

شیشه‌های با انرژی سطحی پایین

امیر ارشاد لنگرودی و سعید ارشاد لنگرودی
گروه رنگ، رزین و روکشهای سطح، پژوهشکده فرآیند،
پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران،

خلاصه

مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد اتلاف انرژی در ساختمانها از طریق دربها و پنجره‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه سطح وسیعی از دربها و پنجره‌ها را شیشه تشکیل می‌دهد و شیشه در تماس با محیط داخل و خارج است لذا ضروری است تدبیری اندیشیده شود که انتقال حرارت آن کاهش یابد. یکی از این راهها دو جداره کردن شیشه و استفاده از تکنولوژی خلاء و یا پرکردن آن با یک گاز بی‌اثر با ضریب انتقال حرارت پایین می‌باشد. با اینحال بنظر می‌رسد استفاده از پوشش شفاف با انرژی سطحی پایین بتواند زاویه تماس سیال با سطح شیشه را کم کرده و در نتیجه از اتلاف انرژی در شیشه‌های دو جداره و حتی تک جداره جلوگیری کند.

در این مقاله پوششهای هیبریدی اصلاح شده بر پایه کوپلی‌ریزاسیون متیل متا اکریلات و گاما تری متوکسی پروپیل متا اکریلات با پیش سازه فلورینه برای کاهش انرژی شیشه بحث می‌شود. آزمایشات نشان می‌دهد با استفاده از این پوششها می‌توان ضمن حفظ شفافیت زمینه، انرژی سطحی را بمقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بدین ترتیب بنظر می‌رسد استفاده از این پوششها برای کاهش اتلاف انرژی در ساختمانها کارآمد باشد.

واژه‌های کلیدی: شیشه، پوشش، آبرانی، انرژی سطحی

مقدمه

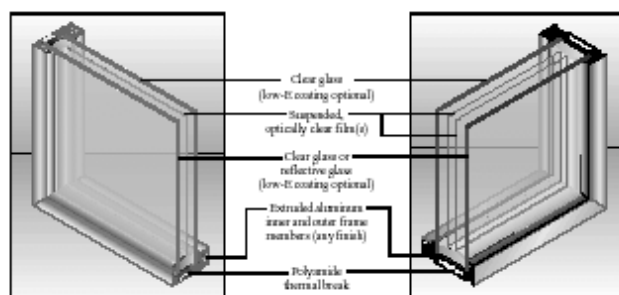
اجزای اصلی یک ساختمان که جریان انرژی بین داخل و خارج ساختمان را کنترل می‌کنند، دیوارها، سقف، درها و پنجره‌ها هستند. عوامل مهمی که روی بازدهی انرژی تاثیر دارند، نصب صحیح عایق

تقلیل نفوذ هوا و کارایی درها و پنجره‌هاست. نفوذ هوا مسئله مهمی است که می‌تواند تا ۴۰٪ حرارت را در ساختمان تلف کند [۱]. افزایش بازدهی انرژی منتهی به کوچک شدن سیستم‌های سرمایش و گرمایش و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

پنجره‌ها نقش مهمی در کیفیت زندگی و آسایش ساکنین ساختمانها دارند. برای ساکنین ساختمانها پنجره نور طبیعی، گرمای خورشید، هوای تازه و چشم انداز دنیای خارج را فراهم میکند. از طرفی پنجره شرایط بین داخل و خارج ساختمان را متمایز می‌سازد. یک پنجره سه جزء اصلی دارد که شامل شیشه، قاب دور شیشه و چارچوب می‌شود. شیشه قسمت شفاف پنجره است، قاب دور شیشه، شیشه را نگه می‌دارد و از طریق اجزاء مکانیکی به چارچوب وصل میشود. از آنجاکه درصد زیادی از پوسته خارجی ساختمانها را پنجره تشکیل میدهد، افزایش کارایی آنها می‌تواند موجب افزایش بازدهی انرژی در ساختمان شود. از جمله راههای بهینه کردن سیستم پنجره‌ها، کنترل افت حرارت در زمستان و جلوگیری از افزایش حرارت اضافی در تابستان است. بازدهی انرژی با سه معیار اصلی فاکتور U، ضریب کسب حرارت خورشید SHGC و نفوذ هوا سنجیده می‌شود. سرعت اتلاف حرارت از طریق پنجره با فاکتور U اندازه‌گیری می‌شود. فاکتور U پایین یعنی پنجره‌ای که مقاومت جریان حرارتی بالاتر و بنابراین مقدار عایقی بیشتر در شرایط آب و هوای سردتر دارد. فاکتور U، فاکتور اصلی تعیین کننده بازدهی انرژی است. یک پنجره براساس فاکتور U کلی‌اش که اندازه انتقال حرارت از طریق شیشه، قاب و چارچوب است ارزیابی می‌شود. پنجره‌های با چارچوب آلومینیمی هدایت حرارتی بالاتر و بازدهی انرژی پایین‌تری دارند در مقابل چارچوبهای چوبی از فلزی کارایی بهتری از نظر انرژی دارند. امروزه چارچوبهای عایق شده وینیلی و فایبرگلاسی با کارایی بالاتر و فاکتور U کلی ۰٫۱۵، به بازار عرضه شده است. انتقال حرارت در پنجره‌ها را می‌توان از طریق استفاده از سیستمهای گرمابند (Thermal Break) کنترل کرد [۲]. این مواد که به عنوان گذرگاه انتقال حرارت در بین قسمتهای فلزی استفاده می‌شوند تا اندازه زیادی حرارت انتقال یافته را کنترل می‌کنند. از جمله موادی که به این منظور در پنجره‌ها استفاده می‌شوند پلی‌آمید ۶،۶ تقویت شده می‌باشد.

فاکتور SHGC در پنجره، کسری از حرارت نور خورشید را نشان میدهد که از طریق پنجره عبور می‌کند. در یک پنجره با فاکتور SHGC پایین‌تر، انرژی خورشیدی کمتری از طریق پنجره عبور می‌کند. نفوذ هوا از طریق ترکهای کوچک در چارچوب پنجره و بین پنجره و دیوار می‌تواند سبب اتلاف حرارت قابل ملاحظه‌ای در زمستان و کسب حرارت در تابستان شود. نفوذ هوا از طریق فوت مکعب هوای عبوری از یک فوت مربع سطح پنجره (cfm/sqft) اندازه‌گیری می‌شود. از جمله پیشرفتهای دیگر در افزایش بازدهی انرژی در ساختمان مربوط به استفاده از شیشه‌های دو یا چند جداره پر شده با گازهای خنثی است که بشدت انتقال حرارت از طریق پنجره را کاهش می‌دهد [۳]. این پنجره‌های میتوانند به پوششهای

شفاف با نشر پایین (low-emittance) نیز مجهز شوند. از جمله تجهیزات جانبی برای افزایش کارایی پنجره‌ها استفاده از سایبان داخلی و خارجی و نوارهای تاریک کننده می‌باشد. در شکل ۱ تصویری از اجزاء مختلف پنجره‌های با بازدهی انرژی بالا را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - اجزاء مختلف پنجره‌های با بازدهی انرژی بالا [۴]

جدول ۱ فاکتور U و SHGC را در پنجره‌های با جداره چند جداره نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص کارایی پنجره چند جداره [۵، ۶]

نوع پنجره	فاکتور U^x	SHGC
تک جداره	۰٫۹۳-۱٫۲۳	۰٫۶۹-۰٫۸۴
دو جداره	۰٫۴۹-۰٫۷۳	۰٫۶۲-۰٫۷۶
دو جداره با پوشش نشر پایین و پر شده با گاز	۰٫۳۴-۰٫۴۲	۰٫۴۸-۰٫۵۸
سه جداره	۰٫۳۸-۰٫۶	۰٫۵۴-۰٫۶۸
سه جداره با پوشش نشر پایین و پر شده با گاز	۰٫۲۴	۰٫۴

×- محدوده فاکتور U بستگی به نوع ماده و طراحی آن در پنجره‌ها فرق می‌کند. پنجره‌های با چارچوب آلومینیومی در محدوده بالای فاکتور U هستند در حالیکه پنجره‌های وینیلی و چوبی در محدوده پایینی آن قرار دارند.

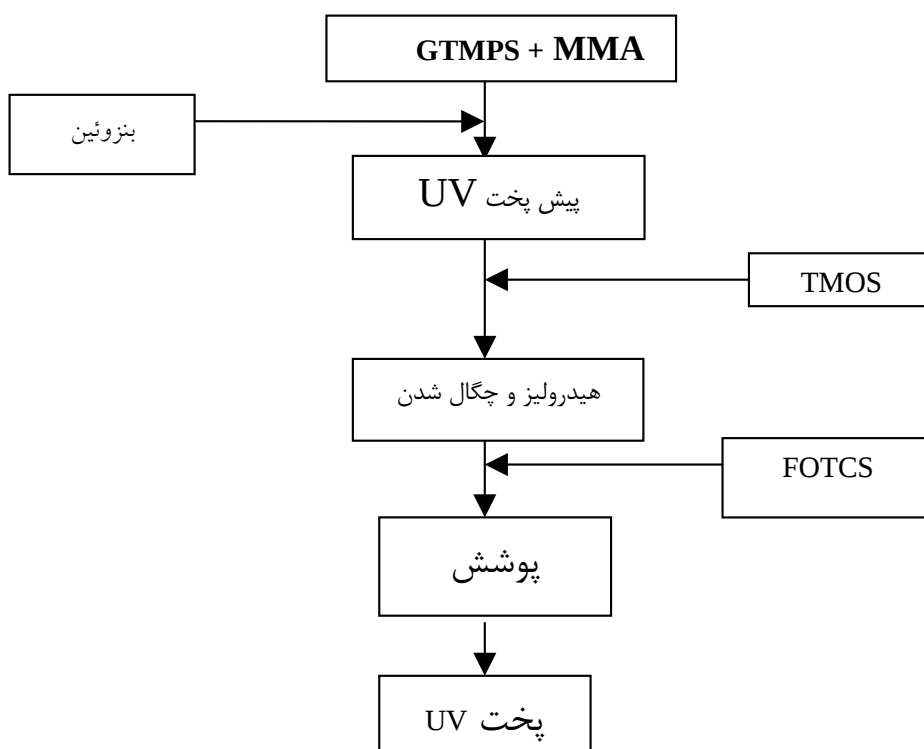
هدف از این تحقیق اعمال پوششهای شفاف با انرژی سطحی پایین بر سطح شیشه است [۷، ۸]. این پوششها می‌توانند براحتی در شیشه‌های با جداره‌های مختلف استفاده شوند. با اعمال این پوشش بر سطح شیشه زاویه تماس سیال با شیشه افزایش یافته در نتیجه انتقال حرارت سیال به شیشه و بلعکس کاهش می‌یابد. از جمله مزایای دیگر این پوششها می‌توان از مانع شدن تشکیل فیلم آب بر سطح شیشه در شرایط شب‌نم یاد کرد و از این طریق نیز مانع اتلاف حرارت می‌شوند. از جمله مزایای دیگر این پوششها

امکان اضافه کردن موادی در فرمولاسیون آنها برای تغییر قابلیت انعکاس نور و رنگی شدن پوشش می‌باشد.

در این مقاله پوششهای هیبریدی بر پایه کوپلیمریزاسیون رادیکالی متیل متاکریلات (MMA) و گاما تری متوکسی پروپیل متاکریلات (GTMPMS) تهیه شدند. و تاثیر ترکیب درصد اجزاء روی کاهش انرژی سطحی شیشه بررسی شد.

آزمایش

ابتداء گاما تری متوکسی پروپیل متاکریلات و متیل متاکریلات به نسبت یک به نیم با هم مخلوط شدند. سپس دو درصد وزنی بنزوئین به محلول اضافه شد. محلول روی همزن بمدت کافی هم خورد تا کاملاً یکنواخت شود. سپس تحت نور UV در حال هم خوردن محلول پخت اولیه شد. به محلول فوق تترا متوکسی سیلان به نسبت یک به یک با گاما تری متوکسی پروپیل متاکریلات اضافه شد. شماتیک فرآیند سنتز در شکل ۲ نشان داده شده است.



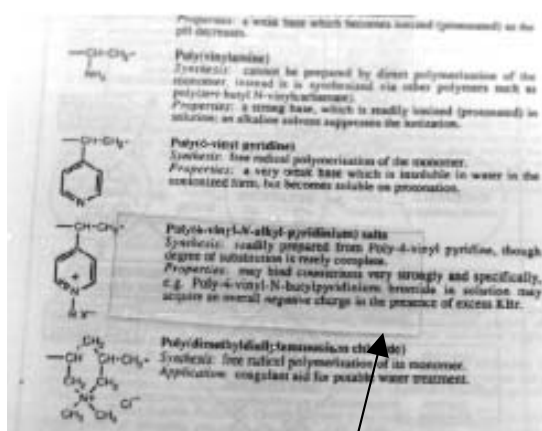
شکل ۲- شماتیک فرآیند سنتز مواد و پوشش بر شیشه

مطابق این شکل عمل هیدرولیز و چگال شدن با افزودن آب در مقادیر کمتر از استوکیومتری به محلول در حال هم خوردن انجام شد. سپس محلول از صافی رد شد و به آن یک پیش سازه فلورینه دار (FOTCS) به میزان صفر تا سه درصد وزنی اضافه شد و محلول بمدت نیم ساعت دیگر همزده شد.

برای پوشش دهی از لامله‌های شیشه‌ای استفاده شد. ابتداء این لامله‌ها با محلول سود چربی زدایی شدند و پس از شستشو با آب مقطر و الکل به روش غوطه‌وری روکش شدند و تحت نور UV پخت نهایی شدند.

نتایج و بحث

همه پوشش‌های سنتز شده کاملاً شفاف بودند. این نشان‌دهنده اینست که آلکواکسیدهای سیلیسیم بخوبی با پیش‌سازهای آلی در یکدیگر ادغام شده‌اند و هیچ جدایش در حد ماکرو فاز اتفاق نیفتاده است. شکل ۳ نمونه‌ای از این پوشش‌های هیبریدی را بر روی شیشه نشان می‌دهد. پوشش‌های عاری از ترک روی شیشه با ضخامتهای در حدود ۵-۱۰ میکرون بعد از پخت UV برای همه ترکیبات بدست آمد. شبکه معدنی از طریق واکنش‌های هیدرولیز و چگال شدن ترکیبات آلکواکسی تشکیل می‌شوند. در حالیکه شبکه آلی-پلیمری از گروه عامل دار شده متاکریلات آلکواکسی سیلان تشکیل می‌شود.



شکل ۳- شفافیت پوشش بر روی شیشه

افزودن یک جزء سوم (مثل متیل متاکریلات) که عامل تشکیل دهنده شبکه است، می‌تواند سبب شبکه‌ای شدن دیگر اجزاء و پایداری و چگال شدن شبکه هیبریدی شود. بنابراین اثر افزایش سدکنندگی خواهد داشت. بعلاوه حضور گروه‌های متیل و پروپیل در زنجیر آلی روی خواص هیدروفوبی و الاستیسیته شبکه هیبریدی تاثیر مستقیم داشته و باعث افزایش مقاومت آن در مقابل تغییرات آب و هوا می‌شود. به عنوان جزء چهارم از یک اصلاح کننده سطح (FOTCS) استفاده شد [۹-۱۱] و تغییرات انرژی سطحی بررسی شد. جدول ۲ تغییرات انرژی سطحی بر روی شیشه پوشش داده شده با ترکیبات مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر متوسط زاویه تماس و انرژی سطحی اندازه‌گیری شده برای پوششهایی با ترکیبات مختلف بر روی شیشه

شماره آزمایش	ترکیب به درصد حجمی TMOS : TMSM : MMA : FOTCS	زاویه تماس با آب (θ°) بر روی شیشه	γ_s (mJ/m ²)
۱	شیشه	5 ± 10	۶۸،۲
۲	۰،۵ : ۱ : ۱	5 ± 49	۴۶،۸
۳	۰،۵ : ۱ : ۱ : ۳٪	5 ± 100	۲۳،۶
۴	PTFE	—	۲۰،۲

برای بدست آوردن انرژی آزاد سطحی پوشش از مایعات مختلف برای اندازه‌گیری زاویه تماس استفاده شد و از این طریق اجزاء تنش سطحی (γ_s^p قطبی و γ_s^d غیر قطبی) محاسبه شدند. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با پوشش دادن شیشه مطابق با آزمایش شماره ۲ زاویه تماس با آب از حدود ۱۵ درجه به ۵۰ درجه افزایش و انرژی سطحی حدود ۳۰٪ کاهش داشته است. با افزایش تنها ۳٪ وزنی از پیش‌ساز فلورینه در ترکیب پوشش ضمن حفظ شفافیت پوشش، زاویه تماس به بالاتر از ۱۰۰ درجه برای آب و انرژی سطحی به حد موادی چون پلی تترا فلوئورو اتیلن (PTFE) می‌رسد. به این ترتیب بجای آنکه سیال بتواند کاملاً با سطح شیشه تماس پیدا کند و تبادل گرما و حرارت نماید تماس آن با سطح خیلی محدود شده و متعاقب آن تبادل انرژی با بیرون کاهش می‌یابد که افزایش راندمان انرژی پنجره را بدنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که پوشش هیبریدی می‌تواند بطور موفقیت آمیزی بصورت لایه نازک روی شیشه پوشش داده شوند. پوششهای حاصل عاری از ترک خوردگی بوده و شفافیت و چسبندگی خوبی به زمینه داشت. اصلاح خواص سطح به خواص قسمت خارجی پوشش بستگی دارد. افزودن پیش ساز فلوئور دار خواص آبرانی سطح را بشدت اصلاح می‌کند و باعث میشود خیس شوندگی سطح با سیالات مختلف کم شده و در نتیجه تبادل انرژی کاهش و راندمان پنجره افزایش یابد.

مراجع

- ۱-جواد قربانیان، نقش پنجره و مواد آلومینیمی در بهینه سازی انرژی در ساختمان، آلومینیم، بهار ۱۳۸۲، شماره ۹، صفحات ۳۷-۴۲.
- ۲-آلومینیم و بهینه سازی انرژی، گزارشی از همایشهای بهینه سازی مصرف در ساختمان و خودرو، آلومینیم، شماره ۱۱۷، اسفند ۱۳۸۱، صفحات ۳ و ۴.
- ۳-آلومینیم و بهینه سازی مصرف انرژی، آلومینیم، آبان ۱۳۸۱، صفحه ۶.
- 4-www.visionwall.com.
- 5-US Department of energy, office of building technology, core data book, 1999, Table 5.5.9
- 6-for more information, Alison Tribble, efficient windows collaborative, Alliance to save energy, 1200 18th street, N.W. suite 900, Washington DC 20036, 202-530-2231
www.efficientwindows.org
- 7-Ershad Langroudi A., Synthesis and characterization of polymer-silica hybrid nanocomposite via in situ sol-gel reactions.
همایش علمی کاربردی نانو تکنولوژی انقلاب صنعتی آینده، ۱۳۸۰، صفحات ۲۳۶-۲۲۳.
- 8-Ershad Langroudi A., Mai,C., Vigier,G., Vassoille,R., Hydrophobic hybrid inorganic - organic thin film prepared by sol-gel process for glass protection and strengthening applications, *J. Appl. Polym. Sci.*, 1997, 65, 2387.
- 9-Ershad Langroudi A., DEA Report, INSA, Lyon, France, 1994, 98.
- 10-Bessede, J. L., Ph.D. dissertation, INSA, Lyon, France, 1990, p.112.
- 11-Cornu, J.F., Ph.D. dissertation, INSA, Lyon, France, 1993, p.230.