علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸

تاثیر تایرهای وسایل نقلیه در حال حرکت بر مقاومت لغزشی و تولید صدا در روسازی‌های آسفالتی

امیراسماعیل فروهید[1*]

amiresmaelf@yahoo.com

علی منصور خاکی [2]

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۲ **تاریخ پذیرش:۹۴/۹/۳۰**

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی صوتی ناشی از تردد وسایل نقلیه از جمله مشکلات مهمی است که در مناطق شهری با گسترش راه‌ها به وجود آمده است. به دلیل افزایش هزینه‌های ساخت و نصب دیوارهای صوتی به منظور مقابله با آلودگی صوتی، باید برای مقابله با این مشکل به دنبال روش‌هایی بود که هزینه‌های اضافه علاوه بر هزینه‌های اجرایی راه نداشته باشد. بهبود بافت روسازی یکی از روش‌های بسیار موثر در کاهش صدای تایر و روسازی و کاهش صدای بازتابی از سطح آسفالت است.

روش بررسی: برای ارزیابی مقاومت لغزشی آسفالت از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E303-74 در شرایط مرطوب بر روی نقاط مختلف آسفالت انجام گردید. از این دستگاه برای بررسی بافت ریز روسازی استفاده می‌شود.

یافته‌ها: عدد اصطکاک روسازی با ضریب منفی۰/۱۴۶۹ نسبت عکس با میزان تراز صدا دارد، یعنی با افزایش عدد اصطکاک روسازی میزان تراز صدای ایجاد شده کاهش می‌یابد. از طرفی عمق بافت روسازی که به صورت اندازه‌ی مصالح روسازی تعیین شده است با ضریب ۰/۲۸۱۰، نسبت مستقیم با میزان آلودگی صدای ایجاد شده دارد و هر اندازه از مصالح ریز دانه‌تری استفاده شود، سبب افزایش میزان تراز صدا خواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج ضرایب برآورد شده از معادله، می توان به این نتیجه دست یافت که تهیه روسازی هایی با عدد اصطکاک بالا می تواند میزان آلودگی صدای منتشرشده در اثر حرکت وسایل نقلیه را به خصوص در نواحی شهری و مناطق حساس کاهش دهد. بنابراین توصیه می شود در نواحی حساس صوتی، در فرآیند تهیه روسازی ها، ترتیبی اتخاذ شود که علاوه بر حفظ مقاومت مناسب روسازی، از مصالح درشت دانه تری استفاده شود. بدین منظور در این مقاله به بررسی بافت روسازی در میزان صدای ایجاد شده ناشی از اثر متقابل تایر و روسازی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: بافت، روسازی، آلودگی صوتی، تایر، وسایل نقلیه.

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، (مسوول مکاتبات).

۲- دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران، تهران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.6, August, 2019

Effects of Rolling Tire of Vehicles on Skid Resistance and Noise Pollution on Asphalt Pavement

Amir Esmael Forouhid [1*]
amiresmaelf@yahoo.com
Ali Mansour Khaki [2]

Admission Date:December 21, 2015 Date Received: November 13, 2015

Abstract

Background and Objective: Noise pollution caused by vehicle traffic is one the important problems in the urban areas. As the cost of construction and installation of acoustic walls to prevent the noise pollution is high, dealing with this problem needs to follow the techniques that will increase the cost of the implementation on roads. Improving the pavement texture of the superstructure is one of the methods which is very effective in order to reduce the noise of tire and road surfaces and reduce sound reflection from the surface of the asphalt.

Method: For the evaluation of asphalt resistance test is in accordance with ASTM English standard pendulum E303-74 in wet conditions on the different parts of the asphalt.

Findings: The number of friction road surfaces with a coefficient of negative noise level compared with the amount of 0.1469, i.e. by increasing the number of friction road surfaces will reduce the amount of created noise level. As well as the depth of the texture of the road surfaces that form the superstructure materials fitted size is designated with a direct proportion with the amount of pollution 0.2810 which is coefficient for the sound created and any size from fine-grained materials will increase the amount of sound level.

Discussion and Conclusion: According to the results of the estimated coefficients from the equation, it can be found that in the hands of the preparation of road surfaces with high friction number can release the noise pollution level including the noise of moving vehicles, especially in urban areas and sensitive areas. It is therefore advisable the sensitive areas to be in the process of preparation of the superstructure and maintain the order adopting the proper resistance of road surfaces and the coarser materials.

Key words: Khorkhoran, change, mangroves, hydrodynamics, Hormuz.

1- PhD, Road & Transportation Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology, Narmak, Tehran, Iran *(Corresponding Author).*
2- Professor of Civil Department, School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology, Narmak, Tehran, Iran

مقدمه

کنترل وسیله نقلیه و ایمنی فرود هواپیما تا حدود زیادی به خصوصیات سطح روسازی بستگی دارند. اگر روسازی خشک باشد اصطکاک موجود بین لاستیک و سطح روسازی معمولاً زیاد است. در آب و هوای سرد و طوفانی وجود آب (رطوبت) باعث افزایش پتانسیل هیدروپلانینگ یا لغزندگی و ایجاد وضعیت بحرانی می-شود، مخصوصاً زمانی‌که مقاومت سطح روسازی در برابر لغزندگی کم باشد. بر روی یک سطح روسازی مرطوب که فاقد مقاومت کافی در برابر لغزندگی و هیدروپلانینگ است، راننده یا خلبان قادر نخواهد بود، کنترل مستقیم خود را بر وسیله نقلیه حفظ نماید. علت اساسی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مقاومت در برابر لغزندگی سطح روسازی، جلوگیری از وقوع سوانح یا تقلیل آن-هاست. از این داده‌ها برای شناسایی قطعاتی از روسازی که دارای مقاومت کم بوده یا به سرعت رو به کاهش در برابر لغزندگی می-باشند استفاده می‌شود. در نتیجه این اطلاعات می‌توانند به عنوان ابزاری به منظور اولویت‌بندی و انتخاب گرینه مناسب ترمیم و نگه‌داری در خدمت مدیریت قرار بگیرند(۱).

مقاومت در برابر لغزندگی به عنوان نیرویی تعریف می‌شود که در برابر سرخوردن لاستیک‌ها بر روی سطح روسازی عمل می‌کند، در هنگامی که از چرخیدن لاستیک‌ها ممانعت می‌شود. اگر چه مقاومت در برابر لغزندگی به عنوان یک ویژگی سطح روسازی قلمداد می‌شود، لیکن شرایط مختلفی غیر از شرایط سطح روسازی بر نیروی عمل‌کننده بین لاستیک و روسازی تأثیر می-گذارند: از جمله فشار لاستیک، آج لاستیک، وجود آب، درجه حرارت بارگذاری و سرعت وسیله نقلیه، هیدروپلانینگ زمانی به وقوع می‌پیوندد که سطح لاستیک و سطح روسازی به وسیله آب یا آلاینده‌ها از یک دیگر جدا شده باشند(۲).

کاهش اصطکاک در فصل مشترک تایر و روسازی یکی از عوامل ایجاد و افزایش تصادف‌های جاده‌ای است. مقدار اصطکاک بستگی به خصوصیات سطح راه و مشخصات وسیله نقلیه دارد که در شرایط خیس راه بحرانی است. می‌توان گفت که بر روی یک راه با مقاومت لغزشی کم تصادف‌های بیش‌تر از سطح با مقاومت لغزشی، بالا است. حدودا یک سوم سوانح رانندگی در جاده‌ها بر اثر لغزش وسیله نقلیه بر روی سطح خیس روی می‌دهد. (۳و۴). اصطکاک نیرویی است که همواره در خلاف جهت حرکت عمل می کند. ضریب اصطکاک به عنوان نسبت نیروی اصطکاکی که در صفحه مشترک اثر می کند و نیروی عمود بر این صفحه تعریف شده است. در فیزیک μ، ضریب اصطکاک از تقسیم مقاومت سایشی ناشی از حرکت در سطح مشترک، (F) ،بر باری که به شکل قائم بر آن اثر می نماید (L) ، محاسبه می گردد. در واقع مشخصه روسازی که بر مقاومت لغزشی اثر می نماید بافت درشت و ریز رویه راه روسازی است.در هر حال مهندسین روسازی معمولا ترجیح می دهند اصطکاک را به صورت نسبت اصطکاک $f=F/L$ محاسبه نمایند، که در آن F نیروی اصطکاک و L نیروی عمودی است (۵).

به دلیل این‌که نسبت دادن ویژگی f به روسازی بدون تعیین پارامترهای مؤثر بر آن همانند چرخ،سرعت، دما، لایه نازک آب و... درست نیست، استانداردهایی برای اندازه گیری مقاومت لغزشی ایجادشده اند. مشهورترین استاندارد، ASTM است. پارامتر اندازه گیری شده بر حسب این استاندارد عدد لغزندگی (SN) نامیده و به صورت معادله (۱) محاسبه می شود:

$$SN= 100\ f \qquad (۱)$$

اندازه گیری های مقاومت لغزشی معمولا بر روی روسازی های خیس انجام می شوند. مقادیرSN به دست آمده از یک روش استاندارد نشان دهنده قابلیت یک روسازی جهت حفظ اصطکاک مورد نیاز وسایل نقلیه می باشد. در این مورد با استفاده از اندازه-گیری مقاومت لغزشی روسازی در شرایط خیس برای وسیله نقلیه، میزان صدای تولید شده را با مقاومت لغزشی مورد ارزیابی قرار داده و تاثیر مقاومت لغزشی با صدای تولیدی از تایر بر روسازی به دست می‌آید. همه روش‌های اندازه گیری مقاومت روسازی بر پایه تجربه استوارند(۱).

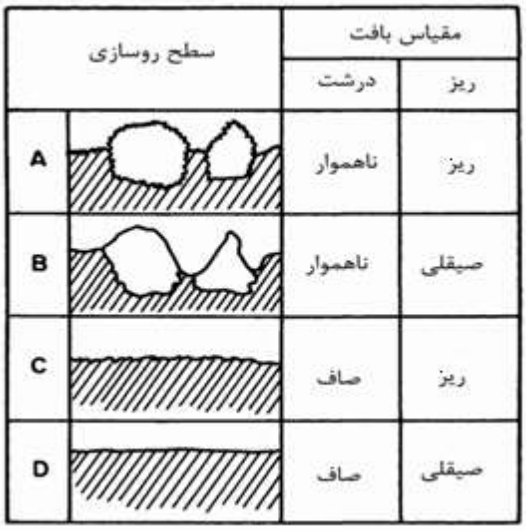
در مقاله‌ای با عنوان، "عملکرد آسفالت های متخلخل در کاهش صدای ترافیک" (۶)، مساله بسیار مهم درباره صدای ترافیک این است که منبع تولید صدا، یعنی وسیله نقلیه، خود مجموعه‌ی منابع تولید کننده صوت است. صدای موتور، حرکت هوا در اطراف

بدنه وسیله نقلیه، تعویض دنده، ترمز، بوق، حرکت چرخ ها بر روی سطح خیابان و حتی سیستم های پخش موسیقی همگی جزو منابع تولید کننده صدا در وسیله نقلیه هستند. تلاش‌هایی برای بهبود سطح روکش خیابان ها و جاده ها با هدف کاهش صدا و ارتعاش ناشی از حرکت اتومبیل بر روی آن‌ها انجام شده است. ایجاد ساختار متخلخل در روکش آسفالت سطح جاده ها می‌تواند با جذب و استهلاک انرژی صوتی، به کاهش صدای منتشر شده کمک نماید. این ساختار متخلخل علاوه بر کاهش صدای ترافیک مزایایی نیز در خصوص زه‌کشی روان آب های ناشی از بارندگی دارد . آسفالت متخلخل اولین بار در سال های دهه ۵۰ میلادی در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. سپس در سال های بعدی تکنولوژی ساخت آن از لحاظ دانه بندی، میزان فضای خالی و استحکام و ثبات آن افزایش یافت. استفاده از این آسفالت‌ها با وجود مزایای قابل توجه خود در کاهش صدا، با مشکلاتی نیز همراه است . احتباس قطرات آب و گرد و غبار و شن در فضاهای خالی آسفالت، کهنگی سریع قیر و شکنندگی سریع آسفالت، کاهش کارایی آسفالت های تعمیر شده و نیاز به فناوری بالا برای تولید از جمله مواردی هستند که استفاده از این روش برای کنترل صدای ترافیک را با مشکل روبه رو می‌کند . بنابراین با توجه به مشکلات ذکر شده، کارایی آسفالت های متخلخل در کاهش صدا، ثابت و پایدار نیست و به مرور زمان کاهش می یابد. با این حال مزایای انکار ناپذیر آن‌ها نیز سبب شده است تا پژوهش بر روی این تکنولوژی به عنوان یکی از روش های مؤثر کاهش صدای محیطی ادامه یابد . در این مقاله تلاش می شود تا آخرین مطالعات و دستاوردها در زمینه ارتقاء راندمان این فناوری بیان گردد(۶).

در مقاله‌ای با عنوان "مطالعه حرکت تایر رادیال" (۷)، روی مدل سازی المان محدود تایر تحقیق صورت گرفته است. یک تایر با مشخصه 155/65R13 با در نظر گرفتن فشار باد تایر، وزن خودرو و حرکت با سرعت ثابت، مدل شده است . در این مطالعه بر روی تاثیر زاویه تقویت کننده‌های بلت، ضریب اصطکاک مابین تایر و روسازی و مصالح پلای، تمرکز گردیده است. از جمله نکاتی که در این مقاله به آن اشاره شده است زاویه تقویت کننده‌های بلت در تایر است که تاثیر زیادی بر روی مقاومت مدل دارند.

بافت روسازی

بافت سطح رویه به صورت بافت ریز و بافت درشت تعریف می-شود. بافت ریز موجب می‌شود یک دانه هنگامی‌که آن‌را با دست لمس می‌کنیم صاف یا ناهموار به نظر بیاید. در شکل (۱) بافت-های روسازی در آسفالت راه‌ها مشاهده می‌گردد.



شکل ۱- اصطلاحاتی که برای توصیف سطح یک روسازی راه به‌کار می‌روند (۲).

Figure 1. Expressions contained to describe the surface of the pavement (2)

بافت ریز سطح رویه از آنجایی که موجب ایجاد چسبندگی بالاستیک می‌شود، در ایجاد اصطکاک سهیم است. بافت درشت از شکل، اندازه و ترتیب استقرار دانه‌ها (در روسازی‌های انعطاف-پذیر) با نحوه پرداخت سطح رویه (در روسازی های بتنی) ناشی می‌شود. زه‌کشی یکی دیگر از مشخصه‌های بااهمیت سطح روسازی است. در یک سیستم زهکشی مناسب، مجراهایی برای خروج آب پیش‌بینی شده است که این امر برقراری تماس بین لاستیک و سطح روسازی را امکان‌پذیر می‌سازد. میزان موثربودن سیستم زه‌کشی را می‌توان به وسیله اندازه‌گیری نسبت اصطکاک بلافاصله پس از پاشیدن آب بر روی سطح روسازی و در فواصل زمانی معین پس از آن و تعیین افزایش اصطکاک ارزیابی کرد(۲).

روابط لغزش -اصطکاک در وسایل اندازه گیری ضریب اصطکاک

به طورکلی اصطکاک نیرویی است که همواره در خلاف جهت حرکت عمل می کند و ضریب اصطکاک به عنوان نسبت نیروی عکس العمل افقی موجود در جهت حرکت و نیروی عمود بر این جهت تعریف شده است.

به عبارت دیگر ضریب اصطکاک برابر است با نیروی مقاومت حرکتی (نیروی سایشی بین لاستیک و روسازی) تقسیم بر نیروی قائم . ضریب اصطکاک بالاتر ، به معنی این است که نیروی بیش-تری هنگام مقاومت دربرابر حرکت خودرو بسیج شده است، و نتیجتاً، سرعت خودرو سریع‌تر کاهش یافته و متوقف می گردد. لغزش به وجود آمده بین لاستیک و سطح روسازی در مقاومت اصطکاکی تاثیر گذار می‌باشد. درصد لغزش بر اساس استاندارد STM E 1859 مطابق معادله (۲) می باشد(۸):

$$S=\frac{V-Vr}{V} \qquad (۲)$$

که در این معادله:

S : درصد لغزش

V : سرعت اتومبیل آزمایش

Vr : سرعت دورانی لاستیک آزمایش

و به همین ترتیب سرعت لغزش مطابق معادله (۳) می باشد:

$$s = V \times S / 100 \qquad (۳)$$

که:

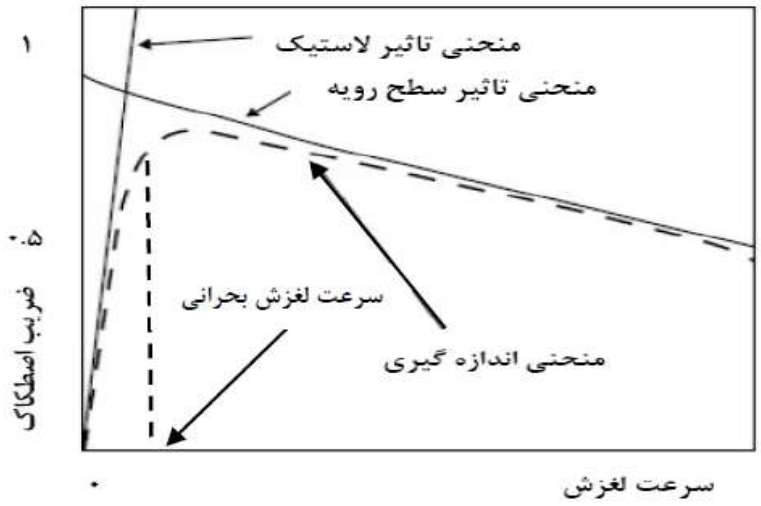
s : سرعت لغزش

S: درصد لغزش [مطابق معادله (۲)]

بنابراین، هنگامی که چرخ قفل شده در امتداد سطح سر می‌خورد سرعت دورانی تایر برابر صفر است و تایر هیچ‌گونه چرخشی ندارد .در این حالت درصد لغزش ، ۱۰۰ درصد بوده و سرعت لغزش برابر با سرعت حرکت اتومبیل آزمایش خواهد بود. در وسایل آزمایش با سرعت لغزش کم سرعت دورانی V_r صفر نخواهد بود و درصد لغزش کمتر از ۱۰۰ است و سرعت لغزش به تبع آن کم‌تر از سرعت اتومبیل آزمایش می باشد.

تغییرات ضریب اصطکاک با سرعت لغزش لاستیک در شکل (۲) نشان داده شده است . سرعت لغزشی که در آن ضریب اصطکاک به حداکثر مقدار خود می رسد سرعت لغزش بحرانی[1] است . سپس باتوجه به سرعت لغزش چرخ، ضریب اصطکاک به‌طور تدریجی کاهش پیدا می کند(۸).

1- Critical Slip Speed



شکل۲- منحنی اندازه گیری ضریب اصطکاک در مقابل سرعت لغزش

Figure 2. The curve measuring the coefficient of friction in front of slip velocity

با توجه به شکل (۲) ملاحظه می شود که در ناحیه بین سرعت لغزش صفر و سرعت لغزش بحرانی، مشخصات مربوط به لاستیک بیش‌ترین تاثیر را در منحنی سرعت لغزش - اصطکاک دارد. ناحیه بعد از سرعت لغزش بحرانی (یعنی جایی که ضریب اصطکاک حداکثر می باشد) ، مشخصات سطح روسازی بیش‌ترین تاثیر را در منحنی سرعت لغزش - اصطکاک دارد. برخی تجهیزات اندازه گیری اصطکاک در سرعت‌های لغزش پایین عمل می کنند. برای این گروه از وسایل نقلیه ، مشخصات لاستیک در نتایج به دست آمده اثردارد . بنابراین ، تغییرات خصوصیات لاستیک می-تواند تاثیرات چشم‌گیری در نتایج آزمایش داشته باشد (۸).

روش کار

تعیین مقاومت لغزشی و اندازه‌گیری صدا

برای ارزیابی مقاومت لغزشی آسفالت متخلخل، از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E303-74 در شرایط مرطوب بر روی نقاط مختلف آسفالت معمولی شهر تهران استفاده شد. از این دستگاه برای بررسی بافت روسازی استفاده می‌شود. (۹). نتیجه این آزمایش به عنوان اعداد پاندول انگلیسی(BPN) گزارش می شود. نتایج در جداول (۱ و ۲) ارایه شده است. در خصوص انجام آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E- 303 جهت اندازه گیری عدد اصطکاک سطحی روسازی آسفالتی در مسیرهای جنوب به شمال شهرک والفجر ،شمال به جنوب خیابان امیر آباد و شرق به غرب خیابان فاطمی تهران ،اقدام گردید. برای اندازه‌گیری صدا با استفاده از وسیله نقلیه طرح که پژو ۲۰۶ است، اقدام می‌گردد. در حالت تنظیم سریع دستگاه sound level meter TES1357 و ارتفاع ۱,۲ متر و فاصله ۷,۵ متر از محور عبوری وسیله نقلیه در دو طرف، اندازه‌گیری می‌شود. شرایط محیطی و آکوستیکی محل آزمایش که شامل مشخصات سطح راه نیز می‌شود مطابق ISO 11819-1 انتخاب می‌شود (۱۰). در هر مقطع پنج نقطه با فواصل ۲۰۰ متری انتخاب شد و عدد لغزندگی سطح روسازی آسفالتی در نقاط مورد نظر توسط دستگاه پاندول انگلیسی و مطابق با استاندارد ASTM E- 303 اندازه گیری گردید که نتایج به دست آمده در جداول (۱و۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت

Table 1. The results of british pendulum number in asphalt pavement

محل آزمایش (کیلومتر)	شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
ابتدای مسیر	۳	۶۹
ابتدای مسیر	۲	۶۴
ابتدای مسیر	۱	۶۳
میانه مسیر	۳	۶۵
میانه مسیر	۲	۶۶
میانه مسیر	۱	۶۶
انتهای مسیر	۳	۶۷
انتهای مسیر	۲	۶۳
انتهای مسیر	۱	۶۱

جدول ۲- ادامه نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی

Table 2. The results of british pendulum number in asphalt pavement (continued)

محل آزمایش (کیلومتر)	شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
ابتدای مسیر ۰+۳۰۰	خط یک مسیر رفت	۶۲
۰+۳۵۰	خط یک مسیر رفت	۶۳
ابتدای مسیر	خط یک مسیر برگشت	۶۴
۰+۰۵۰	خط یک مسیر برگشت	۶۱

بنا به معادله (۴) رابطه ای میان BPN وSN_0 برقرارشده که از آن می توان برای محاسبه SN_0 بهره گرفت(۲).

$$SN_0=1.32\ BPN - 34.9 \quad (۴)$$

که درآن :

BPN=عدد آونگ انگلیسی

SN_0 = عدد لغزندگی شروع از مبدا،

بنا به معادله (۵) رابطه ای میان MTD و PNG برقرارشده که از آن می توان برای محاسبه MTD بهره گرفت (۲).

$$PNG=0.157\ (MTD)^{-0.47} \quad (۵)$$

که درآن :

MTD= عمق بافت روسازی (اینچ)

PNG= درصد شیب نرمال (مایل بر ساعت)

بنا به معادله (۶) رابطه ای میان V و PNG و SN_0 , SN برقرارشده که از آن می توان برای محاسبه MTD بهره گرفت(۲).

$$Log\ (SN) = Log\ (SN_0) - 0.00434(PNG)\ V \quad (۶)$$

که درآن :

V = سرعت استاندارد (۴۰مایل برساعت) می باشد.

PNG= درصد شیب نرمال (ساعت بر مایل)

SN_0 = عدد لغزندگی شروع از مبدا

SN = عدد لغزندگی

اعداد آونگ انگلیسی مربوط به آسفالت معمولی در شهر تهران BPN را در معادله (۴) قرار می دهیم تا مقادیر SN_0 به دست آید. با توجه به این که سرعت طرح در این تحقیق ۵۰ کیلو متر بر ساعت می‌باشد، در نتیجه باید سرعت را بر حسب مایل بر

ساعت به دست آورد که این مقدار با استفاده از درون یابی برابر است با ۳۱/۲۵ مایل بر ساعت وبه جای آن مقدار ۳۰ را در نظر می گیریم. با استفاده از مقادیر بدست آمده برای متغییر های V و SN و SN_0 و جای‌گذاری در معادله(۶) مقدار متغییر PNG به دست می آید وچون مقدار حاصل بر حسب ساعت بر مایل می باشد در عدد۰/۶۳ ضرب می شود تا به ساعت بر کیلومتر تبدیل شود.حال با استفاده از معادله (۵) و با جای‌گذاری مقدار متغییر PNG مقدار عمق بافت روسازی (MTD) به دست می آید. عدد حاصل که بر حسب اینچ می باشد در عدد ۲۵,۴ ضرب می شود تا به میلی‌متر تبدیل شود ومقادیر متغیر ها را در جدول(-۳ ۵) قرار می دهیم.با توجه به این که با جا گذاری اعداد ۴۰، ۴۵، ۴۶ مربوط به BPN در معادله (۴) مقادیر SN_0 به دست می آید، به ازای این مقادیر در معادله(۶) مقادیر PNG منفی حاصل می‌شود. در نتیجه از این اعداد صرف نظر می کنیم و هم‌چنین مقادیر مربوط به MTD برای اعداد ۵۰، ۵۱ مربوط به BPN با استفاده از درون‌یابی به دست می آید.

برای ارزیابی خصوصیات اصطکاکی نمونه ها، استاندارد ASTM E303 تحت عنوان "روش آزمایش استاندارد برای ارزیابی خصوصیات اصطکاکی رویه با استفاده ازآزمایش‌گرآونگ انگلیسی "به کاربرده شد.

دستگاه آونگ انگلیسی هم برای آزمایش برروی سطوح آسفالتی ساخته شده در آزمایشگاه و اجرا شده درسایت و هم برای نمونه های صیقلی شده سنگ‌دانه در قالب‌های محدب آزمایش ارزش صیقل پذیری سنگ‌دانه(PSV) ، مورد استفاده قرارمی گیرد این وسیله کاهش انرژی را هنگامی که لبه لغزنده(کفش پلاستیکی) برروی نمونه جلو می رود، اندازه گیری می‌کند(۱۱).

جدول ۳- عمق بافت روسازی آسفالت معمولی با جاگذاری در معادله(۴تا ۶)

Table 3. The texture depth results in asphalt pavement (equation 4-6)

ردیف	BPN	SN_0	PNG	MTD
۱	۷۶	۶۵/۴۲	۱/۵۴۳۵	۰/۱۰
۲	۷۴	۶۲/۷۸	۱/۴۴۹	۰/۲۰
۳	۵۶	۳۹/۰۲	۰/۴۸۳۸۴	۲/۳۰
۴	۶۸	۵۴/۸۶	۱/۱۵۹۲	۰/۳۰
۵	۶۰	۴۴/۳	۰/۷۲۴۵	۰/۹۰
۶	۵۹	۴۲/۹۸	۰/۶۷۴۱	۱/۱۰
۷	۵۵	۳۷/۷	۰/۳۸۶۸	۳/۲۰
۸	۵۱	۳۲/۴۲	۰/۰۹۶۳	۹/۴۰
۹	۶۰	۴۴/۳	۰/۷۲۴۵	۰/۹۰
۱۰	۶۱	۴۵/۶۲	۰/۷۶۸۶	۰/۷۰
۱۱	۵۰	۳۱/۱	۰/۰۰۶۷	۱۰/۹۰
۱۲	۵۱	۳۲/۴۲	۰/۰۹۶۳	۹/۴۰

با توجه به سه متغیر میزان سر و صدا، مقاومت لغزندگی وعمق بافت روسازی، می‌توان رابطه بین این سه متغیر را به دست آورد. برای دستیابی این رابطه از نرم افزارMinitab استفاده می کنیم. چون بین دو متغیر مقاومت لغزندگی و عمق بافت روسازی همبستگی بالایی وجود دارد از رگرسیون خطی نمی توان استفاده نمود که در این حالت خروجی نرم افزار ضرایب نا پایداری را به ما ارایه می‌کند. در نتیجه از مدل‌های پیشنهادی دیگر جهت به دست آوردن یک رابطه ریاضی بین این سه متغیر استفاده می-کنیم ومدل پیشنهادی، استفاده از حداقل مربعات جزیی می‌باشد.

مدل‌سازی رگرسیونی جهت تعیین رابطه‌ی تراز صدا با عدد اصطکاک و بافت روسازی

جهت تعیین رابطه‌ی میزان تراز صدا (به عنوان متغیر وابسته) ناشی از عبور وسایل نقلیه با متغیرهای نوع بافت روسازی (ذرات مصالح روسازی راه بر حسب میلی‌متر) و عدد اصطکاک روسازی (به عنوان متغیرهای مستقل)، باید پس از تعیین مقادیر هریک از متغیرهای فوق (انجام آزمایش) به مدل‌سازی آن پرداخت.

پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش، ابتدا بررسی شد که متغیرهای به دست آمده دارای شرایط لازم فرضیات اساسی مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات معمولی[1] باشند. بررسی‌های اولیه‌ی داده‌ها نشان داد که متغیرهای مستقل جمع‌آوری شده (عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک) دارای هم‌خطی معنادار بالایی (۰/۷۷۸) با یک‌دیگر هستند. بنابراین یکی از فرضیات اساسی مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات معمولی که در آن باید متغیرهای مستقل دارای هم‌خطی کم و بدون هم‌خطی باشند، وجود نداشت و در این شرایط مدل‌سازی با این روش سبب ایجاد برآوردهای ناپایداری از ضرایب رگرسیون می‌شود. البته معمولاً مشکل هم‌خطی زمانی که تعداد متغیرهای مستقل بسیار زیاد باشند و یا داده‌های موجود اندک باشد رخ می‌دهد. در پژوهش حاضر نیز با توجه به این‌که داده‌های جمع‌آوری شده اندک بوده و تنها ۱۲ مشاهده وجود دارد، رخ دادن هم‌خطی چندگانه دور از انتظار نیست.

در چنین شرایطی، مدل‌سازی‌های نوینی ارایه شده‌اند که قابلیت استفاده دارند که می‌توان رگرسیون مرزبندی[2]، رگرسیون مولفه-های اصلی[3] و رگرسیون حداقل مربعات جزیی[4] را نام برد. از بین مدل‌های نام برده شده، مدل رگرسیون مرزبندی بیش‌تر برای تشخیص مشکلات هم‌خطی چندگانه استفاده می‌شود و جنبه‌ی پیش‌بینی متغیر وابسته عموماً ندارد. معمولاً در چنین شرایطی یکی از روش‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش رگرسیون حداقل مربعات جزیی است. در این روش برای تشکیل رابطه متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، متغیرهای جدیدی ساخته می‌شوند که آن‌ها را عامل می‌نامند. هریک از این عوامل یک ترکیب خطی از متغیرهای مستقل اولیه می‌باشند. سپس از روش‌های رگرسیونی استاندارد برای تعیین معادلاتی که این عوامل را به متغیر وابسته ارتباط دهند استفاده می‌شود. بنابراین در ادامه‌ی این تحقیق نتایج حاصل از به کارگیری روش حداقل مربعات جزیی جهت تخمین متغیر وابسته‌ی سطح سروصدا با متغیرهای مستقل عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک آورده شده است.

مدل رگرسیون حداقل مربعات جزیی جهت مدل‌سازی تعیین رابطه‌ی سطح سروصدا با متغیرهای مستقل عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک

جهت مدل‌سازی رگرسیونی، ابتدا باید تعیین شود که متغیرهای مستقل و وابسته کدام هستند. با توجه به آزمایش‌های انجام شده سه متغیر میزان سطح سروصدا، عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک روسازی برای مدل‌سازی در دسترس است. آن‌چه که واضح به نظر می‌رسد این است که متغیرهای عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک متغیرهایی برون‌زا و میزان سطح سروصدا (برحسب دسی‌بل) متغیری درون‌زا است (یعنی دو متغیر عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک از بیرون بر روی متغیر سطح سروصدا اثر می‌گذارند)، بنابراین سطح سروصدا متغیر وابسته و دو متغیر عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک متغیرهای مستقل مدل‌سازی رگرسیونی (در این بخش منظور رگرسیون حداقل مربعات جزیی است) را تشکیل می‌دهند.

با توجه به این‌که در پژوهش حاضر دو متغیر مستقل وجود دارد، برای مدل رگرسیونی با حداقل مربعات جزیی، یک عامل تعیین شد و براساس آن تابع انتقالی به دست آمد. کلیه‌ی محاسبات مدل‌سازی در نرم‌افزار Minitab انجام گرفت و سپس برای ارزیابی اعتبار تابع انتقالی بدست آمده، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده گردید. به این ترتیب که یک داده از مجموعه‌ی داده‌ها کنار گذاشته شده و مدل‌سازی انجام شد. آن‌گاه داده‌ی

1- Ordinary Least Squares Regression
2- Ridge Regression
3- Principal Component Regression
4- Partial Least Squares Regression

بیرون گذاشته شده، با توجه به مدل به دست آمده از سایر داده‌ها، پیش‌بینی شد. این فرآیند به تعداد مشاهدات (یعنی ۱۲ بار) تکرار گردید. هم‌چنین ارزیابی معادله‌ی متغیر وابسته در برابر متغیرهای مستقل ورودی توسط شاخص‌های ضریب خوبی برازش R^2، ضریب خوبی برازش پیش‌بینی R^2_{Pred} و مجموع مربعات خطای پیش‌بین[1] به وسیله‌ی نرم‌افزار Minitab محاسبه شد. باید توجه داشت که ضریب R^2، ضریب خوبی برازش تابع انتقالی به دست آمده از رگرسیون حداقل مربعات جزیی می‌باشد و شاخص R^2_{Pred} برابر ضریب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده‌ی سطح سروصدا، در مرحله‌ی اعتبارسنجی متقابل است. قابل ذکر است که هر چه میزان R^2_{Pred} بیش‌تر و مجموع مربعات خطای پیش‌بین (PRESS) کم‌تر باشد، تابع انتقالی دارای اعتبار بالاتری است.

در ادامه، جدول پارامترهای اندازه‌گیری شده، جدول تحلیل واریانس مدل، خروجی مدل، ضرایب برآورد شده‌ی تابع انتقالی و ضرایب خوبی برازش طی جداول و نمودارهایی آورده شده است.

یافته‌ها

جدول (۴) نشان دهنده‌ی مشخصات پارامترهای اندازه‌گیری شده، تعداد، مقادیر حداقل و حداکثر، میانگین و انحراف استاندارد است. X عمق بافت روسازی بر حسب میلی‌متر، Y عدد اصطکاک روسازی و به صورت بدون بعد و Z سطح سروصدا برحسب واحد دسی‌بل می‌باشد.

جدول ۴- آمار توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 4. The measured statistical parameters

	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
Y=عمق بافت روسازی	۱۲	۰/۱۹	۱۰/۱۹	۳/۳۹۴۲	۴/۰۹۳۷۳
X=عدد اصطکاک روسازی	۱۲	۵۰	۷۶	۶۰/۰۸۳۳	۸/۶۳۸۸
Z=تراز سروصدا	۱۲	۷۰/۳	۷۹/۶	۷۴/۵۷۵	۳/۰۱۰۶۳

جدول (۵) نشان دهنده‌ی مقادیر همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین دو متغیر عمق بافت روسازی و عدد اصطکاک روسازی همبستگی بالایی وجود دارد.

جدول۵ - مقادیر همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده (عدد داخل پرانتز معناداری است)

Table 5. The results correlations variables

	Y	X	Z
Y=عمق بافت روسازی	۱	-۰/۷۷۸(۰/۰۳)	۰/۶۷۸(۰/۰۱۵)
X=عدد اصطکاک روسازی		۱	-۰/۷۴۸(۰/۰۵)
Z=تراز سروصدا			۱

پس از بررسی مقادیر آمار توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده، اقدام به مدل‌سازی رگرسیون حداقل مربعات جزئی شد و با استفاده از این روش، برای متغیرهای مستقل عمق بافت و عدد اصطکاک روسازی، تابع انتقالی توسط نرم‌افزار Minitab محاسبه گردید. معادله(۷) این تابع را نشان می‌دهد.

$$Z = 82.4494 - 0.1469 * X + 0.2810 * Y \quad (۷)$$

1- Prediction Error Sum of Squares

بنابراین براساس معادله‌ی (۷) ، عدد اصطکاک روسازی با ضریب منفی ۰/۱۴۶۹ نسبت عکس با میزان تراز صدا دارد، یعنی با افزایش عدد اصطکاک روسازی میزان سطح سروصدای ایجاد شده کاهش می‌یابد. هم‌چنین عمق بافت روسازی که به صورت اندازه-ی مصالح روسازی تعیین شده است با ضریب ۰/۲۸۱۰ نسبت مستقیم با میزان آلودگی صدای ایجاد شده دارد و هر اندازه از مصالح ریز دانه‌تری استفاده شود، سبب افزایش میزان تراز صدا خواهد شد. شاخص‌های آماری خوبی برازش مدل تدوین شده در جدول (۶) آورده شده است. مطابق این جدول ضریب خوبی برازش R^2 برابر ۵۷/۴۴ درصد است که با توجه به داده‌های اندک و نیز تعداد متغیرهای کم (دو متغیر مستقل)، برازش مناسبی ایجاد شده است. علاوه بر این، ضریب خوبی برازش پیش‌بینی R^2_{Pred} که معیاری برای اعتبار تابع انتقالی است، نزدیک ۴۰ درصد است که مناسب ارزیابی می‌شود.

جدول ۶- شاخص‌های آماری خوبی برازش

Table 6. The results of statistical parameters

	مقدار
ضریب خوبی برازش R^2	۰/۵۷۴۴
ضریب خوبی برازش پیش‌بینی R^2_{Pred}	۰/۳۹۹
مجموع مربعات خطای پیش‌بین $PRESS$	۵۹/۹۵

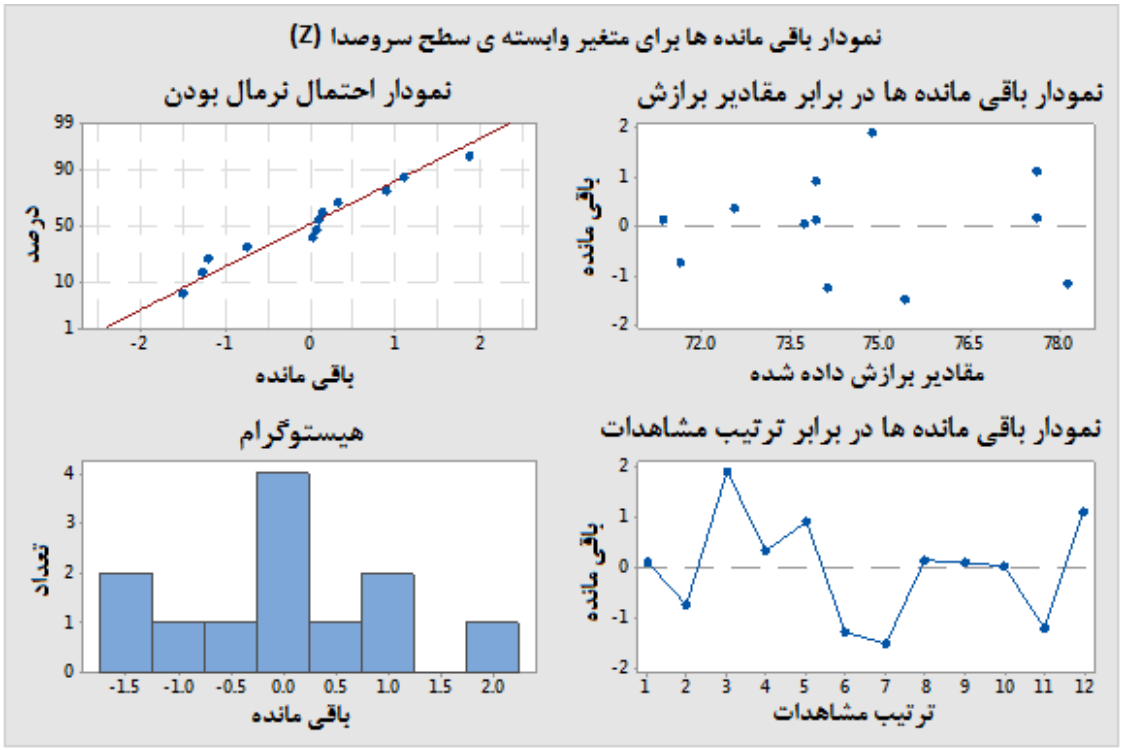
تفسیر نتایج و نتیجه‌گیری

در تحقیقی با عنوان خصوصیات لایه روسازی بر صدای تایر از روسازی (۱۳)، نتیجه گرفته شده است که مصالح گوناگون در روسازی می‌تواند تاثیرات زیادی بر روی میزان صدای منتشر شده از آن داشته باشد. در این مطالعه یک مسیر با مصالح گوناگون ساخته شده است و طی دو سال اندازه گیری صدا در شرایط مختلف بر روی آن صورت گرفته است تا نقش مصالح در کاهش صدای روسازی تعیین شود . در نهایت میزان صدای این سطوح با یک‌دیگر مقایسه شده است . نکته قابل توجه این است که یک سطح در جوانی می‌تواند باعث کاهش صدا شود ولی به مرور زمان این خاصیت را از دست بدهد .

نتایج زیر با توجه به این تحقیق به دست آمده است :

- روسازی با بافت سطحی غیر قابل نفوذ باعث افزایش میزان صدا می‌شود بنابراین اگر به دنبال کاهش صدای روسازی هستیم باید بافت سطح را تا حد ممکن کاهش دهیم ولی این موضوع باعث کاهش ایمنی راه می‌گردد. از این جهت که اصطکاک بین تایر و روسازی را کاهش می‌دهد .
- تخلخل باعث کاهش میزان صدا در تمامی فرکانس‌ها می‌شود.

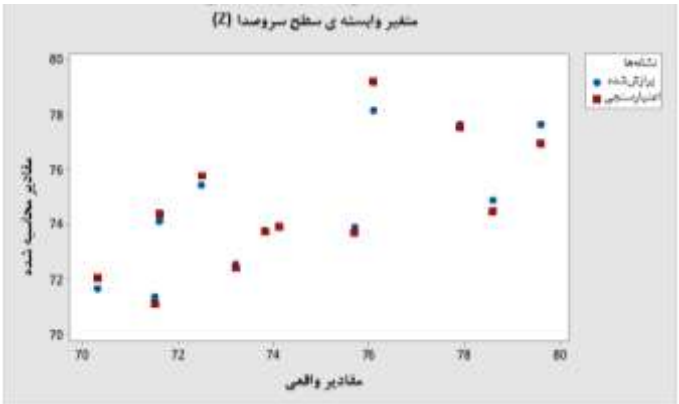
در تحقیقی که در این مقاله بر روی بافت روسازی و میزان صدا صورت گرفت، براساس نتایج حاصل از مقایسه‌ی باقی‌مانده‌ها که در شکل (۳) آورده شده است می‌توان به این نتیجه رسید که واریانس باقی‌مانده‌ها در برابر مقادیر برازش داده شده تقریباً یکسان بوده و مقادیر باقی‌مانده‌های اصلاح شده در برابر مقادیر برازش داده شده حول صفر در نوسان هستند و روند خاصی را دنبال نمی‌کنند. از سویی مقادیر این باقی‌مانده‌های اصلاح شده در برابر ترتیب مشاهدات دارای روند خاصی نیست. علاوه بر موارد فوق، هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال بودن باقی‌مانده‌ها در نمودارهای (۴و ۵) قابل مشاهده است.



شکل ۳- اطلاعات باقی‌مانده‌های مدل پرداخت شده

Figure 3. The results of residuals of modeling

همان‌طور که در مرحله‌ی مدل‌سازی این تحقیق اشاره شده است، جهت اعتبارسنجی مدل از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده گردیده است. روش کار در این حالت از اعتبارسنجی به این ترتیب است که یک داده از مجموعه‌ی داده‌ها کنار گذاشته شده و مدل-سازی انجام می‌شود، سپس داده‌ی بیرون گذاشته شده، با توجه به مدل به دست آمده از سایر داده‌ها، پیش‌بینی می‌گردد. این فرآیند به تعداد مشاهدات (در این تحقیق ۱۲ بار) تکرار شد. برای مشاهده‌ی میزان اعتبارسنجی مدل پرداخت شده، شکل (۴) ترسیم شده است. در این نمودار مقادیر واقعی متغیر وابسته (تراز صدا) در محور افقی و مقادیر محاسبه شده‌ی آن در محور قایم قرار گرفته است. دایره‌های آبی رنگ نشان دهنده‌ی مقادیر برازش داده شده و مربع‌های قرمز رنگ نشان دهنده‌ی مقادیر حاصل از اعتبارسنجی متقابل هستند. واضح است که هراندازه این دو مقدار به هم نزدیک و یا روی یک‌دیگر قرار بگیرند، مدل دارای اعتبارسنجی بهتری است.

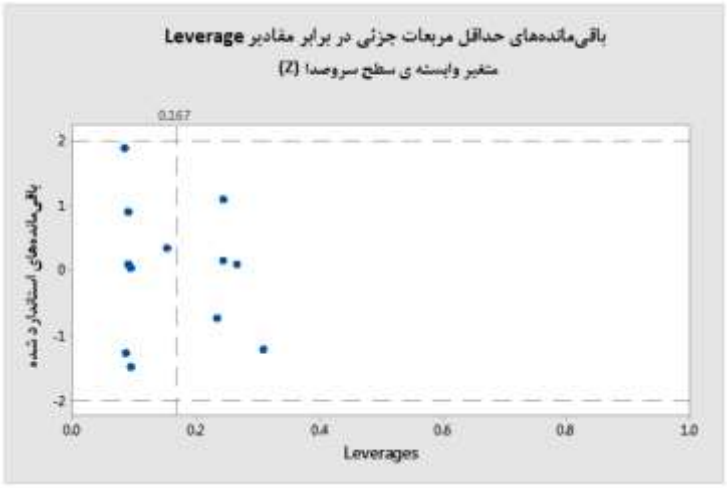


شکل۴- اعتبارسنجی متقابل (حداقل مربعات جزیی)

Figure 4. The results of validation parameters

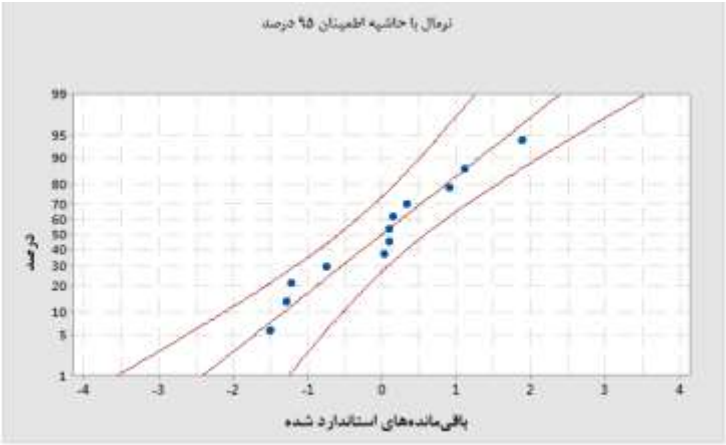
برای تعیین وجود داده‌های دورافتاده (Outliers) در بین داده-های جمع‌آوری شده از شاخص Leverage در این تحقیق استفاده شده است. در حقیقت Leverage میزان دور بودن مقادیر متغیرهای مستقل را از دیگر مقادیر آن‌ها می‌سنجد. معمولاً جهت تشخیص داده‌های دور افتاده، نمودار مقادیر Leverage را در برابر مقادیر باقی‌مانده‌های استاندارد شده ترسیم می‌کنند.

شکل (۵) مقادیر Leverages را در برابر باقی مانده های استاندارد شده نشان می‌دهد. در این نمودار مقادیر Leverages در محور افقی و مقادیر باقی‌مانده‌های استاندارد شده در محور قایم آورده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است، مقادیر باقی‌مانده‌های استاندارد شده حول مقدار Leverage برابر ۰,۱۶۷ پراکنده شده‌اند و تقریباً مشاهده‌ی (داده) با فاصله‌ی نسبتاً زیاد از این مقدار در داده‌ها وجود ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ی پرت در درون داده‌های حاصل از آزمایش وجود و پرداخت مدل وجود ندارد. در انتها، شکل (۶) احتمال نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را با حاشیه‌ی اطمینان ۹۵ در صد نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می شود کلیه‌ی باقی‌مانده‌ها در این حاشیه‌ی اطمینان قرار دارند.



شکل ۵- تعیین داده‌های دور افتاده (meaningless)

Figure 5. The results of residuals meaningless variables



شکل۶- احتمال نرمال بودن باقی‌مانده‌ها با حاشیه‌ی اطمینان ۹۵ درصد

Figure 6. The results of residuals of variables with 95 percent confidence

بنابراین براساس معادله (۷) ، عدد اصطکاک روسازی با ضریب منفی ۰/۱۴۶۹ نسبت عکس با میزان سطح سروصدا دارد، یعنی با افزایش عدد اصطکاک روسازی میزان سطح سروصدای ایجاد شده کاهش می یابد. از طرفی نوع بافت روسازی که به صورت اندازه مصالح روسازی تعیین شده است با ضریب ۰/۲۸۱۰ نسبت مستقیم با سطح سروصدای ایجاد شده دارد و هر اندازه از مصالح ریز دانه تری استفاده شود، سبب افزایش میزان تراز صدا خواهد شد.

با استفاده از نتایجی که در کارهای Haas و همکاران و نیز در مقاله Henry ارایه شده است، نتایجی به شرح زیر به دست آمده است (۱و ۵):

-از آن جا که کاهش عمق بافت روسازی باعث کاهش اصطکاک سطحی می‌شود و ممکن است ایمنی را کاهش دهد، در مطالعات مربوط به اثر بافت روسازی بر تولید صدا، باید ایمنی را نیز مدنظر قرار داد و دنبال حد تعادل بود.

- سن روسازی در تغییرات سطح صدای ناشی از تایر و روسازی نقش مهمی دارد. افزایش سن روسازی موجب افزایش سطح صدای تولید شده در روسازی-های آسفالتی و کاهش و سپس افزایش آن در روسازی‌های متخلخل می‌شود.
- کم صداترین روسازی برای اتومبیل سواری، روسازی آسفالتی با دانه‌بندی باز است.

با توجه به نتایج ضرایب برآورد شده از معادله فوق، می توان به این نتیجه دست یافت که تهیه روسازی هایی با عدد اصطکاک بالا می تواند سطح سروصدای ایجاد شده در اثر حرکت وسایل نقلیه را به خصوص در نواحی شهری و مناطق حساس کاهش دهد. بنابراین توصیه می شود در نواحی حساس به سطح سروصدا، در فرآیند تهیه روسازی ها، ترتیبی اتخاذ شود که علاوه بر حفظ مقاومت مناسب روسازی، از مصالح دانه درشت‌تری استفاده شود. البته رابطه ی پرداخت شده ی فوق می تواند محققان را در یافتن بهینه ترین حالت ممکن که در آن تراز صدا مینیمم گردد یاری نماید. به این منظور پیشنهاد می شود که مقادیر حداقل و حداکثر مجاز و استاندارد عدد روسازی و اندازه ی دانه ها بر اساس آیین نامه استخراج شده و بهینه ترین حالت برای داشتن کم‌ترین میزان آلودگی صدا محاسبه گردد. وجود صدا امری اجتناب ناپذیر است و نمی‌توان صدای تولیدی از تایر و روسازی را به طور کامل حذف کرد ولی شاید بتوان با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند بافت روسازی این صدا را کاهش داد.

Reference

1. Henry, J.J, 2000.Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291. Transportation Research Board. Washington DC.
2. Huang, Y. H., 2004. Pavement Analysis and Design, 2nd ed., University of Kentucky, second edition, pp 256- 259.
3. Jamieson, N., Dravitzki, V., 2006. Management of skid resistance under icy conditions on New Zealand roads, Land Rransport New Zealand Research report 293, pp 68.
4. Jeffrey S. Kuttesch, 2004. Quantifying the relationship between skid resistance and wet weather accidents of Virginia data, blachsburg, Virginia, pp 154-165.
5. Haas, R., W.R. Hudson, and J.P. Zaniewski, 1994. Modern Pavement Management, Krieger Press, Malamar, Florida, pp 115- 126.
6. Jalili, sh, Sanati Fard, S, 2004. Porous Asphalt, 11th conference of civil engineers and students, Hormozgan University. (In Persian).
7. Malekzadeh , M., Rahimi, H, 2007. A Parametric Study on the Steady State Rolling Behaviour of a Steel-belted Radial Tyre, Iranian Polymer Journal volume 3 , pp 56-58 .
8. Gerardo W. Flintsch Kevin K McGhee, 2012. The Little Book of Tire Pavement Friction, Version 1.0, Submitted for Review and Comment Pavement Surface Properties Consortium.
9. Ameri, M, Afandi zadeh, Sh, Miraee Moghadam, M.H, 2009, The methods for measuring skid resistance in the

road surface, 11th conference of civil engineer s and students, Hormozgan University. (In Persian).

10. International standard ISO 11819-1. ، ERC 2004 ،Methods for evaluation of road noise, pp 21-28 .
11. Asi.I.M, 2007. Evaluating Skid Resistance of Different Asphalt Concrete Mix, Building and Environment, volume 42, pp 325-329.
12. American Society for Testing and Materials, 2000.Test Method for Measuring Frictional Properties Using the British Pendulum tester, Philadelphia, U.S.A, ASTM, E 303 – 93.
13. Sakhaeifar , M., Heitzman, M, 2014.The effects of pavement surface characteristics on tire/pavement noise, Landscape and Urban Planning, elsevier, pp 1300-1305.