

انتخاب مواد بهینه جاذب صدا در صنایع و ماشین‌های کشاورزی با استفاده از شبیه‌سازی آکوستیکی ساختار فرکتالی اسفنج منگر

راضیه محمدی گهروبی^۱، علی ملکی^{۲*} و مجید لشگری^۳

چکیده

روش‌های متعددی برای کنترل آلودگی صدا وجود دارد، با توجه به گسترش علم آکوستیک، استفاده از لوله امپدانس و بکارگیری جاذب‌های صدا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله شبیه‌سازی چندین نمونه از جاذب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جاذب‌های پارچه‌ای ریز سوراخ، جاذب‌های پوششی حفره‌دار و ... نمونه‌هایی از این جاذب‌ها هستند. عوامل مختلفی همچون جنس، گام و بسامد بر روی این جاذب تأثیرگذار است. در این پژوهش تغییرات تراز صدا تحت عامل‌های جنس، گام و بسامد شبیه‌سازی و تحلیل شدند. عمدتاً شبیه‌سازی برای انواع جاذب‌ها امکان مقایسه بهتری را فراهم می‌کند تا بهترین جاذب برای کنترل سروصدا انتخاب شود. کمترین تغییرات تراز فشار صدا در جنس ام‌دی‌اف رخ داده است. این مقدار برای روش آزمایشگاهی ۷۰/۳ دسی‌بل و برای شبیه‌سازی ۷۶/۵ دسی‌بل گزارش شده است. همچنین کمترین تغییرات تراز صدا در آزمایشگاه و شبیه‌سازی در بسامد ۱۲۸ هرتز گزارش شده است. تغییرات تراز صدا برای هر دو روش به کار رفته در این پژوهش از گام یک به گام دو افزایش می‌یابد. در روش آزمایشگاهی در گام یک تغییرات تراز فشار صدا ۷۴/۴ دسی‌بل و در روش شبیه‌سازی این تغییرات ۸۰/۴ دسی‌بل گزارش شده است. در گام دو در روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی به ترتیب ۷۶/۶ و ۸۲/۴ دسی‌بل تغییرات تراز فشار صدا مشاهده می‌شود. در مقایسه میانگین تغییرات تراز صدا برای دو جنس یونولیت و پشم معدنی مشاهده می‌شود که در یونولیت از گام یک به دو میزان این تغییرات از ۲۵/۹ دسی‌بل به ۲۷/۸ دسی‌بل افزایش یافته است در حالی که در پشم معدنی برای این تغییرات در هر دو گام مقدار ثابت ۲۲/۴ دسی‌بل به دست آمد. لذا می‌توان جنس یونولیت را به لحاظ ثبات تغییرات تراز صدا در محدوده گسترده‌تر به‌عنوان جاذب بهینه معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: آکوستیک، جاذب صدا، شبیه‌سازی، فرکتال.

ارجاع: محمدی گهروبی ر. ملکی ع. و لشگری م. ۱۳۹۹. استفاده از روش‌های یادگیری عمیق برای ارزیابی کیفیت کاشت غلات. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۹(۲): ۱۳۳-۱۳۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک.

* نویسنده مسئول: maleki@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴

مقدمه

آکوستیک (پژواک‌شناسی) علمی است که به مطالعه علمی صدا می‌پردازد و شامل مواردی مانند انعکاس، جذب و تداخل صدا است. صدا به صورت موج انتشار می‌یابد بنابراین موج صدا یک موج طولی است که با حرکت ذرات و برگشت آن‌ها به مکان ابتدایی خود به وجود می‌آید. این حرکت به موازات انرژی صدا است. تراکم ذرات باعث فشردگی و پراکندگی ذرات موجب تفرق امواج می‌شود (Jayaraman, 2005). از مواد جاذب صدا، برای کاهش سطح صدا استفاده می‌شود زیرا این مواد بخش قابل توجهی از انرژی صدا را جذب می‌کنند. در واقع یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل مهندسی سروصدا با رعایت اصول بهداشتی، کنترل صدا توسط جاذب‌های صدا است تا بتوان صدا را به سطح مورد دلخواه کاهش داد. انواع مختلفی از جاذب‌های صدا وجود دارند که با توجه به ضخامت، بسامد و نحوه نصب مورد استفاده قرار می‌گیرند. جاذب‌های متخلخل شناخته شده‌ترین انواع جاذب‌ها هستند. (Maa, 1987 & Anonymous, 1998) اولین پژوهشگری بود که کاهش قطر جاذب‌های صدا را با اندازه کمتر از یک میلی‌متر پیشنهاد داد، تلاش‌های زیادی برای بهبود تئوری جاذب‌های ریز سوراخ با استفاده از شبیه‌سازی الکتروآکوستیک انجام شد (Kang & Fuchs, 1999). همچنین روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی خواص جذبی در مواد و سازه‌های متخلخل و الیافی با هندسه‌های مسطح و پیچیده با ساختارهای نازک و لانه‌زنبوری اعمال شد (Lee & Chen, 2001). مؤثرترین پیش‌بینی در استفاده از هندسه مسطح و مواد متخلخل حاصل شد (Zou et al., 2006). برای شبیه‌سازی انواع جاذب‌های صدا می‌توان از روش المان محدود استفاده کرد. به‌عنوان مثال در تحقیق (Zhongkun et al., 2016) از روش المان محدود به وسیله پوشش‌هایی با ورقه‌های سفت و محکم صاف برای بررسی جذب صداهای ناخوشایند استفاده شده است. اغلب از پوشش‌های آلبریج حفره‌دار برای جذب صدا در وسایل نقلیه زیر آب که با هوا پر شده‌اند، استفاده می‌شود. (Meng et al., 2012). لذا این پوشش، باعث جذب قابل توجه صدا در رزونانس‌های صدا حفره‌ها می‌شود. برای تقویت جذب صدا قاب‌های قابل انعطاف با حفره‌های کوچک و جاذب‌های متخلخل ساخته شده است.

اعتبارسنجی روش نظری و شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از قاب‌های قابل انعطاف در صنعت، پتانسیل زیادی برای کاهش نویز دارد (Ren et al., 2017). در یک پژوهش، با استفاده از مدل بیوت جذب صدا در جاذب‌های مکعبی آلومینیوم و فوم پلی‌اورتان متخلخل در دو ساختار توخالی و توپر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به عدم وجود نوسان در مدل بیوت جذب بالایی در ساختارهای مکعبی حفره‌دار توپر در هر دو جنس آلومینیوم و فوم پلی‌اورتان پیش‌بینی می‌شود (Onen & Caliskan, 2009). امروزه آلودگی صدا در بیشتر کشورها در بخش‌های گوناگون مانند صنایع کشاورزی به یک مشکل فراگیر تبدیل شده است. آلودگی صدا در تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی سیستم شنوایی کاربر را دچار اختلال می‌کند و بازدهی عملیات کشاورزی را کاهش می‌دهد. سروصدای حاصل از کار با تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی در مزرعه سلامتی شغلی کاربران آن‌ها را به خطر می‌اندازد (Solecki, 1998). از بین رفتن شنوایی، بینایی کم، فشارهای عصبی و روانی نمونه‌هایی از آثار نامطلوب سروصدای ایجادشده توسط ماشین‌های کشاورزی است (Hasanbeygi et al., 2004). استفاده از اتاقک‌های تراکتور سروصدای حاصل از کار با آن‌ها را ۱۵ تا ۲۰ دسی‌بل می‌توانند کاهش دهد. در این صورت کاربر مدت زمان بیشتری در معرض نویز تراکتور می‌تواند قرار گیرد (Baker, 1993). استفاده از کابین‌های اصلی در تراکتورهای کشاورزی تأثیر بیشتری در کاهش فشار متوسط صدا داشته و منجر به عایق صدا کارآمدتر شده است. اپراتورها معمولاً از ۴ تا ۶ هکتار در روز می‌توانند کار کنند بدون این‌که از نویز ناشی از سروصدا ناراحت شوند (Aybek et al., 2010). با توجه به ضرورت کاهش نویز در بخش کشاورزی به خصوص در تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی که آلودگی صدای آن‌ها باعث ایجاد اختلال برای کاربر می‌شود، ساخت جاذب‌های صدا ضرورت پیدا می‌کند. به علت پیچیدگی ساختار فرکتالی اسفنج منگر و عدم امکان ساخت آن در جنس‌ها و گام‌های مختلف و همچنین عدم امکان استفاده از بسامدهای گوناگون، شبیه‌سازی آن روشی مؤثر برای شناسایی و ارزیابی ویژگی‌های موردنظر است. ضرورت این کار مقایسه آن با سیستم واقعی به منظور دستیابی به نتایج مطلوب‌تر در مورد عملکرد سیستم واقعی و بالابردن راندمان کار است.

10534-2). فشارهای صدای p_1 و p_2 در دو موقعیت میکروفن عبارتست از:

$$p_1 = \hat{p}_I e^{jk_0x_1} + \hat{p}_R e^{-jk_0x_1} \quad (۳)$$

$$p_2 = \hat{p}_I e^{jk_0x_2} + \hat{p}_R e^{-jk_0x_2} \quad (۴)$$

لذا تراز صدا به صورت زیر خواهد بود:

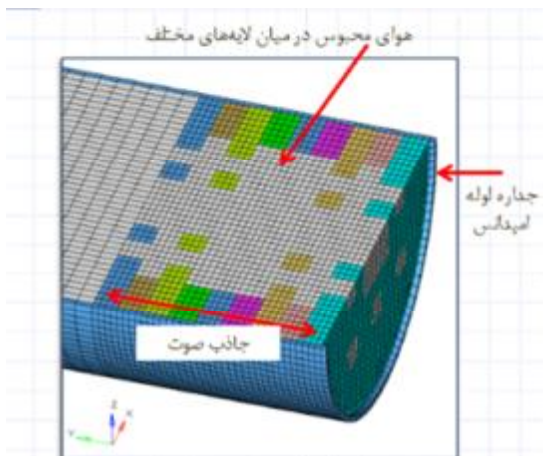
$$db = 10 \log \frac{p_2}{p_1} \quad (۵)$$

و تراز فشار صدا بر حسب دسی بل برابر است با:

$$SPL = 10 \log (P_2^2/P_1^2) = 20 \log (P_2/P_1) \quad (۶)$$

شبیه‌سازی لوله امیدانس و جاذب صدا

برای شبیه‌سازی لوله امیدانس و جاذب صدا در نرم‌افزار ABAQUS در قسمت part module اندازه‌های لوله و جاذب وارد شدند. این اجزا همگی از نوع توپر^۱ بوده و به صورت تغییرشکل‌پذیر^۲ تعریف شدند. رفتار ماده آکوستیکی در نظر گرفته شد. ماده ایزوتروپ و تحلیل مورد نظر تحلیل هارمونیک تحت بارگذاری بسامدی انتخاب شد. در محیط مونتاز^۳ لوله امیدانس و جاذب صدا فراخوانی و ترکیب شدند. شکل ۱ طرح‌واره‌ای از نمای داخلی لوله امیدانس را که جاذب درون آن قرار گرفته است، نشان می‌دهد. از قید گره^۴ برای تعیین شرایط تماسی میان اجزا استفاده شد. در قسمت load module آنجا که بار خارجی اعمال نشده است فقط شرایط مرزی لحاظ شده است.



شکل ۱- شبیه‌سازی محل قرارگیری جاذب در لوله امیدانس

هدف از این پژوهش شبیه‌سازی اسفنج منگر در جنس‌های دیگری مانند یونولیت و پشم معدنی و تأثیر آن و برهمکنش اثرات جنس و گام و جنس و بسامد بر تغییرات تراز صدا است.

مواد و روش‌ها

جهت انجام آزمایش‌ها و اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی آکوستیکی موارد مختلف، الگوی اسفنج منگر در دو گام متوالی ساخته شد (Kawabe et al., 2009).

امواج در این پژوهش با استفاده از دستگاه تولیدکننده سیگنال تولید شدند. خروجی صدا در لوله امیدانس بر روی اسفنج‌های مستقر شده به وسیله آزمون دو میکروفنی ثبت شد.

دو موج سینوسی و دندانه‌اره‌ای در دامنه‌های ۰/۸ - ۰/۷، ۰/۶ - ۰/۵، ۰/۴ - ۰/۳، ۰/۲ - ۰/۱ پاسکال و بسامدهای ۴۰۰۰ - ۲۰۰۰ - ۱۰۰۰ - ۵۰۰ - ۲۵۰ - ۱۲۵ - ۶۴ - ۳۲ - ۱۶ هرتز سطوح مختلف عامل‌های مورد بررسی در این تحقیق هستند (Aliabadi et al., 2016).

به کمک نرم‌افزار MATLAB سیگنال‌های صدا تحلیل و تغییرات تراز صدا محاسبه شد. از نرم‌افزار SPSS نیز در تحلیل معنی‌دار بودن نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات تراز صدا استفاده شد. به منظور رسیدن به بهترین تغییرات تراز صدا در اسفنج‌های منگر به کار رفته و مقایسه آن با نتایج تجربی از تحلیل اجزای محدود با نرم‌افزار ABAQUS استفاده شد. لوله امیدانس به همراه جاذب صدا در نرم‌افزار مذکور تحت اثر بسامدهای مختلف ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴، ۲۰۴۸، ۴۰۹۶ هرتز، با چهار جنس مختلف ام‌دی‌اف، چوب پنبه، فوم و اسفنج در دو گام مدل‌سازی شده و تحلیل آکوستیکی انجام شد. پس از اعتبارسنجی مدل، شبیه‌سازی آکوستیکی نیز برای دو جنس یونولیت و پشم معدنی در دو گام، در بسامدهای مذکور انجام شد. با استفاده از سیگنال‌های دریافتی، فشارهای صدای موج برخوردی، p_I و موج بازتاب شده، p_R به ترتیب عبارتند از:

$$p_I = \hat{p}_I e^{jk_0x} \quad (۱)$$

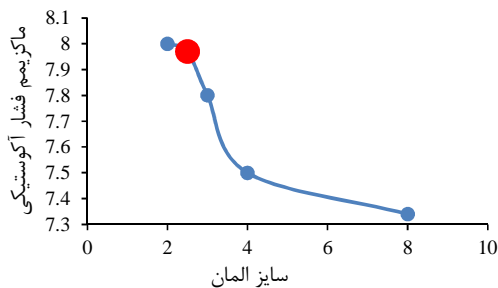
$$p_R = \hat{p}_R e^{-jk_0x} \quad (۲)$$

که در این معادلات، \hat{p}_I و \hat{p}_R دامنه p_I و p_R در صفحه مرجع و $k_0 = k_0' - j \cdot k_0''$ عدد موج مختلط است (ISO

1- Solid
2- 3D-Deformable
3- Assembly
4- Tie

جدول ۱- نتایج حاصل از تحلیل همگرایی مش در لوله

امپدانس		
اندازه المان	تعداد المان	بیشینه فشار آکوستیکی
۸	۶۰۲۳۵۸	۷/۳۴
۴	۸۵۴۲۵۶	۷/۵
۳	۱۰۲۵۸۴۷	۷/۸
۲/۵	۱۴۰۸۷۲۸	۷/۹۷
۲	۱۶۱۶۲۱۲	۸



شکل ۴- همگرایی مش و تعیین نقطه بهینه در لوله امپدانس

در مرحله job، نرم‌افزار با توجه به معادلات موجود در طرح مساله، برنامه تعریف شده برای مدل مورد نظر را اجرا می‌کند. نتایج حاصل از حل مساله در قسمت Visualization module از ABAQUS قابل مشاهده است. تغییرات تراز صدا در بازه بسامدی مورد نظر در دو گام مختلف از اسفنج منگر (جاذب صدا) با جنس‌های مختلف در محل تعیین میکروفن‌ها حاصل شد.

نتایج و بحث

مقایسه و اعتبارسنجی دو روش آزمایشگاهی و

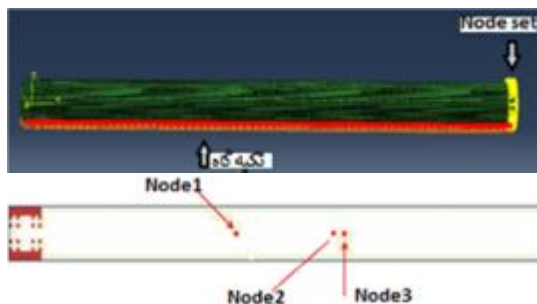
شبیه‌سازی اسفنج منگر

تغییرات تراز فشار صدا در جنس‌های مختلف

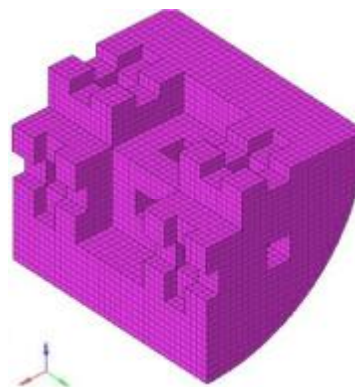
جنس به‌کار رفته در ساختار اسفنج منگر یکی از عوامل تعیین‌کننده مهم در میزان تغییرات تراز صدا است. استفاده از چندین جنس مختلف این امکان را فراهم می‌کند تا مقایسه بهتر و در نتیجه انتخاب بهتری حاصل شود. شکل ۵ تغییرات تراز فشار صدا را بر حسب جنس‌های مختلف برای دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در اسفنج منگر نشان می‌دهد. در هر دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی کمترین تغییرات تراز فشار صدا در جنس ام‌دی‌اف رخ داده است. این مقدار برای روش آزمایشگاهی ۷۰/۳ دسی‌بل و برای شبیه‌سازی ۷۶/۵

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود قسمت پایین لوله به‌صورت تکیه‌گاهی در نظر گرفته شد و به جای بلندگو یک Node set تعریف شد.

در مرحله مش‌بندی از المان‌های مکعبی هشت‌گره‌ای استفاده شده (شکل ۳) که به‌صورت آزاد و با علامت اختصاری C3D8 تعریف شده است. برای تعیین تعداد و اندازه المان‌ها از همگرایی مش^۱ استفاده شد.



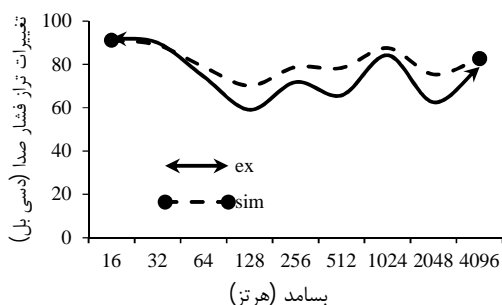
شکل ۲- محل تکیه‌گاه و Node set در شبیه‌سازی لوله امپدانس (بالا)، طرح‌واره نمایش گره‌ها بر روی لوله امپدانس (پایین)



شکل ۳- نمایی از مش‌بندی هشت‌وجهی

جدول ۱، مقادیر همگرایی مش و شکل ۴، نمودار تعیین نقطه بهینه را نشان می‌دهد. نقطه عطف نمودار جایی است که جواب همگرا شده است. به‌طور کلی پاسخ عددی با افزایش تعداد المان‌ها و با افزایش تراکم مش به سمت یک نتیجه واحد همگرا می‌شود. در واقع همگرا شدن به مرحله‌ای اطلاق می‌شود که پس از آن با افزایش تراکم مش، تغییرات پاسخ ناچیز باشد.

با مقادیر $۰.۷۰/۲$ ، $۰.۷۸/۸$ ، $۰.۷۸/۵$ ، $۰.۸۷/۷$ ، $۰.۷۵/۵$ و $۰.۸۲/۸$ دسی‌بل مشاهده می‌شود. کمترین تغییرات تراز صدا در هر دو روش استفاده شده در بسامد ۱۲۸ هرتز دیده می‌شود.



شکل ۶- اثر بسامد بر تغییرات تراز صدا در روش‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در ساختار اسفنج منگر

تغییرات تراز فشار صدا در گام‌های مختلف

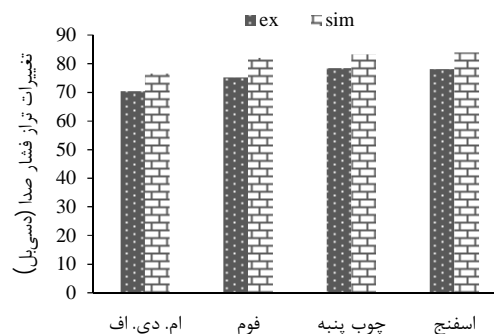
یکی از عامل‌های مهم میزان درصد خلل و فرج در جذب اسفنج منگر است. گام باعث ایجاد تغییرات در این خلل و فرج و در نتیجه تعداد حفره‌ها می‌شود. از گام یک به گام دو تعداد حفره‌ها افزایش می‌یابد که افزایش تعداد حفره‌ها باعث تضعیف و میرایی امواج می‌شود و تراز صدا را پایین می‌آورد. شکل ۷ رابطه میان تغییرات تراز فشار صدا و گام‌های مختلف اسفنج منگر را در دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند این تغییرات برای هر دو روش به‌کار رفته در این پژوهش یکسان است و از گام یک به گام دو تغییرات تراز فشار صدا افزایش یافته است. در روش آزمایشگاهی در گام یک تغییرات تراز فشار صدا $۷۴/۴$ و در روش شبیه‌سازی این تغییرات $۸۰/۴$ دسی‌بل گزارش شده است. در گام دو در روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی به ترتیب $۷۶/۶$ و $۸۲/۴$ دسی‌بل تغییرات تراز فشار صدا مشاهده می‌شود.

شبیه‌سازی رفتار آکوستیکی یونولیت و پشم معدنی اسفنج منگر

تأثیر جنس بر میانگین تغییرات تراز صدا

شکل ۸ تأثیر عامل جنس را بر میانگین تغییرات تراز صدای دو جنس یونولیت و پشم معدنی در روش شبیه‌سازی آکوستیکی نشان می‌دهد. در یونولیت این تغییرات $۲۶/۸$ دسی‌بل و در پشم معدنی $۲۲/۴$ دسی‌بل گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این تغییرات در یونولیت بیشتر از پشم معدنی است.

دسی‌بل گزارش شده است. بیشترین تغییرات تراز فشار صدا در روش آزمایشگاهی برای جنس چوب پنبه در $۷۸/۴$ دسی‌بل اتفاق افتاده و برای شبیه‌سازی در جنس اسفنج در $۸۳/۹$ دسی‌بل رخ داده است، که این مقدار به تراز فشار صدا چوب پنبه در روش شبیه‌سازی با مقدار $۸۳/۳$ بسیار نزدیک است. برای جنس فوم در روش آزمایشگاهی تغییرات تراز فشار صدا $۷۵/۱$ دسی‌بل و برای روش شبیه‌سازی ۸۲ دسی‌بل گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد روند تغییرات تراز فشار صدا در دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی تقریباً مشابه است.



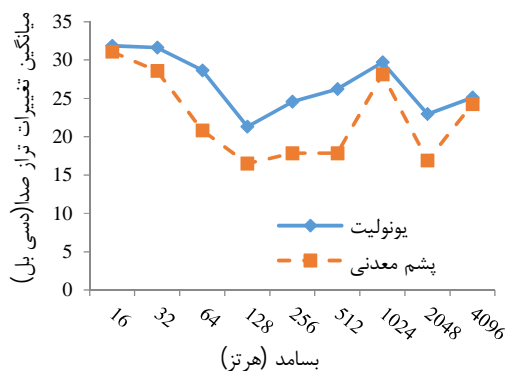
شکل ۵- اثر جنس بر تغییرات تراز فشار صدا در روش‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در ساختار اسفنج منگر

تغییرات تراز فشار صدا در بسامدهای مختلف

شکل ۶ روند تغییرات تراز فشار صدا را بر اساس بسامدهای مختلف اسفنج منگر در دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد. در بسامدهای پایین این تغییرات بسیار نزدیک به هم است. در بسامد ۱۶ هرتز در روش آزمایشگاهی تغییرات $۹۲/۱$ دسی‌بل و در روش شبیه‌سازی $۹۱/۳$ دسی‌بل گزارش شده است. همچنین در بسامد ۶۴ هرتز به ترتیب در روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی تغییرات $۷۵/۴$ و $۷۹/۱$ دسی‌بل حاصل شده است. با مشاهده نمودارها ملاحظه می‌شود که روند تغییرات در هر دو روش تقریباً یکسان است. در روش آزمایشگاهی در بسامد ۱۲۸ هرتز $۵۹/۱$ دسی‌بل، در بسامد ۲۵۶ هرتز $۷۸/۸$ دسی‌بل، در بسامد ۵۱۲ هرتز $۶۵/۸$ دسی‌بل، در بسامد ۱۰۲۴ هرتز $۸۷/۷$ دسی‌بل، در بسامد ۲۰۴۸ هرتز $۶۲/۶$ دسی‌بل و در بسامد ۴۰۹۶ هرتز $۷۹/۱$ دسی‌بل تغییرات تراز فشار صدا حاصل شده است. در روش شبیه‌سازی به ترتیب در بسامدهای ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴، ۲۰۴۸ و ۴۰۹۶ هرتز تغییرات تراز فشار صدا

اثر برهمکنش جنس و بسامد بر میانگین تغییرات تراز صدا

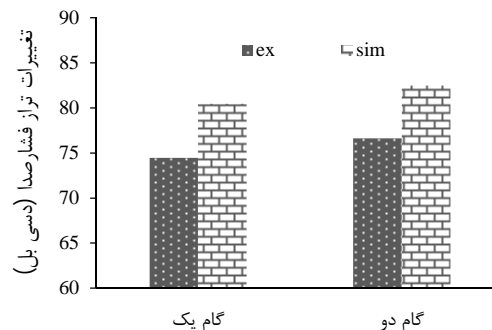
شکل ۱۰ اثر برهمکنش جنس و بسامد را بر میانگین تغییرات تراز صدا در دو جنس یونولیت و پشم معدنی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بسامدهای مختلف برای هر دو جنس اعداد متفاوتی گزارش شده است. در بسامدهای پایین برای هر دو جنس بیشترین تغییرات تراز صدا به دست آمده است. در جنس یونولیت برای بسامد ۱۶ هرتز بیشترین میانگین تغییرات تراز صدا ۳۱/۸ دسی‌بل و کمترین تغییرات تراز صدا در بسامد ۱۲۸ هرتز با مقدار ۲۱/۳۱ دسی‌بل حاصل شده است. در جنس پشم معدنی به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرات تراز صدا در بسامدهای ۱۶ و ۲۰۴۸ هرتز با مقادیر ۳۱ و ۱۶/۸۷ دسی‌بل است.



شکل ۱۰- اثر برهمکنش جنس و بسامد بر میانگین تغییرات تراز صدا در دو جنس یونولیت و پشم معدنی

نتیجه‌گیری

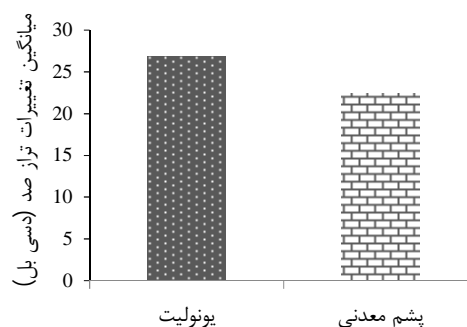
مقایسه و اعتبارسنجی در هر دو روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کمترین تغییرات تراز فشار صدا در ام‌دی‌اف رخ داده است این مقدار برای روش آزمایشگاهی ۷۰/۳ دسی‌بل و برای شبیه‌سازی ۷۶/۵ دسی‌بل است. بیشترین تغییرات تراز فشار صدا در روش آزمایشگاهی برای جنس چوب پنبه در ۷۸/۴ دسی‌بل، و برای شبیه‌سازی در جنس اسفنج و در ۸۳/۹ دسی‌بل رخ داده است که این مقدار به تراز فشار صدا چوب پنبه در روش شبیه‌سازی با مقدار ۸۳/۳ بسیار نزدیک است. بیشترین تغییرات تراز صدا در بسامدهای پایین اتفاق افتاده است که بیشینه آن در بسامد ۱۶ هرتز گزارش شده است. در بسامدهای ۱۲۸، ۵۱۲ و ۲۰۴۸ هرتز در هر دو



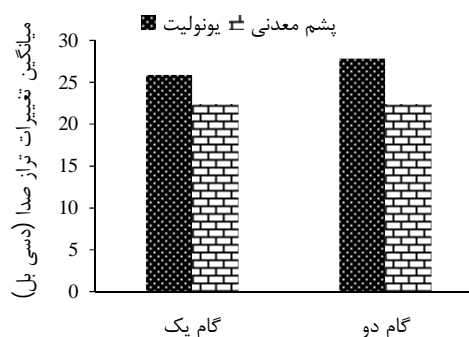
شکل ۷- اثر گام بر تغییرات تراز صدا در روش‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در ساختار اسفنج منگر

اثر برهمکنش جنس و گام بر میانگین تغییرات تراز صدا

اثر برهمکنش جنس و گام بر میانگین تغییرات تراز صدا در دو جنس یونولیت و پشم معدنی در شکل ۹ دیده می‌شود. برای یونولیت این تغییرات از ۲۵/۹ دسی‌بل در گام یک به ۲۷/۸ دسی‌بل در گام دو افزایش پیدا کرده است. در پشم معدنی این تغییرات در هر دو گام با مقدار ثابت ۲۲/۴ دسی‌بل گزارش شده است.



شکل ۸- اثر جنس بر میانگین تغییرات تراز صدا در دو جنس یونولیت و پشم معدنی



شکل ۹- اثر برهمکنش جنس و گام بر میانگین تغییرات تراز صدا در دو جنس یونولیت و پشم معدنی

- Technology of Agriculture and Natural Resources*, 8(4): 225-239. (In Persian).
6. Jayaraman, K. A. (2005). *Acoustical absorptive Properties of Nonwovens*. M.Sc Thesis, Textile Management and Technology, North California State University. 139 p.
 7. Kang, J., & Fuchs, H. V. (1999). Predicting the absorption of open weave textiles and microperforated membranes backed by an airspace. *Journal of Sound and Vibration*, 220(5): 905-920.
 8. Kawabe, T., Miyazaki, T., Oka D., Koyanagi, S., & Hinokidani, A. (2009). Sound absorption by Menger sponge fractal. *Acoustical Society of America*, 125(5): 2830-2833.
 9. Lee, F. C., & Chen, W. H. (2001). Acoustic transmission analysis of multi-layer absorbers. *Journal of Sound and Vibration*, 248(4): 621-934.
 10. Maa, D. Y. (1987). Micro perforated-panel wideband absorbers. *Noise Control Engineering Journal*, 29(3): 77-84.
 11. Maa, D. Y. (1998). Potential of micro perforated panel absorber. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(5): 2861-2866.
 12. Meng, H., Wen, J., Zhao, H., Lv, L., & Wen, X. (2012). Analysis of absorption performances of anechoic layers with steel plate backing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(1): 69-75.
 13. Onen, O., & Caliskan, M. (2009). Design of a single layer micro-perforated sound absorber by finite element analysis. *Applied Acoustics*, 71(1): 79-85.
 14. Ren, S. W., Van Belle, L., Claeys, C., Xin F. X., Lu T. J., Deckers, E., & Desmet, W. (2017). Improvement of the sound absorption of flexible micro-perforated panels by local resonances. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 117: 138-156.
 15. Solecki, L. (1998). Occupational hearing loss among selected farm tractor operators employed on large multi production farm in Poland. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 11(1): 69-80
 16. Zhongkun J., Yao Y., & Bilong L. (2016). Equivalent modulus method for finite element simulation of the sound absorption of anechoic coating backed with orthogonally rib-stiffened plate. *Journal of Sound and Vibration*, 366: 357-371.
 17. Zou, J., Shen, I., Yang, J., & Qui, X. (2006). A note on the prediction method of reverberation absorption coefficient of double layer micro-perforated membrane. *Applied Acoustics*, 67: 106-11.
- روش به کار رفته در این پژوهش کمترین تغییرات تراز صدا حاصل شده به نحوی که در بسامد ۱۲۸ هرتز کمینه این تغییرات اتفاق افتاده است. در هر دو روش نشان داده شده کمترین میانگین تغییرات تراز صدا مربوط به جنس امدی‌اف است که در روش آزمایشگاهی ۱۰/۵ دسی‌بل و در روش شبیه‌سازی ۱۷/۱ دسی‌بل گزارش شده است. بیشترین تغییرات تراز صدا در روش آزمایشگاهی در چوب پنبه و با مقدار ۱۷/۵ دسی‌بل و در روش شبیه‌سازی در دو جنس چوب پنبه و اسفنج با مقدارهای ۲۳/۱ و ۲۳/۵ دسی‌بل رخ داده است. در مقایسه میانگین تغییرات تراز صدا برای دو جنس یونولیت و پشم معدنی مشاهده می‌شود که در یونولیت این تغییرات از ۲۵/۹ دسی‌بل در گام یک به ۲۷/۸ دسی‌بل در گام دو افزایش پیدا کرده است در حالی که در پشم معدنی این تغییرات در هر دو گام با مقدار ثابت ۲۲/۴ دسی‌بل گزارش شده است. با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه جنس‌های به کار رفته، جنس یونولیت را به لحاظ تغییرات تراز صدا در محدوده گسترده‌تر به‌عنوان جاذب بهینه می‌توان معرفی کرد.
- ### سیاس‌گزاری
- نویسندگان از کلیه حمایت‌های مالی، اداری و آزمایشگاهی دانشگاه شهرکرد تشکر و قدردانی می‌کنند.
- ### منابع
1. Aliabadi, M., Golmohammadi, R., Oliaei, M., & Shahidi, R. (2016). Study of noise absorption characteristics for current building materials applied in industrial and office room. *Journal of Occupation Hygiene Engineering*, 3(3): 32-39.
 2. Anonymous. (1998). *International standard organization, Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-Function method*. ISO 10534-2.
 3. Aybek, A., Kamer, H. A., & Arslan, S. (2010). Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics*, 41(2): 274-281.
 4. Baker, D. E. (1993). *Noise: The Invisible Hazard, Department of Agricultural Engineering*. University of Missouri-Columbia, <http://www.cdc.gov/niosh>.
 5. Hasanbeygi, B. R., Ghobadian, B., Nasiri, P., & Kamalian, N. (2004). Study and analyze the noise of a power tiller pulling a trailer in rural asphalt road. *Science and*

