. اغلب پژوهش‌ها در این حوزه بر تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی تمرکز داشته‌اند و مقادیر نسبت بهینه را با هدف کاهش مصرف انرژی محاسبه کرده‌اند (برای نمونه رجوع کنید به (صابر، ۲۰۲۱؛ تروپ، فیلیپس، اکلمن، فانون، ۲۰۱۹). در مطالعه (خوخی، دارصلاح، علی، ۲۰۲۰)، به بررسی تأثیر تغییرات نسبت پنجره به دیوار، در بهبود وضع موجود یک ساختمان و کاهش مصرف انرژی بنا پرداخته شده است. اشری در استاندارد ۱. ۹۰ (اشری، ۲۰۰۷؛ اشری، ۲۰۱۹)، با هدف تأمین نور روز و تهویه طبیعی بهینه در فضای داخل، پیشگیری از افزایش بیش از حد گرما در فضای داخل، و کاهش مصرف انرژی، مقادیری برای این نسبت پیشنهاد داده است. با این حال، باتوجه به اینکه حد کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی است، در مطالعه حاضر، مقادیر بهینه، با هدف دستیابی به آسایش حرارتی و همچنین به حداقل رساندن ساعات نارضایتی و حرارت ناشی از تابش خورشیدی تعیین شد.

علاوه بر این، در پژوهش‌های صورت‌گرفته در این حوزه، اغلب تبادل حرارت از جداره‌های داخلی و کف و سقف، صفر (آدیاباتیک) در نظر گرفته شده است و یا تنها یک فضای مجرد، مدلسازی شده است. علاوه بر این، به پارامترهایی مانند ضریب بهره حرارتی خورشیدی توجه نشده است. جلوگیری از اتلاف حرارت از طریق پوسته بیرونی، بدون توجه به ضریب بهره حرارتی، ممکن است منجر به کاهش آسایش حرارتی و افزایش بار حرارتی ساختمان شود. همچنین، تکنیک‌های بهینه‌سازی صورت نگرفته است و تنها به مقایسه دو یا چند نسبت با یکدیگر پرداخته شده است. در مطالعه حاضر، علاوه بر بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر نسبت بهینه، و مقایسه نسبت‌های مختلف، تکنیک‌های بهینه‌سازی نیز به کار گرفته شد. بعلاوه، به مقادیر بهینه بازشوی پنجره، در کنار نسبت بهینه پنجره به دیوار در پیکربندی‌های مختلف (وضع موجود و پیشنهادی) پرداخته شد.

یافته‌ها و بحث

– تأثیر پیکربندی‌های مختلف بر نسبت بهینه پنجره به دیوار

مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی برحسب کیلووات، در زون نشیمن طبقه آخر، در روز پیک حرارتی (۱۷ جولای)، در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه، در نمودارهای تصویر ۴ نمایش داده شده است. شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، و میزان دریافت تابش، طی یک سال و

در بازه‌های زمانی یک ساعت، برای همه مدل‌ها، در جدول ۳ گزارش شده است. محاسبات برای کل ساختمان انجام شد، اما تنها یافته‌های زون نشیمن گزارش شده است.

با هدف بررسی و مقایسه چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف بر مدل پایه، شاخص آسایش، درصد ناراضی، و میزان دریافت تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های خارجی، در مدل‌های ۱ تا ۹، و برای نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪، در نمودارهای تصویر ۵ نمایش داده شده است.

مطابق با این نمودارها، در مدل شماره ۱، علاوه بر اینکه در هیچ حالتی، شاخص PMV، در محدوده آسایش قرار ندارد، در روز و ساعت پیک حرارتی، با هر ۲۰٪ افزایش WWR، شاخص آسایش، به میزان حدود یک پله افزایش یافته است.

نمودارهای مدل‌های ۱، ۲، ۳ و ۹ (قاب UPVC، چوبی، آلومینیومی حرارت‌شکن، سایه‌انداز داخلی رفلکتیو) بر هم منطبق شده‌اند. نمودار مدل ۵ (عایق حرارتی)، به نمودار مدل‌های ۱، ۲، ۳ و ۹ بسیار نزدیک است.

شاخص آسایش حرارتی، در روز پیک حرارتی و در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه، در مدل‌های ۱، ۲ و ۳، با تغییر جنس قاب پنجره (UPVC، چوبی و یا آلومینیومی حرارت‌شکن)، تغییری نداشته است. مطابق با جدول ۳ نیز در طول یک سال، جنس قاب پنجره، تأثیری در افزایش ساعات آسایش، کاهش ساعات ناراضی، و کاهش دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی ندارد. همچنین، افزایش نسبت بهینه از ۱۰٪ به ۳۰٪ (طراحی متداول)، تأثیر قابل توجهی در کاهش ساعات آسایش یا ساعات رضایتمندی نداشته است.

اگرچه در روز پیک حرارتی، آسایش حرارتی برقرار نیست (شاخص PMV در محدوده -0.5 تا $+0.5$ قرار ندارد)، و مدل‌های مختلف، از نظر شاخص آسایش و درصد ناراضی و میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف خارجی، اختلاف قابل توجه ندارند، مدل شماره ۶ (بهره‌گیری از شیشه بهینه)، در مقایسه با سایر مدل‌ها، وضعیت بهتری دارد. میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف، در مدل ۶ با سایر مدل‌ها اختلاف قابل توجه‌تری دارد.

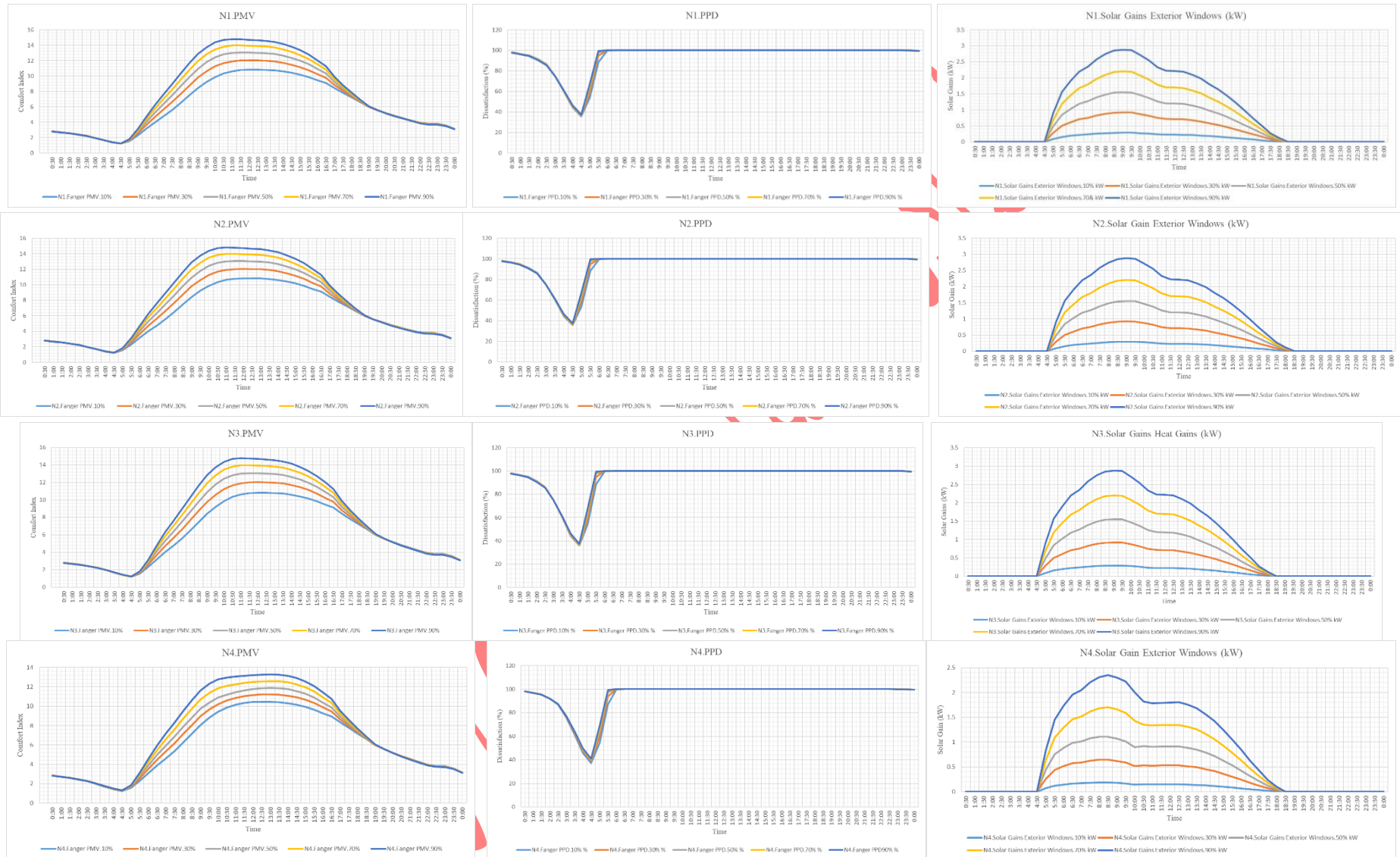
در جدول ۳، مدل‌های ۱ تا ۹، از نظر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضی، و میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف خارجی، برای کل سال در بازه‌های زمانی یک ساعته مقایسه شده‌اند. در مجموع، شیشه بهینه (مدل ۶) بیشترین تأثیرگذاری را بر افزایش ساعات آسایش، کاهش ساعات ناراضی، و کاهش تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های خارجی داشته است.

در نهایت، قاب آلومینیومی حرارت‌شکن، عایق حرارتی (تأثیرگذار بر کاهش بار سرمایشی در زمان استفاده از سرمایش مکانیکی)، شیشه بهینه، سایبان افقی و عمودی در اطراف پنجره‌ها به عمق ۱ متر، در مدل شماره ۱۰ لحاظ شد. یافته‌های شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی، برای روز پیک حرارتی، در نمودارهای تصویر ۶ و برای یک سال در بازه‌های زمانی یک ساعت، در جدول ۳ نمایش داده شده است. در مدل شماره ۱۰، با در نظر گرفتن قاب آلومینیومی حرارت‌شکن، عایق حرارتی، شیشه بهینه، سایبان در طرفین پنجره (قرارگیری پنجره‌ها در سایه) و به عمق ۱ متر، شاخص آسایش حرارتی، با تغییر WWR از ۱۰٪ به ۹۰٪، تغییر قابل توجه ندارد. در تصویر ۷، مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن در طبقه آخر، برای نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪ در مدل‌های ۱ تا ۱۰ با یکدیگر مقایسه شده است.

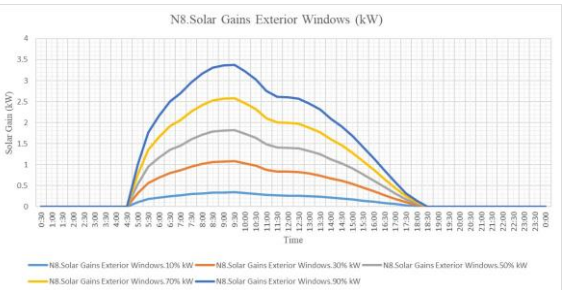
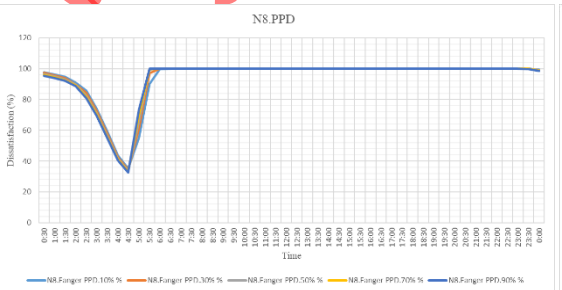
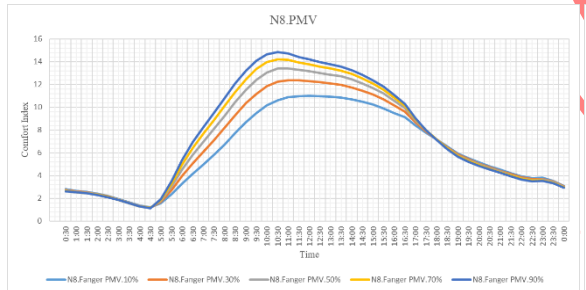
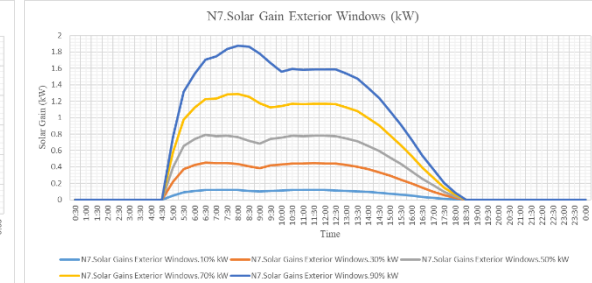
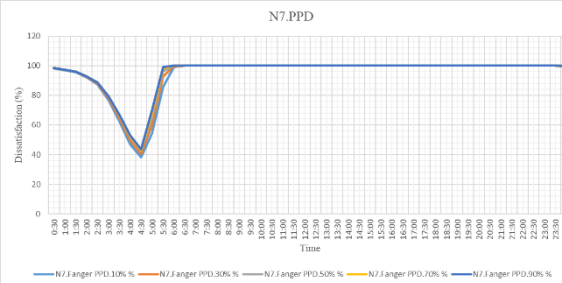
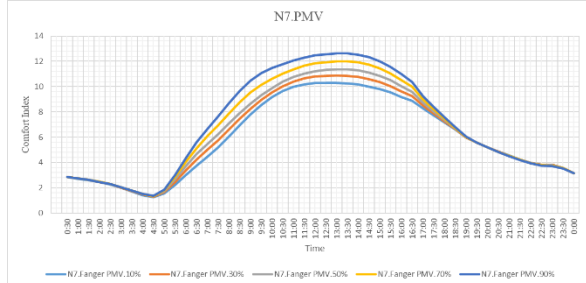
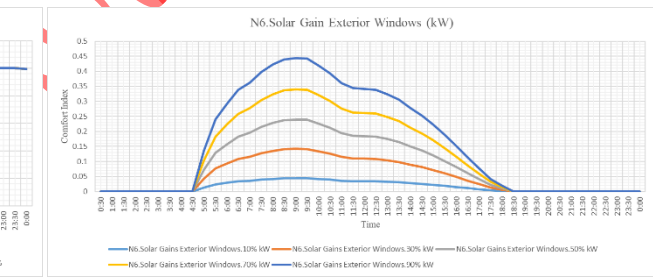
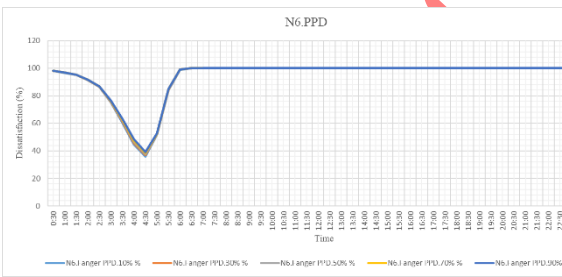
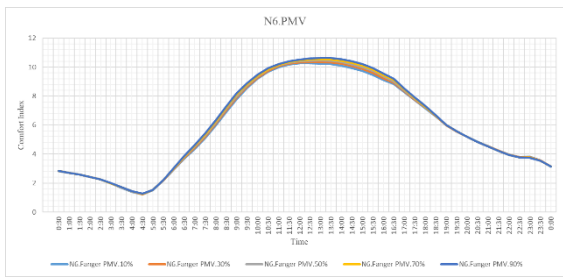
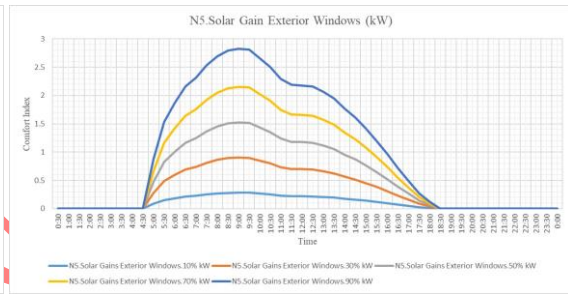
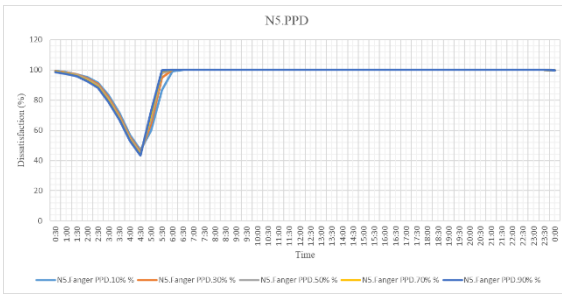
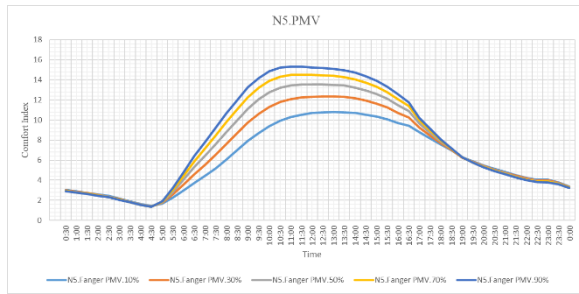
– یافته‌های بهینه‌سازی (مقادیر بهینه ابعاد و بازشوی پنجره)

برای مدل شماره ۱، نسبت ۱۰٪ برای WWR، و ۱۰۰٪ برای بازشو به عنوان طراحی بهینه به دست آمد. در این صورت، مجموع میزان ساعات ناراضی و دریافت تابش، به ترتیب، معادل 2979.6418 ساعت و 15039.06 کیلووات تعیین شد. برای مدل شماره ۱۰، طراحی بهینه، مطابق با خروجی نرم‌افزار در جدول ۴ گزارش شده است. پراکندگی تغییرات ساعات ناراضی و دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی، و مقادیر WWR برای مدل شماره ۱ و ۱۰، در نمودارهای تصویر ۸ نمایش داده شده است.

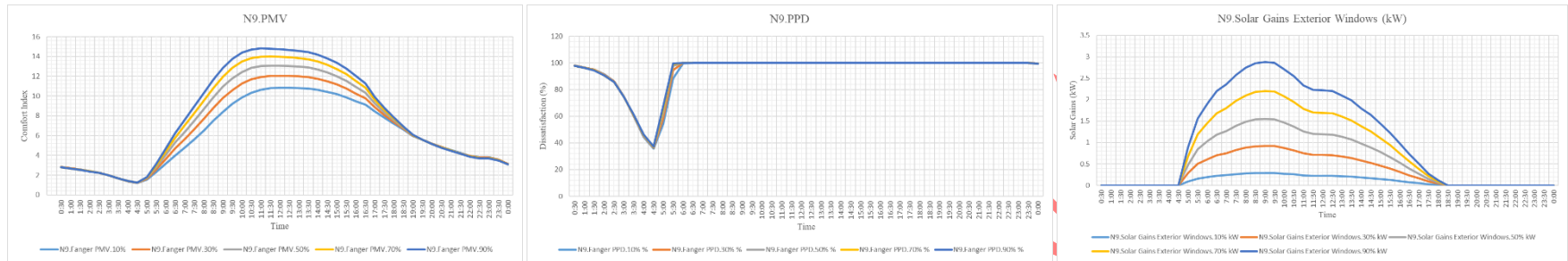
طبق جدول ۴، مدل شماره ۱۰، و با یکی از نسبت‌های تعیین شده برای نسبت دیوار به پنجره، و بازشوی پنجره، شرایط طراحی بهینه است.



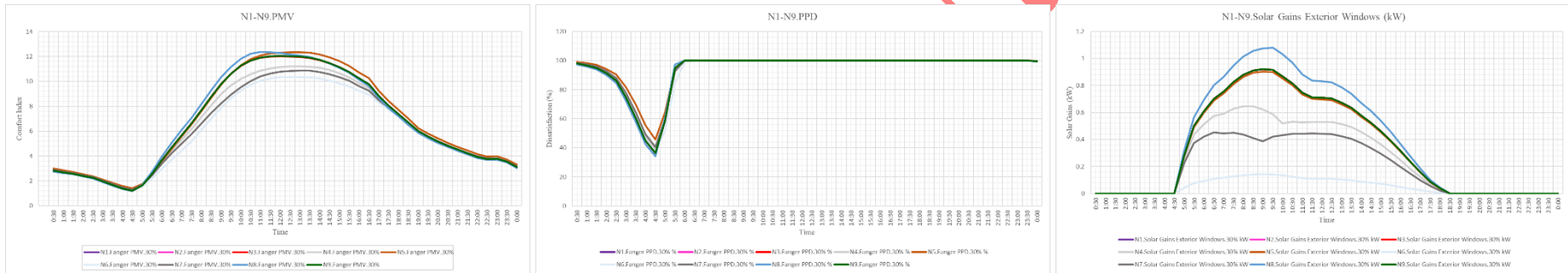
تصویر ۴: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضیاتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۹، نسبت پنجره به دیوار ۱۰٪ تا ۹۰٪



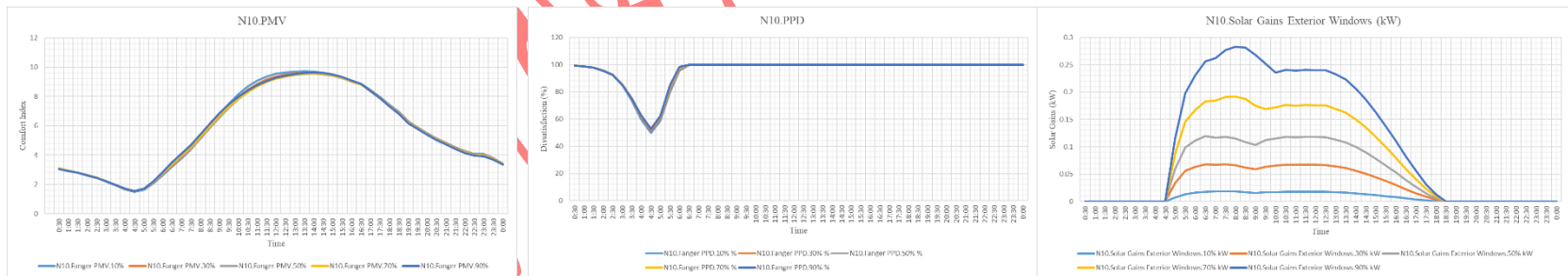
ادامه تصویر ۴: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۹، نسبت پنجره به دیوار ۱۰٪ تا ۹۰٪



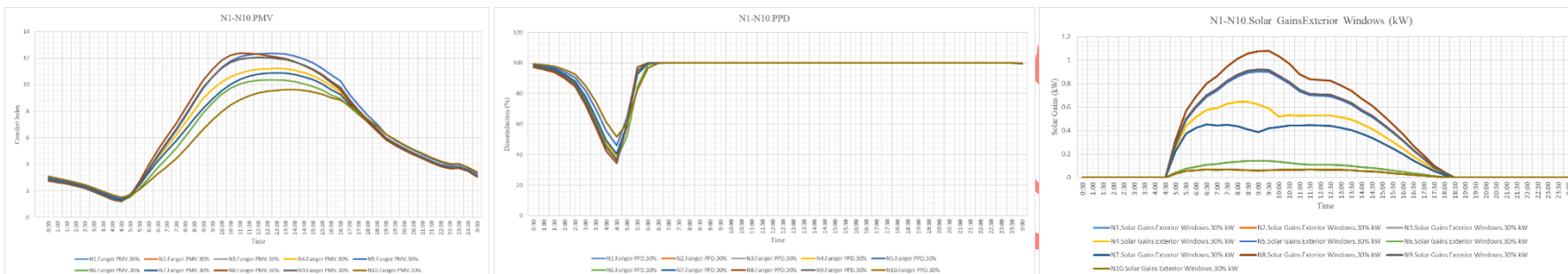
ادامه تصویر ۴: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضیاتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۹، نسبت پنجره به دیوار ۱۰٪ تا ۹۰٪



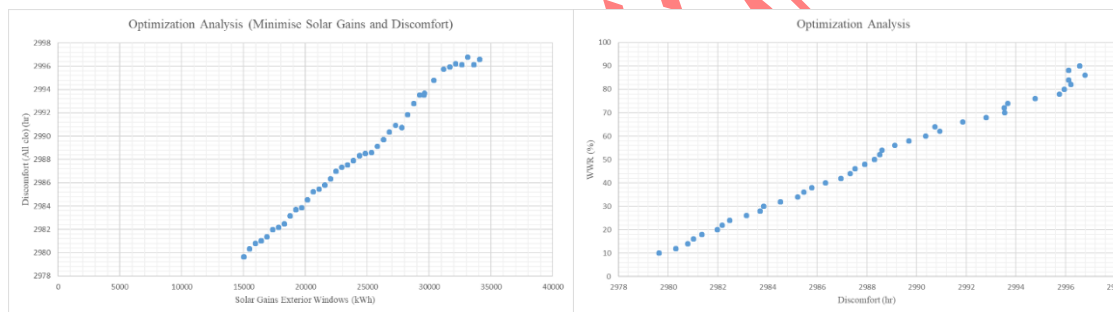
تصویر ۵: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضیاتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۹، نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪



تصویر ۶: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضیاتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل ۱۰، نسبت پنجره به دیوار ۱۰٪ تا ۹۰٪

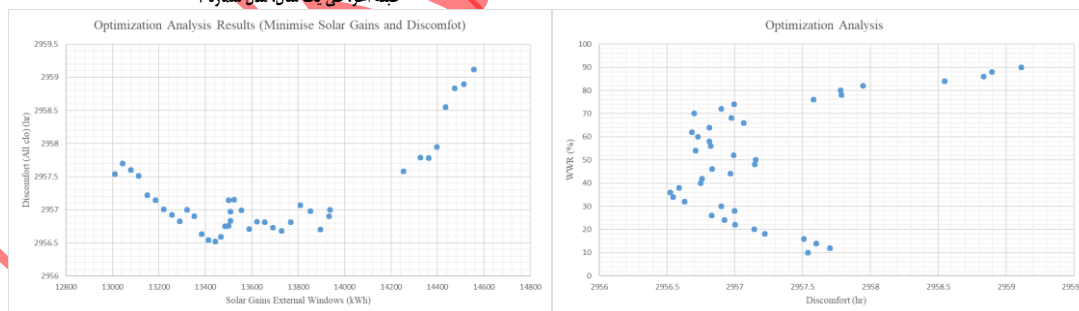


تصویر ۷: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد ناراضیاتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن، طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۱۰، نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪



نمودار پراکنندگی ساعات ناراضیاتی و میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف خارجی، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱

نمودار پراکنندگی ساعات ناراضیاتی و WWR، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱



نمودار پراکنندگی ساعات ناراضیاتی و میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف خارجی، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱۰

نمودار پراکنندگی ساعات ناراضیاتی و WWR، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱۰

تصویر ۸: نمودارهای بهینه‌سازی در مدل شماره ۱ (مدل پایه) و شماره ۱۰ (مدل بهینه)

جدول ۳: مجموع ساعات آسایش (0.5<PMV<+05) و (0<PPD<20%) و مجموع انرژی دریافتی بر پنجره خارجی در یک سال

(یافته‌های مدل‌سازی در فواصل زمانی یک ساعت در زون نشیمن در کل سال)

مشخصات مدل	شماره مدل	مجموع ساعات آسایش (0.5<PMV<+05)					مجموع ساعات ناراضی کمتر از ۲۰٪					مجموع انرژی دریافتی سالانه بر جداره خارجی (kW)				
		WWR (%)					WWR (%)					WWR (%)				
		10	30	50	70	90	10	30	50	70	90	10	30	50	70	90
مدل پایه	N1	655	609	572	556	539	1015	913	842	793	773	1124.32	3574.00	6023.74	8543.15	1160.60
قاب چوبی	N2	655	609	572	556	538	1015	912	842	793	773	1124.32	3574.00	6023.74	8543.15	1160.60
قاب آلومینیومی حرارت‌شکن	N3	656	608	573	561	538	1015	914	845	795	773	1124.32	3574.00	6023.74	8543.15	1160.60
سایبان مطابق میحت ۱۹، ۵/۵ متر	N4	666	643	608	586	575	1060	995	915	857	809	677.90	2504.76	4342.90	6605.00	9038.16
عایق حرارتی پلی‌استایرن	N5	649	602	560	543	523	1032	925	834	787	755	1104.21	3513.70	5923.16	8360.16	10971.28
شیشه بهینه	N6	689	674	669	662	656	1073	1061	1053	1046	1039	173.44	551.34	929.24	1317.90	1721.68
سایبان مطابق میحت ۱۹، ۱ متر	N7	695	673	656	609	589	1081	1056	1028	936	872	436.75	1784.86	3170.31	5104.86	7290.84
شیشه تک‌چداره	N8	648	586	570	561	538	1006	868	818	767	746	1312.80	4172.83	7032.93	9974.61	13030.37
سایه‌انداز داخلی رفلیکتیو	N9	655	609	572	556	540	1015	914	843	795	773	1123.12	3570.24	6017.41	8534.15	11148.87
مدل بهینه	N10	723	737	752	743	739	1166	1196	1217	1210	1190	65.73	269.75	479.68	764.68	1100.41

جدول ۴: یافته‌های بهینه‌سازی WWR و بازشوی پنجره، در مدل شماره ۱۰ (جداره‌های بهینه)

WWR (%)	External window open (%)	Discomfort ASHRAE 55 (All clothing) (hr)	Solar Gains External Windows (kW)
10	75	2957.5411	13010.76
16	49	2957.5077	13113.51
18	84	2957.2204	13149.30
20	54	2957.1436	13185.54
22	66	2957.0027	13221.67
24	36	2956.9244	13256.21
26	94	2956.8284	13289.29
32	38	2956.6309	13384.67
34	5	2956.5450	13414.78
36	5	2956.5242	13443.11

نتیجه‌گیری

مطابق با یافته‌ها، استفاده از قاب آلومینیومی حرارت‌شکن با ضریب هدایت حرارتی معادل ۰/۱۶ W/m-K و برای لایه‌های بیرونی و درونی، شیشه با ضریب بهره حرارتی خورشیدی، ضریب عبور نور مرئی و ضریب انتقال حرارت سطحی به ترتیب برابر با ۰/۵۸۷، ۰/۵۷۰ و ۶/۱۲۱ W/m²-K و سایبان افقی و عمودی در اطراف پنجره به عمق ۰/۵ تا ۱ متر در طرفین پنجره‌ها با ضریب هدایت حرارتی سطحی ۰/۳۸ W/m-K به عنوان مدل بهینه معرفی شد. عایق حرارتی در دستیابی به اهداف پژوهش حاضر (به حداقل رساندن ساعات ناراضی و تابش دریافتی) تأثیر قابل توجه ندارد. در چنین شرایطی، یکی از مقادیر ۱۰٪، ۱۸٪، ۲۰٪، ۲۲٪، ۲۴٪، ۲۶٪، ۳۲٪، ۳۴٪، ۳۶٪، به عنوان مقادیر بهینه برای نسبت پنجره به دیوار، قابل استفاده است. همچنین، مقادیر بهینه بازشوی پنجره، برای هر یک از نسبت‌های مذکور، به ترتیب برابر است با ۷۵٪، ۴۹٪، ۸۴٪، ۵۴٪، ۶۶٪، ۳۶٪، ۹۴٪، ۳۸٪، ۵٪، ۵٪.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد جنس شیشه (ضریب عبور نور مرئی و ضریب انتقال حرارت) و ضریب بهره حرارتی خورشیدی، بیشترین تأثیر را بر مقادیر نسبت بهینه پنجره به دیوار دارند. از آنجاکه با افزایش نسبت پنجره به دیوار، میزان دریافت تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های خارجی افزایش می‌یابد و شاخص آسایش حرارتی از محدوده آسایش دور می‌شود، برای اقلیم‌های گرم و مرطوب، به حداقل رساندن این نسبت توصیه شده است. اما با انتخاب مصالح مناسب برای شیشه می‌توان این نسبت را افزایش داد؛ به طوری که با تغییر نسبت پنجره به دیوار، در شاخص آسایش حرارتی، تفاوت قابل توجهی ایجاد نمی‌شود (نمودارهای مدل شماره ۱۰ در تصویر ۶). با انتخاب مصالح مناسب در مطالعه حاضر، در نسبت پنجره به دیوار ۳۰٪ (نسبت متداول در طراحی بناها)، بدون استفاده از سیستم‌های سرمایش مکانیکی، فضای داخل، حداقل ۷۳۷ ساعت در کل سال، در محدوده آسایش قرار می‌گیرد (مدل شماره ۱۰ در جدول ۳). با این ابعاد پنجره و با مصالح پیشنهادی مطالعه حاضر به جای مصالح متداول در ساخت و ساز، می‌توان میزان دریافت تابش خورشیدی را از مجموع ۳۵۷۴ کیلووات طی یک سال، به ۲۷۰ کیلووات رساند.

در مناطق گرم و مرطوب، به دلیل دما و رطوبت زیاد هوا، برای ایجاد منطقه آسایش، استفاده از سیستم‌های سرمایش مکانیکی و جلوگیری از ورود هوای گرم خارج به فضای داخل ضرورت دارد. در چنین شرایطی، به نظر می‌رسد برای استفاده از تهویه طبیعی، خنک‌سازی هوا پیش از ورود به ساختمان مفید باشد. بررسی امکان کاهش دمای هوا پیش از ورود به فضای داخل، و در نتیجه افزایش ساعاتی که می‌توان از تهویه طبیعی استفاده کرد، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، در این مطالعه، تنها یکی از چالش‌های استفاده از تهویه طبیعی در اقلیم گرم و مرطوب مطرح شد. آلودگی هوا و ریزگردها و ذرات معلق، یکی دیگر از این محدودیت‌ها است که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به آن پرداخته شود.

باتوجه به اینکه حد کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی است، و کنترل تابش خورشیدی نیز یکی از اصول طراحی اقلیمی در اقلیم گرم و مرطوب است، بررسی طراحی بهینه در مطالعه حاضر، با هدف به حداقل رساندن تابش خورشیدی و ساعات ناراضی، در زمان بهره‌گیری از تهویه طبیعی انجام شد. مجموع ساعاتی که می‌توان با استفاده از تهویه طبیعی به حدود آسایش حرارتی دست یافت، محاسبه شد. برای مطالعات آینده، یافتن طراحی بهینه با هدف کاهش بارهای سرمایش مکانیکی ساختمان پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۰). استاندارد ملی ایران ۱۴۲۵۳: ساختمان‌های مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی. چاپ اول. ویرایش اول. تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.

سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۴۰۱). استاندارد ملی ایران ۱۴۲۵۳: ساختمان‌های مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی. تجدیدنظر اول. ویرایش اول. تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.

مشیری، شهریار. (۱۳۸۸). طراحی پایدار بر مبنای اقلیم گرم و مرطوب. هویت شهر، ۳(۵)، ۳۹-۴۶.

وزارت راه و شهرسازی، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۹). مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نوزدهم؛ صرفه‌جویی در مصرف انرژی. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

- ASHRAE. (2007). *ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Retrieved from <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>.
- ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Retrieved from <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>.
- ASHRAE. (2019). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Retrieved from <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>.
- ASHRAE. (2020). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Peachtree Corners, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Retrieved from <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>.
- Banihashemi, S., Golizadeh, H., Hosseini, M. R., & Shakouri, M. (2015). Climatic, parametric and non-parametric analysis of energy performance of double-glazed windows in different climates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(2), 307-322. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.09.002>
- Binarti, F., Istiadji, A. D., Satwiko, P., & Iswanto, P. T. (2013). Interlayer and cavity contribution to creating high light-to-solar-gain-ratio glass block from waste glasses. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 4(1), 82-88. doi:<https://doi.org/10.1080/2093761X.2012.759891>
- Goia, F., Haase, M., & Perino, M. (2013). Optimizing the configuration of a façade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective. *Applied energy*, 108, 515-527. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.063>
- Grondzik, W. T., & Kwok, A. G. (2019). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Harmati, N., & Magyar, Z. (2015). Influence of WWR, WG and glazing properties on the annual heating and cooling energy demand in buildings. *Energy Procedia*, 78, 2458-2463. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.229>
- INBR. (2020). *National building codes: topic 19: Energy saving* (in Persian). Tehran: Road, Housing & Urban Development Research Center. Retrieved from <https://inbr.ir/?p=5798>.
- INSO. (2022). *National standard of Iran (INSO 14253): Residential building- Criteria for energy consumption and energy labeling instruction* (in Persian). 1st. Revision. Tehran: Iran National Standards Organization. Retrieved from <https://standard.inso.gov.ir/StandardView.aspx?Id=56975>.
- ISIRI. (2012). *National standard of Iran (ISIRI 14253). Residential Building- Criteria for Energy Consumption and Energy Labeling Instruction* (in Persian). 1st. Edition. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran Retrieved from <https://standard.inso.gov.ir/StandardView.aspx?Id=36156>.
- ISO. (2005). *ISO 7730:2005: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local*

- thermal comfort criteria*. Switzerland: International Organization for Standardization. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/39155.html>
- Kempton, L., Daly, D., Kokogiannakis, G., & Dewsbury, M. (2022). A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality. *Journal of Building Engineering*, 57, 104798. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104798>
- Khoukhi, M., Darsaleh, A. F., & Ali, S. (2020). Retrofitting an existing office building in the UAE towards achieving low-energy building. *Sustainability*, 12(6), 2573. doi:<https://doi.org/10.3390/su12062573>
- Lee, T. G., De Biasio, D., & Santini, A. (1996). *Health and the built environment: Indoor air quality*. Calgary, Alberta: The University of Calgary. Retrieved from <http://www.mtpinnacle.com/pdfs/iaq.pdf>
- Moshiri, S. (2009). Sustainable Design Based on Hot and Humid Climate (in Persian). *Hoviatshahr*, 3(5), 39-46. doi: 20.1001.1.17359562.1388.3.5.4.8
- Saber, A. (2021). Effects of window-to-wall ratio on energy consumption: application of numerical and ANN approaches. *Soft Computing in Civil Engineering*, 5(4), 41-56. doi:<https://dx.doi.org/10.22115/SCCE.2021.281977.1299>
- Sung, D. (2016). A new look at building facades as infrastructure. *Engineering*, 2(1), 63-68. doi:<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.01.008>
- Troup, L., Phillips, R., Eckelman, M. J., & Fannon, D. (2019). Effect of window-to-wall ratio on measured energy consumption in US office buildings. *Energy and Buildings*, 203, 109434. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109434>
- Zhao, X., Yin, Y., He, Z., & Deng, Z. (2023). State-of-the-art, challenges and new perspectives of thermal comfort demand law for on-demand intelligent control of heating, ventilation, and air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 113325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113325>
- Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and sustainable energy reviews*, 59, 895-906. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>

پی نوشتها

1. Window to Wall Ratio (WWR)
 2. Template
 3. Common circulation area (For all common circulation areas such as corridors and stairways outside the dwelling)
 4. Unoccupied
 5. Domestic circulation (For all circulation areas within the dwelling)
 6. Domestic Bathroom/Domestic Toilet (An area specifically used for bathing/washing. Contains a bath and/or shower and usually a basin and toilet/An area containing a toilet and basin which is separate from main bathroom)
 7. Domestic bedroom (An area primarily used for sleep)
 8. Domestic Lounge (The main reception room of the home)
 9. Domestic Kitchen (The area within the dwelling where food is prepared)
- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 · Zone Type | 0 |
| 1 · Semi-exterior unconditioned | 1 |
| 1 · Standing/walking | 2 |
| 1 · Reclining | 3 |
| 1 · Thermal absorptance | 4 |
| 1 · Emissivity | 5 |
| 1 · Conductivity | 6 |
| 1 · Optimization | 7 |
- 1 · Thermal comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment (SHRAE Standing Standard Project Committee 55 Cognizant TC: 2.1, Physiology and Human Environment).
 - 1 · Predicted Mean Vote (PMV) ⁹
 - 2 · Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)
 - 2 · \sum Glazing area (m²)/ \sum Gross exterior wall area (m²)
 - 2 · (Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE))
 - 2 · Spandrel ³
 - 2 · Thermal resistance (R-Value) ⁴
 - 2 · Light Transmission (LT) ⁵
 - 2 · Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)
 - 2 · Thermal transmittance (U-Value) ⁶

2 · Shading Coefficient (SC)	8
2 · Light-to-Solar Gain (LSG)	9
3 · window geometry (WG)	0
3 · IDA-ICE	1
3 · Belém	2
3 · Adiabatic	3

آماده انتشار فدره‌های زیبا