کاهش آلودگی صوتی و تأمین ایمنی رانندگان وسایل نقلیه با اصلاح شکل و دانه‌بندی مصالح‌سنگی رویه جاده

مقاله پژوهشی

فریناز امینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
محمدمهدی خبیری*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
فرهاد نژادکورکی، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

دریافت: ۹۹/۱۲/۲۵- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱
صفحه ۷۴-۶۳

چکیده

آلودگی صوتی در جاده‌ها شامل سه دسته، صدای ناشی از واحد قدرت وسیله نقلیه، صدای ناشی از اثر آئرودینامیک وسیله نقلیه و صدای ناشی از اثر متقابل تایر/ روسازی است. از عوامل بسیار موثر در ایجاد صدای لاستیک/روسازی و کاهش صدای بازتابی از سطح آسفالت: بافت روسازی، عمر روسازی، سرعت خودرو و دما می‌باشند که در تحقیق حاضر عملکرد همزمان بافت روسازی در تامین اصطکاک وکاهش آلودگی مورد بررسی قرارگرفته‌است. بافت روسازی علاوه بر کاهش آلودگی صدا، باید دارای مقاومت لغزشی مناسب در سرعت‌های زیاد، باشد. زیرا یکی از عوامل موثر ایمنی، بهبود اصطکاک سطحی روسازی می‌باشد. برای ارزیابی مقاومت لغزشی از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM- E303-74 در شرایط مرطوب و خشک استفاده‌شد. عمق بافت روسازی، نسبت مستقیم با میزان آلودگی صدا و هر اندازه از مصالح درشت‌دانه‌تری استفاده شود، سبب افزایش میزان تراز صدا خواهد شد. باتوجه به نتایج، می‌توان بیان کرد، که تهیه روسازی‌هایی با درصد درشت‌دانه بیشتر، می‌تواند باعث افزایش ۳۲درصدی اصطکاک و افزایش ۶ درصدی آلودگی صدا در اثر حرکت وسایل‌نقلیه را شامل 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 دسی‌بل افزایش یافته‌است. سنگ‌دانه‌های سوزنی در افزایش ۱۵درصدی مقاومت لغزشی نسبت به سنگ‌دانه‌های پولکی، حساسیت بیشتری در آزمایشها نشان دادند و سنگ‌دانه‌های پولکی و سوزنی در میزان صدای روسازی/لاستیک بی‌تاثیر (کمتر از ۵درصد) واقع شدند. همچنین سنگ‌دانه‌های پولکی در میزان مقاومت لغزشی، نیز بی‌تاثیر واقع‌شدند.

واژه‌های کلیدی: بافت روسازی، آلودگی صوتی، اصطکاک، مشخصات مخلوط آسفالتی، درخشندگی سطح

۱-مقدمه

امروزه با توجه بـه رشد روزافزون جمعیت و تعداد خودروها، آلودگی صوتی ناشی از عبور ترافیک و روش‌های مقابله با اثرات مخرب آن بر سلامت کاربران راه، از اهمیت قابل توجهی برخوردار اسـت. در سال‌های اخیر آلودگی صوتی به‌عنوان مهمترین مشکل زیست محیطی مطرح شده است که باعث ایجاد انواع بیماری‌های جسمی (مشکلات شنوایی) و روحی (بیماری‌های عصبی و روانی) می‌شود. در ایـن راستا، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های کاهش آلودگی صوتی‌ترافیک، 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 نـوع روسازی به عنوان مهم‌ترین عوامل

تاثیرگذار در میزان صدای تولیدی بـه شمار آمده است که با اصلاح نوع بافت روسازی و بـا حفظ عوامل‌اساسی دخیل در طرح روسازی همچون مقاومت لغزندگی و ... می‌توان تا حدودی صدای ناشی از عبور ترافیک از سطح راه را کاهش داد(Zhang, Liu & Meng,2019) . لذا، انتخاب یک روسازی مناسب بعنوان بهترین روش کنترل آلودگی صوتی راه‌ها، یعنی جذب صدای ناشی از تماس چرخ خودروها و روسازی، مطرح می‌باشد. هرچند آسفالت متخلخل به عنوان راه حلی برای کاهش آلودگی صوتی ونیز تامین اصطکاک وجود دارد، منتهی مقاومت پاین این مخلوط برای تمام معابر قابل استفاده نیست(Koohmishi, Shafabakhsh2018). بررسی آمار تصادفات در معابر شهری وبین‌شهری نشان می‌دهد، بسیاری از تصادفات در اثر عوامل مرتبط به جاده و بویژه کاهش اصطکاک رخ می‌دهد(Ziari,Khabiri,2006) که نتیجه‌ی وقوع پدیده‌ی سرخوردگی است. در صورت تلفیق با رطوبت سطحی به دلیل اعمال نیروی افقی به وسیله نقلیه، احتمال وقوع پدید سرخوردگی بیشتر می‌شود (Akbari, Shafabakhsh & Ahadi,2015). 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 وسیله نقلیه 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 این پژوهش سعی بر این است که با مقایسه شکل سنگ‌دانه ها، ریز یا درشتی سنگ‌دانه‌ها موجود در مخلوط رویه عوامل تاثیرگذار بر میزان صدای تولیدی، در جهت رفع کاهش صدا و بررسی اصطکاک در روسازی، گام مفیدی برداشته شود. که شکل سنگ‌دانه‌ها و میزان ریز و درشت بودن آن‌ها جز متغیر های 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 روی روسازی راه با تحقیقات میدانی، از دستگاه صوت‌سنج استفاده شد و جهت بررسی مقطعی از راه، نمونه‌ای از آن به آزمایشگاه منتقل و سپس تجزیه و تحلیل شد. همچنین برای بررسی بافت‌ریز یا درشت روسازی و میزان خلل و فرج موجود در سطح راه از آزمایش تست عمق بافت (آزمایش پخش ماسه[1]) و عکس‌برداری از بافت سطحی جهت ارزیابی بافت آن بصورت میدانی انجام خواهدشد و همچنین بررسی اصطکاک سطح با استفاده از پاندول انگلیسی[2] انجام می‌شود که ضریب اصطکاک بعنوان پارامتر وابسته و بافت سطحی (شکل سنگدانه‌ها) و ابعادسنگ دانه‌های قیر موجود در مخلوط، به عنوان پارامتر مستقل محسوب می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بازنگری در انتخاب شکل و دانه‌بندی مورد نیاز جهت طراحی روسازی با اصطکاک کافی و بطور همزمان، به حداقل رساندن صدای روسازی/لاستیک می‌باشد. در پژوهش حاضربا مطالعات آزمایشگاهی، میزان اصطکاک و صدای روسازی/لاستیک ایجاد شده در نمونه‌های آسفالتی با شکل و دانه‌بندی‌های مختلف در روسازی بطور همزمان مورد بررسی قرارمی‌گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

در تحقیقات گذشته در موضوع این مطالعه،خسانه و الشیب در سال۲۰۲۰ آزمایشی برای میزان تاثیر حداکثر اندازه سنگدانه‌ها جهت افزایش اصطکاک بر روی مخلوط آسفالت گرم انجام دادند. هدف اصلی از این مطالعه بررسی ویژگی هایی از رویه‌ی آسفالت گرم دو لایه‌ای، با انجام آزمایش سوپرپیو[3] بوده‌است (Khasawneh, Alsheyab, 2020) عملکرد مناسب اصطکاک روسازی بین لاستیک و آسفالت، شرط لازم برای اطمینان از ایمنی ترافیک و راحتی در رانندگی است. شانگ، وانگ و ژیانک در سال ۲۰۱۸ اصطکاک میکروسکوپی بین لاستیک و روکش آسفالت را با استفاده از نرم افزار Material Studio و LAMMPS بررسی کردند و نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در مقیاس میکروسکوپی، سرعت خودرو و دمای سطح روسازی اثرات مهمی بر ضریب اصطکاک دارد (Hou,et. al. 2018). اصطکاک سطحی در روسازی‌های آسفالت خراش دار، با عمر مفید بالاتر و همراه با نوسان است. به‌طور کلی، خراش‌زنی 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 داده‌است (Li, Harris, & Wells, 2016). محققان در سال ۲۰۲۰ برای توسعه آسفالت متخلخل فتوکاتالیستی پایدار با استفاده از گازهای زیان‌بار (اکسید

تیتانیوم) خارج شده از اگزوز خودرو، تحت تابش نور مرئی، تأثیر بسزایی از آهن، روی اکسید تیتانیوم را مورد بررسی قراردادند (Hu, Xu, & Oeser, 2020). مخلوط‌های اصطکاکی[4] (PFC) نفوذپذیر نوع ویژه‌ای از مخلوط آسفالت گرم هستند که برای بهبود ایمنی راننده و کاهش سروصدای ترافیک (سروصدای لاستیک/روسازی) طراحی شده‌اند. از نظر طراحی و ساخت روسازی، مخلوط‌های PFC به طور معمول به‌عنوان لایه رویه استفاده می‌شوند که علاوه بر بهبود مقاومت در برابر لغزش، به عنوان لایه زهکش سطحی نیز عمل می‌کنند(Alvarez,et. al.,2012). سرعت و تراکم بالای اتومبیل‌ها در ترافیک همیشه باعث آزار و اذیت می‌شوند و با اندازه‌گیری LA_{eq} و LA_{max}[5] بطور مستقیم با میزان صدای ایجاد شده در سطح راه ارتباط برقرار می‌کنند(Freitas,et. al. ,2012). همچنین یک روش جدید برای تشخیص خرابی سطح روسازی با استفاده از صدای لاستیک/روسازی که از یک وسیله‌نقلیه جهت تست و نصب سنسور هنگام رانندگی بطور منظم ثبت می شود که داده‌های صوتی فقط نشان دهنده میزان خرابی روسازی آسفالتی است(Ramos,et. al.,2019). لایه‌های آسفالتی با ضایعات لاستیک یک سطح ایمن، مقرون به صرفه و مناسب برای محیط زیست و گزینه‌ای سازگار با محیط زیست ارائه می‌دهند(Hejna,et,al.2020) و نه تنها باعث کاهش تولید صدا می‌شود، بلکه روسازی‌های بادوام‌تری را نیز ایجاد می کند که نسبت به اثرات دما حساسیت کمتری دارند و مزیت کاهش صدا حدود ۱تا۳ دسی‌بل[6] دارند. به نظر می‌رسد این عملکرد کاهش صدا در تمام دوره ساخت ثابت است (Mavridou, Kehagia, 2017). 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 مدل های عددی همراه با هوا ارزیابی می‌شود (Liu, Huang, & Xue, 2016). در تحقیقی دیگر نژادکورکی و همکاران در سال ۲۰۰۸ در کشور انجام شده‌است و آلودگی صوتی روسازی/ترافیک را توصیف می‌کند. سطح صدا با استفاده از دستگاه سنجش صدا Bruel Kjaer-2260 در۱۰ 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 وسایل‌نقلیه، جمع‌آوری و در نظر گرفته‌شد. مدل‌سازی نشان داد که بین میانگین سطح صدا و جریان ترافیک R^2 =۰/۵ رابطه معناداری وجوددارد. نتایج نشان داد که اگرچه ترافیک خیابان بین سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ افزایش یافته‌است، اما سطح صدا اندکی در شهر کاهش یافته و این موضوع به دلیل پیشرفت طراحی خودرو، نسبت داده شده‌است (Nejadkoorki, Yousefi & Naseri, 2010).همانگونه که در بررسی منابع مشخص گردید کمتر مراجعی به همزمانی به دو مسئله غیرهمسوی افزایش اصطکاک و کاهش آلودگی صوتی در روسازی با دانه‌بندی پیوسته ومعمول توجه شده است، به عبارت دیگر یک نوآوری این مطالعه را در توجه همزمان این دو پارامتر عملکردی سطحی در روسازی‌های معمول می‌توان تفسیر نمود.

۳- روش تحقیق و معرفی مراحل آزمایش‌ها

برای تعیین اثر شکل سنگدانه‌ها از دونوع حالت سنگدانه دارای تطویل وتورق در این مرحله مطالعه استفاده می‌شود. درصد ذرات پولکی شکل، درصد وزنی مصالح سنگی است که ضخامت آنها کمتر از ۰/٦ اندازه متوسط دانه‌ها باشد. مطابق استاندارد BS812-105 برای تعیین درصد ذرات سوزنی شکل از یک پایه چوبی که بر روی آن میله‌هایی قرار دارد که فاصله بین میله‌ها ۱/۸ اندازه متوسط دو الک متوالی می‌باشد، استفاده می‌گردد و برای تعیین درصد ذرات پولکی شکل از یک صفحه مخصوص شیاردار که عرض شیارها ۰/٦ اندازه متوسط دو الک متوالی است بکار می‌رود. در هر دو حالت مصالح سنگی از میان میله‌ها و شیارها عبور داده می‌شود. از تقسیم جمع وزنی مصالح عبور نکرده از میان میله ها نسبت به وزن اولیه درصد ذرات سوزنی و از تقسیم جمع وزنی مصالح رد شده از میان شیارها نسبت به وزن اولیه درصد ذرات پولکی شکل مطابق شکل(۱) محاسبه می‌گردد. طبق (جدول ۹-۷) نشریه ۲۳٤: مقدار مجاز درصد ذرات سوزنی و پولکی حداکثر ۱۵درصد مانده روی الک ٤ (درشت‌دانه) و حداقل درصد شکستگی مصالح را ۹۰ درصد

در نظر گرفته‌است و دانه‌های پهن و دراز، سنگ‌دانه‌هایی هستند که حداکثر طول به حداقل ضخامت آن‌ها بزرگتر از ۵ می‌باشد (نشریه روسازی راه آسفالتی۲۳٤، ۱۳۹۱).

شکل۱. تعیین درصد وزنی سنگ‌دانه‌های دراز و پولکی با استفاده از صفحه شیاردار و پایه چوبی

نمونه‌های اصطکاکی طبق استاندارد مارشال و قالب ۱۵ سانتیمتر (٦ اینچی) بادرصد قیر بدست آمده از نمونه‌های مغزه‌گیری شده‌ی میدانی ساخته شدند و سنگ‌دانه‌های مصرفی در هر یک نمونه‌ها به شرح زیر می‌باشد.

نمونه اول: دانه‌بندی شماره٤ در حد پایین ۱۰۰درصد درشت‌دانه مکعبی- S1

نمونه دوم: دانه‌بندی شماره٤ در حد پایین، با ۱۵درصد درشت‌دانه سوزنی-S2

نمونه سوم: دانه‌بندی شماره٤ در حد پایین، با ۱۵درصد درشت‌دانه پولکی-S3

نمونه چهارم: دانه‌بندی شماره٤ در حد وسط-3S

نمونه پنجم: دانه‌بندی شماره٤ در حد بالا-3P

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.

$$MTD = \frac{4.v}{\pi.D^2} \quad (۱)$$

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 در شرایط آزمایشگاهی مشخص شده‌است.

شکل ۲. نحوه انجام آزمایش پخش ماسه در شرایط آزمایشگاهی

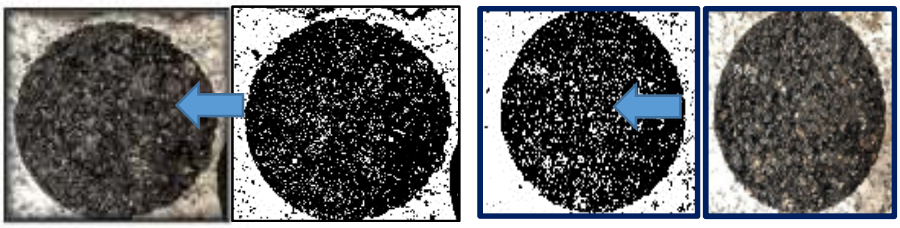
در این پژوهش به طور خاص، شرایط مرطوب یا خشک آسفالت روی شدت صوت بررسی شده‌است، و همچنین در آزمایشگاه هنگام عبور پاندول از روی سطح نمونه‌ها صدای حاصل از برخورد لاستیک پاندول با سطح نمونه آسفالتی تحت تأثیر تعدادی از عوامل از جمله: نحوه رفتار راننده، شرایط تایر، شرایط سطح جاده، بافت روسازی و اقلیم است. جدول (۱) مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری شدت صوت مورد استفاده در این مطالعه را نمایش می‌دهد. اندازه‌گیری بافت ریز به علت ویژگی میکرسکوپی 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 می‌آید. استفاده از آونگ انگلیسی با استاندارد (ASTME303) از جمله وسایل

اندازه‌گیری بافت ریز سطوح مختلف مطابق شکل(۲) می‌باشند. تصاویری که از سطح ۵ حالت نمونه‌های آزمایشگاهی ثبت شده‌است، توسط نرم‌افزار MATLAB تجزیه و تحلیل شد. این تصاویر توسط برنامه نوشته شده در زیر به صورت سیاه و سفید درآمده و سپس تعداد پیکسل‌های سفید برای هر عکس تعیین شد. سپس تعداد پیکسل‌های سفید هر عکس تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌های عکس شد و مقدار نسبی آن محاسبه شد. مطابق شکل(۳) پیکسل‌های سفید هر عکس بر تعداد کل پیکسل‌های عکس شده و به صورت عدد نسبی محاسبه گردیده که به عنوان "میزان درخشندگی سطح جاده[۷]" نامیده‌شد.

جدول۱. مشخصات و تنظیمات انجام شده بر روی دستگاه صوت‌سنج

نوع و مدل دستگاه: BZ 7210		**ورژن دستگاه: Ver 2.2**	
متوسط ارتفاع میکروفن: بصورت قائم از سطح زمین	۰ سانتی متر	متوسط فاصله میکروفن از خودرو: بصورت عمود بر نمونه آسفالتی	۵ سانتی‌متر
شبکه توزین فرکانس	A	C	Lin
سرعت پاسخ دستگاه	Slow	Fast	Imp
روش اندازه‌گیری آلودگی صوتی: روش متوسط زمانی صدای ترافیک، بر حسب (LA_{eq})			

شکل۲. اندازه‌گیری اصطکاک آسفالت خیس و خشک با استفاده از پاندول انگلیسی ودستگاه سنجش صوت بکاررفته

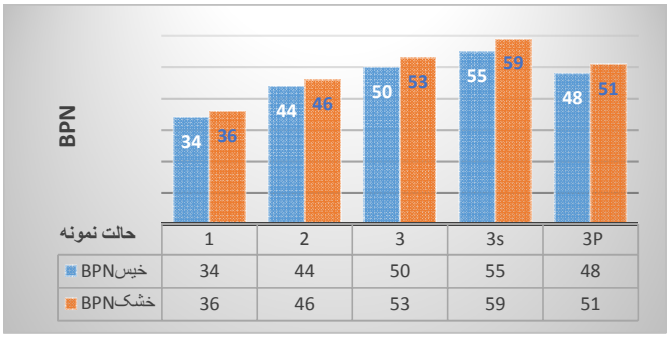


شکل۳. تبدیل به عکس‌های سیاه سفید در متلب جهت پردازش تصویر در دو نمونه روسازی

٤- نتایج و بحث

٤-١- اندازه‌گیری مقاومت لغزشی

همانطور که در نمودار شکل (٤) دیده می‌شود با در نظر گرفتن ۵ حالت خشک مذکور در دانه‌بندی شماره ٤، با افزایش میزان درشت‌دانه عدد (BPN) افزایش یافته و در حالت S۳ (حد پایین دانه‌بندی شماره ٤ با ۱۵درصد درشت‌دانه سوزنی) عدد پاندول افزایش قابل توجهی نسبت به ٤ حالت دیگر داشته است.



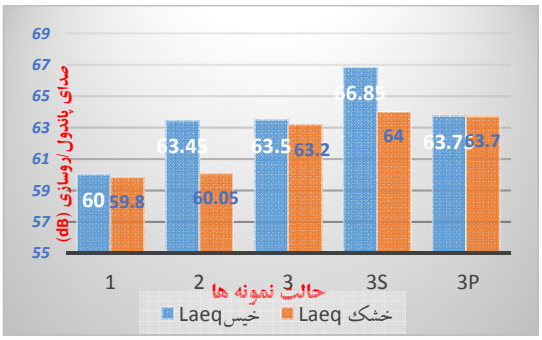
شکل ٤. مقایسه شرایط خشک و خیس مقاومت لغزشی نمونه‌های آسفالتی

همچنین در شرایط خیس، در ۵ حالت مذکور با افزایش میزان درشت‌دانه، عدد پاندول (BPN) افزایش یافته و در حالت S۳ (حد پایین دانه‌بندی شماره ٤ با ۱۵درصد درشت‌دانه سوزنی) افزایش قابل توجهی نسبت ٤ حالت دیگر داشته‌است. ولی عدد پاندول نسبت به شرایط نمونه آسفالتی خشک حدود ٦درصد کاهش یافته‌است. با توجه به اینکه میزان فیلر و ریزدانه موجود در حد بالا و حد وسط نمونه‌های دانه‌بندی شماره ٤، بیشتر از حد پایین آن است، بنابراین ریزدانه‌ها، حفره‌های سطح روسازی را پر کرده و به دلیل کاهش خلل‌وفرج آسفالت، مقاومت لغزندگی کاهش می‌یابد.همچنین با مرطوب شدن سطح نمونه، آب همچون روغن‌کاری بر سطح راه اثر کرده و باعث کاهش عدد پاندول و درنتیجه باعث کاهش اصطکاک سطح راه می‌شود.

٤-۲- اندازه‌گیری صدای آسفالت/کفشک پاندول، در شرایط خشک و مرطوب

همانطور که در نمودار شکل(۵) دیده می‌شود با در نظر گرفتن ۵ حالت خشک دانه‌بندی شماره ٤، با افزایش میزان درشت‌دانه، صدای (پاندول/ نمونه آسفالتی) افزایش یافته و در حالت S۳ (حد پایین دانه‌بندی شماره ٤ با ۱۵درصد درشت‌دانه سوزنی) صدای پاندول/ نمونه آسفالتی افزایش قابل‌توجهی نسبت به ٤ حالت دیگر داشته‌است. همچنین میزان صدای پاندول/نمونه‌آسفالتی در حالت P۳ و حالت ۳ (۱۰۰درصد مکعبی) میزان صدای تقریبا مساوی داشته‌اند. همچنین در شرایط خیس، در ۵ حالت مذکور با افزایش میزان درشت‌دانه صدای پاندول/ نمونه آسفالتی افزایش یافته و در حالت S۳ (حد پایین دانه‌بندی شماره ٤ با ۱۵درصد درشت‌دانه سوزنی) صدای پاندول/ نمونه‌آسفالتی افزایش قابل‌توجهی نسبت ٤ حالت دیگر داشته است.

همچنین صدای پاندول/ نمونه‌ی آسفالتی، نسبت به شرایط آسفالت خشک، با میانگین ۱ دسی‌بل افزایش یافته‌است. دلیل افزایش صدای پاندول/ نمونه آسفالتی در درشت‌دانه‌ها، گذر کفشک پاندول از روی نمونه‌ی آسفالتی و در نتیجه ایجاد لرزش کفشک روی سنگ‌دانه افزایش را حاصل می‌شود و باعث افزایش صدای تولیدی خواهد شد و همچنین در شرایط آسفالت مرطوب، صدای پاشش آب نیز باعث تشدید صدای ایجاد شده از سطح نمونه خواهد شد. میزان درشت‌دانه یا ریزدانه بودن مصالح و همچنین شکل مصالح سنگی بدلیل طریقه‌ی برخورد تایر با روسازی و همچنین میزان هوای محبوس در خلل و فرج موجود در سطح آسفالت می‌تواند در میزان صدای تولید شده لاستیک/روسازی تاثیر بسزایی داشته باشد.



شکل ۵. مقایسه نتایج حاصل از LA_{eq} پاندول/ نمونه آسفالتی در شرایط مرطوب و خشک

۵-تحلیل آماری متغیرهای وابسته و مستقل در عملکرد سطحی

مطابق جدول (۲)، در آسفالت خشک و مرطوب، با افزایش عمق بافت درشت، عدد پاندول و درنتیجه اصطکاک سطح افزایش یافته‌است و همانطور که در قسمت قبل نیز گفته‌شد، عدد پاندول در شرایط آسفالت مرطوب حدود ٦درصد کاهش داشته است. هرچه عمق بافت، کمتر باشد میزان خلل فرج آسفالت بیشتر درگیر ریزدانه‌ها خواهند شد و سطح آسفالت صیقلی‌تر و لیزتر می‌شود که این امر باعث کاهش ضریب اصطکاک سطح و درنتیجه باعث کاهش اصطکاک سطح می‌شود. همچنین با افزایش عمق بافت، صدای کفشک پاندول هنگام گذر از روی سطح نمونه آسفالتی، چه در شرایط آسفالت مرطوب و چه در شرایط آسفالت خشک، افزایش می‌یابد. از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر صدای ناشی از اثر متقابل تایر و روسازی، بافت روسازی است. بافت روسازی از طریق محبوس کردن هوا و پمپاژ آن و همچنین ایجاد ارتعاش در تایر باعث تولید صدا می‌شود. بافت درشت روسازی در تولید صدا نقش دارند. هـر چه عمق بافت کمتر باشد تولید صدا نیز کاهش می‌یابد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، با افزایش درصد وزنی سنگ‌دانه‌ها، هم در آسفالت خشک و مرطوب، عدد پاندول نیز افزایش پیدا می‌کند. با افزایش درصد وزنی بزرگترین سنگ‌دانه، میزان درشت دانه‌ی موجود در سنگ‌دانه‌ها افزایش یافته و باعث افزایش ضریب اصطکاک و درنتیجه باعث افزایش عدد پاندول و اصطکاک سطح خواهدشد. همچنین با افزایش درصد وزنی سنگ‌دانه‌ها، عمق بافت نمونه آسفالتی نیز افزایش داشته‌است که همین امر طبق تحلیل‌های بخش قبل، با افزایش عمق بافت، میزان هوای محبوس در سنگ‌دانه‌ها و لرزش کفشک افزایش می‌یابد و همین امر باعث افزایش LA_{eq} در شرایط آسفالت مرطوب و خشک می‌شود. نتایج اندازه‌گیری سطح درخشندگی نمونه ا در دانه‌بندی های مختلف در جدول (٤) ارایه شده است. طبق جدول (۵)، با افزایش عمق بافت در نمونه‌های آسفالتی، میزان درخشندگی سطح نمونه آسفالتی یا شاخص برازش (۰/۹۷۱۱) و ضریب پیرسون مثبت و نزدیک به ۱ (معادله رگرسیونی معنی دار و معتبر) افزایش داشته است. که می‌توان رابطه‌ی بین میزان درخشندگی سطح در پردازش تصویر و عمق بافت را خطی و مستقیم دانست.

جدول ۲. نتایج آماری spss و رابطه بین متغیر مستقل و وابسته

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پیرسون	معادله خط	R^2
(mm)MTD	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های خشک	0.951	y = 32.171x + 34.137	0.9047
	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های مرطوب	0.938	y = 28.977x + 32.813	0.8791
	LA_{eq}در شرایط نمونه‌های خشک	0.960	y = 7.7223x + 58.582	0.9213
	LA_{eq}در شرایط نمونه‌های مرطوب	0.856	y = 8.1365x + 59.751	0.7327

جدول ۳. نتایج آماری spss و رابطه بین متغیر مستقل و وابسته

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پیرسون	معادله خط	R^2
درصد وزنی بزرگترین سنگدانه	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های خشک	0.939	y = 0.9063x + 12.75	0.8819
	عدد پاندول در شرایط نمونه‌های مرطوب	0.943	y = 0.8313x + 12.95	0.8887
	LA_{eq}در شرایط نمونه‌های خشک	0.926	y = 0.2125x + 53.65	0.8571
	LA_{eq} درشرایط نمونه‌های مرطوب	0.816	y = 0.2213x + 54.66	0.6655
	MTD	0.905	y = 0.0258x - 0.5705	0.8185

جدول٤. نتایج حاصل از پردازش تصویر

شماره ناحیه (میدانی)	Brightness	عمق بافت (MTD) میلی‌متر
۱	0.42913	۰/۱۶
۲	0.43316	۰/۲۴
۳	0.46647	۰/۶
S۳	0.47058	۰/۷۷
P۳	0.45894	۰/۵۴

جدول۵. نتایج آماری spss و رابطه بین متغیرها

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب پیرسون	معادله خط	R^2
Brightness (درخشندگی)	LAeqروسازی/کفشک پاندول آسفالت خشک	0.852	y = 0.0052x + 0.1148	0.7263
	LAeqروسازی/کفشک پاندول آسفالت مرطوب	0.313	y = 0.0041x + 0.182	0.977
	MTD	0.985	y = 0.0743x + 0.4173	0.9711
	LAeqروسازی/کفشک پاندول آسفالت خشک	0.852	y = 0.0052x + 0.1148	0.7263

همچنین با افزایش LA_{eq} (میزان صدای نمونه آسفالتی/پاندول)، درخشندگی افزایش یافته است. و همچنین با وجود شاخص برازش (۰/۷۲۶۳) و ضریب پیرسون نزدیک به ۱، می‌توان معادله رگرسیونی تشکیل شده بین این دو پارامتر را معنی‌دار و مستقیم دانست. نکته قابل‌توجه در جدول (٦) نیز رابطه‌ی مستقیم بین عمق بافت و LA_{eq} است و می‌توان وابستگی بین این دو پارامتر را در این بخش نیز اثبات کرد.

جدول ٦. نتایج میزان تاثیر متغیرهای وابسته و مستقل بر یکدیگر در SPSS

	متغیر وابسته–متغیر مستقل	Sig	Beta (pearson)	R^2
۱	(MTD – BPN) wet	۰/۰۱۹	۰/۹۳۸	۰/۸۷۹
۲	(MTD – BPN) dry	۰/۰۱۳	۰/۹۵۱	۰/۹۰۵
۳	(MTD – LAeq) wet	۰/۰۶۴	۰/۸۵۶	۰/۷۳۳
٤	(MTD – LAeq) dry	۰/۰۱۰	۰/۹۶۰	۰/۹۲۱
٥	(Weight percentage of the largest aggregate -BPN) wet	۰/۰۱۶	۰/۹۴۳	۰/۸۸۹
٦	(Weight percentage of the largest aggregate -BPN) dry	۰/۰۱۸	۰/۹۳۹	۰/۸۸۲
۷	(Weight percentage of the largest aggregate - LAeq) wet	۰/۰۹۲	۰/۸۱۶	۰/۶۶۶
۸	(Weight percentage of the largest aggregate - LAeq) dry	۰/۰۲۴	۰/۹۲۶	۰/۸۰۹
۹	(Weight percentage- MTD)	۰/۰۳۵	۰/۹۰۵	۰/۸۱۹

در این بخش تحلیل آماری برای معنی دار بودن نتایج آزمایش مقاومت لغزندگی و آزمایش اندازه‌گیری شدت صوت بر روی نمونه‌های آسفالتی، انجام شده است. برای بررسی و تحلیل ارتباط میان عدد آونگ انگلیسی و عمق بافت نمونه‌های آسفالتی با ٥ حالت از دانه‌بندی شماره ٤ بر حسب درصد قیر و بررسی نمونه‌های آسفالتی در شکل درشت‌دانه‌های مختلف، از جمله مکعبی، سوزنی و پولکی آسفالت در بعد میدانی و آزمایشگاهی، از نرم افزار SPSS استفاده شده است. برای برقراری ارتباط میان داده‌ها رگرسیون ساده خطی، بکار گرفته شده است. مقدار" significance Level " یا به اختصار Sig" برای هر یک از پارامترها، تاثیر گذاری آنها را معین مینماید. به گونه‌ای که اگر مقدار آن برای پارامتری کمتر از ۰/۰۵ باشد، آن پارامتر در سطح اطمینان ۹۵ درصد تاثیر گذار خواهد بود. همچنین مقادیر حاصل از آزمون t، برای پارامترهای مذکور گزارش شده است. چنانچه این مقدار برای هر پارامتر از حد بحرانی آن در سطح اطمینان مورد نظر کمتر باشد، پارامتر مورد نظر در این سطح اطمینان تاثیر گذار نخواهد بود. لازم به ذکر است که آزمون t از تقسیم تفاوت بین میانگین‌های داده‌ها، بر انحراف معیار توزیع اختلاف آن‌ها می‌باشد. همچنین مقادیر ستون Beta در خروجی نرم افزار، حاکی از اثرگذاری یک متغیر است، که مقدار بالاتر برای یک متغیر نشان دهنده اثرگذاری بیشتر آن خواهد بود. همچنین مقدار (R Square) میزان همبستگی بین متغیرهای مورد استفاده در رگرسیون را بیان میکند که هرچه این مقدار به عدد ۱ نزدیکتر باشد، همبستگی مناسبی بین متغیرها وجود دارد. همانطور که در جداول (٥) و(٦) مشهود است، ضریب برازش در همه‌ی رگرسیون‌های خطی تشکیل شده جدول (٥)و(٦) در تحقیقات آزمایشگاهی، بیشتر از ۰/٥ (حدود ۰/۸ به بالا و نزدیک به ۱) می‌باشد. که همانطور که از تعریف ضریب رگرسیون مشخص است، همبستگی مناسبی بین متغیرها وجود دارد. همچنین مقدار" significance Level" برای هر یک از پارامترها، به گونه‌ای است که در همه‌ی متغیرها مقدار آن کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، و پارامترها در سطح اطمینان بالاتر از ۹۵ درصد تاثیر گذار خواهندبود. همچنین مقادیر ستون Beta (ضریب پیرسون) در خروجی نرم افزار، حاکی از اثرگذاری یک متغیر است، که مقادیر آن در همه‌ی پارامترها (بالاتر از ۰/۸۵ و نزدیک ۱ می‌باشد.) که نشان دهنده اثرگذاری زیاد آنها در آزمون t خواهد بود. ضریب پیرسون در بازه ۱- تا ۱+ متغیر است. هرچه این ضریب به ۱- نزدیک شود، رابطه بین دو پارامتر خطی و معکوس است . هرچه به ۱+ نزدیک شود رابطه خطی و مستقیم است و هرچه به صفر نزدیک شود از میزان خطی بودن رابطه‌ی بین دو متغیر دور می‌شود.با توجه به تحلیل‌های آماری انجام شده، در سطح معنی داری از نتایج آزمایش مقاومت لغزندگی

و آزمایش اندازه‌گیری شدت صوت بر روی نمونه‌های آسفالتی، می‌باشد.

٦- نتیـجه‌گیری

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:

– در مقایسه شرایط جوی (مرطوب و خشک)، مقاومت لغزشی آسفالت مرطوب، ٦ درصد کاهش، و میزان صدای (روسازی/لاستیک) در آسفالت مرطوب نسبت به آسفالت خشک، با میانگین ۱ دسی‌بل افزایش یافت وبا افزایش درشت‌دانه در مخلوط آسفالتی، مقاومت لغزشی و میزان صدای روسازی/لاستیک (بر حسب LA_{eq}) ٤/۲ دسی‌بل در آسفالت مرطوب و به اندازه ۵/۸۵دسی‌بل در آسفالت خشک افزایش یافت.

- با افزایش عمق بافت در نمونه‌های آسفالتی آزمایشگاهی، عدد پاندول ۳٦ درصد و صدای روسازی/لاستیک (LA_{eq}) ۷درصد افزایش یافت.

با افزایش درصد وزنی بزرگترین سنگ‌دانه‌ها، عدد پاندول ۳۲ درصد و صدای روسازی/لاستیک (LA_{eq})، ٦درصد افزایش یافته‌است.

– با درنظر گرفتن تحلیل‌های آماری، درشت‌دانه‌های پولکی نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی، در مقاومت لغزشی نقش قابل‌توجهی نخواهنداشت و درنتیجه عدد پاندول نسبت به درشت‌دانه‌های سوزنی ١٤درصد، حساسیت بیشتری نشان داده‌است.

- وجود سنگ‌دانه‌های سوزنی در نمونه آسفالتی نسبت به سنگ‌دانه پولکی، در ایجاد صدای روسازی/لاستیک موثرتر است و میزان سنگدانه‌های پولکی در تمام شرایط تاثیری بر میزان صدای روسازی/لاستیک نخواهند داشت.

– بطورکلی میزان صدای روسازی/لاستیک تحت تاثیر 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 ارجعیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

– مطابق پردازش تصویر انجام‌شده، رابطه‌ی بین عمق بافت و درخشندگی مستقیم و با معادله‌ی خطی، در سطح معنی‌دار می‌باشد. رابطه‌ی بین میزان صدای روسازی/لاستیک و درخشندگی مستقیم و دارای معادله‌ی رگرسیون خطی در سطح معنی‌دار می‌باشد. طبق پردازش تصویر انجام شده، می‌توان وابستگی مستقیم بین عمق بافت و میزان صدای روسازی/لاستیک را تاکید کرد. برای تحقیقات کامل‌تر نیاز است انواع دانه بندی به صورت آزمایشگاهی و میدانی انجام گیرد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Sand patch Test
2. Super Pave Test
3. English Pendulum Test
4. Pavement Friction Concrete
5. Sound Intensity
6. Sound Measurement Unit (Decibel)
7. Brightness level

۸- مراجع

-Akbari, M., Shafabakhsh, G.A., &Ahadi, M. R., (2015), "Assessing the safety effects of road surface condition index on the frequency of off-road accidents", Transportation Infrastructure Engineering, 1 (3), pp.47-61. Doi: 10.22075 / jtie, (in Perian)

-Alvarez, A. E., Fernandez, E. M., Martin, A. E., Reyes, O. J., Simate, G. S., & Walubita, L. F., (2012), "Comparison of permeable friction course mixtures fabricated using asphalt rubber and performance-grade asphalt binders", Construction and Building Materials, 28(1), pp.427-436.

-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), pp.321-326.

-Hejna, A., Korol, J., Przybysz-Romatowska, M., Zedler, Ł., Chmielnicki, B., & Formela, K., (2020), "Waste tire rubber as low-cost and environmentally-friendly modifier in

-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), pp.183-196.

-Mavridou, S., & Kehagia, F., (2017), "Environmental Noise Performance of Rubberized Asphalt Mixtures: Lamia's case study", Procedia environmental sciences, 38, pp.804-811.

-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), pp.53-62.

-Ramos, 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, pp.718-727.

-Ziari, H., & Khabiri, M. M., (2006), "Analysis characteristics and provide a prediction model of public bus accident in Tehran", Journal of Applied Sciences, 6(2), pp.247-250.

-Zhang, H., Liu, Z., & Meng, X., (2019), "Noise reduction characteristics of asphalt pavement based on indoor simulation tests", Construction and Building Materials, 215, pp.285-297.

thermoset polymers–A review", Waste Management, 108, pp.106-118.

-Hou, Y., Zhang, H., Wu, J., Wang, L., & Xiong, H., (2018), "Study on the microscopic friction between tire and asphalt pavement based on molecular dynamics simulation", International Journal of Pavement Research and Technology, 11(2), pp.205-212.

-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, 12(34), pp.53-25.

-Khasawneh, M. A., & Alsheyab, M. A., (2020), "Effect of nominal maximum aggregate size and aggregate gradation on the surface frictional properties of hot mix asphalt mixtures", Construction and Building Materials, 244, 118355.

-Koohmishi, M., & Shafabakhsh, G., (2018), "Drainage potential of reservoir course of porous pavement for various particle size distributions of aggregate, Transportation Geotechnics, 16, pp.63-75.

-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), pp.475-482.

Reducing Noise Pollution and Ensuring the Safety of Vehicle Drivers by Modifying the Shape and Grain Size of Road Surface Materials

Farinaz Amini, M.Sc., Grad., Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Mohammad Mehdi Khabiri , Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Farhad Nejadkoorki, Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

E-mail: mkhabiri@yazd.ac.ir

Received: June 2021-Accepted: August 2021

ABSTRACT

One of the most effective factors in creating tire/pavement sound and reducing the sound of reflection from the asphalt surface are: pavement texture, pavement life, vehicle speed, and temperature, which in the present study, pavement texture and speed have been studied. In the present study, the simultaneous performance of pavement texture in providing friction and reducing pollution has been investigated. To evaluate the skid resistance of asphalt, the English pendulum test by ASTM-T3-74 standard in wet/dry conditions was used. 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. 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 vehicles movement. Compared to weather conditions (wet/dry), the skid resistance of wet asphalt decreased by 6% and the amount of noise 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 skid resistance. Also flake aggregates were unaffected by pavement/tire noise and skid resistance. Therefore, it is recommended that in the process of preparing pavements, also maintaining proper pavement friction, coarse materials as well as high-speed control, especially in urban areas and sensitive areas, and pavement with proper drainage, be used.

Keywords: Pavement Texture, Noise Pollution, Friction, Asphalt Mix Specifications, Brightness Level