

The Optimal Dimensions and Opening Area for Windows in Residential Buildings in the Hot-Humid Climate of Asalouyeh City*

Mohsen Mohammadi¹  , Zahra Ghiabaklou^{**2}  , Hamed Moztarzadeh³ 

¹ PhD Candidate of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

² Associate Professor, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

³ Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

(Received: 28 Jun 2023; Received in revised form: 12 Aug 2023; Accepted: 21 Sep 2023)

Objective: Establishing thermal comfort zones solely through natural ventilation in hot and humid climates is challenging. Continuous reliance on mechanical cooling can compromise indoor air quality, posing health risks to building occupants. The building's skin and windows play a crucial role in the heat exchange, cooling loads, energy demands, and the thermal comfort of the residents. This study aimed to minimize total annual discomfort hours and solar radiation heat gain from external windows while utilizing natural ventilation in a residential building in Asalouyeh City's hot humid climate. Additionally, the study examined the impact of transparent and opaque wall materials, as well as window shadings, on the optimal Window-to-Wall Ratio (WWR) to minimize solar gain and discomfort hours. **Method:** Data collection was performed using simulation in DesignBuilder software version 6.1.0.006. For each common and proposed configuration of building construction and different values for WWR (10%-90%), the annual Predicted Mean Vote (PMV) and the Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) 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 ($+0.5 < PMV < -0.5$, $0 < PPD < 20\%$). The annual total hours during which achieving thermal comfort through natural ventilation is possible were calculated. Finally, the optimal window-to-wall ratio and opening areas in the optimal construction configuration were determined using the optimization method. **Results:** 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

proposed materials. The zone lounge remained within the comfortable range for at least 737 hours throughout the year, thanks to natural cooling. Optimal WWR values included 10%, 16%, 18%, 20%, 22%, 24%, 26%, 32%, 34%, 36% in combination with open areas of 75%, 49%, 84%, 54%, 66%, 36%, 94%, 38%, 5%, 5% respectively. 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 low emissivity 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 of the frame 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

Citation: Mohammadi, Mohsen; Ghiabaklou, Zahra, & Moztarzadeh, Hamed (2023). Determining the optimal dimensions and opening area for windows in residential buildings in the hot-humid climate of Asalouyeh city, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(3), 91-105. (in Persian) DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2024.363130.672895>



*This article is extracted from the first author's doctoral dissertation, entitled: "A cooling system with dust-free air ventilation for polluted areas in the hot-humid climate; Case study: Residential buildings in Asalouyeh city", which is processing under the supervision of the second author and the advisory of the third author at the Islamic Azad University of Shiraz.

** Corresponding Author: Tel:(+98-912) 1469579, E-mail: ghiabaklou@ut.ac.ir

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

محسن محمدی^۱، زهرا قیابکلو^{۲*}، حامد مضطربزاده^۲

^۱ دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

^۲ دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۳ دانشیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰)

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، از طریق شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌سیلدر، با هدف به حداقل رساندن ساعت‌های 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 ساعتی 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 خورشید، 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٪، ۴۹٪، ۵۴٪، ۶۶٪، ۳۶٪، ۲۰٪، ۲۴٪، ۲۶٪، ۳۲٪، ۳۴٪، ۳۶٪ برای نسبت پنجره به دیوار، با عنوان «سامانه سرمایشی بهینه سازی، ضریب بهره حرارتی خورشیدی، عسلویه» بهینه هستند.

واژه‌های کلیدی

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

استناد: محمدی، محسن؛ قیابکلو، زهرا؛ مضطربزاده، حامد (۱۴۰۲)، تعیین مقادیر بهینه ابعاد و بازشوی پنجره در بناهای مسکونی اقلیم گرم و مرطوب شهر عسلویه،

نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، آسایش حرارتی، تهویه طبیعی، بهینه‌سازی، ضریب بهره حرارتی خورشیدی، عسلویه DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2024.363130.672895> . ۱۰۵-۹۱ . (۳)۲۸ .

* مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «سامانه سرمایشی به همراه تهویه با هوای بدون غبار برای مناطق آبوده در اقلیم گرم و مرطوب؛ نمونه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر عسلویه» می‌باشد که با راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز در حال انجام است.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۴۶۹۵۷۹، E-mail: ghiabaklou@ut.ac.ir



مقدمه

نسبت بهینه سطح پنجره (جداره شبشهای) به سطح دیوار (کل نما)^۱، ضمن در نظر گرفتن پارامترهایی مانند ضریب بهره خورشیدی و نیازهای تهویه و روشنایی، منطقی تر باشد.

با توجه به موارد بیان شده، 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 عسلویه، با هدف کاهش و به حداقل رساندن نارضایتی حرارتی و میزان حرارت ناشی از تابش روی سطح پنجره، بر مبنای پیکربندی های مختلف جداره های شفاف و غیرشفاف داخلی و خارجی بنا و سایه اندازه های روی پنجره، در ساخت و ساز متداول و پیشنهادی شهر عسلویه می پردازد. براساس اهداف مطرح شده، پرسش های زیر، پژوهش حاضر را هدایت می کنند:

۱. در صورت بهره گیری از تهویه طبیعی، در پیکربندی های مختلف جداره های شفاف و غیرشفاف و حالات مختلف سایه اندازی روی پنجره، در مقادیر مختلف نسبت پنجره به دیوار، وضعیت آسایش حرارتی چگونه است (مجموع ساعات نارضایتی و آسایش حرارتی و همچنین میزان تابش دریافتی از پنجره های خارجی چقدر است؟)

۲. در شرایط مذکور، کدام پارامتر بر مقادیر نسبت پنجره به دیوار تأثیرگذارتر است؟

۳. از میان پیکربندی های مختلف، مدل بهینه کدام است؟

۴. در مدل نهایی، در صورت بهره گیری از تهویه طبیعی، مقادیر بهینه نسبت پنجره به دیوار و بازشوی پنجره از منظر آسایش حرارتی (به حداقل رساندن ساعات نارضایتی، به حداقل رساندن میزان تابش دریافتی از پنجره های خارجی) چقدر است؟

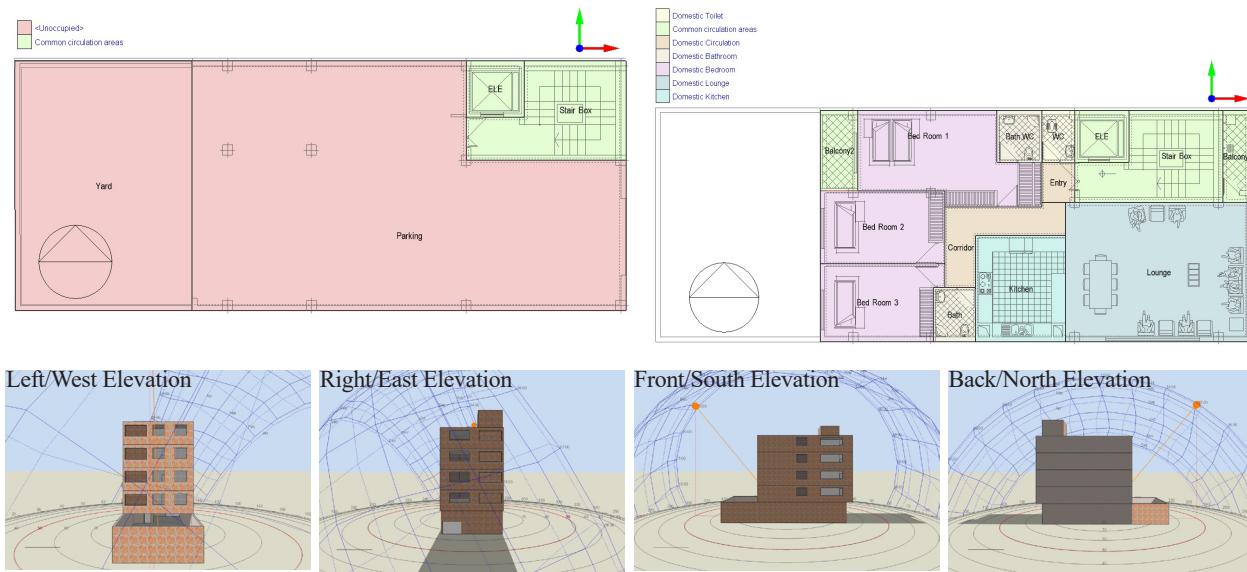
به طور کلی در اقلیم گرم و مرطوب، افزایش بهره گیری از تهویه و کوران هوا به منظور کنترل رطوبت بالا، و سایه اندازی به منظور کنترل تابش و کاهش جذب حرارت، در طراحی اقلیمی بنا حائز اهمیت هستند. دما و رطوبت بالا در اقلیم های گرم و مرطوب، از جمله مهم ترین محدودیت های استفاده از تهویه طبیعی است. اگرچه تهویه طبیعی به کاهش مصرف انرژی ساختمان منجر می شود، حد کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی است. برای ایجاد آسایش حرارتی بهویزه در شرایط بحرانی، استفاده از دستگاه های سرمایش مکانیکی ضروری است. از سوی دیگر، استفاده مداوم از سرمایش مکانیکی مانند کولرهای گازی، ساکنین ساختمان را از هوای تازه محروم می کند. افراد درصد از زمان خود را در محیط های داخلی می گذرانند (زادو و همکاران^۱؛ ۲۰۲۳؛ زمردان، تحصیل دوست و حافظی^۲؛ ۲۰۱۶). ساختمان های هوابندی شده و فاقد تهویه مناسب، اگرچه تلفات انرژی سیستم های سرمایش مکانیکی را کاهش می دهند، کیفیت هوای داخل و سلامت ساکنین را به خطر می اندازند (کمپتوں و همکاران^۳؛ لی، دی بیاسیو، سانتینی^۴؛ 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 به طور کلی رفتار حرارتی ساختمان تأثیرگذار است. جداره های شفاف، به دلیل مقاومت حرارتی کمتر، تأثیرگذاری بیشتری دارند. اگرچه، به حداقل رساندن 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 می رسد، به حداقل رساندن مساحت پنجره، در همه موارد و اقلیم ها، راه کار مناسبی نباشد و تعیین

ساختمان از سه طرف با محیط بیرون در ارتباط است. زون نشیمن از دو طرف بایرون، و از یک طرف با یک فضای کنترل نشده در ارتباط است. در تصویر (۱)، پلان ها، زون ها و نمایهای ساختمان نمایش داده شده است. مطابق با این تصویر، برای طبقه همکف، چهار زون شامل آسانسور، فضای پارکینگ، پله ها، و حیاط تعریف شد. برای طبقات اول تا چهارم، زون های آسانسور، پله ها، فضای ورودی واحد، راهروهای داخلی، سرویس ها، اتاق های خواب، بالکن ها، نشیمن، و آشپزخانه تعریف شد. در تعریف قالب^۷ هر زون حرارتی (تصویر ۱)، برای آسانسور، پله ها و بالکن ها، تنظیمات فضای متداول گردشی^۸، و برای پارکینگ و حیاط، فضای اشغال نشده^۹ در نظر گرفته شد. برای سایر فضاهای شامل فضای ورودی واحد و راهروهای داخلی^{۱۰}، سرویس ها^{۱۱}، اتاق های خواب^{۱۲}، نشیمن^{۱۳}، و آشپزخانه^{۱۴}، متناسب با کاربری هر فضا یا زون، قالب مناسب (طبق مواد پی نوشت) در نظر گرفته شد. نوع زون ها^{۱۵} استاندارد (تنظیمات فضاهای کنترل شده)، و برای فضاهای اشغال نشده مانند حیاط، تنظیمات فضای کنترل نشده^{۱۶} در نظر گرفته شد. نوع فعالیت افراد در هر فضا یا زون، متناسب با کاربری فضا تعیین شد. برای فضاهای چرخشی و حرکتی مانند آسانسور، پله ها، پارکینگ، حیاط، بالکن ها و فضای ورودی واحد ها، حالت ایستاده یا راه رفتن (قدم زدن)^{۱۷}، برای اتاق های خواب، آشپزخانه و

روش پژوهش

مهم ترین 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 پیکربندی های پنجره، در اقلیم گرم و مرطوب شهر عسلویه است. مدلسازی ها در نرم افزار دیزاین بیلدر نسخه 6.1.0.006 (موتور انرژی پلاس نسخه ۸.۹)^{۱۸} صورت گرفت. زون های 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 می کنند و از اتاق های خواب تنها برای استراحت در شب استفاده می کنند. کلیه طبقات یک ساختمان (شامل چهار طبقه روی پیلوت)، به طور کامل، مدلسازی شد. این ساختمان به دلیل کشیدگی و جهت گیری شرقی غربی آن، و قرار گیری زون نشیمن در جبهه جنوبی و دریافت تابش خورشیدی از سمت جنوب و شرق و جنوب شرقی، که مطابق با مطالعات پیشین، جهت گیری بهینه محسوب می شود، انتخاب شد. از آنجاکه بدترین شرایط از نظر تبادل حرارتی با محیط بیرون، یکی دیگر از ملاک های انتخاب پلان بود، ساختمانی انتخاب شد که در نیش معبر واقع شده است. این



تصویر ۱. پلان‌ها و زون‌های طبقه همکف و تیپ‌طبقات و نمایهای ساختمان شبیه‌سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر.

در نرم افزار دیزاین بیلدر با موتور انرژی پلاس به کار گرفته شد. بهینه‌سازی روشی برای شناسایی و تعیین گرینه‌های 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 درصد)، و میزان بازشوی پنجره خارجی، بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات ساعت (بازه‌های ۱ درصد)، در سطح یک طبقه (ونه فقط زون حرارتی موردنظر) تعریف شد. اهداف، به حداقل رساندن ساعات نارضایتی و به حداقل رساندن دریافت تابش خورشید از طریق پنجره‌های خارجی (برحسب کیلووات ساعت) تعیین شد. محاسبات برای مدل‌های پایه (شماره ۱) و مدل بهینه نهایی، طی یک سال (۱ زانویه تا ۳۱ دسامبر) انجام شد.

پیشینه پژوهش

اگرچه برخی پژوهش‌های پیشین نیز با استفاده از روش شبیه‌سازی در نرم افزارهایی مانند دیزاین بیلدر و ایندوروکلامیت^{۱۲}، به 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^{۱۳}) بزریل در مطالعه مذکور، طراحی بنا و نیازمندی‌های ساکنین با یکدیگر متفاوت است. بندر عسلویه در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۴۹

نشینم، به ترتیب، فعالیت‌های خوابیدن، پختوپز، و تکیه‌دادن در حالت نشسته^{۱۴} انتخاب شد. برای عایق پوشک، کلوفاکتور ۱۰۰ و ۵۰/۰ کلو به ترتیب برای زمستان و تابستان انتخاب شد. برای آشپزخانه و نشینم، تجهیزات متداول مسکونی لحاظ شد.

بررسی تأثیر جنس جداره‌ها و شیوه سایه‌اندازی روی پنجره بر نسبت بهینه پنجره به دیوار و مجموع ساعت آسایش حرارتی با تهییه طبیعی

مدل‌هایی که در نرم افزار، 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، به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی سایر موارد، تغییرات روی مدل پایه اعمال شد. در تمام حالات و مدل‌ها، تهییه طبیعی بدون سرمایش یا گرمایش مکانیکی، و همچنین آب گرم مصرفی با برق شبکه، تنظیم شد. تأثیر تغییر هر پارامتر بر شاخص آسایش حرارتی به روش تخمین میانگین آرای افراد^{۱۵}، و تخمین درصد نارضایتی^{۱۶}، 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 (۰۸۷۶۰ گرید)، و همچنین به منظور سهولت مقایسه، برای یک روز (پیک 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 تهییه مکانیکی نیز آسایش برقرار است، شاخص آسایش ملاک عمل قرار گرفت. همچنین، در اقلیم گرم و مرطوب، کنترل تابش حائز اهمیت است.

بهینه‌سازی
با هدف تعیین طراحی بهینه، روش بهینه‌سازی^{۱۷} (الگوریتم ژنتیک)

جدول ۱. مدل‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر.

شماره مدل	جداره غیرشفاف	قاب پنجره	شیشه	وضعیت سایه‌اندازی (%)	تعداد مدل	توضیحات
۱	متداول (بدون عایق)	متداول (UPVC)	متداول (دوچاره)	بدون سایه‌بان	۱۰	- مدل شماره ۱، به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد. - بازشود تمام موارد، ۵ درصد در نظر گرفته شد. - در جدول (۲) (تصویر (۲)، ترتیب مصالح لایه‌های جداره‌های غیر شفاف ارائه شده است. :مشخصات UPVC - Conductivity: 0.17 W/m-K Specific Heat: 900.00 J/kg-K Density: 1390.00 kg/m³ Thickness: 0.02 m - شبیه‌ساخت دو جداره ۶ میلی‌متری، با ۶ میلی‌متر فاصله بین دو جداره، پرشده با هوا، با مشخصات زیر، به عنوان شبیه‌متداول در نظر گرفته شد: SHGC: 0.486 LT: 0.505 U-Value: 3.157 W/m²-K
۲	مدل پایه	چوبی رنگ شده	مدل پایه	مدل پایه	۱۰	- مشخصات قاب چوبی رنگ شده: Conductivity: 0.19 W/m-K Specific Heat: 2390.00 J/kg-K Density: 700.00 kg/m³ Thickness: 0.02 m
۳	مدل پایه	آلومینیومی حرارت‌شکن	مدل پایه	مدل پایه	۱۰	- مشخصات قاب آلومینیومی حرارت‌شکن: 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
۴	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	سایه‌بان افقی و عمودی	۱۰	به عمق ۵۰ متر، از جنس بنن سبک، در طرفین پنجره‌ها در نظر گرفته شد (تصویر (۳)). Conductivity: 0.38 W/m-K Specific Heat: 1000.00 J/kg-K Density: 1200.00 kg/m³ Thickness: 0.002 m
۵	مدل پایه	پیشنهادی (با عایق)	مدل پایه	مدل پایه	۱۰	جداره‌های پیشنهادی در جدول (۲) ارائه شده است.
۶	مدل پایه	مدل پایه	کم‌گسیل	مدل پایه	۱۰	- مشخصات شیشه * مطابق با مطالعات و مقالات پیشین (بنی‌هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵): SHGC: 0.15 LT: 0.15 U-Value: 2.555 W/m²-K
۷	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	سایه‌بان افقی و عمودی	۱۰	مشابه با مدل شماره ۴ است. عمق سایه‌بان ۱ متر در نظر گرفته شد.
۸	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	متداول (تک‌چاره)	۱۰	- مشخصات شیشه ۶ میلی‌متری: SHGC: 0.587 LT: 0.570 U-Value: 6.121 W/m²-K
۹	مدل پایه	مدل پایه	مدل پایه	پرده داخلی رفلکتیو	۱۰	- فاصله سایه‌انداز تا شیشه ۰.015 متر، نوارها به ضخامت 0.001 متر و به عرض 0.025 متر و با ضریب عبور نور را به طور کلی برای مجموعه جداره‌ها تعیین نمود. در پژوهش بنی‌هاشمی و همکاران، مشخصات حرارتی چند شیشه متداول مورد استفاده در ایران معرفی شده است و طبق بافت‌های، برای اقلیم گرم و مرطوب (شهر بندرعیاس)، شیشه دوجاره در فصل سرد سال، اندکی به بارگرمایشی 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 (SHGC:0.15, LT:0.15, U-value:2.555, LT:0.15, SHGC:0.15) اختلاف قابل توجهی 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 نارضایتی (ونه کاهش بارهای سرمایش یا گرمایش ساختمان)، شیشه با سه مشخصه (در مدل‌های ۱، ۶، ۸)، مدل‌سازی و یا یکدیگر مقایسه شد.
۱۰	شرایط بھینه	شرایط بھینه	شرایط بھینه	شرایط بھینه	۱۰	تمام شرایط بھینه مطابق با یافته‌های مدل‌های ۱ تا ۹ لحاظ شد.

* برای تعریف مشخصات حرارتی شیشه در نرم افزار دیزاین بیلدر، می‌توان تعداد جداره‌ها را مشخص و سپس برای هر جداره، مشخصات حرارتی (و پارامترهایی مانند میزان جذب حرارت^{۲۰} یا ضریب جذب، میزان گسیل (قابلیت انتشار یا گسیلنگی)^{۲۱}، رسانایی حرارتی یا ضریب هدایت حرارتی^{۲۲}) را تعیین کرد؛ و یا سه متغیر اصلی ضریب بهره حرارتی خورشیدی، ضریب انتقال حرارت و ضریب عبور نور را به طور کلی برای مجموعه جداره‌ها تعیین نمود. در پژوهش بنی‌هاشمی و همکاران، مشخصات حرارتی چند شیشه متداول مورد استفاده در ایران معرفی شده است و طبق بافت‌های، برای اقلیم گرم و مرطوب (شهر بندرعیاس)، شیشه دوجاره در فصل سرد سال، اندکی به بارگرمایشی 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 (SHGC:0.15, LT:0.15, U-value:2.555, LT:0.15, SHGC:0.15) اختلاف قابل توجهی 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 نارضایتی (ونه کاهش بارهای سرمایش یا گرمایش ساختمان)، شیشه با سه مشخصه (در مدل‌های ۱، ۶، ۸)، مدل‌سازی و یا یکدیگر مقایسه شد.

جدول ۲. مشخصات (جنس، ضخامت و مقاومت حرارتی) مصالح موردنظر برای لایه‌های جدارهای غیرشفاف افقی و قائم خارجی و داخلی طبقه همکف و تیپ‌طبقات.

لایه‌ها (بیرون/داخل)										محل (بیرون/داخل)	رنگ	شماره	موقعیت	
-	-	-	-	5. سنگ تراوترن *(بیرونی)	۵. ملات ماسه‌سیمان	۴. بلوك سفالی	۳. زبره	۲.	۱. نرمه	درزانقطع/ بالکن	نارنجی	۱		
-	-	-	-	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		درزانقطع/ اتاق	زرد	۲		
-	-	6. گچ پرداختی	-	۵. انود گچ و خاک	۵. پلی استایرن	۴. بلوك سفالی	۳. زبره	۲.	۱. نرمه	درزانقطع/ سرویس	آبی	۳		
-	-	6. کاشی (سرامیک)	-	۵. ملات ماسه و سیمان	۵. پلی استایرن	۴. بلوك سفالی	۳. زبره	۲.	۱. نرمه	درزانقطع/ چاه آسانسور	خاکستری	۴		
-	-	R=0.01 0.025m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.02m	R=0.023 0.01m		۱. نرمه (بیرونی) سیاه	درزانقطع/ چاه آسانسور	گلبهی	۵		
-	-	R=0.023 0.02m	R=0.023 0.02m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.02m	R=0.023 0.01m		۱. نرمه	درزانقطع/ باکس پله	قرمز	۶		
-	-	R=0.018 0.02m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.02m	R=0.023 0.01m		۱. سنگ تراوترن (بیرونی)	بیرون/ اتاق یا نشیمن	قرمز	۷		
-	-	R=0.087 0.005m	R=0.018 0.02m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.03m	R=0.018 0.02m		۱. سنگ تراوترن (داخلی)	باکس پله/ نشیمن	قرمز	۸		
-	-	R=0.087 0.005m	R=0.018 0.02m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.03m	R=0.018 0.02m		۱. سنگ تراوترن (بیرونی)	بیرون/ سرویس یا آشپزخانه	آبی	۹		
-	-	R=0.01 0.025m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.03m	R=0.018 0.02m		۱. سنگ تراوترن (بیرونی)	بالکن/ باکس پله	گلبهی	۱۰		
-	-	R=0.018 0.02m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.03m	R=0.018 0.02m		۱. نرمه	چاه آسانسور/ باکس پله	خاکستری	۱۱		
-	-	-	-	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		۱. نرمه	چاه آسانسور/ سرویس	خاکستری	۱۲	
-	-	6. کاشی (سرامیک)	-	۵. ملات ماسه‌سیمان	۵. پلی استایرن	۴. بلوك سفالی	۳. زبره	۲.	۱. نرمه	بیرون/ پارکینگ یا پله همکف	سبز	۱۳		
-	-	R=0.01 0.025m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.02m	R=0.023 0.01m		۱. نرمه (سیاه)	درزانقطع/ پارکینگ	سیاه	۱۴		
-	-	R=0.018 0.02m	R=0.023 0.03m	R=0.5 0.03m	R=0.39 0.15m	R=0.023 0.03m	R=0.018 0.02m		۱. نرمه (سیاه)	درزانقطع/ چاه آسانسور در پارکینگ	سورمهای	۱۵		

* رنگ و طرح بافت نهایی روی جداره‌ها، با هدف سهولت تشخیص و اطمینان از صحت ترتیب‌بندی مصالح، برای مثال، حصول اطمینان از به‌کارگیری عایق پلی استایرن به‌سمت داخل جداره تعیین شد. بافت سنگ تراوترن در بخش‌های داخلی و نمای بیرونی ساختمان، متفاوت در نظر گرفته شد.

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

ادامه جدول ۲. مشخصات (جنس، ضخامت و مقاومت حرارتی) مصالح موردنظر برای لایه‌های جدارهای غیرشفاف خارجی و داخلی طبقه همکف و تیپ طبقات.

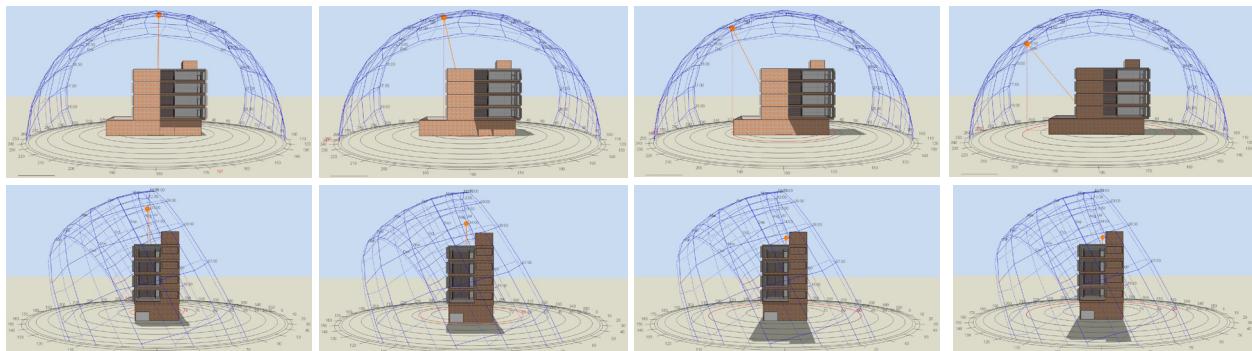
لایه‌ها (بیرون/داخل)												موقعیت	شماره	رنگ	محل (بیرون/داخل)								
-	-	-	-	۵. سنگ تراوتن	۴. ملات ماسه سیمان	۳. بلوك سفالی	۲. زبره	۱. نرمه	باکس پله پارکینگ	درز انقطاع / قهوه‌ای	۱۴	پتوانی	پتوانی	قهوه‌ای									
-	-	-	R=0.018	0.02m	R=0.023	0.03m	R=0.39	0.15m	R=0.023	0.02m	R=0.023	0.01m	۱۵	پتوانی	قرمز	جان‌پناه (بیرون/بالکن)							
-	-	۶. سرامیک	۵. ملات ماسه و سیمان	۴. ایزوگام	۳. بلوك سفالی	۲. ملات ماسه و سیمان	۱. سنگ تراوتن (بیرونی)	باکس پله پارکینگ	درز انقطاع / قهوه‌ای	۱۶	پتوانی	پتوانی	پتوانی	سرخابی	اناق/اتاق یاراهرو								
-	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	۱۷	پتوانی	صورتی	اناق یا شپرخانه سرویس یا آشپرخانه							
-	-	-	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	۱۸	پتوانی	آبی	اناق یا شپرخانه سرویس یا آشپرخانه							
-	-	-	۵. کاشی (سرامیک)	۴. ملات ماسه و سیمان	۳. بلوك سفالی	۲. اندود گچ و خاک	۱. گچ پرداختی	باکس پله/پارکینگ	درز انقطاع / سبز	۱۹	پتوانی	پتوانی	پتوانی	سبز	باکس پله/پارکینگ								
-	-	-	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	۲۰	پتوانی	بنفش	کف فضاهای خشک							
R=0.01	0.025m	R=0.023	0.03m	R=0.12	0.06m	R=0.35	0.25m	R=0.50	0.03m	R=0.14	0.06m	R=0.043	0.01m	۲۱	پتوانی	سفید	کف سرویس‌ها، آشپرخانه، بالکن						
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	۲۲	پتوانی	سیاه	کف پارکینگ						
۱۰. پانل گچی	۹. هوای سقف کاذب	۸. پلی استایرن	۷. تیرچه بلوك	۶. شیب‌بندی با بتون سبک	۵. ملات ماسه و سیمان	۴. سقف تیرچه بلوك	۳. پلی استایرن	۲. هوای درون سقف کاذب	۱. پانل گچی	۱۰. پانل گچی	۹. هوای سقف کاذب	۸. پلی استایرن	۷. تیرچه بلوك	۶. شیب‌بندی با بتون سبک	۵. ملات ماسه و سیمان	۴. سقف تیرچه بلوك	۳. پلی استایرن	۲. هوای درون سقف کاذب	۱. پانل گچی	۱۰. پانل گچی			
۰.۰۴۳	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۳۵	۰.۲۵	۰.۱۲	۰.۰۶	۰.۰۱۵	۰.۰۲۵	۰.۰۲	۰.۰۲۵	۰.۰۰۵	۰.۰۱۳	۰.۰۲	۰.۰۲۳	۰.۰۳	۰.۰۱۵	۰.۰۲۵			
۲۲	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره جداره
۰.۶۴۲	۱.۷۲۳	۰.۶۱۹	۰.۳۹۲	۰.۵۳۰	۰.۷۲۸	۰.۴۸۰	۰.۳۲۱	۰.۴۷۰	۰.۴۸۲	۰.۴۳۶	۰.۴۸۲	۰.۵۳۰	۰.۲۷۳	۰.۴۸۲	۰.۲۸۸	۰.۲۹۶	۰.۲۵۰	۰.۲۶۶	۰.۲۵۵	۰.۲۷۳	۰.۲۲۶	۰.۴۸۲	ضریب هدایت حرارتی

شهر عسلویه به طور خاص، مقادیر این نسبت تعیین نشده است. اغلب پژوهش‌های در این حوزه بر تقاضای انرژی گرمایشی و سرامیکی تمرکز داشته‌اند و مقادیر نسبت بهینه را با هدف کاهش مصرف انرژی محاسبه کرده‌اند (برای نمونه رجوع کنید به (صابری، ۲۰۲۱^۱؛ تروپ و همکاران، ۲۰۱۹^۲)، در مطالعه (خوخي، دارصلاح، علی، ۲۰۲۰^۳)، 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 ۱۱. (اشری، ۲۰۱۹^۴؛ اشری، ۲۰۰۷^۵)، با هدف تأمین نور روز و تهیه 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، با توجه به اینکه حد کاهش

دقیقه و ۹۴ ثانیه شمالی، و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶۲ دقیقه و ۱۸ 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 کوین 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 رطوبت‌نسبی در تابستان و زمستان) طبقه‌بندی شده‌اند، شهر عسلویه دارای اقلیم گرم و مرطوب و با نیاز غالب سرمایش است. تاکنون، برای



تصویر ۲. مصالح جدارهای غیرشفاف در پلان‌های همکف، تیپ‌طبقات، نماها و بام ساختمان شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر.



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

مطابق با نتایج یک مطالعه (گویا، هاسه، پرینتو^{۳۹}، ۲۰۱۳)، مقادیر بهینه این نسبت، وابسته به هندسه ساختمان نیست. مطابق با مطالعات پیشین، شرایط اقلیمی، مشخصات جداره‌ها (مقاومت حرارتی^{۴۰} جداره‌های غیرشفاف، ضریب عبور نور مرئی^{۴۱}، ضریب بهره حرارتی خورشیدی^{۴۲}، و ضریب تبادل حرارتی^{۴۳} جداره‌های شفاف)، و سایه‌اندازی روی پنجره، پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت بهینه هستند. به گونه‌ای که افزایش نوسان وزانه دما و اختلاف درجه حرارت پیرون با فضای درونی، سایه‌اندازی نامناسب، و جداره‌هایی با عملکرد نامناسب، می‌تواند به کاهش این نسبت منجر شود. ضریب بهره حرارتی خورشید (گروندزیک، کواک^{۴۴}، 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. علاوه‌بر این ضریب، کمیت ضریب سایه^{۴۵} نیز در برخی منابع معرفی شده است که در محاسبات آن، تنها سطح شیشه‌ای پنجره لحظ می‌شود. نسبت عبوردهی نور به گرمایه^{۴۶} نیز از تقسیم میزان عبور نور مرئی به ضریب بهره حرارتی خورشیدی به دست می‌آید. مقادیر بالاتر این نسبت به معنای کارآمدی نور وارد شده به فضای داخل در تأمین روشنایی روز است. در یک پژوهش (بینارتی و همکاران^{۴۷}، ۲۰۱۳)، به منظور کاهش مصرف انرژی، مقادیر بالاتر این نسبت در اقلیم‌های گرم و مرطوب توصیه شده است. علاوه‌بر موارد بالا، جهت‌گیری پنجره^{۴۸} (هارماتی، مگیار^{۴۹}، ۲۰۱۵) نیز حائز اهمیت است.

یافته‌ها و بحث

تأثیر پیکربندی‌های مختلف بر نسبت بهینه پنجره به دیوار و مجموع ساعت آسایش حرارتی

مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی بر حسب کیلووات، در زون نشیمن طبقه آخر، در روز پیک حرارتی (۱۷ جولای)، در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه، برای مدل‌های ۱ تا ۹ و نسبت پنجره به دیوار ۱ تا ۹۰ درصد، 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 نارضایتی، و میزان دریافت تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های خارجی، در مدل‌های ۱ تا ۹، و برای نسبت پنجره به دیوار ۳۰ درصد، در نمودارهای تصویر (۵) نمایش داده شده است.

مطابق با این نمودارها، در مدل شماره ۱، علاوه‌بر اینکه در هیچ حالتی، شاخص میانگین آرای افراد، در محدوده آسایش قرار ندارد، در روز و ساعت پیک حرارتی، با هر ۲۰ درصد افزایش نسبت پنجره به دیوار، شاخص آسایش، به میزان حدود یک پله افزایش یافته است.

نمودارهای مدل‌های ۱، ۲، ۳ و ۹ (قاب UPVC، چوبی، آلومینیومی

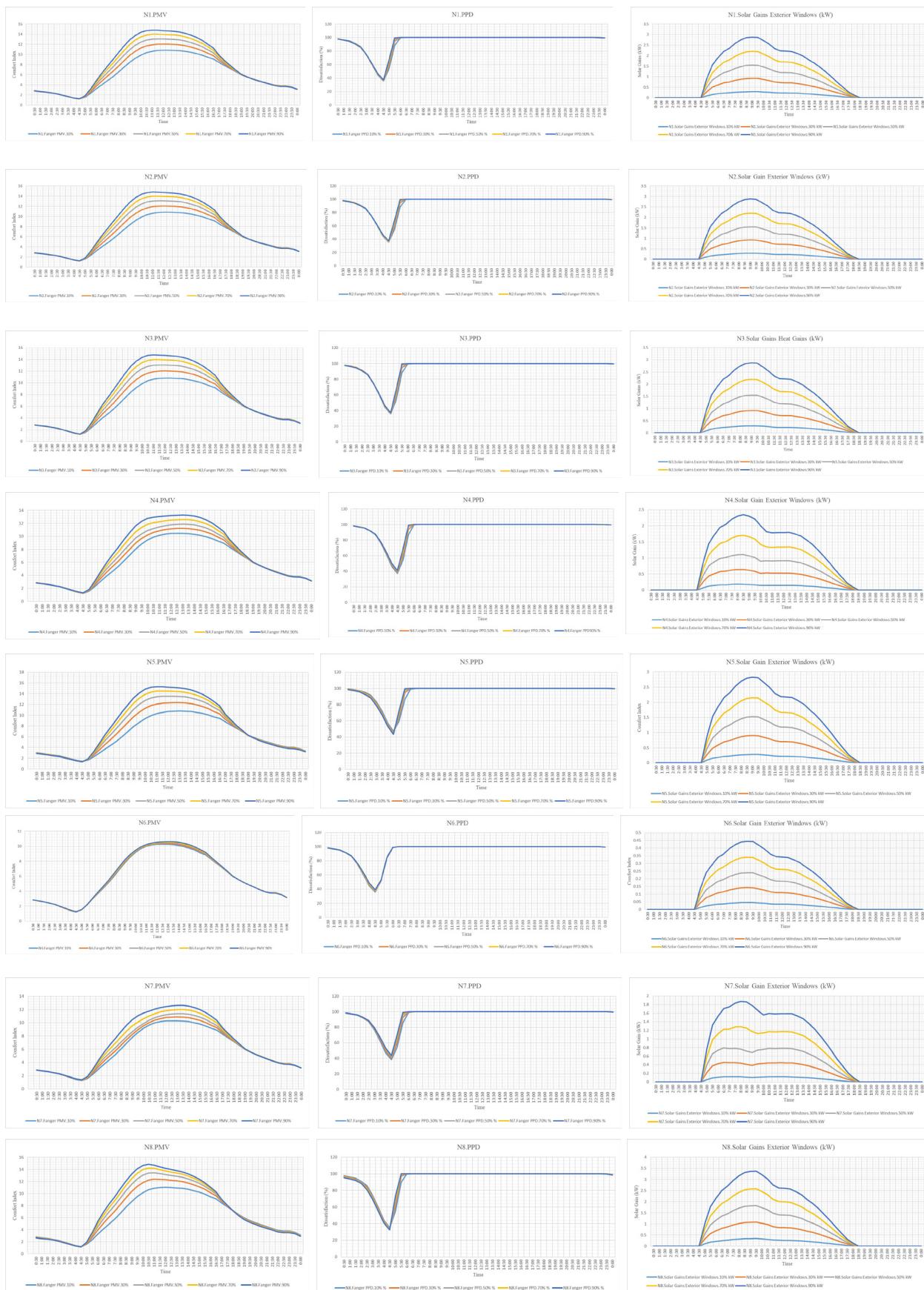
صرف انرژی، آسایش حرارتی است، در مطالعه حاضر، مقادیر بهینه، با هدف دستیابی به آسایش حرارتی و همچنین به حداقل رساندن ساعات نارضایتی و حرارت ناشی از تابش خورشیدی تعیین شد.

علاوه‌براین، در پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه، اغلب تبادل حرارت از جداره‌های داخلی و کف و سقف، صفر (آدیباتیک)^{۳۱} در نظر گرفته شده است و یا تنها یک فضای مجرد، مدلسازی شده است. علاوه‌براین، به پارامترهایی مانند ضریب بهره حرارتی خورشیدی توجه نشده است. جلوگیری از اتفاق 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 تاثیر پارامترهای مختلف بر نسبت بهینه، و مقایسه نسبت‌های مختلف، تکنیک‌های بهینه‌سازی نیز به کار گرفته شد. علاوه، به مقادیر بهینه بازشوی پنجره، در کنار نسبت بهینه پنجره به دیوار در پیکربندی‌های مختلف (وضع موجود و پیشنهادی) پرداخته شد.

مبانی نظری پژوهش

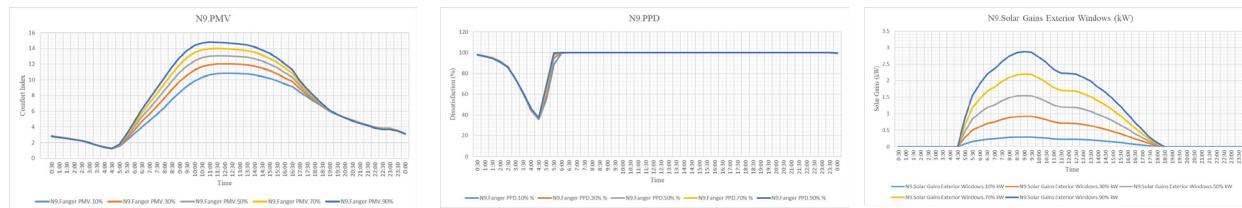
آسایش حرارتی افراد، شرایط ذهنی است که میزان رضایت آن‌ها از محیط را بیان می‌کند^{۳۲} (اشری^{۳۳}، ۲۰۱۷). آسایش حرارتی، مجموعه شرایطی است که حداقل برای ۸۰ درصد از کاربران فضا، از نظر حرارتی مناسب باشد و در آن شرایط، احساس سرما یا گرما نکنند. دو رویکرد اصلی شامل تعادل حرارتی و تطبیقی، برای ارزیابی آسایش حرارتی به کار می‌رود. شاخص‌های تخمین میانگین آرای افراد و تخمین درصد نارضایتی، 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/-۰- نیز (برای ساختمان‌های موجود) به عنوان حدود آسایش تعیین شده است (اشری، ۲۰۱۷؛ اشری، ۲۰۲۰؛ ایزو^{۴۰}، ۲۰۰۵).

طراحی بهینه و انتخاب مصالح مناسب برای جداره‌های بیرونی، علاوه‌بر ایجاد و حفظ شرایط آسایش در داخل بنا، می‌تواند به آسایش حرارتی در فضاهای پیاده اطراف و کاهش جزایر گرمایی شهری (سونگ^{۳۵}، ۲۰۱۶) نیز منجر شود. علاوه‌بر آسایش حرارتی ساکنی، 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^{۴۶} (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^{۴۷}، مساحت قاب‌ها نیز باید لحاظ شود. همچنین نماهای شیشه‌ای اسپیندرال^{۴۸}، در محاسبات سطوح شیشه‌ای (صورت کسر) در نظر گرفته نمی‌شوند. اگرچه در محاسبه مساحت دیوار (مخرج کسر) لحاظ می‌شوند.

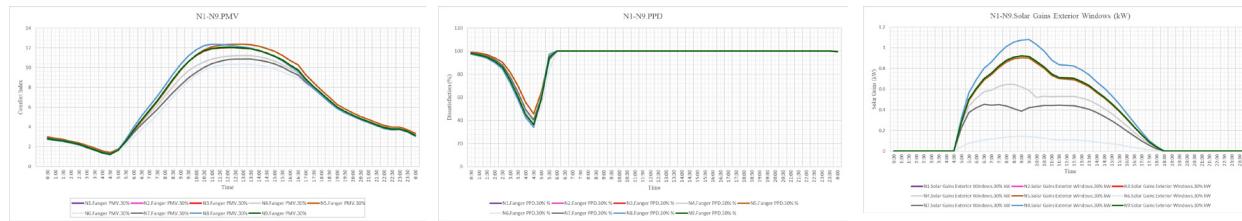


تصویر ۴. نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۸، نسبت پنجره به دیوار .٪۹۰ تا ٪۱۰

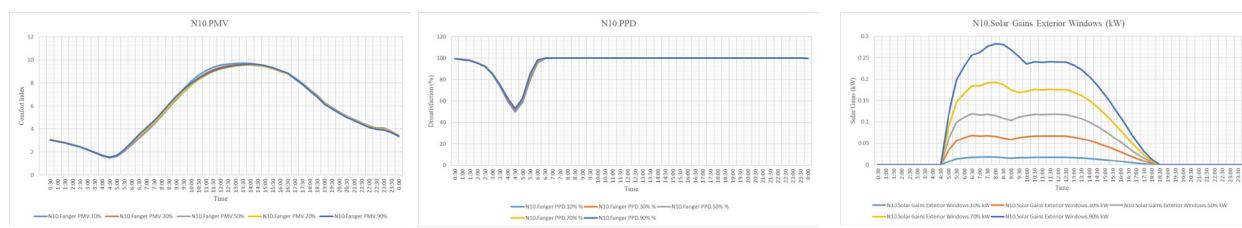
تعیین مقادیر بهینه ابعاد و بازشوی پنجره در بناهای مسکونی اقلیم گرم و مطریوب شهر عسلویه



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



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

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 نارضایتی، و کاهش تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های خارجی داشته است.

درنهایت، 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 نارضایتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی، برای روز پیک حرارتی در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، 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 درنظرگرفتن 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 نسبت پنجره به دیوار از ۱۰ درصد به ۹۰ درصد، تغییر قابل توجه ندارد. در تصویر (۷)، مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی در زون نشیمن در طبیه آخر، برای نسبت پنجره به دیوار ۳۰ درصد در مدل‌های ۱ تا ۱۰ با یکدیگر مقایسه شده است.

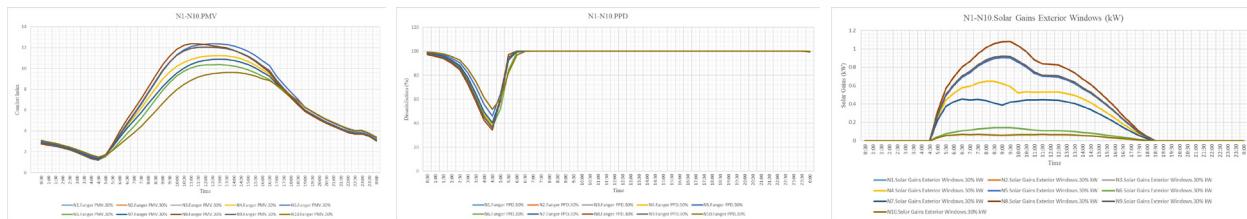
یافته‌های بهینه‌سازی (مقادیر بهینه ابعاد و بازشوی پنجره) برای مدل شماره ۱، نسبت ۱۰ درصد برای WWR، و ۱۰۰ درصد برای

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

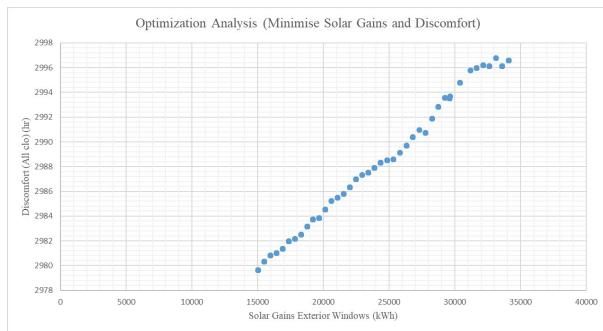
شاخص آسایش حرارتی، در روز پیک حرارتی و در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه، در مدل‌های ۱، ۲ و ۳، با تغییر جنس قاب پنجره (UPVC)، چوبی و یا آلومینیومی حرارت‌شکن، تغییری نداشته است. مطابق با جدول (۳) نیز در طول یک سال، جنس قاب پنجره، تأثیری در افزایش ساعات آسایش، کاهش ساعات نارضایتی، و کاهش دریافت تابش از طریق پنجره‌های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

اگرچه در روز پیک حرارتی، آسایش حرارتی برقرار نیست (شاخص میانگین آرای افراد در محدوده ۰/۵ تا ۰/۵ +۰/۵ قرار ندارد)، و مدل‌های مختلف، از نظر شاخص آسایش و درصد نارضایتی 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 توجهی دارد.

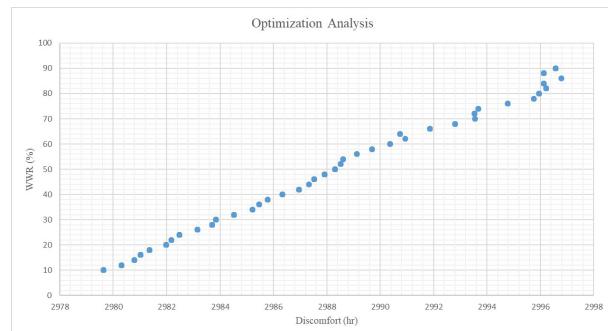
در جدول (۳)، مدل‌های ۱ تا ۹، از نظر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، و میزان دریافت تابش از طریق جداره‌های شفاف خارجی،



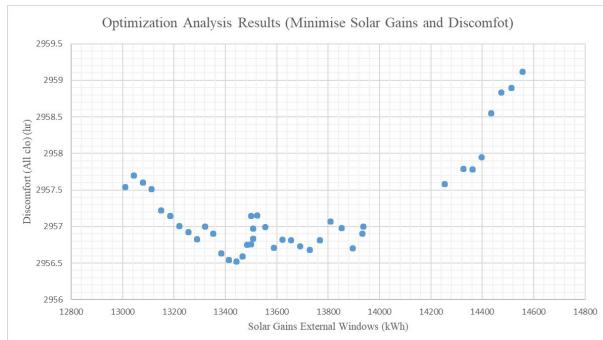
تصویر ۷: نمودارهای مقادیر شاخص آسایش حرارتی، درصد نارضایتی، و میزان دریافت تابش از طریق پنجرهای خارجی در زون نشیمن طبقه آخر، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه، روز پیک حرارتی، مدل‌های ۱ تا ۱۰، نسبت پنجره به دیوار ۷۰٪



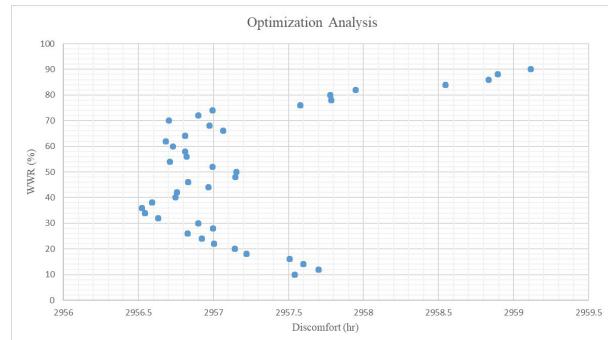
نمودار پراکندگی ساعت نارضایتی و میزان دریافت تابش از طریق جدارهای شفاف خارجی، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱



نمودار پراکندگی ساعت نارضایتی و نسبت پنجره به دیوار، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱



نمودار پراکندگی ساعت نارضایتی و میزان دریافت تابش از طریق جدارهای شفاف خارجی، طبقه آخر، طی یک سال، مدل شماره ۱۰



نمودار پراکندگی ساعت نارضایتی و نسبت پنجره به دیوار، 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 ساعت آسایش ($-0.5 < \text{PMV} < +0.5$) و ($0 < \text{PPD} < 20\%$) 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 ساعت آسایش ($-0.5 < \text{PMV} < +0.5$)					مجموع ساعت نارضایتی 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	11160.60
قاب چوبی	N2	655	609	572	556	538	1015	912	842	793	773	1124.32	3574.00	6023.74	8543.15	11160.60
قاب آلومینیومی حرارت‌شکن	N3	656	608	573	561	538	1015	914	845	795	773	1124.32	3574.00	6023.74	8543.15	11160.60
سایبان مطابق مبحث ۱۹/۵ متر	N4	666	643	608	586	575	1060	995	915	857	809	677.90	2504.76	4342.90	6605.00	9038.16
عایق حرارتی پلی استایرن	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 مبحث 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 تک‌جداره	N8	648	586	570	561	538	1006	868	818	767	746	1312.80	4172.83	7032.93	9974.61	13030.37
سایه‌انداز داخلی رفلکتیو	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

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

جدول ۴. یافته‌های بهینه‌سازی نسبت پنجره به دیوار و بازشوی پنجره، در مدل شماره ۱۰ (جدارهای 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

مقادیر نسبت پنجره به دیوار برای مدل‌های شماره ۱ و ۱۰، در نمودارهای تصویر (۸) نمایش داده شده است.

طبق جدول (۴)، مدل شماره ۱۰، وبا یکی از مقادیر تعیین شده برای نسبت پنجره به دیوار، و بازشوی پنجره، شرایط طراحی بهینه است.

بازشو به عنوان طراحی بهینه به دست آمد. در این صورت، مجموع میزان ساعت نارضایتی و دریافت تابش، به ترتیب، معادل ۲۹۷۹، ۶۴۱۸ ساعت و ۱۵۰۳۹ کیلووات تعیین شد. برای مدل شماره ۱۰، طراحی بهینه، مطابق با خروجی نرم‌افزار، در جدول (۴) گزارش شده است. پراکندگی تغییرات ساعت نارضایتی و دریافت تابش از طریق پنجره‌های خارجی، و

نتیجه

همچنین در مجموع در ۱۱۹۶ ساعت، نارضایتی حرارتی کمتر از ۲۰ درصد خواهد بود. با این ابعاد پنجره و با مصالح پیشنهادی مطالعه حاضر به جای مصالح متدالو در ساخت و ساز، می‌توان میزان دریافت تابش خورشیدی را از مجموع ۳۵۷۴ کیلووات طی یک سال، به کمتر از 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 درنتیجه افزایش ساعتی 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. آلدگی هوا و ریزگردها و ذرات معلق، یکی دیگر از این محدودیتها است که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به آن پرداخته شود.

با توجه 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 ساعت نارضایتی، در زمان بهره‌گیری 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. با انتخاب مصالح پیشنهادی مطالعه حاضر، در نسبت پنجره به دیوار ۳۰ درصد (نسبت متدالو در طراحی بنایها)، بدون استفاده از سیستم‌های سرمایش مکانیکی، فضای داخل، حداقل ۷۳۷ ساعت در کل سال، در محدوده آسایش قرار می‌گیرد.

مطابق با یافته‌ها، استفاده از قاب آلومینیومی حرارت‌شکن با ضریب هدایت حرارتی معادل 0.16 W/m-K و 0.17 W/m-K برای لایه‌های بیرونی و درونی، شیشه با ضریب بهره حرارتی خورشیدی، ضریب عبور نور مئی و ضریب انتقال حرارت سطحی به ترتیب برابر با $0.15 \text{ W/m}^2\text{-K}$ و $0.15 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ، ساییان افقی و عمودی در اطراف پنجره به عمق 0.05 m تا 1 m در طرفین پنجره‌ها با ضریب هدایت حرارت 0.38 W/m-K به عنوان مدل بهینه معرفی شد. عایق حرارتی در دستیابی به اهداف پژوهش حاضر (به حداقل رساندن ساعت نارضایتی و تابش دریافنی) تأثیر قابل توجه ندارد. در چنین شرایطی، یکی از مقادیر $10, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 32, 34$ و 36 درصد، 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 $75, 77, 78, 84, 86, 88, 94, 36, 38, 54, 54, 49, 49, 36, 36, 24, 24, 22, 22, 16, 16, 10$ درصد.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد جنس شیشه (ضریب عبور نور مئی 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. با انتخاب مصالح پیشنهادی مطالعه حاضر، در نسبت پنجره به دیوار ۳۰ درصد (نسبت متدالو در طراحی بنایها)، بدون استفاده از سیستم‌های سرمایش مکانیکی، فضای داخل، حداقل ۷۳۷ ساعت در کل سال، در محدوده آسایش قرار می‌گیرد.

پی‌نوشت‌ها

48. Window Geometry (WG).
49. Harmati & Magyar.

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)، ۴۶-۳۹.
- وزارت راه و شهرسازی، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹)، مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نوゼدهم؛ 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. <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. <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. <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. <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

1. Zhao, Yin, He & Deng.
2. Zomorodian, Tahsildost & Hafezi.
3. Kempton, Daly, Kokogiannakis & Dewsbury.
4. Lee, De Biasio & Santini.
5. Window to Wall Ratio (WWR).
6. DesignBuilder 6.1.0.006 (EnergyPlus 8.9).
7. Template.
8. Common Circulation Area (For all Common Circulation Areas such as Corridors and Stairways Outside the Dwelling).
9. Unoccupied.
10. Domestic Circulation (for all Circulation Areas within the Dwelling).
11. 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).
12. Domestic Bedroom (An Area Primarily Used for Sleep).
13. Domestic Lounge (The Main Reception Room of the Home).
14. Domestic Kitchen (The Area within the Dwelling Where Food is Prepared).
15. Zone Type.
16. Semi-Exterior Unconditioned.
17. Standing/walking.
18. Reclining.
19. Predicted Mean Vote (PMV).
20. Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD).
21. Optimization.
22. IDA-ICE.
23. Belém.
24. Banihashemi, Golizadeh, Hosseini & Shakouri.
25. Thermal Absorptance.
26. Emissivity.
27. Conductivity.
28. Saber.
29. Troup, Phillips, Eckelman & Fannon.
30. Khoukhi, Darsaleh & Ali.
31. Adiabatic.
32. Thermal Comfort is that Condition of Mind that Expresses Satisfaction with the Thermal Environment (ASHRAE Standing Standard Project Committee 55 Cognizant TC: 2.1, Physiology and Human Environment).
33. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
34. International Organization for Standardization (ISO).
35. Sung.
36. \sum Glazing area (m^2) / \sum Gross exterior wall area (m^2).
37. (Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)).
38. Spandrel.
39. Goia, Haase & Perino.
40. Thermal Resistance (R-Value).
41. Light Transmission (LT).
42. Solar Heat Gain Coefficient (SHGC).
43. Thermal Transmittance (U-Value).
44. Grondzik & Kwok.
45. Shading Coefficient (SC).
46. Light-to-Solar Gain (LSG).
47. Binarti, Istiadji, Satwiko & Iswanto.

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., Tahsidoost, 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>

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 <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-