

## ارزیابی روند تغییرات فاصله ترمزگیری با سرعت وسیله نقلیه

### مقاله علمی - پژوهشی

محسن نجفی علمدارلو، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، مازندران، بابل، ایران

سعید حسامی\*، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، مازندران، بابل، ایران

\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: S.Hesami@nit.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸ - پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

صفحه ۱۷۲-۱۶۱

### چکیده

اصطکاک سطح روسازی یکی از مهمترین شاخص‌های روسازی است که علاوه بر ایمنی بر موارد دیگر مانند تولید صدا و راحتی رانندگی و... نیز تاثیرگذار است. با توجه به کاستی‌های موجود در این بخش و این که تاکنون اصطکاک سطح روسازی به صورت واقعی و میدانی در ایران اندازه گیری نشده است بنابراین در این پژوهش برای اولین بار در ایران دستگاه چرخ قفل شونده به صورت کامل از ابتدا طراحی و ساخته شده است. سپس با بررسی سه محور در شهر شیراز و با استفاده از آزمایش پاندول انگلیسی و آزمایش پخش ماسه و استفاده از روابط مراجع مختلف، نتایج دستگاه ساخته شده اعتبار سنجی گردیده است و سپس روند تغییرات فاصله ترمزگیری بر مبنای سرعت حرکت به دست آمده است. نتایج بیانگر تغییر عدد اصطکاک از حدود ۷۰ تا ۳۰ در سرعت ۴۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است. این تغییر باعث افزایش حدود ۳۰۰ درصدی فاصله ترمزگیری می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت لغزندگی، چرخ قفل شونده، فاصله ترمزگیری، ایمنی، حمل و نقل

### ۱-مقدمه

زیرساخت‌ها مانند قوس‌های افقی را می‌توان از مواردی دانست که میزان اصطکاک مابین تایر و روسازی در تعامل با برخی از موارد دیگر در آن‌ها تاثیرگذار هستند (Chu & Fwa, 2017; Lin & Tongjing, 2018; Siriphun, Horpibulsuk, Chotisakul, Chinkulkijniwat, & Arulrajah, 2017). هر ساله تعداد قابل توجهی از انسان‌ها در تصادفات رانندگی کشته و مجروح می‌شوند. آمار کشته شده‌ها در تصادفات رانندگی در کشورهای درحال توسعه نسبت به کشورهای توسعه یافته شرایط بحرانی تری را دارد کما اینکه در کشورهای توسعه یافته نیز تبعات تصادفات به یک معضل اجتماعی و اقتصادی تبدیل شده است (Katayama, Kitamura, Kiyohara, & Iwami, 2017; Yaseen, Ali, Tariq, & Khan, 2018). متأسفانه ایران در بین کشورهایی با بیشترین تلفات رانندگی قرار می‌گیرد و هر ساله تعداد بسیار زیادی از هموطنانمان

فاصله ترمزگیری به عنوان بخشی از فاصله توقف از مهمترین متغیرهای تاثیرگذار در ایمنی حمل و نقل است. هرچه خودروها در فاصله کمتری توقف کنند به همان نسبت احتمال وقوع سوانح ترافیکی و شدت آن کمتر می‌شود. فاصله ترمزگیری به موارد متعددی وابسته است که میزان نیروی اصطکاک مابین تایر و روسازی را می‌توان به عنوان مهمترین متغیر تاثیرگذار در این زمینه دانست. نیروی اصطکاک از نیروهای بنیادی در ساختار جهان هستی است. بدون اصطکاک بسیاری از اعمالی که بشر امروزه قادر به انجام آن‌هاست از ساده‌ترین تا پیشرفته‌ترین آن‌ها قابل انجام نخواهد بود. نیروی اصطکاک مابین تایر و روسازی نیز به نوبه خود در ابعاد مختلف می‌تواند تاثیرگذار باشد. ایمنی حمل و نقل، تعداد و شدت تصادفات، کنترل پذیری خودرو، راحتی سرنشینان، مصرف سوخت، میزان فرسایش و سرعت خرابی تایر و روسازی، و پارامترهای مربوط به طراحی

می‌کند ( Vardaki, Papadimitriou, & Kopelias, 2014). مضاف بر این میزان پایین مقاومت لغزندگی می‌تواند عامل تاثیرگذاری در تصادفات زنجیره‌ای خودروها با هم باشد (Lee, Nam, & Abdel-aty, 2015). اولین گام در راستای دست‌یابی به روسازی با عملکرد مناسب مقاومت لغزندگی، شناخت مناسب و روند مناسب اندازه‌گیری اصطکاک سطح روسازی است. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی اصطکاک وجود دارد که هر یک دارای مزایا و معایبی است و به طور کلی واقعی‌ترین حالت ممکن بررسی حرکت واقعی تایر بر روی روسازی است که چند دهه‌ای است در کشورهای مختلف از این شیوه استفاده می‌گردد. متأسفانه تا کنون این دستگاه در داخل تولید نشده و حتی از نمونه‌های خارجی نیز استفاده نشده است. لذا، در این مقاله دستگاه چرخ قفل شونده ایرانی به صورت کامل از ابتدا طراحی، ساخت و اعتبار سنجی شده است و سپس با استفاده از این دستگاه، نحوه تغییرات فاصله ترمزگیری در اثر تغییرات سرعت وسیله نقلیه بررسی شده است.

## ۲- فاصله ترمزگیری

فاصله ترمزگیری در واقع مسافتی است که خودرو پس از فشار پدال ترمز تا توقف کامل طی می‌کند. به طور کلی فاصله ترمزگیری به سرعت وسیله نقلیه، زبری سطح روسازی، رفتار و تکنیک ترمزگیری راننده، سیستم ترمز خودرو، مشخصات تایر (مانند فشار باد، آج، جنس تایر و ...)، و شیب مسیر بستگی دارد. عمدتاً در مطالعات ترافیکی برای برآورد فاصله ترمزگیری در سطوح بدون شیب از رابطه ۱ استفاده می‌گردد (Astm, 2013).

$$d = \frac{v^2}{2gu}$$

## ۳- موارد تاثیرگذار در اصطکاک تایر و روسازی

تعاریف مختلفی از نیروی اصطکاک وجود دارد. عموماً نیروی اصطکاک مابین تایر و روسازی به عنوان نیرویی که در برابر حرکت تایر بر روی روسازی مقاومت می‌کند تعریف می‌شود. به طور کلی، نیروی اصطکاک بین لاستیک و سطوح ناهموار از دو جزء تشکیل شده است که با عنوان نیروی چسبندگی سطحی<sup>۱</sup> و نیروی انرژی تلف شده<sup>۲</sup> بیان

جان خود را در تصادفات رانندگی ازدست می‌دهند (Hejazi&Alipor,2016).

عوامل موثر در وقوع یک تصادف را می‌توان در چهار بخش کلی عامل انسانی، وسیله نقلیه، شرایط محیطی و مسیر عبور بررسی نمود. یک تصادف رانندگی ناشی از نقصان در یک یا چند مورد از این عوامل است (Marizwan, Manan, Várhelyi, Kemal, & Hanis, 2017; Rolison, Regev, Moutari, & Feeney, 2018). وقوع یک سانحه ترافیکی و عوامل دخیل در آن ماهیت پیچیده‌ای دارد و نمی‌توان سهم هر عامل را به طور دقیق در وقوع سانحه تعیین نمود. اما می‌توان بررسی کرد که تغییرات در یک عامل چه تاثیری در وقوع یک سانحه خواهد گذاشت. اصطکاک مابین تایر و روسازی تلفیقی از سه عامل مسیر عبور، شرایط محیطی و وسیله نقلیه است (Wu & Abadie, 2018). نقصان در این بخش به تنهایی و یا با تلفیق خطای انسانی می‌تواند در وقوع یک سانحه ترافیکی موثر باشد (Lyon, Persaud, & Merritt, 2016). وضعیت رویه مسیر عبور از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در ایمنی حمل و نقل است (Kashani&Samei,2016). وجود اصطکاک کافی مابین تایر و روسازی آسفالتی یا بتنی یکی از موارد بسیار مهم در ایمنی است که البته روسازی بتنی شرایط بحرانی‌تری در این زمینه دارد (Hasani, Sodagari&moafei,2006). در صورت وجود اصطکاک مناسب، خودروها این توانایی را دارند که قبل از برخورد به مانع توقف کنند و یا در صورت برخورد، با شدت کمتری برخورد صورت گیرد (Hussein & Hassan, 2016). میزان تاثیر مقاومت لغزندگی مناسب در تصادفات به گونه‌ای است که در برخی مواقع پس از ترمیم و بهبود مقاومت لغزندگی، تعداد تصادفات به حدود نصف کاهش پیدا (۱)

که در این رابطه  $d$  بیانگر فاصله ترمزگیری بر حسب متر،  $V$  بیانگر سرعت وسیله نقلیه بر حسب متر،  $g$  بیانگر شتاب جاذبه و  $u$  بیانگر ضریب اصطکاک است. همانطور که مشاهده می‌گردد سرعت و اصطکاک تایر و روسازی دو فاکتور اصلی در تعیین میزان فاصله ترمزگیری هستند.

است که در تایرهای بدون آج اگر ضخامت فیلم آب بر روی روسازی حدود تنها ۰/۰۳ اینچ باشد عدد اصطکاک را از ۰/۴۵ به ۰/۳۰ کاهش می‌دهد همچنین وجود یخ در سطح روسازی شرایطی به مراتب بحرانی تر از وجود آب به وجود می‌آورد. وجود برخی آلودگی‌ها مانند سوخت‌های فسیلی باعث به وجود آمدن سطح بسیار لغزنده می‌گردد. حتی گرد و غبار نیز با کاهش زبری سطح، عملکرد مقاومت لغزندگی روسازی را کاهش می‌دهد (Henry, 2000).

#### ۴- ابزارهای اندازه‌گیری و شیوه بیان میزان اصطکاک

روش‌های مختلفی جهت بیان میزان اصطکاک مابین تایر و روسازی وجود دارد که بسته به تجهیزات مورد استفاده و روش اندازه‌گیری تقسیم‌بندی می‌شوند. به طور کلی این موارد را می‌توان به دو بخش کلی روش‌های مستقیم و روش‌های غیر مستقیم تقسیم کرد. در روش مستقیم، با استفاده از تجهیزاتی به صورت مستقیم میزان اصطکاک مابین تایر و روسازی در شرایط مختلف به دست می‌آید. در روش غیر مستقیم، پارامترهایی که در میزان اصطکاک موثر هستند به دست آمده و سپس از روی آن‌ها، میزان اصطکاک تخمین زده می‌شود. مهمترین روش‌های غیرمستقیم عبارتند از پاندول انگلیسی<sup>(BPT<sup>۳</sup>)</sup> (Astm, 1993b)، دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک دینامیکی<sup>(DFT<sup>۴</sup>)</sup> (Astm, 1999b)، روش سرعت خروج مایع<sup>(OFM<sup>۵</sup>)</sup> (Astm, 2005) و روش پنخش ماسه<sup>(SPM<sup>۱</sup>)</sup> (Astm, 1998b) که هر یک شاخصی را ارائه می‌کنند که بیانگر تخمینی از عملکرد اصطکاکی سطح مورد بررسی است. پرکاربردترین روش‌های مستقیم نیز شامل چرخ قفل شونده<sup>(Astm, 1998d)</sup>، روش نیروی جانی<sup>(Astm, 1998c)</sup>، سرش ثابت<sup>(Astm, 1999a)</sup>، فاصله توقف<sup>(Astm, 2013)</sup>، نرخ کاهش سرعت<sup>(Astm, 2014)</sup> هستند که در این روش‌ها عموماً یک یا چند تایر بر روی سطح حرکت داده شده و از نتایج حاصل برای بیان کردن میزان اصطکاک استفاده می‌گردد.

هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و بسته به هدف مطالعه و امکانات در دسترس در تحقیقات مختلف از این روش‌ها استفاده می‌گردد. در ایران عمدتاً از روش

می‌شود (Persson, 1998). نیروی چسبندگی سطحی حاصل تمایل ملکول‌های دو ماده برای چسبیدن به هم است (Hall et al., 2009). اما نیروی انرژئی اتلافی به ساختار الاستومری لاستیک سازنده تایر خودروها برمی‌گردد. در اثر لغزش تایر بر روی مسیر، برخی از این پیوندها شکسته شده و پیوندهای جدیدی شکل می‌گیرد. شکل‌گیری و تشکیل مجدد این پیوندها انرژئی را تلف می‌کند که به عنوان انرژئی اتلافی معرفی می‌گردد (Kosgolla, 2012).

شناخت کامل و دقیق از اصطکاک مابین تایر و مسیر عبور اگر محال نباشد جزء مسائل بسیار مشکل است. دلیل این دشواری وابسته بودن اصطکاک بین تایر و مسیر عبور به پارامترهای مختلف و متعدد است. به طور کلی موارد تاثیرگذار بر میزان اصطکاک مابین تایر و مسیر عبور را می‌توان در چهار بخش کلی، شرایط مسیر عبور، شرایط عملکردی خودرو، مشخصات تایر و شرایط محیطی مورد بررسی قرار داد (Wallman & Astrom, 2001). در ارتباط با مسیر عبور و تاثیر آن بر اصطکاک مابین تایر و مسیر عبور، مهمترین پارامتر میزان و نوع زبری سطح مسیر مورد مطالعه است. نوع زبری مسیر از مشخصات بسیار مهم و تاثیرگذار است که علاوه بر اصطکاک در سایر موارد مانند صدای تولید شده و همچنین فرسایش تایر نیز موثر است. (Hall et al., 2009; Sandburg & Ejsmont, 2002) اما در مورد عملکرد خودرو، درصد سرش مابین تایر و روسازی، که به سبب ترمزگیری وسیله عبوری مرتبط است، بیشترین تاثیر را بر میزان ضریب اصطکاک دارد به گونه ای که اختلاف بین حداکثر میزان اصطکاک و میزان اصطکاک در سرش ۱۰۰ درصد در برخی مواقع حتی از ۵۰ درصد هم بیشتر است. (Henry, 2000). خصوصیات تایر از مشخصه‌های اصلی تعیین میزان اصطکاک است. جنس مواد به کار رفته در ساخت تایر، ابعاد هندسی آن، نوع و کیفیت آج لاستیک و فشار هوای درون آن از مهمترین این خصوصیات هستند. تفاوت میزان مقاومت لغزندگی در صورتی که تمام موارد یکسان باشد و تنها مشخصات تایر تغییر کند در برخی مواقع تا ۷۰ درصد نیز تغییر می‌کند (Henry, 1983). در حالت کلی شرایط محیطی تاثیرگذار بر میزان اصطکاک مابین تایر و روسازی را می‌توان در چهار بخش عمده دمای محیط، وجود آب، وجود برف و یخ و وجود آلودگی طبقه‌بندی کرد. تاثیر وجود آب به حدی

تجهیزات مشابه استفاده می‌گردد. دستگاه دارای یک چرخ آزمایش است که فشار درون آن قابل تنظیم و نوع آج آن قابل انتخاب است. معمولاً روند آزمایش بدین صورت است که دستگاه به صورت یدک کش روی سطح روسازی کشیده شده و هر وقت به سرعت دلخواه رسید چرخ آزمایش با نیروی قائم (W) مشخصی روی سطح روسازی قرار می‌گیرد. نیروی افقی لازم برای کشیدن تایر آزمایش (F) با سرعت ثابت و به صورت کاملاً قفل شده بر بروی سطح روسازی ثبت می‌گردد و با استفاده از رابطه ۲ میزان ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) به دست می‌آید.

$$\mu = \frac{F}{W}$$

حرکت زاویه دارد، استفاده می‌گردد، در این روش تایر تست با جهت حرکت زاویه دارد (Astm, 1998c) و یا روش سرش کنترل شده<sup>۱۴</sup> که تفاوت آن با روش چرخ قفل شونده در قابلیت تنظیم میزان سرش است (Astm, 1999a). در روش کاهش سرعت یا روش نرخ کاهش سرعت نیز عملکرد خودرو واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطور که ذکر گردید روش چرخ قفل شونده پرکاربردترین روش در این بخش است و از لحاظ تئوری نیز عملکرد قابل درکی دارد به این صورت که نیروی افقی لازم برای کشیدن یک تایر تحت شرایط خاص به دست می‌آید که بر مبنای تغییر پارامترهای مختلف می‌توان عملکرد مقاومت لغزندگی سطح مورد بررسی را به دست آورد.

#### ۵- طراحی و ساخت دستگاه چرخ قفل شونده

به طور خلاصه هدف این است که تایری با مشخصات معین و میزان باد قابل تنظیم، به صورت کاملاً قفل شده روی سطح کشیده شود. تایر کاملاً به صورت افقی حرکت کند و وزن قائم روی تایر نیز قابل تنظیم باشد. تایر با سرعت یکنواخت روی سطح کشیده شود و امکان قرار دادن و برداشتن تایر روی سطح در زمان دلخواه وجود داشته باشد. در هنگام کشیدن تایر تنها نیروی افقی لازم برای کشیدن تایر اندازه‌گیری گردد و نیروهای جانبی و گشتاورها در اندازه‌گیری تاثیری نداشته باشد. همچنین به منظور بررسی روند عملکرد اصطکاک در حالتی که روسازی خیس است،

پاندول انگلیسی و روش پخش ماسه استفاده می‌گردد. متأسفانه روش‌های مستقیم تا کنون چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند. با توجه به اهمیت بسیار بالای موضوع و کاستی‌های موجود در این بخش، در قالب این مقاله تلاش‌های صورت گرفته جهت دستیابی به دستگاهی که قابلیت تست مستقیم اصطکاک را داشته باشد بیان می‌گردد.

#### ۴-۱- روش‌های پرکاربرد اندازه‌گیری مستقیم مقاومت لغزندگی

روش چرخ قفل شونده پرکاربردترین روش در این زمینه است. در این روش از دستگاه چرخ قفل شونده و یا

(۲)

که در این رابطه  $\mu$  ضریب اصطکاک، F نیروی افقی و W نیروی قائم است. معمولاً نتیجه آزمایش چرخ قفل شونده با عدد اصطکاک ( $FN^{12}$ ) یا عدد لغزش ( $SN^{13}$ ) نشان داده می‌شود که ۱۰۰ برابر  $\mu$  به دست آمده از رابطه ۱ است. همانطور که قبلاً ذکر شد چون آزمایش کنترل شده است و با تغییر شرایط، نتایج هم تغییر می‌کنند. لذا، همواره شرایط کنترلی نیز در نتایج آزمایش باید نمود داشته باشند. هرگز عدد اصطکاک به صورت تنها بیان نمی‌گردد (یا حداقل نباید بیان گردد). معمولاً نتایج به صورت  $\{R, S\}$  یا  $\{v, v\}$  بیان می‌شوند. V بیانگر سرعت است که بلافاصله پس از SN قرار می‌گیرد و اگر بر حسب مایل بر ساعت باشد بدون پراتنز و اگر با پراتنز باشد بر حسب کیلومتر در ساعت است. در آزمایش اگر از چرخ بدون آج (smooth) (Astm, 1993a) استفاده شده باشد حرف بعدی S و اگر از چرخ آجدار (ribbed) (Astm, 1998a) استفاده شده باشد حرف بعدی R قرار داده می‌شود. این آزمایش معمولاً در سرعت ۶۴ تا ۹۶ کیلومتر در ساعت انجام می‌شود. با توجه به سیستم آب پاش موجود در دستگاه آزمایش را می‌توان هم به صورت خشک و هم به صورت روسازی خیس انجام داد. شایان ذکر است که در این آزمایش تایر در راستای مسیر حرکت لغزش می‌کند. سایر روش‌های مستقیم نیز تا حدی مشابه این روش است. به طور مثال، روش نیروی جانبی که بیشتر به منظور اندازه‌گیری اصطکاک کافی جهت کنترل وسیله نقلیه در قوس‌ها و وقتی که تایر وسیله نقلیه با جهت

### ۵-۱- شرح دستگاه ساخته شده

سیستم کشنده شامل یک مستطیل ساخته شده از قوطی به عرض ۶۸ سانتیمتر و طول ۱۱۰ سانتیمتر است جهت امکان حرکت سیستم از دو چرخ به قطر ۶۲ سانتیمتر در جلو شاسی مستطیلی استفاده شده که آزادانه می‌چرخند و سیستم را حمل می‌کنند. نمای کلی دستگاه در شکل یک نمایش داده شده است. جهت امکان آزمایش در شرایط خیس، یک منبع استوانه‌ای فلزی با قابلیت تنظیم میزان پاشش آب در نظر گرفته شده است.

امکان خیس کردن روسازی به میزان مورد نیاز فراهم باشد. همچنین، روندی اتخاذ گردد که هنگام انجام آزمایش دستگاه قابلیت روئیت داشته باشد و ایمنی مسیر و اپراتور را به خطر نیندازد. در حقیقت این سیستم یک تایر را روی سطح می‌کشد و نیروی افقی لازم برای کشیدن تایر در سرعت ثابت را اندازه‌گیری می‌کند که به وسیله آن می‌توان ضریب اصطکاک سطح را به دست آورد.



شکل ۱. نمای کلی دستگاه چرخ قفل شونده ایرانی



شکل ۲. نمای داخلی دستگاه چرخ قفل شونده ایرانی

و واگن وصل می‌شود. سیستم ریل و واگن فقط اجازه حرکت افقی به سیستم می‌دهد. حال این سیستم به یک لودسل متصل می‌گردد که با کشیده شدن تایر، این لودسل میزان بار افقی وارده را اندازه‌گیری کرده و به صفحه نمایش آن که در جعبه کنترلی که با سیم به آن متصل است و در خودرو قرار دارد فرستاده می‌شود. جهت جابه‌جایی تایر تست و بدین منظور که در زمانی که نیاز هست آزمایش انجام شود از یک جک خطی استفاده می‌گردد که با استفاده از دو قرقره و حرکت بازوی جک، تایر تست را با استفاده از

برای لاستیک تست از لاستیک ۸ اینچی استفاده شده و خود همین لاستیک درون یک مستطیل به عرض ۲۵ سانت و طول ۵۵ سانت فیکس شده است. روی این مستطیل محلی برای قرار دادن وزنه به منظور تامین نیروی قائم تعبیه شده است. سپس یک طرف این مستطیل کوچک با استفاده از سیستم لولا و بلورینگ به یک میله استوانه‌ای وصل می‌گردد و حال این میله به صورت عمودی به یک شافت متصل می‌گردد. شافت متصل به تایر تست پس از عبور از درون لوله ای که بلبرینگ خطی در آن است روی یک سیستم ریل

روی سطح قرار می دهد. نمای داخلی دستگاه در شکل دو نشان داده شده است.

کلیدهایی که در جعبه کنترل قرار داده شده و در خودرو کشنده واقع شده بالا برده و در زمان انجام تست به آرامی

### ۵-۲- ارزیابی و کالیبره کردن عملکرد دستگاه

سطح روسازی پخش می شود به گونه ای که تمام خلل و فرج های سطح پوشانده شود. سپس بر اساس مساحت دایره و حجم ماسه، ارتفاع متوسط زبری سطح ( $MTD^{16}$ ) به دست می آید. محققین متعددی در سال های اخیر تلاش کرده اند که رابطه بین  $MTD$  و  $BPN$  و همچنین رابطه بین این دو و  $SN$  را مورد ارزیابی قرار دهند. روابطی که ومبود و همکاران ارائه کردند با توجه به حجم بالای مطالعات میدانی، دارای اطمینان قابل قبولی است. طبق تحقیقات ایشان مشخص گردید که شاخص های بیان میزان اصطکاک از روند ارائه شده در روابط ۳-الف و ۳-ب تبعیت می کنند (Wambold, Henry, & Blackburn, 1984). با ترکیب این دو رابطه، رابطه ۴ به دست می آید که بیانگر ارتباط مستقیم بین این سه شاخص است. رابطه ۵ از ترکیب روابط ۹-۳۱ تا ۹-۳۳ مرجع روسازی هوانگ ارائه شده است (Huang, 2004) و بیانگر ارتباط مابین این سه شاخص است.

به منظور بررسی عملکرد صحیح دستگاه از دو آزمایش پاندول انگلیسی و پخش ماسه استفاده می گردد. آزمایش پاندول انگلیسی بدین صورت است که یک پاندول از ارتفاع معینی رها و پس از تماس با سطح آسفالت و کاهش انرژی جنبشی آن، میزانی که در سمت مقابل بالا می رود اندازه گیری شده و از اختلاف ارتفاع حاصله عددی به عنوان عدد آونگی ( $BPN^{10}$ ) نتیجه می شود. این عدد بین صفر تا ۱۴۰ قرار دارد و هرچه این عدد بالاتر باشد نشان دهنده این مطلب است که روسازی مورد آزمایش دارای میزان اصطکاک بیشتری است. عیب عمده این روش این است که نتیجه آزمایش به سرعت وابسته نیست و با توجه به ساختار آزمایش، بیانی از میزان اصطکاک در سرعت های پایین است. روش پخش ماسه را شاید بتوان ساده ترین و ارزان ترین روش برآورد مشخصات زبری یک سطح معرفی نمود. در این روش هدف به طور عمده یافتن عمق متوسط زبری در سطح ماکرو است. در روش پخش ماسه پس از تمیز نمودن سطح روسازی، حجم معینی از ماسه به صورت دایره ای روی

$$BPN = 20 + 0.405 \times SN40R + 0.039 \times SN40S \quad (3\text{-الف})$$

$$MTD = 0.039 - 0.0029 \times SN40R + 0.0035 \times SN40S \quad (3\text{-ب})$$

$$SN40S = -49 + 268 \times MTD + 1.92 \times BPN \quad (4)$$

$$SN40S = (1.39BPN - 34.9)e^{\frac{-(0.157(MTD)^{-0.47})}{100} \times V} \quad (5)$$

جهت اعتبارسنجی استفاده می گردد. حال به منظور اعتبارسنجی سه محدوده در شهر شیراز انتخاب می گردد به صورتی که وضعیت رویه روسازی در هر یک از محدوده های مورد آزمایش مشابه بوده و در طول مسیر مورد آزمایش وضعیت روسازی تغییر محسوسی نداشته باشد. همچنین با استفاده از آزمایش پخش ماسه، محدوده ها به گونه ای انتخاب می گردند که میزان زبری آن ها در سه رنج مختلف قرار یرد تا بتوان از عملکرد صحیح دستگاه در روسازی هایی با شرایط مختلف اطمینان حاصل کرد. در ابتدا میزان جرم قائم وارده بر تایر تست ۶ کیلوگرم در نظر گرفته شده و فشار باد تایر نیز  $\psi 17$  در نظر گرفته می شود.

که در این روابط  $MTD$  متوسط عمق زبری بر حسب اینچ،  $SN40R$  عدد اصطکاک در سرعت ۴۰ مایل بر ساعت و با لاستیک آجدار،  $SN40S$  عدد اصطکاک در سرعت ۴۰ مایل بر ساعت و با لاستیک صاف،  $V$  سرعت که در اینجا ۴۰ مایل بر ساعت است و  $BPN$  عدد پاندولی است. البته با توجه به گستردگی موضوع، روابط متعددی ارائه گردیده است (Ahammed & Tighe, 2012; Bustos, 2006; Echaveguren, Solminihac, & Caroca, 2006; Ghaemi, 2011; Kuttesch, 2004) ولی با توجه به حجم بسیار بالای داده های مورد مطالعه جهت ارائه این دو رابطه (روابط چهار و پنج)، در این پژوهش از این دو رابطه

می‌آید. در شکل ۳ روند انجام آزمایشات در یکی از محورها نمایش داده شده است. نتایج حاصل در جدول یک درج شده است. بر مبنای نتایج جدول ۱ و روابط ۳ و ۴، میزان SN به دست می‌آید که اختصاراً در این مقاله SN به دست آمده از رابطه ۳ با SN1 و SN به دست آمده از رابطه ۴ با SN2 نشان داده می‌شود. همانطور، که ذکر گردید نتیجه دستگاه تست یک نیروی افقی است و با توجه به مشخص بودن نیروی قائم، ضریب اصطکاک و سپس از روی آن عدد اصطکاک به دست خواهد آمد. به اختصار این عدد با SNT نشان داده می‌شود. نتایج آزمایشات انجام شده در جدول ۲ درج شده است.

آزمایشات در بازه دمایی ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد انجام شده است. به منظور همخوانی با روابط ارائه شده، سرعت تست نیز ۴۰ مایل در ساعت یا ۶۴ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود و همچنین برای یک کش از یک خودرو اتوماتیک دارای کروز کنترل استفاده می‌گردد تا توان برقراری سرعت ثابت در طی آزمایش را داشته باشد. سپس در هر محور مورد بررسی ۶ نقطه (دو نقطه قبل از انجام تست، دو نقطه در محدوده انجام تست و دو نقطه پس از محدوده تست) انتخاب و در این نقاط BPN و MTD با استفاده از دستگاه پاندول انگلیسی و آزمایش پخش ماسه به دست می‌آید. آزمایش چرخ قفل شونده در حال خشک در هر محور سه بار انجام و نیروی افقی لازم برای کشیدن تایر به دست



شکل ۳. آزمایش چرخ قفل شونده، پخش ماسه و پاندول انگلیسی در یکی از محورهای مورد بررسی

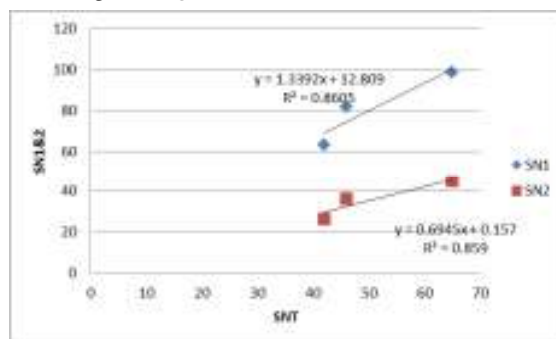
جدول ۱. نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و پخش ماسه

عنوان	BPN			MTD(mm)		
	محور ۳	محور ۲	محور ۱	محور ۳	محور ۲	محور ۱
نقطه اول	۵۵	۶۰	۷۱	۰/۵۵	۰/۸۷	۱/۱۵
نقطه دوم	۵۶	۵۹	۷۳	۰/۵۶	۰/۸۹	۱/۱۲
نقطه سوم	۵۴	۶۷	۶۸	۰/۵۹	۰/۸۷	۱/۰۶
نقطه چهارم	۵۴	۶۴	۶۸	۰/۵۹	۰/۸۵	۱/۰۵
نقطه پنجم	۵۷	۶۷	۷۴	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۹۹
نقطه ششم	۵۶	۶۲	۷۲	۰/۵۲	۰/۹۲	۱/۰۳
میانگین	۵۵/۳۳	۶۳/۱۷	۷۱	۰/۵۶	۰/۸۸	۱/۰۷

جدول ۲. نتایج عدد اصطکاک به دست آمده از روابط و از دستگاه

عنوان	محور ۱	محور ۲	محور ۳
SN1	۹۸/۶۱	۸۱/۵۷	۶۳/۱۴
SN2	۴۴/۶۵	۳۵/۸۴	۲۶/۲۴
نیروی قائم (کیلوگرم)	۶	۶	۶
نیروی افقی در تست اول	۴/۱	۳	۲/۴
نیروی افقی در تست دوم	۳/۷	۲/۶	۲/۵
نیروی افقی در تست سوم	۳/۸	۲/۶	۲/۷
میانگین نیروی افقی	۳/۸۷	۲/۷۳	۲/۵۳
ضریب اصطکاک	۰/۶۵	۰/۴۶	۰/۴۲
SNT	۶۵	۴۶	۴۲

همانطور که در جدول ۲ درج شده است میزان SN به دست آمده از دستگاه تست مابین SN1 و SN2 قرار می‌گیرد. به منظور بررسی روند تغییرات SN به دست آمده از دستگاه چرخ قفل شونده و همچنین آزمایش پخش ماسه و پاندول انگلیسی، در شکل ۴ این روند مورد بررسی قرار گرفته است.

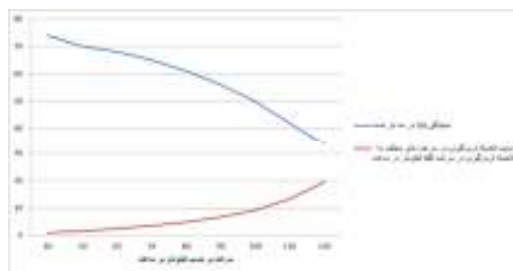


شکل ۴. روند رابطه SNt، SN1 و SN2

ترمزگیری است. لذا در ادامه با استفاده از دستگاه چرخ قفل شونده، در سرعت‌های مختلف میزان عدد اصطکاک به دست آمده و سپس روند تغییرات فاصله ترمزگیری محاسبه گردیده که نتایج در شکل ۵ درج شده است. شایان ذکر است که در هر سرعت، سه بار آزمایش چرخ قفل شونده انجام و سپس میانگین این اعداد به عنوان عدد اصطکاک ارایه گردیده است. با توجه به شکل سه مشخص می‌گردد. با افزایش سرعت، علاوه بر تاثیر مستقیم آن در افزایش فاصله ترمزگیری، کاهش عدد اصطکاک نیز بر میزان فاصله ترمزگیری موثر است به طوری که در سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت میزان فاصله ترمزگیری به حدود ۲۰ برابر فاصله ترمزگیری در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد.

با توجه به شکل ۴ مشخص می‌گردد که عدد اصطکاک به دست آمده از دستگاه ساخته شده با  $R^2$  بالای ۸۵ نسبت به هر دو رابطه پیش‌بینی SN، عملکرد بسیار مناسبی در ارزیابی مقاومت لغزندگی روسازی دارد. میزان فاصله ترمزگیری با ضریب اصطکاک رابطه معکوس و با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد (Astm, 2013). در سرعت‌های کمتر از ۴۰ کیلومتر در ساعت میزان فاصله ترمزگیری چندان مهم نیست اما، در سرعت‌های بالاتر، روند تغییرات میزان فاصله ترمزگیری هم در احتمال وقوع سانحه و هم در شدت حادثه تاثیرگذار است. میزان فاصله ترمزگیری علاوه بر مشخصات تایر و روسازی، به خصوصیات خودرو و عملکرد آن و همچنین شرایط جوی نیز بستگی دارد. اما، در این پژوهش تمرکز بر نحوه تاثیرگذاری ضریب اصطکاک بر فاصله





شکل ۵. روند تغییرات فاصله ترمزگیری در سرعت‌های مختلف

۳- توصیه می‌گردد در مطاعات مرتبط به راه، به ضریب اصطکاک به عنوان یک ضریب ثابت توجه نشود و در شرایط متفاوت از ضریب اصطکاک مناسب استفاده گردد. به طور مثال، ضریب اصطکاک به مشخصات ساختار تشکیل دهنده روسازی نیز بستگی دارد. اما، مفروضات ضریب اصطکاک برای انواع روسازی تقریباً یکسان در نظر گرفته می‌شود.

#### ۷- سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از همکاری صمیمانه سرکار خانم مهندس مرضیه بهرامی مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

#### ۶- نتیجه‌گیری

۱- در این پژوهش دستگاهی معرفی گردید که با استفاده از آن می‌توان میزان ضریب اصطکاک را به صورت واقعی و در محیط اندازه‌گیری کرد و عملکرد آن نیز با بررسی‌های انجام شده قابل قبول است.

۲- میزان فاصله ترمزگیری با افزایش سرعت افزایش قابل توجهی می‌یابد که بخشی از آن ناشی از کاهش اصطکاک تایر و روسازی است که عموماً در مطالعات به این مهم کمتر توجه می‌گردد. نتایج، بیانگر این موضوع است که میزان عدد اصطکاک روسازی از سرعت ۴۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت از حدود ۷۴ به ۳۴ رسیده و خود عامل افزایش ۳۰۰ درصدی فاصله ترمزگیری است.

#### ۸- پی‌نوشت‌ها

- 1 Adhesion
- 2 Hysteresis
- 3 the British Pendulum Tester
- 4 Dynamic Friction Tester
- 5 outflow meter
- 6 Sand Patch Texture Meter
- 7 Locked-wheel
- 8 side-force method
- 9 Fixed-slip
- 10 Stopping Distance Measurement
- 11 Deceleration Rate Measurement
- 12 friction number
- 13 skid number
- 14 controled-slip
- 15 British Pendulum Number
- 16 Mean Texture Depth

## ۹- مراجع

- حجازی، س.ج. و علی پور، م. (۱۳۹۵)، "اولویت‌بندی اصلاح نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای بر اساس ممیزی ایمنی راه (مطالعه موردی مسیر بین شهرستان‌های خرم‌آباد و الشتر استان لرستان"، پژوهشنامه حمل و نقل، ۱۳(۳)، ص. ۶۵-۸۵.
- حسینی، ا. سوداگری، ج. و معافی مدنی، س. ر. (۱۳۸۵)، "تعیین اثر بافت درشت و سنگدانه در مقدار مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی، پژوهشنامه حمل و نقل، ۳(۴).
- کاشانی، م.، سامی، ا. (۱۳۹۵)، "تأثیر کیفیت جاده در مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات با استفاده از اتوماتای سلولی"، پژوهشنامه حمل و نقل، ۱۳(۴)، ص. ۱۲۵-۱۴۵.
- Ahammed, M. A., & Tighe, S. L., (2012), "Asphalt pavements surface texture and skid resistance exploring the reality", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39, pp.1-9. <http://doi.org/10.1139/111-109>.
- Astm. (1993a), "Standard Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Tests", ASTM E 524, West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1993b), "Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester", ASTM E 303. West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1998a), "Standard Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests, ASTM E 501", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1998b), "Standard Test Method for Measuring Pavement Macro-Texture Depth Using a Volumetric Technique, ASTM E 965", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1998c), "Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter, ASTM E 670", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1998d), "Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire, ASTM E 274", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1999a), "Standard Test Method for Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique, ASTM E 1859", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (1999b), "Standard Test Method for Measuring Pavement Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester, ASTM E 1911, West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (2005), "Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter," West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm., (2013), "Standard Test Method for Stopping Distance on Paved Surfaces Using a Passenger Vehicle Equipped With Full-Scale Tires, ASTM E 445, West Conshohocken", Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Astm. (2014), "Standard Test Method for Measuring the Frictional Properties of Winter Contaminated Pavement Surfaces Using an Averaging-Type Spot Measuring Deceleromete", West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Bustos, M., Echaveguren, T., Solminihac, H. De, & Caroca, A., (2006), "Development of correlation equations between different measurements of skid resistance in pavements", *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 13(April), pp.117-122.
- Chu, L. J., & Fwa, T. F., (2017), "A functional approach for determining skid resistance threshold state of porous pavement", *International Journal of Pavement Engineering*, 8436(July), <http://doi.org/10.1080/10298436.2017.1309195>
- Ghaemi, O., (2011), "Collection And Examination Of Lab Test And Field Performance Data On Friction And Polishing Of Hot Mix Asphalt Surfac", University of Akron.
- Hall, J., Smith, K., Titus-Glover, L., Wambold, J., Yager, T., & Rado, Z., (2009), "Guide for Pavement Friction", National Cooperative Highway Research Program.

- Henry, J., (1983), "Comparison of Friction Performance of a Passenger Tire and the ASTM Standard Test Tires", Philadelphia, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Henry, J., (2000), "Evaluation of Pavement Friction Characteristics", Washington, D.C: National Cooperative Highway Research Program.
- Huang, Y. H., (2004), "Pavement Analysis and Design (2nd ed.)", University of Kentucky.
- Hussein, N., & Hassan, R., (2016), "Surface condition and safety at signalised intersections", *International Journal of Pavement Engineering*, 18(11), pp.1016–1026. <http://doi.org/10.1080/10298436.2016.1141411>.
- Katayama, Y., Kitamura, T., Kiyohara, K., & Iwami, T., (2017), "Factors associated with prehospital death among traffic accident patients in Osaka City", Japan: a population-based study. *Traffic Injury Prevention*. <http://doi.org/10.1080/15389588.2017.1347645>.
- Kosgolla, J., (2012), "Numerical Simulation of Sliding Friction and Wet Traction Force on a Smooth Tire Sliding on a Random Rough Pavement", University of South Florida Co.
- Kuttesch, J. S., (2004), "Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data", Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Lee, J., Nam, B., & Abdel-aty, M., (2015), "Effects of Pavement Surface Conditions on Traffic Crash Severity", *Journal of Transportation Engineering*, 11, pp.1–11. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000785](http://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000785).
- Lin, C., & Tongjing, W., (2018), "Effect of fine aggregate angularity on skid-resistance of asphalt pavement using accelerated pavement testing", *Construction and Building Materials*, 168, 41–46. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.171>.
- Lyon, C., Persaud, B., & Merritt, D., (2016), "Quantifying the safety effects of pavement friction improvements – results from a large-scale study", *International Journal of Pavement Engineering*, 19(2), 145–152. <http://doi.org/10.1080/10298436.2016.1172709>.
- Marizwan, M., Manan, A., Várhelyi, A., Kemal, A., & Hanis, H., (2017), "Road characteristics and environment factors associated with motorcycle fatal crashes in Malaysia", *IATSS Research*. <http://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.11.001>.
- Persson, B., (1998), "On the Theory of Rubber Friction", *Surf. Sci*, (401), pp.445–454.
- Rolison, J. J., Regev, S., Moutari, S., & Feeney, A., (2018), "What are the factors that contribute to road accidents? An assessment of law enforcement views", ordinary drivers' opinions, and road accident records. *Accident Analysis and Prevention*, 115, (August 2017), pp.11–24. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.025>.
- Sandburg, U., & Ejsmont, J., (2002), "Tyre/Road Noise Reference Book (1st ed.)", Kisa, Sweden: Informex.
- Siriphun, S., Horpibulsuk, S., Chotisakul, S., Chinkulkijniwat, A., & Arulrajah, A., (2017), "Effect of cumulative traffic and statistical predictive modelling of field skid resistance", *Road Materials and Pavement Design*, pp.1–14. <http://doi.org/10.1080/14680629.2017.1385511>.
- Vardaki, S., Papadimitriou, F., & Kopelias, P., (2014), "Road safety audit on a major freeway: implementing safety improvements", *European Transport Research Review*, 6, pp.387–395. <http://doi.org/10.1007/s12544-014-0138-0>.
- Wallman, C., & Astrom, H., (2001), "Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction and Traffic Safety (1st ed.)", Linkoping, Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Wambold, J., Henry, J., & Blackburn, R., (1984), "Pavement Surface Texture: Significance and Measurement", Washington, D.C: Federal Highway Administration (FHWA).
- Wu, Z., & Abadie, C., (2018), "Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance", *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 12(3), pp.372–381. <http://doi.org/10.1007/s11709-017-0463-1>.
- Yaseen, M. R., Ali, Q., Tariq, M., & Khan, I., (2018), "General dependencies and causality analysis of road traffic fatalities in OECD countries", *Environmental Science and Pollution Research*, pp.1–16. <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2146-4>.

# Evaluation the Braking Distance Changes with Vehicle Speed

*Mohsen Najafi alamdarlo, Ph.D., Student, Faculty of Engineering, Babol Noshirvani  
University of Technology, Shariati Street, Babol, Mazandaran, Iran.  
Saeid Eesami, Associate Professor, Faculty of Engineering, Babol Noshirvani University  
of Technology, Shariati Street, Babol, Mazandaran, Iran.*

*E-mail: s.hesami@nit.ac.ir*

Received: August 2021-Accepted: February 2022

## **ABSTRACT**

Friction of the pavement surface is one of the most important indicators of pavement, which in addition to safety on other things, such as sound production and driving comfort, also affects. Due to the shortcomings in this section and the fact that the friction of the pavement surface has not been measured in real and field in Iran, so in this research for the first time in Iran, the locking wheel was completely designed and built. Then by studying three routes in Shiraz and using the British pendulum test and sand patch test, and using various references, the results of the device were validated and then the variation of the braking distance was obtained based on the speed of motion. The results indicate a change in friction number from about 70 to 30 at a speed of 40 to 120 km / h. This change increases the braking distance by about 300%.

**Keywords:** Skid Resistance, Locked Wheel, Braking Distance, Safety, Transportation