نقش جدارهای نورگذر کارآمد در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها

دکتر بهروز محمد کاری عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
دکتر مهدی معرفت عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس
مهندس محسن جهان مهمانی کارشناس ارشد در زمینه شیشه‌های دوجداره ساختمانی

چکیده

در پوسته خارجی ساختمان ها، جدارهای شفاف بیشترین ضریب انتقال حرارت را به خود اختصاص می دهند. به عبارت دیگر، بیشترین انتقال انرژی به ازای واحد سطح از این جدارها صورت می گیرد. به همین علت، انتظارات عملکردی از جدارهای شفاف به مراتب بیشتر از دیگر قسمت های پوسته خارجی ساختمان ها است.

با توجه به سیاست های ملی در زمینه بهینه سازی مصرف انرژب در ساختمان، لازم است در جهت اشاعه فرهنگ استفاده از این سیستم های کارآمد و همچنین تضمین کیفیت و دوام آنها گام هایی جدی برداشت.

فناوری ساخت شیشه‌های چندجداره

سیستم شیشه چندجداره استاندارد با اتصال دو یا تعداد بیشتری شیشه تک جداره که بطور موازی نسبت به یکدیگر قرار گرفته اند ساخته می شود. اصل و اساس شیشه دوجداره بر مبنای ایجاد یک فضای خالی پر از هوای خشک (یا یک گاز مخصوص)بین دو یا تعداد بیشتری صفحات شیشه ای بنا شده است. نوع گاز تزریق شده از اهمیت خاصی برخوردار است و می تواند مشخصات حرارتی یا صوتی و یا هر دو را بهبود بخشد. باید اضافه کرد پوشش های فلزی (نقره ای، ...)نیز در بعضی موارد برای محدود کردن انرژی منتقل شده (با افزایش میزان انعکاس نور خورشید)استفاده می شود، ولی این تکنیک باعث تیره شدن شیشه، تاریک شدن فضای داخل ساختمان و در نتیجه افزایش استفاده از نور مصنوعی می شود. برای رفع این نقطه ضعف، در ساخت شیشه عایق از پوشش های خاصی استفاده می شود که انتقال نور شیشه با استفاده از آنها به ۷۸٪ می رسد، که در مقایسه با میزان انتقال نور شیشه های رفلکتیو که در حدود ۲۰٪ است بسیار چشمگیر می باشد. بطور کلی پوشش های شیشه ها به سه دسته اصلی تقسیم می شوند :

- پوشش های کم تاب برای تقلیل بیش از ۵۰٪انتقال حرارت. این پوشش ها برای مناطق سردسیر توصیه می شود و روی سطح سوم شیشه دوجداره قرار می گیرد.
- پوشش های کنترل نور خورشید برای محدود کردن انتقال انرژی خورشید به داخل ساختمان. این پوشش ها برای مناطق گرمسیر توصیه می شود و روی سطح دوم شیشه دوجداره قرار می گیرد.
- پوشش هایی که ترکیبی از دو نوع قبلی است، برای استفاده در مناطق سردسیر و گرمسیر مناسب می باشد، و روی سطح دوم و سوم شیشه دوجداره قرار می گیرد.

بکارگیری فاصل های۸آلومینیومی، که در گوشه خم کاری شده اند، یکنواختی فاصله بین دو شیشه را تضمین می کند. قطعات شیشه‌ای با استفاده از بوتیل به یکدیگر پیوند می خورند. بهره گیری از ماده جاذب الرطوبه مخصوص که در داخل فاصل ها پر شده اند، باعث می گردد هوا یا گاز محبوس شده بین شیشه ها عاری از رطوبت گردد. در آخرین مرحله تولید، پیرامون مجموعه با یک ماده آب بند و هوابند که دارای خاصیت الاستیکی است پوشیده می شود.

در این مقاله سعی می گردد نوآوری ها در زمینه طراحی و ساخت جدارهای شفاف شیشه ای کارآمد مطرح شود و نقش آنها در رعایت مقررات در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی و بهینه سازی مصرف انرژی در کشور تشریح گردد.

مقدمه

جدارهای شفاف باید به گونه ای طراحی شوند که امکان کنترل میزان ورود نور و انرژی خورشیدی را در ماه های مختلف سال تأمین نمایند، و در عین حال، میزان انتقال حرارت و صدابندی تأمین شده توسط این جدارها باید منطبق با ضوابط و مقررات لازم الاجرا در این زمینه باشد. تمامی این عوامل دست به دست هم داده و باعث می گردند کیفیت و دوام شیشه های چندجداره از اهمیت خاصی برخوردار باشد.

با توجه به تأثیر بسزای این نوع جدارها در بهینه سازی مصرف انرژی، در تعداد زیادی از کشورهای جهان، قوانینی به اجرا گذاشته شده است تا استفاده از مجموعه های یک پارچه شیشه های دو یا چندجداره در تمامی مناطق یا بخشی از آنها اجباری گردد.

در کشور ما نیز ضوابط مربوط به کاربرد شیشه های چندجداره در مقررات ملی ساختمان پیش بینی شده است و پیش نویس استانداردهای مربوط به آن آماده گردیده است.

تاریخچه

هر چند تجربه دیرینه ای در مورد استفاده از چند جدار شفاف، از جمله سیستم های دوپنجره ای، در مناطق سردسیر جهان وجود دارد، ولی تاریخچه کاربرد شیشه دوجداره تنها به اواخر قرن گذشته باز می گردد. در سال ۱۸۶۵ میلادی استنتون اولین پروانه حق امتیاز بهره برداری برای یک نوع شیشه دوجداره عایق کاری شده بصورت غیرقابل نفوذ را در ایالات متحده به ثبت رساند. ارتقاء کیفیت و گسترش کاربرد این نوع جدارها سیری تدریجی را طی کرد و در سال های پس از بحران نفتی دهه هفتاد، نوآوری های متعددی با استفاده از فناوری های پیشرفته مطرح گردید و باعث شد کیفیت و دوام این جدارها بصورت چشمگیری بهبود یابد.

در جدول زیر، مقادیر مربوط به ضرایب انتقال حرارت در ترکیب‌های مختلف ممکن در سیستم‌های شیشه‌ای، برای انجام مقایسه، ارائه شده‌است :

نوع شیشه یا مصالح	ضخامت لایه‌های شیشه‌ای (میلیمتر)	ضخامت لایه‌های هوا (میلیمتر)	نوع لایه هوا	ضریب انتقال حرارت U [w/m2k]
تک‌جداره	٤	–	–	٥.٩
تک‌جداره	٦	–	–	٥.٨
تک‌جداره	٥٠	–	–	٤.٧
دوجداره	٤ و ٦	١٢	هوای خشک	٣.٠
دوجداره	٤ و ٦	١٢	گاز بی‌اثر	٢.٩
دوجداره کم‌تاب	٤ و ٦	١٢	گاز بی‌اثر	١.٣
دوجداره کم‌تاب	٤ و ٦	١٦	گاز بی‌اثر	١.١
دوجداره کم‌تاب	٤ و ٦	١٢	گاز کریپتون[1]	١.٠
سه جداره	٤ و ٦ و ٤	٩ و ٩	هوای خشک	٢.٢
سه جداره	٤ و ٦ و ٤	٩ و ٩	گاز بی‌اثر	١.٩
سه جداره کم‌تاب	٤ و ٦ و ٤	١٢ و ١٢	گاز بی‌اثر	١.٠
سه جداره کم‌تاب	٤ و ٦ و ٤	٨ و ٨	گاز کریپتون	٠.٧
سه جداره کم‌تاب	٤ و ٦ و ٤	١٠ و ١٠	گاز کریپتون	٠.٦
سه جداره کم‌تاب	٤ و ٦ و ٤	١٢ و ١٢	گاز کریپتون	٠.٥
دیوار ٣٥ سانتی آجری	–	–	–	حدوداً ٢.٠

انتظارات تعیین شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی)

در ویرایش اول مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، در مورد جدارهای شفاف، تعیین مشخصات لازم برای گروه‌های مختلف۱، ۲ و ۳ تعریف شده در این مبحث، به دو صورت می تواند صورت گیرد. روش تجویزی و روش عملکردی (با محاسبه ضریب انتقال حرارت حجمی ساختمان).

در روش تجویزی، مقادیر تعیین شده برای ضرایب انتقال حرارت جدارهای شفاف به

خصوصیات حرارتی شیشه‌های چندجداره

ضریب هدایت حرارت بالای شیشه و همچنین ضخامت ناچیز لایه های شیشه به کار رفته باعث می گردند سهم شیشه در مقاومت کل سیستم های شیشه های چندجداره بسیار ناچیز باشد. به همین علت، در این جدارها، لازم است مقاومت حرارتی هوای خشک یا گاز مخصوص موجود بین جام های شیشه تا حد امکان افزایش یابد. البته باید توجه داشت در فناوری های نوین، از تمامی اقدامات ممکن در راستای کاهش ضریب انتقال حرارت این نوع جدارها استفاده می گردد، ولی تأثیر گاز بین لایه های شیشه محدود است و ضریب انتقال حرارت در حالت سیستم دوجداره کمتر از ۲.۸ [$W/K.m^2$] نمی تواند باشد.

در نتیجه، در فناوری های جدید، از شیشه هایی با پوشش های کم تاب[۹] استفاده می شود تا عملکرد جدار بهبود یابد. این پوشش های نازک فلزی نامرئی به وسیله یک فرآیند الکترومغناطیسی در محفظه خلاء بر روی سطح شیشه اعمال می شود. لازم به توضیح است به طور طبیعی و کلی، پرتوهای حرارتی با طول موج بالا در زمان انتقال به داخل، به وسیله لایه سطح شیشه منعکس می شوند. لایه فلزی بکار رفته در سیستم های کم تاب تغییر قابل ملاحظه ای در نرخ انتقال نور شیشه ایجاد نمی کند.

این نوع شیشه ها به دلیل ظاهر بی رنگ به راحتی با سایر شیشه های مورد استفاده در نمای ساختمانها قابل ترکیب می باشد و باعث می گردد ضریب انتقال حرارت برای سیستم های دوجداره تا ۱.۳ [$W/K.m^2$] کاهش یابد. نوآوری های دیگری نیز جدیداً مطرح شده اند که با قراردادن یک یا چند لایه فیلم پلیمیری در لایه هوا و یا با بکارگیری فاصل هایی همراه با انقطاع حرارتی برای به حداقل رسانیدن پل حرارتی فاصل ها) عملکرد حرارتی شیشه های چندجداره را بیش از پیش بهبود می بخشند.

به طور خلاصه، خصوصیات سیستم های شیشه ای چندجداره به شرح زیر می باشد:

۱- انتقال حرارت از جدارهای شفاف در دوره سرد سال به حداقل می رسد.

۲- از روشنایی و انرژی خورشید استفاده بهینه می شود.

۳- ظاهر و جلوه جدار نامرئی و بی رنگ می باشد.

مبحث کمتر باشد، امکان استفاده از شیشه های تک جداره فراهم می گردد.

استانداردها و روشهای آزمون

با در نظر گرفتن این نکته که شیشه های دوجداره عایق کاری شده از بیش از ۴۰ سال پیش مورد استفاده قرار گرفته است، انتظار می رود که کلیه شخصیت های حقیقی و حقوقی ذیربط به یک توافق کلی در خصوص مشخصات فنی و روش انجام آزمایشها برای این کالای مهم که باعث صرفه جوئی در میزان مصرف انرژی می شود نایل آمده باشند. لیکن با مرور مشخصات فنی کشورهائی که عمده تولیدکننده و مصرف کننده شیشه های عایق محسوب می شوند، به تفاوتهای فاحشی در خصوص دستورالعملهای مربوط به روش انجام آزمایشها و معیارهای تنظیم شده پی می بریم.

مصرف کنندگان در اصل نیاز به محصولی دارند که برای مدت نامحدودی کارآیی خود را حفظ کند، یعنی شفاف باقی بماند و تمامیت ساختاری خود را در خلال طول عمری که از آن انتظار می رود حفظ کند. در نتیجه برای پیش بینی میزان دوام آنها، روش هائی جهت انجام آزمایشهائی به عنوان قیاسی/تشابهی نسبت به آنچه در واقعیت با آن روبرو خواهند شد، با بهره جوئی از ایجاد شرایط بحرانی و سخت جهت نیل به نتایج در مدت زمان کوتاهتری، طراحی شده‌اند. جزئیات این آزمایشها و تأکید بر نتایج به دست آمده منعکس کننده نقطه نظرات در خصوص مکانیزم های تخریبی است که محققین و تدوین کنندگان مشخصات فنی به آنها معتقد می باشند.

مکانیزمهای متفاوت تخریب و خراب شدگی را می توان به شرح ذیل فهرست نمود:

۱- نقایص و کاستی های مرتبط با کارگران - که منجر به بروز نشت می گردد.

۲- چسبندگی ناکافی مواد عایقکاری

۳- زوال مواد عایق کاری در اثر تماس با آب جمع شده در درون قابها

۴- گسیخته شدن پیوند شیشه ها با حائل آلومینیومی بدلیل فشارهای متغیر اعمال شده توسط نیروی باد

۵- انباشت و تجمع آب ناشی از انتقال بخار مرطوب

۶- میعان (بخار یا مه گرفتگی شیمیائی)

شرح زیر می باشد :

	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها [w/m2k]	۳،۸	٤،۲	٥،۲

به عبارت دیگر در مورد گروه ۱ به صورت سیستماتیک و در مورد گروه های ۲ و ۳ بسته به طراحی پنجره لازم است از سیستم های دوپنجره و یا پنجره ساده با شیشه های دوجداره استفاده کرد.

البته، در صورت طراحی بر مبنای روش عملکردی، آزادی عمل بیشتری در زمینه انتخاب نوع پنجره وجود دارد و طراح می تواند از سیستم های دوجداره استفاده نماید یا از آن اجتناب کند، بسته به اینکه ساختمان جزو کدام گروه محسوب می شود و میزان عایق کاری جدارهای غیرشفاف در چه حد است.

در ویرایش جدید مبحث ۱۹، الگوی تعیین مشخصات فنی جدارهای شفاف طبق روش عملکردی مشابه ویرایش اول است، با این تفاوت که به جای ضریب انتقال حرارت حجمی ساختمان، ضریب انتقال حرارت کل ساختمان ملاک عمل می باشد و مقدار آن وابسته به سطح جدارهای شفاف می باشد. در ضمن، برای فراهم نمودن امکان طراحی ساختمان با افزایش سطوح شفاف در جهت های مناسب و استفاده بهینه از انرژی خورشیدی، ضریبی تحت عنوان شاخص خورشیدی تعریف و محاسبه می گردد و در صورت جوابگویی مقادیر محاسبه شده با انتظارات تعیین شده در مقررات، طراح می تواند تخفیفی برای عایق کاری جدارهای غیرشفاف پوسته خارجی احراز نماید.

در روش تجویزی ویرایش جدید، برای انواع مختلف پنجره (فلزی، چوبی یا پلیمیری) امکان استفاده از شیشه های تک جداره، دوجداره یا سیستم های دوپنجره ای تعیین می گردد. در این روش نیز، در صورتی که طراحی به گونه ای انجام شده باشد که امکان بهره گیری از انرژی خورشیدی برای مناطق تعیین شده در این مبحث فراهم شود، ضریب کاهشی به مقاومت های حداقل جدارهای غیر شفاف اعمال می گردد. در ضمن، تنها در صورتی که نسبت سطوح جدارهای شفاف به سطح زیربنا از حدود تعریف شده در این

مشخص شده در استانداردهای ملی داشته باشند. بخشی از آزمایش های لازم برای تعیین کیفیت شیشه های چندجدازه عایق به شرح زیر می باشد:

نقطه اشباع اولیه۱۱

استاندارد ملی اکثر کشورها یک نقطه اشباع حداقل را برای شیشه های عایق ذکر کرده‌اند. روش تعیین نقطه اشباع در بین استانداردهای ملی کشورهای مختلف متفاوت است. در روش آزمایش تشریح شده در پیش نویس استاندارد ملی ایران، جهت تعیین نقطه تشکیل برفک۱۲ بر روی شیشه عایق چندجداره، از روشها و تجهیزاتی نام برده می شود که می تواند به صورت همزمان برای پنجره در حالت افقی و عمودی مورد استفاده قرار گیرد تا نقطه تشکیل برفک را تعیین نماید.

هوازدگی۱۳

بحرانی ترین و مهمترین آزمایشی را که می توان بر روی یک واحد شیشه عایق دو یا چندجداره انجام داد، تست موسوم به آزمایش تغییر و تعویض چرخه آب و هوا و رطوبت نسبی۱۴ است.

در آزمایش مزبور، نمونه ها در معرض دو نوع شرایط آب و هوائی حدی قرار می گیرند تا شبیه سازی و آزمایش دوام تسریع شده بر روی آنها صورت گیرد. البته باید خاطرنشان کرد که در استانداردهای ملی در کشورهای مختلف اتفاق نظری در این زمینه وجود ندارد، که شاید دلیل اصلی آن وجود تنوع بالا در شرایط اقلیمی در کشورها باشد.

قرار دادن نمونه‌ها در معرض رطوبت نسبی بالا۱۵

این تست یک آزمایش ساده است که در آن نمونه ها در معرض رطوبت نسبی بالا برای دوره های زمانی مختلف قرار می گیرند. در استاندارد ملی برخی کشورها توصیه شده است که همزمان با اعمال شرایط رطوبت بالا، دما نیز بصورت چرخه‌ای تغییر داده شود. در حالی که در استاندارد ملی بعضی کشورها خواستار غوطه ور کردن کامل نمونه ها در

۷- از دست دادن و گسیخته شدن پیوند شیشه های عایق - در اثر فشار درونی

روشهای آزمایش گوناگون، یکی یا تعدادی از عوامل فوق را بررسی و نتایج آن را تحلیل می نمایند. همچنین، تقریباً در تمام آزمایشها درجه حرارتی که در آن به نقطه اشباع می رسیم به عنوان یک معیار انطباقی با استانداردهای پذیرفته شده مختلف در نظر گرفته شده است.

برخی از استانداردهای ملی که تولیدکنندگان و مؤسسات تحقیقاتی می توانند به آنها مراجعه کنند و محصولات خود را با رعایت آنها تولید نمایند به شرح ذیل می باشند:

- استاندارد ملی کشور انگلستان به شماره BS ۳۱۷۵
- استاندارد ملی کشور امریکا به شماره ASTM E ۴۷۷ or E ۳۷۷
- استاندارد ملی کشور کانادا به شماره CAN ۲-۲۱/۸-M۶ ۷
- استاندارد ملی کشور فرانسه به شماره NFP ۸۷-۱۵ ۴
- استاندارد ملی کشور آلمان به شماره DIN ۶۸۲۱
- استاندارد ملی کشور هلند به شماره NEN ۷۶۵۳ / K ۴ ۲
- استاندارد مشترک اعضاء اتحادیه اروپائی به شماره EN-Pr ۹۷۲ ۱

استانداردهای ملی تنظیم شده کشور کانادا در خصوص شیشه های عایق قدیمی ترین استاندارد ملی موجود در این رابطه می باشد. به همین دلیل استاندارد ملی سایر کشورها آن را به عنوان اساس و پایه قرار داده و متعاقب آن هر یک بطریقی آنها را توسعه و بسط داده اند. پیش نویس های استانداردهای ملی ایران نیز از این امر مستثنی نیست. با توجه به اینکه اخیراً پیشرفتهایی در زمینه تولید این محصول در کشورمان به وجود آمده و نظارت بر کیفیت محصول و تولید، ضامن استقبال عمومی و اطمینان بیشتر مصرف کنندگان می شود و از طرفی با در نظر گرفتن این نکته که مزیتهای اساسی این نوع محصول رابطه مستقیمی با کیفیت تولید دارد، تسریع در تصویب نهایی پیش نویس های تهیه شده در کمیته های تخصصی استاندارد یکی از اقدامات مهم در راستای تحقق اهداف تعیین شده در سیاست گذاری های ملی برای استفاده این محصول می باشد و ارگانهای ذیربط و حمایت کننده می بایست توجه بیشتری به انطباق محصولات با انتظارات حداقل

آب و در دمای ثابت و در برخی از استانداردها تابانیدن هم زمان اشعه فرا بنفش و قرار دادن نمونه ها در معرض رطوبت پیشنهاد شده است.

بخار (مه)گرفتگی در اثر نور فرا بنفش۱۶

این یکی از جنجالی ترین و بحث انگیزترین آزمایش هایی است که شیشه های عایق دو یا چندجداره باید در معرض آن قرار گیرند. این آزمایش سعی دارد میزان تمایل یک شیشه عایق را نسبت به آزاد ساختن ترکیبات فرار و ناپایدار، پس از قرار گرفتن در معرض نور فرا بنفش و افزایش درجه حرارت، اندازه گیری نماید.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده است اهمیت کاربرد شیشه های چندجداره در جهت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان مطرح شود، و خصوصیاتی که باید این جدارهای شفاف دارا باشند تا حسن کارآیی و دوام آن در درازمدت تضمین گردد تشریح شود.

مشکل عمده ای که در زمینه استفاده از این اجزا در ساختمان سازی وجود دارد هزینه اولیه بالای این اجزا است. در نتیجه، ضروری است با به کارگیری سیاستی تشویقی و همچنین با فرهنگ سازی، در جهت تحقق اهداف تعیین شده در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان گام برداشت.