DOR:

فصلنامه
پژوهش‌های معماری نوین
دوره ٤، شماره ٤، شماره پیاپی١٤
زمستان ١٤٠٣
صفحات ٥٦-٤٣

Architectural Technologies
Studies Journal
Vol. 4, Issue. 4, No. 14
Winter 2025
Pages 43-56

مقاله پژوهشی

بررسی تیپولوژی انواع پنجره‌ها و شیشه‌های هوشمند برای مصرف بهینه انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم سرد

ماهرخ قلی‌زاده [١]، مرتضی ملکی[٢]، محمد مهدی مولایی*[٣]

١- دانشجوی کارشناسی ارشد، هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
Mahrokhgh97@Gmail.com

٢- استادیار، هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
M.moulaii@basu.ac.ir

٣- ٣- استادیار، هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. (نویسنده مسئول)
Mo.maleki@basu.c.ir

تاریخ دریافت: [١٤٠٣/٣/٤] تاریخ پذیرش: [١٤٠٣/٨/١٩]

چکیده

مصرف انرژی در دهه‌های گذشته به سرعت افزایش یافته است، پس از بحران انرژی در دهه ٧٠ و افزایش قیمت نفت خام و انرژی توجه به صرفه‌جویی در مصرف انرژی توسعه یافته است. تمامی ساختمان‌ها ازجمله ساختمان‌های اداری باعث مصرف انرژی بسیاری در کل جهان هستند و عملکرد انرژی ساختمان یکی از معیارهای اساسی است که باید در تصمیم‌گیری‌های اولیه لحاظ شود. انتقال گرما و هدر رفت انرژی از طریق بازشوها و پنجره‌ها در تمامی اقلیم‌ها ازجمله اقلیم سرد که جزو ضعیف‌ترین نقاط در ساختمان از لحاظ از دست رفتن انرژی در پوشش حرارتی ساختمان محسوب می‌شود. ازآنجایی‌که طراحی متناسب بازشوها از نظر نوع آن‌ها راهکاری متناسب جهت حفظ انرژی داخل ساختمان است در این تحقیق (**این مقاله یک مقاله گزارشی کوتاه است**)، برخی از پیکربندی‌های پنجره‌ها معرفی شده‌اند تا اتلاف انرژی کمتری در ساختمان‌ها داشته باشیم. شناخت انواع بازشوها از نظر هندسه بازشوها، تعداد جداره‌های شیشه مثل پنجره‌های تک جداره-دو جداره-سه جداره، جنس شیشه‌ها مثل شیشه‌های بازتابی - شیشه‌های کنترل کننده انرژی و انواع شیشه‌های هوشمند، پروفیل‌های مختلف بازشو و گازهای میانی استفاده شده پنجره‌ها برای بهینه‌سازی بازشوها از نظر تعداد جداره‌ها در جبهه‌های مختلف ساختمان در یک ساختمان اداری در اقلیم سرد در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در انتهای این تحقیق بهترین نوع پنجره برای یک اقلیم سرد و با توجه به مهم بودن انرژی تابشی خورشید در این اقلیم معرفی شده است.

واژگان کلیدی: حفظ انرژی، اقلیم سرد، بازشو، جداره‌های بازشو، فضای اداری.

۱- مقدمه

ساختمان‌ها در حال حاضر بیش از ٥٤٪ تولید برق جهانی را مصرف می‌کنند و مسئول انتشار ۲۳٪ کربن دی اکسید در جهان می‌باشند (Krarti, 2022). با توجه به روند کاهشی منابع طبیعی و انرژی‌های تجدید ناپذیر در چند قرن اخیر همواره یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های جوامع بشری چگونگی مصرف بهینه از این منابع است. بر اساس مطالعات نرخ رشد سالانه انتشار کربن دی اکسید از دهه ۱۹۷۰ تاکنون برای ساختمان‌های نجاری و مسکونی به ترتیب ۲/۵ و ۱/۷ ٪ بوده است (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). مشخص شده است که پنجره‌ها در صورت بهبود کارآیی لعاب‌ها، بیش از ۷۵ درصد در مصرف انرژی و انتشارات محیطی صرفه‌جویی می‌کنند (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). روش‌های مختلفی برای کاهش و بهینه‌سازی انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد قابل‌توجهی از مطالعات بر روی بهبود عملکرد حرارتی پنجره‌ها در دهه‌های اخیر به دلیل مقاومت حرارتی ضعیف‌تر این عناصر متمرکز شده‌اند. یکی از روش‌ها بهینه‌سازی بازشوها و پنجره‌های ساختمان از نظر اندازه و هندسه، نوع جداره‌ها، میزان شکاف هوای بین آن‌ها و تعداد آن‌ها نوع پروفیل‌ها است. در این میان استفاده از شیشه‌های دو یا سه جداره در اقلیم سرد بهترین روش برای حفظ انرژی ساختمان‌ها است. در این میان پارامترهای متفاوتی برای انتقال حرارت وجود دارد از جمله: اندازه فاصله هوای بین پنجره دوجداره، نصب پرده در شکاف هوا و کج شدن پنجره‌ی دوجداره از حالت عمودی خود (Bitaab, Hosseini Abardeh & Movahhed, 2019). تقریباً ۳۰ درصد از تلفات یا دریافت‌های انرژی در یک ساختمان از طریق پنجره‌هاست. در بسیاری از مطالعات انجام شده به این نتیجه رسیدند که یک پنجره بهینه ساخته شده می‌تواند ۱۰ تا ٤۰ درصد هزینه گرمایش و تهویه مطبوع ساختمان را کاهش دهد (Bitaab, Hosseini Abardeh & Movahhed, 2019). تعیین کاربری ساختمان برای استفاده بهینه از آن ضروری است زیرا بر اساس کاربری ساعات استفاده از آن با یکدیگر تفاوت دارد، به‌عنوان مثال از ساختمان‌های اداری از ساعت ۸ صبح تا ۵ بعدازظهر استفاده می‌شود. بنابراین در این‌گونه ساختمان‌ها بعد از ساعت ۵ بعد از ظهر نیازی به عملکرد سیستم‌های حرارتی نیست (Gohari, 2019). گزینه سایه‌اندازی داخلی یا خارجی در این مطالعه در نظر گرفته نمی‌شود زیرا به‌عنوان مثال سایه‌بان خارجی در ساختمان‌های بلند مطلوب و عملی نیست و در اینجا ساختمانی در نظر گرفته شده است که حداکثر دید و نفوذ نور را از طریق بازشوها حفظ کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در مقایسه با شیشه‌های تک جداره، بیشترین تأثیر مربوط به پنجره‌های دوجداره با پروفیل‌های UPVC و آلومینیم بوده است (Gohari, 2019). نتیجه نشان می‌دهد بار پنجره‌ها در شهرهای سردسیر کاهش ۲٦ درصدی دارد درصورتی‌که در شهرهای مرکزی و گرمسیر این میزان ۲۱ درصد است (Gohari, 2019)، پنجره‌ها از بخش‌های اصلی ساختمان هستند که وظیفه‌ی تأمین روشنایی داخل ساختمان، تهویه و دید به بیرون را فراهم می‌کنند (مولایی، پیله‌چی‌ها، ۱۳۹۸). بر اساس روش‌های محاسباتی ارائه شده در استاندارد ISO18,292، شاخص عملکرد انرژی پنجره بر اساس پارامترهای عملکردی پنجره‌ها شامل: ضریب انتقال حرارت کلی پنجره، ضریب افزایش حرارت خورشیدی و نفوذ هوا از پنجره در مناطق مختلف آب و هوایی در طول فصول گرم و سرد محاسبه می‌شود (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ۲۰۲۰). در پژوهشی از شش اقلیم مختلف ایران (گرم، مرطوب، سرد، کوهستانی، گرم و خشک) انتخاب و جهت‌گیری بهینه برای هر شهر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جهت جنوبی برای اقلیم‌های سرد و سرد و کوهستانی مناسب‌تر است (Gohari, 2019). یکی از دلایل استفاده از پنجره‌های دوجداره عایق بودن آن‌ها در برابر صوت و حرارت است که این عایق بودن به‌وسیله‌ی استفاده از پروفیل UPVC، دو یا چند شیشه که به موازات هم استفاده شده‌اند و گاز موجود بین آن‌ها ایجاد می‌شود. بررسی بهترین نوع شیشه‌ها برای بازشوها از نظر صرفه‌جویی در اقلیم‌های مختلف به انواع مختلفی از قبیل شیشه‌های بازتابی، شیشه‌های low_e، شیشه‌های هوشمند در انواع مختلف نیز تقسیم‌بندی می‌شوند که می‌توانند متناسب با اقلیم مورد نظر مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه انواع بازشوها از منظرهای متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرند:

- بررسی بازشوها از نظر تعداد جداره‌ها شامل شیشه‌های تک جداره، دوجداره و سه جداره.

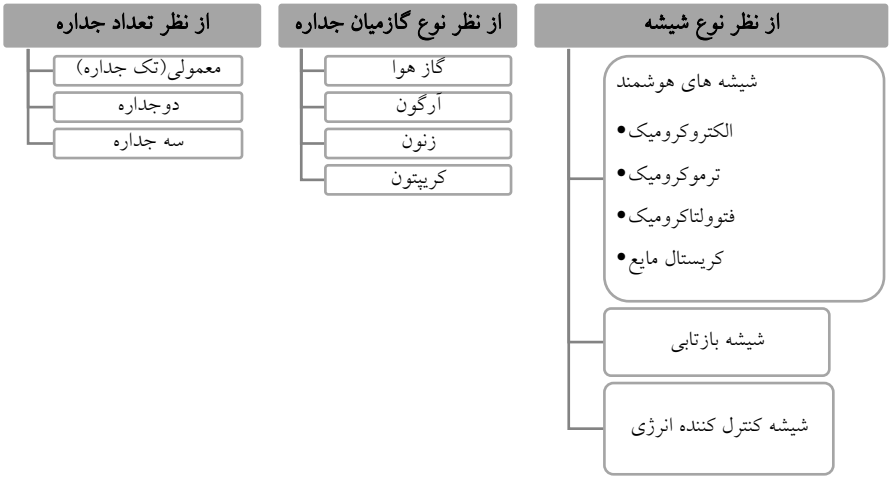
- بررسی بازشوها از نظر نوع شیشه‌ها شامل شیشه‌های بازتابی, شیشه‌های کنترل‌کننده انرژی، شیشه‌های هوشمند.

۲- روش‌شناسی

در این پژوهش که به‌صورت یک مقاله گزارشی کوتاه تدوین شده است، ابتدا با بررسی تأثیر بازشوهای ساختمانی بر مصرف انرژی، انواع مختلف پنجره‌ها از نظر هندسه، تعداد جداره‌های شیشه (تک‌جداره، دوجداره و سه‌جداره)، جنس شیشه (شیشه‌های بازتابی، کنترل‌کننده انرژی و شیشه‌های هوشمند)، پروفیل‌های بازشو و نوع گازهای میانی مورد تحلیل قرار گرفتند. روش پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و داده‌ها به‌صورت کیفی و کمی گردآوری و مقایسه شده‌اند. در مرحله بعد، به‌منظور ارزیابی عملکرد انرژی بازشوها در ساختمان‌های اداری واقع در اقلیم سرد، پیکربندی‌های مختلف پنجره‌ها بررسی گردید. معیارهای ارزیابی شامل میزان انتقال حرارت، هدر رفت انرژی و تأثیر انرژی تابشی خورشید بر کارایی حرارتی ساختمان بود. در نهایت، با تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های بازشوهای مختلف، مناسب‌ترین نوع پنجره برای ساختمان‌های اداری در اقلیم سرد شناسایی و معرفی شد. **به همین علت، این مقاله شامل مرور پیشینه پژوهش‌های پیشین نیست و مستقیماً بر ارائه راهکارهای بهینه‌سازی بازشوها تمرکز دارد.**

۳- یافته‌ها

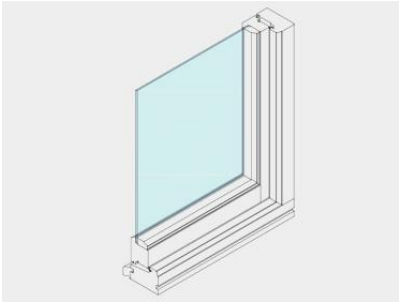
۳-۱- بررسی بازشوها از نظر نوع پروفیل انتخابی برای قاب‌بندی آن‌ها



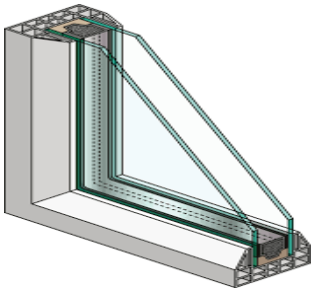
شکل ۱- معرفی بازشوها بر اساس مسائل مختلف

۳-۱-۱- شیشه معمولی (تک جداره)

طی سالیان طولانی از شیشه ساده یک جداره به‌عنوان پوشش در بازشوهای ساختمان استفاده می‌شده است؛ اما با افزایش اهمیت یافتن صرفه‌جویی در انرژی استفاده از این نوع شیشه ساختمانی محدود شد (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳). با مشخص شدن ویژگی‌های پنجره‌های دوجداره استفاده از پنجره‌های تک جداره در ساختمان‌سازی کاهش پیدا کرد. به‌طور مثال میزان ضریب انتقال حرارتی در یک پنجره تک جداره 6w/m2c است در صورتیکه در یک شیشه دوجداره و فاصله‌ای مشخص این میزان نصف خواهد شد (شکل ۲).



شکل ۲–شیشه معمولی تک جداره



شکل ۳– شیشه دوجداره

۳–۱–۲– شیشه دوجداره

برای کاهش مشکلات پنجره‌های تک جداره می‌توان از دولایه شیشه به همراه یک لایه هوای ساکن در میان آن‌ها استفاده کرد، با این کار ضریب انتقال حرارت از 6w/m2c به 3.2w/m2cکاهش پیدا خواهد کرد (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳). آریکی و همکاران با استفاده از تحلیل عددی به بررسی تأثیر تعداد جداره‌های شیشه بر انتقال حرارت پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش جداره ۵۰٪ تا ٦٧٪ میزان انتقال حرارت را کاهش داد (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). پنجره‌های دوجداره از دو واحد شیشه به همراه گاز خنثی (اختیاری)، به همراه اجزای دیگری همانند آب‌بندهای لاستیکی و اسپیسر تشکیل شده است (Ekici & Aksoy, 2008). در بین دولایه پنجره دوجداره از گاز یا هوای بی‌اثر برای افزایش مقاومت حرارتی پنجره‌ها استفاده می‌شود. به‌طور معمول از گازهای هوا یا آرگون (Ar) برای حفره لعاب‌ها استفاده می‌شود، اگرچه در این حفره از گازهای کریپتون (Kr) و زنون (Xe) نیز استفاده می‌شود (Ekici & Aksoy, 2008). به‌طورکلی ضریب انتقال حرارت در شیشه‌های دوجداره به فاصله بین دولایه شیشه، نوع هوا یا گاز میانی و ضخامت لایه‌های شیشه بستگی دارد. معمولاً هوای خشک بین حفره دوجداره پر مشود اما اخیراً برای کاهش تلفات، از گازهای دیگری که رسانایی گرمایی پایینی دارند استفاده می‌شود (Ekici & Aksoy, 2008). به‌طورکلی هرچه لایه‌ی هوای میانی در شیشه‌های چند جداره افزایش یابد انتقال حرارت کمتر خواهد بود، درحالی‌که اگر این فاصله از یک میزانی مشخص یعنی 5/8اینچ (16mm) به دلیل ایجاد جریان همرفت بین لایه‌ها انتقال حرارت افزایش می‌یابد. شیشه دوجداره ساخته شده از دو جام شیشه در موازات همدیگر و هم‌اندازه ساخته می‌شود (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳). مهم‌ترین ویژگی‌ها شیشه‌های دوجداره شامل: کاهش مصرف انرژی به‌عنوان یک عایق حرارتی، کنترل نور و اشعه‌ی uv–که به‌راحتی می‌توان از ورود اشعه‌های مضر نور خورشید جلوگیری کرد، کنترل آلودگی صوتی که به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی کلان‌شهرها عاملی مخرب در رفتارها و سلامت شهروندان است. بر اساس مطالعات تجربی و شبیه‌سازی بازشوهای دوجداره با گازهای بی‌اثر (زنون و کریپتون) در میان دوجداره کاهش بارهای خنک‌کننده ساختمان را به همراه سطوح مناسب نور روز گزارش کرده‌اند. به‌طورکلی نتایج نشان داده است که پنجره‌های دوجداره می‌توانند ۵۰ درصد کل بار ساختمان، ۰/۲ درصد در مصرف برق، ١٦/٢ درصد در گاز و ١٢/٤ درصد در مصرف انرژی کلی خانوارها صرفه‌جویی کنند (شکل ۳)، (Samaneh Forughian, 2017). گاهی در پنجره‌های دوجداره از فیلم‌هایی جهت تنظیم نور خورشید استفاده می‌شود که طبق تحقیقات، محل قرارگیری فیلم با توجه به اقلیم متفاوت است و در اقلیم گرم مؤثرتر از اقلیم سرد است به‌طوری‌که در اقلیم گرم ۵۲٪ و در اقلیم سرد ۱۰٪ موجب کاهش مصرف انرژی خواهد شد. طبق مطالعات، در تمامی اقلیم‌های مورد بررسی در شهرهای ایران نوع هوا در پنجره‌های دوجداره مورد بررسی قرار گرفته است و بر اساس آن کمترین کاهش مصرف بار گرمایی با گاز هوا و بیشترین کاهش مصرف بار گرمایی با گاز زنون و کریپتون است (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ١٤٠١). در جدول شماره یک میزان هدایت حرارتی و ضریب شکست برخی گازهای مورد استفاده در شیشه‌های دوجداره آورده شده است (جدول ۱).

جدول ۱: گازهای مورد استفاده در پنجره‌های دوجداره و سه جداره–میزان هدایت حرارتی هرکدام از آن‌ها

نوع گاز	مقدار بار K(W/m K)	شاخص n
هوا	۰/۰۲۷۳۰	۱/۰۰۰۲۹
آرگون	۰/۰۱۷۷۲	۱/۰۰۰۲۸۱
کریپتون	۰/۰۰۹٤۹	۱/۰۰۰٤۲۷
زنون	۰/۰۰٥٦۹	۱/۰۰۰۷۰۲

۳-۱-۳- پنجره های سه جداره

این نوع پنجره‌ها, پنجره‌هایی هستند که شامل سه لایه شیشه و دولایه هوا با جریان آهسته هستند، این نوع پنجره‌ها به‌خصوص در اقلیم سرد از عایق‌کاری بالایی برخوردار هستند. واحدهای شیشه‌ای سه جداره, افزایش/افت گرمای خورشیدی را در مقایسه با مجموعه‌های تک جداره و دوجداره کاهش می‌دهند و درنتیجه هزینه‌های مربوط به تهویه مطبوع و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش پیدا می‌کند (Kirankumar Gorantla, 2021). به دلیل هزینه زیاد نسبت به پنجره‌های دوجداره در اقلیم‌های معتدل به‌صرفه نیستند اما در اقلیم‌های سرد به دلیل مصرف انرژی زیاد ساختمان در فصول سرد مقرون به صرفه‌تر است. شیشه‌های چند جداره منجر به بهبود عملکرد انرژی در مقایسه با بازشوهای دوجداره شفاف می‌شود. پیکربندی‌های متعدد لعاب‌های شیشه در رنگ‌های مختلف برنز، سبز، خاکستری، رنگ آبی، یاقوت کبود و طلایی باعث کاهش شار حرارتی در مقایسه با شیشه‌های تک جداره می‌شود (شکل ٤)، (Kirankumar Gorantla, 2021). استفاده از پنجره‌های دوجداره و سه جداره در تمامی اقلیم‌ها به‌خصوص اقلیم سرد مناسب است و موجب جلوگیری از هدر رفتن انرژی خواهد شد، پنجره‌های سه جداره به دلیل بالا بودن قیمت تمام‌شده نسبت به پنجره‌های دوجداره استفاده کمتری دارند اما این نوع پنجره با قاب PVC به دلیل به حداقل رساندن مصرف انرژی می‌توانند برای اقلیم سرد بسیار مناسب باشند (مولایی، پیله‌چی‌ها و شادانفر، ۲۰۱۹).

شکل ٤- شیشه سه‌جداره

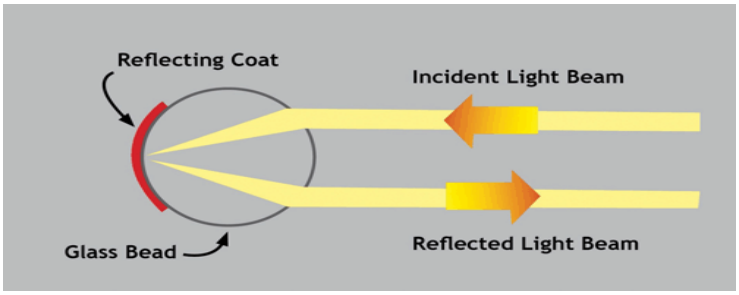
۳-۲- بررسی بازشوها از نظر نوع شیشه

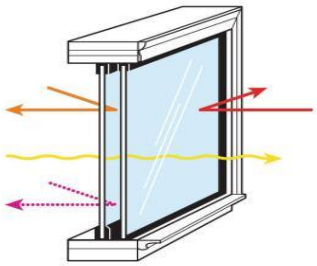
بر اساس مطالعات انجام گرفته بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی در ساختمان‌ها مربوط به سطوح شفاف پنجره‌ها است که بر کنترل هوای فضای داخل ساختمان تأثیر می‌گذارند. در واقع پنجره‌های شفاف به ترتیب مسئول حدود ۳۷٪ تا ٤۰٪ از کل افزایش گرمای خورشیدی و اتلاف حرارت از طریق پوشش ساختمان هستند. طیف نور خورشید را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد: فرابنفش(UV)، نور مرئی و امواج مادون‌قرمز(IR). نور مادون‌قرمز نامرئی تبدیل به گرمای تابشی می‌شود که به بار خنک‌کننده داخل ساختمان کمک

می‌کند (Krarti, 2022). در ادامه به بررسی انواع شیشه‌ها که می‌توانند مصرف انرژی را در اقلیم‌های مختلف، به‌خصوص در اقلیم سرد و یک ساختمان اداری به حداقل برسانند می‌پردازیم.

۳-۲-۱- شیشه‌های بازتابی

در این نوع شیشه‌ها, سطح شیشه با یک فلز یا اکسید فلزی پوشانده می‌شود. این نوع شیشه قابلیت بازتاب کردن نور خورشید را دارد و باعث می‌شود سطح شیشه از یک طرف همانند آینه به نظر برسد. مسئله مهم در انتخاب این نوع از شیشه‌ها این است که در کیفیت نور ورودی تغییر ایجاد می‌کنند و برای پنجره‌های جنوبی توصیه نمی‌شوند (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳). شیشه قابل تعویض بازتابنده شفاف (TRS) یک فناوری نوظهور است که کنترل فعال تابش خورشید را فراهم می‌کند. این شیشه‌های کارآمد نسبت به سایر پنجره‌های هوشمند، مانند شیشه‌های الکتروکرومیک سنتی، برای کنترل انرژی تابشی مزایایی دارند، زیرا انتقال نور خورشید را بر اساس انعکاس نور تحلیل می‌کنند که از گرم کردن غیرضروری فضای داخل توسط نور خورشید جلوگیری می‌کند (Krarti, 2022). این شیشه‌های قابل تعویض می‌توانند با تبدیل حالت از به حالت انعکاسی یا تاریک با یک محرک خارجی (مانند سیگنال‌های الکتریکی) نور خورشید و گرمای ورودی به ساختمان را محدود کند. طبق مطالعات انجام شده زمان سوئیچینگ در این شیشه‌ها از حالت شفاف برای تبدیل شدن به حالت بازتابنده بین ۵ تا ۱۰ ثانیه است. علاوه بر ولتاژ و زمان سوئیچینگ, حافظه نوری یکی دیگر از پارامترهای مهم در این نوع شیشه‌ها است، سیستم‌هایی با حافظه نوری خوب مصرف انرژی پایینی دارند، زیرا می‌توانند وضعیت نوری را حتی در صورت قطع منبع انرژی حفظ کنند (شکل ۵). در واقع شیشه‌های بازتابی اغلب گزینه بهتری نسبت به شیشه‌های شفاف یا رنگی هستند و به‌طورکلی استفاده از این نوع شیشه‌ها برای اقلیم گرم مناسب‌تر است و برای اقلیم‌های سرد استفاده نمی‌شود.





شکل ۵- سیستم شیشه های بازتابی

۳-۲-۲- شیشه‌های کنترل‌کننده انرژی

شیشه‌های کنترل‌کننده انرژی یا low-emissivity که به معنای شیشه‌هایی هستند که انتقال حرارتی کمتری نسبت به شیشه‌های معمولی دارند و مانند یک عایق حرارتی عمل می‌کنند. این نوع از شیشه‌ها اجازه عبور بخش مرئی طیف نور خورشید را می‌دهند اما طیف حرارتی را فیلتر می‌کنند. ضریب انتقال حرارت در یک شیشه دوجداره که یک لایه‌ی آن از شیشه‌های low-e حدود 1/1 یا 1/3 w/m2c است. در اقلیم‌های گرم لایه‌ی low-e در سطح خارجی نصب می‌شود تا از ورود گرما جلوگیری کند اما در اقلیم سرد این لایه در سطح داخلی نصب می‌شود تا از خروج هوای گرم داخل به بیرون جلوگیری کند (شکل ٦). این نوع شیشه‌ها تغییری در کیفیت نور ورودی

ایجاد نمی‌کنند. کارایی این نوع شیشه‌ها به میزان ضریب انتشار نرمال آن‌ها بستگی دارد و هرچه این ضریب انتشار نرمال کمتر باشد امواج کمتری را از خود عبور می‌دهند. این در حالی است مه ضریب انتشار نرمال در یک شیشه معمولی ۰/۸۹ و در شیشه‌های low-e این میزان ۰/۰۵ تا ۰/۲ است؛ بنابراین این نوع شیشه به دلیل به حداقل رساندن مصرف انرژی می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در اقلیم‌های سرد باشد.

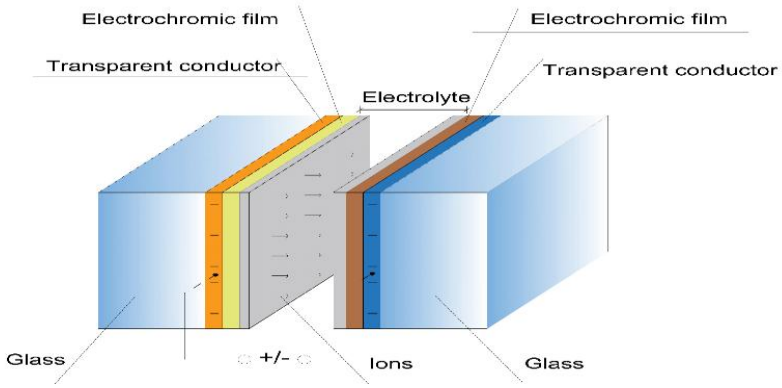
۳-۲-۳- شیشه‌های هوشمند

پنجره‌های هوشمند به‌گونه‌ای از پنجره‌ها اتلاق می‌شود که در عمل می‌توانند تشعشعات نامطلوب را از خود عبور نداده و یا طیف مطلوب تشعشعات را بیش‌ازپیش عبور داده و خانه را از لحاظ کارایی انرژی در سطح بالایی نگاه دارند. پنجره‌های هوشمند میزان انرژی خورشیدی داخل ساختمان را با تنظیم عبور نور کنترل می‌کنند که روشی امیدوارکننده برای کاهش مصرف انرژی ساختمان است. ظهور کریستال‌های فوتونیک (PC) به صنعتی شدن شیشه‌های هوشمند سرعت بالایی بخشیده است (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). با توجه به نیازهای انسان یا تغییر در محیط خارجی، شیشه‌های هوشمند می‌توانند به‌صورت پویا، گذردهی نور، بازتاب و جذب را تنظیم کنند. این نوع شیشه‌ها نسل جدیدی از شیشه‌ها می‌باشند که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، به این ترتیب روشنایی و دمای داخلی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم کنترل شود تا به هدف صرفه‌جویی در انرژی و کاهش مصرف دست یابد (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). این شیشه‌های هوشمند نسبت به محرک‌هایی از قبیل نور یا نیروی الکتریکی عکس‌العمل نشان داده و کیفیت آن‌ها تغییر می‌کند. شیشه‌های الکتروکرومیک، فتوکرومیک، ترموکرومیک و کریستال مایع از این نوع شیشه‌ها می‌باشند. شیشه-های الکتروکرومیک با دریافت جریان برق اندک تغییر رنگ داده و تیره می‌شوند، این نوع از شیشه‌ها قابلیت کنترل دارند. شیشه‌های ترموکرومیک نسبت به گرما حساس‌اند و با گرم شدن تیره‌تر می‌شوند. شیشه‌های فتوکرومیک نسبت به نور حساس‌اند و با افزایش میزان نور تیره‌تر خواهند شد. در شیشه‌های کریستال مایع یک لایه کریستال مایع در بین دو صفحه شیشه قرار می‌گیرد، این نوع شیشه‌ها نیاز به جریان برق دارند و در حال حاضر صرفه اقتصادی زیادی ندارند (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳).

۳-۲-٤- الکتروکرومیک

لعاب‌های الکتروکرومیک (EC) می‌تواند انرژی خورشیدی ورودی به ساختمان را با اعمال ولتاژ اعمالی تعدیل کند (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ۲۰۲۰). الکتروکرومیسم به این معنا است که یک ماده تحت اثر یک ولتاژ اعمال شده تحت یک واکنش ردوکس قرار می‌گیرد و یک تغییر قابل برگشت در آن ایجاد می‌کند. مبنای عملکردی پنجره‌های الکتروکرومیک بر اساس کنتراست نوری، زمان پاسخ‌دهی، راندمان رنگ‌آمیزی و پایداری این چرخه است (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). مواد EC که در پنجره‌ها استفاده می‌شوند را می‌توان لایه‌های نازکی در نظر گرفت که عمدتاً از اکسیدهای فلزات واسطه و مواد آلی تشکیل‌شده‌اند (SoheilFathi, 2021). شیشه‌های الکتروکرومیک میزان عبور نور از خود در محدوده مرئی و مادون‌قرمز را با دریافت پتانسیل DC تعدیل می‌کنند (زاجکانی و جوادی، ١٣٩٤). پنجره‌های الکتروکرومیک (EC) می‌توانند انرژی خورشیدی را کنترل کرده و راحتی بصری را فراهم کنند، این نوع از شیشه‌ها می‌توانند با ابزارهای دیگر مانند سیستم فتوولتائیک یکپارچه ساختمان (BIPV) و سیستم مدیریت انرژی ساختمان (BEMS) استفاده شوند. لعاب EC دارای عبور نور مرئی ٦٢٪ است و ٤٧٪ از انرژی خورشیدی را وارد ساختمان می‌کند، هنگامی‌که یک ولتاژ DC پایین برای رنگ‌آمیزی لایه‌ها اعمال می‌شود مقدار انرژی ورودی به ساختمان تا ٨١٪ کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعاتی (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ۲۰۲۰) در چهار اقلیم متفاوت ایران، تحقیقات نشان داده است که مصرف انرژی ساختمان با استفاده از پنجره‌های EC و سایر ابزارها تا ۵۷/۳۵ درصد کاهش یافته است. بر اساس مطالعات (Neil L.Sbar, 2012) برای تمامی مناطق آب و هوایی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان با شیشه EC در مقایسه با شیشه‌های تک جداره در ساختمان‌ها ٤٥٪ بوده است. (شکل

۷) دوام دستگاه EC یک ویژگی مهم برای شیشه‌های EC است، این لعاب‌ها باید در تمام طول عمر پنجره که می‌تواند بیش از ۳۰ سال باشد، در تمام شرایط آب و هوایی و خورشیدی مقاومت کند.



شکل ٦- یک دستگاه Ec

۳-۲-۵- ترموکرومیک

برخی از فناوری‌های لعاب غیرفعال شامل پوشش‌های ترموکرومیک (Tc) هستند که رنگ و خواص نوری خود را به‌عنوان پاسخ خودکار به تغییرات دما تغییر می‌دهند (Krarti, 2022). لعاب ترموکرومیک توانایی کنترل مقدار نور و گرمای ورودی به ساختمان را با تغییر خصوصیات نوری خود (انتقال، جذب و...) در مواجهه با گرما دارد (Kokogiannakis, Darkwa & Aloisio, 2014). پرداخت وانادیوم دی‌اکسید (Vo2) که معرف پوشش‌های هوشمند ترموکرومیک است، دارای ظرفیت و توانایی تنظیم جذب انرژی خورشیدی به‌صورت پویا است (زاجکانی و جوادی، ١٣٩٤). ترموکرومیسم به رفتار انتقال فاز ماده‌ای اشاره دارد که می‌تواند باعث ایجاد تفاوت در عملکرد نوری تحت تغییرات دمای خارجی برای دستیابی به تغییر رنگ شود. متفاوت از الکتروکرومیسم ها، ترموکرومیسم خود تنظیم است و احتیاجی به مصرف انرژی اضافه ندارد. شاخص‌های ارزیابی عملکرد پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک عمدتاً بر اساس گذر نوری و قابلیت مدولاسیون خورشیدی است. توانایی مدولاسیون خورشیدی یک پارامتر کلیدی برای ارزیابی عملکرد کنترل حرارت است. تنها زمانی که توانایی مدولاسیون خورشیدی بیشتر از ۱۰٪ باشد، کنترل گرمای داخل ساختمان فراورده می‌شود و صرفه‌جویی در مصرف انرژی حاصل می‌شود (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). انتقال نوری در این شیشه‌ها را می‌توان با افزودن یک لایه ضد انعکاس بر روی سطح VO2 بهبود بخشید، اما این امر منجر به تضعیف توانایی مدولاسیون خورشیدی می‌شود؛ بنابراین استفاده از شیشه‌های هوشمند ترموکرومیک به عنوان لعاب بازشوها در اقلیم سرد می‌تواند گزینه مناسبی برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی باشد. طبق مطالعات (Kokogiannakis, Darkwa & Aloisio, 2014)، با این حال عملکرد پوشش‌های ترموکرومیک پیشرفته تا حد زیادی به استفاده از آن بستگی دارد (Sol, Schläfer, Parkin & Papakonstantinou, 2018). لعاب ترموکرومیک تنها در آب‌وهوای گرم که بارهای خنک‌کننده مهم‌تر از بارهای گرمایشی است، صرفه‌جویی در انرژی را دارد.

۳-۲-٦- فتوولتاکرومیک

پنجره‌های الکتروکرومیکی که نیاز به سیم‌کشی ندارند برای صنعت ساختمان بسیار مطلوب می‌باشند, بنابراین تجمع سلول فتوولتائیک و پنجره الکتروکرومیک با در نظر گرفتن سازگاری بین این دو فناوری منجر به ظهور پدیده فتوولتاکرومیک خواهد شد (زاجکانی و

جوادی، ١٣٩٤)؛ بنابراین در این نوع شیشه‌های هوشمند علاوه بر شیشه‌های الکتروکرومیک، سلول‌های فتوولتائیک برای ذخیره و جلوگیری از هدر رفتن انرژی هم وجود دارد.

٣-٢-٧- کریستال مایع

دیگر دستگاه‌های شیشه‌ای فعال که هنوز به‌صورت گسترده برای پنجره‌ها استفاده نشده‌اند، شامل دستگاه‌های ذرات معلق (SPD) و دستگاه‌های کریستال مایع (LCD) هستند که با استفاده از جریان جایگزین Ac کار می‌کنند (Krarti, 2022). مکانیزم تغییر (سوئیچینگ) در این فناوری در خواص نوری آن در واقع همان تغییر جهت مولکول‌های کریستال مایع بین دو الکترود رسانا با اعمال میدان الکتریکی است که نتیجه آن تغییر در میزان عبور نور از شبکه کریستال‌ها خواهد بود (زاجکانی و جوادی، ١٣٩٤). امروزه استفاده از این نوع شیشه به میزان قابل توجهی نیست, اما استفاده از شیشه‌هایی که در بالا ذکر شد استفاده بیشتری دارد.

٣-٣- بررسی انواع پروفیل در بازشوها

عملکرد حرارتی ضعیف پنجره‌ها را تا حد زیادی می‌توان به قاب آن‌ها نسبت داد که معمولاً انتقال حرارتی بالاتری نسبت به بخش‌های لعاب دارند (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). معمولاً در ساخت قاب از مواد مختلفی استفاده می‌شود. الوارها با سابقه طولانی به‌عنوان مصالح ساختمانی به‌طور سنتی برای تولید پنجره‌ها استفاده می‌شده است. در دوران مدرن طیف وسیعی از مواد جایگزین مانند آلومینیم، فولاد، پلی وینیل کلراید (PVC) و مواد کامپوزیتی در بازار معرفی شده است (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). در این میان قاب‌های چوبی، آهنی، آلومینیمی و UPVC پرکاربردترند. پروفیل‌ها نیز علاوه بر تعداد جداره و نوع شیشه، نقش بسیار زیادی را جهت جلوگیری از هدر رفتن انرژی در ساختمان‌ها ایفا می‌کنند که در ادامه به چند نمونه پرکاربرد آن‌ها می‌پردازیم.

٣-٣-١- قاب‌های چوبی

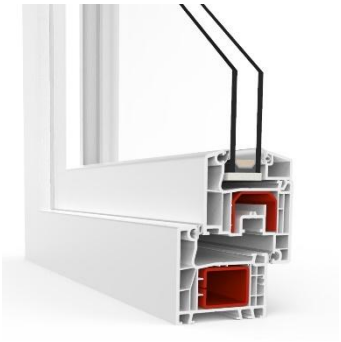
چوب به‌عنوان ماده‌ای رایج در طبیعت از اولین مصالحی بود که در ساختمان‌ها بخصوص ساخت پروفیل‌های بازشوها مورد استفاده قرار گرفت. الوارها هم‌چنین با روکش‌های آلومینیمی و PVC نیز عرضه می‌شوند (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). این روکش‌های آلومینیمی بر روی سطح بیرونی قاب آن‌ها برای محافظت بهتر در برابر در برابر اثرات جوی است، به‌عنوان‌مثال در برابر باران و برف چوب زیرین را در برابر عوامل تخریب محیطی محافظت می‌کند و باعث طول عمر کلی پنجره خواهد شد (Arıcı, Karabay & Kan, 2015). در این‌گونه قاب‌ها رسانایی مهم‌ترین راه انتقال حرارت است، درحالی‌که همرفت و تابش در سایر پروفیل‌ها اهمیت بیشتری دارد (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ٢٠٢٠). از مزایای چوب می‌توان به ضریب انتقال حرارتی پایین آن اشاره کرد که در مقابل این ویژگی معایبی همچون افت و پوسیدگی را به همراه دارد. پنجره‌های آهنی نیز استحکام بالایی دارند اما در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی مقاوم نیستند و امروزه استفاده از آن‌ها بسیار محدود گشته است؛ اما در این میان دو نوع آلومینیمی و UPVC، بسیار پرکاربرد هستند.

٣-٣-٢- قاب‌های آلومینیمی

قبل از رواج پنجره‌های UPVC، پنجره‌های آلومینیمی بسیار پرکاربرد بودند. مشکل اصلی در این نوع قاب‌ها رسانا بودن آن‌ها است. به‌عنوان‌مثال رادیاتورهای سیستم گرمایش مرکزی در ساختمان‌ها را از آلومینیم می‌سازند. برای حل این مشکل قاب‌های ترمال بریک معرفی شدند که به‌وسیله دو مقطع پروفیل آلومینیمی مجزا تشکیل شده که به‌وسیله تیغه‌های پلی آمید به یکدیگر متصل گشته‌اند (نمازیان و سپهری، ١٣٩٣). امروزه عملکرد قاب‌های آلومینیمی در مقایسه با قاب‌های چوبی با استفاده از ترمال بریک و حفره‌ها قابل مقایسه

است. نصب سیستم‌های ترمال بریک، عملکرد قاب‌های آلومینیمی را امروزه با قاب‌های چوبی قابل مقایسه کرده است، حفره‌های متعدد در داخل قاب‌های آلومینیمی نشان‌دهنده بررسی عمیق فرآیند تبادل حرارت است (Bagheri, Mokarizadeh & Jabbar, 2013). قاب‌های آلومینیمی و UPVC از نظر اتلاف انرژی در سطح قابل قبولی قرار دارند. آلومینیم یک کالای سرمایه‌ای و قابل بازیافت است، درحالی‌که UPVC این قابلیت را ندارد. ازآنجاکه آلیاژ آلومینیم یک نوع فلز است، انتقال حرارت بسیار سریع است، بنابراین وقتی اختلاف دمای بیرون و درون زیاد باشد، انواع آلیاژهای آلومینیم می‌توانند به پلی برای انتقال حرارت تبدیل شوند که در اینجا می‌توان از نوارهای پلی آمید در بین پروفیل آلومینیم پنجره برای کاهش تبادل انرژی استفاده کرد. پروفیل آلومینیم ترمال بریک دارای برخی ویژگی‌ها است که در بعضی شرایط می‌تواند با پروفیل پی‌وی‌سی رقابت کرده و در بعضی شرایط نسبت به آن برتری یابد.

شکل ۷-پروفیل آلومینیمی



شکل ۸- قاب پنجره UPVC

۳-۳-۳- قاب‌های UPVC

UPVC هم‌اکنون از پرمصرف‌ترین و مطمئن‌ترین مواد در ساخت پروفیل‌های در و پنجره است (نمازیان و سپهری، ۱۳۹۳). قاب‌های پی‌وی‌سی تو خالی هستند و حاوی چندین حفره پر از هوا است (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). امروزه در کشورهای اروپایی بیش از ۷۰ درصد سهم بازار در اختیار این نوع پنجره‌ها است. مهم‌ترین ویژگی در این نوع پنجره‌ها کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و اداری است. طبق مطالعات انجام گرفته (Nathan Van Den Bossche, 2015) در جدول شماره ۲ میزان Uf را برای سه قاب مرجع محاسبه کرده‌اند که برای ضخامت شیشه ۲٤ میلی‌متر (دوجداره) و ٤۲ میلی‌متر (سه جداره) نشان داده شده است. استفاده از قاب‌های پی‌وی‌سی امروزه به دلیل مسائل حفظ انرژی در انواع اقلیم‌ها و ساختمان‌های مسکونی، اداری و آموزشی بسیار مرسوم است و در اقلیم سرد با استفاده از این نوع قاب و شیشه‌های دوجداره و سه جداره و با توجه به هزینه و کاربری استفاده از شیشه‌های کنترل‌کننده انرژی (Low-e) توصیه می‌گردد.

جدول ۲- میزان Uf برای سه قاب آلومینیمی، چوبی و پلی وینیل کلراید (PVC)

مقدار Ufدر قاب	شیشه دوجداره ۲٤ میلی‌متر (W/m2K)	شیشه سه جداره ٤۲ میلی‌متر (W/m2K)	اختلاف (W/m2K)	اختلاف (٪)
Aluminum	۲/۷۷۳	۲/٦۱۸	۰/۱٥٥	٥/٥۹
Wood	۱/۷۰۷	۱/٦٤۰	۰/۰٦۷	۳/۹۳

vinyl	۱/۵۰۳	۱/٤٥١	۰/۰۵۳	۳/٤٦

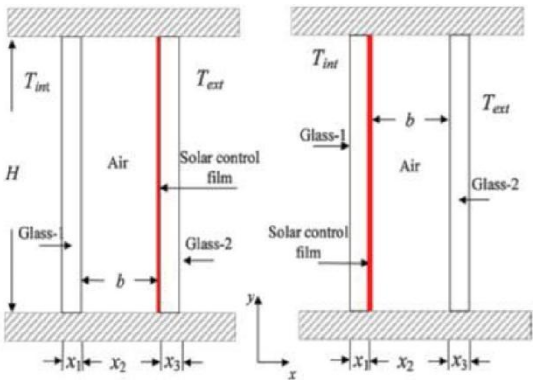
۳-۴- بررسی ساختمان‌های اداری برای بهره‌مندی از نور روز

در طول قرن گذشته، در جوامع به‌وضوح نیاز به کاهش مصرف انرژی، به‌خصوص در ساختمان‌ها، از طریق استفاده مناسب از روشنایی، تهویه مطبوع و سایر فرآیندهای مرتبط با فعالیت‌های انسانی در این زمینه را با توجه به ساعت تابستانی (DST) که توسط جورج هادسون در سال ۱۸۹۵ پیشنهاد شد و ساعت هارا در آن یک ساعت به جلو در مقایسه با زمان استاندارد در مقایسه با زمان استاندارد در اوایل بهار و دوباره در پاییز تنظیم می‌کند. هدف از این پیشنهاد ترویج هماهنگ‌سازی فعالیت‌های انسانی با نور روز در ساعات اوج مصرف انرژی است (Bellia, Acosta, Campano & Fragliasso, 2020). بر اساس این الگو در طول بهار و تابستان میزان فعالیت‌های انسان به مدت یک ساعت تغییر می‌کند، از نور روز استفاده بهتری می‌شود و در استفاده از روشنایی‌های الکتریکی برای فعالیت‌های انسان صرفه‌جویی می‌شود. زمان خورشیدی به معنای زمان خاص یک مکان به دلیل حرکت ظاهری خورشید است. در این حالت در زمان ظهر خورشید در بالاترین موقعیت در آسمان قرار می‌گیرد. بر اساس مطالعات انجام شده مشخص گردیده است که میزان DST نه تنها در صرفه‌جویی در انرژی، بلکه در آسایش انسان نیز تأثیر می‌گذارد (Bellia, Acosta, Campano & Fragliasso, 2020). با توجه به اینکه ساعت بدن انسان به‌طور طبیعی تمایل دارد که با ساعت خورشیدی همگام شود و چون نور روز عاملی مهم در تنظیم ریتم‌های شبانه‌روزی است بنابراین باعث شرایط آسایش برای انسان خواهد بود. نور روز اغلب منبع مؤثری برای صرفه‌جویی در انرژی و آسایش نوری در ساختمان در نظر گرفته می‌شود. افراد در محل کار انتظار نور مناسب را دارند. کیفیت و میزان نوری که وارد ساختمان می‌شود به ویژگی‌های داخلی و خارجی بنا بستگی دارد. دفاتر و ساختمان‌های اداری بسیار زیادی وجود دارند که از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان برق هستند (Rastegari, Pournaseri & Sanaieian, 2021). نتایج تجزیه‌وتحلیل بهینه‌سازی بازشوها تائید می‌کنند که شیشه‌های هوشمند می‌توانند بازدهی انرژی قابل‌توجهی را برای ساختمان‌های اداری در صورت همراهی با کنترل‌های روشنایی روز به‌ویژه برای آب‌وهوای سرد و پنجره‌های بزرگ فراهم کنند (MoncefKrarti, 2021). عوامل مصرف انرژی در ساختمان را می‌توان با توجه به تأثیر آن‌ها بر مصرف انرژی به دو دسته عوامل عینی غیرقابل کنترل و عوامل ذهنی قابل کنترل تقسیم نمود، مورد اول شامل عواملی است که باعث تفاوت‌های عینی و معقول مصرف انرژی ساختمان می‌شود، مانند شرایط آب و هوایی، اندازه و کاربری ساختمان. مورد دوم شامل عوامل مدیریتی ساختمان است که باعث تفاوت‌های درونی مصرف انرژی ساختمان می‌شود، مانند ساختار پوشش ساختمان سیستم‌های تجهیزاتی داخل ساختمان (Zhuling Zheng Zhi Zhuang, 2017) . ساختمان‌های اداری به دلیل وقوع هم‌زمان زیاد گرمای داخلی و خورشیدی در طول روز ب راحتی بیش از حد گرم می‌شوند (Kokogiannakis, Darkwa & Aloisio, 2014) ساختمان‌های اداری بلند مرتبه هر روز با افراد زیادی سر و کار دارند و برنامه کاری آن‌ها به ساعات خاصی در طول روز محدود می‌شود. تعداد زیاد افراد و گرمای تولید شده ناشی از فعالیت‌ها، تجهیزات اداری و چراغ‌ها باعث افزایش تقاضای سرمایش و مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه اداری می‌شود. از سوی دیگر، میانگین شدت مصرف انرژی (EUI) ساختمان‌های اداری در کشورهای در حال توسعه مانند ایران حدود ۳۵۰ kWh/m2 است که بیشتر از میانگین جهانی است (Bagheri, Mokarizadeh & Jabbar, 2013). بهبود عملکرد انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه اداری با استفاده از شیشه‌های هوشمند راهکاری مناسب در جهت بهبود پنجره‌های این نوع ساختمان‌ها است. پنجره‌های هوشمند با استفاده از خواص حرارتی و نوری خود می‌توانند کارآیی انرژی و شرایط آسایش داخلی را بهبود بخشند. چندین مطالعه بر روی تأثیر پنجره‌های EC بر روی مصرف انرژی کلی ساختمان‌ها انجام شده است (Pasternack, Bhend, Liniger, Rust,

(Müller & Ulbrich, 2018). کارهای تحقیقاتی پیشین نشان داده‌اند درنتیجه استفاده از پنجره‌های EC در فصل زمستان نسبتاً ٤٨٪ و در فصل تابستان ٥٣٪ قابلیت صرفه‌جویی در انرژی وجود دارد. استفاده از پنجره‌های الکتروکرومیک طبق تحقیقات پیشین موجب کاهش تقاضای سرمایش ساختمان و افزایش تقاضای گرمایش و روشنایی داخل ساختمان می‌شود (Bagheri, Mokarizadeh & Jabbar, 2013). در همین حال انتخاب رنگ برای لعاب نیز بسیار مهم است، همچنان که طبق تحقیقات پیشین (شاعری، وکیلی نژاد و یعقوبی، ۲۰۲۰). دریافتند که رنگ می‌تواند بر عملکرد آن‌ها تأثیر بگذارد. در این تحقیقات پنج نوع مختلف لعاب رنگی را موردبررسی قراردادند و دریافتند که تمامی پنجره‌های رنگی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه را کاهش می‌دهند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری به مسئله‌ای مهم در سال‌های اخیر تبدیل شده است و ساعات مشخصی برای استفاده در این ساختمان‌ها وجود دارد، بازشوها در این ساختمان‌ها جزو نقاط ضعیف طراحی از لحاظ هدر دادن انرژی در اقلیم سرد محسوب می‌شوند، لذا شناخت انواع بازشوها و عملکرد آن‌ها در اقلیم مسئله‌ای حائز اهمیت است. در این ساختمان‌ها به دلیل عملکرد و سیمای شهری استفاده از سایه بان های افقی و عمودی مرسوم نیست، لذا شناخت انواع شیشه‌های هوشمند و پروفیل‌ها برای بیشترین بهره‌وری از انرژی مهم است. در انتهای این مطالعه بهترین نوع بازشوها برای اقلیم سردسیر که کاهش تبادل حرارتی بین فضای داخل و خارج مدنظر است و انرژی تابشی برای فضای داخلی بسیار مؤثر است، پیشنهادهایی جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلند مطرح می‌شود. استفاده از شیشه‌های دوجداره کاملاً شفاف و غیر رفلکس جهت جذب حداکثری انرژی تابشی خورشید بسیار دارای اهمیت است. اگر اقلیم بسیار سردسیر باشد می‌توان از شیشه‌های کنترل کننده انرژی یا Low-e نیز استفاده کرد. استفاده از پروفیل‌های upvc با تعداد کانال و ضخامت بالا در پنجره دوجداره نیز در این مناطق باعث عملکرد حرارتی بهتر پنجره خواهد شد. با افزایش جداره ٥٠٪ تا ٦٧٪ میزان انتقال حرارت را کاهش داد. گاهی در پنجره‌های دوجداره از فیلم‌هایی جهت تنظیم نور خورشید استفاده می‌شود که طبق تحقیقات محل قرارگیری فیلم با توجه به اقلیم متفاوت است و در اقلیم گرم مؤثرتر از اقلیم سرد است (شکل ۹). پنجره مناسب اقلیم سرد تابش‌های طول موج بلند را به داخل انتقال داده و باید مانع از عبور تابش از داخل به بیرون شود. در تمامی اقلیم‌های مورد بررسی در شهرهای ایران درباره نوع هوا در پنجره‌های دوجداره، کمترین کاهش مصرف بار گرمایی با گاز هوا و بیشترین کاهش مصرف بار گرمایی با گاز زنون و کریپتون می‌باشد.



شکل ۹- اجزای پنجره دوجداره با لایه کنترل نور خورشید در آب و هوای گرم(چپ)و سرد(راست)

۵- منابع

۱- زاجکانی، اصغر؛ و جوادی، امیرحسین(۱۳۹٤). مروری بر پنجره‌های هوشمند. کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی**https://sid.ir/paper/830224/fa**

۲- شاعری، جلیل؛ وکیلی نژاد، رزا؛ و یعقوبی، محمود(۲۰۲۰). تأثیر نوع گازهای میانی پنجره‌های دو و سه جداره بر بار سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران. *معماری و شهرسازی ایران* (JIAU)، ۱۰(۲)، ۲۱۱-۲۲۵. **doi:10.30475/isau.2020.103683**

۳- مولایی، محمدمهدی؛ پیله‌چی‌ها، پیمان؛ و شادانفر، عطیه(۲۰۱۹). بهینه‌سازی تناسبات بازشو و جبهه نورگیری با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری. *نقش‌جهان*، ۲٦(۹)، ۱۱۸-۱۲۳. **dor:20.1001.1.23224991.1398.9.2.6.7**

۴- نمازیان، علی؛ و سپهری، یحیی(۲۰۱۵). نقش شیشه (پنجره) در رفتار حرارتی ساختمان. *مسکن و محیط روستا*، ۳٤(۱۵۲)، ۸۵-۱۰۰.

5- Bitaab, M., Hosseini Abardeh, R., & Movahhed, S. (2019). Experimental and numerical study of energy loss through double-glazed windows. *Heat and Mass Transfer*, *56*(3), 727-747.

6- Pasternack, A., Bhend, J., Liniger, M. A., Rust, H. W., Müller, W. A., & Ulbrich, U. (2018). Parametric decadal climate forecast recalibration (DeFoReSt 1.0). *Geoscientific Model Development*, *11*(1), 351-368. **doi:10.5194/gmd-11-351-2018**

7- Arıcı, M., Karabay, H., & Kan, M. (2015). Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows. *Energy and Buildings*, *86*, 394-402. **doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.043**

8- Ekici, B. B., & Aksoy, U. T. (2008). Investigation of the effects of orientation and windows usage on external walls in terms of heating and cooling energy. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *32*(1), 23-33.

9- Sol, C., Schläfer, J., Parkin, I. P., & Papakonstantinou, I. (2018). Mitigation of hysteresis due to a pseudo-photochromic effect in thermochromic smart window coatings. *Scientific reports*, *8*(1), 13249. **doi:10.1038/s41598-018-31519-x**

10- Bagheri, F., Mokarizadeh, V., & Jabbar, M. (2013). Developing energy performance label for office buildings in Iran. *Energy and Buildings*, *61*, 116-124. **doi:10.1016/j.enbuild.2013.02.022**

11- Kokogiannakis, G., Darkwa, J., & Aloisio, C. (2014). Simulating thermochromic and heat mirror glazing systems in hot and cold climates. *Energy Procedia*, *62*, 22-31. **doi:10.1016/j.egypro.2014.12.363**

12- Krarti, M. (2022). Energy performance of control strategies for smart glazed windows applied to office buildings. *Journal of Building Engineering*, *45*, 103462. **doi:10.1016/j.jobe.2021.103462**

13- Laura Bellia, I. A. (2020). Impact of daylight saving time on lighting energy consumption and on the biological clock for occupants in office buildings . elsevier, 1347-1364.

14- Bellia, L., Acosta, I., Campano, M. Á., & Fragliasso, F. (2020). Impact of daylight saving time on lighting energy consumption and on the biological clock for occupants in office buildings. *Solar Energy*, *211*, 1347-1364. **doi:10.1016/j.solener.2020.10.072**

15- Rastegari, M., Pournaseri, S., & Sanaieian, H. (2021). Daylight optimization through architectural aspects in an office building atrium in Tehran. *Journal of Building Engineering*, *33*, 101718. **doi:10.1016/j.jobe.2020.101718**

16- Mingxin Feng, X. B. (2020). Review: smart windows based on photonic crystals. Springer Science+Business Media.

17- MoncefKrarti. (2021). Design optimization of smart glazing optical properties for office spaces. elsevier, 118411.

18- Nathan Van Den Bossche, L. B. (2015). Thermal optimization of window frames . 6th International Building Physics Conference, 1876-6102.

19- Neil L.Sbar, L. M. (2012). Electrochromic dynamic windows for office buildings. International Journal of Sustainable Built Environment, 125-139.

20- P. Gohari. (2019). The influence of building material, windows and insulators on energy saving in different climate zones in Iran. International Journal of Energy and Water Resources, 42108-019-00044-6. **doi:10.1007/s42108-019-00044-6**

Typology Analysis of Various Windows and Smart Glasses for Optimal Energy Consumption in an Office Building in a Cold Climate

Mahrokh Gholizadeh[1], Morteza Maleki[2], Mohammad Mahdi Molaei*[3]

1- M.A. Student, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
Mahrokhgh97@Gmail.com

2- Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
m.moulaii@basu.ac.ir

3- Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Corresponding Author).
Mo.maleki@basu.c.ir

Abstract

Energy consumption has rapidly increased over the past few decades. After the energy crisis of the 1970s and the subsequent rise in crude oil and energy prices, the focus on energy conservation has expanded. All buildings, including office buildings, contribute significantly to a substantial portion of global energy consumption, making energy performance a fundamental criterion in early-stage decision-making. Heat transfer and energy loss through openings and windows are critical concerns in all climates, particularly in cold climates, where they represent some of the weakest points of the building envelope in terms of thermal loss. Since appropriately designed openings are an effective strategy for maintaining energy inside the building, this study (a brief report) explores various window configurations that can reduce energy loss in buildings. This research examines different types of openings based on their geometry, the number of glazing layers (such as single, double, and triple glazing), the type of glass used (including reflective, energy-controlling, and smart glasses), different window frame profiles, and the insulating gases used between panes. The study aims to optimize window designs based on the number of glazing layers and their orientation in an office building located in a cold climate. In conclusion, the most efficient window type for cold climates is identified, considering the significance of solar radiation in such regions.

Keywords: Energy conservation, Cold climate, Openings, Window glazing, Office space.

This Journal is an open access Journal Licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License

(CC BY 4.0)