سومین کنفرانس ملی شهرسازی و معماری دانش بنیان
3rd National Conference On Knowledge-Based Urban Development and Architecture
دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
۲۵ آذر ماه ۱۴۰۰

اصلاح فوم‌های پلیمری برای کاهش آلودگی صوتی

امیر ارشاد لنگرودی*، غزاله ارشاد لنگرودی[۲]

۱- دانشیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه رنگ و روکش‌های سطح، ایران.
A.Ershad@ippi.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی دانشکده معماری دانشگاه تهران
ghazalehershad78@gmail.com

چکیده

آلودگی صوتی منبع خیلی از ناهنجاری‌های اجتماعی و شهری است. با ازدیاد جمعیت و گسترش شهرها، این نوع آلودگی در حال افزایش است. آلودگی صوتی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر ایجاد خستگی و کاهش بازدهی افراد دارد. آلودگی صوتی علاوه بر کاهش عملکرد افراد بر روی سلامتی جسمی و روانی آنها نیز تأثیرگذار است. در این مقاله به‌صورت مختصر به مقوله صوت و ویژگی‌های آن پرداخته می‌شود. ازآنجاکه صوت یک موج مکانیکی است، برای انتقال از یک محیط به محیط دیگر، نیاز به بستر مناسب دارد. پلیمرها به‌خاطر ویژگی منحصر فردی که دارند می‌توانند بستر لازم برای کاهش انرژی موج صوت را فراهم کنند و شدت امواج صوتی را به‌شدت کاهش دهند یا به طور کامل آنها را حذف نمایند. در این مقاله، اثر اضافه‌کردن نانوذرات مختلف بر بهبود خواص فوم‌های پلیمری بررسی می‌شود. با افزودن این نانوذرات در بستر پلیمر و تهیه فوم‌های نانوکامپوزیت‌های پلیمری خواص جذب صوت آنها می‌تواند تا حد زیادی بهبود یابد. فوم‌های نانوکامپوزیتی با افزایش مسیرهای عبور صوت، احتمال میرا شدن موج صوتی را از طریق اتلاف گرانرو افزایش می‌دهند. آنها انواع مختلفی دارند که باتوجه‌به نسبت ابعادی می‌توان آنها به‌صورت، نانوذرات صفحه‌ای، نانوذرات لوله‌ای و نانوذرات ذره‌ای تقسیم‌بندی نمود. در این مقاله مدنظر است، اثر انواع نانوذرات بر روی کاهش آلودگی‌های صوتی در نمونه‌های فوم‌های پلیمری برای معماری موردبحث و بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: جذب صوت؛ پلیمر؛ فوم؛ شکل نانوذرات؛ نانوکامپوزیت.

www.SID.ir

۱- مقدمه

آکوستیک هنر و علم درک صوت و تعامل آن با جهان است. در مهندسی کنترل آکوستیک و صوت، هدف اصلی کاهش یا حذف صدا در محیطهای داخل و خارج است. کنترل صدا از جنبه‌های مهم در انتقال، طراحی معماری و برنامه‌ریزی شهری است. برای مثال، استفاده از وسایل هیبریدی نه‌تنها کمک به کاهش آلودگی هوا و مصرف سوخت می‌کند، بلکه به طور مشخصی صدای ناشی از مسیر عبور را کاهش می‌دهد. در طراحی معماری، یک مثال خوب طراحی سالن به‌منظور کاهش صدای ناشی از اکو جهت افزایش کیفیت سخنرانی خواهد بود. اخیراً" سازمان بهداشت جهانی اعلام داشته است که یک‌سوم مردم اروپا از مسئله مربوط به‌سلامتی به‌خاطر آلودگی صوتی رنج می‌برند. صدا یکی از عوامل مهم زیان‌آور محیط کار است که توسط دستگاه‌ها و فرایندهای تولیدی در صنایع مختلف ایجاد می‌شود. مواجهه کارگران با صدا به‌عنوان یک مشکل فراگیر در محیطهای کاری در سراسر جهان مطرح است(Dube et al., 2011). مواجهه با صدا می‌تواند باعث بروز مشکلاتی شود که یکی از رایج‌ترین آنها افت شنوایی است، حدود ۱۰ میلیون کارگر در آمریکا افت شنوایی بیش از ۲۵ دسیبل دارند و ٪ ۱۶ از مردم دنیا از افت شنوایی ناشی از مواجهه با صدای محیطهای کاری رنج می‌برندند(Collee et al,. 2011). برآوردی از اطلاعات موجود نشان می‌دهد که حدود ۲ میلیون کارگر در ایران با صدای زیان‌آور مواجهه دارند(Jafari et al., 2010). مواجهه مداوم و طولانی‌مدت با تراز فشار صوت می‌تواند منجر به اختلال در ارتباط با افراد از لحاظ کمی و کیفی شده و در نتیجه عدم درک صحیح و مؤثر علایم هشداردهنده را به دنبال خواهد داشت(Picard et al.,2008). وارد دیگری همچون افزایش ریسک حوادث (eg,2008) (۵) افزایش استرس، افزایش فشار خون(Ni C-h et al., 2007) افزایش ضربان قلب(Niemann, 2005) ، صدمات روانی(Dalton et al., 2003) ، آزردگی و افسردگی، اختلال در خواب، عملکرد و افزایش بیماری های قلبی عروقی را می توان نام برد(Babisch, 2006) . مواجهه با صدا، به عنوان یک مسأله مهم ایمنی و بهداشت شغلی در بسیاری از مجموعه های صنعتی محسوب می‌شود(Canfeng 2012). صداهای مضر و ناخوشایند از اثرات جانبی زندگی ماشینی مدرن است و با ادامه ی توسعه ی تکنولوژی، بویژه افزایش سرعت تکنولوژی ماشین‌ها، دستگاه‌های قویتری به بازار ارائه میشوند که صداهای بیشتری تولید میکنند. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده و به منظور پیشگیری از بروز مشکلات ناشی از مواجهه با صداهای صنعتی و غیر صنعتی، طراحی سامانه‌ها یا روش های مختلف کنترل صدا و حذف این آلاینده امری بسیار ضروری به نظر می‌رسد. صدای کم فرکانس یک پدیده ی طبیعی در مشاغل و منازل محسوب میشود که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. صدای کم فرکانس در محدوده‌ای از فرکانس واقع شده است که کمتر توسط دیوارها یا دیگر سازه ها کاهش می‌یابد، این نوع صدا میتواند دیوارها و اشیا را نیز صدا دار کند. همچنین قادر است فرکانسهای بالاتر را بپوشاند یا ماسکه کند در حالیکه خود این محدوده ی فرکانسی اصلا ماسکه نشود، همچنین با افت انرژی بسیار پایین تا مسافتهای بسیار طولانی تنها با کاهش مختصر ناشی از اثرات زمین و اتمسفر طی مسیر کند، لوازم حفاظت از شنوایی نیز کمتر در این محدوده ی فرکانسی موثرند، همچنین میتواند در بدن انسان رزونانس یا تشدید را سبب شود و باعث بروز واکنشهای ذهنی و تا حدودی فیزیولوژیکی متعددی در افراد گردد. این عوامل نشان میدهند که صدای کم فرکانس از اهمیت ویژه ای برخوردار است(Berglund et al., 1996). صدا و بخصوص صدای کم فرکانس با بیماری¬های فیزیولوژیکی و روانشناختی ارتباط زیادی دارد، اثرات مواجهه با صداهای فرکانس پایین عبارت هستند از وزوز گوش، سردرد، افزایش میزان ترشح هورمون کورتیزل، افزایش واکنشهای استرس زا، اختلالات تنفسی، احساس ناراحتی و اظهار شکایت میباشد. از جمله منابع مهم که در ایجاد صدای تجهیزات در فرکانس‌های پایین نقش دارند شامل موتورهای احتراقی داخلی ، کمپرسور ها، فن ها و دمنده‌ها، ترانسفورماتورهای برقی و سیستم تهویه و ... می باشند. علت اصلی صدا در این گونه تجهیزات انتشار حجم بالایی از جریان هوا می باشد. جهت جلوگیری و کنترل آلودگی صوتی، روشهای مشخص و متنوعی وجود دارد که تنوع آنها بـه نوع منابع، شرایط فیزیکی و هدف از کنترل بستگی دارد. در اکثر صنایع در اثر انتقال هوا یا گاز از یـک قـسمت بـه قسمت دیگر سر و صدای زیادی ایجاد میشود که جهت کاهش این آلودگی صوتی استفاده از لـوازم خـاص بـه نـام کاهش دهنده های صدا (سایلنسر) یا مافلرها الزامی است. یک فیلتر آکوستیکی یا سایلنـسر ابـزاری اسـت کـه از انتقال امواج صوتی جلوگیری میکند و در همین حین در راه عبور هوا یا گاز، مقاومت محسوسی ایجـاد نمـیکنـد. این فیلترها شامل دو نوع واکنشی[1] و مقاومتی[2] هستند. در نوع واکنشی که برای صداهای با باند باریـک فرکانـسی مناسب است، اساس کاهش صدا تغییر امپـدانس اسـت. در اینجـا بـا تغییـر سـطح مقطـع، امپـدانس یـا مقاومـت اکوستیکی بالا رفته و جلو عبور انرژی صوتی را میگیرد. در این روش هرچه تغییر سطح مقطع عبور هـوا در طـول سایلنسر ناگهانی تر باشد،

[1] reactive
[2] resistive

www.SID.ir

کارآیی بالاتر خواهد بود. در نوع مقاومتی اساس کنترل، جلوگیری از عبور امواج صوتی با استفاده از مواد جاذب صوت است. در این روش مقاومت در برابر عبور هوا بسیار کمتر از نوع واکنشی است و جاذبهای صوتی نقش اصلی را ایفا میکنند(Munjal, 1987).

۲-صوت و راه‌های انتقال

صوت از ارتعاش مکانیکی مواد در یک بستر گازی، مایع و یا جامد ایجاد می‌شود. بنابراین صوت از محیط‌هایی که مادی نیستند، امکان عبور ندارد(Kinsler, 1999). مهم‌ترین متغیر های صوت ، فرکانس، طول موج ، سرعت موج و دامنه نوسان می باشند. فرکانس برحسب هرتز بیان میشود و نشان دهنده تعداد نوسانی است که ذرات نوسان کننده در هر ثانیه انجام می دهند. طول موج فاصله ذرات هم فاز بر حسب متر است. فاصله یک موج صوتی هنگام عبور در زمان مشخص که یک سیکل کامل طی شود که رابطه آن شامل سرعت صوت تقسیم بر فرکانس صوت میباشد. دامنه نوسان حداکثر فاصله جا به جایی ذرات نوسان کننده از مرکز نوسان است و با واحد متر بیان می‌شود. سرعت صوت فاصله‌ای است که یک موج صوتی در مدت زمان یک ثانیه در یک سیال می‌پیماید. سرعت صوت از یک ماده به ماده دیگر متفاوت است. به عنوان مثال سرعت صوت در مایعات و جامدات نامتخلخل سریع‌تر از سرعت آن در هوا است. سرعت صوت در آب حدود ۴/۳ برابر (۱۴۸۴ متر بر ثانیه)، و در آهن تقریباً ۱۵ برابر (۵۱۲۰ متر بر ثانیه) سرعت آن در هوای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. وقتی صوت منتشر می‌شود، انرژی آن با افزایش فاصله از منبع ایجاد کننده، کم می‌شود. شدت صوت به‌صورت مقدار متوسط انرژی که صوت در واحد سطح در یک راستای مشخص منتقل می‌کند، تعریف می‌شود و واحد آن وات بر متر مربع است. سطح شدت صوت با دسیبل نسبت به یک سطح مرجع بیان می‌شود. معمولاً صوت از دو طریق هوابرد و ضربه منتقل می شود(Oppenheimer, 2003 & Vinokur, 2006). در انتقال صوت از طریق هوابرد، آلودگی صوتی مستقیم از طریق هوا از منبع صوتی مانند خیابان، تجهیزات مکانیکی، سر و صدای خودروها ، سیستم های تهویه، همسایه مجاور منتقل می‌شود. در مکانیزم ضربه، آلودگی صوتی از درون خود اجزاء سازه منتقل می‌شوند، مانند صدای قدم زدن افراد واحدهای بالاسر، ضربه به دیوار مجاور، بستن درب واحد(Oppenheimer, 2003).

۳-راهکارهای کاهش صوت

کاهش صوت از دو طریق امکان‌پذیر است:

مواد دارای خاصیت ویسکوالاستیک در هنگام برخورد صوت با آن‌ها به علت وجود پیوندهای عرضی کم و سرخوردن زنجیرها روی همدیگر باعث جذب انرژی صوت می‌شوند و از طریق خاصیت ویسکوز هم با ایجاد یک مقاومت در برابر حرکت امواج باعث اتلاف انرژی موج صوتی می‌شوند. تأثیر پدیده اصطکاک در فرکانس‌های پایین دارای اهمیت بیشتری است(Nachman et al., 1990).

برخورد امواج از درون فوم پلیمری باعث ایجاد ارتعاش زنجیرهای آن می‌شود و در نتیجه انرژی آن با ارتعاش زنجیرها مستهلک می‌شود. از جمله عوامل مؤثر دراین‌رابطه می‌توان به استحکام زنجیرهای پلیمری و همچنین دمای انتقال شیشه آن اشاره کرد. برای مثال در فوم‌های پلیمری با دمای انتقال شیشه‌ای بسیار بالا و سخت، مانع ارتعاش زنجیرهای پلیمر بوده و اتلاف انرژی صوتی در آنها از طریق ارتعاش پایین است (e.g, 1990).

٤-فوم‌های پلیمری

انواع فوم‌های پلیمری به‌خاطر خواص بی‌نظیرشان مثل وزن سبک، چگالی کم، جذب ضربه و شوک، فرایندپذیری و خاصیت الاستیسیته بالا، کاربرد گسترده‌ای در جذب صوت دارند. پلی‌یورتان یکی از مهم‌ترین عضوهای خانواده پلیمرها به شمار می‌آید (Khan, 2020). که کاربرد های گسترده‌ای در ساخت مواد عایق صوت و انواع فوم‌های با چگالی مختلف از ۱۰ تا ۸۰۰ $Kg.\ M^{-3}$ دارد. فوم‌های با چگالی پایین نرم، فوم‌های انعطاف‌پذیر و نیمه انعطاف‌پذیر و فوم‌های سخت را می‌توان از آن تولید کرد (Prociak, 2018). مزیت دیگر فوم‌های پلی‌یورتان قیمت مناسب آن نسبت به خواص است. ازآنجاکه با تنظیم دمای انتقال شیشه‌ای پلیمر در محدود دمای کارکرد می‌توان بیشترین اتلاف و جذب صوت را در دمای کارکرد ایجاد کرد. در پلی‌یورتان‌ها این امکان بدون اضافه‌کردن افزودنی و فقط با تغییر در نوع و نسبت

www.SID.ir

اجزای سازنده پلی اُل به ایزوسیانات فراهم است و می‌توان دمای انتقال شیشه‌ای آن را تغییر داد و درعین‌حال خواص مکانیکی آنها افت چندانی نکند. این تغییر آسان در دمای انتقال شیشه‌ای بدون افت مشهود در خواص مکانیکی مهم‌ترین علت انتخاب این نوع پلیمرها برای جذب صوت است.

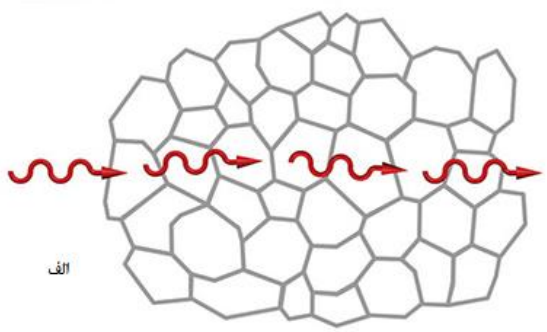
یکی از روش‌های تولید پلی‌یورتان با استحکام بالاتر استفاده از اصلاح‌کننده‌های مختلف مثل نانوذرات است (Li et al., 2009 & Oppenheimer et al., 2003).

فوم‌های پلیمر ویسکوالاستیک باتوجه‌به عملکرد فوق‌العاده‌ای که در جذب صوت دارند به‌عنوان جاذب صوت برای سروصدا استفاده می‌شود و قادرند انرژی مکانیکی را به گرمایی تبدیل کنند (Moradi, 2018). در این نوع فوم‌ها ساختار پلیمری نقش فاز جامد و هوا فاز سیال را به عهده دارد. در واقع حضور مشترک ساختار انعطاف پلیمر با هوا در فوم‌های پلیمری، این محیط را مستعد برای میرایی انرژی صوت ساخته است. صرف‌نظر از انتشار موج صوتی در یک ساختار متخلخل، سازوکارهای متفاوتی برای میرایی انرژی صوتی وجود دارد. تغییر شکل ساختار جامد و حفرات به‌وسیله موج صوتی، اصطکاک گرانرو بین زنجیرهای پلیمر و اصطکاک بین مولکول‌های هوا در سلول‌ها منجر به اتلاف انرژی به‌صورت گرما می‌شود. انعکاس و پخش شدن موج صوتی که در دیواره سلول‌ها اتفاق می‌افتد سازوکار دیگری برای تضعیف انرژی صوت است. وجود مسیرهای پر پیچ‌وخم در جلوی موج صوتی در حال انتقال در محیط متخلخل سازوکار میرایی را در هر سلول تکرار می‌کند که نتیجه به‌صورت جذب انرژی صوتی است(Allard & Atalla, 2009).

۵-اصلاح خواص آکوستیک با نانوذرات

افزودن نانوذرات به مخلوط های پلیمری خواص مکانیکی، حرارتی و محدوده جذب فرکانس صوتی را می‌تواند بهبود دهد. متغیرهای دیگر برای افزایش کارایی فومها، نوع سلول باز و بسته بودن ، درصد بارگذاری و نحوه توزیع نانوذرات است. بارگذاری کم می‌تواند سبب افزایش کم در خواص میرایی صوتی شود(Verdejo, 2009). در حالیکه مقدار بالای نانوذرات می‌تواند سبب کلوخه شدن و افت خواص شود. علاوه بر کسر بارگذاری، اندازه نانوذرات یکی دیگر از پارامتر های برهم‌کنش بین نانوذرات و زنجیر پلیمری است. خواص مکانیکی نیز یکی از ویژگی های دیگری است که محققین سعی دارند همزمان با افزایش توانایی جذب صوت از افت آن ممانعت کنند(e.g , 2009). انواع مختلفی از اصلاح کننده ها با اندازه نانو و میکرو به منظور کنترل خواص صوتی در فوم‌های پلیمری استفاده می شوند(Pan, 2015). از نظر شکلی آنها می‌توانند صفحه ای(Oh et al., 2020)، (لوله ای(Bandarian et al., 2011) و کروی(Hyuk Park et al., 2017) باشند. از جمله عوامل مهم برای داشتن جذب صوت مناسب می‌تواند نحوه پخش نانوذرات در زمینه پلیمری و برهم‌کنش مناسب بین آنها باشد. در برخی موارد اینکار می‌تواند با اصلاح نانوذرات با ترکیبات شیمیایی که عوامل شیمیایی برای اتصال و برهم کنش بهتر با زمینه پلیمر ایجاد می کنند ، انجام شود(Verdejo et al., 2009 & Bandarian et al., 2011).

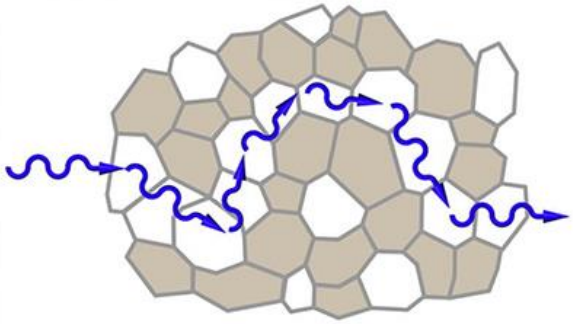
www.SID.ir



الف

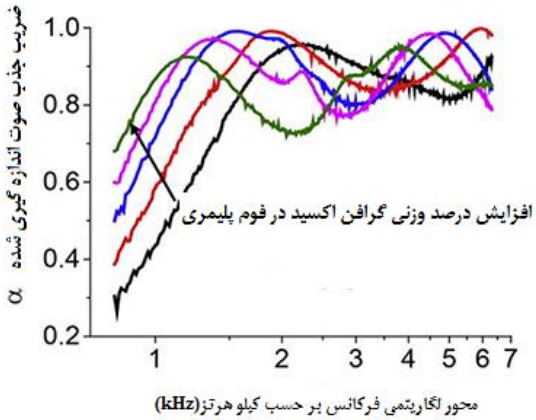
قبل از اصلاح با گرافن اکسید

الف



بعد از اصلاح با گرافن اکسید

ب



ج

شکل ۱- افزایش جذب صوت در فوم پلیمری توسط نانوذرات اکسید گرافن: الف- قبل از اصلاح، ب - افزایش مسیر بعد از اصلاح، ج - تغییرات ضریب جذب صوت با فرکانس در محور لگاریتمی (مأخذ: Lee & Jung, 2019)

در شکل نشان داده شده است که اضافه‌کردن گرافن اکسید به ماتریس پلیمری باعث افزایش مسیرهای پر پیچ‌وخم در ماتریس پلیمر می‌شود و از این طریق باعث افزایش جذب صوت می‌شوند(E.g, 2019).

نانوذرات لوله‌ای از جنس کربنی و غیرکربنی در بازار موجودند در نوع کربنی، آنها بر اساس دیواره تقسیم بندی می‌شوند و شامل نانولوله کربنی تک دیواره، دو دیواره و چند دیواره می‌باشند (Dresselhaus et al., 2000).

www.SID.ir

نانولوله کربنی نیز با افزایش مسیرهای عبور صوت از فوم باعث افزایش جذب صوت می‌شود. این نانولوله‌ها را می‌توان به‌صورت اصلاح نشده و یا اصلاح شده با گروهای عاملی مختلف مانند هیدروکسیل، کربوکسیل و آمیدی استفاده کرد(Moradi et al., 2018 & Verdejo et al., 2009 & Bandarian et al., 2011) .

دسته دیگر از نانوذرات که در ساخت نانو کامپوزیت‌های جاذب صوت استفاده می‌شوند. نانوذرات ذره‌ای هستند در این دسته معمولاً اکسیدهای فلزی مثل اکسید روی، تیتان و سیلیس قرار دارند. این ذرات معمولاً کروی یا شبه کروی بوده و به دلیل عوامل قطبی در ترکیبشان می‌توانند برهم‌کنش مناسبی با زمینه پلیمری ایجاد کنند. علاوه بر این آنها نسبت به نانوذرات صفحه‌ای و لوله‌ای تمایل کمتری به کلوخه شدن دارند و می‌توانند در نسبت‌های وزنی بالاتر از سایر نانوذرات در ماتریس پلیمر استفاده می‌شوند(El Mogy et al., 2019).

٦-نتیجه گیری

ازآنجاکه صوت یک موج مکانیکی است، برای انتقال نیاز به یک محیط مادی دارد و سرعت آن با افزایش چگالی محیط افزایش می‌یابد. فوم‌های پلیمری، کاربردهای گسترده‌ای برای جذب صوت دارند. صوت در این فوم‌ها از طریق اتلاف حرارتی در فاز سیال و دادن انرژی به مولکول‌های هوا و از طریق اتلاف ویسکوز در فاز گرانرو جذب می‌شود. هرچقدر مسیر عبور صوت از نمونه فوم پلی‌یورتانی بیشتر شود جذب صوت بیشتر می‌شود. افزودن نانوذرات به فوم‌های پلیمری با افزایش تعداد مسیرهای عبور صوت و طولانی‌تر کردن آن از نمونه سبب افزایش جذب صوت می‌شود. در این میان می‌توان از انواع نانوذرات با اشکال صفحه‌ای، لوله‌ای و ذره‌ای برای اصلاح پلیمر زمینه استفاده کرد. دراین‌رابطه، پخش نانوذره در زمینه فوم پلیمر و برهم‌کنش بهتر نانوذرات با زنجیرهای پلیمری از جمله عوامل تأثیرگذار بر روی جذب صوت در فوم‌های پلیمری می‌باشند.

فهرست مراجع

1. Allard J., Atalla N., *Propagation of sound in porous media: modelling sound absorbing materials 2e* , John Wiley & Sons, 2009.
2. Babkina N, Lipatov YS, Alekseeva T. Damping properties of composites based on interpenetrating polymer networks formed in the presence of compatibilizing additives. Mechanics of Composite Materials. 2006;42(4):385-92.
3. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. Noise and Health. 2006;8(30):1.
4. Bandarian M., Shojaei A., Rashidi A. M., Thermal, mechanical and acoustic damping properties of flexible open-cell polyurethane/multi-walled carbon nanotube foams: effect of surface functionality of nanotubes , *Polym. Int.*, 60, 475–482, 2011.
5. Berglund B, Hassmen P, Job RS. Sources and effects of low-frequency noise. The Journal of the Acoustical Society of America. 1996;99(5):2985-3002.
6. Collee A, Legrand C, Govaerts B, Van Der Veken P, De Boodt F, Degrave E. Occupational exposure to noise and the prevalence of hearing loss in a Belgian military population: a cross-sectional study. Noise and Health. 2011;13(50):64.
7. Canfeng Z, Shujie Y, Dong L. Comprehensive control of the noise occupational hazard in cement plant. Procedia Engineering. 2012;43:186-90.
8. Dube KJ, Ingale LT, Ingale ST. Hearing impairment among workers exposed to excessive levels of noise in ginning industries. Noise and Health. 2011;13(54):348.
9. Dalton DS, Cruickshanks KJ, Klein BE, Klein R, Wiley TL, Nondahl DM. The impact of hearing loss on quality of life in older adults. The gerontologist. 2003;43(5):661-8.
10. Dresselhaus M. S., Dresselhaus G., Eklund P. C., Rao A. M., *Carbon nanotubes* , Springer, 2000.

www.SID.ir

11. El Mogy S., Youssef R. S., Abd El Megeed A. A., Processing of polyurethane nanocomposite reinforced with nanosized zinc oxide: effect on mechanical and acoustic properties , *Egypt. J. Chem.*, 62, 333–341, 2019.
12. Hyuk Park J., Suh Minn K., Rae Lee H., Hyun Yang S., Bin Yu C., Yeol Pak S. et al., Cell openness manipulation of low density polyurethane foam for efficient sound absorption , *J. Sound Vib.*, 406, 224–236, 2017.
13. Jafari MJ, Karimi A, Haghshenas M. Extrapolation of experimental field study to a National Occupational Noise Exposure Standard. International Journal of Occupational Hygiene. 2010:63-8.
14. Khan T., Acar V., Aydin M. R., Hülagü B., Akbulut H., Seydibeyouglu M. Ö., A review on recent advances in sandwich structures based on polyurethane foam cores , *Polym. Compos.*, 41, 2355–2400, 2020.
15. Kinsler L. E., Frey A. R., Coppens A. B., Sanders J. V, *Fundamentals of acoustics* , Wiley, 1999.
16. Lee J., Jung I., Tuning sound absorbing properties of open cell polyurethane foam by impregnating graphene oxide , *Appl. Acoust.*, 151, 10–21, 2019.
17. Li J. H., Hong R. Y., Li M. Y., Li H. Z., Zheng Y., Ding J., Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings , *Prog. Org. Coatings*, 64, 504–509, 2009.
18. Munjal ML. Acoustics of ducts and mufflers with application to exhaust and ventilation system design: John Wiley & Sons; 1987
19. Moradi G., Nassiri P., Ershad-Langroudi A., Monazzam M. R., Acoustical, damping and thermal properties of polyurethane/poly(methyl methacrylate)-based semi-interpenetrating polymer network foams , *Plast. Rubber Compos.*, 47, 221–231, 2018.
20. Ni C-h, Chen Z-y, Yin Z, Zhou J-w, Pan J-j, Nian L, et al. Associations of blood pressure and arterial compliance with occupational noise exposure in female workers of textile mill. Chinese medical journal. 2007;120(15):1309-13.
21. Niemann H, Maschke C, Hecht K. Noise induced annoyance and morbidity. Results from the pan European LARES-survey. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz. 2005;48(3):315-
22. Nachman A. I., Smith III J. F., Waag R. C., An equation for acoustic propagation in inhomogeneous media with relaxation losses , *J. Acoust. Soc. Am.*, 88, 1584–1595, 1990.
23. Oh J.-H., Kim J.-S., Oh I.-K., others, Auxetic graphene oxide-porous foam for acoustic wave and shock energy dissipation , *Compos. Part B Eng.*, 186, 107817, 2020.
24. Oppenheimer C. H., Dubowsky S., A methodology for predicting impact-induced acoustic noise in machine systems , *J. Sound Vib.*, 266, 1025–1051, 2003.
25. Prociak A., Malewska E., Kurańska M., B\kak S., Budny P., Flexible polyurethane foams synthesized with palm oil-based bio-polyols obtained with the use of different oxirane ring opener , *Ind. Crops Prod.*, 115, 69–77, 2018.
26. Picard M, Girard SA, Simard M, Larocque R, Leroux T, Turcotte F. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. Accident Analysis & Prevention. 2008;40(5):1644-52.
27. Pan Y., Pan H., Yuan B., Hong N., Zhan J., Wang B. et al., Construction of organic--inorganic hybrid nano-coatings containing $α$-zirconium phosphate with high efficiency for reducing fire hazards of flexible polyurethane foam , *Mater. Chem. Phys.*, 163, 107–115, 2015.
28. Verdejo R., Stämpfli R., Alvarez-Lainez M., Mourad S., Rodriguez-Perez M. A., Brühwiler P. A. et al., Enhanced acoustic damping in flexible polyurethane foams filled with carbon nanotubes , *Compos. Sci. Technol.*, 69, 1564–1569, 2009.
29. Vinokur R., Mechanism and calculation of the niche effect in airborne sound transmission , *J. Acoust. Soc. Am.*, 119, 2211–2219, 2006.

www.SID.ir

Modification Of Polymer Foams To Reduce Noise Pollution

Amir Ershad Langroudi[*1], Ghazaleh Ershad Langroudi[2]

1- Associate Professor of Iran Polymer and Petrochemical Research Institute, Department of Paints and Surfaces A.Ershad@ippi.ac.ir

2- Undergraduate student, School of Architecture, University of Tehran ghazalehershad78@gmail.com

Abstract:

Noise pollution is the source of many social and urban anomalies. With the increase in population and the expansion of cities, this type of pollution is increasing. Noise pollution has a significant effect on fatigue and reduced productivity. Noise pollution, in addition to reducing people's performance, also affects their physical and mental health. In this article, the category of sound and its features are briefly discussed. Because sound is a mechanical wave, it needs a suitable substrate to transmit from one environment to another. Due to their unique properties, polymers can provide the necessary substrate to reduce the sound wave energy and drastically reduce the sound waves or eliminate them completely. In this paper, the effect of adding different nanoparticles on improving the properties of polymer foams is investigated. By adding these nanoparticles in the polymer substrate and preparing foams of polymer nanocomposites, their sound absorption properties can be greatly improved. Nanocomposite foams increase the probability of sound wave attenuation through viscous loss by increasing the sound conduction pathways. They have different types that according to the dimensional ratio, they can be divided into plate nanoparticles, tubular nanoparticles and particle nanoparticles. In this paper, the effect of nanoparticles on the reduction of noise pollution in polymer foam samples for architecture is discussed.

Keywords: sound absorption; polymer; foam; shape of nanoparticles; nanocomposite.

www.SID.ir