

مزایای اقتصادی استفاده از فناوری نانو شیشه‌های نانو ساختار کم‌گسیل (Low-E)

سال انتشار: ۱۴۰۰



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزابلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
سندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	اینستاگرام نانو و صنعت:	IND@nano.ir
تهیه‌کننده:	سروش صحرائیان محمدحسن قناعتیان	پست الکترونیک:	IND@nano.ir

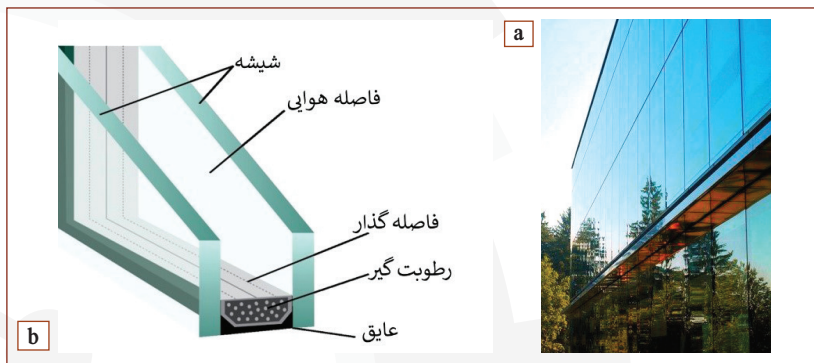
فهرست مطالب

۳	مقدمه
۴	نحوه عملکرد شیشه‌های کم‌گسیل
۵	انواع شیشه‌های کم‌گسیل
۸	مقایسه شیشه‌های کم‌گسیل و معمولی
۱۱	شرکت‌های ایرانی فعال در زمینه شیشه‌های کم‌گسیل

مقدمه

کاربردهای فناوری نانو در صنایع ساخت و ساز، روز به روز در حال گسترش است. یکی از کاربردهای صنعتی این فناوری در ساخت شیشه‌های نانو ساختمانی است که در ایران نیز تولید می‌شود. به طور کلی پنجره‌ها بخش قابل توجهی از ساختمان‌های مسکونی را تشکیل می‌دهند و بیشترین سطح پنجره شامل شیشه آن است؛ بنابراین مقدار زیادی از انتقال انرژی علاوه بر انتقال صدا و حرارت از طریق شیشه انجام می‌شود. ضریب انتقال حرارتی بالای شیشه باعث مصرف زیاد انرژی می‌شود زیرا در اثر تبادل حرارت بین دو سمت شیشه، دمای داخل ساختمان تغییر یافته و برای حفظ دما در حد آسایش، نیاز به مصرف زیاد انرژی خواهد بود. پنجره‌ها در یک منزل مسکونی مسئول اتلاف ۲۶ درصد تا ۴۸ درصد انرژی حرارتی هستند. همچنین امواج فرابنفش نور که از شیشه عبور می‌کند باعث بیماری‌های پوستی و رنگ‌رفتگی وسایل داخل ساختمان می‌شود. امروزه با پیشرفت فناوری انواع زیادی از شیشه‌ها در بازار موجود است که تمام آن‌ها با اضافه کردن خصوصیات مختلف به شیشه تک جداره معمولی ساخته می‌شوند. در این راستا علاوه بر شیشه‌های تک جداره انواع دیگر شیشه مانند، شیشه‌های دوجداره، رفلکس، کم‌گسیل و... وجود دارند [۱].

تبدیل شیشه معمولی به شیشه رفلکس برای کاهش دید ساختمان‌های بلند و آپارتمانی صورت می‌گیرد. علاوه بر این برای زیباتر نشان دادن نمای بیرونی و بهره بردن از مزایای این شیشه در کاهش مصرف انرژی در انواع ساختمان‌ها از شیشه رفلکس استفاده می‌شود. برای تبدیل شیشه معمولی به شیشه رفلکس، یک لایه نازک آلومینیومی به یک طرف شیشه چسبانده می‌شود. نازک بودن این لایه باعث می‌شود تا نور کمی از شیشه عبور کند. شیشه دوجداره در واقع قابی است که از دو یا چند لایه شیشه موازی هم تشکیل شده است. بین دو شیشه فاصله‌ای چند میلی متری قرار دارد. این فضای خالی معمولاً با هوای خشک یا گازی بی اثر مانند گاز آرگون پر می‌شود. این فضای پر شده از گاز، اجازه همرفت انرژی را نمی‌دهد و شیشه مانند یک عایق بین محیط داخلی و خارجی عمل می‌کند؛ بنابراین استفاده از این شیشه‌ها تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی دارد [۲].



شکل ۱- نمایی از (a) شیشه رفلکس و (b) شماتیک شیشه دوجداره

شیشه‌های کم‌گسیل

جدیدترین نسل شیشه‌های نانو ساختار به عنوان شیشه‌های کم‌گسیل (LOW-E) معروف شده‌اند. در این شیشه‌ها

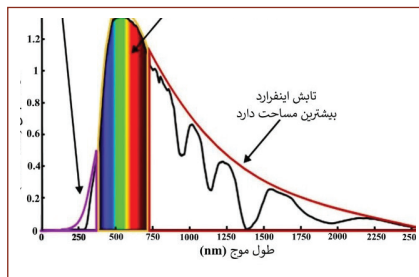
از نانوذراتی مانند نقره به صورت پوشش استفاده می‌شود. قابلیت اصلی این شیشه‌ها توانایی انتخاب طول موج عبوری از شیشه است. در این شیشه نور مرئی به راحتی به داخل انتقال می‌یابد و این موضوع باعث کاهش استفاده از نورهای مصنوعی در ساختمان می‌شود. اصول کار این نوع شیشه‌ها بر مبنای بازتابش طیف خاصی از انرژی است که در روشنایی ساختمان تأثیری ندارد. به توانایی تابش یک ماده، گسیلندگی^۱ می‌گویند. موادی که انعکاس بالایی دارند دارای گسیلندگی کم و مواد مات و تیره (با جذب بالا) گسیلندگی زیادی دارند [۱].



شکل ۲- هرچه سطح شیشه‌ای ساختمان بیشتر باشد استفاده از شیشه‌های نانو ساختار Low-E اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

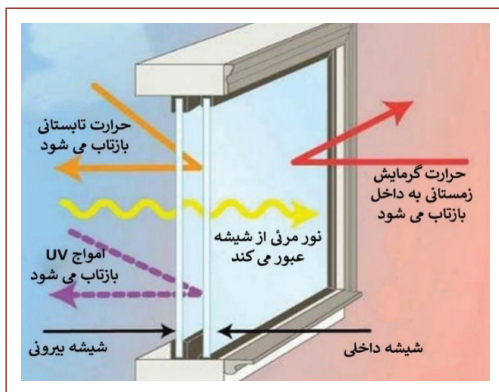
نحوه عملکرد شیشه‌های کم‌گسیل

سه طیف پرشدت نور خورشید شامل امواج فرابنفش، مرئی و فروسرخ است. نور فرابنفش با طول موج کمتر و انرژی بیشتر برای پوست و چشم انسان مضر است و باعث رنگ‌پریدگی اجسام نیز می‌شود. این طیف در طول موج‌های بین ۳۰۰ تا ۳۸۰ نانومتر قرار دارد. نور مرئی که رنگ‌ها را در خود دارد با طول موج بین ۳۸۰ تا ۷۸۰ نانومتر توسط چشم انسان شناسایی می‌شود. نور مادون قرمز با طول موج بیشتر از ۷۸۰ نانومتر باعث انتقال حرارت می‌شود.



شکل ۳- طیف‌های پرشدت نور خورشید

حرارت از شی با دمای بالا مانند خورشید به صورت امواج مادون قرمز ساطع می شود. پوشش کم گسیل در شیشه های Low-E از عبور بخش زیادی از اشعه و امواج گرمازای مادون قرمز از شیشه جلوگیری می کند. این کار بدون کاهش در شدت امواج نور مرئی صورت می گیرد. زمانی که تابش خورشید به سطح شیشه کم گسیل می رسد، طیف امواج مرئی از آن عبور کرده و امواج مادون قرمز و فرابنفش بازتاب می شوند (شکل ۴) [۱].



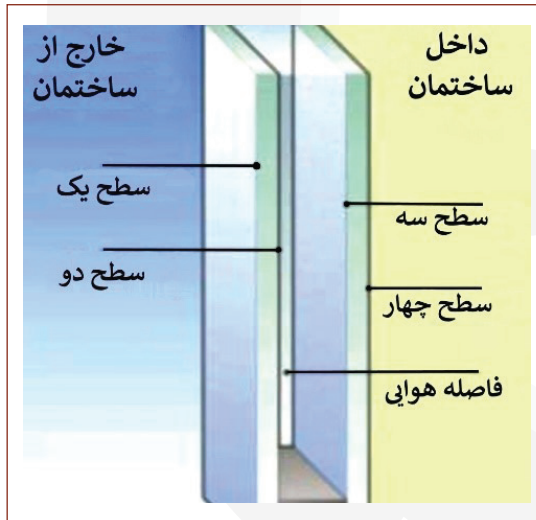
شکل ۴- رفتار نور در برخورد با شیشه کم گسیل

انتقال حرارت از درون شیشه به سه صورت تابش، همرفت و رسانش اتفاق می افتد. عمده انتقال ضریب گسیل یک سطح بین ۰ و ۱ است. شیشه شفاف بدون پوشش دارای ضریب گسیل تقریباً ۰٫۸۴، و یک شیشه با پوشش کم گسیل دارای ضریب گسیل پایین تقریباً ۰٫۰۲ است. پوشش نانومتری روی سطح شیشه های Low-E می تواند طیف تابش خورشیدی در طول موج های مادون قرمز و بیشتر از آن را منعکس کند. در فصل زمستان که تمایل انتقال حرارت از داخل ساختمان به سمت محیط سرد بیرون است، این شیشه ها گرما را به درون منعکس می کنند و در فصل تابستان حرارت بیرون از ساختمان نمی تواند به داخل را یابد؛ بنابراین با استفاده از شیشه های کم گسیل مقدار اتلاف انرژی در زمستان و تابستان کم می شود. پوشش شیشه های کم گسیل مواد با ضریب گسیل کم نظیر نقره هستند [۲].

انواع شیشه های کم گسیل

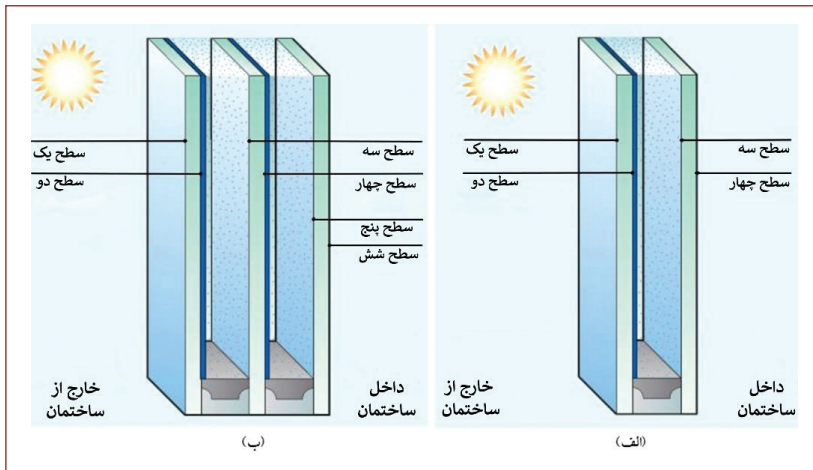
شیشه های کم گسیل به دو نوع پوشش های انفعالی و پوشش های کنترل تابشی تقسیم بندی می شوند. شیشه های کم گسیل انفعالی برای مناطق سردسیر مناسب هستند، زیرا بخشی از تابش با طول موج های کم را از خود عبور می دهند اما پوشش های کم گسیل کنترل تابشی ضریب گسیل بسیار پایین تری دارند و برای مناطق با آب و هوای گرم مناسب هستند. ایجاد این دو نوع پوشش در شیشه های دوجداره و سه جداره بر روی سطوح مختلفی امکان پذیر است.

در شیشه های دوجداره ۴ سطح وجود دارد: اولین سطح، لایه بیرونی است که خاصیت کم گسیل ندارد. سطح های دوم و سوم که داخل پنجره دوجداره بوده و با هوا یا گازهای خنثی جدا شده اند و چهارمین سطح داخل قرار دارد [۳-۴].



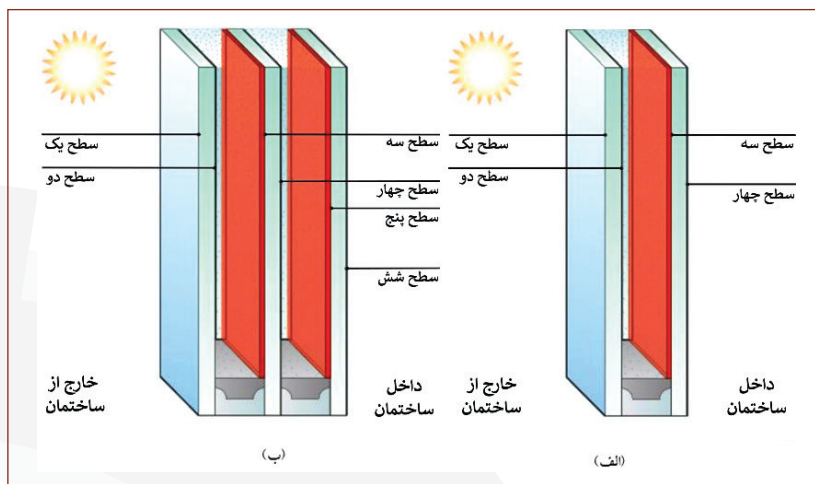
شکل ۵- انواع لایه‌ها در شیشه‌های کم‌گسیل

شکل ۶ محل قرارگیری پوشش کنترل تابشی را در دو نوع دوجداره و سه جداره نشان می‌دهد. در قسمت الف پوشش روی قسمت داخلی شیشه (سطح دوم) است. اضافه کردن گاز آرگون یا یک لایه دوم پوشش کم‌گسیل بر روی سطح چهار موجب بهبود عملکرد شیشه می‌شود. در شیشه سه جداره پوشش بر روی سطوح دوم و چهارم است.



شکل ۶- محل قرارگیری پوشش کم‌گسیل کنترل تابشی برای شیشه (الف) دوجداره و (ب) سه جداره

شکل ۷ محل قرارگیری پوشش کم گسیل انفعالی را در پنجره‌های دو سه جداره نشان می‌دهد. در این حالت سطح پوشش روی قسمت داخلی شیشه (سطح سوم) به سمت داخل ساختمان است. همانند پوشش کم گسیل کنترل تابشی، اضافه کردن گاز آرگون یا یک پوشش کم گسیل ثانویه روی سطح چهارم، عملکرد این شیشه را بهبود می‌بخشد. همچنین برای شیشه‌های سه جداره، پوشش کم گسیل انفعالی بر روی سطح داخلی شیشه هاست. اضافه کردن گاز آرگون یا پوشش سوم کم گسیل بر روی سطح ششم تأثیر بسزایی بر عملکرد این شیشه ندارد. البته یکی از حالات پوشش دهی مرسوم، استفاده از سطوح ۲ و ۳ است که در این حالت بیشترین راندمان به دست نمی‌آید [۳].



شکل ۷- محل قرارگیری پوشش کم گسیل انفعالی برای شیشه‌های (الف) دوجداره، (ب) سه جداره [۳].

- شاخص‌هایی که برای اندازه‌گیری میزان تأثیر شیشه‌های Low-E وجود دارد شامل:
- ضریب انتقال حرارت (U-Value): مشخص‌کننده میزان عبور گرما از پنجره است.
 - ضریب نور قابل رؤیت VLT: نشان‌دهنده میزان عبور نور مرئی به داخل است.
 - ضریب SHGC: کسری از تابش خورشید که از شیشه عبور می‌کند.
 - ضریب LSG (VLT/SHGC): با افزایش این شاخص روشنایی داخل ساختمان بدون بالا رفتن حرارت بیشتر می‌شود [۳].

جدول ۱ نشان‌دهنده شاخصه‌های سه نوع مختلف از شیشه‌های Low-E موجود در بازارهای بین‌المللی است. شیشه‌های کم گسیل Low-E نانو ساختار تولید شده به راحتی امکان اجرا روی پروفیل‌های رایج پنجره‌های دوجداره را دارا بوده و نیازی به طراحی پروفیل‌های جدید وجود ندارد.

جدول ۱- مقایسه بین شیشه‌های کم‌گسیل براساس شاخص‌های تعریف شده [۳]

نام تجاری	U-Value	VLT	SHGC	LSG
Pyrolytic	۰٫۳۳-۰٫۳۷	٪۵۴-٪۷۴	۰٫۴۵-۰٫۶۶	۱٫۰۹-۱٫۲۵
Double-Silver MSVD (HighVLT/Low Reflectance)	۰٫۲۹-۰٫۲۹	٪۵۳-٪۷۰	۰٫۲۸-۰٫۳۹	۱٫۷۶-۱٫۹۸
Triple-Silver MSVD (HighVLT/Low Reflectance)	۰٫۲۸-۰٫۲۹	٪۶۱	۰٫۲۷-۰٫۳۰	۲٫۱۷-۲٫۳۷

مقایسه شیشه‌های کم‌گسیل و معمولی

برای مقایسه کاربرد شیشه‌های نانو ساختار Low-E با شیشه‌های معمولی می‌توان شرایط کاری در حالت دوجداره بودن برای هر دو نوع شیشه نانو ساختار و غیر نانو ساختار را (برای یک ساختمان پنج طبقه با ۲۰ مترمربع مساحت پنجره) بررسی کرد و فواید اقتصادی استفاده از شیشه‌های نانو ساختار Low-E را تجزیه و تحلیل کرد. مبانی و مفروضات این تحلیل به صورت زیر است:

۱- در محاسبات صورت گرفته فقط یک حالت ساده که شامل خروج هوای گرم ساختمان از طریق پنجره هاست در نظر گرفته شده است.

۲- فرض می‌شود که در یک سال ۲۰۰۰ ساعت تفاوت دمای بیرون و داخل ساختمانی پنج طبقه با ۲۰ مترمربع پنجره به ۱۵ درجه سانتی‌گراد برسد که از این مقدار ۱۰۰۰ ساعت در فصل گرم سال و ۱۰۰۰ ساعت در فصل سرد است.

۳- ضریب انتقال حرارت برحسب W/m^2K برای شیشه غیر نانو ساختار ۳٫۲ و برای شیشه نانو ساختار Low-E برابر ۱٫۱ در نظر گرفته شده است.

۴- مقدار شار حرارتی در سطح شیشه در واحد زمان برحسب W/m^2 برای شیشه غیر نانو ساختار ۴۸٫۰۰۰ و برای شیشه نانو ساختار Low-E برابر ۱۶٫۵۰۰ در نظر گرفته شده است.

۵- مقدار انرژی خارج شده از شیشه‌ها در هر ساعت برحسب KJ/h برای شیشه غیر نانو ساختار برابر ۱۷۲٫۸۰۰ و برای شیشه نانو ساختار Low-E ۵۹٫۴۰۰ در نظر گرفته شده است.

۶- قیمت هر مترمربع شیشه دوجداره ساده ۲۵۰ هزار تومان و هر مترمربع شیشه دوجداره نانو ساختار Low-E ۴۰۰ هزار تومان در نظر گرفته شده است.

در جدول ۲ محاسبه پارامتر درصد حجمی بهینه شده با استفاده از رابطه ۱ امکان پذیر است.

$$P_i = \frac{(\sum C_w - \sum C_N)}{\sum C_t} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن P_i درصد حجمی بهینه شده، C_w هزینه مورد بررسی بدون فناوری نانو، C_N هزینه مورد بررسی با استفاده از فناوری نانو و C_t کل هزینه‌ها بدون استفاده از فناوری نانو است.

مثلاً در بررسی درصد حجمی مصرف انرژی خواهیم داشت:

$$Pi = \frac{(7,688,000 + 9,825,000) - (1,986,000 + 3,377,500)}{(7,688,000 + 9,825,000)} = 69,54\%$$

جدول ۲- بررسی هزینه فایده استفاده از شیشه‌های دوجداره ساده و شیشه‌های نانو ساختار Low-E

درصد حجمی بهینه شده		جمع هزینه کرد (تومان)	قیمت کل (تومان)	قیمت واحد (تومان)	مقدار	هزینه ۱۰ سال مصرف انرژی	
مصرف انرژی	خرید شیشه	۲۲,۵۱۳,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰	۲۰ مترمربع	هزینه شیشه دوجداره	استفاده از شیشه دوجداره ساده
			۷,۶۸۸,۰۰۰	۷۶۸,۸۰۰	۱۰ سال	مصرف سالیانه ۱۰۰۰ ساعت انرژی فصل سرد	
			۹,۸۲۵,۰۰۰	۹۸۲,۵۰۰	۱۰ سال	مصرف انرژی سالیانه ۱۰۰۰ ساعت خنک کردن در فصل گرم سال	
۶۹٪	-۳۷٪/۵	۱۳,۳۶۳,۵۰۰	۸,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰	۲۰ مترمربع	هزینه شیشه دوجداره	Low-E استفاده از شیشه دوجداره
			۱,۹۸۶,۰۰۰	۱۹۸,۶۰۰	۱۰ سال	مصرف سالیانه ۱۰۰۰ ساعت انرژی فصل سرد	
			۳,۳۷۷,۵۰۰	۳۳۷,۷۵۰	۱۰ سال	مصرف انرژی سالیانه ۱۰۰۰ ساعت خنک کردن در فصل گرم سال	
۴۰,۶۴٪	۹,۱۴۹,۵۰۰	اختلاف قیمت					

طبق جدول ۲ می‌توان دریافت که هزینه صرفه‌جویی شده در صورت استفاده از شیشه‌های نانو ساختار Low-E در ده سال قابل ملاحظه بوده و می‌توان نتیجه گرفت استفاده از شیشه‌های نانو ساختار Low-E دارای توجیه اقتصادی است. البته با توجه به قیمت بالای شیشه نانوئی نسبت به غیرنانوئی (غیرنانوئی هر متره ۲۵ هزار تومان و نانوئی هر متره ۴۰ هزار تومان) در یک ساختمان در ابتدای امر هزینه بیشتری انجام می‌شود اما طبق جدول ۲ میزان مصرف انرژی در یک سال به میزان ۶۹ درصد کاهش داشته که این میزان برای ۱۰۰۰ ساعت سالیانه برابر:

$$= (\text{هزینه‌های انرژی سالانه شیشه نانو ساختار}) - (\text{هزینه‌های انرژی شیشه غیرنانوئی})$$

$$= ۱,۲۱۴,۹۵۰ - (۱۹۸,۶۰۰ + ۳۳۷,۷۵۰) = ۷۶۸,۸۰۰ + ۹۸۲,۵۰۰$$

از آنجایی که اختلاف قیمت شیشه‌های نانوئی و غیرنانوئی برای هر مترمربع برابر $۳ - ۵$ میلیون تومان است می‌توان نتیجه گرفت دوره بازگشت سرمایه برابر $۲,۵ = \frac{۳,۰۰۰,۰۰۰}{۱,۲۱۴,۹۵۰}$ است که اگر نرخ تنزیل ارزش پول را ۲۵ درصد در نظر بگیریم می‌توان گفت دوره بازگشت سرمایه ۴,۵ سال است؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت بعد از ۵ سال استفاده از شیشه‌های نانو ساختار به سوددهی رسیده باشد و بعد از ۱۰ سال میزان این سود به مقدار قابل توجهی می‌رسد. طبق جدول ۲ درصد حجمی بهینه شده برای خرید شیشه برابر ۳۷,۵- درصد است که در صورتی که فروشندگان شیشه‌های نانو ساختار با قیمت کمتری نسبت به شیشه‌های ساده در بازار به فروش برسانند توجیه اقتصادی آن بسیار بیشتر هم خواهد شد. ضمناً در انجام محاسبات فوق موارد جانبی نظیر افزایش احتمالی قیمت سوخت مصرفی و افزایش تفاوت دمایی بین دو سطح شیشه Low-E (بیشتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد) نیز می‌تواند اتفاق بیفتد که این امر باعث توجیه اقتصادی هرچه بیشتر استفاده از شیشه‌های نانو ساختار Low-E می‌شود. این توجیه اقتصادی در سال‌های بعد از ۱۰ نیز روند روبه‌رشد دارد.

استفاده از این شیشه‌ها در تمامی ساختمان‌های مسکونی، تجاری، سوله‌های صنعتی، هتل‌ها، بیمارستان‌ها، فرودگاه‌ها و کلیه سازه‌هایی که دارای سطح وسیعی از شیشه هستند و همچنین کاربردهای خودرویی توصیه می‌شود. هر قدر مساحت شیشه‌های سازه بیشتر شود توجیه اقتصادی شیشه‌های نانو ساختار Low-E بیشتر می‌شود.

در صورتی که اختلاف قیمت در صورت استفاده از فناوری نانو را (۹,۱۴۹,۵۰۰) بخش بر هزینه سالانه فرضی کنیم $(۱۹۸,۶۰۰ + ۳۳۷,۷۵۰)$ به این نتیجه می‌رسیم که در صورت استفاده از فناوری نانو هزینه مصرف انرژی ۱۷ سال در یک ساختمان صرفه‌جویی می‌شود. ضمناً با نانوئی کردن شیشه‌های ۱۰۰۰ ساختمان یک شهر می‌توان بدون صرف هزینه‌ای، مساحتی به اندازه ۴,۵ زمین فوتبال را با شیشه‌های دوجداره نانو ساختار Low-E پوشاند.

شرکت‌های ایرانی فعال در زمینه شیشه‌های کم‌گسیل

شرکت‌های شیشه کاوه فلوت، آسافلوت و فلوت کاویان در این زمینه فعالیت می‌کنند.

وبسایت: www.kavehglass.com

تلفن: ۰۲۱۲۹۱۰۰ - ۰۲۱۲۹۴۹۰



پی‌نوشت‌ها

- ۱ Low Emissivity
- ۲ Emissivity
- ۳ Visible Light Transmittance
- ۴ Solar Heat Gain Coefficient
- ۵ Light Solar Gain

مراجع

۱ J. Finely "Heat treatment and bending of low-E glass" Thin Solid Films, Volume 351, Issues 1-2, 30 August 1999, Pages 264-273.

۲ <https://paper.nano.ir/1/4885>.

۳ <https://nanoeducation.ir/article-detail/%D8%B4%DB%8C%D8%B4%D9%87/aEN1ZGREK0E1UWdTZkQ4MG5DY2RSdz09/>

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو که در زمینه صنعت ساختمان منتشر شده است



- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- پوشش‌ها، کفپوش‌ها و سازه‌های مقاوم در برابر لغزش
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های رطوبت
- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خودترمیم‌شوندگی
- کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند
- کاربرد نانورنگ‌ها، نانوپوشش‌ها و سازه‌های ضدحریق در صنعت ساختمان
- کاربرد نانوپوشش‌ها در صنعت ساخت‌وساز
- نانوپوشش‌های ضدآلودگی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌استاتیک
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌ها و پوشش‌های آب‌گریز
- کف‌پوش‌های نانویی در صنعت ساختمان
- پوشش‌های خودتمیزشونده
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضدنقش و ضدنوشتار
- نماهای کامپوزیتی نانویی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های ضدخش
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌باکتریال
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های صوتی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چوب
- کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک
- کاربرد فناوری نانو در بتن
- کاربرد فناوری نانو در حسگرهای ساختمانی
- کاربرد فناوری نانو در لوله‌های بی‌صدا فاضلاب
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان

برای دریافت گزارش‌های صنعتی و اقتصادی فناوری نانو، به پایگاه اینترنتی نانو و صنعت به نشانی www.INDnano.ir مراجعه نمایید.