تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۶(۴۲)، ۲۵-۴۴
DOI: 10.30480/AUP.2022.3837.1828
نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر ابعاد پنجره بر میزان مصرف انرژی روشنایی و حرارت در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم‌وخشک*

نرگس برزنونی
کارشناس ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
ریما فیاض
استاد گروه فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)
Email : fayaz@art.ac.ir
سیدبهشید حسینی
استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

چکیده

ساختمان‌های اداری یکی‌از مصرف‌کنندگان بزرگ انرژی هستند، اما با توجه به فرصت‌های صرفه‌جویی در زمینهٔ گرمایش، سرمایش و روشنایی می‌توان شاهد کاهش چشمگیری در زمان اوج بار در این ساختمان‌ها بود. هدف از انجام این پژوهش دستیابی به نسبت بهینهٔ سطح پنجره به دیوار در یک اتاق اداری در اقلیم گرم و خشک است، به‌نحوی که کاهش بار حرارتی و همچنین تأمین کیفیت مطلوب نور طبیعی در یک ساختمان اداری فراهم شود. جهت دستیابی به سطح بهینهٔ پنجره و در ساختمان‌های اداری شهر سبزوار ابتدا تیپولوژی ساختمان‌های اداری در این شهر شناسایی و اعتبار فایل آب‌وهوایی سنجیده شد. سپس، با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی ابعاد پنجره یک اتاق اداری در اقلیم گرم و خشک شهر سبزوار انجام شد. ویژگی‌های عناصر طرح ازجمله پوستهٔ خارجی براساس مطالعات کتابخانه‌ای انتخاب و پارامترهای قابل اندازه‌گیری و روشنایی مصنوعی با توجه به استانداردهای موجود و با استفاده از روابط ریاضی محاسبه شدند. درنهایت ابعاد بهینهٔ پنجره برای یک اتاق اداری در چهار جهت اصلی ارائه شد. پس‌از انجام شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل حالات مختلف، مشخص‌شد که کمترین مجموع مصرف انرژی با نسبت سطح پنجره به دیوار ۶۳٪ برای دیوار جنوبی، ۴۷٫۶٪ برای دیوار شمالی و ۳۱٫۷٪ برای دیوار شرقی و غربی حاصل خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: نسبت سطح پنجره به دیوار، ابعاد بهینه پنجره، روشنایی روز، صرفه‌جویی انرژی، ساختمان‌های اداری

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نرگس برزنونی با عنوان «تعیین ابعاد بهینه پنجره برای استفاده از روشنایی طبیعی و حرارت در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم‌وخشک (نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر سبزوار)» است که با راهنمایی دکتر ریما فیاض و دکتر سیدبهشید حسینی در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه تهران انجام شده است.

مقدمه

کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها ازجمله اهداف مهمی است که امروزه طراحان در پی دستیابی به آن هستند. ساختمان‌های اداری ازجمله ساختمان‌های پرمصرف از منظر انرژی‌اند، زیرا برای تأمین گرمایش، سرمایش، روشنایی و استفاده از تجهیزات نیازمند انرژی هستند. برای دستیابی به صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های اداری می‌توان علاوه‌بر بهسازی پوسته خارجی، نسبت به تعیین سطح بهینه پنجره به دیوار اقدام کرد تا در برخی ساعات روز نیازی به استفاده از روشنایی مصنوعی نباشد. تاکنون استانداردهای بسیاری درزمینهٔ استفاده از انرژی روشنایی و گرمایش پنجره تدوین شده‌اند که از آن جمله می‌توان به استاندارد EN (EN. 15603) در کشورهای اروپایی اشاره کرد که در آن پنجره و نحوه پیکربندی نمای ساختمان بر میزان نیاز انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی تأثیر می‌گذارند. مطالعات نشان داده است که حدود ۲۰٪ از اتلاف حرارت ساختمان ازطریق پنجره‌ها صورت می گیرد (حیدری، ۱۳۹۴). در حال حاضر سطح جداره نورگیر خارجی برای دریافت تابش در ساختمان‌های اداری برای برخی شهرهای ایران محاسبه شده ولی در مقررات ملی ایران گنجانده نشده است. بنابراین تعیین ابعاد بهینه بازشو برای تمام نقاط ایران بیش از پیش ضروری‌ست و لازم است ویژگی‌های اقلیمی، استانداردهای موجود و عناصر معماری هر منطقه را بررسی و براساس آن ابعاد بهینه بازشوهای نورگیر را تعیین کرد.

هدف این پژوهش کاهش مصرف انرژی حرارتی و روشنایی در ساختمان‌های اداری شهر سبزوار و استفاده از انرژی خورشید است و منظور از انجام آن، دستیابی به ابعادی از نسبت بهینه سطح پنجره به دیوار در یک اتاق اداری است، به‌نحوی که صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش بار حرارتی و همچنین تأمین کیفیت مطلوب نور طبیعی در ساختمان‌های اداری فراهم شود تا به‌عنوان عددی ساده و قابل استفاده برای طراحان و معمارانی باشد که قصد طراحی در اقلیم سبزوار و یا اقلیمی مشابه آن را دارند و با استفاده از آن بتوانند ساختمان‌های اداری را به‌گونه‌ای طراحی کنند که ازلحاظ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به شرایط مطلوبی دست یابند.

پیشینهٔ تحقیق

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی درزمینهٔ صرفه‌جویی انرژی حاصل از بهینه‌سازی ابعاد پنجره‌ها در ساختمان‌ها انجام شده است. این تحقیقات در چند شاخه اصلی هستند ازجمله: بهینه‌سازی قاب پنجره و دررزبندی، سطح بهینه پنجره از نظر دریافت تابش خورشید و اتلاف حرارت و دریافت نور روز. ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ انرژی در بخش ساختمان‌اند؛ ازاین‌رو با ارائهٔ راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر را فراهم کرد (خداکرمی و قبادی، ۱۳۹۵).

جوئل و همکارانش تأثیر نسبت پنجره به دیوار بر مصرف انرژی یک ساختمان اداری در منطقهٔ آب‌وهوایی موسمی نیمه‌گرمسیری بنگلادش را ارزیابی می‌کنند. در این بررسی منطقه بنگلادش به ۸ منطقه آب وهوایی تقسیم شد و با درنظرگرفتن نسبت پنجره به دیوار (WWR[1]) بین ۱۰٪ تا ۸۰ ٪ آلترناتیوها طراحی شدند. برای یافتن درصد مطلوب شاخص نسبت بازشو به سطح نما برای ساختمان‌های اداری با تهویه مطبوع بنگلادش، تأثیر درصدهای مختلف آن بر مصرف انرژی هر ساختمان اداری با تهویه مطبوع مورد بررسی قرارگرفت. این مطالعه ۳۰ تا ۴۰ درصد نسبت بازشو به سطح نما را برای همه مناطق بنگلادش با توجه به آسایش حرارتی، راحتی بصری و مصرف بهینه انرژی پیشنهاد می‌کند. این درصد مطلوب می‌تواند کارایی انرژی و آسایش روشنایی را برای ساکنان ساختمان تضمین کند (Jewel *et al*., 2020). در مطالعه‌ای که توسط وانگ و

همکارانش انجام شد، نسبت شیشه به دیوار برای ۳۰ و ۱۰۰ درصد مقایسه شد تا تأثیر آن‌ها بر گرمای محیط و مصرف انرژی مشاهده شود. این مطالعه براساس یک مدل اداری ساده مجهز به سیستم فن کویل واقع در پاریس انجام شد. با نسبت شیشه ۱۰۰ درصد، دفاتر از انرژی گرمایش و سرمایش بیشتری استفاده کردند، دمای هوا بیشتر و آسایش حرارتی کمتر شد (Wang *et al*., 2019). فتحی و کاووسی به دنبال یافتن محدوده مطلوب نسبت پنجره به دیوار در یک ساختمان اداری بلندمرتبه در چهار شهر مختلف ایران از چندین شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای Radiance و EnergyPlus استفاده کردند. آن‌ها ابتدا حداقل مقدار قابل قبول WWR را با درنظرگرفتن شاخص‌های UDI[۲] و SDA[۳] در هر چهار اقلیم مشخص کردند. سپس پنجره‌های سنتی با پنجره‌های الکتروکرومیک جایگزین شدند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی ساختمان تا ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. در مرحله بعدی، نمای یکپارچه با فتوولتاییک (BIPV[۴]) با پنجره‌های الکتروکرومیک ترکیب شد و مصرف انرژی را تا ۶۵ درصد کاهش داد (Fathi *et al*., 2021). صیادی و همکاران نسبت بهینه پنجره به دیوار را در هفت شرایط مختلف آب‌وهوایی براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گیگر و برمبنای کمترین مصرف انرژی کل (سرمایش، گرمایش و روشنایی) بررسی کردند. آن‌ها همچنین تأثیر سایبان‌ها و پرده‌های اتوماتیک بر روی بهینه‌سازی شاخص نسبت بازشو به سطح نما را نیز ارزیابی کردند. برای هر شرایط آب‌وهوایی، جهتگیری، نوع پنجره به‌کاررفته و شرایط آسایش، محدوده مطلوب برای ترکیب‌های پنجره با پرده، با سایبان یا بدون هیچ‌کدام یافت شد (Sayadi *et al*., 2021). کیم و همکارانش یک مطالعه بر روی شاخص‌های مصرف انرژی در یک ساختمان اداری در کره انجام دادند. این مطالعه به‌طور کمّی تأثیر اندازه ساختمان و مساحت پنجره بر مصرف انرژی ساختمان را تجزیه‌وتحلیل کرده است. به‌منظور بررسی این همبستگی، تجزیه‌وتحلیل محدوده بر روی زمین‌های مربع‌شکل محدود شد تا تنوع سطح کف ساختمان‌های اداری محدود شود. این مقاله محدودیت‌های WWR موجود را که به‌عنوان شاخص عملکرد انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجزیه‌وتحلیل کرده و WFR[۵] را به‌عنوان یک جایگزین جدید پیشنهاد داده است. با بررسی تأثیر شاخص نسبت بازشو به سطح نما مشاهده شد که با افزایش این نسبت، تقاضای انرژی برای ساختمان به‌طور نسبی افزایش یافت. از نظر مساحت پنجره به دیوار، برای ساختمان‌های کوچک تأثیر مساحت پنجره به دیوار بر روی انرژی با افزایش اندازه ساختمان بسیار افزایش یافت، اما با افزایش بیشتر اندازه ساختمان، این اثر کاهش یافته و پس‌از اندازه خاصی (۳۰×۳۰)، نشان داده شد که این تأثیر دیگر با WWR متناسب نیست. بنابراین، می‌توان از نسبت بازشو به سطح نما به‌عنوان شاخص عملکرد انرژی برای ساختمان‌های زیر ۲۵۰۰ متر مربع استفاده کرد، اما برای ساختمان‌های بزرگ‌تر منطقی نیست (Kim *et al*., 2021). مطالعه‌ای توسط بادچه و بوچام برای ساختمان‌های اداری در الجزایر انجام شده است تا عملکرد انرژی یک شیشه دوجداره را پیش‌بینی کند. این مطالعه که برای سه منطقه آب‌وهوایی اصلی الجزایر (مدیترانه ، نیمه‌خشک و خشک) انجام شده، نشان می‌دهد که بهینه‌سازی پارامترهای پنجره‌بندی می‌تواند بارهای انرژی را در ساختمان‌های اداری کاهش داده و صرفه‌جویی انرژی را به دنبال داشته باشد. در جهت جنوبی آب‌وهوای نیمه‌خشک، کارآمدترین نسبت شیشه ۴۰٪ تا ۵۰٪ به دست آمد (Badeche & Bouchahm, 2020). دتسی و همکارانش یک تحقیق برای کشف قابلیت صرفه‌جویی انرژی واحدهای شیشه‌ای عایق‌بندی‌شده که مواد الکتروکرومیک و ترموکرومیک را در یک ساختمان اداری مدرن با WWR بالا ترکیب می‌کند، برای دو شهر با شرایط آب‌وهوایی متفاوت آتن و استکهلم انجام دادند (Detsi *et al*., 2020). یوم و همکارانش معتقدند که با توجه به اینکه مطالعات اخیر بر روی مفاهیم طراحی کاربرمحور بر ترجیحات فضایی و الگوی رفتاری کارکنان تمرکز می‌کند، تأکید بر این است که امروزه طراحی ساختمان براساس طراحی بهینه فضای کار برای ارتقاء رضایت روانی و عملکرد کارکنان باشد. هدف از

مطالعه آنان تعیین نسبت بازشو به سطح نمای مطلوب با توجه به عملکرد کارکنان و مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری کره جنوبی است. بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO[6]) برای تعیین WWR بهینه انجام شد (Yeom *et al*., 2020). تئولوپاکی و تئودوسیو در بررسی خود به متدولوژی مدل‌سازی پارامتریک و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفهٔ ترکیب‌شده برای شبیه‌سازی یکپارچه انرژی در مراحل اولیه طراحی به‌منظور کمینه‌کردن نیاز انرژی آن در طول حیات ساختمان و دست‌یابی به استانداردهای طراحی ساختمان نزدیک به صفر انرژی پرداخته‌اند. از نظر آنان نیاز به مقابله با چندین هدف متناقض به‌طور هم‌زمان، در تمام مراحل فرایند طراحی ضروری و ایجاد یک رویکرد جامع برای طراحی ساختمان پایدار امری مهم است (Theodosiou & Touloupaki, 2017). فنگ و همکارانش در مطالعه خود یک ساختمان نزدیک به صفر انرژی دوطبقه را در یک منطقه سردسیر مدل کردند. در این مدل، تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف WWR بر مصرف انرژی تحلیل شد و مشخص شد بیشترین تأثیر را به‌ترتیب بر جهات شرق (غرب)، جنوب، شمال دارد. همچنین در جهات شرق (غرب) و جنوب افزایش نسبت بازشو به سطح نما مصرف انرژی سرمایش را نسبت به انرژی گرمایش بیشتر افزایش می‌دهد. در جبهه شمالی اگر شرایط روشنایی و تهویه اجازه دهد کاهش WWR کاهش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت (Feng *et al*., 2017). منگوتو و روهما یک بهینه‌سازی طراحی انجام دادند تا بهترین ترکیب از نسبت پنجره به دیوار، بازتاب دیوار و جهت‌گیری پنجره برای ساختمان‌های گرمسیری را بررسی کنند. شاخص‌های مورد مطالعه در این بررسی مصرف انرژی ساختمان و شاخص‌های ارزیابی نور روز انتخاب شد (Mangkuto *et al*., 2016). جوییا با استفاده از تعداد گسترده از شبیه‌سازی‌های یکپارچه روشنایی و حرارتی به همراه تحلیل حساسیت، محدودهٔ پیشنهادشده برای نسبت بازشو به سطح نما را حول مقدار بهینه آن برای اقلیم‌ها و جهت‌گیری‌های مختلف پیدا کرده است. بررسی آن‌ها نشان داده که آب‌وهوای گرم آن‌هایی هستند که در آن‌ها انتخاب یک مقدار نسبت بازشو مناسب اهمیت بیشتری دارد، چرا که به دلیل افزایش استفاده از انرژی برای سرمایش مقدار نسبت بازشو به سطح نما بسیار دور از محدوده بهینه منجر به بالاترین افزایش در مصرف انرژی می‌شود (Goia, 2016). در مقاله کینگ سونگ و فوکودا یک تکنولوژی تجزیه‌وتحلیل شبیه‌سازی معماری و تکنولوژی بهینه‌سازی پارامتریک معرفی شده که به‌طور خودکار طراحی و شبیه‌سازی می‌کند. نمونه مورد بررسی ساختمان اداری در پکن چین است و نشان داده شده که چگونه انرژی پلاس و ریدینس با نرم‌افزار بهینه‌سازی ادغام می‌شود تا نسبت سطح پنجره به هر دیوار را طوری بیابد که کاهش انرژی حرارتی کل و افزایش نور روز مفید به دست آید (Qingsong & Fukuda, 2015). تحقیق انجام‌شده توسط هارمتی و مگیار تجزیه‌وتحلیل دقیق در تلاش برای بهبود عملکرد انرژی ساختمان از نظر تأثیرات پوسته ساختمان بر روی نیاز گرمایش سرمایش سالانه ارائه می‌دهد. هدف این است که روش‌های مداخله پرکاربرد برای بهبود پوسته نشان داده شود و به معماران و متخصصین اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری سازنده در روند بازسازی و بهبود فرایند ساختمان‌های اداری موجود پیشنهاد شود. پوسته ساختمان به‌منظور تعیین بهینه سطح پنجره به دیوار و هندسه پنجره (WG[7]) در عملکرد کیفیت نور داخلی در دفاتر از طریق شبیه‌سازی‌های عددی در موتور Radiance و پس‌از آن ارزیابی تأثیر شیشه‌بندی در نیاز انرژی سالانه مورد بررسی قرارگرفت. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای بین هزینه‌های سالانه ساخت ساختمان و تقاضاهای گرمایش و سرمایش شبیه‌سازی‌شده ازطریق مدل حرارتی چندزونه ساخته‌شده در موتور EnergyPlus انجام شد (Harmathy & Magyar, 2015). مقاله تدوین‌شده توسط گیجون و همکاران ارزیابی عملکرد حرارتی یک دفتر اداری را در بالای ساختمان با چهار ترکیب‌بندی مختلف از پنجره شیشه‌ای و تأثیر آن بر شرایط داخلی نشان می‌دهد (Gijón-Rivera *et al*., 2011). در مقاله دیگری نشان داده شده است که نیاز انرژی سالانه برای گرمایش، سرمایش و روشنایی

الکتریکی به‌عنوان عملکردی از موقعیت، اندازه و شکل پنجره برای محیط دفتری در هلند قابل محاسبه است. سیستم‌های نورپردازی نیمه‌اتوماتیک به تأثیر کاربر بر روی خواسته‌های نورپردازی خود تأثیر می‌گذارد. این باعث می‌شود کاربر یک عامل بزرگ در تعیین مقدار روشنایی الکتریکی در طول یک سال باشد (Bokel, 2007). در مقاله‌ای که توسط قیسی و تینکر کار شد روشی برای پیش‌بینی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در نورپردازی با استفاده از مفهوم مساحت ایده‌آل پنجره وقتی که بین نور روز با سیستم روشنایی مصنوعی یکپارچگی موثر وجود دارد، ارائه شده است (Ghisi & Tinker, 2005).

روش‌شناسی تحقیق

ماهیت این پژوهش از نوع توصیفی تحلیلی بوده است. شیوه مطالعاتی در پاره‌ای موارد مطالعه اجمالی و در مواردی دیگر تفصیلی بوده است. براساس مطالعات کتابخانه‌ای، ویژگی‌های عناصر طرح ارائه شده است. پس‌از آن بررسی کمّی صورت می‌گیرد و با مدل‌سازی پارامترهای قابل اندازه‌گیری و شبیه‌سازی اطلاعات، بهینه‌سازی سطح پنجره با توجه به استانداردهای موجود انجام می‌شود.

برای انجام این پژوهش، ابتدا اقلیم و فایل آب‌وهوایی مربوطه تهیه شد. سپس با بررسی میدانی تیپولوژی اتاق‌های اداری شهرستان به دست آمد. درنهایت ویژگی‌های جداره‌های اتاق با استفاده از استانداردهای موجود تعیین شد. الگوریتم ژنتیک برای فرایند بهینه‌سازی انتخاب و تابع هدف و متغیرهای مدّنظر تعریف شدند. مدل اصلی به کمک پلاگین پارامتریک گرس هاپر نسخه ۰٫۹٫۰۰۷۶ در نرم‌افزار راینو ۵ SR9 64-bit و افزونه هانی بی نسخه ۰٫۰٫۶۲ و لیدی باگ نسخه ۰٫۰٫۶۷ که در آن انرژی حرارتی با موتور انرژی پلاس ۸٫۵٫۰ و روشنایی با موتور ریدینس نسخه ۴٫۲٫۲ و دیسیم نسخه ۴٫۰٫۰٫۰ محاسبه می‌شود، طراحی شد. در ادامه، در بخش اول اقلیم موردنظر و نحوه اعتبارسنجی فایل آب‌وهوایی آن شرح داده می‌شود. در بخش دوم، گونه غالب اداری تعیین و سپس در بخش بعدی خواص جدارها و سایر برنامه‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی تعیین می‌گردد. پس از معرفی تابع هدف و پارامترهای مختلف، تاثیر متغییرهای عرض و ارتفاع بر میزان مصرف انرژی سالانه سنجیده و ارزیابی می‌شود.

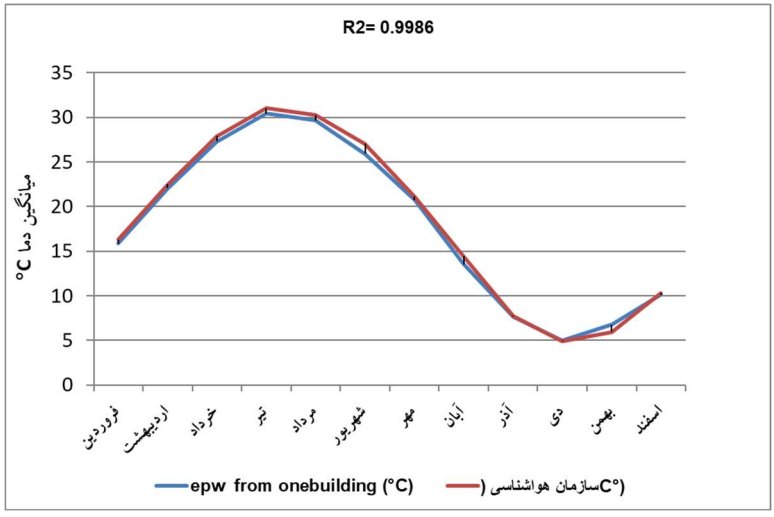
۱. تعریف اقلیم مورد نظر و تهیه فایل آب‌وهوایی معتبر برای آن

برای شبیه‌سازی نیاز به اطلاعات آب‌وهوایی کاملی از شهر مورد نظر است. این پارامترها شامل عرض و طول جغرافیایی، دمای خشک هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، تابش مستقیم و پراکنده خورشیدی و غیره است. برای تهیه فایل دقیق و قابل استفاده آب‌وهوایی برای شهرستان سبزوار ابتدا اطلاعات آب‌وهوایی به‌صورت فایل epw [۸] از سایت www.climate.onebuilding.org و نیز اطلاعات آب‌وهوایی ۳۰ ساله از سازمان هواشناسی سبزوار تهیه و این آمار با یکدیگر مقایسه شدند.

برای مقایسه دو دادهٔ آب‌وهوایی و اطمینان از صحت فایلepw تهیه‌شده، نیاز به اطلاعات ماهانه است. بنابراین دمای خشک هوا برای سبزوار به‌صورت ساعتی از ساعت صفر روز یکم ماه یکم (01/01 @ 00:00:00) تا ساعت ۲۳ روز سی‌ویکم ماه دوازدهم (12/31 @ 00:00:23) از فایلepw موجود در سایت استخراج شد. سپس با استفاده از این ۸۷۶۰ داده ساعتی، دمای ماهانه میانگین به دست آمد. با توجه به این نکته که اعداد به دست آمده میانگین دمای ماهانه برای ماه‌های میلادی است، بنابراین باید داده‌ها برای ماه‌های شمسی تبدیل شوند (جدول ۱). میانگین دمای ماهانه برای دورهٔ سی‌ساله از سازمان هواشناسی سبزوار نیز کسب شد. درنهایت این دو با یکدیگر مقایسه شدند و ضریب همبستگی ۰/۹۹۸ به دست آمد (شکل ۱). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های فایل epw برای شبیه‌سازی معتبر و قابل استناد هستند.

جدول ۱. میانگین دمای ماهانه برای ماه‌های شمسی

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین دمای ماهانه (C)	۱۵٫۹	۲۲٫۱	۲۷٫۳	۳۰٫۴	۲۹٫۷	۲۵٫۹	۲۰٫۸	۱۳٫۵	۷٫۷	۵٫۰	۶٫۸	۱۰٫۱

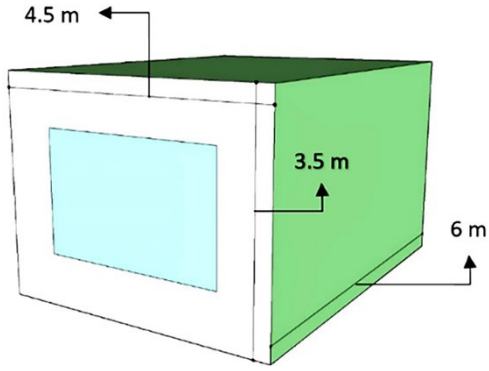


شکل۱. ضریب تشخیص بین میانگین دمای ماهانه به دست آمده و میانگین دمای ماهانه از سازمان هواشناسی

۲. تعیین ابعاد گونه غالب اتاق اداری

برای تعیین ویژگی‌های ادارات شهر سبزوار و ابعاد اتاق مورد بررسی، تعداد ۲۶ ساختمان اداری براساس زمان ساخت پروژه، زیربنای مفید، جهت‌گیری ساختمان، تعداد طبقات، مصالح دیوارهای خارجی، مصالح نما، ضخامت دیوارهای خارجی، نوع کفسازی، نوع سقف، عایقکاری رطوبتی و حرارتی سقف، عایقکاری حرارتی دیوارها، نوع قاب پنجره، تعداد جداره‌های پنجره و نوع سوخت مصرفی برای گرمایش و سرمایش ساختمان مطالعه شدند. براساس این مطالعه مشخص شد در اکثر این ساختمان‌ها دیوارهای آجری با ضخامت ۳۵ سانتی‌متر و نمای سنگی به کار رفته است و تقریباً در تمام آن‌ها گرمایش ازطریق موتورخانه مرکزی و سرمایش با استفاده از کولر آبی تأمین می‌شود.

از مطالعه ساختمان‌ها اداری شهر سبزوار، ابعاد متداول اتاق اداری در این شهر به دست آمد. تعداد ۱۶۳ اتاق اداری، که از جهات مختلف نور می‌گیرند، بررسی شدند. برای پیدا کردن عمق گونه غالب، عمق اتاق‌هایی که از یک‌سو دارای بازشو هستند مورد تحلیل قرارگرفت. درنهایت گونه غالب با ابعادی برابر با ۴٫۶ متر عرض و ۶٫۳ متر طول و ۳٫۵ متر ارتفاع به دست آمد. تنها دیواری که پنجره برآن قرار می‌گیرد خارجی فرض شد و سایر دیوارها داخلی و جداکننده در نظر گرفته شدند. واحد نمونه شبیه‌سازی شده در طبقهٔ اول یک ساختمان اداری قرارگرفته و در طبقات بالا و زیرین آن در همسایگی با واحدهای دیگر قرار دارد. این اتاق از سه طرف رو به فضای داخل و تنها از یک سمت رو به بیرون پنجره دارد (شکل ۲).



شکل ۲. اتاق نمونه مدلسازی شده

۳. تعیین ویژگی‌های جدار اتاق گونه غالب

از نظر نیاز انرژی شهر سبزوار و نوع کاربری، ساختمان مورد نظر با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران در گروه ۳ قرار می‌گیرد. ضرایب هدایت حرارتی عناصر ساختمانی مطابق با این مقررات و به روش کارکردی استخراج شد (جدول ۲). به غیر از جدار خارجی سایر جداره‌ها آدیاباتیک فرض می‌شوند.

جدول ۲. ضرایب انتقال حرارت مرجع عناصر ساختمانی برای اتاق نمونه

عناصر ساختمانی	ضرایب انتقال حرارت سطحی
دیوار $(\frac{W}{m^2K})$	۱٫۰۲
جدار نور گذر $(\frac{W}{m^2K})$	۳٫۹۴

منبع: مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم، ۱۳۸۹

برنامه زمان‌بندی حضور افراد در ساعات اداری ۷ تا ۱۵ حضور و برای ساعات دیگر عدم‌حضور درنظر گرفته‌شد. در روزهای تعطیلی ادارات (پنج‌شنبه و جمعه)، برای تمامی ساعات عدم‌حضور. با توجه به اینکه در بررسی تیپ‌بندی اداری اتاقی که تنها یک کارمند داشته باشد نشد، تعداد کارمندان اتاق ۲ نفر فرض شد. نرخ متابولیک افراد برای کار نشسته (کارهای اداری، آموزشی و آزمایشگاهی) ۷۰ وات بر مترمربع یا ۱٫۲ met فرض شد (استاندارد ملی ۱۴۳۸۴). برنامه روشن و خاموش بودن سیستم روشنایی مطابق با حضور و عدم‌حضور افراد برای ساعات و روزهای کاری مشخص شدند. بار تجهیزات مقدار ۲ وات بر مترمربع سطح کف برای زمانی که یک یا دو کامپیوتر در اتاق داشته باشیم، تا ۱۵ وات بر مترمربع برای اتاق اداری که از دستگاه‌ها و کامپیوترها انباشته باشد، متغیر است (ASHREA 2010 ,90.1.). این عدد، مطابق با استاندارد اشری برای یک اتاق اداری معمولی ۶٫۹ وات بر مترمربع است. برای برنامه زمانبندی فعالیت تجهیزات نیز بدین‌گونه عمل می‌شود که از ساعت ۰ تا ۶ صبح ۴۰٪ تجهیزات، از ساعت ۷ تا ۱۵ مقدار ۹۰٪ تجهیزات، در ساعت ۱۲ مقدار ۸۰٪ (به‌دلیل استراحت)، در ساعت ۱۶ مقدار ۵۰٪ تجهیزات، از ساعت ۱۸ تا ۲۳ مجددا ۴۰٪ تجهیزات فعال باشند و برای روزهای تعطیل ۳۰٪ تجهیزات فعال باشند (ASHREA 2010 ,90.1.).

استانداردهای روشنایی مختلف مقادیر متفاوتی را برای سطح مطلوب روشنایی پیشنهاد داده‌اند که از ۲۰۰ تا ۵۰۰ لوکس را شامل می‌شود (CIBSE، ۲۰۰۵؛ BS EN، ۲۰۰۲؛ مبحث سیزدهم، ۱۳۸۲). برای روشنایی اتاق مورد نظر سطح روشنایی اتاق ۵۰۰ لوکس تعیین شد؛ زیرا در بعضی اوقات سال شرایط بهره‌گیری این میزان روشنایی را ازطریق روشنایی طبیعی فراهم است. ست پوینت‌های گرمایی و سرمایی نیز مطابق با مبحث نامبرده تعیین شد (مبحث سیزدهم، ۱۳۸۲). استاندارد اشری، نرخ نفوذ هوا را براساس سطح نمای در معرض بیرون پیشنهاد می‌دهد و با توجه به اینکه نمی‌توان گفت ساخت‌وسازهای ایران اصولی باشند، برای انجام بهینه‌سازی در این مطالعه نرخ نفوذ هوا مقدار ۰/۰۰۰۶ درنظر گرفته‌شد (جدول ۳).

جدول ۳. پیش‌فرض‌های تعیین‌شده برای اتاق نمونه

نوع	مقدار	واحد
بارتجهیزات	۶٫۹	$(\frac{W}{m^2})$
میزان روشنایی	۵۰۰	(Lux)
ست‌پوینت گرمایشی	۲۰	℃
ست‌پوینت سرمایشی	۲۸	℃
نرخ نفوذ هوا	۰٫۰۰۰۶	$(\frac{m^3}{sm^2})$
تعداد افراد درون اتاق	۰٫۰۷٤	$(\frac{people}{m^2})$

منبع:.ASHREA 2010 ,90.1؛ مبحث سیزدهم، ۱۳۸۲؛ مبحث نوزدهم، ۱۳۸۹

مرکز سلامت محیط و کار ،که یک نهاد قانونی نظارت بر تأمین روشنایی مطلوب در محیط‌های شغلی است، اصولی را تحت عنوان راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار ارائه کرده است. در این راهنما به روش RCR [۹]برمبنای یک قاعده محاسباتی متناسب با شرایط محیط و خصوصیات چراغ‌ها برای رسیدن به متوسط شدت روشنایی مورد نیاز عمل می‌شود (قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور، ۱۳۹۵). رابطه محاسبات کلی در این روش در رابطه‌های شماره ۱ و ۲ آمده است:

$$E_{Av} = \frac{\emptyset_t}{\mathrm{A}} \times CU \times TLLF \qquad (۱)$$

که در آن:

E_{Av} متوسط شدت روشنایی روی سطح مورد نظر (لوکس)

$\emptyset_t$ شار نوری مجموعه چراغ‌ها (لومن)

A مساحت مکان مورد طراحی (متر مربع)

CU ضریب بهره روشنایی سامانه

TLLF مجموع افت‌های ناشی از عوامل مختلف است.

$$RCR = \frac{5h_{rc}(L+W)}{L.W} \qquad (۲)$$

که در آن:

RCR شاخص نسبت ناحیه اتاق

h_{rc} ارتفاع طراحی یا ارتفاع ناحیه اتاق (متر)

L طول مکان (متر)

W عرض مکان (متر) است.

تعداد چراغ‌های مورد نیاز به میزان شار نوری کل برای تأمین روشنایی و لومن هر واحد چراغ برای هر محدوده طراحی وابسته است. پس‌از تعیین مقادیر CU و TLLF و با داشتن مساحت محدوده مورد طراحی و متوسط شدت روشنایی عمومی مورد نیاز می‌توان با استفاده از رابطه شماره ۳ شار نوری کل مورد نیاز چراغ‌ها را به دست آورد و با تقسیم این عدد بر شار نوری هر واحد چراغ، تعداد چراغ‌ها را محاسبه کرد (رابطه ۴).

$$\emptyset_t = \frac{E_{avg} \times A}{CU \times TLLF} \qquad (۳)$$

$$n = \frac{\emptyset_t}{\emptyset_l} \qquad (۴)$$

که در آن:

$\emptyset_t$ مقدار کل شار نوری مورد نیاز (لومن)

$\emptyset_l$ مقدار شار نوری چراغ (لومن)

E_{avg} شدت روشنایی عمومی مورد نیاز (لوکس)

CU ضریب بهره روشنایی سامانه

TLLF مجموع افت‌های روشنایی سامانه در اثر عوامل مختلف

A مساحت مکان مورد طراحی (مترمربع)

n تعداد چراغ مورد نیاز است.

با درنظرگرفتن تمام موارد ذکرشده، و با فرض اینکه چراغ‌ها به سقف چسبیده باشند و با درنظرگرفتن ارتفاع سطح کار ۸۰ سانتی‌متر، ارتفاع ناحیه اتاق به دست می‌آمد (جدول ۴). نوع چراغ ال‌ای‌دی (LED) ۳۰ وات درنظر گرفته‌شد. تعداد هشت چراغ با لامپ‌های ۳۰ واتی ال ای دی مورد نیاز است (جدول ۵).

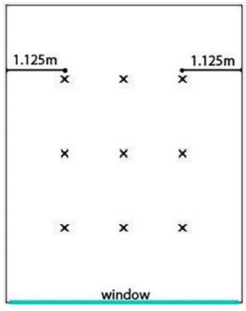
جدول ۴. ویژگی‌های اتاق و ارتفاع سطح کار

طول اتاق (m)	عرض اتاق (m)	ارتفاع اتاق (m)	ارتفاع سطح کار (m)	hrc (m)	RCR
۶	۴٫۵	۳٫۵	۰٫۸	۲٫۷	۵٫۲۵۰۰

جدول ۵. تعداد لامپ مورد نیاز اتاق نمونه برای تامین ۵۰۰ لوکس روشنایی

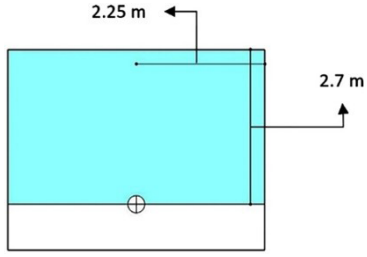
CU	TLLF	مساحت اتاق (m^2)	(lux) E_{avg}	(لومن) $\emptyset_t$	(لومن) $\emptyset_t$
۰٫۸۵	۰٫۸	۲۷	۵۰۰	۱۹۸۵۲٫۹۴۱۲	۲۶۵۰

بنابراین تعداد ۸ لامپ ال‌ای‌دی ۳۰ وات با ۲۶۵۰ لومن شار نوری مورد نیاز است. سیستم روشنایی مصنوعی در نرم‌افزار دیمردار و همچنین دارای حسگر حضور و ستپوینت‌ها یا حسگرهایی نیز در ارتفاع کار (۸۰ سانتی‌متر) تعیین شد (شکل ۳). بدین‌ترتیب هر زمان میزان روشنایی تعیین‌شده (۵۰۰ لوکس) ازطریق روشنایی روز تأمین شود، چراغ‌ها خاموش می‌شوند و درصورتی که میزان روشنایی روز کمتر از حدِّ تعیین شده بود، روشنایی مصنوعی به شکل دینامیک و دیم‌شده به کمک روشنایی روز خواهد آمد.



شکل۳. مکان حسگرها در اتاق نمونه

در برداشت‌ها و تعیین تیپ غالب ابعاد داخلی اتاق مدّنظر بود؛ لذا نیازی به کم‌کردنِ ضخامت دیوار و سقف نیست و پنجره می‌تواند در تمام سطح نما باشد (٪۱۰۰). به‌عبارت‌دیگر ضخامت دیوارها و سقف به این ابعاد اضافه می‌شوند. تنها به‌دلیل ارتفاع میز کار، و عناصر و تجهیزاتی مانند شوفاژ، کف پنجره‌ای معادل ۸۰ سانتی‌متر درنظر گرفته می‌شود. مرکز پنجره نیز در میانه عرض دیوار درنظر گرفته‌شد که پنجره در محدوده ارتفاعی تعیین‌شده تغییر می‌کند. بهترین جهت برای دریافت تابش زمستان، جهت‌گیری رو به جنوب است. به‌همین‌دلیل بعد کمتر اتاق رو به جنوب (و به‌طور کلی رو به تابش خورشید) قرارمی‌گیرد تا در شرایط یکسان ازنظر کشیدگی کل بنای اداری تعداد اتاق‌های بیشتری بتوانند از نور بهره ببرند (شکل ٤).



شکل ۴. محدوده تغییر ابعاد پنجره در نما

۴. تعیین تابع هدف و پارامترهای متغیر برای فرایند بهینه‌سازی

هدف اصلی این پژوهش یافتن راهی برای کاهش هرچه بیشتر مصرف انرژی‌های گرمایش، سرمایش و روشنایی

و در نتیجه کاهش مصرف گاز و برق مصرفی ساختمان و هزینه‌های آن است. یکی‌از گزینه‌های موثر ویژگی‌ها، ابعاد و محل قرارگیری پنجره است. به‌این‌منظور تابع هدف تعیین‌شده برای انجام عملیات بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک کاهش مصرف انرژی سالانه روشنایی و حرارت، که در رابطه شماره ۵ نشان داده شده است، نحوه عملیات بهینه‌سازی به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که میزان به کمینه خود برسد (شکل ۵).

$$TEC = \sum Ec + \sum Eh + \sum El \qquad (۵)$$

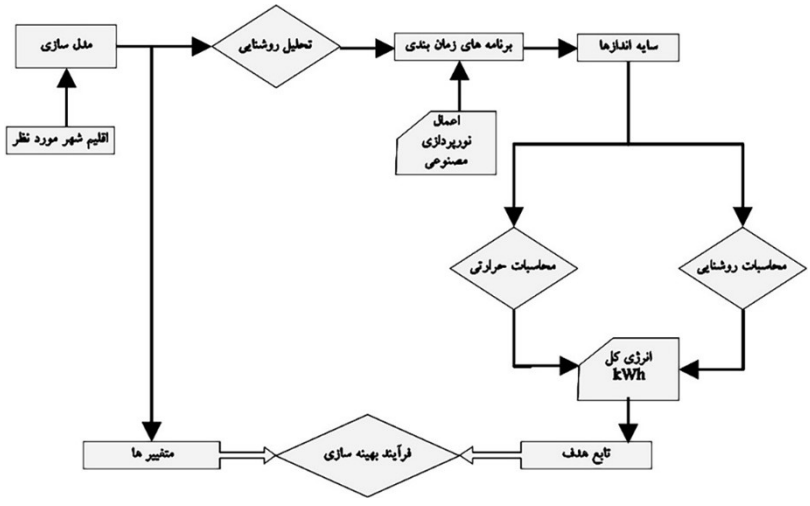
که در آن:

Ec میزان مصرف سالیانه انرژی برای سرمایش (kWh)

Eh میزان مصرف سالیانه انرژی برای گرمایش (kWh)

El میزان مصرف سالیانه انرژی برای روشنایی (kWh)

TEC میزان مصرف سالیانه انرژی برای روشنایی وحرارت (kWh) است



شکل۵. فرایند مدل‌سازی مصرف انرژی و محاسبات نور و حرارت

۵. بررسی مجزای هر یک از متغیرها

پارامترهای متغیر جهت انجام بهینه‌سازی ابعاد پنجره نمونه شبیه‌سازی شده به شرح زیر است :

- عرض پنجره
- ارتفاع پنجره

با توجه به تغییر این پارامترها تمامی حالات ممکن برای قرارگیری پنجره با درنظرگرفتن دامنه تغییر ۲۵ سانتی‌متر برای ارتفاع و ۵۰ سانتی‌متر برای عرض اندازه‌گیری شده است. به این صورت که ابعاد پنجره از عرض ۰/۵ متر تا ۴/۵ متر و از ارتفاع ۰/۲۵ متر تا ۲/۵ متر تغییر خواهد کرد. محدوده تغییرات پنجره در ارتفاع از ۸۰ سانتی‌متر بالاتر از کف شروع می‌شود. ابعاد جداری که پنجره بر آن قرار گرفته ۴/۵ در ۳/۵ متر است. بنابراین بیشترین ابعاد برای پنجره ۴/۵ متر برای عرض و ۲/۷ متر برای ارتفاع آن است که مساحتی معادل ۱۲/۱۵ مترمربع به دست می‌دهد یعنی ۷۷ درصد سطح دیوار (جدول ۶).

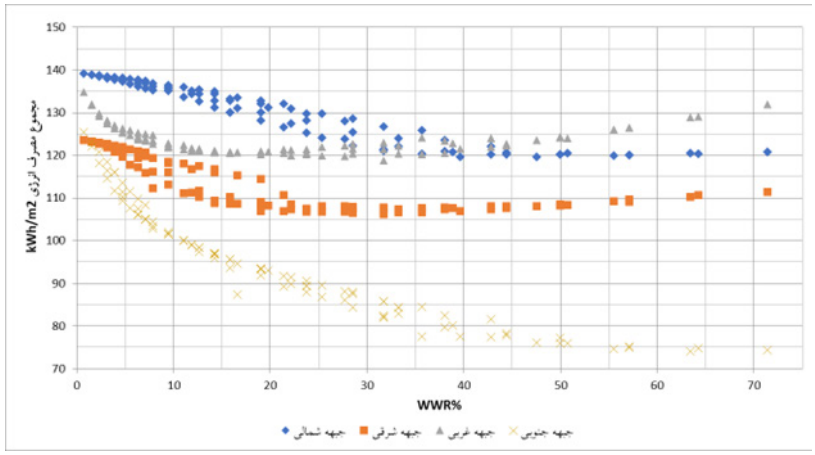
جدول ۶. متغییرهای مساله و دامنه تغییر آنها

	دامنه تغییر (m)	گام تغییر (m)
عرض اتاق	-	ثابت
عمق اتاق	-	ثابت
ارتفاع اتاق	-	ثابت
طول پنجره	۰٫۵-۴٫۵	۰٫۵
ارتفاع پنجره	۰٫۲۵-۲٫۵	۰٫۲۵

۶. تأثیر همزمان متغیرهای عرض و ارتفاع پنجره بر میزان مصرف انرژی سالانه

برای بهینه‌سازی ابعاد پنجره با هدف کمترین مصرف انرژی حرارتی و روشنایی، مدل اتاق با ویژگی‌ها و پیش‌فرض‌های تعیین‌شده در جهات مختلف چرخانده شد. ابعاد جداری که پنجره بر آن قرارگرفته ۴/۵ در ۳/۵ متر است. تمامی حالات ممکن برای قرارگیری پنجره با درنظرگرفتن دامنه تغییر ۲۵ سانتی‌متر برای ارتفاع و ۵۰ سانتی‌متر برای عرض درنظر گرفته شده است. به این صورت که ابعاد پنجره از عرض ۰/۵ متر تا ۴/۵ متر و از ارتفاع ۰/۲۵ متر تا ۲/۵ متر تغییر خواهد کرد.

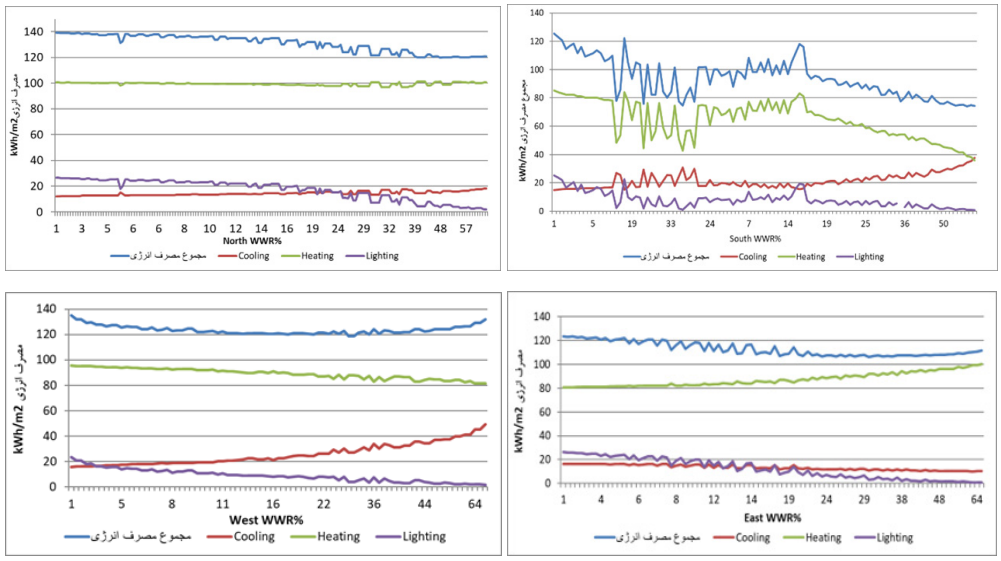
در شکل (۶) مجموع مصرف انرژی نسبت به سطح پنجره به دیوار نشان داده شده است. پس‌از انجام شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل ۹۰ حالت مختلف ،۹ حالت برای عرض و ۱۰ حالت برای ارتفاع پنجره در جبهه جنوبی، این نتیجه حاصل شد که هرچه سطح پنجره افزایش یابد از مصرف انرژی کاسته می‌شود. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، برای جبهه شمالی پراکندگی بیشتری نسبت به جبهه جنوبی وجود دارد. در محدودهٔ تغییر نسبت سطح پنجره به دیوار در جهت شمالی تا مقدار تقریباً ۴۵٪ هرچه سطح پنجره افزایش یابد از مصرف انرژی کاسته می‌شود ولی از ۴۵٪ به بعد با افزایش سطح پنجره افزایش مجموع مصرف مشاهده می‌شود. با بررسی ۱۳۱ حالت شبیه‌سازی شده برای جبهه شرقی مشخص شد که در این جبهه در محدودهٔ تغییر نسبت سطح پنجره به دیوار تا مقدار تقریباً ۲۰٪ هرچه سطح پنجره افزایش یابد از مصرف انرژی کاسته می‌شود ولی از ۲۰٪ به بعد با افزایش سطح پنجره افزایش مجموع مصرف مشاهده می‌شود. با ۱۲۶ حالت شبیه‌سازی شده برای جبهه غربی نیز در این جبهه در محدودهٔ تغییر نسبت سطح پنجره به دیوار تا مقدار تقریباً ۲۵٪ هرچه سطح پنجره افزایش یابد از مصرف انرژی کاسته می‌شود ولی از ۳۵٪ به بعد با افزایش سطح پنجره افزایش مجموع مصرف مشاهده می‌شود.



شکل ۶. روند تغییرات مجموع مصرف انرژی با افزایش WWR

شکل (۷) مصرف انرژی را به تفکیک جهت پنجره نشان می‌دهد. در جبهه جنوبی با افزایش سطح پنجره نسبت به سطح دیوار، مصرف انرژی گرمایشی و روشنایی کاهش می‌یابد ولی مصرف انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد که در مجموع با افزایش WWR تا ۶۴٪، کاهش مصرف انرژی کل مشاهده می‌شود. با افزایش سطح پنجره جبهه شمالی در مصرف انرژی گرمایشی تغییر کمی حاصل می‌شود. در این جبهه مصارف انرژی‌های سرمایش و روشنایی بیشتر از سطح پنجره تأثیر می‌پذیرند. با افزایش سطح پنجره میزان مصرف انرژی سرمایشی افزایش و روشنایی کاهش می‌یابد. با افزایش سطح پنجره به دیوار تا ۴۵٪، مجموع مصرف انرژی کل افزایش می‌یابد و از ۴۵٪ به بعد تقریباً ثابت می‌ماند. سطح بهینه پنجره به دیوار در جبهه شمالی برای دریافت کمترین مصرف انرژی معادل ۴۸٪ است. در جبهه شرقی با افزایش سطح پنجره مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد. مصرف انرژی سرمایشی ابتدا تقریباً ثابت است سپس کاهش می‌یابد و مصرف انرژی روشنایی با افزایش سطح پنجره کاهش می‌یابد. در مجموع با افزایش سطح پنجره به دیوار تقریباً تا ۳۰٪، مجموع مصرف انرژی کل کاهش می‌یابد سپس ثابت و درنهایت رو به افزایش می‌رود. سطح بهینه پنجره به دیوار برای دریافت کمترین مصرف انرژی در جبهه شرقی ۳۱/۷٪ به دست آمد. در جبهه غربی با افزایش سطح پنجره، مصرف انرژی گرمایشی کاهش می‌یابد ولی مصرف انرژی سرمایشی افزایش، و مصرف انرژی روشنایی با افزایش سطح پنجره کاهش می‌یابد. نمودار افزایشی مصرف انرژی سرمایشی از ۳۶٪ پنجره به بعد دارای شیب بیشتری است. در مجموع با افزایش سطح پنجره به دیوار تقریباً تا ۳۰٪، مجموع مصرف انرژی کل کاهش می‌یابد سپس رو به افزایش می‌رود. سطح بهینه پنجره به دیوار برای دریافت کمترین مصرف انرژی در جبهه غربی ۳۱/۷٪ به دست آمد.

درصد بهینه برای کمترین مصارف انرژی به‌طور مجزا برای گرمایش، سرمایش و روشنایی در جدول (۷) ارائه شده است. کمترین مصرف انرژی کل در جبهه جنوبی با ۶۳/۵٪ سطح بهینه پنجره به دیوار حاصل شد. با این درصد سطح پنجره در نمای جنوبی اتاق مورد نظر، مصرف انرژی سالانه ۷۴/۱ کیلووات‌ساعت بر مترمربع خواهد بود. در این جبهه درحالتی که پنجره کمترین ابعاد را داشته باشد، مصرف انرژی سرمایشی به کمترین میزان خود خواهد رسید و درحالتی که پنجره بیشترین ابعاد را اختیار کند، مصرف انرژی گرمایشی و روشنایی به کمترین میزان خواهد رسید. در جبهه شمالی کمترین میزان مصرف انرژی کل یعنی ۱۹۹/۷ کیلووات‌ساعت بر مترمربع با ۴۸٪ سطح بهینه پنجره به دیوار حاصل شد. برای جبهه شرقی (و غربی) درصد بهینه پنجره به دیوار ۳۲٪ کمترین مصرف انرژی کل را به همراه داشت.



شکل ۷. روند تغییرات مصرف انرژی‌های مختلف با افزایش WWR برای هر ۴ جبهه اصلی
(بالا راست: پنجره جنوبی، بالا چپ: پنجره شمالی، پایین راست: پنجره شرقی، پایین چپ: پنجره غربی)

جدول ۷. درصد بهینه پنجره برای کمترین مصارف انرژی‌های مختلف

	عرض پنجره (m)	ارتفاع پنجره (m)	مجموع مصرف انرژی کلی ($\frac{kWh}{m^2}$)	مصرف انرژی سرمایش ($\frac{kWh}{m^2}$)	مصرف انرژی گرمایش ($\frac{kWh}{m^2}$)	مصرف انرژی روشنایی ($\frac{kWh}{m^2}$)	مساحت پنجره(m^2)	WWR (٪)
جبهه جنوبی	۴	۲٫۵	۷۴٫۱۱۰	۳۴٫۳۶۱	۳۸٫۸۴۳	۰٫۹۰۶	۱۰	۶۳٫۴۹
	۰٫۵	۰٫۲۵	۱۲۵٫۴۷۰	۱۴٫۹۳۵	۸۵٫۲۴۷	۲۵٫۲۸۹	۰٫۱۲۵	۰٫۷۹
	۴٫۵	۲٫۵	۷۴٫۳۳۶	۳۷٫۸۱۰	۳۵٫۸۷۳	۰٫۶۵۲	۱۱٫۲۵	۷۱٫۴۳
جبهه شمالی	۳	۲٫۵	۱۹۹٫۶۹۵	۱۴٫۷۵۸	۱۰۱٫۴۸۵	۳٫۴۵۳	۷٫۵۰	۴۸
	۰٫۵	۰٫۲۵	۱۳۹٫۱۶۱	۱۲٫۱۱۶	۱۰۰٫۵۳۱	۲۶٫۵۱۴	۰٫۱۳	۱
	۴٫۵	۱۰٫۲۵	۱۲۵٫۹۰۰	۱۷٫۶۶۹	۹۶٫۸۴۴	۱۱٫۳۸۸	۵٫۶۳	۳۶
	۴٫۵	۲٫۵	۱۲۰٫۸۰۷	۱۸٫۱۳۰	۱۰٫۶۶۹	۲٫۰۰۸	۱۱٫۲۵	۷۱
جبهه شرقی	۲٫۵	۲	۱۰۶٫۲۲۰	۱۰٫۹۱۸	۹۲٫۰۳۰	۳٫۲۷۲	۵	۳۲
	۴	۲٫۵	۱۱۰٫۲۲۵	۱۰٫۰۵۱	۹۹٫۲۶۳	۰٫۹۱۲	۱۰	۶۳
	۰٫۵	۰٫۲۵	۱۲۳٫۵۶۲	۱۶٫۵۱۶	۸۰٫۶۳۵	۲۶٫۴۱۱	۰٫۱۲۵	۱
	۴٫۵	۲٫۵	۱۱۱٫۴۵۴	۱۰٫۱۹۹	۱۰۰٫۴۰۶	۰٫۸۴۸	۱۱٫۲۵	۷۱
جبهه غربی	۲٫۵	۲	۱۱۸٫۸۳۴	۲۶٫۸۵۲	۸۷٫۸۹۶	۴٫۰۸۷	۵	۳۱٫۷۵
	۰٫۵	۰٫۲۵	۱۳۴٫۸۲۶	۱۵٫۶۵۹	۹۵٫۶۲۳	۲۳٫۵۴۴	۰٫۱۲۵	۰٫۷۹
	۴٫۵	۲٫۵	۱۳۱٫۹۸۶	۴۹٫۱۴۹	۸۱٫۴۳۷	۱٫۴۰۱	۱۱٫۲۵	۷۱٫۴۳

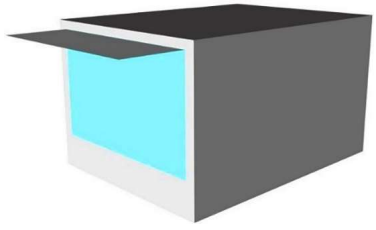
۶٫۱. بررسی تأثیر سایبان برای پنجره درحالت بهینه در جبهه جنوبی

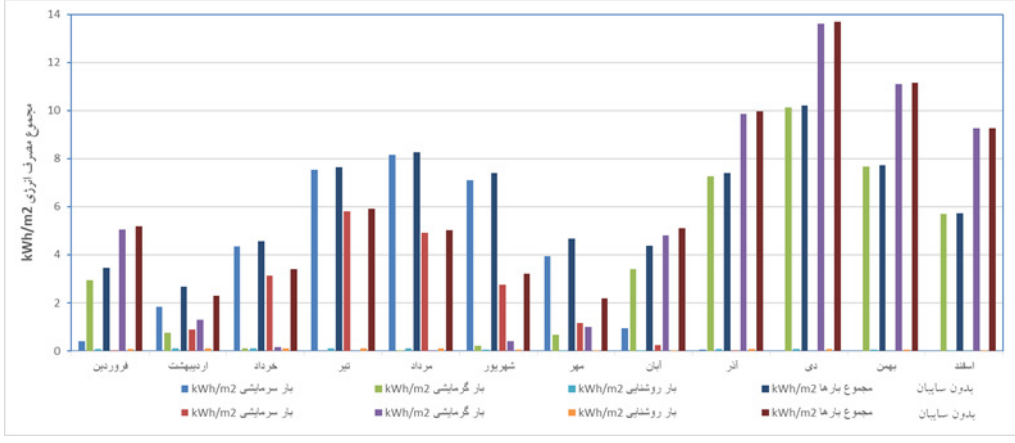
مصرف انرژی ماهانه با سطح پنجره بهینه ۶۳٪ درصد شبیه‌سازی و استخراج شد. سپس این مقدار با طراحی

یک سایبان مطابق با ابعاد پیشنهادشدهٔ مبحث نوزدهم مقررات ملی برای شهر سبزوار، به دست آمد (جدول ۸). نتیجه این بررسی که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، حکایت از آن دارد که مجموع مصرف بارها در ماه‌های گرم سال با استفاده از سایبان کمتر می‌شود ولی در ماه‌های سرد سال این مقدار افزایش می‌یابد. پس می‌توان گفت با اعمال سایبانی متحرک می‌توان از مجموع مصرف انرژی در کل سال کاست. با توجه به این مسئله که در مصرف انرژی روشنایی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود، می‌توان گفت اعمال سایبانی متحرک در حقیقت بر مجموع مصرف بارهای گرمایشی و سرمایشی اثر گذار است (شکل ۸).

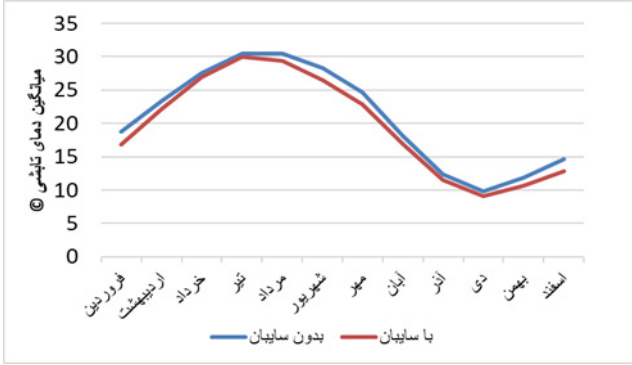
در مرحله بعد زون مورد نظر بدون اینکه سیستم تأسیساتی برآن اعمال شود و به‌عبارتی بدون اینکه گرم یا سرد شود، با همان نسبت سطح پنجره بهینه ۶۳٪ شبیه‌سازی شد و میانگین دمای تابشی ماهانه برای این زون به دست آمد. همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، دمای زون درحالت بدون سایبان بین ۹/۹ تا ۳۰/۵ و با اعمال سایبان بین ۹ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بدون اعمال سایبان دمای زون تنها در سه ماهه تابستان از ۲۸ درجه سانتی‌گراد گذشته و در بدترین حالت تقریباً به ۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و با سایبان در دو ماه از سال تقریباً ۲ درجه از حدِّ نهایی دمای آسایش ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌گذرد.

جدول ۸. ابعاد سایبان مطابق با مبحث نوزدهم برای جبهه جنوب

ارتفاع پنجره	۲٫۵ m	
جهت پنجره	جنوب	
زاویه سایبان	افقی ۶۰°	
طول سایبان	۱٫۴۵ m	



شکل ۸. مقایسه میزان مصارف انرژی‌های مختلف با اعمال ۶۳٫۵٪ سطح پنجره به دیوار با و بدون سایبان در جبهه جنوب



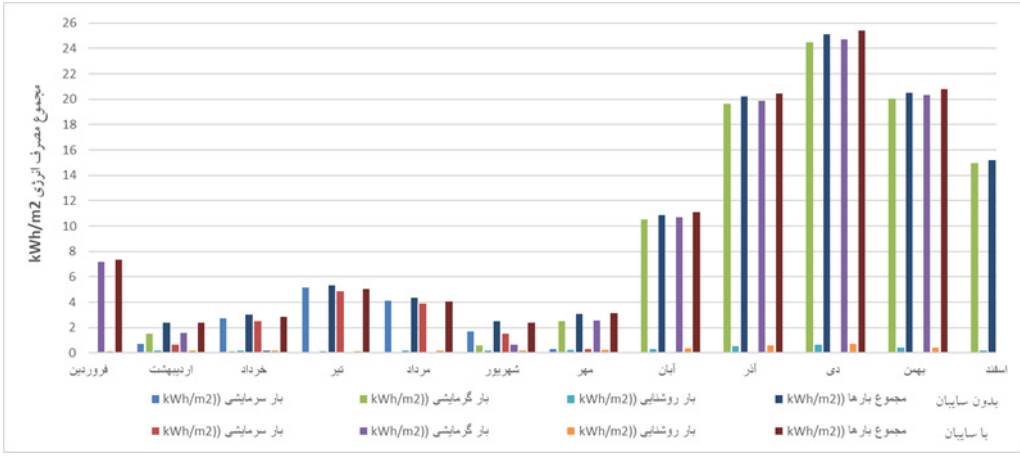
شکل ۹. مقایسه میانگین دمای تابشی (درجه سانتی‌گراد) در جبهه جنوب

۶٫۲. بررسی تأثیر سایبان برای پنجره درحالت بهینه در جبهه شمالی

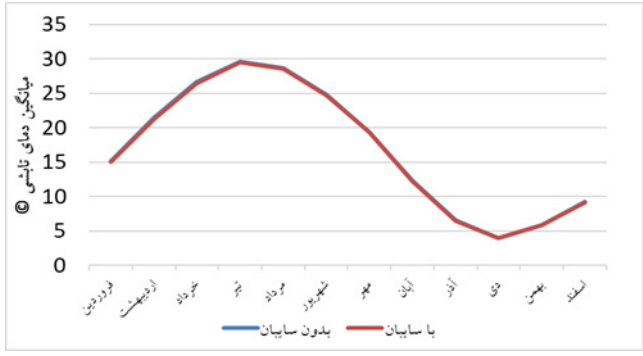
با اعمال سیستم تأسیساتی ایده‌آل، تأثیر اعمال یک سایبان مطابق با مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، در سایر جهات بر روی پنجره با WWR بهینه بررسی شد. در جبهه شمالی مصرف انرژی ماهانه با سطح پنجره بهینه ۴۷٪ شبیه‌سازی و استخراج شد. سپس این مقدار با طراحی یک سایبان مطابق با ابعاد پیشنهادشدهٔ مبحث نوزدهم مقررات ملی به دست آمد (جدول ۹). نتیجهٔ این بررسی نشان می‌دهد که اعمال سایبان تأثیر بسیار کمی بر مصرف انرژی در این جبهه دارد (شکل ۱۰). سپس مانند قبل، بدون اعمال هیچ‌گونه سیستم تأسیساتی زون مورد نظر با انتخاب درصد بهینه به دست‌آمده ۴۷٪ درصد شبیه‌سازی شد تا دمای آن در ماه‌های مختلف بررسی شود. مشاهده می‌شود که دمای زون تقریباً بین ۳ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است و تنها در تیر و مردادماه دما به اندازه ۱ الی ۱/۵ درجه از حد آسایش ۲۸ درجه سانتی‌گراد بالاتر می‌رود (شکل ۱۱). با توجه به اینکه در جبهه شمالی برای این اقلیم، دریافت حرارت از اشعه خورشید کمتر است، اعمال سایبان بر دمای تابشی ماهانه تأثیر بسیار اندکی دارد.

جدول ۹. ابعاد سایبان مطابق با مبحث نوزدهم برای جبهه شمال و مقایسه میزان مصرف انرژی با اعمال ۴۷٪ سطح پنجره به دیوار با و بدون سایبان

عرض پنجره	۳ m	
جهت پنجره	شمالی	
زاویه سایبان	عمودی (در غرب پنجره)	۶۵°



شکل ۱۰. مقایسه میزان مصارف انرژی‌های مختلف با و بدون سایبان با اعمال ۶۳٫۵٪ سطح پنجره به دیوار در جبهه شمالی



شکل ۱۱. مقایسه میانگین دمای تابشی (درجه سانتی‌گراد) برای جبهه شمالی

نتیجه‌گیری

با ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر را نیز فراهم کرد. مطالعات نشان داده است که پنجره‌ها در اتلاف حرارت ساختمان نقش مهمی ایفا می‌کنند. بهبود ابعاد پنجره‌ها نسبت به سطح دیوار (WWR) باعث کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. در این مقاله تأثیر ابعاد یک پنجره با ضرایب انتقال حرارت سطحی ۳٫۹۴ ($\frac{W}{m^2K}$) بر میزان مصرف انرژی سالیانه در اقلیم گرم‌وخشک سبزوار بررسی شده است. ابتدا با مطالعه ۲۶ ساختمان اداری در شهر سبزوار، تیپ اتاق‌های اداری تعیین شد. سپس جزئیات اجرایی جداره‌ها براساس مقررات ملی ساختمان مشخص شد و شبیه‌سازی انجام‌گرفت. پس‌از انجام شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل ۹۰ حالت مختلف در جبهه جنوبی، ۹ حالت برای عرض و ۱۰ حالت برای ارتفاع پنجره، این نتیجه به دست آمد که با عرض پنجره ۴ متر و ارتفاع ۲٫۵ متر کمترین مجموع مصرف انرژی را خواهیم داشت که معادل با سطح پنجره ۶۳ درصدی نسبت به سطح دیوار است. با بررسی متغیرهای عرض و ارتفاع به‌طور جداگانه مشخص شد که متغیر عرض پنجره بر میزان مصرف انرژی حرارتی بیشتر از متغیر ارتفاع تأثیرگذار است و بر میزان مصرف انرژی روشنایی متغیر ارتفاع تأثیرگذارتر است؛ زیرا که با افزایش ارتفاع عمق نفوذ نور افزایش می‌یابد. برای جبهه شمالی نیز شبیه‌سازی صورت گرفت و پس‌از بررسی ۲۵۴ حالت مختلف WWR بهینه که کمترین مصرف انرژی را خواهد داشت برای این جبهه ۴۷٫۶٪ به دست آمد که پنجره‌ای با

ارتفاع ۲٫۵ متر و عرض ۳ متر است. با بررسی ۱۳۱ حالت شبیه‌سازی‌شده برای جبهه شرقی و ۱۲۶ حالت شبیه‌سازی‌شده برای جبهه غربی WWR بهینه که کمترین مصرف انرژی را به‌همراه خواهد داشت برای این دو جبهه ۳۱٫۷٪ به دست آمد که پنجره‌ای با ارتفاع ۲ متر و عرض ۲٫۵ متر است.
لازم به ذکر است که در این مطالعه انرژی حرارتی و روشنایی مورد بررسی قرارگرفته است و سایر عوامل از جمله آسایش حرارتی و آسایش بصری درنظر گرفته نشده‌اند که در مطالعات آتی به آن پرداخته خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

1. Window to Wall Ratio

۲. روشنایی روز مفید: آن درصد از ساعات اشغال فضا در طول سال که حسگرهای تعیین‌شده در اتاق مقدار روشنایی افقی بین کمترین و بیشترین حدِّ آستانه را دریافت کرده‌اند.

۳. شدت روشنایی فضایی سالانه: درصدی از سطح کف فضا را نشان می‌دهد که نور روز به‌طور معمول ≥ ۳۰۰ لوکس را حداقل برای بیش‌از ۵۰٪ از تمام ساعات طول سال دریافت می‌کند.

4. Building Integrated Photovoltaic

5. Window to Floor Ratio

6. Particle Swarm Optimization

7. Window Geometry

8. Energy Plus Weather file

۹. در طراحی روشنایی به روش نسبت فضا (RCR) که به روش تقسیم ناحیه‌ای نیز نامیده شده است، مکان مورد طراحی به سه ناحیه: سقف، یعنی فضای بین سقف و چراغ یا ارتفاع آویز چراغ ، ناحیه اتاق، حدِّ فاصل زیر دهانه چراغ تا روی سطح کار با ارتفاع ، و ناحیه کف، حدِّ فاصل سطح کار و کف با ارتفاع تقسیم شده است. در این روش بر مبنای یک قاعده محاسباتی، برای رسیدن به متوسط شدت روشنایی مورد نیاز، متناسب با شرایط محیط و خصوصیات چراغ ها اقدام می‌شود. به بیان دیگر، مبنای طراحی روشنایی در این روش استفاده از مجموعه چراغ‌هایی است که بتواند روی سطح مورد نظر شدت روشنایی مورد نیاز را تأمین نماید (قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور، ۱۳۹۵).

فهرست منابع

- حیدری، شاهین (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی انرژی در ایران با تأکید بر بخش ساختمان. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- خداکرمی، جمال، و قبادی، پریسا (۱۳۹۵). بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، ۶ (۲)، ۱۲-۲۳.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۲). مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمان‌ها). تهران: نشر توسعه ایران.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۹). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی). تهران: نشر توسعه ایران.
- گلمحمدی، رستم (قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور برای وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرکز سلامت محیط و کار) (۱۳۹۵). راهنمای اندازه گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار. همدان: انتشارات دانشجو.
- کاری، محمد، معرفت، مهدی و دیگران (استاندارد ملی ۱۴۳۸۴)، (بی تا). تعیین شاخص‌های آسایش حرارتی *PMV&PPD* و معیارهای آسایش حرارتی موضعی. تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.

- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (2010). *Ashrae, 90.1*.
- Badeche, M.; & Bouchahm, Y. (2020). Design optimization criteria for windows providing low energy demand in office buildings in Algeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 6, 100024.

https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100024

- Bokel, R.M.J)2007(.. The effect of window position and window size on the energy demand for heating, cooling and electric lighting. *Proceedings*: *Building Simulation*, 117-121.
- BS EN 12464-1, Light and lighting, Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, (2002). *BSI Standards Publication*. British Standard.
- Lighting Guide 7: Office lighting (2005). *Chartered Institute of Building Services Engineers* (*CIBSE*). London.
- CEN - EN 15603 (European Committee for Standardization), Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings, (2008). *BSI Standards Publication*. British Standard.
- Detsi, M.; Manolitsis, A.; Atsonios, I.; Mandilaras, I. & Founti, M. (2020). Energy Savings in an Office Building with High WWR Using Glazing Systems Combining Thermochromic and Electrochromic Layers. *Energies*, 13(11), 3020. https://doi.org/10.3390/en13113020
- Fathi, S.; & Kavoosi, A. (2021). Optimal Window to Wall Ratio Ranges of Photovoltachromic Windows in High-Rise Office Buildings of Iran. *Journal of Daylighting*, 8, 134-148. https://doi.org/10.15627/jd.2021.10
- Feng, G.; Chia, D.; Xua, X.; Doua, B.; Sun, Y.; & Fu, Y. (2017). Study on the Influence of Window-wall Ratio on the Energy Consumption of Nearly Zero Energy Buildings. *Procedia Engineering*, 205, 730-737. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.003
- Goia, F. (2016). Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy*, 132, 467-492.
- Gijón-Rivera, M.; Álvarez, G.; Beausoleil-Morrison, I.; & Xamán, J. (2011). Appraisal of thermal performance of a glazed office with a solar control coating: Cases in Mexico and Canada. *Building and Environment*, 46, 1223-1233.
- Ghisia, E.A.; & Tinkerb, J. (2005). An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. *Building and Environment*, 40(1), 51-61.
- Harmathy, 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.
- Jewel, R.; Rakibul, H.; Sobuz, H.R.; Habibur.; & Tam, V.W.Y. (2020). Impact assessment of window to wall ratio on energy consumption of an office building of subtropical monsoon climatic country Bangladesh. *International Journal of Construction Management*. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1808561
- Kim, J.H.; Son, S.K.; Choi, G.S.; Kim, Y.T.; Kim, S.B.; & Choi, W.K. (2021). A Fundamental Study on the Development of New Energy Performance Index in Office Buildings. *Energies*, 14, 8: 2064. https://doi.org/10.3390/en14082064
- Mangkuto, R. A.; Rohmah, M.; & Dian Asri, A.)2016(. Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211-219.
- Qingsong, M.; & Fukuda, H. (2015). Parametric office building for daylight and energy analysis in the early design stages. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 818-828.
- Sayadi, S.; Hayati, A.; & Salmanzadeh, M)2021. (. Optimization of Window-to-Wall Ratio for Buildings Located in Different Climates: An IDA-Indoor Climate and Energy Simulation Study. *Energies*, 14(7), 1974.

- Touloupakia, E.; & Theodosiou, T. (2017). Optimization of Building form to Minimize Energy Consumption through Parametric Modelling. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 509-514.
- Wang, H.; Olesen, B.W.; & Kazanci, O.B. (2019). Effect of glazing ratio on thermal Comfort and Heating/Cooling Energy Use. *The International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*. Springer : Singapore.
- Yeom, S.; Kim, H.; Hong, T.; & Lee, M. (2020). Determining the optimal window size of office buildings considering the workers› task performance and the building›s energy consumption, *Building and Environment*, 177, 106872. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106872.
- www.climate.onebuilding.org

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Architecture and Urban Planning. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوه ارجاع به این مقاله

برزنونی، نرگس؛ فیاض، ریما و حسینی، بهشید (۱۴۰۲). تأثیر ابعاد پنجره بر میزان مصرف انرژی روشنایی و حرارت در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم‌وخشک. *نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی*، ۱۶(۴۲)، ۲۵-۴۴.

DOI: 10.30480/AUP.2022.3837.1828
URL: http://aup.journal.art.ac.ir/article_1081.html

Vol. 16 • No. 42 • Spring 2024

Received: 19 October, 2021 | Accepted: 06 April, 2022 | Published: 21 March, 2024

Journal of Architecture and Urban Planning, 16(42), 25-44
DOI: 10.30480/AUP.2022.3837.1828
Document Type: Research Paper

The Effect of Window Dimensions on Lighting and Thermal Energy in Office Buildings in Hot Arid Climate

Narges Barzanouni
M. Sc. in Architecture and Energy, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Rima Fayaz
Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Seyyed Behshid Hosseini
Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Abstract

Office buildings are one of the largest consumers of energy in the building sector. There are several conservation opportunities in these buildings in terms of heating, cooling and lighting that if applied, peak loads in each area will be reduced significantly. One of the main energy consumers in office buildings is lighting systems, as providing sufficient lighting in office spaces is one of the main foundation for increasing employees' satisfaction and productivity at the same time. Since Iran is located in a region benefiting from high annual solar radiation, it is viable to maintain the required illuminance level through proper design of windows and benefit from natural daylight. A review of the literature reveals that defining a proper window-to-wall ratio (WWR) will help to conserve heating and lighting energy. Several studies have introduced various WWRs for different cities of Iran, but none is focused on Sabzevar office buildings. Therefore, this article aims to introduce optimal window-to-wall proportions in an office room in Sabzevar, a hot arid climate, in order to reduce heating load during the cold period of the year and provide the least lighting energy using natural light simultaneously. To determine the optimal ratio of windows in office buildings in Sabzevar and build a proper model of an office room as a representative of office spaces in the city, 26 office buildings in the city were studied and measured. Next, the model with proper dimensions was selected. Afterwards, to carry out energy simulation, a weather file was adopted and validated against Sabzevar weather station data. The research was carried out doing parametric simulation by Grasshopper software. The window dimensions of an office room, in the hot and dry climate of Sabzevar were then simulated parametrically and optimized through a genetic algorithm. The feats of the design elements such as the exterior envelope of the model were selected based on literature review and measurable parameters. On the other hand, artificial lighting was defined according to existing standards and mathematical equations presented there. Finally, the optimal dimensions of the window for an office room were presented in four main directions. In this regard, 90 modes for the south façade, 254 modes for the north façade, 131 modes for the east façade and 126 modes for the west façade were simulated and compared. After simulation and analysis of different scenarios, it was concluded that the lowest total energy consumption with a window-to-wall ratio of 63% for the south wall, 47.6% for the north wall and 31.7% for the east and west walls will be obtained. Additionally, the effect of applying shading devices regarding the energy consumption of the model was studied. For this purpose, optimal shading angles introduced by the national building code of Iran were applied to the model under examination. It was found that shading will reduce cooling energy in the warm period of the year, however it will cause an increase in heating load during the cold season. It was also concluded that the best shading for windows in the city is a movable one.

Keywords: Window to wall ratio, optimal window dimensions, daylight, energy saving, office buildings