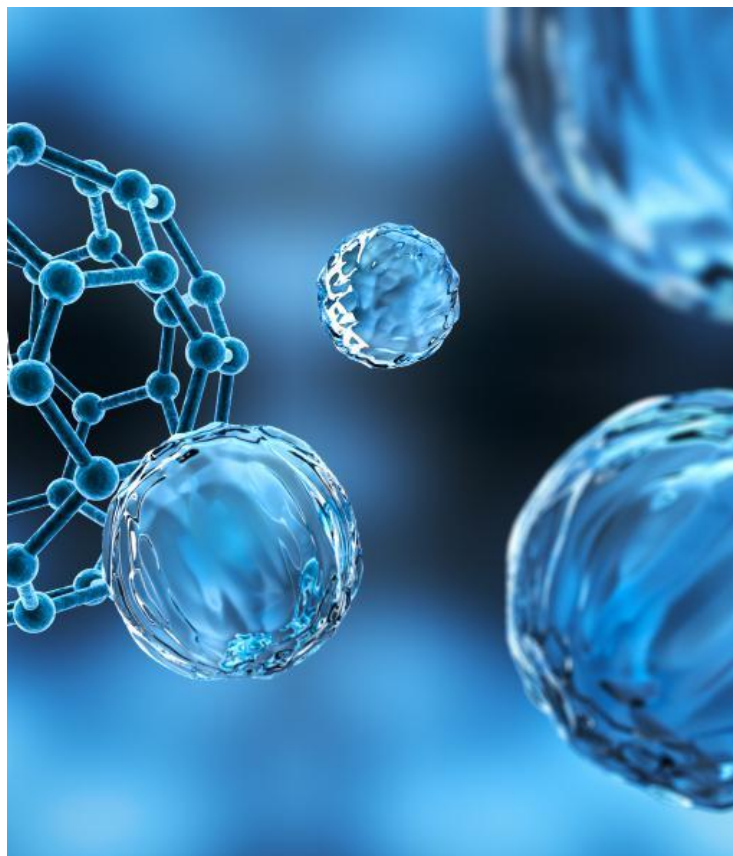


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

معرفی و مروری بر عایق های گرمایی نانو



مقدمه

زندگی بشر، از ابتدای وجود تاکنون به ماده و انرژی وابسته است. یکی از مهمترین انرژیها، انرژی حرارتی است و بایستی از اتلاف آن جلوگیری نمود. در حقیقت جلوگیری از هدر رفتن انرژی حرارتی، نه تنها موجب صرفه جویی در انرژی و هزینه میگردد، بلکه زمینه های ایمنی و آسایش را نیز فراهم میسازد که برای این مهم میتوان از عایقهای حرارتی استفاده نمود.

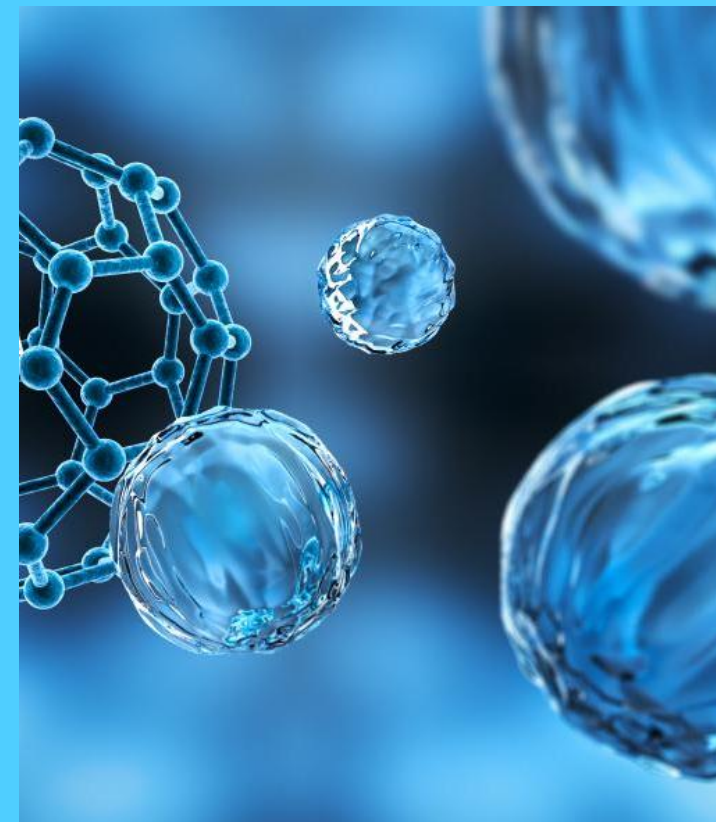


به طور کلی، عملکرد عایقها به صورت ذخیره ی انرژی، کنترل انتقال گرما، کنترل درجه ی حرارت، حفاظت در برابر سوختگی و کنترل آتش است.

عایقکاری دیوارها و سقف و نیز عایقکاری حرارتی تأسیسات ساختمان، کمتر از 5 درصد سبب افزایش هزینه های ساختمان در این قسمت میشود؛ ولی از طرف دیگر، موجب کاهش حداقل 40 درصدی هزینه های سرمایش و گرمایش میگردد. در هنگام انتخاب عایق، توجه به برخی نکات حائز اهمیت است که از جمله ی آن میتوان به **مقاومت حرارتی در طولانی مدت، استحکام فیزیکی، استحکام در برابر فشردگی و مقاومت در برابر خوردگی و خطرات آتش سوزی و انفجار** اشاره نمود.



عایقهای حرارتی با توجه به مواد پایه‌ی تشکیل دهنده‌ی آنها، تنوع بالایی دارند و شامل عایقهای پایه معدنی، پایه شیمیایی، پایه گیاهی، عایقهای مرکب، عایقهای مصالح ساختمانی و عایقهای مدرن هستند. امروزه، **عایقهای حرارتی مدرن** با استفاده از تکنیکهای مختلف و افزودن مواد شیمیایی به منظور ارتقای خصوصیات عایقهای متداول طراحی میشوند. یکی از انواع عایقهای مدرن، نانو عایقها هستند که با استفاده از تکنولوژی نانو، تولید گردیده و به راحتی همانند رنگ بر روی سطوح فلزی و غیرفلزی توسط پیستوله و برس استفاده میشوند.





انواع عایقهای حرارتی و کاربرد آن:

عایق حرارتی در صورت استفاده ی صحیح، سرعت جریان گرما را با هدایت، همرفت و تشعشع به تأخیر می اندازد. انواع عایق های حرارتی به اشکال مختلفی از جمله متخلخل و پتویی، ایجاد میشوند .

مواد معدنی (پشم شیشه و پشم سنگ و فایبرگلاس)، 60 درصد بازار را به خود اختصاص داده اند، در حالی که مواد عایق آلی، درصد کمتری از بازار را تشکیل می‌دهند. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۰، مشخص شد که پشم معدنی در عایق‌کاری لوله‌های داغ (تا 600°C) در صنایع پتروشیمی، انتقال حرارت تابشی را تا ۹۰٪ کاهش می‌دهد. این مواد به دلیل پایداری حرارتی بالا در محیط‌های صنعتی پرکاربرد هستند، اما گرد و غبار فیبری (Fibrous Dust) آن‌ها خطر تنفسی ایجاد می‌کند.



عایق‌های پلیمری (Polymer-Based Insulators):
این عایق‌ها شامل پلی‌استایرن منبسط (EPS)،
پلی‌اورتان فوم (PUF)، و رزین‌های فنول-فرمالدئید
هستند. مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ نشان داد که
لباس‌های حفاظتی با فوم پلی‌اورتان در دماهای زیر
صفر، دمای پوست را تا 5°C بالاتر نگه می‌دارند. با این
حال، این مواد در دماهای بالا (بیش از 200°C) تجزیه
شده و گازهای سمی مانند ایزوسیانات‌ها آزاد می‌کنند.

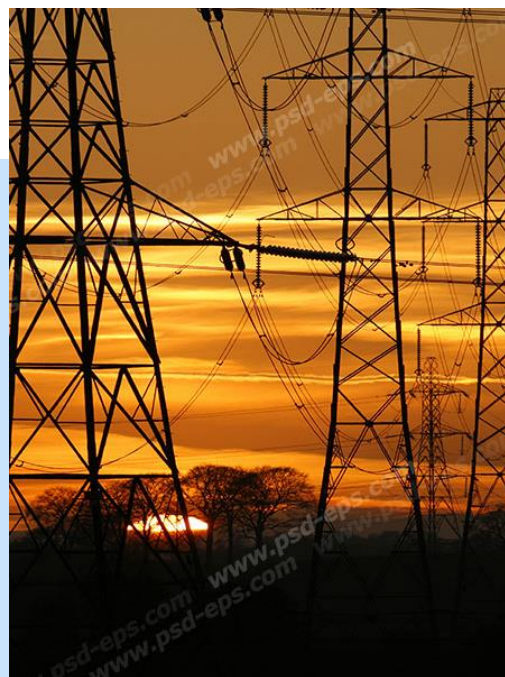




عایقهای سیلیکونی: لاستیک سیلیکونی، به دلیل پایداری حرارتی ویژه ای که دارد، در عایقها استفاده میشود. همچنین این ماده، دارای آبگریزی عالی، استحکام مکانیکی بالا، نیازهای تعمیر و نگهداری پایین، و همچنین هزینه ی اقتصادی به صرفه است؛ اما از آنجایی که قابلیت تحمل تمامی تنشهای وارده شده را ندارد، باعث فرسایش سطح و شکست میشود و در شرایط سخت آب وهوایی نیز به دلیل ماهیت آلی تغییر میکند .

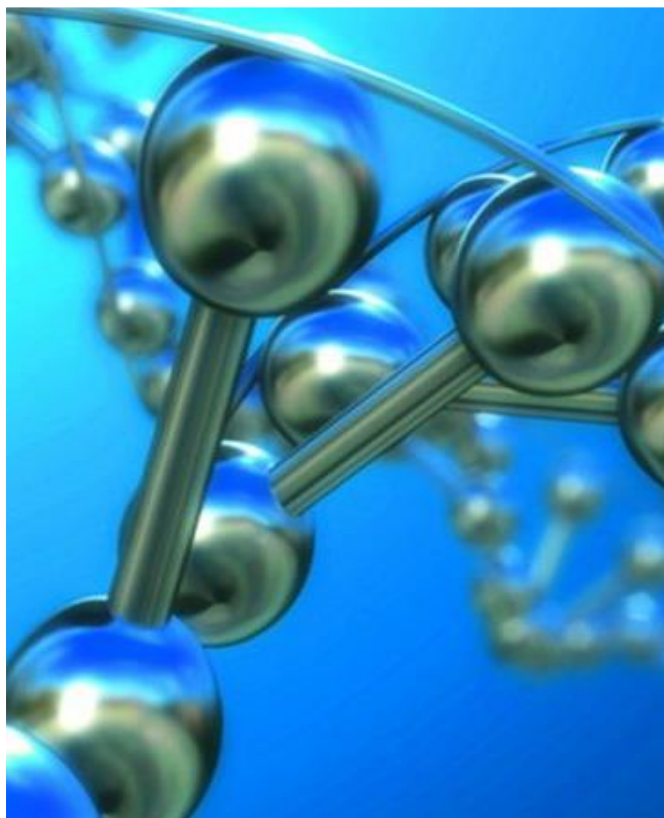
عایقهای کامپوزیتی پلیمری: در میان مواد عایق رایج، فومهای پلیمری، دارای خواص برتر بسیاری، از جمله عایق بندی بهتر، حمل و نصب آسانتر، هزینه ی کمتر و عدم جذب آب هستند.

عایق های پلیمری مرکب معمولاً در خطوط انتقال فشار قوی برای پشتیبانی و عایق کاری هادی ها استفاده می شوند. طراحی سبک وزن آنها، آنها را برای کاهش وزن کلی و بار بر روی برج ها مفید می کند.



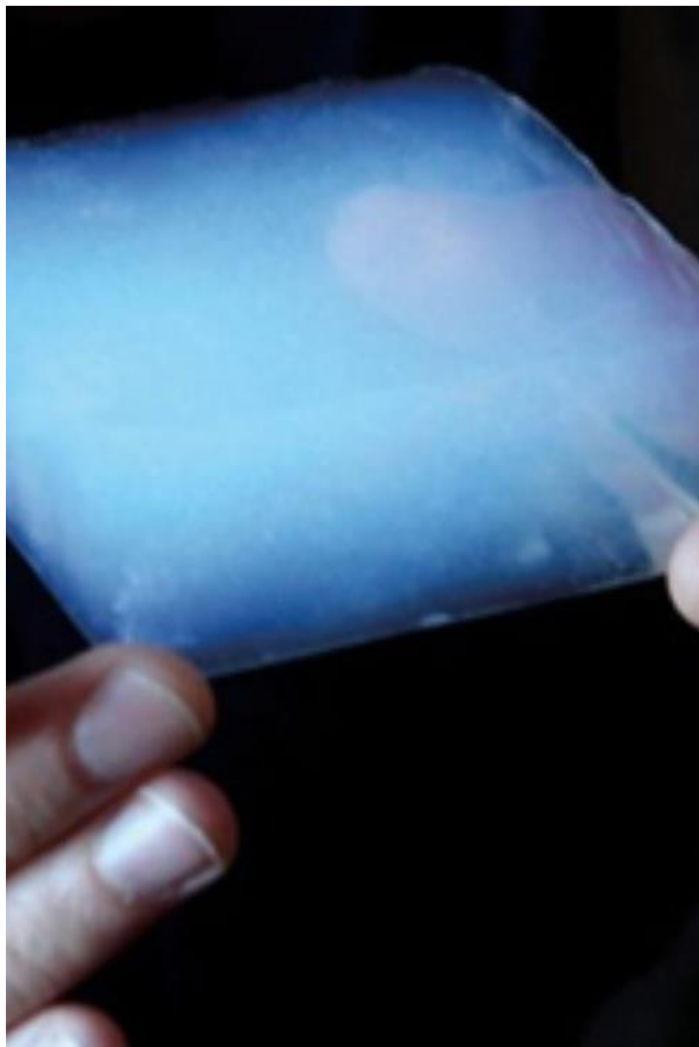


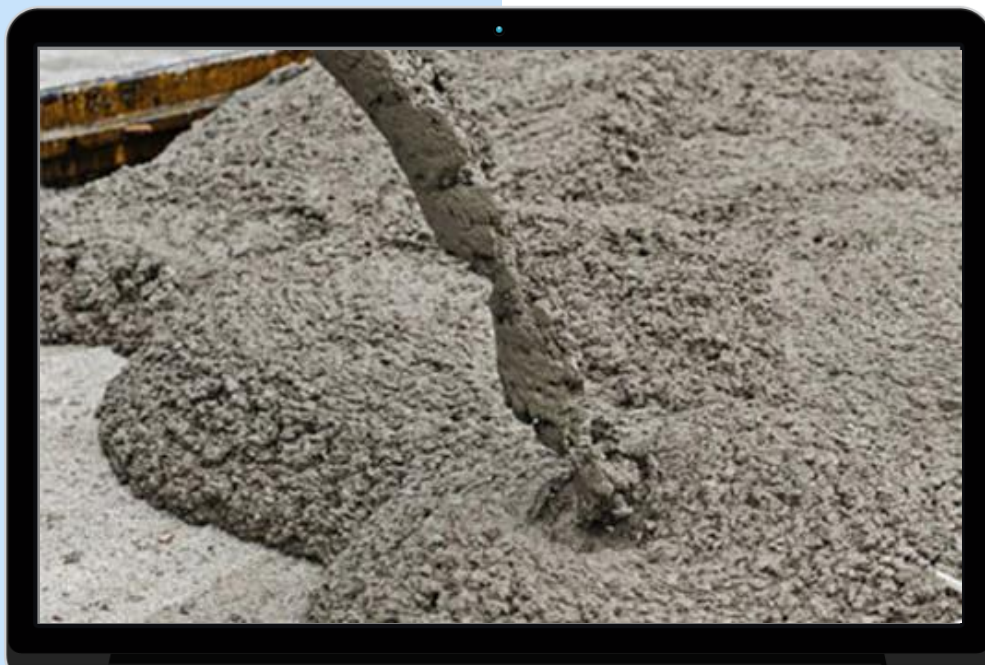
فومهای پلی پروپیلن، یکی از انواع خاص پلیمرها هستند که استحکام در برابر ضربه و دوام قابل توجهی دارند. همچنین یکی دیگر از انواع پلیمرها، پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF) است که ترکیبی از خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی همراه با مقاومت شیمیایی مطلوبی را دارد.



عایقهای پورسیلن: پورسیلن، نوعی چینی است که خواص الکتریکی، فیزیکی و حرارتی بسیار خوبی دارد. این خصوصیات، تحت تأثیر مقدار فاز شیشه ای تشکیل شده از عناصر فلدسپات و کوارتز بوده و از پایداری حرارتی بالایی برخوردار است و ویژگیهای آن طول عمر عایقهای با روکش چینی را در خطوط برق انتقال به ویژه در شرایط سخت محیطی تعیین میکند.

عایقهای آئروژلی: آئروژلها، گروهی از عایقها هستند که مطالعات زیادی روی آنها صورت گرفته است. انتقال حرارت در مواد عایق متخلخل آئروژل، به دلیل رسانایی حرارتی بسیار کم و کاربردهای گسترده از صرفه جویی در انرژی تا حفاظت و ایمنی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در حقیقت آئروژلها، یکی از بهترین مواد عایق با خواص متمایز هستند که میتوانند جایگزین عایقهای ساختمانی مثل پشم شیشه و پلی اورتان باشند. تقویت آئروژل با مواد اتصال دهنده، میتواند خواص مکانیکی و حرارتی آن را بهبود بخشد تا بر شکنندگی آن غلبه کند.





عایقهای بتنی: کاربرد فناوری نانو در معماری، گستره ی وسیعی از مصالح و تجهیزات را در بر میگیرد که هدف از آن، بهینه سازی مصالح در راستای کاهش اتلاف انرژی حرارتی و افزایش مقاومت و طول عمر مواد است. استفاده از بتن با ضریب هدایت حرارتی پایین و ظرفیت حرارتی بالا، انتخاب مناسبی در ساخت منازل، تأسیسات مسکونی و صنعتی است.



نانوذرات، ذراتی ریز با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که به طور قابل توجهی کوچکتر از عرض یک موی انسان است. این ذرات می توانند از مواد مختلفی مانند فلزات، نیمه هادی ها، پلیمرها و مواد مبتنی بر کربن ساخته شوند. نانوذرات به دلیل اندازه کوچک خود، خواص منحصر به فردی از خود نشان می دهند که با همتایان عمده خود متفاوت است. آنها نسبت سطح به حجم بالایی دارند که باعث واکنش پذیری بالا و افزایش استحکام می شود.

نانوذرات در زمینه های مختلفی از جمله پزشکی، الکترونیک، علوم محیطی و علم مواد کاربرد دارند. در پزشکی، آنها برای سیستم های دارورسانی، تصویربرداری تشخیصی و درمان سرطان استفاده می شوند. در الکترونیک، از نانوذرات در تولید انواع خازنها و حسگرها استفاده می شود. در علم محیط زیست، از آنها برای تشخیص آلودگی و اصلاح استفاده می شود. به طور کلی، نانوذرات نقش مهمی در پیشرفت فناوری و تحقیقات علمی دارند.

یکی از ویژگیهای مهم ترکیبات نانو که سطح ویژه ی بالا، چگالی کم و تخلخل بالایی دارند ، رسانایی حرارتی پایین آنها است که آنها را گزینه ی مناسبی جهت استفاده در عایق حرارتی میکند . **آلومینا، دی اکسید سیلیسیم، اکسید تیتانیوم، نیتريد بور، اکسیدهای منیزیوم، نانو الیاف سلولزی و اکسید روی**، از جمله ی نانوموادى هستند که جهت استفاده در عایقهای حرارتی مورد توجه قرار گرفته اند .

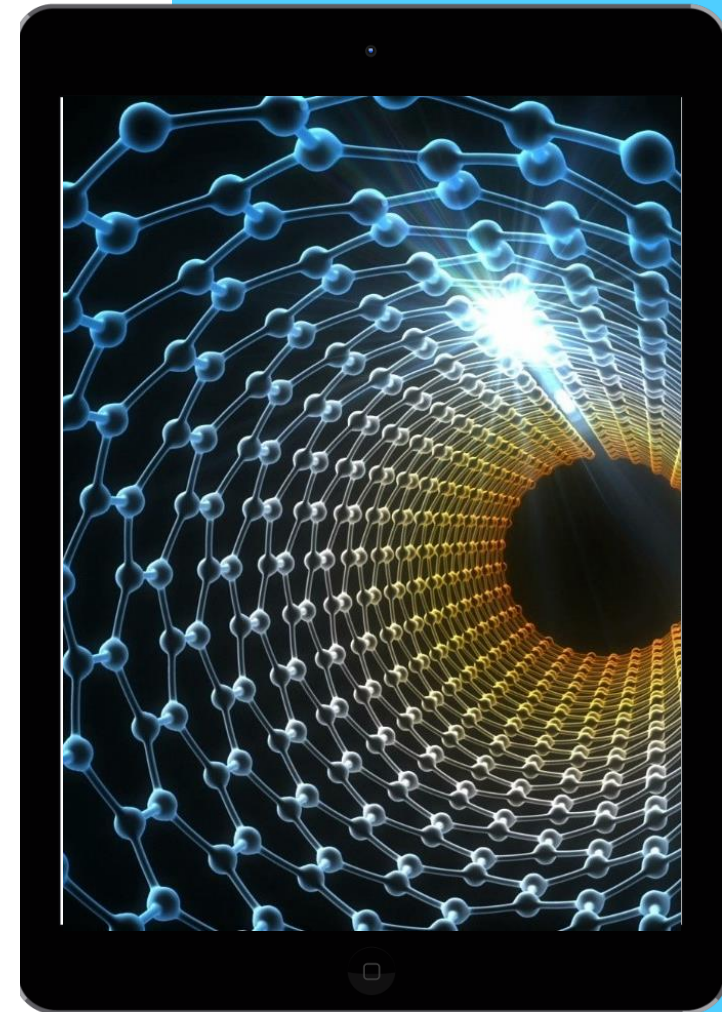
از دیدگاه بهداشت حرفه‌ای، عایق‌های نانو چالش‌های دوگانه‌ای ایجاد می‌کنند: فواید اقتصادی- زیست‌محیطی در برابر خطرات بالقوه برای کارگران. نانوذرات، به دلیل اندازه کوچک و سطح ویژه بالا، می‌توانند به راحتی استنشاق شوند، از سدهای بیولوژیکی عبور کنند و اثرات سمی ایجاد نمایند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۲۰۲۳، بیش از ۲ میلیون کارگر در صنایع نانو در معرض ریسک‌های ناشناخته قرار دارند، و این رقم تا سال ۲۰۳۰ دو برابر خواهد شد.



در دنیای امروز، با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و فشار بر منابع انرژی، توسعه مواد عایق گرمایی پیشرفته ضروری شده است. عایق‌های گرمایی نانو، که بر پایه نانوذرات با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر ساخته می‌شوند، قابلیت کاهش انتقال حرارت را تا ۹۰٪ نسبت به عایق‌های سنتی مانند فوم پلی‌استایرن افزایش می‌دهند. این مواد نه تنها به صرفه‌جویی انرژی کمک می‌کنند، بلکه در دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (SDGs)، به ویژه هدف ۷ (انرژی پاک و مقرون به صرفه) نقش محوری ایفا می‌کنند.

انواع نانوماده و ویژگیهای آن:

توسعه ی سریع فناوری نانو، منجر به سنتز نانومواد متعددی با خواص و عملکردهای متفاوت شده است. نانومواد سنتز شده، بسته به ترکیب آنها، میتوانند به نانومواد مبتنی بر کربن، نانومواد فلزی، نانومواد نیمه هادی، نانومواد اکسید فلزی، نانومواد پلیمری و موارد دیگر تقسیم شوند.



نانومواد

نانوذرات ZNO



نانوالیاف



نانوذرات آلومینا



نانوذرات SiO_2



نانومادی از جنس سیلیکات کلسیم

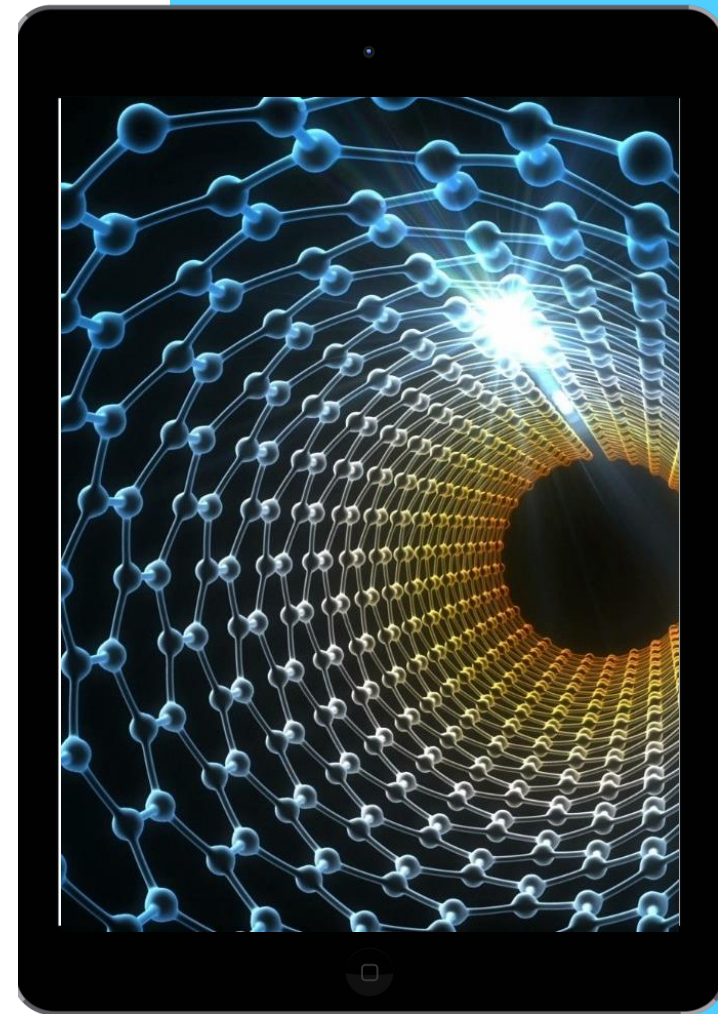


نانوذرات TiO_2



تأثیر نانومواد بر خواص عایقهای حرارتی:

علاوه بر هدایت حرارتی، دیگر خواص حرارتی، خواص مکانیکی و خواص الکتریکی، از جمله ی ویژگیهایی است که در حین انتخاب عایقهای حرارتی مورد توجه قرار میگیرد، به طوری که در مطالعه ی KHAN و همکاران در سال 2017، خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی کامپوزیتهای لاستیک سیلیکونی، اپوکسی و EPDM اتیلن پلی پروپیلن دیین مونومر ترکیب شده با ذرات SiO_2 در ابعاد میکرو و نانو مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت؛ نتایج این مطالعه، نشاندهنده ی اثربخشی بیشتر ذرات نانو نسبت به ذرات میکرو در بهبود خواص مواد عایق از جمله استحکام کششی، سختی، و پایداری حرارتی است.



دمای کاهش جرم 10 درصدی EPDM،
290 درجه ی سانتیگراد است، در حالی که
با افزودن نانو سیلیس، این دما بین 1 تا
2/5 درصد افزایش یافت. در تمام نمونه
های EPDM، اپوکسی و لاستیک
سیلیکونی، نمونه های نانو پایدارتر بودند؛ به
عنوان مثال، ادغام ذرات نانو SiO_2 در
لاستیک سیلیکونی، باعث افزایش قابل
توجهی در دمای تخریب، وزنهای باقیمانده
ی بالاتر و پایداری حرارتی شد.

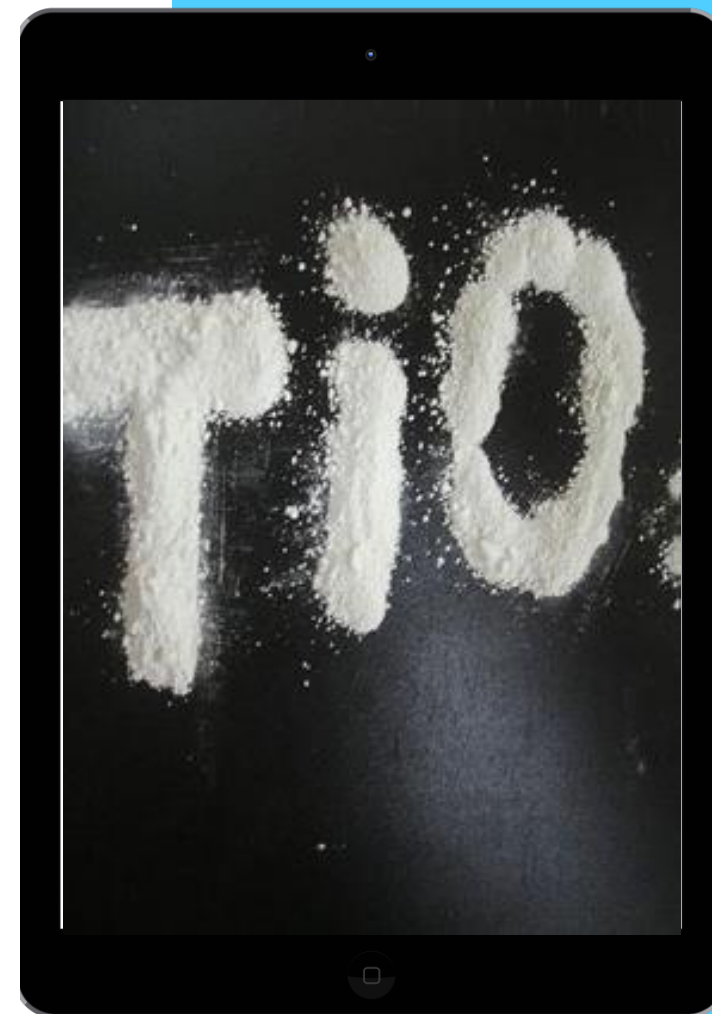


مطالعه ی دیگری توسط Ullah Rahmat و همکاران در سال 2020، انجام شد و خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی لاستیک سیلیکونی با نانوذرات سیلیس و تری هیدرات آلومینا مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، اشاره شده است که برای افزایش مقاومت در برابر فرسایش، از تری هیدرات آلومینا استفاده میشود. نتایج، نشان داد که وقتی این عایقهای بارگذاری شده با نانوذرات در مناطق گرمسیری در معرض تنشهای متعدد قرار میگیرند، تخریب آنها به تأخیر می افتد و در نتیجه، طول عمر آنها افزایش مییابد.

مطالعه ی Butt و همکاران نیز در همان سال، نشان داد که مقاومت به فرسایش عایق سیلیکونی، با افزودن نانو آلومینا به طور قابل توجهی بهبود مییابد. این میتواند به دلایل مختلف مانند پایداری حرارتی بهتر و کاهش فواصل بین ذرات باشد. مطالعات فیزیکی، نشان میدهد که جرم فرسایش یافته به صورت خطی با افزایش محتویات نانو آلومینا کاهش می یابد.



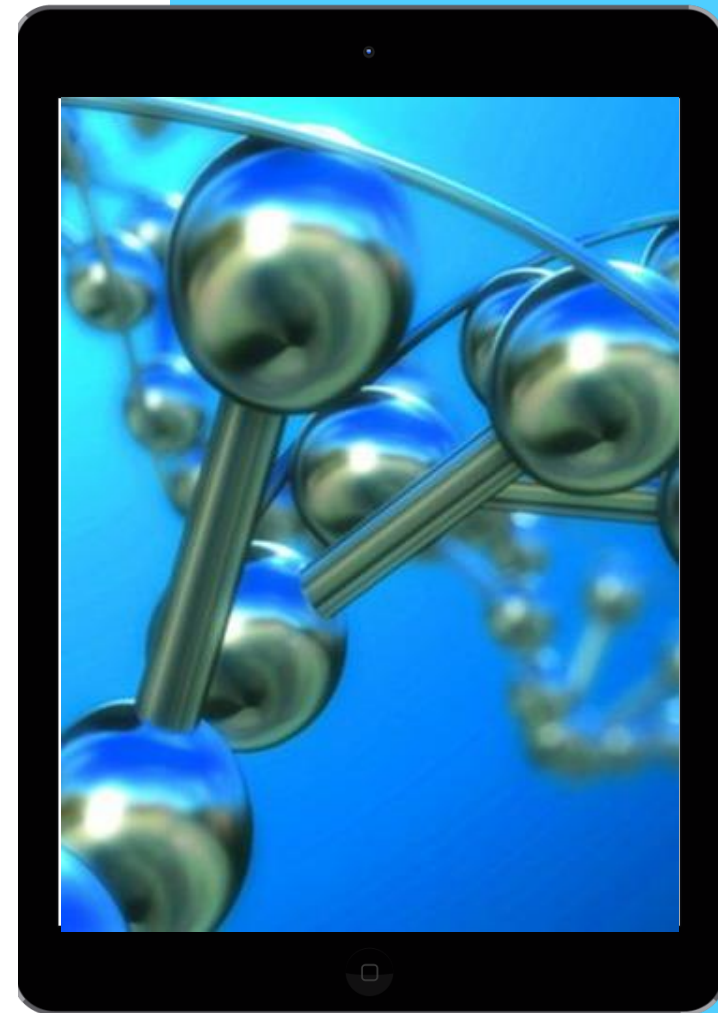
در مطالعه ی Zhao و همکاران در سال 2017، برای بهبود خواص کامپوزیت پلی پروپیلن، از نانو الیاف پلی تترا فلوئورواتیلن استفاده شد که به طور چشمگیری باعث بهبود خاصیت عایق حرارتی و استحکام آن شد. در پژوهش Yang و همکاران در سال 2018، به منظور بهبود عایق حرارتی (پلی وینیلیدین فلوراید) PVDF، سطح الیاف PVDF با یک لایه ی متخلخل از نانو TiO_2 مونتاژ گردید.



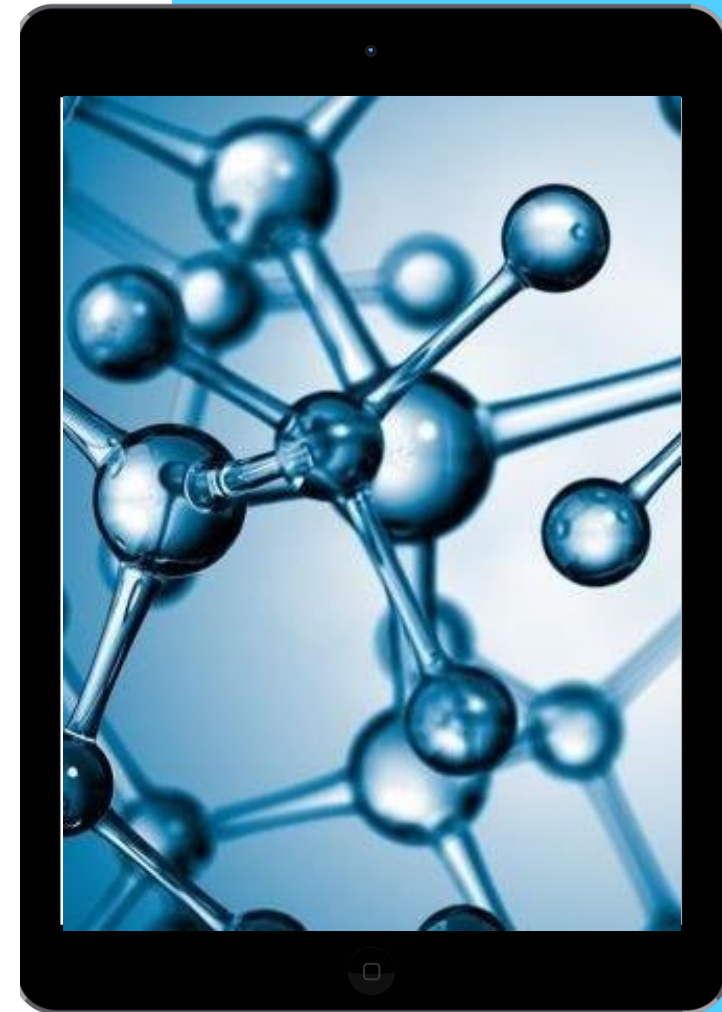
Gao Tao و همکاران در سال 2013، پلیمر کره های توخالی پلی استایرن دارای قطر منافذ داخلی 150 نانومتر و ضخامت پوسته ی 10-15 نانومتر را سنتز و آنها را با نانوذرات SiO_2 پوشش دادند و بیان کردند ویژگیهای کلی این نانو کره های توخالی، به پارامترهای مختلفی مانند قطر و ضخامت پوسته ی کره ها، ترکیب شیمیایی مواد پوسته، نوع گاز پر شده، نحوه ی بسته بندی و چگالی این کره ها بستگی دارد و از طریق اصلاح این پارامترهای ساختاری، میتوان عملکرد حرارتی نانوکره های توخالی را در یک محدوده ی بزرگ کنترل نمود .



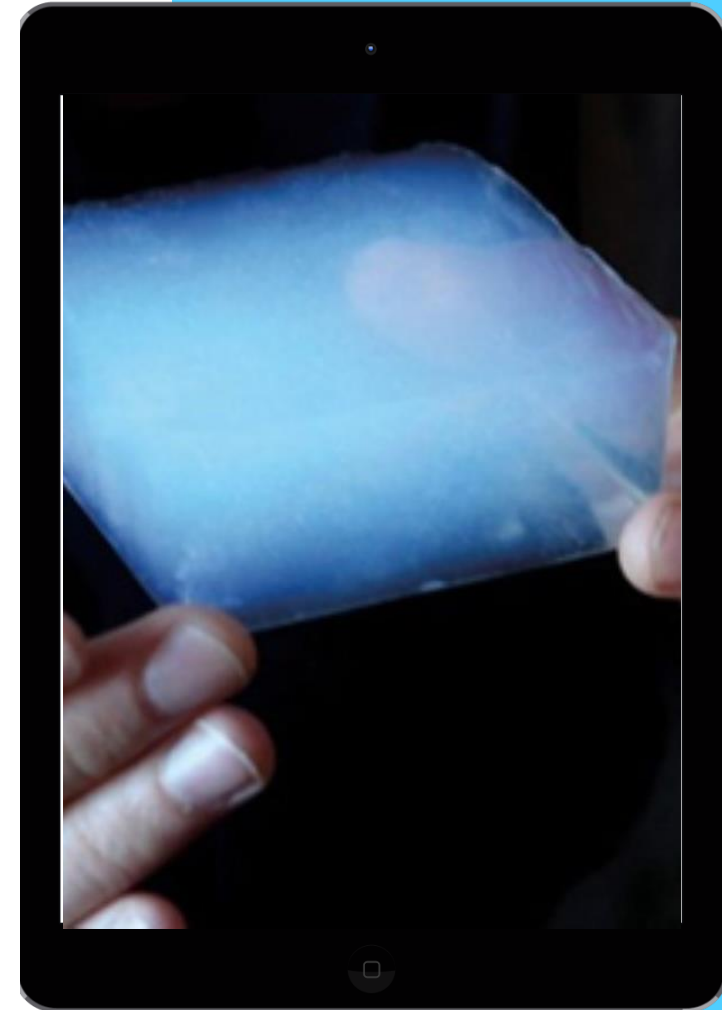
با توجه به نتایج مطالعه ی انجام شده توسط El-Gamal و همکاران در سال 2021، افزودن نانوالومینا به عایقهای چینی (پورسیلن)، باعث افزایش چگالی، کاهش جذب آب، کاهش منافذ و خواص عایق را بهبود میبخشد. درواقع، مواد مبتنی بر اکسید آلومینیوم به دلیل سختی، عدم فعالیت شیمیایی، نقطه ی ذوب بالا، عدم فراریت و مقاومت در برابر خوردگی و سایش، دارای مزایای قابل توجهی هستند. افزودن نانوالومینا به مواد پورسیلن، خواص الکتریکی، مکانیکی و نوری آنها را افزایش میدهد.



در مطالعه ای که توسط Taghvaei و Monireh همکاران در سال 2020 انجام گردید، نشان داده شد که در عایقهای چینی (پورسیلن)، استفاده ی همزمان از نانومواد ZnO و SiO_2 ، خواص عایق را در مقایسه با استفاده ی جداگانه از آنها بهبود میبخشد و پایداری حرارتی عایق را بالا میبرد. با افزودن نانوذرات، دمای کاهش جرم 10 درصدی عایق پایه و همچنین طول عمر عایق پایه و پایداری حرارتی افزایش یافت.



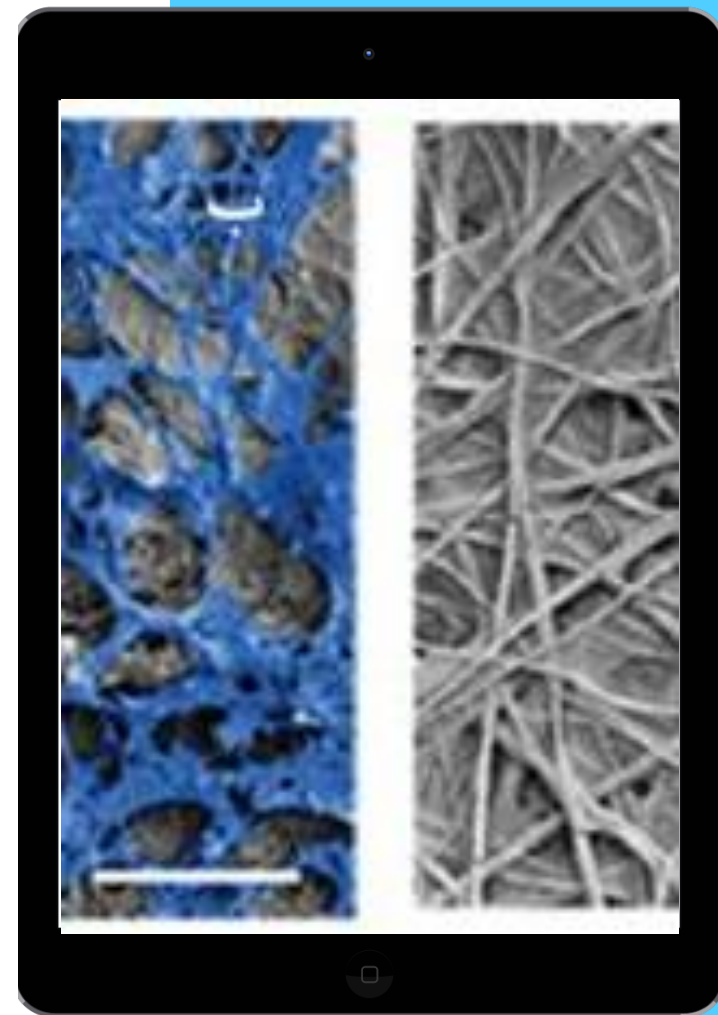
در مطالعه ی Wei Gaosheng و همکاران در سال 2018، هدایت حرارتی عایق آئروژل با افزودن نانو کره های سیلیکات کلسیم، مورد بررسی قرار گرفت . نتایج، نشان داد افزودن نانوذرات باعث افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش هدایت حرارتی میشود.



در مطالعه ی Hu Yinghe و همکاران در سال 2022،
آئروژل مبتنی بر نانوالیاف آرامید (ANF) ساخته شد
که یک عایق حرارتی با عملکرد عالی در دمای بالاتر از
500 درجه ی سانتیگراد به دست آمد. نانوالیاف آرامید،
نوعی نانوالیاف پلیمری استخراج شده از پلی فنیلن
ترافتالات (PPTA)، یکی از قویترین الیاف پلیمری
هستند که نام تجاری آنها Kevlar است، این الیاف،
خواص مکانیکی عالی، مقاومت حرارتی خوب و پایداری
شیمیایی و حرارتی چشمگیری دارند.
الیاف آرامید و کولار رنگ زرد مات دارند.

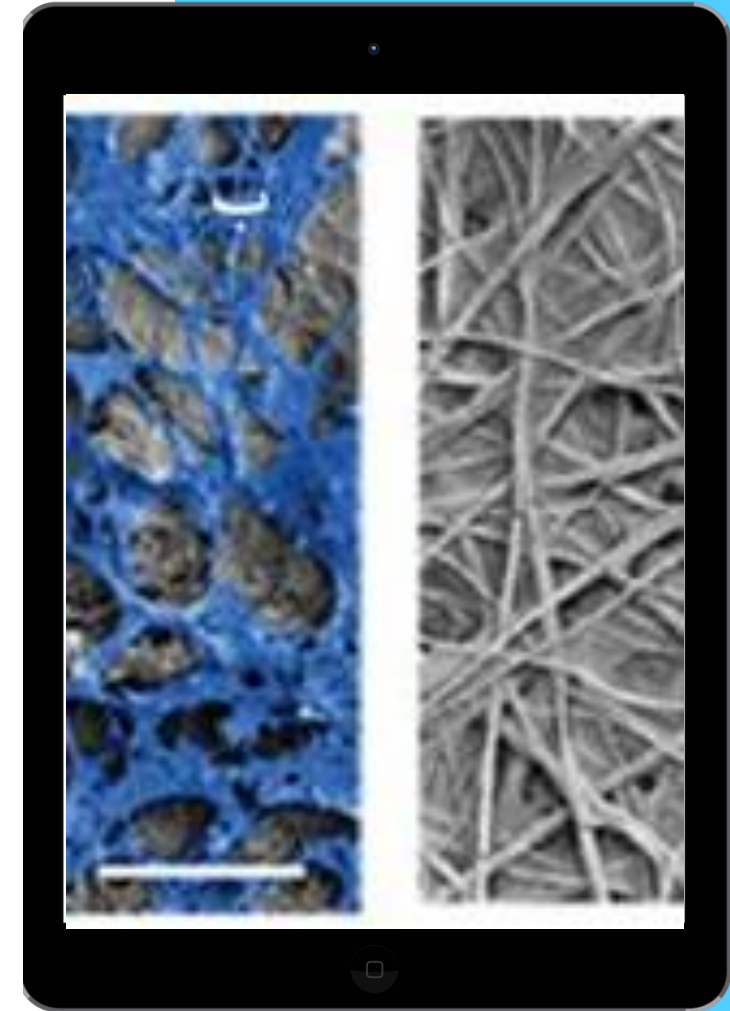


در پژوهشی دیگر که توسط Xu Chao و همکارانش در سال 2019 صورت گرفت، آئروژل هیبریدی مبتنی بر نانوالیاف سلولزی و یک چارچوب فلزی آلی (MOF) مبتنی بر آلومینیوم ساخته شد که به دلیل نانوساختار ویژه (اندازه و غلظت ماده نانو) و پیوندهای متقابل MOF در آزمایشهای عایق حرارتی، هدایت نسبتاً پایین (تقریباً 40 میلی وات بر متر بر کلوین) را نشان داد. همچنین مقاومت در برابر رطوبت و حریق و استحکام مکانیکی ویژه ی بالایی (80%) را نشان داد.



همانطور که بیان شد، در مطالعه ی Xu Chao، از نانو الیاف سلولزی استفاده کرده بودند. استفاده از این نانوالیاف در ارتقای ویژگیهای عایقها، مزایای فراوانی دارد:

به طور طبیعی فراوان یافت میشوند و کم هزینه هستند،
هدایت حرارتی ذاتاً پایینی دارند،
حاوی گروههای عاملی آلی در سطح هستند،
در نواحی سطحی بزرگ مورد استفاده قرار میگیرند و پتانسیل
آن را دارند که انتقال گرما را مختل کنند.





Improving the thermal insulation and mechanical properties of concrete using Nano-SiO₂

Alaa N. Saleh^a, Alyaa A. Attar^a, Omer K. Ahmed^{a,*}, Sameer S. Mustafa^b

^a Technical College-Kirkuk, Northern Technical University, Iraq

^b Al-Kitab University, Iraq

مطالعه ای توسط Saleh و همکاران، در سال 2021 انجام شد و در آن اثر نانوذرات سیلیس SiO₂ بر خواص حرارتی و مکانیکی بتن، مانند هدایت حرارتی و ظرفیت گرمایی ویژه و مقاومت فشاری بررسی گردید. نتایج، نشاندهنده ی ارتقای ویژگیهای عایق بتن و کاهش در هدایت حرارتی با افزایش نسبت نانوذرات SiO₂ بود.

دلیل اصلی رسانایی حرارتی
پایین، تشکیل یک فضای
هوایی کوچک است که مانع
انتقال حرارت می شود.

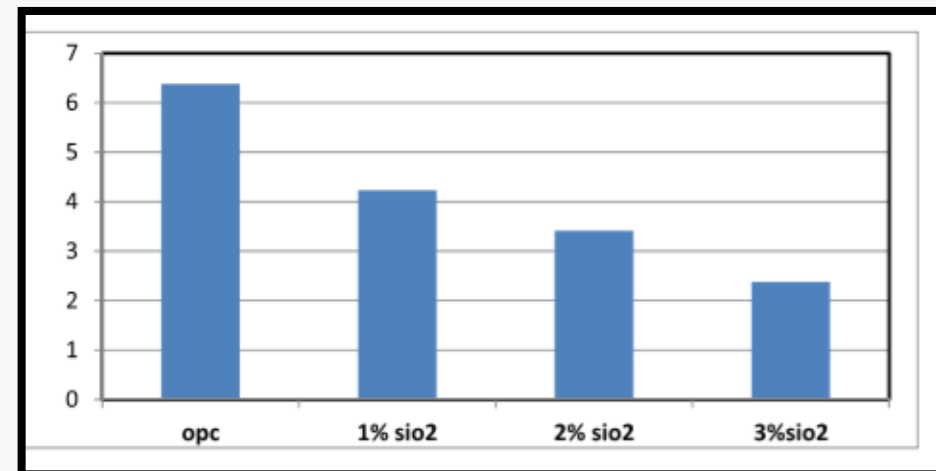
ویژگی های نانوماده مورد استفاده

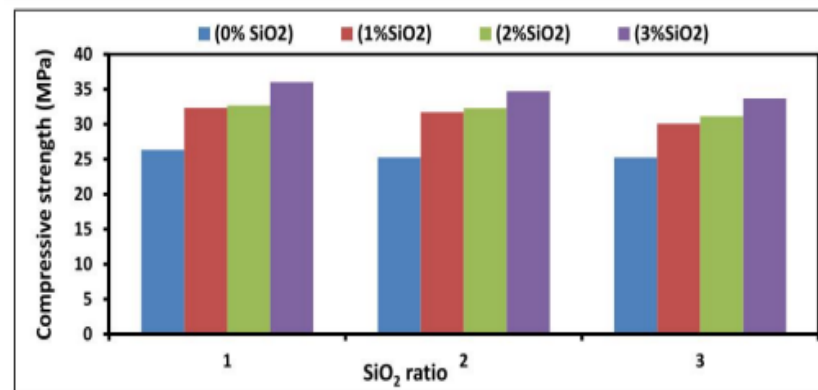
Parameter	Specification
Particle size	(20–30) nm
Purity	%99.8
Appearance	White powder
Melting point	1610–1728 °C
Boiling point	2230 °C
Density	2533 kg/m ³



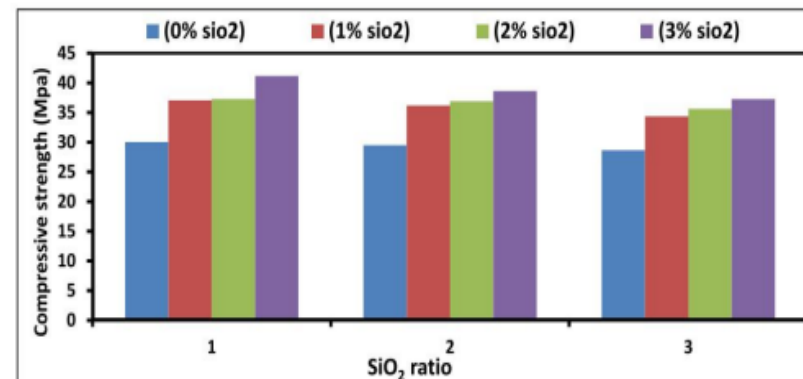
شکل 5. دستگاه هدایت حرارتی.

میزان انتشار حرارتی

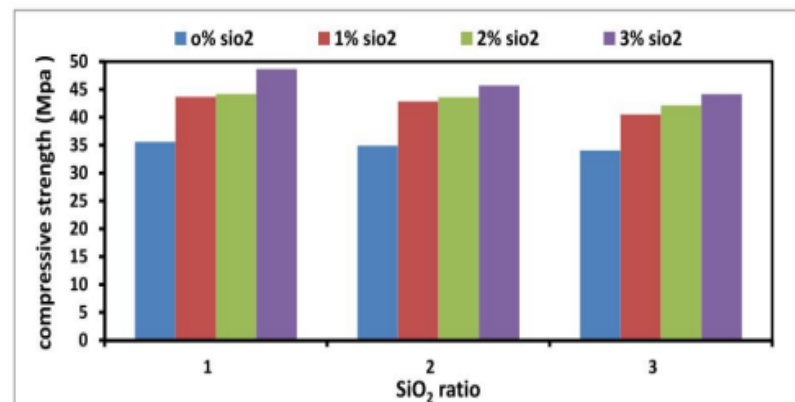




(a) 7 days.



(b) 14 days.



(c) 28 days

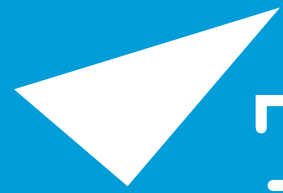
سنجش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی (۱۰*۱۰*۱۰) سانتی متر در ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز با استفاده از دستگاه مقاومت فشاری انجام شد.

مقاومت فشاری در نمونه هایی که با درصد های وزنی ۱، ۲ و ۳ درصد مواد نانو مخلوط شده بودند مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاکی از افزایش مقاومت فشاری نمونه ها به میزان (۲۴/۲۵٪، ۳۲/۴۵٪، ۲۱/۴۹٪) نسبت به بتن معمولی و بدون نانومواد بود.

بیشترین افزایش مقاومت فشاری در نرخ (۳٪) اتفاق افتاد. (به دلیل پر کردن منافذ ریز)

نتیجه گیری

استفاده از فناوری نانو و یا اضافه کردن مواد مختلف با سایز نانو، منجر به بهبود خواص ماده ی عایق میشود که مهمترین آن، افزایش مقاومت حرارتی است. علاوه بر این، نوع نانوماده ی مورد استفاده، منجر به ارتقای برخی خواص دیگر عایق مانند استحکام مکانیکی، استحکام کششی، کشسانی، سختی و... میگردد. همچنین مشخص گردید علاوه بر ترکیب نانوماده مورد استفاده، فاکتورهایی دیگری نیز بر اثرگذاری آن دخالت دارند که میتوان به اندازه ی ذرات یا اندازه ی منافذ، چگالی مواد مورد استفاده، سطح بارگذاری و غلظت مواد کاربردی اشاره نمود.



Thank you for
your attention.