سال چهارم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۶، ص ص ۱- ۸
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
Jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۸

تأثیر پنجره در کاهش میزان بار حرارتی و برودتی ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدِر

یوسف گرجی مهلبانی[۱]، علی‌اصغر مفرد بوشهری[۲*]، روانبخش عزیززاده آرائی[۲]

۱- دانشیار، معماری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)
* قزوین، ۳۴۱۵۷۶۸۳۱۸، a.mofradboushehri@edu.ikiu.ac.ir

چکیده

علی‌رغم مزیت‌های فراوان پنجره‌ها، درصورتی که نتوان بهره‌وری انرژی آن را افزایش داد، ۳۰ درصد از هدررفت انرژی کل جداره‌های خارجی در پنجره‌ها اتفاق می‌افتد. تکنولوژی‌های جدید که صنعت ساختمان را متحول کرده است، سبب بهبود عملکرد حرارتی و برودتی در پنجره‌ها، نسبت به سال‌های گذشته، شده است. از آن‌جا که بهبود عملکرد بارسرمایشی و گرمایشی در فصول سرد و گرم سال، یکی از اولویت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در اجزای ساختمانی است، لذا هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد حرارتی و برودتی پنجره‌های متداول در صنعت ساختمان ایران می‌باشد. به‌این منظور، تعداد ۲۱ نمونه از این پنجره‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدِر مدل‌سازی شده و توسط افزونه‌ی انرژی‌پلاس با داده‌های هواشناسی شهر قزوین، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که استفاده از پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره به‌جای پنجره‌های تک جداره، به‌طور متوسط، سبب کاهش بار گرمایشی به‌ترتیب به‌میزان ۱۷ و ۳۹ درصد می‌شود. همچنین نتایج تحلیل‌ها نشان داد که پنجره‌های کم گسیل، در تأمین آسایش حرارتیِ مناطق مرکزی ایران که دارای اقلیم گرم هستند و نیاز به بار سرمایشی زیادی دارند، دارای عملکرد مطلوب می‌باشد.

کلیدواژگان: : پنجره، عملکرد حرارتی، عملکرد سرمایشی، دیزاین‌بیلدِر، انرژی ساختمان

The Effect of Window on the Reduction of Heating and Cooling Loads of Buildings using Simulation in Design Builder Software

Yousef Gorji Mahlabani, Aliasghar Mofrad Boushehri *, Ravanbakhsh Azizzadeh Araei

1- Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
* P.O.B. 3415768318 Qazvin, Iran, a.mofradboushehri@edu.ikiu.ac.ir
Received: 26 November 2016 Accepted: 8 May 2017

Abstract

Despite numerous benefits of windows, they will cause 30 % total energy loss through building enclosure if energy efficiency is not increased. State-of-the-art technologies that have developed Building Industry have improved heating and cooling performance in windows compared to previous years. Since the improvement of cooling and heating load performance in cold and hot seasons is a priority in increasing energy efficiency in building elements, the purpose of this study was to investigate heating and cooling performance of conventional windows in the Building Industry of Iran. To this end, 21 types of windows were modeled in Design Builder Software and analyzed using Energy-Plus plug-in with meteorological data of Qazvin. The results showed that using double-glazed and triple-glazed windows instead of single-glazed windows respectively lead to 17 and 39 % of average decreased heating load. In addition, the analyses showed that low-emission windows have a desirable performance in the provision of thermal comfort of central regions of Iran with warm climates that require much cooling load.

Keywords: Window, heating performance, cooling performance, Design Builder, Building energy

۱- مقدمه

بخش زیادی از انرژی‌های تولیدشده‌ی جهان در صنعت ساختمان (AEC[1]) مصرف می‌شود. در گزارشی که توسط آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۴ میلادی منتشر شد، حدود ۴۰ درصد از انرژی‌های تولید شده، در بخش ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲و۱]. به‌علاوه پیش‌بینی می‌شود، به‌علت تغییر سبک زندگی و افزایش نیازهای انسان، به‌منظور دست‌یابی به زندگی راحت‌تر، مصرف انرژی در بخش ساختمان در سال ۲۰۲۰ میلادی به حدود $۱۰^{۱۸}$*۲۴-۱۹ مگاژول در سال، در کشورهایی مانند چین برسد [۳]. در کنار نقش قابل توجه صنعت ساختمان در مصرف سوخت‌های فسیلی، رشد مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این صنعت را نمی‌توان انکار کرد [۴-۶]. انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO_2، از مهم‌ترین عوامل گرم شدن کره‌ی‌زمین در سال‌های اخیر است [۷] که حدود ۳۰ درصد از کل این گازها در بخش ساختمان تولید می‌شود [۸].

تلاش‌های زیادی در رابطه با کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان و در نتیجه کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی، در سال‌های اخیر صورت گرفته است که به‌عنوان نمونه می‌توان به معرفی بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید بخشی از انرژی مصرفی در ساختمان اشاره کرد [۹]. علی‌رغم این تلاش‌ها در تحقیقی که توسط Sumath و همکاران در سال ۲۰۱۰ و Panwar و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی انجام شد، نشان داد که انرژی‌های تجدیدپذیر توانایی تأمین تنها ۱۴ درصد از کل مصرف انرژی در بخش ساختمان را دارا هستند [۱۱و۱۰]. در واقع به‌منظور کاهش مصرف انرژی‌های تولیدی تجدیدناپذیر در بخش ساختمان، تنها جایگزین‌کردن انرژی‌های تجدیدپذیر کافی نیست. بلکه باید از اقداماتی همچون عایق‌کاری جداره‌ها، استفاده از پنجره‌های مناسب با حداقل اتلاف انرژی، استفاده از مصالح سازگار با محیط زیست و سایر مؤلفه‌های مؤثر در کاهش مصرف انرژی نیز بهره‌مند شد. تا علاوه‌بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، هزینه‌های اضافه‌ای که به‌طور مداوم در این بخش مصرف می‌شود، کاهش یابد.

پنجره‌ها در معماری معاصر نقش بسیار مهمی را در تأمین نور روز، امکان ارتباط بصری با بیرون، تأمین هوای تازه و فراهم‌نمودن آسایش ساکنان به‌عهده دارند. علی‌رغم تمام امکاناتی که پنجره‌ها به‌عنوان عنصر معماری فراهم می‌کند، درصورتی که به‌طور مناسب و با مصالح بهینه طراحی نگردد، نه‌تنها بهره‌وری مناسب خود را ندارد بلکه یکی از منابع هدررفت انرژی در جداره‌های خارجی به‌شمار می‌آید [۱۲].

حدود ۷۰ درصد از هدررفت انرژی‌های مصرفی در ساختمان، از جداره‌های خارجی صورت می‌گیرد [۱۳] که از این میان ۲۰ الی ۴۰ درصد مربوط به پنجره‌ها می‌باشد [۱۴و۱۵]. به بیان دیگر، درصورتی که قصد داشته باشیم یک ساختمان با بهره‌وری انرژی مطلوب طراحی کنیم، جداره‌های خارجی و به‌خصوص پنجره‌ها، به‌عنوان اجزای ساختمانی، باید مورد توجه قرار گیرد.

به‌عنوان مثال، در ساختمان‌های متعارف که دارای ضریب تبادل حرارتی[2] ۰.۱۶، ۰.۲۵، ۰.۳ و ۲ وات بر مترمربع –درجه کلوین به‌ترتیب برای سقف، کف، دیوارهای خارجی و پنجره‌ها هستند، پنجره‌ها مهم‌ترین نقش را در تعیین میزان نیاز به سرمایش و گرمایش به‌خصوص در محیط‌های با مساحت زیاد، ایفا می‌کند [۱۶].

با این مقدمه، توجه به بهبود و بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان، باتوجه به افزایش روزافزون ساخت‌وساز در این بخش و نیز کاهش منابع به‌منظور ادامه‌ی حیات انسانی، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در این میان، پنجره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای ساختمانی، به توجه ویژه و استفاده از تکنولوژی‌های روز، جهت کاهش بار سرمایش و گرمایش ساختمان نیاز دارد.

۱-۱ ضرورت توجه به تکنولوژی‌های مربوط به پنجره‌ها به‌مثابه مهم‌ترین جزء معماری معاصر

قیمت واحدهای انرژی در جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. در مطالعه‌ای که در سپتامبر ۲۰۰۴ میلادی توسط مؤسسه‌ی اطلاعات انرژی آمریکا[3] صورت گرفت [۱۷]، نشان داده شد که هزینه‌های انرژی در سال ۲۰۳۰، نسبت به سال ۱۹۷۰، به‌میزان ۷۶۴ درصد افزایش خواهد یافت (نمودار۱). بر این اساس، کشور انگلستان در سال ۲۰۱۰ برنامه‌ای را در تمام نقاط این کشور به‌منظور کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان ارائه داده است [۱۸]. در این برنامه آمده است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی باید میزان تولید گازهای گلخانه‌ای به‌میزان ۸۰درصد کاهش پیدا کرده که سهم بخش ساختمان از این میزان، ۲۷درصد می‌باشد. به‌منظور دست‌یابی به این هدف، میزان مصرف انرژی به‌منظور گرم‌کردن یک ساختمان مسکونی باید کم‌تر از ۴۶ Kw/m^2 و پنجره‌ها باید دارای ضریب تبادل حرارتیِ کم‌تر از ۱.۲ الی ۱.۴ W/m^2K باشد [۱۹]. چنین برنامه‌هایی، که درصدد کاهش مصرف انرژی با استفاده از تکنولوژی‌های روز می‌باشد، در اغلب کشورها درحال انجام است. نیل به اهداف تعیین‌شده در برنامه‌هایی از این‌دست، با استفاده از اجزای ساختمان که دارای تکنولوژی‌های ساخت قدیمی می‌باشد، امکان‌پذیر نبوده و بهره‌گیری از تکنولوژه‌های روز ضروری است.

بهبود عملکرد بارسرمایشی و گرمایشی در فصول سرد و گرم سال، یکی از اولویت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در اجزای ساختمانی است. لذا انتخاب پنجره‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای ساختمان که نقش بسیار مهمی در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی دارد، باید مورد توجه قرار گیرد. سیر تحول تکنولوژی پنجره‌های ساختمانی سبب بهبود عملکرد حرارتی و برودتی در پنجره‌ها شده است. از این‌رو پژوهش حاضر، پس از بررسی ادبیات موضوعِ پنجره‌های تک‌جداره، چندجداره، شیشه‌های رنگی و شیشه‌های کم گسیل، به تحلیل عملکرد این پنجره‌ها در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی، پرداخته است.

[1] Architecture, Engineer, Construction

[2] U-Value

[3] Energy Information Administration

شکل۱: بررسی میزان افزایش هزینه‌های انرژی در سال‌های ۲۰۳۰-۱۹۷۰، [۱۷]

با توسعه‌ی فناوری‌های مختلف، که در پنجره‌های جدید در مقایسه با پنجره‌های معمولی به‌وجود آمده است، می‌توان به حداکثر بهره‌وری در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها دست یافت. این مقاله، پس از بررسی و معرفی انواع پنجره‌ها از جمله پنجره‌های دارای شیشه‌ی رنگی، پنجره‌های کم‌گسیل و پنجره‌های چندلایه که برخی از مهم‌ترین پنجره‌های مورداستفاده در صنعت ساختمان ایران می‌باشد، نیاز به بار سرمایش و گرمایش را براساس میزان تبادل حرارتی مورد مطالعه قرار می‌دهد.

۲- پنجره‌های تک‌لایه

این پنجره‌ها که از یک لایه شیشه ساخته شده‌اند، به‌عنوان یکی از گزینه‌های طراحی معماران در گذشته به‌شمار می‌رفته است. اما پس از بحران‌های مربوط به گرم‌شدن زمین و مشکلات زیادی که در دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی در انرژی به‌وجود آمد، استفاده از این پنجره‌ها به‌علت عایق‌بندی‌های حرارتی و صوتی ضعیف کاهش یافت و گزینه‌های دیگری مانند پنجره‌های دولایه و چندلایه جایگزین این نوع پنجره‌ها شدند.

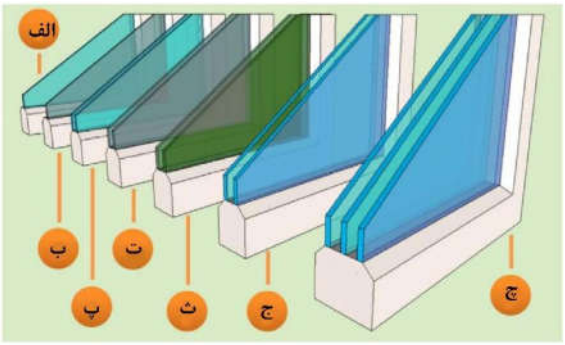
۳- پنجره‌های چندلایه

با افزایش تعداد لایه‌های شیشه در پنجره‌های تک‌جداره و پرکردن فضای خالی بین شیشه‌ها با استفاده از گازهای مختلف، سیلیکا آئروژل و مواد تغییرفازدهنده، می‌توان پنجره‌های چندجداره تولید کرد. پنجره‌هایی که به این صورت تولید می‌شوند، ضریب تبادل حرارتی به‌مراتب کم‌تری نسبت به پنجره‌های تک‌جداره دارند [۲۰]. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۵ توسط Arici و همکاران انجام شد [۲۱] مشخص شد که درصورت استفاده از پنجره‌های سه یا چهار لایه به‌جای پنجره‌های دولایه، می‌توان تا میزان ۵۰ الی ۶۷ درصد از هدررفت انرژی حرارتی را کاهش داد. علاوه‌بر این آن‌ها نشان دادند که علی‌رغم هزینه‌های اولیه‌ی زیاد، استفاده از پنجره‌های چندلایه که شامل مزایایی ازجمله بهبود عملکرد حرارتی [۲۲]، بهبود عملکرد صوتی و کاهش خیرگی می‌باشد، روبه افزایش است.

هوا، آرگون، کریپتون و زنون، ازجمله متداول‌ترین گازهایی هستند که در فواصل لایه‌های میانی شیشه قرار گرفته و سبب بهبود عملکرد این نوع پنجره‌ها می‌شود. علاوه‌بر نوع گازها، باید فاصله‌ی میان شیشه‌ها نیز بهینه گردد [۲۳]. در این صورت می‌توان بهترین عملکرد را از این نوع پنجره‌ها انتظار داشت.

۴- شیشه‌های رنگی

شیشه‌های رنگی درواقع همان شیشه‌های معمولی هستند که با اضافه‌کردن فلز در طول فرآیند پرداخت شیشه، تولید می‌شود [۲۴]. افزودن فلز و تولید شیشه‌های رنگی سبب بهبود خصوصیات اپتیکی شیشه‌های معمولی شده [۲۵] و ضریب گرمای ورودی تابش خورشید را بهبود می‌بخشد. در تحقیقی در سال ۲۰۱۶ میلادی توسط دقیقه‌رضایی و همکاران صورت گرفت [۲۴]، تغییر رنگ شیشه از برنز به سبز با ضخامت ثابت سبب تغییر در ضریب گرمای ورودی خورشید از ۰.۶ به ۰.۷۹ شد. به‌همین ترتیب، نشان داده شد که تغییر رنگ شیشه از برنز به خاکستری، ضریب گرمای ورودی خورشید را از ۰.۶ به ۰.۵۵ کاهش می‌دهد (شکل۲).



شکل۲: (الف) پنجره‌ی تک‌لایه با شیشه‌ی معمولی؛ (ب) پنجره‌ی تک‌لایه با شیشه‌ی خاکستری؛ (پ) پنجره‌ی دولایه با شیشه‌ی معمولی؛ (ت) پنجره‌ی دولایه با شیشه‌ی رنگی؛ (ث) پنجره‌ی دولایه با شیشه‌ی سبز؛ (ج) پنجره‌ی دولایه‌ی کم‌گسیل؛ (چ) پنجره‌ی سه‌لایه‌ی کم‌گسیل [۲۶].

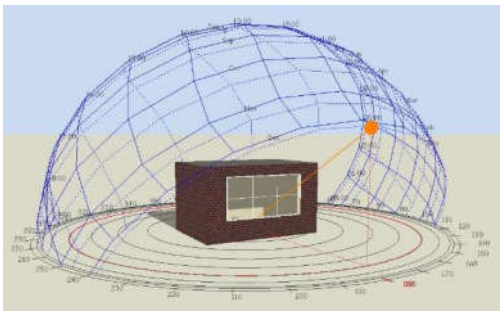
۵- شیشه‌های کم‌گسیل

این نوع از شیشه‌ها، باتوجه به مقاومت حرارتی مناسب، مورد استفاده‌ی مهندسان و طراحان قرار گرفته است. در واقع، پنجره‌های دارای شیشه‌های کم‌گسیل، همان پنجره‌های دوجداره هستند که لایه‌ی میانی آن با غشایی از جنس پلی‌استر پوشانده شده است [۲۷] و دارای مقاومت حرارتی نزدیک به شیشه‌های سه‌جداره، ولی با ضخامت و هزینه‌ای کم‌تر از آن می‌باشد [۲۸].

شیشه‌های معمولی با گسیل امواج با طول‌موج بلند (محدوده‌ی فروسرخ) به فضای داخلی ساختمان، دمای محیط داخلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از پوشش‌های کم‌گسیل در پنجره‌ها، می‌تواند از این پدیده جلوگیری کرده و علاوه بر آن، از خروج حرارت با طول‌موج بلند که سبب هدررفت انرژی حرارتی و افزایش بار گرمایشی ساختمان می‌شود، جلوگیری نماید [۲۴]. بنابراین، استفاده از این نوع شیشه‌ها در مناطقی که دارای اقلیم گرم‌وخشک هستند (مانند مناطق مرکزی ایران)، از ورود گرمای بیش‌ازحد خورشید جلوگیری کرده و بار سرمایشی در فصول گرم را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد [۲۹].

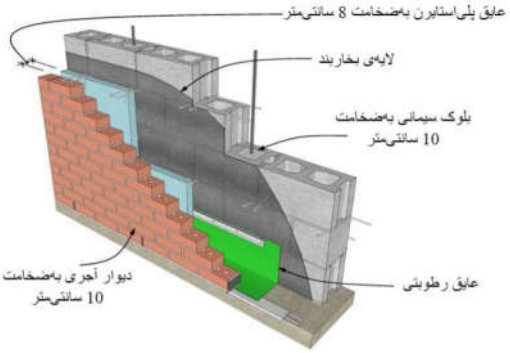
۶- شبیه‌سازی

به‌منظور تحلیل عملکرد حرارتی ساختمان، به آنالیز ماهانه در طول سال نیاز می‌باشد. این تحلیل، باید باتوجه به شرایط اقلیمی و سایر مؤلفه‌های مؤثر در بهبود عملکرد حرارتی ساختمان (مانند مصالح به‌کاررفته در جداره‌های خارجی) صورت گیرد. برای این منظور از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر[1] با افزونه‌ی انرژی‌پلاس[2] که دقت آن مورد آزمایش و اعتبارسنجی قرار گرفته [۳۰]، استفاده شده است. این افزونه، برمبنای دو نرم‌افزار BLAST [۳۱] و DOE-2 [۳۲] ساخته شده که به‌طورگسترده‌ای در شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها با کاربری مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۴و۳۳].



شکل ۳: محل قرارگیری پنجره در نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده باتوجه به موقعیت قرارگیری خورشید

به‌منظور تحلیل نرم‌افزاریِ بار گرمایشی و سرمایشی، اتاق‌هایی با ابعاد ۴*۶ متر و ارتفاع ۳.۵ متر مدل‌سازی شد. همچنین در ۲۱ نمونه‌ای که مؤلفه‌های مؤثر در عملکرد حرارتی و برودتی آن با هدف بررسی دقیق‌تر، ثابت نگه داشته شد، تنها نوع پنجره‌ها به‌عنوان متغیر درنظر گرفته شد. پنجره‌ها دارای ابعاد ۲*۴ متر بوده که ارتفاع آستانه‌ی آن ۱ متر و ارتفاع خودِ پنجره ۲ متر لحاظ گردید و در جداره‌ی جنوبی اتاق‌ها قرار گرفت. همچنین تمامی دیوارها، از خارج به داخل دارای یک لایه آجر به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، یک لایه‌ی عایق پلی‌استایرن به‌ضخامت ۸ سانتی‌متر و یک لایه‌ی بلوک سیمانی به‌ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و یک لایه گچ به‌ضخامت ۰.۶ سانتی‌متر مدل‌سازی شد که در تمام نمونه‌ها ثابت بود و دارای ضریب تبادل حرارتی W/m^2K ۰.۳۵ می‌باشد (شکل۴).

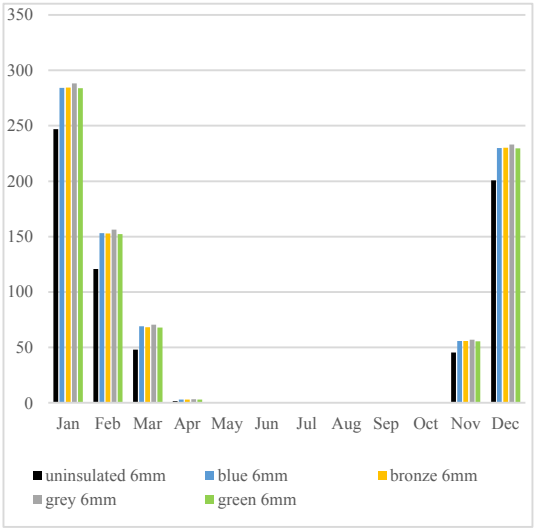


شکل۴: جزئیات دیوار در نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده

از آن‌جایی شیشه‌ها به‌عنوان متغیر اصلی در این پژوهش به‌منظور تحلیل عملکرد حرارتی ساختمان درنظر گرفته شد، لذا تعداد ۲۱ نمونه‌ی مختلف از شیشه‌ها که از لحاظ تعداد لایه‌ها، رنگ، نوع گاز لایه‌ی میانی متفاوت بودند، مورد تحلیل قرار گرفت (مشخصات این شیشه‌ها در پیوست۱ آمده است).

۷- بحث و تحلیل نتایج

عملکرد حرارتی و برودتی پنجره‌های تک‌لایه، دولایه و چند لایه با شیشه‌های مختلف و در ضخامت‌های ۳ و ۶ میلی‌متر، شبیه‌سازی شد. در زیر نتایج تحلیل‌های انجام شده با توجه به نوع پنجره‌ها، ضخامت لایه‌ها و رنگ شیشه‌ها، ارائه و در انتها با توجه به نمودارها، نتایج تحلیل‌ها ذکر شده است.



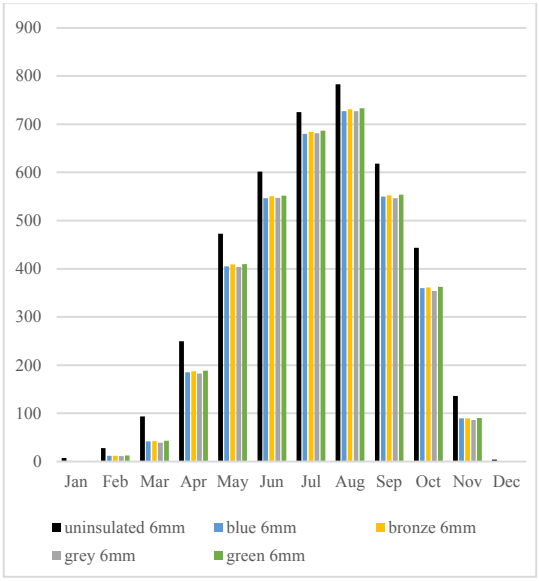
نمودار۱: مقایسه‌ی بار گرمایشی محاسبه‌شده در شیشه‌های یک‌لایه (Kwh)

۷-۱ پنجره‌های تک لایه

پنج نمونه از شیشه‌های یک‌لایه شامل: شیشه‌ی بی‌رنگ و رنگی (آبی، برنزی، خاکستری و سبز) با ضخامت ۶ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که بار حرارتی شیشه‌های بی‌رنگ نسبت به چهار نمونه‌ی دیگر کم‌تر است. به‌طور مثال، در ماه ژانویه که بار گرمایشی به بالاترین مقدار خود می‌رسد، میزان بار حرارتی در اتاق‌های دارای شیشه‌های ساده حدود ۱۷درصد کم‌تر از اتاق‌های دارای شیشه‌های خاکستری است. دلیل این موضوع، عبور ترجیحی طول‌موج‌های مختلفِ امواج الکترومغناطیس در شیشه‌های رنگی است که موجب می‌شود تا انرژی خورشیدی کم‌تری وارد فضای داخلی شده و بار حرارتی افزایش یابد. در میان شیشه‌های رنگی، بیشترین مقدار بار گرمایشی، مربوط به اتاق دارای شیشه‌های خاکستری می‌باشد.

طبق نمودار۲، بار سرمایشی در اتاق‌های دارای شیشه‌های رنگی، در همه‌ی ماه‌های سال کم‌تر از بار سرمایشی اتاق‌های دارای شیشه‌های بی‌رنگ بوده است.

[1] Design Builder
[2] Energy Plus



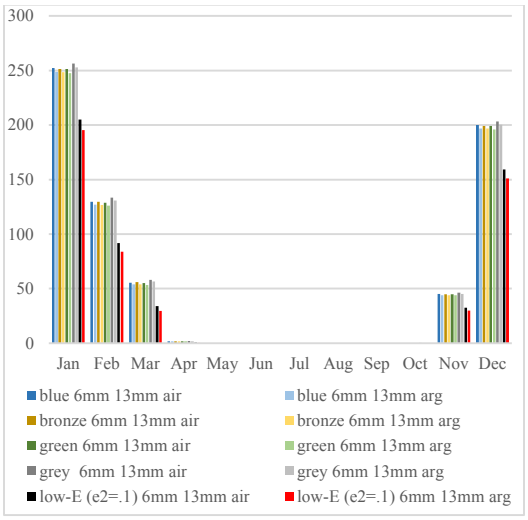
نمودار۲: مقایسه‌ی بار سرمایشی محاسبه‌شده در شیشه‌های یک‌لایه (Kwh)

مقدار گرمای ورودی تابش خورشید نیز در شیشه‌های ساده، به‌مراتب بیش‌تر از ۴ شیشه‌ی رنگی بوده است. به‌طوری‌که در ماه اکتبر که بیش‌ترین میزان حرارت خورشیدی جذب شده است، اتاق دارای شیشه‌های ساده حدود ۸۵ درصد بیش‌از اتاق دارای شیشه‌های خاکستری انرژی دریافت کند و همین موضوع موجب افزایش بار سرمایشی اتاقِ دارای شیشه‌های ساده، نسب به اتاق‌های دارای شیشه‌های رنگی است.

۲-۷ پنجره‌های دولایه

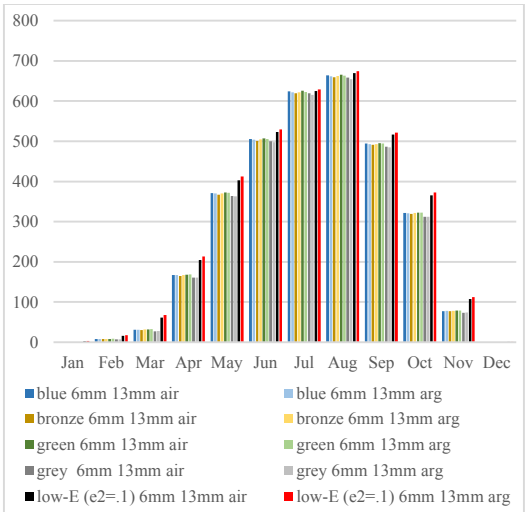
در میان شیشه‌های دوجداره، ۱۰ نمونه (شیشه‌های آبی، برنزی، سبز، خاکستری و کم‌گسیل با لایه‌ی میانی هوا و آرگون) که همگی دارای ضخامت ۱۳ میلی‌متر و فاصله‌ی دوجداره‌ی ۶ میلی‌متری بودند، انتخاب و بررسی شد. در میان این نمونه‌ها، بار حرارتی در اتاق‌های دارای شیشه‌ی کم‌گسیل کم‌تر از سایر نمونه‌ها بود. در بین شیشه‌های کم‌گسیل، شیشه‌هایی که دارای لایه‌ی میانی آرگون بودند، عملکرد بهتری داشته و بار حرارتی اتاق را به‌میزان بیشتری کاهش داده است. این در حالی است که فضاهای دارای شیشه‌های خاکستری، به بار حرارتی بیشتری جهت تأمین شرایط آسایش حرارتی نیاز دارند. به‌عنوان نمونه، در ماه ژانویه، مقدار بار حرارتی در اتاق‌های دارای شیشه‌های کم‌گسیل با لایه‌ی میانی آرگون حدود ۳۰ درصد کم‌تر از اتاق‌های دارای شیشه‌های خاکستری با لایه‌ی میانی هوا می‌باشد.

به‌طور کلی نمودار۳ نشان می‌دهد که استفاده از شیشه‌های کم‌گسیل نسبت به شیشه‌های رنگی و همچنین تزریق گاز آرگون در لایه‌ی میانی جداره‌ها نسبت به هوا، تأثیرگذاری بیشتری در کاهش بار حرارتی داشته‌اند.



نمودار۳: مقایسه‌ی بار گرمایشی محاسبه‌شده در شیشه‌های دولایه (Kwh)

طبق نمودار۴، بار سرمایشی در شیشه‌های کم‌گسیل اندکی بیش‌از سایر نمونه‌ها بوده و در میان شیشه‌های رنگی، شیشه‌های خاکستری دارای بهترین عملکرد هستند. به‌طوری که در ماه آگوست (که به بیش‌ترین مقدار بار سرمایشی نیاز است)، بار سرمایشی در اتاق دارای شیشه‌ی کم‌گسیل با لایه‌ی میانی آرگون، ۲۰ کیلوات‌ساعت (حدود ۳درصد) بیش‌تر از اتاق دارای شیشه‌ی خاکستری با لایه‌ی میانی آرگون است. تأثیر نوع گاز موجود در میان دوجداره بر بار سرمایشی نیز به‌این گونه است که در شیشه‌های آبی، سبز و خاکستری، آن‌هایی که دارای گاز آرگون می‌باشند و در شیشه‌های کم‌گسیل و برنزی، آن‌هایی که دارای هوا می‌باشند، بار سرمایشی پایین‌تری دارند. همچنین شیشه‌های کم‌گسیل بیشترین و شیشه‌های خاکستری، کم‌ترین مقدار حرارت خورشیدی را دریافت می‌کنند. در نمونه‌های بررسی‌شده، نوع گاز موجود در لایه‌ی میانی، تأثیر قابل‌توجهی بر میزان گرمای ورودی تابش خورشید را نشان نمی‌دهد.



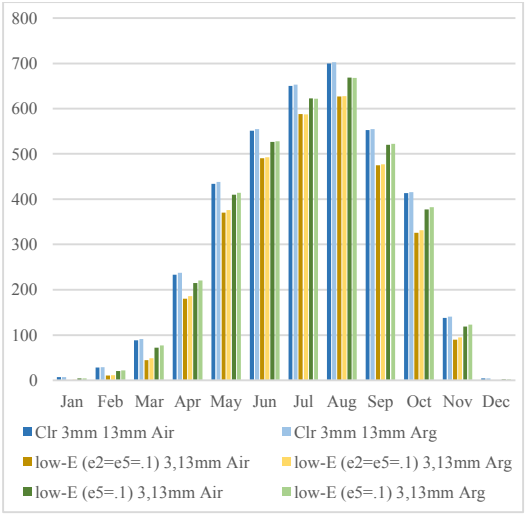
نمودار۴: مقایسه‌ی بار سرمایشی محاسبه‌شده در شیشه‌های دولایه (Kwh)

۳-۷ پنجره‌های سه‌لایه

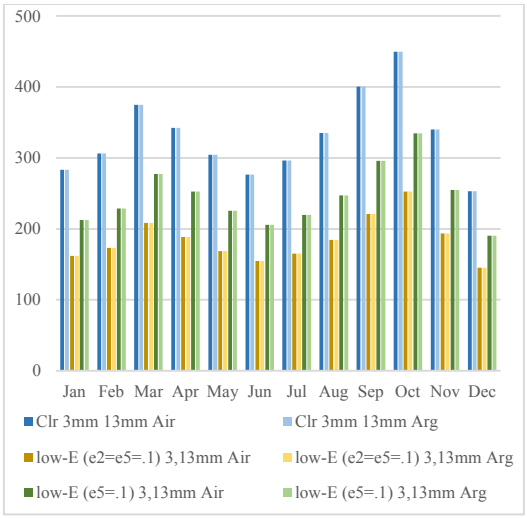
برای بررسی شیشه‌های ۳ لایه،۶ نمونه شامل: شیشه‌های بی‌رنگ، کم‌گسیل (e2=e5=0.1) و کم‌گسیل (e5=0.1) که ضخامت جداره‌ها و لایه‌های میانی آن‌ها به‌ترتیب ۳ و ۱۳ میلی‌متر بوده و از هوا یا گاز آرگون پر شده‌اند، انتخاب شد. در این میان، میزان بار گرمایشی در اتاق‌هایی که از شیشه‌های کم‌گسیل (e2=e5=0.1) استفاده می‌کنند، بیش از نمونه‌های دیگر است. اما در مورد بار سرمایشی این موضوع متفاوت بوده و شیشه‌های مذکور موجب بیشترین کاهش در میزان بار سرمایشی اتاق شده‌اند و پس از آن، شیشه‌های کم‌گسیل (e5=.1) دارای بهترین عملکرد می‌باشد. بیشترین و کم‌ترین میزان گرمای ورودی تابش خورشید نیز به‌ترتیب مربوط به اتاق‌هایی است که از شیشه‌های Clr و کم‌گسیل (e2=e5=0.1) استفاده می‌کنند؛ به‌طوری که در ماه اکتبر، میزان دریافت حرارتی خورشیدی در اتاق‌های دارای شیشه‌های Clr، حدود ۷۸ درصد (۱۹۷ کیلووات‌ساعت) بیش‌از اتاق‌های دارای شیشه‌های کم‌گسیل (e2=e5=0.1) است. درمیان شیشه‌های سه‌لایه‌ی مورد بررسی، نوع گاز موجود در لایه‌ی میانی، تأثیر چندانی بر میزان دریافت حرارت خورشید نداشته است.

۸- نتیجه‌گیری

پنجره‌ها، به‌عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی جداره‌های خارجی ساختمان، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان داشته باشد. در این پژوهش، تأثیر به‌کارگیری برخی از انواع پنجره‌ها بر بار سرمایشی، بار گرمایشی و ضریب گرمای ورودی خورشید، از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این ارزیابی نشان داد که در شرایط اقلیمی یکسان و با در نظرگرفتن مصالح مشابه برای دیوارهای خارجی، استفاده از پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره به‌جای پنجره‌های یک‌لایه، به‌طور متوسط می‌تواند بار گرمایشی ساختمان را به‌ترتیب حدود ۱۷ و ۳۹ درصد کاهش دهد. همچنین بار سرمایشی ساختمان، با به‌کارگیری پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره به‌جای پنجره‌های یک‌لایه، کاهش می‌یابد. البته باتوجه به این‌که ضریب گرمای ورودی خورشید در پنجره‌های سه‌جداره، به‌طور متوسط ۱۸ درصد بیش‌از پنجره‌های



نمودار۵: مقایسه‌ی بار سرمایشی محاسبه‌شده در شیشه‌های سه‌لایه (Kwh)



نمودار۶: مقایسه‌ی گرمای ورودی تابش خورشید در شیشه‌های سه‌لایه (Kwh)

دوجداره به‌دست آمد، در نتیجه کم‌ترین میزانِ بار سرمایشی، در شرایطی رخ می‌دهد که از پنجره‌های دوجداره استفاده شود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی پنجره‌های ساده، رنگی و کم‌گسیل در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پنجره‌های کم‌گسیل، در مناطقی از کشور ایران که دارای اقلیم گرم بوده و جهت دست‌یابی به شرایط آسایش حرارتی، غالباً به سرمایش نیاز دارد، از طریق کاهش گسیل امواج با طول‌موج بلند به فضای داخلی، موجب کاهش بار سرمایشیِ ساختمان می‌شود. همچنین در اقلیم‌های سرد نیز استفاده از این پنجره‌ها، با افزایش ضریب گرمای ورودی خورشید و ممانعت از گسیل هوای گرم به بیرون، بار گرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهد.

۹- منابع:

[1] Cuce E, Riffat SB., A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, Renew Sustain Energy Rev;41:695–714, 2014

[2] Kong, X.F., Lu, S.L., Li, Y.R., Huang, J.Y., Liu, S.B., Numerical study on the thermal performance of building wall and roof incorporating phase change material panel for passive cooling application, Energy Build, vol. 81, 404–415, 2014.

[3] Sun, X.Q., Zhang, Q., Medina, M.A., Lee, K.O., Energy and economic analysis of a building enclosure outfitted with a phase change material board (PCMB), Energy Convers Manage, vol. 83, 73–78, 2014.

[4] Cuce E, Cuce PM, Wood CJ, Riffat SB., Optimizing insulation thickness and analysing environmental impacts of aerogel-based thermal superinsulation in buildings. Energy Build, vol77 ,28–39, 2014.

[5] Cuce E, Cuce PM, Wood CJ, Riffat SB., Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings a comprehensive review, Renew Sustain Energy Rev, 34:273–99, 2014.

[6] Cuce E, Cuce PM, Vacuum glazing for highly insulating windows: Recent developments and future prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1345–1357, 2016.

[7] Erdem, C., Young, C.H., Saffa, B.R., Performance investigation of heat insulation solar glass for low-carbon buildings, Energy Convers Manage, vol. 88: 834–841, 2014.

[8] Baetens R, Jelle BP, Gustavsen A., Aerogel insulation for building applications: a state-of-the-art review. Energy Build, vol. 43(4):761–9, 2011.

[9] Cuce E, Cuce PM. *A comprehensive review on solar cookers*, *Appl Energy*, vol. 102:1399–421, 2013.

[10] Hasan MA, Sumathy K., *Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: a review*, *Renew Sustain Energy*, vol. 14:1845–59, 2010.

[11] Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S., *Role of renewable energy sources in environmental protection: a review*, *Renew Sustain Energy*, vol. 15: 1513–1524, 2011.

[12] B.P. Jelle, A. Hynd, A. Gustavsen, D. Arasteh, H. Goudey, R. Hart, *Fenestration of today and tomorrow: a state-of-the-art review and future research opportunities, Sol. Energy Mater. Sol. Cells,* 96 1e28, 2012.

[13] Al-Obaidi, K.M., Ismail, M., Rahman, A.M.A., *Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses, Energy Convers Manage,* vol. 85, 488–504, 2014.

[14] Erdem, C., Riffat, S.B., *A state-of-the-art review on innovative glazing technologies. Renew. Sust. Energy*,vol. 41, 695–714, 2015.

[15] Bülow-Hübe H., *Energy-efficient window systems: effects on energy use and daylight in buildings*, Lund, Sweden: Lund University; 2001.

[16] Cuce E., *Development of innovative window and fabric technologies for lowcarbon buildings* [Ph.D. thesis], The University of Nottingham, 2014.

[17] Eddy Krygiel, Bradley Nies, *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 30-32, 2008.

[18] Department of Energy and Climate Change. *Provisional 2009 results for UK greenhouse gas emissions and progress towards targets*, Revised statistical release for end-user emissions estimates, London; 2010.

[19] Cuce E, Young CH, Riffat SB., *Thermal performance investigation of heat insulation solar glass: a comparative experimental study*, *Energy Build*, 86:595–600, 2015.

[20] M.S. Söylemez, *Thermoeconomical optimization of number of panes for windows, Journal of Energy Engineering*, ASCE 135, 21–24, 2009

21] M. Arıcı, H. Karabay, M. Kan, *Flow and heat transfer in double, iple and quadruple pane windows*, *Energy Build*, vol. 86: 394–402, 015.

22] Fang ,Yueping and etal, *Enhancing the thermal performance of iple vacuum glazing with low-emittance coatings*, *Energy and uildings*, vol. 97: 186–195, 2015.

23] H. Manz, *On minimizing heat transport in architectural glazing*, enew Energy, vol. 33: 119–128, 2008.

24] Daqiqeh Rezaei. S, Shannigrahi S., Ramakrishna S., *A review of onventional, advanced, and smart glazing technologies and materials or improving indoor environment*, *Solar Energy Materials & Solar ells, vol.* 159: 26–51, 2017.

25] N.N. Shcherbakova, V.I. Kondrashov, I.A. Kupriyanova, V.A. iorokhovskii, *Regression equations for determining light transmission a tinted float glass*, Glass Ceram, vol. 58: 164–165, 2001.

26] E. Cuce, S.B. Riffat, *A state-of-the-art review on innovative lazing technologies*, *Renew. Sustain. Energy*, vol. 41: 695–714, 2015.

[27] فریدمن، اوی، *مفاهیم پایه در معماری پایدار*، ترجمه‌ی محمدحسین میرزاکوچک خوشنویس، تهران، انتشارات کتاب فکر نو، ۱۳۹۵.

28] Smith, P., *architecture in a Climate of Change: A Guide to ustainable Design*, Amsterdam: Elsevier, 2005.

29] J. Mohelníková, *Window glass coatings, in: Ling Zang (Ed.)*, nergy Efficiency and Renewable Energy Through Nanotechnology, pringer, pp. 913–934, 2011.

30] Witte MJ, Henninger RH, Glazer J, Crawley DB, *Testing and alidation of a new building-energy simulation program. In: roceedings of building simulation*, Rio de Janiero, Brazil: IBPSA, p. 53–60, 2001.

31] BLAST User *Reference., BLAST support Office, Department of lechanical and Industrial Engineering,* University of Illinois, Urbana-hampaign, IL, Vol. 1 and 2, 1991.

32] Lawrence Berkeley National Laboratory, *DOE-2 supplement ersion 2.1E*, report no. LBL-34947. Lawrence Berkeley National aboratory (Berkeley Lab.), University of California, USA, 1993.

33] Chow WK, Fong SK., *Simulation of energy use for single-ompartment buildings in Hong Kong*, *Appl Energy*, vol. 57(1): 37–44, 997.

33] Chan KT, Chow WK., *Energy impact of commercial-building nvelopes in the sub-tropical climate, Appl Energy*, vol. 60(1):21–39, 998.

پیوست ۱: مشخصات فیزیکی شیشه‌های به‌کاررفته در شبیه‌سازی عملکرد حرارتی

نوع پنجره	ضریب گرمای ورودی خورشید	ضریب عبور حرارت خورشید	ضریب عبور نور خورشید	ضریب تبادل حرارتی w/m^2k	تعداد لایه ها	ضخامت هر لایه (میلی‌متر)
پنجره‌ی تک لایه- بدون عایق	۰.۸۱۱	۰.۷۷۵	۰.۸۸۱	۶.۱۲	۱	۶
پنجره‌ی تک لایه- آبی	۰.۵۸۷	۰.۴۸۰	۰.۵۷۰	۶.۱۲۱	۱	۶
پنجره‌ی تک لایه- برنز	۰.۵۸۸	۰.۴۸۲	۰.۵۳۴	۶.۱۲	۱	۶
پنجره‌ی تک لایه- سبز	۰.۵۹۱	۰.۴۸۷	۰.۷۴۹	۶.۱۲۱	۱	۶
پنجره‌ی تک لایه- خاکستری	۰.۵۶۷	۰.۴۵۵	۰.۴۳۱	۶.۱۲۱	۱	۶
پنجره‌ی دو لایه آبی- با لایه‌ی میانی هوا	۰.۴۸۷	۰.۳۷۳	۰.۵۰۵	۲.۷۰۸	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه آبی- با لایه‌ی میانی آرگون	۰.۴۸۰	۰.۳۷۳	۰.۵۰۵	۲.۵۴۹	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه برنز- با لایه‌ی میانی هوا	۰.۴۸۲	۰.۳۷۵	۰.۴۷۳	۲.۷۰۸	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه برنز- با لایه‌ی میانی آرگون	۰.۴۸۱	۰.۳۷۵	۰.۴۷۳	۲.۵۴۹	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه سبز- با لایه‌ی میانی هوا	۰.۴۸۶	۰.۳۷۹	۰.۶۶۴	۲.۷۰۸	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه سبز- با لایه‌ی میانی آرگون	۰.۴۸۴	۰.۳۷۹	۰.۶۶۴	۲.۵۴۹	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه خاکستری- با لایه‌ی میانی هوا	۰.۴۶۳	۰.۳۵۴	۰.۳۸۱	۲.۷۰۸	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دو لایه خاکستری- با لایه‌ی میانی آرگون	۰.۴۶۱	۰.۳۵۴	۰.۳۸۱	۲.۵۴۹	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دولایه‌ی کم گسیل (e=.1)- با لایه‌ی میانی هوا	۰.۵۶۳	۰.۴۷۴	۰.۷۴۵	۱.۷۷۲	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی دولایه‌ی کم گسیل (e=.1)- با لایه‌ی میانی آرگون	۰.۵۶۴	۰.۴۷۴	۰۷۴۵	۱.۴۹۹	۲	۶-۱۳-۶
پنجره‌ی سه‌لایه با لایه‌های میانی هوا	۰.۶۷۸	۰.۵۹۵	۰.۷۳۸	۱.۷۷۸	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳
پنجره‌ی سه‌لایه با لایه‌های میانی آرگون	۰.۶۷۹	۰.۵۹۵	۰.۷۳۸	۰.۶۳۵	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳
پنجره‌ی سه‌لایه‌ی کم گسیل (e5=e2= 0.1) با لایه‌های میانی هوا	۰.۴۶۸	۰.۳۵۸	۰.۶۶۱	۰.۹۹۳	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳
پنجره‌ی سه‌لایه‌ی کم گسیل (e5=e2= 0.1) با لایه‌های میانی آرگون	۰.۴۷۰	۰.۳۵۸	۰.۶۶۱	۰.۷۸۶	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳
پنجره‌ی سه‌لایه‌ی کم گسیل (e5= 0.1) با لایه‌های میانی هوا	۰.۵۷۴	۰.۴۵۸	۰.۶۹۸	۱.۲۷۰	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳
پنجره‌ی سه‌لایه‌ی کم گسیل (e5= 0.1) با لایه‌های میانی آرگون	۰.۵۷۴	۰.۴۵۸	۰.۶۹۸	۱.۰۶۴	۳	۳-۱۳-۱۳-۱۳-۳