تاثیر ویژگی‌های کالبدی پوشش‌های محافظ پنجره بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران

The Effect of Physical Features of Window Protective Covers on Thermal Performance of Tehran's Residential Buildings

ویدا وهابی[۱]، مجتبی مهدوی‌نیا[۲] (نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲

چکیده

از دیرباز انرژی خورشید در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش فعالی در تامین نیازهای گرمایشی و روشنایی ساختمان‌ها داشته است، گرمای حاصل از نور خورشید در فصل زمستان سبب کاهش بار گرمایشی ساختمان و این دریافت در فصل گرم، سبب افزایش بار سرمایشی ساختمان و مصرف سوخت می‌شود. یکی از عوامل مهم برای بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان، کنترل تابش خورشیدی است و با توجه به این که پنجره، تنها بخش در ساختمان است که به طور مستقیم تابش خورشیدی را وارد فضا می‌کند، بنابراین استفاده از سایه‌بان جهت کنترل نفوذ تابش خورشیدی به داخل فضا، ضروری است. پوشش محافظ پنجره نوعی سایه‌بان است که در طول سال‌ها در معماری ایران از آن بهره برده‌اند و در معماری خانه‌های دوره پهلوی شهر تهران نیز پوشش‌های محافظ پنجره‌ی چوبی با کرکره ثابت مشاهده می‌شود ولی با وجود اینکه این سایه‌بان‌ها بر عملکرد حرارتی و روشنایی فضا تاثیر گذارند، متاسفانه به دلیل عدم آگاهی معماران امروز، به فراموشی سپرده شده‌است. این تحقیق با مطالعات میدانی در رابطه با جزییات ساختاری پوشش‌های محافظ پنجره‌ی استفاده شده در خانه‌های شهر تهران، به بررسی تاثیر ویژگی‌های ساختاری این نوع سایه‌بان بر بهبود عملکرد حرارتی در ساختمان مسکونی پرداخته‌است. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس، تاثیر مکان قرارگیری، نوع، نحوه‌ی کنترل و جنس پوشش‌های محافظ پنجره بر بار سرمایشی و گرمایشی ماهانه و سالانه فضا بررسی شده‌است. نتیجه‌ی بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش محافظ پنجره‌ی چوبی و با کرکره‌های متحرک که به صورت هوشمند کنترل شده و در جداره‌ی خارجی پنجره نصب شده‌اند، در مقایسه با دیگر وضعیت‌های بررسی شده و شرایط بدون سایه‌بان، کاهش بیشتری در بار سرمایشی و گرمایشی فضا ایجاد کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی:

سایه‌بان، پوشش محافظ پنجره، صرفه‌جویی انرژی، عملکرد حرارتی، ساختمان مسکونی.

۱. کارشناس ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، vidavahabi@yahoo.com
۲. استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران. mahdavinia@art.ac.ir

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده‌ی اول با عنوان" بررسی تاثیر پوشش‌های محافظ پنجره (پرسیانا) بر مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران" در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر تهران می‌باشد.

۱- مقدمه

عناصر کنترل‌کننده تابش آفتاب، همواره یکی از عناصر مهم و شکل‌دهنده معماری ایران بوده و در پهنه‌های مختلف اقلیمی کشور شکل و اهمیت متفاوتی داشته است. عناصر کنترل‌کننده تابش آفتاب بر ساختمان، به لحاظ نقش بسیار مؤثری که در کاهش بارهای برودتی ساختمان و کاهش صدمات زیست محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های تجدیدناپذیر دارند، در معماری مطرح امروز جهان نیز جایگاه خاصی یافته‌اند (فیاض و کسمایی، ۱۳۸۹).

اگرچه تابش مستقیم آفتاب بر جدارهای شفاف ساختمان، امکان گرمایش طبیعی فضاهای داخلی آن را فراهم می‌سازد، اما همین تابش می‌تواند موجب گرم شدن بیش از حد فضاهای داخلی ساختمان در مواقع گرم باشد. به همین دلیل، کنترل تابش مستقیم آفتاب بر جدارهای خارجی ساختمان، به ویژه سطوح شفاف، به لحاظ تاثیر گلخانه‌ای تابش آفتاب بر این سطوح، اهمیت ویژه‌ای دارد (کسمایی، ۱۳۹۲).

در معماری نه چندان دور کشورمان اجزاء و عناصر کنترل‌کننده تابش آفتاب، نقش مهمی در شکل‌دهی به ساختمان‌ها داشته است. یکی از این عناصر کنترل کننده تابش آفتاب، پوشش محافظ پنجره است که در طول سال‌ها در معماری ایران از آن بهره برده‌اند و متاسفانه به دلیل عدم آگاهی معماران امروز از چگونگی تاثیر این نوع سایه‌بان در عملکرد حرارتی و روشنایی و جنبه زیبایی‌شناسی آن، به فراموشی سپرده شده است. از این رو در شرایطی که بحران کمبود انرژی و توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است و با توجه به تاثیر استفاده از پوشش محافظ پنجره در آسایش حرارتی و بصری ساکنین و کاهش بار حرارتی و روشنایی ساختمان، می‌توان در معماری امروز از آن بهره گرفت.

۲- مطالعات پیشین

خصوصیات سایه‌بان بر میزان بار گرمایشی، سرمایشی و روشنایی ساختمان تاثیر به سزایی دارد. به گونه‌ای که بسیاری از محققان طی سال‌ها به دنبال ایجاد شرایط بهینه از دید صرفه‌جویی در مصرف انرژی و آسایش کاربران از طریق استفاده از سایه‌بان بوده‌اند. پژوهش‌های متعددی در ابعاد مختلف موضوع صورت گرفته است ولی در مورد پوشش‌های محافظ پنجره[1] و جزییات ساختاری آن‌ها و میزان تاثیری که بر مصرف انرژی و عملکرد حرارتی دارند، پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است که در اینجا به نتایج تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود. در پژوهشی الاودحی (M. Alawadhi, 2012) میزان تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، در ساخت پوشش‌های محافظ پنجره در میزان کاهش دریافت حرارت خورشیدی را بررسی کرده است. در این مطالعه عموماً پوشش‌های محافظ پنجره را غلطکی و از جنس آلومینیومی که هسته مرکزی آن با فوم عایق پر شده‌است، در نظر گرفته‌است و این نوع سایه‌بان را، با پوشش‌های محافظ پنجره‌ی غلطکی ساخته شده با مواد تغییر فازدهنده در میزان تاثیرشان بر دریافت حرارت خورشید در اتاق، مقایسه کرده است. این مقایسه به صورت پارامتریک انجام شده است و حالت‌های متفاوتی برای مواد تغییر فاز- دهنده در نظر گرفته است، ضخامت‌های متفاوت، فاصله‌ی هوایی و ضخامت متفاوت شیشه و ارتفاع پنجره را ۱/۵ متر فرض کرده‌اند. نتیجه این مطالعه نشان داد که مواد تغییر فازدهنده، بهترین عملکرد حرارتی را دارند و دریافت حرارت خورشیدی در فضا به میزان ۲۳/۲۹ ٪ کاهش یافت.

در پژوهش دیگری سیلوا (Silva, 2015)، مطالعه دیگری بر روی مواد تغییر فاز دهنده[2] در ساخت پوشش‌های محافظ پنجره انجام داده‌است. در این مطالعه دو اتاق مجاور، یک اتاق به عنوان مبنا و اتاق دیگر با پوشش‌های محافظ پنجره‌ی ساخته شده با مواد تغییر فازدهنده که از همه جهات با فضای بیرون در تماس بودند، ساخته شد. جبهه جنوبی اتاق‌ها، تماماً شیشه است که با پوشش‌های محافظ پنجره محافظت شده است، این فضا یک بار با پوشش محافظ پنجره‌ی ساخته شده با مواد تغییر فاز دهنده و یک بار با پوشش محافظ پنجره‌ی معمولی، اندازه‌گیری و سپس مقایسه شده است. در نتیجه آزمایش، حداقل دمای دو اتاق یکسان بود در حالیکه اتاقک مبنا دمایش سریع‌تر افت کرده‌بود. بیشترین جریان حرارت سطح دیوار داخلی اتاقک با مواد تغییر فاز دهنده (W/m^2) ۶/۵ و حداقل به (W/m^2) ۳- می‌رسد در صورتیکه در مقابل برای اتاقک مبنا (W/m^2)۱۶ و (W/m^2) ۸- است. نتایج نشان می‌دهد که، پوشش‌های محافظ پنجره‌ی ساخته شده با مواد تغییر فاز دهنده، بهره‌وری انرژی را در فضای ساختمان افزایش می‌دهند.

در پروژه تحقیقاتی که در مرکز تحقیقات مسکن پنسیلوانیا (Ariosto, 2013)، انجام گرفته است، راه‌های مقاوم‌سازی پنجره‌های مسکونی برای بهره‌وری انرژی بررسی شده است. در این پژوهش به بررسی تاثیر پوشش‌های محافظ بر تغییر ضریب انتقال حرارت پنجره پرداخته شده است. این مطالعه با بررسی ضریب انتقال حرارت سیستم‌های متفاوت سایه‌انداز توسط برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی و بررسی عوامل مختلف مثل آسایش حرارتی، نرخ نفوذ هوا، هزینه ساخت،

امنیت، روشنایی طبیعی و... به این نتیجه رسیده است که راهکارهایی که سبب کم شدن ضریب انتقال حرارت پنجره می‌شوند و همچنین دریافت حرارت خورشیدی را کنترل کرده و کاهش می‌دهند، در بهره‌وری انرژی در ساختمان مسکونی بسیار موثرند.

پژوهشی در مرکز تحقیقات مسکن در اقلیم سرد توسط کراون (Craven et al, 2011) در رابطه با تاثیر عایق پنجره برای آب و هوای سرد انجام شده است. در این پژوهش به این موضوع توجه شده‌است که تعویض پنجره بسیار هزینه‌بر است. بنابراین کاربران در پی راهکارهایی هستند که با هزینه کمتر بتوانند از اتلاف حرارت جلوگیری کنند، حتی در مطالعات میدانی مشاهده شده‌است که کاربرانی با داشتن پنجره‌های با کارایی حرارتی بالا، تمایل دارند که با استفاده از عایق‌های متحرک در مقابل پنجره در شب‌های سرد زمستان، از اتلاف حرارتی بکاهند. در این پژوهش مقایسه سیستم‌های متفاوت و رایج عایق کردن پنجره از نظر حرارتی، طریقه نصب، هزینه اجرا، دوام و استقامت، عملکرد و مقاومت در مقابل میعان و چگالش انجام گرفته است. بخشی از پژوهش بر اساس اندازه‌گیری در شرایط واقعی بود و بخش دیگری از پژوهش توسط برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی مدل‌سازی شده است تا دقیق‌تر عملکرد هر سیستم را شرح بدهند. نتایج به دست آمده اینگونه است: در انتخاب سیستم عایق کردن پنجره، تمرکز بر عملکرد حرارتی و هزینه از اهمیت بالایی برخوردار است و باید به این نکته توجه شود که برای عایق از سمت خارجی پنجره نیازی به درزگیری برای افزایش مقاومت رطوبتی نیست، در صورتیکه برای عایق داخلی اگر درزگیری کاملی انجام نشود، با نفوذ رطوبت احتمال بروز میعان بر سطح شیشه بالا می‌رود، در این شرایط باید از مصالح مقاوم‌تر و نفوذ ناپذیرتر استفاده نمود.

پژوهش دیگری در سازمان سایه‌بان خورشیدی اروپا انجام گرفت (Timermans, 2006)، در این مطالعه اشاره شده است که سایه‌بان‌های متحرک به دو صورت در کاهش مصرف انرژی در ساختمان کمک می‌کنند، در زمستان، هنگامیکه در حالت بسته هستند، در نقش عایق حرارتی، عمل می‌کنند و سبب کاهش بار گرمایشی می‌شوند و در تابستان، با ممانعت از دریافت مازاد حرارت خورشیدی، بار سرمایشی را کاهش می‌دهند. در این مطالعه بعضی از پارامترهای کم اهمیت‌تر ثابت فرض شده است و چند متغیر مهم برای بررسی انتخاب شده‌اند که عبارتند از: جهت قرارگیری اتاق، نوع کاربری، ضریب هدایت حرارتی پنجره، مکان قرارگیری سایه‌بان، مساحت پنجره و نوع کنترل سایه‌بان. مطالعه با مقایسه شرایط بدون سایه‌بان و با استفاده از سایه‌بان به صورت شبیه‌سازی صورت گرفته است. در نتایج این تحقیق مشاهده می‌شود که با استفاده از این سایه‌بان‌ها بار سرمایشی بسیار کاهش یافته و فضا بی‌نیاز از سیستم سرمایشی شده است. پوشش‌های محافظ پنجره حدود ۱۰٪ سبب کاهش بار گرمایشی فضا شده است ولی تاثیر کرکره در کاهش بار گرمایشی نامحسوس است. عملکرد حرارتی پوشش‌های محافظ پنجره و کرکره در اتاقی که دو پنجره داشت، بسیار بیشتر بود، زیرا که مساحت بیشتر پنجره سبب افزایش جذب و از دست دادن حرارت می‌شود و در نتیجه تاثیر قرار داشتن محافظ در مقابل پنجره بر عملکرد حرارتی بیشتر است. تاثیر پوشش‌های محافظ پنجره‌ی داخلی و خارجی بر کاهش بار حرارتی تقریبا مشابه به دست آمده است. با توجه به مطالعات انجام شده، مشاهده می‌شود که مهمترین عامل در استفاده از پوشش‌های محافظ، بهبود عملکرد حرارتی پنجره است. می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های مختلف پوشش‌های محافظ پنجره مانند جزییات ساختاری، نوع کنترل، مصالح، مکان قرارگیری، نوع و همچنین ضریب هدایت حرارتی پنجره بر بار گرمایشی و روشنایی فضا تاثیرگذار است. لازم به ذکر است که پژوهش‌هایی در حوزه تاثیر این نوع سایه‌بان بر بار روشنایی نیز صورت گرفته است ولی به دلیل تمرکز این مطالعه بر عملکرد حرارتی پوشش‌های محافظ پنجره، دیگر پژوهش‌های صورت گرفته، در جدول ۱ طبقه‌بندی و تفکیک شده‌اند. در این مطالعه سعی شده است تا با بررسی و مطالعه و طبقه‌بندی اطلاعات و مشخصات پوشش‌های محافظ پنجره‌ای که در معماری دوران پهلوی تهران از آن بهره می‌برده‌اند و پوشش‌های محافظ پنجره‌ی امروزی، به نتایجی در مورد میزان تاثیر این سایه‌بان بر بار حرارتی فضا دست یافت.

Table 1: Relevant studies on window shading

Research	Methodology	Lighting function	Thermal function	Year	Software
Effect of an incompletely closed window shutter on indoor illuminance level and heat gain (Esam Alawadhi)	Experimental	•	•	2016	-
Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experimental approach, (Tiago Silva et al)	Experimental	-	•	2015	-
Thermal assessment of internal shutters and window film applied to traditional single glazed sash and case windows (John Currie et al)	Experimental	-	•	2014	-
Evaluation of residential window retrofit solutions for energy efficiency, (Tim Ariosto, Ali Memari)	Simulation	•	•	2013	Window, Therm
A comparative analysis of the energy performance of traditional wooden shutters and contemporary aluminum roller shutters in Istanbul, a Case Study, (Fatih Yazicioglu)	Simulation	-	•	2013	-
Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain, (Esam Alawadhi)	Simulation	-	•	2012	Therm
Evaluating Window Insulation for cold climates (Robbin Garber-Slaght and Colin Craven)	Simulation and experimental	-	•	2012	Therm
Evaluating Window Insulation: Curtains, Blinds, Shutters, and More, (Robbin Garber-Slaght and Colin Craven)	Simulation and experimental	-	•	2011	-
Energy saving and co reduction potential from solar shading systems and shutters in the EU-25 (Georges Timermans)	Simulation	-	•	2006	Capsol, Abaqus
Insulating shutters: innovative enhancements for energy saving, comfort, and security, (Gerald Cler,Larry Kinney)	Simulation	-	•	2005	Energy 10
Expanded polystyrene composite door shutters an alternative to wooden door shutters, (K, Asthana & others)	Experimental	-	•	1996	-
The influence of automated window shutters on the design and performance of a passive solar house, (M, Zaheer-Uddin)	Experimental	-	•	1987	-

۳- روش‌شناسی

نشان داد که، پژوهش‌ها با روش‌های آزمایشگاهی، شبه‌تجربی و شبیه‌سازی صورت گرفته‌اند. در این پژوهش با استناد به مطالعات صورت گرفته، از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای توسط نرم‌افزار انرژی پلاس (نسخه ۸،۳) استفاده شده است. برای اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی، نیاز به اندازه‌گیری تجربی در نمونه‌ای مشابه بود که به دلیل فرسودگی بیش از حد پوشش‌های محافظ پنجره‌ی بررسی شده در مطالعات میدانی، نمونه‌ای که آسیب کمتری در گذر زمان دیده بود، انتخاب و با اندازه‌گیری تجربی به مدت سه روز توسط نگارنده ،اعتبارسنجی انجام شد. روش‌های گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و میدانی است.

- مطالعات کتابخانه‌ای: شامل منابع مکتوب (کتب و مقالات مرتبط با موضوع تحقیق)
- مطالعات میدانی (پیمایشی-توصیفی) شامل: عکس‌برداری، دریافت تصاویر و جزییات ساختاری پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خانه‌های شهر تهران

۳-۱- اعتبارسنجی

با بررسی نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص پوشش‌های محافظ پنجره مشخص شد که پوشش‌های محافظ پنجره با لوور متحرک بر بار گرمایشی تاثیر قابل توجهی دارند ولی به دلیل اینکه مطالعه حاضر بر خانه‌های شهر تهران متمرکز است و به دلیل عدم بازسازی و پوسیدگی زیاد سایبان‌ها و همچنین نیافتن خانه‌ای مجهز به پوشش محافظ پنجره با لوور متحرک، متاسفانه شرایط لازم برای اندازه‌گیری عملکرد حرارتی در نمونه‌های قدیمی موجود، وجود نداشت، به همین دلیل خانه‌ای که پس از بازسازی پوشش‌های محافظ با لوور ثابت به عنوان سایه‌بان بر پنجره آن نصب شده است، برای اندازه‌گیری انتخاب شد. جهت اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی، شدت روشنایی اتاق مورد مطالعه در ۳ روز متوالی

در دو نقطه از فضا توسط دیتالاگر ثبت شد و این نتایج با نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مقایسه گردید. ضریب همبستگی بالای به دست آمده از مقایسه این نتایج (۰,۹۷) نشانگر معتبر بودن نتایج شبیه‌سازی است. باید در نظر داشت که این نتایج، با احتساب نزدیک‌ترین شرایط به واقعیت به دست آمده است و ادامه مراحل شبیه‌سازی نیز بر مبنای این نتایج خواهد بود.

Fig. 1 Windows shader in the museum of music one of the old building in Tehran

۴- تعریف مدل پایه و شبیه‌سازی

برای مدل‌سازی از نرم‌افزار مدل‌ساز سه‌بعدی که قابلیت تبادل اطلاعات با موتور شبیه‌سازی انرژی‌پلاس را دارد و از اطلاعات آب و هوایی شهر تهران به عنوان داده‌ی ورودی استفاده شده‌است. با توجه به نتایج پیشینه‌ی تحقیق و مطالعات انجام شده در زمینه‌ی پوشش‌های محافظ پنجره، ابعاد، نوع کنترل، مصالح، مکان قرارگیری و نوع آن، از متغیرهای موثر بر عملکرد حرارتی پنجره هستند. با توجه به اینکه در این پژوهش به بررسی پوشش‌های محافظ پنجره در خانه‌های شهر تهران پرداخته می‌شود، ویژگی‌های این سایه‌بان‌ها که بر اساس مطالعات میدانی به‌دست آمده است، به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌است.

- محل قرارگیری پوشش‌های محافظ پنجره (خارجی، داخلی)
- نوع پوشش‌های محافظ پنجره (پوشش‌های محافظ پنجره‌ی غلطکی، پوشش‌های محافظ پنجره با کرکره متحرک، پوشش‌های محافظ پنجره با کرکره ثابت)
- مصالح پوشش‌های محافظ پنجره (چوب، وینیل PVC، آلومینیوم)
- نوع حرکت پوشش‌های محافظ پنجره(هوشمند، دستی)

در این پژوهش برای افزایش دقت نتیجه‌ی بهینه‌سازی، با فرض ثابت بودن همه عوامل، تنها یک مورد در هر فرآیند به عنوان متغیر در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است و نتایج آن به صورت نمودار، با نتایج شرایط بدون استفاده از سایه‌بان به صورت ماهانه و سالانه مقایسه شده است. لازم به ذکر است که نتایج به صورت رفت و برگشت محاسبه شده‌است، بدین‌صورت که تاثیرگذارترین متغیر در هر مرحله، به عنوان پارامتر ثابت در مراحل دیگر استفاده می‌شود تا تاثیر هر متغیر به صورت مستقل و در بهینه‌ترین شرایط سنجیده شود. در تمامی مراحل به جز مرحله‌ای که هر پارامتر خود به عنوان متغیر اصلی مورد سنجش قرار می‌گیرد، پارامترهای ثابت که از نتایج رفت و برگشتی مراحل به‌دست آمده‌اند، بدین گونه هستند:

سیستم حرکت پوشش‌های محافظ پنجره : هوشمند
مکان قرارگیری پوشش‌های محافظ پنجره: خارجی
جبهه‌ی قرارگیری پنجره: جنوب
نوع پوشش‌های محافظ پنجره: غلطکی[۱۵]
جنس پوشش‌های محافظ پنجره: چوب

دیگر پارامترهای پایه نیز مانند فرم بنا، ابعاد اتاق، طبقه‌ی واحد مورد بررسی، نوع همسایگی اتاق با فضای خارج و یا داخل، مصالح عناصر ساختمانی به جز سایه‌بان و پنجره، نیز ثابت در نظر گرفته شده‌است. در این تحقیق تنها جبهه‌ی جنوبی اتاق با فضای بیرون در تماس است و پنجره بر آن واقع شده‌است و سایر جبهه‌ها دیوار داخلی محسوب شده، به گونه‌ای که انتقال حرارت میان دو جبهه دیوار وجود نداشته و دیواره‌ها جرم حرارتی و موانع نوری و در نقش جداکننده هستند. حجم انتخاب شده برای انجام تحلیل، یک فضای مکعب مستطیل پنج در چهار متر با ارتفاع سه متر می‌باشد. واحد نمونه شبیه‌سازی در طبقه همکف یک ساختمان قرار گرفته است و در طبقات بالا و زیرین خود در همسایگی با واحدهای دیگر است.

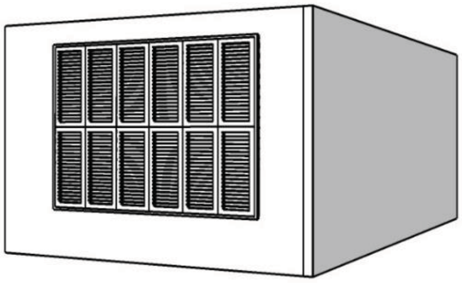

Fig. 2 A basic model of window shader

در روند پژوهش برای محاسبه تاثیر سایه‌بان‌های با لوور ثابت بر بار سرمایشی، زاویه گشودگی ۴۵ درجه برای لوورهای

پوشش محافظ پنجره بر اساس نتایج مطالعات میدانی حاصل از بررسی خانه‌های شهر تهران، به دست آمد.

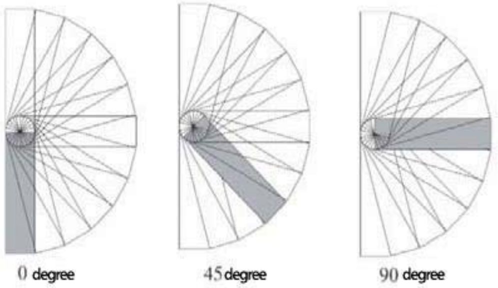

Fig. 3 Different angles for the window openings

در زمینه نسبت بهینه سطح بازشو به دیوار (WWR) مطالعات بسیاری انجام گرفته است. مطالعه‌ای که برای سنجش سطح بهینه پنجره در ساختمان مسکونی در شهر تهران (فیاض، ۱۳۹۲) انجام گرفته، سطح بهینه پنجره را ۱۵ تا ۲۰ درصد سطح اتاق پیشنهاد داده است و به دلیل اینکه سطح اتاق در این پژوهش ۲۰ متر فرض شده است، در نتیجه سطح بهینه بازشوی این اتاق حدود ۳ تا ۴ متر مربع است که نسبت به سطح دیواری که پنجره بر آن قرار دارد (WWR) بین ۲۵ تا ۳۳ درصد است که در این پژوهش به طور میانگین ۳۰٪ فرض می‌شود ولی از آنجا که در مطالعه‌ی کراون (Craven, 2011) پوشش‌های محافظ پنجره برای کاهش مصرف انرژی در خانه‌های قدیمی که عموما ابعاد بازشوهایشان بهینه نیست، پیشنهاد داده شده است، این نسبت به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شد و همه مطالعات برای نسبت سطح بازشو به دیوار ۷۰٪ و ۵۰٪ و ۳۰٪ انجام گرفت. مرکز پنجره منطبق با مرکز دیوار در هر ۳ حالت ذکر شده واقع شده است. ابعاد در نظر گرفته شده برای نسبت‌های متفاوت سطح پنجره به سطح دیوار در شکل ۴ نشان داده شده است.
دو نوع نرخ جریان هوا برای سایه‌بان‌ها در نظر گرفته شده است که درجه تاثیر آن‌ها بر اساس پژوهش (Georges, 2006)، استخراج شده‌است، در آن پژوهش پنج نوع نرخ جریان هوا شرح داده شده‌است، برای نمونه، کرکره‌ی غلطکی نرخ جریان هوای خیلی زیاد دارد. پوشش‌های محافظ پنجره‌ی بدون درز نمونه‌ی با نرخ هوای کم است.

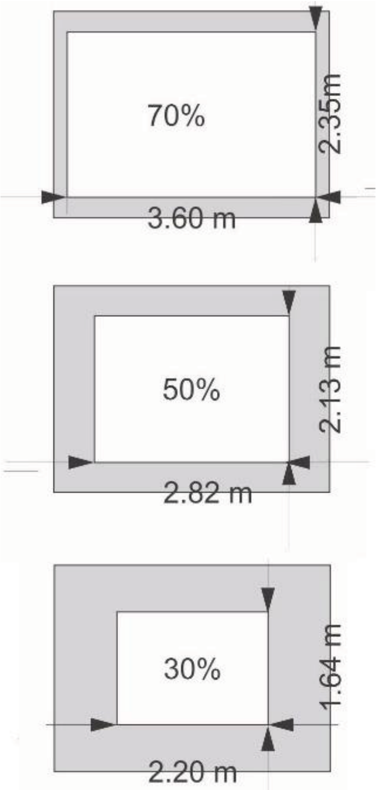

Fig. 4 Different window to wall ratios (WWR)

مصالح کف و سقف ،بتن سبک و فاصله‌ی هوایی و قطعات آکوستیک، مصالح دیوارهای داخلی کناف است، به این صورت که دو لایه گچبرگ به ضخامت ۱/۹ سانتیمتر در دو طرف و فاصله‌ی هوایی میان آنها است، دیوار خارجی که در ضلع جنوبی ساختمان است دارای مصالح گچ، آجرگری و اندود سیمان می‌باشد. ضریب انتقال حرارتی سطحی برای هر یک از عناصر نمونه‌ی مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. پنجره مورد نظر PVC دو جداره است که مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی با احتساب قاب آن دارای ضریب هدایت حرارتی ۲/۹ W/m^2K می‌باشد.

Table 2: U-value for the material of the case study (W/m2k)

Building Components	Wall	Roof	Floor	Partition	Window
U- Value	0.46	1.44	1.44	2.58	2.90

ست‌پوینت گرمایش و سرمایش شبیه‌سازی بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ایران، به ترتیب ۲۰ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. برای عملکرد بهینه پوشش‌های محافظ پنجره، سیستم هوشمندی که در عملیات رفت و برگشتی این پژوهش از نتایج تمام مراحل به دست آمد، این‌گونه تعریف شده است: قبل از فعال شدن سیستم

سرمایش در تابستان و گرمایش در زمستان، پوشش‌های محافظ پنجره به صورت خودکار بسته شوند که براساس ست‌پوینت‌هایی که در سیستم تاسیساتی تعریف شده است، در سیستم گرمایش ساختمان، چنانچه در طول شب، دمای داخل به ۲۰ درجه سانتیگراد (ست‌پوینت سیستم گرمایش) رسید، سایه‌بان به طور خودکار بسته شود و زاویه لوورها در حالت بسته (زاویه صفر) قرار گیرد و در سیستم سرمایش ساختمان، چنانچه دمای داخل به ۲۸ درجه سانتیگراد (ست‌پوینت سیستم سرمایش) رسید، سایه‌بان به طور خودکار با لوورهایی در زاویه ۴۵ درجه، بسته شود. برای کنترل دستی پوشش محافظ پنجره بر اساس نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده برنامه پیشنهادی بدین صورت است: در ماه‌هایی که سیستم سرمایش ساختمان فعال می‌شود (از ابتدای اردیبهشت تا انتهای شهریور)، کاربر از ساعت ۱۰ صبح تا ۴ بعدازظهر، پوشش‌های محافظ پنجره را می‌بندد و در ماه‌هایی که سیستم گرمایش ساختمان روشن می‌شود از ساعت ۶ بعد ازظهر تا ۶ صبح، پوشش‌های محافظ پنجره توسط کاربر بسته می‌شود.

Table 3: Physical properties of windows shaders

	Material	Louver thickness (mm)	Louver width (mm)	Distance between Louvers (mm)	Distance between shaders and windows (mm)	U-value (W/m.K)
1	Wood	10	40	40	10	0.15
2	PVC	10	40	40	10	0.17
3	Aluminum	10	40	40	10	160

۵- تفسیر نتایج

۵-۱- تاثیر مکان قرارگیری پوشش محافظ پنجره بر بار سرمایشی و گرمایشی ماهانه و سالانه

همان‌طور که اشاره گردید بنابرتعداد زیاد متغیرها و کاهش دقت در سنجش، میزان تاثیر هر متغیر به صورت مستقل بررسی شده است و دیگر پارامترها ثابت فرض شده‌اند. در گام اول، **بار سرمایشی اتاق**، در سه وضعیت بررسی می‌شود. در یک مرحله سایه‌بان در سمت جداره رو به خارج پنجره قرار نصب شده است و در مرحله آخر، بار سرمایشی برای وضعیتی که سایه‌بانی وجود ندارد، محاسبه شده است تا تاثیر پوشش‌های محافظ پنجره بر بار سرمایشی اتاق مشخص شود. همان طور که در شکل ۵ مشخص است، در تمام ماه‌هایی که سیستم سرمایشی اتاق روشن می‌باشد، نصب پوشش‌های محافظ پنجره بر کاهش بار سرمایشی تاثیرگذار است ولی میزان این تاثیر در پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی بیشتر از داخلی است و همچنین در حالت WWR ۷۰٪ به خاطر وسعت سطح پنجره، بار سرمایشی بیشتر و میزان تاثیر پوشش‌های محافظ پنجره نیز در کاهش این بار بیشتر است.

در شکل ۶ بار سرمایشی سالانه فضا در سه وضعیت ذکر شده، مقایسه شده است. نتایج به دست آمده تاکید می‌کند که نصب پوشش‌های محافظ پنجره در سمت جداره خارجی تاثیر بیشتری در هر سه مساحت پنجره دارد و پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی در سطح پنجره بزرگ‌تر که میزان دریافت و از دست دادن حرارت هم در آن بیشتر است، موثرتر است. برای محاسبه‌ی دقیق‌تر میزان تاثیر مکان قرارگیری سایه‌بان، درصد تفاوت میزان بار سرمایشی سالیانه فضا در زمانی که پوشش‌های محافظ پنجره در خارج و در داخل نصب شده است به نسبت شرایطی که سایه‌بانی نصب نشده، محاسبه و مقایسه شده است. نتیجه‌ی به دست آمده مشخص کرد که پوشش‌های محافظ پنجره‌ی داخلی در هر سه سطح پنجره، ۵ درصد بار سرمایشی را کاهش داده‌اند در صورتیکه پوشش محافظ پنجره‌ی خارجی برای نسبت مساحت پنجره به سطح دیوار ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ بار سرمایشی را به ترتیب ۳۱، ۲۵ و ۱۷ درصد کاهش داده است.

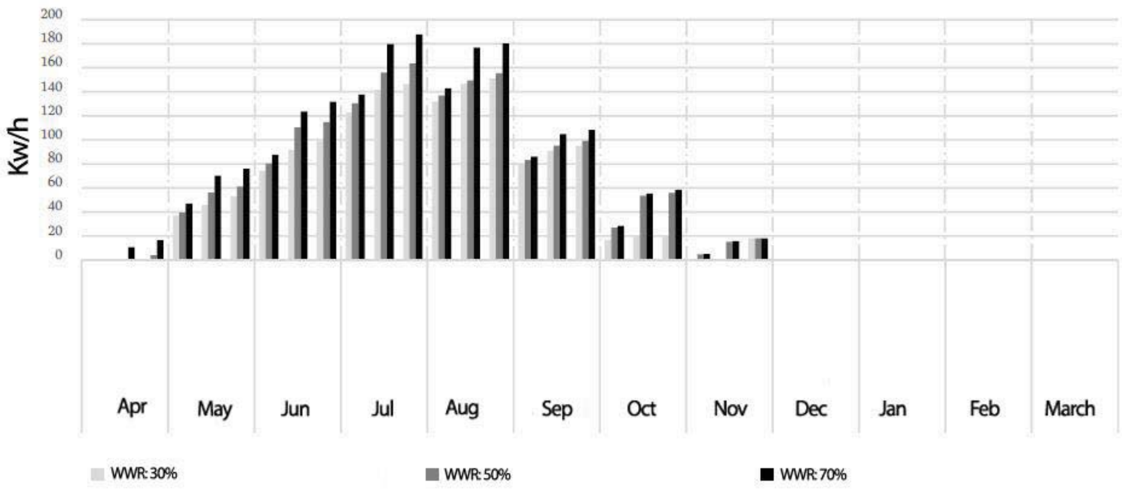

Fig. 5 Monthly cooling load for the interior spaces

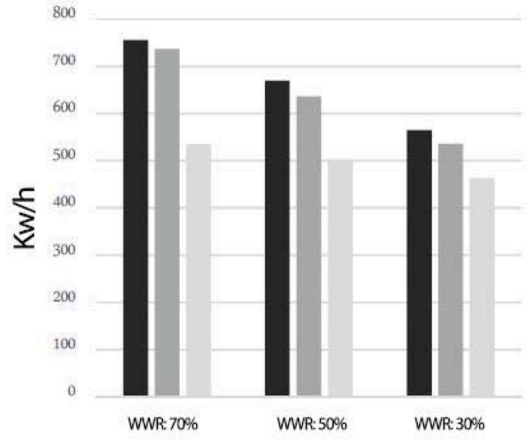

Fig. 6 Cooling load for the interior spaces during a year

در گـام دوم، **بار گرمایشی اتاق**، در همـان سـه وضـعیت ذکر شده در قسمت بار سرمایشی بررسی می‌شود. همـان‌طـور که در شکل ۷ و ۸ مشـخص اسـت، در تمـام زمـان‌هـایی کـه سیستم گرمایشی اتاق فعال است، نصب پوشـش‌هـای محـافظ پنجره بر کاهش بـار گرمایشـی تاثیرگـذار اسـت و مشـابه بـار سرمایشی، تاثیر پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی به نسبت پوشش‌های محافظ پنجره‌ی نصب شده در داخل، بر کاهش بار گرمایشی بیشـتر اسـت. بـار گرمایشـی اتـاق در شـرایطی کـه مساحت پنجره کوچکتر است، به دلیل دریافت تابش کمتـر در زمسـتان، بیشـتر از دیگـر سـطوح پنجـره اسـت ولـی تـاثیر پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی و داخلی در هر سه سطح پنجـره تقریبـا یکسـان اسـت . مقایسـه‌ی میـزان تفـاوت بـار گرمایشی متاثر از نصب پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی و داخلی با وضعیتی که پوشش محافظ پنجره نصب نشده است، نشان می‌دهد که بیشترین درصد تفاوت بار گرمایشی متـاثر از پوشش محافظ داخلی ۴ درصد و برای پوشش محافظ خارجی ۹ درصد می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی دو برابر بیشتر از پوشش‌های محـافظ داخلـی بر کاهش بار گرمایشی اتاق تاثیرگذار هستند.

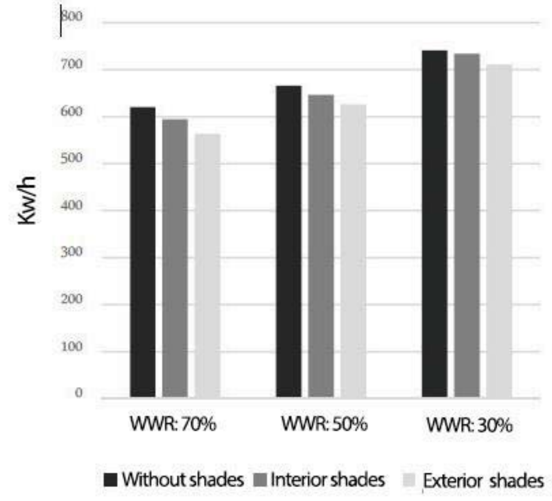

Fig. 7 Heating load for the interior spaces during a year

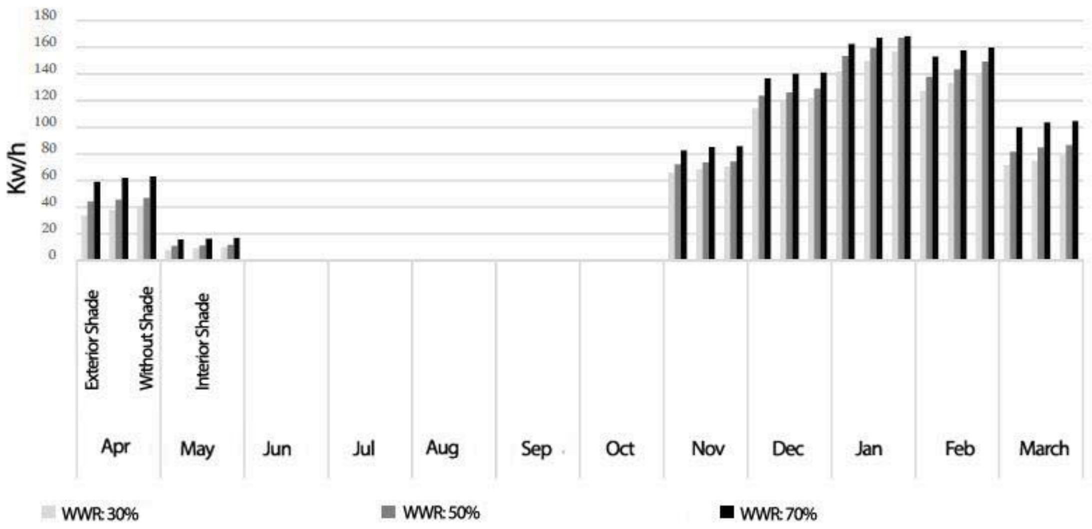

Fig. 8 Monthly heating load for the interior spaces

۵-۲- تاثیر نوع پوشش‌های محافظ پنجره بر بار سرمایشی و گرمایشی ماهانه و سالانه

در مرحله اول، **بار سرمایشی اتاق**، با سه نوع پوشش محافظ پنجره بررسی می‌شود. یک نوع پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی که سایه‌بان در هنگام بسته بودن هیچ‌گونه درز و نفوذ هوایی ندارد[۱۶]. نوع دوم، پوشش محافظ پنجره‌ی کرکره‌ای است که کرکره های متحرک و قابل تنظیم دارد. نوع سوم، پوشش محافظ پنجره با کرکره‌های ثابت و غیرقابل تنظیم است که در اینجا زاویه لوورها بر اساس نتایج مطالعات میدانی با زاویه ۴۵ درجه قرارگرفته‌اند. پوشش‌های محافظ پنجره‌ای که در گذشته بر خانه‌های شهر تهران نصب شده است، از این دسته‌اند.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است، میزان تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره‌ی ثابت و زاویه ۴۵ درجه بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از دو نوع دیگر است. پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک هم تاثیر بیشتری بر کاهش بار سرمایشی به نسبت پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی دارد. در شکل۹ نیز می‌توان مشاهده کرد که میزان تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره‌ی ثابت و زاویه ۴۵ درجه بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از دو نوع دیگر است. پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک هم تاثیر بیشتری بر کاهش بار سرمایشی به نسبت پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی دارد.

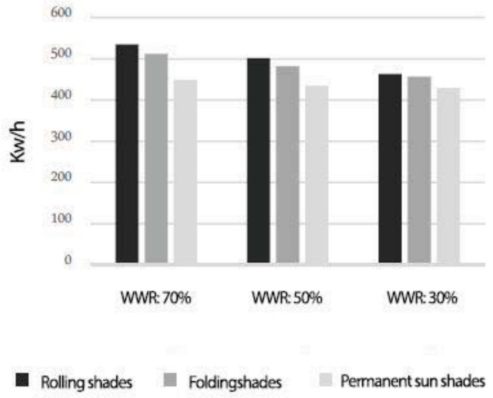

Fig. 9 Cooling load for the interior spaces during a year

محاسبه میزان درصد تفاوت بار سرمایشی سالانه‌ی سه نوع پوشش محافظ پنجره به نسبت زمانی که سایه‌بانی نصب نشده است، نشان می‌دهد که تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره ثابت، در کاهش بار سرمایشی حدود ۱۰ درصد بیشتر از دو نوع دیگر پوشش محافظ پنجره است و پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از کرکره غلطکی تاثیرگذار است.

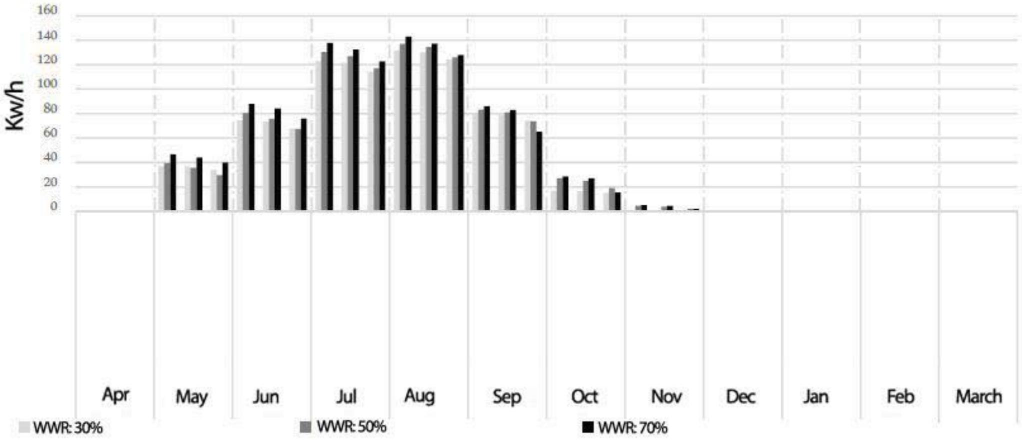

Fig. 10 Monthly cooling load for the interior spaces

در گام بعدی، **بار گرمایشی اتاق**، با همان سه نوع پوشش محافظ پنجره‌ی معرفی شده در قسمت بار سرمایشی بررسی می‌شود. در شکل ۱۱، بار گرمایشی ماهانه نشان می‌دهد که میزان تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی بر کاهش بار گرمایشی بیشتر از دو نوع دیگر است. پوشش‌های محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک نیز تاثیر بیشتری بر کاهش بار گرمایشی به نسبت پوشش محافظ پنجره‌ی با کرکره ثابت دارد. پوشش‌های محافظ پنجره‌ی غلطکی به دلیل اینکه بدون درز و نفوذ هوا فرض شده است، از انتقال حرارت بین داخل و خارج فضا ممانعت به عمل می‌آورد و به همین دلیل تاثیر زیادی بر کاهش بار گرمایشی اتاق دارد. پوشش‌های محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک به دلیل این که در شب‌های سرد سال بر اساس ست‌پوینت تعریف شده، لوورها در زاویه صفر و حالت بسته قرار می‌گیرند و نفوذ هوای بسیار کمی فقط از درزهای بین لوورها وجود دارد، تاثیر زیادی بر کاهش بار گرمایشی دارند.

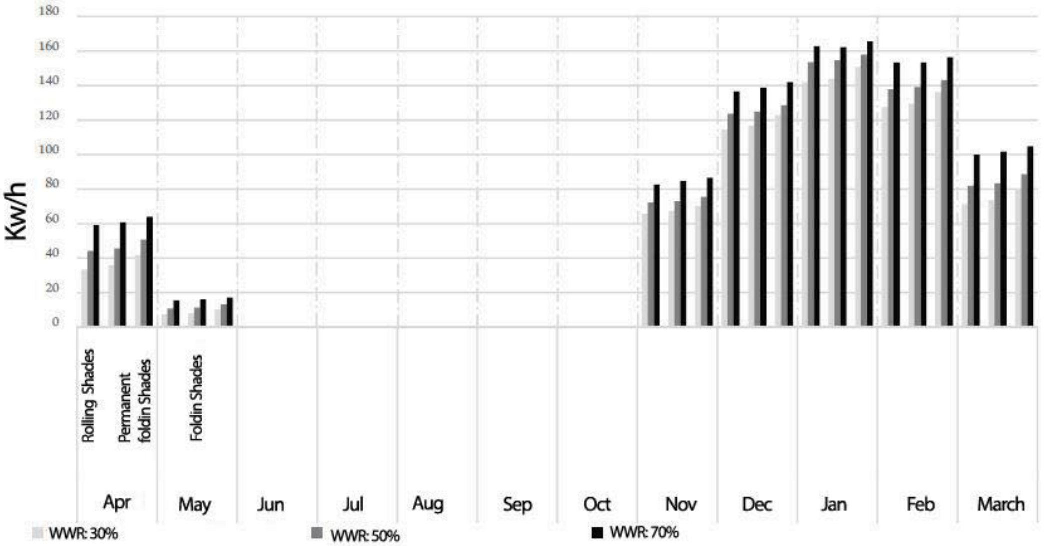

Fig. 11 Monthly heating load for the interior spaces

مقایسه و محاسبه میزان درصد تفاوت بار گرمایشی سالانه و نتایج شکل ۱۲ نشان می‌دهد که عملکرد پوشش‌های محافظ پنجره‌ی با کرکره‌ی ثابت در کاهش بار گرمایشی به نسبت زمانیکه سایه‌بانی وجود ندارد، حدود ۱٪ است، و این مقدار برای نسبت سطح پنجره به سطح دیوار ۳۰٪، به کمتر از ۰/۵٪ می‌رسد و عملاً پوشش‌های محافظ پنجره در این حالت بی‌تاثیر هستند. نتایج نشان می‌دهد که پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی تاثیر ۹ و ۶ و ۴ درصدی و پوشش‌های

محافظ پنجره‌ی با کرکره متحرک تاثیر ۷ و ۵ و ۳ درصدی بر کاهش بار گرمایشی اتاق به ترتیب برای WWR ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ دارند.

۵-۳- تاثیر نوع سیستم حرکتی پوشش محافظ پنجره بر بار سرمایشی و گرمایشی ماهانه و سالانه

در گام اول، **بار سرمایشی اتاق**، در سه نوع سیستم حرکتی برای پوشش‌های محافظ پنجره تعریف شده و با بار سرمایشی اتاق در شرایطی که سایه‌بانی وجود ندارد، مقایسه شده است. وضعیت اول، شرایطی است که پوشش محافظ پنجره هوشمند عمل می‌کند، در حالت دوم، پوشش محافظ پنجره به صورت دستی کنترل می‌شود، در وضعیت بعدی، سیستم کنترل پوشش محافظ پنجره دستی است و به گونه‌ای که در تابستان (از اردیبهشت ماه تا انتهای شهریور ماه)، در زمان‌هایی که بر اساس برنامه زمانی کنترل دستی، پوشش‌های محافظ پنجره بسته می‌شود، کرکره‌های پوشش محافظ پنجره در زاویه ۴۵ درجه، قرار می‌گیرد. در شکل۱۳ میزان تاثیر نوع کنترل پوشش‌های محافظ پنجره بر بار سرمایشی ماهانه اتاق با WWR ۷۰٪ و ۵۰٪ و ۳۰٪ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان بار سرمایشی اتاق در زمانیکه پوشش محافظ پنجره به‌صورت هوشمند کنترل می‌شود، در هر سه سطح پنجره، کمتر از دیگر روش‌های کنترل است.

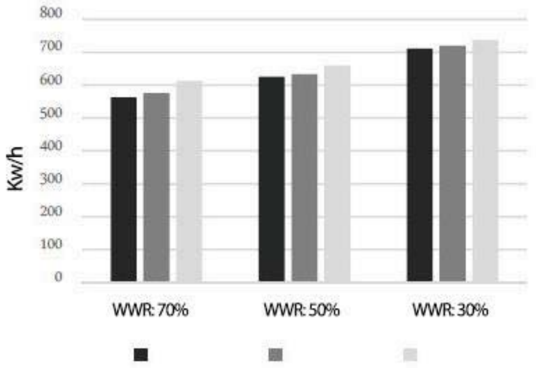

Fig. 12 Heating load for the interior spaces during a year

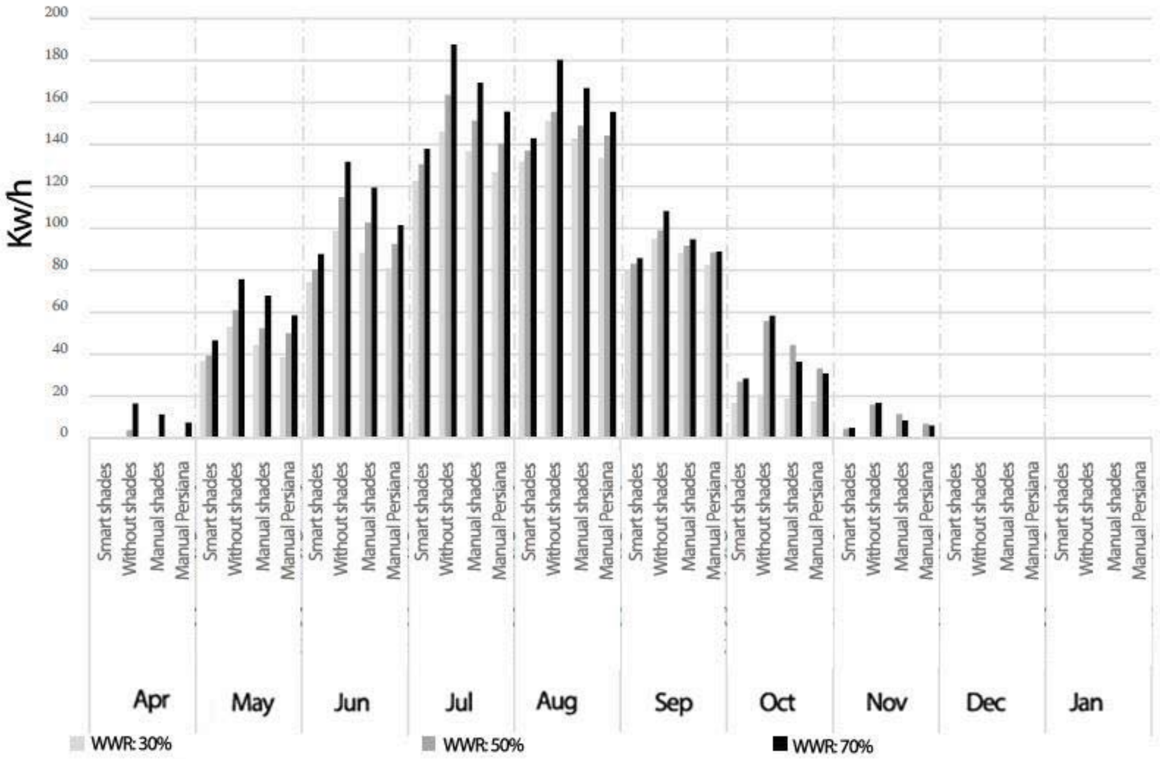

Fig. 13 Monthly cooling load for the interior spaces

با محاسبه درصد تفاوت بار سرمایشی اتاق به نسبت زمانیکه سایه‌بانی وجود ندارد و همچنین شکل ۱۴، می‌توان نتیجه گرفت که پوشش محافظ پنجره در شرایطی که هوشمند کنترل شود، تاثیر ۱۸ تا ۳۱ درصدی در کاهش بار سرمایشی سالیانه فضا به ترتیب برای WWR ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ دارد و می‌توان مشاهده کرد که دیگر شرایط کنترل سایه‌بان نیز تاثیر زیادی بر کاهش بار سرمایشی داشته‌اند.

در مرحله بعدی، برای **بار گرمایشی اتاق**، دو نوع سیستم حرکت پوشش محافظ پنجره تعریف شده و با بار گرمایش اتاق در شرایطی که سایه‌بانی وجود ندارد، مقایسه شده است. حالت اول، شرایطی است که پوشش محافظ پنجره هوشمند عمل می‌کند و در وضعیت بعدی، پوشش محافظ پنجره به صورت دستی کنترل می‌شود. در شکل ۱۵ میزان تاثیر نوع کنترل پوشش محافظ پنجره بر بار گرمایشی ماهانه اتاق مشاهده می‌شود، مشخص است که در زمانیکه پوشش محافظ پنجره به صورت هوشمند کنترل می‌شود میزان بار گرمایشی اتاق، در هر سه سطح پنجره، کمتر از دیگر روش‌های کنترل است و تاثیر نوع کنترل پوشش محافظ پنجره به یک مقدار است و در هر سه حالت، پوشش‌های محافظ پنجره‌ای که هوشمند کنترل می‌شود، تاثیر بیشتری بر کاهش بار گرمایشی دارد.

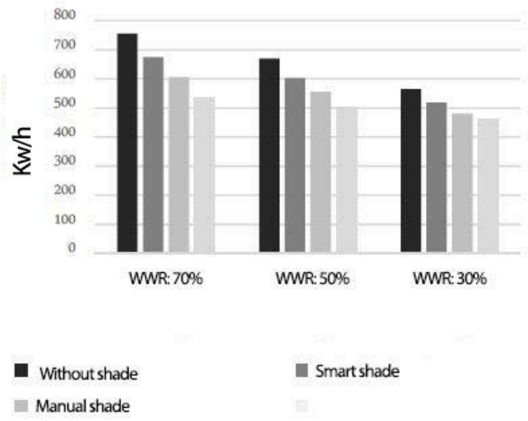

Fig. 14 Cooling load for the interior spaces during a year

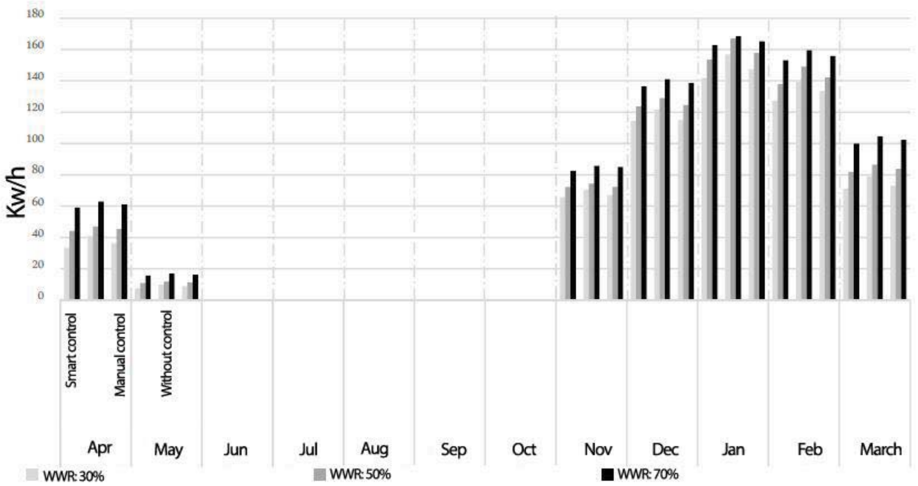

Fig. 15 Monthly heating load for the interior spaces

از شکل ۱۶ و محاسبه‌ی درصد تفاوت بار گرمایشی اتاق به نسبت زمانیکه سایه‌بانی وجود ندارد، می‌توان نتیجه گرفت که پوشش محافظ پنجره در حالتی که هوشمند کنترل می‌شود، تاثیر ۹، ۶ و ۴ درصدی به ترتیب برای WWR ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ در کاهش بار گرمایشی سالانه فضا دارد و در وضعیتی که به صورت دستی (غیر خودکار) کنترل می‌شود، تاثیر ۶، ۴ و ۲ درصدی در کاهش بار گرمایشی سالانه فضا به ترتیب برای WWR ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ دارد.

بار سرمایشی اتاق، با سه جنس مختلف برای پوشش‌های محافظ پنجره بررسی می‌شود. مصالح پیشنهادی که در بخش‌های قبل با جزییات خصوصیاتشان ذکر شده است: چوب، وینیل (PVC)، آلومینیوم در شکل‌های ۱۷و ۱۸ بار سرمایشی ماهانه و سالانه فضا مشخص است. نتایج نشان می‌دهد که تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی چوبی بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از دو جنس دیگر است و تاثیر PVC بر کاهش بار سرمایش بیشتر از آلومینیوم است و هر سه جنس حدود ۳۰٪ در کاهش بار سرمایشی در وضعیتی که WWR ۷۰٪ است، تاثیر گذارند.

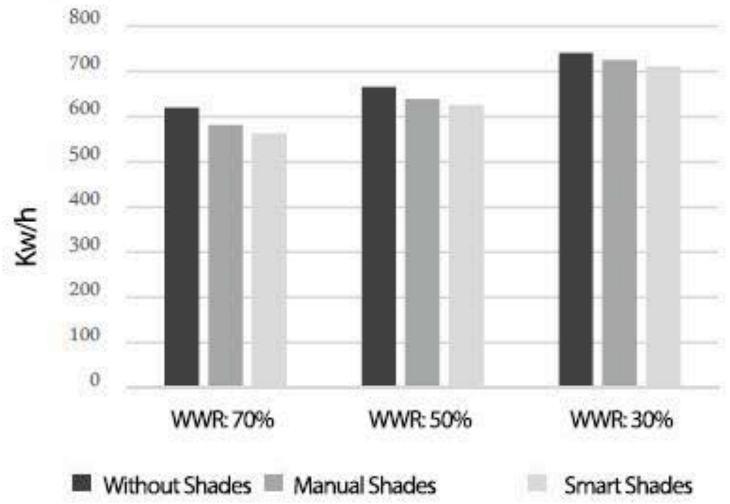

Fig. 16 Heating load for the interior spaces during a year

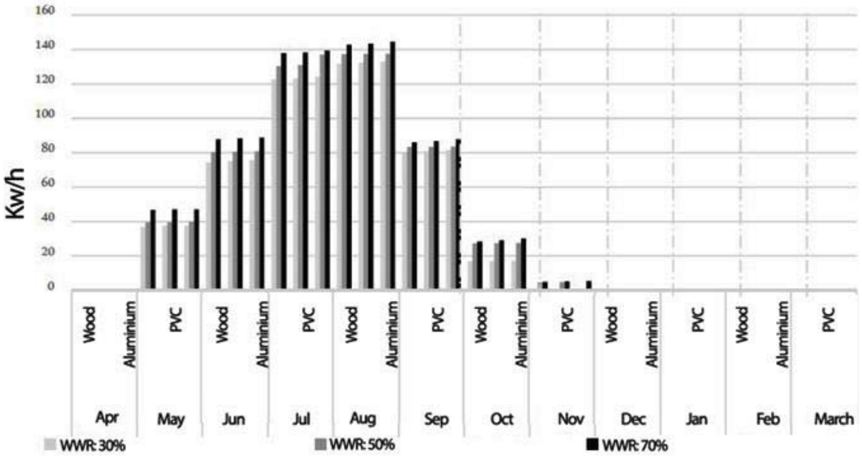

Fig. 17 Monthly cooling load for the interior spaces

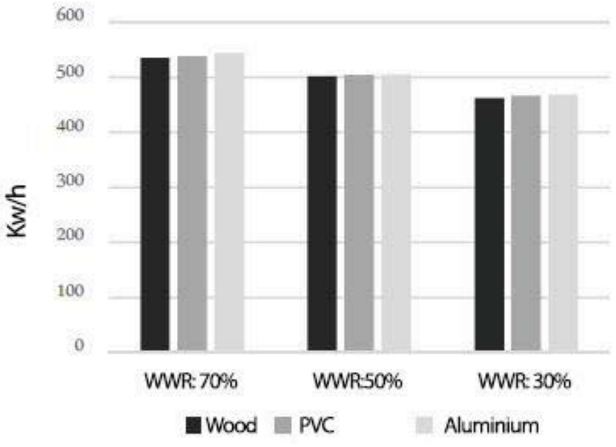

Fig. 18 Cooling load for the interior spaces during a year

در مرحله بعدی، **بار گرمایشی اتاق**، برای پوشش محافظ پنجره با سه ماده ذکر شده، محاسبه شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۱۹و ۲۰ مشاهده می‌شود، پوشش محافظ پنجره‌ی چوبی تاثیر بیشتری در کاهش میزان بار گرمایشی اتاق دارد ولی این تفاوت محسوس نمی‌باشد و میزان تفاوت بار گرمایشی فضا با استفاده از پوشش‌های محافظ پنجره با سه جنس انتخاب شده، حدود ۱ درصد است.

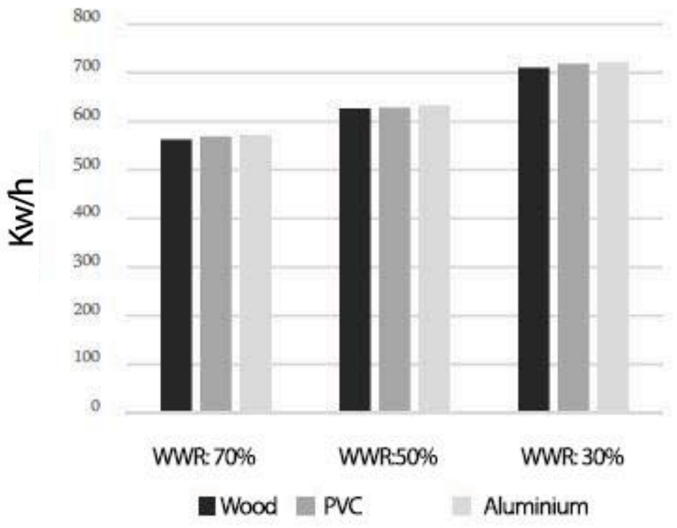

Fig. 19 Heating load for the interior spaces during a year

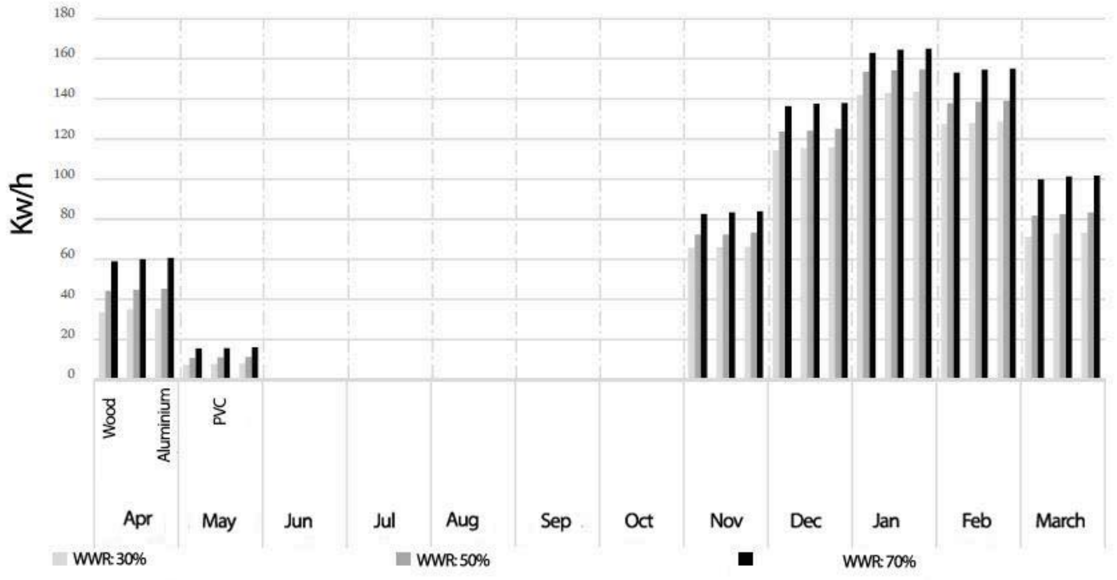

Fig. 20 Monthly heating load for the interior spaces

با جمع‌بندی نتایج پژوهش انجام شده، خصوصیات پوشش محافظ پنجره‌ی پیشنهادشده بدین صورت می‌باشد:

- مصالح پوشش‌های محافظ پنجره: چوب (ضخامت لوور: ۱ سانتیمتر - پهنای لوور: ۴ سانتیمتر)
- مکان نصب پوشش‌های محافظ پنجره: خارجی
- کنترل: هوشمند به صورتیکه قبل از روشن شدن سیستم سرمایش در تابستان و گرمایش در زمستان، پوشش‌های محافظ پنجره به صورت خودکار بسته شود که بر اساس ست‌پوینت‌هایی که در سیستم تاسیساتی تعریف شده است، در سیستم گرمایش ساختمان، چنانچه در طول شب، دمای داخل به ۲۰ درجه سانتی‌گراد (ست‌پوینت سیستم گرمایش) رسید، پوشش‌های محافظ پنجره به طور خودکار بسته شود و زاویه لوورها در حالت بسته (زاویه صفر) قرار گیرد و در سیستم سرمایش ساختمان، چنانچه دمای داخل به ۲۸ درجه سانتیگراد (ست‌پوینت سیستم سرمایش) رسید، پوشش‌های محافظ پنجره به طور خودکار بسته شود و زاویه لوورها در ۴۵ درجه قرار گیرد.
- نوع پوشش‌های محافظ پنجره: از نوع کرکره متحرک که در زمستان در شرایط بسته به طور کامل درزگیری شده است و همچون پوشش‌های محافظ پنجره‌ی غلطکی در میزان بار گرمایشی تاثیرگذار است.

در جدول شماره ۴ بار کل سالانه فضا با پوشش محافظ پنجره پیشنهادی که حاصل از نتایج پژوهش است، با شرایط بدون استفاده از سایه‌بان مقایسه شده است و میزان تاثیر بر بار حرارتی به دست آمده است.

Table 4: Total thermal load of the building during a year (Kw/h)

Wall to window ratio (WWR)		Cooling Load	Heating Load	Thermal Load	Fluctuation (%)
70%	Without window protection	776	619	1395	-27.5
	With smart window protection	449	563	1012	
50%	Without window protection	670	666	1336	-24
	With smart window protection	435	626	1061	
30%	Without window protection	565	741	1306	-12.7
	With smart window protection	429	711	1140	

۶- نتیجه‌گیری

نتیجه بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایطی که مساحت پنجره بزرگتر است، میزان کسب و اتلاف حرارت از طریق پنجره افزایش می‌یابد و در نتیجه تاثیر پوشش‌های محافظ به عنوان محافظی بر روی پنجره بر بار سرمایشی و گرمایشی بیشتر می‌شود. در این پژوهش، در وضعیتی که نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار ۷۰٪ است، بیشترین تاثیر پوشش‌ها را بر کاهش بار سرمایشی و گرمایشی مشاهده می‌کنیم. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تاثیر پوشش محافظ پنجره‌ی خارجی بر کاهش بار سرمایشی و گرمایشی اتاق بیشتر از پوشش محافظ پنجره‌ی داخلی است. پوشش‌های محافظ پنجره‌ی خارجی برای وضعیتی که نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار ۷۰٪ است ۳۱٪، برای شرایطی که نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار ۵۰٪ بود، ۲۵٪ و برای میزان مساحت بازشو به سطح دیوار ۳۰٪، ۱۸٪ در کاهش بار سرمایشی و بر اساس همین کاهش مساحت پنجره به ترتیب، ۹٪، ۶٪ و ۴٪ در کاهش بار گرمایشی اتاق تاثیرگذار هستند و پوشش‌های محافظ پنجره‌ی داخلی ۵٪ در کاهش بار سرمایشی و بر اساس کاهش مساحت پنجره به ترتیب، ۴٪، ۳٪ و ۱٪ بر کاهش بار گرمایشی اتاق تاثیر می‌گذارند. از ۳ نوع جنس انتخاب شده، پوشش محافظ پنجره‌ی چوبی نسبت به دو سایه انداز دیگر، ظرفیت گرمایی بهتر و عایق بهتری است و در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی بیشترین تاثیر را دارد. پوشش محافظ پنجره با کرکره ثابت تاثیر زیادی بر کاهش بار سرمایشی و پوشش محافظ پنجره‌ی غلطکی که به خوبی درزگیری شده است، تاثیر زیادی در کاهش بار گرمایشی فضا دارد، به همین دلیل برای کاهش بیشتر بار سرمایشی و گرمایشی اتاق، پوشش محافظ پنجره‌ای پیشنهاد می‌شود که دارای کرکره‌ی متحرکی که به صورت هوشمند کنترل می‌شود، باشد که کاربر در فصل تابستان،کرکره‌ی آن را با زاویه ثابتی باز کرده و بیشترین تاثیر بر کاهش بار سرمایشی در تابستان فراهم شود و با بسته شدن کرکره‌ها در فصل زمستان و درزگیری مناسب پوشش‌های محافظ پنجره، میزان تاثیرش بر کاهش بار گرمایشی اتاق افزایش یابد.

از نتایج مشخص است که میزان تاثیر پوشش محافظ پنجره در تمام شرایط بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از کاهش بار گرمایشی است. بیشترین تاثیر بر کاهش بار سرمایشی در وضعیتی است که پوشش محافظ پنجره با کرکره ثابت فرض شده و سبب کاهش ۴۲ درصدی بار سرمایشی اتاق می‌شود و بیشترین تاثیر بر کاهش بار گرمایشی در شرایطی استکه پوشش محافظ بر پنجره‌ای که بزرگترین مساحت را دارد (۷۰٪ WWR) نصب شده است و به صورت هوشمند کنترل می‌شود که در این شرایط سبب کاهش ۹ درصدی بار گرمایشی اتاق می‌گردد.

پی نوشت:

1. Window Shutters
2. PCM
3. Effect of an incompletely closed window shutter on indoor illuminance level and heat gain

4. Development of a window shutter with phase change materials:Full scale outdoor experimental approach
5. Thermal assessment of internal shutters and window film applied to traditional single glazed sash and case windows
6. Evaluation of Residential Window Retrofit Solutions for Energy Efficiency
7. A Comparative Analysis of the Energy Performance of Traditional Wooden Shutters and Contemporary Aluminium Roller Shutters in Istanbul
8. Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain
9. Evaluating Window Insulation for cold climates
10. Evaluating Window Insulation: Curtains, Blinds, Shutters, and More
11. Energy saving and co reduction potential from solar shading systems and shutters in the EU-25
12. Insulating shutters: innovative enhancements for energy saving, comfort, and security
13. Expanded polystyrene composite door shutters an alternative to wooden door shutters
14. The influence of automated window shutters on the design and performance of a passive solar house
15. Roller Shutter
16. Seal

فهرست منابع:

- فیاض، ریما (۱۳۹۲). سطح بهینه پنجره ساختمان‌های مسکونی در اردبیل و تهران، دو فصلنامه دانشگاه هنر تهران: نامه، شماره ۱۰، بهار و تابستان.
- فیاض، ریما؛ کسمایی، مرتضی (۱۳۸۹). مبانی طراحی سایه‌بان‌های ثابت در پهنه‌های مختلف اقلیمی ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- کسمایی، مرتضی (۱۳۸۲). اقلیم و معماری، نشر خاک، تهران.
- مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۸۹). مبحث نوزدهم، "صرفه جویی در مصرف انرژی"، وزارت راه، مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان.
- Alawadhi Esam M (2012). Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain, In Energy and Building, Vol. 47, pp. 421-429.
- Ariosto T, M. Memari A (2013). Evaluation of residential window retrofit solutions for energy efficiency, The Pennsylvania Housing Research Center.
- Asthana KK, Lakhani R, Aggarwal LK (1996). Expanded polystyrene composite door shutters - an alternative to wooden door shutters, In Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 6, pp. 475-480.
- Cler G, Kinney L (2005). Insulating shutters: innovative enhancements for energy saving, comfort, and security, ECEEE 2005 Summer Study proceedings.
- Craven C, Garber Slaght R (2011). Evaluating window insulation: curtains, blinds, shutters, and more, Cold Climate Housing Research Center.
- Craven C, Garber Slaght R (2012). Evaluating Window Insulation for cold climates, Journal of Green Building, Vol. 7, No. 3.
- Currie J, Bros W, Julio S, Jon; Jonnard, Marie (2014). Thermal assessment of internal shutters and window film applied to traditional single glazed sash and case windows, Historic Scotland Technical Paper, No. 23.
- M. Alawadhi, Esam (2016). Effect of an incompletely closed window shutter on indoor illuminance level and heat gain, Energy and Building, Vol. 110, pp. 112-119.
- Silva T; Vicente R, Rodrigues F, Samagaio A (2015). Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experimental approach, In Energy and Building, Vol. 88, pp. 110-121.
- Timmermans G (2006). Energy saving and co reduction potential from solar shading systems and shutters in the EU-25, The Eurpean Solar Shading Organization.
- Yazicioglu F (2013). A comparative analysis of the energy performance of traditional wooden shutters and contemporary aluminium roller shutters in istanbul, a Case Study, In Energy Procedia, Vol. 42, pp. 483-492.
- Zaheer-Uddin M (1987). The influence of automated window shutters on the design and performance of a passive solar house, In Building and Environment, Vol. 22, No. 1, pp. 67-75.