

## تحلیل و بررسی تأثیر پارامترهای خرابی سطحی روسازی و سرعت وسیله نقلیه روی TPN

سید وحید جوادی، دانشجو کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد  
سید علی صحاف\*، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

Email: asahaf@profcms.um.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۵ - پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵

### چکیده

شناسایی پارامترهای تأثیرگذار روی TPN<sup>۱</sup> یکی از دستاوردهای مطالعه میدانی روی روسازی‌ها است. از آنجا که مهمترین عوامل تأثیرگذار روی TPN سرعت وسیله نقلیه و رویه راه است و از طرفی کیفیت رویه راه نیز وابسته به تغییرات خرابی آن در طول زمان است، بنابراین، در این پژوهش، به طور خاص، میزان اثرگذاری خرابی‌های روسازی (هم به صورت خرابی تنها و هم ترکیب انواع خرابی) و سرعت وسیله نقلیه روی TPN بررسی شده است. به این منظور، داده‌های صوتی سه نوع خرابی پوسته سوسماری، هوازگی، صیقلی و یک حالت بدون خرابی (برای مقایسه خرابی‌های مذکور با آن) از روش برداشت میدانی SPB<sup>۲</sup> در ۲۸ نقطه از جاده‌های آسفالتی و در سرعت‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ کیلومتر بر ساعت جمع‌آوری شده است. در نهایت، پس از جمع‌آوری داده‌های میدانی و بررسی و تجزیه و تحلیل آنها از طریق نرم‌افزارهای SPSS و MINITAB، تأثیر پارامترهای سرعت و شدت خرابی روی TPN در روسازی با خرابی پوست سوسماری بیشتر از روسازی با خرابی هوازگی دیده شده است. همچنین، خرابی صیقلی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در ترکیب با خرابی‌ها نداشته است.

واژه‌های کلیدی: TPN، شدت خرابی روسازی، نوع خرابی روسازی، سرعت

<sup>۱</sup>- Tire pavement noise

<sup>۲</sup>- Statistical pass by method

## ۱. مقدمه

نویز حالتی از انرژیست که آن را به عنوان صوتی ناخواسته می‌توان در نظر گرفت که باعث آزار حس شنوایی می‌شود (چوهان و همکاران، ۲۰۱۰). صدای حاصل از برخورد لاستیک خودرو با سطح جاده (TPN) یک منبع غالب تولید نویز در سرعت‌های بیش از ۴۰ کیلومتر بر ساعت برای سواری و ۷۰ کیلومتر بر ساعت برای کامیون‌ها است (لی و همکاران، ۲۰۱۸). TPN تحت تأثیر تعدادی از عوامل از جمله نحوه رفتار رانندگی راننده (سرعت حرکت)، شرایط تایر، شرایط سطح جاده و اقلیم است (سندبرگ و اسمونت، ۲۰۰۲). سرعت وسیله نقلیه تأثیر زیادی روی خرابی‌های رویه راه دارد. همچنین، افزایش حجم ترافیک عبوری، خرابی بیشتری در روسازی ایجاد می‌کند (فریتاس و همکاران، ۲۰۱۲). با عبور و مرور وسایل نقلیه و تغییرات اقلیمی در طول گذشت زمان، روسازی راه شروع به تغییر در خرابی‌هایی از جمله خرابی پوست سوسماری، هوازگی و دانه دانه شدن، صیقل‌شدگی و چاله می‌کند (میلر و بلینگر، ۲۰۰۴). از آنجایی که شرایط سطح جاده وابسته به خرابی‌های آن است، بنابراین، مطالعه روی خرابی‌های روسازی راه می‌تواند نتایجی در باره تأثیر شرایط سطح جاده روی TPN داشته باشد. از طرفی، با توجه به اینکه وسایل نقلیه عبوری در جاده با سرعت‌های مختلفی حرکت می‌کنند، بنابراین، مطالعه روی سرعت‌های وسیله نقلیه می‌تواند نتایجی در باره تأثیر سرعت روی TPN داشته باشد. دو پارامتر سرعت و خرابی روسازی بیشترین تأثیر را روی TPN دارد (فریتاس و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، آنچه در بخش‌های بعدی بیان خواهد شد، جزئیات پژوهش درباره تأثیر خرابی‌های روسازی و سرعت وسیله نقلیه بر TPN است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. شرایط رویه راه

#### ۲-۱-۱. جنس رویه راه

جنس رویه راه یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر TPN است. به عنوان مثال، روسازی‌های بتنی حدوداً ۲ دسی‌بل نویز بیشتری نسبت به روسازی‌های آسفالتی دارد (سیاکومار و همکاران، ۲۰۱۳). اصولاً جنس رویه راه در بیشتر جاده‌های ایران از نوع رویه‌های آسفالتی است. بنابراین، اندازه‌گیری‌ها روی رویه‌های آسفالتی معمول که در سطح جاده‌های بین شهری اجرا می‌شود انجام پذیرفته است.

#### ۲-۱-۲. رطوبت سطح جاده

برای اندازه‌گیری TPN، سطح جاده فقط باید در حالت خشک باشد. در غیر اینصورت رطوبت سطح جاده می‌تواند تا ۲ دسی‌بل بر میزان نویز ساطع شده تأثیر بگذارد (لی و فلمینگ، ۱۹۹۶). نمونه‌ای از سطح جاده آسفالتی بدون خرابی در شرایط خشک در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: روسازی آسفالتی بدون خرابی در شرایط خشک

#### ۲-۱-۳. خرابی‌های رویه راه

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، نقاطی از جاده با خرابی صیقلی، خرابی پوست سوسماری با شدت کم، متوسط و زیاد، خرابی هوازگی با شدت کم، متوسط و

خرابی هوازدگی در شکل ۳ نشان داده شده است. برای اینکه تصویر بهتری از انواع خرابی‌های هدف مورد مطالعه داشته باشیم، نمونه‌های جاده‌ای که مورد بررسی و برداشت میدانی قرار گرفته در جدول ۱ بیان شده است.

زیاد و همچنین تعدادی محل که فاقد هر نوع خرابی باشد، برای مقایسه خرابی‌های دیگر با آنها، به عنوان حالت پایه انتخاب شد. نمونه‌ای از سطح جاده با خرابی پوسته سوسماری در شکل ۲ و نمونه‌ای از سطح جاده با

جدول ۱. نمونه‌های روسازی مورد مطالعه

شدت خرابی			نوع روسازی
زیاد	متوسط	کم	
☑	☑	☑	آسفالتی با خرابی پوست سوسماری
☑	☑	☑	آسفالتی با خرابی هوازدگی
	☑		آسفالتی با خرابی صیقل شدگی
	☑		آسفالتی بدون خرابی



شکل ۳. روسازی با خرابی هوازدگی



شکل ۲. روسازی با خرابی پوست سوسماری

شکل ۲۰۱۷). در این، پژوهش اطلاعات صوتی اندازه‌گیری شده از سطح جاده بر اساس روش برداشت میدانی SPB که در استاندارد ISO 11819-1 و AASHTO TP9812 به طور کامل توضیح داده شده است در حالت ۱/۳ اکتاو بند آجری شده است. در این روش، دستگاه صوت‌سنج TES 1358 که در شکل ۴ نشان داده شده، به فاصله ۷/۵ متر از مرکز لاین عبور وسیله نقلیه که همان نقطه خرابی است و همینطور به ارتفاع ۱/۲ متر از سطح جاده روی سه پایه مخصوص قرار داده می‌شود (لودیکو و همکاران، ۲۰۱۲). در فاصله زمانی معینی (که ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد)، وسیله نقلیه از روبه‌روی دستگاه صوت‌سنج عبور کرده و داده‌های صوتی توسط دستگاه

## ۲-۲. روش برداشت داده‌های صوتی

برای اندازه‌گیری داده‌های صوتی، روش‌های مختلفی در استانداردهای موجود ارائه شده است. دو روش عمده برداشت داده صوتی (SPL<sup>۱</sup>) روش SPB و روش CPX<sup>۲</sup> است، که به طور کلی، روش SPB اندازه‌گیری از راه دور و روش CPX اندازه‌گیری از نزدیک است (برنهارد و همکاران، ۲۰۱۸). با مقایسه‌ای بین این دو روش در روسازی‌های آسفالتی، داده‌های صوتی روش CPX حدوداً ۱۰ دسی بل بیشتر از داده‌های صوتی روش SPB مشاهده شده است و دلیل این امر فاصله بسیار نزدیک میکروفون به تایر وسیله نقلیه است (خان و بیلگیری،

<sup>۲</sup>- 1/3 octave band

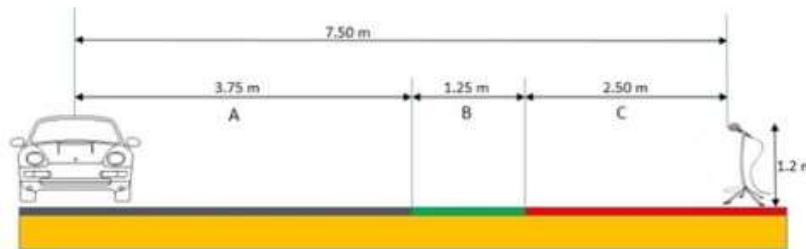
<sup>۱</sup>- Sound pressure level

<sup>۲</sup>- Close proximity method

ثبت می‌شود. در شکل ۵، موقعیت قرارگیری دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۴. دستگاه صوت سنج TES 1358



شکل ۵. موقعیت قرارگیری دستگاه صوت سنج (ISO, 2002)

نهایت از رابطه (۱) مقدار عددی که باید داده‌های ثبت شده به آن میزان اصلاح شود را به دست آورد (لی و فلمینگ، ۱۹۹۶).

$$\text{cal adj} = \text{Reference level} - \left[ \frac{\text{cal initial} + \text{cal final}}{2} \right] \quad (1)$$

$$\text{Reference level} = 114 \text{ dB}$$

در این رابطه، پارامتر cal initial مقدار SPL نشان داده شده توسط دستگاه صوت سنج در هنگام اتصال کالیبراتور به آن در ابتدای شروع برداشت داده‌های صوتی است و پارامتر cal final مقدار SPL نشان داده شده توسط

### ۳-۲. کارهای دستی روی فایل‌های صوتی

پس از ثبت داده‌های صوتی، دستگاه به لپ‌تاپ متصل شده، داده‌های صوتی از طریق نرم‌افزار SLMETER فراخوان شده، از این طریق نشانگرهایی مثل شدت صوت زیاد و شدت صوت معادل<sup>۲</sup> را از اطلاعات موجود استخراج کرده و برای اعمال واسنجی داده‌ها به نرم‌افزار EXCEL منتقل شده است.

به منظور واسنجی داده‌های برداشت شده در ابتدا و انتهای هر بخش برداشت داده، می‌بایست دستگاه صوت سنج را توسط دستگاه کالیبراتور کنترل کرد و در

<sup>۲</sup>- A-weighted equivalent mean sound pressure level (LAeq)

<sup>۱</sup>- A-weighted maximum sound pressure level (LAmx)

خرابی نسبت به حالت بدون خرابی متفاوت است. برای اینکه اثبات کنیم از لحاظ آماری تفاوت معناداری بین میانگین دو جامعه مورد مطالعه، مثلاً جامعه خرابی پوسته سوسماری شدت زیاد با جامعه بدون خرابی وجود دارد یا خیر، نیاز به استفاده از آزمون‌های مقایسه‌ای است. به این منظور، از آزمون مقایسه دو جامعه استفاده شده است. در این آزمون، آماره  $t$  از رابطه (۲) و درجه آزادی از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (سوشینکف، ۱۹۹۷).

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

(۲)

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (۳)$$

در فرمول‌های فوق،  $\bar{x}_1$  میانگین جامعه اول،  $\bar{x}_2$  میانگین جامعه دوم،  $S_1$  انحراف استاندارد جامعه اول،  $S_2$  انحراف استاندارد جامعه دوم و  $n$  تعداد آن جامعه است.

در نهایت، نرم‌افزار SPSS بر اساس آماره  $t$  و درجه آزادی که از فرمول‌های فوق استخراج کرده است مقدار معنی‌داری<sup>۱</sup> را ارائه می‌دهد. در صورتی که مقدار معنی‌داری از سطح خطایی که پژوهشگر در نظر می‌گیرد کمتر باشد، فرضیه تساوی میانگین دو جامعه که با  $H_0$  نشان داده شده است رد می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت:

$$\begin{cases} sig < \alpha \rightarrow H_0: REJECT \\ sig \geq \alpha \rightarrow H_0: NOT REJECT \end{cases}$$

در رابطه نشان داده شده فوق، Sig مقدار معنی‌داری،  $\alpha$  سطح خطا و  $H_0$  فرض تساوی میانگین دو جامعه است. حال در پژوهش انجام گرفته شده، در مقایسه داده‌های صوتی دو خرابی مختلف با هم، فرض  $H_0$  تساوی میانگین SPL ثبت شده دو گروه خرابی است. بنابراین، در صورتی که مقدار معنی‌داری از سطح خطای ۵٪ کمتر

دستگاه صوت‌سنج در هنگام اتصال کالیبراتور به آن در پایان برداشت داده‌های صوتی است. پس از واسنجی داده‌های استخراج شده به منظور تجزیه و تحلیل، داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS و MINITAB شده است.

## ۲-۴. پایگاه داده

برای اعمال آزمون‌های مقایسه‌ای نیاز به وارد کردن سه گروه داده شامل داده‌های صوتی، داده‌های خرابی و داده‌های سرعت بوده است. داده‌های صوتی شامل ۲۴۳ عدد  $L_{Amax}$  که پس از واسنجی شدن از نرم‌افزار EXCEL وارد نرم‌افزار SPSS شده است. همچنین، ۲۴۳ داده سرعت که شامل سه سرعت ۵۰، ۶۰ و ۷۰ کیلومتر بر ساعت بوده و برای هر نقطه برداشت سه سرعت مختلف ثبت شده، جمع‌آوری شده است. داده‌های مربوط به خرابی شامل داده‌های نوع خرابی و داده‌های شدت خرابی است که چهار گروه از داده‌ها مربوط به نوع خرابی (بدون خرابی، خرابی پوست سوسماری، خرابی هوازگی، خرابی صیقلی) و سه گروه مربوط به شدت خرابی (شدت کم، شدت متوسط، شدت زیاد) است.

## ۲-۵. پردازش داده‌ها

در این پژوهش، پردازش داده‌ها به منظور شناسایی میزان تأثیر پارامتر خرابی و پارامتر سرعت وسیله نقلیه روی TPN انجام پذیرفته است. به این منظور، از آزمون‌های میانگین آماری برای مقایسه میانگین جوامعی که در نرم‌افزار تحلیل آماری مشخص گردیده استفاده شده است.

اگر فرضیه‌ای در خصوص میانگین یک یا چند جامعه مطرح شود، با به‌کارگیری آزمون‌های میانگین می‌توان درستی یا نادرستی آن را در سطح خطای معین تعیین کرد. طبق آنچه از تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌دست آمده است، میانگین SPL ثبت شده توسط دستگاه برای هر

<sup>۱</sup>- Significance (p-value)

باشد، به این معنی است که میانگین دو گروه خرابی که با هم مقایسه شده از لحاظ آماری متفاوت است.

### ۳. نتایج و بحث

در جدول ۲، مقدار معنی داری، یا همان p-value به دست آمده از مقایسه خرابی‌های هدف در شدت‌های مختلف و سرعت‌های مختلف با حالت بدون خرابی ارائه شده است.

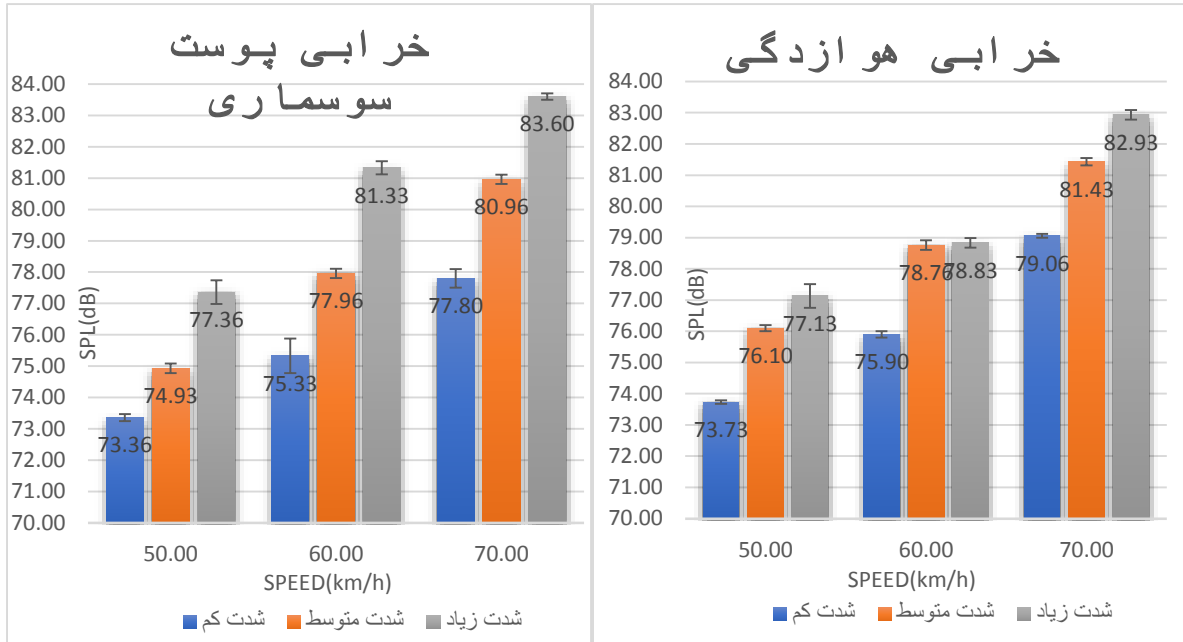
جدول ۲. p-value مقایسه SPL ثبت شده هر نوع خرابی در هر سرعت و هر شدت نسبت به بدون خرابی

سرعت ۷۰	سرعت ۶۰	سرعت ۵۰	شدت خرابی	نوع رویه
0.006	0.001	0.006	کم	پوسته سوسماری
0.002	0.001	0.004	متوسط	پوسته سوسماری
0.001	0.001	۰	زیاد	پوسته سوسماری
0.003	0.002	0.005	کم	هوازگی
0.002	0.001	0.003	متوسط	هوازگی
0.001	0.001	۰	زیاد	هوازگی
0.627	0.595	0.098		صیقلی

این معناست که خرابی صیقل شدگی اثر قابل ملاحظه‌ای روی TPN ندارد.

در شکل ۶، میزان SPL ثبت شده برای خرابی پوست سوسماری در شدت‌ها و سرعت‌های مختلف نشان داده شده است. همچنین، در شکل ۷ نیز میزان SPL ثبت شده برای خرابی هوازگی در شدت‌ها و سرعت‌های مختلف دیده می‌شود. از بررسی این نمودار می‌توان میزان اثرگذاری پارامترهای شدت خرابی و سرعت در TPN را استخراج کرد.

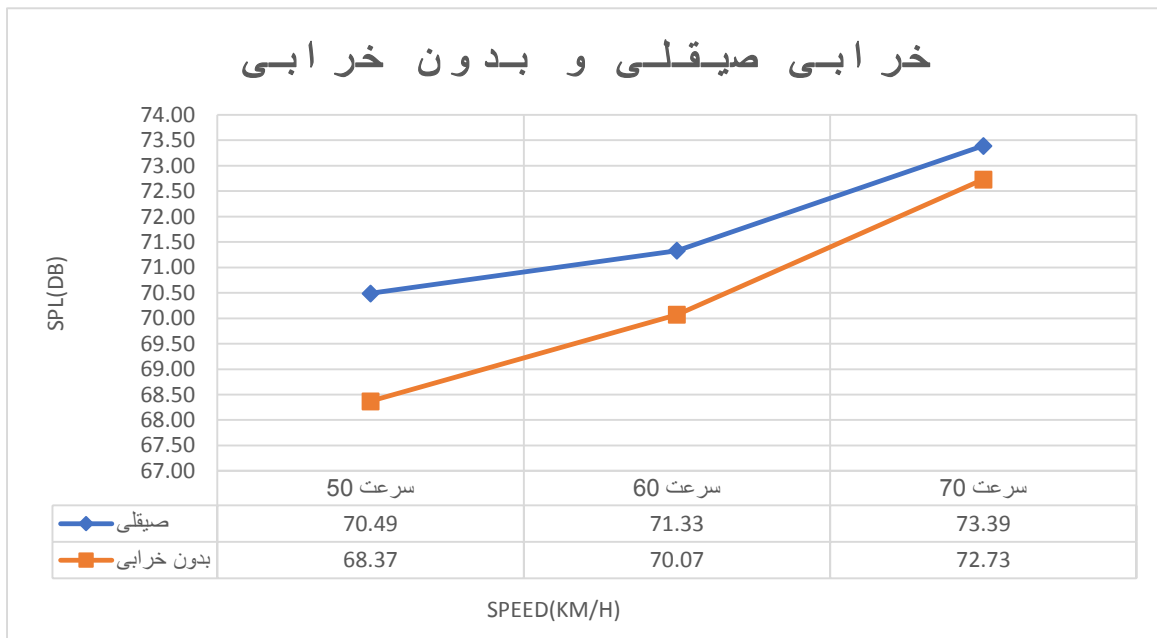
با نگاهی به جدول ۲، مشاهده می‌شود که p-value تمام خرابی‌ها با شدت‌های مختلف به غیر از خرابی صیقلی نسبت به بدون خرابی کوچکتر از ۰/۰۵ شده است، که فرض  $H_0$  رد می‌شود؛ به این معنی که میانگین گروه‌های بررسی شده از لحاظ آماری با یکدیگر متفاوت است. اما این فرض برای مقایسه خرابی صیقلی با حالت بدون خرابی صادق است. در نتیجه، از لحاظ آماری، میانگین این دو جامعه با یکدیگر برابر است. بنابراین، تغییرات SPL ثبت شده در روسازی با خرابی صیقلی نسبت به روسازی بدون خرابی معنی‌دار نبوده و این به



در شکل ۸، میزان تغییرات SPL اندازه‌گیری شده با تغییر سرعت وسیله نقلیه در دو حالت خرابی پوست سوسماری و خرابی صیقلی نشان داده شده است. از تجزیه و تحلیل این نمودار می‌توان تأثیر پارامتر سرعت را مشاهده کرد.

از تجزیه و تحلیل شکل های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که زیاد شدن شدت خرابی از کم به زیاد باعث افزایش ۵/۸ دسی بل در خرابی پوست سوسماری و ۳/۸ دسی بل در خرابی هوازدگی در سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت شده است. با زیاد شدن شدت خرابی از متوسط به زیاد، افزایش SPL در پوسته سوسماری بین ۲ تا ۳/۵ دسی بل و در هوازدگی بین ۰/۲ تا ۱ دسی بل ثبت شده است.

شکل ۸. مقایسه تغییرات سرعت وسیله نقلیه در خرابی صیقلی و بدون خرابی با SPL اندازه‌گیری شده



تأثیر پارامترهای سرعت و شدت خرابی است که TPN روسازی با خرابی پوست سوسماری شدت زیاد از خرابی هوازگی با شدت زیاد بیشتر شده است. در جدول ۳، مقدار p-value به دست آمده از مقایسه ترکیب خرابی‌ها در شدت‌ها و سرعت‌های مختلف با خرابی پوست سوسماری ارائه شده است. در این جدول، برای سهولت بیشتر خرابی هوازگی با شماره ۱۹، خرابی پوست سوسماری با شماره ۵ و خرابی صیقلی با شماره ۱۳ بیان شده است که مثلاً 19L,5L به معنای نقطه خرابی با ترکیب خرابی‌های هوازگی شدت کم و پوست سوسماری شدت کم است. حروف L,M,H به ترتیب شدت خرابی کم، متوسط و زیاد است.

با نگاهی به شکل های ۶ تا ۸، مشاهده می‌شود که افزایش سرعت از ۵۰ کیلومتر بر ساعت به ۷۰ کیلومتر بر ساعت باعث افزایش ۴/۳۶ دسی بل در میزان SPL ثبت شده برای روسازی بدون خرابی، ۶/۲۳ دسی بل برای روسازی با خرابی پوست سوسماری شدت زیاد، ۵/۸ دسی بل برای روسازی با خرابی هوازگی شدت زیاد و ۲/۹ دسی بل برای روسازی با خرابی صیقل شدگی شده است. بنابراین، تأثیر پارامتر سرعت و شدت خرابی روی روسازی با خرابی پوست سوسماری بیشتر از هوازگی دیده می‌شود. این در حالیکه روسازی با خرابی هوازگی با شدت کم و متوسط TPN بیشتری نسبت به خرابی پوست سوسماری با شدت مشابه دارد و به علت

جدول ۳. p-value مقایسه SPL ثبت شده ترکیب خرابی‌ها در شدت‌ها و سرعت‌های مختلف نسبت به خرابی پوست سوسماری

سرعت ۷۰	سرعت ۶۰	سرعت ۵۰	نوع رویه
0.012	0.036	0.012	19L,5L
0.003	0.006	0.417	19M,5M
0.051	0.001	0.27	19H,5H
0.021	0	0.004	19H,5M
0.009	0.89	0.142	19M,5H
0.529	0.621	0.336	13,5L
0.819	0.426	0.184	13,5M
0.057	0.491	0.138	13,5H

شده است. در حالی که میانگین SPL خرابی پوست سوسماری شدت زیاد ۸۳/۶ دسی بل بوده است. همچنین، در جدول ۳، نقاطی که p-value آنها بیشتر از ۰/۰۵ شده است نقاطی هستند که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با خرابی مقایسه شده‌اش ندارد. به عنوان مثال، p-value مقایسه خرابی "ترکیبی صیقلی و پوست سوسماری زیاد" نسبت به پوست سوسماری زیاد ۰/۱۳۸ شده است.

در جدول ۳، نقاطی که p-value آنها کمتر از ۰/۰۵ شده است نقاطی است که در مقایسه آنها فرض  $H_0$  رد می‌شود و دو گروهی که با هم مقایسه شده‌اند تفاوت معنی‌داری دارند. به عنوان مثال، p-value مقایسه خرابی "ترکیبی هوازگی کم و پوست سوسماری کم" نسبت به پوست سوسماری کم و خرابی "ترکیبی هوازگی زیاد و پوست سوسماری متوسط" نسبت به پوست سوسماری متوسط به ترتیب ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۴ شده است.

اصولاً ترازهای صوت را به دلیل ماهیت لگاریتمی نمی‌توان جمع جبری کرد. بنابراین، از رابطه لگاریتمی زیرف جمع دو تراز صوتی به دست می‌آید (دیویس و پاترونیس، ۲۰۱۲).

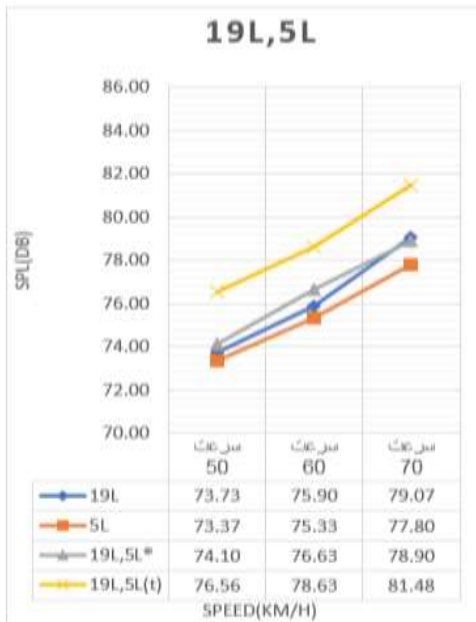
در جدول ۳، p-value هایی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند در واقع نقاطی هستند که SPL ثبت شده ترکیب خرابی‌ها از خرابی پوست سوسماری کمتر شده است. به عنوان مثال، میانگین SPL ترکیب خرابی هوازگی شدت کم و پوست سوسماری شدت زیاد در سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت، ۸۲/۹۶ دسی بل برداشت

$$L_{total}(dB) = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (4)$$

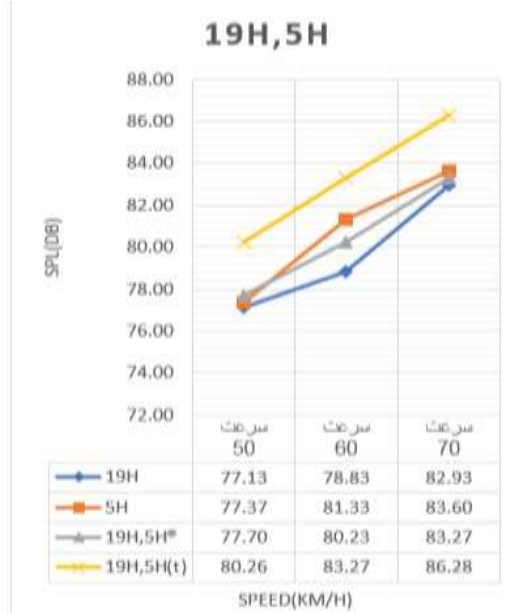


ترکیب خرابی SPL شکل‌های ۸ تا ۱۵ نمودار مقایسه ها در حالت واقعی و تئوریک نشان داده شده است. از بررسی این نمودارها می‌توان به تأثیر همزمان دو خرابی ( که یکی از آنها خرابی پوست سوسماری است) در سرعت‌ها و شدت‌های مختلف روی یکدیگر پی برد.

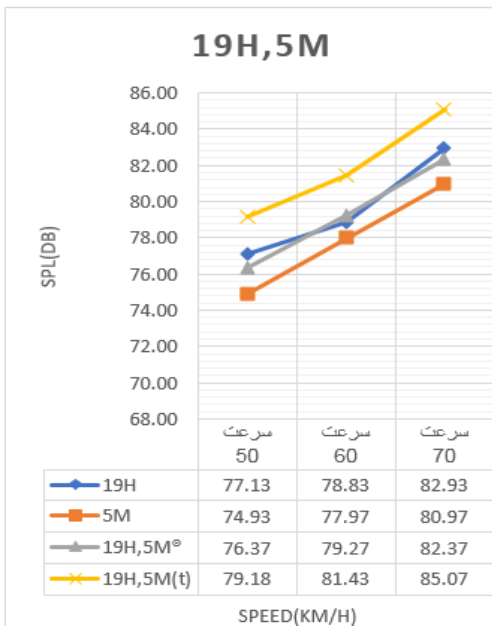
اگر هر خرابی را به عنوان یک عامل تولید نویز در نظر بگیریم، جمع تئوریک دو عامل از فرمول (۴) محاسبه می‌شود که می‌توان از آن به عنوان ترکیب دو خرابی در حالت تئوریک نام برد. در نقاطی که ترکیب خرابی‌ها برداشت شده را به عنوان SPL برداشت شده است، ترکیب دو خرابی در حالت واقعی می‌توان نام برد. در



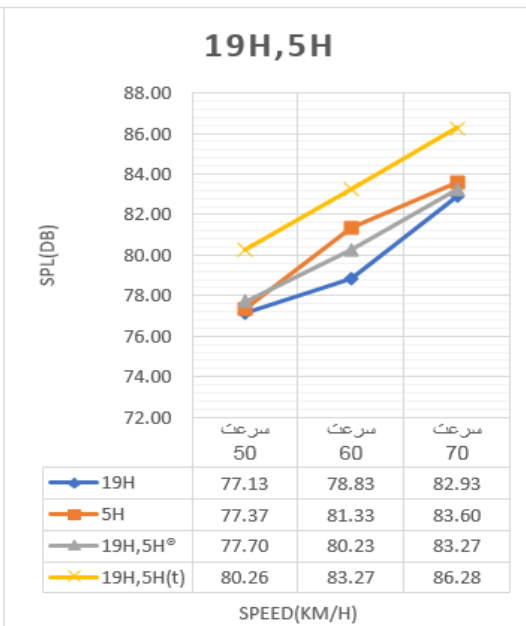
شکل ۹. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی هوازدگی شدت کم و پوست سوسماری شدت کم با SPL اندازه‌گیری شده



شکل ۱۰. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی هوازدگی شدت متوسط و پوست سوسماری شدت متوسط با SPL اندازه‌گیری شده

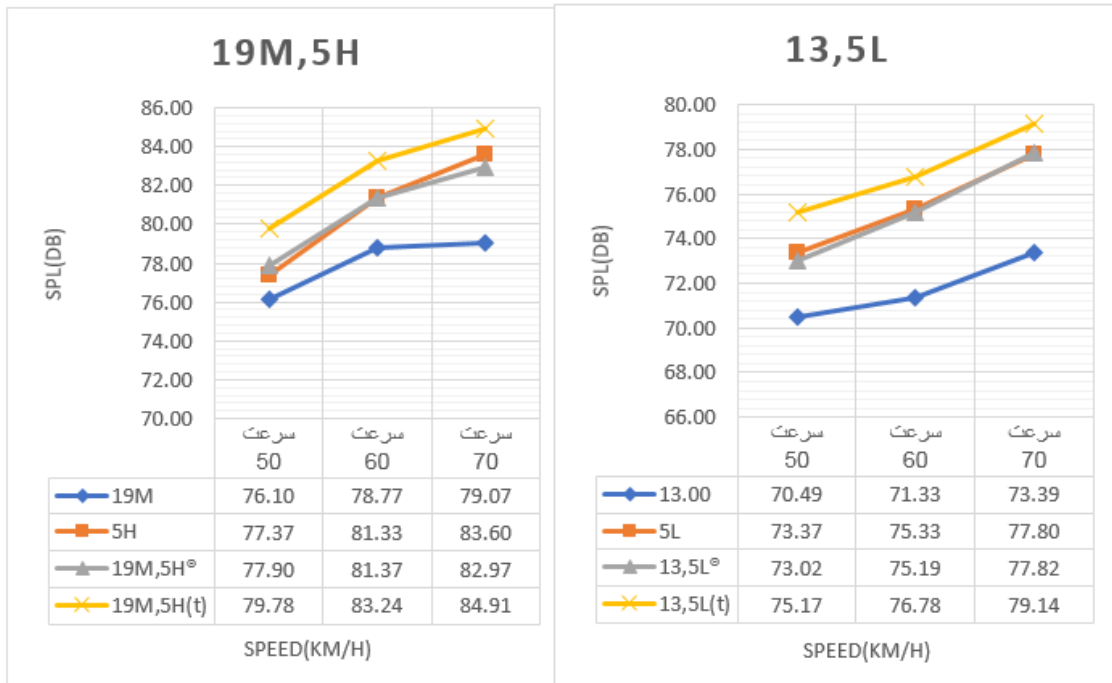


شکل ۱۱. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی هوازدگی شدت زیاد و پوست سوسماری شدت متوسط با SPL اندازه‌گیری شده

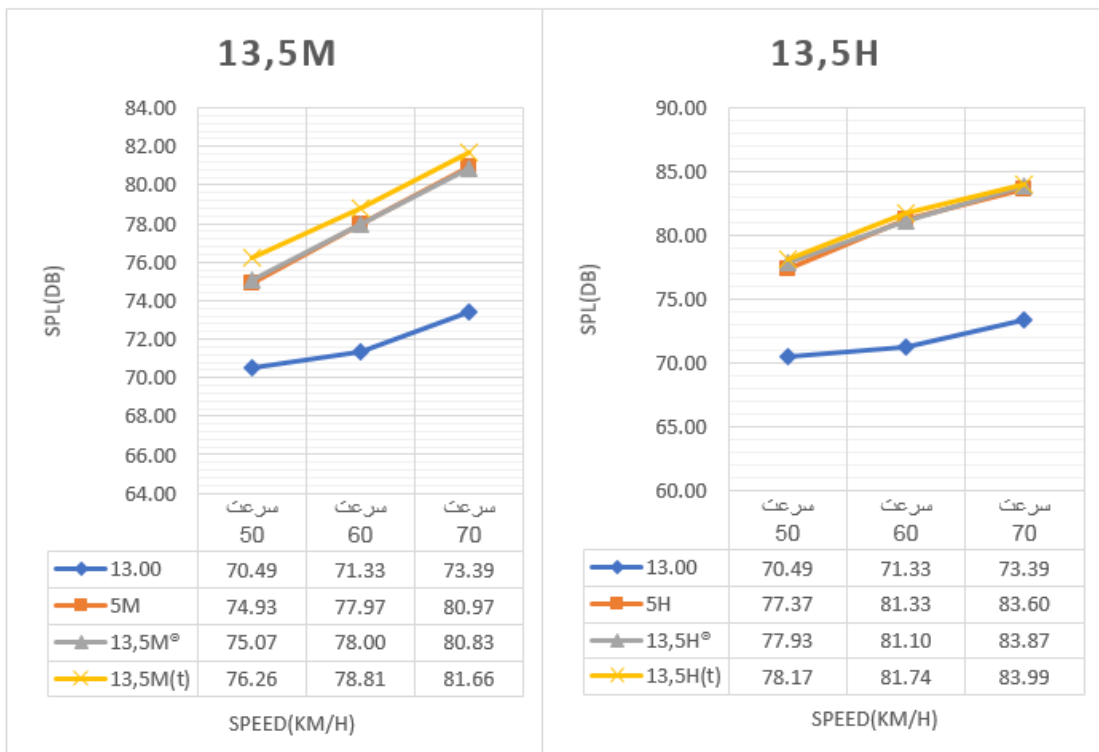


شکل ۱۲. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی هوازدگی شدت زیاد و پوست سوسماری شدت زیاد با SPL اندازه‌گیری شده

مقایسه آزمایشگاهی تأثیر استفاده از نانوسیلیس و ژئوگرید بر رفتار خستگی مخلوط آسفالتی گرم



شکل ۱۴. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی صیقلی و پوسته سوسماری شدت کم با SPL اندازه‌گیری شده  
 شکل ۱۳. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی هوازدگی شدت متوسط و پوسته سوسماری شدت زیاد با SPL اندازه‌گیری شده



شکل ۱۶. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی صیقلی و پوسته سوسماری شدت زیاد با SPL اندازه‌گیری شده  
 شکل ۱۵. نمودار مقایسه‌ای ترکیب دو خرابی صیقلی و پوسته سوسماری شدت متوسط با SPL اندازه‌گیری شده

- در تجزیه و تحلیل شکل ۹ دیده می‌شود که SPL خرابی هوازدگی شدت کم که از SPL خرابی پوست سوسماری شدت کم بیشتر است به SPL واقعی ترکیب دو خرابی پوست سوسماری شدت کم و هوازدگی شدت کم نزدیک‌تر است. این مجاورت نمودار SPL ترکیبی واقعی با SPL خرابی بیشتر در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ به صورت واضح‌تر مشاهده می‌شود. بنابراین از تجزیه و تحلیل شکل‌های ۹ تا ۱۶ مشاهده شده است که SPL واقعی ترکیب خرابی‌ها، بیشتر به خرابی با شدت صوت بالاتر نزدیک است و حاصل جمع تئوریک دو خرابی با SPL واقعی ترکیب آنها معادل نیست.
- در ترکیب خرابی صیقلی با سه شدت خرابی پوسته سوسماری ( شکل‌های ۱۴ تا ۱۶) مشاهده می‌شود که هرچه ترکیب خرابی صیقلی به سمت خرابی پوسته سوسماری با شدت زیاد میل کند نمودار تئوریک جمع دو خرابی به نمودار ترکیب واقعی آنها نزدیک‌تر می‌شود. به عبارتی، با زیاد شدن شدت خرابی پوسته سوسماری، تأثیر خرابی صیقلی در خرابی پوسته سوسماری شدت زیاد به سمت صفر میل کرده و تقریباً در ترکیب خرابی صیقلی با پوسته سوسماری شدت زیاد، تنها خرابی پوسته سوسماری با شدت زیاد است که روی SPL تأثیرگذار است.
- **۴. نتیجه گیری**
- خرابی صیقل شدگی اثر قابل ملاحظه‌ای روی TPN ندارد.
- تأثیر خرابی هوازدگی با شدت کم روی خرابی پوست سوسماری با شدت کم تأثیرگذار است.
- تأثیر خرابی پوست سوسماری با شدت‌های متوسط و زیاد روی خرابی هوازدگی با شدت کم تأثیرگذار است.
- تأثیر پارامتر سرعت و شدت خرابی روی روسازی با خرابی پوست سوسماری بیشتر از هوازدگی دیده شده است.
- خرابی هوازدگی با شدت کم روی خرابی پوست سوسماری با شدت کم تأثیرگذار است.
- خرابی هوازدگی با شدت متوسط روی خرابی پوست سوسماری با شدت متوسط در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد؛ ولی در سرعت‌های ۶۰ و ۷۰ کیلومتر بر ساعت تأثیرگذار است.
- خرابی هوازدگی با شدت زیاد روی خرابی پوست سوسماری شدت متوسط تأثیرگذار است.
- خرابی هوازدگی با شدت متوسط و زیاد تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی خرابی پوست سوسماری با شدت زیاد ندارد. به عبارتی، خرابی پوست سوسماری با شدت زیاد در ترکیب با دو خرابی دیگر غالب است و تأثیری نمی‌پذیرد.
- خرابی صیقلی تأثیر قابل توجهی روی خرابی پوست سوسماری با هر شدتی ندارد.
- حاصل جمع تئوریک دو خرابی با SPL واقعی ترکیب آنها معادل نیست.

## ۵. مراجع

- Bernhard, R., Wayson, R., Haddock, J., Neithalath, N., El-Assar, A., Olek, J., Pellinen, T. and Weiss, W. 2004. "An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement". Institute of Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University.
- Chauhan, A., Pawar, M., Kumar, D., Kumar, N. and Kumar, R. 2010. "Assessment of noise level status in different areas of Moradabad City". Report Opin. 2(5): p. 59-61.
- Davis, D. and Patronis, E. 2012. "Sound system engineering". Routledge.
- Freitas, E., Mendoca, C., Santos, J. A., Murteira, C. and Ferreira, J. P. 2012. "Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels". Transport. Res. Part D: Transport Environ., 17(4): 321-326.
- Freitas, E. F., Martins, F. F., Oliveira, A., Segundo, I. R. Torres, H. 2018. "Traffic noise and pavement distresses: Modelling and assessment of input parameters influence through data mining techniques". Appl. Acous., 138: 147-155.
- ISO/CD 11819-1. 2002. "Acoustics-measurement of the influence of road surfaces on traffic noise-Part 1: statistical Pass-By method".
- Khan, V. and Biligiri, K. P. 217. "Evolution of tyre/road noise research in India: Investigations using statistical pass-by method and noise trailer". Int. J. Pavement Res. Technol., 11: 253-264.
- Lee, C. S. and Fleming, G. G. 1996. "Measurement of highway-related noise". United States Federal Highway Administration, Office of Environment and Planning.
- Li, T., Burdisso, R. and Sandu, C. 2018. "Literature review of models on tire-pavement interaction noise". J. Sound Vib., 420: 357-445.
- Lodico, D. M., Rochat, J., Donavan, P. R. and Rassmussen, R. 2012. "Overview and application of the Statistical Isolated Pass-By Method (SIP) for determining the influence of road surfaces on vehicle noise (AASHTO TP-98)". INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Institute of Noise Control Engineering.
- Miller, J. S. and Bellinger, W. Y. 2014. "Distress identification manual for the long-term pavement performance program". United States Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development.
- Sandberg, U. and Ejsmont, J. 2002. "Tyre/road noise reference book".
- Soshnikov, A. B. 1997. Department of Mathematics University of California, Davis, Institute for Advanced Study: Member, September.
- Syamkumar, A., Aditya, K. and Chowdary, V. 2013. "Development of mode-wise noise prediction models for the noise generated due to tyre-pavement surface interaction". Adv. Mater. Res. , 723: 50-57.