

## تحلیل تأثیر آفتاب‌گیرهای داخلی بر مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مطالعه موردی: واحد مسکونی در تهران)\*

مهندس علیرضا کریم‌پور\*، دکتر داراب دیبا\*\*، دکتر ایرج اعتصام\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱

### چکیده

مصرف بالای انرژی، یکی از دغدغه‌های مهم جهانی در دهه‌های گذشته بوده است. از آنجا که یکی از محورهای نیل به توسعه پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد، ارائه راهکارهایی در این زمینه، به ویژه در بخش ساختمان و مسکن، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در حال حاضر استفاده از آفتاب‌گیرها یک روش متداول برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان و ایجاد شرایط آسایش محیطی می‌باشد. در این تحقیق، نخست چهارنوع آفتاب‌گیر داخلی در ترکیب با سه‌نوع شیشه، جهت تعیین سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی، مورد بررسی قرار گرفت و بهترین سیستم از نظر میزان کارایی مشخص شد. در گام بعد، یک مدل ساختمانی مبنا مدل‌سازی گردید و میزان مصرف انرژی، یک‌بار در حالت عادی و بار دیگر درحالتی که سیستم سایه‌انداز بهینه بر روی آن شبیه‌سازی شده بود، محاسبه گردید. نتایج تحقیق حاکی از آن است که می‌توان تنها با استفاده از یک سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی، مصرف انرژی را در بخش مسکن شهر تهران حتی تا ۱۴٪ کاهش داد.

### واژه‌های کلیدی

توسعه پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی، سیستم سایه‌انداز، آفتاب‌گیرهای داخلی، شبیه‌سازی مصرف انرژی

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول تحت عنوان «بررسی تأثیر مؤلفه‌های طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مورد مطالعه: شهر تهران)» در رشته معماری به راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم می‌باشد.  
\*\* دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران. (مسئول مکاتبات)

Email: alireza.karimpour@yahoo.com

\*\*\* استاد دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

\*\*\*\* استاد دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

## ۱-۱- مقدمه

سیستم سایه‌انداز بهینه بر روی مدل ساختمانی مبنا شبیه‌سازی می‌گردد و ساختمان جدید مشابه ساختمان قبلی و فقط با یک عامل متفاوت طراحی شده و در ادامه نرخ مصرف انرژی آن محاسبه می‌شود. این دو بنا با هم مقایسه خواهند شد و در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مقایسه تطبیقی آنها با داده‌های اولیه پژوهش و روش‌های آماری استدلال منطقی صورت خواهد گرفت.

## ۱-۱-۱ پیشینه پژوهش

امروزه انتخاب و به‌کارگیری روش‌هایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی - به طور خاص در بخش مسکونی - یکی از دغدغه‌ها و نیازهای روز مدیران انرژی و محققان می‌باشد. در این زمینه مطالعات زیادی در مورد تأثیر آفتاب‌گیرها و ویژگی‌های حرارتی آنها در ساختمان انجام شده است. بلو هوب و همکارانش با بهره‌گیری از نرم‌افزار Parasol، میزان کل انتقال انرژی خورشیدی چند آفتاب‌گیر مختلف را شبیه‌سازی کرده و اطلاعات به‌دست آمده را برای آفتاب‌گیرهای خارجی، میانی و داخلی دسته‌بندی نمودند. با توجه به نتایج، آفتاب‌گیرهای خارجی برای کاهش بار سرمایش بهترین گزینه هستند و آفتاب‌گیرهای داخلی از کارایی کمتری برخوردارند (Bülow-Hübe et al., 2003). بسودو و همکارانش نیز یک مطالعه تجربی در مورد محیط حرارتی داخلی ساختمانی اداری با آفتاب‌گیر داخلی در فصل زمستان ارائه نموده‌اند، که بر اساس نتایج حاصل از آن درجه حرارت بازشوها در طی روزهای آفتابی، هنگام پایین بودن درجه حرارت محیط خارجی، بالا خواهد بود. لذا سیستم‌های سایه‌اندازی به‌طور خاص درجه حرارت بهینه را در طی روزهای آفتابی در فصل زمستان بهبود می‌بخشند و این اثر در روزهای ابری کمتر است (Bessoudo et al., 2010). داتا پس از یک مطالعه بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های دارای آفتاب‌گیر با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز TRNSYS، اشاره می‌کند که در حالی که جذب خورشیدی از طریق پنجره‌ها تا حد زیادی بر بار سرمایش تأثیر دارد، هر روشی که به کاهش این جذب منجر گردد - مانند سایه‌اندازی - باید با احتیاط استفاده شود، زیرا با کاهش بارهای سرمایش، ممکن است بارهای گرمایش نیز افزایش یابد. بنابراین تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش در طراحی و انتخاب آفتاب‌گیر، توامان باید در نظر گرفته شود (Datta, 2001). زمپلیکوس با توجه به عدم آسایش حرارتی و تقاضای بالای انرژی در ساختمان‌های اداری با نماهای وسیع شیشه‌ای، شبیه‌سازی حرارتی یک ساختمان اداری بزرگ را به منظور دستیابی به بهترین گزینه ممکن برای بهبود شرایط محیطی آن انجام داد. نتایج حاکی از آن است که با استفاده از آفتاب‌گیرهایی قابل کنترل و تا حد ممکن منعکس کننده، می‌توان کاهشی ۶۰ درصدی در تقاضای انرژی سرمایش ایجاد نمود (Tzempelikos & Roy, 2004, 103). به طور کلی سابقه تحقیق نشان می‌دهد که فقط بخش کمی از مطالعات به بررسی میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در آفتاب‌گیرها، به‌ویژه آفتاب‌گیرهای داخلی پرداخته است که اغلب آنها نیز بر ساختمان‌های اداری متمرکز شده‌اند.

توسعه پایدار به عنوان یک فرایند که لازمه بهبود و پیشرفت جوامع بشری است، به عنوان جنبه‌ای از توسعه انسانی<sup>۱</sup>، تأثیری انکارناپذیر در همه ابعاد زندگی انسان دارد (سالاری سردری و همکاران، ۱۳۹۳) و در گرو استفاده صحیح و بهینه از منابع انرژی به‌خصوص انرژی‌های تجدیدشونده میسر می‌باشد. از آنجا که بخش ساختمان و مسکن با مصرف بیش از ۴۰٪ انرژی، بزرگترین مصرف کننده انرژی در ایران محسوب می‌گردد (نصراللهی، ۱۳۹۰)، اولین قدم در راستای کاهش مصرف انرژی، یافتن نقاط ضعف در بحث پایداری انرژی در ساختمان‌ها و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن می‌باشد؛ چنانچه رعایت کوچکترین جزئیات می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان داشته باشد. پوسته‌های ساختمانی به واسطه آنکه مرز بین فضای داخل و خارج ساختمان می‌باشند، نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی بر عهده دارند (محمد، ۱۳۹۲). شیشه به عنوان پوسته خارجی ساختمان از لحاظ اتلاف انرژی حرارتی، ضعیف‌ترین بخش ساختمان محسوب می‌شود و در صورت عدم انجام تمهیدات لازم، مشکلاتی از جمله اتلاف حرارتی، گرمای زیاد در تابستان و سرد شدن سریع فضاها در زمستان را به همراه دارد (زمردیان و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه یکی از روش‌های ساده و متداول که در ایران قابلیت اجرای آسان نیز دارد، استفاده از آفتاب‌گیرها است. به‌طور کلی آفتاب‌گیرها به سه نوع داخلی، خارجی و میانی تقسیم می‌شوند. تنظیم لوکس نوری در حد دلخواه، جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و جلوگیری از اتلاف دما در زمستان از مزایای استفاده از آفتاب‌گیرها می‌باشد. لازم به ذکر است نتیجه مطالعات و تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که با استفاده از آفتاب‌گیرهای خارجی در مقایسه با داخلی، کارایی و بازده تا حدود ۳۵٪ افزایش می‌یابد (Olgay, 1963). این مقاله با اشراف به این امر که حتی آفتاب‌گیرهای داخلی بهینه نیز نمی‌توانند به کارایی و بهره‌وری آفتاب‌گیرهای خارجی دست یابند، اما با توجه به کاربرد و گسترش روزافزون آنها در صنعت ساختمان، به کمک شبیه‌سازی، در آغاز به مطالعه آفتاب‌گیرهای داخلی و تعیین یک مدل بهینه از آن پرداخته، و سپس تأثیر سیستم<sup>۲</sup> سایه‌انداز داخلی بهینه بر مصرف انرژی یک مدل ساختمانی نمونه را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

## ۱-۱-۲ روش پژوهش

روش تحقیق با توجه به نوع هدف پژوهش از نوع «کاربردی» و از نظر راهبرد و ماهیت از نوع «شبیه‌سازی و مدل‌سازی» و «استدلال منطقی» است. برای طی روند تحقیق بر پایه روش مذکور، در گام اول هدف اصلی و اهداف اختصاصی پشتیبانی‌کننده هدف اصلی، تعریف و تدوین شده است. سپس تلاش برای دستیابی به این اهداف صورت گرفته و نتایج حاصل طبقه‌بندی خواهد شد. در گام اول پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی، بهینه‌ترین سیستم سایه‌انداز داخلی با توجه به میزان کل انتقال انرژی خورشیدی<sup>۳</sup> آنها مشخص می‌گردد. در گام بعدی یک نمونه متداول آپارتمان مسکونی در شهر تهران شبیه‌سازی شده و میزان انرژی مصرفی مورد نیاز آن به دست خواهد آمد. سپس

## مشخصات اقلیمی شهر تهران

مصرف انرژی در ساختمان‌ها وابستگی شدیدی به اقلیم منطقه دارد (Zhang, 2004). شهر تهران از نظر جغرافیایی، در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در حد فاصل  $17^{\circ} 51'$  طول شرقی تا  $36^{\circ} 35'$  عرض شمالی، در منطقه نیمه گرم و خشک ایران - جز منطقه‌های شمالی که تحت تأثیر کوهستان، تا اندازه‌ای معتدل و مرطوب هستند - قرار دارد (شهرداری تهران، ۱۳۹۳). بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد تابش خورشید در تهران حتی در زمستان بسیار زیاد است به طوری که گرمایش غیرفعال خورشیدی ساختمان‌ها امکان‌پذیر است. همچنین رطوبت نسبی هوای این شهر<sup>۴</sup>، به‌ویژه در تابستان پایین است و این امر امکان سرمایه‌گذاری غیرفعال و نیمه فعال را قابل استفاده می‌نماید (رضایی حریری و فیاض، ۱۳۸۰). با درک و شناسایی مشخصات اقلیمی، می‌توان از روش‌هایی کارا در راستای کاهش مصرف انرژی استفاده کرد. بنابراین در شهر تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران و طبیعتاً جایی که بیشترین حوزه مصرف انرژی در بخش مسکونی را داراست، در نظر گرفتن سیاست‌های کنترلی ضروری است. افزایش جمعیت و رشد نرخ شهرنشینی به  $92/8$  در سال ۱۳۹۰ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳)، در سال‌های اخیر رشد چشمگیر واحدهای مسکونی را به همراه داشته است<sup>۵</sup> که در کنار حذف یارانه‌های انرژی و افزایش قیمت حامل‌های انرژی، بر اهمیت صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها افزوده است (نصراللهی، ۱۳۹۰).

## آفتاب‌گیرها

آفتاب‌گیرها، عناصری هستند که با بهره‌گیری از تفاوت فصلی زاویه تابش خورشید، بر روی سطوح شفاف ساختمان در فصول گرم، سایه ایجاد کرده و در عین حال اجازه نفوذ اشعه خورشیدی به فضای داخلی ساختمان را نیز در فصول سرد فراهم می‌کنند (Wienold et al., 2011). آفتاب‌گیرها دارای انواع خارجی، داخلی و میانی بوده و هر یک شامل حالات ثابت یا متحرک، دائمی یا فصلی، افقی یا عمودی، و دستی یا خودکار می‌باشند. نقش اصلی سیستم‌های سایه‌اندازی خورشیدی، بهبود آسایش حرارتی ساختمان از طریق کنترل و تنظیم میزان نور وارد شده به فضا است (Khezri, 2012)، مضاف بر این که هزینه‌های مترتب بر ساختمان را به دلیل تأثیرشان بر صرفه‌جویی مصرف انرژی، کاهش می‌دهند (Yao & Yan, 2011, 450).

با توجه به اینکه اقلیم یکی از پارامترهای کلیدی در میزان و جهت تابش خورشید و متعاقباً طراحی روش‌های حفاظتی با استفاده از آفتاب‌گیرها می‌باشد، رویکردهای متنوعی برای انتخاب استراتژی سایه‌اندازی - از میان انواع مختلف آفتاب‌گیرهای موجود - وجود دارد که به ساختمان، موقعیت سایت، جهت‌گیری، کاربری، شرایط آسمان<sup>۶</sup> و دیگر منابع نور ناخواسته محیطی وابسته است (LEARU, 2004). کارایی آفتاب‌گیرهای مختلف، از حاصل تقسیم میزان کل انتقال انرژی خورشیدی از یک پنجره استاندارد و دارای آفتاب‌گیر (سیستم) به میزان کل انتقال انرژی خورشیدی از یک پنجره استاندارد ولی بدون آفتاب‌گیر، محاسبه می‌شود (رابطه ۱) (Yao & Yan, 2011, 451).

میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیر (G-Value) =

پنجره (G-Value) / سیستم (G-Value)

رابطه ۱. نحوه محاسبه میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در آفتاب‌گیرهای مختلف

با توجه به این ضریب، از میان انواع آفتاب‌گیرها، نوع خارجی، اشعه تابشی خورشید را بین سطح شیشه‌ای و آفتاب‌گیر، حفظ کرده و لذا میزان انتقال انرژی خورشیدی در آنها کمتر و برای کاهش جذب گرما از طریق پنجره، نسبت به سایه‌اندازهای داخلی مؤثرترند (Wienold et al., 2011). نقطه ضعف آفتاب‌گیرهای داخلی، آن است که در برابر تابش مستقیم خورشید، تا زمانی که از سطح شیشه‌ای ساختمان عبور نکرده باشد، مانعی ایجاد نمی‌کنند (Yang & Lin, 1990, 129). بنابراین تابش خورشیدی در آنها جذب گردیده، تبدیل به حرارت می‌شود و در نهایت در فضا آزاد می‌گردد.<sup>۷</sup> در نتیجه آفتاب‌گیرهای داخلی از نظر حرارتی، کارایی محدودتری دارند. مهم‌ترین شاخصه آفتاب‌گیرهای داخلی آن است که می‌توانند در طراحی فضای داخلی به عنوان یکی از عناصر و مؤلفه‌های اصلی، کارکرد فیزیکی و روانی بنا را بهبود بخشند، بدون آنکه تغییری در نمای خارجی ساختمان ایجاد نمایند (Chen et al., 2012). آفتاب‌گیرهای داخلی، بر اتلاف حرارت، انتقال تابش خورشیدی و خیرگی تأثیر گذارند و به این ترتیب امروزه به‌عنوان یکی از اجزاء ساختمانی پرکاربرد و جذاب برای بهره‌وران فضاهای مختلف تبدیل شده‌اند. میزان کل انتقال انرژی خورشیدی اگرچه می‌تواند برای مقایسه میان آفتاب‌گیرها تا حدی مناسب باشد، اما هنگامی که بازده آن در یک ساختمان واقعی مدنظر است، اصلاً کافی به نظر نمی‌رسد. زیرا کارآمدی آفتاب‌گیرها به عواملی چون موقعیت مکانی باز شو در مقابل خورشید و نوع شیشه نیز بستگی دارد (Freewan, 2011). لذا به‌منظور رسیدگی به موضوع کارآمدی آفتاب‌گیرهای مختلف، باید شدت تابش، میزان انتقال و انعکاس پنجره و سایه‌اندازها در یک موقعیت واقعی در برابر خورشید آزمایش شود که این عمل توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی صورت می‌گیرد.

## روش‌شناسی شبیه‌سازی

نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ساختمان، ابزاری دقیق و مؤثر برای مدل‌سازی و ارزیابی موارد مختلف مورد نظر طراحان از جمله میزان مصرف انرژی ساختمان و بهره‌وری انرژی به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی و ساختمان و اجزای آن، همچنین ارزیابی صرفه اقتصادی، بازگشت سرمایه و سایر موارد می‌باشند (غیائی و همکاران، ۱۳۹۲) از آنجاکه هریک از ابزارهای نرم‌افزاری انرژی ساختمان، تحلیل‌های دقیقی از بخش‌های تخصصی ارائه می‌کنند، لذا برای موارد مختلف باید از ابزار مناسب آن موضوع بهره گرفت (Wall & Bülow-Hübe, 2001, 9). در راستای نیل به هدف پژوهش، یک روش دو مرحله‌ای مد نظر قرار گرفته است. در مرحله اول جهت تعیین سایه‌انداز بهینه، شبیه‌سازی دقیق آفتاب‌گیرهای داخلی مختلف در ترکیب با پنجره‌های رایج و پرکاربرد در بازار مصرف صورت می‌گیرد. این روش یک مدول فضایی را که دارای یک دیوار با پنجره‌هایی به سمت محیط خارجی است و سه

انرژی از طریق پنجره‌ها از محیط گرم داخل به فضای سرد خارج تابش می‌گردد، پنجره‌ها باید از حیث اتلاف حرارتی تابشی، کنترل گردند (Givoni, 1998).

در راستای تحقق هدف اولیه پژوهش، سه نوع پنجره دوجداره<sup>۱۱</sup> و چهار نوع آفتاب‌گیر<sup>۱۲</sup> (از نوع پرده غلتکی) مورد مطالعه قرار گرفت که در جداول ۱ و ۲ مشخص شده‌اند. پنجره‌ها شامل: پنجره دو جداره معمولی شفاف، پنجره دو جداره انعکاسی با پوشش متالیک در جداره بیرونی و پنجره دو جداره انعکاسی با پوشش متالیک در جداره بیرونی به رنگ آبی تیره می‌باشند. هر سه نوع پنجره دارای ضخامت ۸ میلی‌متر در جداره بیرونی و ۶ میلی‌متر در جداره درونی هستند<sup>۱۳</sup> و حجم میانی جداره‌ها با ۱۵ میلی‌متر گاز آرگون پر شده است.

آفتاب‌گیرهای داخلی شامل پرده غلتکی معمولی با بافتی کم تراکم (به رنگ سفید و سیاه)، پرده غلتکی انعکاسی با بافتی متراکم (به رنگ سفید) و پرده غلتکی انعکاسی با تراکم متوسط (به رنگ خاکستری) می‌باشند. (شکل ۱) میزان تخلخل پارچه پرده متراکم، صفر و انتقال تابشی مستقیم آن ۴٪ می‌باشد. سه پرده دیگر ضریب انتقال مستقیم بیشتر و ضریب انعکاس کمتری را دارا می‌باشند. به منظور بررسی در شرایط یکسان، ابعاد پنجره‌ها ۱\*۱ مترمربع برای هر سه نوع و ابعاد اتاق شبیه‌سازی شده ۳\*۴ مترمربع در نظر گرفته شده است. همین‌طور قاب کلیه پنجره‌ها آلومینیومی<sup>۱۴</sup>، ضریب کل هدایت حرارتی آن معادل ۳/۶۳ W/m<sup>2</sup>K (Nasrollahi et al., 2013) و آفتاب‌گیر با فاصله ۱۴۰ میلی‌متر از بدنه پنجره قرار گرفته است و تهویه‌ای نیز برای فضا

دیوار دیگر آن صلب و عایق گرما می‌باشد، از نظر انتقال مستقیم<sup>۱۵</sup> تابش خورشیدی<sup>۱۶</sup> و انتقال کل، برای پنجره و آفتاب‌گیر داخلی شبیه‌سازی می‌نماید. ابزار مورد استفاده برای این هدف، نرم‌افزار Parasol v.6.6 می‌باشد. در مرحله دوم، محاسبه کارآمدی انرژی یک مدل ساختمانی نمونه - که از سیستم سایه‌اندازی بهینه حاصل از مرحله اول بهره‌مند است - از طریق شبیه‌سازی، صورت می‌گیرد که به منظور افزایش دقت و صحت شبیه‌سازی‌ها و ارائه تأثیر دینامیک آفتاب‌گیر بر فضای داخلی و تقاضای انرژی به نحو مطلوب، از نرم‌افزار Building Calc. و ابزار محاسباتی الحاقی به آن یعنی Light Calc. استفاده شده است. با استفاده از این ابزار شبیه‌سازی، مشخصات سیستم سایه‌اندازی داخلی بهینه که در مرحله اول یافت شد به صورت داده به این نرم‌افزار وارد می‌شود.

### تعیین سیستم سایه‌اندازی داخلی بهینه با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی

#### تعیین داده‌ها و برپایی مدل‌سازی

پنجره‌ها همواره گرمای بیشتری را نسبت به اجزای مات و غیر شفاف پوسته ساختمان از دست می‌دهند لذا برای کاهش اتلاف حرارتی پنجره‌ها از طریق هدایت، مقاومت حرارتی شیشه و قاب پنجره بایستی افزایش یابد. یکی از راه کارهای اولیه در این زمینه استفاده از شیشه‌های چند جداره (۳،۲ یا ۴ جداره) می‌باشد. همین‌طور در فصل زمستان که

جدول ۱. مشخصات فنی پنجره‌ها برگرفته از داده‌های کارخانه‌ای

نوع پنجره	پارامتر	پنجره دوجداره معمولی شفاف	پنجره دوجداره انعکاسی با پوشش متالیک	پنجره دوجداره انعکاسی با پوشش متالیک آبی تیره
جداره خارجی		۸ میلی‌متر شفاف	۸ میلی‌متر مات	۸ میلی‌متر آبی تیره
فضای خالی بین جداره‌ها		۱۵ میلی‌متر گاز آرگون	۱۵ میلی‌متر گاز آرگون	۱۵ میلی‌متر گاز آرگون
جداره داخلی		۶ میلی‌متر شفاف	۶ میلی‌متر شفاف	۶ میلی‌متر شفاف
ST (%)		۵۹	۳۲	۹
(ضریب انتقال مستقیم تابش)				
VT (%)		۷۷	۶۲	۱۵
(ضریب وضوح دید)				
VR (%)		۱۶	۱۸	۷
(ضریب انعکاس)				
G-Value (%)		۷۰	۳۴	۱۲
(میزان کل انتقال انرژی خورشیدی)				
U-Value <sup>15</sup> (W/m <sup>2</sup> K)		۳/۵	۱/۴	۱/۳
(ضریب کل هدایت حرارتی)				

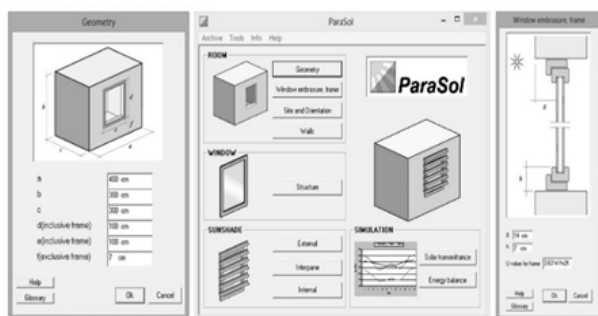


شکل ۱. به ترتیب از راست به چپ: پرده غلتکی انعکاسی با تراکم بالا، پرده غلتکی انعکاسی با تراکم متوسط، پرده غلتکی معمولی با تراکم پایین  
(Source: ludvigsvensson, 2015)

جدول ۲. مشخصات فنی آفتاب‌گیرها برگرفته از داده‌های کارخانه‌ای

پرده غلتکی معمولی با تراکم کم (رنگ سیاه)	پرده غلتکی معمولی با تراکم کم (رنگ سفید)	پرده غلتکی انعکاسی با تراکم متوسط (رنگ خاکستری)	پرده غلتکی انعکاسی با تراکم بالا (رنگ سفید)	پارامتر	نوع آفتاب‌گیر
۳۰	۳۶	۱۴	۴	(٪) ST	(ضریب انتقال مستقیم تابش)
۴۱	۴۶	۶۰	۷۱	(٪) SR	(ضریب انعکاس تابش)
۲۳	۱۶	۲۴	۲۰	(٪) SA	(ضریب جذب تابش)
۲۵	۳۷	۱۱	۵	(٪) VT	(ضریب وضوح دید)
۸۱	۷۹	۸۴	۱۰۰	(٪) OF	(ضریب تراکم)

در نظر گرفته نشده است. از طریق این داده‌ها، شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار Parasol به منظور تحلیل انواع سیستم‌های سایه‌اندازی و تعیین سیستم بهینه، انجام گرفته است. با توجه به ملزومات اولیه نرم‌افزار شامل عوامل اقلیمی، پرتو افکنی و زاویه برخورد، ضریب کل هدایت حرارتی (بر طبق استاندارد جهانی ISO15099) و میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره برگرفته از داده‌های کارخانه‌ای به صورت میانگین ماهانه به نرم‌افزار داده می‌شود. ماه ژوئن<sup>۱۷</sup> و قرارگیری پنجره‌ها بدون زاویه نسبت به نمای ساختمان (که مطابق با داده‌های کارخانه‌ای می‌باشد) برای شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده و در طی عمل شبیه‌سازی میزان انتقال خورشیدی پنجره یکبار بدون آفتاب‌گیر و یکبار به همراه آن شبیه‌سازی می‌گردد.



شکل ۲. محیط نرم‌افزار Parasol و نحوه وارد کردن داده‌ها و شبیه‌سازی

### مقایسه داده‌ها با مدل‌های شبیه‌سازی

در این بخش اطلاعات مربوط به داده‌های کارخانه‌ای (جدول ۱ و ۲) و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Parasol با هم مقایسه می‌گردند (شکل ۲). نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار Parasol در جدول ۳ و نمودارهای آتی نشان داده شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که برای هر سه نوع پنجره تنها میزان کل انتقال انرژی خورشیدی‌های شبیه‌سازی‌شده تا حدی پایین‌تر از اندازه‌های داده‌شده کارخانه‌ای

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، برای میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها و آفتاب‌گیرها در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. به‌طورکلی با توجه به خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی‌ها می‌توان گفت که میزان کل انتقال انرژی خورشیدی و کارآمدی آفتاب‌گیرهای داخلی بستگی زیادی به میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ای دارد که آفتاب‌گیر در جوار آن

جدول ۳. میزان کل انتقال انرژی سیستم، پنجره و آفتاب‌گیر حاصل از محاسبات Parasol

ضریب کل هدایت حرارتی پنجره (W/m <sup>2</sup> K)	ضریب انتقال مستقیم تابشی پنجره (%)	میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیر (%)	میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره (%)	میزان کل انتقال انرژی خورشیدی سیستم (%)	نوع آفتاب‌گیر	پارامتر	نوع پنجره
۳/۲	۶۰	۳۵/۷	۶۷/۴	۲۵/۳	پرده انعکاسی متراکم (رنگ سفید)		پنجره دوجداره معمولی شفاف
۳/۲	۶۰	۶۲/۶	۶۷/۴	۴۱/۷	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سفید)		
۳/۲	۶۰	۶۳/۸	۶۷/۴	۴۲/۵	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سیاه)		
۳/۲	۶۰	۴۶/۸	۶۷/۴	۳۳/۶	پرده انعکاسی با تراکم متوسط (رنگ خاکستری)		
۱/۲	۲۴/۷	۴۸/۷	۳۲/۴	۱۴/۸	پرده انعکاسی متراکم (رنگ سفید)		پنجره دوجداره انعکاسی با پوشش متالیک
۱/۲	۲۴/۷	۷۲/۳	۳۲/۴	۲۱/۶	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سفید)		
۱/۲	۲۴/۷	۷۳/۵	۳۲/۴	۲۲/۴	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سیاه)		
۱/۲	۲۴/۷	۵۸/۶	۳۲/۴	۱۹/۷	پرده انعکاسی با تراکم متوسط (رنگ خاکستری)		
۱/۲	۵/۸	۶۰/۷	۱۱/۲	۶/۶	پرده انعکاسی متراکم (رنگ سفید)		پنجره دوجداره انعکاسی با پوشش متالیک آبی تیره
۱/۲	۵/۸	۷۸/۳	۱۱/۲	۸/۵	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سفید)		
۱/۲	۵/۸	۷۹/۶	۱۱/۲	۸/۶	پرده معمولی با بافت کم تراکم (رنگ سیاه)		
۱/۲	۵/۸	۶۸/۴	۱۱/۲	۷/۶	پرده انعکاسی با تراکم متوسط (رنگ خاکستری)		

قرار می‌گیرد و در صورت بالا بودن میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در پنجره، این میزان در آفتاب‌گیر کاهش می‌یابد و بالعکس. شکل ۳ پرده انعکاسی با بافت متراکم را در ترکیب با سه نوع پنجره نشان می‌دهد. پرده انعکاسی متراکم دارای تخلخل صفر است که این منجر به وابستگی شدید پنجره به میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیر می‌گردد، همچنین میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پرده

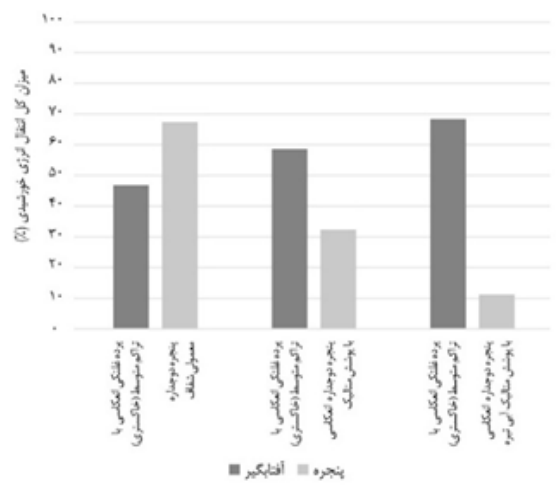
انعکاسی متراکم در جوار پنجره‌های معمولی شفاف و انعکاسی آبی تیره به اندازه ۷۰٪ تفاوت دارد که در شکل ۳ دیده می‌شود. در پرده معمولی سیاه با بافت کم تراکم نیز که در شکل ۶ قابل مشاهده است، تفاوت میان میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره و آفتاب‌گیر، به میزان جذب آفتاب‌گیر داخلی و تفاوت در میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها، وابسته است. در مجموع مشاهده می‌شود که در هر چهار نوع



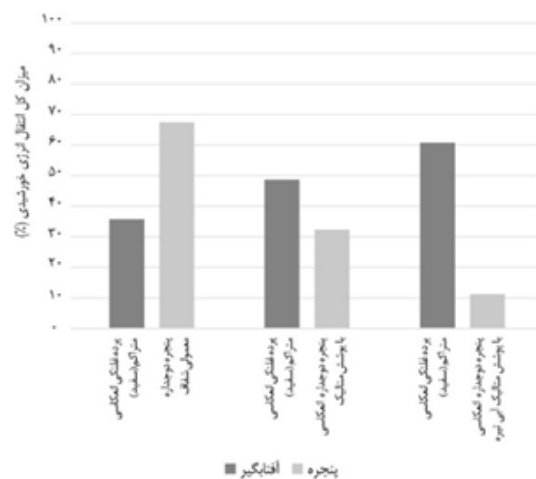
۱/۱ می‌کند. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد که بهتر است به جای استفاده از میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیرهای داخلی به تنهایی، از میزان کل انتقال انرژی خورشیدی سیستم که مشخصات پنجره و آفتاب‌گیر را به‌طور هم‌زمان ارائه می‌کند، استفاده شود. میزان کل انتقال انرژی خورشیدی سیستم با افزایش ضریب جذب پنجره کاهش می‌یابد. میزان کل انتقال انرژی خورشیدی پنجره دوجداره انعکاسی به رنگ آبی تیره به همراه انواع آفتاب‌گیرهای داخلی تقریباً برای هر چهار سیستم یکسان می‌باشد. میزان کل انتقال انرژی خورشیدی سیستم به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها در شکل ۷ نشان داده شده‌است.

آفتاب‌گیر، میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در جوار پنجره معمولی شفاف حداقل و در جوار پنجره انعکاسی آبی تیره به حداکثر میزان خود می‌رسد.

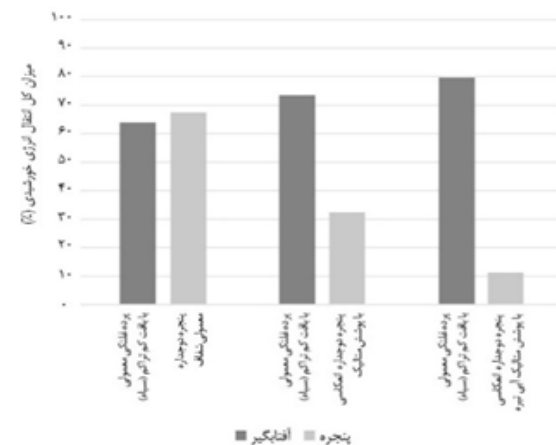
نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تفاوت در میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در پنجره، اختلاف در میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیرها را موجب می‌گردد. بیشترین تفاوت در پرده انعکاسی متراکم مشاهده شد که این مربوط به تراکم بالا و انعکاس زیاد این آفتاب‌گیر است و در نتیجه وابستگی میزان کل انتقال انرژی خورشیدی‌اش را به جذب پنجره، نسبتاً زیاد می‌کند. در مقابل پرده معمولی سیاه با بافت کم تراکم، کمترین انعکاس و بیشترین جذب را داراست که وابستگی میزان کل انتقال انرژی خورشیدی‌اش را به پنجره نسبتاً کم و آن را حدود



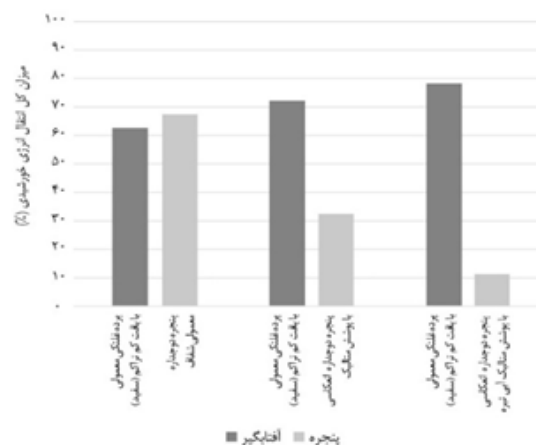
شکل ۴. میزان انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها و پرده انعکاسی با تراکم متوسط در ترکیب با سه نوع پنجره (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)



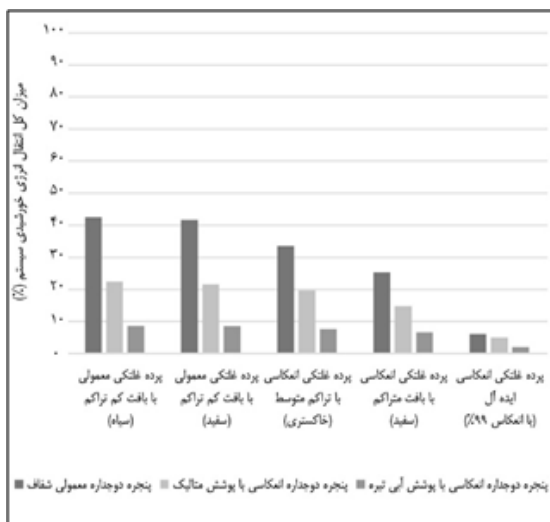
شکل ۳. میزان انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها و پرده انعکاسی متراکم در ترکیب با سه نوع پنجره (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)



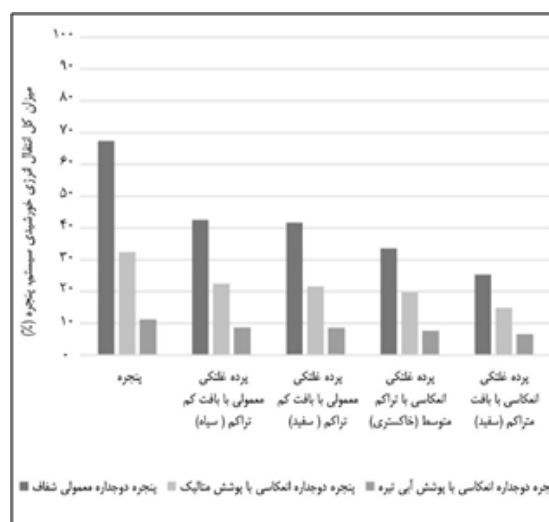
شکل ۶. میزان انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها و پرده معمولی کم تراکم سیاه در ترکیب با سه نوع پنجره (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)



شکل ۵. میزان انتقال انرژی خورشیدی پنجره‌ها و پرده معمولی کم‌تراکم سفید در ترکیب با سه نوع پنجره (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)



شکل ۸. مقایسه میزان انتقال انرژی خورشیدی میان یک سیستم سایه‌انداز با پرده انعکاسی ایده‌آل (با انعکاس ۹۹٪) و سایر سیستم‌های سایه‌اندازی (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)



شکل ۷. مقایسه میزان انتقال انرژی خورشیدی هر سه نوع پنجره یکبار در حالت عادی و بار دیگر در ترکیب با چهار نوع آفتاب‌گیر (بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی)

خورشیدی همیشه به دلیل موقعیت‌های متفاوت و تفاوت در روش اندازه‌گیری، دارای اختلافاتی خواهد بود. اما در این پژوهش در میان داده‌ها و شبیه‌سازی‌ها هماهنگی و سازگاری مقبولی مشاهده گردید و تنها در مورد پنجره‌های با میزان کل انتقال انرژی خورشیدی کم، تفاوت‌های زیادی مشاهده شد.

از آنجا که یک سیستم سایه‌اندازی داخلی بهینه، سیستمی است که علاوه بر حداکثر سایه‌اندازی در دوره زمانی گرم سال، باید حداکثر تابش خورشیدی را برای فصول سرد امکان‌پذیر سازد (Bader, 2011)، لذا به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان این‌گونه بیان کرد که آفتاب‌گیرهای داخلی زمانی برای استفاده در طول سال مؤثر و کارا خواهند بود که تا حد زیادی منعکس کننده باشند و در ترکیب با یک پنجره غیر جاذب به کار روند. قابلیت بالایی برای ارتقاء میزان کل انتقال انرژی خورشیدی با استفاده از مصالحی با انعکاس زیاد وجود دارد و آفتاب‌گیرهای داخلی نباید با پنجره‌های جاذب با ضریب انتقال انرژی خورشیدی خیلی پایین، ترکیب شوند. بنابراین پنجره دوجداره معمولی شفاف در ترکیب با پرده انعکاسی متراکم سفید را می‌توان کارآمدترین سیستم سایه‌انداز داخلی برای استفاده در تمام فصول دانست. مشخصات سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی در جدول ۴ و مقایسه آن با مشخصات پنجره و آفتاب‌گیر در شکل ۹ نشان داده شده است.

با انتخاب این سیستم سایه‌اندازی داخلی، در دوره‌های زمانی گرم، انعکاس زیاد آفتاب‌گیر مانع از تابش خورشیدی به درون ساختمان شده و در عین حال در دوره‌های زمانی سرد با جمع کردن پرده در طول روز، از حداکثر تابش خورشیدی به واسطه غیر جاذب بودن و شفافیت پنجره استفاده شده و در شب هنگام نیز باز کردن پرده (به علت تراکم بالا و انعکاس زیاد آن) مانع از اتلاف انرژی می‌گردد.

بدین ترتیب مشخص است که تعریف آفتاب‌گیرهای داخلی در ترکیب با پنجره و به عنوان یک سیستم، معیاری قابل استناد برای ارزیابی میزان کل انتقال انرژی خورشیدی به دست می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، انعکاس بیشتر آفتاب‌گیر داخلی بر میزان کل انتقال انرژی خورشیدی سیستم تأثیر گذاشته و تأثیر ضریب انتقال انرژی خورشیدی پنجره را بسیار کاهش می‌دهد. به‌منظور نمایش این تأثیر، در این پژوهش یک آفتاب‌گیر ایده‌آل (با انعکاس ۹۹٪ و جذب ۱٪) شبیه‌سازی گردیده است. شکل ۸ تصدیق می‌کند که با افزایش انعکاس آفتاب‌گیر، از تأثیر پنجره کاسته می‌گردد. در یک سیستم ترکیبی مشتمل بر پنجره دوجداره معمولی شفاف و پرده غلظتی با حداکثر انعکاس، کارآمدی یکسانی با پنجره دوجداره انعکاسی شفاف مشاهده می‌گردد. اما با پنجره دوجداره انعکاسی به رنگ آبی تیره، بازده قدری کمتر است. در شکل ۸ میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیر با حداکثر انعکاس در مقایسه با پرده انعکاسی با بافت متراکم، نشان داده شده است و نتیجه این است که استفاده از آفتاب‌گیری با حداکثر انعکاس (در ترکیب با پنجره دوجداره معمولی شفاف)، میزان کل انتقال انرژی خورشیدی را ۱۲٪ کاهش می‌دهد.

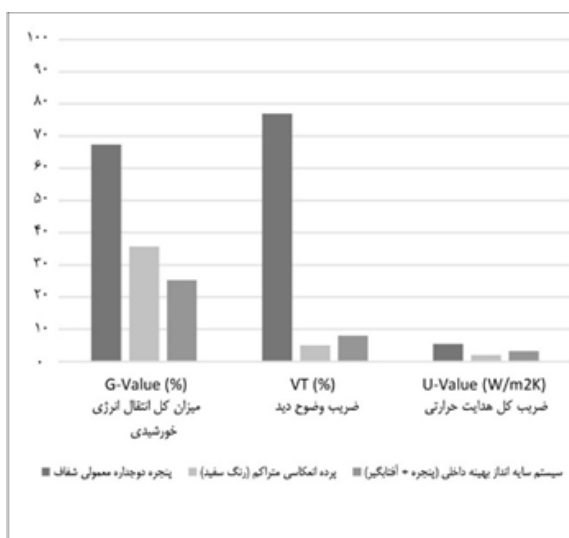
در انتها و پس از مقایسه‌های صورت گرفته بین داده‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای چهار نوع آفتاب‌گیر داخلی و سه نوع پنجره ساختمانی، مشخص گردید که کارآمدی یک آفتاب‌گیر داخلی تا حد زیادی به مشخصات پنجره‌ای که بر روی آن به کار رفته است، بستگی دارد. لذا پیشنهاد می‌شود که میزان کل انتقال انرژی خورشیدی آفتاب‌گیرهای داخلی همواره در ترکیب با پنجره تعریف شود، زیرا در غیر این صورت عدد میزان کل انتقال انرژی خورشیدی در برآوردهای واقعی، دچار خطا خواهد بود و طراحان را به گمراهی می‌کشاند. البته لازم به ذکر است که اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به میزان کل انتقال انرژی



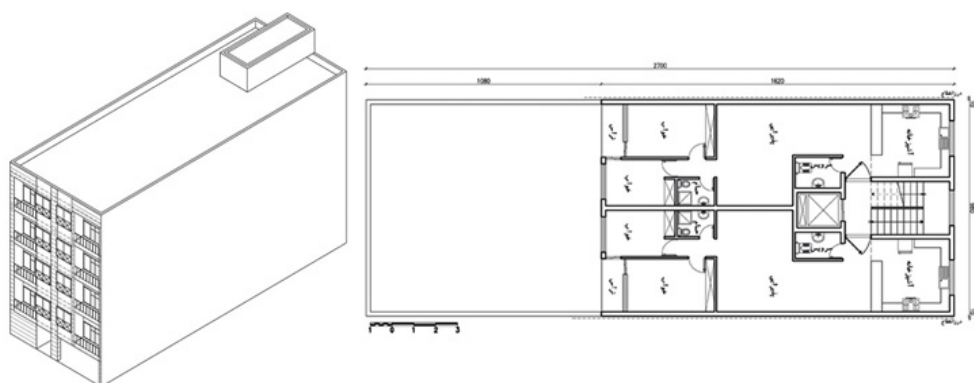
جدول ۴. مشخصات سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی حاصل از محاسبات Parasol

VT (ضریب وضوح دید) (%)	U-Value (W/m <sup>2</sup> K) (ضریب کل هدایت حرارتی)	G-Value (میزان کل انتقال انرژی خورشیدی) (%)	سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی
۵/۸	۲/۶	۲۵/۳	پنجره دوجداره معمولی شفاف + پرده انعکاسی متراکم (رنگ سفید)

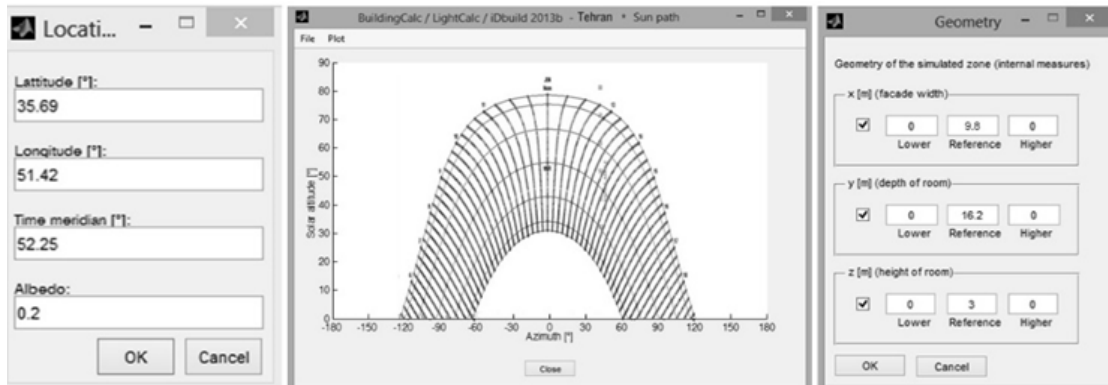
شبهه‌سازی و تحلیل تأثیر سیستم سایه‌اندازی داخلی بهینه بر مصرف انرژی مدل ساختمانی مینا نحوه‌گزینش مدل ساختمانی مینا به منظور شبهه‌سازی و تحلیل تأثیر سیستم سایه‌انداز داخلی بهینه بر میزان مصرف انرژی یک ساختمان واقعی که در بخش اول پژوهش به آن پرداخته شد، و با توجه به گستردگی شهر تهران، ساختمان نمونه از میان ساختمان‌های مسکونی متعارف در این شهر انتخاب گردید. ساختمان نمونه یک آپارتمان ۶ طبقه جنوبی است. مساحت زمین ۲۷۰ مترمربع و مساحت هر طبقه ۱۶۲ مترمربع می‌باشد.<sup>۱۸</sup> همچنین بنا در



شکل ۹. نمودار مقایسه مشخصات سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی با مشخصات پنجره و آفتاب‌گیر بر اساس محاسبات Parasol



شکل ۱۰. پلان تیپ طبقات و پرسپکتیو ساختمان مسکونی مینا



شکل ۱۱. محیط نرم‌افزار Building Calc./Light Calc. و نحوه وارد کردن داده‌ها و شبیه‌سازی

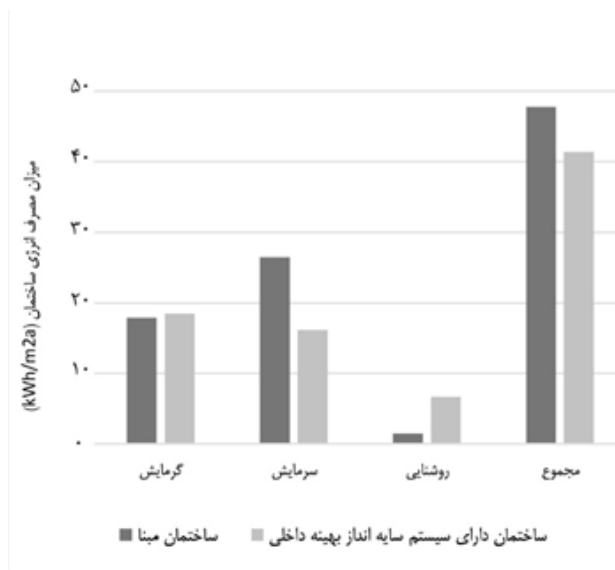
جدول ۵. میزان مصرف انرژی در ساختمان مینا و ساختمان دارای سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی حاصل از محاسبات Building Calc./Light Calc.

مشخصات پنجره	مشخصات سیستم	میزان مصرف انرژی ساختمان	نوع ساختمان
G-Value (میزان کل انتقال انرژی خورشیدی) (%) U-Value (ضریب کل هدایت حرارتی) (W/m <sup>2</sup> K) VT	G-Value (میزان کل انتقال انرژی خورشیدی) (%) U-Value (ضریب کل هدایت حرارتی) (W/m <sup>2</sup> K) VT	گرمايش (kWh/m <sup>2</sup> a) سرمایش (kWh/m <sup>2</sup> a) روشنایی (kWh/m <sup>2</sup> a) کل (kWh/m <sup>2</sup> a)	ساختمان مینا
۶۷/۴	۶۷/۴	۱۷/۹	ساختمان دارای سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی
۳/۲	۳/۲	۱۷/۹	
۷۷	۷۷	۱۷/۹	
۲۶/۴۴	۲۶/۴۴	۱۷/۹	
۱/۵	۱/۵	۱۷/۹	
۴۷/۷۵	۴۷/۷۵	۱۷/۹	

نظر گرفته شد: ابعاد ساختمان شامل ۳/۰ \* ۹/۸ \* ۱۶/۲ متر، مساحت پنجره‌های جنوبی ۲۲/۱ مترمربع و پنجره‌های شمالی ۱۵/۸ مترمربع، ضریب کل هدایت حرارتی دیوار ۰/۲۵ W/m<sup>2</sup>K، ضریب کل هدایت حرارتی کف و سقف ۰/۱۵ W/m<sup>2</sup>K (Nasrollahi et al., 2013) و میزان نور مصنوعی مورد نیاز فضا نیز بر اساس استاندارد ۲۰۰ لوکس ثابت نگه داشته شد.<sup>۲۱</sup>

در شبیه‌سازی ساختمان نمونه فرض بر آن است که از ساختمان‌های مجاور و روبرو بر هیچ یک از طبقات ساختمان موجود سایه‌اندازی وجود ندارد. با توجه به اینکه محدوده آسایش حرارتی شهر تهران

همه وجوه دارای عایق حرارتی و پنجره‌های دوجداره است.<sup>۱۹</sup> پس از تعیین مدل ساختمانی مینا، و به منظور مطالعه تأثیر سیستم سایه‌انداز داخلی بهینه بر مصرف انرژی، میزان تقاضای انرژی گرمایشی، سرمایشی و کل ساختمان با استفاده از نرم‌افزار Building Calc./Light Calc. شبیه‌سازی و محاسبه گردید (شکل ۱۰). سپس ساختمان بار دیگر تحت همان شرایط و تنها با جایگزینی سیستم سایه‌انداز داخلی بهینه با پنجره‌های موجود، شبیه‌سازی گردیده و در نهایت تقاضای انرژی گرمایشی، سرمایش و کل در هر دو حالت با هم مقایسه شد. داده‌های اولیه نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی به این ترتیب در



شکل ۱۲. نمودار مقایسه میزان مصرف انرژی در ساختمان مینا و ساختمان دارای سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی حاصل از محاسبات Building Calc/Light Calc.

استفاده از یک سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی، نرخ کل مصرف انرژی در ساختمان را در حدود ۱۴٪ کاهش داد. (شکل ۱۱)

### نتیجه‌گیری

امروزه طراحی ساختمان‌هایی بهینه در حوزه مصرف انرژی، نیازمند وجود مبانی نظری و مطالعات دقیق بر پایه دانش جدید در رابطه با امکان‌سنجی، طراحی اجزا ساختمانی و تجهیزات مرتبط با آن است. استفاده از عناصر ساختمانی همچون آفتاب‌گیرها در راستای کاهش مصرف انرژی را می‌توان یکی از بهترین روش‌ها با میزان بالای اثربخشی دانست که از جنبه‌های متعدد با شرایط اقتصادی و اجتماعی ایران سازگارتر است. هدف از این تحقیق، ارزیابی رفتار حرارتی و میزان کارآمدی آفتاب‌گیرهای داخلی، که در حال حاضر به‌طور گسترده در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران مورد استفاده قرار می‌گیرند، است. در دوران معاصر، معماران به‌طور فزاینده‌ای از ابزار و نرم‌افزارهای دیجیتال در روند طراحی‌شان بهره می‌برند. در این راستا، ترکیب دو نرم‌افزار Parasol و Building Calc./Light Calc.، ابزاری قابل اطمینان برای محاسبات و شبیه‌سازی‌های مربوط به تعیین سیستم سایه‌انداز داخلی بهینه و نیز تحلیل تأثیر آن بر مصرف انرژی یک مدل ساختمانی نمونه در شهر تهران به دست داد و از این طریق امکان محاسبه میزان تقاضای انرژی سرمایش، گرمایش و کل و همچنین آسایش داخلی فراهم آمد که می‌تواند در فاز اولیه طراحی مورد استفاده باشد و طراحان را به سمت ساختمان‌های انرژی کارآمد هدایت کند. در مجموع یافته‌های تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد: میزان کارایی آفتاب‌گیرهای داخلی در صورت داشتن بافتی متراکم و

در بازه  $20/40^{\circ}\text{C}$  تا  $26/18^{\circ}\text{C}$  می‌باشد (Nasrollahi et al., 2013)، پیش‌فرض دیگر شبیه‌سازی این است که تجهیزات مکانیکی گرمایشی و سرمایشی ساختمان با عبور دمای محیط از این حدود، به‌طور خودکار فعال خواهند شد. همچنین ظرفیت حرارتی و انرژی گرمایشی ناشی از تجهیزات هم در محاسبات در نظر گرفته شده است.

چنان‌که گفته شد خروجی به‌دست آمده در مورد تعیین سیستم سایه‌انداز داخلی بهینه در مرحله شبیه‌سازی اول، به عنوان ورودی مرحله دوم که شبیه‌سازی انرژی ساختمان می‌باشد، لحاظ گردیده است. در جدول ۵ میزان مصرف انرژی در ساختمان مینا و ساختمان دارای سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی، محاسبه گردیده است. در جدول سه ستون متمایز سازماندهی شده است: ستون اول و دوم شامل مشخصات پنجره و مشخصات سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی است که اعداد آن از شبیه‌سازی نرم‌افزار Parasol در بخش قبل حاصل شده‌اند. ستون سوم شامل میزان مصرف انرژی گرمایش، سرمایش، روشنایی و کل ساختمان می‌باشد که اعداد آن از شبیه‌سازی نرم‌افزار Building Calc./Light Calc. به‌دست آمده است.<sup>۳۳</sup>

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی تأثیر چندانی بر میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان ندارد و افزایشی در حدود ۱/۰۳ برابر در این بخش دیده می‌شود. اما تأثیر آن بر میزان مصرف انرژی سرمایشی، قابل توجه است به نحوی که در حدود ۳۹٪ مصرف انرژی را در این بخش کاهش می‌دهد. همین‌طور میزان مصرف انرژی در بخش روشنایی (که در حالت استاندارد برای فضا تعریف شده و علی‌رغم ناچیز بودن مقدار آن) افزایشی در حدود ۴/۵ برابر را نشان می‌دهد. در مجموع مشاهده می‌شود که می‌توان با

فشرده، افزایش می‌یابد.

کارآمدی آفتاب‌گیرهای داخلی در صورت داشتن رنگ روشن و همین‌طور قابلیت انعکاس زیاد و ضریب انتقال کم، بیشتر است.

بازده یک آفتاب‌گیر داخلی وابستگی زیادی به مشخصات پنجره‌ای دارد که در ترکیب با آن به کار رفته است. لذا کارآمدی و میزان انتقال انرژی در سیستم سایه‌اندازی (آفتاب‌گیر + پنجره) معیار دقیق‌تری برای سنجش و تحلیل رفتار حرارتی است.

شبیه‌سازی‌ها نشان داد که به کارگیری پنجره دوجداره معمولی شفاف و پرده انعکاسی متراکم سفید (به عنوان سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی)، مناسب‌ترین رفتار حرارتی را از خود نشان می‌دهد.

نتیجه محاسبات و شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با استفاده از یک سیستم سایه‌انداز بهینه داخلی، می‌توان نرخ کل مصرف انرژی در ساختمان (شامل گرمایش، سرمایش و روشنایی) را در حدود ۱۴٪ کاهش داد و در دراز مدت به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی صرفه‌جویی نمود.

## ۱- پی‌نوشت‌ها

۱. شاخصی ترکیبی است برای سنجیدن موفقیت در هر کشور (علی‌حیاتی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲. مجموعه پنجره و آفتاب‌گیر آن، سیستم نامیده می‌شود.

۳. (G-Value): میزان کل انتقال انرژی خورشیدی

۴. میانگین رطوبت نسبی شهر تهران ۴۰ درصد است (اطلس کلان‌شهر تهران، ۱۳۹۳).

۵. در سال ۱۳۹۲ پروانه‌های احداث ساختمان مسکونی صادر شده از سوی شهرداری‌های شهر تهران بالغ بر ۱۷۷۶۸۰ واحد بوده است. این تعداد واحد مسکونی، ۲۳/۱ درصد از کل واحدهای مسکونی در پروانه‌های احداث ساختمان صادر شده از سوی شهرداری‌های کشور می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳).

۶. مقصود، تابش خورشیدی مستقیم، پراکنده و انعکاسی می‌باشد.

۷. با این وجود گرمای جذب شده در آفتاب‌گیرهای داخلی عمدتاً از طریق جریان همرفت دفع شده و تمام آن به فضای داخلی منتقل نمی‌گردد.

8. T-value

9. Solar Transmittance

۱۰. این نرم افزار شبیه‌سازی، توسط بخش انرژی و ساختمان دانشگاه لاند در کشور سوئیس طراحی شده است.

۱۱. ملاک گزینش پنجره‌ها دارا بودن نشان سازمان ملی استاندارد ایران و همین‌طور استانداردهای تعیین ویژگی‌های نوری پنجره (EN ۴۱۰). آزمایش جذب، انعکاس و انتقال خورشیدی شیشه (ASTM-E) ۹۰۳ و استاندارد شیشه وقاب پنجره کمیته اروپایی استاندارد (CEN) و نیز پرمصرف بودن آنها در حوزه ساختمان و مسکن شهر تهران بوده است (مطالعات طرح جامع مسکن تهران، ۱۳۸۶).

۱۲. پس از تحقیق در بازار مصرف، پرکاربردترین آفتاب‌گیرهای داخلی که دارای گواهینامه‌های بین‌المللی استاندارد سیستم مدیریت کیفیت

(ISO 9001)، استاندارد سیستم مدیریت زیست‌محیطی (ISO 14001) و استاندارد محصولات پارچه‌ای (Oeko-Tex 100) بوده و به‌واسطه آنها موفق به اخذ گواهینامه کالاهای وارداتی از سازمان ملی استاندارد ایران شده‌اند، انتخاب گردید (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۳).

۱۳. ضخامت شیشه در پنجره‌های دو جداره بین ۳ تا ۱۲ میلی‌متر می‌باشد و ضخامت‌های بیشتر برای کاربردهای خاص ساخته می‌شوند. یک ضخامت نسبی مناسب برای شیشه در بازشوهای دوجداره ساختمانیهای مسکونی برای جداره‌های خارجی و داخلی به ترتیب ۸ و ۶ میلی‌متر و همچنین ۶ و ۴ میلی‌متر، می‌باشد (وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۸؛ سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۳).

۱۴. قاب پنجره‌های دوجداره به طور متعارف از آلومینیوم و PVC ساخته می‌شود. در حال حاضر استفاده از فریم‌های آلومینیومی به علت شکل پذیری بالا و سبکی متداول شده است. لازم به ذکر است که علاوه بر تنوع و زیبایی، تنها پوشش و رنگ‌آمیزی در قاب‌های آلومینیومی قابل استحصال است. پنجره‌های آلومینیوم با برخورداری از تنوع زیاد در فرم، رنگ و گستردگی استفاده از یراق‌آلات و تنوع بازشو، بخش بزرگی از نیازهای صنعت ساختمان را برآورده ساخته است (وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۸؛ سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۳).

۱۵. (U-Value): هرچه میزان این ضریب کمتر باشد، پنجره مقاومت بیشتری را در برابر انتقال گرما دارا می‌باشد.

۱۶. ISO 15099: مربوط به خصوصیات گرمایشی پنجره‌ها و درها است.

۱۷. انتخاب فصل تابستان به دلیل بازدهی بالای آفتاب‌گیرهای داخلی در کاهش بار سرمایش ساختمان می‌باشد.

۱۸. میانگین مساحت زمین در شهر تهران ۲۷۸ مترمربع و متوسط مساحت زیربنای هر واحد مسکونی ۷۳/۵ مترمربع می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳).

۱۹. مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، عایق‌کاری دیوارهای خارجی و نصب پنجره‌های دوجداره در ساختمان الزامی است.

۲۰. این نرم‌افزار علاوه بر دریافت داده‌های اولیه جهت شبیه‌سازی، امکان تعیین جزئیات طرح شامل تعیین زمان آنالیز در دوره‌های زمانی مختلف (در اینجا ماه ژوئن)، مشخص کردن روشنایی و سطح تابش در محیط، امکان تعیین انواع سیستم‌های تهویه مطبوع مکانیکی و ... را دارا می‌باشد و مصرف انرژی ساختمان را به صورت سالانه به عنوان خروجی ارائه می‌کند.

۲۱. استانداردهای روشنایی ایران در استاندارد ۱۹۳۷ مؤسسه استانداردها و تحقیقات، نشریه ۱۱۰ و کتاب مبحث سیزده مقررات ملی ساختمان بیان شده است.

۲۲. در راستای اعتبارسنجی نتایج حاصل از این پژوهش، خروجی‌هایی که در رساله دکتری نگارنده اول برای شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی دارای آفتاب‌گیر در شهر تهران به کار گرفته شده بود، با نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار Building Calc. تطبیق داده شد و سازگاری قابل قبولی مشاهده گردید.

## فهرست مراجع

۱. اطلس کلان‌شهر تهران. (۱۳۹۳). اقلیم و آلودگی هوای تهران. بازیابی ۳ بهمن، ۱۳۹۳، از <http://atlas.tehran.ir/Default.aspx?tabid=171>
۲. رضایی حریری، محمدتقی؛ و فیاض، ریما. (۱۳۸۰). محدوده آسایش حرارتی در تهران، محیط‌شناسی، ۲۸، ۱۸-۱۳.
۳. زمردیان، زهرا سادات؛ نصراللهی، فرشاد؛ و علی‌آبادی، محمد. (۱۳۹۱). کاهش مصرف انرژی در مدارس با طراحی بهینه پنجره‌ها و سایبان‌ها (مطالعه موردی: مدارس شیراز)، دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۲۷۶۵-۲۷۷۶. بازیابی ۲۰ بهمن، ۱۳۹۳، از <http://www.icnc.ir/index.aspx?pid=966&metadataId>
۴. سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۳). نشریه ۱۰۲۹۱. درب و پنجره‌های آلومینیومی ساختمان. بازیابی ۱۰ دی، ۱۳۹۳، از <http://www.isiri.org/portal/files/std/10291.pdf>
۵. سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۳). نشریه ۸۵۲۱-۱. مجموعه شیشه‌های دو یا چند جداره - ویژگی‌ها - قسمت اول: با لایه هوا. بازیابی ۱۱ دی، ۱۳۹۳، از <http://ifco.ir/building/standard/doc/8521-1.pdf>
۶. سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۳). فهرست دارندگان گواهینامه ثبت برند کالاهای وارداتی. بازیابی ۳ اسفند، ۱۳۹۳، از <http://isiri.org/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=ddbc887-6203-4ac1-816a-2749185bd00f>
۷. سالاری سردری، فرضعلی؛ بیرانوندزاده، مریم؛ و علیزاده، دانا. (۱۳۹۳). نقش سرمایه اجتماعی در توسعه پایدار محلی (مطالعه موردی: سکونتگاه‌های شهری و روستایی منطقه عسلویه). هویت شهر. ۸ (۱۹)، ۷۷-۸۸.
۸. شهرداری تهران. (۱۳۹۳). معرفی شهر تهران. شرایط اقلیمی. بازیابی ۲۰ بهمن، ۱۳۹۳، از <http://www.tehran.ir/Default.aspx?tabid=117>
۹. علیخانی، سلیمه؛ آصف‌زاده، سعید؛ محبی‌فر، رفعت؛ و منتظری، علی. (۱۳۹۱). بررسی شاخص توسعه انسانی در ایران و کشورهای منتخب. پیش. ۱۱، ۴۱۵-۴۲۳.
۱۰. غیائی، محمد مهدی؛ مهدوی نیا، مجتبی؛ طاهباز، منصوره؛ و مفیدی شمیرانی، مجید. (۱۳۹۲). روش‌شناسی گزینش نرم‌افزارهای کاربردی شبیه‌ساز انرژی در حوزه معماری. هویت شهر. ۷ (۱۳)، ۴۵-۵۵.
۱۱. محمد، شقایق. (۱۳۹۲). مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار و شهرسازی. ۱۸ (۱)، ۷۸-۶۹.
۱۲. مرکز آمار ایران. (۱۳۹۳). سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۰. اقلیم سرشماری. بازیابی ۱۹ بهمن، ۱۳۹۳، از <http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=1283>
۱۳. مهندسین مشاور نقش جهان - پارس. (۱۳۸۶). مطالعات طرح جامع مسکن تهران. تهران: پدیدآورنده.
۱۴. وزارت مسکن و شهرسازی. (۱۳۸۸). مقررات ملی ساختمان. محبت نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی. بازیابی ۱۷ آذر، ۱۳۹۳، از <http://prd.beh-dasht.gov.ir/uploads/IranNR-19.pdf>
۱۵. نصراللهی، فرشاد. (۱۳۹۰). ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان‌ها، کمیته ملی انرژی ایران، ۱-۴۵. بازیابی ۱۷ دی، ۱۳۹۳، از [http://www.saba.org.ir/saba\\_content/media/](http://www.saba.org.ir/saba_content/media/)

image/2012/03/3512\_orig.pdf

16. Bader, S. (2011). *High-performance façades for commercial buildings*. Austin: The University of Texas.
17. Bessoudo, M., Tzempelikos, A., Athienitis, A.K., & Zmeureanu, R. (2010). Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices. *Elsevier*, 45, 2506-2516.
18. Bülow-Hübe, H., Kvist, H., & Hellström, B. (2003). *Estimation of the performance of sunshades using outdoor measurements and the software tool Parasol*. Proceedings ISES Solar World Congress. June 14-19, (p.p. 1-6). Gothenburg: Lund University. Retrieved May 11, 2014, from <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=699802&fileId=711430>.
19. Chen, B., Ji, Y. & Xu, P. (2012). *Impact of window shading devices on energy performance of prototypical buildings*. Shanghai: Institute of HVAC and gas engineering. Tongji University. Retrieved September 18, 2014, from <http://www.ibpsa.org/proceedings/asim2012/0148.pdf>.
20. Datta, G. (2001). *Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation*. Renewable Energy Congress. February 23-24, (p.p. 497-507). Brighton: Pergamon. Retrieved December 22, 2014, from <http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/SysEng/passive%20cooling/Horizontal%20louver%20shading%20effect.pdf>.
21. Freewan, A. (2011). *Improving thermal performance of offices in just using fixed shading devices*. World renewable energy congress, May 1-8, (pp. 1860-1867). Linköping: LEA. Retrieved April 18, 2014, from [http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol8/016/ecp57vol8\\_016.pdf](http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol8/016/ecp57vol8_016.pdf).
22. Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
23. Khezri, N. (2012). *Comparative Analysis of PV Shading Devices for Energy Performance and Daylight*, Unpublished master's thesis. Norwegian university of science and technology. Trondheim. Retrieved March 6, 2014, from [https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master\\_Noora.pdf?version=1&modificationDate=1340098697442](https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master_Noora.pdf?version=1&modificationDate=1340098697442).
24. Low Energy Architecture Research Unit (LEARU). (2004). *Daylight & energy efficient artificial lighting*, Low Energy Architecture Research Unit of the London Metropolitan University, Retrieved June 12, 2014, from [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/tareb/docs/special/deal\\_daylighting\\_en.pdf](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/tareb/docs/special/deal_daylighting_en.pdf).
25. Ludvigsvensson. (2015). Retrieved March, 2015, from <http://www.ludvigsvensson.com/climatescreens/products/climate-screens#Harmony>.
26. Nasrollahi, F., Wehage, P., Shahriari, E., & Tarkashvand, A. (2013). *Energy Efficient Housing for Iran Pilot*



*Buildings in Hashtgerd New Town*. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.

27. Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University.

28. Tzempelikos, A., & Roy, M. (2004). *A Simulation design study for the facade renovation of an office building*, Canadian solar buildings conference. August 20-24, (pp. 101-108). Montreal: Research gate.

29. Wall, M., & Bülow-Hübe, H. (2001). *Solar Protection in buildings Energy and Building Design*. Dept. Construction and architecture. Lund: Lund University.

30. Wienold, J., Frontini, F., Herkel, S. & Mende, S. (2011). *Climate based simulation of different shading device systems for comfort and energy demand*. *Proceedings of Building Simulation*. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. November 14-16, (pp. 2680-2686). Sydney: ISAAC. Retrieved June 23, 2014, from [http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2011/p\\_1833.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2011/p_1833.pdf).

31. Yang, K.h. & lin, h.t., (1990), *the analysis of external shading effect on building energy conservation*. ASHRAE thermal performance of the exterior envelopes of building IV conference, December 4-7, (pp. 126-134). Orlando: LBL.

32. Yao, J., & Yan, C. (2011). Evaluation of The Energy Performance of Shading Devices based on Incremental Costs. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5(5), 450-452. Retrieved May 16, 2014, from <http://waset.org/publications/9145/evaluation-of-the-energy-performance-of-shading-devices-based-on-incremental-costs>.

33. Zhang Q. (2004). Residential energy consumption in China and its comparison with Japan, Canada and USA. *Energy and Buildings*, 36, 1217-1225.



## Assessing Energy Performance of Simulation-powered Internal Sun Shading Devices for Residential Buildings in Tehran

*Alireza Karimpour\**, Ph.D., Candidate in Architecture, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

*Darab Diba, Professor*, Faculty of Arts and Architecture, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

*Iraj Etessam*, Professor, Faculty of Arts and Architecture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

### Abstract

Sustainable development as a process for meeting human development goals has an undeniable impact on all aspects of human life while sustaining the ability of natural systems to continue to provide the natural resources. In spite of worldwide climate change problems caused by fossil fuel use, energy consumption levels in Iran are already high and continue to rise each year. About 40% of energy consumed by the residential buildings in this country is fossil fuel-derived. Therefore providing solutions to reduce energy consumption in this sector is very important.

Tehran is the largest city of Iran and significant amounts of energy are consumed in this city. However, due to its location in semi-arid climatic region, it benefits from high sun's radiation even in winter and low relative humidity of the air. There is high potential for energy conservation in residential buildings of Tehran. Therefore the introduction of energy efficient buildings in this city would have a significant overall impact on national energy consumption levels.

Nowadays, sun shading devices are one of the most efficient elements to manage the interaction between the interiors and exteriors of buildings. They can significantly reduce cooling energy demand, improve thermal comfort, prevent the heat loss in the winter and reduce potential glare problems in residential (also in office and commercial) buildings. Sun shading devices can be categorized according to their placement as interior, exterior and mid-pane. Result of research and studies shows that the effectiveness increase 35% by using outside shade protection instead of inside one. This research is aware of this fact that optimized internal sun shading devices are not comparable with the external sun shading devices in efficiency and performance. Although due to the increased utilization of them in the residential buildings, this research studied the internal sun shading devices and determined the optimized internal sun shading system, and then analyzed its effect on the energy consumption in the residential building model.

In this study at the first phase, the combination of four types of internal sun shading devices with three types of windows are evaluated by the Parasol simulation software to determine the optimized internal sun shading system. Simulations show that the double glazed transparent window with white dense reflective Blind (as optimized sun shading system), has most appropriate thermal behavior.

At the next step, a building model as a case study (The six-story apartment in the city of Tehran) was considered for simulations of energy consumption. The Building Calc. software was applied for energy simulations and heating, cooling and total energy consumption of building was calculated with and without optimized internal sun shading system. The result shows that efficiency of internal sun shading devices increase by using dense texture, high reflectance and low transfer rate.

Energy consumption of residential buildings in Tehran reduced up to 14% only by using optimized internal sun shading system. This method could be one of the best solutions to reduce the energy demand in residential buildings because of the large coordination with Iran's economic, cultural and social conditions.

**Keywords:** Sustainable development, Energy conservation, Sun shading system, Internal sun shading device, Energy consumption simulation.

\* Corresponding Author: Email: Alireza.Karimpour@yahoo.com