صفحات ۵ - ۱۶

**نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی** ● دوره ۲۱ ● شماره ۴ ● زمستان ۱۳۹۵

# ارزیابی فنی و اقتصادی کاربرد پوشش کم‌گسیل در جدارهای نورگذر ساختمان*

**بهروز محمدکاری[۱]، شاهین حیدری[۲**]، مهدیه آب‌روش[۳]**

[۱] استادیار فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

[۲] استاد معماری دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران

[۳] استادیار معماری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۳/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۱۳)

## چکیده

با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی، به‌کارگیری تمهیدات لازم برای بهبود عملکرد حرارتی جدارهای نورگذر، جزو اولویت‌های اول می‌باشد. با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از انتقال حرارت تابشی در شیشه‌ها از طریق جذب و گسیل اتفاق می‌افتد، برای کاهش میزان انتقال حرارت تابشی، کاربرد شیشه‌های با پوشش کم‌گسیل پیشنهاد می‌شود. هدف از این مقاله، ارزیابی فنی و اقتصادی کاربرد شیشه‌های با پوشش کم‌گسیل در جدارهای نورگذر ساختمان است. برای دستیابی به این هدف، به بررسی این نوع پوشش با استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و انجام محاسبات عددی پرداخته شده است. در این مقاله، عملکرد حرارتی شیشه‌های تک‌جداره، دوجداره ساده و دوجداره با پوشش کم‌گسیل در دو اقلیم حاد در چهار جهت جغرافیایی، مورد مطالعه، تحلیل و مقایسه قرار گرفته‌است. همچنین، به منظور مقایسه اقدامات و اولویت‌بندی آنها، زمان بازگشت سرمایه هر کدام از اقدامات مشخص گردیده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند کاربرد شیشه دوجداره کم‌گسیل، تنها در اقلیم‌های بسیار گرم که به‌طور عمده از انرژی الکتریکی برای سرمایش استفاده می‌کنند، توجیه اقتصادی بالایی دارد و در اقلیم‌های سرد کشور، با توجه به مقدار زیاد تابش و اضافه‌هزینه پوشش کم‌گسیل، زمان بازگشت سرمایه، در مقایسه با عمر مفید ساختمان، قابل توجه می‌باشد و به‌هیچ وجه قابل توصیه نیست.

**واژه‌های کلیدی**

شیشه دوجداره، پوشش، کم‌گسیل، مصرف انرژی، تحلیل اقتصادی.

*این مقاله برگرفته از بخشی از رساله‌ی دکتری نگارنده‌ی سوم با عنوان: «بهبود عملکرد شیشه پنجره در ساختمان‌های اداری با رویکرد تلفیقی حرارت و نور» است که به راهنمایی نگارندگان اول و دوم در دانشکده معماری دانشگاه تهران انجام شده است.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۶۶۴۰۹۶۹۶-۰۲۱، نمابر: ۶۶۴۹۰۱۴۱-۰۲۱، E-mail: shheidari@ut.ac.ir.

## مقدمه

چهل درصد از بودجه جهانی انرژی مربوط به ساختمان‌هاست و متخصصین امر باید کوشش کنند تا مردم متوجه این نکته شوند که تغییرات اقلیمی و جزایر گرمایی درون شهری، در آینده‌ای بسیار نزدیک، این رقم را به بیش از پنجاه خواهد رساند. از این رو صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان، حائز اهمیت می‌شود و به‌کارگیری روش‌های گذشته‌نگر و آینده‌بنیان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در رأس راهکارهای صرفه‌جویی، تمهیدات لازم برای بهبود عملکرد حرارتی جدارها در اولویت قرار دارد و مهم‌تر آنکه، قسمتی از جدار اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که از نظر عملکرد حرارتی سرکش‌تر است و آن را جدار نورگذر می‌نامیم. نورگذرها، به طور عمده شیشه‌خور هستند که در نتیجه آن بخش قابل توجهی از انتقال حرارت تابشی از طریق جذب و گسیل در آنها اتفاق می‌افتد. با انتخاب درست شیشه، می‌توان به‌طور قابل توجهی بر مشکلات فائق آمد و به خصوص در اقلیم گرم که سه چهارم از وسعت سرزمین ما را به خود اختصاص داده، از ورود گرمای محیط بیرون به داخل ساختمان، تا حد ممکن اجتناب کرد. اضافه بر آن در اقلیم سرد نیز اتلاف حرارت داخل ساختمان به محیط بیرون را محدود ساخت.

شیشه از مصالح ساختمانی است که نمی‌شود از آن چشم پوشید، زیرا دید داخل به بیرون و بیرون به داخل را تامین می‌کند، نمای مطلوب ساختمان را سبب می‌شود و از نظر برگشت مصالح به طبیعت و پایداری ارزشمند است. عبور درصد قابل توجهی نور مرئی خورشید از شیشه، امکان تأمین روشنایی طبیعی در ساعات طولانی روز را امکان‌پذیر نموده‌است. از طرفی بسیاری از راه‌حل‌های روحی روانی برای آن دسته از مردمانی که به هر دلیلی باید در خانه بمانند، وابسته به وجود پنجره و شیشه برای برقراری ارتباط با فضای واقعی است. بنابراین، در طراحی جدارهای نورگذر، باید به مشخصات حرارتی (ضرایب گسیل، انعکاس، جذب و عبور)، برای دستیابی به شرایط مناسب و پاسخگویی به خواسته‌های مورد نظر، همچون کنترل نور روز و تأمین دمای مناسب با تکیه بر حداقل‌سازی مصرف انرژی توجه نمود.

از نقطه نظر انرژی، گرچه شیشه در دید نخست، دارای نقاط ضعف می‌باشد، اما در کنار کنترل اندازه سطوح شیشه‌ای، راهکارهایی چون استفاده از چند لایه به جای یک لایه و مهم‌تر استفاده از پوشش‌های کم گسیل نیز وجود دارند که پنجره را از دید انتقال حرارت، کم آسیب‌تر کند. فایده دو یا چندجداره کردن در کاهش جریان حرارتی با کاهش ضریب انتقال حرارت و بهبود بخشی از طریق هدایت، همرفت و تشعشع است در حالی‌که این راهکار به تأمین دید و نور، لطمه‌ای نمی‌زند.

در این مطالعه تلاش شده است که عملکرد حرارتی شیشه با بیانی اثباتی تشریح و در کنار آن عنصر جدیدی بررسی شود که کاربرد پوشش کم‌گسیل را تضمین نماید. از این‌رو در میدان مطالعه، به شیشه‌های تک‌جداره، دوجداره‌ی ساده و دوجداره با پوشش کم‌گسیل در دو اقلیم سرد و گرم در چهار جهت مختلف جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) پرداخته شده است.

با بهره‌گیری از مدل‌سازی‌های متعدد در نرم‌افزاری معتبر، تلاش شده تا تأثیر استفاده از شیشه‌های دارای پوشش کم‌گسیل بر کاهش تبادل حرارت، در دو اقلیم حاد مشخص گردد و نتایج آن با عملکرد حرارتی شیشه‌های تک‌جداره و دوجداره‌ی ساده مقایسه گردد. در این مطالعه، نرم‌افزار انرژی پلاس[1] (نسخه ۵٫۰) برای شبیه‌سازی عملکرد حرارتی جدارهای نورگذر در ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، به منظور مقایسه اقدامات و اولویت‌بندی‌ها، صرفه‌جویی انرژی حاصل از هر کدام و هزینه لازم برای اجرای آنها مورد نظر قرار گرفته است تا بتوان زمان بازگشت سرمایه را مشخص نمود.

## پیشینه موضوع

در میان روش پژوهش‌های انجام شده، به بررسی عملکرد حرارتی شیشه‌ها با استفاده از دستگاه کالری‌متری سیارِ اندازه‌گیری خصوصیات حرارتی پنجره[2] می‌توان اشاره داشت. کلمز (Klems, 1984; 1987a; 1987b) از این دستگاه که در آزمایشگاه لارنس برکلی[3] ساخته شد، به منظور بررسی خصوصیات شیشه‌ها و اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت در شرایط واقعی استفاده کرد. او عملکرد حرارتی شیشه‌های تک‌جداره، دوجداره و شیشه‌های کم‌گسیل را در دو جبهه شمالی و جنوبی ارزیابی کرد. کلمز، به علت مشکلاتی که این دستگاه داشت (نداشتن قابلیت‌های لازم برای اندازه‌گیری شیشه‌هایی با مقاومت حرارتی زیاد - برای مثال ۷ تا ۱۰ برابر شیشه معمولی- و تعیین مقادیر کم ضریب بهره حرارت خورشیدی)، نتوانست به نتایج قابل توجهی برسد. اما در پژوهش دیگری در سال ۱۹۸۹، کلمز به مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت توسط دستگاه سیار و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و محاسبات عددی در نرم‌افزار رایانه‌ای ویندو[4] پرداخت و به پاسخ‌های مثبت و مفیدی رسید که اشری[5] برای محاسبات مربوط به سایه‌اندازی و تعیین ضرایب تقریبی[6] آنها را مورد استفاده قرار داد (ASHRAE, 2005). نتایج مطالعات، که بر روی چهار پنجره متفاوت صورت گرفت، نشان می‌داد که هر چه اختلاف بین مقدار ضریب انتقال هدایت قاب

پنجره و شیشه آن کمتر باشد، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، اندازه‌گیری توسط دستگاه سیار و محاسبات عددی به هم نزدیک‌تر است. اما در صورت بیشتر بودن ضریب انتقال حرارت قاب پنجره نسبت به ضریب انتقال حرارت شیشه، گرچه نتایج حاصل از محاسبات عددی و اندازه‌گیری توسط دستگاه سیار با هم مطابقت دارند، اما با نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی متفاوتند. در مطالعاتی دیگر، برآورد ضریب بهره خورشیدی محاسبه شد. از این میان می‌توان به پژوهش‌های کانمت، هاریسون و وندیرن اشاره کرد (Canmet - 1993, Harrison - 1994, Wonderen - 1995). در این پژوهش‌ها، دستگاه و اتاق‌های آزمایشی ساخته شد تا به کمک آنها، امکان اندازه‌گیری میزان ضریب بهره خورشیدی شیشه‌های مختلف در شرایط واقعی فراهم گردد. روش‌های پیشنهادی با نرم‌افزارهای موجود که قادر به محاسبه این کمیت هستند، مقایسه و نتایج قابل‌قبولی حاصل گردید. در مطالعه‌ی هاریسون، ضریب بهره خورشیدی برای برخی شیشه‌های پوشش‌دار[7] همراه با سایبان‌های کرکره‌ای محاسبه شده‌است.

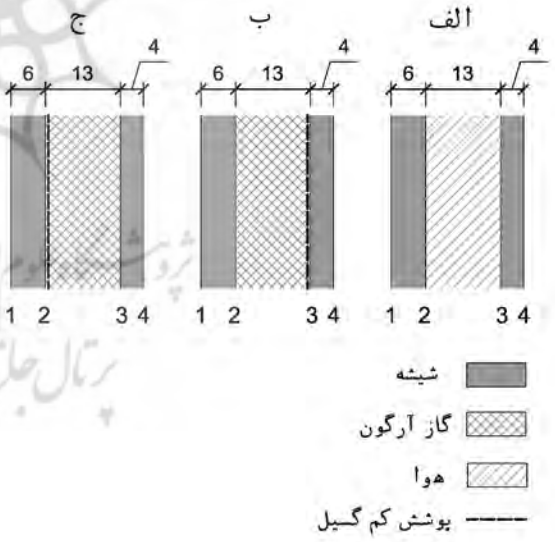
پیشرفت‌های اخیر در زمینه روش‌های شبیه‌سازی و ابزارهای محاسباتی، امکانات پیشرفته و جدیدی را فراهم نموده است. کلارک با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای، تأثیر سه نوع پنجره با شیشه دوجداره و پوشش کم‌گسیل را بر میزان مصرف انرژی سالانه یک ساختمان نمونه مورد بررسی و مقایسه قرار داد (Clarke, 1998, 231). در پژوهشی دیگر در اسپانیا، بارگرمایی حاصل از پنجره‌های گوناگون در ساختمان‌های مسکونی با سه روش محاسباتی مختلف برآورد گردید. در روش اول، محاسبات صرفاً بر اساس شرایط آب و هوایی خارج، در روش دوم محاسبات بر پایه شرایط خارجی و نوع ساختمان و در روش آخر، به کمک نرم‌افزارهای ترنسیس[8] و ویندوز مدل‌های مختلف شبیه‌سازی گردیدند (Urbikain, 2009, 687). با استفاده از نرم‌افزار ای‌کواِست[9]، میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاربرد فیلم‌های پوششی برای شیشه‌ها در دو ساختمان تجاری در کشور چین نیز برآورد گردید (Yin and Xu, 2012, 132).

در کشور ما، پیشینه پژوهشی در این زمینه بسیار محدود است زیرا کاربرد شیشه‌های کم‌گسیل گسترش چندانی نداشته‌است. از این رو لازم است تأثیر این نوع شیشه‌ها، بر کاهش تبادل حرارت، میزان مصرف انرژی ساختمان (بارگرمایی و سرمایی) و کاهش هزینه‌ها بررسی شود تا مشوق بهره‌گیری مناسب و اصولی از این‌گونه محصولات ساختمانی به وجود آید. با در نظر گرفتن تنوع اقلیمی ایران، انجام پژوهش‌های موردی و ارائه مناسب‌ترین راه‌حل‌های قابل استفاده، امری ضروری است.

## فرض‌های اولیه

جهت سو بخشیدن به مطالعه، دو شهر در دو اقلیم سرد و گرم انتخاب شدند. برای اقلیم سرد، شهر اردبیل و برای اقلیم گرم، شهر بندرعباس. ناگفته نماند که جهت بررسی دقیق‌تر، داده‌های خروجی مربوط به شهر اردبیل با یک شهر دیگر مقایسه شد و در تحلیل‌ها لحاظ گردید. دلیل این امر آن بود که شهر اردبیل، به عنوان منطقه خیلی خیلی سرد (با روزدرجات گرمایش بیش از ۴۰۰۰) محسوب نمی‌شود. لذا، این شرایط باید در مکان دیگری تأمین می‌شد و با در نظر گرفتن عدم مطابقت تمامی شهرهای سرد ایران با شرط تعیین‌شده، در بین شهرهایی با شرایط خیلی خیلی سرد، استکهلم در سوئد انتخاب شد.

محاسبات حاضر با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی و بر پایه داده‌های آب و هوایی ساعتی شهرهای مذکور (URL1, URL2) انجام شده است. برای داشتن سیری منطقی در مقاله، ابتدا به معرفی مشخصات حرارتی و نوری شیشه‌های مورد استفاده می‌پردازیم، تا در ادامه مدل مورد نظر را تشریح کنیم. شیشه‌های در نظر گرفته شده، برای هر دو شهر اردبیل و بندرعباس، دوجداره (تصویر ۱) با مشخصات حرارتی و نوری مطابق جدول ۱ می‌باشند. لازم به توضیح است مقادیر ارائه‌شده در جدول ۱ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر[10] اندازه‌گیری شده است. در تمامی مدل‌ها، فاصله




**تصویر ۱ - الف: شیشه دوجداره ساده،**
**ب: شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل روی سطح سوم (اردبیل)،**
**ج: شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل روی سطح دوم (بندرعباس).**

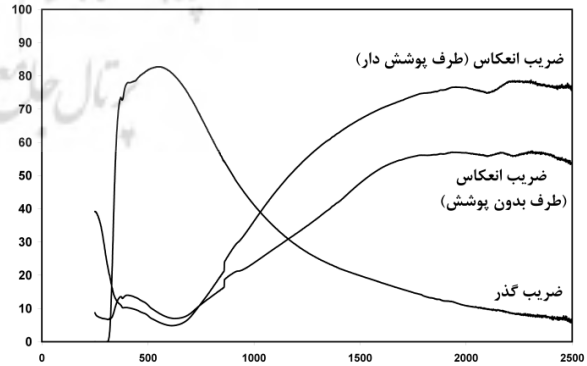
**جدول ۱- مشخصات حرارتی و نوری شیشه‌ها.**

| نوع شیشه | ضریب گذر نور مرئی[11] | ضریب گذر خورشیدی[12] | ضریب انعکاس نور مرئی[13] | | ضریب انعکاس خورشیدی[14] | | ضریب گسیل | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (طرف پوشش‌دار) | (طرف بی‌پوشش) | (طرف پوشش‌دار) | (طرف بی‌پوشش) | (طرف پوشش‌دار) | (طرف بی‌پوشش) |
| ساده | ۸۹،۸ | ۸۳،۷ | ۸،۱ | ۱۰،۰ | ۷،۵ | ۷،۵ | ۸۴ | ۸۴ |
| کم‌گسیل نوع ۱ | ۷۸،۵ | ۴۱،۴ | ۷،۸ | ۱۰،۴ | ۳۵،۵ | ۲۵،۱ | ۲۴ | ۸۴ |
| کم‌گسیل نوع ۲ | ۷۸،۵ | ۵۸،۹ | ۴،۳ | ۵،۳ | ۲۸،۸ | ۲۲،۹ | ۶،۶ | ۸۴ |

بین دو لایه را برابر با ۱۳ میلی‌متر، پُر شده با گاز، در نظر گرفته‌ایم.

ضخامت شیشه رو به فضای خارج شش میلی‌متر و ضخامت شیشه رو به فضای داخلی چهار میلی‌متر است. در شیشه‌های دوجداره با پوشش کم‌گسیل، فاصله بین دو شیشه با گاز آرگون پر شده است. این امر به دلیل تأثیر قابل توجه گاز آرگون در کاهش مصرف انرژی در شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل است، در حالی‌که در مورد شیشه دوجداره ساده، استفاده از گاز آرگون به‌جای هوا، تنها بین دو تا چهار درصد مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. در نتیجه، کاربرد گاز آرگون به جای هوا برای شیشه دوجداره‌ی ساده قابل توجیه نبوده و از آن استفاده نشده است. از طرفی دیگر، شبیه‌سازی در دو اقلیم سرد (اردبیل) و گرم (بندرعباس) انجام شده که با توجه به تفاوت اقلیمی، محل قرارگیری سطح پوشش‌دار، در شیشه دوجداره کم‌گسیل، برای هر کدام متفاوت است. در اردبیل، به منظور کاهش انتقال حرارت از داخل به خارج ساختمان، شیشه کم‌گسیل به گونه‌ای قرار می‌گیرد که سطح پوشش‌دار شیشه، سطح رو به خارج لایه داخلی (سومین سطح جدار نورگذر) باشد. اما، در بندرعباس، به منظور کنترل نور خورشید ورودی و محدودکردن انتقال حرارت به داخل ساختمان، دومین سطح جدار نورگذر (سطح رو به داخل لایه خارجی)، به‌عنوان سطح پوشش‌دار مد نظر است. به این ترتیب در انجام محاسبات مطابق تصویر۱، سه نوع جدار نورگذر تعریف شده‌اند: شیشه دوجداره ساده، شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل روی لایه سوم و شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل روی لایه دوم.

برای انجام محاسبات، دو نوع شیشه کم‌گسیل (نوع یک و نوع دو) مطابق مشخصات حرارتی و نوری ارائه شده در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفته است. شیشه کم‌گسیل نوع یک از تولیدات داخل کشور انتخاب شده و مشخصات نوری آن با دستگاه اسپکتروفوتومتر در بازه طول موج‌های بین ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شده‌است. تغییرات ضریب گذر و ضریب انعکاس این نوع شیشه در تصویر۲ نشان داده شده‌است. به منظور مقایسه عملکرد حرارتی این شیشه با تولیدات سایر کشورها، شیشه کم‌گسیل نوع دو نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت مقایسه در شرایط مشابه، شیشه کم‌گسیل نوع دو به‌گونه‌ای انتخاب شد که میزان گذر نور مرئی در هر دو شیشه یکسان باشد. در نوع کم‌گسیل یک، در مقایسه با نوع دو، میزان گذر خورشیدی کمتر، میزان انعکاس مرئی و خورشیدی بیشتر، و ضریب گسیل به‌طور قابل توجهی کمتر است.

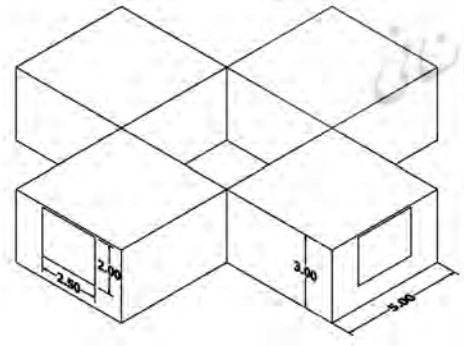



تصویر۲- ضرایب گذر و انعکاس (درصد) برحسب طول موج (نانومتر) شیشه کم‌گسیل نوع یک.

## مشخصات مدل ارائه شده

برای بررسی، مدلی از یک ساختمان فرضی با چهار منطقه حرارتی[15] به ابعاد ۵×۵ و ارتفاع ۳ متر تهیه شده و در هر منطقه حرارتی این مدل پنجره‌ای به عرض ۲٫۵ متر و ارتفاع ۲ متر با سطح کف پنجره ۰٫۹ متر، رو به یکی از جهات چهارگانه اصلی شمال، جنوب، شرق و غرب قرار داده شد (تصویر۳). در هر یک از مدل‌ها، مساحت پنجره ۲۰ درصد نما انتخاب گردید. مدل در تمامی جدارهای کدر دارای ضخامت ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد که از ۱۵ سانتی‌متر بتن و ۱۰ سانتی‌متر عایق حرارتی تشکیل شده‌است. مشخصات مصالح به کار رفته در جدارهای کدر در جدول ۲ ارائه شده‌است.

جدار نورگذر تعبیه شده در هر یک از مناطق حرارتی، به‌صورت پنجره‌ای ثابت و بدون قاب فرض شد تا تحلیل‌ها بر بخش نورگذر پنجره متمرکز گردد. مشخصات حرارتی و نوری هر یک از شیشه‌های مورد مطالعه، براساس مشخصات حرارتی و نوری شیشه‌ها، که در جدول ۱ آورده شده است، به جدارهای نورگذر نسبت داده و شبیه‌سازی عملکرد حرارتی شیشه‌ها در چهار جهت اصلی ساختمان به صورت مستقل انجام گردیده است.




تصویر ۳- هندسه مدل ارائه‌شده.

جدول ۲- مشخصات مصالح به‌کاررفته در جدارهای کدر.

| مصالح | ضخامت [m] | ضریب هدایت حرارتی (λ) [W/m.K] | وزن مخصوص خشک [kg/m³] | ظرفیت گرمایی [J/kg.K] |
|---|---|---|---|---|
| بتن مسلح | ۰/۱۵ | ۲/۳۰ | ۲۲۴۰ | ۹۰۰ |
| عایق حرارتی | ۰/۱۰ | ۰/۰۰۰۱ | ۱۶ | ۱۲۱۰ |

مأخذ: (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان)

## تعیین محدوده اوقات سرد و گرم سال در دو شهر اردبیل و بندرعباس

به‌منظور تعیین محدوده‌های سرد و گرم سال در دو شهر اردبیل و بندرعباس، و به تعبیر دیگر محدوده‌های نیاز به سیستم گرمایی یا سرمایی، میانگین دمای هوای روزانه و مرزهای آسایش حرارتی ساکنین، ملاک عمل قرار گرفت. در این تحقیق، محدوده آسایش حرارتی بین ۲۰ تا ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است، گرچه این فرض غلط است، اما فرض متداولی محسوب می‌گردد. به این ترتیب، اوقات سرد در شهر اردبیل زمانی است که متوسط روزانه دمای هوا کمتر از حد پایین آسایش حرارتی در زمستان (۲۰ درجه سلسیوس) باشد. این محدوده‌ی زمانی از ۵ مهر (۲۷ سپتامبر) آغاز و تا پایان اردیبهشت (۱۹ می) ادامه می‌یابد.

لازم به توضیح است که دماهای مبنای متفاوتی را می‌توان در مطالعات در نظر گرفت، ولی با توجه به این نکته که بررسی‌ها به صورت قیاسی انجام می‌گیرد، دمای مبنا، کمترین میزان مجاز در نظر گرفته شده است. در مورد بندرعباس، روزهایی از سال به عنوان روزهای گرم مشخص شده‌اند که متوسط دمای هوا از حد پایین آسایش حرارتی در تابستان (۲۴ درجه سلسیوس) بیشتر باشد. طبق این محاسبات، اوقات گرم بندرعباس از ۶ بهمن (۲۶ فوریه) آغاز و تا ۱۴ آذرماه (۵ دسامبر) ادامه می‌یابد.

## تحلیل نتایج شبیه‌سازی مدل‌های ارائه شده

بار گرمایی و سرمایی ناشی از نوع شیشه‌ی پنجره در ساختمان، حاصل جمع جبری بار حرارتی مربوط به تابش مستقیم و پراکنده خورشیدی و بار گرمایی یا سرمایی ناشی از انتقال حرارت به صورت هدایت از شیشه می‌باشد. انتقال حرارت به صورت هدایت از شیشه، بسته به دمای خارج و داخل، می‌تواند از داخل به خارج یا از خارج به داخل صورت گیرد. کسب یا دفع حرارت از طریق هدایت برای هر مترمربع جدار، با چشم‌پوشی از ظرفیت و ذخیره‌سازی گرمایی لایه‌های شیشه‌ها، با رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$Q_C = \Sigma U^* \Delta T^* \Delta t$$ رابطه ۱

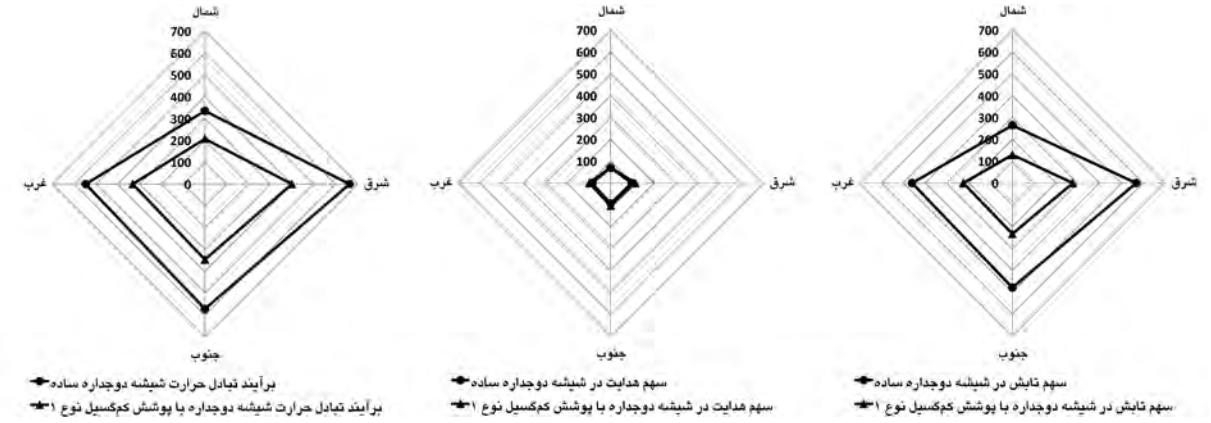
به این ترتیب برای هر مدل، در دو اقلیم سرد و گرم، سهم بار گرمایی و سرمایی (میزان کسب یا دفع حرارت) ناشی از هدایت، همرفت و تابش مستقیم و پراکنده خورشیدی مربوط به هر جدار نورگذر در چهار جهت اصلی جغرافیایی محاسبه شد. در جداول ۳ و ۴، نتایج این بخش از محاسبات آورده شده است. مقادیر مثبت نشان‌دهنده کسب حرارت (انتقال گرما از خارج به داخل) جدار نورگذر و مقادیر منفی نشان‌دهنده دفع حرارت (انتقال گرما از داخل به خارج) می‌باشد.

**جدول ۳- بار سرمایی جدار نورگذر در اقلیم گرم (بندرعباس) در اوقات گرم سال در چهار جهت اصلی ساختمان.**

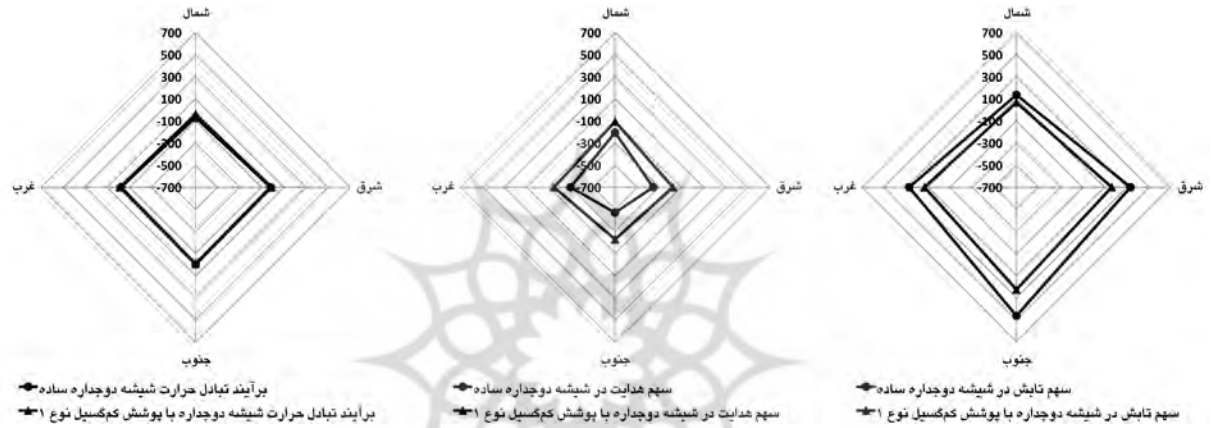
| جدار نورگذر | جهت جغرافیایی | سهم تابش | | | سهم هدایت [kWh /m²] | بار سرمایی کل [kWh /m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تابش مستقیم خورشیدی [kWh /m²] | تابش پراکنده خورشیدی [kWh /m²] | کل تابش خورشیدی [kWh /m²] | | |
| شیشه دوجداره ساده | جنوب | ۱۶۴٫۱ | ۳۱۴/۳ | ۴۷۸٫۴ | ۹۲٫۹ | ۵۷۱٫۳ |
| | شمال | ۵٫۳ | ۲۵۸٫۸ | ۲۶۴٫۲ | ۷۰٫۶ | ۳۳۴٫۸ |
| | شرق | ۲۱۳٫۴ | ۳۵۴٫۵ | ۵۶۷٫۹ | ۹۶٫۲ | ۶۶۴٫۱ |
| | غرب | ۱۵۳٫۸ | ۳۰۶٫۴ | ۴۶۰٫۲ | ۸۶٫۸ | ۵۴۷٫۰ |
| شیشه دوجداره کم‌گسیل (نوع ۱) | جنوب | ۷۹٫۱ | ۱۵۳٫۷ | ۲۳۲/۸ | ۱۱۲٫۶ | ۳۴۵٫۴ |
| | شمال | ۲٫۵ | ۱۲۶٫۵ | ۱۲۹٫۱ | ۷۸٫۲ | ۲۰۷٫۳ |
| | شرق | ۱۰۴٫۵ | ۱۷۳٫۳ | ۲۷۷٫۸ | ۱۲۱٫۵ | ۳۹۹٫۳ |
| | غرب | ۷۵٫۰ | ۱۴۹٫۸ | ۲۲۴٫۸ | ۱۰۶٫۰ | ۳۳۰٫۸ |

**جدول ۴- بار حرارتی جدار نورگذر در اقلیم سرد (اردبیل) در اوقات سرد سال در چهار جهت اصلی ساختمان.**

| جدار نورگذر | جهت جغرافیایی | سهم تابش | | | سهم هدایت [kWh /m²] | بار گرمایی کل [kWh /m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تابش مستقیم خورشیدی [kWh /m²] | تابش پراکنده خورشیدی [kWh /m²] | کل تابش خورشیدی [kWh /m²] | | |
| شیشه دوجداره ساده | جنوب | ۲۶۴٫۲ | ۱۹۸٫۹ | ۴۶۳٫۱ | -۴۷۰٫۴ | -۷٫۳ |
| | شمال | ۱٫۱ | ۱۳۵٫۰ | ۱۳۶٫۱ | -۲۰۵٫۵ | -۶۹٫۴ |
| | شرق | ۱۵۵٫۹ | ۱۷۸٫۰ | ۳۳۳٫۹ | -۳۵۴٫۵ | -۲۰٫۶ |
| | غرب | ۱۱۰٫۹ | ۱۶۰٫۶ | ۲۷۱٫۵ | -۲۹۵٫۷ | -۲۴٫۲ |
| شیشه دوجداره کم‌گسیل (نوع ۱) | جنوب | ۱۲۸٫۵ | ۹۷٫۲ | ۲۲۵٫۷ | -۲۲۸٫۶ | -۲٫۹ |
| | شمال | ۰٫۵ | ۶۶٫۰ | ۶۶٫۵ | -۱۰۶٫۲ | -۳۹٫۷ |
| | شرق | ۷۶٫۴ | ۸۷٫۰ | ۱۶۳٫۴ | -۱۷۵٫۱ | -۱۱٫۷ |
| | غرب | ۵۴٫۱ | ۷۸٫۵ | ۱۳۲٫۶ | -۱۴۶٫۸ | -۱۴٫۲ |




**تصویر۴- بارهای سرمایی (تفکیکی و کل) جدار نورگذر در اقلیم گرم (بندرعباس) در اوقات گرم سال در چهار جهت اصلی ساختمان در حالت‌های با شیشه ساده و کم‌گسیل نوع یک (کیلووات ساعت بر مترمربع).**




**تصویر۵- بارهای گرمایی (تفکیکی و کل) جدار نورگذر در اقلیم سرد (اردبیل) در اوقات سرد سال در چهار جهت اصلی ساختمان در حالت‌های با شیشه ساده و کم‌گسیل نوع یک (کیلووات ساعت بر مترمربع).**

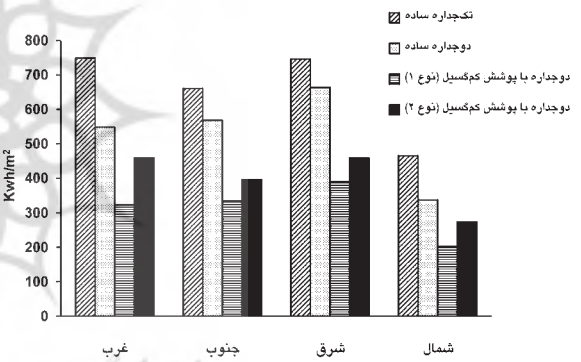
آنچه در عملکرد مناسب جدارهای نورگذر در مناطق گرمسیر حائز اهمیت است، محدود کردن عبور انرژی خورشیدی در محدوده فروسرخ نزدیک[۱۶] (بین ۷۶۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) است، بدون این‌که این امر با کاهش عبور تابش مرئی همراه باشد. اثربخشی این اقدام زمانی بیشتر می‌شود که با کاهش ضریب گسیل شیشه همراه باشد. در تصویر ۴ دیده می‌شود که در شهر بندرعباس و در اوقات گرم سال، بخش اعظم انتقال حرارت از شیشه مربوط به تابش خورشیدی دریافتی است و در مقایسه با آن، کسب حرارت از طریق هدایت از شیشه سهم اندکی دارد. با کاربرد پوشش کم‌گسیل روی سطح دوم شیشه در این اقلیم، بار سرمایی در تمامی جهات جغرافیایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. جدول ۳ و تصویر ۴ نشان می‌دهند که در شهر بندرعباس و در اوقات گرم سال، بیشترین میزان کاهش بار سرمایی حاصل از کاربرد شیشه‌های کم‌گسیل در جدارهای نورگذر، به ترتیب مربوط به نمای شمالی، غربی، جنوبی، و شرقی است. براساس فرضیه‌های درنظر گرفته شده، نتایج نشان می‌دهند که در شهر بندرعباس، در صورت کاربرد شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل روی سطح دوم، در مقایسه با شیشه دوجداره ساده، سهم بار سرمایی جدار نورگذر در تمامی جهات جغرافیایی حدود چهل و یک درصد کاهش می‌یابد. به‌منظور مقایسه عملکرد شیشه تک‌جداره، دوجداره ساده، دوجداره با پوشش کم‌گسیل نوع یک و نوع دو، بارهای سرمایی هر حالت نشان داده شده است.

با توجه به تصویر۶ مشاهده می‌شود که علیرغم کم بودن ضریب گسیلندگی شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل نوع دو نسبت به نوع یک، بار سرمایی آن بیشتر است. این امر به دلیل بیشتر بودن ضریب گذر تابش فروسرخ نزدیک و کمتر بودن ضریب انعکاس آن می‌باشد. در شهر اردبیل، در اوقات سرد سال، اثربخشی انواع مختلف شیشه‌ها در نماهای مختلف متفاوت است. بیشترین انتقال حرارت از شیشه‌های نمای شمالی صورت می‌گیرد و کاربرد شیشه‌های دوجداره ساده و با پوشش کم‌گسیل، در مقایسه با شیشه‌های ساده تک‌جداره، تأثیر چشمگیری بر عملکرد آنها دارد. این اثربخشی در نمای جنوبی، با توجه به بهره‌خورشیدی زیادی که در ماه‌های سرد سال کسب می‌شود، به حداقل می‌رسد. نماهای شرقی و غربی عملکردی بینابین دارند.

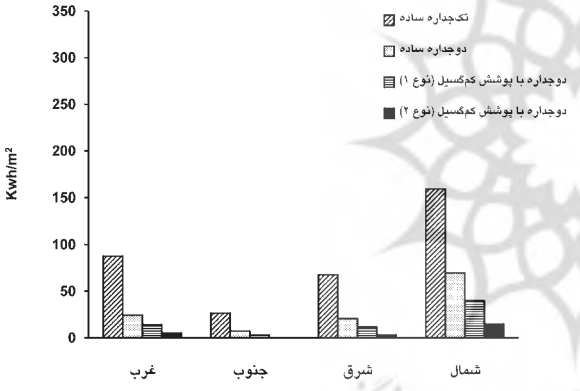
با بررسی نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ و تصویر ۵، مشاهده می‌شود که گرچه کاربرد شیشه دوجداره کم‌گسیل (نوع ۱) به جای شیشه دوجداره ساده، باعث کاهش بار حرارتی تا ۴۰ درصد می‌شود، اما با توجه به مقدار بار حرارتی اندک در اوقات سرد سال

در این اقلیم، که ناشی از کسب حرارت زیاد به‌صورت تابش است، کاربرد شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل، تأثیر چشمگیری بر کاهش بار گرمایی نمی‌گذارد. در تصویر۷، میزان بار حرارتی ناشی از کاربرد شیشه‌های تک‌جداره، دوجداره ساده و کم‌گسیل نوع یک و دو نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چند کاهش بار حرارتی شیشه دوجداره نسبت به شیشه تک‌جداره قابل‌توجه و حدود ۷۰ درصد برای جبهه‌های غرب، شرق و جنوب و ۵۶ درصد برای جبهه شمال می‌باشد، ولی اگر میزان کاهش مطلق انرژی ملاک عمل قرار گیرد، بیشترین تأثیر پوشش‌های کم‌گسیل در نماهای شمالی و سپس غربی مشاهده می‌شود. در مقایسه با عملکرد حرارتی شیشه‌ها در مناطق گرمسیر، با وجود این که کاربرد شیشه کم‌گسیل از نوع دو می‌تواند تا ۸۰ درصد نسبت به شیشه دوجداره ساده، بار حرارتی را در شهر اردبیل کاهش دهد، اما با توجه به کسب حرارت از طریق تابش در این اقلیم، شیشه دوجداره ساده دارای توجیه فنی و اقتصادی بسیار قوی‌تری است و تنها در نمای شمالی می‌توان کاربرد شیشه کم‌گسیل را توصیه کرد. در تصاویر ۸ و ۹، دمای خارج و دمای فضای داخل برای چهار جهت اصلی جغرافیایی نشان داده شده‌است. همان‌طور که دیده می‌شود، در صورت استفاده از شیشه دوجداره ساده، به‌جای شیشه تک‌جداره ساده، دمای فضای داخل، برای تمامی جبهه‌ها، تا حدود ۱۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد، که البته این مشکل با افزایش میزان تعویض هوا (بهره‌گیری از تهویه طبیعی و خصوصاً تهویه شبانه) و کاربرد سایبان قابل حل می‌باشد.

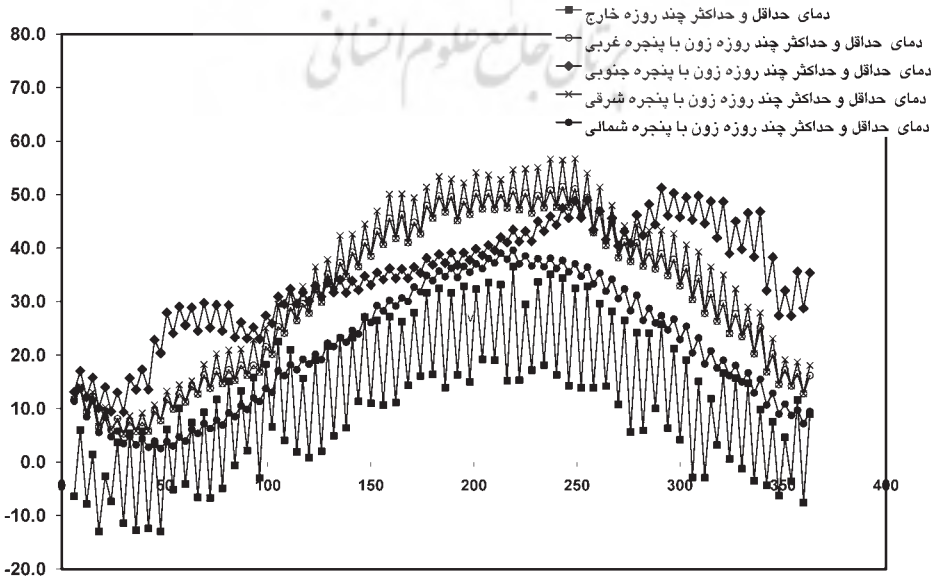
همانگونه که گفته شد، به‌منظور بررسی دقیق‌تر، این محاسبات برای یکی از شهرهای سوئد (استکهلم) نیز انجام‌شده است. این شهر، شرایط خیلی خیلی سرد را در آمار اقلیمی سالانه خود دارد. نتایج چنین بررسی نشان می‌دهد که با توجه به کسب حرارت کم از طریق تابش خورشیدی (تصویر۱۰)، بار حرارتی شیشه‌ها نسبت به شهر اردبیل افزایش قابل توجهی می‌یابد و استفاده از شیشه‌های با پوشش کم‌گسیل می‌تواند میزان مصرف انرژی را به‌طور چشمگیری کاهش دهد (تصویر۱۱). در جدول ۵، میزان کاهش مصرف انرژی، در صورت کاربرد شیشه دوجداره ساده، به‌جای شیشه تک‌جداره و شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل، به جای شیشه دوجداره ساده، در چهار جهت جغرافیایی نشان داده شده است.



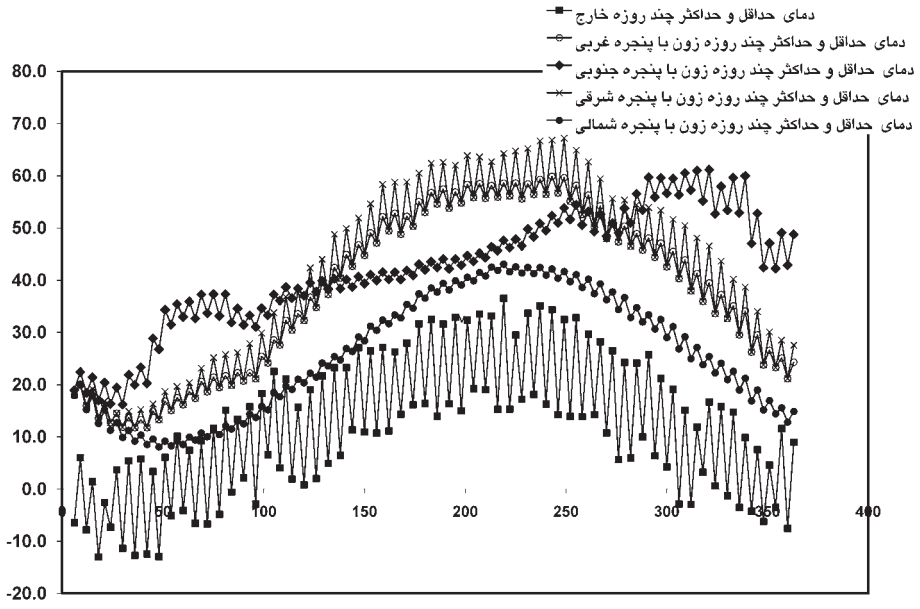

**تصویر۶ - بار سرمایی شیشه‌های موردمطالعه در بندرعباس در اوقات گرم سال در چهار جهت اصلی ساختمان.**



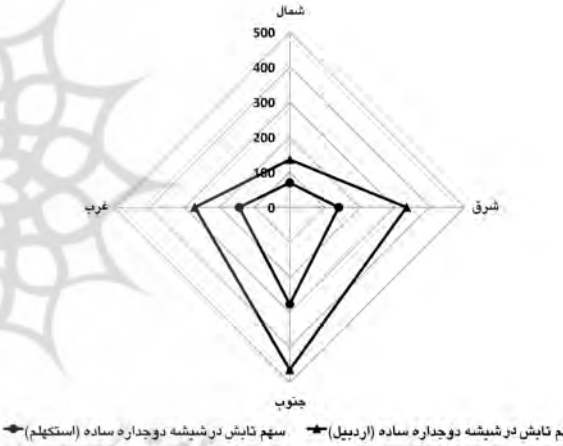

**تصویر۷- بار حرارتی شیشه‌های موردمطالعه در اردبیل در اوقات سرد سال در چهار جهت اصلی ساختمان.**



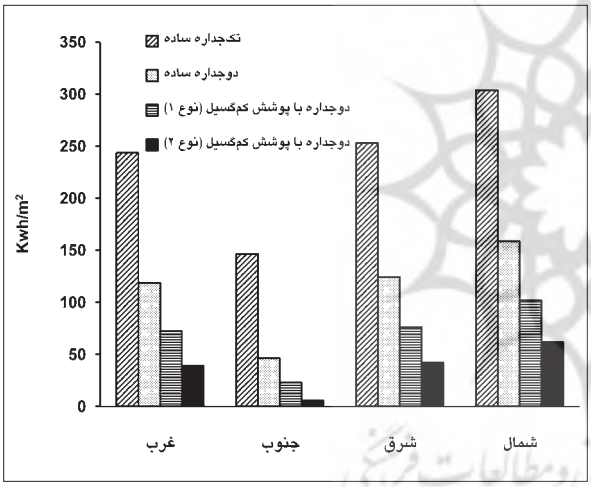

**تصویر۸- دمای (حداقل و حداکثر) هوای خارج و داخل فضای بدون تهویه، در صورت کاربرد شیشه تک‌جداره ساده در چهار جهت اصلی ساختمان در شهر اردبیل.**




**تصویر۹- دمای (حداقل و حداکثر) هوای خارج و داخل فضای بدون تهویه، در صورت کاربرد شیشه دوجداره ساده در چهار جهت اصلی ساختمان در شهر اردبیل.**




**تصویر۱۰- مقایسه کل تابش خورشیدی کسب‌شده از شیشه دوجداره ساده، در اوقات سرد سال، در چهار جهت اصلی ساختمان (اردبیل و استکهلم، کیلووات ساعت بر مترمربع).**




**تصویر۱۱- بار حرارتی شیشه‌های موردمطالعه در استکهلم در اوقات سرد سال در چهار جهت اصلی ساختمان.**

**جدول ۵- میزان کاهش مصرف انرژی مربوط به شیشه دوجداره ساده و کم‌گسیل در اوقات سرد سال در استکهلم.**

| نوع شیشه | غرب | جنوب | شرق | شمال |
|---|---|---|---|---|
| شیشه دوجداره ساده (نسبت به شیشه تک‌جداره ساده) | ٪۵۱ | ٪۶۸ | ٪۵۱ | ٪۴۸ |
| شیشه دوجداره کم‌گسیل (نوع۱) (نسبت به شیشه دوجداره ساده) | ٪۳۹ | ٪۵۱ | ٪۳۹ | ٪۳۶ |
| شیشه دوجداره کم‌گسیل (نوع۲) (نسبت به شیشه دوجداره ساده) | ٪۶۷ | ٪۸۸ | ٪۶۶ | ٪۶۱ |

## تحلیل نتایج اقتصادی

به منظور بررسی صرفه و صلاح اقتصادی، لازم است هم صرفه‌جویی در مبلغ انرژی و هم هزینه لازم برای انجام اقدامات ممیزی و اجرایی مورد نظر و مقایسه قرار گیرند. معیار «زمان بازگشت سرمایه»، این دو موضوع را پوشش می‌دهد. از این‌رو، باید قیمت حامل‌های انرژی مورد استفاده در اقلیم‌های موردنظر و قیمت عناصر معماری مورد نیاز تعیین گردد، تا بتوان زمان بازگشت سرمایه را مشخص کرد.

حامل‌های انرژی مورد استفاده در اقلیم‌های بررسی‌شده، به‌طور عمده، برق و گاز طبیعی است. در اردبیل، که نیاز اصلی گرمایش است و از طریق سوخت گاز طبیعی تأمین می‌شود، می‌توان گاز طبیعی را انرژی اصلی مورد استفاده به حساب آورد. در بندرعباس که نیاز سرمایی به طور عمده از طریق سیستم‌های

تراکمی تأمین می‌شود، بخش اعظم انرژی مصرفی برق است.

به نسبت تعرفه گاز در کشور، مربوط به سال پایه ۱۳۹۰، نرخ گاز طبیعی، برای دامنه‌های مصرف پایه، به ازای هر مترمکعب ۷۰۰ ریال اعلام شده است که معادل ۶۶٫۶ ریال به ازای هر کیلووات‌ساعت می‌شود. در جدول ۶، قیمت هر مترمکعب گاز برای دامنه‌های مصارف گوناگون نشان داده شده است.

تعرفه برق در کشور، مربوط به سال پایه ۱۳۹۰ مورد استناد است. مطابق اعلام وزارت نیرو برای مناطق خانگی، شهر بندرعباس از محدوده‌های تحت پوشش مناطق گرمسیر یک می‌باشد و دوره زمانی تعیین‌شده برای اوقات گرم با توجه به متوسط میزان رطوبت و دما طی سه سال گذشته، از اول فروردین تا پایان آذرماه در نظر گرفته شده است. نرخ متوسط عرضه برق، برای مصارف خانگی مناطق گرمسیر۱ در ماه‌های گرم سال، ۱۱۲ریال به ازای هر کیلووات ساعت می‌باشد. در جدول ۷ مشخص شده است.

**جدول ۶- قیمت هر مترمکعب گاز برای دامنه‌های مصارف گوناگون.**

| پله | دامنه مصارف | قیمت هر متر گاز (ریال) |
|---|---|---|
| ۱ | از ۰ تا ۴۵ | ۷۰۰ |
| ۲ | از ۴۶ تا ۹۵ | ۹۰۰ |
| ۳ | از ۹۶ تا ۱۴۵ | ۱۲۰۰ |
| ۴ | از ۱۴۶ تا ۱۹۵ | ۱۶۰۰ |
| ۵ | از ۱۹۶ تا ۲۴۵ | ۲۰۰۰ |
| ۶ | از ۲۴۶ تا ۲۹۵ | ۲۲۰۰ |
| ۷ | از ۲۹۶ تا ۳۴۵ | ۲۵۰۰ |
| ۸ | از ۳۴۶ تا ۳۹۵ | ۲۸۰۰ |
| ۹ | از ۳۹۶ تا ۴۴۵ | ۳۰۰۰ |
| ۱۰ | از ۴۴۶ تا ۴۹۵ | ۳۲۰۰ |
| ۱۱ | از ۴۹۶ تا ۵۴۵ | ۳۴۰۰ |
| ۱۲ | مازاد بر ۵۴۵ | ۳۵۰۰ |

**ماخذ: (www.nigc-khrz.ir)**

**جدول ۷- تعرفه خانگی ماه‌های گرم مناطق گرمسیر۱.**

| متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه) | قیمت پایه هر کیلووات ساعت (ریال) | دهک‌های مصرف |
|---|---|---|
| ۰ تا ۱۰۰۰ | ۱۰۰ | ۱ الی ۷ |
| مازاد بر ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ | ۱۱۰ | ۸ و ۹ |
| مازاد بر ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ | ۱۲۰ | ۱۰ |
| مازاد بر ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰ |
| مازاد بر ۳۵۰۰ تا ۴۵۰۰ | ۹۵۰ | ۱۰ |
| مازاد بر ۴۵۰۰ تا ۶۰۰۰ | ۱۱۵۰ | ۱۰ |
| مازاد بر ۶۰۰۰ | ۱۳۵۰ | ۱۰ |
| متوسط نرخ | ۱۱۲ | |

**ماخذ: (www.moe.gov.ir)**

**جدول ۸ - محاسبه اختلاف هزینه تهیه شیشه دوجداره کم‌گسیل نسبت به شیشه دوجداره ساده.**

| نوع شیشه | واحد | بهای استعلام‌شده تهیه شیشه (ریال) |
|---|---|---|
| شیشه دوجداره کم‌گسیل | مترمربع | ۴۸۰٫۰۰۰ |
| شیشه دوجداره ساده | مترمربع | ۳۹۰٫۰۰۰ |
| | اختلاف هزینه | ۹۰٫۰۰۰ |

به منظور برآورد هزینه نصب شیشه دو جداره ساده و کم‌گسیل، قیمت‌های استعلام‌شده تهیه شیشه دو جداره ساده و کم‌گسیل از کارخانجات تولیدکننده، ملاک عمل قرار گرفت. این محاسبات با فرض ثابت بودن هزینه پنجره و هزینه نصب پنجره و شیشه صورت گرفت. در جدول ۸، برآورد اختلاف هزینه اجرای پنجره با شیشه دوجداره نسبت به پنجره با شیشه دوجداره ساده نشان داده شده است.

در جداول ۹ و۱۰، زمان بازگشت سرمایه استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل به جای شیشه دوجداره ساده برای شهر بندرعباس و شهر اردبیل محاسبه شده است.

مطابق جداول ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، زمان بازگشت سرمایه استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل به جای شیشه دوجداره ساده در شهر بندرعباس به مراتب کم‌تر از زمان بازگشت سرمایه برای شهر اردبیل است.

**جدول ۹- محاسبه زمان بازگشت سرمایه استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل به جای شیشه دوجداره ساده (شهر بندرعباس).**

| جهت قرارگیری جدار نورگذر | بار سرمایی شیشه دوجداره ساده [kWh/m²] | بار سرمایی شیشه دوجداره کم‌گسیل [kWh/m²] | کاهش بار سرمایی [kWh/m²] | قیمت پایه هر کیلووات ساعت انرژی (ریال) | راندمان سیستم سرمایی | اختلاف هزینه تعویض شیشه (ریال) | صرفه‌جویی سالانه | زمان بازگشت سرمایه (سال) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جنوب | ۵۷۱/۳۹ | ۳۴۵/۴۴ | ۲۲۶ | ۱۰۰ | | | ۲۸۹۶۷/۹ | ۳/۱ |
| | | | | ۱۱۰ | | | ۳۱۸۶۴/۷ | ۲/۸ |
| | | | | ۱۲۰ | | | ۳۴۷۶۱/۵ | ۲/۶ |
| | | | | ۵۰۰ | | | ۱۴۴۸۳۹/۷ | ۰/۶ |
| | | | | ۹۵۰ | | | ۲۷۵۱۹۵/۵ | ۰/۳ |
| | | | | ۱۱۵۰ | | | ۳۳۳۱۳۱/۴ | ۰/۳ |
| | | | | ۱۳۵۰ | | | ۳۹۱۰۶۷/۳ | ۰/۲ |
| شمال | ۳۳۴/۸۸ | ۲۰۷/۳۸ | ۱۲۷/۵ | ۱۰۰ | | | ۱۶۳۴۶/۲ | ۵/۵ |
| | | | | ۱۱۰ | | | ۱۷۹۸۰/۸ | ۵/۰ |
| | | | | ۱۲۰ | | | ۱۹۶۱۵/۴ | ۴/۶ |
| | | | | ۵۰۰ | | | ۸۱۷۳۰/۸ | ۱/۱ |
| | | | | ۹۵۰ | ٪۷۸ | ۹۰۰۰۰ | ۱۵۵۲۸۸/۵ | ۰/۶ |
| | | | | ۱۱۵۰ | | | ۱۸۷۹۸۰/۸ | ۰/۵ |
| | | | | ۱۳۵۰ | | | ۲۲۰۶۷۳/۱ | ۰/۴ |
| شرق | ۶۶۴/۱۵ | ۳۹۹/۳۶ | ۲۶۴/۸ | ۱۰۰ | | | ۳۳۹۴۷/۴ | ۲/۷ |
| | | | | ۱۱۰ | | | ۳۷۳۴۲/۲ | ۲/۴ |
| | | | | ۱۲۰ | | | ۴۰۷۳۶/۹ | ۲/۲ |
| | | | | ۵۰۰ | | | ۱۶۹۷۳۷/۲ | ۰/۵ |
| | | | | ۹۵۰ | | | ۳۲۲۵۰۰/۶ | ۰/۳ |
| | | | | ۱۱۵۰ | | | ۳۹۰۳۹۵/۵ | ۰/۲ |
| | | | | ۱۳۵۰ | | | ۴۵۸۲۹۰/۴ | ۰/۲ |
| غرب | ۵۴۷/۱۲ | ۳۳۰/۸۳ | ۲۱۶/۳ | ۱۰۰ | | | ۲۷۷۲۹/۵ | ۳/۲ |
| | | | | ۱۱۰ | | | ۳۰۵۰۲/۴ | ۳/۰ |
| | | | | ۱۲۰ | | | ۳۳۲۷۵/۴ | ۲/۷ |
| | | | | ۵۰۰ | | | ۱۳۸۶۴۷/۴ | ۰/۶ |
| | | | | ۹۵۰ | | | ۲۶۳۴۳۰/۱ | ۰/۳ |
| | | | | ۱۱۵۰ | | | ۳۱۸۸۸۹/۱ | ۰/۳ |
| | | | | ۱۳۵۰ | | | ۳۷۴۳۴۸/۱ | ۰/۲ |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**جدول ۱۰- محاسبه زمان بازگشت سرمایه استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل به جای شیشه دوجداره ساده (شهر اردبیل).**

| جهت قرارگیری جدار نورگذر | بار گرمایی شیشه دوجداره ساده [kWh /m$^2$] | بار گرمایی شیشه دوجداره کم‌گسیل [kWh /m$^2$] | کاهش بار گرمایی [kWh /m$^2$] | قیمت پایه هر کیلووات ساعت انرژی (ریال) | راندمان سیستم گرمایی | اختلاف هزینه تعویض شیشه (ریال) | صرفه‌جویی سالانه | زمان بازگشت سرمایه (سال) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جنوب | ۷/۲۱ | ۲/۷۹ | ۴/۴۲ | ۶۶/۶۶ | ٪۷۰ | ۹۰۰۰۰ | ۴۲۱/۰ | ۲۱۳/۸ |
| | | | | ۸۵/۷۱ | | | ۵۴۱/۲ | ۱۶۶/۳ |
| | | | | ۱۱۴/۲۹ | | | ۷۲۱/۶ | ۱۲۴/۷ |
| | | | | ۱۵۲/۳۸ | | | ۹۶۲/۲ | ۹۳/۵ |
| | | | | ۱۹۰/۴۸ | | | ۱۲۰۲/۷ | ۷۴/۸ |
| | | | | ۲۰۹/۵۲ | | | ۱۳۲۳/۰ | ۶۸/۰ |
| | | | | ۲۳۸/۱۰ | | | ۱۵۰۳/۴ | ۵۹/۹ |
| | | | | ۲۶۶/۶۷ | | | ۱۶۸۳/۸ | ۵۳/۵ |
| | | | | ۲۸۵/۷۱ | | | ۱۸۰۴/۱ | ۴۹/۹ |
| | | | | ۳۰۴/۷۶ | | | ۱۹۲۴/۴ | ۴۶/۸ |
| | | | | ۳۲۳/۸۱ | | | ۲۰۴۴/۶ | ۴۴/۰ |
| | | | | ۳۳۳/۳۳ | | | ۲۱۰۴/۸ | ۴۲/۸ |
| شمال | ۶۹/۴۱ | ۳۹/۷ | ۲۹/۷۱ | ۶۶/۶۶ | | | ۲۸۲۹/۵ | ۳۱/۸ |
| | | | | ۸۵/۷۱ | | | ۳۶۳۸/۰ | ۲۴/۷ |
| | | | | ۱۱۴/۲۹ | | | ۴۸۵۰/۶ | ۱۸/۶ |
| | | | | ۱۵۲/۳۸ | | | ۶۴۶۷/۵ | ۱۳/۹ |
| | | | | ۱۹۰/۴۸ | | | ۸۰۸۴/۴ | ۱۱/۱ |
| | | | | ۲۰۹/۵۲ | | | ۸۸۹۲/۸ | ۱۰/۱ |
| | | | | ۲۳۸/۱۰ | | | ۱۰۱۰۵/۴ | ۸/۹ |
| | | | | ۲۶۶/۶۷ | | | ۱۱۳۱۸/۱ | ۸/۰ |
| | | | | ۲۸۵/۷۱ | | | ۱۲۱۲۶/۵ | ۷/۴ |
| | | | | ۳۰۴/۷۶ | | | ۱۲۹۳۵/۰ | ۷/۰ |
| | | | | ۳۲۳/۸۱ | | | ۱۳۷۴۳/۴ | ۶/۵ |
| | | | | ۳۳۳/۳۳ | | | ۱۴۱۴۷/۶ | ۶/۴ |
| شرق | ۲۰/۴۹ | ۱۱/۵۸ | ۸/۹۱ | ۶۶/۶۶ | | | ۸۴۸/۶ | ۱۰۶/۱ |
| | | | | ۸۵/۷۱ | | | ۱۰۹۱/۰ | ۸۲/۵ |
| | | | | ۱۱۴/۲۹ | | | ۱۴۵۴/۷ | ۶۱/۹ |
| | | | | ۱۵۲/۳۸ | | | ۱۹۳۹/۶ | ۴۶/۴ |
| | | | | ۱۹۰/۴۸ | | | ۲۴۲۴/۵ | ۳۷/۱ |
| | | | | ۲۰۹/۵۲ | | | ۲۶۶۶/۹ | ۳۳/۷ |
| | | | | ۲۳۸/۱۰ | | | ۳۰۳۰/۶ | ۲۹/۷ |
| | | | | ۲۶۶/۶۷ | | | ۳۳۹۴/۳ | ۲۶/۵ |
| | | | | ۲۸۵/۷۱ | | | ۳۶۳۶/۷ | ۲۴/۷ |
| | | | | ۳۰۴/۷۶ | | | ۳۸۷۹/۲ | ۲۳/۲ |
| | | | | ۳۲۳/۸۱ | | | ۴۱۲۱/۶ | ۲۱/۸ |
| | | | | ۳۳۳/۳۳ | | | ۴۲۴۲/۹ | ۲۱/۲ |
| غرب | ۲۴/۱۶ | ۱۴/۱۱ | ۱۰/۰۵ | ۶۶/۶۶ | | | ۹۵۷/۱ | ۹۴/۰ |
| | | | | ۸۵/۷۱ | | | ۱۲۳۰/۶ | ۷۳/۱ |
| | | | | ۱۱۴/۲۹ | | | ۱۶۴۰/۸ | ۵۴/۹ |
| | | | | ۱۵۲/۳۸ | | | ۲۱۸۷/۸ | ۴۱/۱ |
| | | | | ۱۹۰/۴۸ | | | ۲۷۳۴/۷ | ۳۲/۹ |
| | | | | ۲۰۹/۵۲ | | | ۳۰۰۸/۲ | ۲۹/۹ |
| | | | | ۲۳۸/۱۰ | | | ۳۴۱۸/۴ | ۲۶/۳ |
| | | | | ۲۶۶/۶۷ | | | ۳۸۲۸/۶ | ۲۳/۵ |
| | | | | ۲۸۵/۷۱ | | | ۴۱۰۲/۰ | ۲۱/۹ |
| | | | | ۳۰۴/۷۶ | | | ۴۳۷۵/۵ | ۲۰/۶ |
| | | | | ۳۲۳/۸۱ | | | ۴۶۴۹/۰ | ۱۹/۴ |
| | | | | ۳۳۳/۳۳ | | | ۴۷۸۵/۷ | ۱۸/۸ |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## نتیجه

همان‌طور که در تحلیل نتایج مشاهده می‌شود، اثربخشی کاربرد پوشش‌های کم‌گسیل در شرایط آب‌وهوایی سرد و گرم به‌هیچ وجه یکسان نیست، و به عوامل متعددی وابسته است. در مناطق گرم و مرطوب نظیر بندرعباس، زمان بازگشت سرمایه استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل، به‌جای شیشه دوجداره ساده، به مراتب کم‌تر از زمان بازگشت سرمایه برای شهر اردبیل می‌باشد. دلیل این امر، بالا بودن میزان دریافت انرژی خورشیدی، در اوقات سرد سال، در شهر اردبیل است، که بار حرارتی را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. در نتیجه، در مورد شهر اردبیل، هر چند کاربرد شیشه دوجداره با پوشش کم‌گسیل میزان مصرف انرژی را برای شیشه باگسیلندگی کم، تا ۴۰ درصد و برای شیشه باگسیلندگی خیلی کم تا ۷۰ درصد کاهش می‌دهد، اما با توجه به میزان بالای بهره خورشیدی، و به تبع آن کاهش نیاز گرمایی سالانه، پوشش کم‌گسیل در این اقلیم فاقد توجیه اقتصادی قوی می‌باشد. البته، لازم به توضیح است که کاربرد این نوع شیشه‌های کم‌گسیل دوجداره در شهرهای سردسیر با بهره‌خورشیدی کم، نظیر شهر استکهلم، می‌تواند زمان بازگشت سرمایه کوتاه‌تر و توجیه اقتصادی قوی‌تری را به‌همراه داشته باشد.

در شهر بندرعباس، کمترین میزان زمان بازگشت سرمایه مربوط به استفاده از شیشه دوجداره کم‌گسیل در جبهه شرقی بنا می‌باشد و جبهه‌های جنوبی، غربی و شمالی، به ترتیب، در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

با توجه به محاسبات انجام‌شده، کاربرد شیشه دوجداره کم‌گسیل در اقلیم‌های با شرایط تابستانی خیلی گرم و مرطوب، نظیر بندرعباس، که در اکثر موارد از انرژی الکتریکی برای سرمایش استفاده می‌شود، توجیه اقتصادی بالایی دارد. در اقلیم‌های سرد کشور نظیر اردبیل و تبریز، با توجه به مقدار زیاد تابش، زمان بازگشت سرمایه قابل توجه است، و در شرایط فعلی، با در نظر گرفتن قیمت‌های گاز، زمان بازگشت سرمایه طولانی دارد و قابل توصیه نیست. بدیهی است در صورت بالا رفتن قیمت حامل‌های انرژی، این اقدام توجیه قوی‌تری خواهد یافت.

### علایم ، نشانه‌ها

| | |
|---|---|
| $Q_C$ | کسب یا دفع حرارت از طریق هدایت [W] |
| U | کسب یا دفع حرارت از طریق هدایت [W] |
| $\Delta T$ | اختلاف دما [K] |
| $\Delta t$ | زمان [h] |

### پی‌نوشت‌ها

1 Energy Plus.
2 Mobile Window Thermal Test (MoWiTT).
3 Lawrence Berkeley Laboratory.
4 WINDOW.
5 ASHRAE.
6 Approximate Multipliers.
7 Heat-Absorbing Insulated Glazing Units (IGUs), Reflective Film and Suspended Film IGUs.
8 Trnsys.
9 e-Quest.
10 Spectrophotometer.
11 Visible Transmittance.
12 Solar Transmittance.
13 Visible Reflectance.
14 Solar Reflectance.
15 Thermal Zone.
16 Near InfraRed.

### فهرست منابع

شرکت گاز استان خراسان رضوی، www.nigc-khrz.ir، ۹۲/۱۰/۲۰
پرتال وزارت نیرو، www.moe.gov.ir، ۹۲/۱۰/۲۰

*ASHRAE Handbook* (2005), Atlanta, Ga., American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

CANMET (1993), The Determination of Fenestration Solar Heat Gain Coefficient Using Simulated Solar Irradiance, Report prepared for *Natural Resources*, Canada, The Solar Calorimetry Laboratory, Queen's University, Kingston, Ontario.

Clarke, J.A; Janak, M and Ruyssevelt, P (1998), Assessing the Overall Performance of Advanced Glazing Systems, *Solar Energy*, Vol.63 (4), pp. 231–241.

Harrison, S.J and Van Wonderen, S.J (1994), Determining Window Solar Heat Gain Coefficient, *ASHRAE Journal*, Vol. 36 (2), pp. 26-32.

Klems, J.H (1984), Measurement of Fenestration Performance Under Realistic Conditions, *presented at Windows in Building Design and Maintenance*, Gothenburg, Sweden.

Klems, J.H, and Keller, H (1987a), Measurement of Single and Double Glazing Thermal Performance under Realistic Conditions using The Mobile Window Thermal Test (MoWiTT) Facility, *Presented at ASME Solar Energy DivisionConference*, Honolulu, HI, USA.

Klems, J.H and Keller, H (1987b), Thermal Performance Measurements of Sealed Insulating GlassUnits with Low-E Coatings Using the MoWiTT Field-Test Facility, *Presented at the ASHRAE Winter Meeting*, Newyork City, NY.

Urbikain, M.K and Sala, J.M (2009), Analysis of Different Models to Estimate Energy Savings Related to Windows in Residential Buildings, *Energy and Buildings*, Vol.41, pp.687–695.

Wonderen, S.J (1995), *Experimental Determination of Fenestration Solar Heat Gain Coefficient*, M.Sc thesis, Queen's University, Kingston.

Yin, R and and Xu, P (2012), Case Study: Energy Savings from Solar Window Film in Two Commercial Buildings in Shanghai, *Energy and Buildings*, Vol.45, pp.132–140.

URL1 - https://energyplus.net/weather-region/

URL2 - http://www.meteonorm.com/