Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۱/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۰ صفحات ۱-۹

ارتباط بین مورفولوژی سلولی و آکوستیک در فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان/ سیلیکا : تاثیر نسبت های مختلف نانو سیلیکا در نواحی فرکانس پایین

مرضیه پیرانی[۱،*] ، محمدرضا منظم[۱] ، سید قاسم پورجندقی[۲]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲] گروه پلیمر، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۳/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

چکیده

مقدمه: به دلیل افزایش نگرانی عمومی در مورد آلودگی صوتی و تقاضا برای سبک زندگی بهتر، کاهش سر و صدا امری بسیار مهم است، یکی از روش های ارجح برای کاهش سروصدا ، استفاده از مواد جاذب صوت است . فوم های پلی یورتان دارای جذب صوت مطلوبی بوده و توانایی تبدیل انرژی مکانیکی به گرما و درنتیجه امکان استفاده به عنوان یک جاذب را دارند. خواص نامطلوب پلی یورتان خالص مانند جذب ضعیف انرژی مکانیکی در گستره باریک فرکانسی می تواند از طریق تهیه نانوکامپوزیت های پلیمری بهبود یابد. لذا هدف این مطالعه ، سنتز فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان با بکارگیری نانو ذرات سیلیکا به منظور بهبود خواص اکوستیکی آن می باشد .

روش کار: در مرحله اول فوم پلی یورتان خالص با استفاده از روش پیش پلیمر سنتز شد ، سپس در مرحله دوم فوم های نانوکامپوزیت با افزودن درصدهای وزنی مختلف از نانوذرات سیلیکا سنتز شدند . به منظور مشاهده مورفولوژی فوم ها، از آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. برای بررسی خواص آکوستیکی ، ضریب جذب صوت (α) فوم های استوانه ای شکل به قطر ۱۰۰ mm ، ضخامت ۱۰ mm با استفاده از امپدانس تیوب دو میکروفنه در محدوده ی فرکانسی ۱۰۰تا ۱۶۰۰ هرتز اندازه گیری شد.

یافته ها: نتایج حاصل از ارزیابی میکروسکوپی نشان داد که مورفولوژی سلول ها با افزودن نانوذرات سیلیکا تغییر کرده و با افزایش مقدار نانوذرات سایز سلولی کاهش یافته است . همچنین نتایج آنالیز آکوستیکی نشان داد که ضریب جذب نانوکامپوزیت ها، با افزایش مقدار نانو سیلیکا افزایش می یابد . برای فوم نانوکامپوزیت حاوی ۵/۱ ٪ وزنی نانوذرات سیلیکا پیک فرکانسی جذب به سمت فرکانس های پایین کشیده شده است و جذب صوت به بیشینه مقدار خود افزایش یافته است .

نتیجه گیری: در مطالعه حاضر نتایج حاصل نشان داد که جاذب های صوتی بر پایه کامپوزیت پلی یورتان و نانوذرات سیلیکا توانسته سبب بهبود ضریب جذب صوتی گردد بدین صورت که اضافه شدن نانوذرات به فوم خالص منجر به افزایش دانسیته سلولی و کاهش سایز روزنه ها شده است و با افزایش درصد نانوذرات ، افزایش جذب صوت در فوم های نانوکامپوزیت مشاهده گردید.

کلمات کلیدی: *پلی یورتان ، نانوذرات ، ضریب جذب صوت ، فرکانس پایین*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *marziepirani@yahoo.com*

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

مقدمه

باتوجه به اینکه سروصدای ناخواسته و بالقوه مخاطره آمیز یکی از مهم ترین مشکلات در زندگی امروزه بشر است و تاثیرات شدیدی بر سلامتی افراد دارد ، کنترل سروصدا برای کشورها در سراسر جهان اهمیت زیادی دارد (۱). راههای اصلی کنترل سروصدا ، جذب صوت و عایق صوت است که از بین آنها جذب و میرایی صوت به طور گسترده تری استفاده می شود (۲, ۳). جاذب های صوت عملکرد بالاتر و کاربردهای بیشتری در این زمینه داشته و در صنایع مختلفی شامل ساختمان ، اتومبیل ، حمل و نقل و محیط های صنعتی استفاده می شوند . یکی از انواع جاذب های صوتی ، جاذب های متخلخل هستند که ذرات هوا می توانند توسط امواج آکوستیک در میان منافذ ماده عبور کند ، بنابراین انرژی صوت هنگام انتشار در میان این منافذ کوچک ، توسط اتلافات ویسکوز و حرارتی جذب می شود. جذب صوت در فرکانس میانی و بالا می تواند به آسانی توسط جاذب های متخلخل قابل دستیابی باشد اما برای طول موج های بلندتر مواد با ضخامت بیشتر لازم می باشد بنابراین برای جذب فرکانس های پایین اغلب غیرعملی می باشد (۳, ۴). فوم های پلیمری پلی یورتان نمونه ای از مواد متخلخل هستند که قبلا به عنوان عایق حرارتی استفاده می شدند و بعداً به طور عمده ای برای آکوستیک و مواد کوسن استفاده شدند . این فوم ها به طور گسترده ای برای جذب صوت و کاهش سروصدا استفاده می شوند که ویژگی های جالبی شامل ویسکوالاستیسیته عالی ، فرایند نسبتاً ساده و در دسترس بودن تجاری دارند. بااین وجود جذب صوت فوم های پلی یورتان در نواحی فرکانسی بالا قوی بوده اما در نواحی فرکانسی پایین بخاطر توانایی کم تضعیف و میرایی انرژی صوت نسبتاً ضعیف است. در حالی که مهم ترین فرکانس های منبع آلودگی صوتی در طیف فرکانسی میانی و پایین هستند. منابع مختلف و زیادی برای سروصدای کم فرکانس وجود دارد اما اغلب بخش صنعتی آن مرتبط با پمپ ها ، کمپرسورها و ژنراتورها می باشد(۵).

بسیاری محققان انواع مختلفی از پرکننده ها را برای بهبود عملکرد آکوستیک فوم های پلی یورتان به ویژه در نواحی کم فرکانس پیدا کردند.خواص آکوستیک فوم های پلی یورتان معمولاً با ترکیب پرکننده های میکروسایز در ساختار آنها بهبود می یابد زیرا که دانسیته بالاتر و مورفولوژی بهتری را بدنبال دارد . از طرفی استفاده از مقادیر بالای این پرکننده ها می تواند منجر به افزایش وزن فوم و کاهش کارایی جذب صوت شود ، در حالی که استفاده از مقادیر کمتر نمی تواند اثرات مطلوبی داشته باشد . در سال های اخیر ، فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان بعنوان موادی جدید برای جذب صوت توجه محققان را جلب کرده است . کاربرد حتی درصد خیلی کمی از نانومواد از جمله نانوذرات ، نانوفیبرها و نانولوله ها می تواند منجر به بهبود معنی داری در جذب صوت بدون هر گونه اثرات منفی ، بویژه افزایش وزن شود(۳, ۴, ۶, ۷).

تحقیقات اخیر در زمینه ساخت کامپوزیت های تقویت شده توسط نانو ذرات نشان می دهد که بارگذاری فوم پلی یورتان با نانو مواد سبب افزایش ضریب جذب صوت می گردد . نتایج مطالعه ی تینگ نشان داد که افزودن نانوذرات کروی به فوم های پلی یورتان باعث افزایش جذب صوت در نواحی فرکانسی پایین می شود(۸). در ادامه لی و همکاران اثبات نمودند حضور۵ /۱درصد وزنی نانوذرات کروی بهترین ضریب جذب صوتی را در محدوده فرکانسی ۱۰۰ الی ۱۸۰۰ هرتز ارائه می دهد(۹). گیاتری و همکاران حضور نانوذرات کروی، صفحه ای و نانولوله ای را در ساختار فوم پلی یورتان با یکدیگر مقایسه نمودند، آنها گزارش کردند حضور ۱/۴درصد وزنی برای هر سه ماده بهترین نتایج را برای جذب صوت دارد و در مجموع عملکرد نانوذرات کروی از سه ذره افزودنی دیگر بهتر بوده است (۵). وردجو و همکاران یافتند که بارگذاری مقدار کمی از نانولوله های کربنی در فوم های پلی یورتان انعطاف پذیر تاثیر نسبتا بالایی در جذب صوت دارد حتی ۰/۱ درصد از نانو لوله ها می تواند جذب آکوستیک را به طرز چشمگیری افزایش دهد که این برای فوم پلیمری خالص به افزایش پیک ضریب جذب منجر خواهد شد (۱۰). هدف از این مطالعه استفاده از مقادیر متفاوت

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

شکل۱. فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان

نانوذرات سیلیکا برای بهبود خواص آکوستیک فوم پلی یورتان به ویژه در فرکانس های پایین است.

روش کار

مواد اولیه مصرفی

در این پژوهش از پلی تترامتیلن اترگلیگول با وزن مولکولی ۲۰۰۰ گرم بر مول تهیه شده از شرکت سیگما آلدریچ آمریکا ، ۱ و ۴ بوتان دی ال ، تری متیلول پروپان و تولوئن دی ایزوسیانات تهیه شده از شرکت مرک آلمان و آزو دی کربن آمید تهیه شده از شرکت ژکم چین، استفاده گردید. نانوسیلیکای بکار رفته در این مطالعه دارای اندازه ذرات ۲۰-۳۰ نانومتر و درصد خلوص ۹۹ درصد بوده که از شرکت سیگما آلدریچ آمریکا تهیه شده است .

روش کار

سنتز فوم پلی یورتان خالص و فوم نانوکامپوریت پلی یورتان

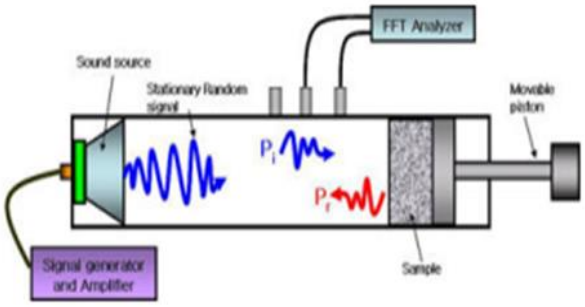
در ابتدا پلی تترامتیلن اترگلیکول که از پیش به خوبی خشک گردیده در یک بالن سه دهانه ۱۰۰میلی لیتر ریخته شد و ظرف تحت خلاء قرار گرفت تا رطوبت هوای موجود در آن کاملاً تخلیه شود سپس دمای بالن با استفاده از یک حمام روغن در محدوده ۷۵-۷۰ درجه ثابت نگه داشته شد. تولوئن دی ایزوسیانات به تدریج به محیط واکنش اضافه گردید تا واکنش میان گروههای OH و NCO آغاز گردد ، پس از اتمام افزایش ، مخلوط به منظور تکمیل واکنش به مدت ۵۵ دقیقه حرارت داده شد تا پیش پلیمر با گروههای انتهایی NCO بدست آید . سپس از مخلوط ۱ و ۴ بوتان دی ال و تری متیلول پروپان به عنوان عامل توسعه دهنده زنجیر و شبکه شدن برای شبکه پلی یورتان استفاده گردید.در انتها، عامل فوم زای آزو دی کربن آمید به داخل مخلوط اضافه گردید و اختلاط ادامه یافت. بعد از گذشت زمان پنج دقیقه، مخلوط به داخل قالب تفلونی ریخته شد و برای مدت ۱۸ – ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰-۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا عملیات پخت کامل شود (۱۱, ۱۲). به منظور سنتز فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان در ابتدا درصدهای وزنی متفاوت از نانوذرات سیلیکا (۰/۵ ، ۱ ، ۱/۵ ، ۲) با پلی ترامتیلن اترگلیکول مخلوط شد ، سپس جهت انجام پلیمریزاسیون نانوکامپوزیت ها کلیه مراحل ذکر شده در بالا انجام گردید و مخلوط مجدد قالب گیری شده و جهت تکمیل عملیات پخت و تهیه فوم های نانوکامپوزیت درون آون قرار گرفت (۱۳, ۱۴).

بررسی خصوصیات فوم های نانوکامپوزیت پلی یورتان

ارزیابی میکروسکوپی

برای بررسی مورفولوژی فوم های نانوکامپوزیت و دیدن تفاوت ساختار حفره ها میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل FEI ESEM QUANTA

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021



شکل ۲. شماتیک اجزاء لوله امپدانس بر اساس روش تابع انتقال

200 ساخت کشور آمریکا استفاده گردید . قابل ذکر است نمونه ها قبل از ارزیابی با پوشش هادی از طلا پوشیده شدند و در ولتاژ ۱۲/۵کیلو ولت بررسی و از آنها تصویر تهیه شد .

آنالیز آکوستیکی

جهت اندازه گیری ضریب جذب صوتی فوم ها از لوله امپدانس مدل SW422 شرکت BSWA ساخت کشور چین براساس استاندارد ISO ۱۰۵۳۴-۲ در محدوده فرکانسی ۱۰۰ الی ۱۶۰۰ هرتز استفاده گردید مطابق شکل ۱ همه نمونه ها ضخامت۱۰ میلی متر داشتند.

اندازه گیری ضریب جذب صوت مطابق استاندارد در دمای۲۰ درجه سانتی گراد ، رطوبت نسبی ۴۰٪ و چگالی هوا $\frac{kg}{m^3}$ ۱,۲ صورت گرفت ، که در این شرایط سرعت صوت در هوا $\frac{m}{s}$ ۳۴۲ و امپدانس صوتی $\frac{pa\ s}{m}$ ۴۱۳ تعین شد . شکل۲ شماتیک سنجش ضریب جذب صوت با استفاده از لوله امپدانس بر اساس روش تابع انتقال را نشان می دهد .

یافته ها

بررسی مورفولوژی فوم نانوکامپوزیت پلی یورتان

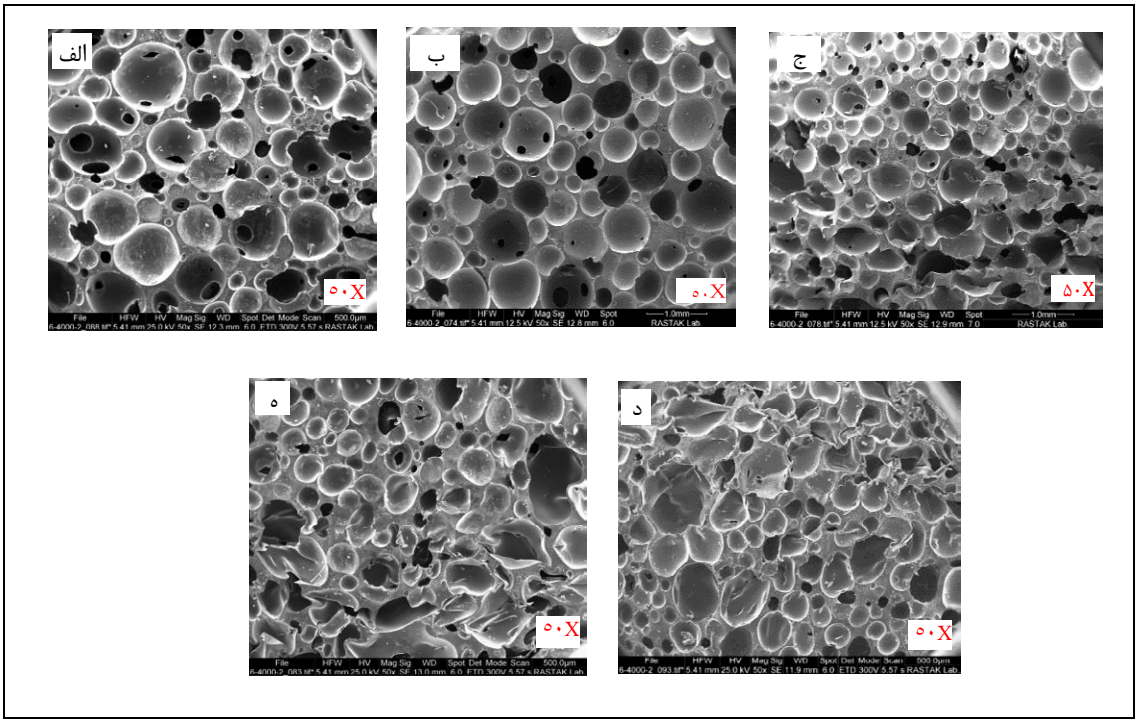
تصاویر SEM تهیه شده از نانوکامپوزیت های پلی یورتان با درصدهای مختلفی از نانوذرات سیلیکا بارگذاری شده بر آن در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود مورفولوژی سلول ها با افزودن نانو ذرات سیلیکا تغییر کرده است بعبارتی تعداد حفرات فوم های نانوکامپوزیت نسبت به فوم خالص بیشتر شده و همزمان، اندازه آنها نیز کوچکتر شده است .

آنالیز آکوستیکی

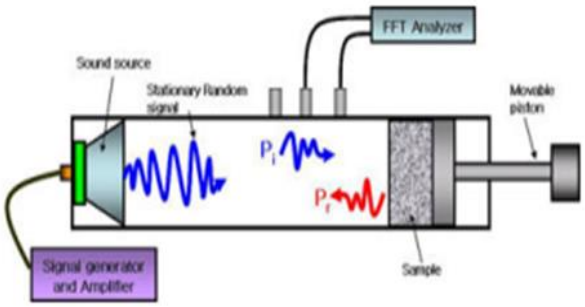
پس از آماده سازی نمونه ها رفتار جذب صوت آنها از طریق تغیر در مقدار نانوذرات سیلیکا ارزیابی شد . در شکل ۲ نمودار مقایسه ای ضریب جذب برای مقادیر متفاوت نانوذرات سیلیکا در یک ضخامت یکسان در یک سوم اکتاوباند و محدوده فرکانسی۱۰۰تا ۱۶۰۰ هرتز نشان ارائه گردیده است .

همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقدار جذب صوت برای فوم پلی یورتان خالص در فرکانس ۱۲۵۰ هرتز ، ۰/۳۸ می باشد . برای فوم نانوکامپوزیت حاوی ۱/۵ ٪ نانوذرات سیلیکا ، پیک فرکانسی به سمت فرکانس های پایین کشیده است و برای فرکانس های کمتر از ۱۰۰۰هرتز نسبت به سایر درصدهای وزنی بیشترین مقدار را داشته ضمن اینکه ، بیشینه جذب صوت در فرکانس ۱۰۰۰هرتز رخ داده است . در فرکانس ۱۲۵۰ هرتز جذب صوت برای فوم حاوی ۱٪ وزنی نانوسیلیکا نسبت به درصدهای دیگر به بالاترین میزان ممکن ، ۰/۵۶ رسیده است و در درصد وزنی ۲٪ در کل طیف فرکانسی تا ۱۴۵۰ هرتز کمترین مقدار را داشته بعد از آن همواره

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021



شکل ۱ .تصاویر میکروسکوپی فوم های نانوکامپوزیت حاوی الف) فوم خالص ب) ۰/۵ درصد نانوسلیکا ج) ۱درصد نانوسیلیکا د) ۱/۵ درصد نانوسیلیکا ه) ۲درصد نانوسیلیکا



شکل ۲. نمودارضریب جذب صوت فوم نانوکامپوزیت پلی یورتان با مقادیر متفاوت ذرات سیلیکا در طیف فرکانسی ۱۰۰تا ۱۶۰۰هرتز

با افزایش فرکانس به صورت پیوسته افزایش یافته تا در فرکانس ۱۶۰۰ هرتز که به ماکزیمم مقدار یعنی ۰/۴۳ رسیده است .

بحث

مطالعه حاضر با هدف استفاده از مقادیر متفاوت نانوذرات سیلیکا برای بهبود خواص آکوستیک فوم پلی یورتان به ویژه در فرکانس های پایین انجام گرفت . نتایج حاصل از ارزیابی میکروسکوپی نشان داد که حضور نانوذرات سیلیکا باعث شکل گیری منافذ بیشتر در کامپوزیت های پلی یورتان می شود. طبق تئوری هسته گذاری کلاسیک ، عامل اصلی مشخص کننده تعداد حفره های تولیدی در فوم ، نرخ هسته گذاری می باشد بطوریکه نرخ هسته گذاری بیشتر به معنای تعداد حفره تولیدی

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

بیشتر است. بر اساس این تئوری ، افزودن یک فاز جدید باعث تغییر در انرژی آزاد گیبس می‌شود در واقع افزودن این فاز جدید نیاز به یک انرژی اولیه برای غلبه بر انرژی سطح فاز پایه دارد در نتیجه هرچه انرژی اولیه یا سد انرژی مورد نیاز کمتر باشد نرخ هسته گذاری بیشتر می‌شود. ازاین‌رو در هسته گذاری ناهمگن به دلیل وجود پرکننده‌ها سد انرژی هسته گذاری کاهش می‌یابد پس علاوه بر افزایش در نرخ هسته گذاری، رشد همزمان سلول ها هم درون ماتریس پلیمری رخ می دهد . بطورکلی تعداد زیادی از نانو پرکننده ها، سایت های هسته گذاری بیشتری ایجاد می‌کنند ، بنابراین افزودن ذرات معدنی علاوه بر وقوع هسته گذاری ناهمگن و ایجاد سایت های هسته گذاری بیشتر، منجربه افزایش تعداد سلول و متعاقبا" کوچکتر شدن سایز سلول‌ها می شود(۱۵, ۱۶). ازسوی‌دیگر خواص مورفولوژیکی شامل پورسایز و توزیع حفره و منافذ تاثیر مهمی بر جذب صوت فوم های پلی یورتان دارد . توانایی جذب صوت بهتر در فوم های نانوکامپوزیت با سایز کوچک ، می تواند مرتبط با دانسیته بالای سلول و در نتیجه اتلاف بیشتر انرژی صوت از طریق میرایی ارتعاش باشد (۱۷).

در شکل ۲ جذب صوت نشان دهنده افزایش قابلیت جذب صوت فوم پلی یورتان در اثر اضافه شدن نانوذرات می باشد. همانطور که مشاهده می شود برای هر درصد وزنی روند خاصی برای جذب صوت در محدوده فرکانسی پایین قابل مشاهده است و با افزایش درصد نانوذرات تا ۱/۵ درصد ، بهبود قابل توجهی در جذب صوت رخ داده است . بدین صورت که افزایش ۰/۵ درصد وزنی از نانوذرات سیلیکا تاثیر نسبتاً کمی بر ضریب جذب داشته اما افزودن ۱ درصد وزنی نانوذرات منجر به افزایش مطلوبی در جذب نسبت به فوم خالص شده است ، از طرفی برای مقدار پرکننده ۱/۵ درصد از نانوذرات سیلیکا نسبت به سایر درصدهای وزنی ، بیشترین مقدار ضریب جذب مشاهده گردید .

به طور کلی مکانیزم جذب صوت توسط جاذب های متخلخل از جمله فوم ها ، ناشی از تبدیل انرژی امواج صوتی به انرژی حرارتی در اثر حرکت این امواج در مسیرهای نامنظم درون این مواد و حرکت دادن دیواره های فوم و اصطکاک با آنها و همچنین بازتابها و پراکندگی های متعدد از دیواره ها و لبه های حفره های فوم می باشد در نتیجه هرچه مسیر عبوری موج صوتی در هم پیچیده تر و نامنظم تر باشد احتمال برخورد امواج با طول موج بلندتر در طول مسیر عبوری ، بیشتر شده که این افزایش برخوردها منجر به اتلاف صوت بیشتری به خصوص در فرکانس های پایین تر می شود (۱۸).

مطابق شکل ۲ افزایش در جذب صوت در مقایسه با پلیمر خالص می تواند مرتبط با عواملی چون افزایش استحکام دیواره ها ، کوچک شدن سایز حفرات و افزایش تعداد سلول ها باشد که حضور نانوذرات در ماتریس پلیمری دلیل بر این افزایش می باشد. زیرا افزایش نانوذرات کروی مانند سیلیکا باعث افزایش $3/r$ در نسبت سطح به حجم می شود از اینرو برهمکنش های پلیمر _ ذره اهمیت بیشتری پیدا می کند زیراکه کسر بیشتری از پلیمر در نزدیکی سطح ذرات پرکننده با سایز نانو قرار می گیرد ، که این باعث افزایش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت نهایی در مقایسه با پلیمر خالص می گردد . نهایتاً این افزایش خواص مکانیکی باعث ایجاد دیواره هایی مستحکم تر نسبت به پلیمر خالص شده ، که این افزایش استحکام دیواره منجر به افزایش میرایی صوت از طریق انعکاس و پراکندگی موج صوتی می شود (۱۸, ۱۹).

همچنین هر چه پراکندگی نانوذرات در ماتریس پلیمری یکنواخت تر باشد علاوه بر تقویت بیشتر خواص مکانیکی ، اتلاف انرژی به شکل گرما از طریق پدیده هیسترزیس افزایش می یابد (۹). از سوی دیگر مطابق آنچه در قبل تر ذکر شد حضور نانوذره باعث کاهش سد انرژی هسته گذاری شده که این کاهش سد انرژی باعث افزایش نرخ هسته گذاری می گردد و این افزایش در نرخ هسته گذاری منجر به ایجاد تعداد سلول های بیشتر می شود . طبیعی است که با افزایش تعداد سلول ها حین پروسه هسته گذاری و رشد حفره ها ، میزان ثابت گاز CO_2 تولیدی ، صرف رشد تعداد حفره های بیشتری

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

شده در نتیجه هر حفره سهم کمتری از آن داشته که منجر به تولید حفره هایی با سایز کوچکتر می شود. این افزایش در تعداد سلول ها و کاهش در سایز حفره ها ، به منزله وجود مسیرها وکانال های نامنظم و درهم پیچیده بیشتری برای حرکت امواج صوتی در فوم می باشد . در نتیجه امواج صوتی با دیواره ها و لبه های بیشتری اصطکاک داشته و آنها را حرکت می دهند که باعث می شود انرژی صوتی بیشتری در فرکانس پایین به حرارت تبدیل و اتلاف شود (۱۸, ۲۰).

با توجه به تصاویر SEM و شکل ۲ ، علت افزایش ضریب جذب در درصد وزنی ۱/۵ نسبت به درصدهای وزنی ۰/۵ و ۱ می تواند بدلیل مورفولوژی و ریزساختار فوم ساخته شده باشد زیرا همانطور که در تصاویر SEM مشاهده می شود این درصد وزنی دارای منافذ درهم پیچیده و نامنظم تر بوده و از سوی دیگر پروسیتی بازتری نسبت به سایر درصدهای وزنی داشته است . در ارتباط با جذب صدا در مواد متخلخل با پروسیتی باز می توان چنین بیان کرد که انتشار صدا در شبکه ای از منافذ بهم متصل رخ می دهد به طوری که اتلافات ویسکوز و حرارتی باعث تبدیل انرژی صوتی به انرژی حرارتی می شود (۹, ۲۱). همچنین علت اینکه با افزایش درصد وزنی از ٪۱,۵ به ۲ ٪ مقدار جذب فوم نانوکامپوزیت از فوم خالص کمتر شده است می تواند افزایش ویسکوزیته باشد (۲۲).

همانطور که در بالا ذکر گردید نانوذرات پرکننده بعلت مساحت سطح به حجم بالایی که دارند می توانند در طول فرایند فوم سازی به عنوان عامل هسته گذاری حباب به طور موثر عمل کنند و منجر به افزایش پروسیتی شوند با این وجود ویسکوزیته پلیمر نقش مهمی در انبساط حباب ها در طول فرایند فوم سازی دارد . با افزایش مقدار نانوذرات به ۲درصد ، افزایش ویسکوزیته رخ داده که می توان آنرا را مرتبط با ایجاد باندهای هیدروژنی بیشتر بین گروه های هیدروکسیل پلی ال و ذرات نانو سیلیکا دانست (۲۳). طی افزایش ویسکوزیته ، پلیمر در برابر تغیر شکل به مقدار زیادی مقاومت کرده پس ، نیروی بیشتری جهت انبساط پلیمر در طول فرایند فوم سازی لازم بوده در نتیجه بعلت تاثیر ویسکوزیته ناشی از افزایش مقدار نانوذرات پروسیتی کم می شود که در نهایت امر منجر به کاهش جذب می گردد (۲۰, ۲۲, ۲۴).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جذب صوت تا یک سطح مشخص از نانوذرات سیلیکا ، افزایش قابل توجهی دارد و بعد از رسیدن به یک سطح بهینه افزودن سیلیکای بیشتر در مشخصات جذب صوت تغیری ایجاد نمی کند.

نتیجه گیری

امروزه علی رغم پیشرفت های صنعتی، مواجهه با صدای بیش از حد مجاز کماکان یکی از معضلات بهداشتی کارگران در دنیا محسوب می گردد در تحقیقات انجام شده مشخص شده است که صدا به عنوان یکی از عوامل زیان آور محیط کار موجب صدمات و اختلالاتی درسلامت جسمی و روحی افراد می شود ، بنابراین مطالعات مختلفی در مورد جذب و کنترل صدا انجام شده است . در این خصوص فوم های پلی یورتان به عنوان مواد جاذب برای کنترل صوت و ارتعاش کاربردهای گسترده ای دارند . با توجه به اینکه ویژگی های صوتی فوم های پلی یورتان موجود برای دامنه وسیعی از خواص به اندازه کافی مناسب نمی باشد تا بتوان استفاده کاربردی از آن داشت لذا برای بهبود خواص پلی یورتان توسط تغییرات شیمیایی در ساختار مولکولی و یا افزودن فیلرهای آلی یا غیرآلی مطالعات متعددی صورت گرفته است. بدین منظور، هدف مطالعه حاضر نیز ساخت و بررسی فوم های نانو کامپوزیت پلی یورتان به منظور بهبود جذب صوت بویژه در فرکانس های پایین بوده است. در مطالعه حاضر نتایج حاصل نشان داد که جاذب های صوتی بر پایه کامپوزیت پلی یورتان و نانوذرات سیلیکا توانسته سبب بهبود ضریب جذب صوتی شود و این بهبود در ضریب جذب صوت فوم های نانوکامپوزیت میتواند مرتبط با افزایش سلول ، درهم پیچیدگی و نامنظم تر شدن منافذ و استحکام دیواره های سلول باشد .

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر حاصل طرح مصوب دانشگاه علوم پزشکی تهران با کد ۹۶-۰۳-۲۷-۳۵۹۷۳ میباشد که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است.لذا نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی را از دانشگاه علوم پزشکی تهران به دلیل حمایت مالی، ابراز می نمایند.

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021

REFERENCES

1.Kalantary S, Dehghani A, Yekaninejad MS, Omidi L, Rahimzadeh M. The effects of occupational noise on blood pressure and heart rate of workers in an automotive parts industry. ARYA atherosclerosis. 2015;11(4):215.

2.He L, Liu F, Liu T, Chen F, Fang P. Preparation, structure, and properties of polyurethane foams modified by nanoscale titanium dioxide with three different dimensions. Wuhan University Journal of Natural Sciences. 2012;17(5):377-82.

3.Bandarian M, Shojaei A, Rashidi AM. Thermal, mechanical and acoustic damping properties of flexible open-cell polyurethane/multi-walled carbon nanotube foams: effect of surface functionality of nanotubes. Polymer International. 2011;60(3):475-82.

4.Kalantary S, Golbabaei F, Yazdanirad S, Farhang Dehghan S. Review of literature on occupational exposure to the dusts in Iran over the past 14 years. JOURNAL OF HEALTH AND SAFETY AT WORK. 2019.

5.Gayathri R, Vasanthakumari R, Padmanabhan CJIJoS, Research E. Sound absorption, thermal and mechanical behavior of polyurethane foam modified with nano silica, nano clay and crumb rubber fillers. 2013;4(5):301-8.

6.Yazdanirad S, Kalantary S, Golbabaei F. Investigation of occupational studies performed by environmental heat stress indices in Iran: A systematic review. Health and Safety at Work. 2019;9(4):265-82.

7.Pourhassan B, Golbabaei F, Pourmand MR, Farhang Dehghan S, Masoorian E. Examining performance of the conventional and photocatalytic HEPA filters on removal of the airborne microorganisms. Health and Safety at Work. 2018;8(3):251-64.

8.He L, Liu F, Liu T, Chen F, Fang PJWUJoNS. Preparation, structure, and properties of polyurethane foams modified by nanoscale titanium dioxide with three different dimensions. 2012;17(5):377-82.

9.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.

10.Verdejo R, Stämpfli R, Alvarez-Lainez M, Mourad S, Rodriguez-Perez M, Brühwiler P, et al. Enhanced acoustic damping in flexible polyurethane foams filled with carbon nanotubes. 2009;69(10):1564-9.

11.Moradi G, Nassiri P, Ershad-Langroudi A, Monazzam MRJHS. Preparation of Sound Absorption Material Based on Interpenetrating Polymer Network (PU/PMMA IPN). 2018(In Press).

12.Heintz AM, Duffy DJ, Hsu SL, Suen W, Chu W, Paul CWJM. Effects of reaction temperature on the formation of polyurethane prepolymer structures. 2003;36(8):2695-704.

13.Xiong J, Zheng Z, Qin X, Li M, Li H, Wang XJC. The thermal and mechanical properties of a polyurethane/multi-walled carbon nanotube composite. 2006;44(13):2701-7.

14.Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati Chamgordani S, Gharibi V. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. Health and Safety at Work. 2018;8(3):299-308.

15.Shafi M, Joshi K, Flumerfelt R. Bubble size distributions in freely expanded polymer foams. Chemical Engineering Science. 1997;52(4):635-44.

16.Wee D, Seong DG, Youn JR. Processing of microcellular nanocomposite foams by using a supercritical fluid. Fibers and Polymers. 2004;5(2):160.

17.Sung CH, Lee KS, Lee KS, Oh SM, Kim JH, Kim MS, et al. Sound damping of a polyurethane foam nanocomposite. 2007;15(5):443-8.

18.Bahrambeygi H, Sabetzadeh N, Rabbi A, Nasouri K, Shoushtari AM, Babaei MR. Nanofibers (PU and PAN) and nanoparticles (Nanoclay and MWNTs) simultaneous effects on polyurethane foam sound absorption. Journal of Polymer Research. 2013;20(2):72.

19.Mortezaei M, Famili MHN, Kokabi M. Influence of the particle size on the viscoelastic glass transition of silica-filled polystyrene. Journal of applied polymer science. 2010;115(2):969-75.

20.Sung G, Kim JW, Kim JH. Fabrication of polyurethane

composite foams with magnesium hydroxide filler for improved sound absorption. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2016;44:99-104.

21. Gayathri R, Vasanthakumari R, editors. Nanomaterials in PU foam for enhanced sound absorption at low frequency region. Advanced Materials Research; 2014: Trans Tech Publ.

22. Liu T, Mao L, Liu F, Jiang W, He Z, Fang P. Preparation, structure, and properties of flexible polyurethane foams filled with fumed silica. Wuhan University Journal of Natural Sciences. 2011;16(1):29-32.

23. Rad AS, Ardjmand M. Use and Effect of Si/Silica Nano Materials in Polyurethane's Structure. Asian Journal of Chemistry. 2009;21(5):3313.

24. Willemsen AM, Rao MD. Sound absorption characteristics of nanocomposite polyurethane foams infused with carbon nanotubes. Noise Control Engineering Journal. 2015;63(5):424-38.

Downloaded from jhsw.tums.ac.ir at 20:55 IRST on Thursday March 4th 2021