



Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>

ISSN: 2783-2538



Type of Article (e.g. Research Article)

An Experimental Study on the Effect of Acoustic Absorbers in Reducing Noise Emitted by a Top Loading Washing Machine

Seyed Amir Hoseini Sabzevari ^{a,*}, Marzieh noorani ^b

^a Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, University of Gonabad, Gonabad, Iran

^b B.Sc, Department of Mechanical Engineering, University of Gonabad, Gonabad, Iran

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2024-00-00

Revised: 2024-00-00

Accepted: 2024-00-00

Keywords:

Noise Control;

Acoustical Properties;

Sound Absorber;

Sound Pressure Level;

Signal Processing.

ABSTRACT

The adverse effects of unwanted and disruptive noise in industrial and domestic applications are widely recognized. The significance of controlling such noise, particularly in household settings, has drawn the attention of many researchers to this field. This study aims to experimentally investigate the reduction of noise emitted by a vertical domestic washing machine. To this end, various acoustic absorbers were proposed and examined. A database was constructed using the results of these experiments, which includes recorded noise data from four directions around the washing machine at varying distances, in the presence of the proposed acoustic absorbers. In the proposed method, the effect of acoustic absorbers on noise intensity reduction is first evaluated. Subsequently, the impact of these absorbers on the recorded signals in the time-frequency domain is discussed. The findings indicate a direct influence of the acoustic absorbers on the recorded signals in all directions, with nearly equal intensity reductions. The reduction in sound intensity varied depending on the type of acoustic absorber used, with an average decrease of 6.35 dB. The highest and lowest performance were recorded for felt fiber and polystyrene foam, resulting in sound intensity reductions of 8 dB (10%) and 4.5 dB (4.5%), respectively. Additionally, the experiments show that the use of appropriate acoustic absorbers can significantly improve the quality of life in domestic environments by reducing unwanted and disruptive noise, thereby having a substantial positive effect on user well-being.

DOI: <https://doi.org/>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: Hoseini.sabzevari@gonabad.ac.ir

How to cite this article:

نوع مقاله (به عنوان مثال مقاله پژوهشی)

بررسی تجربی اثر جاذب‌های صوتی در کاهش صدای منتشر شده از یک ماشین لباسشویی عمودی

سید امیر حسینی سبزواری^{۱*}، مرضیه نورانی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۰/۰۰ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۰/۰۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۰/۰۰	آسیب‌های ناشی از صداهای مزاحم و ناخواسته در کاربردهای صنعتی و خانگی بر کسی پوشیده نیست. اهمیت کنترل این صداهای مزاحم و ناخواسته به‌ویژه در کاربردهای خانگی محققین بسیاری را جذب این حوزه نموده است. در این پژوهش هدف بررسی تجربی کاهش صدای منتشر شده از یک ماشین لباسشویی عمودی خانگی می‌باشد. بدین منظور جاذب‌های صوتی مختلف پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا، یک بانک داده به‌وسیله نتایج حاصل از این آزمایش‌ها ایجاد شده است. بانک داده فوق حاوی صدای ذخیره شده در چهار جهت ماشین لباسشویی در فاصله‌های مختلف در حضور جاذب‌های صوتی پیشنهادی می‌باشد. در روش پیشنهادی نخست تأثیر جاذب‌های صوتی بر کاهش شدت صدا بررسی می‌شود. سپس در ادامه نحوه اثرگذاری جاذب‌های صوتی بر سیگنال‌های ذخیره شده در فضای زمان-فرکانس بحث می‌شود. نتایج حاصل شده حاکی از تأثیرپذیری مستقیم سیگنال ذخیره شده از جاذب‌های صوتی مورد استفاده در تمامی جهات با شدت‌های تقریباً یکسان است. کاهش شدت صدا در حضور جاذب‌های صوتی مختلف متفاوت و میانگین آن ۶/۳۵ دسی‌بل بوده است. بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد، به‌ترتیب مربوط به الیاف فوتر و پلاستوفوم با کاهش ۸ دسی‌بل (۱۰ درصد) و ۴/۵ دسی‌بل (۵/۴ درصد) در شدت صدا گزارش شده است. علاوه بر این، آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از جاذب‌های صوتی مناسب می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت زندگی در محیط‌های خانگی را افزایش داده و مشکلات ناشی از صداهای مزاحم و ناخواسته را کاهش دهد، که این امر می‌تواند تأثیر مثبت زیادی بر کیفیت زندگی کاربران داشته باشد.
واژگان کلیدی: کنترل نویز، خواص آکوستیکی، جاذب صوتی، شدت صدا، پردازش سیگنال.	
DOI: https://doi.org/	
© 2024 Published by Semnan University Press.	
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)	

۱-مقدمه^۱

آلودگی‌های زیست‌محیطی موردتوجه ویژه محققین و دانشمندان قرارگرفته است. آلودگی صوتی زندگی انسان را مختل می‌کند و آزاردهنده است به‌گونه‌ای که باعث ایجاد

امروزه آلودگی صوتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Hoseini.sabzevari@gonabad.ac.ir

۱. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، مجتمع آموزش عالی گناباد

۲. دانش آموخته کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، مجتمع آموزش عالی گناباد

تداخل در گفتار و خواب و کاهش عملکرد می‌شود. افزایش نگرانی‌ها از آسیب‌های جسمی و روحی ایجاد شده توسط صداها ناخواسته به‌ویژه در محیط‌های صنعتی و خانگی منجر به تصویب قانون والش هلی در سال ۱۹۶۹ شد. مطابق این قانون شرایط و ضوابط مشخصی جهت حفاظت در برابر نویزهای صنعتی وضع و صاحبان صنایع مکلف به اجرای آن شدند [۱].

با بهبود سطح زندگی بشر در سال‌های اخیر، استفاده از وسایل خانگی به‌صورت چشمگیری افزایش یافته است و سروصدای ناشی از آن مهم‌ترین دغدغه زندگی انسان در مناطق مسکونی است [۱]. صدای مزاحم در وسایل خانگی غالباً به علت ارتعاش قطعات دستگاه می‌باشد. بر این اساس کنترل نویز در مرحله طراحی برای بسیاری از دستگاه‌های مکانیکی مهم است. ماشین‌های لباسشویی منبع مهمی از سروصدا در خانه هستند. اگرچه در اکثر ماشین‌های لباسشویی استانداردهای سطح سرو و صدا رعایت می‌شوند با این وجود بسیاری از کاربران از سرو و صدای آن شکایت دارند [۲]. این وسایل به علت ساختار ویژه خود ترکیبی پیچیده از ارتعاشات و صدا ایجاد می‌نمایند. به‌طور کلی ارتعاش ایجاد شده توسط ماشین‌های لباسشویی ناشی از عدم توازن در اجزای آن است. وزن درام باعث حرکت توده‌های معلق در دستگاه می‌شود. این حرکت از طریق سیستم تعلیق به بدنه اصلی دستگاه منتقل می‌شود [۳].

روش‌های کنترل و کاهش صدای مزاحم در ماشین لباسشویی را می‌توان به دودسته‌ی: روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی نمود. در روش مستقیم جهت کنترل شدت صدای مزاحم بدون توجه به ارتعاشات دستگاه، از مواد جاذب صوت و یا روش فعال کنترل صدا [۴، ۵] استفاده می‌شود. در روش استفاده از مواد جاذب، با هدایت امواج صوت به درون مواد جاذب، انرژی صوتی سبب ارتعاش الیاف مواد جاذب شده و تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. این روش برای کنترل منابع صوتی با باند پهن فرکانسی مفید می‌باشد. درحالی‌که در روش‌های غیرمستقیم تمرکز پژوهشگران به کنترل ارتعاشات در ماشین‌های لباسشویی به‌وسیله روش‌های زیر می‌باشد: (۱) روش‌های مبتنی کنترل تعادل توازن و (۲) روش‌های مبتنی بر کنترل ارتعاشات سیستم تعلیق [۶-۸]. در صورتی‌که برخی از مطالعات بر کاهش نویز و ارتعاش متمرکز شده‌اند [۹، ۱۰]. به‌عنوان مثال کویزومی و همکاران یک مدل تحلیل کششی از

ماشین لباسشویی برای پیش بینی نویز تابشی از پانل‌های توان، ارائه داده‌اند [۱۱].

شیمیزو همکاران یک روش کنترلی مبتنی بر یادگیری تقویتی برای کاهش عدم تعادل و نویز در ماشین لباسشویی ارائه کردند. در روش پیشنهادی آنان، با بهینه‌سازی توزیع لباس‌ها درون درام و بدون نیاز به مدل‌سازی پیچیده، میزان لرزش تا ۵۰٪ و نویز تا ۳ دسی‌بل کاهش یافت. مطابق نتایج گزارش شده، روش پیشنهادی می‌تواند عملکرد آکوستیکی ماشین‌های لباسشویی را بهبود بخشد و نیاز به اصلاحات مکانیکی پیچیده را کاهش دهد [۱۲].

بارپاندا و همکاران یک روش مبتنی بر مدل‌سازی برای کاهش نویز ماشین لباسشویی ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از روش شش سیگما (DMAIC) و مدل‌سازی تحلیل انرژی آماری (SEA)، منابع اصلی نویز را شناسایی کردند. مطابق نتایج حاصل شده از آزمایش‌های آن‌ها، بیشترین نویز در سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه ایجاد شده است. برای کاهش نویز، ترکیبی از جاذب‌ها و دمپرها بدون توجه به طراحی خاص محصول، استفاده شدند. این روش پیشنهادی موجب کاهش نویز تا مقدار ۷.۲ دسی‌بل گردید [۱۳].

چیاربوتی و همکاران با استفاده از سه روش آکوستیک معمولی، هموگرافی صوتی معمولی و فن آرایش هم شکل، شدت صدای منتشر شده از ماشین‌های لباسشویی را بررسی کرده‌اند [۱۴].

هاشمیان و همکاران مدل‌سازی دینامیکی و بهینه‌سازی طراحی ماشین لباسشویی را بررسی کردند. آن‌ها با تحلیل نه متغیر طراحی شامل سرعت چرخش، سختی فنر، چگالی جرم بالانس، ضریب میرایی، و ژوایی فنر و دمپر، و با استفاده از بهینه‌سازی بیزی (BO) [۱۵] و الگوریتم ژنتیک، مقادیر بهینه‌ای برای کاهش جابجایی و لرزش پیشنهاد نمودند. مقایسه روش‌های بهینه‌سازی نشان داد که تابع بهبود پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین سریع‌تر همگرا می‌شود [۱۶]. کلکت به صورت تجربی به بررسی ارتعاشات و تحلیل نویز در دو نوع ماشین لباسشویی با استفاده از شبکه عصبی پرداخته است [۱۷]. سان و همکاران با استفاده از روش طیف و همبستگی به اندازه‌گیری و تحلیل نویز در ماشین‌های لباسشویی افقی در فرکانس‌های پایین پرداخته‌اند [۱۸].

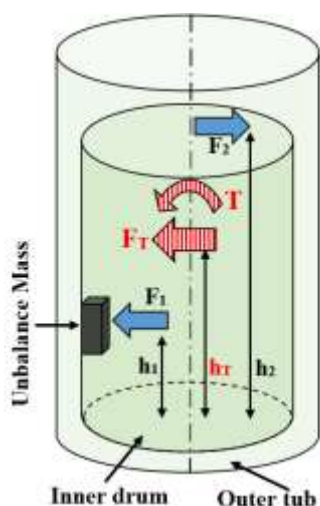
کیم و همکاران به منظور کاهش ارتعاشات در یک ماشین لباسشویی عمودی، یک روش مبتنی بر چهار دمپر افقی

ارائه کردند. آنها با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های تجربی، تأثیر این دمپرها را بر کاهش ارتعاشات بخش محرک ماشین لباسشویی بررسی کردند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها، کاهش ۴۵٪ در ارتعاشات بدون افزایش نویز را نشان می‌دهد [۱۹]. بینلیو و همکاران با اندازه‌گیری و تحلیل شدت صوت، میزان نویز منتشر شده از ماشین لباسشویی را به‌منظور شناسایی منبع نویز بررسی کرده‌اند [۲۰].

جاوونگ و همکاران ارتعاشات یک ماشین لباسشویی عمودی در حین مرحله آبگیری را مدل‌سازی نمودند. در این پژوهش، اجزای اصلی ماشین شامل درام داخلی، محفظه بیرونی، عملکرد و سیستم تعلیق متشکل از فنر و دمپر [۲۱]، به‌صورت مدل چندجسمی انعطاف‌پذیر با استفاده از مختصات مودال شبیه‌سازی شده است. در این پژوهش آزمایش‌های متعددی با تغییر اندازه و موقعیت جرم نامتوازن انجام و تغییرات مختصات مودال تحلیل گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بزرگ‌ترین تغییر شکل در بخش پایینی درام رخ داده و این تغییر شکل به‌طور مستقیم با سرعت چرخش درایو متناسب است. دقت مدل‌سازی انجام شده در مقایسه با داده‌های تجربی ۹۰٪ گزارش شده است [۲۲]. جیانگ و همکاران ارتعاشات و نویز منتشر شده از یک ماشین لباسشویی عمودی را به صورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار دادند. روش پیشنهادی، توانایی پیش‌بینی صدای منتشر شده از ماشین لباسشویی در فرکانس‌های پایین را دارا می‌باشد [۲۰]. آلبرو و همکاران یک روش تجربی جدید برای شناسایی مسیرهای انتشار صدا در ماشین لباسشویی با محور افقی را توسعه دادند. در این مطالعه مسیرهای مختلف نویز [۲۳]، از جمله نشت صدا از طریق منافذ، انتقال غیررزونانسی از طریق پانل‌ها، و انتشار صوتی از کابین ماشین لباسشویی را بررسی نمودند. با استفاده از اندازه‌گیری شدت صوت و ارتعاشات، مسیر اصلی انتقال صدا در بازه‌های فرکانسی بحرانی شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهد که درک دقیق این مسیرها امکان اعمال روش‌های کنترل نویز مؤثرتر را فراهم کرده و می‌تواند به بهبود عملکرد آکوستیکی لوازم خانگی کمک کند [۲۴]. آلاسار و همکاران با استفاده از یک سیستم کنترل تطبیقی موفق به کاهش ارتعاشات و به طبع آن کاهش نویز در یک ماشین لباسشویی شدند [۳].

اگرچه با کنترل لرزش دستگاه‌ها می‌توان تاحدودی صدای

مزاحم را کاهش داد، استفاده از مواد جاذب صدا نیز می‌تواند موجب کاهش صدای مزاحم منتشر شده، گردد [۲۵]. موضوع مهم در به‌کارگیری این مواد در نظر گرفتن تأثیر مصرف آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست می‌باشد [۱]. پاول و همکاران رفتار آکوستیکی منسوجات سه‌بعدی بافته‌شده و کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش تأثیر نوع الیاف (کنف، کتان و شیشه)، معماری بافت و تعداد لایه‌های تقویت‌کننده بر میزان جذب صدا، بررسی شده است. مطابق نتایج این تحقیق منسوجات کنفی و کتانی با ساختارهای بافت متراکم‌تر عملکرد صوتی بهتری نسبت به الیاف شیشه‌ای ارائه می‌دهند. در مقابل، کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف، به دلیل تزریق رزین اپوکسی، توانایی جذب صدای کمتری دارند. این مطالعه نشان می‌دهد که منسوجات سه‌بعدی پتانسیل بالایی به‌عنوان جاذب‌های صوتی داشته و می‌توانند در کنار سایر مواد کاهش‌دهنده‌ی صدا، در بهبود عملکرد آکوستیکی سازه‌ها و لوازم خانگی مورد استفاده قرار گیرند [۲۶]. همچنین پاول و همکاران در پژوهش دیگری، تأثیر مقاومت جریان هوا بر رفتار آکوستیکی منسوجات بی‌بافت را بررسی کردند. در این پژوهش، از الیاف پلی‌استر، کنف و جوت برای تولید منسوجات بی‌بافت استفاده شد و تأثیر پارامترهایی مانند نرمی الیاف، سطح مقطع الیاف، چگالی سطحی و تراکم پانچ بر مقاومت جریان هوا و ضریب جذب صوت مطالعه گردید. نتایج نشان داد که افزایش چگالی سطحی منسوج باعث افزایش مقاومت جریان هوا و کاهش تداخل شده که منجر به بهبود جذب صوتی می‌شود. همچنین، تراکم بالاتر موجب افزایش چگالی حجمی و کاهش تداخل شده و توانایی ماده در جذب صدا را افزایش می‌دهد. این مطالعه نشان داد که مواد زائد طبیعی مانند کنف می‌تواند به‌عنوان عایق‌های صوتی پایدار و تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مطابق نتایج این پژوهش، منسوجات بی‌بافت عملکرد بهتری در جذب صدا در فرکانس‌های بالا دارند [۲۷]. نظری و همکاران تأثیر الیاف طبیعی و زیست‌توده بر عملکرد آکوستیکی پانل‌های کامپوزیتی تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی را بررسی کردند. در این پژوهش، از الیاف شیشه و زیست‌توده حاصل از ضایعات کشاورزی مانند پوسته قهوه و الیاف نخل ضایعاتی برای تولید کامپوزیت‌های هیبریدی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزودن الیاف طبیعی به ساختارهای کامپوزیتی



شکل ۱ - دیاگرام آزاد یک ماشین لباسشویی عمودی.

معادلات حرکت انتقالی مربوط به درام ماشین لباسشویی به وسیله قانون دوم نیوتون مطابق رابطه (۱) قابل محاسبه می باشد:

$$(m + m_u)\ddot{r}_o = \sum_{k=1}^2 f_k + (m + m_u)g \quad (1)$$

$$- m_u[\ddot{r}_u + 2w_b\dot{r}_u + \dot{w}_b\dot{r}_u + w_b w_b \dot{r}_u]$$

که در آن m و m_u به ترتیب جرم نامیزان و جرم کل ماشین لباسشویی می باشد. همچنین r_o و r_u به ترتیب بیانگر فاصله ی بردار جابجایی مرکز جرم ماشین لباسشویی و بردار جابجایی جرم نامیزان و w_b سرعت دورانی درام ماشین لباسشویی می باشد (برای جزئیات بیشتر لطفاً به [۳۰] مراجعه نمایید). در [۲۲] با حل معادلات، پنج شکل مود، درام و بدنه ماشین لباسشویی عمودی محاسبه و بررسی شده است. لازم به ذکر است فرکانس تمامی این پنج مود برای هر دو جز مورد بررسی، کمتر از ۵۰۰ هرتز گزارش شده است.

۳- محیط آزمایش

جهت انجام آزمایش ها در این پژوهش از یک ماشین لباسشویی معمولی عمودی خانگی استفاده شده است. صدای ایجاد شده توسط این ماشین لباسشویی در شرایط عملکرد با یک دور ثابت دلخواه، توسط حسگرهای صوتی ذخیره شده است. مجموعه ی تجهیزات و لوازم مورد استفاده در جدول ۱ معرفی شده اند. در شکل (۲) شماتیک موقعیت

تأثیر قابل توجهی بر کاهش صوت دارد. بیشترین میزان کاهش نویز در فرکانس ۱۰۰۰۰ هرتز برای کامپوزیت ها با افزودنی الیاف نخل ضایعاتی (۴۴/۹ دسی بل) مشاهده شد. همچنین، کامپوزیت های تقویت شده با پوسته قهوه و نخل ضایعاتی هر دو عملکرد آکوستیکی مناسبی داشتند، اما الیاف نخل کارایی بالاتری نشان دادند. تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) [۲۸] تأثیر معنی دار ترکیب الیافی و افزودنی های زیست توده را بر عایق بندی صوتی تأیید کرد. نتایج این مطالعه بر امکان استفاده از مواد پایدار و زیست تجزیه پذیر به منظور کاربردهای آکوستیکی در صنایع مختلف، از جمله طراحی داخلی، خودروسازی و ساخت وساز، تأکید می کند [۲۹]. در پژوهش حاضر آزمایش های متعددی به منظور بررسی و شناسایی مواد جاذب صدا باهدف کاهش و کنترل صدای مزاحم یک ماشین لباسشویی خانگی صورت گرفته است. در این آزمایش ها از مواد جاذب متعددی استفاده شده است. معیار انتخاب مواد جاذب علاوه بر دسترسی آسان، وزن و قیمت پایین، کاهش صدای منتشر شده از دستگاه در جهت های مختلف می باشد. در این مقاله در گام اول با استفاده از حسگر صوتی ارزان قیمت که در فواصل مشخص از یک ماشین لباسشویی نصب شده است، داده های مربوط به صدای مزاحم در حضور جاذب صوتی جمع آوری می شود. در گام بعدی با بررسی و پردازش هم زمان داده های مربوط به هر جاذب صوتی کیفیت کاهش صدای مزاحم در آزمایش ها با یکدیگر مقایسه و گزارش می شود.

۲- مدل سازی

دیاگرام آزاد یک ماشین لباسشویی عمودی در شکل (۱) نشان داده شده است. که در آن F_1 ، F_2 و F_T به ترتیب نشان دهنده ی نیروی ایجاد شده به علت جرم نامیزان (لباس)، نیروی ایجاد شده به علت سیال داخل درام و برآیند نیروهای اعمال شده به درام داخلی می باشد. گشتاور ایجاد شده به علت برآیند نیروهای اعمالی با T نمایش داده شده است. این گشتاور موجب تغییر شکل درام داخلی و ارتعاش آن نسبت به بدنه خارجی حول محور عمودی می شود. فرکانس این ارتعاش برای ماشین های لباسشویی عمودی در [۲۲] مورد بررسی قرار گرفته و در حدود ۱۶ هرتز گزارش شده است.

قرارگیری حسگرها نسبت به ماشین لباسشویی نشان داده شده است.

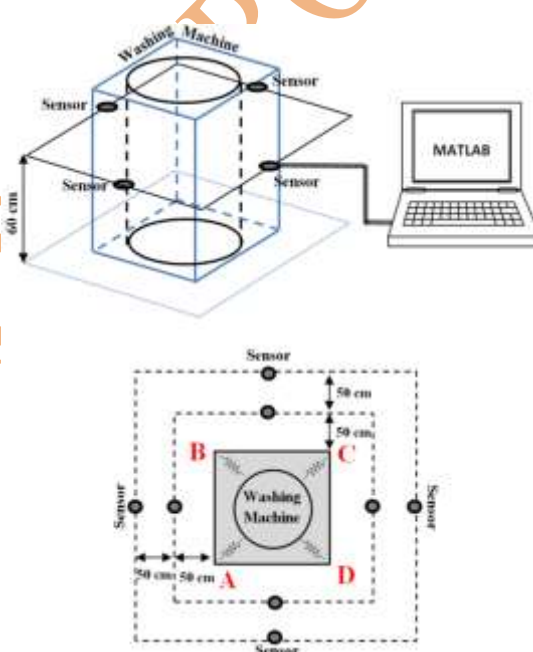
جدول ۱- شرایط و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش

توضیحات	تجهیزات مورد استفاده
ماشین لباسشویی عمودی ۵ کیلوگرمی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ در ۱۰۰ سانتی‌متر.	محیط آزمایش
میکروفن خازنی با بیشینه فرکانسی ۲۰ کیلوهرتز به جرم ۰/۸ گرم [۳۱، ۳۲].	حسگر
دهنه‌ی ورودی دیافراگم در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از بدنه ماشین لباسشویی قرار گرفته است.	نحوه‌ی اتصال

جاذب‌های صفحه‌ای یا لایه‌ای ساده بیشترین کاربرد را در جذب صدای مزاحم به‌ویژه در فرکانس‌های پایین دارند، درحالی‌که جاذب‌های صفحه‌ای سوراخ‌دار برای جذب صدای مزاحم در فرکانس‌های بالا مناسب هستند. جاذب‌های محفظه‌ای نیز برای جذب صدا در یک محدوده‌ی باریک از باند فرکانسی توصیه می‌شوند. جاذب‌های صوتی در این پژوهش با توجه به ابعاد دستگاه ماشین لباسشویی مورد استفاده (شکل (۲))، سبک و در دسترس بودن جاذب انتخاب شده‌اند. آزمایش‌های متعددی به‌منظور دستیابی به بهترین جاذب صوتی با توجه به خواص مکانیکی و هندسی آن‌ها انجام شد. جاذب‌های صوتی استفاده شده برای انجام آزمایش‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- جاذب‌های صوتی استفاده شده در انجام آزمایش

ردیف	جاذب‌های صوتی	توضیحات
۱	پلاستوفوم	فوم با ضخامت یک و دو سانتی‌متر
۲	فوم پلی اتیلن	فوم فشرده با ضخامت ۱ سانتی‌متر
۳	پشم شیشه	شامل از الیاف بسیار نازک شیشه
۴	الیاف فوترون (نمد)	الیاف پشمی (تحت فشار، رطوبت و حرارت)
۵	اسفنج (ابر)	فوم پلی یورتان با ضخامت ۳ سانتی‌متر
۶	ورق مقوایی	پنج لایه با ضخامت ۸ میلی‌متر
۷	ورق کارتن پلاست	فوم پلی پوپلین با ضخامت ۳ میلی‌متر



شکل ۲ - موقعیت قرارگیری حسگرها نسبت به ماشین لباسشویی

۴-۲- نحوه‌ی انجام آزمایش

به‌منظور بررسی هرچه بهتر نحوه تأثیر جاذب‌های معرفی شده در جدول ۲، آزمایش‌های متعددی متناسب با این جاذب‌ها طراحی و انجام شد. به‌منظور بررسی اثر تغییرات کوچک بر پاسخ نهایی هر آزمایش ۸ مرتبه تکرار شد. جاذب‌ها در چهار سمت ماشین لباسشویی نصب شدند به‌نحوی‌که تمام سطوح کناری آن را کاملاً پوشانده بودند. حسگرهای خازنی در فواصل مشخص (شکل (۲)) در اطراف ماشین لباسشویی قرار گرفتند و در هر آزمایش به مدت ۳۰ ثانیه صدای تولید شده را جهت پردازش ذخیره نمودند. با تحلیل و آنالیز داده‌های ذخیره شده می‌توان توانایی جاذب‌های پیشنهادی از نظر قابلیت در جذب نویز در

۴-آزمایش‌ها

۴-۱- انتخاب جاذب صوتی

جاذب‌های صوتی به‌طور کلی در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) جاذب‌های صفحه‌ای ساده،

ب) جاذب‌های صفحه‌ای سوراخ دار

ج) جاذب‌های محفظه‌ای (حفره‌ای).

فرکانس‌های مختلف و همچنین تغییرات شدت صدا را نشان داد.

در آزمایش‌های انجام شده حسگرهای صوتی در چهار سمت ماشین لباسشویی در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از دستگاه قرار گرفته و با نرخ داده برداری ۴۰ کیلوهرتز صدای دریافتی را ذخیره می‌نمایند. بدین منظور آزمایش‌های فوق در هشت گروه، به شرح زیر تقسیم بندی می‌شوند:

آزمایش اول: انجام آزمایش بدون استفاده از جاذب صوتی.

آزمایش دوم: استفاده از پلاستوفوم.

آزمایش سوم: استفاده از فوم پلی اتیلن.

آزمایش چهارم: استفاده از پشم شیشه.

آزمایش پنجم: استفاده از الیاف فوتور.

آزمایش ششم: استفاده از اسفنج.

آزمایش هفتم: استفاده از ورق مقوایی.

آزمایش هشتم: استفاده از ورق کارتن پلاست.

در ادامه و به تفکیک به بررسی اثر این جاذب‌ها در کاهش صدای منتشر شده می‌پردازیم. در تمامی آزمایش‌ها فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- جرم داخل ماشین لباسشویی در تمامی آزمایش‌ها ثابت و برابر با ۲ کیلوگرم می‌باشد.
- تمامی آزمایش‌های در فاز عملکردی شستن ماشین لباسشویی انجام شده است.
- با توجه به اینکه آزمایش‌ها در مدت ۱۴ روز انجام شده است، شرایط نويز محیطی یکسان فرض شده است.
- با توجه به محدودیت‌های موجود در لوازم اندازه‌گیری، داده برداری‌های مربوط به هر آزمایش به صورت غیر هم‌زمان انجام شده است. (با توجه به فرضیات پیشین)

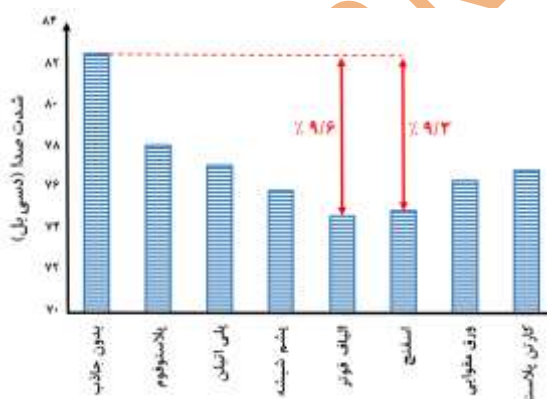
۵- بحث

شدت صدای اندازه‌گیری شده در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از ماشین لباسشویی در جدول‌های ۳ و ۴ گزارش شده است. مطابق داده‌های گزارش شده، تاثیر جاذب‌های استفاده شده در کاهش شدت صدا به خوبی روشن می‌باشد. مطابق با این داده‌ها جاذب‌های استفاده شده تقریباً در تمامی جهات اثر مشابه و یکسانی داشته‌اند. لازم به ذکر است با توجه به عدم تقارن هندسی در محل قرارگیری تجهیزات مکانیکی ماشین لباسشویی، مطابق انتظار صدای منتشر شده در جهات مختلف متفاوت بوده است. همچنین مطابق انتظار با افزایش فاصله حسگرها

شدت صدا در تمامی آزمایش‌ها کاهش داشته است. مطابق داده‌های جدول ۳ و شکل (۳)، متوسط کاهش شدت صدا در تمامی آزمایش‌های دارای جاذب، ۶/۳۵ دسی‌بل بوده است. بهترین عملکرد مربوط به آزمایش پنجم (الیاف فوتور) و آزمایش ششم (اسفنج) می‌باشد که به ترتیب موفق به کاهش شدت صدا به میزان ۸ و ۷/۷۵ دسی‌بل شده‌اند. همچنین بدترین عملکرد مربوط به آزمایش دوم (پلاستوفوم) با کاهش شدت صدا به میزان ۴/۵ دسی‌بل بوده است.

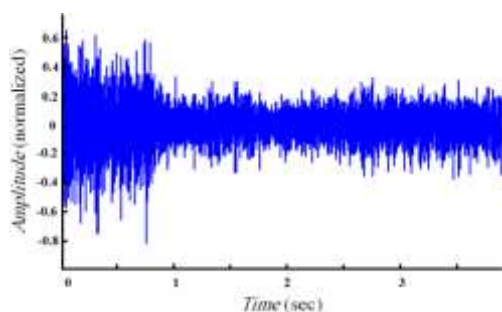
جدول ۳- شدت صدای اندازه‌گیری شده در فاصله ۵۰ سانتی-متری.

شماره آزمایش	شدت صدا (دسی‌بل)				میانگین
	سمت AB	سمت BC	سمت CD	سمت DA	
۱	۸۱	۸۵	۸۴	۸۱	۸۲/۷۵
۲	۷۶	۸۰	۸۱	۷۶	۷۸/۲۵
۳	۷۶	۷۹	۷۸	۷۶	۷۷/۲۵
۴	۷۴	۷۷	۷۸	۷۵	۷۶
۵	۷۴	۷۵	۷۷	۷۳	۷۴/۷۵
۶	۷۶	۷۵	۷۶	۷۳	۷۵
۷	۷۶	۷۷	۷۸	۷۵	۷۶/۵۰
۸	۷۶	۷۹	۷۸	۷۵	۷۷

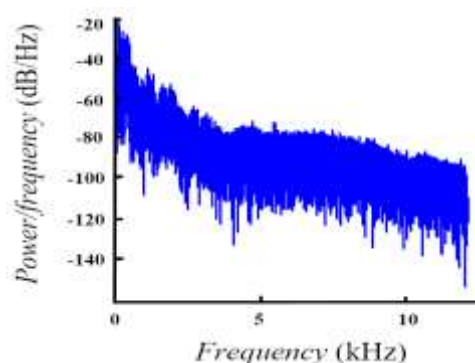


شکل ۳- شدت صدا در فاصله ۵۰ سانتی‌متری

مطابق جدول ۴ و شکل (۴)، متوسط کاهش شدت صدای اندازه‌گیری شده در تمامی آزمایش‌های دارای جاذب صوتی، ۶/۳۹ دسی‌بل بوده است. بهترین عملکرد مربوط به آزمایش ششم (اسفنج) و آزمایش پنجم (الیاف فوتور) می‌باشد که به ترتیب موفق به کاهش شدت صدا به میزان ۸ و ۷/۲۵ دسی‌بل شده‌اند. همچنین بدترین عملکرد مشابه فاصله ۵۰

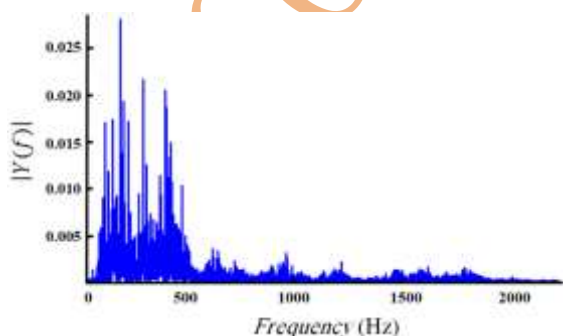


شکل ۵- سیگنال حوزه زمان ذخیره شده مربوط به آزمایش اول، فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از ماشین لباسشویی



شکل ۶- نمودار طیف سیگنال آزمایش اول، فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از ماشین لباسشویی

مطابق داده‌های نمایش داده شده در شکل (۷) شدت صدا در فرکانس‌های پایین بیشتر می‌باشد. این نکته با توجه به ویژگی‌های کارکردی- مکانیکی ماشین لباسشویی دور از انتظار نبوده است. همان‌طور که نتایج قسمت (۲) انتظار داشتیم، مطابق داده‌های شکل (۷) فرکانس غالب صدای منتشر شده کمتر از ۵۰۰ هرتز می‌باشد. لذا در ادامه بررسی بر روی این بازه فرکانسی تمرکز خواهد شد.



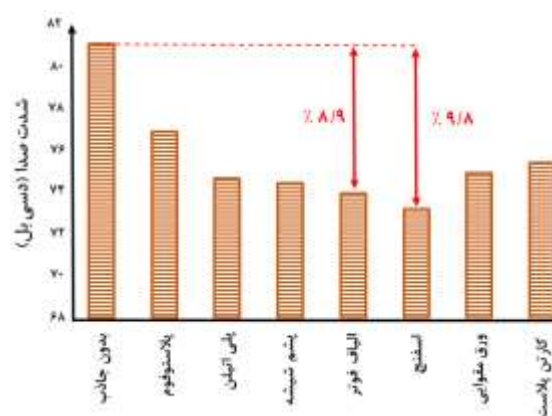
شکل ۷- سیگنال حوزه فرکانس ذخیره شده آزمایش اول، فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از لباسشویی

در شکل‌های (۸) الی (۱۴) پاسخ فرکانسی صدای ذخیره شده در فرکانس‌های غالب برای تمامی هشت آزمایش نشان

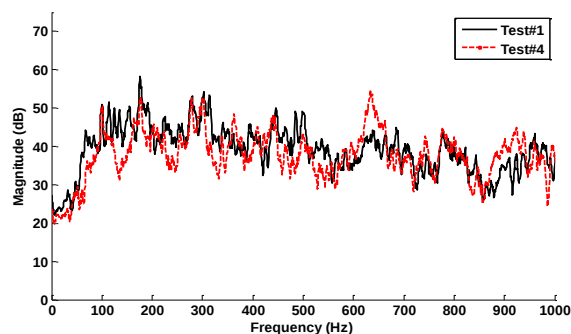
سانتی‌متری، مربوط به آزمایش دوم (پلاستوفوم) با کاهش شدت صدا به میزان ۴/۵ دسی‌بل بوده است. لذا با افزایش فاصله‌ی حسگرها تغییر رویکرد مشخصی در عملکرد جاذب‌های صوتی دیده نمی‌شود. به‌نحوی که بهترین عملکرد مربوط به استفاده از الیاف فوتر و اسفنج و همچنین ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به پلاستوفوم بوده است. با توجه به ویژگی‌های متفاوت جاذب‌های استفاده شده و همچنین صدای تولید شده از لحاظ فرکانسی، در ادامه اثر این جاذب‌ها در حوزه فرکانسی بررسی می‌شود. در شکل‌های (۵) و (۶) سیگنال صدای ذخیره شده در آزمایش اول در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از سمت CD ماشین لباسشویی در حوزه زمان و فرکانس نشان داده شده است.

جدول ۴ - شدت صدای اندازه‌گیری شده در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری.

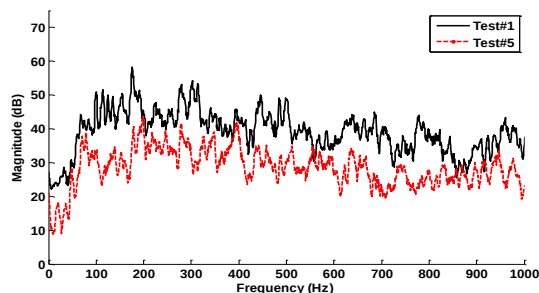
شماره آزمایش	شدت صدا (دسی‌بل)				
	سمت AB	سمت BC	سمت CD	سمت DA	میانگین
۱	۸۰	۸۲	۸۳	۸۰	۸۱/۲۵
۲	۷۵	۷۸	۸۰	۷۵	۷۷
۳	۷۴	۷۵	۷۶	۷۴	۷۴/۷۵
۴	۷۲	۷۵	۷۷	۷۴	۷۴/۵۰
۵	۷۳	۷۴	۷۶	۷۳	۷۴
۶	۷۳	۷۳	۷۵	۷۲	۷۳/۲۵
۷	۷۴	۷۵	۷۷	۷۴	۷۵
۸	۷۵	۷۶	۷۷	۷۴	۷۵/۵۰



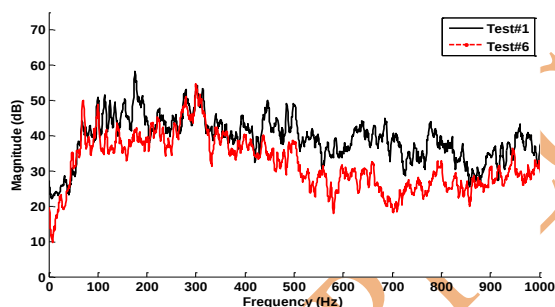
شکل ۴ - شدت صدا در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری



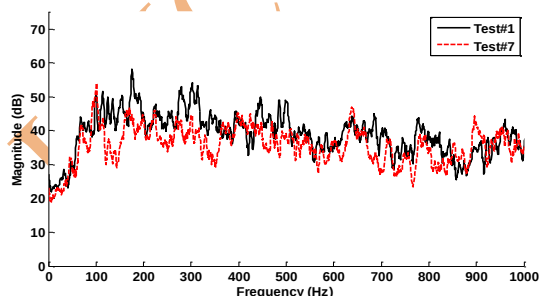
شکل ۱۰- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و چهارم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).



شکل ۱۱- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و پنجم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).



شکل ۱۲- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و ششم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).

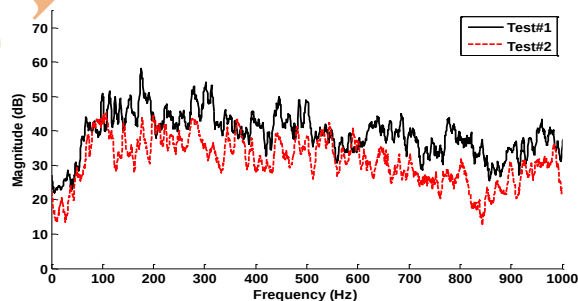


شکل ۱۳- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و هفتم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).

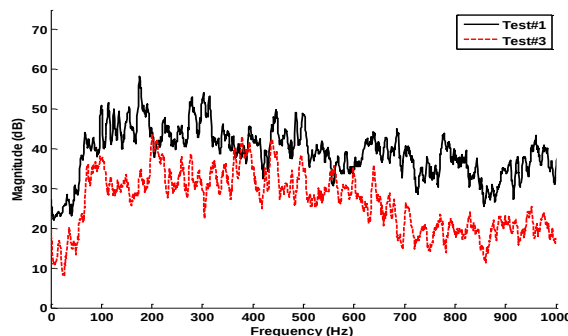
داده شده است. در این شکل‌ها سیگنال حوزه فرکانس هر کدام از عایق‌ها (آزمایش دوم الی هشتم) با حالت بدون عایق (آزمایش اول) مقایسه شده است.

تراز یا سطح فشار صوت برابر با $20 \log_{10}(P/P_0)$ که P_0 فشار مرجع بوده و در حدود ۲۰ میکرو پاسکال می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر جاذب‌های استفاده شده در فرکانس‌های مختلف متفاوت می‌باشد. برای مثال در آزمایش پنجم-الیاف فوتر (شکل (۱۱))، جاذب پیشنهادی تأثیر مؤثری در تمامی بازه فرکانسی از خود نشان داده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید، مطابق داده‌های جدول ۳، این جاذب بهترین عملکرد در کاهش شدت صوت را دارا بوده است.

لازم به ذکر است اگرچه آزمایش‌های انجام شده نحوه تأثیر جاذب‌های پیشنهادی بر روی فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد؛ اما با توجه به فرضیات مطرح شده در بخش ۴-۲ نتیجه‌گیری دقیق‌تر در مورد نحوه ارتباط جاذب‌های استفاده شده و فرکانس صدای منتشر شده، نیازمند انجام آزمایش‌های جدی‌تر در محیط آزمایشگاهی استاندارد می‌باشد.



شکل ۸- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و دوم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).

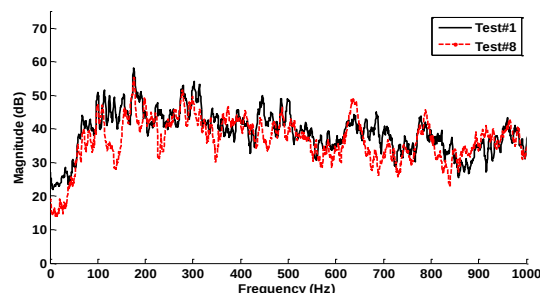


شکل ۹- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و سوم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).

لباسشویی توسط حس‌گرهای خازنی در فواصل مشخص اطراف آن ذخیره شده است. با تحلیل داده‌های ذخیره شده چگونگی نرخ تغییرات شدت صدا با توجه به جاذب‌های مورد استفاده بحث شد. همچنین به منظور افزایش صحت و سقم آزمایش‌های انجام شده و کاهش اثر تغییرات جزئی، هر کدام از آزمایش‌ها هشت مرتبه تکرار گردید. نتایج حاصل، حاکی از تأثیرپذیری مستقیم سیگنال ذخیره شده از جاذب‌های صوتی در تمامی جهات با شدت‌های غیر یکسان می‌باشد. از میان عایق‌های بررسی شده الیاف فوتر و اسفنج بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر عایق‌ها در کاهش صدای منتشر شده از خود نشان دادند. کاهش شدت صدا در حضور جاذب‌های صوتی مختلف متفاوت و میانگین آن ۶/۳۵ دسی‌بل بوده است. بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد، به ترتیب مربوط به الیاف فوتر و پلاستوفوم با کاهش ۸ دسی‌بل (۱۰ درصد) و ۴/۵ دسی‌بل (۵/۴ درصد) در شدت صدا گزارش شده است. لازم به ذکر است بررسی و پیشنهاد جاذب صوتی بهینه و در دسترس برای استفاده در وسایل خانگی با توجه به تنوع ویژگی‌های ارتعاشی-صوتی آن‌ها، در قدم‌های ابتدایی خود می‌باشد. این مهم نیازمند پژوهش‌های منسجم و هدفمندتری می‌باشد، که از فرصت پژوهش حاضر خارج است. انتظار می‌رود در آینده‌ی نزدیک با فراهم کردن اسباب و لوازم سخت افزاری مورد نیاز توفیق بررسی جامع و دقیق‌تری فراهم گردد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کند که در مورد انتشار این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.



شکل ۱۴- حوزه فرکانسی سیگنال ذخیره شده آزمایش‌های اول و هشتم (فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سمت BC).

مطابق داده‌های گزارش شده در شکل‌های (۸) الی (۱۴)، تمامی عایق‌های معرفی و بررسی شده در این پژوهش موفقیت نسبی در کاهش صدا منتشر شده از ماشین لباسشویی به‌ویژه در بازه‌ی فرکانسی کمتر از ۵۰۰ هرتز را از خود نشان دادند. از میان این عایق‌ها الیاف فوتر و اسفنج (آزمایش‌های پنج و شش) عملکرد بهتری نسبت به سایر عایق‌ها به‌ویژه در فرکانس‌های غالب از خود نشان دادند.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی اثر جاذب‌های صوتی مختلف بر روی کاهش صدای یک ماشین لباسشویی پرداخته شد. با قرارگیری جاذب‌های مختلف در چهار سمت دستگاه اثر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در انتخاب جاذب‌های پیشنهادی معیارهای مختلفی شامل: دسترسی آسان، وزن و قیمت پایین در نظر گرفته شد. محیط آزمایش تا حد امکان به شرایط واقعی نزدیک بوده به‌نحوی که در کنترل نویز محیطی نیز این مهم مورد توجه قرار گرفته است. در روش پیشنهادی صدای منتشر شده توسط یک ماشین

مراجع

- [1] S. Fatima, and A. R. Mohanty. "Noise control of home appliances—The green way." *Noise & Vibration Worldwide* 43, no. 7 (2012): 26-34.
- [2] U.C. Jeong, J.S. Kim, J.E. Jeong, I.H. Yang, and J.E. Oh. "Development of a sound quality index for the wash cycle process of front-loading washing machines considering the impacts of individual noise sources." *Applied Acoustics* 87 (2015): 183-189.
- [3] C. Spelta, P. Fabio, M. Sergio, G.F. Savaresi, and G. Nicola. "Control of magnetorheological dampers for vibration reduction in a washing machine." *Mechatronics* 19, no. 3 (2009): 410-421.
- [4] S.A. Hoseini Sabzevari, and S.I. Hosseini Sabzevari. "A Novel Influence Function M-Estimator-Based for Active Noise Control." *Archives of Acoustics* 46 (2021).
- [5] S.A. Hoseini Sabzevari, and M. Moavenian. "Application of reinforcement learning for active noise control." *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 25, no. 4 (2017): 2606-2613.

- [6] M.J. Chrzan, and J. David Carlson. "MR fluid sponge devices and their use in vibration control of washing machines." In *Smart Structures and Materials 2001: Damping and Isolation*, vol. 4331, pp. 370-378. SPIE, 2001.
- [7] E. Papadopoulos, and I. Papadimitriou. "Modeling, design and control of a portable washing machine during the spinning cycle." In 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings (Cat. No. 01TH8556), vol. 2, pp. 899-904. IEEE, 2001.
- [8] Y.C. Xu, and X.S. Wen. "An overview on active noise control technology and application." *Journal-National University Of Defense Technology* 23, no. 2 (2001): 119-124.
- [9] H.S. Kim, S.G. Park, K.H. Kang, J.Y. Lee, and J.E. Oh. "The analysis of noise contribution about drum washer under dehydrating condition using multi-dimensional spectral analysis." *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering* 17, no. 11 (2007): 1056-1063.
- [10] J.E. Oh, J.Y. Lee, J.H. Hong, H.S. Lee, and J.H. Lee. "A study on the evaluation of noise contribution and counterplan about the mechanical structure using multi-dimensional spectral analysis and vector synthesis method." In *Proceedings of the KSPE 1998 Annual Autumn Conference*, pp. 515-519. 1998.
- [11] T. Koizumi, N. Tsujiuchi, S. Matsumoto, and Y. Hirasawa. "Noise prediction of a washing machine considering panel vibration." In *IMAC-XXVI Conference and Exposition on Structural Dynamics*, Orlando, Florida, USA, pp. 4-7. 2008.
- [12] T. Shimizu, H. Funakoshi, T. Kobayashi, and K. Sugimoto. "Reduction of noise and vibration in drum type washing machine using Q-learning." *Control Engineering Practice* 122 (2022): 105095.
- [13] D. Barpanda, and J.M. Tudor. "Solutions-based approach for reducing noise in washing machines." *Sound and Vibration* 19, no. 11 (2009): 6.
- [14] P. Chiariotti, M. Martarelli, E.P. Tomasini, and R. Beniwal. "Noise source localization on washing machines by conformal array technique and near field acoustic holography." In *Structural Dynamics, Volume 3: Proceedings of the 28th IMAC, A Conference on Structural Dynamics*, 2010, pp. 1355-1363. Springer New York, 2011.
- [15] C. Choi, Y. Kwon, D. Kang, C. Kim, and S. Jung. "Development of Washing Machine Dehydration Unbalance Control Specifications Through Bayesian Optimization." *Applied Sciences* 15, no. 3 (2025): 1632.
- [16] F. Hashemian, H. Yang, Y. Wang, X. Deng, S. Kim, and R. Vaidhyanathan. "Parametric Dynamic Simulation and Bayesian Design Optimization of a Front-Loading Washing Machine." *Journal of Vibration Engineering & Technologies* (2024): 1-22.
- [17] M. Kalkat, "Experimentally vibration and noise analysis of two types of washing machines with a proposed neural network predictor." *Measurement* 47 (2014): 184-192.
- [18] X. Sun, Y. Liu, J. Zhang, and H. Zhang. "Measurement and analysis of a horizontal-axis washing machine for low-frequency abnormal noise." In 2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), pp. 735-739. IEEE, 2016.
- [19] Y.J. Kim, D.C. Kim, and W.B. Jeong. "Dynamic modeling and analysis of a quad horizontal damper system for transient vibration reduction in top loading washing machine." *Journal of Mechanical Science and Technology* 33 (2019): 1123-1130.
- [20] B. Liu, T. Feng, X. Wu, and N. Li. "Noise radiation characteristics of the washing machine based on sound intensity measurement." *Advanced Materials Research* 482 (2012): 1406-1409.
- [21] H.W. Chen, J.J. Huang, J. Zhu, and Y.C. Shi. "Transient vibration suppression of a vertical-axis washing machine using a new type of damper." *Journal of Mechanical Science and Technology* 39, no. 3 (2025): 1047-1058.
- [22] J.S. Jeong, J.H. Sohn, C.J. Kim, and J.H. Park. "Dynamic analysis of top-loader washing machine with unbalance mass during dehydration and its validation." *Journal of Mechanical Science and Technology* 37, no. 4 (2023): 1675-1684.
- [23] M. Moravec, M. Badida, M. Pinosova, G. Ižaríková, and L. Sobotova. "Validation of the Developed Psychoacoustic Model for Sound Quality Valuation of Washing Machines." *Applied Sciences* 15, no. 9 (2025): 4645.
- [24] C. Alberio, and B. Sánchez-Tabuenca. "Experimental Methodology to Characterize the Noise Paths in a Horizontal-Axis Washing Machine." In *Acoustics*, vol. 5, no. 2, pp. 476-489. MDPI, 2023.

- [25] J.P. Arenas, and M.J. Crocker. "Recent trends in porous sound-absorbing materials." *Sound & vibration* 44, no. 7 (2010): 12-18.
- [26] P. Paul, M. Ahirwar, and B. K.Behera. "Acoustic behavior of three-dimensional woven fabrics and their composites: role of fiber type and weave architecture." *The Journal of The Textile Institute* 115, no. 11 (2024): 2258-2271.
- [27] P. Paul, Parikshit, M. Ahirwar, and B.K. Behera. "Influence of airflow resistance on acoustic behaviour of needle-punched nonwoven structures." *The Journal of The Textile Institute* 116, no. 3 (2025): 499-511.
- [28] S.A. Hoseini Sabzevari, and M. Vakili-Azghandi. "Acoustic source localization in an isotropic plate: Damper's coverage length optimization based on response surface method (RSM)." *Measurement* 199 (2022): 111476.
- [29] S. Nazari, T. Alexiou Ivanova, R. Kumar Mishra, M. Müller, M. Akhbari, and Z. Esfahani Hashjin. "Effect of Natural Fiber and Biomass on Acoustic Performance of 3D Hybrid Fabric-Reinforced Composite Panels." *Materials* 17, no. 23 (2024): 5695.
- [30] J.S. Cho, H.Y. Jeong, and K.C. Kong. "Analysis of dynamic model of a top-loading laundry machine with a hydraulic balancer." *International journal of precision engineering and manufacturing* 15 (2014): 1615-1623.
- [31] S.A. Hoseini Sabzevari, and S.M. Javadpour. "Leakage localization in an underground pressurized pipeline in steady-state." *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 205 (2023): 104979.
- [32] S.A. Hoseini Sabzevari, M. Moavenian. "Sound localization in plates using low cost acoustical sensors." *Modares Mechanical Engineering* 15, no. 6 (2015): 190-196. (in Persian)