

عایق‌های نانومتخلخل هواژل: راه‌حل کلیدی در توسعه سبز واحدهای پتروشیمی

حسن برگزین^{۱*}، طاهر یوسفی امیری^۲

^۱ دانشگاه زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی، کد پستی: ایمیل: Bargozin@gmail.com

چکیده

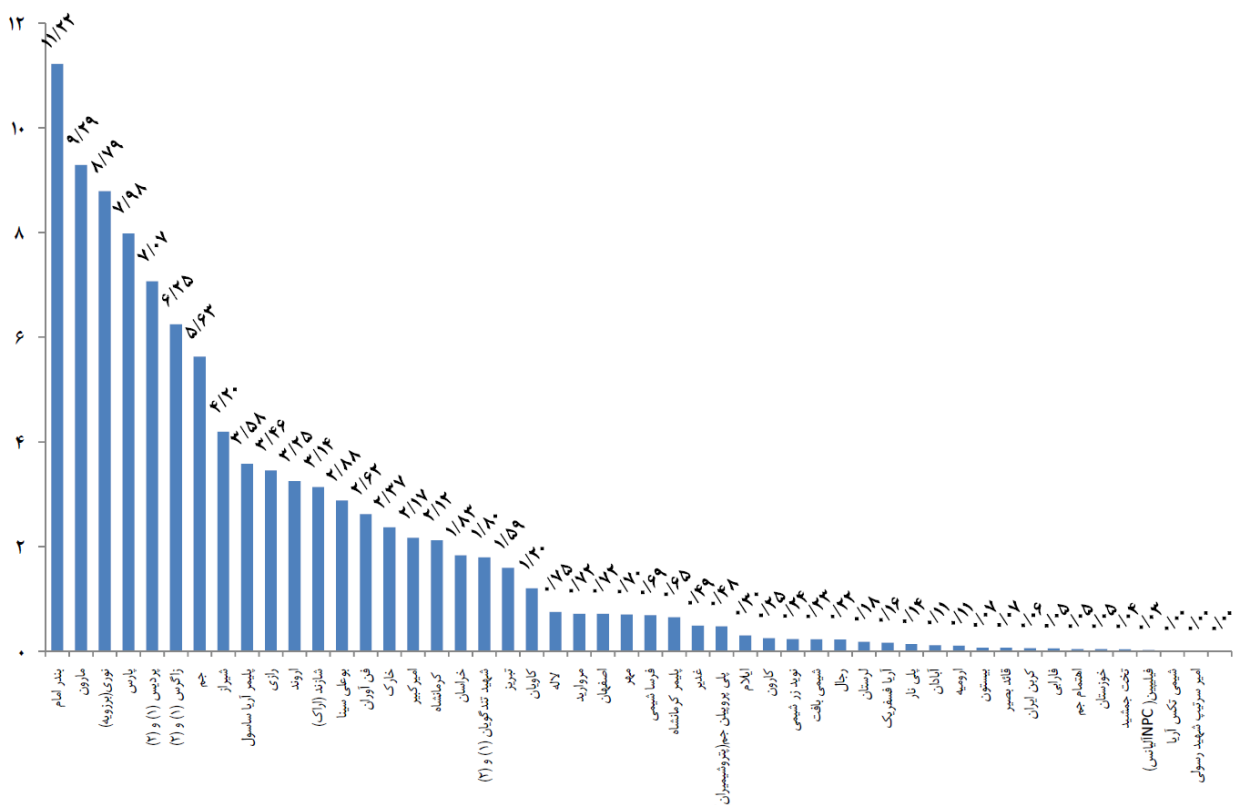
پتروشیمی‌ها جزء صنایع مادر کشور بوده و حجم مصرف انرژی و تولید آلاینده‌گی بسیار بالایی دارند. روش‌های مختلفی برای کاهش مصرف انرژی و تولید آلاینده‌های وجود دارد که در این میان استفاده از عایق‌های نوین مبتنی بر فناوری نانو راهکاری مقرون به صرفه و مطمئن می‌باشد. دماهای بالا و پایین در فرایندهای مختلف پتروشیمی وجود دارند و نیاز به عایق کاری مناسب دارند تا اتلاف انرژی و به تبع آن تولید آلاینده‌های مختلف کاهش یابد. عایق‌های هواژل نانومتخلخل دارای خواص منحصر به فردی مانند مقاومت حرارتی بسیار بالا، فوق آب‌گریزی، طول عمر بالا، انعطاف پذیری مناسب، عبور صوت بسیار پایین و غیره هستند که سبب شده است در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته و جایگزین عایق‌های رایج گردند. در این کار خواص عایق‌های مناسب واحدهای پتروشیمی بررسی و پتانسیل استفاده از عایق‌های هواژل نانومتخلخل ارزیابی شده است. انواع عایق‌های هواژل نانومتخلخل در داخل کشور امکان تولید اقتصادی و کاربرد گسترده دارند.

کلمات کلیدی: عایق، هواژل، نانومتخلخل، انرژی، کاهش مصرف

۱- مقدمه

ایران دارای منابع غنی نفت و گاز بوده و توسعه روز افزون واحدهای پتروشیمی در آن بدیهی است. ایران دومین تولید کننده گاز طبیعی و چهارمین تولید کننده نفت خام است. در عین حال ایران مصرف کننده بزرگ انرژی بوده و آلودگی‌های زیست محیطی زیادی ایجاد می‌کند. آمار نشان می‌دهند روند تولید نفت در ایران رو به کاهش بوده و مصرف نفت افزایش زیادی در داخل کشور دارد که سبب می‌شود در مدت زمان‌های نه چندان دور نفتی برای صادرات وجود نداشته باشد. توسعه و استفاده از فناوری‌های نوین با بازدهی بالا در صنایع کشور کم و بسیار کند است. همچنین بسیاری از صنایع مادر مانند پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها، نیروگاه‌های برق، صنایع شیمیایی از فناوری‌های تاریخ گذشته استفاده می‌کنند که مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی را افزایش می‌دهند. متأسفانه قوانین زیست محیطی و اجرای آنها به ندرت اتفاق می‌افتد و امروزه مشکلات بسیار جدی مانند سطح بالای آلاینده‌های مختلف در هوا و آب در شهرهای بزرگ، خشک شدن دریاچه‌های فصلی، کمبود آب شرب، افزایش نرخ مرگ و میر ناشی از بیماری‌های مختلف وابسته به آلاینده‌ها و غیره بروز نموده است. ایران کشوری با مساحت بالا، منابع طبیعی

و آب و هوای متنوع است. روش‌های زیادی برای توسعه پایدار و سبز مانند پنل‌های خورشیدی، زمین گرمایی، تبخیر کننده‌های خورشیدی، انرژی باد، انرژی امواج و غیره بررسی و برخی به صورت محدود کار شده‌اند. امکان تعویض یا تغییر اساسی تجهیزات صنایع مختلف به خاطر هزینه بالا و نبود دسترسی به فناوری‌ها، وجود نداشته و یکی از بهترین راه حل‌ها برای توسعه پایدار و سبز صنایع بزرگ، کاهش آلاینده‌ها و اتلاف انرژی مانند پتروشیمی‌ها استفاده از عایق‌های حرارتی به روز و دارای کارایی بالاتر است. اتلاف انرژی در تمامی صنایع در مقادیر بالا اتفاق می‌افتد که به معنی مصرف بالاتر انرژی و آلودگی بیشتر محیط زیست و تولید گازهای گلخانه‌ای بیشتر است. پتروشیمی‌ها جزء صنایع مادر بوده و بسیاری از صنایع کوچک و بزرگ دیگر وابسته به کارکرد آنها می‌باشند. مجتمع‌های پتروشیمی معمولاً واحدهای بسیار متنوع و بزرگی را دارا می‌باشند که از تجهیزات، لوله‌ها، مخازن و ... بسیار زیادی در مساحت‌های چندین هکتار قرار دارند و مصرف آب، انرژی و برق و غیره بسیار زیاد و قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند. مجموع کل تولیدات صنعت پتروشیمی کشور در سال ۹۴ بالغ بر ۴۶.۴ میلیون تن بوده است. در حال حاضر، ۶۶ طرح پتروشیمی برنامه پنجم باضافه ۳ طرح پیش‌تاز برنامه ششم در نقاط مختلف کشور از جمله منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و سایر مناطق در دست اجرا می‌باشد. ۴۹ پتروشیمی راه‌اندازی شده و فعال در سطح کشور وجود دارند که درصد سهم هر کدام از تولید در نمودار ۱ نشان داده شده است [۱].



شکل ۱- درصد جرمی سهم تولید پتروشیمی‌های مختلف ایران در سال ۱۳۹۴ [۱]

با توجه به حجم بالای صنایع پتروشیمی، امکان ایجاد آلودگی‌های گسترده هوا، آب، خاک توسط این صنایع در صورت عدم کنترل و رسیدگی صحیح وجود دارد. بر اساس چالش‌های مختلف موجود در صنایع

پتروشیمی، راهکارهای مختلفی برای کاهش مصرف انرژی و جلوگیری از آلودگی زیست محیطی وجود دارد. راهکارهایی مانند به روزرسانی تجهیزات و سیستمهای کنترلی مختلف، استفاده از تجهیزات با فناوری پیشرفته در جداسازی و حذف آلاینده‌ها و غیره. در این میان استفاده از عایق‌های نوین در عایق کاری لوله‌ها و تجهیزات اهمیت بسیاری می‌یابد چرا که سایر روشها نیاز به هزینه بسیار بالایی برای اجرا دارند. عایق‌های پیشرفته از طریق کاهش اتلاف انرژی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، بهبود سیستم کنترل دستگاهها و کارایی بالاتر فرایند، جلوگیری از خوردگی زیر سطحی، افزایش ایمنی فرایند و غیره می‌توانند راه حل موثر و قابل اجرایی در صنایع پتروشیمی قدیمی و در حال احداث باشند. عمده صنایع نفتی ایران در مناطق جنوب کشور وجود دارند که هوای گرم و شرجی از خصوصیات آنجا است. هوای گرم و شرجی سبب تشدید پدید خوردگی زیر سطحی می‌شود که هزینه‌های بسیار زیادی را از لحاظ تعمیر، تعویض و ایمنی فرایند ایجاد می‌کند. خوردگی زیر سطحی به خوردگی مابین سطح دستگاه و عایق روی آن اتلاق می‌شود و اهمیت آن از این لحاظ است که تا زمان عدم بروز مشخصه‌های ظاهری امکان شناسایی آن به راحتی وجود ندارد. به عبارت دیگر خوردگی زیر سطحی زمانی آشکار می‌شود که اثرات سوء خود را گذاشته و ممکن است سبب بروز حوادث ایمنی خطرناکی شود. در این مقاله به بررسی خصوصیات عایق‌های نوین نانومتخلخل مبتنی بر هواژل پرداخته شده و مزایای آنها از جنبه‌های مختلف در توسعه سبز پتروشیمی‌ها بررسی می‌شود.

۲- خصوصیات عایق مناسب در پتروشیمی‌ها

پتروشیمی‌ها بر اساس تنوع فرایندهای سرد و گرمی که دارند می‌توانند از انواع عایق‌های حرارتی در بخش‌های مختلف استفاده کنند. حجم بسیار گسترده از عایق مورد نیاز، دماهای بسیار بالا و بسیار پایین، مواد فرایندی آتش گیر و با قابلیت انفجار، سیستم‌هایی با هندسه پیچیده برای عایق کاری، رقابت و اقتصاد محصولات، کیفیت و خلوص، مصرف انرژی و آب بسیار زیاد، ایمنی بالای مورد نیاز، موارد زیست محیطی، خوردگی و غیره از جمله مسائلی هستند که سبب می‌شوند انتخاب نوع عایق و به کارگیری آن بسیار اهمیت داشته باشد. چرا که عایق‌ها به نوعی در تمامی موارد ذکر شده دخیل بوده و می‌تواند بسیار موثر باشند [۲]. عایق‌های حرارتی ممکن است به خاطر یک و یا ترکیبی از اهداف زیر در پتروشیمی‌ها استفاده شوند:

- ذخیره انرژی از طریق کاهش نرخ انتقال حرارت
- نگهداری دمای فرایند
- جلوگیری از انجماد، میعان، تبخیر و یا تشکیل ترکیبات ناخواسته مانند هیدرات‌ها
- محافظت از افراد در برابر تماس با تجهیزات
- جلوگیری از میعان بر روی سطح دستگاه حامل سیالات با دمای پایین
- جلوگیری از افزایش دمای تجهیزات از آتش خارجی
- پایدارسازی فرایندها
- ایجاد کنترل بهتر فرایند با نگهداری دمای فرایند
- جلوگیری از خوردگی با نگهداری دمای سطح سیستم خنک کننده بالاتر از دمای نقطه شبنم
- جذب ارتعاش

عایق‌های مختلف معمولاً برخی از این خواص را دارا بوده و همگی آنها را یکجا دارا نمی‌باشند. بدین سبب همواره تحقیقات در جهت افزایش کارایی عایق‌ها وجود دارد که نتیجه آنها تولید عایق‌های نانومتخلخل هواژل است [۲].

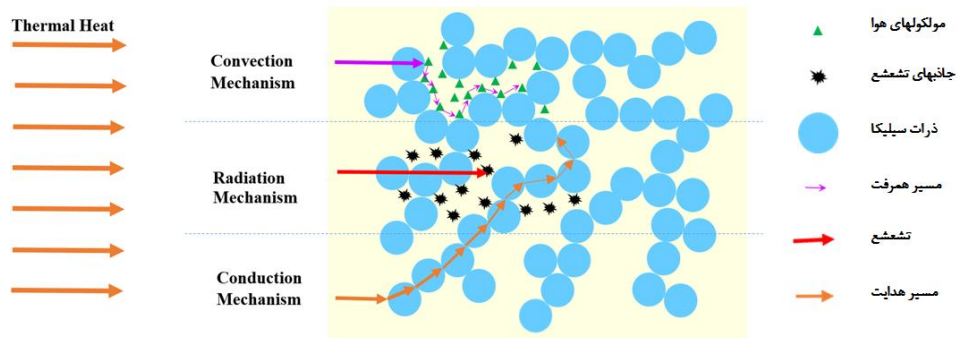
۳- معرفی عایق‌های نانومتخلخل هواژل به عنوان راه حل کلیدی در توسعه سبز پتروشیمی‌ها

عایق‌های مختلف بر اساس جنس و درصد تخلخل و توزیع اندازه 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. معمولاً جنس عایق‌های مختلف از مواد معدنی یا پلیمری ساخته می‌شوند که رسانای خوبی برای هدایت حرارت نیستند. هواژل‌های سبک‌ترین ماده جامد دنیا با دانسیته متوسط ۰.۱ گرم بر سانتیمتر مکعب هستند و بیش از ۹۷ درصد آنها را هوا تشکیل می‌دهد که در حفرات با ابعاد متوسط ۱۰ نانومتری محبوس شده‌اند. شکل ۲ عایق‌های گرانولی شفاف و بلنکت فوق آب‌گریز هواژل نانومتخلخل را نشان می‌دهد. عایق‌های کاملاً سبک بوده و روی آب شناور باقی می‌ماند [۲-۵].



شکل ۲- عایق‌های گرانولی و بلنکت هواژل نانومتخلخل فوق آب‌گریز (با اجازه از شرکت پاکان آتیه نانودانش)

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 حفره باز و یا حفره بسته باشد. معمولاً در عایق‌های رایج اندازه 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 که اندازه 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 اصطلاحاً نفوذ نادرین نامیده شده و انتقال حرارت بسیار کمتری با این روش صورت می‌گیرد که در عایق‌های هواژل نانومتخلخل اتفاق می‌افتد. در شکل ۳ مکانیسم‌های انتقال حرارت در عایق‌های هواژل نانومتخلخل نشان داده شده است.

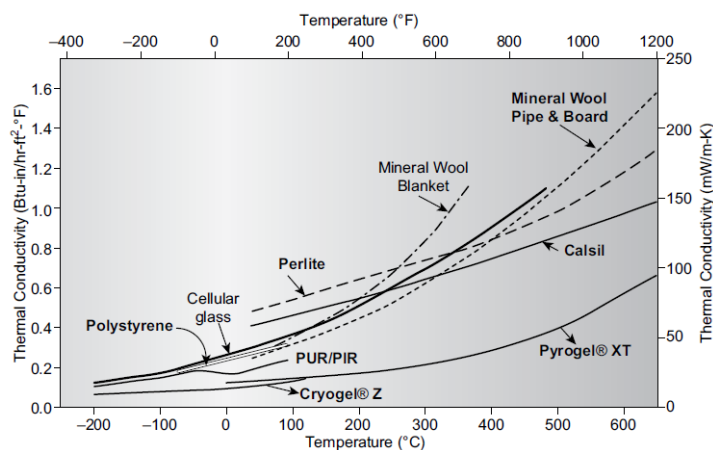


شکل ۳- مکانیسم‌های انتقال حرارت در عایق هواژل سیلیکایی

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 هواژل نانومتخلخل در مقایسه با سایر عایق‌ها و تاثیرات خواص در توسعه پایدار و سبز پتروشیمی‌ها بررسی می‌شود [۲، ۶، ۷].

۳-۱- تناسب با دمای سیستم

دماهای بسیار پایین و بالا نیازمند خصوصیات خاص در عایق‌های حرارتی هستند تا در طولانی مدت بدون مشکل مورد استفاده قرار بگیرند. سیستم‌های دمای پایین سبب میعان مایع در زیر عایق شده و خوردگی زیر سطحی را تسریع می‌کنند. سیستم‌های دما بالا سبب انقباض تدریجی عایق‌ها و همچنین تخریب مواد پلیمری نگهدارنده الیاف عایق می‌شوند که به مرور زمان با ریزش الیاف کارایی آن کاهش می‌یابد. عایق‌های هواژل نانومتخلخل قادر به تحمل بازه دمایی منفی ۲۰۰ تا مثبت ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد با کارایی بسیار بالا هستند. عایق‌های نانومتخلخل فوق آب‌گریز بوده و سبب از بین رفتن کامل خوردگی زیر سطحی و هزینه‌های ناشی از آن در پتروشیمی‌ها می‌شوند. در شکل ۴ ضریب رسانایی هدایتی عایق‌های مختلف در بازه دمایی نشان داده شده است. هواژل‌های دارای کمترین ضریب رسانایی حرارتی هستند [۲، ۸].



شکل ۴- مقایسه ضریب رسانایی عایق هواژل (پیروژل و کرایوژل) با عایق‌های رایج دیگر در بازه دمایی [۹]

۳-۲- مقاومت در برابر نفوذ بخار آب و جذب بخار آب

بسیاری از عایق‌ها به صورت حفره باز هستند که سبب می‌شود بتوانند مقادیر زیادی رطوبت را جذب کنند. جذب و دفع رطوبت می‌تواند شدیداً مقاومت حرارتی عایق را کاهش دهد. همچنین جذب و دفع رطوبت در شبانه روز سبب تغییر ساختار عایق شده و اگر رطوبت در دمای پایین یخ بزند عایق به مرور از بین خواهد رفت. عایق‌هایی که خود به خود اجازه نفوذ رطوبت را ندهند طول عمر طولانی خواهند داشت و خواص خود را حفظ می‌کنند. عایق‌های هواژل نانومتخلخل، فوق آب‌گریز بوده و تا دمای بالای ۴۵۰ درجه سلسیوس این خاصیت خود را حفظ می‌کنند [۳, ۴, ۶, ۱۰, ۱۱].

۳-۳- مقاومت مکانیکی

عایق‌ها از لحاظ مقاومت مکانیکی به دو نوع عمده انعطاف پذیر و سخت تقسیم بندی می‌شوند. عایق‌های سخت ممکن است تحت نیروهای مکانیکی دچار ترک و شکستگی شده و محل ترک عامل تبادل حرارت و رطوبت خواهد بود. عایق‌های منعطف می‌توانند در عین پوشش دهی سطوح با انحنای مختلف تحمل فشارهای مکانیکی را داشته و کارایی آنها کاسته نمی‌شود. هواژل‌های سیلیکایی خالص ترد و شکننده بوده و با فشارهای مکانیکی نسبتاً کم خرد می‌شوند. برای رفع این مشکل هواژل‌ها بر روی بسترهای الیافی با مقاومت مکانیکی بالا تهیه می‌شوند و به راحتی می‌توانند بر روی سطوح مختلف بدون مشکل خرد شدن استفاده شوند.

۳-۴- پایداری

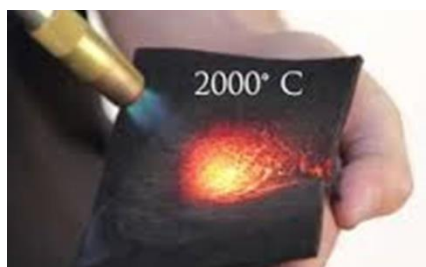
پایداری عایق‌های مختلف در برابر تغییرات دما، نورخورشید، لرزش، برف و باران و غیره که در صنایع پتروشیمی وجود دارند از عوامل مهم در انتخاب عایق مناسب است. با توجه به ضریب رسانایی بسیار پایین ۰.۰۱۴ وات بر متر کلین تغییرات دمایی مختلف تاثیر زیادی در خواص آنها ندارد و دچار شوک حرارتی نمی‌شوند [۲, ۸, ۹].

۳-۵- خطرات آتش و انفجار

پتروشیمی‌ها عمدتاً با مواد بسیار آتش‌گیر در دماهای نسبتاً بالا کار می‌کنند. عایق‌های پلیمری که در دماهای پایین بیشتر استفاده می‌شوند قابلیت آتش‌گیری داشته و می‌توانند سبب گسترش آتش و تولید دود و گازهای سمی شوند. عایق‌های مناسبی باید نسبت به خطرات آتش‌گیری انتخاب شوند. در برخی از عایق‌ها خاصیت خودگرمایش اتفاق می‌افتد بدین معنی که بخش‌هایی از عایق افزایش بسیار بالای دما را نشان می‌دهد که ناشی از ناهمگونی خواص عایق در بخش‌های مختلف خود است. افزایش دمای نقطه‌ای می‌تواند سبب آتش گرفتن عایق و یا گازها و مواد آتش‌گیر اطراف باشد. عایق‌های هواژل نانومتخلخل تا دمای بالای ۱۵۰۰ درجه سلسیوس آتش نگرفته و هیچگونه دودی در مجاورت آتش تولید نمی‌نمایند. همچنین

عایق‌های هواژل دارای توزیع اندازه حفرات و خواص یکسانی بوده و امکان ایجاد نقاط داغ وجود ندارد. همچنین مقاومت حرارتی بالاتر عایق‌های هواژل سبب می‌شود تا فرصت کافی جهت مهار آتش در مسیرهای حاوی مواد هیدروکربنی ایجاد شود.

در شکل ۵ نمونه بلنکت هواژل نانومتخلخل با ضخامت ۶ میلیمتر و تحمل دمای بالای ۲۰۰۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است. رنگ تیره بلنکت به خاطر افزودنی‌های جاذب اشعه مادون قرمز است [۲، ۸].



شکل ۵- تحمل حرارتی بسیار بالای عایق مبتنی بر هواژل نانومتخلخل

۳-۶- مقاومت شیمیایی

بسیاری از عایق‌های دارای مواد آلی در هنگام مجاورت و یا جذب مواد شیمیایی مختلف با آن واکنش داده و یا تخریب می‌شوند. انتخاب عایق باید به گونه‌ای باشد تا هیچگونه واکنشی در صورت تماس با مواد فرایندی نداشته باشد. عایق‌های هواژل نانومتخلخل از جنس سیلیس بوده و خواص بسیار پایداری در مجاورت با مواد شیمیایی مختلف دارند. مواد قلیایی با pH بالاتر از ۱۲ می‌تواند سبب حل شدن سیلیس شوند. عایق از لحاظ شیمیایی خنثی بوده و در تماس با بدن هیچگونه مشکلی ایجاد نمی‌نماید.

۳-۷- طول عمر بهینه

تجهیزات و فرایندهای پتروشیمی عموماً برای کارکرد بهینه در طولانی مدت ساخته می‌شوند و لذا استفاده از عایق‌های دارای طول عمر بالا (با وجود هزینه بالا) توجیه اقتصادی خواهد داشت. تعویض کوتاه مدت عایق‌ها هزینه‌های بسیار زیادی را متحمل می‌کند و در برخی موارد نیازمند توقف کارکرد واحد می‌باشد. عایق‌های هواژل نانومتخلخل نسبت به سایر عایق‌ها قیمت بالاتری دارند ولی در کل با توجه به کارایی بسیار بالای آنها مقرون به صرفه خواهند بود. همچنین تولید داخل کشور این عایق‌ها امکان پذیر بوده و هزینه نهایی عایق را نسبت به نمونه‌های خارجی بسیار کاهش می‌دهند. به طور کلی در صورتی که عایق‌های هواژل به صورت مکانیکی تخریب نشوند خواص آنها تغییر نکرده و کارایی مناسب خود را حفظ می‌نمایند.

۳-۸- ظرفیت حرارتی بهینه

ظرفیت حرارتی به میزان حرارت مورد نیاز جهت افزایش دمای واحد جرم و یا واحد حجم ماده به میزان یک کلین است. هرچه عایق ظرفیت حرارتی پایینی داشته باشد تغییرات دمایی بیشتری را به ازای مقدار

مشخص حرارت تجربه خواهد نمود. ظرفیت حرارتی بالا سبب می شود تا عایق با وجود دریافت انرژی بالا از بخش گرم افزایش دمای خاصی نداشته باشد که در کارایی عایق بسیار موثر خواهد بود.

۳-۹- نداشتن مواد معطر فرار

وجود مواد بودار در عایق‌ها در مواردی مانند استفاده در ساختمان یا محیط‌های صنایع غذایی می‌تواند ایجاد مشکل نماید. عایق‌های هواژل نانومتخلخل هیچگونه بو و عطری ندارند و از لحاظ شیمیایی خنثی می‌باشند.

۳-۱۰- نیازهای تعمیر و نگهداری

تعمیر و تعویض عایق‌های می‌تواند هزینه‌های بسیار زیادی را متحمل نماید. انتخاب عایق مناسب که طول عمر بالا داشته و امکان دسترسی راحتی نسبت به شیرآلات یا بخش‌های عایق شده را بدهد بسیار مهم است. عایق‌های هواژل نانومتخلخل با مقاومت حرارتی بسیار بالا (حدود ۱۰) نیاز به ضخامت‌های بسیار کمتری نسبت به عایق‌های رقیب دارند و لذا به راحتی قابل نصب یا تعویض می‌باشند. همچنین طول عمر بسیار بالای عایق‌های هواژل سبب می‌شود تا مدتهای بسیار طولانی (بیش از ۱۰ سال) نیاز به تعویض آن وجود نداشته باشد.

۳-۱۱- مقاومت در برابر جوندگان و قارچ‌ها

عایق‌هایی که بتوانند رطوبت را جذب کنند بستر مناسبی برای رشد انواع قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند که در برخی صنایع می‌تواند ایجاد مشکل نماید. عایق‌های هواژل فوق آب‌گریز هستند و لذا هیچگونه رطوبتی در میان آنها وجود ندارد تا قارچ‌ها و سایر مواد زیستی بتوانند در آن رشد کنند. جنس این عایق‌ها از سیلیس بوده و نمی‌تواند به عنوان خوراک برای انواع میکروارگانیسم‌ها استفاده شود.

۳-۱۲- حمل و نقل

عایق‌های حرارتی مواد حجیمی هستند که در حجم‌های بالا هزینه حمل و نقل بالایی را نسبت به قیمت عایق متحمل می‌نمایند. هرچه مقاومت حرارتی عایق بالا باشد می‌توان سطح بیشتری را برای حجم یکسان با آن پوشش داد. عایق‌های نانومتخلخل هواژل بیشترین مقاومت حرارتی را در بین عایق‌های رایج داشته و حداقل از بهترین عایق‌های موجود حدود ۴ برابر بهتر عمل می‌کنند. هزینه حمل و نقل و نگه‌داری و نصب عایق‌های مبتنی بر هواژل بسیار کمتر از سایر عایق‌ها خواهد بود.

۳-۱۳- انبارداری

بسیاری از عایق‌ها ملزومات نگه‌داری طولانی مدت را ندارند و به واسطه رطوبت به مرور زمان کارایی و خاصیت آنها کاسته می‌شود. همچنین عایق‌های پلیمری امکان آتش‌گیری داشته و نگه‌داری آنها نیاز به رعایت نکات ایمنی بالایی دارد. عایق‌های هواژل به واسطه فوق آب‌گریز بودن و آتش‌گیر نبودن به هر مدت زمانی امکان نگه‌داری بدون افت کارایی را دارند. همچنین در عایق‌های الیافی امکان ریزش عایق به مرور

زمان در اثر نیروی گرانش وجود دارد در حالی که هواژل از ساختار جامد نانومتخلخل تشکیل شده است و بدون تخریب مکانیکی برای مدت‌های بسیار طولانی خواص آنها حفظ می‌گردد.

۳-۱۴- آماده سازی سطح عایق کاری

عایق‌های سخت و پلیمری برای اینکه به طور کامل سطح را پوشش دهند و همچنین زبری سطح سبب پارگی آنها نشود نیاز به تمیزکاری دارند. در برخی موارد رنگ سطح نیز باید از بین برده شود. عایق‌های هواژل نیاز به هیچگونه پیش آماده سازی سطح نداشته و بر روی هر گونه سطحی امکان نصب با کارایی بالا دارند.

۳-۱۵- قابلیت برش کاری و نصب بر روی تجهیزات با هندسه مختلف

عایق‌های مبتنی بر هواژل نانومتخلخل با توجه به ضریب رسانایی بسیار پایین خود نسبت به سایر عایق‌ها نیاز به ضخامت بسیار کمتر برای کارکرد مشابه دارند. ضخامت کمتر عایق و انعطاف پذیر بودن آن سبب می‌شود به راحتی و در زمان بسیار کمتر هرگونه برشی برای عایق کاری بهتر سطوح منحنی انجام شود. در شکل برشکاری عایق بلنکت هواژل برای زانویی نشان داده شده است. این قابلیت سبب می‌شود نصب سریعتر و راحت‌تر و با هزینه کمتر صورت گیرد.



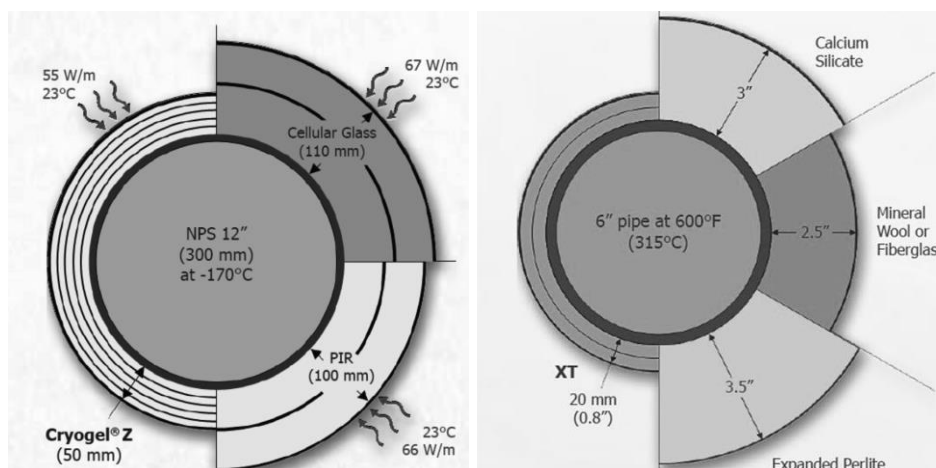
شکل ۶- قابلیت برشکاری عایق‌های هواژل

۳-۱۶- زیست سازگاری

قوانین سختگیرانه زیست محیطی و افزایش آگاهی در این زمینه سبب شده است تا نیاز به استفاده از عایق‌های زیست سازگار ضروری گردد. هواژل‌های هیچگونه خطری برای محیط زیست ندارند. هواژل‌های بر مبنای سیلیکای هستند که ذرات آن‌ها ماسه است. در فرایند تولید از گازهای CFC یا HCFC استفاده نمی‌شود. محصولات به طور ایمن می‌توانند دور ریخته شوند چرا که حجم نصب شده به طور قابل توجهی از عایق‌های رقیب کمتر بوده و پسماند کمتری برای محیط تولید می‌شود. همچنین طول عمر بالاتر عایق هواژل نیز عاملی در کاهش بسیار زیاد دور ریز است. از طرفی مقاومت حرارتی بسیار بالای عایق سبب کاهش اتلاف حرارتی تا بیش از ۵۰ درصد شده و تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار کاهش می‌یابد.

۳-۱۷- وزن عایق

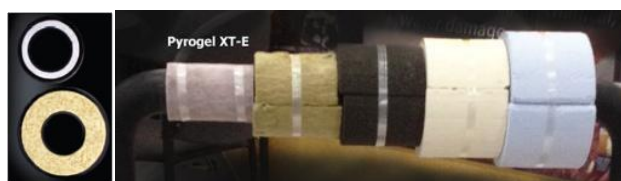
عایق‌های هواژل سبکترین نوع عایق در دنیا بوده و سبب می‌شود به راحتی و ایمن بتوان آنها را به محل نصب جابجا و نصب نمود. این عایق‌ها را می‌توان در مسیرهای طولانیتری نسبت به عایق‌های رایج نصب نمود که سرعت نصب را بهبود می‌بخشد. وزن سبک آنها همچنین سبب کاهش وزن کلی عایق روی لوله‌ها و تجهیزات شده و هزینه ابزارهای نگه‌داری را کاهش می‌دهد.



شکل ۷- مقایسه ضخامت عایق هواژل با سایر عایق‌های رایج در کارکرد دمایی بالا و پایین [۲، ۸، ۹]

۳-۱۸- فضای اشغال شده توسط عایق

برای جلوگیری از انتقال حرارت معین، هرچه ضریب رسانایی حرارتی عایق کمتر باشد نیاز به ضخامت کمتر از عایق خواهد بود. عایق‌های هواژل نانومتخلخل کمترین ضریب رسانایی حرارتی را مابین عایق‌های مختلف داشته و لذا با کمترین ضخامت ممکن عایقکاری را انجام می‌دهند. به طور متوسط عایق‌های هواژل حدود ۴ برابر ضخامت کمتری نسبت به عایق‌های دیگر لازم دارند. همین امر سبب می‌شود از لحاظ زمانی بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر بتوان عایق کاری سطوح را انجام داد.



شکل ۸- مقایسه فضای اشغالی عایق‌های مختلف در کارایی یکسان

۳-۱۹- انبساط حرارتی

در بسیاری از عایق‌ها ضریب انبساط حرارتی عایق با فلز پوشش داده شده متفاوت است. تفاوت ضریب انبساط سبب جابجایی مابین عایق و سطح شده و کارایی عایق‌ها را کاهش می‌دهد. عایق‌های هواژل ضریب انبساط حرارتی مشابه استیل داشته و همزمان با سطح منقبض یا منبسط می‌شوند و این امر کارایی آنها را حفظ می‌نماید.

۳-۲۰- خوردگی زیر سطحی در صنایع پتروشیمی

عموما خوردگی تخریب فلز به واسطه واکنش الکتروشیمیایی با محیط اطراف است که معمولا آب یا رطوبت است. با این وجود خوردگی زیر سطحی که نوعی خوردگی موضعی است در سطح مشترک فلز و عایق اتفاق می افتد. محیط بسته عایق شرایطی را ایجاد می کند که تشکیل رطوبت را تسریع می کند و سبب خوردگی می شود. خوردگی زیر سطحی در محیط های سرد و گرم می تواند اتفاق بیافتد. همچنین عایق می تواند به عنوان حامل عمل نماید و رطوبت شکل گرفته در یک ناحیه را به ناحیه دیگر منتقل کرده و خوردگی را پخش نماید. خوردگی زیر سطحی سبب نشت محصول یا هیدروکربن ها شده که احتمال آتش گرفتن دارند چرا که وسیله یا لوله های عایق شده معمولا از دید مستقیم به دور بوده و مانع توجه به خوردگی میشود. تحقیقات نشان میدهند که بیشترین اتفاق نشتی در صنایع نفتی به واسطه خوردگی زیر سطحی بوده و ناشی از خوردگی فرایندی نمی باشد. ۴۰ الی ۶۰ درصد هزینه های نگه داری لوله ها مربوط به خوردگی زیر سطحی است.



شکل ۹- نمونه هایی از اثرات خوردگی زیر سطح عایق

Observations	First Day	Last Day	Post-Removal
4 2.5" (63 mm) Calcium Silicate Heavy corrosion on top of pipe. Material was damp.			
3 1.5" (38 mm) Mineral Wool Moderate corrosion on top of pipe. Material was damp.			
2 2" (50 mm) Cellular Glass Heavy corrosion on top of pipe			
1 0.6" (15 mm) Pyrogel XT No corrosion			

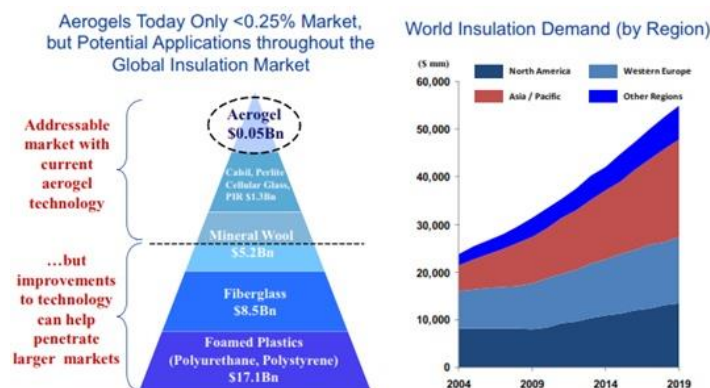
شکل ۱۰- مقایسه خوردگی زیر سطحی عایق های مختلف با عایق هواژل بعد از ۸۵ روز

عایق های هواژل نانومتخلخل فوق آب گریز بوده و به هیچ وجه اجازه نفوذ آب و یا بخار آب را به زیر عایق نمی دهد. در شکل ۱۰ کارایی عایق های مختلف در مقایسه با عایق هواژل برای جلوگیری از خوردگی زیر سطحی نشان داده شده است. همانگونه که دیده میشود خوردگی مشهودی در سایر عایق ها که رطوبت توانسته خود را به زیر عایق برساند، اتفاق افتاده است. سطح فلز در زیر عایق هواژل کاملا به حالت اولیه خود

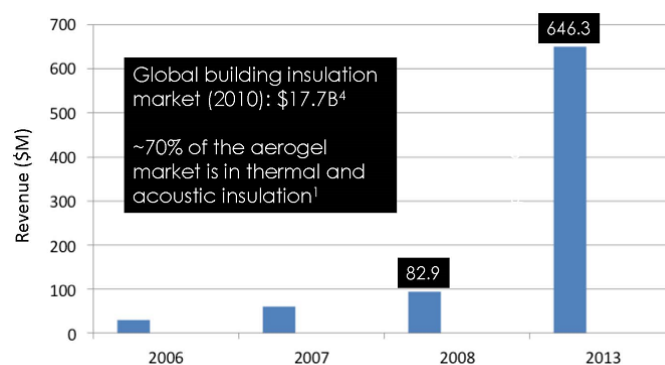
باقیمانده است. استفاده از عایق‌های هواژل در صنایع پتروشیمی می‌تواند هزینه‌های خوردگی و مسائل ایمنی آن را کاملاً کاهش داده و خطرات خوردگی را از بین ببرد [۲, ۹, ۱۲].

۴- بررسی روند رو به رشد کاربرد عایق هواژل نانومتخلخل

عایق‌های هواژل با توجه به خصوصیات منحصر به فرد حرارتی، رطوبتی و صوتی خود روند تجاری رو به رشدی را طی می‌کنند. بررسیها نشان می‌دهند تقاضای عایق در دنیا رو به افزایش بوده (شکل ۱۱) و شتاب افزایش در کشورهای خاورمیانه بیشتر است که ناشی از در حال رشد بودن این کشورها است. شکل ۱۲ رشد سریع بازار هواژل‌ها در زمینه کاربردهای ساختمانی نشان می‌دهد که در مدت چند سال میزان فروش از کمتر از ۵۰ میلیون دلار به ۶۵۰ میلیون دلار رسیده است. بازار کل عایق‌ها حدود ۱۷.۷ تریلیون دلار است که نشان می‌دهد عایق‌های هواژل فرصت زیادی برای رشد دارند.



شکل ۱۱- روند تقاضای عایق در منطقه‌های مختلف دنیا و درصد فعلی بازار هواژل‌ها



شکل ۱۲- روند تصاعدی رشد بازارهای عایق هواژل

عامل مهمی که در کشورهای خارجی محدود کننده رشد سریع‌تر هواژل‌ها است قیمت تولید آن است. در کشور ایران با وجود اولیه بسیار ارزان قیمت، نیروی انسانی کم هزینه، انرژی ارزان پتانسیل تولید گسترده عایق‌های هواژل وجود داشته و امکان صادرات نیز به کشورهای خاورمیانه وجود دارد. شکل ۱۳ کاربرد گسترده عایق‌های بلنکت هواژل در واحد پلی‌کربنات در کشور کره جنوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- عایق کاری واحد پلی کربنات با عایق بلنکت هواژل (کره جنوبی)

ضخامت عایق استفاده شده در واحد پلی کربنات ۶ میلیمتر الی ۱ سانتیمتر در بخش‌های مختلف است [۸].

۵- نتیجه‌گیری

اهمیت بالای مسائل زیست محیطی توسعه پایدار و سبز صنایع بزرگ مانند پتروشیمی‌ها را ضروری می‌سازد. کشور ایران دارای صنایع بزرگ و متعدد پتروشیمی بوده و می‌تواند با کنترل آلاینده‌ها و مصرف انرژی گامی مهم در راستای محیط زیست بردارد. از جمله راهکارهای قابل پیاده سازی استفاده از عایق‌های نوین مبتنی بر فناوری نانو در صنعت پتروشیمی است. عایق‌های هواژل نانومتخلخل خواص منحصر به فردی داشته و می‌توانند با کاهش هزینه، کاهش بالای ۵۰ درصد اتلاف انرژی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی کمک بسیار بزرگی در توسعه سبز پتروشیمی‌های داشته باشند. این عایق‌ها نسبت به عایق‌های رایج کارایی بسیار بالاتر و مزایای منحصر به فرد مانند فوق آب‌گریزی و مقاومت حرارتی بسیار بالا هستند که ضعف‌های عایق‌های رایج را به راحتی پوشش می‌دهند. در دنیا عایق‌های هواژل نانومتخلخل روند رو به رشد فزاینده‌ای داشته و در حال جایگزین شدن با سایر عایق‌های در صنایع مختلف هستند. پتانسیل تولید این عایق‌ها در کشور وجود داشته و با تولید اقتصادی می‌توان به صادرات به کشورهای منطقه نیز مبادرت نمود.

منابع

- [۱] م. ب. ر. و. توسعه، "گزارش عملکرد سال ۱۳۹۴ صنعت پتروشیمی کشور"، ۱۳۹۴.
- [۲] A. BAHADORI, THERMAL INSULATION HANDBOOK FOR THE OIL, GAS, AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES. USA: Elsevier Inc, ۲۰۱۴.
- [۳] H. Bargozin and J. S. Moghaddas, "Wettability Alteration with Silica Aerogel Nanodispersion," Journal of Dispersion Science and Technology, vol. ۳۴, pp. ۱۱۳۰-۱۱۳۸, ۲۰۱۳ ۲۵/۱۲/۲۰۱۳.
- [۴] H. Bargozin, L. Amirkhani, J. S. Moghaddas, and M. M. Ahadian, "Synthesis and application of silica aerogel-MWCNT nanocomposites for adsorption of organic pollutants," Scientia Iranica, vol. ۱۷, pp. ۱۳۲-۱۲۲, ۲۰۱۰.
- [۵] E. C. Donaldson and W. Alam, Wettability, First ed. Houston: Gulf Publishing Company, ۲۰۰۸.

- [۶] H. Bargozin and J. S. Moghaddas, "Stability of Nanoporous Silica Aerogel Dispersion as Wettability Alteration Agent," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. ۳۴, pp. ۱۴۵۴-۱۴۶۴, ۲۰۱۳ ۲۵/۱۲/۲۰۱۳
- [۷] I. Adachi, M. Tabata, H. Kawai, and T. Sumiyoshi, "Study of transparent silica aerogel with high refractive index ", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. ۶۳۹, pp. ۲۲۴-۲۲۲
- [۸] L. LIANG, "ANALYZING HI-TECHNOLOGY OPPORTUNITIES," National university of singapore. ۲۰۱۲
- [۹] J. Williams. (۲۰۱۲). Corrosion Under Insulation (CUI) Management. Available: <http://www.aerogel.com/>
- [۱۰] H. Bargozin, L. Amirkhani, J. S. Moghaddas, and M. M. Ahadian, "Adsorption of water pollutant using functionalized mesoporous silica aerogels: synthesis and adsorption properties," presented at the AWTR, Iran, Tehran, ۲۰۰۹
- [۱۱] H. Bargozin, J. S. Moghaddas, and M. M. Ahadian, "Synthesis of hydrophobic nanoporous silica aerogels with a fast and cost effective method," presented at the ICNN, Iran, Tabriz, ۲۰۰۸
- [۱۲] Y. M. Al-Mowalad, "Corrosion Under Insulation (CUI) Management," Saudi Arabian Oil Company. ۲۰۰۸

Nanoporous aerogel insulation: Fundamental solution to green developments of petrochemicals

Hasan Bargozin^{*۱}, Taher Yousefi Amiri^۲

^aDepartment of Chemical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran, ۳۸۷۹۱-۴۵۳۷۱, Iran.
E-mail: Bargozin@znu.ac.ir

Abstract

Petrochemicals are very important industries in country and have large energy consumption with great pollutants production. Different methods are exist for reduction of energy usage and pollutants, however the application of new nanostructure insulations is good and sure method. Nanoporous aerogel insulations have unique properties such as very high thermal resistance, super hydrophobic, long life time, flexible, acoustic insulation and etc. which caused to replace by traditional insulations. In this work, properties of suitable insulations for petrochemicals are surveyed and the potential of nanoporous aerogel insulations are assessed.

Key words: Insulation, Aerogel, Nanoporoues, Energy, Saving.