تحلیل اثربخشی سطح نورگذرها در مصرف انرژی و تولید گازهای آلاینده در ساختمانهای مسکونی کشور

فرشید باقری
پژوهشگاه نیرو
پژوهشکده انرژی و محیط زیست
گروه انرژی و مدیریت مصرف

وهاب مکاری‌زاده
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

مقالهٔ علمی

چکیده:
مقالهٔ حاضر به بررسی یکی از مهمترین منابع اتلافات انرژی در ساختمان اختصاص دارد. نورگذرها مهمترین بخش از اجزای معماری ساختمان است که از دیدگاه اتلافات انرژی حرارتی و برودتی، به دو دلیل اساسی: ضریب انتقال حرارت بیشتر نسبت به جداره‌ها و عبور بخش اعظم تشعشعات خورشیدی از خود؛ همواره مورد توجه بوده‌اند. عبور تشعشعات خورشیدی از پنجره‌ها با وجود اینکه تأثیر مثبتی در عملکرد سیستم روشنایی ساختمان و سلامت محیط دارد، در فصول گرم موجب افزایش بارهای برودتی و در نتیجه مصرف انرژی سیستم سرمایش و در فصول سرد موجب افزایش بارهای حرارتی و در نتیجه مصرف انرژی سیستم گرمایش می‌شود. بر این اساس امکان بررسی تأثیر سطح پنجره‌ها در اتلافات حرارتی هدایتی و تشعشعی و عملکرد سیستم روشنایی به‌طور همزمان وجود خواهد داشت. این اتلافات حرارتی پنجره‌ها، کاملاً وابسته به پارامترهای مختلف آب و هوایی، محل قرارگیری ساختمان از جمله دمای هوا و میزان تشعشعات خورشیدی است. بر این اساس در مقالهٔ حاضر، تحلیل اثربخشی سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی سیستمهای روشنایی، سرمایش و گرمایش و تولید گازهای آلاینده ناشی از این مصرف، در تیپ مرسومی از ساختمانهای آپارتمانی کشور در ۴ اقلیم گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و سرد – بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی وزارت مسکن و شهرسازی – صورت پذیرفته است. به منظور انجام دادن این تحلیل، یک ابزار نرم‌افزاری جامع با قابلیت شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی:
سطح پنجره‌ها، مصرف انرژی، سرمایش، گرمایش، روشنایی، اقلیم، گازهای آلاینده.

۱- مقدمه

روند رو به رشد مصرف انرژی الکتریکی در کشور پهناور ایران، لزوم برنامه‌ریزی صحیح را در زمینهٔ مدیریت و بهینه‌سازی مصرف به مثابهٔ مناسبترین راه‌حل چلوگیری از بروز بحران به خوبی تبیین می‌کند. در میان مصرف‌کننده‌های مختلف انرژی، ساختمانها و به‌ویژه انواع کاربری مسکونی آنها سهم زیادی از مصرف کل کشور را به خود اختصاص می‌دهند. متأسفانه به علت الگوبرداریهای نادرست از معماری ساختمانهای کشورهای دیگر و بدون توجه به وضعیت تابش خورشیدی در کشورمان، طرح معماری بسیاری از ساختمانهای ساخته شده و در حال ساخت در کشور، از لحاظ مصرف انرژی کاملا نادرست است و موجب اتلافات بسیار زیاد انرژی در طی سال می‌شود. بررسی تحقیقات صورت گرفته در سطح جهان نشان می‌دهد که برای سطح پنجره‌های ساختمانی با توجه به عوامل گوناگونی نظیر وضعیت آب و هوایی و بهره‌گیری از نور طبیعی با درنظر داشتن تأثیرات آن در مصرف انرژی سیستمهای سرمایش و گرمایش ساختمان محدوده‌هایی در نظر گرفته شده است. در مرجع [۱] درجهٔ حرارت، رطوبت، عرض جغرافیایی و به تبع آن میزان تشعشع خورشیدی به عنوان عوامل مؤثر در تعیین سطح مناسب پنجره‌ها ارائه شده‌اند. در این مرجع با استفاده از نرم‌افزار SUNCODE-PC یک نمونه ساختمان با تیپ مرسوم و با مقطع مستطیلی به ابعاد ۱۱/۲ و ۸/۶ متر دارای یک پنجرهٔ جنوبی در منطقه‌ای سردسیر مورد بررسی قرار گرفته است. مرجع [۲]به بررسی تأثیر بهره‌گیری از روشنایی روزانه در ساختمانهای اداری پرداخته و با تغییر سطح پنجره‌ها و وضعیت قرارگیری آنها، بر تأثیر آن در کاهش توان سیستم روشنایی بررسی انجام داده است. مراجع دیگری نیز تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی در نمونه‌هایی از ساختمانهای با کاربریهای مختلف را مورد بررسی قرار داده‌اند[۳-۵].

در این مقاله، تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی مؤلفه‌های سرمایش، گرمایش و روشنایی و تولید گازهای آلاینده ناشی از این مصرف در ساختمانهای مسکونی کشور به کمک یک ابزار محاسباتی پیشرفتهٔ شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، برای ۴ اقلیمی که وزارت مسکن و شهرسازی ارائه کرده است، بررسی و با توجه به الزامات بهداشتی در بهره‌گیری از نور طبیعی، سطح مناسب آنها ارائه خواهند شد.

۲- رویهٔ محاسباتی و نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان

به منظور بررسی دقیق تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی ساختمان باید محاسبات گوناگونی به انجام برسند. از آنجایی‌که تغییر در سطح پنجره‌ها موجب تغییر در شدت روشنایی طبیعی اکتسابی از محیط و در نتیجه شدت روشنایی الکتریکی موردنیاز می‌شود باید کلیهٔ محاسبات مربوط به مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان پس از تغییر سطح این اجزای سازه‌ای مجدداً صورت پذیرند و بارهای برودتی دفعی از سیستم روشنایی نیز مجدداً محاسبه شوند. علاوه بر آن، به علت تفاوت ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها و دیوارهای خارجی ساختمان، تغییر سطح آنها موجب تغییر در انتقال

حرارتهای جابه‌جایی و تشعشعی در فصول سرد و گرم سال می‌شود و مصرف انرژی سیستمهای سرمایش و گرمایش تغییر می‌کند. براین اساس به منظور بررسی دقیق آثار تغییر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی ساختمان، باید کلیه محاسبات مربوط به بارهای حرارتی و برودتی و توان عملکردی سیستم روشنایی ساعت به ساعت صورت بگیرد و مصرف انرژی این سیستمها با درنظر داشتن کلیه تجهیزات جانبی آنها و با توجه به راندمان عملکردیشان تعیین شود.

۲-۱- روشهای محاسباتی مورد استفاده

بر اساس استانداردهای انجمن مهندسان تاسیسات امریکا[۱]، یکی از دقیقترین روشهای محاسبهٔ مصرف انرژی سیستم سرمایش ساختمان، روش موازنهٔ بارهای گرمایی[۲] است. بر اساس این روش با محاسبه بارهای سرمایشی به‌صورت ساعت به ساعت، طبق رابطهٔ (۱) و با مشخص بودن راندمان عملکردی تجهیزات سیستم سرمایش، مصرف انرژی این سیستم به صورت ساعت به ساعت در دورهٔ گرم سال با تقسیم کردن بار بر راندمان عملکردی تعیین می‌شود.

$$Q = U \times A \times CLTD \qquad (۱)$$

در این رابطه Q، U، A و CLTD به ترتیب عبارتند از: بار سرمایشی ساعتی، ضریب انتقال حرارت جدار، مساحت جدار و اختلاف دمای بار سرمایشی. اختلاف دمای بار سرمایشی بر اساس مشخصات مصالح و وزن جدار، رنگ خارجی و جهت جغرافیایی جدار، دمای محیط داخل و خارج، عرض جغرافیایی محل، ساعت و ماه موردنظر از جداولی استخراج می‌شود [۶]. همچنین در این روش، بار سرمایشی هدایتی از شیشه‌ها از رابطهٔ(۱) با لحاظ کردن مشخصات شیشه و بار سرمایشی تشعشعی آنها از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شوند.

$$Q = A \times SC \times SCL \qquad (۲)$$

در این رابطه Q، A، SC و SCL به ترتیب عبارتند از: بار سرمایشی تشعشعی ساعتی، مساحت جدار، ضریب سایه‌بان و ضریب بار سرمایشی تشعشعی پنجره که بر اساس نوع و رنگ شیشه‌ها، سایه‌بانهای داخلی و خارجی، عرض جغرافیایی محل و جهت جغرافیایی پنجره، وضعیت پوشش داخلی فضا، ساعت و ماه موردنظر از جداولی استخراج می‌شوند [۶].

همچنین به منظور محاسبه تأثیر سطح پنجره‌ها در بار سرمایشی ناشی از عملکرد سیستم روشنایی ساختمان، پس از تعیین توان این سیستم از رابطهٔ (۳) جهت محاسبهٔ بار برودتی ناشی از عملکرد آن استفاده می‌شود.

$$Q = HG \times CLF \qquad (۳)$$

در این رابطه Q، HG و CLF به ترتیب عبارتند از: بار سرمایشی ساعتی، حرارت دفعی از سیستم روشنایی و ضریب بار سرمایشی که این ضریب، از جداولی قابل استخراج است. در اینجا پس از محاسبه توان مورد نیاز سیستم روشنایی ساختمان در هر ساعت با لحاظ کردن آثار نور طبیعی عبوری از پنجره‌ها، از رابطهٔ فوق جهت محاسبه بار برودتی آن استفاده می‌شود. به منظور محاسبهٔ توان سیستم روشنایی موردنیاز جهت تأمین نور کافی در فضاهای ساختمان بر اساس استانداردهای جامعهٔ مهندسان روشنایی امریکا[۳]، در این مقاله روش مرسوم و با دقت مناسب لومن – با لحاظ کردن تأثیرات نور طبیعی روزانه در میزان روشنایی روزانهٔ موردنیاز – استفاده شده است. در این روش با در نظر داشتن تناسبات طولی ابعاد فضاها، ضرایب انعکاس دیوارها و سقف و کف، نوع لامپها و وضعیت قرارگیری آنها، نوع کاربری فضاها و مساحت آنها، ضرایب انعکاس زمین مجاور، مساحت خالص پنجره‌ها، ضریب قاب و ضریب عبور خالص نور از شیشه‌ها، توان سیستم روشنایی محاسبه می‌شود.

بر اساس استانداردهای انجمن مهندسان تأسیسات امریکا، روش روز درجه‌های گرمایش[۴] یکی از پرکاربردترین روشها برای محاسبه مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان است. در این روش با مشخص بودن ضریب انتقال حرارت کلی ساختمان (K_{tot})، و راندمان سیستم گرمایش (η_h)، با انتگرالگیری از اختلاف لحظه‌ای میان دمای محیط خارج ($T_o(t_l)$) و دمای تعادل (T_{bal}) در طی دورهٔ گرمایش، مصرف سالیانهٔ انرژی گرمایشی طبق رابطهٔ (۴) تعیین می‌شود.

$$\dot{Q} = \frac{K_{tot}}{\eta_h} \times \int [T_{bal} - T_o(t_l)]_+ \, dt \qquad (۴)$$

۲-۲- معرفی ابزار محاسباتی مورد استفاده

بررسی محاسبات مورد نیاز جهت تحلیلهای این مقاله نشان می‌دهد که انجام دادن این محاسبات ساعت به ساعت در طی سال و با تکرارهای پیوسته جهت تحلیل اثربخشی سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی بخشهای مختلف ساختمان، بدون بهره‌گیری از یک ابزار محاسباتی جامع امکانپذیر نیست. بنابراین باید از نرم‌افزاری استفاده شود که قابلیتهای مدلسازی دقیق معماری ساختمان و انجام دادن کلیهٔ محاسبات مورد نظر را داشته باشد. لذا در این تحلیل، از نرم‌افزار جامع شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان با قابلیتهای زیر استفاده شده است[۷و۸]:

مدلسازی دقیق معماری ساختمان و تعیین پروفیلهای زمانی کارکرد بخشهای مختلف مصرف‌کننده انرژی.

انجام دادن محاسبات سیستم روشنایی موردنیاز تمامی فضاهای ساختمان براساس روش لومن[۷].

محاسبهٔ بارهای سرمایشی ساعتی به روش اختلاف دمای بار سرمایشی[۶].

محاسبه بارهای گرمایشی به روش اختلاف دمای معادل[۶].

تعیین ظرفیت اجزای سیستم تهویه مطبوع و انتخاب آنها از کاتالوگهای واقعی سازندگان.

محاسبهٔ مصرف سالیانه انرژی سیستم سرمایش به صورت ساعتی با روش موازنه بارهای گرمایی [۶].

محاسبهٔ مصرف سالیانه انرژی سیستم گرمایش بر اساس روش روز درجه گرمایشی[۶].

محاسبهٔ مصرف انرژی سیستم روشنایی به صورت ساعت به ساعت با لحاظ آثار روشنایی طبیعی روزانه.

۳- صحت‌سنجی ابزار محاسباتی مورد استفاده

به منظور استفاده از هر ابزار محاسباتی در ابتدا باید صحت و دقت محاسبات آن ارزیابی شوند. صحت و دقت محاسبات مربوط به بارهای گرمایشی و سرمایشی ساعتی و تعیین ظرفیت اجزای سیستمهای تهویه مطبوع در نرم‌افزار مورد استفاده در این تحلیل، با نرم‌افزار معتبر بین‌المللی HAP 4.0 (Carrier) محک زده می‌شود و در مرجع [۷]موجود است. این مقایسه وجود حداکثر ۲-۱۰ درصد اختلاف در نتایج مورد نظر برای مثالهای عملی را نشان می‌دهد. همچنین صحت محاسبات مربوط به مصرف سالیانهٔ انرژی با دو نمونهٔ واقعی از ساختمانهای مسکونی آپارتمانی شهر تهران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نتایج مورد نظر در مرجع [۸] موجود است. مقایسهٔ نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار با مقادیر واقعی قبضهای برق و گاز این ساختمانها تفاوت حداکثر ۷ درصدی در نتایج مربوط را نشان می‌دهد. بر این اساس دقت محاسبات بخشهای مختلف این نرم‌افزار در حد کاملاً مناسبی است و قابل استفاده در تحلیلهای مورد نظر این مقاله است.

۴- انتخاب ساختمان و شهرهای مورد بررسی

از آنجایی که هدف این تحلیل بررسی آثار سطح پنجره‌های ساختمان در مصرف انرژی مؤلفه‌های گوناگون سرمایش، گرمایش و روشنایی در اقلیمهای مختلف آب و هوایی کشور است، باید ساختمانی با تیپ متعارف و با اجزای سازه‌ای مرسوم در سطح کشور مورد بررسی قرار گیرد. در مرجع [۸] تیپهای مرسومی از ساختمانهای مسکونی کشور در زمینهٔ بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لذا با توجه به گسترش شهرنشینی در بسیاری از مناطق کشور، در این تحلیل یک ساختمان سادهٔ آپارتمانی ۴ طبقه ۸ واحدی با زیربنای کل ۷۲۰ مترمربع و تعداد ۳۱ نفر ساکن که ۷۰ درصد از روشنایی فضاهای آن از لامپهای التهابی، ۲۰ درصد از لامپهای فلورسنت و ۱۰ درصد روشنایی آن از لامپهای کم‌مصرف تأمین می‌شود، از میان ساختمانهای موجود در مرجع مذکور انتخاب شده است. مطالعهٔ بافت ساختمان‌سازی در سطح کشور نشان می‌دهد که به منظور بهره‌گیری مناسب از نور طبیعی در طی روز و نیز گرمای مناسب از تابش مایل خورشیدی در فصل زمستان، اکثر ساختمانها به‌صورت شمالی – جنوبی ساخته شده‌اند، بدین معنا که از جهات شمال و جنوب جغرافیایی آزاد و از جهات شرقی و غربی مجاور به ساختمانهای همسایه است. نتایج مراجع [۳و۹] نیز نشان می‌دهند که در ساختمانهای نیم‌کرهٔ شمالی زمین، جهت جنوبی بهترین جهت برای نصب پنجره است؛ زیرا در اکثر ساعات روز از نور مناسب خورشیدی بهره‌مند

است و در فصل زمستان نیز که خورشید به‌صورت مایل به زمین می‌تابد توانایی جذب زیاد تشعشع خورشیدی را دارد.

تنها ایراد این پنجره‌ها جذب گرمای زیاد به‌واسطه تشعشع فراوان خورشیدی در فصول گرم سال است که با نصب سایه‌بانهای کوچک یا ایجاد تورفتگی مناسب پنجره در دیوار می‌توان به شکل مطلوبی از مقدار آن کاست. بعد از پنجره‌های جنوبی، پنجره‌های شمالی به علت بهره‌مندی از انعکاس نور خورشید در آسمان شمالی و دریافت نکردن تشعشعات مستقیم خورشیدی در فصول گرم سال، از مناسبترین پنجره‌هاست. اما جهات شرقی و غربی به علت دریافت نور و حرارت در کمتر از نیمی از ساعات روز، در رده‌های بعدی اولویت‌بندی قرار می‌گیرند. بر این اساس طراحی بهینه بافت شهری بر مبنای قرارگیری عموم ساختمانها به‌صورت شمالی – جنوبی پیشنهاد شده است [۳و۹].

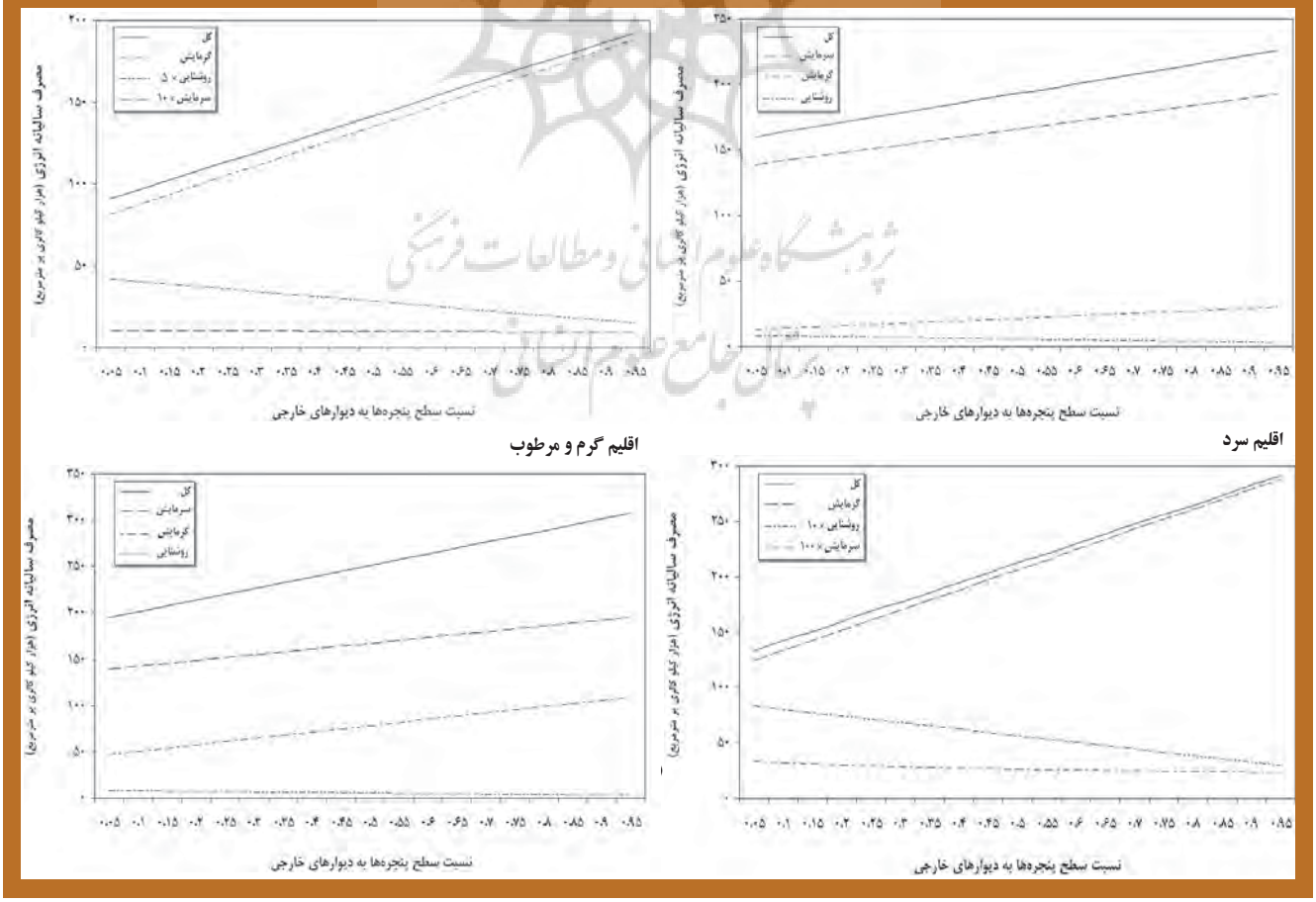
با توجه به بافت شمالی – جنوبی ساختمانها در سطح کشور، ساختمان مورد بررسی در این تحلیل نیز یک ساختمان شمالی – جنوبی شامل تیپهای مرسوم واحدهای مسکونی [۸] است که هر کدام شامل دو اتاق خواب با پنجره‌های جنوبی و یک فضای نشیمن و پذیرایی با پنجره‌های شمالی، و از سمت شرق و غرب به ساختمانهای مجاور متصل است. سازهٔ این ساختمان، بتنی با جداره‌های مرسوم آجری و پنجره‌های آن از نوع تک‌جداره با شیشه‌های ساده و قاب سادهٔ فلزی است. سایر مشخصات این ساختمان در مرجع [۸] به‌صورت کامل ارائه شده است. بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی که وزارت مسکن و شهرسازی ارائه کرده، کشور ایران به ۴ اقلیم گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و سرد تقسیم می‌شود. با توجه به وضعیت جغرافیایی این پهنه‌بندی در سطح کشور و بر اساس اطلاعات هواشناسی که سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه کرده، در اینجا ۴ شهر: تهران نمایندهٔ اقلیم معتدل، آبعلی نمایندهٔ اقلیم سرد، بندر ماهشهر نمایندهٔ اقلیم گرم و مرطوب، و ایرانشهر نمایندهٔ اقلیم گرم و خشک جهت بررسی انتخاب شده‌اند. کلیهٔ مشخصات معماری و سازه‌ای ساختمان مورد نظر به همراه مشخصات سیستمها و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی در آن با نرم‌افزار مورد استفاده، شبیه‌سازی و در ۴ شهر فوق مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۵- نتایج شبیه‌سازی و بررسی تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی ساختمان

پس از مدلسازی ساختمان در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی، سطح پنجره‌ها در محدودهٔ ۵ تا ۹۵ درصد سطح جداره‌های خارجی تغییر داده شد و مصرف مؤلفه‌های گوناگون سرمایش، گرمایش و روشنایی از نتایج اجرای نرم‌افزار استخراج شدند. این نتایج برای ۴ شهری که نمایندهٔ اقلیمهای مختلف انتخاب شدند، در شکل یک ارائه شده است. به منظور ایجاد امکان تعمیم این نتایج به کل ساختمانهای مسکونی کشور، در این نمودارها مصرف سالیانهٔ انرژی سیستمهای سرمایش، گرمایش، روشنایی و مجموع این سه مؤلفه در طی سال به ازای هر متر مربع از مساحت ساختمان شبیه‌سازی‌شده، بر حسب نسبت سطح پنجره‌ها به جداره‌های خارجی ارائه شده‌اند. به دلیل آنکه در اقلیمهای معتدل و سرد سهم مؤلفه گرمایش از کل مصرف انرژی ساختمان نسبت به دو مؤلفه روشنایی و سرمایش به نسبت زیادی بزرگتر است، در نمودارهای مورد نظر، منحنیهای مؤلفه‌های سرمایش و روشنایی با ضرایب بزرگتر از یک ترسیم شده‌اند تا قابل مشاهده باشند.

همانطوری‌که مشخص است، در مجموع مصرف انرژی ساختمان در هر ۴ اقلیم آب و هوایی کشور با افزایش سطح پنجره‌ها افزایش می‌یابد. علت این امر تأثیر به مراتب کمتر افزایش سطح پنجره‌ها در کاهش مصرف انرژی ساختمان از طریق کاهش مصرف سیستم روشنایی و به تبع آن سیستم سرمایش، نسبت به افزایش مصرف سیستمهای گرمایش و سرمایش به دلیل افزایش اتلافات حرارتی و برودتی است. با افزایش سطح پنجره‌ها از ۵ به ۹۵ درصد سطح جداره‌های خارجی در اقلیم معتدل، مصرف سالیانهٔ انرژی سیستم سرمایش ۸ درصد کاهش، سیستم گرمایش ۱۳۱ درصد افزایش، سیستم روشنایی ۶۲ درصد کاهش و مصرف کل این مؤلفه‌ها ۱۱۲ درصد افزایش می‌یابند. این تغییرات در اقلیم گرم و خشک برابر با ۳۹ درصد رشد برای سیستم سرمایش، ۱۳۱ درصد رشد برای سیستم گرمایش، ۶۷ درصد کاهش برای سیستم روشنایی و ۴۱ درصد افزایش برای مجموع این مؤلفه‌ها خواهند بود. همچنین در اقلیم گرم و مرطوب، ۴۱ درصد رشد در مصرف انرژی سیستم سرمایش، ۱۳۱ درصد رشد در مصرف انرژی سیستم گرمایش، ۶۷ درصد کاهش در مصرف انرژی سیستم روشنایی و ۵۸ درصد افزایش در مجموع مصرف انرژی پس از افزایش سطح پنجره‌ها رخ خواهد داد. این تغییر سطح در اقلیم سرد به کاهش ۲۹ درصدی در مصرف انرژی سیستم سرمایش، کاهش ۶۲ درصدی برای سیستم روشنایی، افزایش ۱۳۱ درصدی برای سیستم گرمایش و افزایش ۱۱۹ درصدی برای مجموع این مؤلفه‌ها خواهد شد. بر اساس این نتایج، با افزایش سطح پنجره‌ها، نرخ افزایش کل مصرف انرژی ساختمان در اقلیمهای سرد و معتدل بزرگتر از اقلیمهای گرم است.

شکل ۱: تأثیر سطح نسبی پنجره‌ها به دیوارهای خارجی در مصرف انرژی مؤلفه‌های مختلف ساختمان



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در واقع، بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که روند رشد مصرف انرژی سیستم سرمایش در اقلیمهای گرم کمتر از روند رشد مصرف سیستم گرمایش در اقلیمهای معتدل و سرد است. علت کمتر بودن تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی سرمایشی در مقایسه با مصرف انرژی گرمایشی، کاهش مصرف انرژی سیستم روشنایی با افزایش سطح پنجره‌هاست که از طریق کاهش بار برودتی ناشی از عملکرد این سیستم، بارهای سرمایشی نیز کاهش می‌یابند. بدین ترتیب بخشی از افزایش بارهای سرمایشی تشعشعی و هدایتی ساختمان پس از افزایش سطح پنجره‌ها، با کاهش بارهای داخلی ناشی از عملکرد سیستم روشنایی جبران می‌شود. بررسی نمودارهای اقلیمهای معتدل و سرد نشان می‌دهد که با افزایش سطح پنجره‌ها، بر خلاف اقلیمهای گرم و خشک و گرم و مرطوب، مصرف انرژی سیستم سرمایش کاهش می‌یابد. علت این امر اینست که در اقلیمهای معتدل و سرد، افزایش بارهای سرمایشی تشعشعی و هدایتی بر اثر افزایش سطح پنجره‌ها کوچکتر از کاهش بارهای دفعی از سیستم روشنایی است و در نهایت با افزایش سطح این اجزای سازه‌ای، کل بار برودتی و در نتیجه مصرف انرژی سیستم سرمایش ساختمان کاهش خواهد یافت.

۶- بررسی تأثیر سطح پنجره‌های ساختمان در تولید آلاینده‌های زیست محیطی

بررسی نتایج مربوط به تأثیر سطح پنجره‌ها در مصرف انرژی مؤلفه‌های مختلف سرمایش، گرمایش و روشنایی ساختمانهای مسکونی در بخش قبل نشان داد که در همهٔ اقلیمهای آب و هوایی کشور با افزایش سطح پنجره‌ها، مصرف انرژی افزایش می‌یابد. بررسی حاملهای مرسوم انرژی مورد استفاده در ساختمانهای مسکونی کشور نشان می‌دهد که به‌جز موارد استثنایی در برخی از مناطق کشور، عموماً از حامل گاز برای مرتفع کردن نیازهای گرمایشی و از حامل برق برای برطرف کردن نیازهای سرمایشی و تأمین روشنایی بهره‌گیری می‌شود. در جدول ۱ متوسط تولید آلاینده‌ها در نیروگاه‌های کشور برای تولید هر کیلووات ساعت برق ارائه شده‌اند. میزان تولید NO_X و CO_2 از سوختن هر مترمکعب گاز طبیعی در ساختمانهای مسکونی نیز به ترتیب برابر با ۲ و ۲۱۳۳ گرم است. بر اساس آمارهای موجود در مرجع [۱۰] و با توجه به اطلاعات جدول ۱، متوسط تولید NO_X، SO_2 و CO_2 در نیروگاه‌های حرارتی کشور پس از اعمال سهم هر نوع نیروگاه از تولید برق کشور، به ترتیب برابر با ۰/۹۵۵، ۰/۸۳۹ و ۶۱۷/۳۹۸ گرم بر کیلووات ساعت است.

بر اساس این اطلاعات و با توجه به نتایج تحلیل سطح پنجره‌ها بر مصرف انرژی هر ساختمان، در نمودار شکل ۲ تأثیر سطح پنجره‌ها در تولید کل آلاینده‌های زیست محیطی در ۴ اقلیم مورد بررسی ارائه شده‌اند. همان‌طوری‌که مشخص است، به دلیل سهم زیاد مصرف برق در اقلیمهای گرم که تأثیر بسیار زیادی در تولید گازهای آلاینده دارد، تولید گازهای مذکور در اقلیمهای گرم و مرطوب و گرم و خشک به مراتب بیشتر از اقلیمهای سرد و معتدل است. بررسی تأثیر سطح پنجره‌ها در افزایش تولید گازهای آلاینده نشان می‌دهد که با افزایش سطح این اجزای سازه‌ای از ۵ به ۹۵ درصد سطح جداره‌های خارجی، ۹۸ درصد افزایش در تولید این گازها در اقلیم سرد، ۴۴ درصد در اقلیم گرم و مرطوب، ۳۶ درصد در اقلیم گرم و خشک و ۸۳ درصد در اقلیم معتدل ایجاد خواهند شد.

جدول ۱: شاخص انتشار آلایندگی نیروگاه‌های کشور (گرم بر کیلووات ساعت) [۱۰]

نوع نیروگاه	تولید NO_X	تولید SO_2	تولید CO_2
بخاری	۰/۹۳۹	۱/۰۲	۶۱۳/۴۱۵
گازی	۱/۲۳۷	۰/۹۴۵	۷۹۱/۴۱۰
چرخهٔ ترکیبی	۰/۷۰۵	۰/۲۶۵	۴۶۷/۰۷۱

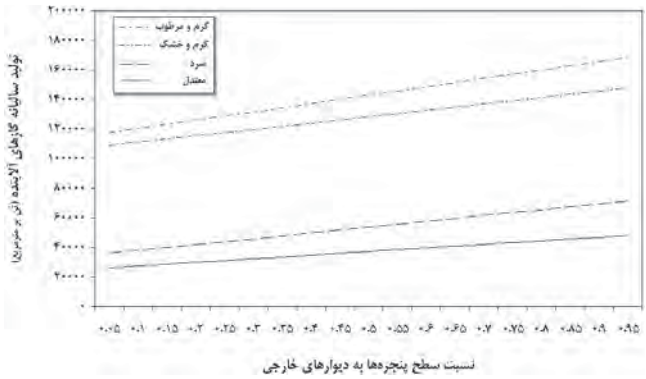
۷- الزامات بهداشتی و سطح ضروری پنجره‌ها

بررسی نتایج موجود در مراجع مختلف [۳، ۴، ۵ و ۹] نشان می‌دهد که به منظور ایجاد سلامت در محیطهای مسکونی نباید نسبت سطح پنجره‌ها به سطح زیربنای یک واحد مسکونی کمتر از ۱۵ درصد باشد. با توجه به ابعاد ساختمان مسکونی مورد بررسی، تغییر سطح پنجره‌ها در محدودهٔ ۵ تا ۹۵ درصد سطح جداره‌های خارجی – جنوبی و شمالی – معادل با تغییر در محدوده ۲ تا ۳۹ درصد نسبت به سطح زیربنای ساختمان است. لذا با توجه به ابعاد این ساختمان، سطح توصیه شده ۱۵ درصد به عنوان سطح مناسب پنجره‌ها نسبت به سطح زیربنای مسکونی معادل با نسبت سطح ۳۷/۵ درصدی پنجره‌ها به جداره‌های خارجی است.

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله اثربخشی سطح پنجره‌ها به عنوان یکی از مهمترین عوامل اتلافات حرارتی ساختمان، برای اقلیمهای مختلف آب و هوایی کشور با یک ابزار محاسباتی

شکل ۲: تأثیر درصد نسبی سطح پنجره‌ها به سطح دیوارهای خارجی در تولید آلاینده‌های زیست محیطی (CO_2 , NO_X , SO_2) مربوط به ساختمان مورد بررسی در اقلیمهای مختلف کشور



شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحلیل نشان داد که افزایش سطح پنجره‌ها از ۵ به ۹۵ درصد سطح جداره‌های خارجی در یک تیپ مرسوم از ساختمانهای مسکونی کشور، به افزایش ۱۱۲ درصدی در اقلیم معتدل، ۱۱۹ درصدی در اقلیم سرد، ۵۱ درصدی در اقلیم گرم و مرطوب و ۴۱ درصدی در اقلیم گرم و خشک برای مجموع مصرف انرژی سیستمهای سرمایش، گرمایش و روشنایی منجر شد. این تغییرات همچنین به افزایش ۹۸ درصدی در اقلیم سرد، ۸۳ درصدی در اقلیم معتدل، ۴۴ درصدی در اقلیم گرم و مرطوب و ۳۶ درصدی در اقلیم گرم و خشک در تولید گازهای آلاینده (No_x, SO_2, CO_2) به علت افزایش مصرف انرژی ساختمان منجر شد. در نهایت با توجه به نتایج مراجع مختلف در خصوص الزامات بهداشتی، نسبت سطح ۱۵ درصدی پنجره‌ها نسبت به سطح زیربنای ساختمان (معادل با ۳۷/۵ درصد نسبت به سطح جداره‌های خارجی) به عنوان سطح بهینه ارائه شد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در اقلیمهای سرد و معتدل سهم بیشتری از سطح پنجره‌ها بر روی جهت جنوبی و در اقلیمهای گرم و خشک و گرم و مرطوب بر روی جهت شمالی قرار داده شوند تا علاوه بر بهره‌گیری مناسب از نور طبیعی، مصرف انرژی ساختمان بهینه شود. همچنین در ساختمانهایی که جهات شرقی و غربی آزاد نیز دارند، بهتر است تا حد امکان سطح پنجره‌ها بر روی این جهات کوچک باشد و در مجموع سطح کل پنجره‌ها از ۱۵ درصد سطح زیربنا بیشتر نباشد.

مراجع

1- Demirbilek, F.N., Kirbeyi, N., "A Study on Sizing Solar Apertures for Ankara", ISES World Solar Congress, Adelaide , 2003.

2- Galasiu, A.D., Veitch, J.A., "Occupant Preferences and Satisfaction with the Luminous Environment and Control Systems in Daylit Offices: A Literature Review", J. of Energy and Buildings, Vol. 38, No. 7, pp. 728-742, 2006.

3- Vartiainen, E., "Daylight Modelling and Optimization of Solar Facades", Helsinki University of Technology Publications in Engineering Physics, 2000.

4- www.certainteed.com

5- Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency, "Improving Energy Performance in Canada" Report to Parliament Under the Energy Efficiency Act, 2002.

6- ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2005.

[۷] گروه انرژی و مدیریت مصرف، «گزارش پروژه نرم‌افزار صرفه‌جویی انرژی در ساختمان»، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۳.

[۸] گروه انرژی و مدیریت مصرف،«گزارش مرحله دوم پروژه تعیین معیار مصرف انرژی الکتریکی در ساختمانهای مسکونی»، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۶.

[۹] مور ف.، «سیستمهای کنترل محیط زیست»، انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز،۱۳۸۲.

[۱۰] دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، «ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴»، زمستان ۱۳۸۵.

پانوشتها

1- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)
2- Heat Load Balance Method
3- IES
4-Heating Degree Days