



ISAV2022

دوازدهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات

تهران - ایران ۲۳ و ۲۴ آذر ماه ۱۴۰۱



کنترل و کاهش شدت امواج آکوستیکی با استفاده از لایه‌های استوانه‌ای با پارامترهای مدول حجمی و چگالی جرمی همگن

محمد مهدی صادقی^آ

^آ ایران، جهرم، دانشگاه جهرم، دانشکده علوم پایه، استادیار

Sadeghi@jahromu.ac.ir •

چکیده

تئوری آکوستیک تبدیل ابزار بسیار توانمندی در جهت دستکاری امواج آکوستیکی و یا طراحی ادوات آکوستیکی است که ساختارهای طراحی شده تحت این تئوری تبدیلی معمولاً به پارامترهای آکوستیکی ناهمسانگرد منجر می‌گردد. در این مقاله ما به طراحی ساختاری برای کاهش شدت امواج آکوستیکی در یک ناحیه خواهیم پرداخت. این ساختار دارای پوشش با پارامترهای ناهمسانگرد است که برای ساخت آن از محیط لایه ای یا پوسته های هم مرکز استفاده کرده‌ایم. در مقاله برای ایجاد کارکرد معادل این پوشش ناهمسانگرد از تئوری محیط موثر برای ساختار لایه‌ای استوانه‌ای هم‌مرکز و با پارامترهای تراکم پذیری و چگالی جرمی همگن استفاده شده است. ضرائب آکوستیکی همگن تراکم پذیری و مدول حجمی برای هر لایه محاسبه و در انتها عملکرد این دستگاه در الگوی پراکندگی امواج آکوستیکی نشان داده شده است و کاهش انرژی کل در واحد حجم برای هر دو ساختار ایده آل و لایه ای نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: کاهش نویز آکوستیکی؛ تئوری آکوستیک تبدیل؛ فرامواد آکوستیکی

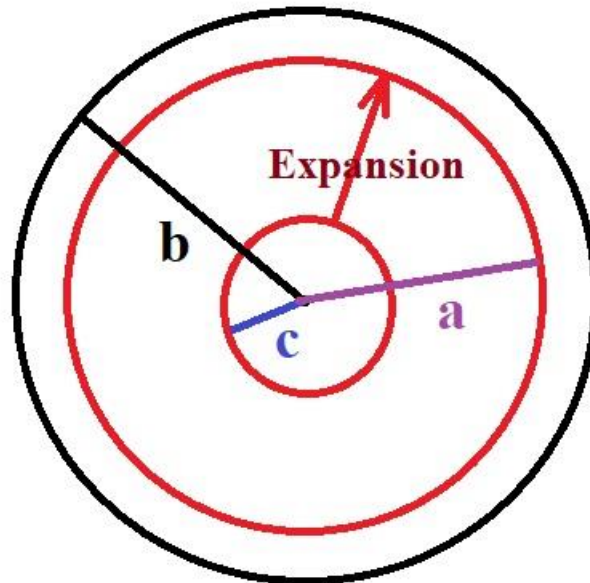
۱- مقدمه

امروزه تئوری آکوستیک تبدیل به ابزار بسیار توانمندی جهت طراحی دستگاههای آکوستیکی بدیع تبدیل شده است. بنیان این تئوری براساس تبدیلات مختصاتی و ناوردائی شکل موج است (۱-۳). تاکنون مقالات بسیار زیادی را در این حوزه چاپ شده است (۴-۱۸). این تئوری با استفاده از ناوردائی معادلات موج آکوستیکی قادر است تبدیلات خاص را در جهت کنترل و دستکاری امواج در راستای کاربردهای دلخواه به کار گیرد. با وجود توانمندی بدیع این تئوری ایجاد ضرائب آکوستیکی ناهمسانگرد سبب ایجاد چالش بسیار بزرگی برای ساخت و تولید این دستگاهها می‌کند. در این راستا مقالات زیادی در این حوزه برای حل این مساله ارائه شده و دستگاههای بدیعی در این راستا معرفی شده‌اند (۴-۱۸). در این مقاله ما محاسبات مربوط به منبسط کننده امواج اپتیکی که اخیراً

توسط نویسند به چاپ رسید (۱۹) را به امواج آکوستیکی تعمیم می‌دهیم. با شروع از تابع تبدیل منبسط کننده شروع به استخراج پارامترهای آکوستیکی لازم خواهیم کرد. این تابع تبدیل ناحیه ای از فضای محدود را به ناحیه بزرگتری منتقل می‌کند، نشان r' دهنده فضای حقیقی و r نشان دهنده فضای مجازی است.

$$r' = \begin{cases} \frac{a-b}{c-b}r + b \frac{c-a}{c-b} & \text{for } c \leq r \leq b \\ \frac{a}{c}r & \text{for } 0 \leq r \leq c \end{cases} \quad (1)$$

این منبسط کننده فضای $0 \leq r \leq c$ را در فضای حقیقی $0 \leq r' \leq a$ منبسط می‌کند.



شکل (۱) نمایش شماتیکی منبسط کننده

که پارامترهای آکوستیکی، چگالی جرمی و مدول حجمی تبدیل یافته برای ناحیه $0 \leq r' \leq c$ یا هسته دستگاه به صورت زیر خواهد بود،

$$\rho_{core} = 1 \quad (2)$$

$$\kappa_{core} = \frac{a^2}{c^2} \kappa_0 \quad (3)$$

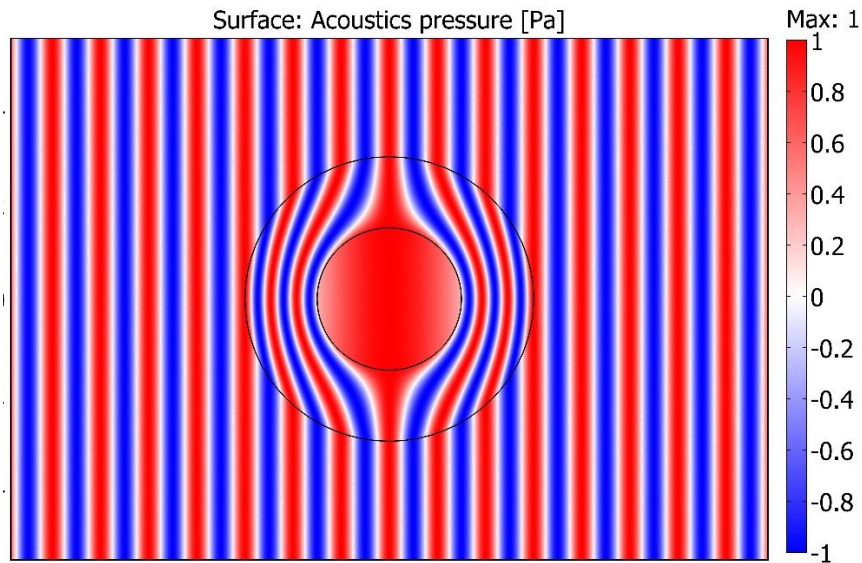
و با قرارداد $\alpha_1 = \frac{a-b}{c-b}$ و $\alpha_2 = \frac{c-a}{c-b}$ ، پارامترهای آکوستیکی، چگالی جرمی و مدول حجمی در ناحیه پوشش دستگاه در فضای حقیقی $0 \leq r' \leq a$ به صورت زیر خواهد بود،

$$\rho_r = \frac{r'}{r' - \alpha_2 b} \rho_0 \quad (4)$$

$$\rho_\phi = \frac{r' - \alpha_2 b}{r'} \rho_0 \quad (5)$$

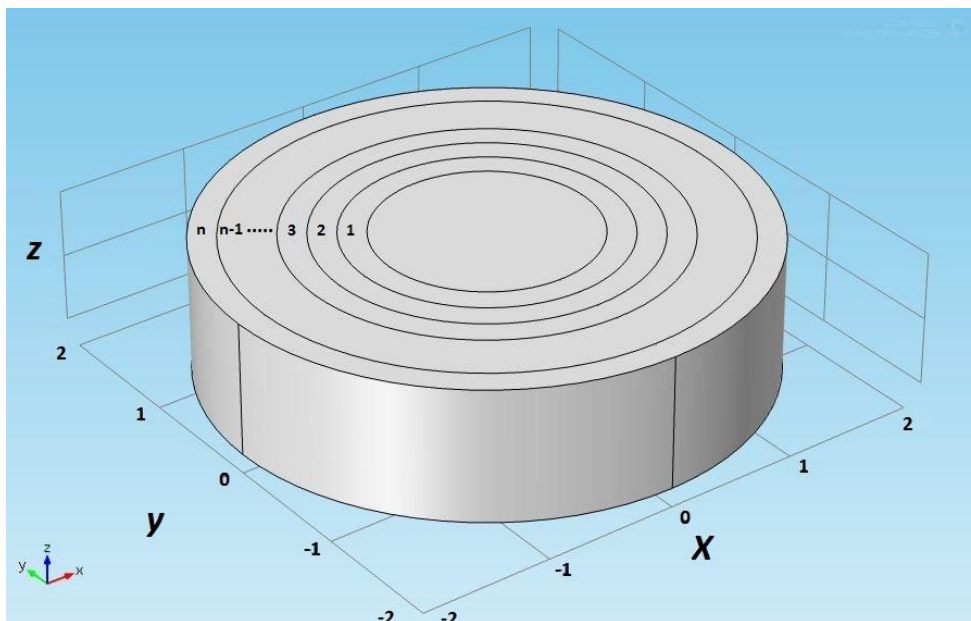
$$\kappa^{-1} = \frac{1}{\alpha_1} \frac{r' - \alpha_2 b}{r'} \kappa_0^{-1} \quad (6)$$

با این پارامترهای پوشش و هسته می‌توانیم الگوی پراکندگی این دستگاه را در شکل (۲) ببینیم. شعاع بیرونی دستگاه $a/\lambda = 3$ و شعاع داخلی $a/\lambda = 1.5$ دستگاه انتخاب شده است. این اندازه‌ها با اندازه طول موج بهنجار شده‌اند.



شکل (۲). نمایش الگوی پراکندگی منبسط کننده امواج آکوستیکی

بادقت در معادلات ۴ تا ۶ مشاهده می کنیم این ضرائب آکوستیکی ناهمسانگرد هستند و ایجاد این مواد امکان ناپذیر است لذا به سراغ محیط معادل لایه بندی شده برای ایجاد این ناهمسانگردی با استفاده از مواد همسانگرد می رویم. ساختار پیشنهادی را در اینجا به صورت شکل (۳) معرفی می کنیم.



شکل (۳) ساختار لایه ای منبسط کننده

۲- ارائه مدل های فیزیکی

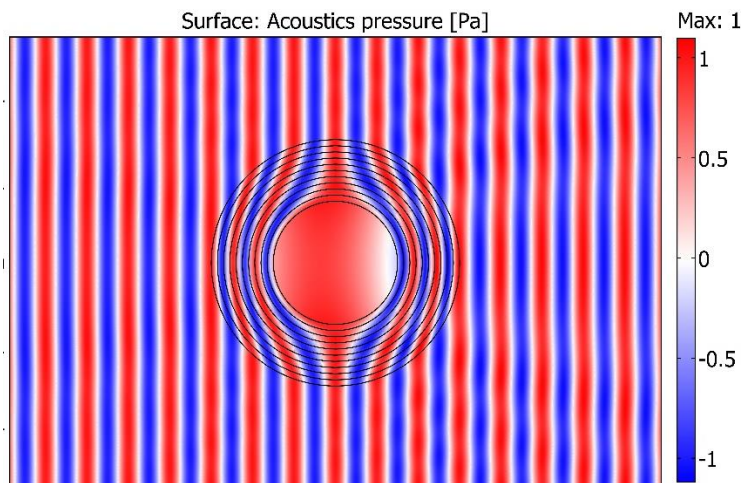
همانطور که در قسمت قبل ذکر شد برای تولید ناحیه پوشش از لایه های استوانه ای هم مرکز استفاده خواهیم کرد که پارامتر های آکوستیکی مدول حجمی و چگالی جرمی در هر لایه به صورت متوسط پارامتر ۲ در آن لایه استفاده شده است لذا پارامتر های آکوستیکی در هر لایه ثابت در نظر گرفته شده اند. این ساختار بسیار راحت تر از ساختار پیوسته با پارامتر رابطه ۴ تا ۶ است.

ما این ناحیه را به ۱۰ قسمت مساوی $n=10$ تقسیم کرده ایم و پارامتر هر ناحیه را طبق جدول زیر استفاده کرده ایم که میانگین پارامترهای آکوستیکی هر لایه در نمودار زیر بیان شده است.

شعاع پوسته	0.1575	0.1725	0.1875	0.2025	0.2175	0.2325	0.2475	0.2625	0.2775	0.2925
ρ_φ	8.647059	5.193548	3.888889	3.20339	2.780822	2.494253	2.287129	2.130435	2.007752	1.909091
ρ_r	0.115646	0.192547	0.257143	0.312169	0.359606	0.400922	0.437229	0.469388	0.498069	0.52381
K	0.402963	0.670918	0.89600	1.087737	1.253027	1.396989	1.523502	1.635556	1.735495	1.825185

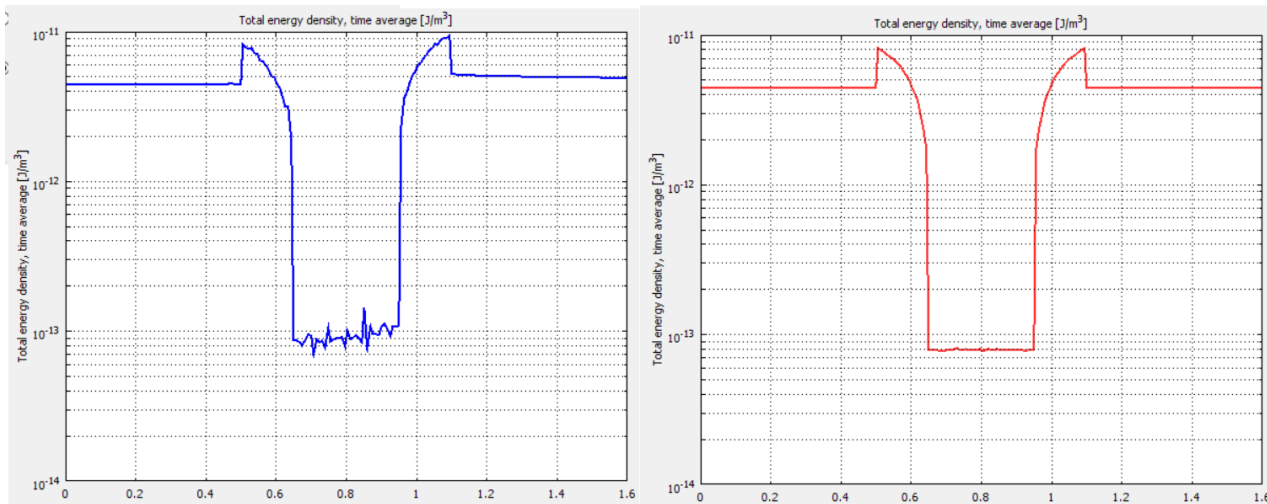
جدول (۱). شعاع هر لایه به همراه پارامترهای آکوستیکی مربوط به آن لایه

در مرحله بعد این ساختار ده لایه ای را مطابق شکل (۴) با استفاده از شبیه ساز کامسول رسم کرده ایم. نتایج به دست آمده از الگوی پراکندگی دستگاه با ده لایه در شکل (۵) نمایش داده شده است. همانطور که نمایش داده شده این ساختار بسیار مشابه ساختار شکل (۲) عمل می کند.



شکل (۴). نمایش الگوی پراکندگی منبسط کننده امواج آکوستیکی با ساختار لایه ای

حال اگر چگالی انرژی کل را برای هر دو ساختار بررسی کنیم خواهیم دید ساختار لایه ای اگر چه به صورت ایده آل امواج را کاهش نمی دهد ولی عملکرد بسیار قابل قبولی دارد. چگالی حجمی انرژی موج همانطور که در شکل (۵) قابل مشاهده هست ب صورت قابل قبولی کاهش یافته است.



شکل (۵) چگالی حجمی انرژی موج در ساختار ایده آل و ساختار لایه ای

۳- نتیجه

در این مقاله ساختار پوسته ای ارائه شد به طوری که با استفاده از ساختار با پارامترهای بسیار ساده همگن و همسانگرد توانستیم به صورت بسیار عالی جریان انرژی موج آکوستیکی در یک ناحیه را کنترل و نویزهای آکوستیکی را تا سطح بسیار قابل قبولی کاهش دهیم.

مراجع

- [1] L. S. Dolin and I. V. U. Zavedenii, "To the possibility of comparison of three-dimensional electromagnetic systems with non-uniform anisotropic filling," *Radiofizika* 4, 964–967 (1961)
- [2] J. B. Pendry, D. Schurig, and D. R. Smith, "Controlling electromagnetic fields," *Science* 312(5781), 1780–1782 (2006).
- [3] U. Leonhardt, "Optical conformal mapping," *Science* 312(5781), 1777–1780 (2006).
- [4] W. Cai, U. K. Chettiar, A. V. Kildishev, and V. M. Shalaev, "Optical cloaking with metamaterial," *Nat. Photonics* 1(4), 224–227 (2007).
- [5] H. Y. Chen, C. T. Chan, and P. Sheng, "Transformation optics and metamaterials," *Nat. Mater.* 9(5), 387–396 (2010).
- [6] Sadeghi MM, Li S, Xu L, Hou B, Chen HY Transformation optics with Fabry-Prot resonances. *Sci Rep* 5:8680(2015)
- [7] Huang, Ying, Yijun Feng, and Tian Jiang. "Electromagnetic cloaking by layered structure of homogeneous isotropic materials." *Optics express* 15.18 (2007): 11133-11141.
- [8] Sadeghi, M. M., Nadgaran, H. & Chen, H. Y. Perfect field concentrator using zero index metamaterials and perfect electric conductors. *Front. Phys.* 9, 90–93 (2014).
- [9] Sadeghi, Mohammad Mehdi. "Perfect directional cloak based on double near zero metamaterials and magnetic field concentrators." *Physica Scripta* 96.11 (2021): 115003
- [10] S. A. Cummer, and D. Schurig, "One path to acoustic cloaking," *New J. Phys.* 9 45 (2007).
- [11] Chen, H. & Chan, C. T. Acoustic cloaking in three dimensions using acoustic metamaterials. *Appl. Phys. Lett.* 91, 183518 (2007)
- [12] Torrent, Daniel, and José Sánchez-Dehesa. "Acoustic cloaking in two dimensions: a feasible approach." *New Journal of Physics* 10.6 (2008): 063015.
- [13] Yang, Jingjing, et al. "An external acoustic cloak with N-sided regular polygonal cross section based on complementary medium." *Computational Materials Science* 49.1 (2010): 9-14.

- [14] Y.-r. Wang, H. Zhang, S.-y. Zhang, L. Fan, and H.-x. Sun, Broadband acoustic concentrator with multi-layered alternative homogeneous materials, *J. Acoust. Soc. Am.* 131, EL150 (2012).
- [15] Kobelev, Yuri A., and Andrey V. Lebedev. "How Critical the Choice of the 3D Acoustic Cloaking Shell Parameters Is." *Acta Acustica united with Acustica* 95.3 (2009): 493-500.
- [16] Jo, Choonghee, et al. "Omnidirectional two-dimensional acoustic cloak by axisymmetric cylindrical lattices." *Wave Motion* 54 (2015): 157-169.
- [17] Li, Baolei, et al. "An arbitrary-shaped acoustic cloak with merits beyond the internal and external cloaks." *Acoustical Physics* 63.1 (2017): 45-53.
- [18] Wong, Z. J. et al. Optical and acoustic metamaterials: superlens, negative refractive index and invisibility cloak. *J. Optics* 19, 084007 (2017).
- [19] Sadeghi, Mohammad Mehdi. "Radar Cross Section Approach in Illusion Effects of Transformation Optics-Based Expander." *Frontiers in Materials* 9 (2022): 937437.