

عایق حرارتی نما

عایق حرارتی نما: اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه های سنگین انرژی بر کسی پوشیده نیست. به طور متوسط بیش از ۵۰٪ درآمد هر جامعه ای صرف تولید و یا خرید انرژی در آن جامعه شده و به طور متوسط ۴۰٪ کل انرژی مصرفی، صرف سیستم های گرمایش و حرارتی می شود. عایق کاری و فرهنگ آن، در کشورهای توسعه یافته یک اصل در طراحی و یک الزام در ساخت و ساز محسوب می شود. در حالی که اهمیت این اصل در کشور ایران جدی گرفته نشده است. لیکن در سال های اخیر، با توجه به هزینه های روز افزون انرژی در ایران و جهان، این مهم در بخش صنعتی و ساختمانی رشد چشمگیری داشته و فرهنگ عایق کاری حرارتی در کنار عایق های صوتی و ضد آتش، آینده ی امیدوار کننده ای دارد .

عایق حرارتی نما

یکی از عوامل بسیار مهم در برخورداری از هوای مطبوع فضای داخلی ساختمان، جلوگیری از جابجایی و انتقال هوای گرم و سرد است که امروزه با استناد بر فیزیک حرارتی قابل توجه خواهد بود.

انتقال حرارت

از نظر فیزیکی انتقال حرارت از فضای گرم به فضای سرد به سه روش صورت می گیرد:

- ۱- به وسیله هدایت در مواد جامد یا مایع
- ۲- به وسیله همرفت، که شامل حرکت فیزیکی (جابجایی) می باشد
- ۳- به وسیله تشعشع (تابش) از سطح گرم به سطح سرد

هدایت (عایق حرارتی نما):

انتقال جریان هوای گرم از طریق تماس فیزیکی را هدایت می گویند.

که به موجب حرکت مولکولی و ضربه به مولکول های مجاور صورت می گیرد. مثال قابل فهم و معمول برای این رویداد انتقال حرارت از قهوه به فنجان می باشد که پس از ریختن قهوه در فنجان با حرکت مولکولی انتقال حرارت صورت می گیرد و فنجان گرم می شود.

انتقال گرما از طریق هدایت به وسیله ی قانون فوریر قابل تعریف است:

$$(\text{Rate of Heat Flow}) = -K * (\text{Area}) * (\text{Temperature Gradient})$$

با توجه به تعریف فوق پارامترهای تعیین کننده ی عایق حرارتی تحت تاثیر دو آیتم ضریب هدایت گرمایی (K) و مقاومت گرمایی (R) می باشد.

ضریب انتقال حرارت هدایتی عبارت است از مقدار انرژی که از ماده در واحد ضخامت و در واحد زمان، در دمای مشخص عبور می کند. واحد ضریب انتقال حرارت در سیستم SI بر حسب W/m.K (وات بر متر در کلون) و در سیستم بریتیش بر حسب Btu/h.ft.F می باشد.

ضریب انتقال حرارت را با K نشان می دهند.

هر گاه بین دو جسم اختلاف وجود داشته باشد گرما از جسم گرم به جسم سرد منتقل می شود و این انتقال گرما تا زمانی که دمای دو جسم یکسان شود وجود دارد. دیوار ساختمان ها بین دو محیط مختلف قرار دارند که دمای هوا در این دو محیط متفاوت است. میزان گرمایی که از دیوار (یا هر جسم دیگری که بین دو محیط با دمای مختلف قرار دارد) عبور می کند از رابطه زیر بدست می آید:

$$q = -K \cdot A \frac{dT}{dX}$$

طبق این رابطه هر چقدر که ضریب انتقال حرارت دیوار کمتر باشد، میزان گرمای کمتری از آن عبور می کند. با عایق کاری دیوار می توان ضریب انتقال حرارت را کاهش داد و از هدر رفتن گرما در زمستان و یا ورود گرما در تابستان جلوگیری کرد. ضریب هدایت حرارتی پشم سنگ کمتر از ۰/۰۴۰ وات بر متر درجه کلون است.

(Thermal Conductivity) ضریب هدایت گرمایی یا ضریب انتقال حرارت که با نماد K نمایش داده می شود عبارت است از مقدار انرژی گرمایی که ماده می تواند 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 آمریکایی (وات بر متر درجه کلونین) $W/m^{\circ}k$ و در سیستم اینچی بریتیش بر حسب $Btu/hft.F$ می باشد

عایق حرارتی نما، مقاومت حرارتی (Resistance Value):

ضریب مقاومت حرارتیکه آن را با R نشان می دهند برعکس ضریب انتقال حرارت است و در واقع مقدار مقاومت ماده در مقابل جریان انرژی گرمایی می باشد. مقدار دقیق R عبارتست از عکس ضریب انتقال حرارت K ، ضرب در ضخامت ماده $(R=d/K)$ ، d واحد مقاومت حرارتی در سیستم متریک وات بر مترمربع در درجه کلونین است. $(W/m^2.^{\circ}k)$

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. مثلاً ضریب R برای بتون معمولی تقریباً 0.08 در هر اینچ ضخامت است ولی پشم شیشه نرمال R -value برابر 4 در هر اینچ ضخامت دارد.

جدول زیر نمایش دهنده ی هر دو فاکتور مورد نظر بر روی مواد و مصالح رایج می باشد:

Material	R-value 1.2	K/3 inch
Sawdust	0.36	2/8
Wood Shavings	0.41	2/4
INSULATION		
Std. Fiberglass Batt	0.313	3/2
High Performance Fiberglass Batt	0.263	3/8
Loose- Fill Fiberglass	0.400	2/5
Loose-Fill Rock Wool	0.357	2/8
Loose-Fill Cellulose	0.270	3/7
Expanded Polystyrene	0.263	3/8
Extruded Polystyrene	0.200	5/0

Gasses		
Air	0.181	5/5
Carbon Dioxide	0.115	8/7
Helium	1/4	0.96
Methane	0.237	4/2
LIQUIDS		
Ethylene Glycol	1/80	0.56
Gasoline	0.94	1.06
Water	4/19	0.24
METALS		
Aluminum	1890	0.0053
Copper	2760	0.0036
Iron	555	0.018
Lead	240	0.042
MISCELLANEOUS BUILDING MATERIALS		
Acoustical Tile	0.4	2/5
Asphalt	5/2	0.19
Concrete (140 lb/ft ³)	12/0	0.08
Cotton (6 lb/ft ³)	0.30	3/3
Window glass	6/1	0.16
Soil	4-20	0.25-0.05
Fir	0.76	1/3
Oak	1/18	0.85
Yellow Pine	1.04	0.96
Plywood	0.83	1/2
1- Values shown are at 75oF (approximately 300K) 2- Nominal values in Btu·in./ft ² ·hr·oF 3- Thermal resistivities in ft ² ·hr·oF/Btu·in		

همرفت در عایق حرارتی نما: همرفت همان جابه جایی گرما توسط هوا است.

در فضای بسته ی داخل ساختمان هوای گرم تمایل به بالا رفتن دارد که همواره یک لوپ گردش هوا را به وجود می آورد این روند باعث قرار گیری هوای سرد پایین تر از هوای گرم می شود.

در عبور جریان هوای گرم از یک جسم جامد گرم به هوا که هر دو دارای اختلاف دما هستند، انتقال گرما تنها از طریق هدایت صورت نمی گیرد بلکه تابش و همرفت نیز نقش به سزای دارند.

تابش: تشعشع یا تابش همان انتقال حرارت (تابش مادون قرمز) از سطح گرم به سطح سرد از طریق هوا یا خلاء می باشد. پرتوهای مادون قرمز به خودی خود حامل گرما نیستند بلکه انرژی موجود در آن توسط سطوح جذب شده و باعث بالا رفتن حرارت آن سطح می شود. این حرارت به دلیل اختلاف دما از یک سطح به سطح دیگر منتقل می شود.

عملکرد تابش در ساختمان:

تمامی ساختمان ها شامل سقف و دیوارهای خارجی می باشند که در تماس مستقیم با نور خورشید قرار دارند. بدین ترتیب دیوار بیرونی اشعه های مادون قرمز را جذب کرده و گرمای تولید شده از دیوار بیرونی به دیوار درونی منتقل می شود. این انتقال از این مرحله به بعد از طریق هدایت به سایر اجزا صورت می پذیرد.

پارامترهای تاثیرگذار:

دو پارامتر موثر در انتخاب عایق مناسب برای جلوگیری انتقال حرارت تابشی ضریب تشعشع یا ضریب تابش و ضریب انعکاس می باشد که به این صورت تعریف می شود:

ضریب تشعشع (Emissivity):

ضریب تشعشع یک ماده که با (e) نشان داده می شود، عبارت است از نسبت میزان تابش انرژی حرارتی آن ماده به میزان تابش انرژی حرارتی یک جسم سیاه در یک دمای یکسان. در یک جسم سیاه $e=1$ درحالی که در مواد معمولی $e > 1$ می باشد. ضریب تشعشع یک کمیّت بی بعد (بدون واحد) است.

ضریب انعکاس (Reflectivity):

همچنین برای مواد ضریب انعکاس تعریف می شود. ضریب انعکاس متمم ضریب تشعشع است و مقدار انرژی حرارتی است که ماده انعکاس می دهد.

به عبارت ریاضی:

$$(\text{ضریب تشعشع} - 1) = \text{ضریب انعکاس}$$

هرچه مقدار ضریب انعکاس یک ماده بیشتر باشد (و ضریب تابش کمتری داشته باشد)، آن ماده برای استفاده به عنوان عایق ضدتابش مناسب تر خواهد بود. (دانشنامه)

جدول ضریب انعکاس مواد (Emittance Material Surface):

Material Surface	Emittance
Asphalt	۰/۹-۰/۹۸
Aluminum foil	۰/۰۳-۰/۰۵
Brick	۰/۹۳
Concrete	۰/۸۵-۰/۹۵
Glass	۰/۹۵
Fiberglass/Cellulose	۰/۸-۰/۹
Limestone	۰/۳۶-۰/۹
Marble	۰/۹۳
Paint: white lacquer	۰/۸
Paint: white enamel	۰/۹۱
Paint: black lacquer	۰/۸
Paint: black enamel	۰/۹۱
Paper	۰/۹۲
Plaster	۰/۹۱
Silver	۰/۰۲
Steel (mild)	۰/۱۲
Wood	۰/۹

طبق استاندارد ASTM، موادی می توانند برای عایق کاری ضدتابش استفاده شوند که ضریب تشعشع آنها زیر ۰/۲ باشد.

اجزای تشکیل دهنده ی عایق حرارتی نما خشک:

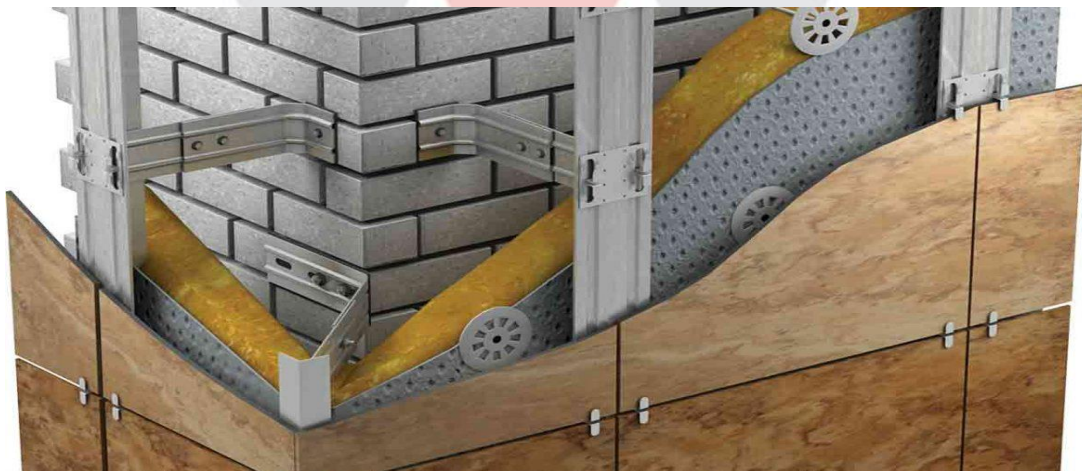
سیستم نمای خشک از نظر عایق کاری به سه بخش اصلی تقسیم می شود که هر یک با توجه به اصول انتقال گرما به نوعی نقش موثری بر جلوگیری از ورود و خروج هوا دارد.

این سه بخش از بیرون به داخل شامل:

۱- پنل نما(پوشش خارجی نما)

۲- فضای تهویه

۳- عایق حرارتی



تعاریف:

پنل نما: اولین و خارجی ترین پوسته ی نما را پنل ها تشکیل می دهند که تنوع بالایی از مواد و متریالها برایشان در دسترس است. مقاومت، ثابت بودن رنگ در مقابل مواجهه با نور آفتاب، تاب آوری در مقابل سرما و گرما و مقابله با ورود اشعه ی مادون قرمز از خصوصیات بسیار مهم یک نمای کارآمد و پربازده می باشد. مواد مورد تأیید شامل سرامیک ها، سنگ های سفالین نما، سنگ های طبیعی،

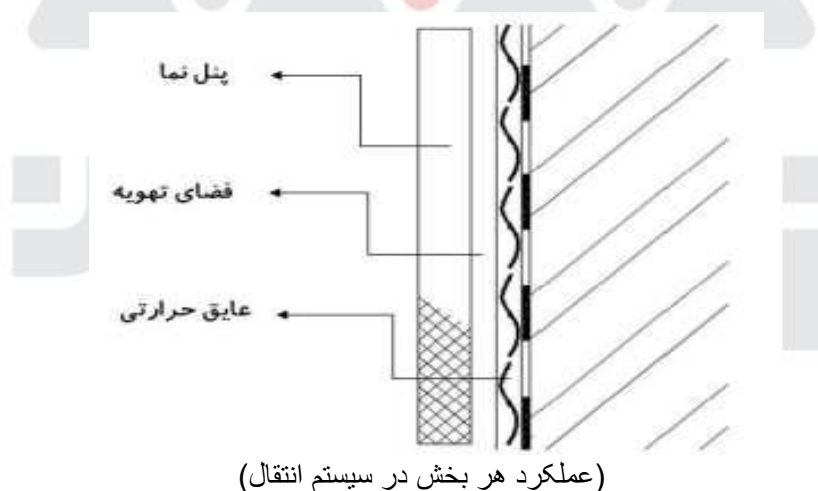
HPL و انواع کامپوزیت های تقویت شده و پنل های گیاهی و الیافی، پنل های سیمانی و غیره می باشد.
(تعریف کیل از پنل)

فضای تهویه: در سیستم نمای خشک به فاصله ی بین جداره ی پشت پنل و پوسته ی روپین عایق، فضای تهویه می گویند. که به طور سیستماتیک پایش هوا و عایق کاری را منجر می شود. (NHBC)

عایق حرارتی: سومین لایه ی سیستم نما خشک که نقش اساسی را در عایق کاری ساختمان دارد، عایق حرارتی می باشد. این لایه همانند پتو دورادور ساختمان را احاطه کرده و با خاصیت فیزیکی عناصر موجود در بافت خود، از نفوذ گرما جلوگیری می کند. عایق ها عموماً از مواد مختلف حیوانی- معدنی- مصنوعی- گیاهی قابل تهیه اند که در آنها تنها دو نوع معدنی و مصنوعی برای ساختمان کاربرد دارند. (دانشنامه عایقکاری)

نصب هر ضخامتی از این عایق، در این سیستم ممکن است. همچنین افزایش ضخامت تحت هر شرایط در آینده امکان پذیر است. این لایه با اتصال دهنده های مکانیکی یا مواد چسبنده به زیر کار متصل میشود. (بهبود عملکردی حرارت ساختمان عایق کاری حرارتی از خارج)

شکل زیر نمایشگر موقعیت قرارگیری هر سه لایه ی فوق از راست به چپ می باشد:



تابش: با توجه به اینکه مترپال ها قابلیت عایق کاری دارند و بیشترین توجه به آنها معطوف است؛ عایق کاری سطح تقریباً در اکثر موارد نادیده گرفته می شود و اکثراً پنل نما را به عنوان دکوریشن ساختمان یا تزئین آن در نظر می گیرند، در صورتی که ابتدایی ترین و اصلی ترین عایق کاری توسط پوسته ی

ساختمان صورت می گیرد و منجر به مهار حرارت تا حد زیادی در همان ابتدای امر می شود. بدین ترتیب جنس پنل ها می تواند توجیه خوبی برای افزایش بازدهی سیستم عایق کاری باشد.

نوع پوشش انتخابی متأثر از چهار فاکتور اصلی است:

۱- ضریب حرارتی

۲- ضریب هدایت

۳- ضریب جذب خورشیدی

۴- ضریب بازتابش می باشد

جنس نما	ظرفیت حرارتی	ضریب هدایت	ضریب جذب خورشیدی	ضریب بازتابش
پوشش بتن رنگی	۱۰۰۰	۰/۵۱	۰/۹	۰/۹
پوشش بتن معمولی	۱۰۰۰	۰/۱۹	۰/۶۵	۰/۸۵
آجر نسوز	۸۰۰	۰/۸۴	۰/۳۵	۰/۹
آجر ۳ سانت	۸۳۵	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۸۵
آجر قرمز	۸۰۰	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۹۵
آجر پردو	۸۰۰	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۹۳
سرامیک	۱۹۰۰	۰/۸۴	۰/۹	۰/۸۵
مرمر سفید	۹۱۰	۱/۵	۰/۴۶	۰/۸۵
مرمر سیاه	۹۱۰	۱/۵	۰/۷	۰/۸۵
گرانیت	۱۰۰۰	۱/۳	۰/۴۵	۰/۸۵
تراورتن نوع ۱	۹۵۰	۱/۴	۰/۴	۰/۸۵
تراورتن نوع ۲	۹۵۰	۱/۴	۰/۶	۰/۸۵
نمای فرضی با ضریب جذب متغیر	۹۰۰	۰/۹	۰/۳۵ - ۰/۹۵	۰/۸۵

۱- **ظرفیت حرارتی ($J/Kg.^{\circ}K$):** ظرفیت حرارتی مواد نشان دهنده ی میزان عدم تمایل تبادل گرما از محیط خارجی به داخل می باشد که به عبارت دیگر توانایی ذخیره سازی حرارت در ماده نیز تعریف می شود به طوری که هر چه ظرفیت حرارتی بالاتر بوده پندل مورد نظر گرمای خارج را با سرعت کمتری به داخل منتقل می کند. از این رو فشردگی و ضخامت جداره ها دو مقوله مهم می باشد چرا که با افزایش این دو ویژگی ظرفیت حرارتی افزایش خواهد یافت. برای مثال مدت زمانی که حرارت ناشی از تابش آفتاب و گرمی هوا از سطح خارجی به سطح داخلی انتقال می یابد، برای یک دیوار آجری بسیار کمتر از یک دیوار پندل های سرامیکی است.

۲- **ضریب هدایت ($W/M.^{\circ}K$):** عبارت است مقدار انرژی گرمایی که ماده می تواند 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، وات بر متر در درجه کلونین ($W/m.^{\circ}k$) و در سیستم اینچی، واحد گرمای بریتیش بر ساعت در فوت در درجه فارنهایت ($Btu/h.ft.^{\circ}F$) می باشد. ضریب انتقال حرارت را با K نشان می دهند.

۳- **ضریب جذب خورشیدی:** پندل ها به عنوان خارجی ترین پوسته ی نما بیش از سایر اجزا در معرض تابش خورشید قرار دارند از این نور گسیل شده مقداری بازتاب می شود که توسط آن می توان نما را دید و مابقی انرژی جذب پندل ها می شود جنس پندل ها نقش به سزایی در جذب نور خورشید دارند که ضریب جذب، نمایش دهنده ی مقدار عددی هر پندل می باشد این میزان در بازه ی صفر تا یک قرار می گیرد.

۴- **ضریب بازتابش:** به میزان حرارت ساطع شده از سطح پندل که متمم ضریب جذب است ضریب بازتابش می گویند هر چه میزان ضریب بازتابش یک پندل بیشتر باشد بدین معناست که پندل قادر به بازتاباندن حرارت بیشتری به نسبت سایر پندل ها و جذب حرارت کمتری خواهد بود. این دو عامل (ضریب جذب خورشیدی و ضریب بازتابش) به صورت عکس عمل می کنند.

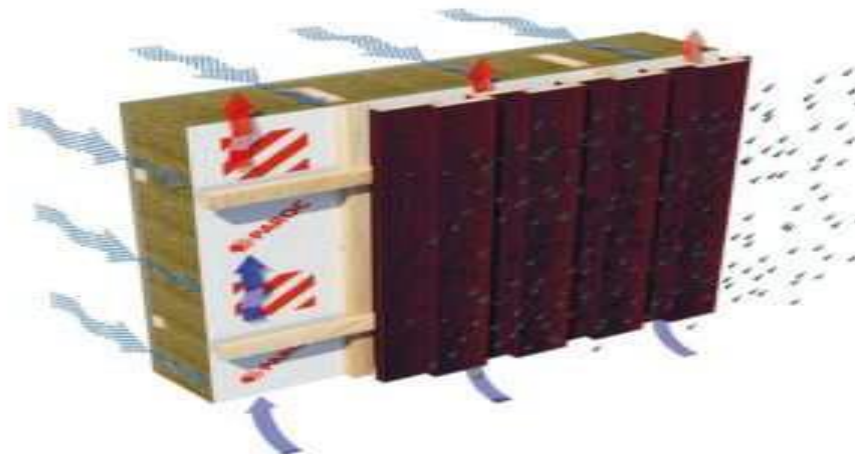
جمع بندی: با توجه به تعاریف فوق هر چه ظرفیت حرارتی و ضریب بازتابش بیشتر باشد این پندل برای پوسته خارجی مناسب تر است و هر چه میزان ضریب هدایت و ضریب جذب پندل پایین تر بوده امکان انتقال، کاهش یافته و پندل برای عایق کاری سطح مناسب تر است.

همرفت: نمای دو پوسته با داشتن فضای تهویه بازدهی مهندسی نما را در عایق کاری گرمایی ارتقاء بخشیده و سیستم سه گانه ی عایق را به یکدیگر پیوند می دهد. این بخش یکی از مهمترین قسمت های نما بوده به همین ترتیب نام گذاری نما از عملکرد این بخش (Ventilation) برگرفته شده است.

عملکرد سیستم تهویه: سیستم تهویه (air gap) از نظر لغوی به فضای خالی بین جداره ی پشت پنل تا پوسته ی روی عایق اطلاق داده میشود؛ وظیفه این فضا جابه جایی هوا است. عملکرد این سیستم تحت تأثیر قوانین فیزیک طراحی شده، با توجه به اینکه گرما همواره تمایل به حرکت به سمت بالا دارد و جای خود را به هوای سرد می دهد با تعبیه کردن دریچه ی ورودی و خروجی در ابتدا و انتهای فضای تهویه، تکرار این فرایند امکان پذیر شده است

اثر دودکش: هوای گرم همواره دارای چگالی پایین بوده و اختلاف چگالی آن با هوای سرد شرایط قرارگیری هوای گرم را بر روی هوای سرد مقدر می سازد سپس گرما تمایل به بالا رفتن پیدا کرده و تا حد امکان به بالاترین نقاط هدایت می شود. به گرایش به بالارفتن هوا یا گازهای دیگر که به سبب پایین بودن چگالی هوای گرم نسبت به هوای اطراف خود رخ میدهد و در درون دودکش ها یا گذرگاه های عمودی دیگر دیده می شود، اثر دودکش می گویند.

همان طور که در بخش قبل به بررسی پنل ها پرداختیم میزانی از انرژی گرمایشی از طریق پنل بازتاب شده، سپس میزان انرژی گرمایشی وارد شده به پنل توسط هدایت به هوا منتقل می شود. حال این گرما در فاز دوم عایق کاری نمای خشک توسط همرفت از دریچه ی خروجی خارج خواهد شد و هوای سرد دوباره از طریق دریچه ورودی به سیستم باز خواهد گشت؛ بنابراین این گردش هوا که با وجود همرفت به صورت مکرر ادامه پیدا می کند جزء حائز اهمیتی از سیستم عایق کاری نما را تشکیل می دهد.



(جهت حرکت گرما به سمت بالا و ورود هوای سرد از خارج به داخل)

فاز دوم عایق کاری نماهای دو پوسته (عایق حرارتی نما) عملکردهای متفاوتی دارند که شامل:

- ۱- عایق حرارتی
- ۲- عایق رطوبتی
- ۳- تعدیل فشار هوا

رسانش (عایق حرارتی نما): گرمای موجود در کیوبیتی توسط همرفت خارج می شود و تقریباً بخش عمده ای از وظایف عایق انجام می شود اما همچنان به دلیل وجود امواج مادون قرمز و توانایی آن در حرکت در هوا و خلاء به لایه ای از عایق نیاز داریم که پس از حرکت امواج و تماس آن با سطح عایق از عبور آن جلوگیری کند.

بنابراین جنس این لایه ی فیزیکی در مقابله با عایق بسیار مهم است.

لیست مواد شامل:

- ۱- پشم سنگ
- ۲- پشم شیشه
- ۳- پشم معدنی
- ۴- پلی استایرن انبساطی
- ۵- پلی استایرن اکسترود
- ۶- فوم پلی یورتان
- ۷- فوم فنولیک
- ۸- سلولار گلس
- ۹- سیلیکات کلسیم
- ۱۰- سیلیکات آلومینیوم
- ۱۱- الیاف کربنی
- ۱۲- الیاف گرافیتی
- ۱۳- الیاف شیشه
- ۱۴- الیاف سرامیکی
- ۱۵- الیاف آبستی
- ۱۶- فوم EPDM (اتیلن- پروپیلن- داین- منومر)
- ۱۷- نیتریل فوم

۱۸- اسفنج پلی وینیل کلراید (PVC)

۱۹- اسفنج پلی اتیلن

۲۰- اسفنج اوره فرم آلدئید

۲۱- دیاتومه ای

۲۲- سلولزی

۲۳- پشم چوب

مطابق با استاندارد NHBC بهترین مواد با جدول تعریف می شود :

استاندارد	نوع عایق
BS EN 13162	پشم معدنی
BS EN 13163	پلی استایرن انبساطی سطح اف از ESP (یونولیت)
BS EN 13164	پلی استایرن اکستروود شده سطح اف از
BS EN 13165	فوم پلی یورتان و polyisocyanurate (نوعی پلاستیک گرما سخت)
BS EN 13166	فوم فنولیک
BS EN 13167	Cellular glass
Technical Requirement R3	متربال های دیگر

انواع عایق حرارتی نما:

۱- پشم شیشه

۲- پشم چوب

۳- اسفنج پلی استایرن

۴- پلی استایرن

۵- عایق پشم سنگ