

## کاربرد لایه‌های نازک در شیشه‌های LOW-E

محمد امیری شهبازی

۱- شاهین شهر - هسا-مجتمع صنعتی بشیر -بخش لایه نشانی

تلفن- فاکس: ۰۳۱۱۳۳۱۲۵۵۵

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا- گروه سرامیک

E-MAIL:amirishahbazi@yahoo.com

### چکیده :

انرژی لازم برای گرم نگهداشتن هوا در ساختمانها در فصول سرد و خنک کردن آنها درفصول گرم، سهم قابل ملاحظه‌ای را در میزان انرژی مصرفی یک کشور، به خود اختصاص می‌دهد. قسمت عمده این انرژی، از طریق شیشه‌های پنجره ساختمانها به هدر می‌رود زیرا شیشه از ضعیفترین بخشهای ساختمان از لحاظ تبادل حرارت محسوب می‌شود و از لحاظ جلوگیری از انتقال حرارت بواسطه تشعشع ضعیف می‌باشد. برای کاهش این اثر از شیشه‌های با پوشش خاص موسوم به LOW-E ( کم گسیل ) استفاده می شود و در نتیجه شیشه وقتی گرم می‌شود به جای اینکه گرمای خود را گسیل دهد، آن را بازتابش می‌کند. مجتمع صنعتی بشیر با در اختیار داشتن روش پیشرفته کندوپاش مغناطیسی در مقیاس صنعتی با ایجاد لایه ITO بر روی سطوح بزرگ شیشه در حال تولید این نوع از شیشه‌ها با امکانات موجود میباشد. تحقیقات انجام شده نشان میدهد که لایه ITO که نیمه رسانای نوع n است در طول موجهای بزرگتر از ۱۵۰۰nm حالت شبه فلزی پیدا کرده و می‌تواند امواج IR را بازتابش کند. در این بررسی انواع لایه‌های نازک مورد استفاده برای تولید این نوع از شیشه‌ها معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی : Low-e glass / شیشه کم گسیل / ITO / صرفه جویی انرژی / Thin Film

### مقدمه :

قسمت عمده انرژی که صرف گرم کردن، و یا سرد کردن ساختمانها می شود، به دو طریق هدایت و تشعشع تلف می شود . برای مثال در زمستانها قسمتی از انرژی مصرفی، برای گرم نگه داشتن یک ساختمان به صورت هدایت توسط دیوارها ، سقف و پنجره های ساختمان به بیرون منتقل می شود و این بخش را می‌توان، با طراحی مناسب ساختمان، استفاده از مواد عایق حرارتی در مکانهای مورد نیاز، و با دو جداره کردن شیشه های پنجره ها به میزان زیادی کاهش داد. اما عامل مهمی که باعث بیشترین مقدار اتلاف انرژی گرمائی از ساختمانها به بیرون می شود، فرار حرارت به روش تشعشعی است. تصاویری که بوسیله تصویربرداری از ساختمانها توسط دوربین های حساس به امواج فرو سرخ (امواج رادیویی IR ) گرفته شده، نشان داده است که بیشترین میزان فرار انرژی از یک

ساختمان معمولی در زمستان از طریق پنجره های آن می باشد[۱]. بنابر این شیشه یکی از ضعیفترین بخشهای ساختمان از لحاظ تبادل حرارت می باشد

بطور کلی سه روش برای انتقال حرارت از یک نقطه به نقطه دیگر وجود دارد[۲]:

الف- هدایت یا رسانایی: در این روش گرما توسط لرزش اتمها به نقطه دیگر منتقل می شود. از این لحاظ مولکولهای شیشه حرارت را به آسانی از خود عبور می دهند. بنابر این با استفاده از شیشه دو جداره و ایجاد یک فاصله هوایی بین دو ورق شیشه می توان تا حد زیادی از انتقال حرارت به این روش نسبت به شیشه تک جداره جلوگیری کرد. ( هوا یا گازهایی نظیر آرگون، کریپتون و گزنون به میزان زیادی جلوی انتقال حرارت را می گیرند. گازهای ذکر شده نسبت به هوا نارساناتر می باشند)

ب- جابجایی: در این روش گرما با جابجایی مستقیم مولکولهای گرم صورت می گیرد. (مانند انتقال هوای گرم شده بالای بخاری و گرم نمودن اتاق). بشرط نداشتن منفذ عبور هوا در پنجره، شیشه از عبور حرارت به این روش جلوگیری می نماید. در فاصله دو ورق شیشه دو جداره نیز در صورتی که فاصله بین دو جداره زیاد باشد، انتقال حرارت می تواند به روش جابجایی صورت بگیرد و بنابر این فاصله دو ورق در شیشه دو جداره نباید از حدی بیشتر باشد. معمولترین و احتمالاً مؤثرترین فاصله بین دو ورق از لحاظ حرارتی (در صورتی که بین دو ورق شیشه دو جداره هوا باشد)؛ دوازده میلیمتر می باشد.

ج- تشعشع: شیشه از لحاظ جلوگیری از انتقال حرارت بواسطه تشعشع ضعیف می باشد و بخشی از انرژی امواج الکترومغناطیس حرارتی می توانند از شیشه عبور کنند (که البته همه شیشه ها در برابر امواج گرما یک جسم کدر محسوب می شوند و این بدین معنی است که انتقال گرما بواسطه جذب و گسیل انجام می شود و نه مستقیماً عبور[۳])، که البته میزان عبور در طول موجهای مختلف فرق می کند. برای کاهش میزان انتقال حرارت بواسطه تشعشع از شیشه های با پوشش خاص که شیشه های LOW-E (کم گسیل) نامیده می شوند و بحث اصلی این مقاله است استفاده می شود. این شیشه ها دارای پوششی از اکسید فلز هستند که مانع از حرکت گرما می شوند. از آنجا که همیشه گرما دارای انرژی حرکتی است، در زمستان که داخل اتاق گرمتر است مانع از عبور آن به خارج می شود و در تابستان که محیط بیرون گرمتر است مانع از نفوذ آن به داخل اتاق می شود. در نتیجه در مصرف انرژی صرفه جویی قابل توجهی ایجاد می شود[۴]. اکسیدهای فلزی شفاف و مشخصی را (TCO) میتوان بر روی سطح شیشه استفاده کرد تا سطح شیشه هادی جریان الکتریسیته شود ولی بر روی میزان عبور نور تاثیری نمی گذارد. خاصیت دیگر این لایه های اکسیدی این است که آنها بازتاب کننده گرما (امواج IR) هستند. آنها سطح شیشه را از یک ماده جاذب گرما (گسیل بالا) به ماده بازتاب کننده گرما (کم گسیل) تبدیل می کنند بطور

خلاصه دارای عبور نور مرئی بالا و عبور گرمای پایین می‌باشند[۳]. کاربرد اصلی این نوع از شیشه‌ها در زمینه صرفه‌جویی انرژی و بخصوص در مناطق سردسیر می‌باشد و می‌تواند افت حرارت در شب را بین ۳۰٪ تا ۴۰٪ کاهش دهد.

### تعریف U، K و G

الف- ضریب U : میزان گرمایی که بر حسب وات در هر ساعت از یک متر مربع از دیواری ( در اینجا شیشه) که بین داخل و خارج آن یک درجه کلوین اختلاف دما وجود دارد، عبور می‌کند. U ضریب انتقال حرارت است و واحد آن وات بر (متر مربع \* درجه کلوین و یا درجه سانتیگراد) می‌باشد. کمتر بودن مقدار آن، نشان دهنده این است که گرمای کمتری از طریق ماده عبور کرده است. پس هر چه این مقدار پایین تر باشد، صرفه جویی در انرژی بیشتر است و ماده دارای مقاومت بالاتری در برابر عبور گرما می‌باشد و عایق بهتری محسوب می‌شود. ضریب هدایت حرارتی را با استفاده از آزمایشات مخصوص در شرایط خاص که شرایط آن در استانداردهایی مانند ایزو و غیره آمده است می‌توان بدست آورد. ملاک اصلی در تعیین میزان مصرف انرژی ( سرمایش و گرمایش ساختمان ) این ضریب می‌باشد.

شیشه عایق معمولی دارای فاکتور U ۳ وات بر (متر مربع \* درجه کلوین) می‌باشد که می‌توان آنرا با پوشش کم گسیل تا ۱/۱ کاهش داد. این بدین معنی است که شیشه با پوشش کم گسیل تا سه برابر نسبت به شیشه معمولی عایق تر شده است [۶]. گزارشاتی نیز دریافت شده که نشان می‌دهد شیشه کم گسیل نسبت به شیشه معمولی تا پنج برابر از عبور امواج حرارتی مربوط به اجسام گرم جلوگیری می‌نماید [۲]. جنس و ساختمان فریم مورد استفاده در ساخت پنجره نیز بر روی هدایت حرارتی کل پنجره ( مجموع شیشه و فریم ) اثرات زیادی دارد. بهترین حالت استفاده از فریمهای عایق نظیر فریمهای چوبی و یا PVC می‌باشد.

ب- ضریب K : از این ضریب در کشورهای اروپایی استفاده می‌شود ولی از ضریب U در آمریکا استفاده می‌شود. نحوه استاندارد سازی بین المللی خوبی بین کشورهای آمریکایی و اروپایی در رابطه با محاسبات مقادیر U و K وجود ندارد، پس آنچه که بایستی به آن دقت کرد این است که در محاسبات مقادیر فوق از استانداردهای آمریکایی (U) و یا اروپایی (K) استفاده شده است. اختلافات کمی بواسطه چگونگی عایق کاری با هوا یا گاز آرگون بین صفحات شیشه و سایر تکنیکهای محاسباتی وجود دارد (۵).

ج- ضریب G : ضریبی که مقدار تشعشع خورشیدی خالص که می‌تواند داخل ساختمان شود (چگونگی عبور تشعشع خورشید توسط یک پوشش خوب) را اندازه‌گیری می‌کند [۵].

## پوششهای کم گسیل

پوششهای کم گسیل معمول بر پایه یک لایه نقره هستند و بیش از ۱۵ سال در دسترس بوده اند. اینها محصولاتی با عبور زیاد در محدوده مرئی و نور خورشید و با جذب کم و بازتابش زیاد انرژی خورشیدی هستند. پوشش کم گسیل به طیف ناحیه فرو سرخ با طول موج بلند (بلندتر از ۵ میکرون) مربوط می شود که در آن ناحیه، سطوح در دمایی نزدیک به دمای اتاق تشعشع می کنند. بنابر این پوشش کم گسیل طوری طراحی شده که بازتابش فروسرخ با طول موج بلند آن زیاد بوده ولی بازتابش گسترده مرئی آن کم است. خصوصیات این پوششها به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. پوششهای کم گسیل اساسا به منظور کاربرد بهینه در زمستان طراحی شده بودند

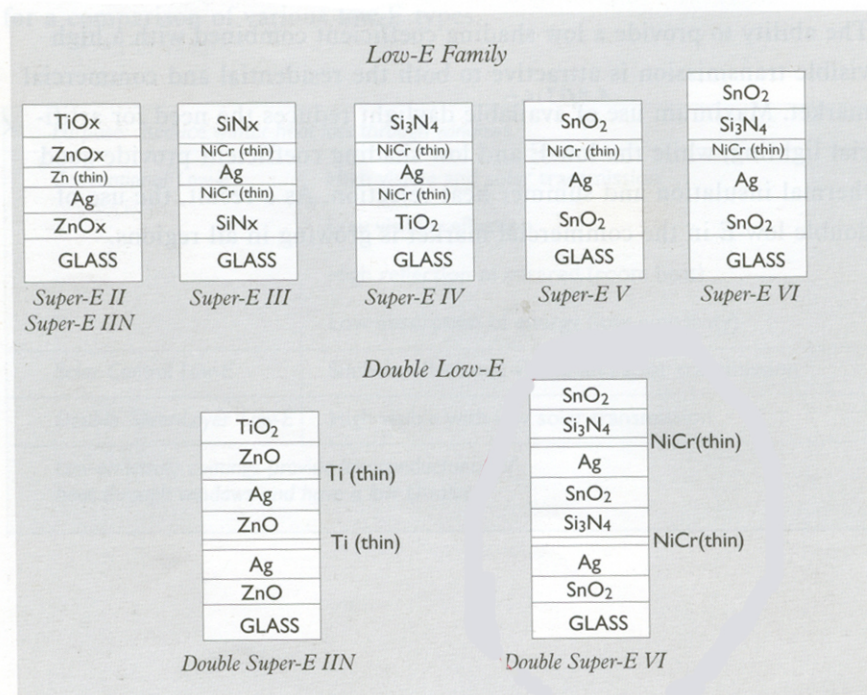
جدول ۱- ویژگیهای پوشش کم گسیل [۵].

| Purpose: Reduce winter heat loss through windows                                                |                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conventional Low-E                                                                              | High visible and solar transmission<br>Low visible reflection<br>High reflection of infrared (room heat)<br>Low absorption of energy (low-emissivity) |
| Solar Control Low-E                                                                             | Sunbelt - Reduced visible and solar transmission                                                                                                      |
| Double Silver-Layer Low-E                                                                       | High visible with low solar transmission                                                                                                              |
| Low-emissivity coatings provide low conductance of heat through windows and have a low U-value. |                                                                                                                                                       |

## معرفی لایه های نازک مورد استفاده در پوششهای کم گسیل

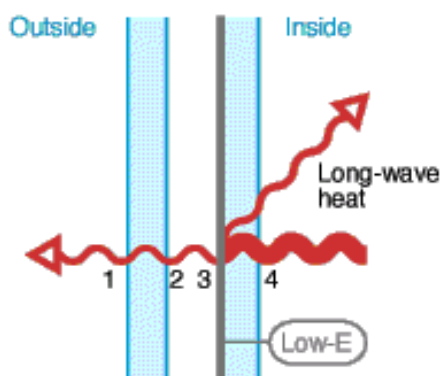
بعلا اختلافاً موجود در بازار، یک گروه بزرگ از شیشه های کم گسیل به صورت تک لایه نقره و دو لایه نقره گسترش یافته اند. بسیاری از پوششهای کم گسیل بر پایه اکسید روی هستند، زیرا می تواند به راحتی با نرخ بالایی کندوپاش (sputtered) شده و هیچ ماده کندوپاشی ارزانتر از روی وجود ندارد. در مقابل، برای محصولاتی با دوام بیشتر، پوششهای بر پایه نیتريد سيلسيوم وجود دارند که با سیستمهای کاتد استوانه ای مغناطیسی تولید می شوند. پوشش رایجی که سالهای متمادی در اروپا مورد استفاده قرار گرفته، اکسید قلع است. در این مورد، افزودن یک لایه نیتريد سيلسيوم می تواند دوام را زیاده تر کند. در شکل ۱ ساختار استاندارد پوششهای کم گسیل

آورده شده است. هر کدام از این محصولات را با انواع پوششهای کم گسیل دو گانه و با کاراییهای مختلف می توان گسترش داد



شکل ۱- ساختار استاندارد پوششهای کم گسیل [۵].

در شکل ۲ موقعیت پوشش کم گسیل بر روی سطح ۳ از یک شیشه دو جداره و بازتابش امواج گرمایی به داخل اتاق به منظور کاربرد در منطق سردسیری نشان داده شده است .



شکل ۲- پوشش کم گسیل بر روی سطح ۳ از یک شیشه عایق

شیشه کم گسیل با کیفیت بالا افت حرارت در هنگام شب را بین ۳۰٪ تا ۴۰٪ کاهش می دهد. چونکه هیچ تشعشع خورشیدی در شب وجود ندارد ، شار حرارتی موجود کلا ناشی از اتلاف هدایت و جابجایی است. لازم به ذکر است، با استفاده از مواد سخت و مقاوم در برابر اکسیداسیون، مانند نیتريد سيلسيوم و اكسيد تيتانيوم امکان تهیه پوششهای کم گسیل با دوام و پایداری بالا وجود دارد [۵].

## استانداردهای موجود:

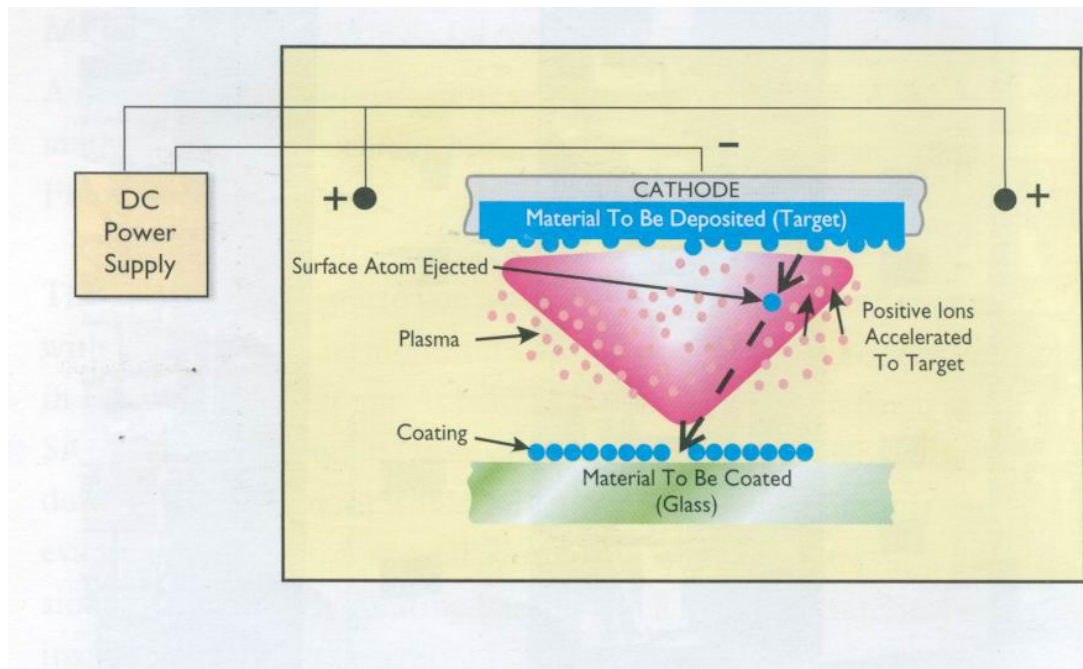
در اروپا و آمریکا اکثر کشورها دارای مراکزی جهت بررسی مسائل مربوط به افت حرارت در شیشه‌های ساختمانها می‌باشند. در آمریکا سازندگان شیشه‌های عایق انجمنی به نام NFRC(National Fenestration Rating Council) دارند که کیفیت محصولات را بررسی می‌کنند. آنها استانداردهایی را برای اندازه‌گیری خواص اپتیکی خورشیدی، گسیل، بهره خورشیدی و مقادیر  $K$  یا  $U$ ، توسعه داده‌اند. برنامه‌های نرم افزاری این انجمن برای شبیه سازی فلوهای انرژی موجود است. NFRC یک سطح استاندارد، که راندمان نسبی انرژی عایقهای مختلف در کاربردهای گرمسیری و سردسیری را تعیین می‌کند، برای مشتری معرفی می‌کند. در اروپا استانداردهای ISO و CEN مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال EN ۴۱۰ و ۶۷۳ در رابطه با بهره خورشیدی، گسیل و مقدار  $K$  می‌باشد. در جدول ۲ استانداردهای آمریکا، اروپا و ژاپن در این مورد نشان داده شده است.

جدول ۲- استانداردهای آمریکا، اروپا و ژاپن [۵].

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| United States (NFRC)          | Rating systems for product performance<br>Accepted standards on emissivity, NFRC 301 (1993)<br>Solar gain, NFRC 200 (1995)<br>U-value, NFRC 100 (1997)<br>Accepted modeling program<br>Modeling driven with measurement verification<br>Emphasized U-value |
| European (ISO, CEN, National) | Standards on solar gain, emissivity, K-value<br>EN 410, 673 (1998)<br>Driven by German Legislation (K-eq)<br>No accepted simulation programs<br>No common rating programs<br>Emphasizes K-value and solar gain<br>No ISO standards yet                     |
| Japan (JIS)                   | JIS R 3209 (1998), JIS R 3106 (1998)<br>Standards on SHGC, emissivity, solar properties                                                                                                                                                                    |

## فرآیند کندوپاش (Sputtering):

پدیده کندوپاش در سال ۱۸۴۲ توسط W.R. Grove ثبت شده است. وقتی سطح جامد (یا مایع) با پرتو اتمی، یونی، الکترونی و یا فوتونی بمباران می‌شود، با توجه به انرژی جنبشی ذرات بمباران کننده پدیده‌های متعددی می‌تواند اتفاق افتد. پدیده کندوپاش در انرژیهای تقریباً بالاتر از  $4H$  ( $4H$ ، آستانه کندوپاش است که در آن  $H$  گرمای تصعید اتمهای هدف می‌باشد) اتفاق می‌افتد. با برخورد این یونهای پر انرژی (عمدتاً یونهای گاز آرگون) به سطح جامد (هدف یا Target) و انتقال انرژی جنبشی آنها به اتمهای سطحی این اتمها از سطح جدا شده و در فضا پراکنده می‌شوند. این فرایند به کندوپاش موسوم است و بر اساس انتقال اندازه حرکت استوار است که در آن کنده شدن اتمهای هدف همراه با انتقال اندازه حرکت از طریق یونهای بمباران کننده می‌باشد [۸]. شکل ۳ نمایی از فرآیند کندوپاش را نشان می‌دهد.

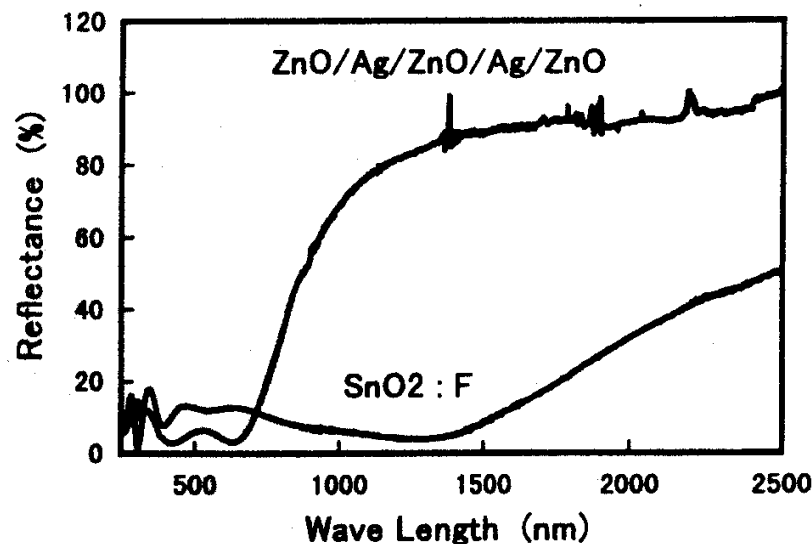


شکل ۳ : فرایند کندوپاش [۵].

### کندوپاش مغناطیسی (Magnetron Sputtering) :

کندوپاش دارای روشهای مختلفی می باشد که از بین آنها کندوپاش مغناطیسی دارای بالاترین سرعت لایه نشانی می باشد ، زیرا بواسطه حضور میدان مغناطیسی حرکت الکترونها مارپیچی شده که باعث افزایش مسیر حرکت می شود و در اثر آن احتمال برخورد الکترونها با یونها افزایش یافته و باعث افزایش یونیزاسیون و در نتیجه بالا رفتن راندمان کندوپاش می شود [۸]. بدلیل اینکه نرخ کندوپاش به تعداد یونهای موجود بستگی دارد، پلاسمای متراکمتری مطلوب است. به منظور رسیدن به چگالتترین پلاسمای، میدان ترکیبی الکترواستاتیک (E) و مغناطیسی (B) استفاده می شود. آهنرباهایی که در پشت هدف قرار گرفته اند، میدان مغناطیسی تولید می کنند و یک میدان الکترواستاتیکی نیز در راستای عمود بر آن اعمال می شود. این میدان الکتریکی به واسطه اعمال ولتاژ به کاتد ایجاد می شود. چنین میدان الکترواستاتیکی، الکترونها را به سمت خلاف کاتد شتاب می دهد. اما بایستی الکترونها با یک اتم آرگون یا حتی یک اتم که کندوپاش شده است برخورد کنند و آن اتم را یونیزه خواهند کرد. هر مرتبه که این اتفاق صورت می گیرد، یونهای بیشتری تولید می شود و بنابر این نرخ کندوپاش بالاتری بدست می آید. چنین بهبودی در راندمان کندوپاش نکته کلیدی است که باعث می شود کندوپاش مغناطیسی از لحاظ تجاری، مهم و مناسب تلقی شود. بنابر این بهینه کردن موقعیت آهنربا به منظور اطمینان از حداکثر یونیزاسیون، مهم است [۵]. روش کندوپاش مغناطیسی روش جدیدی است که فرایند لایه نشانی از پایداری بالایی برخوردار بوده و چسبندگی لایه به زیر لایه ( در اینجا پوششهای کم گسیل به شیشه ) عالی بوده و لایه انباشت شده بر روی سطح از یکنواختی بالایی برخوردار است. همین عامل باعث شده که انواع مختلف روشهای کندوپاش

مغناطیسی با موده‌های مختلف در منبع ولتاژ و قرار گرفتن تارگتها و با طراحیهای مختلف آهنرباها به عنوان تنها روش لایه نشانی بر روی سطوح بزرگ مطرح باشد. در شکل ۴ دو روش لایه نشانی کندوپاشی و پیرولیک که به ترتیب برای تولید لایه‌های کم گسیل ZnO/Ag/ZnO و SnO<sub>2</sub> استفاده شده مورد مقایسه قرار گرفته و نشان می‌دهد که میزان بازتابش گرما در پوششهای کم گسیل تهیه شده با روش کندوپاش بالاتر است [۷].



شکل ۴-مقایسه طیف پوشش کم گسیل کندوپاشی و کم گسیل پیرولیک [۷].

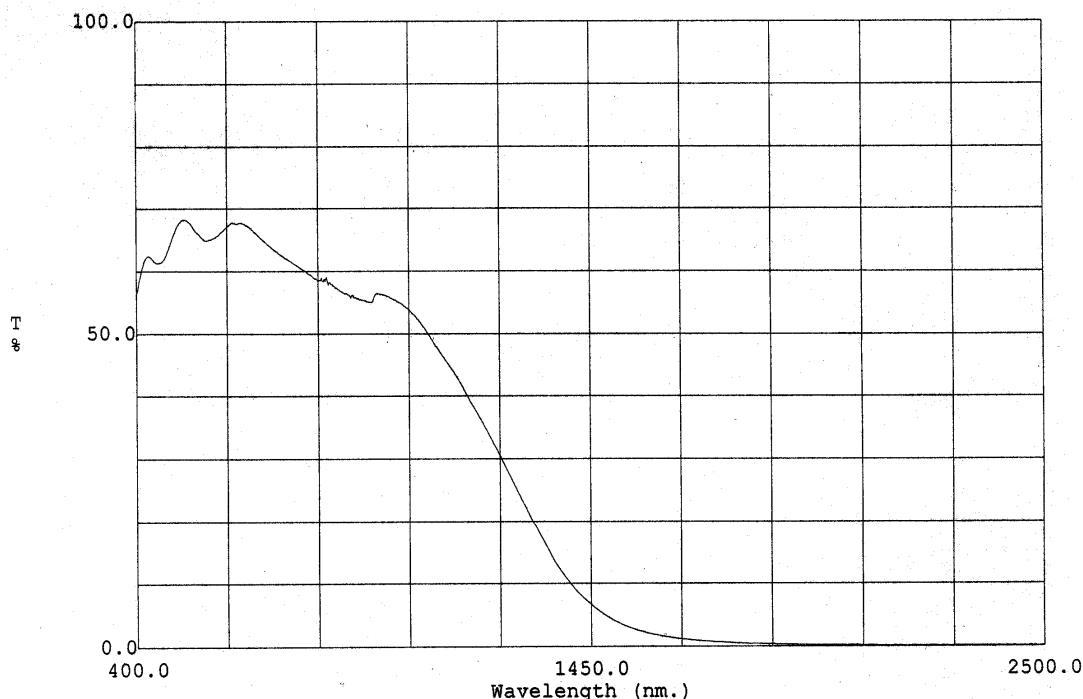
#### تواناییهای بخش لایه نشانی مجتمع صنعتی بشیر

ماموریت اصلی مجتمع صنعتی بشیر تولید شیشه هواپیما (Windshield) می‌باشد. در این راستا وظیفه بخش لایه‌نشانی ایجاد لایه ITO بر روی سطح شیشه به منظور ایجاد گرمایش الکتریکی و به جهت زدایی و مه‌زدایی از روی سطح می‌باشد. به غیر از کاربرد فوق لایه ITO دارای کاربردهای فراوان دیگری نیز می‌باشد که می‌توان به پس زنی امواج الکترومغناطیسی از روی سطح (EMI)، عدم تجمع بارهای الکتریکی بر روی سطح (Anti-Static Coating)، آئینه‌های EC، صفحات نمایشگر TFT و LCD و کاربردهای الکتروکرومیک ECD و سنسورها اشاره کرد [۹ و ۱۰]. لایه فوق از جمله مواد هادی و شفاف (TCO) می‌باشد که نور مرئی را عبور می‌دهد ولی گرما را در طول موجهای بیشتر از ۱/۵ میکرون بازتاب می‌کند [۱۱]. دستگاه موجود از نوع کندوپاش مغناطیسی با سه تارگت مسطح از نوع سرامیکی از جنس ITO با ۹۰٪ In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و ۱۰٪ SnO<sub>2</sub> می‌باشد که قادر به انباشت لایه ITO با کیفیت بالا در محیط خلا بر روی شیشه و پلاستیک با ابعاد حداکثر ۱m\*۲m می‌باشد. گسیل یک پوشش رسانا با بازتابش آن در ناحیه IR در ارتباط بوده و با



اندازه‌گیری طیف IR می‌توان آنرا تعیین کرد. در قرن ۲۰، فیزیکدانان Hagen و Rubens اثبات کردند که نشر گرما از فلزات را می‌توان با استفاده از گسیل<sup>۴</sup> توضیح داد و مشخص شد که گسیل فلزات با ریشه دوم ضریب هدایت حرارتی نسبت عکس دارد. پس هر چه ضریب هدایت حرارتی فلزات بیشتر شود، گسیل آنها کمتر می‌شود (۱۲). در این رابطه آزمایشات زیادی با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی به منظور کاهش مقاومت نقطه‌ای لایه ITO به منظور افزایش هدایت حرارتی و در نتیجه کاهش گسیل آن انجام شد و امکان کاهش مقاومت نقطه‌ای تا حدود

$1 \Omega/\square$  بوجود آمد. در شکل ۵ طیف مربوط به عبور امواج گرما بر روی یک نمونه شیشه پوشش داده شده با لایه ITO با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی از طول موج ۴۰۰nm تا ۲۵۰۰nm که با دستگاه اسپکتروفوتومتر موجود در صنایع اپتیک صایران اندازه‌گیری شده، آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در طول موج نور مرئی (۳۸۰nm تا ۷۸۰nm) میزان عبور نور بالا بوده و در حدود ۷۰٪ می‌باشد. با وارد شدن به ناحیه IR میزان عبور امواج گرمایی کاهش یافته و بر میزان بازتابش آن افزوده می‌شود. تا اینکه از طول موج حدود طول موج ۱۵۰۰nm مقدار عبور نور به صفر می‌رسد و بنابر این بازتابش آن به حداکثر خود می‌رسد. همانطور که قبلاً اشاره شد این از مشخصه‌های پوشش‌های کم گسیل است که در ناحیه مرئی دارای عبور نور بالایی بوده و در ناحیه IR دارای بازتابش بالایی می‌باشند. این نوع از شیشه علاوه بر کاربردهای ساختمانی در مناطق سردسیر و گرمسیر و همچنین آئینه‌های گرمایی، در شیشه یخچالها و اجاقهای گاز نیز دارای کاربرد هستند. از جمله دیگر مزایای این نوع از شیشه، پس‌زنی امواج الکترومغناطیسی (EMI GLASS) است، که دارای کاربردهای نظامی، پزشکی و حفاظتی می‌باشد.



شکل ۵ - طیف عبور در ناحیه مرئی و IR مربوط به شیشه پوشش داده شده با لایه ITO

مراجع:

- [۱] امیری شهبازی ، محمد ، (۱۳۸۰) ، پانزدهمین گرد همایی اعضای شبکه دستان انرژی ، ساپا ، اصفهان ، ۱۴
- [۲] شاکری نیا ، ( ۱۳۸۱ ) ، شرکت صنایع شیشه خم اژدری ، واحد تحقیق و توسعه ، دومین نمایشگاه بین المللی ساختمان ، ۵
- [۳] Appliance magazine.com , issue ,07-2003 , NOV.5 , 2003, Next-Generation Heated Glass Products , 3
- [۴] ایزدی ، بهرام ، (۱۳۸۲) ، مروری بر فنآوریهای مدرن مرتبط با شیشه ، مجتمع صنعتی بشیر ، ۲۳
- [۵] Russell J.Hill & Steven J.Nadel , ( 1999 ) , Coated Glass Application and Markets , BOC coating technology , 143
- [۶] Glaverbel شرکت کاتالوگ  
The loading producer of float glass in Belgium with representatives worldwide ,  
www.glaverbel.com
- [۷] Ohsaki . Hisashi , Kokubu Yoshinori , (1998), Global market and technology trends on coated glass for architectural, automotive and display applications , 7, in : 2<sup>nd</sup> International conference on Coating on Glass ICCG, ELSEVIER SCIENCE b.v. sara Burgerhartstraat, 466
- [۸] امیری شهبازی ، محمد ، (۱۳۷۸) ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، تهیه لایه های تیتانیوم نایترید با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی استوانه ای فعال ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، ۱۵۴
- [۹] BRIAN G.LEWIS AND DAVID C.PAINE ,(2000), APPLICATIONS AND PROCESSING OF TRANSPARENT CONDUCTING OXIDES,WWW,MRS.ORG/PUBLICATIONS/BULLETIN
- [۱۰] K.L.CHOPRA,S.MAJOR AND D.K.PANDYA, (1982),transpaternt conductors- a status review ,review paper , thin solid films ,102(1983),electronics and optics,146

- [۱۱] CERAC, (2002), TECHNICAL PUBLICATIONS, COATING MATERIAL NEWS , VOLUME 12
- [۱۲] H.J. GLASER “LAREGE AREA GLASS COATING”, 2000, 108