

تحلیل ارتباط میان چسبندگی تایر بر سطح جاده و نسبت لغزش

سعید امراللهی^{۱*} و محمدرضا سیدابراهیمی^۲

۱- مسئول فنی شرکت آزمون میدانی تایر مدبران، مجتمع صنایع لاستیک یزد

۲- کارشناس آزمون شرکت آزمون میدانی تایر مدبران، مجتمع صنایع لاستیک یزد

s.amrollahi@yahoo.com

چکیده: این پژوهش با هدف تحلیل ارتباط بین نسبت لغزش و ضریب اصطکاک تایر در آزمون‌های چنگ‌زنی به جاده خیس، مطابق با استاندارد UNECE R117، انجام شد. تحلیل ۱۰۰ آزمون نشان داد که بیشینه ضریب اصطکاک و بیشترین تراکم داده‌ها در بازه لغزش ۱۰ تا ۲۰ درصد به‌دست می‌آید. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود برای افزایش دقت الگوریتم اعتبارسنجی تست‌ها از روش‌های تحلیلی به‌جای اتکا به آستانه لغزش استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: چسبندگی تایر، ضریب اصطکاک، نسبت لغزش.

مقدمه

هرساله ۱/۲۵ میلیون نفر در تصادفات جاده‌های جان خود را از دست می‌دهند و حدود ۵۰ میلیون نفر زخمی می‌شوند. این موضوع، یکی از مهم‌ترین بحران‌های عصر ما است. به همین دلیل امروزه حفظ ایمنی جاده و وسایل نقلیه اهمیت زیادی پیدا کرده است. از مهم‌ترین پارامترهای در این زمینه ترمزگیری خودرو بر روی سطح و بخصوص ترمزگیری روی سطوح خیس و شرایط بارانی است. تحقیقات بسیاری از دهه پنجاه میلادی با تمرکز روی موضوع ترمزگیری بر روی سطوح خیس صورت پذیرفت. تحقیقات نشان می‌دهند که ۱۳/۵٪ از تصادفات منجر به مرگ و ۱۸/۸٪ از کل تصادفات زمانی رخ می‌دهند که سطح جاده خیس است. از همین رو اندازه‌گیری اصطکاک بین تایر و سطح روسازی جاده و به‌صورت ویژه در حالت خیس اهمیت می‌یابد [۳].

اصطکاک تایر با سطح جاده را می‌توان به‌عنوان نیروی مقاومتی که تایر خودرو هنگام حرکت روی سطح جاده ایجاد می‌کند تعریف کرد و این اصطکاک معمولاً با یک ضریب بدون واحد به نام ضریب اصطکاک (μ) توصیف می‌شود که به‌عنوان نسبت نیروی اصطکاک مماسی در سطح تماس به بار عمودی تعریف می‌شود. این اصطکاک از طریق دو مکانیسم اصلی تشکیل می‌شود:

- ۱- چسبندگی مولکولی: که مربوط به تشکیل و شکست پیوندهای واندروالسی بین مولکول‌های لاستیک و جاده می‌شود و اصطکاک ایجاد می‌کند.
- ۲- نقش ویسکوالاستیسیته لاستیک: لاستیک تایر هم خاصیت کشسانی دارد و هم ویسکوز. هنگام تغییر شکل، بخشی از انرژی را ذخیره و بخشی را به‌صورت گرما تلف می‌کند (هیستریزیس). این اتلاف انرژی همان چیزی است که به چسبندگی تایر کمک می‌کند.

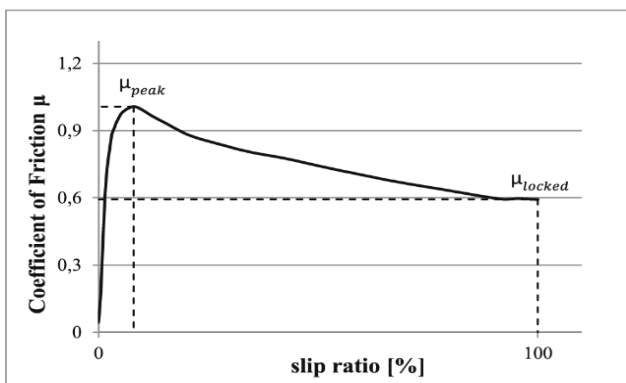
اصطکاک جاده تحت تأثیر چندین عامل قرار دارد که می‌توان آن‌ها را در سه دسته اصلی گروه‌بندی کرد:

- ۱- عوامل مرتبط با سطح روسازی: مانند بافت سطح، منحنی دانپندگی، نوع مصالح، اندازه و شکل مصالح، عمر سطح و غیره. اثر زبری جاده (Indentation/Road roughness) برجستگی‌های ماکرو و میکرو سطح جاده داخل لاستیک نفوذ می‌کنند و با تغییر شکل الاستیک/ویسکوزی لاستیک، نیروهای مقاوم مماسی ایجاد می‌شود. این مکانیسم حتی در جاده خیس هم مؤثر است.

- ۲- عوامل مرتبط با خودرو و تایر: مانند سرعت خودرو، شرایط عملکرد تایر مانند: نسبت لغزش چرخ، زاویه لغزش، فشار تایر، ویژگی‌های تایر: مانند ساختار بدنه، خواص مکانیکی لاستیک، عمق آج و الگوهای آن و غیره.

۳- عوامل محیطی: مانند ضخامت لایه آب، آلودگی سطح، اثرات دما در کوتاه‌مدت و بلندمدت، هندسه جاده و غیره. وابستگی به دما و فرکانس: در نزدیکی دمای گذار شیشه‌ای (T_g) و در بازه‌های از فرکانس تحریک، لاستیک بیشترین هیستریزیس و در نتیجه بیشترین اصطکاک را دارد. در دماهای خیلی پایین لاستیک سخت و شکننده می‌شود و در دماهای خیلی بالا بیش‌ازحد نرم شده و اصطکاک کاهش می‌یابد. [۲]

یکی از پارامترهای مطرح‌شده در اندازه‌گیری ضریب اصطکاک نسبت لغزش تایر (slip Ratio) در حال رانده شدن است؛ که این پارامتر نسبت اختلاف سرعت چرخش چرخ و سرعت خودرو، به‌سرعت خودرو را نشان می‌دهد به‌صورتی که در نسبت لغزش برابر با صفر غلشت به‌صورت آزاد (Free rolling) و در صددرصد لغزش کامل (Full skidding) صورت می‌گیرد. در شکل ۱ نمودار تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به نسبت لغزش آمده است.



شکل ۱- نمودار تغییرات ضریب اصطکاک (μ) نسبت به نسبت لغزش (s)

همان‌طور که مشاهده می‌شود، μ با افزایش s به‌سرعت افزایش می‌یابد تا به یک مقدار اوج μ_{peak} برسد (که معمولاً بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ لغزش رخ می‌دهد)، سپس μ کاهش می‌یابد تا به مقدار μ_{locked} برسد که در لغزش ۱۰۰٪ رخ می‌دهد.

در سال ۲۰۰۵ میلادی برای پاسخ به نیازهای ایمنی و محیط‌زیستی در حوزه تایر، کمیسیون اقتصادی سازمان ملل برای اروپا (UNECE) اقدام به تدوین مقررات UNECE R117 کرد و در سال‌های بعد به‌صورت ویژه الزاماتی برای سه پارامتر صدای غلشی، مقاومت غلشی و چسبندگی روی سطوح مرطوب وضع کرد. در رابطه با اهمیت شاخص چسبندگی بر روی سطوح خیس می‌توان به

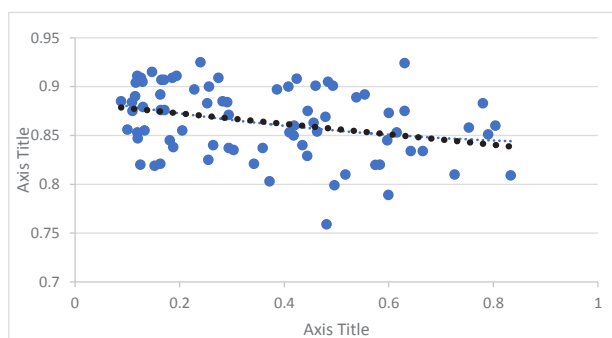
انجام شده است استفاده شده است.

نتیجه‌ها و بحث

نتایج ۱۰۰ آزمون انجام گرفته در قالب نمودار ترسیم شد؛ به طوری که محور افقی نشان دهنده نسبت لغزش و محور عمودی بیانگر ضریب اصطکاک حداکثر است. این نمودار در شکل ۲ در ادامه آورده شده است.

این پژوهش با هدف تحلیل ارتباط بین نسبت لغزش و ضریب اصطکاک (μ) در آزمون‌های چنگ‌زنی به جاده خیس با روش خودروی کشنده و تریلر، مطابق با استاندارد UNECE R117، انجام پذیرفت.

تحلیل نتایج حاصل از ۱۰۰ آزمون میدانی روی ۲۰ حلقه تایر نشان داد که بیشترین تراکم داده‌ها و همچنین بالاترین مقادیر ضریب اصطکاک (μ_{peak}) به طور مشخص در بازه لغزش ۱۰ تا ۲۰ درصد به دست آمده است.



شکل ۲- نمودار ضرایب اصطکاک بر حسب نسبت لغزش

این یافته‌ها حاکی از آن است که اگرچه تنظیمات اولیه دستگاه تست ممکن است مبنای اعتبارسنجی نتایج را بر لغزش‌های بالاتر از ۲۰ درصد تعریف کرده باشد، اما مقادیر بهینه عملکردی در عمل در بازه ۱۰ تا ۲۰ درصد لغزش رخ می‌دهند. اجرای آزمون‌ها در لغزش‌های بالاتر از این بازه، پیامدهای منفی متعددی از جمله: افزایش فشار ترمزگیری، استهلاک بیشتر دستگاه، طولانی‌تر شدن زمان آزمون، افزایش تعداد دفعات ترمزگیری و افزایش پراکندگی داده‌ها را به همراه دارد.

با توجه به عدم تعیین یک بازه دقیق لغزش برای کنترل کیفیت آزمون‌ها در استاندارد R117، ضرورت بازنگری در روش اعتبارسنجی نتایج برای اطمینان از صحت و تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها احساس می‌شود.

پیشنهادهای

براساس نتایج و تحلیل‌های به دست آمده در این پژوهش، پیشنهادهای زیر برای بهبود دقت و کارایی آزمون‌های چسبندگی تایر ارائه می‌شود. بازنگری در الگوریتم اعتبارسنجی: پیشنهاد می‌شود که الگوریتم اعتبارسنجی تست‌ها در نرم‌افزار دستگاه تست اصطکاک (اسکید تریلر) به جای اتکا صرف به آستانه‌ی لغزش (مثلاً لغزش بالاتر از ۲۰ درصد)، از تحلیل دینامیکی سیگنال ضریب اصطکاک (μ_X) استفاده کرد. استفاده از فیلترهای تحلیلی: با اعمال روش‌هایی مانند فیلتر کالمن (Kalman Filter) یا فیت ریاضی (Mathematical Fitting) بر روی سیگنال، می‌توان نقطه بیشینه اصطکاک (μ_{peak}) را به دقت شناسایی کرد. تست‌هایی که با موفقیت به این نقطه بیشینه اصطکاک دست یافته‌اند، باید معتبر تلقی شوند، حتی اگر نسبت لغزش آن‌ها کمتر از ۲۰ درصد باشد.

این نکته اشاره کرد که براساس مطالعات در ترمزگیری در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت اختلاف فاصله ترمزگیری دو گرید این شاخص (مثلاً B و C) برابر با ۱۸ متر است.

در مقررات R117 کلاس چسبندگی تایرها در شرایط خیس براساس شاخص چسبندگی در شرایط خیس با WGI (Wet Grip Index) تعیین می‌شود. در جدول ۱ بازه‌های رتبه‌بندی آن آمده است. [۱]

جدول ۱: جدول رده‌بندی شاخص چنگ زنی به سطوح خیس

Wet grip class	WGI
A	$1.55 \leq WGI$
B	$1.40 \leq WGI \leq 1.54$
C	$1.25 \leq WGI \leq 1.39$
D	$1.1 \leq WGI \leq 1.24$
E	$WGI \leq 1.09$

فرمول محاسبه شاخص چنگ زنی به جاده خیس با روش آزمون استفاده از خودرو کشنده و تریلر در معادله زیر آمده است.

$$WGI(T) = K_{trailer} \times (\mu_{peak}(T) - [a \times \Delta\mu_{peak}(R) + b \times \Delta\theta + c \times (\Delta\theta)^2 + d \times \Delta MTD])$$

$K_{trailer}$: ضریب ثابت کشنده $\mu_{peak}(T)$: میانگین بیشینه ضریب اصطکاک تایر منتخب

$\Delta\mu_{peak}(R)$: اختلاف بیشینه ضریب اصطکاک تایر مرجع تست شده برای آزمون با بالاترین ضریب ترمزگیری تایر مرجع در شرایط مرجع (۰٫۸۵) است.

$\Delta\theta$: اختلاف دمای سطح با دمای سطح مرجع (۲۵ درجه سانتیگراد)

ΔMTD : اختلاف عمق بافت قابل‌رویت پیست با بیشترین عمق بافت قابل‌رویت مرجع (۰٫۸)

a, b, c, d: ضرایب ثابت آزمون هستند.

در این پژوهش با توجه به اهمیت یافتن صحیح‌ترین و واقعیت‌ترین شاخص ضریب چنگ زنی و بالا بردن تکرارپذیری آزمون‌ها، تحلیل ارتباط نسبت لغزش با ضریب اصطکاک جاده و تایر در تست چنگ زنی به جاده خیس با روش خودرو کشنده و تریلر صورت پذیرفت همچنین بررسی شد که انتخاب بازه برای نسبت لغزش تا چه حد به صحت اندازه‌گیری‌ها کمک می‌کند.

بخش تجربی

آزمون‌های میدانی این پژوهش در شرکت آزمون میدانی تایر مدبران انجام شد. این شرکت مجهز به دستگاه اسکید تریلر ساخت شرکت Dufourneir فرانسه بوده و آزمون‌های چنگ‌زنی در جاده خیس را مطابق با استاندارد ECE R117 با دقت و صحت بالا اجرا می‌کند.

سطح آزمون مورد استفاده در این شرکت دارای ویژگیهای جادهای استاندارد است که مطابق الزامات استاندارد R117 و همچنین استاندارد ISO 10844 (سطوح آزمون برای تایرها و وسایل نقلیه موتوری) طراحی و اجرا شده است. همچنین میانگین عمق بافت قابل‌رویت جاده مطابق با استاندارد ASTM E 965 اندازه‌گیری و محاسبه شده. رعایت این استانداردها اطمینان می‌دهد که شرایط سطح روسازی در تمامی آزمون‌ها یکسان، قابل بازتولید و با الزامات بین‌المللی هماهنگ است. بدین ترتیب، نتایج حاصل از آزمون‌ها قابلیت مقایسه‌پذیری با سایر مطالعات و انطباق با الزامات قانونی و فنی بین‌المللی را خواهند داشت. در این آزمون از داده‌ها و نتایج حاصل از ۱۰۰ آزمون که روی ۲۰ حلقه تایر

مراجع

- [1] UNECE. Regulation No 117, Tire with regard to rolling sound emissions and/or to adhesion on wet surface and/ or to rolling resistance
- [2] ISO 10844:2014, Acoustics-specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tires
- [3] D'Apuzzo, M., Evangelisti, A., & Nicolosi, V. (2020). An exploratory step for a general unified approach to labelling of road surface and tyre wet friction. Accident Analysis & Prevention, 138, 105462.