Sound Absorbents and Using New Technologies inthem; A Systematic Review

Bahram Kouhnavard1 , Asiye Abbasi1, Mohammad Reza Najimi1, Ali Jebali2*

1. MSc student of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, Member of Student Research Committee, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences,Yazd, Iran
2. Assistant Professor of Nanotechnology of Medicine, Department of Laboratory Sciences, Faculty of Paramedical Sciences, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences,Yazd, Iran.

Corresponding Author: Ali Jebali, Assistant Professor of Nanotechnology of Medicine, Department of Laboratory Sciences, Faculty of Paramedical Sciences, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences,Yazd, Iran (E-mail: alijebal2011@gmail.com)

Background and Aims: Noise exposure can lead to several complications such as tinnitus, hypertension, sleep problems and hearing loss. Considering the prevalent entrance of nanotechnology in different fields of science, this study aimedto review the use of sound-absorbing panels _composed ofnanoparticles_named nanocomposites panels.

Materials and Method: In this reviewal study,search engines like Magiran, Sid, Medlib, Iran Medex, Google Scholar, ISI web of knowledge, Scopus and Pubmed.com were used. Searched key wordswere: Sound absorption, acoustic panel, acoustic barrier,sound absorbent and sound absorbing panels. A total number of 51 articles based on the aims of the study were selected and the related information was extracted.

Results: One of the best and the most efficientmonitoring methods for noisy sources is applying thesound absorbents. These sound absorbentsplay important role in controling the room noise, industrial noise, studio sounds, automobiles and other kinds of noise pollution. Soundabsorbent materials arenormally used to fight back against the hostile effects of reflected sounds from the solid surfaces and they alsocausedthe reduction in the sound level of the reflected sounds.Considering the large area of application of theNano-materialsin acoustics economy,in comparison with porous material and other materials, theSoundabsorbent materials have got a various levels in terms of sound absorption.

Conclusion: The application of sound absorbents,which are made based on polymer materials and nanoparticles,canpreventfrom many occupational diseases and because of the economicalproduction costs of these materials,can play an important role in the national economy.

Keywords: sound absorbent, control engineering, new technologies

جاذب‌های صوت و استفاده فناوری‌های نوین در آن؛ یک مرور سیستماتیک

(بهرام کوهنورد۱، آسیه عباسی۱، محمد رضا نجیمی۱، علی جبالی*۲)

alijebal2011@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش نهایی:۹۴/۰۶/۲۱

مقدمه : مواجهه با صدا می‌تواند منجر به عوارض متعدد از جمله وزوز گوش، افزایش فشارخون، مشکلات مربوط به خواب و کاهش شنوایی شود. با توجه به ورود گسترده نانو در عرصه‌های مختلف علمی، هدف از این مطالعه مروری بر استفاده از پانل‌ها و جاذب‌های صوتی محتوی نانوذرات تحت عنوان پانل‌های نانوکامپوزیت می‌باشد.

روش جستجو: در این مطالعه‌ی مروری، از موتورهای جستجوی Medlib, Iran Medex, Google ,Magiran, Sid Scholar, ISI web of knowledge, Scopus, Pubmed.com استفاده شد. واژگان کلیدی مورد جستجو شامل: Sound adsorption, acoustic panel, acoustic barrier، جاذب صوتی، پانل‌های صوتی بوده است. در مجموع تعداد ۵۱ مقاله مطابق با هدف مطالعه انتخاب و اطلاعات مربوطه استخراج گردید.

یافته هایکی از بهترین و مؤثرترین روش‌های کنترلی برای منابع با صدای آزاردهنده، کنترل صدا توسط جاذب‌های صوت می-باشد. این جاذب‌ها در کنترل صدای اتاق، سرو صدای صنعتی، صدای استودیو، اتومبیل و کنترل سایر آلودگی‌های صوتی، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. مواد جاذب معمولا به منظور مقابله با اثرات نامطلوب صدای انعکاس یافته از سطوح سفت و سخت استفاده شده و باعث کاهش سطح صدای منعکس شده می شوند. مواد نانو با توجه به این که سطح ویژه وسیعی نسبت به مواد متخلخل و سایر مواد مورد استفاده در صنعت آکوستیک دارند، دارای خواص متفاوتی نیز از نظر جذب صدا می‌باشند.

نتیجه گیری:بکارگیری جاذب های صوتی بر پایه مواد پلیمری و نانوذرات ضمن پیشگیری از بسیاری از بیماری‌های ناشی از کار و همچنین با عنایت به مقرون به صرفه بودن تولید این گونه جاذب‌ها می‌تواند نقش بسیار مهمی را در اقتصاد ملی ایفا نماید.

کلید واژه ها : جاذب صدا، کنترل مهندسی، فناوری‌های نوین

۱- **دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد**

۲- ***نویسنده مسئول، استادیار نانوفناوری پزشکی، گروه علوم آزمایشگاهی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد.**

مقدمه:

صدا، یک نوسان آکوستیکی است که حس شنوایی را تحریک می‌کند (۱) و سر و صدا۱ امواج نامنظمی هستند که ناخوشایند، ناخواسته و عموماً اجتناب ناپذیر می‌باشد (۲). صوت برای انتشار، نیاز به محیط مادی دارد. از طرفی سر و صدا، از اختلاط اصوات با طول موج‌های مختلف و شدت‌های متفاوت به وجود آمده و حالت معینی ندارد. در این امواج بین دامنه‌های فشار، فرکانس‌ها و طول موج‌های آن‌ها رابطه معنی داری وجود ندارد و در صنعت به فراوانی از این نوع صدا تولید و منتشر می‌گردد (۳).

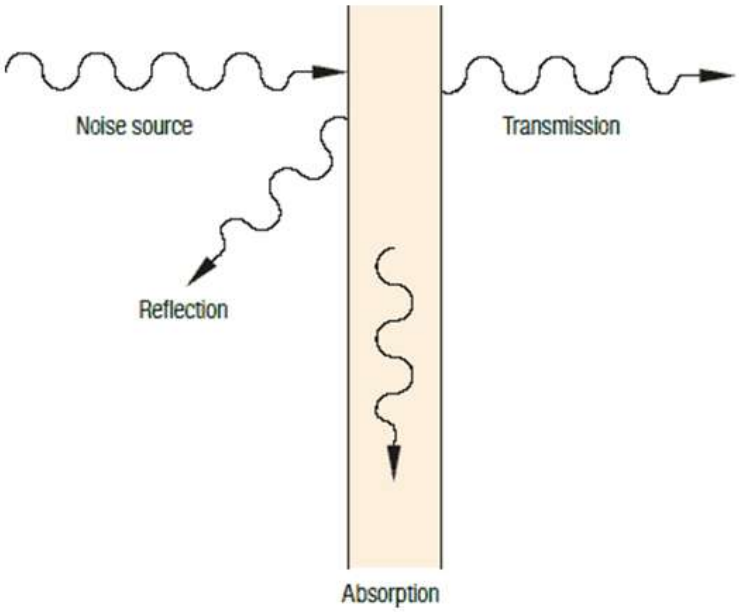
آلودگی صدا یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی زیان آور در محیط کار، به ویژه در محیط‌های صنعتی محسوب می‌شود (۴). در ایران بر اساس برآورد علمی و مقایسه آمار کشورهای مشابه و در نظر گرفتن جمعیت کارگری کشور می‌توان گفت که ۲ میلیون نفر شاغل، در معرض صدای زیان آور در محیط کار قرار دارند (۵، ۶، ۷). مواجهه انسان با صدا می‌تواند منجر به ایجاد اثرات و عوارض شناخته شده‌ای از جمله افت موقت و دائم شنوایی، اثرات نامطلوب فیزیولوژیکی و روحی روانی از قبیل اختلال خواب، افزایش فشار خون و ضربان قلب، اضطراب و در نهایت ایجاد عوارض شغلی، کاهش راندمان و بهره وری و افزایش ریسک وقوع حادثه در محیط کار شود. مواجهه با صدا می تواند چندین مشکل ایجاد کند که یکی از رایج ترین آنها افت شنوایی می باشد (۸، ۹، ۱۰). مواجهه مداوم و طولانی مدت با تراز فشار صوت بیش از ۸۰ دسی بل می‌تواند موجب افت شنوایی موقت و یا کری شود. این عارضه منجر به اختلال در ارتباط گفتاری افراد از لحاظ کمی و کیفی شده و در نتیجه عدم درک صحیح و مؤثر علایم هشدار دهنده را به دنبال خواهد داشت (۱۱، ۱۲).

به طور معمول، در سال‌های اولیه کار، افت شنوایی در محدوده فرکانسی ۳ تا ۶ کیلو هرتز با بیشینه افت در فرکانس ۴ کیلو هرتز ظاهر شده و با ادامه روند قرارگیری در معرض سر و صدا، میزان کاهش شنوایی پدید آمده، افزایش یافته و فرکانس‌های دیگر را نیز شامل می‌شود (۱۳). حدود ۱۰ میلیون کارگر در آمریکا افت شنوایی بیش از ۲۵ دسی بل دارند و در کل جهان ۱۶ درصد از افت شنوایی، ناشی از مواجهه با صدای محیط‌های کاری می‌باشد (۱۴). طبق مطالعاتی که در صنعت انجام گرفته، مشخص شده است که صدا یکی از عوامل اصلی نارضایتی و ناراحتی در بین کارگران صنایع است (۱۵).

یکی از علل وجود شکایت‌های بسیار زیاد درباره صدا در محیط کار این است که صدا پدیده‌ای فیزیکی، عینی و آشکار است و انسان به راحتی در محیط کار آن را حس می‌کند (۱۶). انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی شغلی۲ اظهار کرده است که نزدیک به دویست میلیون کارگر در ایالات متحده آمریکا دارای بیماری‌اند و طبق بررسی آن‌ها ۱۴ درصد از کل جمعیت کارگران در محیط هائی به کار گرفته می‌شوند که تراز صدا از ۹۰ دسی بل تجاوز می‌نماید (۱۷). موضوع پایش‌های زیست محیطی در مورد عوامل بیماری زا و زیان آور از سوی قوانین کار و تامین اجتماعی در کشور جمهوری اسلامی حمایت می‌شود و مواد قانونی ۹۵، ۹۲، ۸۵ قانون کار و ۹۶، ۸۸ قانون تأمین اجتماعی به صورت مستقیم و غیر مستقیم این حمایت‌ها را نشان داده و تأیید می‌کند که موضوع صدا نیز به عنوان یکی از عوامل زیان آور در محیط کار از این قوانین مستثنی نیست (۱۸). امروزه بیشتر مشکل صدا در محیط کار مربوط به منابع تجهیزاتی و فرایندی می‌باشد. از نقطه نظر صنعتی منشأ وجود صدا در تجهیزات به چندین عامل از جمله ماهیت ساختاری و مکانیکی دستگاه، میزان استهلاک قطعات مکانیکی، عملکرد نامناسب قطعات متحرک ماشین آلات، فوندانسیون ضعیف و در نتیجه ارتعاش ساختاری دستگاه مربوط می‌شود. در این راستا یکی از مهم‌ترین اقدامات بهداشتی لازم در خصوص منابع

تولید صدای آزاردهنده، انجام ارزیـابی‌هـای آکوسـتیکی و اجرای کنترل‌های فنی و مهندسی صدا در قالب برنامه‌های حفاظت شنوایی کـارگران مـی‌باشـد. در بررسـی آلـودگی صوتی تعیین وضعیت مواجهـه صـوتی کـارگران شـاغل و کنترل صدای محیط کار یک مسـأله مـورد توجـه بـوده و ضـروری اسـت جهـت دسـتیابی بـه ترازهـای منطبـق بـا استاندارد روش‌های کنترلی مناسب به کار گرفته شود.

امروزه با به کارگیری راهکارها و روش‌های مختلف، امکـان کنترل صدا وجود دارد که از جمله، راهکارهای مدیریتی و اجرایی (کاهش زمان مواجهه)، کنترل مهندسی و استفاده از وسایل حفاظت فردی را می‌توان نام برد. تغییر و اصـلاح محیط‌های کار و یا تجهیـزات، محصورسـازی تجهیـزات و منابع صوتی و یا جلـوگیری از انتشـار ترازهـای صـوتی در محیط کار می‌توانـد موجـب کنتـرل و در نتیجـه کـاهش مواجهه با صدا در محیط کار شود. ایـن اقـدامات، کنتـرل مهندسی نامیده می‌شوند کـه بـه لحـاظ هزینـه و ایمنـی نسبت به کنترل مدیریتی کارکنان و نیز تجهیزات حفاظت فردی از کارایی و اثربخشی بسیار بالاتری برخوردار هستند (۱۹). همچنـین در مـواردی بـا انجـام اقـداماتی از قبیـل انتقال منبع به محل دورتر، تنظیم یـا تغیـر منبـع، جهـت تولید تراز صدای پایین تر، تعمیر و یا سرویس منبع، نصب و راه اندازی منبع صدا بر روی یک پایه انعطاف پذیر بـرای کنترل ارتعاشات و در نتیجه کنترل صدا، جایگزین کـردن منبع صدا با یک دستگاه بدون صوت یا با صدای پایین تـر می توان موجب کاهش و کنترل صدا گردید (۲۰). با ایـن حال تقریباً یکی از بهترین و مؤثرترین روش‌هـای کنترلـی برای منابع با صدای آزاردهنده، کنترل صدا توسط جاذب-های صوتی می‌باشد. کنترل صدا در محیط کار یک معضل بزرگ بهداشتی بوده و مستلزم آن است که با به کـارگیری کنترل‌های مهندسی بتوان مشکل صدا را حل کرده و صدا را به سطح مورد نیاز کاهش داد (۲۱). با عنایت به مطالـب بالا و به منظور پیشگیری از بروز مشکلات ناشی از مواجهه با صداهای صـنعتی و غیرصـنعتی طراحـی سـامانه هـا یـا روش‌های مختلف کنترل صدا و حذف این آلاینـده امـری بسیار ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱. انتقال صدا در یک سطح مدل. جذب، عبور و انعکاس سه اتفاق مهم می‌باشند.

مواد جـاذب بـه طـور کلـی ماهیـت مقـاومتی یـا لیفـی و متخلخل دارنـد (۲۵، ۲۲). نمونـه‌هـای کلاسـیک از مـواد مقاوم که عبارتند از منسوجات بافته نشده، فـایبر گـلاس، پشم معدنی و مواد متخلخل فومی و مسـطح هسـتند کـه برای کنترل سر و صدا و به طور کلی به عنـوان واسـطه‌ی فیبری و یا فوم متخلخـل طبقـه بنـدی شـده‌انـد. واسـطه فیبری معمولاً شامل الیاف شیشه، پشم سنگ یا پلی استر می‌باشد که جذب آکوسـتیک بـالای دارنـد. گـاهی اوقـات الیاف مقاوم در برابر آتش نیز در ساخت محصولات صـوت استفاده شده است (۲۷، ۲۶).

شکل ۲. نمونه‌ای از پشم شیشه (سمت راست) و پشم سنگ (سمت چپ)

نمونه‌ای از این جاذب‌ها، فوم‌های پلیمری هسـتند کـه بـه طور گسترده‌ای بعنوان مواد جاذب صدا به کار بـرده مـی-شوند. انرژی موج صوتی برخوردی تا حدی به صورت گرما به دلیل اصطکاک هوا داخـل سـلول‌هـا و اصـطکاک بـین زنجیره‌های پلیمری مجاور از بین می‌رود (۲۸). فـوم پلـی اوراتان را می‌توان از واکنش ایزوسـیانات بـا پولیـول و آب بدست آورد و سپس می‌توان توسط پرکننده‌های میکرونی خواص آن را بهبود بخشید (۳۰، ۲۹). نسبت جذب صـوت با افزودن مقادیر مختلف نانو سیلیکا بـه فـوم پلـی اورتـان افزایش می‌یابد (۳۱). در حـال حاضـر در داخـل کشـور از عایق‌های حرارتی از قبیل پشم شیشـه و پشـم سـنگ بـه عنوان جـاذب‌هـای صـوتی اسـتفاده مـی شـود کـه دارای معـایبی هسـتند، نظیـر: ۱) ایجـاد حساسـیت پوسـتی و آسیب به سیستم تنفسی و بروز بیماری‌های ناشـی از کـار در برخی از جاذب‌های صوتی، ۲) خاصیت پخش شوندگی سریع و آسان بعضـی از جـاذب‌هـای صـوتی در محـیط و ایجاد آلودگی زیست محیطی و بروز آلودگی هوای محـیط کار در کارخانجات تولید کننده بخاطر وجـود اکسـیدهای فلـزی مضـر نظیـر (MgO, ،SiO2, Al2O3, B2O3 TiO2, CaO) ، ۳) درصـد جـذب رطوبـت بـالا و ایجـاد فشردگی بیش از حـد و کـاهش تـدریجی ضـریب جـذب صوت و ثابت نبودن خاصیت جذب صوتی (۳۲).

روش جستجو

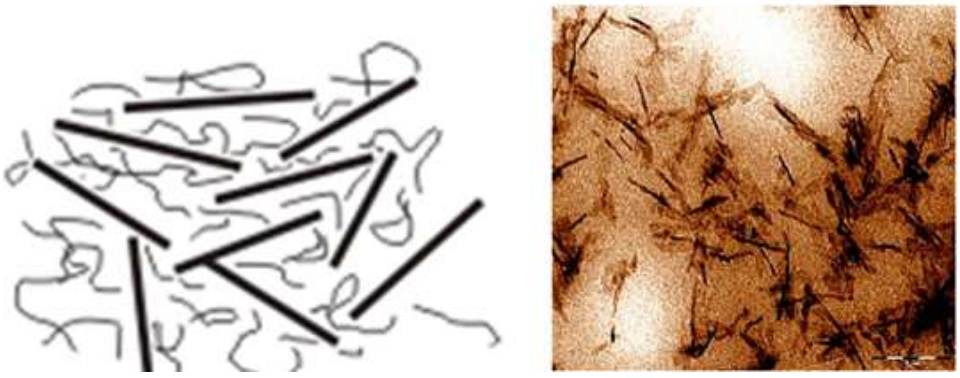
در ایـــن مطالعـــه‌ی مـــروری، از موتورهـــای جســـتجوی Medlib, Iran Medex, Google ,Magiran, Sid Scholar, ISI web of knowledge, Scopus, Pubmed.com اسـتفاده شـد کـه Magiran, Sid و Iran Medex از پایگـاه‌هـای ایرانـی و بـاقی مـوارد از موتورهای جستجوگر خارجی بودند. راهکارهای معمـولی و فناورانه برای کنترل صدا در مقـالات چـاپ شـده در بـازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قـرار گرفـت که در مجموع تعداد ۵۱ مقاله برای مطابق با هدف مطالعه انتخاب و اطلاعات مربوطه استخراج گردید. واژگان کلیدی مورد جستجو شامل:Sound adsorption, acoustic panel, acoustic barrier، جاذب صوتی، پانل‌هـای صـوتی بـوده اسـت و نحـوه ترکیـب واژه‌هـای کلیـدی در

جستجو بصورت and و or صورت گرفت. متـد جسـتجو در پایگاه‌های اطلاعاتی نیز بصورت جستجو در عنوان بوده است.

یافته‌ها:

تاکنون مواد بسیار متعددی به عنـوان جـاذب‌هـای صـوت شناسایی و بصورت منفرد و یا ترکیبـی در حـال اسـتفاده شدن هستند. با توجه به ورود گسترده نانو در عرصـه‌هـای مختلف علمی، یکی از کاربردهای آن طراحی و اسـتفاده از پانل‌ها و جاذب های صوتی محتوی نانوذرات تحت عنـوان پانل‌های نانوکامپوزیت می‌باشد. تاکنون مطالعات محدودی در خصوص نانوکامپوزیت‌هـا بـویژه درکشـور انجـام شـده است. مواد جاذب پیشرفته در مهندسی آکوسـتیک ماننـد کنترل صدای اتاق، سر و صدای صنعتی، صدای اسـتودیو، اتومبیل و کنترل سایر آلودگی‌های صوتی نقـش مهمـی را ایفا می‌کنند. این مواد معمولاً به منظـور مقابلـه بـا اثـرات نامطلوب صدای انعکاس یافتـه از سـطوح سـفت و سـخت استفاده شده و باعث کاهش سطح صـدای مـنعکس شـده می‌شوند (۳۳). پلیمرها در صنعت بـه صـورت گسـترده‌ای استفاده می‌شوند تا از خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و آکوستیکی آنها بهره گرفته شود. برطرف کردن نیاز های موجود برای موادی که از چند خاصـیت منحصـر بـه فـرد برخوردار باشند به طور مسـتقیم از طبیعـت امکـان پـذیر نیست. بنابراین ترکیب این مـواد مـی‌توانـد بـه عنـوان راه حلی برای فراهم کردن این نیاز مطرح شود، یکی از روش-ها برای بهبود خواص پلیمرها استفاده ترکیبی از پلیمرهـا و یا مواد و الیاف‌ها در ترکیب با پلیمر اصلی می‌باشـد کـه در این حالت به آن‌ها کامپوزیت می‌گویند (۳۴).

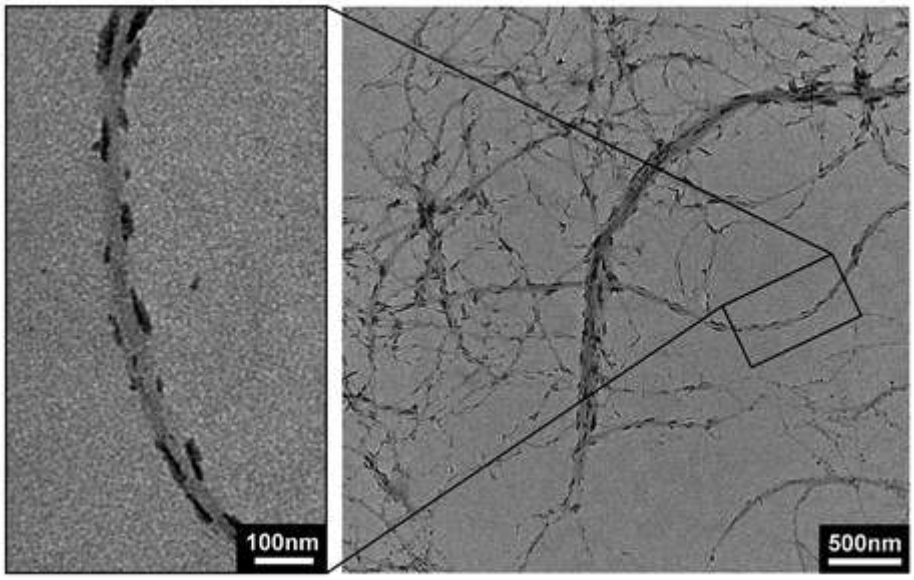
مواد نانو با توجه به این که سطح ویژه وسـیعی نسـبت بـه مواد متخلخل و سایر مواد مورد استفاده در صـنعت دارنـد (۳۶، ۳۵)، دارای خواص متفاوتی نیز از نظر جـذب صـوت می‌باشند، که احتیاج به تحقیقات گسترده دارد و می‌توانـد بسیار مورد توجه قرار بگیرد. نانوکامپوزیت‌ها سـامانه‌هـای دو فازی از مـاتریس پلیمـری و فـاز پـر کننـده (بـا ابعـاد نانومتری) هستند که دست کم یکی از ابعاد فاز پر کننـده، بـین ۱۰۰- ۱ نـانومتر اسـت (۳۷). دلیـل بهبـود خـواص مختلف نانوکامپوزیت‌ها مربوط به اندازه ذرات فاز پرکننـده است. با کاهش انـدازه ذرات فـاز پـر کننـده، سـطح ویـژه افزایش و متوسط فاصله بین ذرات کاهش می‌یابد و ناحیـه بین سطحی که مسئول ارتباط بین مـاتریس و پـر کننـده است، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان مـی‌دهـد. در نتیجـه، تعداد بر هم کنش‌های بین ماتریس و پـر کننـده افـزایش می‌یابد. این امر باعث بهبود خواص نفوذپذیری و مکـانیکی فیلم‌های نانوکامپوزیت نسبت به فیلم‌های معمولی می‌شود (۳۸).



شکل ۳. مدلی از نانوکامپوزیت تهیه شده با روش شیمیایی

در سال‌های اخیر نانوکامپوزیت‌های، پلیمر/ نانو سیلیکا از نظر کاربرد با توجه به بهبود خواص مکانیکی جلب توجه کرده است. اگر چه بسیاری از مطالعات انجام شده در نانوکامپوزیتهای پلیمری/ نانو سیلیکا انجام شده است، مطالعات کمی در مورد تاثیر نانوسیلیکا در جذب صدا وجود دارد (۳۹،۴۰). فوم های پلیمری به طور گسترده به عنوان مواد جاذب صوت استفاده می شوند. مطالعات نشان داده است که جذب صدا در فوم پلی اوراتان را می-توان با پرکننده‌های میکرو به اندازه‌ای بهبود داد. فوم پلی اورتان با داشتن ویژگی‌هایی مانند قابلیت ارتجاعی بسیار عالی، پردازش نسبی ساده، وزن سبک و در دسترس بودن تجاری به طور گسترده برای جذب صدا و کاهش سر و صدا استفاده می‌شود و به عنوان صندلی، زیر سازی و مواد جاذب صدا در صنعت خودرو و کمک به جذب صدا در کمپرسور، پمپ‌ها، دیگ‌های بخار، تاسیسات الکتریکی و غیره استفاده می‌شوند (۴۱). توانایی جذب صدا از فوم‌های پلیمری به ویژه برای سر و صدا با فرکانس پایین بسیار مهم است (۴۲).

مواد با ضخامت بیشتر در منطقه‌ی فرکانس پایین‌تر کاربرد دارند. بخش بزرگی از سر و صدا در طیف وسیعی از فرکانس پایین از ۵۰۰-۳۰ هرتز رخ می‌دهد، در حالی که سر و صدای موجود در هوا اغلب در محدوده متوسط و فرکانس بالا از ۸۰۰۰-۵۰۰ هرتز است (۴۳). مندلسون۲ و همکاران پلی استایرن متخلخل را به طور تصادفی در فوم پلی اورتان مورد مطالعه قرار دادند. مواد به دست آمده شامل بسیاری از خواص، از جمله تخلخل بالا، مقاومت فشاری بالا، بازتاب صوتی کم و شدت نسبت به تغییرات فرکانس بود (۴۴). کوشمن۳ و همکاران نشان دادند که مخلوطی از ویژگی پرکننده در پلیمر می‌تواند امپدانس صوتی بالا و پایین سر و صدای تولید شده توسط لرزش را کاهش دهد و مواد به دست آمده دارای خواص جذب صدای بسیار عالی می‌باشند (۴۵). وردجو۴ و همکاران نشان دادند که نانولوله‌های کربنی در فوم پلی اورتان، اثر نسبتاً بالا در جذب صدا دارد و حتی ۰/۱ درصد از نانولوله‌ها می‌تواند جذب آکوستیک را به طور چشمگیری افزایش دهد، که منجر به افزایش ضریب جذب پیک تا ۹۰ درصد از ۷۰ درصد برای فوم پلیمر خالص به خصوص در منطقه فرکانس بالا می‌شود (۴۶).



شکل ۴. نانوکامپوزیت پلی اورتان/ نانوذرات سیلیکا

تحقیقات اخیر بر روی ذرات لاستیک بازیافتی از تایر به عنوان خرده لاستیک نشان می‌دهد که خرده لاستیک را می‌توان به عنوان پر کننده برای مطالعه جذب سر و صدا به کار برد. جمالدین۵ و همکاران نشان دادند که چند لایه الیاف سخت و زبر نارگیل با لایه فضای هوا سبب افزایش ضریب جذب مواد در فرکانس‌های پایین تر می‌شود (۴۷). سزجین۶ و همکاران پیشنهاد کردند که فیبر با یک لایه از پارچه پنبه، خواص جذب صوت آن به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (۴۸). یانگ۷ و همکاران نشان دادند که تخته کامپوزیتی از نی‌های برنج بریده شده و ذرات چوب، نسبت به تخته خرده چوب، ضریب جذب صوت، بالاتری دارند (۴۹). خواص صوتی فوم پلی اورتان را معمولاً با اختلاط پرکننده‌های میکرو و نانو به دلیل تراکم بالاتر و مورفولوژی بهتر می‌توان به دست آورد، اما مقدار بسیار زیادی از پرکننده‌های کوچک می تواند منجر به افزایش وزن فوم و کاهش بازده جذب صدا گردد. از این رو مطالعات انجام شده با مواد نانو که می‌تواند منجر به پیشرفت‌های قابل توجهی در جذب صدا بدون اثرات منفی به ویژه در افزایش وزن شود صورت گرفته است (۵۱-۵۰).

نتیجه گیری:

با توجه به درصد ضریب جذب صوتی مناسب جاذب‌های صوتی پلیمری نسبت به جاذب‌های معمول، بکارگیری جاذب‌های صوتی بر پایه مواد پلیمری گزینه برتری هست. در عین حال افزودن نانومواد به پلیمرهای جاذب می‌تواند خواص جذبی آن‌ها را چندین برابر کند. به نظر می‌رسد استفاده از نانوکامپوزیت‌ها ضمن پیشگیری از بسیاری از بیماری‌های ناشی از کار و همچنین با عنایت به مقرون به صرفه بودن تولید این گونه جاذب‌ها می‌تواند نقش بسیار مهمی را در اقتصاد ملی ایفا نماید.

منابع

1- Rahbar N. Industrial Audiometry. Tehran: University Book Pub: 2009.
2- Golmohamadi R. Noise and vibration engineering 2th ed. hamedan: daneshjo publications.1999;230-236.
3- Shariatpanahi M. Principles of Environmental Health. Tehran: Tehran University Pub: 1997.
4- Golmohammadi R, Monazzam MR, Nourollahi M, MomenBellaFard S. Assessment and Control Design for Steam Vent Noise in an Oil Refinery. JRHS 2011;1(11):14-9. [Persian]
5- Center for Environmental Health, Ministry of Health and Medical Education and Labor Occupational exposure limits (OEL). Tehran. 2007.
6- Ministry of Health and Medical Education. Occupational Exposure limits (OEL). Tehran: MHME; 2003. [Persian].

7- Neghab M, Madahi M, Rajaeefard A. Occupational hearing loss and arterial hypertension caused byprolonged exposure to noise. Iran Occup Health. 2008; 5(3-4): 36-43.
8- Shirani E. Turbo machines and Fluid mechanics. 5th Ed. Isfahan; tahghighat sanati; 2006.[Persian].
9- Nasiri P, Mehravaran H, Ghosi R. Equivalent sound level measurements and modeling (Leq) A casestudy in an automotive company. Journal of Environmental Sciences and Technology .2007; 9(4): 47-56.
10- Taheri M, Kalatearabi H, Sharifitabar M. Prevalence of hearing loss in workers in carpentry insabzevar. Proceedings of the 1st International Conference on Industrial Safety,Occupational Health and environmental organizations; 2008 May 7-8; Isfahan, Iran; 2008.
11- Hinchcliffe R, Luxon LM, Williams R. Noise and hearing. London: Whurr Publishers; 2001.
12- Picarda M, Girardb SA, Simardb M, et al. 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. Accid Anal Prev. 2008; 40(5): 1644-52 .
13- Sataloff RT, Sataloff J, editors. Occupational Hearing Loss. New York: Marcel Dekker: 1993.
14- Atmaca E, Peker I , Altin A. Industrial Noise and Its Effects on Humans. Polish Journal of Environmental Studies. 2005;14(6):721-6.
15- Ghajar M. A, Study of noise and effects on hearing of zamzam. Co workers. The journal of mazandaran university of medical sciences.2000;6(13):21-25
16- Taylor W، Pearson J،Mair A. Study of noise and hearing injute weaving. J Acoustic Am.1995;38:113-20
17- Salmivali A. Military audiological aspects in noise induced hearing loss. Acta otolaryngol suppl.1998;360:96-102
18- Ghorbani Shahna F. Noise induced hearing loss and its relationship with dose and exposure length. The journal of Ghazvin University of medical sciences. 2006; 10(38):84-88
19- Mirowska M. Evaluation of low frequency noise in dwellings. new Polish recommendation. Noise Note. 2003;2(1):30-8.
20- Ising H, Babisch W, Kruppa B. Noiseinduced endocrine effects and cardiovascular risk. Noise Health. 1999;1(4):37-48.
21- Schust M. Effects of low frequency noise up to 100 HZ. Noise Health. 2004;6(23):73-85.
22- Chevillotte F. Controlling sound absorption by an upstream resistive layer. Applied Acoustics,2012; 7(3), 56 –60.
23- Oldfield R . Improved membrane absorbers. Research Institute for the Built and Human Environment, Acoustics Department, University of Salford, UK.2006.
24- Ingard U . Noise reduction analysis. Jones and Bartlett, New York.2010.
25- Lewis H, Bell. “Industrial noise control, Fundamentals and applications”, 2nd edition, New York: M. Dekker.1994.

26- Claudio Braccesi and Andrea Bracciali. "Least Squares Estimation Of Main Properties of Sound Absorbing Materials Through Acoustical Measurements" Applied Acoustics,1998; 54(1): 59-70.
27- Beranek L. Leo "Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications" Chapter 8: Sound-Absorbing Materials And Sound Absorbers, Wiley, New York. 1992.
28- Gibson L, Ashby M. Cellular Solids, 2nd ed.; Cam-bridge University Press: UK, 1999.
29- Zwinselman j, Laux J. Polym Mater Sci Eng 1989, 60, 827.
30- Klempner D, Sophiea D, Suthar B. Polym Mater Sci Eng 1991, 65,82.
31- Lee J, Kim GH, Ha CS. Sound absorption properties of polyurethane/nano- silica nanocomposite foams. Journal of applied polymer science. 2012;123(4):2384-90.
32- Pfretzschner J, Rodriguez RM. Acoustic properties of rubber crumbs. Polymer Testing. 1999;18(22):81-92.
33- Seddeq HS. Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2009;3(4):4610-7.
34- Alexandre M. and Dubois P., 28, 1-11, 2000. Polymer-Layered Silicate Nanocomposites Preparation, Properties and Uses of a New Class of Materials. Mater Sci Eng. 2000;7(12):7-11.
35- Gacitua W.E. BAA, and Zhang J. Polymer Nanocomposites: Synthetic and Natural Fillers a Review. Cienc Technol. 2005;7:59-178.
36- M.N DAaB. Cellulose Reinforced Composites: from Micro to Nanoscale, Overview, Polimeros. CiencTechnol. 2010;1(10):10-14.
37- Takahashi Y. Cellulose Nanoparticles: A Route from Renewable Resources to Biodegradable Nanocomposites .2007.
38- M O. Handbook of Biodegradable Polymeric Materials and their Applications. ACS, USA. 2005;1(1-45).
39- Han, M. S.; Choi, S. J.; Kim, J. M.; Kim, Y. H.; Kim, W. N.; Lee, H. S, et al. Macromol Res 2009, 17, 44.
40- Abbate, M.; Musto, P.; Ragosta, G.; Scarinzi, G.; Mascia, L. Macromol Symp 2004, 218, 211.
41- Joonmo Lee, Gue-Hyun Kim, Chang-Sik Ha, Sound Absorption Properties of Polyurethane/Nano-Silica Nano composite Foams, Journal of applied polymer science, 123, 2384-2390, 2011.
42- Liu Ting, MAO Liangliang, LIU Fuwei, JIANG Wuzhou, He Zhao, FANG Pengfei, Preparation, Structure, and Properties of Flexible Polyurethane Foams Filled with Fumed Silica, Wuhan University, Journal of Natural Sciences. 2011;12(16):29-32.
43- Chang Hyun Sung, Kyung sick Lee, Kyu Se Lee, Seung Min Oh, Jae Hoon Kim, Min Seok Kim, Han Mo Jeong. Sound Damping of a Polyurethane Foam Nanocomposite, Macromolecular Research , 2007;14(8):11-16.
44- Mendelsohn M A, Bolton R, Nvaish J, Sound absorbing and decoupling syntactic foam. US: 1995(6);11-14.
45- Cushman W B, Fla P. Acoustic absorption or damping material with integral viscous damping.1998;4(8):12-21.

46- Verdejo R, Stampfli R, Alvarez Lainez M, et al. Enhanced acoustic damping in flexible polyurethane foams filled with carbon nano tubes. Composites Science and Technology.2009;15(6):15-17.
47- Jamaluddin N, Tamiri FM. A preliminary study of sound absorption using multi-layer coconut coir fibres. Techn Acoust Electron J, 2003;14(5):112-114.
48- sezgian S, Papaspyrides CD. A review on polymer–layered silicate nanocomposites. Progress in Polymer Science. 2008;33(12):91-98.
49- yang MC, Heidecker M, Manias E, Wilkie CA. Preparation and characterization of poly (ethylene terephthalate)/clay nanocomposites by melt blending using thermally stable surfactants. Polymers for advanced technologies. 2006;17(9):764-71.
50- Ginzburg VV, Singh C, Balazs AC. Theoretical phase diagrams of polymer/clay composites: the role of grafted organic modifiers. Macromolecules. 2000;33(3):1089-99.
51- Fu X, Qutubuddin S. Polymer–clay nanocomposites: exfoliation of organophilic montmorillonite nanolayers in polystyrene. Polymer. 2001;42(2):807-13.
52- Ding C, Guo B, He H, Jia D, Hong H. Preparation and structure of highly confined intercalated polystyrene/montmorillonite nanocomposite via a two-step method. European polymer journal. 2005;41(8):1781-6.