

بررسی میزان آلودگی صوتی روسازی مرکب حاوی سرباره فولادی و مسی

زهرا نورزی^۱، محمدمهدی خیبری^{۲*}، زهره غفوری فرد^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

*۲- عضو هیئت علمی بخش خاک و راه، دانشکده عمران، دانشگاه یزد

۳- کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

* ایمیل نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

چکیده

امروزه آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین معضلات محیط زیستی به حساب می‌آید که آلودگی صوتی ناشی از حمل‌ونقل سهم قابل توجهی از آن را شامل می‌شود. از این رو در زمینه مهندسی راه ترابری، مسئله بررسی تأثیر نوع روسازی بر تولید و یا کاهش آلودگی صوتی حاصل از ترافیک بسیار حائز اهمیت است. بدین منظور این پژوهش باهدف بررسی آلودگی صوتی حاصل از تردد وسایل نقلیه بر روی روسازی مرکب حاوی سرباره فلزی و سرباره مسی انجام شد. در این پژوهش نمونه‌های آزمایشگاهی روسازی مرکب شامل بتن غلتکی و چپ سیل با درصد‌های مختلف سرباره فولادی و مسی، ۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ساخته شد و تحت آزمایش سنجش آلودگی صوتی تولید شده توسط پاندول انگلیسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش سرباره فولادی به میزان ۵۰ درصد در نمونه‌های بتنی حاوی دانه‌بندی چپ‌سیل درشت‌دانه و ریزدانه، عدد صدای روسازی به ترتیب ۷/۳ دسی‌بل و ۳/۲ دسی‌بل افزایش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های روسازی مرکب با چپ‌سیل درشت‌دانه و ریزدانه، با افزایش سرباره مسی به میزان ۵۰ درصد عدد صدای روسازی به ترتیب ۴/۲ دسی‌بل و ۲/۱ دسی‌بل افزایش می‌یابد. به‌طور کلی نوع دانه‌بندی و همچنین استفاده از سرباره‌های مسی و فولادی تأثیر بسزایی در افزایش صدا تولیدی داشته است.

کلمات کلیدی

آلودگی صوتی، روسازی تعمیر شده، روسازی مرکب، سرباره فولادی، سرباره مسی، حفظ محیط زیست.

۱- مقدمه

بالایی دارد (خواجه وند و همکاران، ۱۳۹۷). همان‌طور که اشاره شد، امروزه بررسی در خصوص تأثیر نوع رویه راه در تولید آلودگی صوتی یکی از دغدغه‌های مهندسان راه و ترابری است؛ چراکه کارشناسان معتقدند که از جمله مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های کاهش آلودگی صوتی ترافیک عبوری، کنترل در منبع تولیدی آن است. از این رو طراحی مناسب لایه سطحی جاده می‌تواند باعث ایجاد روسازی‌هایی شود که نه تنها از نظر راحتی و ایمنی رانندگی، بلکه از نظر کاهش صدا نیز بهتر هستند (Kamil & AlJameel, 2022). امینی و همکاران، ۱۴۰۰). بدین منظور در این زمینه مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. در این خصوص پژوهشی در سال ۲۰۱۳ تحت عنوان بررسی کاهش آلودگی صوتی روسازی بازسازی شده با استفاده از قیر دارای خرده لاستیک توسط پاژه و همکارانش انجام گرفت. در این پژوهش ارزیابی عملکرد میدانی یک مخلوط حاوی قیر دارای خرده‌شیشه انجام شد و خصوصیات میدان صوتی، در سرعت‌های مختلف، اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از قیر اصلاح‌شده با خرده لاستیک، آلودگی صوتی منتشرشده از تعامل تایر/روسازی را کاهش می‌دهد (Paje et al., 2013). همچنین مطالعات تیان و همکاران بر روی روسازی بتن متخلخل مختلف با حداکثر اندازه‌های مختلف سنگ‌دانه، دانه‌بندی و ضخامت لایه متفاوت نشان می‌دهند که روسازی بتن متخلخل به‌طور قابل توجهی صدای تولیدشده از روسازی تایر را بین ۴ تا ۸ دسی‌بل کاهش می‌دهد (Tian et al., 2014). جاسینا و همکاران در پژوهشی با تأکید بر اینکه سروصدای حاصل از ترافیک یکی از جدی‌ترین نگرانی‌ها برای مسائل مربوط به کیفیت محیطی در بسیاری از جوامع شهری در سراسر جهان است، به بررسی کاهش آلودگی صوتی توسط رویه مخلوط‌های قیری

آلودگی صوتی که به‌عنوان یک صدای ناخواسته تعریف می‌شود، یکی از معیارهای مهم برای تعیین کیفیت زندگی شهری و رفاه اجتماعی محسوب می‌شود و این در حالی است که امروزه این آلودگی یکی از آلودگی‌های مهم و رو به رشد شهرها، مخصوصاً شهرهای بزرگ است که زندگی شهروندان و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pahlevan et al., 2021); جهانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸). سروصدای ترافیک جاده، امروزه یکی از عوامل اصلی آلودگی صوتی در مناطق شهری و مهم‌ترین مشکل زیست‌محیطی جوامع است (Jacyna et al., 2017)؛ یزدانی و همکاران، ۱۴۰۰). حدود ۴۰٪ از جمعیت در کشورهای پیشرفته در معرض سطح بالای سروصدای جاده‌ای هستند که سلامت انسان را تهدید می‌کند (Beckenbauer, 2013). کنترل آلودگی صوتی حاصل از حمل‌ونقل یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسان راه و ترابری و دوستداران محیط‌زیست است؛ چراکه مطالعات نشان داده‌اند که آلودگی صوتی حمل‌ونقل باعث افزایش سطح هورمون استرس، کاهش کیفیت خواب و خطر ابتلا به بیماری قلبی عروقی و مرگومیر می‌شود. به گفته سازمان جهانی بهداشت، سالانه بیش از ۱/۶ میلیون سال زندگی سالم به دلیل سروصدای ناشی از ترافیک در اروپای غربی از دست می‌رود (Münzel et al., 2021).

۲- پیشینه تحقیق

رشد جمعیت و در پی آن افزایش حمل‌ونقل در کلان‌شهرهای کشور مشکلات زیادی از جمله آلودگی هوا، آلودگی صوتی و دیگر آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی دارد. در بین آلودگی‌های زیست‌محیطی، آلودگی صوتی به علت دارا بودن اثرات سو جسمی و روانی بر افراد جامعه اهمیت

اصطکاک و افزایش ۶ درصدی آلودگی صدا در اثر حرکت وسایل نقلیه شود. در مقایسه (آسفالت مرطوب و خشک)، مقاومت لغزشی آسفالت مرطوب ۶ درصد کاهش، و میزان صدای (روسازی/لاستیک) در آسفالت مرطوب نسبت به آسفالت خشک، با میانگین ۱۰ دسی بل افزایش یافته است. سنگ‌دانه‌های سوزنی در افزایش ۱۵ درصدی مقاومت لغزشی نسبت به سنگ‌دانه‌های پولکی، حساسیت بیشتری در آزمایش‌ها نشان دادند و سنگ‌دانه‌های پولکی و سوزنی در میزان صدای روسازی/لاستیک بی‌تأثیر (کمتر از ۵ درصد) واقع شدند (خواجه وند و همکاران، ۱۳۹۷). از دیگر روسازی‌های مورد استفاده در بحث راه‌سازی، آسفالت متخلخل است که خاصیت کاهش آلودگی صوتی آن معروف است تا جایی که از این روسازی به‌عنوان روسازی جاذب صدا و رطوبت یاد می‌شود (خیبری و همکاران، ۱۴۰۰). چراکه وجود درصد فضای خالی در این نوع آسفالت باعث می‌گردد که صدای تولید شده ناشی از تماس چرخ با روسازی و صدای موتور پس از برخورد با رویه آسفالت متخلخل به دلیل وجود ساختار باز و منافذ هوا، منعکس نشود؛ بلکه مقداری از آن جذب شود. این در حالی است که در آسفالت معمولی به دلیل ساختار متراکم و بسته آن، کل انرژی صوتی تولید شده پس از برخورد با آن تقریباً منعکس می‌گردد (Alber et al., 2018). در این زمینه چو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ ویژگی‌های جذب صدا توسط روسازی آسفالت متخلخل را به روش آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی چهار نوع آسفالت متخلخل با مقادیر مختلف درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی (۱۲٪، ۱۶٪، ۲۰٪ و ۲۵٪) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هرچه درصد فضای خالی آسفالت متخلخل بیشتر باشد، میزان کاهش آلودگی صوتی نیز بیشتر است و مسدود شدن منافذ در مخلوط آسفالت متخلخل منجر به کاهش قابل توجهی در ضرایب جذب صدا و کاهش آلودگی صوتی توسط روسازی می‌شود. همچنین نتایج بیانگر این است که به‌طور متوسط آسفالت متخلخل می‌تواند تا ۲۳ تا ۳۳ درصد آلودگی صوتی حاصل از ترافیک را کاهش دهد (Chu et al., 2017). به‌طور کلی امروزه روسازی آسفالت متخلخل (PAP^۵)، روسازی آسفالت لاستیکی (RAP^۶)، مسیر سایشی بسیار نازک (UTWC^۵)، سطح جاده الاستیک متخلخل (PERS^۶)، روسازی آسفالتی ماستیک سنگی (SMAP^۷) به‌عنوان آسفالت آرام شناخته می‌شوند که قابلیت کاهش آلودگی صوتی ناشی از ترافیک را دارند (Ling et al., 2021). همان‌طور که اشاره شد در خصوص تأثیر روسازی در تولید آلودگی صوتی حاصل از ترافیک تحقیقات متعددی انجام گرفته است اما هیچ‌کدام آن‌ها به بررسی آلودگی صوتی تولید شده در روسازی مرکب نپرداخته‌اند. از این‌رو هدف این تحقیق بررسی آلودگی صوتی تولید شده توسط روسازی مرکب حاوی سرباره فلزی و مسی، به روش آزمایشگاهی است.

۳- روش تحقیق

همان‌طور که اشاره شد، هدف این پژوهش بررسی آلودگی صوتی حاصل از تردد وسایل نقلیه بر روی روسازی مرکب حاوی سرباره فلزی

ساخته شده از آسفالت لاستیکی می‌پردازند. در این پژوهش داده‌ها در هر دو بخش و در قسمت‌های ساخته شده از آسفالت معمولی و آسفالت لاستیکی مقایسه می‌شوند و اثر لایه‌های آسفالت لاستیکی در کاهش آلودگی صوتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که لایه‌های آسفالت لاستیکی یک سطح ایمن، مقرون به صرفه و مناسب برای محیط زیست و گزینه‌ای سازگار با محیط زیست ارائه می‌دهند و نه تنها باعث کاهش تولید صدا می‌شود، بلکه روسازی‌های بادوام‌تری را نیز ایجاد می‌کند (Mavridou & Kehagia, 2017). وازکز و همکاران نیز در پژوهشی به بررسی ویژگی‌های سطحی روسازی CIR^۱ از جمله خاصیت کاهش آلودگی صوتی آن، به روش میدانی، پرداختند. ارزیابی میدانی بخش تجربی پس از دو ماه پخت و قبل از پوشش با مخلوط قیری داغ انجام شد. نتایج این پژوهش بیانگر این است که این نوع روسازی از آنجا که دوستدار محیط زیست است و آلودگی صوتی حاصل از ترافیک را کاهش می‌دهد؛ بنابراین می‌توان در مواردی جایگزین مناسبی برای روسازی آسفالت معمولی باشد (Vázquez et al., 2018). کوسیس و همکارانش نیز با بیان اینکه مصالح شهری مرسوم به تشدید آلودگی صوتی شهری کمک می‌کنند و باعث ایجاد جزیره نویز شهری (UNI) می‌شود؛ یک رزین روسازی مبتنی از طریق تجزیه و تحلیل چند فیزیکی، همراه با چهار چسب ابتکاری ساخته شده با روغن‌های زیستی زباله، مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد، بهره‌برداری از روغن‌های زیستی در روسازی را می‌توان به‌عنوان راه حل سبز امیدوارکننده برای کاهش UNI در نظر گرفت (Kousis et al., 2020). علاوه بر این‌ها ژانگ و همکارانش به منظور کنترل مؤثر صدای روسازی تایلر در تونل‌های طولانی آزادراه مطالعه‌ای باهدف تعیین بافت مناسب روسازی کم‌صدا انجام دادند. شاخص‌های اصلی ارزیابی شده در این تحقیق شامل پارامترهای بافت، سطح فشار صوتی، ضریب نیروی اصطکاک جانبی و هزینه واحد واقعی ساخت است. برای بررسی صدای تولید شده، سیگنال‌های صوتی در رابط تایلر-روسازی توسط سیستم OBSI بدون تأثیر سایر منابع نزدیک شناسایی شده، سپس توسط سیستم Dewesoft به دست می‌آیند و برای پردازش پس از پلت فرم نرم‌افزار Coinv DESPET به رایانه لپ‌تاپ ارسال می‌شوند. این مطالعه نشان داد که صدای روسازی تایلر در داخل تونل حدود ۲۰ دسی بل بیشتر از مقاطع معمولی خارجی است، چه روسازی آسفالتی باشد، چه روسازی سیمانی. علاوه بر این، یک یافته دیگر این پژوهش این است که هیچ ارتباط مستقیمی بین صدای روسازی تایلر و ضریب نیروی اصطکاک جانبی وجود ندارد. این بدان معنی است که می‌توان بافت روسازی آرام‌تری را بدون کاهش مقاومت در برابر لغزش به دست آورد (Zhang et al., 2020). همچنین امینی و همکاران در پژوهشی به بررسی آلودگی صوتی ناشی از تردد وسایل نقلیه و مقاومت لغزشی سطح جاده، با اصلاح شکل و دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روسازی‌هایی با درصد درشت‌دانه بیشتر در دانه‌بندی، می‌تواند باعث افزایش ۳۲ درصدی

^۵ Ultra-Thin Wearing Course

^۶ Porous Elastic Road Surface

^۷ Stone Mastic Asphalt Pavement

^۱ Cold-In place-recycled

^۲ Urban Noise Island

^۳ Porous Asphalt Pavement

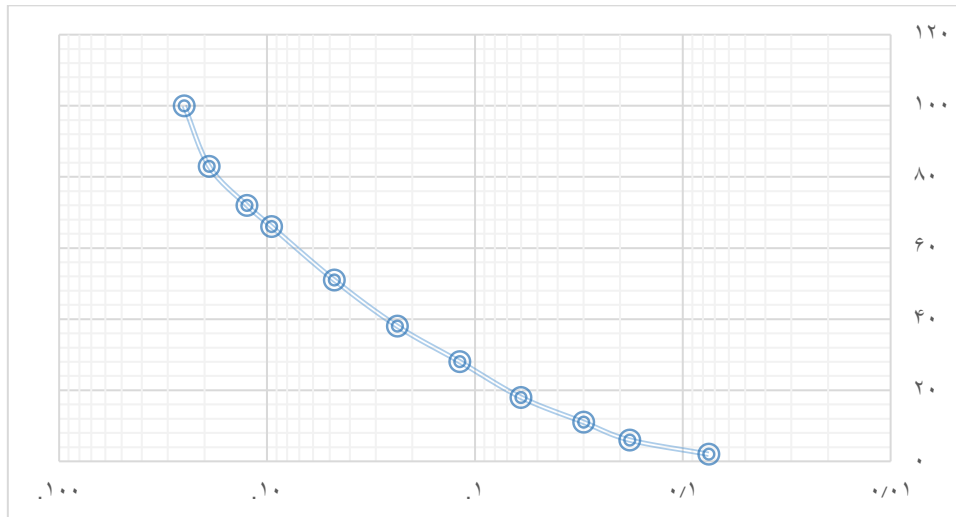
^۴ Rubber Asphalt Pavement

پژوهش‌های پیشین در نظر گرفته شد (بردیونس، ۱۳۹۵). بر اساس استاندارد ASTM D1557 نمونه‌های بتن غلتکی، توسط روش تراکم خاکی در قالب استاندارد ۱۰ سانتی‌متر با ارتفاع ۵ سانتی‌متر ساخته شد. برای تراکم، هر نمونه در ۵ لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه توسط چکش مارشال که همانند کوبه ۱۰ پوندی از ارتفاع ۱۸ اینچی رها شده و انرژی معادل ۲۷۰۰ کیلو نیوتن متر بر مترمکعب ایجاد می‌کند، ساخته شد (شکل ۲).

و سرباره مسی است. روسازی مرکب مورد بررسی در این پژوهش شامل بتن غلتکی و چپ سیل است که در ادامه مفصلاً به شرح ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و آزمایش انجام شده اشاره می‌شود.

۳-۱- ساخت نمونه آزمایشگاهی

در این پژوهش ابتدا نمونه‌های بتن غلطی با استفاده از مصالح سنگی (مطابق دانه‌بندی شکل ۱ بر اساس نشریه ۳۵۴)، سیمان و آب ساخته شد. مقدار سیمان این تحقیق برابر ۳۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب یا ۱۴ درصد وزنی مصالح و مقدار رطوبت بهینه ۶ درصد بر اساس



شکل ۱- دانه‌بندی مورد استفاده در ساخت نمونه بتنی



(ب)



(الف)

شکل ۲- الف- ساخت مخلوط نمونه بتنی ب- تراکم کردن نمونه بتنی با استفاده از صفحه فلزی و چکش مارشال



(ب)



(الف)

شکل ۳- الف- سرباره فولادی ب- سرباره مسی

در ادامه برای ساخت لایه آسفالتی (چیپسیل) روسازی مرکب از سنگدانه شکسته آهکی (با دانه بندی ارائه شده در شکل ۳)، قیر (۲) و سرباره مسی (شکل ۳-ب و جدول ۳) استفاده شد. امولسیون CRS-1 (جدول ۱)، سرباره فولادی (شکل ۳-الف و جدول

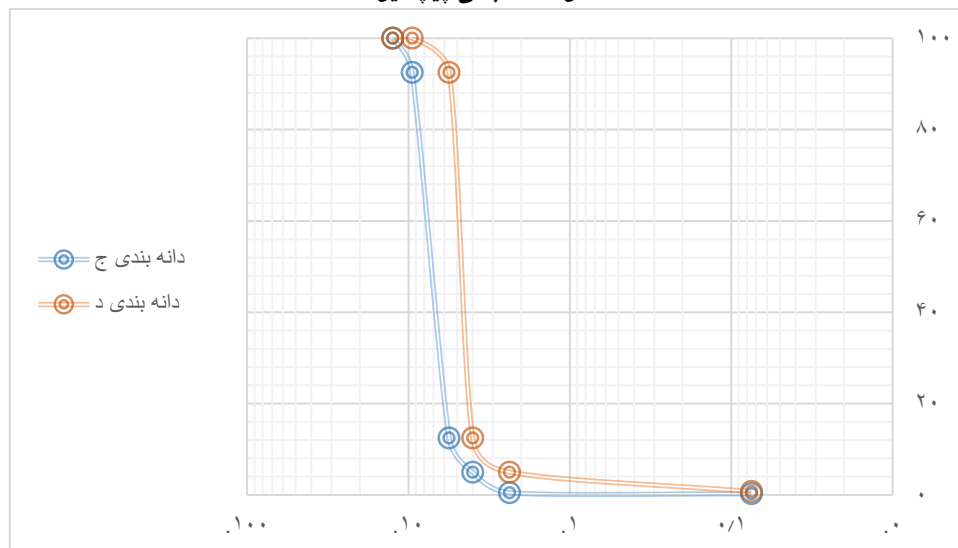
جدول ۱- مشخصات سرباره فولادی

مقدار	مشخصه
مشخصات فیزیکی	
۳/۳۱ - ۳/۵۶	وزن مخصوص (gr/cm^3)
۲۹/۵	سایش لس آنجلس (%)
۰/۲ - ۰/۵	افت در محصول سولفات سدیم (%)
۶۵/۸	هم‌ارز ماسه‌ای (%)
۹۰	شکستگی در دو وجه (%)
مشخصات شیمیایی	
٪۲۴	Fe ₂ O ₃
٪۱۶	SiO ₂
۳/٪۸	Al ₂ O ₃
۲۱/٪۲	Mgo
٪۳۵	Cao

جدول ۲- مشخصات سرباره مسی

اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی
MgO	2/1	Al ₂ O ₃	5	SiO ₂	33/29	P ₂ O ₅	۱/۰۷	SO ₃	/11
Cl	/02	K ₂ O	/79	CaO	3	TiO ₂	/۲۷	Cr ₂ O ₃	/17
Fe ₂ O ₃	50/5	CuO	2/2	ZnO	/5	MoO ₃	۱/۰۶	BaO	/26
PbO	/16	L.O.I	1/5						

شکل ۴- دانه بندی چیپسیل



سنگدانه مورد نیاز برای دانه بندی نوع ج برابر ۱۴ کیلوگرم بر مترمربع و مقدار سنگدانه مورد نیاز برای دانه بندی نوع د برابر ۱۰/۹ کیلوگرم بر

در خصوص دانه بندی از حد وسط دانه بندی ج و د برای چیپسیل طبق نشریه ۲۳۴ استفاده شد. بر اساس طرح اختلاط آیین نامه ۲۳۴ مقدار

الک $\frac{1}{3}$ اینچ (۶/۳) میلی‌متر در دانه‌بندی نوع ج چپ‌سیل و ۳۰٪ و ۴۰٪ و ۵۰٪ از مصالح مانده روی الک نمره ۴ در دانه‌بندی نوع د چپ‌سیل، با سرباره فولادی و سرباره مسی جایگزین گردید. شکل ۵ نمونه‌ای از نمونه‌های آسفالت مرکب ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

مترمربع به دست می‌آید. همچنین مقدار قیر موردنیاز برای سنگ‌دانه نوع ج برابر $1/69 \text{ lit/m}^2$ برای نمونه‌های بدون سرباره و $1/89 \text{ lit/m}^2$ برای نمونه‌های حاوی سرباره و برای سنگ‌دانه نوع د برابر $1/276 \text{ lit/m}^2$ و $1/48 \text{ lit/m}^2$ به ترتیب برای نمونه‌های بدون سرباره و با سرباره به دست آمد. به‌منظور جایگزین کردن مصالح سنگی با سرباره فولادی و مسی، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ از مصالح مانده روی



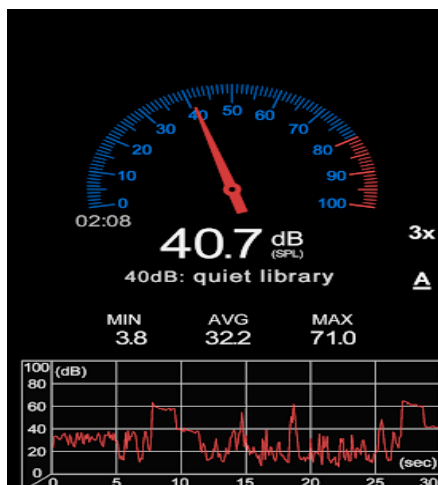
شکل ۵- چپ‌سیل اجراشده حاوی سرباره فولادی با دانه‌بندی نوع د بر روی نمونه بتنی

عبور پاندول از هر نمونه، صدای پاندول با استفاده از اپلیکیشن صوت سنج تلفن همراه ثبت شد. اطلاعات اپلیکیشن صوت سنج در جدول ۳ آورده شده است (شکل ۶ (Smit et al., 2016)).

۲-۳- آزمایش بررسی آلودگی صوتی تولیدشده به کمک پاندول انگلیسی
برای سنجش کاهش صوت از دستگاه پاندول انگلیسی و اپلیکیشن صوت سنج Db meter استفاده شد. در این آزمایش، هم‌زمان با

جدول ۳- مشخصات و تنظیمات اپلیکیشن صوت سنج تلفن همراه

تلفن همراه	نوع دستگاه
Db meter	نام اپلیکیشن
۰ سانتی‌متر	متوسط ارتفاع تلفن همراه تا کفشک پاندول
۵۰ سانتی‌متر	متوسط فاصله تلفن همراه از کفشک پاندول
A	شبهه توزین فرکانس
Fast	سرعت پاسخ دستگاه



(ب)



(الف)

شکل ۶-الف-آزمایش سنجش آلودگی صوتی به کمک پاندول انگلیسی ب-نمایی از اپلیکیشن صوت سنج Db meter

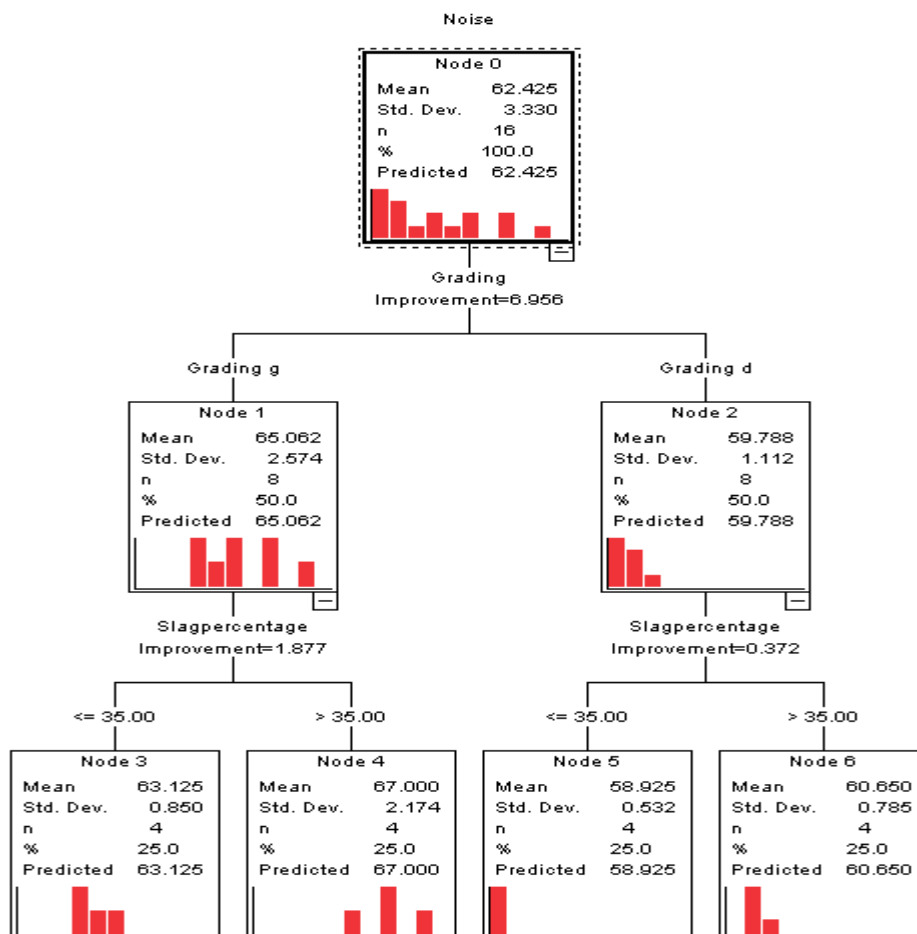
۴- نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد برای بررسی خاصیت کاهش آلودگی صوتی روسازی مرکب، شامل بتن گلتکی و چپ‌سیل، از آزمایش سنجش کاهش آلودگی صوتی با پاندول انگلیسی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. درخت تصمیم نتایج نیز در شکل ۷ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۴، در نمونه‌های ساخته شده با دانه‌بندی ج شامل نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف سرباره‌های فولادی و مسی با افزایش میزان سرباره، مقدار صدای تولیدی نیز بیشتر شده است. در نمونه‌های ساخته شده با دانه‌بندی د شامل نمونه‌های ساخته شده از سرباره‌های فولادی و مسی، با افزایش میزان

سرباره‌ها مقدار صدای تولیدی نیز بیشتر شده است. با توجه به شکل ۷ و با مقایسه نظیر به نظیر اعداد حاصله کاملاً مشخص است که نوع دانه‌بندی در میزان صدای تولیدی تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته و دانه‌بندی "د" نسبت به دانه‌بندی "ج" در کاهش صدای تولیدی نقش مهمی داشته است. به‌طور کلی نوع دانه‌بندی و همچنین استفاده از سرباره‌های مسی و فولادی تأثیر بسزایی در افزایش نویز (صدا) تولیدی داشته است و علت آن را می‌توان بافت زبر و متخلخل سرباره‌های مسی و فولادی نسبت به سنگ‌دانه‌های آهکی دانست که با نتایج پژوهش‌های قبلی مطابقت دارد (Ding & Wang, 2019; غفوری فرد، ۱۴۰۰).

جدول ۴- میزان صدای تولیدی (LAeq) برحسب دسی‌بل (db) در هنگام انجام آزمایش پاندول

LAeq محیط = ۴۲ دسی‌بل				Lmax محیط = ۴۷ دسی‌بل	
۵۰	۴۰	۳۰	۰	درصد	نوع دانه‌بندی
۶۹/۸	۶۷	۶۴/۳	۶۲/۵	فولادی	"ج"
۶۶/۷	۶۴/۵	۶۳/۲	۶۲/۵	مسی	
۶۱/۷	۶۰/۵	۵۹/۶	۵۸/۵	فولادی	"د"
۶۰/۶	۵۹/۸	۵۹/۱	۵۸/۵	مسی	



شکل ۷- درخت تصمیم نتایج آزمایش سنجش کاهش آلودگی صوتی به کمک پاندول انگلیسی

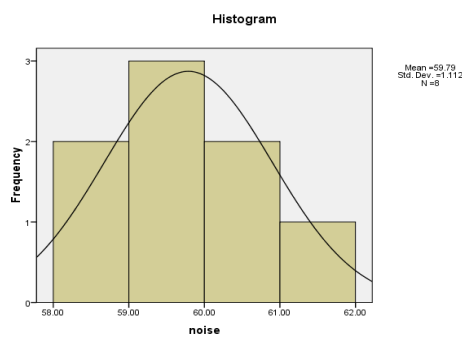
۴- بررسی معنادار بودن اختلاف عدد صوت در اثر متفاوت بودن نوع دانه‌بندی برای سرباره مسی در جدول ۵، نرمال بودن داده‌ها موردبررسی قرار گرفته است و در شکل ۸ نیز نمودار هیستوگرام با نمایش منحنی نرمال نمایش می‌دهد. از آنجایی که میزان چولگی^۸ و کشیدگی^۹ داده‌ها در بازه (۲، -۲) قرار دارد، داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.

جدول ۵- مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها

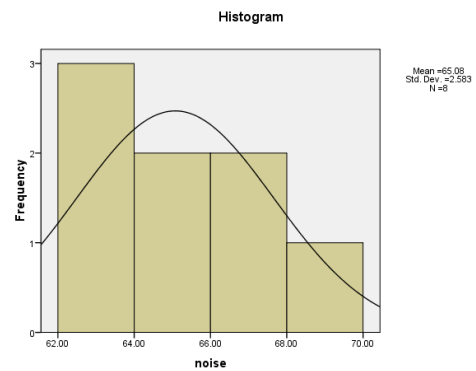
حالات	چولگی	کشیدگی
حالت ۱	۰/۸۴۴	-۰/۱۱۳
حالت ۲	۰/۴۵۷	-۰/۴۵۵
حالت ۳	۰/۷۸۶	-۰/۲۴۳
حالت ۴	۰/۳۶۹	-۰/۷

همچنین برای بررسی هرچه دقیق‌تر اثر دانه‌بندی و نوع و میزان سرباره آزمون آماری T به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS موردبررسی قرار گرفت و سپس آزمون T برای بررسی معنادار بودن اختلاف آلودگی صوتی ایجادشده در حالات مختلف به‌کاربرده شد. حالات در نظر گرفته‌شده برای آزمون آماری به شرح زیر است:

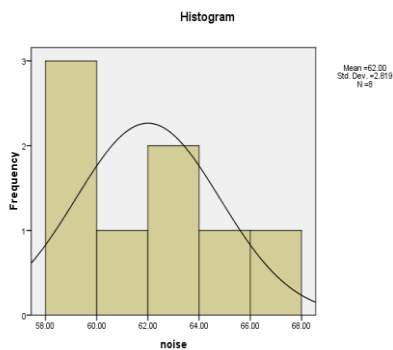
- ۱- بررسی معنادار بودن اختلاف عدد صوت در اثر متفاوت بودن نوع سرباره برای دانه‌بندی ج
- ۲- بررسی معنادار بودن اختلاف عدد صوت در اثر متفاوت بودن سرباره برای دانه‌بندی د
- ۳- بررسی معنادار بودن اختلاف عدد صوت در اثر متفاوت بودن نوع دانه‌بندی برای سرباره فولادی



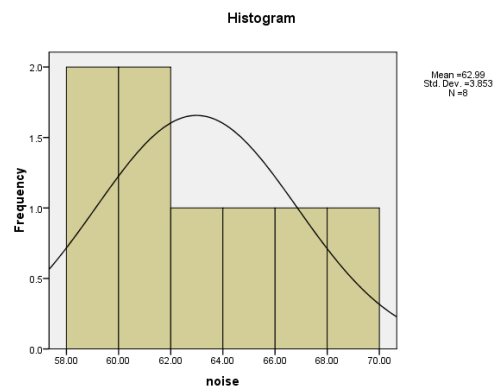
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸- نمودار هیستوگرامی با نمایش منحنی نرمال الف-حالت ۱ ب-حالت ۲ ج-حالت ۳ د-حالت ۴

Differences - خطای استاندارد برای اختلاف بین دو متغیر و ۹۵% Confidence Interval of the Differences - دامنه ۹۵% بیشترین و کمترین فاصله ۹۵% اطمینان برای اختلاف بین دو متغیر است.

^۹ Kurtosis

در جداول ۶ الی ۹ نیز نتایج آزمون T به نمایش گذاشته‌شده است. در این جداول مقدار T، df درجه آزادی، Sig. (2-tailed) سطح معناداری آزمون T مستقل در تحلیل‌های دو دنباله‌ای، Mean Differences اختلاف میانگین بین دو متغیر، Error

^۸ Skewness

جدول ۶- نتایج آزمون T برای حالت ۱

noise	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	۱/۷۲۲	۰/۲۳۷	۰/۸۹۰	۶	۰/۴۰۸	۱/۶۵	۱/۸۵۴۵	-۲/۸۸۷۸	۶/۱۸۷۸
Equal variances not assumed			۰/۸۹۰	۴/۸۷۶	۰/۴۱۵	۱/۶۵	۱/۸۵۴۵	-۳/۱۵۳۷۱	۶/۴۵۳۷۱

جدول ۷- نتایج آزمون T برای حالت

noise	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	۰/۶۹۵	۰/۴۳۷	۰/۷۰۵	۶	۰/۵۰۷	۰/۵۷۵۰۰	۰/۸۱۵۸۶	-۱/۴۲۱۳۳	۲/۵۷۱۳۳
Equal variances not assumed			۰/۷۰۵	۵/۲۳۹	۰/۵۱۱	۰/۵۷۵۰۰	۰/۸۱۵۸۶	-۱/۴۹۴۹۲	۲/۶۴۴۹۲

جدول ۸- نتایج آزمون T برای حالت ۳

noise	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	۳/۸۰۳	۰/۰۹۹	۳/۳۶	۶	۰/۰۱۵	۵/۸۲۵	۱/۷۳۳۶۷	۱/۵۸۲۸۵	۱۰/۰۶۷۱۵
Equal variances not assumed			۳/۳۶	۴/۰۵۲	۰/۰۲۸	۵/۸۲۵	۱/۷۳۳۶۷	۱/۰۳۵۵۹	۱۰/۶۱۴۴۱

جدول ۹- نتایج آزمون T برای حالت ۴

noise	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.۰/۴۱۳	.۰/۵۴۴	۳/۸۵۲	۶	.۰/۰۰۸	۴/۴۵	۱/۱۵۵۲۴	۱/۶۲۳۲۳	۷/۲۷۶۷۷
Equal variances not assumed			۳/۸۵۲	۵/۵۷۲	.۰/۰۱۰	۴/۴۵	۱/۱۵۵۲۴	۱/۵۶۹۷۱	۷/۳۳۰۲۹

پارامتر در تولید صدا جاده، دانه‌بندی رویه راه است و نوع سرباره تأثیر چندانی نداشته است.

- به دلیل بافت زبرتر سرباره‌های فولادی نسبت به سرباره‌های مسی، تأثیر سرباره‌های فولادی در افزایش صدای روسازی بیشتر از سرباره‌های مسی است.
- نوع دانه‌بندی در میزان صدای تولیدی تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است؛ دانه‌بندی "د" نسبت به دانه‌بندی "ج" در کاهش صدای تولیدی نقش مهمی داشته است.
- همچنین عدد صدای روسازی در چپ‌سیل درشت‌دانه به دلیل تیزگوشه تر بودن سنگ‌دانه‌ها بیشتر از چپ‌سیل ریزدانه است.

۶- سپاسگزاری

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول تحت راهنمایی نویسنده دوم که با همت نویسنده سوم تدوین و تکمیل شده، مستخرج گردید، که در فرآیند تحقیق از حمایت پژوهشکده فناوری‌های معدن کاری دانشگاه یزد نیز برخوردار گردید، که بدینوسیله از این مجموعه سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

از آنجاکه فقط برای حالات ۳ و ۴ میزان Sig. (2-tailed) کمتر از ۰,۰۵ است؛ مقدار اختلاف تولید صدا معنادار است؛ به عبارتی مهم‌ترین

۵- نتیجه‌گیری

از آنجاکه امروزه سروصدای حاصل از ترافیکی یکی از عوامل مهم در ایجاد آلودگی صوتی شناخته شده است؛ مطالعه در خصوص پتانسیل تولید آلودگی صوتی روسازی بسیار حائز اهمیت است. از این رو هدف این پژوهش بررسی میزان آلودگی صوتی تولیدشده توسط روسازی مرکب، شامل یک لایه بتن غلتکی و یک لایه چپ‌سیل، حاوی سرباره فولادی و مسی است. بدین منظور نمونه‌های روسازی مرکب با درصدهای مختلف سرباره فولادی و مسی، ۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ ساخته شد و تحت آزمایش سنجش آلودگی صوتی تولیدشده توسط پاندول انگلیسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

- با افزایش سرباره فولادی به میزان ۵۰ درصد در نمونه‌های بتنی حاوی دانه‌بندی چپ‌سیل درشت‌دانه (ج) و ریزدانه (د)، عدد صدای روسازی به ترتیب ۷/۳ دسی‌بل و ۳/۲ دسی‌بل افزایش می‌یابد.
- در نمونه‌های روسازی مرکب با چپ‌سیل درشت‌دانه و ریزدانه، با افزایش سرباره مسی به میزان ۵۰ درصد عدد صدای روسازی به ترتیب ۴/۲ دسی‌بل و ۲/۱ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

منابع

- امینی، ف.، خبیری، م و نژادکورکی، ف. (1400). بررسی میدانی تأثیر شکل مصالح سنگی و طرح اختلاط رویه‌ی سطحی بر میزان آلودگی صوتی و ایمنی. مطالعات علوم محیط زیست، ۶(۲)، ۳۶۴۸-۳۶۵۷.
- بردیونس، ب. (1395). بررسی خواص مهندسی و عملکردی آسفالت حفاظتی چپ‌سیل بر روی رویه‌های سیمانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد.
- جهانی، ع و سیری، ه. (1400). اثر پوشش گیاهی شهری در کاهش آلودگی صوتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مطالعات ساختار و کارکرد شهری، ۸(۲۷)، ۱۶۱-۱۷۹.
- خبیری، م.، غفوری فرد، ز.، زینی، م.، گرنل الماسی، ت. (1400). حفاظت از سازه‌های خشت و گلی سنتی در شهرهای کویری با استفاده از رویه‌های جاذب رطوبت و صدا. معماری اقلیم گرم و خشک.
- خواجه‌وند، م.، رصافی، ا.، میربها، ب. (۱۳۹۷). بررسی و مدل سازی تأثیر وضعیت روسازی و پارامترهای جریان ترافیک بر روی آلودگی صوتی در مجاورت سه راهی‌ها. هفتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا.
- رحیمی، ف.، صادقی نیارکی، ا.، قدوسی، م. (1398). ارزیابی آلودگی صوتی منطقه ۱۶ تهران. فصلنامه علوم محیطی، ۱۷(۴)، ۱۷۹-۱۹۲.

- غفوری فرد، ز. (۱۴۰۰). بهینه سازی دانه بندی آسفالت متخلخل برای معابر کم عرض در بافت سنتی شهرهای کویری. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد.
- یزدانی، م. ح.، زارنجی، ژ. ف. س.، جامی اودولو، م. (۱۴۰۰). بررسی وضعیت آلودگی صوتی میدانی و تقاطع های پرازدحام شهر اردبیل در طی سه ساعت مختلف از روز. مطالعات علوم محیط زیست، ۴(۴)، ۴۳۷۵-۴۳۸۱.
- Alber, S., Ressel, W., Liu, P., Wang, D., & Oeser, M. (2018). Influence of soiling phenomena on air-void microstructure and acoustic performance of porous asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 158, 938-948.
- Beckenbauer, T. (2013). Road traffic noise. In *Handbook of engineering acoustics* (pp. 367-392). Springer.
- Chu, L., Fwa, T. F., & Tan, K. H. (2017). Evaluation of wearing course mix designs on sound absorption improvement of porous asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 141, 402-409.
- Ding, Y., & Wang, H. (2019). FEM-BEM analysis of tyre-pavement noise on porous asphalt surfaces with different textures. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(9), 1090-1097. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1388507>
- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., & Karoń, G. (2017). Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering*, 19(7), 5639-5655.
- Kamil, B. A., & AlJameel, H. A. E. (2022). Impact Of Traffic Characteristics and Pavement Surface Condition on Noise Level for Rigid Pavement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 961(1), 12101.
- Kousis, I., Fabiani, C., Ercolanoni, L., & Pisello, A. L. (2020). Using bio-oils for improving environmental performance of an advanced resinous binder for pavement applications with heat and noise island mitigation potential. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100706.
- Ling, S., Yu, F., Sun, D., Sun, G., & Xu, L. (2021). A comprehensive review of tire-pavement noise: Generation mechanism, measurement methods, and quiet asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125056.
- Mavridou, S., & Kehagia, F. (2017). Environmental noise performance of rubberized asphalt mixtures: Lamia's case study. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 804-811.
- Münzel, T., Sørensen, M., & Daiber, A. (2021). Transportation noise pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 18(9), 619-636.
- Pahlevan, E., Malekmohammadi, B., Hoveidi, H., & Salehi, E. (2021). Environmental Risk Assessment of Noise Pollution Caused by Construction Activities (Case Study: Metro Line 3, 7th District Tehran). *Journal of Environmental Sciences*, 6(2), 3783-3792.
- Paje, S. E., Luong, J., Vázquez, V. F., Bueno, M., & Miro, R. (2013). Road pavement rehabilitation using a binder with a high content of crumb rubber: Influence on noise reduction. *Construction and Building Materials*, 47, 789-798.
- Smit, A., Trevino, M., Garcia, N. Z., Buddhavarapu, P., & Prozzi, J. (2016). Selection and design of quiet pavement surfaces.
- Tian, B., Liu, Y., Niu, K., Li, S., Xie, J., & Li, X. (2014). Reduction of tire-pavement noise by porous concrete pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 233-239.
- Vázquez, V. F., Terán, F., Huertas, P., & Paje, S. E. (2018). Field assessment of a Cold-In place-recycled pavement: Influence on rolling noise. *Journal of Cleaner Production*, 197, 154-162.
- Zhang, Z., Luan, B., Liu, X., & Zhang, M. (2020). Effects of surface texture on tire-pavement noise and skid resistance in long freeway tunnels: From field investigation to technical practice. *Applied Acoustics*, 160, 107120.

Investigation of noise pollution level of composite pavement containing steel and copper slag

Zahra Noorzai¹, Mohammad Mehdi Khabiri^{2*}, Zohreh Ghafoori Fard³

1- Master of Road and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yazd University

*2- Faculty member of Soil and Road Department, Faculty of Civil Engineering, Yazd University

3- Master of Road and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yazd University

*Email Address: mkhabiri@yazd.ac.ir

Abstract

Today, noise pollution is one of the most important environmental problems, which includes a significant share of noise pollution caused by transportation. Therefore, in transportation engineering field, the issue of investigating the effect of pavement type on production or reduction of noise pollution caused by traffic is very important. For this purpose, this study was conducted to investigate the noise pollution resulting from vehicle traffic on composite pavements containing metal slag and copper slag. In this study, laboratory samples of composite pavement including roller concrete and chip seal with different percentages of steel and copper slag, 0%, 30%, 40% and 50%, were made and tested for noise pollution produced by a British pendulum. The results of this study show that by increasing steel slag by 50% in concrete samples containing coarse and fine-grained chip seal granulation, the pavement noise number increases by 7.3 dB and 3.3 dB, respectively. Also, in composite pavement samples with coarse-grained and fine-grained chip seal, with the increase of copper slag by 50%, the pavement noise increases by 2.4 dB and 1.2 dB, respectively. In general, the type of granulation as well as the use of copper and steel slag has had a significant effect on increasing the sound produced.

Keywords

Noise Pollution, Repaired Pavement, Composite Pavement, Steel Slag, Copper Slag