ISAV2023
سیزدهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات
۲۹و ۳۰ آذر ماه ۱۴۰۲ تهران - ایران
انجمن آکوستیک و ارتعاشات ایران

بررسی تجربی عملکرد عایق نانو پلی استر بر صدای داخل اتاق خودرو

نیما بایندری[آ*]، سیدحامد طباطبایی[ب]

[آ] ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی، کدپستی: ۱۷۷۷۶۱۳۶۵۱ ، کارشناس ارشد مهندسی خودرو گرایش سازه و بدنه خودرو

[ب] ایران، تهران، خیابان ده حقی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی و مهندسی شهید کلانتری، کدپستی: ۱۷۷۷۶۱۳۶۵۱ ، استادیار – دکترای تخصصی مکانیک

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: nimabaya1371@gmail.com

چکیده

امروزه یکی از معیارهای انتخاب خودرو آسایش و راحتی داخل اتاق خودرو می باشد که عوامل مختلفی بر آن تاثیر گذار هستند از جمله آن ها می توان به سر و صدای داخل اتاق اشاره کرد. آنالیز نمودن و بررسی کردن این مورد که عایق های خودرو تا چه حد می توانند به کاهش صدای داخل اتاق خودرو کمک کنند، یک مورد مهم محسوب می شود. به همین منظور در این پژوهش بصورت تجربی با انتخاب یک خودرو به عنوان نمونه آزمایش و بکار گیری دستگاه اندازه گیر سطح صدا پرتابل، این موضوع مورد بررسی قرار می گیرد. در مرحله اول عایق های استاندارد که بر روی خودرو نصب شده است مورد ارزیابی قرار می گیرد و در مرحله دوم عایق های استاندارد از خودرو جدا شده و خودرو بدون عایق مورد بررسی قرار می گیرد که در این ارزیابی کارایی عایق های استاندارد خودرو مشخص می گردد. در مرحله آخر اقدام به تغییر جنس عایق خودرو نموده و با نصب عایق جدید خودرو مجددا مورد ارزیابی قرار می گیرد و عملکرد عایق مورد نظر بررسی می گردد. برای تمامی مراحلی که ذکر گردید دو آزمایش کلی در نظر گرفته شده است. ابتدا خودرو را تحت آزمایشات استاتیکی در دورهای مختلف موتور از جمله دور آرام، دور ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مورد آزمایش قرار گرفته و سپس خودرو تحت آزمایشات دینامیکی در سرعت های ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت مورد بررسی قرار می گیرد. در آزمایش استاتیکی عملکرد عایق در کاهش صدای موتور و در آزمایش دینامیکی عملکرد عایق در کاهش صدای جاده و باده را نشان می دهد. نتایج بدست آمده بیانگر این است که عایق خودرو با جنس نانو پلی استر، تاثیرات قابل ملاحظه ایی در نفوذ صدا به داخل اتاق خودرو را در پی دارد که بطور میانگین در عایق کاری کامل خودرو بین ۳ تا ۳/۸ دسیبل سطح صدای داخل اتاق خودرو کاهش پیدا می کند.

کلمات کلیدی: عایق نانو پلی استر ؛ پکیج صوتی ؛ عایق صدا خودرو ؛ صدا داخل اتاق.

۱- مقدمه

صدای داخل اتاق خودرو از موارد مهمی است که با راحتی و آسایش سرنشینان خودرو ارتباط مستقیمی دارد[۱]. کاهش مقدار صدای داخل اتاق عاملی برای دستیابی به بازارهای سطح کلاس جهانی می باشد. صدای داخل اتاق خودرو معمولاً ترکیبی از صداهایی است که از طریق مسیرهای مختلف به اتاق خودرو منتقل می شود[۲]. خودرو شامل منابع مختلف تولید صدا از جمله موتور، سیستم انتقال قدرت، سطح جاده، اگزوز، تایر و برخورد نیروی باد با سطح بدنه می باشد[۳]. ضربات و صدا ناشی از ناهمواری جاده از طریق سیستم تعلیق و به وسیله شاسی به داخل اتاق خودرو منتقل می شود[۴]. صداهای تولید شده ایی که به دور موتور بستگی دارد شامل صدای موتور، سیستم انتقال قدرت و اگزوز می باشد و برخی موارد به سرعت خودرو مربوط می شود مانند صدای تایر و برخورد باد با بدنه خودرو می باشد[۵]. هنگامی که لازم است از حداکثر قدرت موتور استفاده نماییم، منبع اصلی تولید صدا سیستم موتور بوده و هنگامی که با سرعت زیاد در حال رانندگی هستیم صدای حاصل از برخورد نیروی باد با سطح بدنه منبع اصلی تولید صدا می باشد[۶].

همواره راننده میزان سطح صدایی بیشتری را در تمام محدوده های فرکانسی، نسبت به سایر سرنشینان مخصوصا سرنشینان عقب احساس می‌کند. به همین دلیل مهم ترین هدف کنترل صدا در محل قرارگیری راننده می باشد[۷]. به دلیل اینکه در سیستم موتور و سیستم انتقال قدرت اصلاحات فراوانی صورت گرفته است که در نتیجه آن باعث شده است صدای تولیدی این دو سیستم کاهش پیدا کند اما امروزه یکی از اصلی ترین منابع تولید صدا در اتاق خودرو، صدای برخورد باد با بدنه در سرعت و فرکانس های بالا نشأت می گیرد[۸]. عمدتا به دو روش می توان سروصدا را کنترل نمود. راه اول حذف یا کاهش منبع صدا و راه دوم استفاده از انواع ساختارهای مختلف برای ایجاد جاذب یا عایق صدا می باشد[۹]. در محیط هایی که صدای زیادی وجود دارد به منظور کاهش بازتاب امواج صوتی از روش بکار گیری مواد جاذب صدا استفاده می شود[۱۰]. جاذب صوت، صدا را به وسیله جذب نمودن کاهش می دهد، به طوری که مقداری یا تمام انرژی موج صدا را به گرما تبدیل می کند و یا اینکه موج صدا را از داخل ماده جاذب عبور می دهد بدون اینکه صدایی منعکس شود[۱۱].

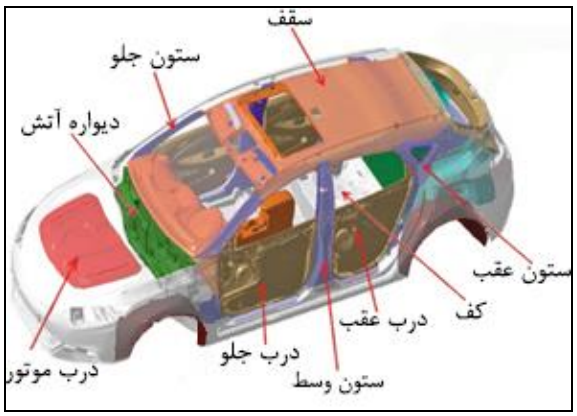
یکی از نقاطی که در سرعت بالا باعث ایجاد صدا می نماید، شیشه جلو و سقف می باشد که با کنترل صدا در این ناحیه میزان بسیار قابل توجهی از صدا داخل اتاق کاهش می یابد که می توان با استفاده از مواد ویسکوالاستیک با ضخامت ۱/۴ میلی متر در سقف حدود ۴/۳ دسی بل صدا را کاهش داد[۱۲]. در مورد صدای موتور می توان با استفاده از طرح پکیج صوتی چند لایه که از یک ماده متخلخل و یک صفحه میکروسوراخ تشکیل شده است در شرایط مختلف به ویژه در محدوده فرکانس های متوسط و بالا، صدای موتور خودرو را به میزان ۵ دسی بل در مقایسه با پکیج صوتی استاندارد همان خودرو کاهش داد[۱۳].

از دیگر روش های کاهش و کنترل صدا، می توان به عایق صدا اشاره نمود. عایق صدا به این معنا است که منبع تولید صدا توسط موادی از محیط شنیداری جدا شود. هنگامی که یک موج صوتی به سطح عایق برخورد می کند، بخشی از موج صوتی منعکس می شود و بخش دیگر آن به جسم نفوذ می کند. به مواد، ساختار و تکنیک‌های غیرفلزی که مربوط به کاهش صدا در خودرو می باشد را پکیج صوتی می نامند. وظیفه اصلی پکیج صوتی کاهش سطح صدایی است که از طریق بدنه خودرو به داخل اتاق نفوذ می کند[۱۴]. نمد ها جز مواد متخلخل می باشند که کاربرد فراوانی در خودروها به عنوان عایق صوتی دارد. با ترکیب نمد و لایه سنگین می توان به عایق صوتی بهتری دست پیدا کرد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دستگاه لوله امپدآنس و مدل SEA نتایج آن ها نشان می دهد که نمد به تنهایی به اندازه کافی عمل عایق صدا را انجام نمی دهد. اما ترکیب نمد با لایه سنگین افت انتقال صدا در حدود ۱۲ دسیبل در فرکانس های بالاتر از ۲۰۰۰ هرتز را در پی دارد[۱۵]. علاوه بر نمد، نانوالیاف ها نیز می توانند عایق صوتی خوبی باشند. در هنگام برخورد موج صدا با نانو الیاف ها به دلیل مساحت زیاد الیاف، اصطکاک و ویسکوزیته تا حد زیادی موجب اتلاف انرژی صدا می شود. برای کارایی بهتر معمولا نانو الیاف ها را با یک ماده متخلخل دیگر ترکیب می نمایند[۱۶]. در صورتی که متغییرهای مربوط به مواد متخلخل از جمله چگالی و مقاومت جریان و ضریب سازه که با فاز سیال ماده متخلخل در ارتباط است تغیر پیدا کند می تواند بر جذب و عایق امواج صوتی اثر بهتری داشته باشد[۱۷]. پژوهش های اخیر نشان می دهد که افزودن نانوالیاف به سایر پلیمرها می تواند تاثیر قابل توجهی در کاهش صوت داشته باشد. بنابراین به کارگیری نانوالیاف ها بعنوان کاهش دهنده صدا، می تواند گزینه مناسبی برای استفاده در صنایع مختلف باشد[۱۸].

باید توجه داشت که ایجاد تعادل بین عایق صدا و جذب صدا بسیار مهم می باشد. طراحی پکیج صوتی یک وسیله نقلیه مستلزم آگاهی از نوع خودرو، منابع اصلی تولید صدا در خودرو، مسیرهای انتقال صدا و ویژگی های مواد عایق موجود در بازار است. آزمایش های تجربی و محاسبات عددی به متخصصان اجازه می‌دهد تا یک فرآیند طراحی کاربردی برای بهینه سازی عایق ها صورت گیرد[۱۹].

در کشور ما یکی از معیارهای با کیفیت بودن خودرو، از نظر مصرف کنندگان میزان صدایی است به داخل اتاق خودرو نفوذ می نماید. در ایران، تا چند سال اخیر کارخانجات خودروسازی کمتر به موضوع نفوذ صدا به داخل اتاق و عایق کاری اهمیت داده می شد. با ورود خودرو از کشورهای نوظهور رقابت و مقایسه بین مصرف کنندگان خودرو شدت یافته و همین موضوع باعث شده است که اهمیت به موضوع آنالیز سطح صدا و عایق کاری خودرو بیشتر گردد، هرچند که مراکز علمی و تحقیقاتی کمتری برای بهبود عملکرد در این زمینه یافت می شود. از طرفی برای کارخانه های سازنده خودرو به روشنی واضح نیست که هر کدام از عایق های خودرو چه کارایی و تاثیر گذاری را در کاهش صدا از خود نشان می دهند. در امر بررسی تاثیر عایق های صدا خودرو و آنالیز سطح صدا بخصوص در حیطه آزمایشات تجربی، کمتر پژوهشی یافت می شود که بصورت گسترده تمام قسمت های یک خودرو را مورد بررسی و مطالعه قرار داده باشد. در بیشتر پژوهش ها به دلیل کم هزینه بودن و سریع انجام شدن از نرم افزارهای شبیه سازی استفاده می شود بطوری که عایق ها را طراحی نموده و نتایج تست آن ها را که توسط نرم افزار مورد انجام گرفته شده است در پژوهش ذکر می گردد. اما باید در نظر داشت که روش بررسی تجربی، خودرو در محیط و شرایط واقعی مورد مطالعه و آزمایش قرار می گیرد و نتایج آن قابل قبول تر و کاربردی تر خواهد بود. در این پژوهش برای بررسی آنالیز سطح صدا داخل اتاق خودرو، روش آزمایشات تجربی بکار گرفته شده است تا نتایج و راه حل های علمی به همراه کاربردی بودن را به نمایش گذاشت. همچنین در موضوع بکار گیری عایق آکوستیکی نانو پلی استر در خودرو پژوهش تجربی یافت نمی شود که تاثیر عایق کاری با این مواد را شرح دهد بنابراین همین امر باعث می شود که تاکید بر انجام این پژوهش را دو چندان نماید.

ساختار این پژوهش بدین ترتیب می باشد که در بخش ۲ ابتدا آزمایشات استاتیکی و دینامیکی برای حالت های با عایق استاندارد خودرو، بدون عایق استاندارد و جایگزینی عایق صورت می گیرد. در بخش ۳ مقادیر بدست آمده از عایق استاندارد را نسبت به دو حالت دیگر را تحلیل نموده و در بخش ۴ با بررسی تحلیل ها نتایج عملکرد عایق آکوستیکی نانو پلی استر بدست می آید.



شکل ۱. عایق های مورد نظر در این پژوهش(پنگ، ۲۰۱۹).

۲- بررسی آزمایشات تجربی

در این پژوهش از خودرو کیا ریو نسل اول که دارای گیربکس دستی و دریچه گاز مکانیکی از نوع کنترل با کابل (سیم گاز) بعنوان نمونه آزمایش انتخاب گریده و دستگاه اندازه گیری سطح صدا پرتابل به عنوان ابزار ثبت مقدار سطح فشار صدا داخل کابین خودرو مورد استفاده قرار گرفته و عایق در نظر گرفته شده برای جایگزینی با عایق های استاندارد خودرو از جنس نانو پلی استر می باشد. برای به حداقل رساندن خطاها در هنگام انجام پژوهش، تمامی بررسی ها و آزمایشات خودرو ۳ بار تکرار گردیده و سپس میانگین

فشار سطح صوت بر حسب دسیبل در وزن A محاسبه می شود. همچنین کلیه شرایط آزمایش نیز مانند دور آرام خودرو در حدود ۸۰۰ دور بر دقیقه، دمای موتور ۸۵ درجه سانتی گراد، نوع و مکان مسیر حرکت خودرو و طول زمان آزمایش و... تماما یکسان و بدون تغییر در نظر گرفته شده است. آزمایشات در نظر گرفته شده بطور کلی به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم بندی می شود. در آزمایش استاتیکی خودرو در حالت درجا و ساکن در دورهای مختلف موتور مورد بررسی قرار می گیرد، که خود شامل سه آزمایش در دور آرام موتور، دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و دور موتور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه می باشد. در بخش آزمایش دینامیکی، خودروی در حال حرکت با سرعت های مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرد که این آزمایش نیز شامل چهار آزمایش خودرو در دنده ۲ با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت، خودرو در دنده ۳ با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت، خودرو در دنده ۴ با سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت و خودرو در دنده ۵ با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۲-۱ آزمایش استاتیکی

ابتدا خودرو را با عایق های استانداردی که کارخانه خودروساز بر روی آن نصب نموده مورد آزمایش استاتیکی قرار می گیرد که در مرحله اول سطح صدا داخل اتاق در دور آرام، دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و دور موتور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه اندازه گیری می شود، مقادیر ثبت شده از این آزمایشات به عنوان مبنای مقایسه با سایر داده هایی که از آزمایشات بعدی بدست می آید، قرار می گیرد. مقادیر بدست آمده از این آزمایش در جدول (۱) شرح داده شده است.

جدول ۱. میزان سطح صدا داخل اتاق با عایق استاندارد

آزمایش استاتیکی	سطح صدا با عایق استاندارد (dB)
دور آرام	۴۳/۶
دور ۲۰۰۰ (r.p.m)	۵۱/۵
دور ۳۰۰۰ (r.p.m)	۶۱/۹

به دلیل اینکه در آزمایش استاتیکی بیشترین نفوذ صدا از سمت موتور به داخل کابین می باشد ، بنابراین عایق های موجود در محفظه موتور در این آزمایش مورد بررسی قرار می گیرد که شامل عایق درب موتور، عایق کاور موتور و عایق دیواره آتش می باشد. جنس عایق استاندارد دیواره آتش و درب موتور از نمده بوده که با پارچه نسوز پوشش داده شده است و عایق کاور موتور جنس آن از فوم آکوستیکی می باشد.

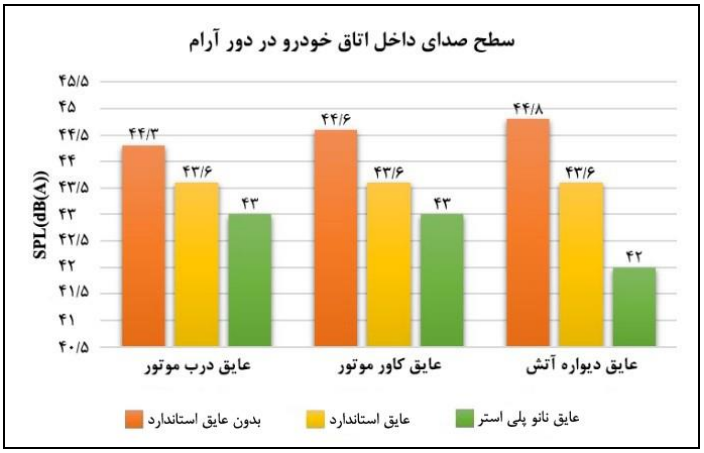
شکل ۲. عایق استاندارد دیواره آتش.

در مرحله بعدی آزمایش، عایق استاندارد هر نقطه از محفظه موتور جدا گردیده و پنل اصلی خودرو که از جنس ورق فولادی می باشد باقی مانده و آزمایشات استاتیکی تکرار می گردد که به ترتیب ابتدا عایق درب موتور، عایق کاور موتور، عایق دیواره آتش به از محل خود جدا گردیده و مقادیر بدست آمده از سطح صدای داخل اتاق برای هر کدام از قسمت های مذکور ثبت می گردد.

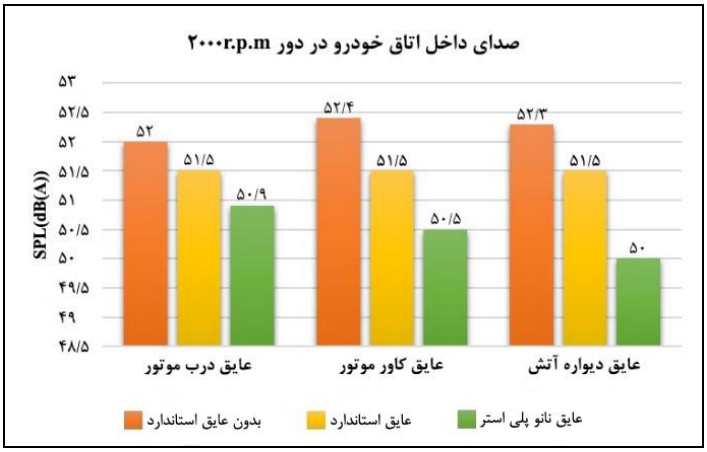
شکل ۳. دیواره آتش بدون عایق استاندارد.

در نهایت عایق های استاندارد در نقاط نام برده شده را با عایق آکوستیکی نانو پلی استر جایگزین می شوند. طبق الگو عایق های استاندارد هر نقطه، عایق آکوستیکی مورد نظر برش داده شده و به ترتیبی که ذکر شد بر روی خودرو نصب می گردند. سپس آزمایشات استاتیکی مجددا تکرار می گردد. شکل های (۵-۷) مقادیر بدست آمده از هر سه مرحله آزمایشات استاتیکی برای تمامی نقاط محفظه موتور را نمایش می دهد.

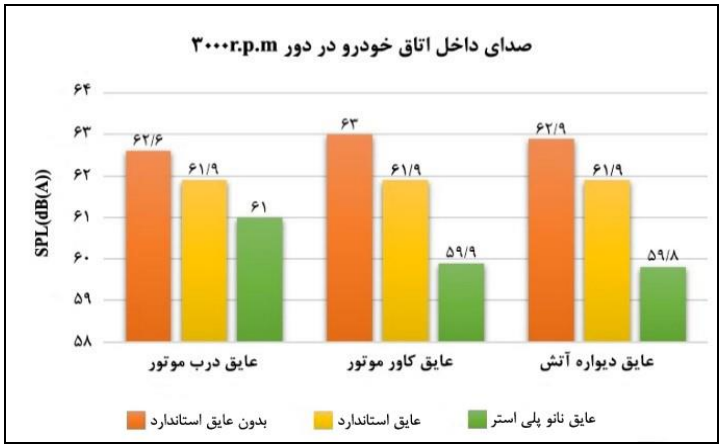
شکل ۴. جایگزینی عایق دیواره آتش با عایق نانو پلی استر.



شکل۵. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در دور آرام.



شکل۶. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در دور ۲۰۰۰r.p.m.



شکل۷. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در دور ۳۰۰۰r.p.m.

۲-۲ آزمایش دینامیکی

در این آزمایش نیز ابتدا خودرو توسط عایق های استانداردی که کارخانه سازنده خودرو بر روی آن نصب نموده مورد آزمایش دینامیکی قرار می گیرد. اهداف این آزمایش بررسی میزان سطح صدا داخل خودرو در سرعت های ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت می باشد. مقادیر بدست آمده از این آزمایشات به عنوان مبنا قرار داده می شود. موارد بدست آمده از این آزمایش در جدول (۲) ثبت گردیده است.

جدول ۲. میزان سطح صدا داخل اتاق با عایق استاندارد

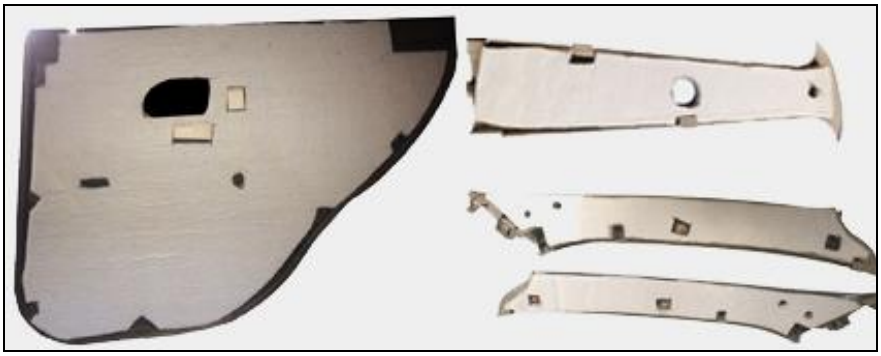
آزمایش دینامیکی	سطح صدا با عایق استاندارد (dB)
سرعت ۳۰ (Km/h) دنده ۲	۵۵/۶
سرعت ۵۰ (Km/h) دنده ۳	۵۹/۱
سرعت ۷۰ (Km/h) دنده ۴	۶۱/۱
سرعت ۱۰۰ (Km/h) دنده ۵	۶۵/۳

چون در آزمایش دینامیکی خودرو در حال حرکت بوده و صداهایی که از سمت جاده، تایر و سیستم تعلیق و صدای باد بیشتر از صدای موتور به داخل خودرو نفوذ می نماید، بنابراین عایق های موجود در داخل اتاق مورد ارزیابی قرار می گیرد که شامل پوشش سقف، کف پوش و پوشش تزئینات داخلی می باشد. منظور از پوشش تزئینات داخلی، پوشش درب ها، آینه های جانبی، ستون ها و

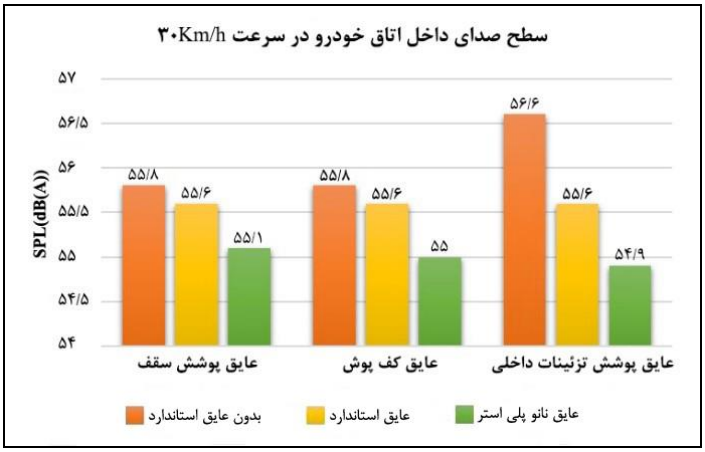
پارکاب ها است. پوشش سقف یک ساندویچ پنل می باشد که ساختار آن شامل سطح داخلی از جنس مقوا به همراه لایه نازکی از فویل آلومینیوم در وسط و سطح بیرونی آن با موکت پوشش داده شده است. ساختار کف پوش تشکیل شده از سطح بیرونی که توسط موکت تزئین شده و سطح داخلی آن در محلی که پای سرنشینان قرار می گیرد از نمد بازیافتی ساخته شده است. پوشش تزئینات داخلی اتاق خودرو فاقد هر گونه عایق بوده و جنس آن ها عمدتا از پلاستیک می باشد.

پس از مرحله آزمایشات عایق استاندارد، همانند آزمایش استاتیکی در این آزمایش نیز عایق های داخل اتاق خودرو به نوبت از محل های خود جدا نموده و آزمایشات دینامیکی تنها با وجود پنل فولادی مربوطه تکرار می گردد. با انجام آزمایشات دینامیکی بدون عایق استاندارد حال با استفاده از عایق آکوستیکی نانو پلی استر در محل خود به نوبت نصب می گردد و سپس آزمایشات دینامیکی مجددا تکرار می شود. مقادیر سطح صدای داخل کابین در تمامی آزمایشات دینامیکی در شکل های (۹-۱۲) نمایش داده شده است.

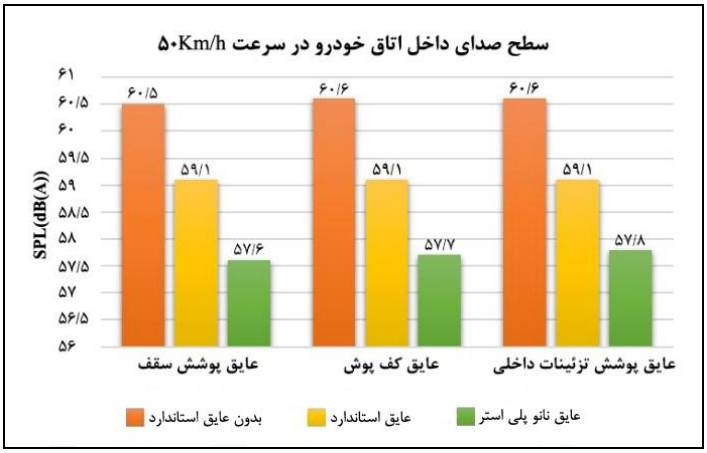
شکل ۸. جایگزینی عایق کف پوش با عایق نانو پلی استر.



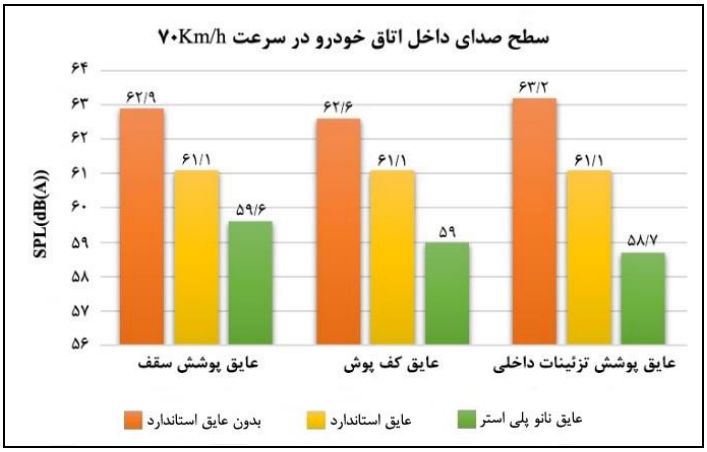
شکل ۸. عایق کاری تزئینات داخلی.



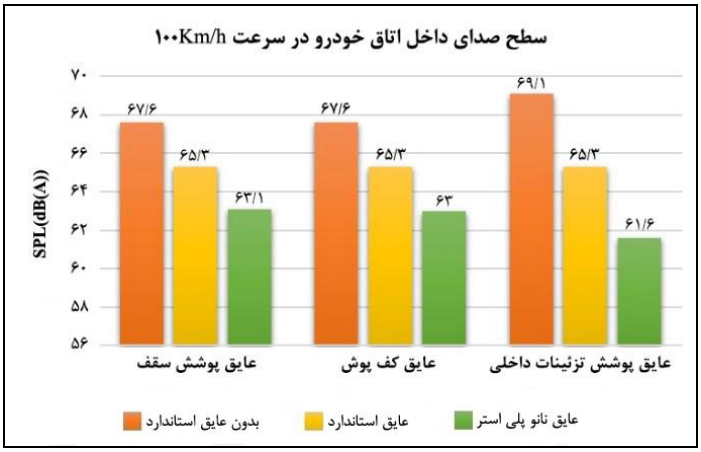
شکل۹. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در سرعت ۳۰Km/h.



شکل۱۰. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در سرعت ۵۰Km/h.



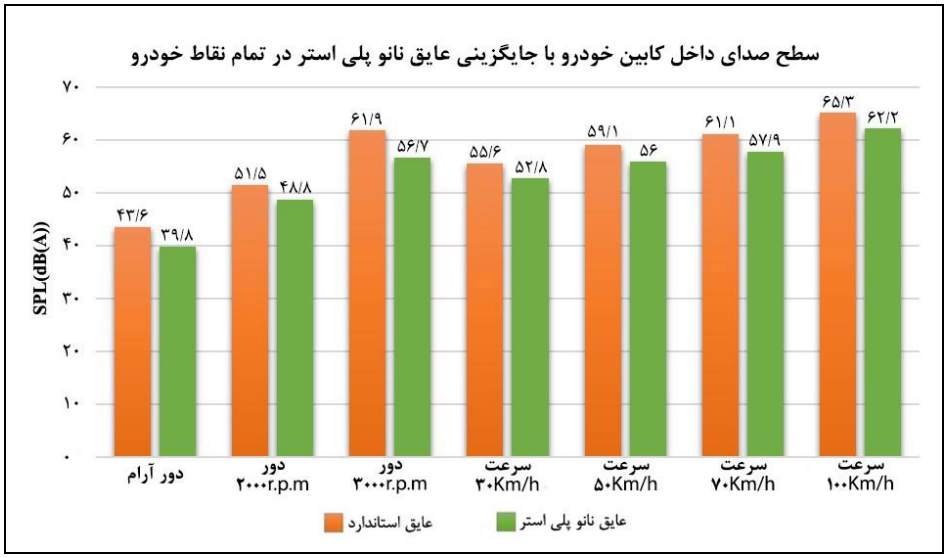
شکل۱۱. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در سرعت ۷۰Km/h.



شکل۱۲. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو در سرعت ۱۰۰Km/h.

۳-۲ جایگزینی کامل عایق خودرو

با انجام آزمایشات استاتیکی و دینامیکی برای هر ۳ مرحله از عایق های موجود در خودرو، حال تمامی عایق های نانو پلی استر در تمامی نقط خودرو یعنی محفظه موتور و داخل اتاق می گردد و خودرو بصورت کامل با عایق مذکور پوشش داده می شود و در نهایت آزمایشات استاتیکی و دینامیکی مجددا تکرار می گردد تا عملکرد کلی عایق آکوستیکی مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.



شکل۱۳. میزان سطح صدای داخل اتاق خودرو با عایق کاری کامل خودرو.

۳- جمع بندی

۳-۱ عایق استاندارد

با بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده مشخص می گردد که در دور موتورهای مختلف عایق استاندارد درب موتور بین ۰/۴ تا ۰/۷ دسیبل، عایق استاندارد کاور موتور ۰/۸ تا ۱/۱ دسیبل و عایق استاندارد دیواره آتش ۰/۸ تا ۱/۲ دسیبل صدای نفوذی از سمت موتور به داخل اتاق را نسبت به حالت بدون عایق استاندارد کاهش می دهد. در سرعت های مختلف خودرو پوشش استاندارد سقف بین ۰/۲ تا ۲/۳ دسیبل، پوشش استاندارد تزئینات داخلی ۱ تا ۳/۸ دسیبل و کف پوش استاندارد ۰/۱ تا ۲/۳ دسیبل نسبت به حالت بدون پوشش استاندارد صدای وارد شده از سمت جاده و باد را به داخل اتاق کاهش می دهد.

۳-۲ عایق نانو پلی استر

عایق آکوستیکی مورد استفاده در این پژوهش از جنس نانو پلی استر می باشد که ویژگی هایی از قبیل انعطاف پذیری و شکل پذیری، قابلیت برش دادن در هر اندازه ایی، ضد پوسیدگی، عدم ایجاد حساسیت تنفسی و قابل بازیافت بودن را دارا می باشد. این عایق خواص فیزیکی شامل ضخامت ۱۵ میلیمتر، وزن در هر متر مربع برابر ۱۴۰۰ گرم و چگالی ۶۶ کیلوگرم بر متر مکعب را دارا می باشد.

شکل ۱۴. عایق نانو پلی استر.

با تحلیل نتایج در زمانی که عایق های خودرو با عایق نانو پلی استر جایگزین شده اند ملاحظه می شود که در دورهای مختلف موتور، عایق درب موتور ۰/۶ تا ۰/۸ دسیبل، عایق کاور موتور ۰/۶ تا ۱/۹ دسیبل و عایق دیواره آتش ۱/۵ تا ۲ دسیبل نسبت به عایق استاندارد خودرو صدای وارد شده به اتاق خودرو را کاهش می دهند. در سرعت های مختلف، پوشش سقف ۰/۵ تا ۲/۱ دسیبل، عایق کاری تزئینات داخلی ۰/۷ تا ۳/۶ دسیبل و عایق کف پوش ۰/۶ تا ۲/۲ دسیبل نسبت به عایق استاندارد صدا را کاهش می دهد. در نهایت با بررسی نتایج بدست آمده در زمانی که عایق های خودرو بطور کامل با عایق نانو پلی استر جایگزین شده است، در آزمایشات استاتیکی بصورت میانگین عایق های داخل محفظه موتور ۳/۸ دسیبل و در آزمایشات دینامیکی بطور میانگین عایق های داخل اتاق خودرو ۳ دسیبل صدا را نسبت به عایق استاندارد می توانند کاهش دهند.

۴- نتیجه گیری

با توجه به تحلیل نتایج مشخص می گردد که جایگزین کردن عایق درب موتور با عایق نانو پلی استر تاثیری محسوسی در کاهش انتقال صدای موتور به داخل اتاق را ندارد. جایگزینی عایق کاور موتور تاثیر مطلوبی در کاهش انتشار صدای موتور را دارد بخصوص در دور های میانی و بالای موتور، زیرا این عایق مستقیما بر روی سطح درب سوپاپ موتور نصب می گردد. این عایق در بیشتر خودروهای تولید ایران بکار گرفته نمی شود. تغییر جنس عایق دیواره آتش به نانو پلی استر، به دلیل اینکه عایق مابین موتور و فضای اتاق قرار دارد عملکرد محسوسی در کاهش صدا بخصوص در دورهای بالای موتور را دارد. این عایق جز اصلی ترین و موثر ترین عایق های مورد استفاده در خودرو می باشد.

عایق پوشش سقف تاثیر مطلوبی بر کاهش صدای باد به داخل اتاق را دارد اما این موضوع کاملا با ساختار پوسته سقف ارتباط مستقمی دارد. هر چه پوسته سقف ساختار ضعیفی داشته باشد نیرو باد به راحتی پوسته سقف را به لرزش در آورده و صدای آن به داخل اتاق منتقل می شود، اما هر چه پوسته سقف ساختار مستحکم تری داشته باشد، در سرعت های بالا پوسته سقف لرزش کمتری خواهد داشت. جایگزینی کف پوش خودرو با عایق نانو پلی استر به دلیل اینکه کف خودرو سطح گسترده ایی دارد و با سیستم تعلیق و مستقیما با سطح جاده در ارتباط است، صدای جاده، لاستیک و صداهای حاصل از ضربات سیستم تعلیق بخصوص در سرعت های بالای ۷۰ کیلومتر بر ساعت را بطور محسوسی جذب می نماید. در بیشتر خودروها پوشش ستون ها و رکاب ها فاقد عایق بوده و در برخی از خودروها پوشش درب ها نیز فاقد عایق می باشند. با قرار دادن عایق قسمت های مذکور، تاثیر محسوسی بر کاهش صدا وارد شده به داخل اتاق را به همراه دارد. ستون ها، رکاب ها و بخصوص درب ها با ساختار دو پوسته تولید می شوند و مابین پوسته ها فضای خالی قابل توجهی وجود دارد که خود باعث ایجاد حفره آکوستیکی می شوند. این فضا خالی عاملی برای انتقال و همچنین تقویت صدا به داخل اتاق خودرو می باشد. بطور کلی مزایای استفاده از عایق آکوستیکی نانو پلی استر در خودرو را می توان به صورت موارد زیر بیان کرد: بطور میانگین کاهش صدای داخل کابین خودرو بین ۳ تا ۳/۸ دسیبل، افزایش آرامش و تمرکز سرنشینان و راننده

خودرو، کاهش خستگی سرنشینان و راننده در سفرهای طولانی، ایجاد دمای متعادل در کابین و هزینه تهیه این عایق نسبت به عایق های موجود در بازار که با عناوین عایق صدا خودرو به فروش می رسد، کمتر و بصرفه می باشد.

مراجع

1. S. D. Dhandole and S. V. Modak, "Review of Vibro-Acoustics analysis procedures for prediction of low frequency noise inside a Cavity", *Proceeding of Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, Orlando, Florida, US,(2007).
2. M. D. Rao, "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes", *Journal of Sound and Vibration* 262, 457-474 (2003).
3. E. T. Fernandez, "The Influence of Tyre Air Cavities on Vehicle Acoustics", Ph.D Thesis, KTH, Stockholm,Sweden, (2006).
4. A. Karimyan and S. Ebrahimi-Nejad, "Vibro-acoustic analysis of tire and rim finite element model coupled with fluid acoustic cavity", *Modares Mechanical Engineering* 17, 381-392 (2017).
5. Z. Mohamed, X. Wang, and R. Jazar, "Structural-acoustic coupling study of tire-cavity resonance", *Journal of Vibration and Control* 22, 513-529 (2016).
6. A. R. George, "Automobile Aerodynamic Noise", *SAE International*, (1990).
7. J. Marzbanrad, M. Hafezian, and M. Mozaffarikhah, "Automotive interior cabin noise analysis and optimization using SEA and RSM", *ISAE* 9, 2887-2894 (2019).
8. R. Buchheim, W. Dobrzynski, H. Mankau, and D. Schwabe, "Vehicle interior noise related to external aerodynamics", *International Journal of Vehicle Design* 3, 398-410 (1982).
9. G. Thilagavathi, S. NeelaKrishnan, N. Muthukumar, and S. Krishnan, "Investigations on sound absorption properties of luffa fibrous mats", *J. Nat. Fibers* 15, 445-451 (2018).
10. M. Aliabadi, R. Golmohammadi, and M. Mansoorizadeh, "Objective approach for analysis of noise source characteristics and acoustic conditions in noisy computerized embroidery workrooms", *Environmental Monitoring and Assessment* 186, 1855-1864 (2014).
11. T. Ulrich and J. Arenas, "Role of porosity on nanofibrous membrane sound absorption properties", *16th International Congress on Sound and Vibration* 2019).
12. J. Marzbanrad and M. AlahyariBeyg, "Vehicle Cabin Noise Simulation due to High-frequencies Stimulation", *ISAE* 2, 117-123 (2012).
13. S. H. Tabatabaei, S. MoradiHaghighi, A. Kiani, and K. Ghasemian, "A New Optimized Sound Package for the Vehicle Dash Panel", *ISAE* 11, 3626-3636 (2021).
14. J. Pang, *Noise and vibration control in automotive bodies*, John Wiley & Sons, China, 2019.
15. H. Salmani, A. Khalkhali, and A. Mohsenifar, "A practical procedure for vehicle sound package design using statistical energy analysis", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 0, 1-16 (2022).
16. L. Cao, Q. Fu, Y. Si, B. Ding, and J. Yu, "Porous materials for sound absorption", *Compos. Commun* 10, 25-35 (2018).
17. M. H. Shojaeefard, R. Talebitooti, R. Ahmadi, and B. Ranjbar, "Power sound transmission through double-walled laminated composite panel with intermediate porous layer considering different boundary conditions", *Modares Mechanical Engineering* 14, 11-21 (2014).
18. A. Ghajarieh, A. Talebian, and S. Habibi, "A review on application of nanofibers in sound insulation", *Proceeding of The 12th National Conference on Textile Engineering*, Yazd, Iran,(2020).
19. X. Wang, *Vehicle noise and vibration refinement*, Elsevier, Amsterdam, 2010.