

بررسی اثرگذاری تغییرات دمایی روی انتشار صدای غلتشی تایر

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

۱- مدیر فنی شرکت آزمون میدانی تایر مدبران & کارشناس تکنیکال، مجتمع صنایع لاستیک یزد

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

s.amrollahi@yahoo.com

چکیده: در این پژوهش به بررسی تجربی تأثیر دمای محیط بر نتایج آزمون صدای عبوری تایر براساس استاندارد ECE R177 پرداخته شد. آزمون‌ها روی چهار سایز تایر در دو بازه زمانی انجام پذیرفت و نتایج حاکی از آن بود که با گرم‌تر شدن هوا صدای تایرها در حدود ۰.۲ تا ۰.۳ دسی‌بل کاهش یافته است. نکته قابل توجه این است که اصلاحات دمایی در نظر گرفته‌شده در استاندارد برای گزارش نتایج تا حد بسیار خوبی این اختلاف را پوشش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انتشار صدای غلتشی، نویز تایر، تأثیر دما بر صد

مقدمه

صدا به‌عنوان یکی از آلاینده‌های محیط‌زیستی، در دهه‌های اخیر موردتوجه ویژه نهادهای بین‌المللی و دولت‌ها قرار گرفته است. در میان منابع مختلف نویز شهری، نویز ناشی از تماس تایر و جاده سهم قابل‌توجهی در آلودگی صوتی شبکه‌های حمل‌ونقل دارد، به‌ویژه در سرعت‌های متوسط و بالا که صدای موتور و سیستم اگزوز کاهش یافته و صدای تایر به منبع غالب تبدیل می‌شود. براساس گزارش کمیسیون اروپا، در خودروهای سواری، سهم نویز تایر از کل نویز خارجی خودرو در سرعت‌های بالاتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت بیش از ۷۰ درصد است. این موضوع نه تنها بر آسایش شنیداری شهروندان تأثیر می‌گذارد، بلکه از منظر سلامت عمومی نیز اهمیت دارد، چراکه قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض نویز ترافیکی می‌تواند موجب بروز اختلالات خواب، افزایش فشارخون، و حتی بیماری‌های قلبی و عروقی شود.

به‌منظور کنترل و کاهش این نویز، در سال‌های اخیر استانداردها و مقررات بین‌المللی متعددی تدوین شده است. از میان آن‌ها، استاندارد ECE Regulation No 117 که تحت نظارت کمیسیون اقتصادی سازمان ملل برای اروپا (UN/ECE) تدوین شده، یکی از مهم‌ترین مراجع ارزیابی عملکرد تایر در بازار جهانی محسوب می‌شود. این استاندارد، الزامات مربوط به سه شاخصه اصلی تایر شامل صدای عبوری (Rolling Sound Emission)، مقاومت غلتشی (Rolling Resistance) و چسبندگی به سطح خیس (Wet Grip Performance) را مشخص می‌کند و هدف آن تضمین ایمنی، بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش آلودگی صوتی وسایل نقلیه است. براساس این استاندارد، اندازه‌گیری صدای عبوری تایر معمولاً براساس روش‌های استاندارد انجام می‌شود که در آن صدای تایر توسط میکروفن‌های کالیبره‌شده در دو طرف مسیر ثبت می‌شود. در ایران نیز باتوجه به اهمیت این موضوع، در سال ۱۳۹۸ استاندارد ملی ایران با شماره ۱۵۸۷۷ و تحت عنوان «تایرها- انتشار صدای غلتشی، چنگ‌زنی بر سطوح و مقاومت غلتشی تایرهای رادیال- روش‌های آزمون» تدوین و منتشر شد.

باوجود تعریف دقیق روش آزمون در استاندارد، یکی از چالش‌های اصلی در ارزیابی صدای تایر، تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه دمای محیط و سطح جاده است. تغییرات دما می‌تواند اثر محسوسی بر رفتار دینامیکی و صوتی تایر داشته باشد. تایر از ترکیبی از مواد پلیمری و افزودنی‌ها تشکیل شده است که خواص مکانیکی آن‌ها به شدت تابع دما است. به‌طور کلی، با کاهش دما، سختی دینامیکی لاستیک افزایش یافته و خاصیت میرایی آن کاهش می‌یابد، درنتیجه ارتعاشات بلوک‌های آج در تماس با سطح جاده افزایش یافته و سطح صدای

تولیدی نیز بیشتر می‌شود. در مقابل، در دماهای بالا، نرم‌تر شدن کامپاند منجر به افزایش میرایی و تغییر در الگوی تماس می‌شود که ممکن است باعث کاهش سطح صدای کلی شود.

مطالعات متعددی اثر دما بر صدای تایر را به‌صورت تجربی بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، افزایش دما منجر به کاهش سطح صدای اندازه‌گیری شده می‌شود. دلیل اصلی این پدیده تغییر رفتار ویسکوالاستیک ماده لاستیکی در ناحیه دمایی مختلف است. با پایین آمدن دما، تایر به ناحیه شیشه‌ای نزدیک‌تر می‌شود و انرژی ارتعاشی بیشتری به صوت تبدیل می‌شود؛ درحالی‌که در دماهای بالا، تایر در ناحیه لاستیکی باقی می‌ماند و انرژی ارتعاشی بیشتری به‌صورت گرما مستهلک می‌شود.

افزون‌بر خواص مواد، اثرات غیرمستقیم دیگری نیز وجود دارد که دمای محیط از طریق آن‌ها بر صدای تایر تأثیر می‌گذارد. برای مثال، با کاهش دما، فشار باد تایر معمولاً افت می‌کند که باعث افزایش تغییر شکل شعاعی و درنتیجه تغییر در توزیع فشار تماس می‌شود. از سوی دیگر، دمای بالاتر معمولاً با افزایش چسبندگی سطح و خشک‌تر شدن آسفالت همراه است که می‌تواند مؤلفه‌های خاصی از نویز را کاهش دهد. بنابراین، دمای محیط نه تنها به‌صورت مستقیم بلکه از طریق مجموعه‌ای از اثرات ثانویه نیز بر صدای عبوری تایر مؤثر است. استاندارد ECE R117 محدوده دمای مجاز برای انجام آزمون را به‌صورت کلی بین ۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای سطح جاده تعیین کرده است. هرچند این بازه در بیشتر موارد پوشش‌دهنده شرایط عادی آزمون است، اما در بررسی‌های پژوهشی، مشاهده شده که رفتار تایر در دماهای نزدیک به مرزهای این محدوده (به‌ویژه در دمای زیر ۱۰ یا بالای ۴۵ درجه) تغییرات قابل‌توجهی نشان می‌دهد. این مسئله بیانگر ضرورت درک دقیق‌تر از اثرات دما بر نتایج آزمون صدای تایر است تا بتوان در صورت لزوم اصلاحات لازم در روش آزمون یا تحلیل داده‌ها را اعمال کرد.

از دیدگاه طراحی تایر نیز شناخت این اثر اهمیت فراوانی دارد. تایرهای زمستانی، تابستانی و چهارفصل هر یک دارای ترکیب مواد و طرح آج متفاوتی هستند که بهینه‌سازی آن‌ها برای بازه‌های دمایی خاص انجام شده است. تایرهای زمستانی معمولاً دارای کامپاند نرم‌تر و دارای میزان سیلیس بالاتر هستند تا در دمای پایین انعطاف‌پذیری خود را حفظ کنند، درحالی‌که تایرهای تابستانی سخت‌تر و مقاوم‌تر در برابر دمای بالا هستند.

باتوجه به مباحث فوق، روشن است که دمای محیط یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر نتایج آزمون صدای عبوری تایر براساس ECE R117 محسوب می‌شود. این اثر،

جدول ۲- مقادیر اختلاف میانگین

شماره تایر	اختلاف میانگین پس از اصلاحات dB(A)	اختلاف میانگین عددی dB(A)
Case1	۰٫۲۵	۰٫۵۸
Case2	۰٫۲	۰٫۲۹
Case3	۰٫۰۱	۰٫۰۵
Case4	۰٫۰۱	۰٫۱۸
میانگین	۰٫۱۶	۰٫۲۸

نتیجه‌ها و بحث

نتایج جدول (۱) و (۲) نشان می‌دهد که میانگین صدای تولیدی تایرها در فصل زمستان اندکی بیشتر از تابستان است، به‌طوری‌که اختلاف میانگین عددی بین دو فصل حدود ۰٫۲۸ دسی‌بل (A) به‌دست‌آمده است. این مقدار هرچند ناچیز است ولی به‌خوبی تأثیر دما را بر روی صدای تولیدشده توسط غلتش تایر نشان می‌دهد. علت اصلی این تفاوت می‌تواند به‌دلیل تغییر رفتار دینامیکی لاستیک در دماهای پایین‌تر مربوط باشد. در زمستان، دمای محیط پایین باعث افزایش مدول سختی لاستیک و کاهش میرایی می‌شود، درنتیجه ارتعاشات سطح آج به‌صورت مؤثرتری به انرژی صوتی تبدیل می‌شود.

درمجموع می‌توان گفت:

- اثر دما بر صدای تایر وجود دارد، ولی شدت آن در محدوده مجاز استاندارد (۵ تا ۵۰ درجه) نسبتاً محدود است؛
- با افزایش دما از زمستان به تابستان، سطح صدای عبوری تمایل به کاهش حدود ۰٫۲ تا ۰٫۳ دسی‌بل دارد؛
- اثر اصلاح دمایی در داده‌های استاندارد موجب کاهش بخشی از اختلاف شده و میانگین اختلاف پس از اصلاح حدود ۰٫۱۶ دسی‌بل است که نشان‌دهنده کارایی روش جبران استاندارد است؛
- باوجوداین، اختلاف‌های جزئی باقی‌مانده می‌تواند ناشی از تفاوت در ترکیب مواد تایر یا شرایط سطح آزمون باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باتوجه به نتایج تجربی و تحلیل انجام‌شده، نکات زیر قابل جمع‌بندی است:

۱. صدای عبوری تایر در دماهای پایین (زمستان) به‌طورمعمول بالاتر از تابستان است ولی مقدار بالاتر بودن آن می‌تواند بنا بر نوع کامپاند و طرح رویه تایر متفاوت باشد.
۲. تغییرات فیزیکی در کامپاند لاستیک، شامل افزایش سختی و کاهش میرایی در دماهای پایین، عامل اصلی این افزایش صدا است.
۳. روش اصلاح دمایی استاندارد ECE R117 تا حد زیادی اختلافات ناشی از دما را جبران می‌کند، اما به‌طور کامل اثر آن را حذف نمی‌کند. درنتیجه می‌توان با انجام آزمون‌های بیشتر روی تایرهای متنوع‌تر به افزایش دقت محاسبات و نتایج آزمون‌ها کمک کرد.
۴. تفاوت در طراحی تایرها (عرض، فاق و ترکیب مواد) می‌تواند میزان حساسیت به دما را تغییر دهد؛ به‌ویژه تایرهای پهن‌تر نسبت به تغییر دما واکنش صوتی بیشتری ممکن است نشان دهند.

هم از جنبه علمی (به‌دلیل وابستگی خواص ویسکوالاستیک لاستیک به دما) و هم از جنبه کاربردی (به‌دلیل شرایط واقعی رانندگی در فصول مختلف) اهمیت دارد. باوجود آن‌که مقررات فعلی تنها بازه مجاز دمای آزمون را تعیین می‌کنند، اما تأثیر دقیق دما بر نتایج اندازه‌گیری، به‌ویژه در مقایسه بین فصول سرد و گرم، کمتر به‌صورت کمی و سیستماتیک موردبررسی قرار گرفته است.

بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف بررسی تجربی و با داده‌های واقعی تأثیر دمای محیط بر نتایج آزمون صدای تایر در دو بازه دمایی مرتبط با فصول زمستان و تابستان و در چارچوب الزامات استاندارد ECE R117 انجام شد.

بخش تجربی

آزمون‌های این پژوهش در شرکت آزمون میدانی تایر مدبران براساس استانداردهای الزام شده در ECE R117 انجام گرفته‌شده است که دارای پیست با شرایط الزام شده در ISO 10844 است.

برای این پژوهش از چهار نوع تایر با طرح یکسان و سایز متغیر استفاده شد. این آزمون‌ها در نوبت اول در اسفندماه و در نوبت بعدی در مردادماه سال بعد انجام پذیرفت که به‌طور متوسط در حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد تفاوت دمای سطح در این دو مقطع زمانی وجود داشت.

برای هر دو نوبت زمستانی و تابستانی مطابق استاندارد سرعت‌های هشت آزمون هر تایر بین ۷۰ تا ۹۰ کیلومتر بر ساعت و با فواصل تقریباً یکسان اعمال شد. در استاندارد برای جبران اختلافات دمایی در شرایط مختلف از صداهای اصلاح‌شده با دمای سطح مرجع که برابر با ۲۰ درجه سانتی‌گراد است استفاده می‌شود. که در ادامه فرمول آن آمده است.

$$L_R(\theta_{ref}) = L_R(\theta) + K * (\theta_{ref} - \theta)$$

که در آن: θ برابر با دمای سطح جاده، θ_{ref} برابر با دمای مرجع (۲۰ درجه سانتی‌گراد) و K ضریبی ثابت است. $L_R(\theta)$ و $L_R(\theta_{ref})$ نیز به‌ترتیب نشان‌دهنده صدای اندازه‌گیری شده در دمای سطح واقعی و صدای اصلاح‌شده با دمای مرجع هستند.

در جدول ۱ مقادیر نهایی محاسبه‌شده نویز مطابق استاندارد که پس از اصلاحات دمایی نسبت به دمای سطح میانگین گرفته‌شده و هم‌چنین در ستون‌های دیگر میانگین عددی تمامی صداهای اندازه‌گیری شده بدون اصلاحات برای دو فصل آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر میانگین عددی و اصلاح‌شده تایرها

میانگین عددی نویزهای زمستان dB(A)	میانگین عددی نویزهای تابستان dB(A)	مقدار نویز اصلاح‌شده در زمستان dB(A)	مقدار نویز اصلاح‌شده در تابستان dB(A)	شماره تایر
۶۹٫۶۵	۶۹٫۰۷	۶۹٫۲۷	۶۹٫۰۲	Case1
۶۹٫۳۵	۶۹٫۰۶	۶۹٫۱۶	۶۸٫۹۶	Case2
۶۹٫۳۲	۶۹٫۲۷	۶۹٫۲۷	۶۹٫۲۶	Case3
۶۹٫۷۲	۶۹٫۵۴	۶۹٫۶۲	۶۹٫۴۵	Case4

در جدول ۲ اختلافات میانگین‌های عددی و اصلاح‌شده آورده شده است.

مراجع

- [1] Geluykens, F., Van Blokland, G., & Bergiers, A. (2022). Empirical study on temperature influence on tire/road noise measurements. Sustainability, 14(4), 2099. <https://doi.org/10.3390/su14042099>
- [2] Van Blokland, G., & De Roo, F. (2015). Temperature effects on tyre/road-noise – A review of empirical research. Noise Control Engineering Journal, 63(4), 432–441. <https://doi.org/10.3397/1/376335>
- [3] Dewesoft. (2023). Measurement of tire noise according to ECE R117. Retrieved from <https://dewesoft.com/blog/tire-noise-measurement>
- [4] European Tyre and Rim Technical Organisation (ETRTO). (2020). Guidelines for temperature correction of tire/road noise measurements according to ISO/TS 13471-2. Brussels, Belgium: ETRTO Technical Committee.