

معرفی و استفاده از عایق حرارتی و صوتی ایروژل در ساختمان جهت کاهش انرژی

مهرنوش قدسی

استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد هشتگرد، البرز

محمد خدري

دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز

رامتین قهرمانی

دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز

چکیده

رشد جمعیت و بالا رفتن سطح زندگی در ایران سبب شده تقاضا برای انرژی در بخش ساختمان افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، اثرات مخرب مصرف بیرویه سوخت‌های تجدیدناپذیر و کم‌توجهی به مفهوم پایداری، صدمات قابل توجه‌ای را به محیط زیست وارد کرده است. جلوگیری از اتلاف انرژی یکی از چالش‌های پیشرو برای بهبود سطح کیفیت زندگی است. در دو دهه اخیر یکی از مواد بسیار پرکاربرد ساخته شده با تکنولوژی نانو ماده‌ای به نام ایروژل است. ایروژل یک ماده متخلخل بسیار سبک و نورگذران می باشد که با استفاده از تکنولوژی خاصی با جداسازی فاز مایع ژل از فاز جامد آن و جایگزینی آن با هوا ساخته می شود. این تکنولوژی امروزه در صنعت ساختمان برای کاهش اتلاف انرژی کاربرد بسزایی دارد در پژوهش حاضر با استفاده از این تکنولوژی آزمایشی بر روی یک دیوار انجام شده که نتایج بدست آمده بیان گر این می باشد که هم در عایق صوت و هم در عایق حرارتی این نانو تکنولوژی از کیفیت بهتری نسبت به عایق‌های موجود در حوضه ساختمان بهره برده است.

واژگان کلیدی: ایروژل، ابرعایق، عایق صوتی، عایق حرارتی، خواص مکانیکی، شیمیایی

مقدمه

جلو گیری از اتلاف انرژی یکی از چالش های پیشرو برای بهبود سطح کیفیت زندگی است. امروزه آبر عایق های چند لایه (Multilayer Super Insulator) در انواع مختلف، با توجه به نوع ساخت و مواد به کار رفته در آن، کاربردهای فراوانی دارند. در دو دهه اخیر یکی از مواد بسیار پرکاربرد ساخته شده با تکنولوژی نانو ماده ای به نام ایروژل است. ایروژل یک ماده متخلخل بسیار سبک و نورگذران می باشد که با استفاده از تکنولوژی خاصی با جداسازی فاز مایع ژل از فاز جامد آن و جایگزینی آن با هوا ساخته می شود. ماده ای که به این روش ساخته می شود دارای چگالی و انتقال حرارت بسیار کم بوده و با توجه به شکل ظاهریش به اسم هایی همچون دود یخ زده یا دود جامد نیز خوانده می شود. این ماده به عنوان سبکترین ماده جامد ساخته شده توسط بشر در کتاب رکوردهای جهانی گینس ثبت شده است (Guinness, 2002) در این تحقیق ابتدا به معرفی و بیان ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی و ساخت ایروژل و مشتقات آن پرداخته شده و سپس کاربردهای آن در صنعت ساختمان تشریح می گردد. تاریخچه ساخت ایروژل ها به سال ۱۹۳۲ برمی گردد زمانیکه برای اولین بار کیستلر ژل هایی را کشف کرد که در آن ها بدون تخریب شبکه جامد ژل، مایع جایگزین یک گاز شده بود. این دانشمند از روش خشک کردن فوق بحرانی برای خشک کردن ژل استفاده کرد. در این روش، مایعی که ژل را بارور می کرد، بعد از تبدیل شدن به سیال فوق بحرانی، خارج می شد. در عمل، خشک کردن فوق بحرانی به معنی گرم کردن یک ژل در اتوکلاو است تا زمانی که دما و فشار آن، به دما و فشار بحرانی (tc, pc) مایع موجود در حفرات ژل برسد. به طور کلی می توان گفت ایروژل ها، ژل های خشک و سبکی با حجم حفره بسیار زیاد می باشند. البته میزان این ویژگی به ماهیت جامد بستگی دارد. گاهی حجم نسبی حفره، به ۹۰ درصد نیز می رسد (Silica Aerogels). طبقه بندی براساس ترکیب آن ها از این نظر ایروژل ها به دو نوع اصلی تقسیم می شوند:

- ایروژل های تک جزئی و کامپوزیت ایروژل ها.
 - ایروژل های تک جزئی شامل: ایروژل های غیر آلی و آلی و سنتزی هستند.
 - کامپوزیت های ایروژل-فاز آلی به دو دسته تقسیم می شوند:
- ۱- ایروژل های کامپوزیت هیبرید که در آن گروه های آلی و اسکلت ایروژل به طور کلی مستقل هستند و کامپوزیت حاصل شامل برهم کنش ضعیف مانند نیروی واندروالسی، نیروی الکتروستاتیکی یا پیوند هیدروژنی است.
 - ۲- ایروژل های کامپوزیت هیبرید که در آن پیوند بین سطحی میان فاز آلی و جزء غیر آلی، پیوند کووالانسی است (Salimian, 2017).
- نکته: دلیل اصلی ترکیب ایروژل ها با گروه های آلی، اصلاح خواص ایروژل ها با حفظ خواص مثبت آن ها است.

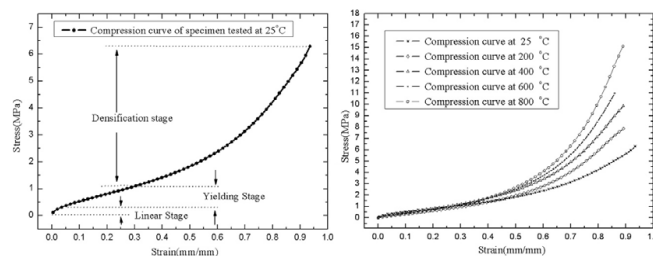
خصوصیات شیمیایی و فیزیکی ایروژل ها

به دلیل داشتن حفرات بسیار ریز با قطر نانویی، بسیار سبک وزن بوده و نسبت سطح داخلی به وزن آنها بسیار بالا است و در صورتیکه به لحاظ شیمیایی ماده فعالی باشند (مثلا خاصیت آبدوستی داشته باشند) می توانند بسیار فعال عمل نمایند و در صورتیکه در تولید یک ایروژل استفاده از خواص فیزیکی مد نظر باشد در طی ساخت با اعمال تغییراتی در ساختار شیمیایی، فعالیت آن را به حداقل می رسانند (مثلا آبریز می کنند). به دلیل داشتن چگالی بسیار کم و همچنین داشتن مسیرهای بسیار پیچ در پیچ برای حرکت هوا در حفرات موجود بین قسمت جامد، ایروژل ها عملا سه روش اصلی انتقال حرارت یعنی رسانایی، همرفت و تابش را تا حد قابل صرف نظر از بین برده و مواد ابرعایق حرارتی هستند. با این حال خود این ماده در مقابل

گرمای بسیار مقاوم بوده و تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد هیچ تغییری در ساختار آن مشاهده نمی شود. سرعت انتشار موج در این ماده بسیار کند و تنها حدود ۱۰۰ متر بر ثانیه است لذا این ماده از مواد آکوستیک خیلی خوب محسوب می شود. (Silica Aerogels) همچنین ایزوژل ها نور را براحتی از خود عبور می دهند. در کل به خاطر سه خاصیت ابرعایق حرارتی بودن و مقاوم بودن در برابر حرارت، انتقال نور و شفاف بودن و خواص آکوستیک داشتن، ایزوژل ها در حال تبدیل شدن به یکی از مواد بسیار پرکاربرد در صنعت ساختمان هستند. ایزوژل های خالص در صورت شکستن، گویی که کلا ناپدید می شوند، چرا که حدود ۹۵ درصد حجم آنها هوا بوده و ۵ درصد قسمت جامد (Silica Aerogels).

خصوصیات مکانیکی ایزوژل ها و مواد کامپوزیت مشتق از آنها

از لحاظ خصوصیات مکانیکی، ایزوژل های خالص با اینکه توانایی حمل بار حتی تا بیش از هزار برابر وزن خود را براحتی دارند ولی همانند شیشه بخاطر ساختار خاصشان بسیار شکننده می باشند. از تحقیقات مهم در زمینه مسلح سازی ایزوژل، می توان به کارهای آقای یانگ و همکاران (Xiaoguang, 2011) در این مورد اشاره کرد که شامل آزمایشات فشاری و آزمایشات آسایش تنش بر روی ایزوژل مسلح شده با فیبری از نوع سرامیک معدنی به میزان ۷ درصد وزنی در دماهای مختلف می باشد. بخاطر ماهیت مواد کامپوزیت ایزوژل و مقاومت کم آنها دقت ویژه ای در جهت اندازه گیری دقیق مقدار تنش و تغییر مکان در آزمایشات آنها لازم است. در شکل ۱ منحنی تنش- کرنش غیرخطی تیپیک برای یک نمونه ایزوژل مسلح شده با فیبر که توسط گائو ۴ مورد بررسی قرار گرفته، و همچنین منحنی تنش- کرنش برای ایزوژل مسلح در دماهای مختلف نشان داده شده است



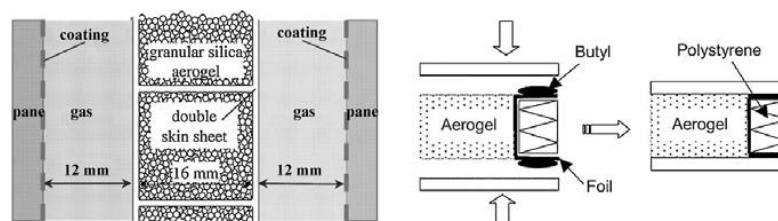
شکل ۱- منحنی تنش-کرنش تیپیک ایزوژل مسلح و منحنی تنش-کرنش در دماهای مختلف (Xiaoguang, 2011)

با توجه به خواص نورگذرانی، عایق حرارتی فوق العاده و آکوستیک بودن، استفاده از ایزوژل در مهندسی عمران و بخصوص در بخش ساختمان سازی بسیار وسوسه انگیز و مورد توجه محققان و مهندسين عمران در سال های اخیر بوده است. از طرف دیگر با توجه به مصرف حدود ۴۰ درصد انرژی تولیدی در بخش ساختمان، عزم جدی در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان وجود دارد و با کاربرد این مواد و روش های موثر می توان تا ۸۰ درصد مصرف انرژی در این بخش را کاهش داد. ساخت پنجره ها و عایق تاسیسات ساختمانی. با توجه به خواص عایق حرارتی فوق العاده و عبور دادن مقدار بالای نور خورشید، استفاده از سیلیکا ایزوژل در ساخت پانل های پنجره ها به شدت مورد توجه قرار گرفته است. از ایزوژل ها هم به صورت شیشه های مات و هم شفاف می توان در ساخت پنجره ها استفاده نمود (C. Buratti, 2012). همچنین، شیشه های ایزوژلی برای ساخت سقف و نمای فضاهای عمومی، سالن کنفرانس ها، ساختمان های مسکونی و تجاری، استخرهای سرپوشیده و... به کار گرفته می شوند. می توان گفت که با ورود محصولات ایزوژلی به صنعت ساختمان، افق جدیدی در راه مهندسين معمار جهت طراحی نور، فرم و فضا در علم معماری ایجاد شده است. برای نمونه، در شکل زیر از کاربرد ایزوژل در

سقف یک داروخانه در سوئیس نشان داده شده است (Saffa,2013). ایروژل ها به دو صورت یکپارچه و دانه ای در ساخت پنجره ها به کار می روند، که نوع یکپارچه آن برای ساخت پنجره های شفاف و نوع دانه ای برای ساخت پنجره های مات به کار می رود (Ruben Baetens,2011).



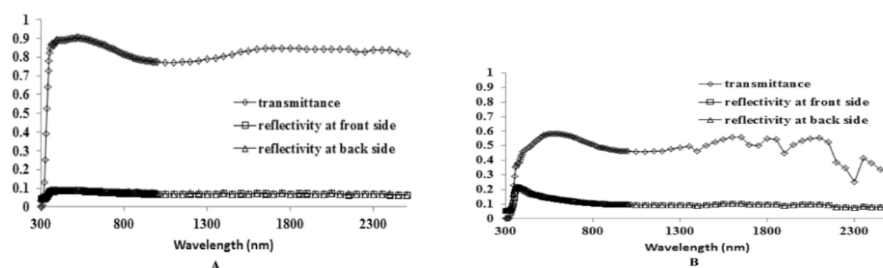
شکل 2- کاربرد پنجره با شیشه ایروژلی مات در سقف یک داروخانه در سوئیس (Saffa B. Riffat, Guoquan,2013).



شکل 3- کاربرد ایروژل به صورت یکپارچه و دانه ای در ساخت پنجره ها (Ruben,2011)

تاثیر مواد آئروژل در انتقال نور

عایق نانوژل در شیشه به مقدار اندکی انتقال نور مرئی را کاهش می دهد. هوانگ و نیو (Huang,2015)، در پژوهشی به مقایسه شیشه با عایق نانوژل و شیشه معمولی در انتقال نور از شیشه و میزان انعکاس در دو طرف شیشه پرداختند که در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق این شکل، استفاده از عایق نانوژل، حدود ۳۵٪ انتقال نور را کاهش می دهد که بر کاهش بهره خورشیدی موثر است و باعث کاهش بار سرمایش می شود. بوراتی و مورتی (Buratti,2012)، در پژوهشی تجربی نشان دادند که میزان کاهش نور توسط شیشه با عایق نانوژل، باعث افزایش نرخ روشنایی یا گرمایش نمی گردد و برای استفاده در ساختمان بسیار مناسب است.



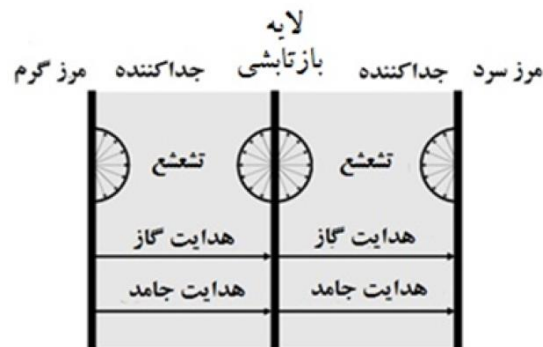
شکل 4- مقایسه میزان انتقال نور، انعکاس نور از طرفین شیشه در دو حالت (A). شیشه بدون عایق نانوژل (B). شیشه با عایق نانوژل (Huang,2015)

کاربرد ابروژل در عایقکاری حرارتی و ابرعایق نووالاک

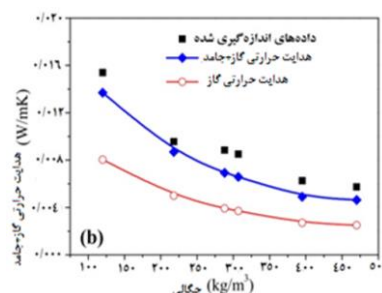
ایروژل نووالاک

ایروژل دارای کمترین ضریب هدایت حرارتی است. معادل هدایت حرارتی گاز هوا 0.021 W/mK است. در ابتدا، با بررسی تاثیر تغییرات چگالی ابروژل نووالاک بر هدایت حرارتی، ابروژل نووالاک با چگالی $0.763/\text{g/cm}^3$ به عنوان بهترین جداکننده در عایق چندلایه انتخاب شد، و در بخش بعدی، نسبت ۲۵ لایه در هر سانتی متر از ضخامت عایق به عنوان بهترین چگالی لایه انتخاب شد. همانطور که در شکل ۵ دیده می شود، سه نوع کلی انتقال حرارت تشعشی، انتقال حرارتی هدایتی گاز و جامد در عایق های چند لایه رخ می دهد (Spinnler, 2004).

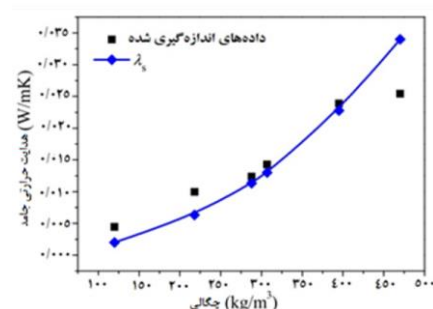
جنس هر لایه بازتابشی از موادی انتخاب می شوند که قابلیت بازتاب بالایی داشته و از عبور فوتون های انرژی در ضخامت عایق جلوگیری کنند. به همین دلیل، لایه های بازتابشی باید به گونه ای انتخاب شوند که علاوه بر بازتاب خوب انرژی تشعشی، مسائل اقتصادی برای آن در نظر گرفته شود. به همین منظور، استفاده از فویل آلومینیوم بسیار رایج است.



شکل ۵- نمایی کلی از انواع انتقال حرارت در عایق چندلایه



شکل ۷- تغییرات هدایت حرارتی گاز و جامد با



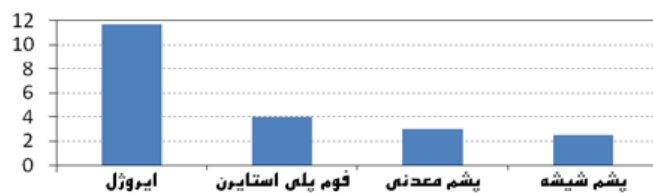
شکل ۶- تغییرات هدایت حرارتی جامد با تغییرات چگالی در ابروژل
تغییرات چگالی

بررسی تاثیر ابروژل نووالاک جداکننده

برای بهبود عملکرد عایق، باید اثر تغییر ساختار ابروژل از نظر تخلخل و چگالی، روی خواص حرارتی جداکننده نانوساختار بررسی شود. به صورت نظری طبق نمودار کیفی شکل ۶، با افزایش چگالی، درصد حجمی از ابروژل، که از مازة جامد تشکیل شده، بیشتر می شود، که بر اثر آن هدایت حرارتی جامد در ابروژل بیشتر خواهد شد. از طرفی با افزایش چگالی و کوچک تر

شدن حفرات، مطابق شکل ۷ هدایت حرارتی گاز درون حفرات و همچنین هدایت حرارتی بین گاز و جامد کاهش خواهد یافت (Spinnler, 2004) چگالی را می توان به نوعی نماینده ساختار کلی ایروژل نووالاک نانو ساختار در نظر گرفت.

در حال حاضر پتوهای ایروژلی بصورت صنعتی در کشورهای آمریکا، استرالیا و چین تولید و فروخته می شوند. در ساخت دیوارها، با نصب یک لایه ایروژل مسلح با فیبر به ضخامت بسیار کم در مقطع دیوار، می توان به مقدار زیادی سیستم عایق ساختمان ها را بهبود بخشید، خصوصا اینکه می توان به راحتی و به سرعت آنرا بصورت یک پوشش خارجی به سطح بیرونی ساختمان های موجود اضافه نمود (Saffa B. Riffat, Guoquan, 2013).



شکل ۸- مقایسه مقادیر ضریب مقاومت حرارتی ایروژل با سایر عایق های حرارتی معمول (Ruben Baetens, 2011).

کاربرد ایروژل به عنوان عایق و جاذب صوتی

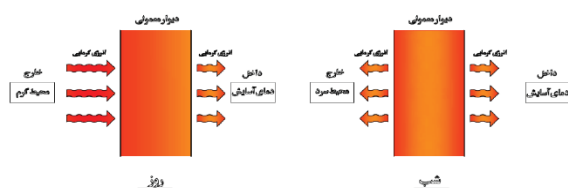
دامنه فرکانس موج های قابل شنیدن توسط انسان از ۲۰ هرتز تا ۲۰۰۰۰ هرتز می باشد. ایروژل ها به دلیل داشتن تخلخل و سطح مخصوص بسیار بالا امواج صوتی را به شدت جذب نموده و ضعیف می نمایند. سرعت صوت در سیلیکا ایروژل می تواند کمتر از ۱۰۰ متر بر ثانیه باشد. خاصیت جذب صوت در ایروژل های مسلح شده به شدت تقویت می شود. بنابراین ایروژل ها وسیله مناسبی جهت کنترل صوت در دفاتر، منازل و استودیوها هستند (Saffa B. Riffat, Guoquan, 2013). یکی از مواردی که به عنوان جاذب و عایق صوت کاربرد دارد سیلیکا ایروژل است. سیلیکا ایروژل رایج ترین نوع ایروژل است. استفاده از این ترکیبات به عنوان یک ماده جامد متخلخل ویژه، به سبب خواص منحصر به فرد از جمله چگالی کم (0.3 g/cm^3) تا $3/0$ ، ضریب عایق حرارتی بسیار پایین (در حد هوا یا کمتر از هوا)، سرعت پایین انتشار صوت در درون آن (100 m/s)، مساحت سطح ویژه بالا (600 تا $1000 \text{ m}^2/\text{g}$) میزان تخلخل بسیار بالا (80 تا 99 درصد) به سرعت رو به رشد است. در مطالعه ای که Du Tran و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام دادند برای اولین بار، پتانسیل عظیم ایروژل های کاه برنج در کاربرد های جذب صدا نیز با ضریب کاهش صوتی بالا ($6/0$) نشان داده شده است. در سال ۲۰۲۰ توانسته اند الیاف لاستیک را از ضایعات لاستیک به دست آورده و آن را به ایروژل لاستیک تبدیل کنند. ایروژل های لاستیکی دارای راندمان جذب صوتی (ضریب کاهش صدا یا NRC برابر 0.56) هستند. این ایروژل های لاستیکی پیشرفته می توانند برای عایق بندی حرارتی و صوتی در کابین ها، وسایل نقلیه، ساختمان ها و هوا فضا استفاده شوند (Thai QB, 2020). Chen و همکاران در سال ۲۰۲۰ در مطالعه ای از ضایعات لوف و الیاف پلی استر سازگار با محیط زیست به عنوان مواد اولیه برای تولید کامپوزیت های جذب صدا فیبر لوف استفاده نمودند.

ردیف	نمونه	اجزاء نمونه
۱	A1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)
۲	A2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (سه لایه)
۳	B1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (یک نانو الیاف)
۴	B2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (دو نانو الیاف)
۵	C1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانو رس (g ۶۰ نانو رس)
۶	C2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانو رس (g ۵۰ نانو رس)
۷	D1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانو الیاف PAN (یک نانو الیاف)، نانو رس (g ۶۰)
۸	D2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانو الیاف PAN (یک نانو الیاف)، نانو رس (g ۵۰)

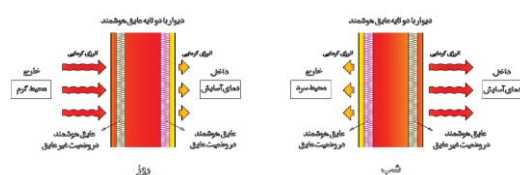
جدول ۱- اجزاء نمونه های سنتز شده

استفاده عایق حرارتی آبروژل در دیوار

یکی از این راه حل ها، بهبود بکارگیری انرژی ساختمان ها به موجب کاهش تلفات گرمایی در دیوارهای خارجی ساختمانی است (Vasco, 2016) در زمینه ساخت دیوارهای خارجی ساختمان ها از لحاظ کاهش تلفات حرارتی و بهره گیری از شرایط اقلیمی، مطالعات و طراحی های ویژه ای صورت پذیرفته است. برای روشن شدن عملکرد ایده هوشمندی پژوهش، رفتار دیوار معمولی در مقایسه با دیوار هوشمند پیشنهادی پژوهش در فصلی سرد در شهر تهران که میتوان اقلیمی نیمه گرم و خشک در نظر گرفت توسط کاوه ایروانی و حیدرجهان بخش در مقاله "اندازه گیری عملکرد حرارتی دیوار خارجی دارای عایق آبروژلی هوشمند" در اواخر آبان تا اوایل آذر ماه سال ۱۳۹۶ (۵.ش) (نوامبر ۲۰۱۷ میلادی) بود، مورد بررسی قرار گرفت. در تصویر ۹ سمت چپ، انرژی گرمایی روز حاصل از تابش خورشید و یا افزایش دمای محیط به دیوار منتقل می شود و این انرژی، به آرامی از دیوار عبور کرده و وارد محیط داخلی می شود و مقداری از این انرژی، در دیوار ذخیره می شود. در قسمت سمت راست تصویر، وضعیت این دیوار در طول شب نمایش داده می شود. در طول شب، انرژی گرمایی ذخیره شده در دیوار معمولی، تقریباً به صورت یکنواخت از دو سمت دیوار خارج می شود و متأسفانه مقدار قابل توجهی از انرژی ذخیره شده در دیوار و داخل سیستم، در طول شب به بیرون انتقال می یابد. حال در تصویر ۱۰، سیستم پیشنهادی این پژوهش، دیوار با دولایه عایق هوشمند در همان شرایط بالا مورد ارزیابی قرار می گیرد. در طول روز در فصل سرد، دیوار طوری عمل می کند که عایق خارجی فاقد خاصیت عایقی و عایق داخلی واجد این خاصیت باشد. بدین ترتیب انرژی محیط در قسمت میانی دیوار ذخیره می شود و مقدار ناچیزی از آن به محیط داخل منتقل می شود.



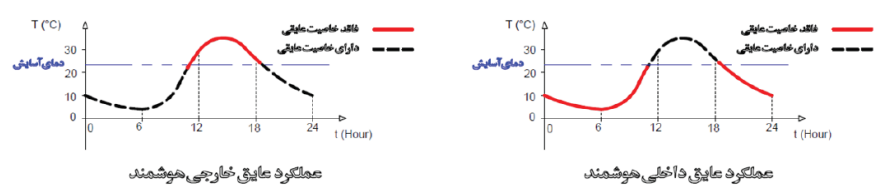
شکل ۹- انتقال گرما در دیوار معمولی در فصل سرد.



شکل ۱۰- انتقال گرما در دیوار با دولایه عایق هوشمند در فصل سرد.

استفاده عایق حرارتی ایروژل در دیوار و مقایسه با دیوار معمولی

در نمودار ۱، طراحی عملکرد دو لایه عایق هوشمند و یا کنترل پذیر نسبت به دمای آسایش در طول شبانه روز به طور تقریبی معرفی می‌شود. به طوری که از نمودارها مشاهده می‌شود، عایق داخلی هوشمند از ساعت کمی قبل از ۱۲ تا اندکی بعد از ساعت ۱۸ دارای خاصیت عایقی است (نمودار ۱ راست)، در این ساعات، دمای محیط بالاتر از دمای آسایش است و در سایر ساعات شبانه روز، این عایق فاقد خاصیت عایقی خواهد بود. در مورد عایق خارجی هوشمند رفتاری عکس عایق هوشمند داخلی در نظر گرفته می‌شود (نمودار ۱ چپ). کمی عدم انطباق نقطه تغییر فاز نمودارها با نقطه تماس خط دمای آسایش، به علت اینرسی حرارتی قسمت اندود خارجی و داخلی دیوار در نظر گرفته شده است.



بحث و نتیجه‌گیری

اتاقک آزمون دارای دیوار جنوبی با عایق آیروژلی هوشمند" با در نظر داشتن تمام شرایط آزمون نسبت به "اتاقک آزمون مشابه اما فاقد عایق" (شبیه به دیوار ترومب بومی) در طول ۲۴ ساعت $9/0 \pm 8/28$ کیلو ژول انرژی بیشتری را به داخل اتاقک آزمون انتقال می‌دهد. دیوار دارای عایق آیروژلی هوشمند، در مقایسه با دیوار ترومب بومی دارای عملکرد حرارتی بهتری است. "دیوار دارای عایق آیروژلی هوشمند نسبت به دیوار معمولی، بیش از $2/7$ برابر در کاهش تلفات حرارتی تاثیرگذار است. و از لحاظ آکوستیکی از بین همه نمونه‌ها، نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های میانی و پایین جذب صوت بهتری نشان می‌دهد. ضریب جذب صوت نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۲۰۰۰ Hz به ترتیب برابر با ۰/۲۷، ۰/۳۸، ۰/۵۱، ۰/۷۸، ۰/۸۳، ۰/۸۴ است. به همین دلیل به عنوان نمونه بهینه در این تحقیق در نظر گرفته شده است. مقایسه نتایج مقادیر انتقال هشت نوع نانوکامپوزیت در فرکانس‌های ۸۰-۶۳۰۰ Hz با ضخامت ۲ cm نشان داد که مقدار افت انتقال صوت برای نانوکامپوزیت D1 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها در فرکانس‌های میانی و پایین بالاتر است.

- منابع انتهایی مقاله:

- "Guinness Records Names JPL's Aerogel World's Lightest Solid". NASA. Jet Propulsion Laboratory. 2002-05-07.
- M. A. Aegerter, Aerogels Handbook, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, ISBN 978-4419-7477-8, 2011
- Silica Aerogels", Lawrence Berkeley Laboratories: Microstructured Materials Group.
- Xiaoguang Yang, Yantao Sun, Duoqi Shi, Jinlong Liu, (2011), "Experimental investigation on mechanical properties of a fiber-reinforced silica aerogel composite", Materials Science and Engineering A 528, pp. 4830-4836
- www.taasi.com/apps.htm.
- C. Buratti, E. Moretti, (2012), "Glazing systems with silica aerogel for energy savings in buildings", Applied Energy, (98), pp. 396-403.
- Saffa B. Riffat and Guoquan Qiu, (2013), "A review of state-of-the art aerogel applications in buildings",

International Journal of Low-Carbon Technologies, (8), pp. 1–6.

Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle , Arild Gustavsen, (2011), “Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review”, Energy and Buildings, (43) pp. 761–769.

Huang Y, Niu J (2015) Application of super-insulating translucent silica aerogel glazing system on commercial building envelope of humid subtropical climates – Impact on space cooling load. Energy 83: 316-325.

Buratti C, Moretti E (2012) Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems. Appl Energy 97: 430-437.

Thai QB, Chong RO, Nguyen PT, Le DK, Le PK, Phan-Thien N, et al. Recycling of waste tire fibers into advanced aerogels for thermal insulation and sound absorption applications. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020;8(5):104279.

Vasco, D. A; Mejias, M.M & Aguilera, R. O (2016), Thermal simulation of a social dwelling in Chile: Effect of the thermal zone and the temperature- dependent thermos physical properties of light envelope materials , Applied Thermal Engineering , volume 112 , pp.771-783.

Spinnler M., Winter E.F. and Viskanta R., Studies on High-Temperature Multilayer Thermal Insulations, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47, 1305–1312, 2004.

Salimian S., Zadhoush A., Naeimirad M., Kotek R., and Ramakrishna S., A Review on Aerogel: 3D Nanoporous Structured Fillers in Polymer-based Nanocomposites, *Polym. Compos.*, **39**, 3383-3408, 2017.

Introducing and using airgel thermal and sound insulation in buildings to reduce energy

Mehrnoosh Qhdsii

Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Hashtgerd branch, Alborz

Mohammad khedri

Master of Architecture student, Islamic Azad University, Karaj branch, Alborz

Ramtin ghahremani

Master of Architecture student, Islamic Azad University, Karaj branch, Alborz

Abstract

Population growth and rising living standards in Iran have caused a considerable increase in the demand for energy in the building sector, the destructive effects of excessive consumption of non-renewable fuels and lack of attention to the concept of sustainability have caused significant damage to the environment. Preventing energy waste is one of the It is one of the leading challenges to improve the quality of life. In the last two decades, one of the most widely used materials made with nanotechnology is a material called airgel. Aerogel is a very light and transparent porous material that is made using a special technology by separating the liquid phase of the gel from its solid phase and replacing it with air. Today, this technology is very useful in the construction industry to reduce energy loss. In the current research, an experiment was carried out using this technology on a wall, and the results obtained indicate that both in sound insulation and in thermal insulation, this nano technology of Better quality compared to the existing insulation in the building area.

Keywords: Airlgel, Multilayer Super Insulator, sound insulation, thermal insulation, mechanical and chemical properties