Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2024 (01 Sep);21: 9

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Modeling the effect of the number and angle of the baffle on the sound transmission loss in reactive muffler

Iraj Alimohammadi, PhD, Professor, Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mozhgan Nouraei, MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Asoudeh AmirArsalan Khan, BS, Occupational Health and Safety Engineering, Occupational Health Research Center, Iran University of Medical Science, Tehran, Iran.
Rasoul Yarahmadi, PhD, Professor, Air Pollution Research Center, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mahdi Farrokhi, (*Corresponding author), MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. farokhi1.ma@gmail.com

Abstract

Background and aims: The sound coming from the exhaust of cars is the main cause of noise pollution in the urban environment. Mufflers are used as a passive noise control device to reduce the sound coming from the exhaust of cars. The effectiveness of mufflers in reducing the volume of sound depends on various factors. Achieving the right shape and dimensions for the internal components of mufflers can help design mufflers with high sound transmission loss and optimal fluid pressure loss. Therefore, the change in the muffler components and the effect of the placement angle and the number of baffles in the fluid flow path on the sound transmission loss in reactive mufflers have been investigated in this research through software simulation.

Methods: In the current study, software modeling using COMSOL has been used to investigate the effect of the studied geometrical variables on the sound transmission loss in the muffler. By changing the geometric variables of the muffler, such as the number and opening angle of the muffler baffles, different designs were obtained and the results were compared to determine the effect of each variable.

Results: The results of this study indicated that the change in each of the geometric variables has a different effect on the muffler sound transmission loss in different frequency ranges. Despite the increase in the average sound transmission loss with the increase in the number and angle of the baffles, this factor is greatly reduced in certain frequency ranges.

Discussion: According to the findings of this research, the sound transmission loss of the different studied models is low at low frequencies and increases with increasing frequency. Reactive mufflers show the most acoustic efficiency in narrow frequency ranges, especially in high frequencies. The reduction in transmission loss in some frequencies can be related to the fact that the resonance frequency of the muffler is higher than the frequency of the sound under investigation. Additionally, by increasing the angle or opening of the baffle, the viscosity and density of the fluid inside the muffler increase, and the acoustic resistance increases, resulting in increased transmission loss.

Conclusion: COMSOL software can be used to predict the acoustic performance of mufflers, and its results can be used to improve the design. This method helps to improve the design of mufflers more easily and quickly to increase the loss of sound transmission in them. Also, the number and angle of baffles inside the expansion chamber of reactive mufflers increase the sound transmission loss. Therefore, in the design of mufflers, it is possible to use angled baffles with the right number and angle to increase the sound transmission loss of the muffler at the target frequency.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Reactive Muffler

Baffle

Sound Transmission Loss

Modeling

Received: 2023/09/12

Accepted : 2024/07/13

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Since the invention of the internal combustion engine at the end of the 19th century, the noise created by it has been a constant problem for the environment. The internal combustion engine is the heart of a car. The explosion during combustion creates a strong sound pressure that must be transferred to the atmosphere without affecting engine performance. As a result, this sound pulse is transmitted to people's ears through the air. The sound produced by car engines can far exceed the sound in the surrounding environment, and evidence shows that chronic exposure to sound causes hearing and non-hearing problems and can lead to physical and mental issues such as hearing loss and stress in people. Therefore, it is necessary to have control devices to reduce the sound output from the engine before the sound wave reaches the environment. One of the most important passive sound control methods is the use of mufflers in the fluid flow path. A muffler or sound storage is a very important element in controlling and reducing the sound of those sound sources in which the fluid flow in a channel is the bed of sound wave movement. In general, a muffler is defined as an element in the channel that, while allowing the free passage of fluid through the channel, prevents the transmission of sound along the channel. Mufflers cover a wide range of sound reduction devices and generally, mufflers are divided into reactive and absorption categories. Mufflers installed on cars are considered a type of reactive device. Reactive mufflers operate based on the interference of destructive sound waves and the change of acoustic impedance due to changes in the cross-section along the path. In contrast, the basis of the function of dissipative (absorption) mufflers is the loss of sound energy and its conversion into heat and vibration using porous fibrous sound absorbent materials due to the direct collision of gas particles with absorbent materials. Baffle mufflers are another type of muffler in the form of a cylinder, inside which several baffles are welded according to the amount of flow. When the exhaust gas reaches the muffler inlet, their deviation prevents direct exit and by weakening the flow, they reduce the sound. Past studies on the effect of the baffles of bra mufflers show a 50% improvement in sound transmission loss. At present, reactive and sound-absorbing types of mufflers are available for sound control, but their performance is limited for various reasons. Moreover, one of the disadvantages of using mufflers is the pressure drop of the fluid flow while passing through the muffler. The pressure drop increases the pressure on the engine and as a result, increases fuel consumption and decreases acceleration in cars. One of the most important factors in determining the pressure drop of the fluid flow while passing through the muffler is the geometrical components of the muffler. For this reason, today designers try to minimize the pressure drop by improving the design of the geometry of mufflers. The design of mufflers has been receiving attention for many years, and therefore a lot of understanding has been gained from it, most of these developments are related to the last four decades. A suitable muffler should result in maximum noise reduction as well as the optimal pressure drop for the car engine. Loss of sound transmission, loss of application, and reduction of sound level are the three parameters studied in mufflers. But to evaluate the performance of mufflers, the sound transmission loss index is used as the main parameter. TL or sound transmission loss shows a value in dB that demonstrates the muffler's ability to reduce sound and being independent of the sound source, it does not change with the change of the source and the amount of sound input to the muffler. Today, there is a growing trend in using computer simulation in the design of various products. This is due to the demand for reducing the time to supply products to the market, better performance of products, and greater complexity of products. Thus, for the usefulness of using computer simulation in product design, it is necessary for this simulation to be as simple as possible and accurate enough at the same time, so that the results of the simulation are reliable. For this reason, the influence of the placement angle and the number of baffles in the fluid flow path on the amount of sound transmission loss in reactive mufflers has been investigated through software simulation in this research.

METHODOLOGY

1. Numerical design and simulation

In this study, to investigate the effect of the number and angle of baffles on the sound transmission loss of the muffler, six models were designed and studied using the FEM method after 3D drawing with COMSOL software. For this purpose, after drawing the mufflers, the boundary conditions and relations governing the study were determined. Finally, the simulation results were extracted from the software and carefully compared and checked.

2. The studied models

In this research, six mufflers were studied and examined, each of which has three expansion chambers, connecting pipes, delta-shaped baffles, and inlet and outlet pipes.

3. Meshing

Meshing is defined as a process for dividing an unlimited geometric domain into a limited number of elements and nodes. In this research, a quadrilateral mesh element was used. The maximum length of

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

the element is calculated according to the wave number and wavelength. For finite element analysis, it is necessary to retain at least eight elements per wavelength. For this purpose, first the speed of sound at the desired temperature and then the length of the shortest wave at the calculated temperature were determined.

4. Mathematical equation

Numerical problems in the frequency range have been solved using the Pressure Acoustics, Frequency Domain module of the COMSOL Multiphysics software. To find the acoustic pressure in the numerical problem, the modified form of the Helmholtz equation is used.

5. Boundary conditions

Port boundary conditions for the entrance and exit openings of the muffler were used as the entrance and exit of the sound wave to the range of the studied elements. Additionally, the sound hard boundary conditions were used for the inner walls of the muffler, the walls of the connecting pipes, the existing baffles, and the separating walls of the expansion chambers, which caused the sound passing through the said walls to be considered insignificant in the simulation process.

RESULTS

In this study, the sound transmission loss of the designed mufflers was investigated by software simulation. According to the results, increasing the opening angle of the baffles causes a decrease in the length and an increase in the height of the third peak of the muffler sound transmission loss graph in the frequency range of 1200 to 1500 Hz. In addition, increasing the opening angle of the baffles leads to an increase in the length and height of the fourth and fifth peaks of the muffler's sound transmission loss graph and an increase in the sound transmission loss at frequencies of 1600 to 2200 Hz. However, this change has reduced the sound transmission loss of the muffler in the frequency range of 2200 Hz and above.

Pairwise comparison of sound transmission loss in mufflers indicates that with the increase in the number of baffles from one to three, the length and height of the third and fourth peaks have decreased, while the height of the sound transmission loss graph has increased in the fifth, seventh, and eighth peaks. This shows an increase in the sound transmission loss of the muffler in the relevant frequencies.

Additionally, the increase in the number of baffles, with the baffles having an angle of 60 degrees to each other, has decreased the length and height of the third peaks of the muffler's sound transmission loss. On the other hand, this has caused an increase in the sound transmission loss of the muffler in the frequency range of 2200 to 2800 Hz. Moreover, the decrease in the length and height of the third and fourth peaks of the muffler sound transmission loss graph with the increase in the number of baffles indicates a decrease in the muffler sound transmission loss in the relevant frequency range. Conversely, this change has caused an increase in the transmission loss of the muffler in the frequency range of 2550 to 2750 Hz.

DISCUSSION

As the findings of this research show, the transmission loss of the different studied models is low at low frequencies and increases with increasing frequency, which is consistent with the results of other studies. The results illustrate that reactive mufflers show the most acoustic efficiency in narrow frequency ranges, especially in high frequencies. The selectivity of the acoustic performance of the muffler depends on the geometrical characteristics, boundary conditions, and the environmental conditions of the fluid inside the muffler.

The muffler studied in the research is a reactive expansion chamber type, in which the sound transmitted from inside the muffler is reduced due to the reflection of part of the sound energy towards the sound source. In this type of muffler, little sound energy is often consumed inside the muffler. The muffler chamber acts as a resonator in a way that leads to the disturbance of the acoustic balance in the main tube of sound transmission. As the results of this study show, the amount of transmission loss changes by changing the number and angle of the baffle.

CONCLUSION

In this study, the performance of multiple reactive mufflers was investigated by software simulation. Software modeling helped to examine and compare the acoustic performance of designed mufflers without spending time and money. This method helps to improve the design of mufflers more easily and quickly to increase the loss of sound transmission in them.

A general review of the obtained results shows the effectiveness of the number and angle of the baffles inside the expansion chamber of the reactive mufflers on the loss of sound transmission. The type and extent of the effect of changing the mentioned parameters on the loss of sound transmission at different frequencies is different, which is probably due to the nature of sound waves and the way each of the sound frequencies reacts to the change of the cross-section inside the muffler expansion chamber. The results showed that in the design of mufflers, it is possible to use angled baffles with the right number and angle to increase the sound transmission loss of the muffler at

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

the target frequency.

CONFLICT OF INTEREST

None.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alimohammadi: Designing of the study
Farrokhi: performing the study
Nouraei: Editing the manuscript
Yarahmadi: Consulting
AmirArsalan Khan: Data Gathering and Editing the manuscript

OPEN ACCESS

©2024 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ETHICAL CONSIDERATION

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

CODE OF ETHICS

The present research is ratified in Iran University of Medical Sciences under ethical code of IR.IUMS.REC.1399/931

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

How to cite this article:
Iraj Alimohammadi, Mozhgan Nouraei, Asoudeh AmirArsalan Khan, Rasoul Yarahmadi, Mahdi Farrokhi. Modeling the effect of the number and angle of the baffle on the sound transmission loss in reactive muffler. Iran Occupational Health. 2024 (01 Sep);21:9.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**

سلامت کار ایران
دوره ۲۰۲۱ - ۱/۱۴۰۲

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

مدل‌سازی اثر تعداد و زاویه بافل در افت انتقال صدا در مافلر واکنشی

ایرج علیمحمدی: استاد، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
مژگان نورائی: کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
آسوده امیرارسلان خان: کارشناسی مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
رسول یاراحمدی: استاد، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، ایران.
مهدی فرخی: (* نویسنده مسئول) کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
farokhi1.ma@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: صدای خروجی از اگزوز خودروها اصلی‌ترین عامل ایجاد آلودگی صوتی در محیط شهری می‌باشد. جهت کاهش صدای خروجی از اگزوز خودروها از مافلر ها به عنوان یک وسیله کنترل صدای غیر فعال استفاده می‌شوند. کارایی مافلرها در کاهش میزان صدا به عوامل مختلفی وابسته است. دستیابی به شکل و ابعاد مناسب برای اجزای داخلی مافلرها میتواند کمک شایانی به طراحی مافلرهایی با افت انتقال صدای بالا و افت فشار بهینه سیال کند. بنابراین تغییر درمولفه‌های مافلر و تاثیر زاویه قرارگیری و تعداد بافل ها در مسیر جریان سیال بر میزان افت انتقال صدا در مافلر های واکنشی از طریق شبیه سازی نرم افزاری در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: در مطالعه حاظر از مدل سازی نرم افزاری با استفاده از نرم افزار COMSOL جهت بررسی تاثیر متغیرهای هندسی مورد مطالعه بر روی افت انتقال صدا در مافلر استفاده شده است. در مرحله بعد با تغییر متغیرهای هندسی مافلر مانند تعداد و زاویه گشودگی بافل‌های مافلر و قرار دادن یک یا سه بافل دلتایی شکل با زاویه گشودگی ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه طرح‌های متفاوت بدست آمده و نتایج بدست آمده جهت تعیین اثر هر متغیر مقایسه گردید.

یافته ها: نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر در هر یک از متغیرهای هندسی تاثیر متفاوتی بر روی افت انتقال صدای مافلر در بازه‌های فرکانسی متفاوت می‌گذارد. به طوری که با وجود افزایش میانگین افت انتقال صدا با افزایش تعداد و زاویه بافل‌ها، این فاکتور در بازه های فرکانسی مشخصی شدیدا کاهش می‌یابد و افزایش زاویه ی گشودگی بافل ها موجب کاهش طول و افزایش ارتفاع نمودار افت انتقال صدای مافلر در بازه فرکانسی ۱۲۰۰ الی ۱۵۰۰ می شود. علاوه بر این، افزایش زاویه ی گشودگی بافل ها منجر به افزایش طول و ارتفاع نمودار افت انتقال صدا مافلر و افزایش افت انتقال صدا در فرکانس های ۱۶۰۰ الی ۲۲۰۰ هرتز می شود. همچنین این تغییر موجب کاهش افت انتقال صدا مافلر در بازه ی فرکانسی بالاتر از ۲۲۰۰ هرتز شده است.

بحث: باتوجه به یافته های این پژوهش، افت انتقال صدای مدل های مختلف مورد مطالعه در فرکانس های پایین کم می باشد و با افزایش فرکانس، میزان آن زیاد می شود. همچنین مافلرهای واکنشی در بازه های فرکانسی باریک بیشترین کارایی آکوستیکی را بویژه در فرکانس های بالا از خود نشان می دهند و دلیل کاهش میزان افت انتقال در برخی فرکانس ها را می توان به متفاوت بودن فرکانس رزونانس مافلر با فرکانس صوت مورد بررسی مربوط دانست. علاوه بر این موضوع، با افزایش زاویه یا گشودگی بافل میزان گرانروی و دانسیته سیال درون مافلر افزایش یافته و مقاومت آکوستیکی افزایش و به تبع آن افت انتقال زیاد می شود.

نتیجه گیری: جهت پیش بینی عملکرد آکوستیکی مافلر ها می‌توان از نرم‌افزارCOMSOL و از نتایج آن جهت بهبود طراحی استفاده کرد. این روش به بهبود آسان تر و سریع تر طراحی مافلر ها جهت افزایش افت انتقال صدا در آنها کمک شایانی می‌کند. همچنین تعداد و زاویه بافل های موجود در داخل محفظه انبساط مافلرهای واکنشی باعث افزایش افت انتقال صدا می‌گردد. بنابراین در طراحی مافلر ها می‌توان از بافل های زاویه دار با تعداد و زاویه مناسب جهت افزایش افت انتقال صدا مافلر در فرکانس هدف استفاده کرد.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
مافلر واکنشی
بافل
افت انتقال صدا
مدلسازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۳

شیوه استناد به این مقاله:
Iraj Alimohammadi, Mozhgan Nouraei, Asoudeh AmirArsalan Khan, Rasoul Yarahmadi, Mahdi Farrokhi. Modeling the effect of the number and angle of the baffle on the sound transmission loss in reactive muffler. Iran Occupational Health. 2024 (01 Sep);21:9.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

مقدمه

از زمان اختراع موتور احتراق داخلی در اواخر قرن نوزدهم صدای ایجاد شده توسط آن از دردسر های دائمی برای محیط زیست بوده است[۱]. موتور احتراق داخلی قلب یک خودرو است. انفجار در حین احتراق باعث ایجاد فشار صوتی شدیدی می شود که باید بدون تاثیر بر عملکرد موتور به اتمسفر منتقل شود. این پالس صوتی از طریق محیط هوا به گوش افراد منتقل می گردد[۲]. صدای تولید شده توسط موتور خودرو ها می تواند از صدای موجود در محیط اطراف بسیار فراتر رفته و با توجه به این موضوع شواهد نشان می‌دهد که مواجهه با صدا به طور مزمن باعث ایجاد مشکلات شنوایی وغیر شنوایی می گردد و می‌تواند منجر به مشکلات جسمی و روحی مانند کاهش شنوایی و استرس در افراد شود. طبق مطالعات انجام گرفته حدود ۶۰۰ میلیون نفر در جهان در معرض صدا می‌باشند و مطابق با آمار منتشر شده از وزارت بهداشت ۲ میلیون کارگر در ایران با صدای بالاتر از ۸۵ دسی‌بل مواجهه دارند[۳]. در بسیاری از مشاغل از قبیل رانندگی ، خلبانی، دریانوردی و نیز در بسیاری از صنایع که حمل و نقل در آنها بوسیله خودرو صورت می گیرد افراد در معرض صدای وسایل نقلیه قرار می گیرند. صدای وسایل نقلیه نه تنها رانندگان و سرنشینان را تحت تاثیر قرار می دهد بلکه افرادی از قبیل فروشندگان، کارمندان ادارات و سازمان ها و ساکنین مناطق مسکونی مجاور (مانند افراد خانه دار) در معرض صدا قرار می گیرند. بنابراین وجود وسایل کنترلی برای کاهش صدای خروجی از موتور قبل از رسیدن موج صوتی به محیط ضروری است[۴-۷]. یکی از مهم ترین روش‌های کنترل غیرفعال صدا استفاده از مافلرها در مسیر جریان سیال است[۸].

مافلر یا انباره های صوتی عنصری بسیار مهم در کنترل و کاهش صدای آن دسته از منابع صوتی است که در آن‌ها جریان سیال در یک کانال بستر حرکت موج صوتی می‌باشد. بطور کلی یک مافلر به عنوان عنصری در کانال تعریف می‌شود که در عین حال که اجازه عبور آزادانه به جریان سیال از کانال را می‌دهد، از انتقال صوت در طول کانال جلوگیری می کند. مافلر ها محدوده وسیعی از وسایل کاهش صدا را پوشش می‌دهند و به طور کلی مافلر ها به دو دسته واکنشی[1] و جذبی[2] تقسیم می‌شوند.مافلر هایی که روی خودرو ها نصب می‌شوند نوعی دستگاه واکنشی به شمار می‌روند [۸]. مافلر های واکنشی بر اساس تداخل امواج مخرب صوتی و تغییر امپدانس آکوستیکی به واسطه تغییرات در سطح مقطع در طول مسیر عمل می کنند. در حالی که اساس عملکرد مافلر های اتلافی (جذبی) اتلاف انرژی صوتی و تبدیل آن به گرما و ارتعاش با استفاده از مواد جاذب صدای فیبری متخلخل بدلیل برخورد مستقیم ذرات گاز با مواد جاذب می باشد[۹].

مافلر های واکنشی، غیر اتلافی و شامل تعدادی المان های لوله ای متقاطع با ابعاد متفاوت می‌باشند که به یکدیگر متصل شده‌اند. در هر تقاطع، عدم تطابق امپدانس موجب انعکاس بخش قابل توجهی از انرژی آکوستیکی ورودی میگردد. اغلب مافلر هایی که امروزه برای موتورهای احتراق داخلی مورد استفاده قرار میگیرند از نوع مافلرهای واکنشی می‌باشند[۲]. از ویژگی‌های مافلر واکنشی می‌توان به امکان بهره‌گیری از المان انعکاسی مافلر جهت حذف فرکانس های خاص و عمر بالا اشاره کرد.

مافلرهای بافل نوع دیگری از مافلرها به شکل استوانه می‌باشند که درون آن‌ها با توجه به میزان جریان چندین بافل جوش داده شده است. با رسیدن گازخروجی به ورودی مافلر، انحراف آن‌ها مانع از خروج مستقیم می گردد و با تضعیف جریان باعث کاهش صدا می‌گردند.[۱۰]. مطالعات گذشته برروی تاثیر بافل برمافلرها نشان‌دهنده بهبود ۵۰ درصدی افت انتقال صدا می‌باشد[۱۱-۱۴].

در حال حاضر انواع واکنشی و جذبی صدا مافلر ها در برای کنترل صدا در دسترس هستند، اما عملکرد آنها به دلایل مختلفی محدود است[۱۵].یکی از معایب استفاده از مافلر ها افت فشار جریان سیال حین عبور از مافلر است. افت فشار باعث افزایش فشار بر روی موتور و درنتیجه افزایش میزان مصرف سوخت و کاهش شتاب در خودروها می‌شود[۱۶]. یکی از مهم ترین عوامل تعیین مقدار افت فشار جریان سیال حین عبور از مافلر، مولفه های هندسی مافلر میباشد. به همین دلیل امروزه طراحان تلاش میکنند با بهبود طراحی هندسه مافلر ها میزان افت فشار را به حداقل ممکن برسانند[۲]. طراحی مافلر ها سال‌هاست مورد توجه قرار گرفته و از این رو درک زیادی از آن بدست آمده است که بیشتر این پیشرفت ها مربوط به چهار دهه اخیر می‌باشد. یک مافلر مناسب باید منجر به بیشترین کاهش صدا و همچنین افت فشار بهینه برای موتور خودرو شود[۹].

افت انتقال صدا، افت بکارگیری و کاهش سطح صوت سه پارامتر مورد مطالعه در مافلرها می‌باشند[۱۷].اما برای ارزیابی عملکرد مافلر ها شاخص افت انتقال صدا به عنوان پارامتر

1 Reactive muffler
2 Absorptive muffler

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

اصلی استفاده می شود[۱۸]. TL یا افت انتقال صدا مقداری بر حسب dB را نشان می دهد که نشان دهنده توانایی مافلر جهت کاهش صدا و مستقل از منبع صدا بوده و با تغییر منبع و میزان صدای ورودی به مافلر تغییر نمی کند[۴].

امروزه روند فزاینده ای برای استفاده از شبیه سازی رایانه ای در طراحی محصولات مختلف وجود دارد. این امر به دلیل تقاضا برای کاهش زمان عرضه ی محصولات به بازار، عملکرد بهتر محصولات و پیچیدگی بیشتر محصولات می باشد[۱۹]. برای مفید بودن استفاده از شبیه سازی رایانه ای در طراحی محصولات لازم است تا این شبیه سازی تا حد امکان ساده و در عین حال به اندازه کافی دقیق باشند تا نتایج حاصل از شبیه سازی قابل اطمینان باشد[۹].

به همین دلیل تاثیر زاویه قرار گیری و تعداد بافل ها در مسیر جریان سیال بر میزان افت انتقال صدا در مافلر های واکنشی از طریق شبیه سازی نرم افزاری در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی

۱. طراحی و شبیه سازی عددی

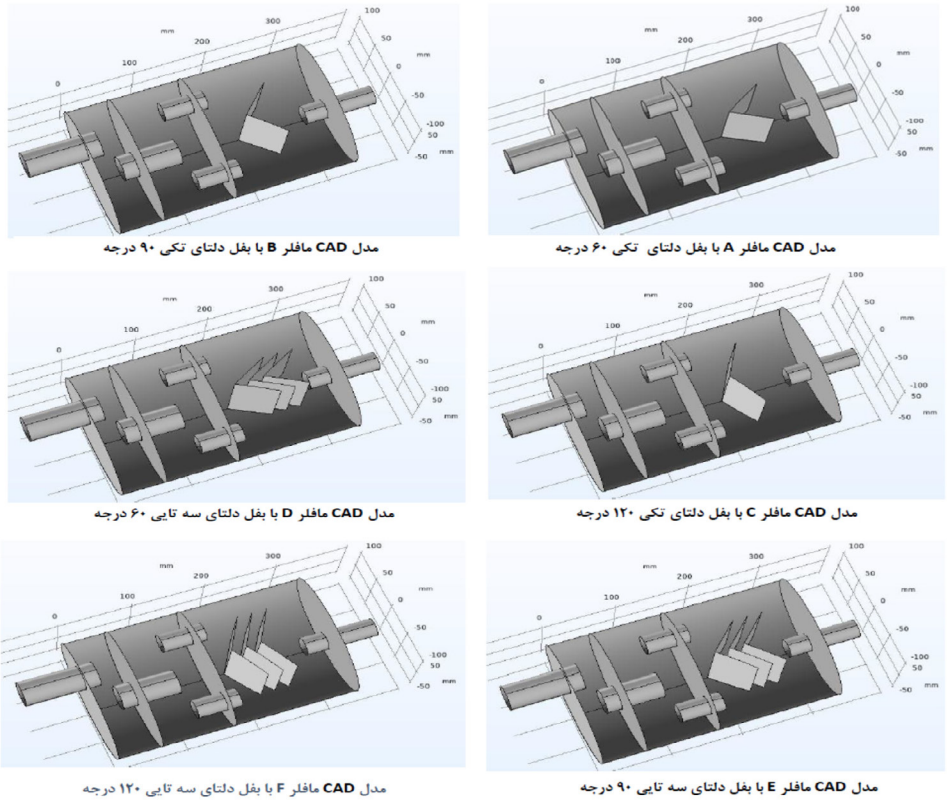
در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر تعداد و زاویه بافل ها بر میزان افت انتقال صدای مافلر، شش مدل طراحی شده که در این مدل‌ها زاویه‌ی بافل‌های دلتا شکل داخلی در سه حالت ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و تعداد آنها یک یا سه بافل قرار داده شده و پس از رسم سه بعدی توسط نرم افزار COMSOL به روش FEM مورد مطالعه قرار گرفتند. بدین منظور پس از رسم مافلر ها، شرایط مرزی و روابط حاکم بر مطالعه تعیین شدند. در نهایت نتایج شبیه سازی از نرم افزار استخراج شده و مورد مقایسه و بررسی دقیق قرار گرفتند.

۲. مدل های مورد مطالعه

در این پژوهش شش مافلر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند که هریک دارای سه محفظه ی انبساط، لوله های رابط، بافل های دلتا شکل و لوله های ورودی و خروجی می باشند. مدل CAD مافلر های ذکر شده درشکل ۱ نشان داده شده است.

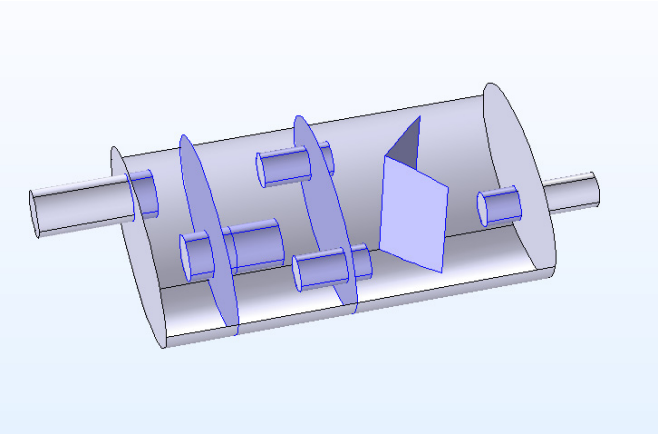
۳. مش بندی

مش بندی به عنوان فرایندی برای تفکیک دامنه هندسی نامحدود در تعداد محدودی از المان ها و گره ها تعریف می‌شود. در این تحقیق از المان مش چهار ضلعی



شکل ۱. مدل CAD مافلرهای مورد مطالعه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]



شکل ۲. دیواره های سخت داخلی مافلر B با شرایط مرزی Sound hard boundary

استفاده گردید. حداکثر طول المان با توجه به تعداد موج و طول موج محاسبه می شود. برای تجزیه و تحلیل اجزای محدود لازم است حداقل هشت المان در هر طول موج حفظ شود. بدین منظور ابتدا سرعت صوت در دمای مورد نظر در طریق رابطه ۱ محاسبه شد و سپس طول کوتاه ترین موج مورد در دمای محاسبه شده از طریق رابطه ی۲ تعیین گردید.

رابطه ۱ $$c = (\gamma RT)^{\frac{1}{2}}$$

در این رابطه c نشان دهنده ی سرعت صوت، γ نشانگر شاخص بی در رو سیال، R ثابت گازها و T دمای گاز بر حسب کلوین می باشند. در این رابطه نیز λ نشان دهنده ی طول موج صوتی و f نشان دهنده ی فرکانس می باشند.

رابطه ۲ $$\lambda = \frac{c}{f}$$

بر اساس روابط فوق سرعت صوت در دمای ۵۲۳ کلوین معادل ۴۵۸ m/s و طول موج صوتی فرکانس ۳۰۰۰ برابر با ۱۵ cm می باشد. به جهت وجود حداقل هشت المان در کوتاه ترین طول موج مورد مطالعه، حداکثر ابعاد مش برابر با ۱۹ mm تعیین گردید.

۴. روابط حاکم

مسئله ی عددی در بازه ی فرکانسی با استفاده از ماژول آکوستیک Pressure Acoustics , Frequency Domain نرم افزار COMSOL Multiphysics حل شده اند. برای یافتن فشار آکوستیک در مسئله ی عددی از فرم اصلاح شده ی معادله ی هلم هولتز استفاده می شود.

رابطه ۳ $$\nabla\left(-\frac{\Delta p}{\rho}\right) - \frac{\omega^2 p}{c^2 \rho} = 0$$

در این رابطه p نشان دهنده فشار آکوستیک، ρ نشان دهنده چگالی، c نشان دهنده ی سرعت صوت درشرایط فیزیکی موجود می باشد.

۵. شرایط مرزی

شرایط مرزی Port برای دهانه های ورودی و خروجی مافلر به عنوان محل ورود و خروج موج صوتی به دامنه المان های مورد مطالعه استفاده شد. همچنین شرایط مرزی sound hard boundary برای دیواره های داخلی مافلر و جداره های لوله های رابط و همچین بافل های موجود و دیواره های جداکننده محفظه های انبساط استفاده شد که این مورد باعث ناچیز در نظر گرفته شدن عبور صدا از دیواره های مذکور در انجام فرآیند شبیه سازی شد.

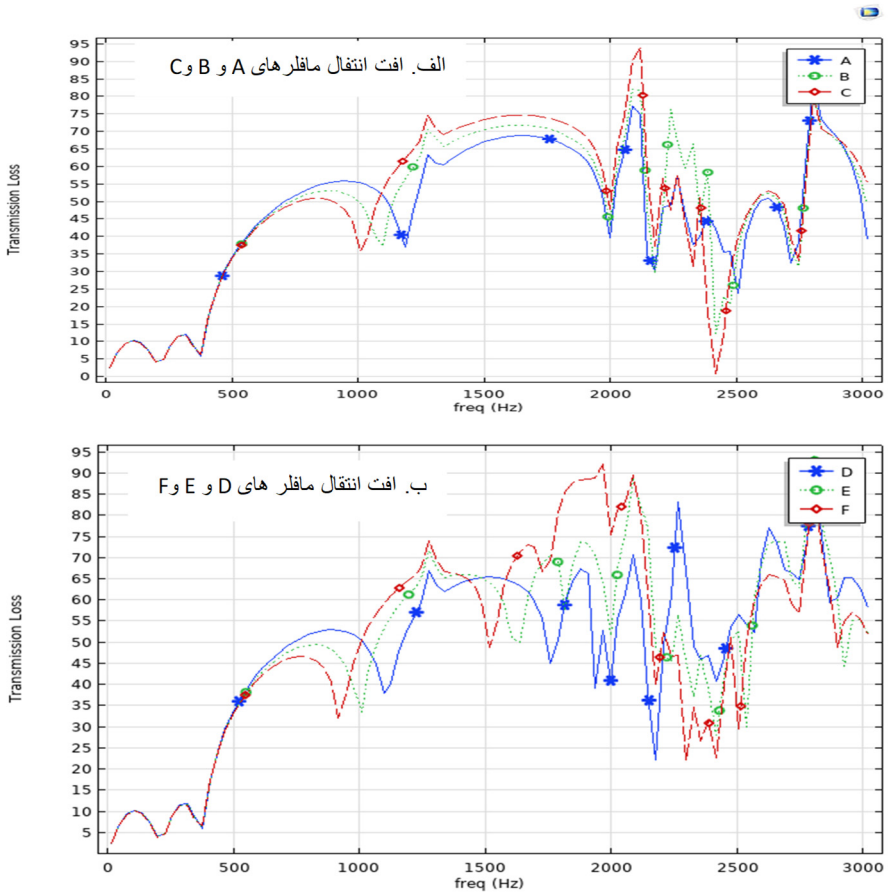
یافته ها

در این مطالعه افت انتقال صدا مافلرهای طراحی شده به وسیله شبیه سازی نرم افزاری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن مطابق شکل ۳ می باشد.

مطابق رسم توضیحی "الف" و "ب" در شکل شماره ۳، افزایش زاویه ی گشودگی بافل ها موجب کاهش طول و افزایش ارتفاع قله ی سوم نمودار افت انتقال صدای مافلر در بازه فرکانسی ۱۲۰۰ الی ۱۵۰۰ می شود. علاوه بر این، افزایش زاویه ی گشودگی بافل ها منجر به افزایش طول و ارتفاع قله های چهارم و پنجم نمودار افت انتقال صدا مافلر و افزایش افت انتقال صدا در فرکانس های ۱۶۰۰ الی ۲۲۰۰ هرتز می شود. همچنین این تغییر موجب کاهش

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]



شکل ۳. مقایسه افت انتقال صدا در مافلرهای مورد مطالعه

افت انتقال صدا مافلر در بازه ی فرکانسی ۲۲۰۰ هرتز به بالا شده است.

شکل ۴ مقایسه دوتایی افت انتقال صدا در مافلر ها را نشان می‌دهد. مطابق رسم توضیحی "ج" با افزایش تعداد بافل ها از یک به سه، طول و ارتفاع قله های سوم و چهارم کاهش یافته است و در مقابل ارتفاع نمودار افت انتقال صدا در قله های پنجم و هفتم و هشتم افزایش یافته است که نشان دهنده ی افزایش افت انتقال صدا مافلر در فرکانس های مربوطه می باشد.

همچنین مطابق رسم توضیحی "د" با افزایش تعداد بافل ها در شرایطی که بافل ها دارای زاویه ۶۰ درجه نسبت به یکدیگر می باشند، طول و ارتفاع قله های سوم نمودار افت انتقال صدا مافلر کاهش یافته است. در مقابل این امر موجب افزایش افت انتقال صدا مافلر در بازه فرکانسی ۲۲۰۰ الی ۲۸۰۰ هرتز شده است.

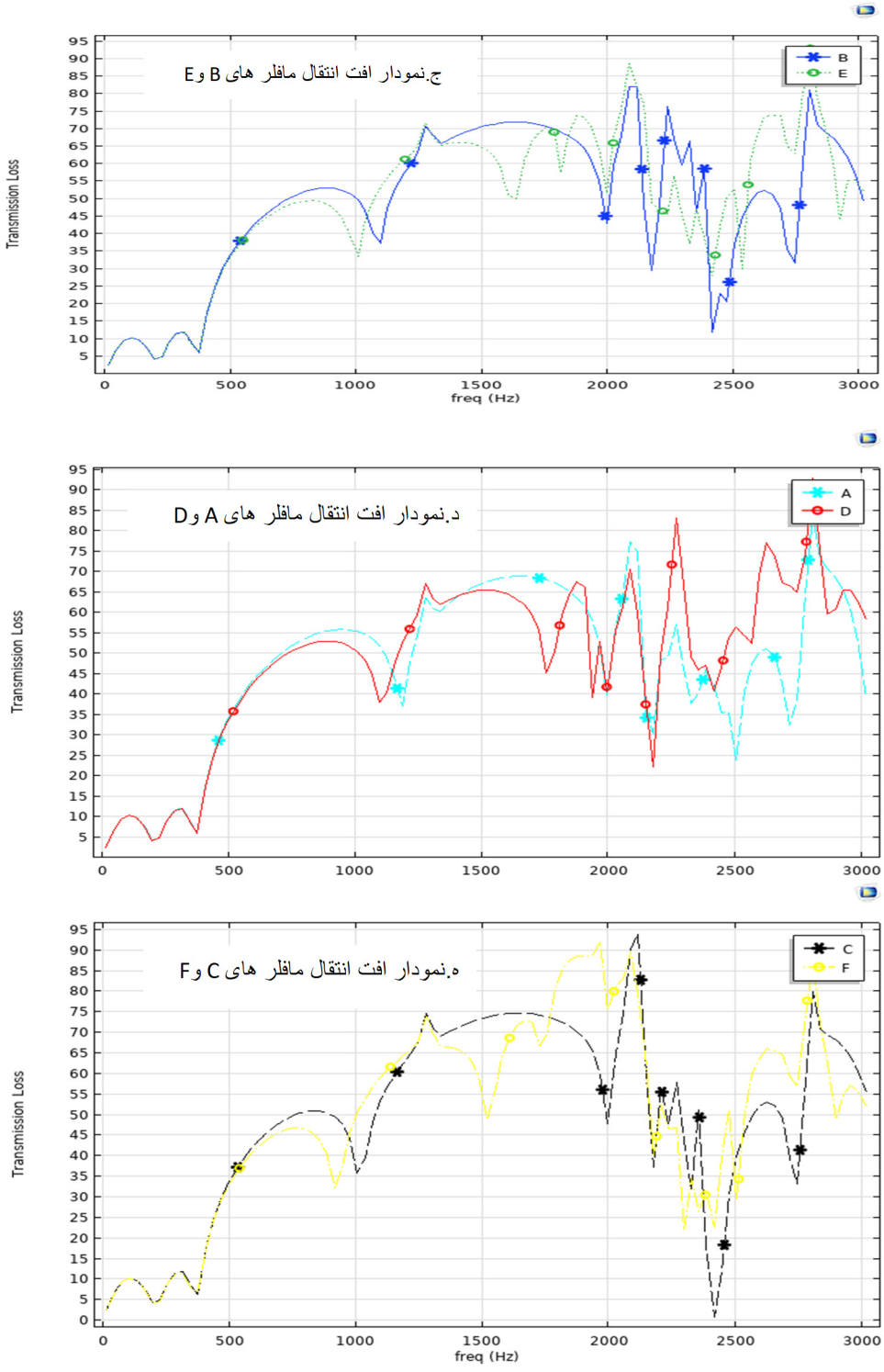
رسم توضیحی "ه" نیز نشان دهنده کاهش طول و ارتفاع قله های سوم و چهار نمودار افت انتقال صدا مافلر با افزایش تعداد بافل میباشد که حاکی از کاهش افت انتقال صدا مافلر در بازه فرکانسی مربوطه می باشد. در مقابل این تغییر موجب افزایش افت انتقال صدا مافلر در بازه فرکانسی ۲۵۵۰ الی ۲۷۵۰ شده است.

بحث

همانگونه که یافته های این پژوهش نشان می دهد افت انتقال مدل های مختلف مورد مطالعه در فرکانس های پایین کم می باشد و با افزایش فرکانس، میزان آن زیاد می شود که این یافته با نتایج دیگر مطالعات صورت گرفته همخوانی دارد. این یافته نشان می دهد که مافلرهای واکنشی در بازه های فرکانسی باریکی بیشترین کارایی آکوستیکی را بویژه در فرکانس های زیاد از خود نشان می دهند. انتخابی بودن کارایی آکوستیکی مافلر به خصوصیات هندسی ، شرایط مرزی و نیز به شرایط محیطی سیال درون مافلر بستگی دارد.

مطابق شکل شماره ۳، با افزایش زاویه یک بافل در مافلر (مافلر های مدل A,B و C) نسبت به خط موازی با خروجی مافلر میزان افت انتقال در بازه فرکانسی ۱۲۰۰ هرتز تا ۲۲۰۰ هرتز افزایش می یابد(شکل ۳ الف) و در فرکانس های بالای ۲۲۰۰ هرتز تفاوت

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]



شکل ۴. مقایسه دوتایی افت انتقال صدا در مافلرهای مورد مطالعه

زیادی بین افت انتقال این مدل ها مشاهده نمی شود (به جز فرکانس ۲۴۰۰ هرتز که افت انتقال با بافل ۱۲۰ درجه بشدت کاهش می یابد). همانطور که می دانیم خصوصیات آکوستیکی یک مافلر را می توان بر حسب سه پارامتر جرم آکوستیکی (Acoustic Mass)، انطباق آکوستیکی (Acoustic Compliance) و مقاومت آکوستیکی (Acoustic Resistance) تفسیر نمود. با افزایش زاویه یا گشودگی بافل میزان گرانروی و دانسیته سیال درون مافلر افزایش یافته و مطابق رابطه $R_A = \frac{(4\pi f\mu\rho)^{1/2}}{\pi a^4}\left(\frac{L}{a}+2\right)$ - که نشان دهنده مقاومت آکوستیکی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

در مافلرهای متوسط می باشد- مقاومت آکوستیکی افزایش و به تبع آن افت انتقال زیاد می شود.

مکانیسم عمل مافلر شبیه رزوناتور هلمهولتز می باشد به این معنی که کاهش انرژی صوتی وارده به آنها از طریق برهم کنش امواج صوتی و بر اساس اصل برایند ارتعاشی امواج اتفاق می افتد. در تبیین چرایی کاهش شدید میزان افت انتقال در برخی از فرکانس ها (اشکال ۳ و ۴) می توان به فاکتور کیفیت آکوستیکی (Acoustic quality Factor) مافلر اشاره کرد. فاکتور کیفیت آکوستیکی معادل نسبت میرایی در سیستم های مرتعش مکانیکی می باشد به این مفهوم که نحوه کاهش یا افزایش میزان صدا در مافلر به فاکتور کیفیت آکوستیکی بستگی دارد. اگر رابطه فاکتور کیفیت آکوستیکی $Q_A = \frac{2\pi f_0 M_A}{R_A}$ و ارتباط بین فاکتور کیفیت و امپدانس آکوستیکی را $|Z_A| = (Re^2 + I_m^2)^{1/2} = R_A\left[1 + Q_A^2\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2\right]^{1/2}$ در نظر بگیریم مشاهده می شود که با افزایش فاکتور کیفیت میزان امپدانس آکوستیکی کاهش می یابد. میزان امپدانس آکوستیکی به نسبت فرکانس رزونانس (f_0) و فرکانس صوت (f) بستگی دارد. دلیل کاهش میزان افت انتقال در برخی فرکانس ها (مثلا فرکانس ۲۴۰۰ هرتز در مافلر مدل های B و C) را می توان به بیشتر بودن فرکانس رزونانس مافلر از فرکانس صوت مورد بررسی مربوط دانست. اگر میزان فرکانس رزونانس کمتر از فرکانس صوت باشد میزان امپدانس صوتی و به تبع آن مقاومت آکوستیکی مافلر افزایش می یابد و اگر فرکانس رزونانس بیشتر از فرکانس صوت باشد میزان مقاومت آکوستیکی و یا افت انتقال مافلر کاهش می یابد.

مافلر مورد مطالعه در تحقیق از نوع محفظه انبساط (Expansion Chamber) واکنشی (reactive) می باشد که در آن صدای منتقله از درون مافلر در اثر انعکاس بخشی از انرژی صوتی به سمت منبع صدا کاهش می یابد. در این نوع مافلر غالباً انرژی صوتی اندکی درون مافلر مستهلک می شود. محفظه مافلر به عنوان رزوناتور به نحوی عمل می کند که منجر به برهم خوردن تعادل آکوستیکی در لوله اصلی انتقال دهنده صوت می شود. همانگونه که نتایج این مطالعه نشان می دهد با تغییر تعداد و زاویه بافل میزان افت انتقال تغییر می کند. با توجه به این که سطح مقطع لوله ورودی به مافلر با سطح مقطع لوله خروجی برابر فرض شده است (شکل ۲ را ببینید) میزان ضریب انتقال توان صوت مافلر (a_t) را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$\frac{1}{a_t} = 1 + \frac{1}{4}\left(m - 1/m\right)^2 \sin^2(kL)$$

که در آن m نسبت سطح مقطع محفظه مافلر به سطح مقطع ورودی، K عدد موجی و L طول محفظه مافلر می باشند. مشاهده می شود که حداقل افت انتقال در فرکانس هایی مطابق با شرایط زیر به وجود می آید:

$kL = n\pi \quad (n=1,2,3,..)$

$f_p = nc/2L \quad (n=1,2,3,\ldots)$

حداقل میزان افت انتقال در صورتی ایجاد می شود که رابطه $\left(\frac{1}{a_t}\right)_{min} = \frac{(1+\upsilon)^2}{4\upsilon}$ برقرار باشد. در این رابطه υ نسبت سطح مقطع لوله خروجی به سطح مقطع محفظه مافلر می باشد. بنابر این می توان گفت که کاهش افت انتقال در فرکانس هایی اتفاق افتاده است که مضرب صحیحی از $c/2L$ بوده اند. تغییر تعداد و زاویه بافل روی طول (L) مجازی محفظه مافلر تاثیر می گذارد. به عبارت دیگر افزایش زاویه بافل و تعداد آن موجب افزایش طول ظاهری مافلر از طریق افزایش جرم آکوستیکی می گردد.

نتیجه گیری

در این مطالعه کارکرد چند مافلر واکنشی به وسیله شبیه سازی نرم افزاری مورد بررسی قرار گرفت. مدل سازی نرم افزاری کمک کرد تا بدون صرف و هزینه و زمان جهت آزمایش مافلر های طراحی شده کارایی آکوستیک آنها مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. این روش به بهبود آسان تر و سریع تر طراحی مافلر ها جهت افزایش افت انتقال صدا در آنها کمک شایانی می‌کند.

بررسی کلی نتایج بدست آمده نشان دهنده موثر بودن تعداد و زاویه بافل های موجود در داخل محفظه انبساط مافلرهای واکنشی بر افت انتقال صدا می‌باشد. نوع و میزان تاثیر تغییر پارامتر های ذکر شده بر افت انتقال صدا در فرکانس های مختلف متفاوت است که این امر احتمالا ناشی از ماهیت امواج صوتی و نحوه واکنش هریک از فرکانس های صوتی به تغییر سطح مقطع در داخل محفظه انبساط مافلر می باشد. نتایج نشان داد در طراحی مافلر ها می توان از بافل های زاویه دار با تعداد و زاویه مناسب جهت افزایش افت انتقال صدا مافلر در فرکانس هدف استفاده کرد.

تضاد منافع

در این پژوهش، هیچگونه تضاد منافع و تعارضی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی ایران

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]

و با کد طرح ۹۹-۱-۲-۱۸۵۱۷ به تصویب رسیده است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله اظهار می دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در باره چاپ مقاله وجود ندارد.

کد اخلاق

این پژوهش در دانشگاه علوم پزشکی ایران و با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1399/931 به تصویب رسیده است.

مشارکت نویسندگان

ایرج علی محمدی : طراحی مطالعه
مهدی فرخی: اجرای طرح
مژگان نورائی : ویرایش متن مقاله
رسول یار احمدی: مشاوره
آسوده امیرارسلان خان : جمع آوری اطلاعات و ویرایش متن مقاله

دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2024: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازهٔ استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوهٔ دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفادهٔ فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.

به‌منظور مشاهدهٔ مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

REFRENCES

1. Cheremisinoff NP. Noise control in industry: A practical guide: Elsevier; 1996.
2. Munjal ML. Acoustics of ducts and mufflers with application to exhaust and ventilation system design: John Wiley & Sons; 1987.
3. Golmohamadi R. Noise control and determination of economic indicators in an edible oil industry. Iran Occupational Health. 2020;17(1):964-77.
4. Parlar Z, Ari S, Yilmaz R, Özdemir E, Kahraman A. Acoustic and flow field analysis of a perforated muffler design. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. 2013;7(3):447-51.
5. Prasad A, Thiagarajan RC. Acoustic performance design of automotive muffler. Technologies, Atoa. 2019.
6. Shah S, Kuppili S, Hatti K, Thombare D. A practical approach towards muffler design, development and prototype validation. SAE Technical Paper; 2010. Report No.: 0148-7191.
7. Tao Y, Chai Y, Kou L, Kwan M-P. Understanding noise exposure, noise annoyance, and psychological stress: Incorporating individual mobility and the temporality of the exposure-effect relationship. Applied Geography. 2020;125:102283.
8. Crocker MJ. Handbook of noise and vibration control: John Wiley & Sons; 2007.
9. Tutunea D, Calbureanu M, Lungu M. The computational fluid dynamics (CFD) study of fluid dynamics performances of a resistance muffler. international journal of mechanics. 2013(4).
10. George TC, Raj HV, editors. Energy Efficient Design and Modification of an Automotive Exhaust Muffler for Optimum Noise, Transmission loss, Insertion loss and Back pressure: A Review. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2018: IOP Publishing.
11. Done V, Balide V, Tamma B, Soni K, Dey S, Angadi S, et al. Muffler design for a refrigerator compressor. 2014.
12. Gupta A. Observation for transmission loss by applying multiple baffle plates on single expansion chamber: a simulation approach. International Journal of Engineering Research and Modern Education. 2016;1:153-9.
13. Le Roy TW. Muffler characterization with implementation of the finite element method and experimental techniques. 2011.
14. Elsayed A, Bastien C, Jones S, Christensen J, Medina H, Kassem H. Investigation of baffle configuration effect on the performance of exhaust mufflers. Case Studies in Thermal Engineering. 2017;10:86-94.
15. Das S, Das S, Das KM, Ahmad A, Ali SS, Faizan M, et al. A novel design for muffler chambers by incorporating baffle plate. Applied Acoustics. 2022;197:108888.
16. Chen J, Shi X, editors. CFD numerical simulation of exhaust muffler. 2011 Seventh International conference on computational intelligence and security; 2011: IEEE.
17. Vimaladass A. Investigation of vehicle muffler acoustic transmission loss: Kauno technologijos universitetas; 2022.
18. Xiang L, Zuo S, Wu X, Liu J. Study of multi-chamber micro-perforated muffler with adjustable transmission loss. Applied Acoustics. 2017;122:35-40.
19. Barron RF. Industrial noise control and acoustics: CRC Press; 2002.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.366]