بررسی اکوستیکی رزوناتور چند خودرو متداول در ایران

علی ملکی استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد
میثم رضوانی کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
محمد مرادی استادیار، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، دانشگاه شهرکرد

چکیده

در این پژوهش تأثیر رزوناتورهای خودروهای سوزوکی ویتارا، تندر ۹۰، پژو ۲۰۶ معمولی و پژو ۲۰۶ صندوق‌دار به منظور کاهش تراز صدای خودرو بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل ۴×۵×۱۰ در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد که نوع رزوناتور در چهار سطح، دامنه صوت در پنج سطح (۰/۰۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۳۵ و ۰/۴۵) و فرکانس تحریک در ۱۰ سطح (۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴، ۲۰۴۸، ۴۰۹۶، ۸۱۹۲ و ۱۶۳۴۸ هرتز) فاکتورهای این آزمایش بودند. نتایج بدست آمده بیانگرتأثیرمعنی‌دار فاکتورهای نوع رزوناتورو فرکانس تحریک بود به نحوی که رزوناتور خودرو سوزوکی ویتارا و تندر ۹۰ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در کاهش تراز صدای خودرو داشتند. همچنین بیشترین میزان کاهش تراز صدا برای رزوناتورهای مختلف به طور متوسط در فرکانس ۸۱۹۲ هرتز بوجود آمد.

کلمات کلیدی: آکوستیک، رزوناتور، آلودگی صوتی، خودرو، پژو ۲۰۶، سوزوکی ویتارا، تندر ۹۰

Acoustical Investigation of Some Common Vehicle Resonators in Iran

A. Maleki Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University
M. Rezvani M. Sc., Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology
M. Moradi Assistant Professor, Faculty of Science, Shahrekord University

Abstract

In this research the effect of Suzuki Vitara, L90, 206T3 and 206SD Peugeot resonators were investigated to verify vehicle sound level. Experiments were done in form of 4×5×10 factorial by complete randomize design. Type of resonators in four levels, sound amplitude in five levels (0.05, 0.15, 0.25, 0.35 and 0.45) and excited frequency in ten levels (32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 and 16384 Hz) were the factors of these experiments. Results showed that type of resonators and excited frequency had significant effects on vehicle of sound levels. Suzuki Vitara and L90 had maximum and minimum effect on decrement of vehicle sound levels, respectively.

Keywords: Acoustic, Resonator, Noise Pollution, Vehicle, 206 Peugeot, Suzuki Vitara, L90

۱- مقدمه

صدا یکی از عوامل زیان آور محیط‌های صنعتی است که صدمات و اختلالاتی مختلفی از قبیل کاهش شنوایی، افزایش تعداد دم و بازدم، انقباض عروق خونی و غیره را به وجود می‌آورد [۱].از نظر سازمان جهانی بهداشت، صدا به عنوان سومین آلودگی خطرناک در شهرهای بزرگ محسوب می‌شود. در میان منابع صوتی آلوده کننده در شهرها، خودروها موضوع قابل اهمیتی هستند چرا که هم منبع آلودگی صوتی متحرک (آزاردهنده شهروندان) و هم منبع صدای آزاردهنده برای راننده و سرنشینان آن‌ها هستند[۲]. انتشار صدا ازخودروها از دو منبع مهم ناشی می‌شود که عبارت است از صدای ناشی از موتور و سیستم انتقال توان و منبع دیگر شامل سیستم تعلیق، شاسی و چرخ‌های خودرو (ناشی از تماس تایر با جاده) است. صدای تولید شده از کلیه اجزاء این مجموعه به صورت یک طیف صوتی گسترده و پیچیده در اطراف هر خودرو نمایان می‌شود؛ لیکن برای بررسی صدای این منابع و شناخت آن‌ها می‌بایست هر جزء به طور جداگانه بررسی شود[۳و۴]. موتور به عنوان حیاتی‌ترین جزء هر خودرو یکی از اصلی‌ترین منابع تولید نویز و سر و صداست. صدای ناشی از فرآیند احتراق و باز و بسته شدن دریچه‌های دود و هوا، موجب تولید صداهای آزار دهنده‌ای می‌شود که از مجرای ورودی (مکش) و خروجی (اگزوز) قابل شنیدن است [۵ و ۶]. لیکن استفاده از وسایل و روش‌هایی برای حذف یا کاهش این صداهای آزار دهنده، موجب افزایش رضایتمندی و همچنین کارایی آن‌ها خواهد بود.

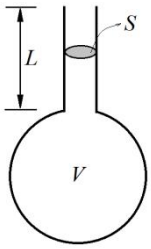
به طور کلی سیستم‌هایی متنوعی برای کنترل صدا در موتور خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرد[۷]. بیشتر این محصولات ترکیبی از مواد جاذب صوت، مانع‌های صوتی، میرا کننده‌ها و عایق‌های ارتعاشی هستند. میزان افت صدای ارائه شده توسط هر یک از این سیستم‌ها، به نوع و شرایط استفاده از آن وابسته است. با توجه به عملکرد اصلی و پایه‌ی هر یک از این سیستم‌ها، این محصولات در چهار گروه طبقه بندی شده و عبارتند از [۸ و ۹]:

۱- سیستم‌های جاذب صوت(منسوجات متخلخل، رزوناتورها)
۲- سیستم‌های مانع صوتی (دیواره‌های فلزی ضخیم)
۳- صدا خفه کن‌ها(خفه کن اگزوز، رزوناتورها)
۴- سیستم‌های کنترل ضربه و ارتعاش (فنرها و ضربه‌گیرها)

رزوناتورها یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های آکوستیکی هستند که در قرن ۱۹ توسط فیزیکدان آلمانی، هرمان فن هلمهلتز (۱۸۹۴-۱۸۲۴) اختراع شد (شکل ۱) [۱۰]. رزوناتور محفظه‌ای محکم و تو خالی با حجم مشخصی(V)است که به وسیله‌ی دهانه‌ی لوله‌ای شکلی با طول (L) و سطح مقطع (S) معینی (شکل ۲) به محیط بیرونی مرتبط می‌شود. جنس رزوناتورها با توجه به نوع کاربردشان از فلز یا چوب و امروزه بیشتر از مواد پلاستیکی ساخته می‌شوند.

شکل ۱- آنالیزورهای آکوستیکی هلمهلتز

در ابتدا از رزوناتورها برای تعیین فرکانس صوت (آنالیزور صوت هلمهلتز) و برای افزایش شدت صوت در آلات موسیقی (جعبه یا تخته‌ی تشدید) مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱].



شکل ۲-طرحواره رزوناتور با حجمV و دهانه‌یی به طول L وسطح مقطع S

اما امروزه شکل و نوع کاربرد رزوناتورها حالت متنوع‌تری به خود گرفته و به غیر از کاربردهای ذکر شده، به عنوان جاذب‌های صوتی در وسایل و همچنین اماکن مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۱۱].

در میان انواع کنترل کننده‌های صوتی، رزوناتورها جز سیستم‌های جاذب صوت و صدا خفه کن‌ها تقسیم بندی می‌شود. رزوناتورها در بیشتر موارد،امواج صوتی با فرکانس‌های پایین و باند باریک را جذب می‌کنند و همانند دیگر جاذب‌های آکوستیکی دارای یک فرکانس حد یا رزونانس هستندکه در آن بیشترین ضریب جذب را داشته و معمولاً برای کار در همین فرکانس خاص طراحی شده‌اند. البته پیش بینی می‌شود با تغییر طراحی و افزودن مواد متخلخل در قسمت مجرا یا درون حفره راندمان جذب رزوناتور را افزایش یابد و باند جذبی آن را پهن‌تر گردد[۱۲].

بسیاری از کارخانجات اتومبیل سازی جهان همچون: سوبارو، نیسان، پژو، رنو، سوزوکی و جنرال موتور برای کاهش صداهای ناخواسته و آزاردهنده در مجرای ورودی هوا به موتورهای احتراق

داخلی خود، از رزوناتورها استفاده کرده‌اند. محل نصب رزوناتورها در مجرای ورودی هوا به موتور و بین فیلتر هوا و دریچه گاز موتور است.کارخانه اتومبیل سازی سوبارو برای کاهش صدای تولید شده در دهانه‌ی ورودی مکش هوادر یک نوع موتور(مدل Liberty RS) از رزوناتورهایی با حجم بالا استفاده کردو موفق شد به میزان ۱۰ دسی بل از صدای تولید شده در مجموعه مکش هوا را کاهش دهد[۱۳].طبق گزارش‌های اعلام شده، رزوناتورها در جذب و کاهش صداهای ناخواسته در فرکانس‌های پایین (کمتر از ۱۰۰۰ هرتز) بیشترین ضریب جذب را از خود نشان داده و همواره در پهنای باند کوتاهی، فعالیت خود را به خوبی انجام می‌دهند [۱۴]. رزوناتورها با توجه به طیف فرکانسی صدای تولیدی، در اندازه‌ها و اشکال متنوعی طراحی شده و در موتور خودروهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به ویژگی مهم و بارز رزوناتورها نسبت به دیگر جاذب‌ها، یعنی توانایی آن‌ها در جذب فرکانس‌های پایین، طراحی ساختمان آن‌ها می‌تواند به صورتی انجام شود که قابلیت جذب فرکانس‌های بالاتر را نیز داشته باشند[۱۵].

بر خلاف کشورهای پیشرفته و تولیدکنندگان خودرو در سراسر دنیا، در ایران تحقیقات کافی در مورد کاهش صدای خودروها انجام نشده است و رزوناتورها نیز به عنوان یکی از وسایل کاهنده صدای ناخواسته از خودروها از این قاعده مستثنی نبوده است. در کشور ما بسیاری از موتور خودروهای وارداتی مجهز به رزوناتور در سیستم ورودی هوای آن‌ها است ولی متأسفانه شرکت‌های واردکننده این خودروها اطلاعات دقیقی در مورد کاربرد و ویژگی‌های رزوناتورآن‌ها ندارند.

با توجه به مواردی که بیان شد، مشخص می‌شود که تولید سر و صدا در مجرای ورودی هوا به موتورها از مشکلات مهم خودروها است و استفاده از رزوناتورها به عنوان یک وسیله کاهنده صدا در موتور خودروها، راه حل مناسبی برای کاهش آلودگی صوتی آن‌ها است. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق، بیان پیش زمینه‌ای در مورد رزوناتورها مورد توجه بوده و هدف اصلی از انجام آن، مقایسه عملکرد رزوناتور چند خودروی متداول و مورد استفاده در داخل کشور است.

۲- مواد و روش انجام پژوهش

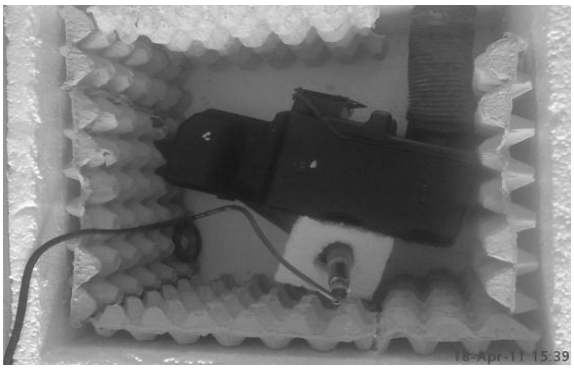
در این تحقیق رزوناتور چهار خودروی پژو ۲۰۶ معمولی، پژو ۲۰۶ صندوق‌دار، سوزوکی ویتارا و تندر ۹۰ انتخاب و نتایج عملکرد آن‌ها با هم مورد مقایسه قرار داده شد (شکل ۳).

مراحل انجام آزمایش مورد نظر برای رزوناتورها به ترتیب زیر انجام شد:

- برای افزایش دقت انجام آزمایش‌ها از یک اتاقک آکوستیک با ابعاد ۱×۰/۷۵×۰/۵ متر استفاده شد. رزوناتور در داخل اتاقک طوری قرار داده شد که ورودی رزوناتور (درگاه ورودی هوا) در مقابل لوله‌ی خرطومی قرار گیرد که طرف دیگر آن بیرون از اتاقک و متصل به بلندگو است. کلیه‌ی اتصال‌ها به دقت به وسیله‌ی یک چسب نواری پهن عایق بندی شد (شکل ۴). قبل از انجام آزمایش‌ها، تراز سر و صدا در داخل اتاقک (محیط آزمایش) کمتر از ۱۰ دسی بل اندازه‌گیری شد که مطابق استاندارد اندازه‌گیری و آنالیز صدا، مقدار قابل قبولی برای انجام آزمایش بود[۱۶ و ۱۷].

شکل۳-رزوناتورهای خودروی پژو ۲۰۶(راست) و سوزوکی‌ویتارا (چپ)

- در درگاه خروجی رزوناتور، یک میکروفن (شرکت SHURE به شماره C 606،حساسیت: ۵۲ dBV/Pa و پاسخ فرکانسی یکنواخت ۵۰ تا ۱۵۰۰۰ هرتز.) برای انتقال امواج دریافتی از خروجی رزوناتور به رایانه متصل شد (شکل ۴).



شکل ۴- نحوه‌ی قرارگیری رزوناتور پژو ۲۰۶ در اتاقک آکوستیک

- با توجه به وابستگی ضریب جذب (توانایی کاهش و جذب صدای ناخواسته) دستگاه‌های کاهنده صدا به فرکانس (ارتفاع) و دامنه‌های (بلندی) مختلف، آزمایش در فرکانس و دامنه‌های مختلف انجام شد [۸ و ۹]. بدین ترتیب که به وسیله‌ی دستگاه تولید کننده‌ی موج (Signal Generator)، اصواتی با فرکانس‌های باند اکتاو ۳۲ تا

۱۶۳۸۴ هرتز و دامنه ۰/۰۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۳۵، ۰/۴۵ به وسیله‌ی بلندگو جهت تحریک رزوناتورها تولید شد.

- در هر فرکانس و دامنه‌ای که توسط دستگاه تولید کننده‌ی موج ایجاد شد، امواج صوتی خروجی از رزوناتور به وسیله‌ی میکروفن به رایانه انتقال داده شده و به صورت یک فایل صوتی (سیگنال‌های صوتی در حوزه زمان) با فرمت mp3 ضبط و بر روی رایانه ذخیره شده است.
- بعد از اندازه‌گیری ضبط سیگنال‌های صوتی منتشر شده از خروجی رزوناتورها، می‌بایست سیگنال‌های صدا تحلیل شوند. با توجه به اینکه سیگنال‌های صدای ضبط شده در حوزه زمان به صورت mp3 ذخیره شدند لازم است فایل‌های صوتی مورد نظر خوانده شد که برای این منظور پس از نوشتن امفایل‌هایی در نرم افزار MATLAB ویرایش ۲۰۱۰ جهت خواندن صدای ضبط شده در هر آزمایش و تبدیل آن از حوزه زمان به فرکانسی با استفاده از روش تبدیل فوریه سریع (FFT) نمودار بیناب صوتی (طیف فرکانسی) هر فایل تعیین شد[۱۷]. شایان ذکر است تحلیل فوریه روشی سریع و مهم برای بدست آوردن محتوای فرکانسی سیگنال‌های صدا می‌باشد [۹] که دلیل اصلی تعیین محتوای فرکانسی سیگنال‌های صدا این است که پاسخ گوش و احساس صدا در انسان به فرکانس بستگی دارد. از طرفی بررسی سیگنال‌های صدا در حوزه زمان بسیار مشکل و در برخی موارد امکان پذیر نیست [۹ و ۱۰].
- جهت بررسی اختلاف تراز صدای بدست آمده از رزوناتورهای مختلف و تعیین میزان معنی‌داری هر یک از آنها، داده‌های حاصل از سیگنال‌های مختلف در سطوح مختلف عامل‌های فرکانس و دامنه سیگنال و نوع رزوناتور توسط نرم افزار SPSS ویرایش ۱۷ به صورت آزمایش فاکتوریل ۴×۱۰×۵ بر پایه طرح کامل تصادفی تجزیه و تحلیل و آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح ۵ درصد نیز انجام گردید.

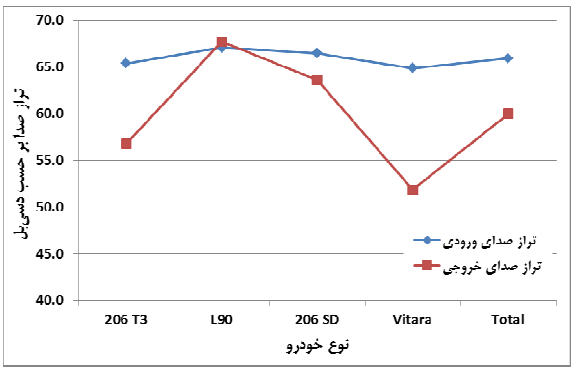
۳- نتایج

جدول ۱ آنالیز واریانس میانگین‌های مربوط به اثرات تیمارهای مختلف نوع فرکانس، دامنه تحریک و نوع رزوناتور را برای تراز صدای ورودی، تراز صدای خروجی و میزان کاهش تراز صدا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سطوح مختلف فاکتور نوع فرکانس، دامنه سیگنال تحریک و نوع رزوناتور در سطح آماری یک درصد اختلاف معنی داری بر کاهش تراز صدای رزوناتورها نشان دادند.

شکل ۵ میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورهای خودروهای مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در مجموع وجود رزوناتور در خودرو به طور متوسط حدود ۶ دسی‌بل تراز صدای خودرو را کاهش داده است این در حالیست که بیشترین مقدار کاهش صدای خودرو مربوط به سوزوکی ویتارا با ۱۳ دسی‌بل کاهش و در خودرو تندرو ۹۰ هیچ‌گونه کاهشی مشاهده نگردید. که دلیل آن را می‌توان ناشی از حجم زیاد رزوناتور خودرو سوزوکی ویتارا نسبت به رزوناتورهای خودروهای دیگر دانست[۱۸].

جدول ۱- آنالیز واریانس میانگین‌های مربوط به اثرات تیمارهای مختلف فرکانس، دامنه تحریک و نوع رزوناتور برمیزان کاهش تراز صدا

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات
فرکانس	۹	۱۲۴۶۴/۵ **
دامنه	۴	۲۶۸۸/۷ **
نوع رزوناتور	۳	۵۴۷۹/۸ **
دامنه × فرکانس	۳۶	۵۰۲۹/۹
فرکانس × نوع رزوناتور	۲۷	۳۲۷۸/۴
دامنه × نوع رزوناتور	۱۲	۶۵۲/۰
فرکانس × دامنه × نوع رزوناتور	۱۰۸	۲۰۵۱/۰
جمع کل	۲۰۰	۳۸۷۱۴/۵

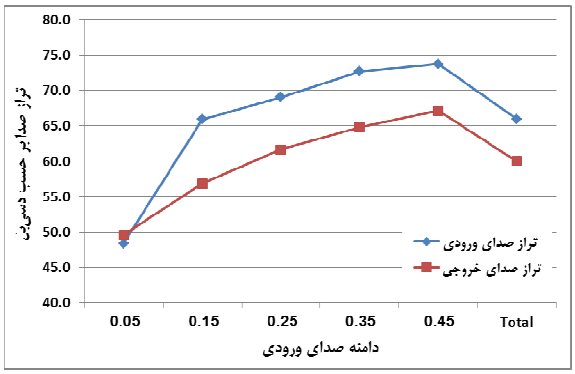


شکل ۵- میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورهای خودروهای مختلف

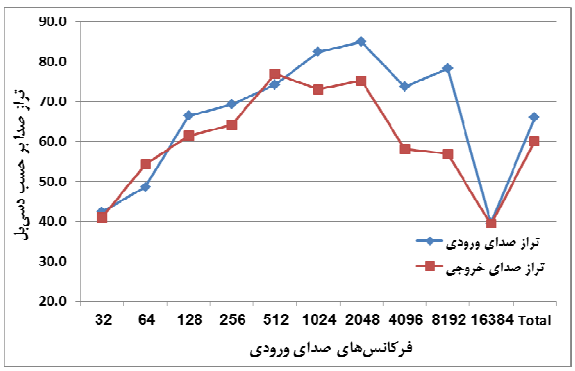
شکل ۶ میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورهای خودروهای مختلف در دامنه‌های متفاوت صوت‌های تولید شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که افزایش دامنه صوت باعث افزایش تراز صوت شده ولی تغییری درمیزان کاهش صدا نداشته است (اختلاف ارتفاع دو نمودار، در دامنه‌های متفاوت ثابت است) بجز در دامنه ۰/۰۵، که در این مورد می‌توان علت آن را ناشی از حساسیت پایین میکروفندر دامنه ذکر شده (عدم پاسخ به تحریک توسط سیگنال‌هایی با دامنه و فشار صوت پایین) یا بلندگوهای تولیدکننده صدا (عدم تحریک دیافراگم بلندگوها در این دامنه) دانست. به هر حال متوسط کاهش تراز

صدا در این آزمایش‌ها، برای رزوناتورهای مختلف در همه‌ی دامنه‌های آزمایشی حدود ۶ دسی‌بل بدست آمد.

شکل ۷ میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورهای خودروهای مختلف در اکتاوهای متفاوت فرکانسی اصوات تولیدی نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشترین میزان کاهش تراز صدا به ترتیب مربوط به فرکانس‌های ۸۱۹۲، ۴۰۹۶، ۲۰۴۸ و ۱۰۲۴ هرتز می‌باشد. میزان کاهش صدا در فرکانس ۵۱۲ و ۶۴ هرتز نه تنها کاهش نیافته است بلکه افزایش نیز داشته است که می‌توان ناشی از برابری فرکانس‌های تشدید رزوناتورهای موجود با این دو فرکانس و افزایش دامنه صدای آن دانست. در فرکانس‌های ۳۲ و ۱۶۳۸۴ هرتز نیز در این رزوناتورها هیچ‌گونه کاهش تراز صدایی مشاهده نگردید که علت این امر را می‌توان پایین بودن حساسیت میکروفن جهت ثبت سیگنال‌های صدا در این فرکانس‌ها (مراجعه به ویژگی‌های میکروفن در بخش مواد و روش‌ها) دانست.

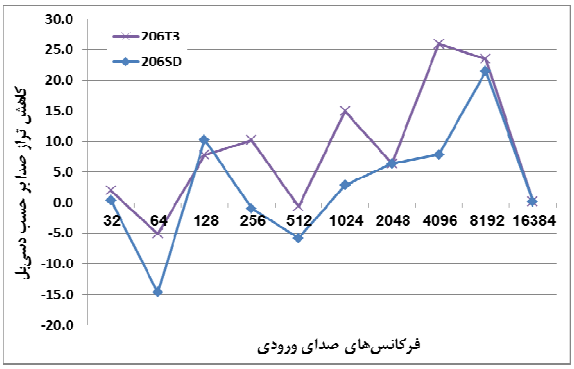


شکل ۶- میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورها در دامنه‌های متفاوت صوت‌های تولید شده

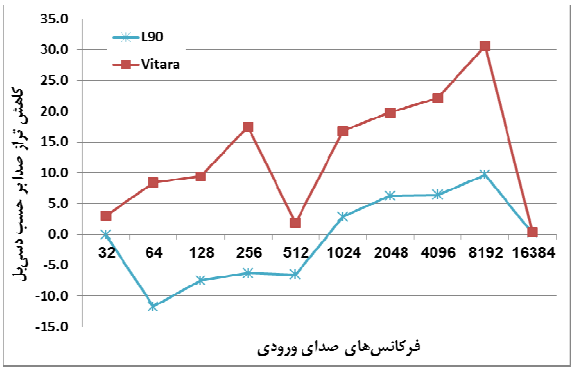


شکل ۷-میانگین تراز صدای وارده شده و خارج شده از رزوناتورها در اکتاوهای متفاوت فرکانسی صداهای تولیدی

شکل‌های ۸ و ۹ میانگین کاهش تراز صدا توسط رزوناتورهای خودروها را در اکتاوهای فرکانسی مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۸ مشاهده می‌شود خودرو پژو ۲۰۶ معمولی کاهش تراز صدای بیشتری در اکثر فرکانس‌های اکتاو باندها نسبت به خودروی ۲۰۶ صندوق‌دار داشته است که می‌تواند ناشی از تفاوت حجم رزوناتورهای این دو خودرو و شکل هندسی متفاوت این دو رزوناتور باشد. شکل ۹ مقایسه کاهش تراز صدای دو خودرو سوزوکی ویتارا و تندر ۹۰ را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود رزوناتور خودرو سوزوکی ویتارا دارای کاهش تراز صدای بیشتری نسبت به خودرو تندر ۹۰ در همه فرکانس‌ها و حتی نسبت به خودروهای پژو ۲۰۶ می‌باشد که حجم انباره و شکل آن را می‌توان عوامل اصلی این کاهش تراز صدا دانست.

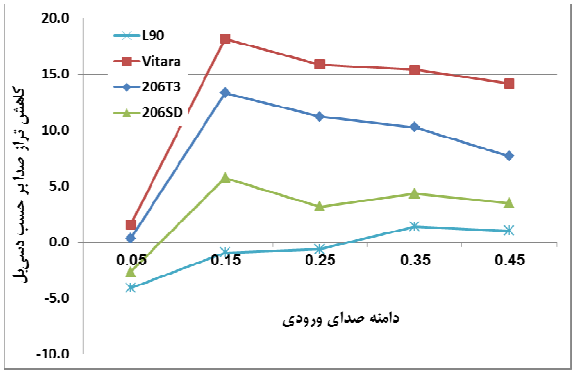


شکل ۸- میانگین کاهش تراز صدا توسط رزوناتورهای دو نوع خودروی ۲۰۶ در اکتاوهای فرکانسی مختلف



شکل ۹-میانگین کاهش تراز صدا توسط رزوناتورهای دو نوع خودروی تندر ۹۰ و سوزوکی ویتارا در اکتاوهای فرکانسی مختلف

شکل ۱۰میانگین کاهش تراز صدا توسط رزوناتورهای خودروهای مختلف در دامنه‌های متفاوت صوت‌های تولید شده نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در این مبحث نیز خودرو سوزوکی ویتارا بیشترین مقدار کاهش تراز صدای را نشان می‌دهد که با توجه به دلایل ذکر شده در مباحث قبلی ذکر شده، منطقی و قابل قبول می‌باشد.



شکل ۱۰- میانگین کاهش تراز صدا توسط رزوناتورهای خودروهای مختلف در دامنه‌های متفاوت صوت‌های تولید شده

۴- نتیجه گیری

بررسی نتایج بدست آمده از آزمون‌های مختلف رزوناتورهای خودروها، بیانگر نکات قابل توجهی بود که عبارتند از:

وجود رزوناتور در خودرو باعث کاهش محسوس تراز صدای خودرو خواهد شد که گاهی این مقدار تا ۱۵ دسی‌بل کاهش تراز صدا را به همراه دارد.

- عامل مؤثر در میزان کاهش صدای تولید شده، فرکانس تحریک صدا می‌باشد به نحوی که در فرکانس‌های مختلف اثرات متفاوتی دارد. شایان ذکر است در فرکانس‌های ۱۰۲۴، ۲۰۴۸، ۴۰۹۶ و ۸۱۹۲ هرتز بیشترین میزان کاهش تراز صدا وجود دارد. این در حالیست که در فرکانس‌های ۶۴ و ۵۱۲ هرتز نه تنها کاهش تراز صدا وجود نداشته بلکه افزایش تراز صدا نیز وجود داشت که می‌تواند دلیلی بر نزدیکی فرکانس‌های جزییرزوناتورها در این دو مقدار باشد.

- دامنه سیگنال صدای تولید شده تأثیر چندانی روی میزان کاهش تراز صدای تولید شده نداشته و تنها باعث وجود اختلاف ناچیزی در این تراز گردید.

- در مجموع رزوناتور خودروی سوزوکی ویتارا بیشترین میزان تراز کاهش صدا را به همراه داشت، در حالی که رزوناتور خودرو تندر ۹۰ کمترین میزان کاهش تراز صدا را به همراه داشت.

۵- سپاسگزاری

مولفین از کلیه حمایت‌های دانشگاه شهرکرد (مالی و تجهیزاتی) در انجام آزمایش‌های مربوط به این تحقیق سپاسگزاری می‌کنند.

مراجع

[1] Hemond CJ. "Engineering acoustics and noise control.TransFasihi F". Tehran: SadavaSima; 2001.
[2] Khilman T. "Noise pollution in cities", Curitiba and Goteborg as examples. In: proceedings of the Seminar.Environmental Aspects of Urbanization-Seminarin Honor of Dr. Mostafa Kamal Tolba, Gothenburg, Sweden, 2004.
[3] Lelong, J., R. Michelet."Effect of acceleration on vehicle noise emission", Proc. of forum Acoustics (Joint ASA/EAA Meeting), Berlin, Germany, 1999.
[4] Lelong, J."Vehicle noise emission: Evaluation of tire/road and motor - noise contributions, florida", USA, 2000.
[5] Anderton D."Basic origins of automotive engine noise", Engine noise & Vibration Control (Course Notes), University of Southampton. 1995.
[6] Russell M. F."Combustion noise and its control", Engine Noise & Vibration Control (Course Notes), University of Southampton. 1995.
[7] Robert J. Bernhard, Henry R. Hall, and James D. Jones. "Adaptive-passive noise control", Proceeding of Inter-Noise 92, pages 427-430, 1992.
[8] Hamidi M. "Sound and its control", First edition, shahreAshob publication, 142 pages, 1387 (in Persian).
[9] Monzam M. "Sound control technology in industry", Mehrazan-Fanavaran publication, 232 pages, 1387 (in Persian).
[10] Rahbar M. "Intelligible physics", Fatemi publication, 537 pages, 1388 (in Persian).
[11] EsmaeilBeigi Z."Acoustics" Tehran University publication, Vol. (2), 308 pages, 1353(in Persian).
[12] Khanzaheh M. "Sound control", First edition, Yazda publication, 184 pages, 1387(in Persian).
[13] Edgar J. "Reduce noise on intakes", Posted on November 30th on www.blog.autospeed.com, 2003.
[14] Hayashi. T. K. "Process of installing a resonator for an automobile". Nissan Motor Company. United States patent. App. No: 374838. 1989.
[15] Anonymous. "Engineering acoustics/noise control with self-tuning Helmholtz resonators". Wikibooks. 2005.
[16] Anonymous. "Bystander sound level measurement procedure for small engine powered equipment". SAE J1175, 1985.
[17] Dixon, J. "Simulation techniques", Engine Noise & Vibration. Control (Course Notes), University of Southampton. 1995.
[18] Nishiuchi S, Shinoda K, Ih JG, Kim HJ, Lee SH. "Measurement of acoustic source characteristics of engine intake system and prediction of intake mouth noise", Trans Soc Automotive EngJpn, 36:169–73. 2005.