

## Sound Absorbents and Using New Technologies in them; 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 aimed to review the use of sound-absorbing panels \_composed of nanoparticles\_ named nanocomposites panels.

**Materials and Method:** In this review study, search engines like Magiran, Sid, Medlib, Iran Medex, Google Scholar, ISI web of knowledge, Scopus and Pubmed.com were used. Searched keywords were: 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 efficient monitoring methods for noisy sources is applying the sound absorbents. These sound absorbents play important role in controlling the room noise, industrial noise, studio sounds, automobiles and other kinds of noise pollution. Sound absorbent materials are normally used to fight back against the hostile effects of reflected sounds from the solid surfaces and they also caused the reduction in the sound level of the reflected sounds. Considering the large area of application of the Nano-materials in acoustics economy, in comparison with porous material and other materials, the Sound absorbent 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, can prevent from many occupational diseases and because of the economical production costs of these materials, can play an important role in the national economy.

**Keywords:** sound absorbent, control engineering, new technologies

## جاذب های صوت و استفاده فناوری های نوین در آن؛ یک مرور سیستماتیک

(بهرام کوهنورد<sup>۱</sup>، آسیه عباسی<sup>۱</sup>، محمد رضا نجیمی<sup>۱</sup>، علی جبالی<sup>۲\*</sup>)

alijebal2011@gmail.com

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

**مقدمه:** مواجهه با صدا می تواند 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 عرصه های مختلف علمی، هدف از این مطالعه مروری بر استفاده از پانل ها و جاذب های صوتی محتوی نانوذرات تحت عنوان پانل های نانو کامپوزیت می باشد.

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

**یافته هایکی** از بهترین و مؤثرترین روش های کنترلی برای منابع با صدای آزاردهنده، کنترل صدا توسط جاذب های صوت می باشد. این جاذب ها در کنترل صدای اتاق، سرو صدای صنعتی، صدای استودیو، اتومبیل و کنترل سایر آلودگی های صوتی، نقش مهمی را ایفا می کنند. مواد جاذب معمولاً 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 می باشند.

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

**کلید واژه ها:** جاذب صدا، کنترل مهندسی، فناوری های نوین

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، 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:**

فرکانس ۴ کیلو هرتز ظاهر شده و با ادامه روند قرارگیری در معرض سر و صدا، میزان کاهش شنوایی پدید آمده، افزایش یافته و فرکانس های دیگر را نیز شامل می شود (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 محیط های کاری می باشد (۱۴). طبق مطالعاتی که در صنعت انجام گرفته، مشخص شده است که صدا یکی از عوامل اصلی نارساییتی و ناراحتی در بین کارگران صنایع است (۱۵).

یکی از علل وجود شکایت های بسیار زیاد درباره صدا در محیط کار این است که صدا پدیده ای فیزیکی، عینی و آشکار است و انسان به راحتی در محیط کار آن را حس می کند (۱۶). انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی شغلی ۲ اظهار کرده است که نزدیک به دویست میلیون کارگر در ایالات متحده آمریکا دارای بیماری اند و طبق بررسی آن ها ۱۴ درصد از کل جمعیت کارگران در محیط های به کار گرفته می شوند که تراز صدا از ۹۰ دسی بل تجاوز می نماید (۱۷). موضوع پایش های زیست محیطی در مورد عوامل بیماری زا و زیان آور از سوی قوانین کار و تامین اجتماعی در کشور جمهوری اسلامی حمایت می شود و مواد قانونی ۹۵، ۹۲، ۸۵ قانون کار و ۹۶، ۸۸ قانون تأمین اجتماعی به صورت مستقیم و غیر مستقیم این حمایت ها را نشان داده و تأیید می کند 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 می باشد. 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، فونداسیون ضعیف و در نتیجه ارتعاش ساختاری دستگاه مربوط می شود. در این راستا یکی از مهم ترین اقدامات بهداشتی لازم در خصوص منابع

صدا، یک نوسان آکوستیکی است که حس شنوایی را تحریک می کند (۱) و سر و صدا ۱ امواج نامنظمی هستند که ناخوشایند، ناخواسته و عموماً اجتناب ناپذیر می باشد (۲). صوت برای انتشار، نیاز به محیط مادی دارد. از طرفی سر و صدا، از اختلاط اصوات با طول موج های مختلف و شدت های متفاوت به وجود آمده و حالت معینی ندارد. در این امواج بین دامنه های فشار، فرکانس ها و طول موج های آن ها رابطه معنی داری وجود ندارد و در صنعت به فراوانی از این نوع صدا تولید و منتشر می گردد (۳).

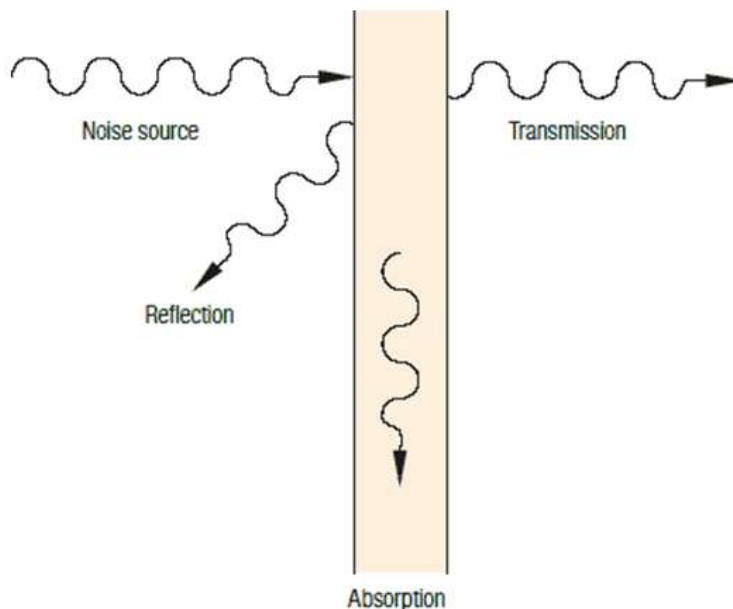
آلودگی صدا یکی از مهم ترین عوامل فیزیکی زیان آور در محیط کار، به ویژه در محیط های صنعتی محسوب می شود (۴). در ایران بر اساس برآورد علمی و مقایسه آمار کشورهای مشابه و در نظر گرفتن جمعیت کارگری کشور می توان گفت که ۲ میلیون نفر شاغل، در معرض صدای زیان آور در محیط کار قرار دارند (۵، ۶، ۷). مواجهه انسان با صدا می تواند منجر به ایجاد اثرات و عوارض شناخته شده ای 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 می تواند 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 سال های اولیه کار، افت شنوایی در محدوده فرکانسی ۳ تا ۶ کیلو هرتز با بیشینه افت در

فردی از کارایی و اثربخشی بسیار بالاتری برخوردار هستند (۱۹). همچنین در مواردی با انجام اقداماتی از قبیل انتقال منبع به محل دورتر، تنظیم یا تغییر منبع، جهت تولید تراز صدای پایین تر، تعمیر و یا سرویس منبع، نصب و راه اندازی منبع صدا بر روی یک پایه انعطاف پذیر برای کنترل ارتعاشات و در نتیجه کنترل صدا، جایگزین کردن منبع صدا با یک دستگاه بدون صوت یا با صدای پایین تر می توان موجب کاهش و کنترل صدا گردید (۲۰). با این حال تقریباً یکی از بهترین و مؤثرترین روش های کنترلی برای منابع با صدای آزاردهنده، کنترل صدا توسط جاذب های صوتی می باشد. کنترل صدا در محیط کار یک معضل بزرگ بهداشتی بوده و مستلزم آن است که با به کارگیری کنترل های مهندسی بتوان مشکل صدا را حل کرده و صدا را به سطح مورد نیاز کاهش داد (۲۱). با عنایت به مطالب بالا و به منظور پیشگیری از بروز مشکلات ناشی از مواجهه با صداهای صنعتی و غیرصنعتی طراحی سامانه ها یا روش های مختلف کنترل صدا و حذف این آلاینده امری بسیار ضروری به نظر می رسد.

تولید صدای آزاردهنده، انجام ارزیابی های آکوستیکی و اجرای کنترل های فنی و مهندسی صدا در قالب برنامه های حفاظت شنوایی کارگران می باشد. در بررسی آلودگی صوتی تعیین وضعیت مواجهه صوتی کارگران شاغل و کنترل صدای محیط کار یک مسأله مورد توجه بوده و ضروری است جهت دستیابی به ترازهای منطبق با استاندارد روش های کنترلی مناسب به کار گرفته شود.

امروزه با به کارگیری راهکارها و روش های مختلف، امکان کنترل صدا وجود دارد که از جمله، راهکارهای مدیریتی و اجرایی (کاهش زمان مواجهه)، کنترل مهندسی و استفاده از وسایل حفاظت فردی را می توان نام برد. تغییر و اصلاح محیط های کار و یا تجهیزات، محصورسازی تجهیزات و منابع صوتی و یا جلوگیری از انتشار ترازهای صوتی در محیط کار می تواند موجب کنترل و در نتیجه کاهش مواجهه با صدا در محیط کار شود. این اقدامات، کنترل مهندسی نامیده می شوند که به لحاظ هزینه و ایمنی نسبت به کنترل مدیریتی کارکنان و نیز تجهیزات حفاظت



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

فیبری و یا فوم متخلخل طبقه بندی شده اند. واسطه فیبری معمولاً شامل الیاف شیشه، پشم سنگ یا پلی استر می باشد که جذب آکوستیک بالای دارند. گاهی اوقات الیاف مقاوم در برابر آتش نیز در ساخت محصولات صوت استفاده شده است (۲۶، ۲۷).



مواد جاذب به طور کلی ماهیت مقاومتی یا لیفی و متخلخل دارند (۲۵، ۲۶). نمونه های کلاسیک از مواد مقاوم که عبارتند از منسوجات بافته نشده، فایبر گلاس، پشم معدنی و مواد متخلخل فومی و مسطح هستند که برای کنترل سر و صدا و به طور کلی به عنوان واسطه های



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

فلزی مضر نظیر  $(\text{MgO}, \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{B}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{CaO})$ ، ۳ درصد جذب رطوبت بالا و ایجاد فشرده گی بیش از حد و کاهش تدریجی ضریب جذب صوت و ثابت نبودن خاصیت جذب صوتی (۳۲).

### روش جستجو

در این مطالعه ی مروری، از موتورهای جستجوی Medlib, Iran Medex, Google, Magiran, Sid Scholar, ISI web of knowledge, Scopus, Pubmed.com استفاده شد که Magiran, Sid و Iran Medex از پایگاه های ایرانی و باقی موارد از موتورهای جستجوگر خارجی بودند. راهکارهای معمولی و فناورانه برای کنترل صدا در مقالات چاپ شده در بازه زمانی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت 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، پانل های صوتی بوده است و نحوه ترکیب واژه های کلیدی در

نمونه های از این جاذب ها، فوم های پلیمری هستند که به طور گسترده ای بعنوان مواد جاذب صدا به کار برده می شوند. انرژی موج صوتی برخوردی تا حدی به صورت گرما به دلیل اصطکاک هوا داخل سلول ها و اصطکاک بین زنجیره های پلیمری مجاور از بین می رود (۲۸). فوم پلی اوراتان را می توان از واکنش ایزوسیانات با پولیول و آب بدست آورد و سپس می توان توسط پرکننده های میکرونی خواص آن را بهبود بخشید (۲۹، ۳۰). نسبت جذب صوت با افزودن مقادیر مختلف نانو سیلیکا به فوم پلی اورتان افزایش می یابد (۳۱). در حال حاضر در داخل کشور از عایق های حرارتی از قبیل پشم شیشه و پشم سنگ به عنوان جاذب های صوتی استفاده می شود که دارای معایبی هستند، نظیر: (۱) ایجاد حساسیت پوستی و آسیب به سیستم تنفسی و بروز بیماری های ناشی از کار در برخی از جاذب های صوتی، (۲) خاصیت پخش شونده ی سریع و آسان بعضی از جاذب های صوتی در محیط و ایجاد آلودگی زیست محیطی و بروز آلودگی هوای محیط کار در کارخانجات تولید کننده بخاطر وجود اکسیدهای



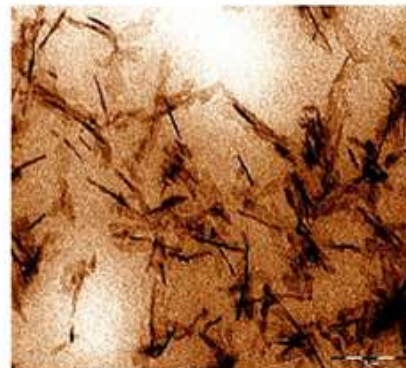
نیست. بنابراین ترکیب این مواد می تواند به عنوان راه حلی برای فراهم کردن این نیاز مطرح شود، یکی از روش ها برای بهبود خواص پلیمرها استفاده ترکیبی از پلیمرها و یا مواد و الیافها در ترکیب با پلیمر اصلی می باشد که در این حالت به آن ها کامپوزیت می گویند (۳۴).

مواد نانو با توجه به این که سطح ویژه وسیعی نسبت به مواد متخلخل و سایر مواد مورد استفاده در صنعت دارند (۳۶، ۳۵)، دارای خواص متفاوتی نیز از نظر جذب صوت می باشند، که احتیاج به تحقیقات گسترده دارد و می تواند بسیار مورد توجه قرار بگیرد. نانو کامپوزیت ها سامانه های دو فازی از ماتریس پلیمری و فاز پر کننده (با ابعاد نانومتری) هستند که دست کم یکی از ابعاد فاز پر کننده بین ۱۰۰-۱ نانومتر است (۳۷). دلیل بهبود خواص مختلف نانو کامپوزیت ها مربوط به اندازه ذرات فاز پر کننده است. با کاهش اندازه ذرات فاز پر کننده، سطح ویژه افزایش و متوسط فاصله بین ذرات کاهش می یابد و ناحیه بین سطحی که مسئول ارتباط بین ماتریس و پر کننده است، افزایش قابل ملاحظه ای نشان می دهد. در نتیجه، تعداد بر هم کنش های بین ماتریس و پر کننده افزایش می یابد. این امر باعث بهبود خواص نفوذ پذیری و مکانیکی فیلم های نانو کامپوزیت نسبت به فیلم های معمولی می شود (۳۸).

جستجو بصورت and و or صورت گرفت. متد جستجو در پایگاه های اطلاعاتی نیز بصورت جستجو در عنوان بوده است.

#### یافته ها:

تاکنون مواد بسیار متعددی به عنوان جاذب های صوت شناسایی و بصورت منفرد و یا ترکیبی در حال استفاده شدن هستند. با توجه به ورود گسترده نانو در عرصه های مختلف علمی، یکی از کاربردهای آن طراحی و استفاده از پانل ها و جاذب های صوتی محتوی نانوذرات تحت عنوان پانل های نانو کامپوزیت می باشد. تاکنون مطالعات محدودی در خصوص نانو کامپوزیت ها بویژه در کشور انجام شده است. مواد جاذب پیشرفته در مهندسی آکوستیک مانند کنترل صدای اتاق، سر و صدای صنعتی، صدای استودیو، اتومبیل و کنترل سایر آلودگی های صوتی نقش مهمی را ایفا می کنند. این مواد معمولاً 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 (۳۳). پلیمرها در صنعت به صورت گسترده ای استفاده می شوند تا از خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و آکوستیکی آنها بهره گرفته شود. برطرف کردن نیاز های موجود برای موادی که از چند خاصیت منحصر به فرد برخوردار باشند به طور مستقیم از طبیعت امکان پذیر

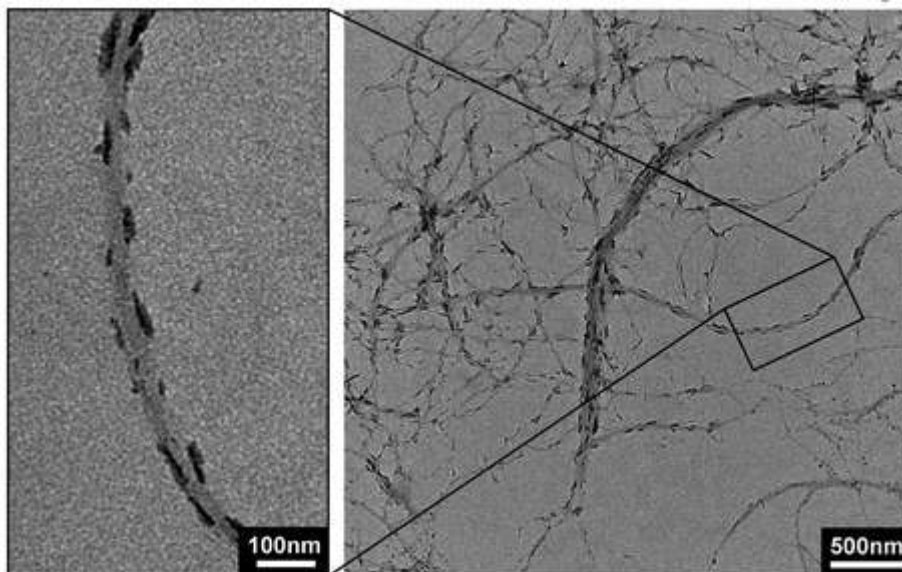


شکل ۳. مدلی از نانو کامپوزیت تهیه شده با روش شیمیایی

فرکانس پایین از ۵۰۰-۳۰ هرتز رخ می دهد، در حالی که سر و صدای موجود در هوا اغلب در محدوده متوسط و فرکانس بالا از ۸۰۰۰-۵۰۰ هرتز است (۴۳). مندلسون ۲ 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). کوشمن ۳ و همکاران نشان دادند که مخلوطی از ویژگی پرکننده در پلیمر می تواند 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 می باشند (۴۵). وردجو ۴ و همکاران نشان دادند که نانولوله های کربنی در فوم پلی اورتان، اثر نسبتاً بالا در جذب صدا دارد و حتی ۰/۱ درصد از نانولوله ها می تواند 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 می شود (۴۶).

در سال های اخیر نانوکامپوزیت های، پلیمر / نانو سیلیکا از نظر کاربرد با توجه به بهبود خواص مکانیکی جلب توجه کرده است. اگر چه بسیاری از مطالعات انجام شده در نانوکامپوزیت های 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 اورتان را می توان با پرکننده های میکرو به اندازه ای بهبود داد. فوم پلی اورتان با داشتن ویژگی هایی 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 می شود و به عنوان صندلی، زیر سازی و مواد جاذب صدا در صنعت خودرو و کمک به جذب صدا در کمپرسور، پمپ ها، دیگ های بخار، تاسیسات الکتریکی و غیره استفاده می شوند (۴۱). توانایی جذب صدا از فوم های پلیمری به ویژه برای سر و صدا با فرکانس پایین بسیار مهم است (۴۲).

مواد با ضخامت بیشتر در منطقه ی فرکانس پایین تر کاربرد دارند. بخش بزرگی از سر و صدا در طیف وسیعی از



شکل ۴. نانوکامپوزیت پلی اورتان / نانوذرات سیلیکا

وزن فوم و کاهش بازده جذب صدا گردد. از این رو مطالعات انجام شده با مواد نانو که می تواند منجر به پیشرفت های 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 جاذب های صوتی پلیمری نسبت به جاذب های معمول، بکارگیری جاذب های صوتی بر پایه مواد پلیمری گزینه برتری هست. در عین حال افزودن نانومواد به پلیمرهای جاذب می تواند خواص جذبی آن ها را چندین برابر کند. به نظر می رسد استفاده از نانوکامپوزیت ها ضمن پیشگیری از بسیاری از بیماری های ناشی از کار و همچنین با عنایت به مقرون به صرفه بودن تولید این گونه جاذب ها می تواند نقش بسیار مهمی را در اقتصاد ملی ایفا نماید.

تحقیقات اخیر بر روی ذرات لاستیک بازیافتی از تایر به عنوان خرده لاستیک نشان می دهد که خرده لاستیک را می توان به عنوان پر کننده برای مطالعه جذب سر و صدا به کار برد. جمالدین ۵ و همکاران نشان دادند که چند لایه الیاف سخت و زبر نارگیل با لایه فضای هوا سبب افزایش ضریب جذب مواد در فرکانس های پایین تر می شود (۴۷). سزجین ۶ و همکاران پیشنهاد کردند که فیبر با یک لایه از پارچه پنبه، خواص جذب صوت آن به طور قابل توجهی افزایش می دهد (۴۸). یانگ ۷ و همکاران نشان دادند که تخته کامپوزیتی از نی های 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 پرکننده های میکرو و نانو به دلیل تراکم بالاتر و مورفولوژی بهتر می توان به دست آورد، اما مقدار بسیار زیادی از پرکننده های کوچک می تواند منجر به افزایش

#### 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 by prolonged 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 case study 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. Noise induced 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.; Cambridge University Press: UK, 1999.
- 29- Zwinselman j, Laux J. Polym Mater Sci Eng 1989, 60, 827.
- 30- Klemptner 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. Cienc Technol. 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.