تعریف ماده عایق

عایق به ماده ای یا ترکیبی از چند ماده گفته می شود که نرخ انتقال حرارت را کاهش دهد. از آنجایی که هدف اصلی عایقکاری، کاهش انتقال حرارت است، عایق ها باید خواص مطلوبی در کاهش نرخ انتقال حرارت به طرق هدایت، همرفت و تابش داشته باشند.

انواع عایق ها

دسته بندی عایق ها

یکی از مهم ترین پارامترها در انتخاب نوع عایق، محدوده دمای کارکردی عایق است. برای هر عایق، بسته به جنس آن، محدوده دمای کاری مشخصی تعریف می شود: بدین معنی که عایق در آن محدوده دمایی، بهترین عملکرد را خواهد داشت. برخی عایق ها، در خارج از محدوده دمای کاری، خواص خود را از دست می دهند. مثلا عایق های سلولی پلی‌اولفینی، جزء عایق های ترموپلاستیک (Thermoplastic) محسوب می شوند به طوری که اگر دما، به بیش از محدوده دمای کاری برسد، ناگهان دچار تغییرشکل پلاستیک شدید می شوند. بنابراین، قبل از عایق کاری، باید شرایط و دمای محیط و سیستمی که قرار است عایق شود، مشخص شود و با توجه به محدوده دمای کاری، عایق مناسب انتخاب شود.

عایق ها را می توان از نظر محدوده دمای کاری به سه دسته گرم و سرد و دما متوسط تقسیم بندی نمود:

عایق های گرم

عایق های گرم بیشتر برای عایق کاری نواحی و تجهیزاتی استفاده می شوند که دمای کاری آنها بیشتر از دمای اتاق است. همچنین این عایق ها به عنوان عایق حرارتی مخصوص ساختمان و عایق کاری دیوارها و سقف ها نیز استفاده می شوند. از عایق های گرم می توان در عایق کاری خطوط انتقال گرم نیز، مانند موتورخانه ها، سیستم های گرمایش و دودکش ها، استفاده کرد. محدوده دمای کاری این نوع عایق ها معمولا بین 25^0C- الی 600^0C است.

انواع رایج عایق های گرم موجود در بازار در جدول زیر ارائه شده اند:

www.gacco.ir

نوع عایق گرم	محدوده دمای کاری (متوسط)
پشم سنگ	600°C الی -20°C
پشم سرباره	600°C الی -20°C
پشم شیشه	450°C الی -20°C
پشم سرامیک	1000°C الی -25°C
فوم شیشه	450°C الی -450°C
پرلیت قابل گیری شده	450°C الی 75°C
ایروژل	500°C الی 50°C
عایق فله ای	معمولا از جنس پشم سنگ، شیشه یا پلی یورتان است

عایق های سرد

عایق های سرد بیشتر برای عایق کاری خطوط سیستم های تهویه و کانال های انتقال گاز یا مایعات استفاده می شود. این نوع عایق ها معمولا ضریب نفوذ آب و بخار بسیار پایینی دارند و درنتیجه از چگالش (تبرید) بخار جلوگیری می نمایند. این خاصیت آنها برا برای عایق کاری سردخانه ها، یخچال ها و خنک سازها، عایقی ایده آل معرفی می کند. محدوده دمای کاری این نوع عایق ها به طور متوسط بین 100^0C- الی 100^0C است. در صورتی که دمای محیط یا خط انتقال لوله، از محدوده دمای کاری فراتر نرود، می توان از این نوع عایق ها در عایق کاری خطوط گرمایش مانند شوفاژ و موتورخانه نیز استفاده کرد. انواع عایق های سرد موجود در بازار در جدول زیر ارائه شده اند:

نوع عایق سرد	محدوده دمای کاری (متوسط)
فوم های الاستومری (NBR & EPDM)	120°C الی -40°C
پلی استایرن (EPS / XPS)	75°C الی -20°C
فوم های پلی اتیلن (EPE / XPE)	110°C الی -30°C
فوم پلی یورتان	110°C الی -30°C
فوم شیشه	450°C الی -450°C
فنولیک	125°C الی -50°C
فوم پلی ایزوسیانورات	150°C الی -40°C

عایق های دمای بسیار بالا (نسوز - Refractory)

این نوع عایق ها توانایی تحمل دمای بسیار بالایی را دارند و بیشتر در صنایع خاص مانند کوره های ذوب و کوره های عملیات حرارتی و همچنین به عنوان عایق ضدآتش استفاده می شوند. نوع بسیار رایج این نوع عایق در بازار، پشم سرامیک است که نوع V آن تا دمای 1650^0C را نیز تحمل می کند. همچنین سیلیکات کلسیم نیز از انواع عایق های نسوز محسوب می شود. برخی از انواع خاص پشم سنگ که رزین های مخصوص دارند، می توانند دماهای بسیار بالا را تحمل کرده و در این دسته بندی جای گیرند. بیشتر مواد نسوز که در مصارف ساختمانی و برای

دماهای بسیار بالا (بالاتر از ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد) استفاده می شوند، شامل ماسه، شن، آجر و سنگ نسوز می شود که در دسته خاصی از عایق ها قرار می گیرند.
از آنجایی که جنس عایق تاثیر مهمی در محاسبات و عملکرد عایق کاری لوله ها و کانال ها و مخازن خواهد داشت قصد داریم تا انواع موادی که برای عایق کاری استفاده می شوند را معرفی کنیم:

پشم معدنی

پشم های معدنی، شامل پشم سنگ و پشم سرباره، از الیاف غیرارگانیک تشکیل شده اند که توسط رزین ارگانیک به هم متصل شده اند. پشم های معدنی مقاومت حرارتی بسیار بالایی داشته و تقریبا در تمامی اندازه های استاندارد لوله های صنعتی یافت می شوند. از پشم سنگ هم به عنوان عایق حرارتی و هم به عنوان عایق صوتی و ضدآتش استفاده می شود.

پشم شیشه

پشم شیشه نیز، مانند پشم سنگ ازالیاف غیرارگانیک شیشه که بوسله رزین ارگانیک به هم متصل شده اند، ساخته شده است. مانند عایق های الیاف معدنی، پشم شیشه نیز هم در عایق کاری حرارتی و هم در عایق کاری صوتی بکار میرود. پشم های معدنی و پشم شیشه، عایق گرم محسوب می شوند.

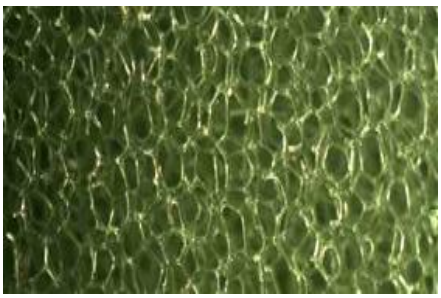
فوم های انعطاف پذیر الاستومری

فوم های انعطاف پذیر، فوم های نرم ساخته شده از لاستیک الاستومر NBR یا EPDM و یا فوم های پلی اتیلنی (XPE / EPE) هستند. اینگونه فوم ها، عایق سرد محسوب می شوند و مقاومت به نفوذ بخار بسیار بالایی دارند. با توجه به مقاومت بسیار عالی که در مقابل عبور بخار آب از خود نشان می دهند پس از نصب، به هیچ گونه حائل بخار – آب دیگری نیاز نیست. خاصیت مقاومت زیاد در مقابل بخار، به همراه خاصیت تابش بالای لاستیک اجازه می دهد که فوم انعطاف پذیر با ضخامت نسبتا کمی از چگالش سطحی جلوگیری کنند. در نتیجه، از این گونه مواد به مقدار متنابهی در سیستم های سرمایش، لوله کشی ها و تهویه استفاده می شوند. البته از اینگونه مواد می توان در خطوط آب گرم و گرمایش نیز استفاده نمود.

www.gacco.ir

عایق های الاستومری، گرچه نسبت به پشم سنگ و یا پشم شیشه گران ترند، ولی به دلیل *بی نیاز* بودن از پوشش مضاعف (Jacketing) برای کاربردهای دمای پایین بسیار مقرون به صرفه می باشند. *پایداری* بسیار بالایی دارند. سریع ترین راه برای عایق کردن سیستم های لوله کشی آماده و ساخته شده، استفاده از عایق های الاستومری است. این گونه عایق ها، ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی داشته و انعطاف پذیر می باشند و برای محیط هایی که فضای کاری کمی داشته باشند، بسیار مناسب هستند.

فوم های صلب



از فوم های صلب پلیمری مانند فنولیک و پلی یورتان و یا پلی استایرن (XPS / EPS) نیز در عایق کاری لوله ها استفاده می شود. این گونه فوم ها، ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی دارند ولی خواص ضد آکوستیکی بسیار ناچیزی دارند. این فوم ها به صورت تزریقی یا پیش شکل های آماده در ابعاد استاندارد لوله ها، در بازار موجود هستند.

دلایل عایق کاری

۱- ذخیره انرژی
۲- کنترل انتقال دما
۳- کنترل درجه حرارت
۴- پیش گیری از نخ زدگی
۵- افزایش بهره حرارتی
۶- فراهم ساختن کنترل میعان
۷- محافظت در برابر یخ زدگی
۸- تامین محافظت از خوردگی

خواص عمده عایق های حرارتی که مورد توجه طراحان می باشد به شرح زیر است:

۱- حدود درجه حرارت عملکرد
۲- مقاومت در برابر شوک های حرارتی
۳- گسترش حرارتی diffusivity
۴- جذب حرارت از طریق تشعشع Radiance (در مواردی که سطح عایق از محیط اطراف خنک تر نباشد مهم می باشد)

www.gacco.ir

۵- هدایت حرارتی conductance
۶- گرمای ویژه (تعیین کننده مقدار گرمای جذب شده با دفع شدهبرای بالا و پایین آمدن درجه حرارت عایق است)

مهمترین ویژگی که عایق حرارتی باید داشته باشد پایین بودن رسانایی حرارتی و پایداری آن

تعاریف

عایق (Insulation)

عایق عبارت است از ماده ای که نرخ انتقال جریان ماده یا انرژی را بین دو فضا کاهش داده یا آن را کاملا مسدود میکند. مثلا عایق های حرارتی نرخ انتقال حرارت (انرژی گرمایی) را به میزان چشمگیری کاهش می دهند و یا عایق های الکتریکی از جاری شدن جریان برق جلوگیری می کنند. عمده ترین عایق ها، عایق های حرارتی، صوتی، ضد آتش، الکتریکی و رطوبتی هستند.

هدایت (Conduction)

عبارت است از انتقال حرارت از طریق تماس اجرام مختلف که با هم اختلاف دمایی دارند. هدایت بین هر دو سطحی که اختلاف دمایی داشته و به صورت فیزیکی با هم در تماس باشند، اتفاق می افتد. نرخ انتقال حرارت به صورت هدایت، بستگی به جنس مواد و ضریب انتقال حرارت آنها و اختلاف دمای بین دو سطح دارد.

همرفت یا جابه جایی (Convection)

همرفت عبارت است از انتقال حرارت از طریق یک سیال مانند هوای پیرامون اجسام گرم و همچنین مایعات. هوا به عنوان اصلی ترین منبع انتقال حرارت به طریق همرفت شناخته می شود. در همرفت همواره هوای گرم به سمت هوای سرد جریان می یابد.

تابش (Radiation)

نور یکی از انواع انرژی است که اصطلاحا از طریق تابش، انتقال می یابد. در صورتی که نور به جسمی تابیده شود، آن جسم گرم می شود بدین معنی که انرژی نور در جسم تبدیل به حرارت می شود. همچنین، جسمی که نور می تاباند، گرما از دست می دهد. پس می توان نتیجه گرفت که تابش یکی از راه های انتقال حرارت است. بارزترین مثال رسیدن گرمای خورشید به زمین است، چراکه چون بین زمین و خورشید اتمسفری وجود ندارد (و تقریبا خلا است)، تنها راه انتقال حرارت از خورشید به زمین تابش بوده و هدایت و همرفت امکان پذیر نیستند.
لازم به ذکر است که تمامی اجسام تابش می کنند. وقتی نور به یک جسم تابیده می شود، کسری از آن جذب شده و کسری از آن انعکاس می یابد. کسر جذب شده مجددا توسط ماده، تحت فرکانس مشخصی بسته به جنس و رنگ سطح آن، تابش می یابد. در واقع علت اصلی که چشم می تواند اجسام را ببیند، تابش اجسام در یک فرکانس

www.gacco.ir

مشخص (رنگ) است. مقدار تابش اجسام، ارتباط مستقیم با درجه حرارت آنها دارد. مثلا بعضی مواد اگر بسیار داغ شوند، قبل ذوب، به رنگ کاملا قرمز در می آیند که نشان از تابش زیاد آنها دارد.
مواد عایق ضد تابش معمولا کسر جذب شده را به حداقل رسانده و کسر انعکاس را افزایش می دهند و به این ترتیب ماده انرژی از دست نمی دهد. به این دلیل است که عایق های ضد تابش اکثر به صورت فویل های صیقلی ساخته میشوند.

مشخصه های فیزیکی ماده عایق

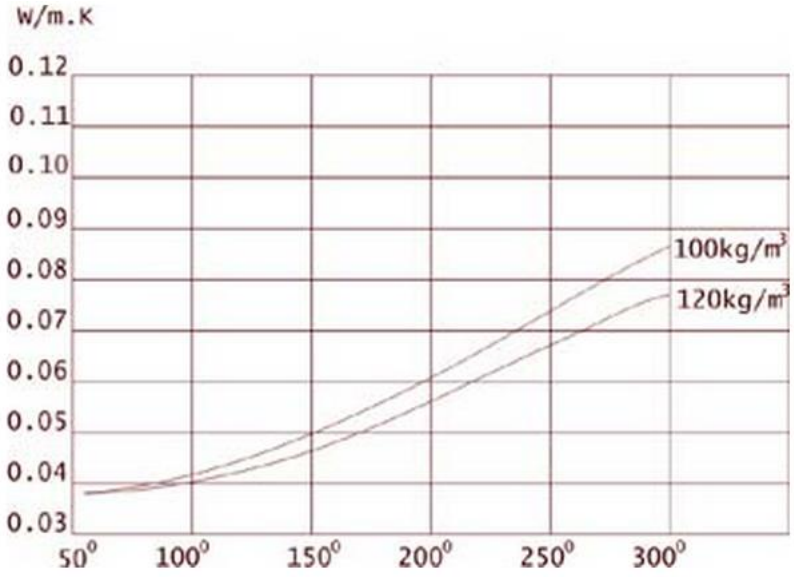
ضریب انتقال حرارت، *استحکام فشاری* و *ضریب نفوذ رطوبت* از جمله مهم ترین مشخصه های فیزیکی تاثیرگذار در انتخاب نوع عایق محسوب می شوند. هرچه ضریب انتقال حرارت عایق کمتر باشد (و یا درمقابل، هرچه مقاومت حرارتی عایق بالاتر باشد)، عایق در مقابل انتشار حرارت مقاوم تر بوده، برای عایق کاری مناسب تر و مقدار سود عایق کاری نیز بالاتر خواهد بود.

ظرفیت گرمایی و گرمای ویژه (Heat Capacity & Specific Heat)

ظرفیت گرمایی خاصیتی فیزیکی از ماده بوده و عبارت است از مقدار گرمایی که لازم است به ماده داده شود تا دمای آن یک واحد دما (مثلا یک درجه سانتی گراد یا یک درجه فارنهایت) افزایش پیدا کند. ظرفیت گرمایی را با C نشان می دهند و واحد آن در سیستم متریک $J/^0K$ (ژول بر درجه کلوین) می باشد.
همچنین، گرمای ویژه عبارت است از مقدار گرمایی که لازم است به واحد جرم ماده داده شود تا دمای آن یک واحد دما (مثلا یک درجه سانتی گراد یا یک درجه فارنهایت) افزایش پیدا کند. گرمای ویژه را معمولا با Cm نشان داده و واحد آن J/m^0K (ژول بر جرم درجه کلوین) است. ظرفیت گرمایی جرم مشخصی از یک ماده برابر است با مقدار جرم ماده ضرب در گرمای ویژه آن.
در بیشتر سیستم های ترمودینامیکی، ظرفیت گرمایی سیستم ثابت نیست و به پارامترهای مختلفی از جمله فشار و دمای سیستم بستگی دارد.

ضریب هدایت گرمایی – ضریب انتقال حرارت (Thermal Conductivity)

ضریب هدایت گرمایی (k) خاصیتی از ماده بوده و عبارت است مقدار انرژی گرمایی که ماده می تواند در واحد سطح، در واحد ضخامت و در واحد زمان و در دمای مشخصی، از خود عبور دهد. هرچه ضریب هدایت گرمایی کمتر باشد، نشان می دهد که ماده قابلیت انتقال انرژی گرمایی کمتری داشته و بیشتر برای عایق مناسب است. واحد ضریب انتقال حرارت در سیستم متریک W/m^0K (وات بر متر درجه کلوین) و در سیستم اینچی Btu/hft^0F (واحد گرمای بریتیش بر ساعت فوت درجه فارنهایت) می باشد. در اینجا BTU تقریبا ۱،۰۵۵ ژول است. ضریب انتقال حرارت را با k نشان می دهند.
ضریب انتقال حرارت عایق های مختلف، بستگی به اختلاف درجه حرارت بین سطوح عایق، چگالی و عمر عایق دارد. معمولا هرچه درجه حرارت بالاتر رود، ضریب انتقال حرارت عایق ها نیز افزایش یافته و عملکرد عایق افزایش می یابد. همچنین، با کاهش چگالی و افزایش عمر، ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد.



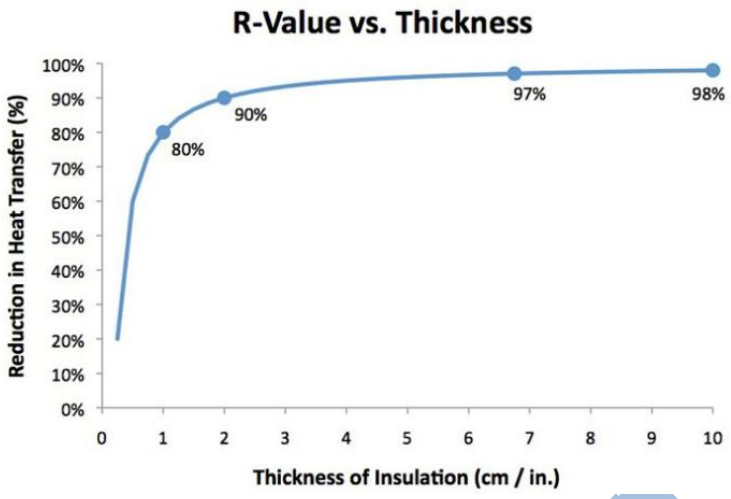
مقاومت حرارتی (Resistance Value)

ضریب مقاومت حرارتی که آن را با R نشان می دهند، برعکس ضریب انتقال حرارت است و درواقع مقدار مقاومت ماده در مقابل جریان انرژی گرمایی می باشد. مقدار دقیق R عبارت است از عکس ضریب انتقال حرارت (k) ضرب در ضخامت ماده (d) :

$$R=d/k$$

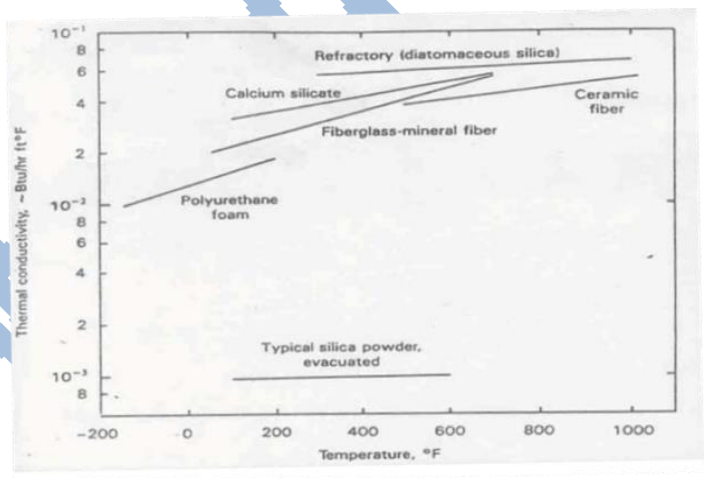
واحد مقاومت حرارتی در سیستم متریک $m^2.^0K/W$ (متر دو درجه کلوین بر وات) است. میزان بهینه بودن یک عایق را با مقدار R-value آن عایق می سنجند. هرچه ضریب R یک عایق بالاتر باشد، عایق بهتری بوده و گرما را کمتر از خود عبور می دهد. مثلا ضریب R برای بتون معمولی تقریبا 0.08 در هر اینچ ضخامت است ولی پشم شیشه نرمال R-value برابر 4 در هر اینچ ضخامت دارد.

با توجه به رابطه R با k، نمی توان نتیجه گرفت که مثلا دو برابر کردن ضخامت، مقدار اتلاف انرژی را نصف می کند. بلکه نسبت R با ضخامت، نمایی است و با اضافه کردن مقدار عایق با ضخامت کم، اتلاف انرژی به میزان چشم گیری کاهش می یابد ولی بعد از آن، اضافه کردن ضخامت عایق تاثیر با شدت اولیه را نخواهد داشت. حتی در عایق کاری لوله ها، ممکن است با اضافه کردن ضخامت عایق، مقدار اتلاف انرژی بیشتر نیز بشود (به دلیل افزایش سطح و نتیجتا افزایش شار حرارتی – برای توضیحات بیشتر به ضخامت عایق بحرانی مراجعه فرمایید)



توجه شود که میزان بهینه بودن عایق های ضدتابش با ضریب انعکاس آن بیان می شود و نه با ضریب مقاومت حرارتی چرا که این عایق ها باید کسر نور جذب شده توسط ماده را به حداقل رسانده و کسر انعکاسی را به حداکثر برسانند. ضریب انعکاسی یک ماده عددی است همواره بین صفر و یک. ضریب یک بیان گر ماده منعکس کننده ایده آل است، به طوری که ۱۰۰٪ حرارت تابیده شده را منعکس می کند. به ضریب تشعشع مراجعه شود.

نکته ای که در مورد ضریب انتقال حرارت باید در نظر گرفت این است که ضریب انتقال حرارت با افزایش دما، افزایش می یابد. معمولا در مدارک فنی تولیدکنندگان، ضریب انتقال حرارت در دمای محیط $(+23^0C)$ ارائه می شود. برای محاسبه مقدار سرمایه برگشتی و سود عایق کاری، باید ضریب انتقال حرارت در شرایط عملی را در محاسبات وارد نمود.



ضریب نفوذ رطوبت (Perm)

نفوذپذیری یا Permeability یکی از خواص فیزیکی مهم عایق ها بوده و مقدار نفوذ رطوبت یا بخار آب به عایق را نشان می دهد. نفوذ رطوبت به عایق حرارتی از آن جهت اهمیت دارد که رطوبت خود به عنوان پل حرارتی عمل کرده و نفوذ رطوبت به درون عایق، ظریب انتقال حرارت آن را افزایش می دهد و در موارد شدیدتر، عایق خاصیت عایق بودن خود را کاملا از دست می دهد. همچنین، رطوبت زیاد و دمای بسیار پایین، باعث بروز پدیده چگالش (برفک زدن –Condensation) می شود. بنابراین، در صورتی که دمای فرآیند پایین است یا محیط رطوبت نسبی

بالایی دارد و یا اگر قرار است عایق در محیط باز نصب شود، باید دقت شود که عایق در مقابل رطوبت مقاوم باشد و در صورت امکان، پوشش های رطوبتی نیز به فهرست اقلام عایق کاری اضافه شود.

عایق های حاوی حفره های بسته (closed pore) مانند ***الاستومر*** ، در برابر نفوذ بخار آب به دلیل سلختار سلول بسته مقاوم هستند. عایقهای رشته ای و عایقهای دارای حفره های باز (open pore) می تواند مقادیر قابل توجهی آب جذب کنند که این امر آثار نامطلوبی بر قابلیت هدایت گرمایی و کارآیی عایق دارد. در واقع در عایق هایی که برای پیش از یک منظور مورد استفاده قرار می گیرد در نظر گرفتن موارد زیر ضروری است, در حرارت های بالا مقدار کمی رطوبت جذب شده در عایق های الیافی باقی می ماند که بعد از گرم شدن تبدیل به بخار فشره شده و تمایل به خروج از عایق و غلاف دارد در این شرایط اگر غلاف از نوع محافظ در برابر بخار low vapor migration باشد به ناچار این بخارات در جداره داخلی غلاف شروع به کندانس شدن نموده و اگر راهی برای خروج پیش بینی نشده باشد در همانجا جمع و عایق را خیس خواهد کرد. که پس از مدتی پدیده زنگ زدگی و خوردگی در پی دارد این اختلاف فشار بخاری که لایه داخلی عایق و غلاف نیرو وارد می کند به قدر کافی زیاد می باشد و اگر سوراخ با منفذ ریزی در سیستم وجود داشته باشد به راحتی جا به جا می شود.

عایق های مورد استفاده برای سطوح سرد نیز باید نسبت به نفوذ بخار آب ، که موجب افزایش ضریب هدایت گرمایی می شود، محافظت گردند. چنانچه آب نفوذ کند و در عایق یخ بزند، احتمالا موجب گسیختگی حفره های عایقو در نهایت تخریب دائمی آن خواهد شد. نفوذ پذیری پایین (در مورد بخار آب) برای عایق یک امتیاز محسوب می شود.

مقدار نفوذپذیری رطوبت به درون هر ماده ای را با واحد perm اندازگیری می کنند. واحد perm عبارت است از مقدار (برحسب واحد جرم) بخار آبی که در واحد زمان تحت واحد فشار از واحد سطح می گذرد.

$$perm = g / t.A.p\ [g.s^{-1}.m^{-2}.pa^{-1}]$$

در سیستم متریک، یک permعبارت است از ۱ گرم بخار آب که در روز، در فشار یک میلیمتر جیوه از یک مترمربع عبور میکند.

در سیستم SI، یک perm عبارت است یک نانوگرم بخار آب که در ثانیه، در فشار یک پاسکال از یک مترمربع عبور میکند.

در سیستم US (اینچی) یک perm عبارت است از یک گرین بخار آب (تقریبا معادل 64.8 میلی گرم) که در ساعت، در فشار یک اینچ جیوه، از یک فوت مربع عبور می کند.

$$1\ metric\ perm = 1.51735\ US\ perm \approx 86.81233\ SI\ perm$$

دمای کارکرد

محدوده دمای کاری عایق شاید مهمترین پارامتری باشد که در انتخاب نوع عایق نقش مستقیم ایفا می کند. دمای کاری معمول عایق های حرارتی (Thermal Insulation)، بین -73^0C الی $+820^0C$ است. عایق های مربوط به فرآیندهایی که دمای کاری آنها به زیر -73^0C می رسد، به عنوان عایق های سرد شناخته شده و واژه "برودتی" (Cryogenic) برای آنها استفاده می شود. همچنین عایق هایی که در فرآیندهایی که دمای آنها به

بیش از 820^0C+ می رسد استفاده می شوند، به عنوان عایق "نسوز"(Refractory) شناخته می شود. برای آشنایی بیشتر با انواع مختلف عایق ها و درجه حرارت کاری آنها، به عایق های حرارتی گرم و سرد و انواع عایق های حرارتی مراجعه فرمایید.

در انتخاب نوع عایق، باید دقت شود که محدوده دمای کاری سطحی که قرار است عایق شود درون محدوده دمای کارکرد عایق (که در مدارک فنی سازنده یا مراجع مختلف ذکر شده است) باشد. لازم به ذکر است که دمای کاری، در تایین هزینه ها و سود عایق کاری نیز نقش مهمی ایفا می کند.

دمایی که ملاک انتخاب و به کار گیری عایق است باید در دامنه واقعی باشد که عملکرد مطمئن عایق را در یک دوره طولانی و در شرایط عادی کاربرد فراهم سازد. دماهای تقریبی کاربرد برای پاره ای از عایق ها در جدول زیر درج شده است

برای عایقهای که در دمای زیر ۱۰ درجه سانتیگراد (۵۰ درجه فارنهایت) مورد استفاده واقع می شوند، توجه به حد پایین دامنه دما نیز مانند اهمیت است، به علاوه آثار ناشی از احتمال افزایش انقباض(shrinkages) شکندگی (embitterment) ، پوکسی (porosity) و همچنین پایداری عایق در برابر گرم شدن های لحظه ای (occasional heating) برای رفع یخ زدگی، نباید از نظر دور بماند.

www.gacco.ir

خواص مواد حرارتی

عایق	دما حداقل	دما حداکثر	رسانایی حرارتی (w/m.k)	ضخامت حداقل (mm)	ضخامت حداکثر (mm)
سیلیکات کلسیم	-۲۰	۸۰۰	۰/۶۰۰	۲۵	۱۰۰
شیشه سلولی	-۶۲۰	۴۳۰	۰/۰۵۰	۴۰	۱۲۰
لاستیک انبساط یافته	-۴۰	۱۱۶	۰/۰۳۶	۶	۳۲
پلی استرین انبساط یافته	-۱۰۰	۸۰	۰/۰۳۲	۱۲	۶۱۰
رزین تزریقی پلی استرین	-۱۸۰	۷۵	۰/۰۲۷	۳۰	۱۰۰
رزین های انعطاف پذیر پلی اورتان	۲۰	۱۰۵	۰/۰۴۸	۱۹	۱۰۰
پشم شیشه معدنی	-۱۶۰	۲۳۰	۰/۰۴۰	۱۹	۱۰۰
اکسید منیزیم	-۲۰	۳۱۵	۰/۰۶۰	۲۵	۸۸
رزین ملایم	۲۰	۲۲۰	۰/۰۴۰	۶	۲۵۰
عایق سیلیسی میکروپروس	-۲۰	۱۰۵۰	۰/۰۲۵	۳	۷۵
رزین فنلی	-۱۸۵	۱۲۰	۰/۰۲۰	۱۵	-
رزین پلی اتیلن	-۲۰	۱۰۰	۰/۰۳۷	۹	۳۸
رزین پلی ایزوسیانورات	-۱۸۵	۱۴۰	۰/۰۲۳	۱۵	-
رزین صلب پلی اورتان	-۱۸۵	۱۱۰	۰/۰۲۳	۱۵	-
پشم سنگ معدنی	-۱۶۰	۸۵۰	۰/۰۴۰	۱۹	۱۰۰

چگالی

چگالی از جمله عوامل دیگری است که می تواند در انتخاب عایق تاثیرگذار باشد. البته بسیاری از عایق ها، چگالی ثابتی دارند و انتخاب نوع عایق تابع مستقیمی از چالی ماده عایق نیست. اما، چگالی برخی مواد عایق، مانند پشم سنگ، متغیر است و تولیدکنندگان این نوع عایق ها، چگالی های مختلفی را در بازار عرضه می کنند. از آنجا که چگالی، تاثیر مستقیمی بر دیگر پارامترها، از جمله *ضریب انتقال حرارت*، *ضریب نفوذ رطوبت* و *استحکام فشاری* دارد، می تواند در انتخاب نوع عایق تاثیر گذار باشد. معمولا مواد با چگالی بالاتر، ضریب انتقال حرارت کمتر، ضریب نفوذ رطوبت و استحکام بیشتری دارند و ضریب انتقال حرارت نیز، با افزایش دما کمتر تغییر می کند. در نمودار زیر، تغییرات ضریب انتقال حرارت پشم سنگ در دو چگالی مختلف در دماهای مختلف نشان داده شده است.

حجم عایق کاری، شرایط عایق کاری و نصب

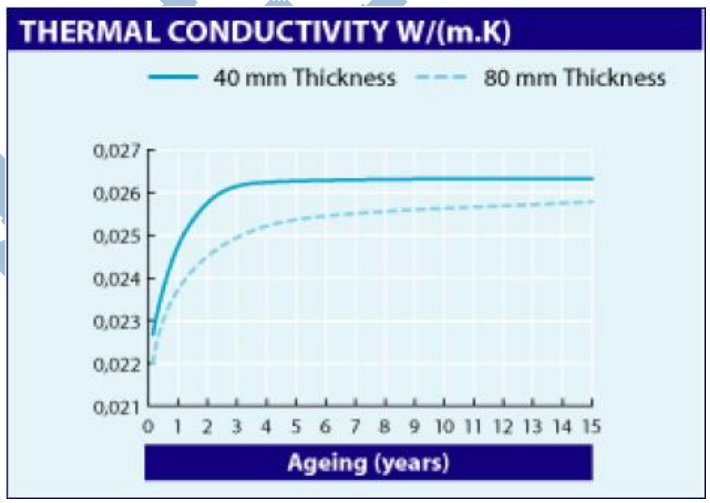
حجم عایق کاری و شرایط نصب، می توانند در انتخاب نوع عایق تاثیر مستقیم بگذارند. بسیاری از انواع عایق ها برای عایق کاری سطح ها و حجم های بسیار زیاد مناسب نیستند و یا هزینه عایق کاری بسیار گزاف خواهد شد. همچنین برخی شرایط نصب ایجاب می کند، انواع خاصی از عایق ها مورد استفاده قرار گیرند. مثلا عایق کاری شکل های نامنظم و پیچیده و یا فضای بین دو دیواره که راهی به خارج ندارد و یا دسترسی به آن مشکل است، تنها با استفاده از عایق های تزریقی در محل، قابل انجام است.

هزینه و در دسترس بودن

هزینه از مهمترین پارامترهایی است که در انتخاب عایق نقش دارد. البته لازم به ذکر است که سرمایه عایق کاری معمولا کمتر از یکسال بر می گردد، لیکن سرمایه اولیه می تواند برای طراح محدودیت ایجاد کند. در محاسبه هزینه عایق کاری، باید هزینه خود ماده عایق، عایق کاری (نیروی انسانی و متریال مورد نیاز نصب) و همچنین هزنیه های نگهداری پس از نصب، لحاظ شوند. در دسترس بودن نیز از دیگر عوامل تاثیرگذار بر انتخاب عایق است. چه بسا ممکن است عایق انتخاب شده اصلا در بازار فعلی موجود نبوده و یا مدت زمانی که تامین کننده می تواند آن را فراهم کند، مقید در محدوده زمانی مناسب نیست.

عمر مفید کاری

عمر مفید کاری می تواند در انتخاب نوع عایق موثر باشد، اگرچه عمر مفید انواع مختلف عایق ها معدنی تقریبا در یک محدوده است. مقاومت در مقابل ماوراء بنفش (در صورتی که عایق کاری در محیط باز انجام شده باشد)، رطوبت، تجزیه شدن، آلودگی های قارچی و میکروبی، گرد و خاک، سایش و غیره، از عوامل مهم در تعیین عمر مفید کاری عایق محسوب می شوند. لازم به ذکر است که عمر زیاد عایق، خاصیت عایق بودن آن را می کاهد. در نمودار زیر، تغییرات ضریب انتقال حرارت پشم سنگ را در دو ضخامت مختلف در مقابل سال های سپری شده، نشان می دهد.



نظر به اینکه عمر لازم سیستم عایق کاری بر هزینه سالانه و در نتیجه ضخامت اقتصادی عایق موثر است، لذا باید مورد توجه قرار گیرد. چنانچه یک دوره زمانی (عمر) کوتاه مورد نظر باشد یک سیستم عایق کاری ارزان کفایت می کند و چنانچه عمر بیشتری مورد نیاز کار باشد ممکن است یک سیستم عایق کاری گرانتر و با عمر بیشتر، اقتصادی باشد

اشتعال پذیری و سمی بودن

برخی شرایط طراحی ایجاب می کند که عایق در مقابل خطراتی چون آتش سوزی، دارای حداقل مقاومت بوده و استاندارد باشند. به خصوص در صورتی که عایق برای مکان های مسکونی و عمومی، چون بیمارستان ها، کتاب خانه ها، مساجد و غیره استفاده می شوند، حتما باید استانداردهای مقاومت در مقابل آتش سوزی و عدم انتشار گازهای سمی را دارا باشند.

ضخامت مناسب عایق

اینکه عایق چه ضخامتی داشته باشد که هم بتواند از پس عایق کاری برآمده و هم هزینه اضافه دربر نداشته باشد، برای طراح از اهمیت ویژه ای برخوردار است. محاسبه ضخامت مناسب عایق با توجه به روابط انتقال حرارت و شرایط مرزی و محیطی، به راحتی قابل انجام است. برای جزئیات بیشتر به محاسبه ضخامت عایق مراجعه فرمایید.

معمولا عایق ها در ضخامت های استاندارد در بازار عرضه می شوند و تولیدکنندگان ضخامت های خاصی را تولید میکنند که معمولا از نیم اینچ (13mm) شروع شده و با فرجه های نیم اینچی، تا سقف ۶ اینچ (150mm) نیز میرسد. تولیدکنندگان عموما کاتالوگی در اختیار خریدار قرار می دهند و بوسیله آن ضخامت مناسب عایق را، متناسب با دما و شرایط کارکردی، رطوبت و به خصوص قطر لوله ها در عایق کاری لوله ها، به مشتری توصیه می کنند. ضخامت هایی که معمولا توسط سازندگان توصیه می شود، از استانداردها و مقررات ساخت و ساز (کشوری یا بین المللی) تبعیت میکنند و درنتیجه قابل اعتماد هستند.

گاهی خریدار خود به محاسبه ضخامت ایده آل عایق می پردازد و ممکن است ضخامتی بدست آورد که در فهرست ضخامت های استاندارد نیست. در این حالت می توان ضخامت استاندارد بالاتر را در نظر گرفت و یا سفارش خاصی به تولیدکنندگان داد که هزینه بیشتری در پی خواهد داشت.

بعضی عایق ها، معمولا چگالی ثابت و استانداردی دارند مانند عایق های پلیمری و الاستومری. برخی دیگر عایق ها میتوانند چگالی های مختلفی داشته باشند مانند عایق های پشم سنگ و پشم سرباره. این موضوع مربوط به روش تولید این نوع عایق ها می شود. باید توجه شود که چگالی تاثیر مستقیمی بر ضریب مقاومت حرارتی ضریب مقاومت حرارتی (R-Value) می گذارد به طوری که هرچه چگالی بیشتر شود، ضریب مقاومت حرارتی افزایش یافته و طبیعتا از ضخامت موردنیاز کاسته می شود. در صورتی که نوع عایق، دارای چگالی متنوع باشد، این مسئله باید در انتخاب ضخامت عایق مناسب مدنظر قرار گیرد. در اینگونه موارد، تولیدکنندگان پشم سنگ و پشم سرباره، معمولا در کاتالوگ خود، علاوه بر ضخامت، چگالی را نیز ذکر می کنند.

مقاومت در برابر جانوران موذی و قارچها

مقاومت عایق در برابر جانوارن موذی و حشرات و رشد قارچ، به ویژه در مواردی از قبیل کارخانه های تولید مواد غذایی دارای اهمیت است. سطح عایق هایی که احتمال تر شدن دارد نباید با موادی روکش شوند که در معرض

حمله این عوامل قرار گیرد.در این موارد استفاده از مواد غیر جاذب (non absorptive) برای روکش مطلوب است.

خطرات بهداشتی و ایمنی

خطرات بهداشتی و ایمنی بالقوه، موجود در موارد اصلی و مواد کمکی عایقهای گرمایی، ممکن است بطور مستقیم بر اثر تماس با این مواد، مثلا حین نصب، ترمیم و نگهداری یا بطور مستقیم در اثر فرسودگی،آتش سوزی یا انتشار فیزیکی بروز کند.

خطرات بهداشتی و ایمنی آثاری هستند که فعالیتهای طبیعی و بیوشیمیایی بدن را بطور موقت و دائم مختل می کند، یا در پوست خراش ، پارگی و زخم ایجاد می کنند. آثار ناشی از انتشار گرما ، گازهای سمی و غیر سمی ، الیاف و ذرات عایق، کاهش اکسیزن که بطور عمده بر اثر سوختن مواد عایق حاصل می گردد نیز از جمله خطرات بهداشتی و ایمنی بالقوه موجود در این مواد است. فرسودگی اجزای فلزی و سازه ای ساختمان بر اثر تماس دائم یا عایق که موجب زنگ زدگی، تضعیف ، شکست و فرو ریختن ساختمان می شود نیز از جمله خطرات ایمنی قابل ذکر است.

خوردگی(corrosion)

مواد عایقی که با اجزای فلزی ساختمان در تماس هستند نباید در شرایط عاد موجب خوردگی آنها شوند.

چنانچه عایق در سرایط مطلوب نصب شود یا پس از نصب امکان تر شدن طولانی بیابد خوردکی ایجاد می کند که ممکن است گسترده یا موضعی باشد

عاری بودن از بوی نامطبوع

نداشتن بوی نامطبوع از ویژگی های مهم عایق پس نصب است. در مواردی که عایق در کارخانه های تولید مواد غذایی، رستورانها و ساختمانهایی از این قبیل نصب شود، ویژگی مزبور اهمیت بارزتری می یابد.

عایق های الاستومری (Elastomeric Insulation)

استانداردها: ASTM C534 Grade III – ASTM C534 Grade II – ASTM C534 Grade I

www.gacco.ir

عایق های الاستومری از جمله مواد سلولی انعطاف پذیر سلول بسته بوده و برپایه پلی وینیل کلراید (PVC)، نیتریل بوتادین رابر(Nitrile Butadiene Rubber -NBR) و یا اتیلین پروپیلن دیان مونومر رابر (Ethylene Propylene Diene Monomer - EPDM) ساخته می شوند.

لاستیک NBR که با Buna-N و Perbunan نیز شناخته می شود، یک لاستیک سینتتیک متشکل از پلیمر آکریلونیتریل (ACN) و بوتادین است. نام های تجاری آن عبارتند از نیپل (Nipol)، کراینات (Krynac) و یوروپرن (Europrene).

لاستیک EPDM لاستیکی سینتتیک و الاستومری بوده و کاربردهای وسیعی دارد. لاستیک های EPDM معمولا مقاومت حرارتی بسیار خوبی فراهم می آورند. مواد عایق سلول بسته مقاومت بسیار عالی در مقابل عبور بخار آب از خود نشان می دهند به طوری که پس از نصب، به هیچ گونه حائل بخار – آب دیگری نیاز نیست. خاصیت مقاومت زیاد در مقابل بخار، به همراه خاصیت تابش بالای لاستیک اجازه می دهد که مواد سلول بسته انعطاف پذیر با ضخامت نسبتا کمی از چگالش سطحی جلوگیری کنند. در نتیجه، از این گونه مواد به مقدار متنابهی در سیستم های سرمایش، لوله کشی ها و تهویه استفاده می شوند. البته از اینگونه مواد می‌توان در خطوط آب گرم و گرمایش نیز استفاده نمود.

عایق های الاستومری، گرچه نسبت به پشم سنگ و یا پشم شیشه گران ترند، ولی به دلیل بی نیاز بودن از پوشش مضاعف(Jacketing) برای کاربردهای دمای پایین بسیار مقرون به صرفه می باشند. پایداری بسیار بالایی دارند. سریع ترین راه برای عایق کردن سیستم های لوله کشی آماده و ساخته شده، استفاده از عایق های الاستومری است. این گونه عایق ها، ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی داشته و انعطاف پذیر می باشند و برای محیط هایی که فضای کاری کمی داشته باشند، بسیار مناسب هستند.

مشخصات NBR

مشخصه فیزیکی	توضیح	واحد	استاندارد
ساختار	سلولی فومی	-	-
رنگ	مشکی	-	-
بو	بی بو	-	ASTM E679
چگالی	60-70	[Kg/m^3]	ASTM D 1622
انعطاف پذیری	کاملا نرم	-	ASTM C534
استحکام فشاری	N/A	MPa – [N/mm^2]	ASTM C 165 – C1621
محدوده دمای کاری	[-40]~[+120]	[^{0}C]	ASTM C534
ضریب نفوذ رطوبت	0.10	Perm	ASTM E96
ضریب جذب رطوبت	3.85	% W/W	ASTM E96

www.gacco.ir

ضریب انتقال حرارت در 24^0C	0.035	[W/m.^{0}C]	ASTM C518
ضریب انتقال حرارت در 100^0C	0.039	[W/m.^{0}C]	ASTM C518
مقاومت در مقابل UV	بسیار خوب	-	ASTM D 1171
انتشار اشتعال سطحی	Class 0, 1	-	ASTM E84 - BS 476 Part 7
مقاومت شیمیایی	خوب	-	-

مقایسه ای بین NBR و EPDM

همواره اختلافات بین مشخصات EPDM و NBR مورد بحث متخصصین بوده است ولی **حقیقت این است که بسیاری از مشخصات NBR و EPDM کاملا شبیه هم هستند و اختلافات بسیار ناچیزی با هم دارند.** در کل می توان گفت که ممکن است کاربری EPDM در بعضی موارد بسیار خاص، اندکی از NBR بهتر باشد ولی باید توجه کرد که تولید EPDM بسیار مشکل است و بزرگ ترین عایق سازان نیز EPDM با خلوص ۱۰۰٪ نمی سازند چراکه اصلا مقرون به صرفه نیست.

جدول زیر برای مقایسه بهتر عایق های سلول بسته انعطاف پذیر NBR و EPDM و تفاوت های آنها، ارائه می شود:

خاصیت فیزیکی	NBR	EPDM
نوع ماده	Nitrile Butadiene Rubber	Ethylene Propene Diene Methylene
سختی اسمی (IRHD)	60 (±5)	60 (±5)
رنگ	سیاه	سیاه با دانه های زرد
استحکام کششی	≥ 10 N/mm^2	≥ 10 N/mm^2
میزان کشیدگی تا حد پارگی	≥ 300%	≥ 300%
محدوده دمای کاری متوسط	-40^{0}C – 120^{0}C	-40^{0}C – 135^{0}C
مقاومت در مقابل سایش	متوسط الی خوب	متوسط الی خوب
مقاومت در مقابل روغن های معدنی	بسیار خوب	ضعیف
مقاومت در مقابل روغن های گیاهی	بسیار خوب	متوسط الی خوب
مقاومت در مقابل بنزین	بسیار خوب	ضعیف
مقاومت در مقابل ترکیبات آروماتیک و هیدروکربنات ها	متوسط الی خوب	ضعیف
مقاومت در مقابل اسیدها و بازها	بسیار خوب	بسیار خوب
مقاومت در مقابل آتش	متوسط الی خوب	متوسط الی خوب

مقاومت در مابل رطوبت / بخار	بسیار خوب	بسیار خوب
مقاومت در مقابل پرتو خورشید و اشعه ماوراء بنفش	متوسط الی خوب	بسیار خوب
لوله های مسی	با لوله ترکیب می شود	هیچ واکنشی با لوله ندارد
مقاومت حرارتی	بسیار خوب	بسیار خوب

برتری های NBR نسبت به EPDM

مقاومت بیشتری در برابر مواد نفتی و همچنین مواد روغنی از خود نشان می دهند.

نصب محصولات NBR ساده تر است. این دسته نه تنها انعطاف پذیرند بلکه به راحتی نیز بریده می شوند. علاوه براین به علت ضریب اصطکاک کمی که دارند هیچ کشیدگی چاقو در آن دیده نمی شود.در اینجا NBR از جمله پلیمرهای دو قطبی هستند. و به همین دلیل قابلیت چسبندگی و پذیرش رنگ بالایی دارند.

عایق NBR مقاومت کششی ، فشاری و سایشی بالاتری دارند. این خصوصیات مقاومتی نه تنها نصب را آسان تر می کنند بلکه آنها را بادوام تر در طول زمان می کنند.

هوا به راحتی در سلول های NBR نفوذ نمی کنند.در حالی که EPDM نفوذپذیری بیشتری دارند. در دماهای بالاتر ، نفوذپذیری هوا می تواند باعث شرینکیج در EPDM شود.این شرینکیج می تواند به صورت چین خوردگی سطح صفحات یا کوتاه شدن طول باشد که این کوتاه شدن منجر به استرس بیشتر در مفصل های آب بندی شده می شود.

نیتریل، بیشترین کاربرد گسترده را در صنعت آب‌بندی دارد. دلیل محبوبیت نیتریل، مقاومت عالی در برابر فراورده‌های نفتی و توانایی آن برای کامپاندشدن به‌منظور سرویس‌دهی در محدوده دمایی ۷۰- تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است. نیتریل، پلیمری متشکل از بوتادین و اکریلونیتریل است. تنوع در نسبت این پلیمرها، برای تطابق با نیازمندی‌های خاص امکان پذیر است. افزایش در میزان اکریلونیتریل مقاومت در برابر سوخت‌ها و روغن‌های نفتی گرم را افزایش داده، اما منجر به کاهش انعطاف‌پذیری در دمای پایین می‌شود.

محدودکننده اصلی نیتریل، ضعف آن در برابر ازون است، اما این موارد در بسیاری از کاربردها، از عوامل محدودکننده به شمار نمی آیند و با اجرای روکش های آلومینیومی این نقیصه برطرف می گردد.

www.gacco.ir

کاربردهای مواد عایق سلول بسته انعطاف پذیر

- کاربری بسیار مناسب عایق های سلولی انعطاف پذیر، در سیستم های تهویه مطبوع، گرمایش و سرمایش، کانال های آب و هوا و خنک سازها مشهود است.
- مواد الاستومری برای کاربردهایی که در آنها چرخه های حرارتی از گرم به سرد و بلعکس به طور مرتب وجود دارد، بسیار مناسب اند.
- در صورت داشتن ضخامت مناسب، می توان از این عایق ها در فرآیندهای فوق سرد (Cryogenic) نیز استفاده کرد هرچند احتمال خرد شدن عایق وجود دارد.

مزایای عایق های الاستومری

- مقاوم در مقابل آلودگی، گرد و خاک، رطوبت و بخار آب و در نتیجه مقاوم در مقابل آلودگی های بیولوژیکی
- پایدار و پایین بودن مقدار رسانایی گرمایی در سراسر طول عمر
- مقاوم در مقابل اوزون و ماوراء بنفش (ساختار غیر قطبی با یک محور اشباع پلیمری که نتیجه آن مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش (UV) است)
- مقاوم در مقابل خوردگی
- ضریب انتقال حرارت بسیار پایین
- نصب آسان به همراه خودبست، بسیار مناسب برای محیط هایی که جای کاری زیادی ندارند
- بدون فیبر و بدون تولید ریزگرد و غبار
- انعطاف پذیر
- غیر سمی فاقد عامل های کفزا cfc و hcfc
- جکتینگ ها و پوشش های خارجی متنوعی برای آنها وجود دارد (گرچه در بسیاری از کاربردهای آنها نیازی به جکتینگ نیست)
- قابلیت چسبندگی و پذیرش رنگ بالا

www.gacco.ir

- مقاوم در مقابل فشار و ضربه
- دامنه درجه حرارت بالا تا حد ۱۲۵ درجه ی سانتی گراد
- جذب آب و انتقال بخار آب بسیار پایین
- دارای ساختمان سلولی بسته و متراکم است با پایه های غیر قطبی با مقاومت بالا در برابر آب و رطوبت
- عدم اشتعال و مقاوم به آتش و حریق ، خود خاموش شونده (دارای استاندارد Class A در مقابل حریق)
- مقاوم به مواد شیمیایی اسید ها و بازها بدون نیاز به پوشش های فلزی در محیط باز

معایب عایق های الاستومری

- قیمت بالاتر نسبت به پشم سنگ و پشم شیشه
- مواد عایق سلول بسته الاستومری از جمله مواد ترموست (Thermoset) هستند بدین معنی که در مقابل افزایش دما و یا مجاورت طولانی با گرمای زیاد (بیش از ۱۲۰ درجه سانتیگراد)، به تدریج دچار شکست و واپاشی می شوند. چنانچه دما افزایش یابد، مواد الاستومری به تدریج الاستیسیته (انعطاف پذیری) خود را از دست می دهند و بدون هیچ گونه تغییر ابعادی قابل توجهی، ترد می شوند (و در اثر ضربه ممکن است بشکنند). اما در صورتی که دما دوباره پایین آمده و در محدوده مجاز کاری باشد، مواد الاستومری خاصیت الاستیسیته خود را بازیافته و باز انعطاف پذیر می شوند.
- معمولا ضریب انتقال صوت مواد سلولی انعطاف پذیر از پشم سنگ و پشم شیشه بیشتر است (عایق آکوستیک نیستند)، چراکه چگالی و صلبیت آنها از پشم های معدنی و شیشه بیشتر است.

ضخامت های پیشنهادی برای لوله ها در شرایط مختلف

شرایط	سایز لوله	دمای خط لوله			
		14⁰C	7⁰C	2.5⁰C	-18⁰C
شرایط معتدل دمای **26⁰C** - رطوبت نسبی **50%**	کوچک تر (3"<)76mm	9mm	9mm	9mm	19mm
	از 76 تا (3-5")127mm	9mm	13mm	13mm	25mm
	بزرگ تر از (5"<)127mm	13mm	13mm	13mm	25mm
شرایط معمول دمای **30⁰C** - رطوبت نسبی **70%**	کوچک تر (3"<)76mm	9mm	13mm	13mm	25mm
	از 76 تا (3-5")127mm	13mm	13mm	13mm	32mm
	بزرگ تر از (5"<)127mm	13mm	13mm	19mm	32mm
شرایط سخت دمای **32⁰C** - رطوبت نسبی **80%**	کوچک تر (3"<)76mm	13mm	29mm	19mm	38mm
	از 76 تا (3-5")127mm	13mm	25mm	25mm	38mm
	بزرگ تر از (5"<)127mm	13mm	25mm	32mm	50mm

www.gacco.ir

شرایط بسیار سخت دمای **32°C** – رطوبت نسبی **85%**	کوچک تر از 76mm(<3″)	13mm	25mm	25mm	38mm
	از 76 تا 127mm(3-5″)	19mm	32mm	32mm	50mm
	بزرگ تر از 127mm(>5″)	25mm	32mm	38mm	50mm

ضخامت های پیشنهادی برای عایق کاری کانال هوا (Duct)

شرایط	دمای داخلی داکت				
	15°C	12°C	7°C	2.5°C	-18°C
شرایط معتدل دمای **26°C** – رطوبت نسبی **50%**	9mm	9mm	13mm	19mm	25mm
شرایط معمول دمای **30°C** – رطوبت نسبی **70%**	13mm	13mm	19mm	25mm	32mm
شرایط سخت دمای **32°C** – رطوبت نسبی **80%**	13mm	19mm	25mm	32mm	50mm
شرایط بسیار سخت دمای **32°C** – رطوبت نسبی **85%**	25mm	25mm	32mm	38mm	50mm

معایب پشم شیشه

- ساختار فیبری و متخلل این گونه از عایق ها، در مقابل رطوبت و نفوذ بخار و آب، مقاومت کمی از خود نشان می دهد و خاصیت عایق بودن آن نیز نسبت به رطوبت حساس بوده و با نفوذ رطوبت و بخار آب به درون عایق، از مقاومت حرارتی کاسته می شود. (ناپایدار)

- تماس مستقیم پشم شیشه با پوست، چشم و سیستم تنفسی مشکل زا خواهد بود. در بسیاری از گزارش ها، تنفس مستقیم گرد پشم شیشه علت افزایش نرخ ابتلا به سرطان، به خصوص سرطان ریه عنوان شده است. اما، انجمن ها و ارگان های بهداشت، سلامتی و محیط زیست مختلفی، از جمله انجمن سلامتی کانادا (Health Canada)، آژانس بین المللی تحقیقات برروی سرطان (International Agency for Research on Cancer)، و سازمان ملی سم شناسی آمریکا (National Toxicology Program) با انجام آزمایشات مختلفی، عنوان کرده اند که در صورتی که پشم شیشه در یک سری آزمایشات و تست های مشخص، موفق عمل کند، هیچ خطری

برای سیستم تنفسی نخواهد داشت. در هر صورت، توصیه اکید می شود که کارگران و عایق کاران، هنگام کار با پشم شیشه از ماسک و لباس محافظ مناسب استفاده کنند.
- به دلیل عدم مقاومت پشم شیشه در مقابل رطوبت و بخار، در صورت نصب در فضای باز، استفاده از پوشش های ضدرطوبت و فویل های آلومینیومی اجباری است.

بطورکلی مزایای عایق الاستومر به نسبت عایق های معدنی خصوصا پشم وشیشه به صورت زیر می باشد:

- نیاز به پوشش مضاعف جهت حفاظت در مقابل اشعه UV ندارند.
- پایداری بالا در محدوده کارکرد.
- سرعت نصب بالا
- انعطاف پذیر و مناسب برای محیط های با فضای کم
- ضریب انتقال حرارت پایین
- ضریب نفوذ رطوبت بسیار پایین (چگالی بالا)
- عمر مفید بالاتر، هدایت گرمایی کمتر، چگالی بیشتر (انتقال حرارت کمتر)
- مقاوم در برابر گردوخاک
- مقاوم در برابر آلودگی های قارچی و میکروبی
- مقاوم در برابر خوردگی و سایش
- بهداشتی و ایمنی
- مقاومت در برابر جانوران موذی

استفاده الاستومر در کانال های انتقال هوا

با توجه به فاقد گرد و غبار بودن و فیبر بودن الاستومر، عایق حرارتی ایده آل برای سیستم مجرای هوا است که به دلیل عدم مخاطرات بهداشتی احتمالی و خطرات ناشی از ذرات آزاد مواد فیبری به دریچه های هوا به عایق های الیافی(فایبر گلاس،پشم سنگ و...)ترجیح داده می شود. الاستومر به راحتی و بدون ایجاد هیچ گونه ناراحتی های پوستی به کار گرفته می شود.همچنین مقاومت فوق العاده ای در برابر رطوبت، رشد قارچ،حشرات موذی، جانوران درنده دارد. در واقع در این نوع عایق ها سطح متراکم و ساختار سلول بسته، نیاز به یک لایه ی دیگر جهت عایق بخار و یا پوشش بیشتر را از بین می برد. نقاط قوت فیزیکی مواد خاص تشکیل دهنده ی پلاستیکی، باعث ایجاد عمر طولانی مدت و با ثبات و خاصیت کم رسانایی حرارتی میشود. به همین جهت عایق الاستومر می تواند به هر دو صورت،به شکل عایق های داخلی و خارجی برای انواع سیستم های مجاری هوا باشد.

www.gacco.ir

کانال های خارج ساختمان

الزامات عایق کاری کانال های نمایان (Exposed) واقع در خارج ساختمان، بسته به مشخصات هوای منطقه مورد نظر و اینکه عایق برای سیستم سرمایی (Cooling) یا گرمایی (Heating) محاسبه و انتخاب می شود، براساس روز-درجه سرمایی (CDD) برای کانال های سرمایی و روز-درجه گرمایی (HDD) برای کانال های گرمایی مشخص می گردد.

دمای مبنا برای محاسبه روز-درجه، در این قسمت، ۱۸/۳ درجه سانتیگراد (۶۵ درجه فارنهایت) منظور شده است. اطلاعات مربوط به هوای منطقه مورد نظر با مراجعه به آمار معتبر هواشناسی بدست می آید. چنانچه نام منطقه موردنظر در آمار هواشناسی موجود نباشد از مشخصات هوای منطقه مشابه می توان استفاده نمود.

در جدول زیر حداقل مقاومت عایق کانال که به منظور نمایان در خارج ساختمان نصب می شود، ارائه گردیده است.

حداقل عایق کاری لازم برای کانال‌های واقع در داخل ساختمان یا فضاهای بسته

اختلاف دمای هوای داخل کانال و هوای اطراف کانال ΔT (°F)	تاسیسات گرمایی		تاسیسات سرمایی	
	مقاومت گرمایی عایق R		مقاومت سرمایی عایق R	
	$\frac{h.ft^2.^oF}{Btu}$	$\frac{m^2.k}{w}$	$\frac{h.ft^2.^oF}{Btu}$	$\frac{m^2.k}{w}$
$\Delta T \leq 15$	عایق‌کاری لازم نیست			
$40 \geq \Delta T > 15$	3.3	0.581	3.3	0.581
$\Delta T > 40$	5.0	0.881	5.0	0.881

الزامات عایق کاری کانال های واقع در داخل ساختمان یا فضاهای بسته (Enclosed) تابع مقدار ΔT است. ΔT عبارتست از اختلاف دمای هوای داخل کانال و هوای محیط اطراف کانال، هر دو در شرایط طراحی.

مقادیر مقاومت گرمایی (R) لازم برای مواد عایق پس از نصب مشخص می شود و مقاومت های لایه هوا (Air film) را شامل نمی شود، ولی اثر فشردگی ناشی از بستن (نصب) عایق را در برمی گیرد.

معمولا فرض بر این است که عایق های انعطاف پذیر، براثر فشرده شدن در زمان نصب روی کانال ۷۵ درصد ضخامت نامی را خواهند داشت. بنابراین ضخامت نامی عایق باید ۲۵ درصد بیشتر نسبت به حداقل ضخامت لازم تعیین شده انتخاب گردد.

قابلیت هدایت گرمایی مواد عایق در دمای میانگین ۲۴ درجه سانتیگراد (۷۵ درجه فارنهایت) محاسبه شده است.

استفاده از جدول بالابرای تعیین حداقل عایق کاری لازم برای کانال های رفت (Supply Ducts) و کانال های برگشت (Return ducts) که در داخل ساختمان یا فضاهای کنترل نشده (Unconditioned spaces) نصب شده اند، صرفا مبتنی بر محاسبه ΔT می باشد. اگر چه دماهای طراحی برای کانال های رفت، بسته به نوع سیستم انتخابی متفاوت است، ولی بطور عمده، برای سیستم های سرمایی در دامنه ای از ۱۲/۸ درجه سانتیگراد (۵۵ درجه فارنهایت) تا۱۵/۶ درجه سانتیگراد(۶۰ درجه فارنهایت) و برای سیستم گرمایی از ۲۹/۴ درجه سانتیگراد (۸۵ درجه

فارنهایت) تا ۴۶ درجه سانتیگراد (۱۱۵ درجه فارنهایت) قرار دارند. براساس این دما ها و اختلاف دماهای مفروض (ΔT) برای طیف متنوعی از محل استقرار کانال های رفت و برگشت، حداقل مقاومت عایق لازم محاسبه و در جدول شماره زیر برحسب واحدهای SI و IP درج شده است. در این جدول ΔT (و در نتیجه حداقل مقاومت لازم عایق کاری) با توجه به دمای طرح هوای خشک خارج (Design out-door air dry-bulb temperature) محاسبه شده است. برای کانال های دفن شده، باید دمای زمین مجاور کانال، برای محاسبه الزامات عایق کاری ملاک طراحی قرار گیرد.

حداقل عایق‌کاری لازم برای کانال‌های رفت و کانال‌های برگشت، واقع در داخل ساختمان یا فضاهای سرپوشیده، بر حسب دمای طراحی

نوع سیستم		سرمایی			گرمایی		
اختلاف دما		$\Delta T \leq 8.3$	$8.3 < \Delta T \leq 22.2$	$\Delta T > 22.2$	$\Delta T \leq 8.3$	$8.3 < \Delta T \leq 22.2$	$\Delta T > 22.2$
نوع کانال	محل کانال	لازم نیست	R-0.581	R-0.881	لازم نیست	R- 0.581	R-0.881
رفت	فضای زیر بام (تهویه می‌شود)		< 29.4	≥ 29.4			همه دماها
	فضای زیر بام (تهویه نمی‌شود)		< 26.7	≥ 26.7			همه دماها
	شفت یا خزنده‌رو		< 35.0	≥ 35.0			همه دماها
	پلنوم		همه دماها				همه دماها
	زیر خاک	< 21.1	≥ 21.1			≥ 23.9	< 23.9
برگشت	فضای زیر بام (تهویه می‌شود)	< 27.8	27.8 – 41.7	≥ 41.7		≥ 0.6	< 0.6
	فضای زیر بام (تهویه نمی‌شود)	< 25.0	25.0 – 38.9	≥ 38.9		≥ 0.6	< 0.6
	شفت یا خزنده‌رو	< 33.3	33.3 – 47.2	≥ 47.2		≥ 0.6	< 0.6
	پلنوم	< 33.3	33.3 – 47.2	≥ 47.2		≥ 0.6	< 0.6
	زیر خاک	همه دماها			≥ 14.4	< 14.4	

واحد دما، درجه سانتیگراد (°C)

واحد مقاومت گرمایی (R) $\frac{\text{متر مربع} \times \text{درجه کلوین}}{\text{وات}}$ $(m^2.k/w)$

مقاومت های گرمایی (R) درج شده در جدول مربوط به عایق نصب شده است. حداقل ضخامت های لازم عایق کاری که از جدول حاصل می شود، برای کاهش انتقال گرما بوده و مانع انتقال بخار آب و تقطیر نمی گردد. برای جلوگیری یا کاهش انتقال بخار آب و تقطیر ممکن است عایق کاری اضافی، نصب لایه مانع بخار (Vapor retarder) یا هر دو لازم گردد.

مفروضات جدول شماره عبارتست از:

- دمای هوای کانال رفت در سیستم سرمایی، ۱۲/۸ درجه سانتیگراد (۵۵ درجه فارنهایت)
- دمای هوای کانال برگشت در سیستم سرمایی، ۲۵ درجه سانتیگراد (۷۷درجه فارنهایت)
- دمای هوای کانال رفت در سیستم گرمایی، ۴۶/۱ درجه سانتیگراد (۱۱۵ درجه فارنهایت)
- دمای هوای کانال برگشت در سیستم گرمایی، ۲۲/۸ درجه سانتیگراد (۷۳درجه فارنهایت)
- دمای هوای فضاهای زیربام، با تعویض هوا، ۵/۶ درجه سانتیگراد (۱۰ درجه فارنهایت) گرم تر از دمای هوای خارج در اوج بار سرمایی.

- دمای هوای فضاهای زیربام که تهویه نمی شود، ۸/۳ درجه سانتیگراد (۱۵ درجه فارنهایت) گرم تر از دمای هوای خارج در اوج بار سرمایی.

- دمای فضاهای زیر بام (تهویه بشود یا نشود) برابر دمای هوای خارج در اوج بار گرمایی

نکته: به طور کلی در سیستم های تهویه ای از قبیل انبساط مستقیم (DX) و سیستم های تمام هوا شامل هواسازهای مرکزی جهت رساندن دمای محیط به دمای شرایط آسایش انسان (۱۸-۲۵ درجه سانتیگراد) در فصول گرم، می بایست هوای ورودی با دمای پایین تر(۱۵-۱۸ درجه سانتیگراد) تولید کنند و از آنجا که در مناطق گرم وخشک از آنجا که متوسط دمای طرح خارج بین ۳۰-۳۴ درجه سانتیگراد می باشد و با توجه به اینکه هوای گرم در بالای فضای داخل تجمع می کند، در نتیجه اختلاف دمایی بین هوای داخل کانال انتقال هوا و هوای سطح خارج کانال (ΔT) بیشتراز ۹ درجه سانتیگراد (۱۵ درجه فارنهایت) می باشد، که منجر به بروز پدیده کندانس و آسیب دیدن سیستم کانال های انتقال هوا در کوتاه مدت می شود.

جدول مقایسه ای عایق های فوم الاستومری با عایق های سنتی

ردیف	مشخصات	عایق الاستومر	پشم شیشه	پشم سنگ	پلی یورتان باعامل کف زاcfc
1	کاربرد عایق	عایق سرد، گرم و صوتی	در برودت بسیار ضعیف و در حرارت متوسط	عایق گرم و صوتی	عایق سرد
2	ضریب انتقال حرارت در دمای صفر درجه Thermal conductivity	λ= 0.036 $W/(m.K)$به دلیل ساختار سلولی بسته برای مدت بسیار طولانی ثابت میماند. EN 12667, DIN 52613	λ= 0.034 $W/(m.K)$ به دلیل نوع ساختار سلولی (الیافی) به صورت صعودی افزایش میابد.	λ= 0.032 $W/(m.K)$ به دلیل نوع ساختار سلولی (الیافی) به صورت صعودی افزایش میابد.	λ= 0.030 $W/(m.K)$
3	مقاومت در جذب بخار آب Water Vapor Diffusion RESISTANCE FACTOR	10000 ≤μ DIN 52615	1 ≥μ	1 ≥μ	2000 ≥μ
4	اشتعالزایی	غیر قابل اشتعال Class 0, DIN 4102, BS 476	نسوز	نسوز	اشتعالزا و بسیار سمی
5	تولید دود و گازهای سمی	عدم ایجاد گازهای سمی و دانسیته دود بسیار پایین	بدون دود	بدون دود	بسیار دودزا و سمی
6	ساختار سلولی	سلول بسته (٪۹۵)	الیافی	الیافی	نسبتا سلول بسته
7	دانسیته	50 to 70 $kg/m3$	10 to 100 $kg/m3$	30 to 150 $kg/m3$	80 to 150 $kg/m3$
8	ایجاد خوردگی زیر عایق	عدم ایجاد خوردگی DIN 1988/7	خوردگی شدید	خوردگی متوسط	خوردگی کم
9	میزان صرفه جویی انرژی	70%تا ٪۹۲ (با توجه به ضخامت)	٪۴۰ تا25%	50%	70%
10	عوارض زیستی و ایجاد امراض	بدون عوارض و ذرات	ایجاد بیماریهای سرطانی و ریوی	ایجاد بیماری ریوی	بدون عوارض و ذرات

www.gacco.ir

11	مقاومت در شرایط بد آب و هوایی خورشید و UV	مقاومت بالا با روکش های مختلف	بسرعت متلاشی میگردد	مقاوم	نسبتاً مقاوم
12	مقاومت در برابر روغن، گریس و مواد شیمیایی	مقاومت بالا	نسبتا مقاوم	مقاوم	مقاوم
13	(عمر مفید در شرایط مناسب)	بالای ۳۰ سال	کمتر از ۵ سال	حدود ۱۰ سال	حدود ۱۰ سال
14	نصب	آسان و سریع به سبب انعطاف پذیری بالا بدون نیاز	دارای چند مرحله	دارای چند مرحله	بسیار کند
15	تعمیرات دوره ای و بازرسی	بلند مدت - آسان بدون نیاز به خرید مجدد	کوتاه مدت- مشکل نیاز به خرید مجدد عایق و روکش	نسبتا بلند مدت - مشکل نیاز به خرید مجدد عایق و روکش	نسبتا بلند مدت - مشکل نیاز به تخریب عایق و عایقکاری مجدد

موارد فوق بر اساس تائیدیه ها و استانداردهای بین المللی عایق های برودتی، حرارتی میباشد.

مقایسه اقتصادی عایق الاستومر و عایق پشم شیشه برای ضخامت ۱۰ mm :

عایق پایدار $K_1 = 0.035\ (^{w}/_{m.c})$ $\quad R_1 = \frac{0.01}{0.035} = 0.28\ (^{m^2.c}/_{w})$

عایق ناپایدار $K_2 = 0.05\ (^{w}/_{m.c})$ $\quad R_2 = \frac{0.01}{0.05} = 0.2\ (^{m^2.c}/_{w})$

متوسط هدایت حرارتی در یک دوره (عایق پایدار) $U_1 = \frac{1}{0.28} = 3.5\ (^{w}/_{m^2.c})$

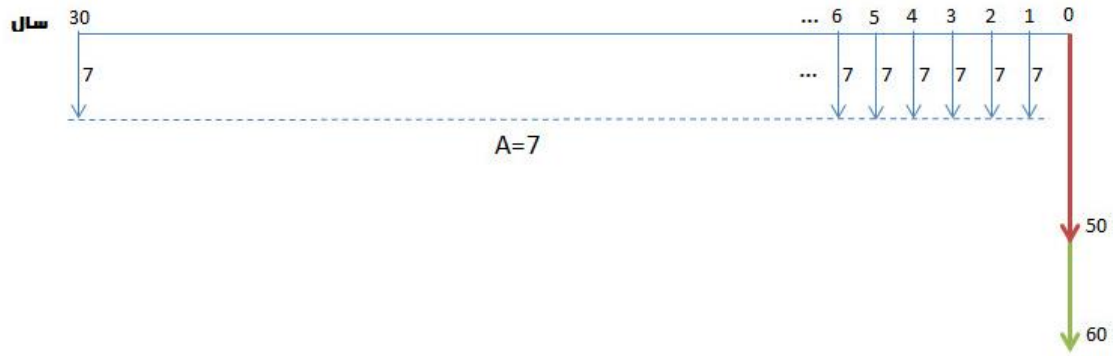
متوسط هدایت حرارتی در یک دوره (عایق ناپایدار) $U_2 = \frac{1}{0.2} = 5\ (^{w}/_{m^2.c})$

با توجه به محاسبات فوق صرفه جویی حرارتی عایق الاستومر ۳۰ درصد بیشتر از پشم وشیشه است.

حال برای مقایسه دو نوع عایق داریم:

- عایق الاستومر
  - عمر مفید ۳۰ سال
  - هزینه اولیه عایق ۵۰ واحد پولی
  - هزینه اولیه اجرای سیستم کانال انتقال هوا ۶۰ واحد پولی
  - هزینه مصرف انرژی ۷ واحد پولی (۳۰ درصد کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره انرژی نسبت به عایق پشم شیشه)
  - نرخ بهره ۱۵ درصد
  - هزینه استهلاک سیستم کانال انتقال هوا در پایان سال سی ام صفر می باشد

www.gacco.ir



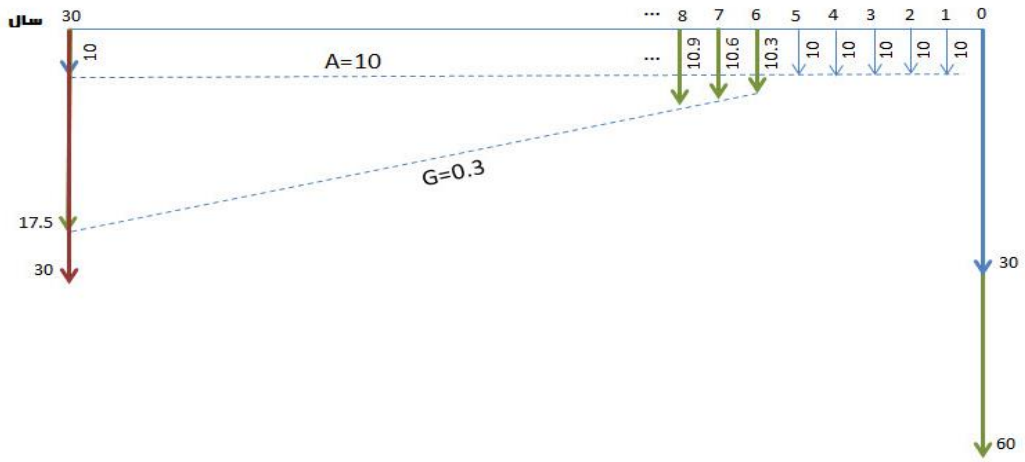
$$A_1 = p\left({}^{A_1}/_{P}\,; \%15; 30\right) = 110 * 0.1523 = 16.75$$

$$A_2 = 7$$

$$EUAC = A_1 + A_2 = 23.75$$

- عایق پشم وشیشه

- عمر مفید ۱۰ سال
- هزینه اولیه عایق ۳۰ واحد پولی
- هزینه اولیه اجرای سیستم کانال انتقال هوا ۶۰ واحد پولی
- هزینه مصرف انرژی ۱۰ واحد پولی
- نرخ بهره ۱۵ درصد
- هزینه استهلاک سیستم کانال انتقال هوا ۳۰واحد پولی می باشد



$$A_1 = p\left({}^{A_1}/_{P}\,; \%15; 30\right) = 90 * 0.1523 = 13.70$$

$$A_2 = f\left({}^{A_2}/_{f}\,; \%15; 30\right) = 30 * 0.0023 = 0.069$$

$$f_1 = G\left({}^{f_1}/_{G}\,; \%15; 25\right) = 0.3 * 1251.95 = 375.585$$

$$A_3 = f_1\left({}^{A_3}/_{f_1}\,; \%15; 30\right) = 375.585 * 0.0023 = 0.8638$$

$$A_4 = 10$$

$$EUAC = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 13.70 + 0.069 + 0.8638 + 10 = 24.6328$$

$EUAC_{\text{الاستوفر}} < EUAC_{\text{پشم شیشه}}$

EUAC=24.6328

(Ctrl)

www.gacco.ir