Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2024 (01 Feb);20: 30

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

A systematic review on active noise control technologies in the window

Maryam Mahdavi, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Seyed Bagher Mortazavi, (*Corresponding author), Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. mortazav@modares.ac.ir

Ali Khavanin, Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Vida Zaroushani, Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Research Institute for Prevention of Non-Communicable Disease, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Rassoul Hajizadeh, Machine Learning and Deep Learning Research Laboratory, Faculty of Engineering Modern Technologies, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran

Abstract

Background and aims: One of the methods to increase sound transmission inside buildings is through doors and windows. Considerable effort has been made to reduce noise within the building. This study examines the methods of active sound control in windows.

Methods: In this systematic review, English articles were searched based on the PRISMA guide between January 2020 and December 2021 in Google Scholar, PubMed, Scopus, and ISI Web of Science databases without time limits for publishing articles. The selection of keywords was done based on the Pico principle and from the Mesh database. Selected keywords were used individually or in combination to search for articles. Articles that had the word "noise control" in their title or summary, along with any related words such as window, transportation, active noise control, active noise canceling, traffic noise, low-frequency control, low-frequency sounds were selected. Then the titles, abstracts, and keywords of these articles were reviewed, and related articles were separated from unrelated articles, and duplicate articles were also removed. Further, after applying the entry and exit criteria, the full text of the entry articles was collected and analyzed.

Results: In the first step of the search, a total of 638 studies were found that were published in the investigated databases during the years 2020-2021. Then, by checking the titles of the articles, 456 duplicate or unrelated articles were removed. According to the entry and exit criteria and evaluations and screenings, 97 articles were retrieved, of which 17 articles were included in the study based on the PRISMA guidelines, of which 16 were original articles and one was a review article. The largest number of articles belonged to the researchers of Singapore followed by the United States of America, who accounted for 8 and 5 input articles, respectively. The findings showed that the main solutions to prevent the transmission of sound inside the building include three categories: passive control, active control, and hybrid sound control. Active sound control methods are performed according to the closed and open status of the window in different ways such as cavity control, speaker installation on the window frame, speaker installation in the wall, short duct control.

Conclusion: Today, active sound control is considered a potential solution to control low-frequency sounds and traffic noise. Using the active sound control method for glass windows improves sound transmission loss without increasing the mass of the window. Due to geographical and cultural differences, the application of active sound control systems on windows is done in three main categories, fully closed windows, fully open windows, and half-open windows. It is suggested that researchers focus more on absorbent layer technologies, calculation methods, and numerical simulations.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Traffic noise

Window

Active noise control

Active noise cancelling

Occupational health

Received: 2023/01/1

Accepted : 2023/11/17

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Currently, noise pollution is recognized as a significant societal threat that can impact human quality of life, efficiency, and physical and mental health. Numerous efforts have been undertaken to mitigate acoustic noise in the environment. Noise control, or the total or partial reduction of acoustic noise, is implemented in various ways. Generally, two noise control methods are prevalent: passive and active noise control.

Passive noise absorbers, such as insulation with absorbers, are used in acoustic noise removal methods. However, these have limitations, the most significant of which is inefficiency at low frequencies. At these frequencies, the sound wavelengths increase compared to the thickness of the sound absorber. Therefore, to prevent the transmission of low-frequency waves, a heavy barrier with high volume, weight, cost, and size of sound insulation is required. In this case, the active noise control method must be employed.

In many respects, active noise control is a complementary technology to passive control. The most significant advantage of the active method is that, unlike the passive method, noise can be reduced in a small space, especially at low frequencies (below 500 Hz).

Therefore, this Systematic Review was conducted to provide a history of the Active Noise Control (ANC) system on windows in closed, fully open, and semi-open states.

METHODOLOGY

In this systematic review, English articles were searched based on the PRISMA guide between January 2020 and December 2021 in Google Scholar, PubMed, Scopus, and ISI Web of Science databases without time limits for publishing articles. The selection of keywords was done based on the Pico principle and from the Mesh database. Selected keywords were used individually or in combination to search for articles. Articles that had the word “noise control” in their title or summary, along with any related words such as window, transportation, active noise control, active noise canceling, traffic noise, low-frequency control, low-frequency sounds were selected. Then the titles, abstracts, and keywords of these articles were reviewed, and related articles were separated from unrelated articles, and duplicate articles were also removed. Further, after applying the entry and exit criteria, the full text of the entry articles was collected and analyzed.

RESULTS

In the initial step of the search, a total of 638 studies were found that were published in the investigated databases during the years 2020-2021. After checking the titles of the articles, 456 duplicate or unrelated articles were removed. Based on the entry and exit criteria and evaluations and screenings, 97 articles were retrieved. Of these, 17 articles were included in the study based on the PRISMA guidelines, of which 16 were original articles and one was a review article. The largest number of articles belonged to researchers from Singapore, followed by the United States of America, who accounted for 8 and 5 input articles, respectively.

The findings showed that the main solutions to prevent the transmission of sound inside the building include three categories: passive control, active control, and hybrid sound control. Active sound control methods are performed according to the closed and open status of the window in different ways such as cavity control, speaker installation on the window frame, speaker installation in the wall, short duct control.

The results of the studies showed that active noise control eliminates unwanted sound by producing a similar (co-amplitude) sound wave, but with the opposite phase. The interference of annoying sound (noise) waves and the generated sound wave eliminates both sounds. In later years, considerable progress was made by using digital techniques instead of complex analog systems and the use of digital signal processing science. As a result, Active Noise Control (ANC)

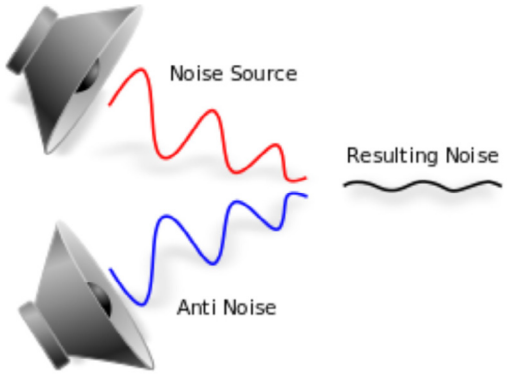


Fig. 1. The basic concept of a sound active control system (9,10)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

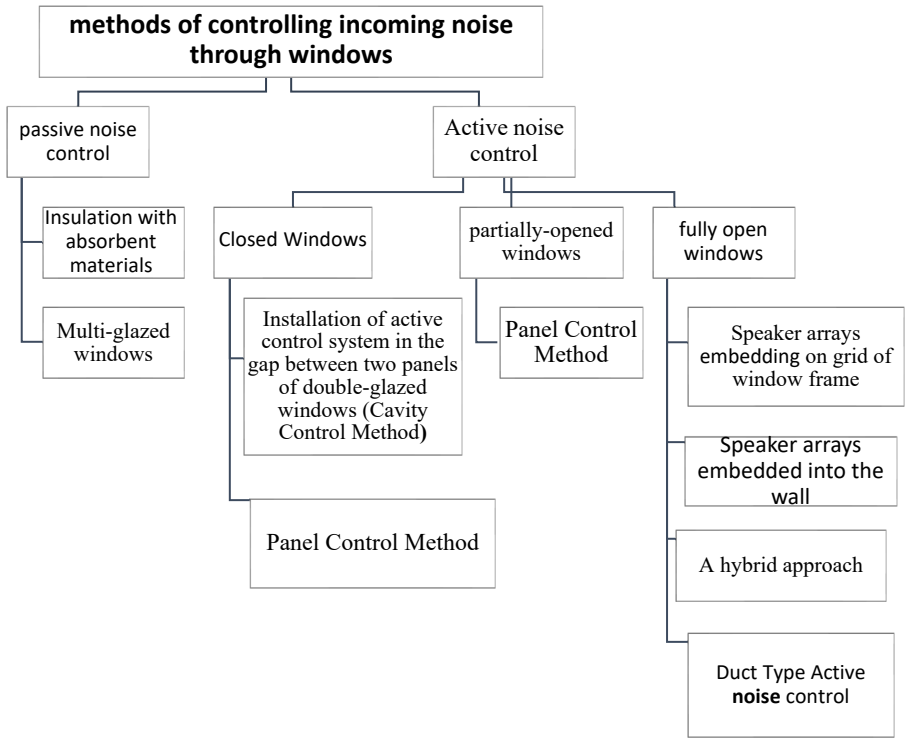


Fig. 2. Active Noise Control Method on Various Type of Windows

systems could be accessed in a variety of applications.

Active noise control systems are typically time-varying due to changes in the acoustic system, environmental conditions, and changes in the behavior of sensors and actuators due to working friction. Generally, active noise control is fully adaptive to perform detection and control simultaneously. With the development of digital processors and their reduction in cost, adaptive techniques are widely used in the design of active noise control systems today. In the active noise control system, the main source of noise is the same annoying noise that results from the source of environmental noise pollutants. The secondary noise sources are generated by an actuator with a different algorithm.

It's worth noting that adaptive filters are used to control active noise due to their nature of self-regulation and self-design.

In general, Active Noise Control (ANC) methods that can be applied to closed windows, fully open windows, and semi-opened windows are divided into six main categories: cavity control, panel control, embedding speaker arrays on the window frame grid, embedding speaker arrays on the wall, a hybrid approach, and duct type active noise control (10-16).

1. Active noise control on the closed window In closed windows, two ANC methods are mainly applied to windows as follows: Cavity control method and Panel control method.

1.1. Cavity control method In the cavity control method, the secondary source is placed in the space between two plates, causing a transmission loss.

1.2. Panel control method The effort to preserve the beauty of the window led to the provision of innovative solutions in the source of the active sound control system. In this method, by creating vibration in the window panel, a sound signal with the opposite phase is produced. The polyvinylidene fluoride layer connected to the electrodes based on transparent carbon nanotube was used as a transparent speaker in the window by Yu et al. (17,18).

2. Application of Active Noise Control to a Fully Open Window One of the limitations of double-glazed closed windows, which reduces their popularity, is the problem of opening the window and the lack of natural ventilation needed by residents in tropical areas. This is why the design of the active sound control system with open windows has attracted the attention of researchers.

Active sound control with open windows is done in four ways: embedding speaker arrays on the window screen, embedding the speaker array on the wall next to the window, using a short duct-like channel, and the hybrid method.

2.1. Embedding Speaker Arrays on a Window Frame Screen One of the methods of using speaker arrays in the active sound control system for an open window is to install the speaker arrays on the window frame.

2.2. Embedding Speaker Arrays in the Wall Since the installation of speakers on the window frame affects the beauty of the window, researchers decided

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

to embed them in the window wall to hide the speakers.

2.3. Active Control of Sound Through a Short Duct-Like Channel In the study conducted by Wongeun Oh, to reduce the noise passing through the windows, they used a simple duct-type active sound control system. This system consists of a short-length duct that is used to remove noise from the outside into the room using an algorithm (15, 23).

2.4. Hybrid Method of Active and Passive Control Murao used the active sound control system in the open window and used a splitter silencer to improve the level attenuation of broadband sounds. Before this research, they presented a similar idea with a silencer and a speaker inside a short duct. In their research, they achieved noise reduction in an open window with an array of active sound control systems (12, 24).

3. Applying Active Noise Control on the Semi-Open Window Carme et al. conducted their study on semi-open windows, which, in addition to providing the possibility of natural ventilation of a room, also made it possible to reduce the transmission of noise into the room by using an active sound control system.

CONCLUSION

Indeed, active noise control is increasingly seen as a potential solution for controlling traffic noise that enters buildings through windows. The application of active noise control for glass windows enhances the Sound Transmission Loss (STL) at resonant frequencies effectively without increasing the window mass.

Active control of windows is performed in three main categories due to geographical and cultural differences:

Completely Closed Windows: This involves two forms of control methods - cavity and panel control.

Fully Opened Windows: This involves four methods - embedding speaker arrays on the window frame grid, embedding speaker arrays into the wall, a hybrid approach, and Duct Type Active Noise Control.

Semi-Open Windows: The general method of using active sound control is the cavity control method.

For future research in Active Noise Control (ANC) design on closed windows, it is suggested to use thin piezoelectric films with greater transparency and the ability to produce high sound pressure. These can be aesthetically acceptable as a speaker in the production of secondary sound to eliminate annoying ambient sounds.

To achieve better results, save cost and time in ANC design on windows, it is recommended to use simulation software. The results should then be compared with experimental experiments.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their gratitude to Tarbiat Modares University for supporting this research. They also extend their appreciation to the members of the Tarbiat Modares Occupational Health Group for their valuable contributions. Their efforts and support have been instrumental in the successful completion of this study.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors declare that there is no conflict of interests to declare.

FUNDING

This research was supported by Tarbiat Modares University.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

How to cite this article:
Maryam Mahdavi, Seyed Bagher Mortazavi, Ali Khavanin, Vida Zaroushani, Rassoul Hajizadeh. A systematic review on active noise control technologies in the window. Iran Occupational Health. 2024 (01 Feb);20:30.

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

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۳۰/۱۴۰۲

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

مروری نظامند بر فناوریهای کنترل فعال صدا درپنجره ها

مریم مهدوی: دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
سید باقر مرتضوی: (* نویسنده مسئول) استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. mortazav@modares.ac.ir
علی خوانین: استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
ویدا زراوشانی: استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.
استادیار مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، انستیتو تحقیقات پیشگیری از بیماریهای غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.
رسول حاجی زاده: آزمایشگاه تحقیقاتی آموزش ماشین و یادگیری عمیق، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین آمل، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل..

چکیده

زمینه و هدف: یکی از راههای افزایش انتقال صدا به درون ساختمان‌ها درب و پنجره‌ها هستند. تلاش زیادی برای کاهش صداهای موجود در درون ساختمان شده است. این مطالعه به بررسی روش‌های کنترل فعال صدا در پنجره ها می پردازد.
روش بررسی: در این مطالعه مروری سیستماتیک جستجو مقالات انگلیسی بر اساس راهنمای PRISMA در فاصله زمانی ژانویه ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۱ و در پایگاه‌های PubMed، Scopus و ISI Web of Scienc و موتور جستجو گر Google Scholar و بدون محدودیت زمانی برای انتشار مقالات انجام شد. انتخاب کلیدواژه‌ها بر اساس اصل Pico و از پایگاه Mesh و متون آزاد انجام شد. کلیدواژه های انتخابی به صورت تک و یا در ترکیب با یکدیگر برای جستجوی مقالات استفاده شدند. مقالاتی که در عنوان یا خلاصه آن‌ها عبارت noise control به همراه هر یک از واژه های مرتبط از جمله window ، transportation ،active noise control ، active noise cancelling ، traffic noise ، low frequency control ، low frequency sounds بودند انتخاب شدند. سپس عناوین، چکیده‌ها و کلمات کلیدی این مقالات بررسی و مقالات مرتبط از غیر مرتبط جدا و مقالات تکراری نیز حذف شدند. در ادامه پس از اعمال معیارهای ورود و خروج، متن کامل مقالات ورودی جمع‌آوری شده و مورد بررسی قرار گرفت.
یافته ها: در اولین گام جستجو، در مجموع ۶۳۸ مطالعه یافت شد که درطی سال های ۲۰۲۰ الی۲۰۲۱ در در پایگاه‌های مورد بررسی منتشر شده بودند. سپس با بررسی عناوین مقالات، تعداد ۴۵۶ مقاله تکراری یا غیر مرتبط حذف شدند. با توجه به معیارهای ورود و خروج و انجام ارزیابی و غربالگریها ، تعداد ۹۷ مقاله بازیابی شدند که از این تعداد به دلیل مورد نظر بر اساس راهنمای PRISMA، در نهایت۱۷مقاله وارد مطالعه شدند که ۱۶مقاله اصیل و یک مقاله مروری بود . بیشترین تعداد مقاله متعلق به پژوهشگران کشور سنگاپور و پس از آن ایالات متحده آمریکا بود که به ترتیب تعداد ۸ و ۵ مقاله ورودی را به خود اختصاص دادند .یافته ها نشان داد راه‌حل‌های اصلی جلوگیری از انتقال صدا به درون ساختمان شامل سه دسته کنترل غیرفعال و کنترل فعال و کنترل هیبریدی صدا می‌باشند. روش‌های کنترل فعال صدا با توجه به وضعیت بسته و باز بودن پنجره در روشهای مختلف مانند کنترل حفره‌ای، تعبیه بلندگو روی صفحه قاب پنجره ، تعبیه بلندگو در دیوار ، کنترل مجرایی کوتاه انجام می‌شود.
نتیجه گیری: امروزه کنترل فعال صدا به‌عنوان یک‌راه حل بالقوه برای کنترل صداهای با فرکانس‌های پایین و صدای ترافیک موردتوجه قرارگرفته است. استفاده از روش کنترل فعال صدابرای پنجره‌های شیشه‌ای باعث بهبود افت انتقال صدا بدون افزایش جرم پنجره می‌شود. با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و فرهنگی، اعمال سیستم کنترل فعال صدابر روی پنجره‌ها در سه دسته اصلی، پنجره‌ها کاملاً بسته، پنجره‌های کاملا باز و پنجره‌های نیمه‌باز، انجام می‌شود. پیشنهاد می‌شود محققان تمرکز بیشتری بر فناوریهای لایه‌های جاذب ، روش های محاسبات و شبیه سازی های عددی داشته باشند.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
صدای ترافیک
پنجره
کنترل فعال صدا
حذف فعال صدا
سلامت شغلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۶

شیوه استناد به این مقاله:
Maryam Mahdavi, Seyed Bagher Mortazavi, Ali Khavanin, Vida Zaroushani, Rassoul Hajizadeh. A systematic review on active noise control technologies in the window. Iran Occupational Health. 2024 (01 Feb);20:30.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

مقدمه

در حال حاضر، آلودگی صدا [1]به‌عنوان یک تهدید عمده برای جامعه در نظر گرفته‌شده است که ممکن است کیفیت زندگی، کارایی و سلامت جسمی و روانی انسان را تحت تأثیر قرار دهد(۱) به‌طوری‌که در مکان‌هایی که افراد در معرض آلودگی صدا هستند انتظار می‌رود که آلودگی صدابر روی افراد تأثیر منفی بگذارد به‌طوری‌که ممکن است باعث افزایش سطح هورمون کورتیزول و قند خون در آن‌ها شود(۲). قابل‌ذکر است که افزایش تعداد صنایع مدرن و خدمات حمل‌ونقل مانند هواپیما، قطار، اتومبیل یا اتوبوس‌های شهری همراه با فعالیت‌های روزمره انسان، منابع اصلی آلودگی صدا در مناطق شهری هستند (۳و۴). تلاش‌های زیادی برای کاهش آلودگی صدای آکوستیکی موجود در محیط انجام‌شده است و کنترل صدا یا به‌عبارت‌دیگر کاهش کلی یا جزئی صدای آکوستیکی به روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. به‌عنوان‌مثال کاهش صدا در منبع، کاهش صدا در مسیر انتشار و کاهش صدابر روی گیرنده را می‌توان نام برد. در کل دو روش کنترل صدا مرسوم است که شامل کنترل غیرفعال[2] و کنترل فعال صدا[3] است. روش‌های حذف صدای آکوستیک با استفاده از جاذب‌های غیرفعال صوت همچون عایق سازی با مواد جاذب محدودیت‌هایی دارند که مهم‌ترین آن عدم کارایی در فرکانس‌های پایین است. زیرا در این فرکانس‌ها طول‌موج‌های صوتی در مقایسه باضخامت جاذب صدا بزرگ می‌شود، بنابراین برای جلوگیری از عبور موج با فرکانس پایین نیاز به مانع و عایق صوتی خیلی سنگین با اندازه بزرگ و حجم، وزن و قیمت بالا هست که در این صورت ناچار به استفاده از روش کنترل فعال صدا هستیم. از بسیاری جهات کنترل فعال صدا فنّاوری مکمل برای کنترل غیرفعال است. بزرگ‌ترین مزیت موجود درروش کنترل فعال صدا این است که برخلاف روش غیرفعال می‌توان صدا را در یک فضای کوچک و بخصوص در فرکانس‌های پایین (زیر ۵۰۰ هرتز)، کاهش داد (۵و۶).

ایده اولیه روش کنترل فعال صدا توسط پاول لوگ[4] در سال ۱۹۳۶ برای حذف صدا در کانال‌ها [5] معرفی و تشریح گردید (۷). این سیستم، صدای ناخواسته را به‌وسیله تولید یک موج صوتی مشابه (هم دامنه)، ولی با فاز مخالف مطابق شکل شماره ۱ از بین می‌برد. تداخل امواج صدای مزاحم و موج صوتی ساخته‌شده، باعث حذف هر دو صدا می‌شود. اگر سیستم کنترل فعال، فاز و دامنه‌ی موج اولیه را به‌درستی تشخیص دهد، موفقیت خوبی در حذف صدا حاصل می‌شود.علی‌رغم تحقیقات انجام‌شده در دهه‌ی ۱۹۵۰ بر روی دستگاه‌های کنترل فعال صدا، به دلیل فقدان فنّاوری لازم، این دستگاه‌ها به‌صورت عملی پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای نکردند. اما در سال‌های بعد ، با به‌کارگیری فن‌های دیجیتالی به‌جای دستگاه‌های پیچیده آنالوگ و به‌کارگیری علم پردازش سیگنال‌های دیجیتال، پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای حاصل شد. به‌گونه‌ای که امکان دستیابی به دستگاه‌های کنترل فعال صدا در کاربردهای گوناگون فراهم آمد(۸) هم‌اکنون با پیدایش پردازنده‌های سریع سیگنال‌های دیجیتال، امکان پیاده سازی دستگاه‌های کنترل فعال صدا با استفاده از الگوریتم های مختلف محقق گردیده است.

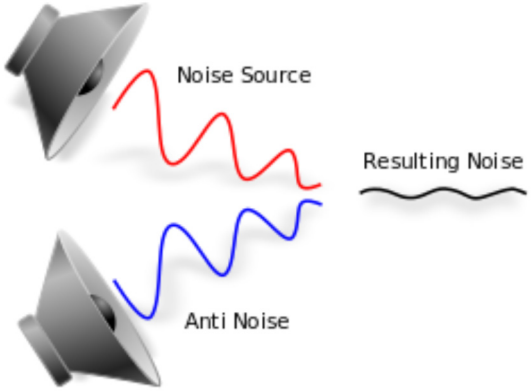
دستگاه‌های کنترل فعال صدا در دهه‌ی ۱۹۸۰ بر پایه ی نظریه ی فیلترهای وفقی بنا و توسعه داده شدند(۱۱)، با توجه به توانایی ها و ارزان قیمت بودن سخت افزارهای سیستم پردازش دیجیتالی[6](DSP) ، فنّاوری استفاده از این سخت افزارها همراه با تئوری سیستم کنترل فعال صدا عملی شده است(۱۲). دستگاه‌های کنترل فعال صدا معمولاً به علت تغییرات سیستم آکوستیکی، شرایط محیطی و تغییر رفتار سنسورها و محرک ها در اثر استحکاک کاری، متغیر با زمان می باشند همچنین در بسیاری از کاربردهای کنترل فعال، صدای اولیه ثابت نیست و در نتیجه کنترلر باید به‌گونه‌ای تطبیق داده شود که بتواند تغییرات در مشخصات صدای اولیه را ردیابی نماید(۱۳). در مجموع می‌توان بیان داشت که کنترل فعال صدا به‌صورت کاملاً تطبیقی مورد نیاز می باشد تا عمل شناسایی و کنترل به‌صورت همزمان انجام پذیرد. امروزه با پیشرفت پردازشگرهای دیجیتال و کاهش قیمت آن‌ها، فن‌های تطبیقی به‌صورت گسترده ای در طراحی دستگاه‌های کنترل فعال صدا بکار گرفته می شوند.کنترل تطبیقی(فیلتر وقفی)[7] باید به‌گونه‌ای باشد که امکان نمایش دقیق سیستم آکوستیکی را فراهم نماید و در عین حال لازم است که محاسبات کنترلر به اندازه کافی سریع باشدتا بتواند مساله ی علیت را تضمین نماید(۱۴). بنا بر این برای محاسبات دقیق نیاز به به معیار و یا تابع عملکرد هست که برای محاسبه تابع عملکرد از الگوریتم حداقل میانگین مربعات (LMS)[8] استفاده می‌شود به‌طوری‌که

1 -Noise
2 -Pasive Noise control
3 - Active Noise control
4 - pual Leueg
5 -Ducts

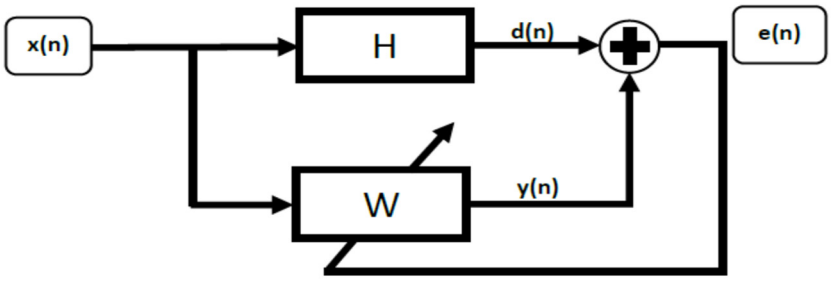
6 - Digital Signal Processing System
7 - adaptive filter
8 - least mean square (LMS) algorithm

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

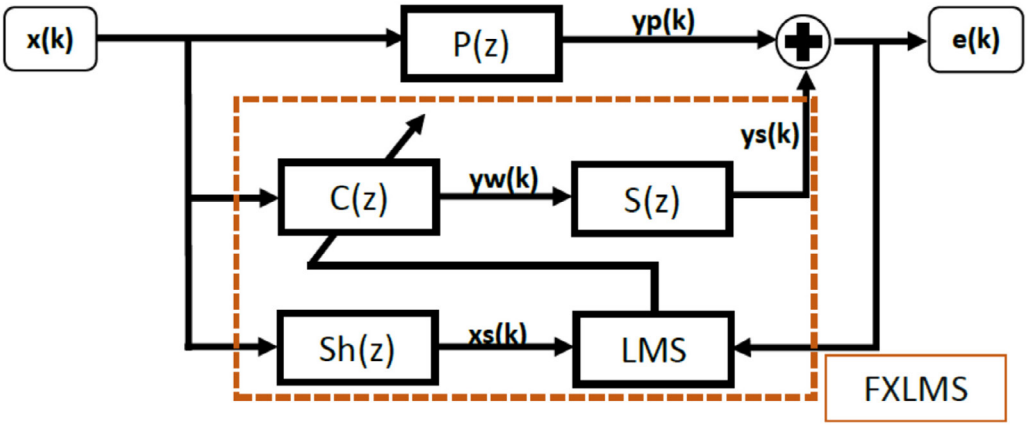
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل ۱. مفهوم اولیه یک سیستم کنترل فعال صدا(۹،۱۰)



شکل۲. بلوک دیاگرامی الگوریتم (LMS سیستم کنترل فعال صدا(۱۷)



شکل۳. بلوک دیاگرامی الگوریتم FxLMS سیستم کنترل فعال صدا(۱۴)

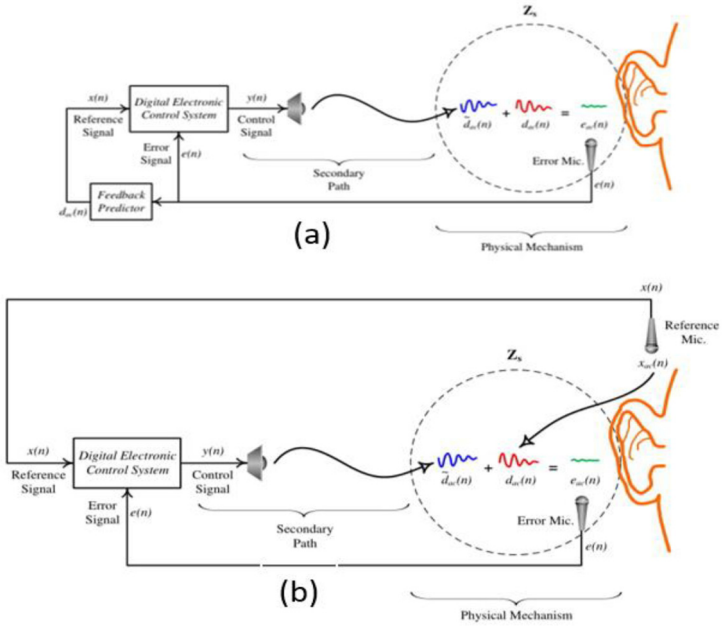
الگوریتم Filtered-xحداقل میانگین مربع(FxLMS)[1] یکی از الگوریتم های ساده و پرکاربرد ی است که در سیستم کنترل فعال کنترل صدا استفاده می‌شود(۱۶و۱۵) که شکل شماره ۲ و ۳ به ترتیب بلوک دیاگرم (LMS و FxLMS) را نمایش می‌دهد.

همانطور که در شکل شماره ۲ دیده می‌شود، x(n) سیگنال نویز، H(z) تابع انتقال مسیر اولیه، d(n) سیگنال نویز اولیه در میکروفون خطا، e(n) سیگنال خطای اصلاح شده، W(z) فیلتر تطبیقیLMS و y(n) خروجی فیلتر تطبیقی هست.

مطابق شکل ۳ ، x(k)سیگنال نویز، xs(k) سیگنال نویز همراه با فرضی Sh(z) بر اساس S(z)، P(z) تابع انتقال مسیر اولیه، yp(k) سیگنال نویز اولیه در میکروفون خطا،e(k) سیگنال خطای اصلاح شده، S(z) تابع انتقال مسیر ثانویه و C(z) و کنترل کننده برای الگوریتم FxLMS هست.

1 - Filtered-x least mean square (FxLMS) algorithm

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل ۴. نموگرام برای (الف) سیستم کنترل فعال صدا به روش پسخوراند و (ب) سیستم کنترل فعال صدا به روش پیشخوراند (۱۰)

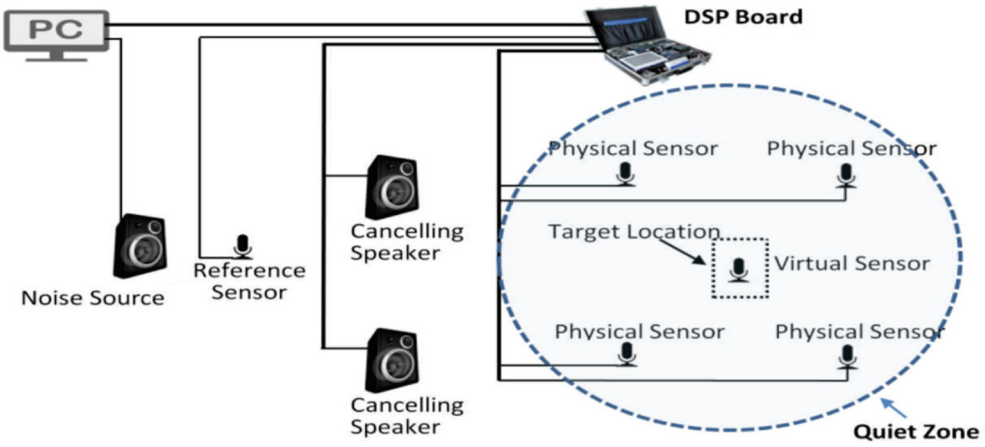
درفیلترهای وفقی هنگامیکه سیگنال مبنا به خوبی با صدای اولیه مرتبط است، می‌توان از کنترل پیشخوراند[1] وفقی استفاده نمود هنگامیکه سیگنال مبنای مرتبط با منبع صوتی اولیه در اختیار نبوده و یا اینکه سیگنال‌های مبنای متعددی در محفظه آکوستیکی وجود داشته باشد، آنگاه به‌کارگیری روش کنترل فعال صدا به طریق پیشخوراند غیر عملی است در این شرایط، کنترل پسخوراند[2] توصیه می‌شود (۸) برای این نوع کنترل ها، سیگنال‌های خطای باقیمانده به تنهایی برای فعال کردن منابع ثانویه بکار می روند. که در شکل شماره ۴ نموگرام سیستم پیشخوراند و پسخوراند نمایش داده شده است در سیستم کنترل فعال، صداهای ناخواسته را به‌وسیله ی تولید یک موج صوتی مشابه (هم دامنه) ولی با فاز مخالف از بین می‌برد. تداخل امواج صدای ناخواسته و موج ساخته‌شده، منجر به حذف هر دو صدا می‌شود. مزیت بزرگ سیستم کنترل فعال این است که می‌تواند صدا را در فرکانس‌های پایین (زیر ۵۰۰ هرتز)، کاهش دهد(۵).

در سیستم کنترل فعال صدا، موج صوتی مشابه (هم دامنه)، ولی با فاز مخالف توسط منبع ثانویه تولید می کنند تا صدای منبع اصلی (همان صدای مزاحم) را در منطقه ساکت [3] ، کنسل کنند . ایجاد منطقه ساکت که در آن صدا کنسل می‌شود هدف اصلی روش کنترل فعال صدا است (۱۸) شکل ۵ تصویری از یک منطقه ساکت را نشان می‌دهد. نوع اسپیکر و ترکیب فرکانس منبع اصلی صوت بر اندازه و شکل منطقه ساکت تاثیر گذار است لازم به ذکر است سیستم کنترل فعال صدای چند کاناله غیرمتمرکز، ظاهراً رویکرد بهتری برای ایجاد یک منطقه ساکت بزرگ‌تر است.(۱۹و۲۰)

اما باید توجه داشت که در استفاده از یک میکروفون مستقیم برای اندازه گیری سیگنال خطا درسیستم های کنترل فعال صدا مبتنی بر الگوریتم کنترل FxLMS ممکن است سیگنال ها ی مطلوب (به‌عنوان‌مثال موسیقی یا گفتار) و نامطلوب (منبع اصلی) به طور همزمان توسط میکروفون خطا گرفته‌شده و توسط منبع ثانویه لغو شود. که این عمل منجر به اعوجاج سیگنال شنیداری و صدای مطلوب می‌شود که باعث کاهش عملکرد حذف صدا در سیستم کنترل فعال صدا می‌شود. که برای حل این مشکل می‌توان از دو میکروفون استفاده کرد (۲۱و۲۲و۲۳). به‌طوری‌که ایوای و همکارانش در سال ۲۰۱۹ در مطالعه خود یک سیستم کنترل صدا فعال به‌صورت چند کاناله همراه با جداسازی منبع صدا با آرایه‌های میکروفون پیشنهاد کردند. و از سیستم کنترل فعال صدا پیشخور چند کاناله از میکروفن های مرجع چند تایی قرارگرفته در نزدیک به منابع صدا استفاده کردند تا صداهای آکوستیک مختلف نظیر صدا پهن باند را کاهش دهد. نتایج آن‌ها نشان داد که ، قرار دادن میکروفن مرجع نزدیک به منابع صدا به دلیل محدودیت های فیزیکی دشوار بود که در

1 - feedforward
2 - feedback
3 - quit zone

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل ۵. نمونه ای از یک منطقه ساکت تولید شده توسط یک سیستم کنترل فعال صدا چند کاناله با حسگر مجازی (۱۸)

این حالت، سیگنال مرجع، که خروجی های میکروفون مرجع بودند، به علت همبستگی زیادی با یکدیگر باعث شد تا عملکرد کاهش صدا ی سیستم کنترل فعال صدا چند کاناله کاهش یابد. به‌عبارت‌دیگر، میکروفون مرجع، صداهای با همبستگی بالا را تشخیص داد که باعث کاهش قابلیت کاهش صدای سیستم کنترل فعال صدا شد. (۲۴). بنابراین هنگامیکه صوت دارای شکل هندسی پیچیده ای است، استفاده از یک میکروفن خطا کافی نمی باشد، در نتیجه ما احتیاج به یک سیستم چند ورودی و چند خروجی و با آرایش های مختلف داریم.

به طور کلی جهت کنترل و حذف صدای عبوری از طریق پنجره‌ها به داخل ساختمان‌ها برای صدا با فرکانس‌های بالا از پنجره دوجداره به‌عنوان یک روش غیرفعال کنترل صدا استفاده می‌شود اما به علت ایجاد تشدید در محدوده فرکانس پایین در جداره ها این روش کارایی خوبی ندارد . بنابراین از روش کنترل اکتیو صدا می‌توان برای حل این مشکل استفاده کرد (۲۵و۲۶)

از آنجا که انجام مطالعات مرور نظامند در طی مراحل ساختارمند و با بهره گیری از روش علمی و مشخص به پژوهشگران، مدیران و سیاست‌گذاران کمک می کند تا بتوانند با بهره‌گیری از این نوع مطالعات، اثرات مداخلات مورد نظر را بررسی نموده و به تصمیم‌گیری آگاهانه‌ای برسند لذا این مطالعه قصد دارد با توجه به اهمیت کنترل صدا بخصوص در فرکانس‌های پایین ، به انجام مرور نظامند در خصوص انواع و کاربرد کنترلهای فعال صدای ترافیک بر روی پنجره‌های ساختمانها بپردازد.

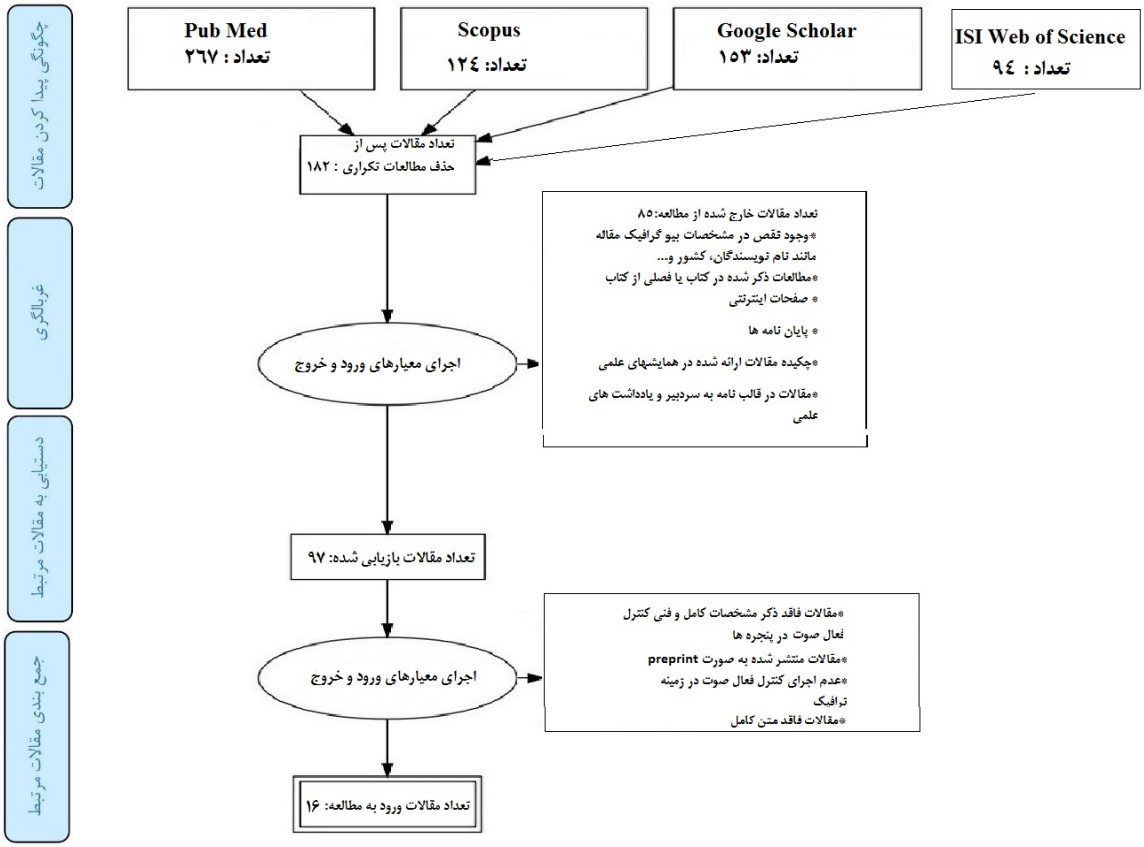
روش کار

این پژوهش نوعی مطالعه توصیفی است که به صورت مرور نظامند[1] انجام شد .جامعه آماری تمام پژوهشهای انجام شده در خصوص بکار گیری روشهای کنترل فعال صدا در پنجره ها به منظور کنترل صدای ترافیک بود. در این پژوهش در راستای هدف مطالعه، جستجو مقالات انگلیسی بر اساس راهنمای PRISMA در فاصله زمانی ژانویه ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۱ و در پایگاه‌هایPubMed ، Scopus و ISI Web of Scienc و بدون محدودیت زمانی برای انتشار مقالات انجام شد. همچنین از طریق موتور جستجوگر Google Scholar، منابع مرتبط دیگر نیز جستجو و بازیابی شدند تا مقالاتی که دارای ارزش علمی هستند اما در سه پایگاه قبلی نیامده اند جستجو شوند. بدین منظور انتخاب ساختاریافته ی کلیدواژه‌های اصلی و مترادف بر اساس اصل Pico و از پایگاه Mesh و متون آزاد انجام شد. کلیدواژه های انتخابی به صورت تک و یا در ترکیب با یکدیگر و با استفاده از عملگرهای And، Or و Not برای جستجوی مقالات استفاده شدند. در این مرحله، مقالاتی که در عنوان یا خلاصه آن‌ها عبارتnoise control به همراه هر یک از واژه های مرتبط window ، building، transportation ، active noise control ، active sound control ، noise transportation، active low frequency ، traffic noise ، noise cancelling built environment، low frequency sounds ، control ، cavity control، noise barriers، façade elements ، Noise control ، passive noise control ، panel control applicationsو Soundscape مشاهده شد انتخاب گردیدند. سپس عناوین، چکیده‌ها و کلمات کلیدی این مقالات بررسی شدند. برای افزایش حساسیت جستجو، از کلید واژه و رفرنس منابع مقالات منتخب نیز استفاده

1 Systematic Review

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل ۶. مسیر جستجوی انتخاب و غربالگری مطالعات بر اساس روش PRISMA

گردید. سپس با بررسی عناوین و خلاصه تمام مقالات جمع‌آوری شده، مقالات مرتبط ، غیر مرتبط و غیرقابل تشخیص جدا و مقالات تکراری حذف شدند. در ادامه پس از اعمال معیارهای ورود و خروج، متن کامل مقالاتی که به عنوان مقالات مرتبط وارد مطالعه شدند جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. مسیر جستجو ، غربالگری و انتخاب مقالات بر اساس راهنمای prisma در شکل ۶. ارائه شده است. لازم به ذکر است یکی از محدودیتهای این مطالعه عدم استفاده از پایان نامه ها به عنوان یکی از منابع خاکستری (gray Literature) بود.

یافته‌ها

در اولین گام جستجو، در مجموع ۶۳۸ مطالعه یافت شد که درطی سال های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۱ در پایگاه‌های ، PubMed، Scopus وISI Web of Scienc منتشر شده بودند. همچنین از طریق Google Scholar، منابع مرتبط دیگر نیز جستجو و بازیابی شدند. سپس با بررسی عناوین مقالات تعداد ۴۵۶ مقاله تکراری یا غیر مرتبط حذف شدند. با توجه به معیارهای ورود و خروج و انجام غربالگریها و ارزیابی کیفی مقالات، تعداد ۹۷ مقاله بازیابی شد که از این تعداد به دلیل عدم دسترسی به متن کامل تعدادی از مقالات، نبود داده های فنی مورد نیاز ، عدم اجرای کنترل فعال صوت مورد نظر و سایر موارد در نهایت۱۷ مقاله وارد مطالعه شد. از این تعداد ،۱۶ مقاله اصیل و ۱ مقاله مروری بود . بیشترین تعداد مقاله متعلق به پژوهشگران کشور سنگاپور و پس از آن ایالات متحده آمریکا بود که به ترتیب تعداد ۸ و ۵ مقاله ورودی را به خود اختصاص داده بودند . جدول شماره یک خلاصه مشخصات مطالعات ورودی را ارائه می کند.

با توجه به اینکه جمعیت هدف مطالعه پنجره ها بودند همانطور که در شکل شماره ی۷ نشان داده شده است نتایج مطالعات نشان داد که با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و فرهنگی و شرایط آب و هوایی، روش های کنترل فعال صدا روی پنجره‌ها ی بسته ، پنجره‌های کاملا باز و پنجره‌های نیمه‌باز اعمال می‌شود (۲۰و۲۷) که به شش دسته اصلی تقسیم بندی می‌شود (نصب سیستم کنترل فعال در شکاف بین دو صفحه پنجره‌های دوجداره (کنترل حفره‌ای)[1]، کنترل پانلی[2] ، تعبیه آرایه‌های بلندگو

1 - cavity controls.
2 - panel controls

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

جدول ۱. خلاصه مشخصات مطالعات ورودی

نویسنده (سال)	کشور	عنوان مقاله	نام مجله	نوع روش کنترل فعال صوت مطالعه شده	کاربرد روش کنترل فعال صوت
جاکوب و همکاران سال (۲۰۰۳)	آلمان	کنترل فعال پنجره های دوجداره. بخش دوم: کنترل پسخوراند	Applied Acoust	کنترل حفره	استفاده در پنجره های بسته
ژو و همکاران سال (۲۰۰۳)	ایالات متحده امریکا	کنترل فعال بازتاب ، جذب، و انتقال اکوستیکی با استفاده از بلندگوهای پانلی نازک	Acoustical Society of America	روش کنترل پانل	استفاده در پنجره های بسته
یو و همکاران سال(۲۰۰۷)	ایات متحده امریکا	کنترل فعال انتقال صدا از طریق پنجره با محرک های های شفاف مبتنی بر نانولوله کربنی	IEEE Transactions on Control Systems Technology	روش کنترل پانل	استفاده در پنجره های بسته
لی و همکاران سال(۲۰۰۸)	دانشگاه هنگ کنگ چین	مکانیسم های کنترل فعال انتقال صدا از طریق یک سیستم دو جداره متصل به یک حفره اکوستیکی	Applied Acoustics	کنترل حفره	پنجره های بسته
هوانگ و همکاران(۲۰۱۱)	چین و انگلستان	کاهش فعال صدا در پنجره های تهویه	Acoustical Society of America	کنترل به۱ روش استفاده از یک مجرای مانند کانال کوتاه و کاشت بلندگو را در دیواره پنجره	پنجره های باز
هو و همکاران سال(۲۰۱۲)	ایالات متحده آمریکا	بلندگوهای نامرئی در پنجره های خانه برای پخش همزمان صوت با جهت مخالف و حذف فعال صدا	Mechatronics	کنترل پانل	پنجره های بسته
ون و همکاران سال(۲۰۱۳)	جمهوری کره	کنترل صدای داخلی با سیستم پنجره فعال	Applied Acoustics	نصب آرایه‌های بلندگو روی صفحه پنجره	پنجره های باز
هو و همکاران سال (۲۰۱۳)	ایالات متحده امریکا	کاربرد حذف صدای جهت دار آکوستیکی در پنجره خانه	Applied Acoustics	کنترل پانل(فیلم نازک وشفااف)	پنجره های بسته
او و همکاران سال(۲۰۱۷)	کره	سیستم کنترل فعال صدای تک کاناله در پنجره باز	International Journal of Applied Engineering Research Building and Environment	کنترل به۲ روش استفاده از یک مجرای مانند کانال کوتاه	پنجره های باز
لام و همکاران سال (۲۰۱۸)	سنگاپور	کنترل فعال صدا از طریق پنجره های باز با اندازه کامل		تعبیه بلندگو روی قاب پنجره کشویی	پنجره های باز
شریف زاده میر شکارلو وهمکاران سال (۲۰۱۸)	سنگاپور	بلندگوها فیلم های پیزوالکتریک شفاف برای پنجره ها با عملکرد کاهش فعال صدا	Applied Acoustics	کنترل پانل	پنجره های بسته

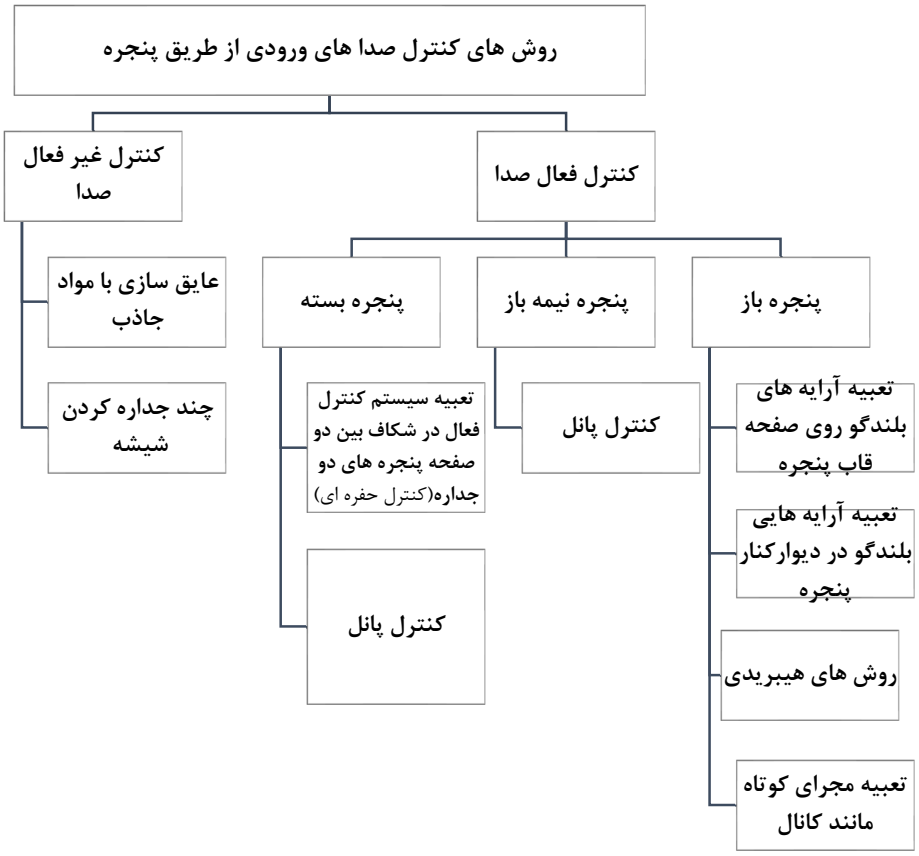
single channel duct type
single channel duct type

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

ادامه جدول ۱. خلاصه مشخصات مطالعات ورودی

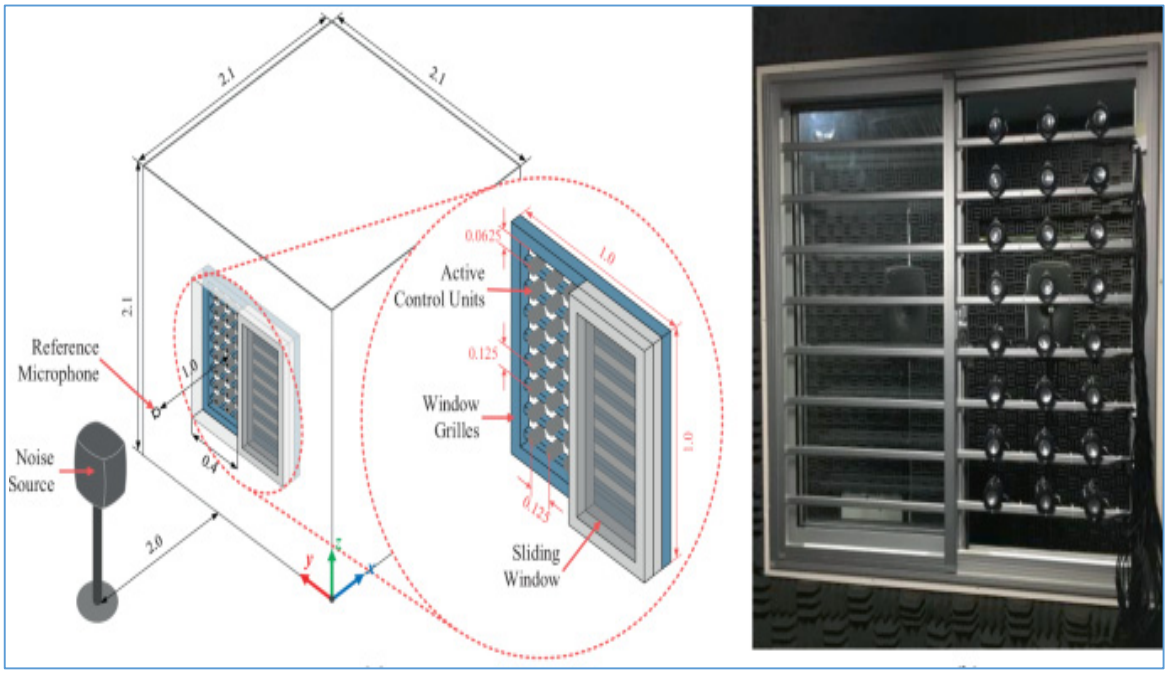
نویسنده (سال)	کشور	عنوان مقاله	نام مجله	نوع روش کنترل فعال صوت مطالعه شده	کاربرد روش کنترل فعال صوت
لام و همکاران سال (۲۰۱۸)	سنگاپور- بریتانیا	محدودیت های فیزیکی در عملکرد کنترل فعال صدا از طریق پنجره های باز	Applied Acoustics	نصب آرایه بلندگو روی قاب پنجره	پنجره های باز
موراو و همکاران سال(۲۰۱۹)	ژاپن- سنگاپور	یک رویکرد ترکیبی از کنترل فعال و غیرفعال صدا برای پنجره‌های باز	Applied Acoustics	روش هیبریدی	پنجره های باز
هی و همکاران سال(۲۰۱۹)	ایالات متحده امریکا- سنگاپور	بکار گیری سیستم کنترل فعال صدای چند کاناله برای پنجره های باز	Applied science	نصب آرایه بلندگو روی قاب پنجره	پنجره های باز
لام و همکاران سال (۲۰۲۰)	سنگاپور- بریتانیا- ژاپن	کنترل فعال صدای پهن باند از طریق دیافراگم باز یک پنجره خانگی با اندازه کامل	Scientific Reports	تعبیه آرایه‌های بلندگو روی صفحه قاب پنجره	پنجره های باز
لی و همکاران سال (۲۰۲۰)	چین- سنگاپور	مروری بر کاربرد فناوری‌های کنترل فعال صدا در پنجره ها : چالش‌ها و محدودیت‌ها	Applied Acoustics	مروری بر کاربرد روش کنترل فعال صدا در انواع پنجره ها	کلیه پنجره ها
لام و همکاران سال (۲۰۲۱)	سنگاپور- ژاپن	ده سوال در مورد کنترل فعال صدا در محیط ساخته شده	Building and Environment	کاربرد کنترل فعال صوت	در محیط



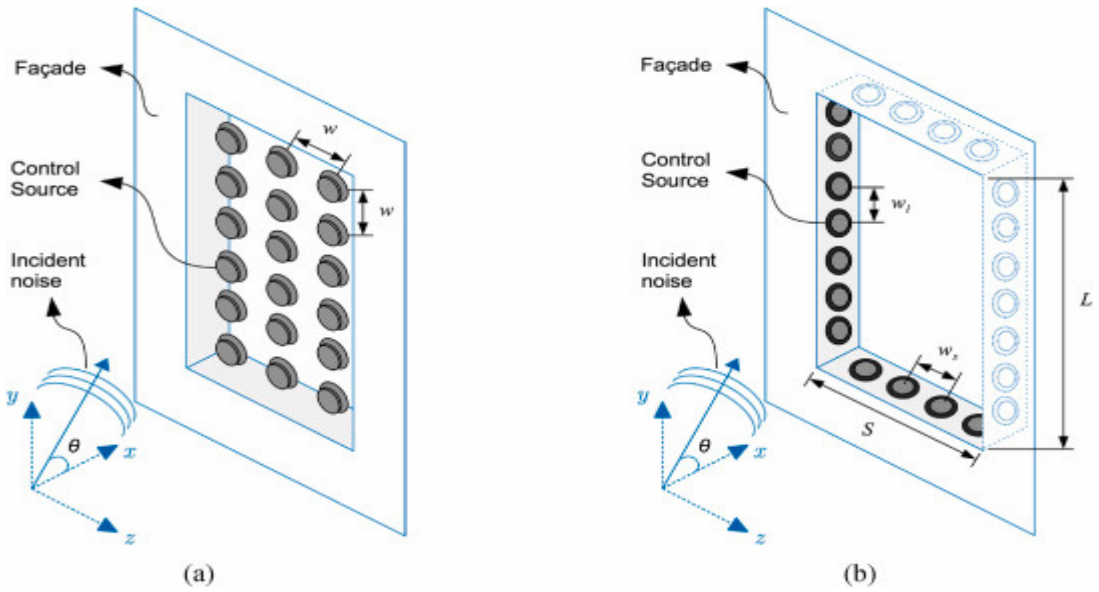
شکل ۷. نموگرام روش های کنترل صدای ورودی از طریق پنجره‌ها

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل ۸. نصب آرایه‌های بلندگو بر روی صفحه قاب پنجره (۳۷و۲۰)



شکل ۹. الف: تعبیه آرایه‌های بلندگو بر روی صفحه قاب پنجره ، ب: تعبیه آرایه‌های بلندگو در دیوار (۲۰)

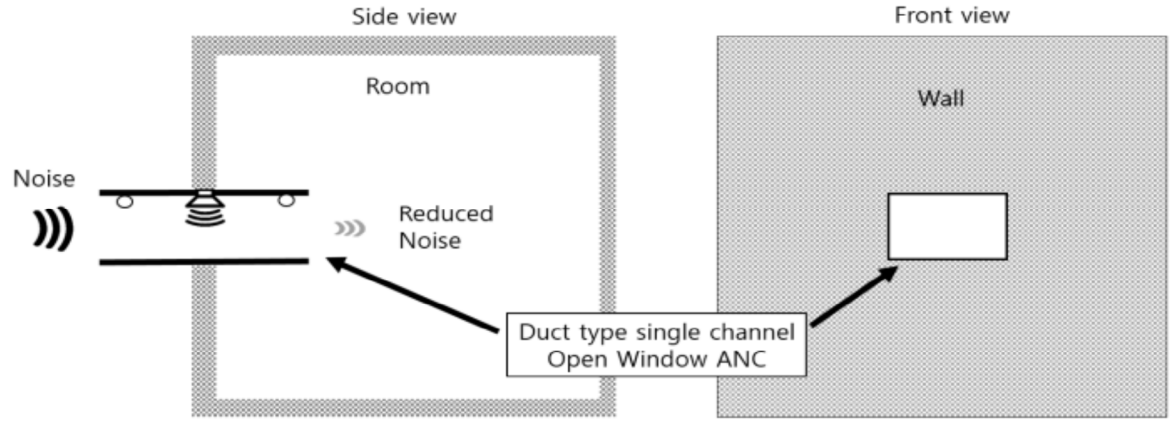
روی صفحه قاب پنجره[1] وتعبیه آرایه‌های بلندگو در دیوار[2] ، کنترل مجرایی کوتاه مانند کانال کوتاه[3] و روش هیبریدی[4] (۲۷،و۲۶و۳۱و۳۰و۲۹،و۲۸) . هر کدام از این روش‌های ذکر شده معایب و مزایایی دارند که در جدول شماره ۲ ذکر گردیده است.

۱.اعمال کنترل فعال صدا بر روی پنجره بسته

با توجه به این که دوجداره کردن پنجره‌ها در کنترل صدا در فرکانس‌های پایین کارایی لازم را نداشتن محققان برای حل این مشکل از روش کنترل فعال استفاده کردن به‌طوری‌که در پنجره‌های بسته روش های کنترل فعال صدا را می‌توان به دو روش اعمال کرد که شامل: تعبیه سیستم کنترل فعال در شکاف بین دو صفحه پنجره‌های دوجداره (کنترل حفره‌ای)و روش کنترل پانل است.

1 - Speaker arrays mounted on grid of window frame
2 - Speaker arrays embedded into the wall
3 - The duct type active window systems
4 - A hybrid approach to active and passive noise control

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]



شکل۱۰. سیستم کنترل فعال صدا از طریق مجرای کوتاه مانند کانال (۳۱)

۱،۱. روش تعبیه سیستم کنترل فعال در شکاف بین دو صفحه پنجره‌های دوجداره (کنترل حفره‌ای)

در این روش منبع ثانویه تولید صدا در شکاف (حفره) بین دو صفحه شیشه قرار می گیرد و باعث کاهش تراز صدا ی مزاحم در این شکاف می‌شود(۳۰و۲۶) . جاکوب و همکارانش در مطالعه خود از روش کنترل حفره استفاده کردن که نتایج آن‌ها نشان داد درفرکانس‌هایی که در محدوده فرکانس تشدید ناحیه جرمی[1] (جرم -فنریت) بودند بیش از ۱۲ دسی بل با کنترل پیشخوراند و بیش از ۸ دسی بل با کنترل پسخوراند کاهش انتقال صوت بدست آمد همچنین نتایج مطالعه جاکوب نشان داد که موقعیت بلندگوها و میکروفون ها در داخل حفره و همچنین موقعیت نسبی آن‌ها بر افت انتقال تأثیر می گذارد (۳۰).

۲،۱. روش کنترل پانل

تلاش برای حفظ زیبایی پنجره منجر به ارایه راه‌حل‌های نو آورانه در منبع سیستم کنترل فعال صدا شد در این روش با ایجاد لرزش در پانل پنجره یک سیگنال صدا با فاز مخالف تولید می‌شود که در آن منبع اصلی صدا به‌عنوان سیگنال مرجع در نظر گرفته می‌شود. به‌طوری‌که لایه پلی وینیلدن فلوئورید متصل به الکترودهای مبتنی بر نانو تیوب کربنی شفاف بعنوان بلندگوی شفاف در پنجره توسط یو و همکاران مورداستفاده قرار بگیرد. فناوری ارائه شده توسط یو نشان داد که هدایت الکتریکی الکترودها خیلی کمتر از الکترودهای عادی بود و افت انتقال ایجاد شده توسط این روش کنترل فعال صدا ۱۲ تا ۱۵ دسی بل در امتداد پنجره ای به ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ میلی متر بود . یو نشان داد که استفاده از فیلم پلی وینیلدن فلوئورید با الکترود شفاف باعث حفظ جنبه زیبایی شناسی پنجره می‌شود(۳۲). همچنین در مطالعه دیگر ژو (۳۳) از محرک[2] الکترومغناطیسی و عناصر قلیایی خاکی در مرکز یک پانل شیشه استفاده کرد. اندازه پنجره در این تحقیق ۱۷۵ در ۱۷۵ میلی متر بود که بحدی کوچک بود که عملا قابل استفاده نیست. افت انتقال ۲۰ دسی بل برای صدا تونال و ۱۰ تا ۱۵ دسی بل برای صدا با باندپهن مشاهده شد. اما زیبایی شناسی پنجره تقلیل یافت. همچنین شان هو و همکارانش در مطالعه دیگر از بلندگو فیلم نازک شفاف در یک پنجره خانه استفاده کردند ومتذکر شدند که این بلندگو فیلم نازک شفاف هم یک دستگاه پخش صوتی نامرئی و هم یک سیستم لغو فعال صدا را فراهم می‌کند. همچنین علاوه بر این ، از یک روش تخمین عملکرد انتقال ثانویه تطبیقی آنلاین برای حذف دقیق مؤلفه صوتی از سیگنال خطا استفاده کردند. و در ضمن دو روش برای تخمین عملکرد انتقال ثانویه انجام‌شده است، استفاده از سیگنال های صوتی منبع و استفاده از صدای سفید افزودنی (۳۴). در تحقیق دیگری شریف زاده و همکارانش بلندگوهای فیلم پیزوالکتریک شفاف را به‌عنوان منبع صدای منطقه ثانویه بعنوان سیستم کاهش فعال صدابرای پنجره ساختند بلندگوهای فیلم پیزوالکتریک شفاف متشکل از الکترودنانوکربن تیوپ های تک دیواره[3] ، لایه پلیمری پلی وینیلن فلوراید[4] ، بسترپلی اتیلن تری فتالات[5] و قاب بودند(۳۵)

۲. اعمال کنترل فعال صدابر روی پنجره کاملاً باز

یکی از محدودیت های پنجره‌های بسته دو جدار ه

1 - region of the mass spring- mass resonance frequency

2 - actuator
3 - single walled carbon nanotube (SWCNT)
4 - polyvinylene fluoride (PVDF)
5 - polyethylene terephthalate (PET)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

جدول ۲. معایب و مزایای انواع روش های اعمال کنترل فعال صدابر روی پنجره‌ها

انواع پنجره‌ها	روش کنترل فعال	معایب	مزایا
پنجره بسته	کنترل حفره (۲۸و۲۵و۳۰)	- اندازه حفره مورد نیاز جهت کاشت بلندگو ها نسبتا بزرگ است . - هزینه بازسازی دیوار به دلیل کاشت بلندگو زیاد است. - به علت این که بلندگوها در لبه های پنجره کاشته می شوند تراز فشار صوت منبع ثانویه در کل سطح پنجره یکنواخت نیست. - اگر کاربر بخواهد پنجره را برای تهویه طبیعی باز کند الگوریتم کنترل کننده طراحی باید دوباره برنامه نویسی شود.	- برخی مطالعات ادعا کردند که کنترل حفره عایق صوتی بهتری نسبت به کنترل پانل دارد - این روش می‌تواند افت انتقال قابل توجه ایجاد کند. - در این روش علاوه بر پتانسیل روش کنترل فعال برای کنترل صدا می‌توان از توانایی کاهش میزان صدا در پنجره دوجداره نیز استفاده کرد.
	کنترل پانل (۲۸)	-اگر منبع صدا ی مزاحم نسبت به پانل پنجره دارای تاخیر فاز باشد(حالت برخورد مایل موج صوتی) ، شرایط فاز در طول پنجره متفاوت می‌شود. در صورتی که فیلم پیزوالکتریک فقط می‌تواند صدای موج مسطح را با دامنه و فاز ثابت در کل منطقه پنجره تولید کند. - بلندی صدای تولید شده توسط فیلم پیزوالکتریک به پوشش الکترود آن (نسبت مساحت الکترود فیلم به زیرلایه(بستر)) و ضخامت بستر بستگی دارد. - بلندگو فیلم پیزوالکتریک شفاف نسبت به بلندگوهای الکترومغناطیسی، اعوجاج هارمونیکی زیادی در فرکانس‌های زیر ۹۰۰ هرتز دارا هستند. - اگر فیلم پیزو الکتریک به شیشه پنجره متصل باشد ، ضخامت زیاد شیشه لرزش را بسیار محدود می‌کند و بنابراین از شدت صدا می کاهد در نتیجه سطح فشار صوتی نسبتاً کمی ایجاد می‌شود . - روش کنترل پانل در پنجره ای با ابعاد کوچک تر از پنجره‌های معمول مورداستفاده .قرار گرفت است.	بلندگو فیلم پیزوالکتریک شفاف به‌عنوان یک سطح منبع ثانویه عمل کرده و منجر به کاهش صدا یکنواخت تر سطح فرکانسی بیشتری را بخصوص در فرکانس‌های زیر ۳۰۰ هرتز را در بر می گیرند . - فیلم پیزوالکتریک شفاف را می‌توان روی شیشه پنجره قرار داد که مستقیماً با صدای ورودی روبرو می‌شود بدون اینکه مانع از دید آن شود. - فیلم پیزوالکتریک شفاف بر نمای زیبایی پنجره تأثیر سو نمی گذارد - استفاده از فیلم پیزو الکتریک باعث می‌شود که تضعیف صوت بطور یکنواخت در کل پنجره ایجاد شود .
پنجره باز	نصب آرایه بلندگو روی قاب پنجره (۳۸،۳۹)	-نصب بلندگوها بر روی قاب پنجره بر نمای زیبایی پنجره تأثیر سو می گذارد، -مشخص شد اگر تابش صدای مزاحم نرمال باشه و اگر فاصله بین منابع ثانویه کمتر از یک طول موج باشد، توان صوتی منتقل شده از طریق پنجره می‌تواند تا حدود ۲۰ دسی بل کاهش پیدا کند . در حالی که اگرزاویه تابش بیشتر از ۰ درجه تا حدود ۹۰ درجه باشد، ممکن است برای طبقات بالایی یک ساختمان مرتفع در کنار یک جاده پر سر و صدا باشد، عملکردسیستم کنترل کاهش یابد -یکی از محدویت ها شامل اثرات پراش پنجره است، مشخص می‌شوند. شبیه سازی ها نشان می‌دهد که بهترین نتیجه در افت انتقال صدا با قرار دادن منابع کنترل دور از لبه های پنجره به دست می آید.. - برای تحقق سیستم کنترل فعال برای کاربردهای عملی، پیچیدگی محاسباتی بالا مرتبط با اجرای سیستم چند کاناله باید مورد توجه قرار گیرد - در مطالعات انجام شده اندازه دیافراگم بلندگو (۰.۰۴۵ متر) به خاطر اینکه مانع دید می شد کاهش یافت. که این موضوع، عملکردکنترل فعال صدا را برای فرکانس پایین (<۵۰۰ هرتز) به شدت تحت تاثیر قرار داد.	- بلندگوهای الکترومغناطیسی ،نسبت به محرک های فیلم پیزوالکتریک می‌توانند سطح فشار صوتی بیشتری ایجاد کنند.
	نصب آرایه بلندگو در دیوار(۲۸)	- به علت این که جهت انتشار صدا مزاحم ورودی و صدای تولیدی توسط سیستم کنترل فعال صدا عمود بر یکدیگر هستند بنابراین ممکن است امکان حذف صدا در کل فضای اتاق ایجاد نشود. - در این روش پارامترهای همچون تعداد میکروفن ها، مکان میکروفن	-نصب بلندگوها بر روی قاب پنجره بر نمای زیبایی پنجره تأثیر سو نمی گذارد،

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

ادامه جدول ۲. معایب و مزایای انواع روش های اعمال کنترل فعال صدابر روی پنجره‌ها

انواع پنجره‌ها	روش کنترل فعال	معایب	مزایا
		ها و طول اتصالات فیلتر باید بهینه شود. که این موضوع باعث ، پیچیدگی و هزینه بر بودن طراحی و چالش در عملیاتی و تجاری شدن این روش می‌شود.	
	کنترل از طریق مجرای کوتاه مانند کانال (۳۱)	برای کاربردهای عملی، مطالعات اضافی باید انجام شود، یعنی اندازه پنجره بهینه برای حجم اتاق و تأثیر پارامترهای اتاق بر عملکرد سیستم کنترل فعال صدا.	-از مزایای این روش می‌توان گفت این روش مشکلاتی از قبیل پیچیدگی کنترلر، تداخل بین بلندگوها که در سایر روش های کنترل فعال صدا در پنجره‌های باز وجود دارد را کاهش می‌دهد
	روش کنترل هیبریدی (۲۹)	-عملکرد یک سایلنسر اسپیلتر به عمق، عرض و نسبت باز بودن آن بستگی دارد. با این حال، استفاده از سایلنسر اسپیلتر بر روی پنجره‌ها دشوار است، زیرا عمق آن‌ها به اندازه کافی ضخیم نیستند.	-با این روش می‌توان کاهش صدا در یک رنج فرکانسی ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز ایجاد کند.
پنجره نیمه‌باز	کنترل حفره (۲۸)	- اگر کاربر بخواهد پنجره را ببند الگوریتم کنترل کننده برای این طراحی باید دوباره برنامه نویسی شود - جاسازی بلندگوها در پنجره‌های استاندارد یک چالش مهمی در خصوص تجاری سازی آن‌ها محسوب می‌شود .	علاوه بر این که امکان تهویه طبیعی یک اتاق را فراهم می‌کرد بلکه با استفاده سیستم کنترل فعال صدا کاهش انتقال صدا به درون اتاق را نیز ممکن ساخت

،که از محبوبت آن می کاهد این است مشکل باز کردن پنجره و عدم تهویه طبیعی در صورت نیاز ساکنین در مناطق گرمسیر ی هست به همین دلیل است طراحی سیستم کنترل فعال صدا با پنجره‌های باز موردتوجه محققین قرارگرفته است (۳۱و۲۹).

کنترل فعال صدا با پنجره‌های باز به چهار روش انجام می‌شود که شامل: نوع نصب آرایه‌های بلندگو روی صفحه پنجره ، کاشت آرایه بلندگو در دیوار کنار پنجره، روش استفاده از مجرای کوتاه مانند کانال و روش هیبرید ی انجام می‌شود. (۲۸،۲۹و ۳۱و۳۶)

۱،۲.تعبیه آرایه‌های بلندگو روی صفحه قاب پنجره.[1]

یکی از روش های استفاده از سیستم کنترل فعال صدابرای پنجره باز تعبیه آرایه‌های بلندگو بر روی صفحه قاب پنجره است که تصویر آن در شکل شماره ۸ و ۹ ارایه شده است (۲۰) لازم به ذکر است که معایب و مزایای این روش در جدول شماره دو ذکر گرده است. لازم به ذکر است که بهان لام و همکارانش در مطالعه خود از این روش استفاده کردن که در شکل شماره ۸ نشان داده شده و نتایج آن‌ها نشان داد که یکی از اشکالات قابل توجه سیستم کنترل فعال پیشنهادی بهان لام که در آن واحدهای کنترل فعال در سراسر صفحه پنجره توزیع شده بودند این بود ، محدودیت در کنترل صدای بین فرکانس‌های ۳۰۰ هرتز تا ۵۰۰ هرتز است. که به علت استفاده از بلندگوهای کوچک بود تا در جریان هوای عبوری اختلال ایجاد نکند با این حال، سیستم کنترل فعال پیشنهادی آن‌ها باعث افت صدا ی ترافیک شهری در حدود حدود ۱۰ دسی بل صدای در فرکانس‌های بالای ۵۰۰ هرتزبود(۳۷، ۳۸).

۲،۲. تعبیه آرایه‌های بلندگو در دیوار[2]

برای حفظ زیبایی نمای پنجره‌ها، محققان تصمیم گرفتند بلندگوها را در دیواره پنجره بکارند ، مطابق شکل شماره ۹برای کاشت بلندگوهای بزرگ در دیوار نزدیک صفحه پنجره ، ضخامت دیوار نزدیک صفحه پنجره باید بسیار زیاد باشد(۲۰).

۱،۲. کنترل فعال صدا از طریق مجرای کوتاه مانند کانال

در مطالعه ای که وانگیون اوه انجام داد برای کاهش صدای عبوری از پنجره‌ها از سیستم کنترل فعال صدا از نوع مجرای ساده استفاده کردند که در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است ،این سیستم از یک مجرای با طول کوتاه تشکیل شده است که برای حذف نویز از بیرون به اتاق با استفاده از یک الگوریتم پیشخور طراحی شده است. از مزایای این روش می‌توان گفت این روش مشکلاتی از قبیل پیچیدگی کنترلر، تداخل بین بلندگوها که در سایر

1 - Speaker arrays mounted on grid of window frame

2 - Speaker arrays embedded into the wall

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

روش های کنترل فعال صدا در پنجره‌های باز وجود دارد را کاهش دهند (۳۱)

۴،۲. روش هیبرید کنترل فعال و غیرفعال

لازم به ذکر است که مورائو در تحقیق خود سیستم کنترل فعال صدا را در پنجره باز به کار برد و از یک سایلنسر اسپیلتر [1] برای بهبود تضعیف تراز صداهای باند پهن [2] استفاده کرد.آن‌ها قبل از این تحقیق ایده ای مشابه را با یک سایلنسر [3] و یک بلندگو [4] در داخل مجرای کانال [5] کوتاه ارائه کرده بودند. آن‌ها در تحقیقات خود، در یک پنجره باز با یک آرایه ای از واحدهای سیستم کنترل فعال صوت ، به کاهش صدا دست یافتند، در این سیستم ، به دلیل فاصله موجود بین هر بلندگو، کاهش صدا با فرکانس بالا را محدود کرده است. آن‌ها تلفیق یک سیستم کنترل فعال صدا با یک دستگاه سایلنسر کاهش صدا را بهبود بخشیدند در این تحقیق هر واحد از سیستم کنترل فعال صدا دارای یک میکروفون مرجع در قسمت جلویی و بلندگو در قسمت عقبی بود که آنتی صدا ایجاد می کرد. چهار واحد در یک آرایه با سایلنسر ترکیب شده بود. در یک آزمایش ، آن‌ها دو سایلنسر را در یک سیستم کنترل فعال صوت هشت کانال در یک پنجره باز (۲۴ و ۴۸ و ۱۲ سانتی متر) پیاده سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد که سایلنسر ، صدای فرکانس بالای ۲ کیلوهرتز را تضعیف می کنند. علاوه بر این ، سیستم کنترل فعال صدابرای صدا در دامنه ۲۰۰ هرتز تا ۲ کیلو هرتز از ۲ تا ۱۰دسی بل تضعیف به دست آورد. به طور کلی، آن‌ها قادر به دستیابی به تضعیف کلی ۲ تا ۱۷ دسی بل بالاتر از ۲۰۰ هرتز بودند(۲۹،۳۱).

۳. اعمال کنترل فعال صدابر روی پنجره نیمه‌باز

مطالعه لیو و همکارانش از سیستم کنترل فعال صدای تک کاناله در یک پنجره پلکانی نیمه‌باز استفاده کردند آن‌ها سیستم کنترل فعال صوت را در قسمت میانی پنجره دوجداره قرار دادند (۲۸).

نتیجه‌گیری

امروزه کنترل فعال صدا به‌عنوان یک‌راه حل بالقوه برای کنترل صداهای ترافیک موردتوجه قرارگرفته است مطابق شکل شماره ۹ در کل دو روش برای کنترل صدای عبوری از طریق پنجره‌ها وجود دارد روش غیرفعال و روش فعال کنترل صدا که روش غیرفعال صدا شامل عایق سازی با مواد جاذب و چند جداره کردن پنجره هست و لازم به ذکر است که روش های کنترل غیرفعال صدا از طریق چند جداره کردن پنجرِ ها برای کنترل صدا در فرکانس‌های پایین کافی نیستَ زیرا افت انتقال صوت [6] (STL) پنجره‌های شیشه‌ای برای فرکانس پایین بر اساس جرم وفرکانس تشدید محاسبه می‌شود. فرکانس‌های تشدید را می‌توان از روی ویژگی‌های شیشه محاسبه کرد و نیازمند افزایش جرم زیادی در پنجره است لازم به ذکر است که استفاده از کنترل فعال صدا برای پنجره‌های شیشه‌ای باعث بهبود افت انتقال صدا در این فرکانس‌های تشدید شده و به طور موثر افت انتقال صدا را بدون افزایش جرم پنجره بهبود می بخشد.با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و فرهنگی، اعمال سیستم کنترل فعال صدابر روی پنجره‌ها در سه دسته اصلی، پنجره‌ها کاملاً بسته، پنجره‌های کاملا باز و پنجره‌های نیمه‌باز، انجام می‌شود. اعمال سیستم کنترل فعال صدا در پنجره‌های بسته به دو روش کنترل حفره و کنترل پانل صورت می گیرد، اعمال سیستم کنترل فعال صدابر روی یک پنجره کاملا باز به چهار شکل نصب آرایه‌های بلندگو بر روی قاب پنجره، تعبیه آرایه‌های بلندگو در دیوار، کنترل از طریق مجرای کوتاه مانند کانال و روش هیبریدی انجام می‌شود ، اعمال سیستم کنترل فعال صدا روی پنجره نیمه‌باز با استفاده از سیستم کنترل فعال صدا به روش کنترل حفره انجام می‌شود .پیشنهاد می‌شود پژوهشهای آتی بر طراحی سیستم کنترل فعال صدا تمرکز بیشتری بر فناوریهای لایه‌های جاذب ، روش های محاسبات اعدادی و شبیه سازی های عددی ، برنامه نویسی جدید و شبیه سازی نرم افزاری مانند کامسول [7] داشته باشند. همچنین در مطالعات مرور نظامند بعدی از منابع خاکستری مانند پایان نامه ها نیز استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از رساله دکترا مصوب دانشگاه تربیت مدرس با کد اخلاق IR.MODARES.REC.1401.037 که با حمایت و پشتیبانی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه تربیت مدرس انجام‌شده است و از اعضای گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای تربیت مدرس سپاسگزاریم.

بیانیه تعارض منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تضاد منافعی برای

1 - splitter silencer
2 - broadband noise
3 - splitter silencer
4 - loudspeaker
5 - duct

6- sound transmission loss
2- Comsol

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

اعلام وجود ندارد.

REFERENCE

1- Taban E, Khavanin A, Faridan M, Samaei S. E, Samimi K, Rashidi R. Comparison of acoustic absorption characteristics of coir and date palm fibers: experimental and analytical study of green composites. International Journal of Environmental Science and Technology. 2020; 17:39–48. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02304-8

2-Taban E, Mortazavi SB, Vosoughi S, Khavanin A. Mahabadi HA. Noise exposure effects on blood glucose, cortisol and weight changes in the male mice. Health Scope. 2017;6(2):e36108. https://doi.org/10.5812/jheal thsco pe.36108

3-Yuan M, Yin C, Sun Y, Chen W. Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: a case study in Wuhan, China. Sustainable Cities and Society. 2019; 50:101678. https ://doi.org/10.1016/j.scs.2019.10167 8

4-Paiva KM, Cardoso MRA, Zannin PHT. Exposure to road traffic noise: annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population. Sci Total Environ. 2019;650:978–986. https ://doi.org/10.1016/j.scito tenv.2018.09.041

5- Mosquera C, Gomez J.A, perez F, Sobreira M.Adaptive IIR Fjlters for Active noise Control. International Journal of Acoustics and Vibration.2001; 6(1): 3-10.

6-Anjelo J.Campanella,"active Noise control or cancellaction ", campanella Associates, 2000.

7- Leug P, Process of silencing sound oscillations, US 2,043,416 A, 1936. https://www.google.com/patents/US2043416.

8- Widrow B, and S.D.Steans." Adaptive Signal Processing",Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.1985.

9- Swain, A. Active Noise Control: Basic Understanding". Research Gate. 2013: 1-19. https://www.researchgate.net/publication/264337037_Active_Noise_Control_Basic_Understanding/link/53d901810cf2631430c38f41/download

10-Ravinchandra K A/L, Fei TK and, Yong L Ch. Active Noise Reduction using LMS and FxLMS Algorithms. Journal of Physics: Conference Series. 2019; 1228(012064): 1-11. doi:10.1088/1742-6596/1228/1/012064

11- Morgan D.R. Analysis of Multiple Correlation Cancelation Loop With a Filter in the Auxiliary path,"IEEE Trans. on ASSP. 1980; 28(4): 454-467

12- Boaz Rafaely,"Active noise Reducing Headser",http://www.Osee.Net/white papers/paper489. Pdf, 2000.

13-.Ericsson LJ, Allie MC, greiner RA. " The selection and application of IIR adaptive filter for use in active sound attenuation " . IEEE Trance . on Acoustics , speech and signal processing , ASSP-35:433-437,April 1987.

14- Kuo S. M , Morgan D. R. Active noise control: a tutorial review. Proceedings of the IEEE. 1999; 87(6): 943-973. 10.1109/5.763310

15- Nelson PA. Active control of sound. Academic Press; 1991.

16- Lu L , Yin K L, Rodrigo C. Lamare de, Zheng Z, YuY , Yang X, Chen B. A survey on active noise control in the past decade–Part II: Nonlinear systems. Signal Processing . 2021;181 : 107929

17-Joseph Jintu K , Purushotham U. Implementation of LMS-ALE Filter Using Vedic Algorithm.Journal of Electrical & Electronic Systems.2016; 5(3):2-4. doi: 10.4172/2332-0796.1000192

18- Mu X, Rheem JY. Quiet zone enhancement for a target location using an improved virtual sensing algorithm. Eletronics. 2017;6(76):1–13. https://doi. org/10.3390/electronics6040076.

19- Serizel R, Moonen M, Wouters J, Jensen SH. A zone-of-quiet based approach to integrated active noise control and noise reduction for speech enhancement in hearing aids. IEEE Trans Audio Speech Lang Process .2012;20(6):1685–97. https://doi.org/10.1109/TASL.2012.2187193.

20-Lam B, Gan W S, Shi DY, Nishimura M, Elliott S, Ten questions concerning active noise control in the built environment, Building and Environment .2021;200 :107928, doi: https:// doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107928

21- Huang H, Qiu X, Kang J. Active noise attenuation in ventilation windows. J Acoust Soc Am. 2011;130(1):176–88. https://doi.org/10.1121/1.3596457.

22- Hu S, Rajamani R, Yu X. Directional cancellation of acoustic noise for home window applications. Appl Acoust. 2013;74(3):467–77. https://doi.org/ 10.1016/j.apacoust.2012.08.004.

23- Strauch P, Mulgrew B. Active control of nonlinear noise processes in a linear duct. IEEE Trans Signal Process. 1998;46(9):2404–12. https://doi.org/10.1109/ 78.709529.

24- Iwai K, Kinoshita S, Kajikawa Y. Multichannel feedforward active noise control system combined with noise source separation by microphone arrays. Journal of Sound and Vibration. 2019; 453 : 151–173.doi: https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.04.016

25- Bao C, Pan J. Experimental study of different approaches for active control of sound transmission through double walls. J Acoust Soc Am. 1997; 102 (3):1664–70. https://doi.org/10.1121/1.420105.

26- Li YY, Cheng L, Mechanisms of active control of sound transmission through a linked double-wall system into an acoustic cavity. Applied Acoustics. 2008;69 : 614–623. doi:10.1016/j.apacoust.2007.02.001

27- He J, Lam B , Shi D , Gan WS. Exploiting the Underdetermined System in Multichannel Active Noise Control for Open Windows. Applied Sciences. 2019;9: 390. doi:10.3390/app9030390

28-Lee HM, Hua Y, Wang Z, Lim KM, Lee H P.A review of the application of active noise control technologies on windows: Challenges and limitations. Applied Acoustics. 2021;174: 107753.

29- Murao T, Nishimura M, Gan WS. A hybrid approach to active and passive noise control for open windows, Applied Acoustics.2019; 155 : 338–345. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.05.028

30- Jakob A, Moser M. Active control of double-glazed windows. Part ii: Feedback control. Applied Acoust. 2003; 64(2):183–96. https://doi.org/10.1016/S0003-682X (02)00071-3.

31-Oh W. Asingle channel open –window active noise control

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]

system,international Journal of Applied Research. 2017;12 (6): 872-876 .

32- Yu X. et al., Active Control of Sound Transmission through Windows with Carbon Nanotube-based Transparent Actuators, IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2007; 15(4): 704-714. DOI:10.1109/TCST.2006.890277

33-Zhu H, Rajamani R, Stelson K. Active control of acoustic reflection, absorption, and transmission using thin panel speakers. J Acoust Soc Am .2003;113 (2):852–70. https://doi.org/10.1121/1.1534834.

34- Hu Sh, Rajamani R, Yu X. Invisible speakers in home windows for simultaneous auxiliary audio playback and active noise cancellation. Mechatronics.2012; 22: 1031–1042. https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.07.003

35- Sharifzadeh Mirshekarloo M, Tan C Y, Yu X, Zhang L, Chen Sh, Yao K, Cui F, Pandit S M, Chong Sh H, Tan ST, Transparent piezoelectric film speakers for windows with active noise mitigation function. Applied Acoustics. 2018;137: 90–97. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.03.017

36-Kwon B, Park Y. Interior noise control with an active window system. Appl Acoust 2013;74(5):64752. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.11.005.

37- Lam B , Shi D, Gan W.S,. Elliott S J, Nishimura M.Active control of broadband sound through the open aperture of a fullsized domestic window. Scientific Reports. 2020;10:10021 https://doi.org/10.1038/s41598-020-66563-z

38- Lam B, Shi C.. Shi D.. Gan, W.-S. Active control of sound through full-sized open windows. Build. Environ. 2018; 141: 16–27.

39-Lam B, Elliott S, Cheer J, Gan WS. Physical limits on the performance of active noise control through open windows. Applied Acoustics. 2018; 137: 9-17. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.02.024

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.10]