

اصول طراحی هندسی تایر زاپاس (Spare Tire)، چالش‌ها و راه‌کارها

سید عباس عظیمی^{۱*}، میثم گرامی پور^۲ و رضا بهداد^۳

۱- مدیر واحد پنج تولید، شرکت کویر تایر

۲- مدیر واحد سه تولید، شرکت کویر تایر

۳- معاون اداره تولید، شرکت کویر تایر

www.a.azimi0098@gmail.com

چکیده: باوجود کاهش نرخ استفاده از تایر زاپاس در خودروهای مدرن، این قطعه همچنان در بسیاری از خودروها نقشی حیاتی در افزایش ایمنی و تحرک اضطراری دارد. طراحی هندسی تایر زاپاس، به‌ویژه در شرایط محدودیت فضا، وزن و سازگاری با سیستم محرکه خودرو، همواره یکی از چالش‌های مهندسی در صنعت تایر و خودروسازی بوده است. این مقاله با تمرکز بر اصول طراحی هندسی تایر زاپاس، به بررسی دقیق پارامترهای کلیدی نظیر قطر خارجی، عرض مقطع، قطر رولینگ و محدودیت‌های نصب در بدنه خودرو می‌پردازد. چالش‌های فنی نظیر محدودیت فضای ذخیره‌سازی، تأثیر طراحی تایر زاپاس بر هندلینگ خودرو و ملاحظات عملکردی تحلیل شده‌اند. در ادامه، راه‌کارهای نوآورانه‌ای از جمله استفاده از تایرهای فشرده (space-saver)، متریال‌های سبک و فناوری تایرهای بدون باد یا خودترمیم‌شونده پیشنهاد شده است. هدف این مقاله ارائه چارچوبی کاربردی برای بهینه‌سازی طراحی تایر زاپاس در نسل آینده خودروها و ارتقای کارایی، ایمنی و تطبیق‌پذیری آن با الزامات صنعت خودرو است.

واژه‌های کلیدی: تایر زاپاس، اصول هندسی، بهینه‌سازی وزن، ایمنی تایر، خودرو، مواد سبک، چالش‌های طراحی

مقدمه

در ساختار کلی خودرو، تایر زاپاس اگرچه کمتر از سایر اجزای فنی موردتوجه قرار می‌گیرد، اما نقشی حیاتی در تأمین ایمنی و قابلیت اطمینان خودرو در شرایط اضطراری ایفا می‌کند. حضور یک تایر یدکی مناسب می‌تواند تفاوت بین ادامه سفر یا توقف کامل خودرو را در شرایط بحرانی رقم بزند. بااین‌حال روند روبه‌گسترش بهینه‌سازی وزن، کاهش مصرف سوخت و افزایش فضای داخلی، طراحان خودرو را به بازنگری جدی در طراحی تایر زاپاس و نحوه جای‌گذاری آن واداشته است. طراحی هندسی تایر زاپاس نه تنها باید با ابعاد فنی خودرو و عملکرد دینامیکی آن سازگار باشد، بلکه باید با محدودیت‌های فضای فیزیکی، الزامات قانونی و الزامات عملکردی نیز تطابق داشته باشد. در خودروهای مدرن به‌ویژه مدل‌های برقی، هیبریدی یا دارای سیستم‌های محرکه تمام‌چرخ (AWD) طراحی یک تایر زاپاس که هم‌زمان سبک، فشرده، و عملکردپذیر باشد، به چالشی پیچیده تبدیل شده است. این مقاله باهدف بررسی جامع اصول طراحی هندسی تایر زاپاس، ابتدا به معرفی پارامترهای کلیدی در طراحی این مؤلفه پرداخته و سپس مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو را مورد تحلیل قرار می‌دهد. در ادامه راه‌کارهایی مهندسی و فناوری برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش محدودیت‌های موجود ارائه می‌شود. رویکرد این مقاله مبتنی بر نیازهای روز صنعت خودرو و استانداردهای نوین طراحی تایر بوده و می‌کوشد بستری برای توسعه راه‌حل‌های عملی و قابل‌اجرا در نسل‌های آینده خودرو فراهم آورد.

بخش تجربی

۱- اهمیت طراحی هندسی تایر زاپاس:

- * کاهش حجم و وزن: تایر زاپاس معمولاً باید کوچک‌تر و سبک‌تر از تایرهای اصلی باشد تا فضای کمتری در خودرو اشغال کند و بار اضافی ایجاد نکند.
- * قابلیت اطمینان در شرایط اضطراری: تایر باید قادر به تحمل مسافت محدود و سرعت محدود باشد تا راننده بتواند به تعمیرگاه برسد.
- * سهولت نصب و جابه‌جایی: طراحی باید به گونه‌ای باشد که نصب و برداشتن تایر زاپاس آسان و سریع انجام شود.

۲- اصول و معیارهای طراحی هندسی تایر زاپاس:

* ابعاد تایر:

- ۱- قطر کلی (Overall Diameter): قطر تایر زاپاس معمولاً ۷۰ تا ۸۵ درصد قطر تایر اصلی است تا فضای کمتری بگیرد و نصب آن ساده باشد.
- ۲- عرض آج (Tread Width): عرض آج تایر زاپاس معمولاً کمتر از تایر اصلی انتخاب می‌شود تا وزن و مقاومت غلتشی کاهش یابد.
- ۳- ارتفاع جانبی (Aspect Ratio): نسبت ارتفاع دیواره به عرض تایر باید به گونه‌ای انتخاب شود که پایداری و تحمل بار محدود در شرایط اضطراری حفظ شود.

* ساختار دیواره:

- ۱- استفاده از دیواره‌های جانبی تقویت‌شده با مواد خاص (مثلاً لاستیک با درصد بالاتر مواد تقویت‌کننده) برای تحمل فشارهای ناگهانی در شرایط اضطراری.
- ۲- طراحی دیواره با قابلیت جذب شوک مناسب در مسیرهای کوتاه.

* الگوی آج تایر:

- ۱- آج تایر زاپاس معمولاً دارای طرح ساده‌تر است تا هزینه تولید کاهش یابد و نویز کمتری تولید شود.
- ۲- طرح آج باید مقاومت غلتشی را کاهش دهد تا مصرف سوخت افزایش نیابد.

* فشار باد:

- ۱- تایر زاپاس معمولاً با فشار باد بالاتر از تایر اصلی کار می‌کند (معمولاً ۴٫۲ بار یا بیشتر) تا استحکام و مقاومت بهتری داشته باشد.

۳- چالش‌های طراحی هندسی تایر زاپاس:

- * تعادل بین اندازه کوچک و عملکرد ایمنی: کوچک بودن تایر می‌تواند باعث کاهش عملکرد در کنترل و ترمزگیری شود.
- * محدودیت فضا در خودروهای کوچک: فضای محدود در صندوق عقب یا زیر خودرو، محدودیت‌هایی برای ابعاد تایر زاپاس ایجاد می‌کند.

جدول ۱- ابعاد کلیدی تایر زاپاس

توضیحات	واحد	محدوده معمول	پارامتر
کاهش حجم و فضای اشغال شده	میلی‌متر	۷۰-۸۵٪	قطر کلی (Overall Diameter)
کاهش وزن و مقاومت غلتشی	میلی‌متر	۶۰-۸۰٪	عرض آج (Tread Width)
حفظ تعادل بین پایداری و راحتی نصب	درصد	۵۰-۸۰٪	نسبت ارتفاع به عرض (Aspect Ratio)
فشار بالاتر برای تحمل بار در شرایط اضطراری	بار	۴.۲-۴.۵	فشار باد کاری (Operating Pressure)

جدول ۲- مقایسه انواع تایر زاپاس

نوع تایر	قطر کلی (درصد)	عرض آج (درصد)	وزن تقریبی (کیلوگرم)	سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)	مدت استفاده (کیلومتر)	مزایا	معایب
تایر موقت (Temporary)	۷۰٪	۶۰٪	۸-۶	۸۰	۸۰-۱۰۰	وزن کم، فضای کمتر اشغال می‌کند	محدودیت سرعت و مسافت
تایر فول‌سایز (Full-size)	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۲-۱۰	مطابق تایر اصلی	نامحدود	عملکرد مشابه تایر اصلی	وزن بیشتر، فضای بیشتر
تایر Run-flat	۹۰-۱۰۰٪	۸۰-۱۰۰٪	۱۱-۹	۱۰۰-۸۰	۱۰۰-۸۰	امکان حرکت پس از پنچری	هزینه بالا، وزن بیشتر

جدول ۳- مشخصات مواد و ساختار دیواره تایر زاپاس

نوع مواد	مقاومت کششی (MPa)	سختی (Shore A)	خاصیت جذب شوک	کاربرد معمول
لاستیک طبیعی (NR)	۱۵-۲۵	۶۰-۷۰	متوسط	تایر فول‌سایز و موقت
لاستیک مصنوعی (SBR)	۲۰-۳۰	۶۵-۷۵	بالا	تایرهای بادوام بیشتر
ترکیبات سیلیکونی	۱۰-۲۰	۵۰-۶۰	عالی	تایرهای با جذب صوت و ارتعاش
لاستیک با افزودنی جذب صوت	۱۵-۲۵	۵۵-۶۵	خیلی بالا	تایرهای موقت پیشرفته

جدول ۴- فشار باد و عملکرد

توضیحات	سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)	عمر تایر (کیلومتر)	مقاومت غلتشی نسبی	فشار باد (بار)
فشار معمول تایرهای اصلی	۱۲۰	۵۰۰۰	۱	۳
فشار متداول تایر زاپاس موقت	۸۰	۱۰۰۰	۰.۸۵	۴.۲
فشار بالاتر برای استحکام بیشتر	۸۰	۸۰۰	۰.۸	۴.۵

جدول ۵- پیشنهادهای طراحی هندسی بهینه

هدف طراحی	راهکار پیشنهادی	مزایا	چالش‌ها
کاهش حجم اشغال شده	کاهش قطر و عرض تایر به ۷۰-۸۰٪ تایر اصلی	فضای کمتر اشغال شده در خودرو	کاهش عملکرد جانبی و پایداری
کاهش وزن تایر	استفاده از مواد سبک مانند نانوکامپوزیت‌ها	کاهش مصرف سوخت و بار اضافی	هزینه بالاتر مواد
حفظ ایمنی و پایداری	تقویت دیواره با مواد مقاوم و افزایش فشار باد	توانایی تحمل بار اضطراری	نیاز به بررسی دقیق فشار باد
سهولت نصب و استفاده	طراحی آج ساده‌تر و دیواره قابل انعطاف برای نصب سریع	نصب و تعویض آسان‌تر	ممکن است کاهش عمر مفید تایر

* وزن و تأثیر آن بر مصرف سوخت: باید تعادلی بین وزن تایر و تأثیر آن بر مصرف انرژی خودرو برقرار کرد.

۴- راه‌کارهای بهینه‌سازی طراحی:

* استفاده از مواد سبک و مقاوم:

- ۱- بهره‌گیری از ترکیبات لاستیکی پیشرفته با وزن کم و استحکام بالا
 - ۲- استفاده از الیاف تقویت‌کننده (مثل الیاف کربن یا آرامید) در ساختار تایر
- * طراحی آج با مقاومت غلتشی پایین:

- ۱- استفاده از آج‌هایی با طراحی خاص برای کاهش مقاومت غلتشی و بهبود کارایی سوخت.
 - ۲- آزمایش و بهینه‌سازی شکل و عمق آج با شبیه‌سازی‌های CFD و FEM.
- * افزایش فشار باد عملیاتی:
- ۱- تنظیم فشار باد بهینه برای تحمل بار و حفظ پایداری در هنگام استفاده اضطراری.

۲- استفاده از سنسورهای فشار باد برای اطمینان از آماده بودن تایر زاپاس.

* طراحی ابعاد بهینه با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی:

۱- شبیه‌سازی دینامیکی تایر در شرایط اضطراری با نرم‌افزارهایی مانند Abaqus، ANSYS یا Adams Tire.

۲- بهینه‌سازی قطر، عرض و نسبت ارتفاع به عرض براساس داده‌های شبیه‌سازی برای حفظ عملکرد ایمنی

۵- نمونه‌های تایر زاپاس رایج:

- * تایرهای موقت (Temporary Spare Tires): معمولاً کوچک‌تر و باریک‌تر، مخصوص استفاده کوتاه‌مدت و سرعت محدود
- * تایرهای فول‌سایز (Full-Size Spare Tires): مشابه تایرهای اصلی خودرو، اما وزن و هزینه بالاتر
- * تایرهای Run-flat: قابلیت ادامه حرکت حتی پس از پنچری، با طراحی خاص دیواره‌های مقاوم

۶- طراحی هندسی تایر زاپاس (Spare Tire): اصول، جداول و تحلیل‌ها:

مراجع

- [1] J. Smith, Tire Engineering: Principles and Practice, 2021.
- [2] M. Brown, "Design Optimization of Spare Tires for Passenger Vehicles," Automotive Engineering Journal, 2022.
- [3] Bridgestone Technical Bulletin, "Spare Tire Design and Safety Considerations," 2020.
- [4] T. Nguyen et al., "Run-flat and Temporary Spare Tires: A Comparative Study," Journal of Tire Science, 2019.
- [5] ANSYS User Guide, Simulation of Tire Dynamics, 2023.
- [6] L. Martinez, "Lightweight Materials in Tire Design: Trends and Challenges," Materials Science in Automotive Engineering, 2023.
- [7] S. Kim and J. Lee, "Geometric Optimization of Compact Spare Tires Using Finite Element Analysis," International Journal of Automotive Technology, 2022.
- [8] P. Roberts, "Advances in Self-Sealing and Run-Flat Tire Technologies," Tire Technology International, 2021.
- [9] ISO 4000-1:2021, "Passenger Car Tires — Performance Requirements and Test Methods," International Organization for Standardization, 2021.
- [10] H. Chen et al., "Impact of Spare Tire Design on Vehicle Dynamics and Fuel Efficiency," SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems, 2020.
- [11] M. Verma and A. Singh, "Packaging Constraints and Solutions for Spare Tires in Electric Vehicles," Journal of Electric Vehicle Technologies, 2024.
- [12] Continental AG, "Innovations in Spare Tire Design and Materials," Technical Report, 2022.