بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

بررسی خصوصیات منحصر به فرد نانوعایق هواژل در عایق‌کاری ساختمان و سوله‌ها

مقدمه

با توجه به سهم ۴۰ درصدی بخش ساختمان از مصرف انرژی کشور (بر اساس ترازنامه انرژی وزارت صنعت، معدن و تجارت) و با وجود الزامات مبحث نوزدهم، ضعف عایق‌های سنتی موجب تشدید مشکلاتی همچون ناترازی گاز، آلودگی کلان‌شهرها، هزینه‌های فزاینده انرژی، خاموشی صنایع و مصرف مازوت در نیروگاه‌ها شده است.

اگرچه مصالح نوین با مقاومت حرارتی بالا می‌توانند به کاهش اتلاف انرژی کمک کنند، اما تجربیات موجود در حوزه گرمایش و سرمایش نشان می‌دهد که صرف افزایش مقاومت حرارتی مصالح، راهکار کامل و کافی برای حل معضل مصرف بی‌رویه انرژی نیست.

در این زمینه، عایق‌های پاششی هواژل به عنوان نسل پیشرفته عایق‌های حرارتی، با بهره‌گیری از فناوری نانومتخلخل و فوق‌آب‌گریز آیروژل در پایه آب، تولید شده و توسط شرکت‌های معتبر اروپایی و آمریکایی (از جمله Aerolon، Rovashield، Barozzi و سایر برندهای مطرح) به صورت محصولات متنوع ساختمانی عرضه می‌شوند.

از مزایای کلیدی این عایق‌ها می‌توان به قابلیت اجرای سریع و آسان (با دستگاه پاشش)، طول عمر بالا، عملکرد حرارتی مطلوب و امکان استفاده در بخش‌های مختلف ساختمان اعم از دیوار، سقف و تأسیسات به‌صورت روکار و زیرکار اشاره کرد. این پوشش‌ها برای شرایط محیطی مختلف نیز طراحی شده‌اند.

در ادامه، با بررسی عوامل مؤثر بر انتقال حرارت در ساختمان‌ها و سوله‌ها، توجیه اقتصادی به کارگیری نانو عایق هواژل ارائه خواهد شد. امید است که بهره‌گیری روزافزون از این عایق‌های پیشرفته، گامی‌مؤثر در کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری ساختمان‌ها و سوله‌ها باشد.

نانوعایق هواژل: مخلوطی از پودر میکرونیزه آیروژل سیلیکایی نانومتخلخل پخش شده در داخل رزینهای آکریلیک لاتکس با درصد حجمی خشک بیش از ۶۰ درصد

کاربرد در ساختمان: عایق کاری دیوارهای عمودی از داخل یا خارج، عایق کاری پشت بام از بیرون، عایق کاری پیلوت، کف ساختمان، موتورخانه، لوله‌های انتقال آب سرد و گرم، کانالهای تهویه هوا، کولر آبی و گازی، روشناییها، تانکرهای آب پشت بام و ...

کاربرد در سوله‌ها: سقف سوله از بیرون و داخل، سایبان سوله، شاسی فلزی، درب فلزی، دیوارهای عمودی از داخل و بیرون، روشناییها، کانالهای تهویه، خطوط انتقال آب سرد و گرم و ...

بهای انرژی را می توانید بپردازید امّا بهای هدر رفت را هرگز

خلاصه گزارش: مکانیسم‌های انتقال حرارت و اتلاف انرژی در ساختمان‌ها و سوله‌ها

عوامل انتقال حرارت ساختمان	درصد تاثیر در مصرف انرژی	عملکرد مصالح سنتی	عملکرد مصالح مدرن	عملکرد نانوعایق هواژل	توضیحات
انتقال حرارت هوای ساکن یا وزش باد محیط (در حالتهای نرمال بدون تابش شدید و باران)	۵۰ الی ۷۰ درصد، (تسریع ۱۰ الی ۲۰ درصد ناشی از وزش باد)	مقاومت حرارتی ضعیف	مقاومت حرارتی مصالح قوی	عملکرد عالی بر روی مصالح سنتی عملکرد متوسط بر روی مصالح مدرن عملکرد بسیار قویتر در سوله‌های در معرض باد قوی	• عمده ساختمانهای ایران از مصالح مدرن و عایق کاری استفاده نمی‌کنند و نانوعایق هواژل بسیار موثر خواهد بود. • انتقال حرارت با وجودمصالح با مقاومت حرارتی بالا به راحتی می‌تواند از جذب تابش خورشید، درزهای بین مصالح، خیس شدن مصالح و پلهای حرارتی اتفاق بیافتد و اثر مصالح مدرن را به شدت کاهش دهد. • به طور کلی نانوعایق هواژل بر روی سطوح با مقاومت حرارت کم مانند فلز، بتن آجر رسی و ...، حتی در ضخامت بسیار کم، بسیار موثر است.
انتقال حرارت ناشی از جذب تابش خورشید در پشت بام و دیوارها (بدون پنجره‌ها) **U.S. Department of Energy (DOE). "Cooling Load Avoidance"**	بیش از ۳۰ درصد (بدون پنجره‌ها)، در ظهر تابستان اثر تابش چند برابر اثر هوای محیط است.	جذب شدید تابش و افزایش دمای سطح به ۲ تا ۳ برابر دمای هوای محیط بر حسب رنگ روشن یا تیره مصالح	جذب شدید تابش و افزایش دمای سطح به ۲ تا ۳ برابر دمای هوای محیط بر حسب رنگ روشن یا تیره مصالح	کاهش بیش از ۷۰ درصد جذب تابش خورشید و کاهش دمای سطح اجرا در بخش بیرونی سقف سوله‌ها و کاهش محسوس جذب تابش خورشید	• در ظهر تابستان اثر جذب تابش خورشید و افزایش دمای سطح مصالح می‌تواند تا چند برابر دمای محیط رسیده و استفاده از سیستم سرمایش را چند برابر افزایش دهد • کشور ایران حالت نیمه بیابانی داشته و شدت متوسط تابش خورشید حدود ۲۳۰ وات بر مترمربع در اکثر شهرها دارد. • پدیده تابش سطحی بوده و نانوعایق هواژل با ضخامت حتی نیم میلیمتر کاملا موثر است و ربطی به عمق عایق ندارد. • تابش عمدتا از پشت بام و دیوارهای مقابل خورشید در صبح و عصر جذب و با پلهای حرارتی منتقل می‌شود. • در سوله‌ها عملکرد بسیار قویتر و موثرتر خواهد بود.
انتقال حرارت ناشی از خیس شدن مصالح	۱۰ تا ۳۰ درصد	نداشتن محافظ رطوبت و خیس شدن شدید	خیس شدن شدید مگر در مواقع دارا بودن محافظ رطوبت	کاملا ضد آب و مانع خیس شدن مصالح	• آیروژل سیلیکایی مورد استفاده در هواژل کاملا فوق آبگریز بوده و رزینهای مورد استفاده نیز ضد آب می‌باشند و پوشش در ضخامت نیم الی ۱ میلیمتر سطوح سبب جلوگیری کامل از خیس شدن مصالح می‌گردد.
انتقال حرارت ناشی از درزهای خطی بین مصالح	۵ تا ۱۵ درصد	انتقال حرارت بسیار زیاد به علت ملات سنتی و بسیار ضخیم	انتقال حرارت زیاد به علت ملات غیر عایق حرارت	قابلیت چسباندن مصالح، درزگیری و عایق کردن بین مصالح به جای ملات یا چسبهای سنتی	• مقادیر بسیار کم هواژل به راحتی تمامی‌مصالح را بسیار محکم چسبانده و به عرض حدود چند سانتیمتر کاملا عایق حرارتی می‌کند. میزان عایقی درزها با هواژل از خود مصالح مدرن مانند لیکا یا هبلکس قویتر خواهد بود.
انتقال حرارت ناشی از پلهای حرارتی	۲۰ تا ۳۰ درصد	پلهای حرارتی بسیار زیاد و قوی در انتقال حرارت	پلهای حرارتی بسیار زیاد و قوی در انتقال حرارت	قابلیت حذف کامل تمامی‌پلهای حرارتی به واسطه اسپری شدن در هندسه‌های مختلف	• پلهای حرارتی به خاطر ساختار و محل قرارگیریف امکان عایق کاری راحت و پایدار با عایقهای سنتی ندارند و هواژل به راحتی در ضخامت ۱ الی ۲ میلیمتر برای کل طول عمر ساختمان می‌تواند عایق کاری تمامی‌پلها را انجام دهد.
انتقال حرارت در سایر بخشهای ساختمان و سوله: کولر، کانال تهویه، موتورخانه، روشنایی؛ تانکر پشت بام و ...	بیش از ۳۰ درصد	بسیار کم	متوسط با هزینه بالا و طول عمر کم	قابلیت عایق کاری تمامی‌موارد در ضخامتهای مختلف با طول عمر بیش از ۱۵ سال مفید	• اتلاف انرژی در بخشهای موتورخانه و سیستم تهویه و غیره بسیار زیاد بوده و عملا عایقهای سنتی قابلیت پوشاندن موثر و بلند مدت بخشهای زیادی را ندارند. هواژل به راحتی تمامی‌بخشها را پوشانده و علاوه بر کاهش مصرف انرژی، مانع خوردگی نیز می‌شود.

مکانیسم‌های انتقال حرارت و اتلاف انرژی در ساختمان‌ها و سوله‌ها

در ساختمانهای مختلف انواع مکانیسمها برای انتقال حرارت وجود دارد که در مبحث نوزدهم انرژی لزوما تمامی‌آنها با وجود اهمیت بالا، ذکر نگردیده یا اشاره مختصری شده است. از جمله مکانیسمهای اتلاف انرژی ساختمانها که استفاده از عایق حرارتی مناسب می‌تواند مانع از آن شود عبارتند از:

۱- انتقال حرارت ناشی از برخورد **هوای محیط** (هوای ساکن یا باد) با دیوارهای سوله و ساختمان و ایجاد **انتقال حرارت دینامیک** به جای ایستا

a. دیوارهای عمودی، پشت بام، پیلوت، سقف سوله، دربهای فلزی سوله و ...

۲- انتقال حرارت ناشی از افزایش دمای سطح دیواره‌های بیرونی در اثر **جذب تابش خورشید**

a. پشت بام، سقف سوله، دیوارهای عمودی مقابل آفتاب

۳- انتقال حرارت ناشی از **خیس شدن مصالح** در اثر جذب انواع بارندگی و یا کندانس رطوبت بر روی مصالح

a. دیوارهای کج باران، پشت بام، نفوذ رطوبت از درزها و سوراخهای سقف سوله

۴- اتلاف حرارت ناشی از **درزهای خطی متعدد** مابین آجرهای چیده شده

a. دیوارهای عمودی ساختمان و سوله که درزهای مستقیم بین مصالح یا ملات درزگیر غیر عایق حرارت

۵- انتقال حرارت ناشی از **پلهای حرارتی** متعدد در ساختمان و سوله‌ها

a. بالکن ساختمانها، ستونهای بین طبقات، سایبان سوله‌ها، دربهای فلزی سوله‌ها، شاسی فلزی سوله‌ها و

۶- انتقال حرارت در **سایر بخشهای ساختمان و سوله** موثر در افت راندمان انرژی

a. کولرهای آبی و گازی، کانالهای تهویه، موتورخانه، خطوط انتقال آب سرد و گرم، تانکرهای آب پشت بام، روشناییها و غیره

۷- **ضخامت** هرچه بیشتر عایق لزوما به معنی بهتر نیست!

a. عایقهای حرارتی بیش از ۷۰ درصد عملکرد عایقی خود را در کمتر از چند میلیمتر نشان می‌دهند

۱- اتلاف انرژی ناشی از برخورد هوای محیط با ساختمان و سوله

برخورد هوای محیط با دیوارهای ساختمان و سوله‌ها سبب انتقال حرارت جابجایی آزاد (هوای ساکن) و یا جابجایی اجباری ناشی از وزش باد می‌گردد. وزش باد می‌تواند سبب افزایش چند برابری انتقال حرارت از یا به ساختمان گردد. سوله‌های صنعتی عمدتا در خارج از شهر و در فشای باز ساخته می‌شوند که وزش باد در آنها بیشتر است. استفاده از مصالح مختلف با مقاومت حرارتی بالاتر سبب کاهش انتقال حرارت از محیط به داخل و برعکس می‌گردد. انتقال حرارت در بدنه مصالح از نوع رسانایی می‌باشد که مستقیما با مقاومت حرارتی و سرعت نفوذ حرارت مصالح مرتبط می‌باشد.

سرعت نفوذ حرارت عمدتا در حالتهای تغییرات دما مانند وزش باد، تغییرات شبانه روزی دما، ابری یا افتابی شدن محیط و غیره خود را نشان می‌دهد و موادی که سرعت نفوذ پایینی داشته باشند، سبب انتقال حرارت کندتر و کمتر در تغییرات خواهند شد.

نانوعایق هواژل با وجود ضخامت کم، دارای سرعت نفوذ حرارت پایین بوده و سبب کاهش محسوس سرعت انتقال حرارت می‌گردد. همچنین با ضریب انتقال حرارت حدود ۰.۰۴ وات بر متر کلوین یک عایق حرارت قوی است که مانع انتقال حرارت محیط به ساختمان و برعکس می‌گردد.

در صورت وزش باد تا ۱۰ متر بر ثانیه میزان ضریب انتقال حرارت جابجایی از حدود ۳ برای هوای ساکن می‌تواند تا حدود ۲۰ برای جریان هوا تغییر یابد و وجود نانوعایق هواژل با سرعت نفوذ پایین حرارت می‌تواند سبب کاهش محسوس انتقال حرارت گردد. ضریب انتقال حرارت نانوعایق هواژل از مصالحی مانند بتن (۲ وات بر متر کلوین)، آجر رسی (۰.۸ وات بر متر کلوین)، سطوح فلزی (از ۵۰ تا ۲۵۰ وات بر متر کلوین) بسیار کمتر است و با وجود ضخامت کم تاثیر بسزایی در کاهش انتقال حرارت می‌تواند داشته باشد. به عبارت دیگر نانوعایق هواژل با مقاومت حرارتی چندین برابر بالاتر از مصالح سنتی، عامل اصلی کنترل کننده و محدود کننده انتقال حرارت بوده و تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی دارد.

در شرایط متغییر دمایی، افزایش مقاومت حرارتی صرفا ایستا مانند مقاومت حرارتی مصالح کافی نبوده و ایجاد مقاومت حرارتی دینامیک یا سرعت نفوذ حرارت پایین مانند نانوعایق هواژل بسیار موثر خواهد بود.

وزش باد و هوا در سوله‌ها: در سوله‌ها فلز بودن، سقف، دربها، شاسی و سایبان انتقال حرارت از محیط به سوله و برعکس را به شدت تشدید می‌کند چرا که ضریب انتقال حرارت فولاد بیش از ۵۰ وات بر متر کلوین است. وجود یک لایه هواژل ولو با ضخامت ۱ میلیمتر با ضریب انتقال حرارت ۰.۰۴ به شدت مقاومت حرارتی را افزایش می‌دهد.

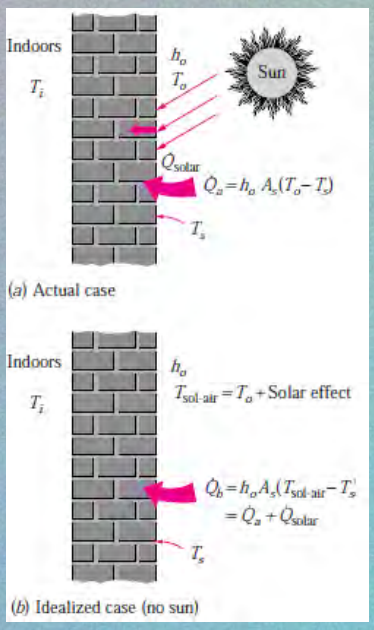
۲- اتلاف انرژی ناشی از افزایش دمای سطح دیواره‌های بیرونی در اثر جذب تابش خورشید

معمولا در محاسبات مبحث نوزدهم انرژی از حالت ساختمان در سایه استفاده می‌شود و این در حالی است که اکثر مناطق مسکونی ایران در اکثریت ماههای سال تابش تند آفتاب را تجربه می‌کنند که این تابش و جذب آن توسط مصالح سنتی ساختمان و سقف فلزی سوله سبب افزایش بسیار محسوس دمای بیرونی می‌شود. میزان اتلاف انرژی ساختمان دقیقا با اختلاف دمای داخل و سطح بیرونی ساختمان مرتبط می‌باشد. دمای سطح بیرونی دیوار می‌تواند در تابستان در مناطق جنوبی تا بیش از ۸۵ درجه سلسیوس برسد در حالی که دمای هوای بیرونی حدود ۴۰ درجه سلسیوس است. در مباحث علمی‌به جای دمای محیط و یا سطح دیوار در حالت سایه، از اصطلاح دمای هوا – تابش استفاده می‌شود که در ادامه جزئیات آن شرح داده شده است. در سقف و دیوارهای سوله‌ها که مساحت بیشتری داشته و کاملا در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرند، افزایش دمای سطح فلزی سقف می‌تواند به بیشتر از ۹۵ درجه نیز برسد.

دمای هوا-تابش (Sol-Air Temperature)

حرارت دریافتی از خورشید دلیل اصلی راه اندازی سیستمهای سرمایش در ساختمانها و سوله بوده و تابش خورشید اثر اصلی را در اوج مصرف و یا طراحی بار سرمایش ساختمان‌ها دارد، که معمولا در بعد از ظهر به علت ورود تابش خورشید از شیشه‌ها و تابش جذب شده از دیوارها و سقف در طول روز اتفاق می‌افتد.

برای سطوح کدر مانند دیوارها و سقف، اثر تابش خورشید، در افزایش شدید دمای سطح بیرونی ساختمان دیده می‌شود. این امر از طریق جایگزین کردن دمای محیط در روابط انتقال حرارت در دیوارها و سقف با دمای هوا تابش (sol-air) انجام می‌شود که به صورت دمای هوای بیرونی معادلی تعریف می‌شود که نرخ انتقال حرارت مشابهی از سطح را در حضور تابش برخوردی به سطح و جابجایی با هوای محیط ایجاد می‌کند.



شکل دمای هوا- تابش، دمای هوای بیرونی معادل، را نشان می‌دهد که نرخ انتقال حرارت با در نظر گرفتن آن معادل ترکیب انتقال حرارت تابشی برخوردی به سطح، و انتقال حرارت با جابجایی هوا است.

$$T_{sol\text{-}air} = T_{ambient} + \frac{\alpha_s \dot{q}_{solar}}{h_o}$$

رابطه بالا محاسبه دمای هوا-تابش را نشان می‌دهد که متناسب با ضریب جذب سطوح و شدت تابش خورشید نسبت به دمای هوای محیط افزایش می‌یابد. سطوح تیره در ساختمان و تابش شدید خورشید در مناطقی مانند جنوب کشور سبب افزایش دمای هوا تابش نسبت به هوای محیط می‌شود. برای مثال در عسلویه دمای سطح ساختمان ممکن است به ۸۵ درجه سلسیوس رسیده باشد در حالی که دمای هوای محیط ۴۰ درجه سلسیوس است.

$$\dot{Q}_{\text{surface}} = \dot{Q}_{\text{conv + rad}} + \dot{Q}_{\text{solar}} - \dot{Q}_{\text{radiation correction}}$$
$$= h_o A_s(T_{\text{ambient}} - T_{\text{surface}}) + \alpha_s A_s \dot{q}_{\text{solar}}$$
$$= h_o A_s(T_{\text{sol-air}} - T_{\text{surface}})$$

دمای هوا -تابش برای یک سطح به ضریب جذب سطح نسبت به تابش خورشید دارد که در جدول زیر برای سطوح مختلف ارائه شده است.

TABLE 6

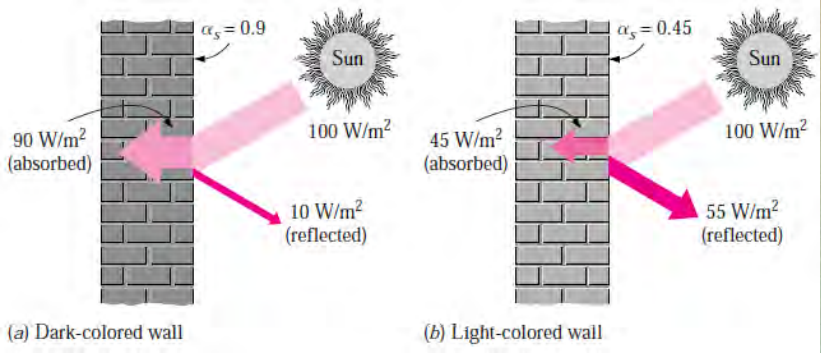
The reflectivity ρ_s and absorptivity α_s of common exterior surfaces for solar radiation (from Kreider and Rabl, 1994, Table 6.1)

Surface	ρ_s	α_s
Natural Surfaces		
Fresh snow	0.75	0.25
Soils (clay, loam, etc.)	0.14	0.86
Water	0.07	0.93
Artificial Surfaces		
Bituminous and gravel roof	0.13	0.87
Blacktop, old	0.10	0.90
Dark building surfaces (red brick, dark paints, etc.)	0.27	0.73
Light building surfaces (light brick, light paints, etc.)	0.60	0.40
New concrete	0.35	0.65
Old concrete	0.25	0.75
Crushed rock surface	0.20	0.80
Earth roads	0.04	0.96
Vegetation		
Coniferous forest (winter)	0.07	0.93
Dead leaves	0.30	0.70
Forests in autumn, ripe field crops, plants, green grass	0.26	0.74
Dry grass	0.20	0.80

در جدول بالا مشاهده می‌شود که برای ساختمانهایی با سطح تیره ضریب جذب حدود ۰.۷۴ بوده و برای ساختمان با سطح روشن حدود ۰.۴ می‌باشد. برای رنگهای حاوی آیروژل این میزان می‌تواند به حدود ۰.۱ الی ۰.۳ کاهش یابد. ضریب جذب آیروژل ۰.۱ الی ۰.۳ می‌باشد و مادون قرمز را متفرق می‌کند.

$$\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{\text{light}} = \frac{0.45}{17\ \text{W/m}^2 \cdot °\text{C}} = 0.026\ \text{m}^2 \cdot °\text{C/W} = 0.15\ \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot °\text{F/Btu}$$

$$\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{\text{dark}} = \frac{0.90}{17\ \text{W/m}^2 \cdot °\text{C}} = 0.052\ \text{m}^2 \cdot °\text{C/W} = 0.30\ \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot °\text{F/Btu}$$



جذب درصد بیشتری از تابش خورشید در سطح مصالح تیره تر به علت ضریب جذب بالاتر

ساختمانهای با رنگ تیره بخش عمده تابش خورشید را جذب می‌کنند در حالی که رنگهای روشن بخش اعظم آن را بازتاب می‌کنند. در شکل بالا مشاهده می‌شود که سطح دیوار با ضریب جذب ۰.۹، به میزان ۹۰ وات بر متر مربع انرژی خورشید را جذب و تبدیل که گرما و دمای سطح بیشتر می‌کند در حالی که ساختمان با نمای دارای ضریب جذب ۰.۴۵ به میزان ۴۵ وات بر متر مربع انرژی تابشی خورشید را جذب کرده و دمای سطح کمتری ایجاد می‌کند. رنگهای آیروژل کمتر از ۱۰ وات بر متر مربع را جذب خواهند کرد که نه تنها به علت رنگ روشن آنها بلکه به خاطر ذات نانومتخلخل آیروژل است.

در جدول زیر تفاوت دمای سطوح ساختمانی تیره و روشن در ساعات مختلف شبانه روز نشان داده شده است. برای مثال در ساعت ۱۲ دمای سطح روشن ۵۰.۱ درجه سلسیوس بوده و دمای سطح تیره ۷۱.۶ درجه سلسیوس است. دمای هوای محیط ۳۲.۵ درجه سلسیوس می‌باشد. اختلاف دما به ترتیب ۱۷.۶ و ۳۹.۱ می‌باشد. اگر دمای داخل ساختمان در ۲۳ درجه سلسیوس توسط سیستم سرمایش ثابت نگه داشته شود، اختلاف دمای با هوای محیط ۹.۵ درجه، اختلاف دما با سطح روشن ۲۷.۱ درجه و اختلاف دمای داخل با سطح تیره ۴۸.۶ درجه می‌باشد. نسبت اختلاف دما در سطح تیره نسبت به مبنای هوای محیط مبحث نوزدهم (ساختمان در سایه) حدود ۵.۱ برابر می‌باشد و به همین نسبت و بیشتر انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر در نظر نگرفتن تابش خورشید و اثر آن در اوج گرمایش ساختمان می‌توان به شدت در محاسبات تاثیر بگذارد. از طرفی تابش پدیده سطحی بوده و با توجه به ضریب جذب بسیار پایین آیروژل نسبت به تابش خورشید و بخش مادون قرمز آن (۰.۱ الی ۰.۳ ضریب جذب) بیش از ۷۰ درصد تابش با تخلخل نانومتری و سطح ویژه بسیار بالای (۵۰۰ متر مربع بر گرم آیروژل) متفرق شده و جذب نمی‌گردد. تنها همین امر می‌تواند بیش از ۵۰ درصد سبب کاهش ورود حرارت به ساختمان ناشی از تابش گردد.

این نکته را هم در نظر بگیریم که بیشترین مشکل کمبود گاز یا برق در فصل تابستان و در ظهر می‌باشد که تابش خورشید بیشینه مقدار است.

TABLE 7

Sol-air temperatures for July 21 at 40° latitude (from ASHRAE *Handbook of Fundamentals*, Chap. 26, Table 1)

(a) SI units

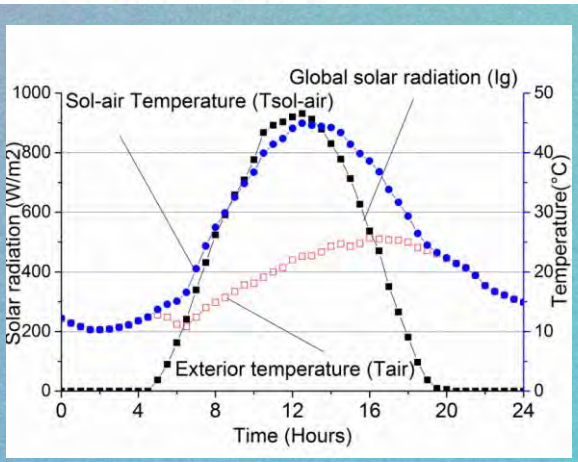
Solar time	Air temp., °C	Light-colored surface, α/h_o = 0.026 m² · °C/W N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
5	24.0	24.1	24.2	24.2	24.1	24.0	24.0	24.0	24.0	20.1
6	24.2	27.2	34.5	35.5	29.8	25.1	25.1	25.1	25.1	22.9
7	24.8	27.3	38.1	41.5	35.2	26.5	26.4	26.4	26.4	28.1
8	25.8	28.1	38.0	43.5	38.9	28.2	28.0	28.0	28.0	33.8
9	27.2	29.9	35.9	43.1	41.2	31.5	29.8	29.8	29.8	39.2
10	28.8	31.7	33.4	40.8	41.8	35.4	31.8	31.7	31.7	43.9
11	30.7	33.7	34.0	37.4	41.1	39.0	34.2	33.7	33.7	47.7
12	32.5	35.6	35.6	35.9	39.1	41.4	39.1	35.9	35.6	50.1
13	33.8	36.8	36.8	36.8	37.3	42.1	44.2	40.5	37.1	50.8
14	34.7	37.6	37.6	37.6	37.7	41.3	47.7	46.7	39.3	49.8
15	35.0	37.7	37.6	37.6	37.6	39.3	49.0	50.9	43.7	47.0
16	34.7	37.0	36.9	36.9	36.9	37.1	47.8	52.4	46.9	42.7
17	33.9	36.4	35.5	35.5	35.5	35.6	44.3	50.6	47.2	37.2
18	32.7	35.7	33.6	33.6	33.6	33.6	38.3	44.0	43.0	31.4
19	31.3	31.4	31.3	31.3	31.3	31.3	31.4	31.5	31.5	27.4
20	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	25.9
Avg.	**29.0**	**30.0**	**32.0**	**33.0**	**32.0**	**31.0**	**32.0**	**33.0**	**32.0**	**32.0**

Solar time	Air temp., °C	Dark-colored surface, α/h_o = 0.052 m² · °C/W N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
5	24.0	24.2	24.4	24.3	24.1	24.0	24.0	24.0	24.0	20.2
6	24.2	30.2	44.7	46.7	35.4	26.0	26.0	26.0	26.0	25.5
7	24.8	29.7	51.5	58.2	45.6	28.2	28.0	28.0	28.0	35.4
8	25.8	30.5	50.1	61.2	52.1	30.7	30.1	30.1	30.1	45.8
9	27.2	32.5	44.5	58.9	55.1	35.8	32.3	32.3	32.3	55.1
10	28.8	345	38.0	52.8	54.9	42.0	34.7	34.5	34.5	62.8
11	30.7	36.8	37.2	44.0	51.5	47.4	37.7	36.8	36.8	68.5
12	32.5	38.7	38.7	39.3	45.7	50.4	45.7	39.3	38.7	71.6
13	33.8	39.9	39.9	39.9	40.8	50.5	54.6	47.1	40.3	71.6
14	34.7	40.4	40.4	40.4	40.6	47.9	60.8	58.7	43.9	68.7
15	35.0	40.3	40.1	40.1	40.1	43.6	62.9	66.7	52.3	62.9
16	34.7	39.4	39.0	39.0	39.0	39.6	61.0	70.1	59.0	54.7
17	33.9	38.8	37.1	37.1	37.1	37.3	54.7	67.3	60.6	44.5
18	32.7	38.7	34.5	34.5	34.5	34.5	43.9	55.2	53.2	34.0
19	31.3	31.5	31.3	31.3	31.3	31.3	31.4	31.6	31.7	27.5
20	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	25.9
Avg.	**29.0**	**32.0**	**35.0**	**37.0**	**37.0**	**34.0**	**37.0**	**37.0**	**35.0**	**40.0**

دمای هوای محیط، دمای سطوح مصالح با رنگ روشن و سطوح مصالح با رنگ تیره در ساعات مختلف شبانه روز

انتقال حرارت از دیوارها بر اساس اختلاف دمای هوا -تابش با دمای داخل اندازه گیری می‌شود و نه دمای هوای بیرون و دمای داخل. برای مثال بر اساس فرمول زیر به جای دمای حدود ۳۲ درجه محیط نسبت به دمای ۲۰ درجه داخل باید دمای ۷۲ درجه هوا تابش نسبت به ۲۰ درجه داخل سنجیده شود که انتقال حرارت را چند برابر می‌کند.

$$\dot{Q}_{\text{wall}} = UA_s(T_{\text{sol-air}} - T_{\text{inside}}) \qquad (17)$$

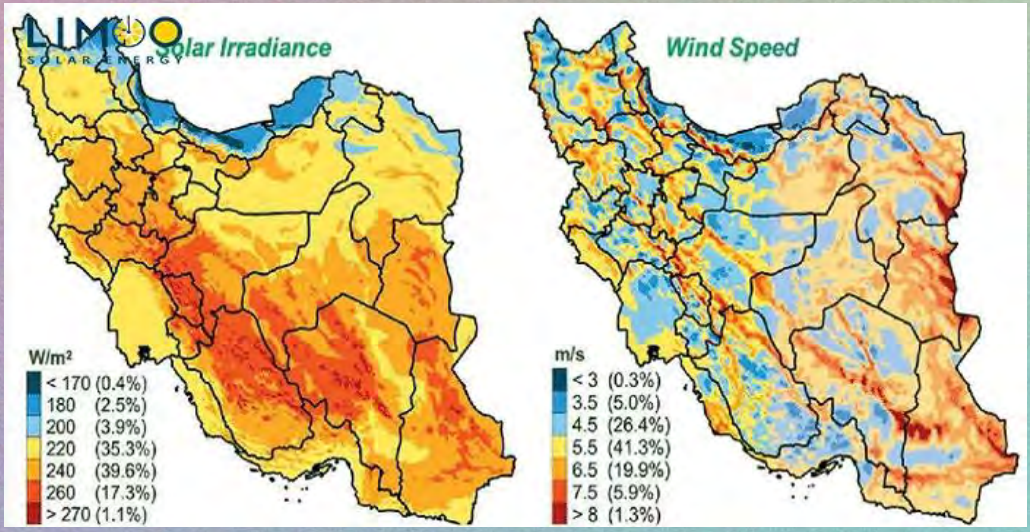


نمونه ای از اختلاف دمای سطح تحت تابش خورشید با دمای هوای محیط در سطوح ساختمانی با جذب بالا، برای مثال دمای هوای محیط در ساعت ۱۲ حدود ۲۲ درجه بوده در حالی که دمای سطح حدود ۴۳ درجه است.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

در ویرایش جدید مبحث نوزدهم اشاره دقیق و مناسبی به اثر تابش خورشید در ساختمان نشده است که در اوج گرما بعد از ظهر می‌تواند به بیش از ۷۰ درصد سهم سرمایش مورد نیاز ساختمانها برسد. مابقی سهم سرمایش برای هوای گرم محیط خواهد بود. شدت تابش خورشید در ایران به طور متوسط حدود ۲۴۰ وات بر مترکلوین گزارش شده است که در نزدیک ۸۰ درصد از کشور اتفاق می‌افتد. این مقدار تابش انرژی بسیار زیادی را به سیستم سرمایش ساختمانها تحمیل خواهد کرد.



شدت تابش خورشید و وزش باد در مناطق مختلف ایران

تابش در سوله‌ها: به علت سقف فلزی و سایر بخشهای فلزی جذب تابش و تبدیل به حرارت در سوله‌ها بیشتر از ساختمانها بوده و مساحت سطح نیز بیشتر است. نانوعایق هواژل به راحتی می‌تواند بخشهای مختلف سوله را پوشش دهد که استفاده از عایقهای سنتی در آنها امکان پذیر نیست و تنها در بخش زیر سقف از پشم سنگ استفاده می‌شود که آویزان شده و عملا خاصیت عایق حرارتی آن به شدت تضعیف می‌شود و پل‌های حرارتی به راحتی حرارت را به داخل هدایت می‌کنند.

۳- اتلاف انرژی ناشی از خیس شدن مصالح در اثر انواع بارندگی و یا کندانس رطوبت بر روی مصالح

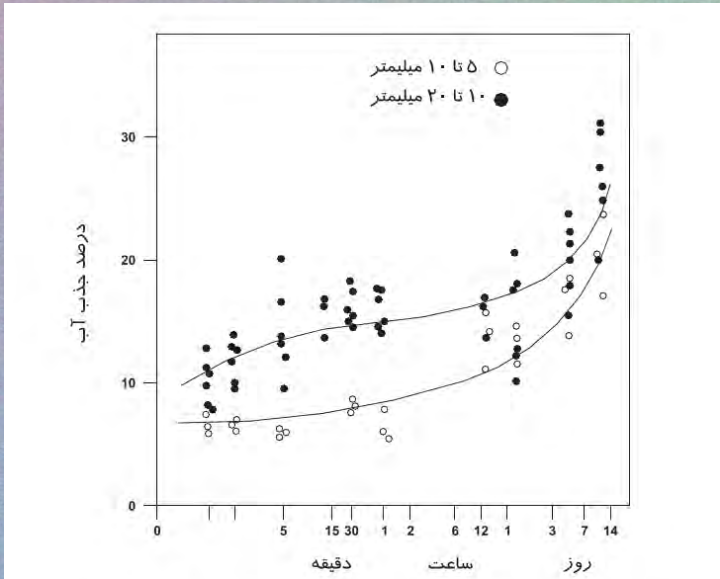
با توجه به شرایط آب و هوایی کشور، بارندگیهای متعددی در فصول سرد سال در نیمه شمالی کشور داشته و در جنوب کشور هوای شرجی و کندانس شدن رطوبت را در اکثر فصول سال شاهد هستیم. تمامی‌مصالح و عایقهای ساختمانی مورد استفاده سنتی در ایران جاذب شدید رطوبت بوده و جذب رطوبت می‌تواند تا چند سانتیمتر در مصالح نفوذ کند.

با جذب رطوبت، خصوصیات عایق حرارتی مصالح به شدت کاهش یافته و ضریب انتقال حرارت به چندین برابر می‌تواند افزایش پیدا کند. مصالح خیس شده دارای انتقال حرارت بسیار زیادی بوده و جذب حرارت از ساختمان سبب اتلاف بسیار بیشتر انرژی می‌شود. علاوه بر این رطوبت جذب شده نیاز به جذب گرمای نهان تبخیر دارد که مقادیر بسیار زیادی داشته

و برای آب به میزان ۲۳۰۰۰۰۰ ژول به ازای هر کیلوگرم آب است. یخ زدن رطوبت جذب شده در زمستان نیز علاوه بر تخریب مصالح، ضریب انتقال حرارت زیادی را ایجاد می‌کند.

یکی از راه‌های جلوگیری از جذب رطوبت در مصالح ساختمانی ضد آب کردن آنها می‌باشد. عایق هواژل پاششی نانومتخلخل کاملا ضد آب بوده و مانع از جذب رطوبت و افزایش اتلاف انرژی ناشی از آن می‌گردد. معمولا این نوع انتقال حرارت نیز در مباحث نوزدهم انرژی نادیده گرفته می‌شود و فرض خشک بودن مصالح و عایقها در نظر گرفته می‌شود.

عایقهای مانند پشم سنگ می‌توانند تا ۸۰۰ درصد جذب رطوبت داشته باشند که علاوه بر اتلاف انرژی سبب از بین رفتن عایق، رشد میکروارگانیسمها و ایجاد بو، خوردگی سطوح فلزی زیر عایق و غیره می‌گردند.



نمودار ۲-۵- جذب آب نمونه‌ای از دانه‌های لیکا بر حسب زمان

www.leca.ir

اثر دما و رطوبت بر رسانایی حرارتی دانه‌ای لیکا مانند اغلب مصالح دیگر است. به گونه‌ای که افزایش رطوبت به میزان یک درصد حجمی سبب افزایش رسانایی حرارتی به میزان ۲ تا ۶ درصد می‌گردد همچنین با افزایش دما، به ویژه در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد میزان رسانایی حرارتی افزایش می‌یابد. میزان افزایش در

همانگونه که مشاهده می‌شود در مصالح جدید مانند لیکا مشکل جذب رطوبت شدید و کاهش کارایی حرارتی توسط شرکت گزارش شده است و این در حالی است که در مصالح دیگر که عایق حرارتی ضعیفتری هستند این مشکل بیشتر خود را نشان خواهد داد.

در بخشهای شمالی کشور که باران زیادی می‌بارد، از ورقهای فلزی برای جلوگیری از تخریب نما و خیس شدن مصالح به عنوان کج باران استفاده می‌شود که معمولا ورقها با درزهای زیاد و با فاصله از دیوار هستند که رطوبت به راحتی می‌تواند

به پشت آن نفوذ کند. در چنین مواردی نیز استفاده از نانوعایق هواژل به عنوان یک لایه محافظ در برابر نفوذ رطوبت و مقاوم در برابر ضربه قطرات باران بسیار راحترتر و کاراتر خواهد بود.

دیوار فلزی کار گذاشته شده بر روی دیوار با فاصله چند سانتیمتری برای جلوگیری از برخورد مستقیم باران با دیوار

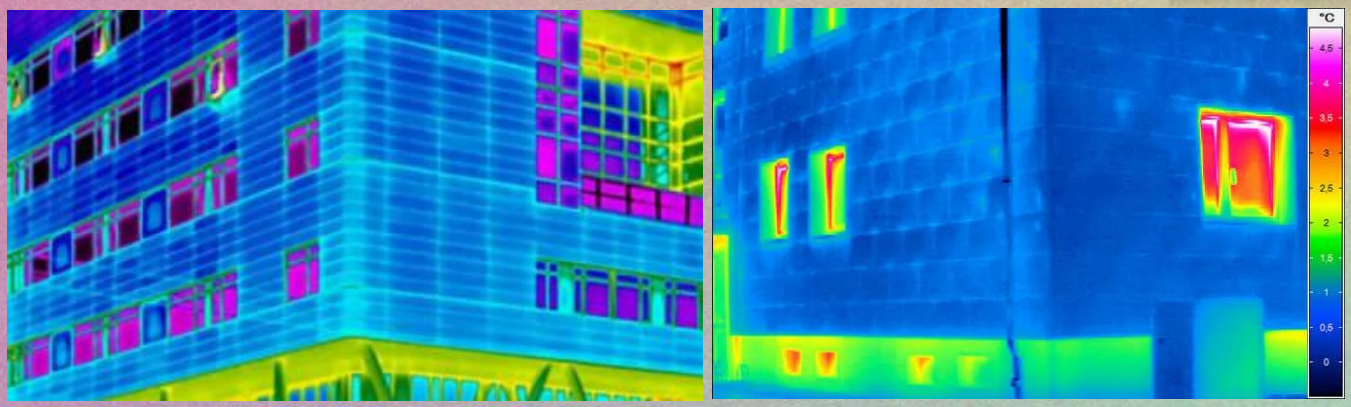
خیس شدن در سوله‌ها: وجود درزهای ناشی از پیچ و مهره و فاصله بین ورق‌های فلزی در سقف سوله‌ها سبب نفوذ رطوبت به داخل و خیس شدن عایقهای پشم سنگ، خوردگی فلز و اتلاف انرژی مازاد می‌گردد. نانوعایق هواژل به اجرای از بیرون می‌تواند تمام درزها و حفرات ریز را پوشانده و مانع نفوذ رطوبت و خوردگی گردد. همچنین وزش باد شدید و باران همزمان دیوارهای عمودی که از مصالح جاذب رطوبت است را خیس میکند که اجرای یک لایه نیم الی یک میلیمتری روی دیوارها از بیرون می‌تواند به شدت مانع انتقال حرارت گردد.

۴- اتلاف حرارت ناشی از درزهای متعدد مابین آجرهای چیده شده

مصالح عایق مانند انواع آجرها و یا آجرهایی مانند لیکا به صورت تعداد بسیار زیادی در کنار هم با استفاده از ملات سیمان و یا حالت نر و ماده استفاده می‌شوند که بخش ملات سیمانی و بخش نر و ماده دارای ضریب انتقال حرارت بسیار بالاتری هستند. درصد قابل توجهی از دیوارها به مساحت درزهای مابین آجرها تعلق دارد که در برخی موارد درز مستقیم برای تبادل هوا نیز در آنها وجود دارد. بر این اساس ضریب انتقال حرارت کل محاسبه شده برای دیوارها برای لایه عایق صحیح نبوده و کمتر از مقدار واقعی خواهد شد.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل



دوربین ترموگراف نشت حرارت از ملات مابین مصالح را نشان می‌دهد

مصالح ممکن است درزهایی مستقیم داشته باشند یا ملات بین مصالح لزوما عایق حرارت نیست

نانوعایق هواژل به راحتی می‌تواند علاوه بر چسباندن مصالح، نقش پر کردن درزها و عایق کردن آنها را نیز ایفا کند. در استفاده از عایق هواژل پاششی کل سطح به صورت یکپارچه و درزهای مختلف پوشانده می‌شود و عملکرد عایق در تمامی‌سطوح یکسان و یکپارچه است که اتلاف انرژی را کاهش محسوسی می‌دهد.

معلق ماندن آجر سنگین در نیروی کششی و برشی با استفاده از چسباندن یک لایه نازک نانوعایق هواژل و عایق کاری کامل درز بین آجرها

۵- انتقال حرارت ناشی از پلهای حرارتی متعدد در ساختمان و سوله‌ها

به نقاط یا نواحی در پوسته ساختمان (دیوارها، سقف، کف، پنجره‌ها) که به دلیل کاهش مقاومت حرارتی، انتقال حرارت (گرما یا سرما) به طور قابل توجهی بیشتر از قسمت‌های مجاور باشد، پل حرارتی می‌گویند.

تشبیه: مانند یک پل فلزی که یک طرف آن را گرم و طرف دیگر را سرد کنید، فلز به سرعت گرما را از سمت گرم به سمت سرد منتقل می‌کند. در ساختمان نیز مصالح با رسانایی بالا (مانند بتن آرمه، فولاد) همین نقش را ایفا می‌کنند.

انواع پل‌های حرارتی:

۱. پل حرارتی هندسی (Geometric): ناشی از شکل و هندسه ساختمان است (مانند گوشه‌های دیوارها، تقاطع دیوار و سقف یا کف).

۲. پل حرارتی مصالح (Material): ناشی از وجود مصالح با رسانایی حرارتی متفاوت در کنار هم است (مانزل قرارگیری تیرچه بتنی در دیوار، اتصال نما به اسکلت).

۳. پل حرارتی سازه‌ای (Structural): ترکیبی از هر دو نوع فوق، که در اجزای سازه‌ای رخ می‌دهد (مانند اتصال تیرهای فولادی به ستون‌ها در سوله).

مناطق و دلایل تشکیل پل حرارتی در ساختمان و سوله

الف) در ساختمان‌های معمولی:

تقاطع دیوارهای خارجی با یکدیگر (گوشه‌های ساختمان).

تقاطع دیوارهای خارجی با سقف یا کف روی زمین.

اطراف درب و پنجره‌ها (قاب و چهارچوب).

محل قرارگیری تیرچه‌های سقف در دیوار.

محل اتصال بالکن به سقف داخلی.

محل عبور لوله‌ها، کانال‌ها و سیم‌ها از دیوارهای خارجی.

ب) در سوله‌های صنعتی (با اسکلت فولادی):

اتصالات اسکلت فولادی: مهمترین و بحرانی‌ترین نقطه، محل اتصال پروفیل‌های فولادی به یکدیگر (اتصال تیر به ستون، مهاربندها به تیر و ستون) است. فولاد رسانایی حرارتی بسیار بالایی دارد.

اتصال ساندویچ پانل‌ها به اسکلت: اگر از پیچهای سقفی و دیواری بدون استفاده از واشرهای عایق حرارتی (پلی اورتان) استفاده شود، این پیچ‌های فلزی خود یک پل حرارتی مستقیم به بیرون ایجاد می‌کنند.

دریچه‌ها و نورگیرهای سقفی: قاب فلزی این نورگیرها.

خطوط اتصال بین ساندویچ پانل‌ها: اگر درزها به درستی با درزگیر مناسب پر نشوند.

اتصال دیوار به فونداسیون.

پیامدها و مضرات وجود پل حرارتی

۶. اتلاف انرژی و افزایش هزینه‌ها:

کاهش کارایی عایق: پل‌های حرارتی می‌توانند تا ۳۰٪ از کارایی سیستم عایق‌کاری بکاهند.

افزایش مصرف سوخت و برق: سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی برای جبران این اتلاف، باید ساعات بیشتری با توان بالاتر کار کنند که منجر به قبض‌های سنگین انرژی می‌شود.

۲. مشکلات رطوبتی و میعان:

تشکیل شبنم (میعان): در فصل سرد، هوای گرم و مرطوب داخلی هنگام برخورد با سطوح سرد (نقاط پل حرارتی)، دمای آن به زیر "نقطه شبنم" رسیده و بخار آب به قطرات آب تبدیل می‌شود.

رشد کپک و قارچ: رطوبت ناشی از میعان، محیطی ایده‌آل برای رشد کپک‌ها و قارچ‌ها ایجاد می‌کند که برای سلامتی ساکنین (بیماری‌های تنفسی، آلرژی) بسیار مضر است.

تخریب مصالح ساختمانی: رطوبت طولانی‌مدت باعث:

پوسیدگی چوب (در قاب پنجره، کمد دیواری)

زنگ زدگی فلزات (اسکلت فولادی، اتصالات)

تخریب بتن (یخزدگی و ترک خوردگی)

کنده شدن رنگ و کاغذ دیواری

۳. کاهش آسایش حرارتی:

ایجاد سطوح سرد در فضاهای داخلی (مثلاً دیوارها یا کف).

ایجاد جریان هوای سرد رو به پایین از کنار پنجره‌ها و دیوارها.

۴. کاهش عمر مفید سازه:

به ویژه در سوله‌ها، زنگ‌زدگی اسکلت فولادی ناشی از رطوبت، می‌تواند استحکام و ایمنی کل سازه را به خطر بیندازد.

اهمیت حذف پل حرارتی (چرا باید آن را برطرف کرد؟)

۱. صرفه‌جویی اقتصادی چشمگیر: سرمایه‌گذاری برای حذف پل حرارتی، با کاهش هزینه‌های انرژی در بلندمدت جبران شده و به صرفه‌تر می‌شود.

۲. حفظ سلامت ساکنین: جلوگیری از رشد کپک و قارچ، سلامت هوای داخلی را تضمین می‌کند.

۳. افزایش دوام و عمر سازه: با حذف رطوبت، مصالح ساختمانی برای decades عمر می‌کنند.

۴. افزایش راندمان انرژی ملی: در مقیاس کلان، کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، وابستگی کشور به منابع سوخت فسیلی را کاهش داده و به حفظ محیط زیست کمک می‌کند.

۵. ارتقای آسایش ساکنین: حذف سطوح سرد و جریان‌های هوای ناخوشایند، آسایش حرارتی مطلوبی ایجاد می‌کند.
۶. کاهش ظرفیت و هزینه تجهیزات گرمایشی و سرمایشی: با کاهش بار حرارتی، می‌توان از دستگاه‌های کوچکتر و کم‌هزینه‌تری استفاده کرد.

راهکارهای حذف و کاهش پل حرارتی

در ساختمانها و سوله‌ها حذف پلهای حرارتی با عایقهای سنتی کار بسیار سخت و در بسیاری موارد غیر ممکن است که از خصوصیات عایقهای سنتی ناشی می‌شود. عملا هیچکدام از پلهای حرارتی در ساختمان و سوله‌های ساخت داخل حذف نمی‌گردد که به شدت انتقال حرارت را تشدید می‌کنند. علت این امر نبود عایق مناسب می‌باشد.
نانوعایق هواژل مطابق تصویر زیر به راحتی می‌تواند با خاصیت پاششی خود تمامی‌پلهای حرارتی را به طور کامل و با هزینه بسیار کم حذف نماید.

پتروشیمی‌عسلویه و حذف پلهای حرارتی دستکهای فلزی با نانوعایق هواژل

حذف پلهای حرارتی سازه فلزی توسط شرکت آمریکایی با عایق رنگ حاوی آیروژل با برند Aerolon 971

۶- انتقال حرارت در سایر بخشهای ساختمان و سوله موثر در افت راندمان انرژی

علاوه بر محیط و دیوارهای ساختمان، اتلاف انرژی در ساختمان از بخشهای دیگری نیز می‌تواند اتفاق بیافتد. اتلاف انرژی از کولرهای آبی و کانالهای تهویه، اتلاف انرژی موتورخانه‌ها و خطوط انتقال آب سرد و گرم، ایجاد میعان در خطوط لوله‌های سرد و بروز مشکل در سقف کاذب و خوردگی، گرم شدن آب تانکرهای آب پشت بام و غیره. استفاده از نانوعایق هواژل با توجه به قابلیت عایق کاری مطمون و بلند مدت این موارد می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی به دنبال داشته باشد.

کولرهای آبی و کانالهای عبور هوا در بخش زیادی در زیر آفتاب بوده و به شدت گرم می‌شوند. موتروخانه‌ها دارای هندسه پیچیده بوده و بخشهای مختلف از آنها عایق نمی‌شود و یا به طور کاملا غیر اصولی عایق می‌گردد.

نانوعایق هوازل می‌تواند در ضخامتهای مختلف در تمامی‌قسمتها و تجهیزاتی که تبادل سرما و یا گرما با محیط دارند استفاده شود و تاثیر کاملا موثر و بلند مدتی در افزایش کارکرد داشته باشد.

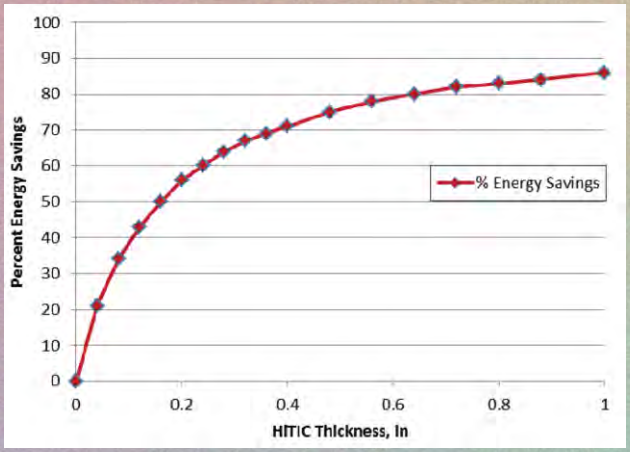
نکته مهم این است که با کنترل ضخامت نانوعایق هواژل می‌توان به هر مقداری اتلاف انرژی را کاهش داد بدون اینکه هزینه زیادی را متحمل نماید.

نمونه ای از کولر آبی با کانال فلزی زیر تابش مستقیم آفتاب و بدون عایق

موتورخانه‌های برجهای بزرگ مسکونی که دارای تجهیزات فشرده و پیچیده ای هستند که عایق کاری آنها بسیار سخت است و هواژل به راحتی می‌تواند تمام تجهیزات سرد و گرم و با هندسه پیچیده را عایق کند. نمونه عایق کاری با هواژل

۷- ضخامت هرچه بیشتر عایق لزوما به معنی عایق کاری بهتر نیست!

رفتار عایقهای حرارتی بر حسب ضخامت در برابر کارایی کاهش انتقال حرارت غیر خطی بوده و بیش از ۵۰ درصد از کارایی عایقها در ضخامت کمتر از ۴ میلیمتر اتفاق می‌افتد. بسیاری از عایقهای سنتی مانند پشم سنگ، پشم شیشه، سرامیک فایبر، پلی یورتان و غیره امکان ساخت در ضخامت‌های چند میلیمتری و کمتر را به علت مقاومت مکانیکی کم ندارند و در ضخامتهای بیش از چند سانتیمتر تولید می‌شوند.



میزان درصد کاهش اتلاف انرژی عایقها بر حسب ضخامت عایق

با توجه به رفتار غیر خطی عایقها، استفاده از نانوعایق هواژل در ضخامت کم، کارایی بسیار زیادی ایجاد می‌کند و با توجه به سایر مزایای نانوعایق هواژل مانند ضد رطوبت بودن، عدم افت کارایی ناشی از ریزش، پارگی و غیره، پوشش دهی درزها، نصب راحت و سریع، عدم نیاز به ملزومات نصب، کاهش محسوس جذب تابش خورشید، طول عمر بسیار بالا و غیره می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از حتی نیم میلیمتر از نانوعایق هواژل می‌تواند تاثیر بسزایی در سود آوری مستقیم و غیر مستقیم در ساختمان، سوله و صنعت داشته باشد.

معرفی مکانیسم عملکرد عایق هواژل پاششی نانومتخلخل

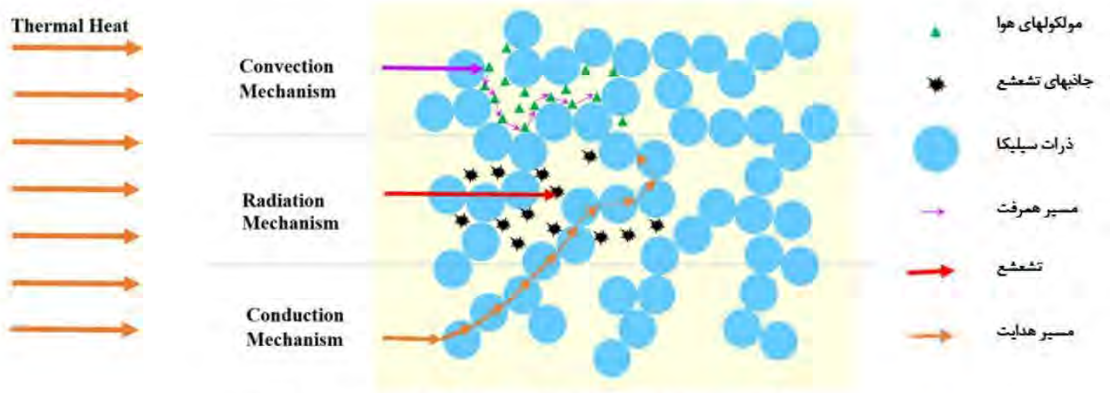
بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

عایق‌های مختلف بر اساس جنس و درصد تخلخل و توزیع‌اندازه حفرات خود می‌توانند مقاومت‌های حرارتی مختلفی را داشته باشند. چگالی عایق‌ها به طور کلی کم بوده و بخش عمده آن‌ها را حفرات پر شده از هوا تشکیل می‌دهد. حرارت از طریق سه مکانیسم هدایت، همرفت و تشعشع از مواد مختلف منتقل می‌شود. هدایت وابسته به جنس و چگالی جسم بوده و هر چه مقدار آن کم باشد و از جنس نارسانا باشد ضریب هدایت حرارتی پایینی خواهد داشت. معمولا جنس عایق‌های مختلف از مواد معدنی یا پلیمری ساخته می‌شوند که رسانای خوبی برای هدایت حرارت نیستند. ایروژل‌های سبک‌ترین ماده جامد دنیا با دانسیته متوسط ۰,۱ گرم بر سانتیمتر مکعب هستند و بیش از ۹۵ درصد آن‌ها را هوا تشکیل می‌دهد که در حفرات با ابعاد متوسط ۲۰ نانومتری محبوس شده‌اند.

عایق گرانول ایروژل نانومتخلخل فوق آب گریز

انتقال حرارت همرفت از مهمترین دلایل انتقال حرارت در مقادیر زیاد است که ناشی از حرکت آزاد هوا مابین دو سطح سرد و گرم و ناشی از تفاوت چگالی هوای سرد و گرم است. عایق‌ها به فرم متخلخل ساخته می‌شوند تا با محبوس کردن هوا در درون خود مانع از انتقال حرارت بالا شوند. حفرات عایق‌ها ممکن است حفزه باز و یا حفره بسته باشد. معمولا در عایق‌های رایج‌اندازه حفرات عایق در ابعادی (چند صد میکرومتر تا چندین میلیمتر) هستند که هوا به راحتی می‌تواند حرکت همرفت آزاد در درون آن‌ها داشته باشد و انتقال حرارت صورت گیرد. در صورتی که‌اندازه حفرات عایق نانومتری باشد مولکول‌های هوا نمی‌توانند حرکت آزادی درون آن‌ها داشته باشند و نوع حرکت مولکول‌ها به فرم خزشی روی دیواره‌های جامد تبدیل می‌شود که اصطلاحا نفوذ نادسن نامیده شده و انتقال حرارت بسیار کمتری با این روش صورت می‌گیرد که در عایق‌های ایروژل نانومتخلخل اتفاق می‌افتد. در شکل مکانیسم‌های انتقال حرارت در عایق‌های ایروژل نانومتخلخل نشان داده شده است.



مکانیسم‌های انتقال حرارت در عایق ایروژل سیلیکایی

تشعشع برای انتقال نیاز به ماده ندارد ولی اجسام سیاه می‌توانند تشعشع را جذب کرده و مانع از عبور آن شوند. بدین منظور در عایق‌های نانومتخلخل افزودنی‌هایی (کربن سیاه، نانوتیوب کربنی) اضافه می‌شود تا اشعه مادون قرمز امکان عبور از عایق را نداشته باشد. عمده تفاوت عایق‌های نانومتخلخل نسبت به عایق‌های رایج حذف جریان انتقال حرارت همرفتی ناشی از ابعاد نانومتری حفرات است. در ادامه خواص منحصر به فرد عایق ایروژل نانومتخلخل در مقایسه با سایر عایق‌ها و تاثیرات خواص در توسعه پایدار و سبز پتروشیمی‌ها بررسی می‌شود.

افزوده شدن عایق‌های ایروژل به هر بستری سبب می‌شود تا ایروژل‌های خاصیت حرارتی، رطوبتی و صوتی خود را به بستر اضافه کنند. بدیهی است به میزانی که ایروژل اضافه می‌شود خاصیت نیز تغییر می‌کند. لازم به ذکر است ایروژل‌ها دارای دانسیته بسیار کمی بوده و با افزودن مقدار کمی‌از آن‌ها حجم رنگ شدیدا افزایش می‌یابد.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

جمع بندی

با توجه به خصوصیات نانوعایق هواژل، این عایق گزینه زیست سازگار، بدون ایجاد وزن، با اجرای راحت و بسیار سریع، کارایی فوق العاده در برابر تابش، هوای گرم، رطوبت، صوت و درز گیری، قیمت بسیار مناسب، عدم نیاز به ادوات خاص نصب و اجرا، قابلیت اجرا روی تمامی‌قسمتهای ساختمان، طول عمر بیش از ۱۰ سال، قابلیت پوشش دهی تمامی‌پلهای حرارتی داخلی و خارجی، ضد آب بودن و سایر موارد برای انواع مدلهای آب و هوایی ایران بهترین گزینه ممکن می‌باشد. سختی استفاده از عایقهای سنتی با عملکرد و طول عمر پایین و یا اجرای روشهای پیچیده سبب می‌شود عملا اقدامی‌برای عایق کاری بخشهای زیادی از ساختمان انجام نشود و شاهد اتلاف انرژی بی رویه باشیم. بیشترین تلاش در حوزه ساختمان در بخش افزایش مقاومت حرارتی مصالح و تولید مصالح جدید اتفاق می‌افتد که تنها در برابر انتقال حرارت هوای محیط موثر می‌باشد. همچنین امکان کنار گذاشتن مصالح قدیمی‌که با تنوع زیادی تولید می‌شوند نیز وجود ندارد. در سوله‌ها نیز غیر از استفاده از ساندویچ پنل در بخشهایی از سوله‌ها با قیمت بسیار بالا، هنوز راهکاری برای عایق کاری بخسهای مختلف ارائه نشده است.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

پیوست: مزایای مختلف استفاده از نانوعایق هواژل در ساختمان و صنعت

سرعت و سهولت نصب و کارگذاری عایق نانو

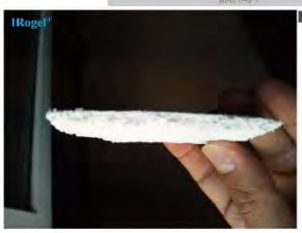
اجرای بسیار راحت و سریع پوشش نانو با لوازم رایج رنگ کاری

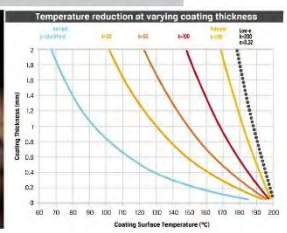
عدم نیاز به لوازم جانبی نگهدارنده عایق

چسبندگی بسیار بالای پوشش نانو به سطوح مختلف و کاهش هزینه های نصب

ضخامت بسیار کم عایق مورد نیاز

پوشش عایق نانو به واسطه ماده هواژل دارای ضریب رسانایی بسیار پایینی بوده و با ضخامت کم در حد چند میلیمتر می تواند دما را تا بیش از ۱۰۰ درجه سلسیوس کاهش دهد.





عدم خوردگی زیر سطحی عایق

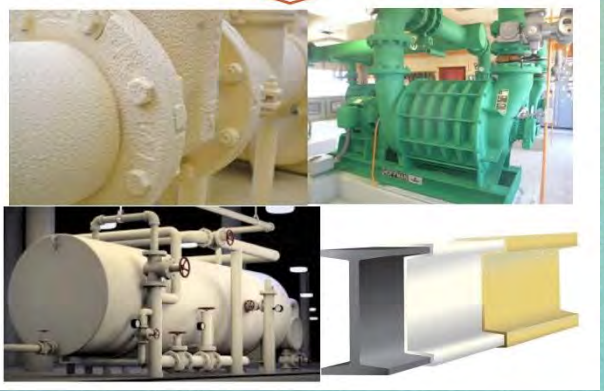
جلوگیری کامل از خوردگی زیر سطح عایق ناشی از جذب رطوبت و کندانس شدن

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

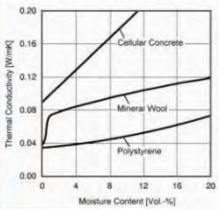
نانوعایقهای حرارتی هواژل

قابلیت عایق کاری سطوح بسیار پیچیده و انحنا دار

پوشش عایق نانو محدودیتی در پیچیدگی سطح نداشته و به سرعت و به راحتی تمامی سطوح را عایق می نماید. عایقهای معدنی مختلف توانایی پوشش دهی سطوح پیچیده را نداشته و نمی توانند مانع از اتلاف حرارت در این سطوح شوند. همچنین نیاز به نگهدارنده ها و پوشش ورق آلومینیومی و اب بندی آن زمان و هزینه بسیار زیادی را برای عایق کاری ایجاد می کند.

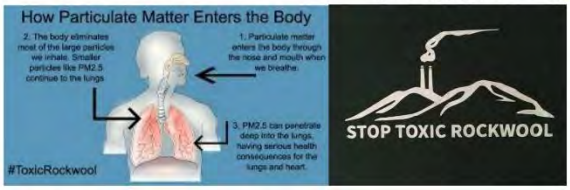


عدم کاهش کارایی پوشش عایق نانو در محیطهای مرطوب و مچاله شدن آنها تحت رطوبت و فشار



عایقهای معدنی رطوبت هوا و باران را جذب کرده و بخش زیادی از حجم و کارایی حرارتی خود را از دست می دهند. پوشش نانو ضخامت اولیه خود را برای چندین سال حفظ می نماید. پوشش روی فلز نانو بر روی آب شناور می شود

زیست سازگار بودن پوشش نانو



رنگهای پایه آبی و هواژلها مواد زیست سازگار بوده و برای محیط زیست و انسان خطری ندارند. عایقهای معدنی انواع آلاینده ها مانند الیاف ریز، مواد آلی، دود و غیره سطح می کنند. حجم بسیار زیاد مورد نیاز از آنها نیز مشکلات دفع زیست محیطی به وجود می آورند.

GO GREEN INSULATION

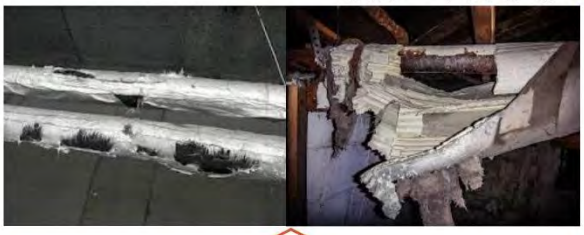
عدم ریزش عایق به مرور زمان همانند عایق‌های معدنی

الیاف عایقهای معدنی رایج توسط پوششهای پلیمری به هم چسبانده می شوند که در اثر حرارت، رطوبت و زمان از بین رفته و به تدریج گرانش زمین سبب ریزش و خالی شدن سطح عایق کاری شده می شود. پوشش عایق نانو بیش از ۱۰ سال همانند روز اول کارایی خود را حفظ می نماید. چسبندگی رنگ، سبکی هواژل، مقاومت در برابر رطوبت و نور، جلوگیری از انتقال حرارت در پوشش از جمله عوامل طول عمر زیاد پوشش نانو هستند.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

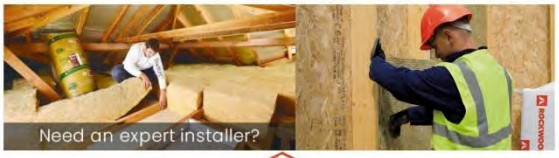
نانوعایقهای حرارتی هواژل

طول عمر بسیار بالا با حفظ کارایی اولیه



جلوگیری کامل از خوردگی زیر سطح عایق ناشی از جذب رطوبت و کندانس شدن

عدم نیاز به ابزار یا متخصص در نصب پوشش عایق



چسبندگی بسیار بالای پوشش نانو به سطوح مختلف و کاهش هزینه های نصب

قابلیت مشاهده وضعیت ظاهری لوله ها با پوشش عایق نانو

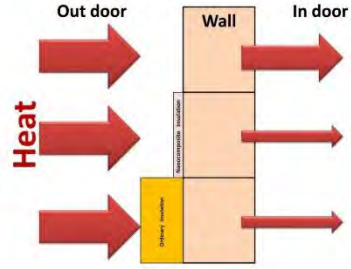
قابلیت عایق کاری سطوح بسیار پیچیده و غیر قابل عایق کاری با عایقهای رایج

ضریب نفوذ حرارت بسیار پایین پوشش عایق نانو مانع سوختگی در اثر تماس با سطوح داغ

ضریب نفوذ پایین عایق سبب می شود حدود ۱۰ ثانیه طول بکشد تا دمای واقعی سطح توسط پوست حس شود به عبارت دیگر عایق معمولی با دمای بیرونی ۱۰۰ درجه سلسیوس دست را به محض تماس می سوزاند اما عایق نانو ۱۰ ثانیه طول می کشد تا دمای ۱۰۰ را حس کنیم و فرصت برداشتن دست از سطح داغ وجود دارد

$$\alpha = \frac{heat\ conducted}{heat\ stored} = \frac{k}{\rho c_p}$$

where
k is the materials conductivity [W.m⁻¹.K⁻¹]
ρ is the density [e.g.m⁻³]
c_p is the specific heat capacity [J.kg⁻¹.K⁻¹]



بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

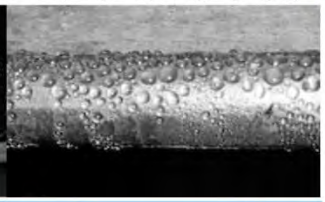
قابلیت تعمیر بسیار سریع و کم هزینه عایق رنگ حرارتی

پوشش نانو دارای طول عمر بسیار بالایی بوده و تعمیر تنها بخش تخریب شده پوشش کافی است.

وزن بسیار کم رنگ عایق حرارتی بر روی سازه ها

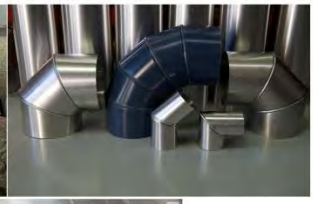
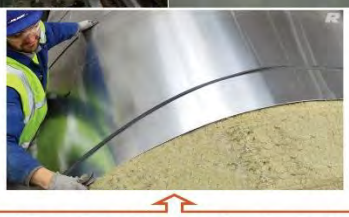
ضریب رسانایی حرارتی پایین پوشش نانو سبب می شود وزن نهایی پوشش کاملا قابل اغماض در مقایسه با سایر عایقهای رایج باشد. همچنین عدم نیاز به نگهدارنده وزن نهایی روی سطح عایق کاری شده را کاهش می دهد.

افزایش دمای سطح به بالاتر از دمای شبنم محیط جهت جلوگیری از میعان رطوبت هوا



میعان مایع بر روی عایقهای رایج سبب نفوذ مایع به داخل عایق و تخریب عایق و خوردگی زیر سطح می شود. قطرات مایع ممکن است بر روی سطوح و مواد مختلف ریخته و مشکلاتی به وجود آورند.

عدم نیاز به کلدینگ عایق و صرفه جویی در هزینه و زمان بسیار بالای کلدینگ

قابلیت عایق کاری سطوح بسیار پیچیده و غیر قابل عایق کاری با عایقهای رایج

پیوست ۲: مزایای استفاده از نانوعایق هواژل در سوله‌های صنعتی و غیر صنعتی

سوله های صنعتی دارای دیوارهای بلندی هستند که به جز درصد بسیار جزئی، اصلا عایق نمی شوند. استفاده از عایقهای سنتی مانند پشم سنگ در دیوارهای عمودی غیر ممکن بوده و مساحت دیوارها تقریبا به اندازه سقف سوله می باشد. در بخشهایی از دیوارها نیز برای کاهش هزینه از ورق فلزی خالی به جای آجر چینی استفاده می شود که اتلاف انرژی را چند برابر افزایش می دهد. نانوعایق هواژل به راحتی می تواند از قسمت داخلی و یا بیرونی دیوارها در ضخامت یک میلیمتر و کمتر اجرا شده و بیش از ۷۰ درصد سبب کاهش اتلاف انرژی و رفاه کارکنان داخل سوله گردد.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

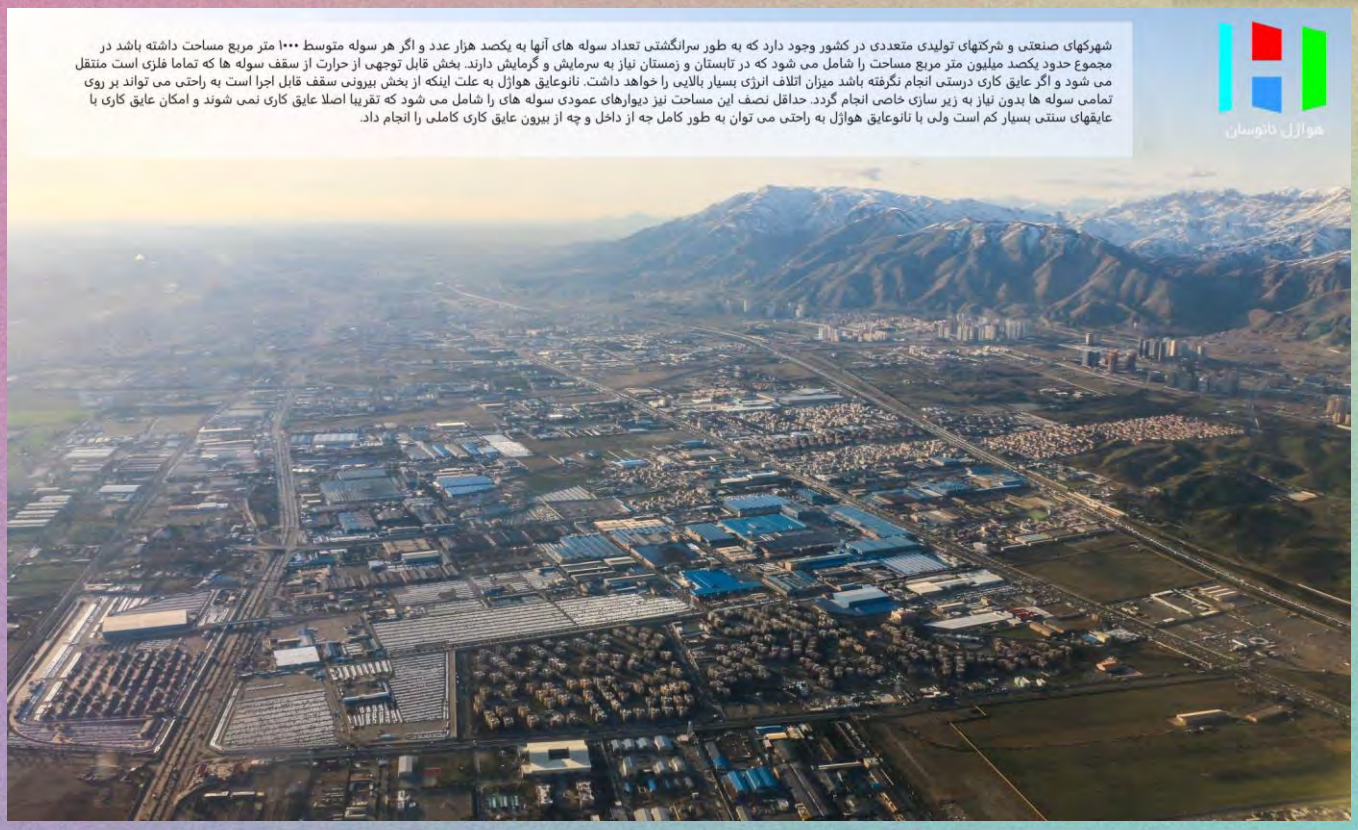
سقف سوله ای که از عایق فوم پلیمری در آن استفاده شده است. عایقها در مدت کوتاهی دچار شکستگی و ریزش از محل نصب شده اند. گرمای سقف فلزی در تابستان و سرما در زمستان سبب شوک حرارتی و انقباض و انبساط شده و عایق های پلیمری خواص خود را از دست می دهند. درزهای بزرگ در این سوله عملا عملکرد کل عایق را از بین برده و در زمستان بارش میعانات بخار همانند باران در داخل سوله ایجاد می شوند. اتلاف انرژی برای تامین گرما و دمای لازم چندین برابر افزایش می یابد. خوردگی فلزات نیز تسریع می شوند. عایق هواژل خاصیت ارتجاعی داشته و کاملا شوک پذیر بوده و طول عمر بسیار بالایی دارد.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

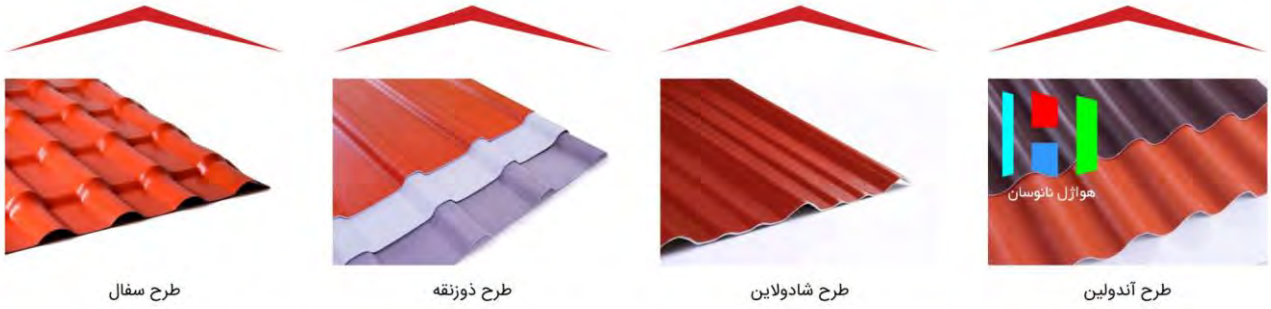
نانوعایقهای حرارتی هواژل



بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

پوشش سقف صنعتی - پوشش سقف و دیوار سوله



طرح آندولین | طرح شادولاین | طرح ذوزنقه | طرح سفال

ورقهای فلزی سقف سوله ها عمدتا حالت موج دار هستند که عایق کاری با پشم سنگ، پشم شیشه، فومهای الاستومری و غیره امکان پوشش دهی کامل و بدون درز را از بین می برد و جابجایی هوا به راحتی سبب انتقال حرارت می گردد. رطوبت و آب نیز به راحتی می تواند در این عایقها نفوذ کرده و اتلاف انرژی مضاعفی ایجاد کند. نانوعایق هواژل پاششی تمام سطح را پوشانده و در ضخامت حدود یک میلیمتر و کمتر اجرا می شود. عایق هواژل می تواند به جای رنگهای معمولی به صورت پیش ساخته روی ورق فلزی اجرا شده و عملیات نصب و اجرای سقف سوله را تسریع کند. هزینه تمام شده در ازای طول عمر بالای عایق بسیار کم خواهد بود.

ریزش کامل عایق، آویزان شدن، ترک و شکستگی، تاب برداشتن، ریزش الیاف مضر، درزهای متعدد، جذب آب و خوردگی، عدم نصب روی پلهای حرارتی متعدد در سقف، طول عمر کم، عدم قابلیت نصب از بیرون سقف، عدم تاثیر در جذب تابش خورشید و گرمایش سقف و ... سبب شده است تا اتلاف انرژی بسیار زیادی در سوله های صنعتی بزرگ و کوچک اتفاق بیافتد.

نانو عایق هواژل به راحتی از داخل و از بیرون سقف در ضخامت نیم الی یک میلیمتر با طول عمر بالا اجرا شده و بیش از ۷۰ درصد اتلاف انرژی را کاهش می دهد. اجرای راحت هم در سوله های ساخته شده و هم برای سوله های نو

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

سوله های قوسی یو بی ام به خاطر مزایایی که دارند امروزه مورد توجه و استفاده بیشتری قرار گرفته اند. به خاطر فرم فلز این سوله ها امکان عایق کاری با عایق سنتی بسیار سخت بوده و استفاده از نانوعایق هواژل می تواند مزایای متعددی ایجاد نماید. گرانش در کناره های سوله شدید بوده و عایقهای سنتی مانند پشم سنگ به سمت پایین سر خواهند خورد. نانوعایق هواژل با چسبندگی عالی تمامی درزها و ساختار دندانه ای سوله را پوشش می دهد و عایق حرارتی رطوبتی و صوتی قوی ایجاد می کند. عایقهای هواژل کلاس A حریق را داشته و ایمن می باشند.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

سقف سوله ها و تجهیزات در صنایع غذایی امکان عایق کاری با بسیاری از عایقهای سنتی را به خاطر سلامت ندارند و در موارد زیادی بدون عایق استفاده می شوند و هزینه گاز برای این صنایع بسیار ارزان است

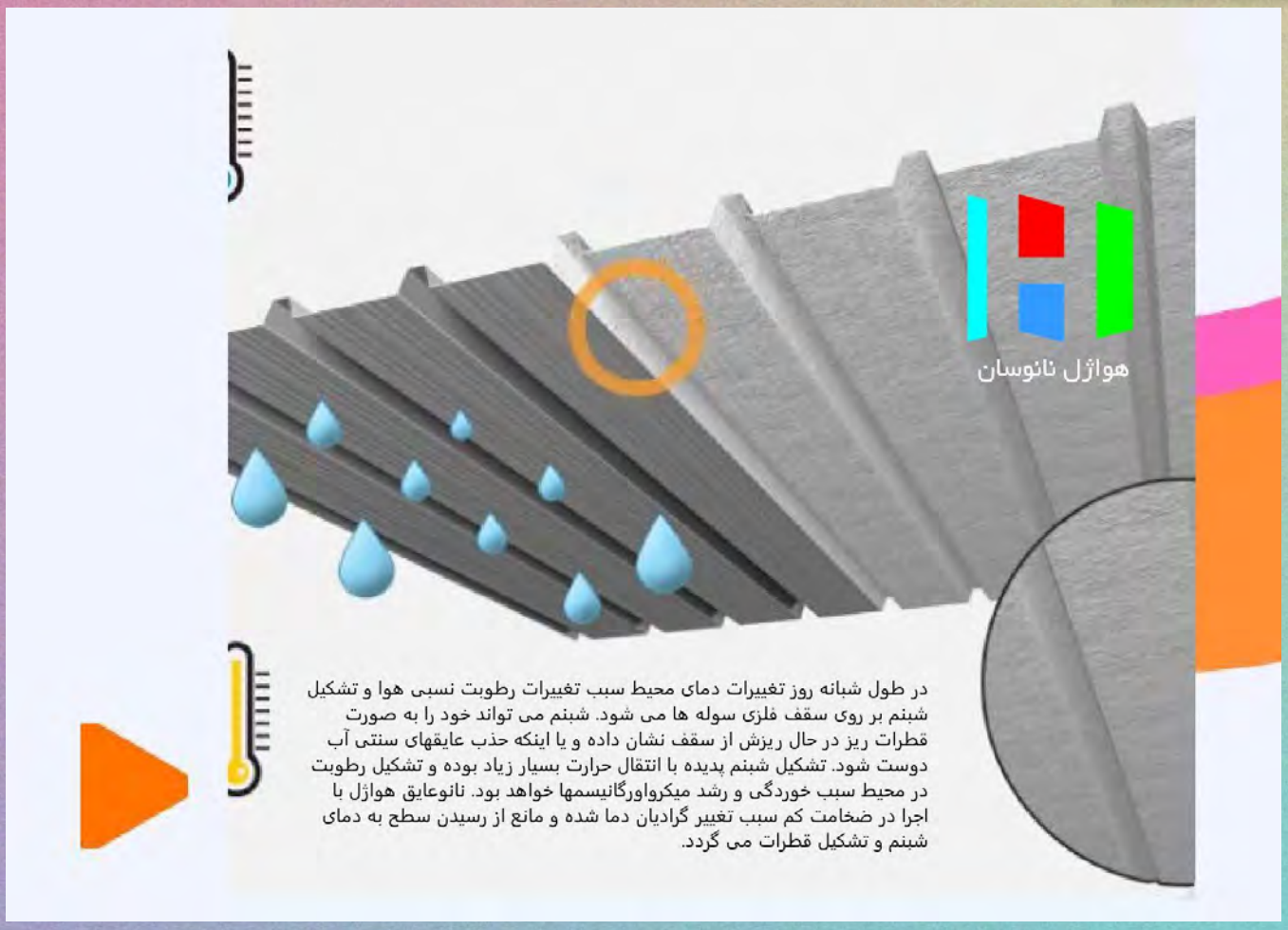
نانو عایق هواژل پاششی پایه آب و زیست سازگار بهترین گزینه برای تجهیزات و سوله های صنایع غذایی بوده و با توجه به تعدد و وسعت کارخانه های صنایع غذایی تاثیر به سزایی در کاهش مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد.

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

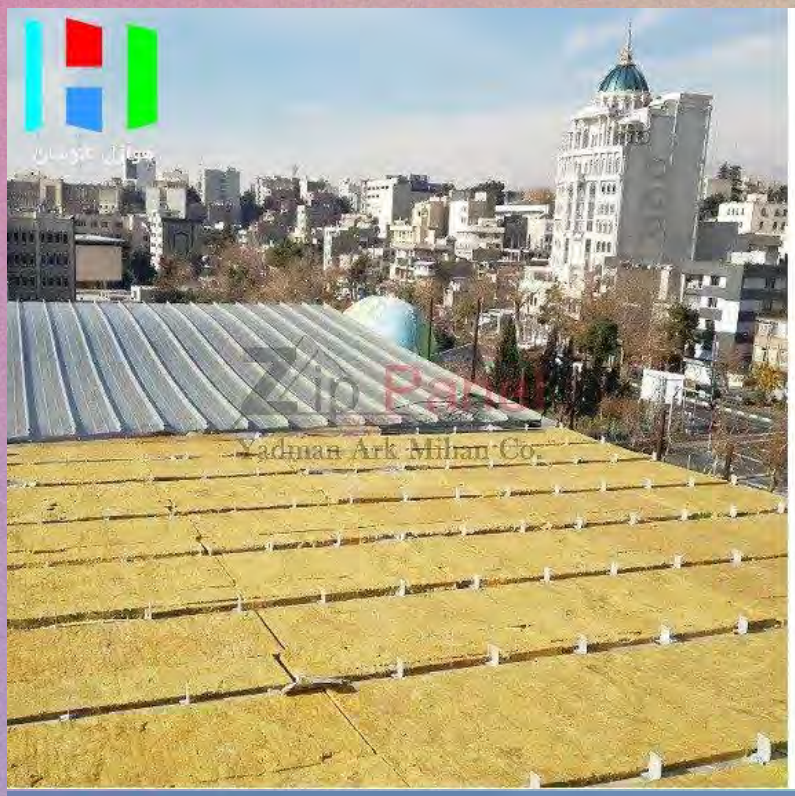
بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل



بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل



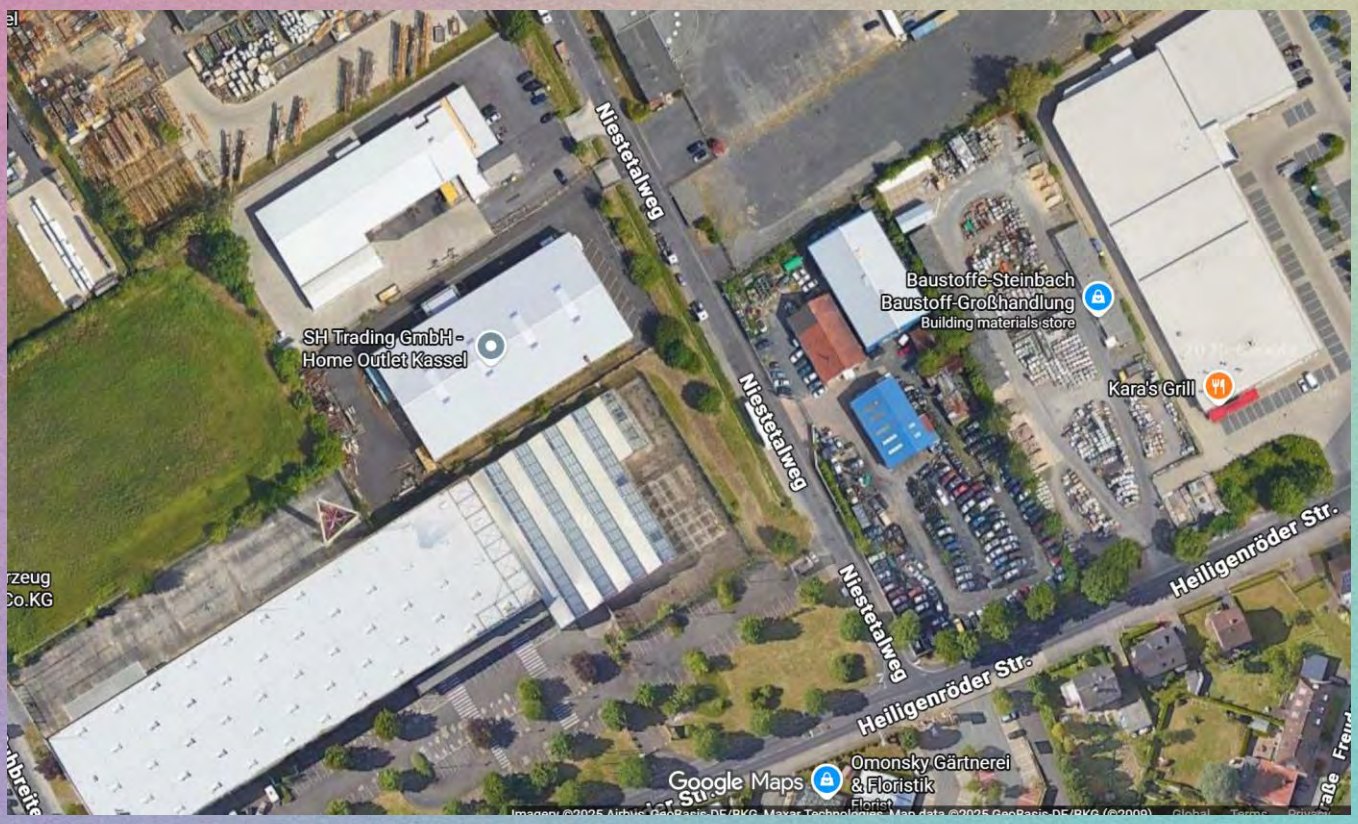
بزرگترین دشمن عایقهای سنتی جذب رطوبت و آب می باشد. رطوبت علاوه بر تخریب خود عایق و از بین بردن خواص آن، سبب اتلاف انرژی بسیار بالا و خوردگی تجهیزات فلزی می شود.
رطوبت از طریق میعان در شبانه روز، بارش باران و برف و عوامل دیگر به عایق رسیده و اثرات منفی خود را ایجاد می کند. علاوه بر این عایقهای سنتی دارای مواد شیمیایی قابل حل در آب و خورنده می باشند که با جذب آب آزاد شده و خوردگی را تسریع می کنند.
عایق هواژل کاملا ضد آب بوده و در برابر تابش خورشید نیز مقاوم است. ماده نانومتخلخل آیروژل موجود در عایق قویترین عایق حرارت دنیا بوده و ضخامت یک میلیمتر از آن می تواند معادل ۵ سانتیمتر از پشم سنگ عمل کند در حالی که طول عمر بسیار بیشتری دارد.

پلهای حرارتی متعدد، بزرگ، از جنس فلز بسیار رسانای حرارت در سوله ها وجود دارند که عایق کاری سنتی نقص در جلوگیری از اتلاف انرژی آنها ندارد. نانوعایق هواژل به راحتی بر روی تمام پلهای حرارتی فلزی اجرا شده و مانع از اتلاف انرژی می شود.

پیوست ۳: محصولات خارجی مشابه هواژل و کاربردهای آنها

سقف رنگ شده ساختمانهای عمان

نمای ساختمانهای عمان، استفاده از رنگ و عایق آیروژل روشن



سقف سوله‌های آلمان

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

برخی از برندهای عایق حرارت مایع حاوی آیروژل سیلیکایی **نانومتخلخل**، در همه موارد آیروژل از سایر شرکتها خریداری می گردد • روند رو به رشد و افزایش تصاعدی برندهای تولید عایق مایع حاوی آیروژل نشان دهنده عملکرد عالی و استقبال مصرف کنندگان می باشد.	
	Aerolon 971 از شرکت **Tnemec** آمریکا
	Rova Shield کره جنوبی
	Aeropan ایتالیا
	Aeromirum انگلستان

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

	Aeropaint کره جنوبی
	Hipin ژاپن
	Nanotech از شرکت **Barozzi** ایتالیا
	Sino Aerogel چین
	Aerogaurd

نانوعایقهای حرارتی هواژل

	Anexa
	OPKE
	Aerocoat

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

	iemme
	JIT Aerogel
	Gomin

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

	Silic8 AeroGel **از شرکت** **Lime Green** **انگلستان**
	Tinkom **چین**
	Line coat **تایلند**
	Fixit 222 **پلاستر (گچ و سیمان)** **حاوی آیروژل**

بهای انرژی را می توانید بپردازید، امّا بهای هدر رفت را هرگز

نانوعایقهای حرارتی هواژل

	AG12CB Aerogel Insulation Coating