

بررسی میدانی تاثیر شکل مصالح سنگی و طرح اختلاط رویه‌ی سطحی بر میزان آلودگی صوتی و

ایمنی

فریناز امینی^۱ ، محمدمهدی خبیری^{۱*} ، فرهاد نژادکورکی^۲

*۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

۲- دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی - گروه محیط زیست ، دانشگاه یزد

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

چکیده

از جمله مؤثرترین و اقتصادی ترین روش‌های کاهش آلودگی صوتی ترافیک عبوری، کنترل در منبع تولیدی آن می‌باشد، همچنین امکان کاهش برخی از صداهای تولید شده در راه‌ها، بواسطه جذب آن توسط روسازی وجود دارد. برای ارزیابی مقاومت لغزشی آسفالت از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E303-74 در شرایط مرطوب و خشک استفاده شد. از این دستگاه برای بررسی بافت ریز روسازی استفاده می‌شود و همچنین برای بررسی بافت درشت روسازی از آزمایش پخش ماسه استفاده شد. برای بررسی میزان صدای (روسازی/لاستیک) نیز از دستگاه صوت سنج در شرایط آسفالت خشک و خیس و در سرعت‌های ۳۰ و ۵۰ کیلومتر بر ساعت بررسی شد. تمام آزمایشات مذکور بر روی ۹ نقطه مختلف آسفالت در شرایط میدانی انجام گردید. با توجه به نتایج، می‌توان بیان کرد، که تهیه روسازی‌های با درصد درشت‌دانه بیشتر، می‌تواند باعث افزایش ۳۲ درصدی اصطکاک و افزایش ۶ درصدی آلودگی صدا در اثر حرکت وسایل نقلیه را شامل شود. همچنین افزایش سرعت باعث افزایش ۰/۹ دسی‌بل صدای روسازی/لاستیک شده‌است. در مقایسه شرایط جوی (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 ۱ دسی‌بل افزایش یافته‌است. سنگ‌دانه‌های سوزنی در افزایش ۱۵ درصدی مقاومت لغزشی و افزایش ۱ درصدی صدای روسازی/لاستیک نسبت به سنگ‌دانه‌های پولکی، حساسیت بیشتری در آزمایشات نشان دادند. و سنگ‌دانه‌های پولکی در میزان صدای روسازی/لاستیک و مقاومت لغزشی بی‌تاثیر واقع شدند.

کلمات کلیدی

"بافت روسازی"، "آلودگی صوتی"، "سرعت وسایل نقلیه"، "مقاومت لغزشی"، "مشخصات مخلوط آسفالتی"

Investigation of aggregate shape and surface pavement mixture design on noise pollution and safety

Farinaz amini¹, Mohammad Mehdi Khabiri^{1*}, Farhad Nejadkoorki²

*1- Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

*Email Address: mkhabiri@yazd.ac.ir

Abstract

Today, due to the growing population and the number of vehicles, noise pollution due to traffic and in terms of ways to deal with its destructive effects on the health of road users, is of considerable importance. In this regard, and one of the most effective and economical ways to reduce the noise pollution of passing traffic, control is in the source of its production, it is also possible to reduce the amount of noise due to the presence of some noise. To evaluate the skid resistance of asphalt, the English pendulum test by EST3-74 ASTM standard in wet and dry conditions was used. This device is used to examine the fine texture of the pavement and also the sand diffusion test was used to examine the coarse texture of the pavement. To check the sound level (pavement/rubber), the sound level meter was examined in dry and wet asphalt conditions at speeds of 30 and 50 km/h, and the sound level meter application was used to check the sound (asphalt sample/pendulum). All the mentioned tests were performed on 9 different points. The depth of the pavement texture, which is determined by the size of the pavement material, is directly related to the amount of noise pollution created, and the finer the material used, the higher the sound level will be. Also the percentage of the largest aggregates in the asphalt mixture is directly related to the amount of noise pollution. According to the results, it can be concluded that the preparation of pavements with a higher percentage of coarse grain, can increase friction by 32% and increase noise pollution by 6% due to the movement of vehicles. Increasing the speed also increases the pavement/tire noise by 0.9 dB. Compared to weather conditions (wet and dry asphalt), the slip resistance of wet asphalt decreased by 6%, and the amount of noise (pavement/rubber) in wet asphalt compared to dry asphalt increased by an average of 1 dB. Needle aggregates were more sensitive than flake aggregates in a 15% increase in slip resistance. Also flake aggregates were unaffected by pavement/tire noise and slip resistance. Therefore, it is recommended that in the process of preparing pavements, also maintaining proper pavement friction, coarser materials as well as high-speed control, especially in urban areas and sensitive areas, and pavement with proper drainage, be used. For this purpose, in this article, the pavement texture and different velocities in the amount of sound created due to the rubber/pavement interaction have been studied.

Keywords

"Pavement texture", "Noise pollution", "Vehicle speed", "Friction", "Asphalt mix specifications"

مقدمه

روی روسازی راه با تحقیقات میدانی، از دستگاه صوت سنج استفاده خواهد شد و جهت بررسی مقطعی از راه که صدا در آن اندازه گیری شده است، نمونه‌ای از آن به آزمایشگاه منتقل و سپس تجزیه و تحلیل خواهد شد. همچنین برای بررسی بافت ریز یا درشت روسازی و میزان خلل و فرج موجود در سطح راه از آزمایش تست عمق بافت (آزمایش پخش ماسه) و عکسبرداری از بافت سطحی جهت ارزیابی بافت آن بصورت میدانی انجام خواهد شد. و همچنین بررسی اصطکاک سطح با استفاده از پاندول انگلیسی انجام می‌شود که ضریب اصطکاک بعنوان پارامتر وابسته و بافت سطحی (شکل سنگ‌دانه‌ها) و میزان قیر موجود در مخلوط، بعنوان پارامتر مستقل محسوب می‌شود.

هدف از پژوهش حاضر، بازنگری در انتخاب شکل و دانه بندی مورد نیاز جهت طراحی روسازی با اصطکاک کافی و به حداقل رساندن صدای روسازی/لاستیک می‌باشد. در پژوهش حاضر، با استفاده از مطالعات میدانی، میزان اصطکاک و صدای روسازی/لاستیک ایجاد شده در نمونه‌های آسفالتی با شکل و دانه‌بندی‌های مختلف در روسازی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- مرور منابع

مدل سازی مقاومت در برابر لغزش با توجه به تأثیرات نسبی بافت روسازی، حجم ترافیک، آب و هیدروپلینینگ و دما بر اصطکاک سطح بر اساس راه حل‌های تحلیلی و راه‌حل‌های عددی بررسی می‌شود. مدل IFI و همچنین MPD^۲ را می‌توان با ترکیب زمان سایش یا سن روسازی برای تخمین مقاومت در برابر لغزش و خاصیت تضعیف اصطکاک اصلاح کرد. از نظر راه‌حل‌های عددی، مدل-سازی دقیق تایلر و تأیید شبیه‌سازی تماس اصطکاک بین تایلر و روسازی هنوز نیاز به پیشرفت دارد. برای بررسی‌های بیشتر، مکانیسم اصطکاک روسازی با ضایعات لاستیک و تغییر شکل سطح روسازی آسفالت نیز باید در FEA^۳ در نظر گرفته شود. عوامل تأثیرگذار مانند دمای روسازی، دمای هوای محیط و حتی دمای اجزای اصلی لاستیک باید برای تجزیه و تحلیل اثر دما در نظر گرفته شوند [۱]. اخیراً خراش زنی با الماس به عنوان نگهداری روسازی برای بازیابی خصوصیات سطح مورد نظر، به ویژه اصطکاک، مورد توجه قرار گرفته است. در مقایسه با سایر روش‌های حفظ سطح آسفالت مانند: پوشش سطح، خراش زنی با الماس ممکن است هزینه کمتر، صرفه جویی در زمان یا نیاز به حداقل تعمیر و نگهداری داشته باشد. خراش زنی با الماس بافتی طولی، مداوم و خطی را ایجاد می‌کند که حاوی امواجی با برجستگی‌هایی با فاصله مساوی است. بافت سطحی بهبود یافته بلافاصله اصطکاک سطح روسازی را افزایش داده و احتمال هیدروپلینینگ را در هوای بارانی کاهش می‌دهد. اصطکاک سطحی در روسازی‌های آسفالت خراش-دار، با عمر مفید بالاتر و همراه با نوسان است. به طور کلی، خراش زنی با الماس می‌تواند عملکرد اصطکاک سطحی با دوام و رضایت بخشی را برای روسازی بتنی و آسفالتی فراهم کند. این مقاله مختصری از نتایج محققان در سال ۲۰۱۶ را ارائه داد [۲]. محققان در سال ۲۰۲۰ برای توسعه آسفالت متخلخل فتوکاتالیستی پایدار با

آلودگی صوتی بعنوان یک صدای ناخواسته تعریف می‌شود. آلودگی صوتی مثل همه صوت‌های دیگر یک فرم از انرژی آکوستیکی هستند که با صداهای خوشایند فقط به این دلیل که گاهی باعث اذیت ما میشوند متفاوت می‌باشند. سطح صدا در مقیاس لگاریتمی، با واحد dB اندازه‌گیری می‌شوند. راه‌حلهای دیگری از قبیل اصلاح مسیرهای افقی و قائم، کنترل ترافیک، ایجاد یک کمربند سبز و ایزوله کردن سازه‌ها برای کاهش صدا استفاده کرد ولی تمام این روشها هزینه اضافی را در پروژه تحمیل میکنند به علاوه هر کدام مقدار بسیار محدودی از صدا را کاهش می‌دهند و در بسیاری از موارد به دلایل اجرایی کارآمد نیستند. در این راستا، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های کاهش آلودگی صوتی ترافیک، کنترل در منبع تولیدی آن می‌باشد، همچنین امکان کاهش برخی از صداهای تولید شده در راه‌ها، بواسطه جذب آن توسط روسازی وجود دارد. دو عامل سرعت خودرو و نوع روسازی بعنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان صدای تولیدی به شمار آمده است که با اصلاح نوع بافت روسازی و با حفظ عوامل اساسی دخیل در طرح روسازی همچون مقاومت لغزندگی و ... می‌توان تا حدودی صدای ناشی از عبور ترافیک از سطح راه را کاهش داد. لذا انتخاب یک روسازی مناسب بعنوان بهترین روش کنترل آلودگی صوتی راه‌ها، یعنی جذب صدای ناشی از تماس چرخ خودروها و روسازی، مطرح می‌باشد. برای حداقل شدن صدای ناشی از تماس لاستیک و سطح روسازی، می‌بایست اجازه فرار هوای داخل شیار داده شود. در بررسی اثرات تغییر سرعت بر سطح صدای تولیدی در محل تماس لاستیک‌های مورد مطالعه با روسازی، چنانچه انتظار میرفت سطوح صدای کلی با افزایش سرعت، بواسطه ضربه بیشتر چرخ بر سطح راه و افزایش درجه مکش هوا، افزایش پیدا کردند یکای مورد استفاده برای تشریح نوسانات فشار صدا، به‌عنوان بیان کننده بلندی صدا، دسی‌بل می‌باشد. بررسی آمار تصادفات در معابر شهری نشان می‌دهد، بسیاری از تصادفات در اثر کاهش اصطکاک رخ می‌دهد که نتیجه‌ی وقوع پدیده‌ی سرخوردگی است. در صورت تلفیق با رطوبت سطحی به دلیل اعمال نیروی افقی به وسیله‌نقلیه، احتمال وقوع پدید سرخوردگی بیشتر می‌شود. اصلی‌ترین معیار برای برآورد پتانسیل سرخوردگی محاسبه ضریب اصطکاک بین سطح و چرخ‌های وسیله نقلیه است. بنابراین تأمین اصطکاک لازم بین سطوح روسازی و لاستیک وسیله‌نقلیه یا به عبارتی فراهم نمودن مقاومت لغزشی مناسب با ارجعیت بیشتر از کنترل صدا در سطح روسازی، یکی از عوامل اساسی در ایمنی حمل و نقل محسوب می‌شود. در سال‌های گذشته اندازه‌گیری مشخصات اصطکاک روسازی در بسیاری از کشورها یکی از اولویت‌های اندازه‌گیری ایمنی راه‌ها بوده است و از آن در طراحی و مدیریت راه‌ها استفاده شده است. در این پژوهش سعی بر این است که با مقایسه شکل سنگ‌دانه‌ها، ریز یا درشتی سنگ‌دانه‌ها و میزان قیر موجود در مخلوط رویه عوامل تأثیرگذار بر میزان صدای تولیدی، در جهت رفع کاهش صدا و بررسی اصطکاک در روسازی، گام مفیدی برداشته شود. که و شکل سنگ‌دانه‌ها و میزان ریز و درشت بودن آن‌ها جز متغیرهای مستقل و اندازه‌گیری صوت و اصطکاک از جمله پارامترهای وابسته خواهند بود. در این تحقیق جهت ارزیابی صدای ایجاد شده ناشی از گذر چرخ وسیله نقلیه بر

1 International Friction Index

2 Mean Profile Depth

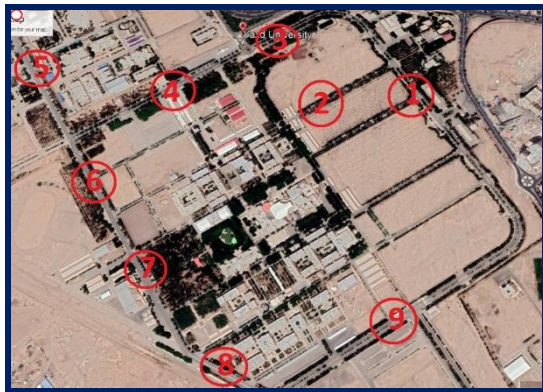
3 finite element analysis

حساسیت کمتری دارند و مزیت کاهش صدا حدود ۳ تا ۱۳ دسی بل دارند. به نظر می‌رسد این عملکرد کاهش صدا در تمام دوره ساخت ثابت است [۹]. روکش آسفالت متخلخل برای کاهش سر و صدای ترافیک و با دوام مناسب می‌باشد. که لایه بالایی شامل: سنگ‌دانه‌های ریز و لایه پایینی شامل: درشت‌دانه است. جذب صدا از این روسازی آسفالت با تنظیم پارامترهای ساختار روسازی شبیه‌سازی شده در مدل‌های عددی همراه با هوا ارزیابی می‌شود [۱۰]. در آسفالت متخلخل نسبت به روسازی آسفالت متراکم یک ماشین سواری ۵۰-۵ دسی بل، کامیون سبک ۲-۴ دسی بل و کامیون سنگین ۲-۵ دسی بل کاهش سروصدا روسازی آسفالت زهکشی شده را اندازه‌گیری کرده است. این سطح کاهش صدا تحت تأثیر تخلخل روسازی برای تخلخل‌های حداکثر ۲۰ درصد است و برای کامیون‌ها به ضخامت روسازی بستگی دارد که دارای اثر ۱-۲ دسی بل است. نتایج نشان می‌دهد که حفظ تخلخل روسازی در ۲۰ درصد یا بیشتر اهمیت دارد [۱۱].

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه در شرایط میدانی

شهرستان یزد در دره‌ای خشک و پهن‌اور بین کوه‌های شیرکوه و خراتق، در ۱۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۰ درجه و ۵۴ دقیقه درازای خاوری و ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۱۵ درجه و ۳۲ دقیقه پهنای شمالی واقع شده است. به منظور انجام این تحقیق و محدودیت‌های استفاده از دستگاه صوت‌سنج، آزمایشات در راه‌های داخلی دانشگاه یزد انتخاب شد و نقاط نمونه‌گیری از سطح مسیر مطابق شکل (۱) با مشخصات جدول (۱) تعیین شدند.



شکل ۱- مشخص کردن نقاط برداشت آلودگی صوتی در محدوده مطالعاتی

جدول ۱- مشخصات نقاط مربوط به محل‌های نمونه‌گیری

موقعیت	مشخصات محل مربوطه
نقطه ۱	خیابان فناوری
نقطه ۲	بلوار دانش (ورودی فناوری)
نقطه ۳	بلوار دانش (ورودی دانش)
نقطه ۴	بلوار فجر (روبروی سالن غدیر)
نقطه ۵	خیابان پردیس خوابگاهی دختران
نقطه ۶	ابتدای خیابان دهم فروردین
نقطه ۷	خیابان کوثر (بطرف ورودی سلف آفتاب)
نقطه ۸	خیابان کوثر (ورودی دانشکده منابع طبیعی)
نقطه ۹	خیابان کوثر (ورودی بصیرت)

• تعیین بافت سطحی نمونه‌ها

استفاده از گازهای زیان‌بار (اکسید تیتانیوم) خارج شده از آگزوز خودرو، تحت تابش نور مرئی، تأثیر بسزایی از آهن، روی اکسید تیتانیوم را مورد بررسی قرار دادند. سپس با انجام تست‌های دیگر بر روی مواد، نتایج آزمایش نشان داد که آهن به شکل Fe^{3+} در شبکه‌های کریستالی TiO_2 اکسید تیتانیوم با موفقیت نفوذ کرده و تبدیل به Ti^{4+} می‌شود و منجر به خراش سطح، اعوجاج شبکه و گسستگی در ساختار بلوری TiO_2 خواهد شد. با این حال، یک واکنش برگشت‌پذیر بین CO_2 و CO در طی تخریب فوتوکاتالیستی آن‌ها بوجود می‌آید. طی این واکنش، که ۳/۴۳ درصد مخلوط OGFC-16 را اشغال می‌کند، باعث بهبود خاصیت روکش آسفالتی می‌شود. این مطالعه یک بینش از عملکرد فوتوکاتالیستی مخلوط آسفالت OGFC-16 و در نتیجه ایجاد یک آسفالت پایدار را ارائه می‌دهد [۳]. این تحقیق توسط محققان: نژادکورکی و یوسفی در سال ۲۰۰۸ در یزد ایران انجام شده است و آلودگی صوتی روسازی/ترافیک را توصیف می‌کند. سطح صدا با استفاده از دستگاه سنجش صدا Bruel Kjaer-2260 در ۱۰ خیابان سطح شهر در ساعت پیک صبح اندازه‌گیری شد و انواع مختلف وسیله‌نقلیه به‌طور همزمان در نقاط مختلف مورد اندازه‌گیری، شمارش شد. تعدادی از پارامترهای موثر در آلودگی صوتی از جمله: موقعیت جغرافیایی، ارتفاع، فاصله تا نزدیکترین تقاطع، طرح هندسی خیابان و تعداد وسایل نقلیه، جمع‌آوری و در نظر گرفته شد. مدل‌سازی نشان داد که بین میانگین سطح صدا و جریان ترافیک $(R^2=0.5)$ رابطه معناداری وجود دارد. نتایج نشان داد که اگرچه ترافیک خیابان بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ افزایش یافته است، اما سطح صدا اندکی در شهر کاهش یافته و این موضوع به دلیل پیشرفت طراحی خودرو، نسبت داده شده است [۴]. محققان در سال ۲۰۲۰ برای توسعه آسفالت متخلخل فتوکاتالیستی پایدار با استفاده از گازهای زیان‌بار (اکسید تیتانیوم) خارج شده از آگزوز خودرو، تحت تابش نور مرئی، تأثیر بسزایی از آهن، روی اکسید تیتانیوم را مورد بررسی قرار دادند [۵]. سرعت و تراکم بالای اتومبیل‌ها در ترافیک همیشه باعث آزار و اذیت می‌شوند و با اندازه‌گیری LA_{eq} و LA_{max} بطور مستقیم با میزان صدای ایجاد شده در سطح راه ارتباط برقرار می‌کنند [۶]. این مطالعه در جاده یونگه در گوانگژو در سال ۲۰۱۷ توسط محققان انجام شده است که برای یک جاده آسفالت خشک، با افزایش سرعت، درصد انرژی صدا خودرو در فرکانس پایین، کاهش می‌یابد. درحالی که در فرکانس بالا، با رشد سرعت، افزایش می‌یابد. با این حال، برای یک جاده آسفالت مرطوب، درصد انرژی صدا با سرعت کمی تغییر می‌کند. این یافته‌ها را می‌توان برای پیش‌بینی دقیق سروصدا و کنترل صدا به ویژه در مناطق بارانی استفاده کرد [۷]. همچنین یک روش جدید برای تشخیص خرابی سطح روسازی با استفاده از سر و صدای لاستیک/روسازی که از یک وسیله‌نقلیه جهت تست و نصب سنسور هنگام رانندگی بطور منظم ثبت می‌شود که داده‌های صوتی فقط نشان دهنده میزان خرابی روسازی آسفالتی است [۸].

لایه‌های آسفالتی با ضایعات لاستیک 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 که نسبت به اثرات دما



شکل ۳- جزئیات دستگاه صوت سنج و اندازه‌گیری شدت صوت در آسفالت مرطوب و خشک (۵۰ و ۳۰ کیلومتر بر ساعت)

• برداشت و کندن نمونه آسفالتی از ۹ منطقه‌ی مذکور آزمایش استراکشن طبق استاندارد ASTM D2172 جهت تعیین پارامترهای مهم آسفالت ساخته‌شده از جمله دانه‌بندی مصالح، درصد قیر، نوع قیر بکاررفته در آسفالت و غیره می‌توان از آزمایش‌های تجزیه آسفالت استفاده نمود. تفکیک قیر و مصالح سنگی از یکدیگر در مخلوط آسفالت را تجزیه آسفالت می‌گویند.



شکل ۴- کندن نمونه آسفالتی و قرارگیری هر یک از ۹ نمونه در استراکشن

• آزمایش تعیین درصد تورق و سوزنی سنگ‌دانه‌ها با استفاده از کولیس تناسبی

این روش آزمایش طبق استاندارد ASTM D4791 بدست می‌آید. تعیین درصد ذرات صاف (پولکی)، ذرات دراز (سوزنی)، یا هر دو در سنگ‌دانه را پوشش می‌دهد به طوری‌که با اندازه‌گیری نسبت عرض به ضخامت میزان تورق و نسبت طول به ضخامت میزان تطویل به دست می‌آید. این نسبت به وسیله سوراخ‌کاری‌هایی که بر روی دستگاه با نسبت ۱:۲، ۱:۳، ۱:۴ و ۱:۵ می‌باشد.



شکل ۵- تعیین درصد وزنی سنگ‌دانه‌های دراز و پولکی با استفاده از کولیس تناسبی

• آزمایش پاندول انگلیسی و بررسی صدای روسازی/کفشک پاندول در ۹ نقطه

اندازه‌گیری بافت ریز به علت ویژگی میکروسکوپی سطح سنگ‌دانه بصورت مستقیم انجام نمی‌گیرد و به همین منظور در روسازی، بافت ریز را بصورت غیر مستقیم با اندازه‌گیری استعداد و قابلیت سنگ در اثر صیقلی شدن ناشی از حرکت لاستیک خودرو بر روی آن بدست

برای تعیین بافت سطحی از روش استاندارد آزمایش پخش ماسه مطابق استاندارد شناخته شده ASTM-E465 استفاده گردید، که این آزمایش برای تعیین عمق بافت درشت روسازی و مقاومت لغزندگی به کار می‌رود. در این استاندارد ماسه با دانه‌بندی مشخص، معمولاً به میزان ۵۰ سی سی روی سطح روسازی به شکل دایره پخش می‌شود. سپس قطر این دایره اندازه‌گیری و از طریق آن و رابطه (۱) بافت درشت تعیین می‌شود.

$$MTD = \frac{4.v}{\pi.D^2} \quad (1)$$

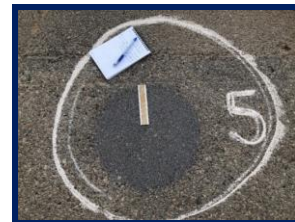
که در آن:

MTD= عمق بافت درشت سطحی راه (mm)

V= حجم ماسه استاندارد (Cc)

D= قطر دایره ماسه پخش شده (mm)

در شکل (۲) نحوه انجام آزمایش عمق بافت و پاکسازی سطحی در شرایط آزمایشگاهی و میدانی مشخص شده‌است.



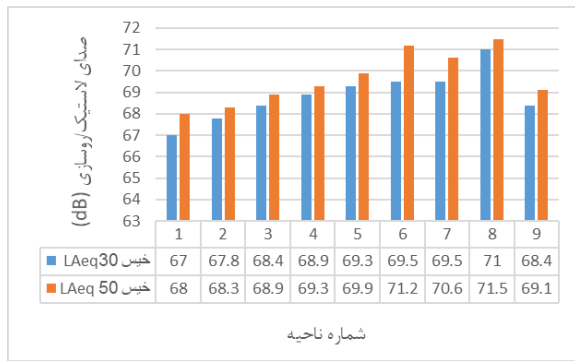
شکل ۲- (ب) نحوه انجام آزمایش پخش ماسه در شرایط میدانی

• اندازه‌گیری شدت صوت

در این پژوهش به طور خاص، شرایط مرطوب یا خشک آسفالت و سرعت وسیله‌نقلیه روی شدت صوت بررسی شده‌است، بر همین اساس، داده‌های صوتی ۹ منطقه از سطح راه با دو سرعت ۳۰ و ۵۰ کیلومتر بر ساعت، و در دو حالت خیس و خشک، بصورت میدانی بررسی شده‌است. و همچنین در آزمایشگاه هنگام عبور پاندول از روی سطح نمونه‌ها و در مطالعات میدانی هنگام عبور پاندول از روی سطح نمونه آسفالت ۹ منطقه، از اپلیکیشن صوت‌سنج تلفن همراه استفاده- شد. صدای حاصل از برخورد لاستیک خودرو با سطح جاده تحت تأثیر تعدادی از عوامل از جمله: نحوه رفتار راننده، شرایط تایر، شرایط سطح جاده، بافت روسازی و اقلیم است.

جدول ۲- مشخصات و تنظیمات انجام شده بر روی دستگاه صوت‌سنج

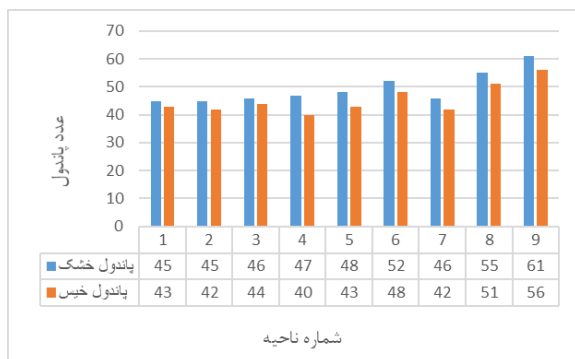
ورژن دستگاه: Ver 2.2		نوع و مدل دستگاه: BZ 7210	
متوسط ارتفاع	۱۱۰ سانتی	متوسط فاصله	۷/۵ متر
میکروفن: بصورت	متر	میکروفن از	خودرو: بصورت
قائم از سطح	عمود بر خودرو	زمین	
شبکه توزین	Lin	C	A
فرکانس			
سرعت پاسخ دستگاه	Imp	Fast	Slow
خودرو طرح: ماتیز	ماتیز		
*روش اندازه‌گیری آلودگی صوتی: روش متوسط زمانی صدای ترافیک، بر حسب (LAeq)			



نمودار ۴- مقایسه صدای روسازی/لاستیک آسفالت مرطوب (سرعت ۳۰ و ۵۰ کیلومتر بر ساعت)

باتوجه به نمودارهای ۱ و ۲، میزان صدای ایجاد شده از روسازی/لاستیک آسفالت خشک، با میانگین ۱ دسی بل، نسبت به حالت آسفالت مرطوب کمتر می باشد. این افزایش صدا در حالت مرطوب به دلیل پدیده ی پاشش هنگام عبور خودرو و تشدید صدای ایجاد شده می باشد. باتوجه به نمودارهای ۳ و ۴، با افزایش سرعت خودرو از ۳۰ به ۵۰ کیلومتر بر ساعت نیز صدای روسازی/لاستیک با میانگین ۰/۸ دسی بل افزایش می یابد و این افزایش صدا در هنگام افزایش سرعت به دلیل، ضربه بیشتر چرخ بر سطح راه و افزایش درجه مکش هوا، می باشد.

• بررسی مقاومت لغزشی (در شرایط میدانی)



نمودار ۵- مقایسه و اندازه گیری اصطکاک با استفاده از پاندول در شرایط خیس و خشک

مطابق نمودار شماره ۵، عدد پاندول در شرایط مرطوب، نسبت به حالت آسفالت خشک کاهش یافته است. طبق نتایج بخش قبل، دلیل کاهش اصطکاک، کاهش ضریب اصطکاک و در نتیجه لیز شدن سطح آسفالت می باشد.

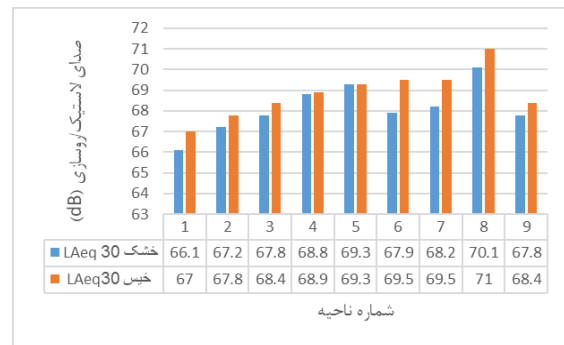
می آید. استفاده از آونگ انگلیسی با استاندارد (ASTME303) از جمله وسایل اندازه گیری بافت ریز سطوح مختلف می باشد.



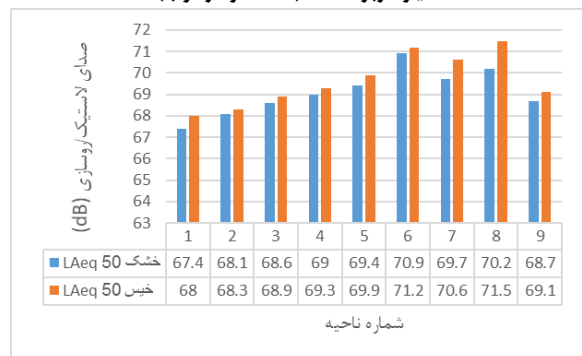
شکل ۶- اندازه گیری اصطکاک آسفالت خیس و خشک با استفاده از پاندول انگلیسی

۳- نتایج و بحث

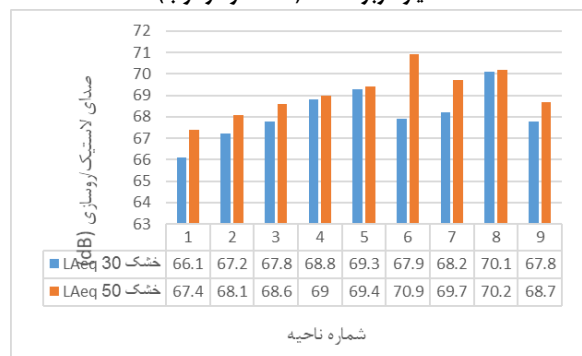
• تحلیل نتایج آزمایش اکستراکشن نمونه برداری از ۹ نقطه (شرایط میدانی)



نمودار ۱- صدای روسازی/لاستیک LAeq در سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت (خشک و مرطوب)



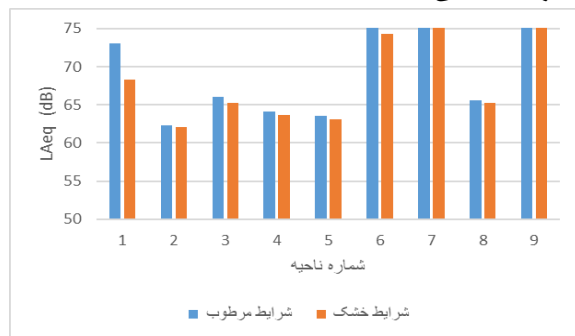
نمودار ۲- صدای روسازی/لاستیک LAeq در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (خشک و مرطوب)



نمودار ۳- مقایسه صدای روسازی/لاستیک LAeq آسفالت خشک (سرعت ۳۰ و ۵۰ کیلومتر بر ساعت)

باتوجه به جدول شماره ۳، با افزایش عمق بافت درشت، مقاومت لغزندگی سطح آسفالت افزایش یافته است و طبق تحلیل‌های آماری انجام شده، می‌توان گفت: رابطه‌ی بین عمق بافت (MTD) و مقاومت لغزندگی (BPN) مستقیم می‌باشد. دلیل رابطه‌ی مستقیم بین دو پارامتر فوق: با افزایش مقدار مصالح عبوری از الک شماره ۴ میزان درشت‌دانه مخلوط، و در نتیجه عمق بافت کاهش می‌یابد و با افزایش ریزدانه در مخلوط آسفالتی خلل و فرج موجود در آن پر شده و باعث کاهش ضریب اصطکاک و در نتیجه باعث کاهش مقاومت لغزندگی می‌شود. با افزایش عمق بافت درشت در آسفالت، صدای روسازی/کفشک پاندول بر حسب LAeq نیز افزایش می‌یابد و دلیل این امر نیز افزایش لرزش کفشک در هنگام عبور از سطح روسازی می‌باشد. همانطور که در جدول شماره ۵ مشخص است، با افزایش عمق بافت (MTD)، درصد درشت‌دانه‌های پولکی موجود در مخلوط آسفالتی کاهش یافته است. و دلیل این موضوع: کاهش زوایا و گوشه‌ها در درشت‌دانه‌های پولکی و ایجاد سطح تقریباً صاف و در نتیجه باعث کاهش عمق بافت نمونه‌های آسفالتی می‌شود ولی طبق تحلیل‌های آماری انجام شده رابطه‌ی معناداری بین این دو پارامتر وجود ندارد.

• نتایج صدای روسازی/لاستیک کفشک پاندول (در شرایط میدانی)



نمودار ۶- مقایسه صدای روسازی/ کفشک پاندول LAeq (در آسفالت مرطوب و خشک)

باتوجه به نمودار شماره ۶، در شرایط خشک، میزان صدای ایجاد شده از روسازی/لاستیک با میانگین ۱/۱ دسی‌بل، نسبت به حالت آسفالت مرطوب کمتر می‌باشد. این افزایش صدا در حالت مرطوب به دلیل پدیده‌ی پاشش هنگام عبور کفشک و تشدید صدای ایجاد شده می‌باشد.

• تحلیل نتایج براساس متغیرهای وابسته و مستقل (شرایط میدانی)

جدول ۴- نتایج آماری spss و رابطه بین متغیرها

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پواسون	معادله خط	R ²
عدد پاندول خشک (BPN)	درصد درشت‌دانه سوزنی	0/449	$y = 0.0942x - 2.8122$	0.2015
	درصد درشت‌دانه پولکی	0/039	$y = 0.0401x + 7.5519$	0.0015
عدد پاندول مرطوب (BPN)	درصد درشت‌دانه سوزنی	0/562	$y = 0.1248x - 3.8286$	0.316
	درصد درشت‌دانه پولکی	0/111	$y = 0.1206x + 4.0506$	0.0123

طبق جدول شماره ۴، با افزایش عدد پاندول، درصد درشت‌دانه سوزنی با ضریب پیرسون بیشتر و در نتیجه در سطح معنادارتری نسبت به میزان رابطه‌ی (عدد پاندول-درصد درشت‌دانه پولکی) افزایش یافته است. که می‌توان طبق تعریف آماری ضریب پیرسون، میزان تاثیر درشت‌دانه‌های سوزنی در مقاومت لغزشی (یا عدد پاندول در آزمایشگاه)، را موثرتر از درشت‌دانه‌های پولکی در میزان مقاومت لغزشی روسازی دانست. در درشت‌دانه‌های پولکی بدلیل کاهش گوشه‌ها و زوایا و داشتن سطح تقریباً صاف نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی، در مقاومت لغزشی نقش قابل توجهی نخواهد داشت. و در نتیجه عدد پاندول نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی حساسیت بیشتری نشان داده و لغزندگی سطح کمتری را دارا می‌باشد. باتوجه به

جدول ۳- نتایج آماری spss و رابطه بین متغیرها

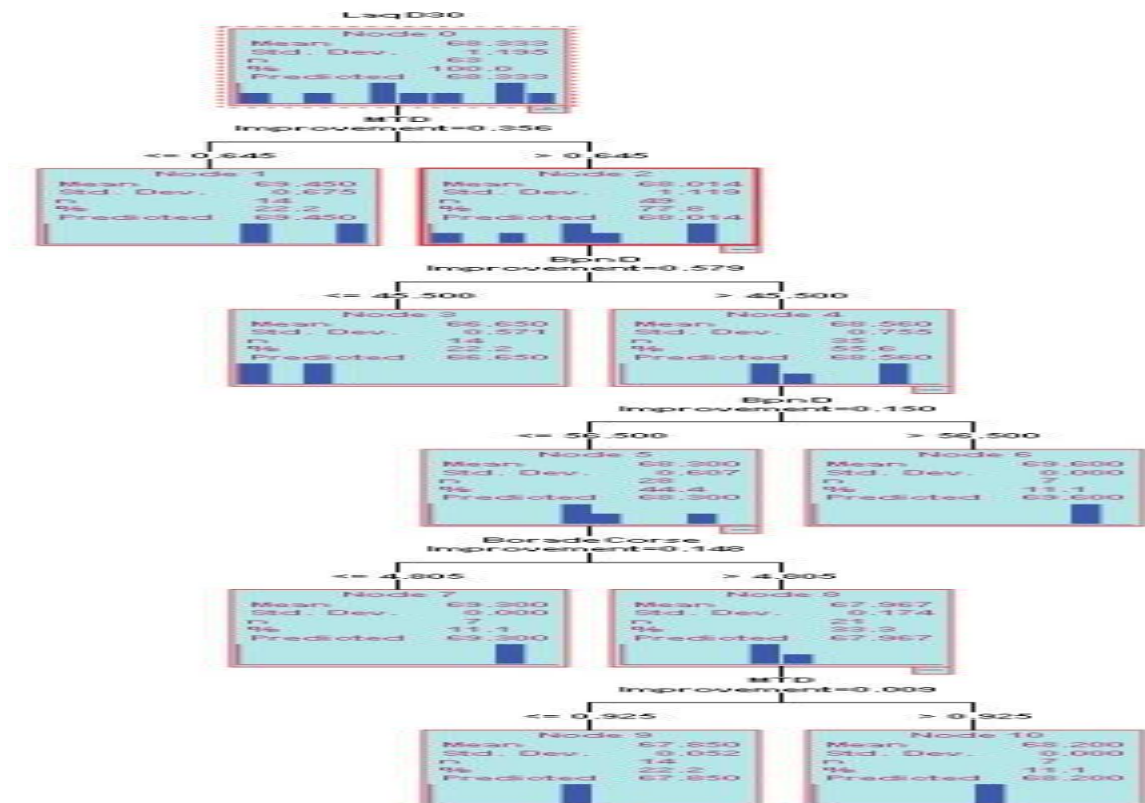
متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پیرسون	معادله خط	R ²
MTD	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های خشک	0/632	$y = 11.007x + 40.174$	0.399
	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های مرطوب	0/666	$y = 10.97x + 36.206$	0.444
	LAeq در شرایط نمونه‌های خشک و سرعت 30 (km/h)	-0/324	$y = -1.2017x + 69.145$	0.1051
	LAeq در شرایط نمونه‌های مرطوب و سرعت 30 (km/h)	-0/239	$y = -0.8729x + 69.602$	0.0573
	LAeq در شرایط نمونه‌های خشک و سرعت 50 (km/h)	-0/090	$y = -0.3061x + 69.369$	0.0081
	LAeq در شرایط نمونه‌های مرطوب و سرعت 50 (km/h)	-0/130	$y = -0.51x + 70.074$	0.0168
	LAeq روسازی/کفشک پاندول در شرایط خشک	0/773	$y = 13.725x + 56.596$	0.598
	LAeq روسازی/کفشک پاندول در شرایط مرطوب	0/718	$y = 14.749x + 57.155$	0.5157
	درصد سنگ‌دانه پولکی	-0/291	$y = -8.0981x + 16.354$	0.2038
	درصد سنگ‌دانه سوزنی	-0/174	$y = 0.9665x + 1.2526$	0.109

شود. همچنین با توجه به جدول شماره ۴، با استفاده از تحلیل‌های آماری و ضریب پیرسون، در سرعت‌های کم (30km/h)، سنگ-دانه‌های سوزنی در ایجاد صدای روسازی/لاستیک تأثیری نداشته و با افزایش سرعت (50km/h)، سنگ‌دانه‌های سوزنی بر میزان افزایش صدا در لاستیک/روسازی موثرتر هستند. که دلیل این امر را می‌توان، نقش سنگ‌دانه‌ها در عمق بافت و در نتیجه ایجاد لرزش و یا مکش هوا در خلل و فرج رویه‌ی سطحی دانست.

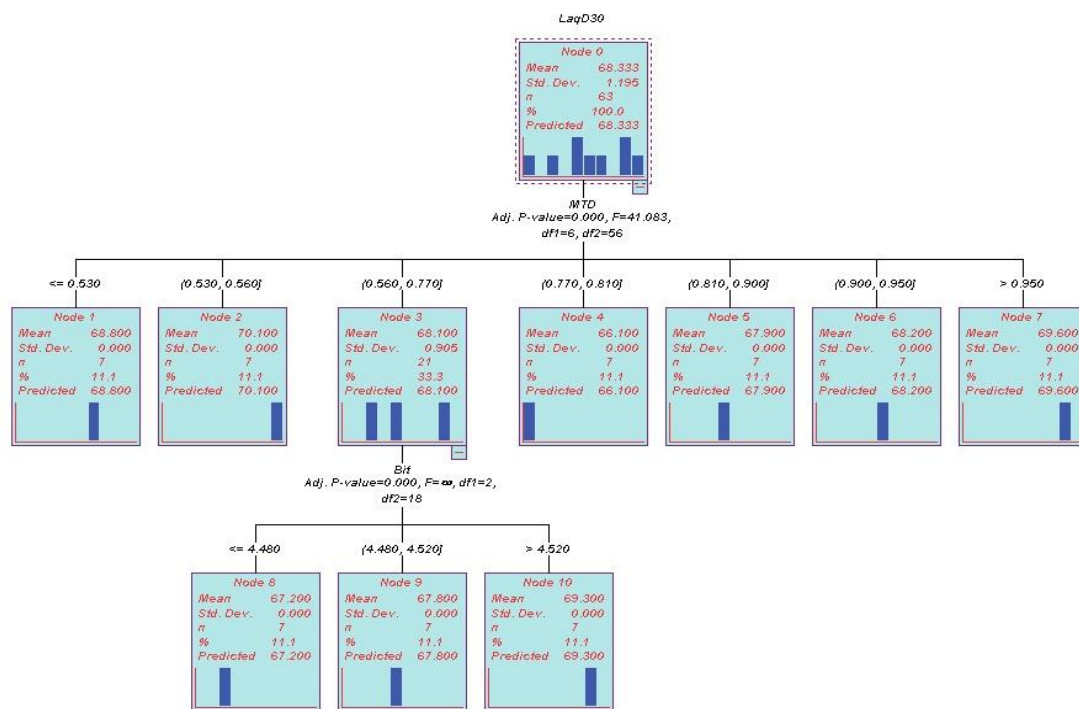
جدول شماره ۵، با افزایش درصد درشت‌دانه سوزنی، LA_{eq} افزایش یافته‌است. به عبارت دیگر رابطه بین درصد درشت‌دانه‌های سوزنی و LA_{eq} مستقیم می‌باشد. دلیل برقراری این رابطه: همانطور که در نمودارهای قبلی تفسیر شد، با افزایش عمق بافت، درصد درشت‌دانه‌های سوزنی افزایش یافت. به همین ترتیب با افزایش درصد درشت‌دانه‌های سوزنی و افزایش عمق بافت، میزان هوای محبوس شده در خلل و فرج و مکش هوا در هنگام عبور چرخ خودرو و لرزش چرخ در هنگام عبور از روی سطح روسازی، می‌تواند سبب افزایش LA_{eq}

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پیرسون	معادله خط	R ²
درصد درشت‌دانه‌های سوزنی	$LA_{eq.30}$ آسفالت خشک	0/139	$y = 0.1509x + 68.055$	0.0192
	$LA_{eq.50}$ آسفالت خشک	0/328	$y = 0.31x + 68.673$	0.1078
	$LA_{eq.30}$ آسفالت مرطوب	0/197	$y = 0.2004x + 68.653$	0.0388
	$LA_{eq.50}$ آسفالت مرطوب	0/260	$y = 0.2777x + 69.255$	0.0674
	LA_{eq} روسازی/کفشک پاندول در شرایط خشک	0/022	$y = 0.1052x + 67.961$	0.0005
درصد درشت‌دانه‌های پولکی	LA_{eq} روسازی/کفشک پاندول در شرایط مرطوب	-0/049	$y = -0.2757x + 70.086$	0.0024
	$LA_{eq.30}$ آسفالت خشک	0/082	$y = 0.0182x + 68.16$	0.0067
	$LA_{eq.50}$ آسفالت خشک	-0/164	$y = -0.0316x + 69.546$	0.027
	$LA_{eq.30}$ آسفالت مرطوب	0/125	$y = 0.0259x + 68.776$	0.0156
	$LA_{eq.50}$ آسفالت مرطوب	0/030	$y = 0.0066x + 69.704$	0.0009
	LA_{eq} روسازی/کفشک پاندول در شرایط خشک	-0/304	$y = -0.301x + 71.025$	0.0926
	LA_{eq} روسازی/کفشک پاندول در شرایط مرطوب	-0/239	$y = -0.2732x + 72.182$	0.0569

تحلیل نتایج درخت تصمیم



شکل ۷- مدل درخت تصمیم ساخته شده جهت بررسی پارامترهای موثر بر LA_{eq}



شکل ۸- مدل درخت تصمیم ساخته شده جهت بررسی پارامترهای موثر بر LAeq

جدول ۶- نتایج درخت تصمیم					
متغیر	میانگین	واریانس	تعداد داده‌ها	درصد داده‌ها	گره
LAeq.30.dry	۶۸/۳۳۳	۱/۱۹۵	۶۳	۱۰۰	گره ۰
MTD ≤ 0/645	۶۹/۴۵	۰/۶۷۵	۱۴	۲۲/۲	گره ۱
MTD > 0/645	۶۸/۰۱۴	۱/۱۱۹	۴۹	۷۷/۸	گره ۲
BPNdry ≤ 45/5	۶۶/۶۵	۰/۵۷۱	۱۴	۲۲/۲	گره ۳
BPNdry > 45/5	۶۸/۵۶	۰/۷۵۵	۳۵	۵۵/۶	گره ۴
BPNdry ≤ 56/5	۶۸/۳	۰/۶۰۷	۲۸	۴۴/۴	گره ۵
BPNdry > 56/5	۶۹/۶	.	۷	۱۱/۱	گره ۶
Board corse ≤ 4/805	۶۹/۳	.	۷	۱۱/۱	گره ۷
Board corse > 4/805	۶۷/۹۶۷	۰/۱۷۴	۲۱	۳۳/۳	گره ۸
MTD ≤ 0/925	۶۷/۸۵	۰/۰۵۲	۱۴	۲۲/۲	گره ۹
MTD > 0/925	۶۸/۲	.	۷	۱۱/۱	گره ۱۰

در شکل ۷ مشاهده می‌شود گره LAeq.30 که گره اصلی (ریشه) بوده توسط متغیر MTD (عمق بافت) به دو زیرگره ۱ و ۲ تقسیم شد. همانطور که مشاهده می‌شود در گره ۱ که میزان MTD از ۰/۶۴۵ میلی‌متر کمتر است، که ۲۲/۲٪ از داده‌ها در این گروه قرار گرفته‌اند. این بدان معناست که طبق این داده‌ها اگر MTD از میزان معینی کمتر شود، میزان LAeq.30 نهایی افزایش می‌یابد. در نتیجه این گره درخت همراه با زیرگره‌ها حذف شد. گره شماره ۲، که شامل داده‌های با MTD بیشتر از ۰/۶۴۵ میلی‌متر است ۵۵/۶٪ از داده‌ها در این دسته قرار گرفته که نشان می‌دهد اکثر داده‌های مربوط به LAeq.30 دارای MTD بیشتر از ۰/۶۴۵ میلی‌متر می‌باشد. گره شماره ۲ براساس BPN_D (عدد پاندول در شرایط آسفالت خشک) به دو زیرگره ۳ و ۴ تقسیم می‌شود. در گره شماره ۳، که BPN_D کمتر یا مساوی ۴۵ بوده

از داده‌ها در این دسته قرار گرفتند. در نتیجه این گره نیز حذف گردید. این موضوع بیانگر این است که تعداد محدودی از داده‌ها عدد پاندول کمتر از ۴۵ یا مساوی ۴۵ را دارا می‌باشند. در گره شماره ۴، BPN_D بیشتر از ۴۵ بوده ۵۵/۶٪ از داده‌ها در این دسته قرار گرفتند. این موضوع بیانگر این است که اکثر داده‌ها در شرایط BPN_D ، متوسط LAeq = ۶۸/۵۶ دسی‌بل را دارا می‌باشند. گره شماره ۴ نیز براساس BPN_D به دو زیرگره ۵ و ۶ تقسیم شد. در گره ۶ که BPN_D بیشتر ۵۶/۵ است، ۱۱/۱٪ از داده‌ها را با میانگین LAeq = ۶۹/۶ دسی‌بل را دارا می‌باشند. در نتیجه این گره نیز حذف شد. در گره شماره ۵، که BPN_D کمتر یا مساوی ۵۶/۵ بوده، ۴۴/۴٪ از داده‌ها را با میانگین LAeq = ۶۸/۳ دسی‌بل را دارا می‌باشند این موضوع نیز بیانگر این است که طبق داده‌های موجود جهت رسیدن به LAeq مناسب،

سنگدانه بزرگتر از ۴/۸۰۵ می‌باشد. دسته ۸ نیز به زیر گروه ۱۰ و ۹ بر اساس MTD تقسیم شد. دسته شماره ۹ با ۲۲٪/۲ فراوانی داده‌ها، دارای MTD کوچکتر یا مساوی ۰/۹۲۵ و میانگین $LA_{eq}=67/85$ دسی‌بل می‌باشد. دسته شماره ۱۰ با فراوانی داده‌ها ۱۱/۱٪، دارای MTD بزرگتر از ۰/۹۲۵ و میانگین $LA_{eq}=68/2$ دسی‌بل می‌باشد. که به علت کاهش تعداد داده‌ها در دسته آخر امکان تحلیل دقیق این قسمت وجود نخواهد داشت.

BPN_D باید کمتر یا مساوی ۵۶/۵ باشد. که در گره شماره ۵، ۴۴/۴٪ از داده‌ها در این دسته قرار گرفت. گره شماره ۵ بر اساس درصد وزنی بزرگترین سنگدانه از منطقه، به دو زیر گره شماره ۷ و ۸ تقسیم شد. که در گروه ۷، ۱۱/۱٪ از داده‌های کوچکتر یا مساوی ۴/۸۰۵ درصد وزنی با میانگین $LA_{eq}=69/3$ دسی‌بل در این دسته قرار گرفت. که این دسته نیز حذف شد. در گروه ۸، ۳۳/۳٪ از داده‌های بزرگتر از ۴/۸۰۵ درصد وزنی با میانگین $LA_{eq}=67/967$ دسی‌بل در این دسته قرار گرفت. این بدان معناست که اکثر داده‌ها، دارای درصد وزنی بزرگترین

گره محذوف	درصد داده‌ها	تعداد داده‌ها	واریانس	میانگین	متغیر	گره
	۱۰۰	۶۳	۱/۱۹۵	۶۸/۳۳۳	$LA_{eq}, 30, dry$	۰ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۸/۸	$MTD \leq 0/53$	۱ گره
	۱۱/۱	۷	.	۷۰/۱	$MTD (0/53-0/56)$	۲ گره
	۳۳/۳	۲۱	۰/۹۰۵	۶۸/۱	$MTD (0/56-0/77)$	۳ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۶/۱	$MTD (0/77-0/81)$	۴ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۷/۹	$MTD (0/81-0/9)$	۵ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۸/۲	$MTD (0/9-0/95)$	۶ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۹/۶	$MTD < 0/95$	۷ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۷/۲	$bit \leq 48/4$	۸ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۷/۸	$Bit (4/48-4/52)$	۹ گره
	۱۱/۱	۷	.	۶۹/۳	$Bit > 4/52$	۱۰ گره

دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد قیر میزان LA_{eq} نیز افزایش یافته‌است.

۴- نتیجه‌گیری

از تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های مختلف با شکل سنگ‌دانه‌های گوناگون، نتایج حاصل در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی مشخصی به دست آمد که خلاصه آن به شرح زیر است:

(۱) در مقایسه شرایط جوی (مرطوب و خشک)، مقاومت لغزشی آسفالت مرطوب با واریانس (۰/۳۳)، ۶ درصد کاهش، و میزان صدای (روسازی/لاستیک) در آسفالت مرطوب نسبت به آسفالت خشک با واریانس (۰/۲۳۵)، ۱ دسی‌بل افزایش یافت.

(۲) با افزایش درشت‌دانه در مخلوط آسفالتی، مقاومت لغزشی و میزان صدای روسازی/لاستیک (بر حسب LA_{eq}) ۴/۲ دسی‌بل در آسفالت مرطوب و به اندازه ۵/۸۵ دسی‌بل در آسفالت خشک افزایش یافت.

(۳) با افزایش عمق بافت (MTD) در نمونه‌های آسفالتی آزمایشگاهی، عدد پاندول (BPN) با واریانس (۰/۵۶)، ۳۶ درصد و صدای روسازی/لاستیک (LA_{eq}) با واریانس (۲/۱۱)، ۷ درصد افزایش یافت.

(۴) با افزایش درصد وزنی بزرگترین سنگ‌دانه‌ها، عدد پاندول با واریانس (۰/۲۲)، ۳۲ درصد و صدای روسازی/لاستیک (LA_{eq}) با واریانس (۲/۴)، ۶ درصد افزایش یافته‌است.

در شکل ۸ مشاهده می‌شود گره $LA_{eq}, 30$ که گره اصلی و ریشه بوده توسط متغیر MTD به ۷ زیرگره ۱ تا ۷ تقسیم شد. همانطور که مشاهده می‌شود در گره ۱ که میزان MTD کمتر یا مساوی ۰/۵۳ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=68/8$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۲ که میزان MTD در بازه ۰/۵۳ تا ۰/۵۶ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=70/1$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۳ که میزان MTD در بازه ۰/۵۶ تا ۰/۷۷ می‌باشد، ۳۳/۳٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=68/1$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۴ که میزان MTD در بازه ۰/۷۷ تا ۰/۸۱ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=66/1$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۵ که میزان MTD در بازه ۰/۸۱ تا ۰/۹ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=67/9$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۶ که میزان MTD در بازه ۰/۹ تا ۰/۹۵ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=68/2$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۷ که میزان MTD بیشتر از ۰/۹۵ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=69/6$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در بین ۹ دسته‌بندی انجام، فقط گره ۳ دارای بیشترین فراوانی داده بوده توسط متغیر درصد قیر به ۳ گره ۸ و ۹ و ۱۰ دسته‌بندی می‌شود. در گره ۸، که میزان درصد قیر (bit) کمتر یا مساوی ۴/۴۸ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=67/2$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۹، که میزان درصد قیر (bit) در بازه ۴/۴۸ تا ۴/۵۲ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=67/8$ دسی‌بل در این گروه دسته‌بندی شد. در گره ۹، که میزان درصد قیر (bit) بیشتر از ۴/۵۲ می‌باشد، ۱۱/۱٪ داده‌ها با میانگین $LA_{eq}=69/3$

- (۵) با در نظر گرفتن تحلیل‌های آماری، درشت‌دانه‌های پولکی نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی، در مقاومت لغزشی نقش قابل توجهی نخواهند داشت (۴ درصد کاهش مقاومت، در درشت‌دانه‌های پولکی). و در نتیجه عدد پاندول نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی ۱۴ درصد، حساسیت بیشتری نشان داده‌است.
- (۶) بطور کلی، وجود سنگ‌دانه‌های سوزنی در نمونه آسفالتی نسبت به سنگ‌دانه پولکی، در ایجاد صدای روسازی/لاستیک موثرتر است و میزان سنگدانه‌های پولکی در تمام شرایط تأثیری بر میزان صدای روسازی/لاستیک نخواهند داشت (کاهش صدا در سنگ‌دانه‌های پولکی ۰/۶ درصد نتیجه‌گیری شده‌است).
- (۷) افزایش سرعت وسیله نقلیه، (30-50km/h) باعث تشدید صدای روسازی/لاستیک به اندازه ۰/۹ دسی بل با میزان وارپانس (۰/۱۷)، شده‌است.
- (۸) در سرعت‌های کم، میزان صدای روسازی/لاستیک تحت تأثیر صدای موتور وسیله نقلیه بوده، و بافت روسازی بی‌تأثیر بوده و در سرعت‌ها بالای ۴۰ کیلومتر بر ساعت میزان صدای روسازی/لاستیک تحت تأثیر مکش هوا در بافت روسازی و میزان لرزش ایجاد شده در چرخ وسیله نقلیه قرار گرفته‌است.
- (۹) بطور کلی میزان صدای روسازی/لاستیک تحت تأثیر عمق بافت بوده و با کاهش عمق بافت، میزان صدای روسازی/لاستیک کاهش یافته، و مقاومت لغزشی و در نتیجه ایمنی مسیر نیز کاهش می‌یابد. که ایمنی مسیر از ارجحیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

منابع

- [1] Yu, M., You, Z., Wu, G., Kong, L., Liu, C., & Gao, J. (2020). Measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavement: A review. *Construction and building materials*, 260, 119878.
- [2] Li, S., Harris, D., & Wells, T. (2016). Surface texture and friction characteristics of diamond-ground concrete and asphalt pavements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(5), 475-482.
- [3] Hu, Z., Xu, T., Liu, P., & Oeser, M. (2020). Developed photocatalytic asphalt mixture of open graded friction course for degrading vehicle exhaust. *Journal of Cleaner Production*, 123453.
- [4] Nejadkoorki, F., Yousefi, E., & Naseri, F. (2010). Analysing street traffic noise pollution in the city of Yazd. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 7(1), 53-62.
- [5] Hu, Z., Xu, T., Liu, P., & Oeser, M. (2020). Developed photocatalytic asphalt mixture of open graded friction course for degrading vehicle exhaust. *Journal of Cleaner Production*, 123453.
- [6] Freitas, E., Mendonça, C., Santos, J. A., Murteira, C., & Ferreira, J. P. (2012). Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4), 321-326.
- [7] Cai, M., Zhong, S., Wang, H., Chen, Y., & Zeng, W. (2017). Study of the traffic noise source intensity emission model and the frequency characteristics for a wet asphalt road. *Applied Acoustics*, 123, 55-63.
- [8] Ramos-Romero, C., León-Ríos, P., Al-Hadithi, B. M., Sigcha, L., de Arcas, G., & Asensio, C. (2019). Identification and mapping of asphalt surface deterioration by tyre-pavement interaction noise measurement. *Measurement*, 146, 718-727.
- [9] Mavridou, S., & Kehagia, F. (2017). Environmental Noise Performance of Rubberized Asphalt Mixtures: Lamia's case study. *Procedia environmental sciences*, 38, 804-811.
- [10] Liu, M., Huang, X., & Xue, G. (2016). Effects of double layer porous asphalt pavement of urban streets on noise reduction. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 183-196.
- [11] Meiarashi, S., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., & Nakatsuji, T. (1995). Quantitative comparison between noise reduction factors of drainage asphalt pavement. *Applied Acoustics*, 44(2), 165-179.