نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۶/شماره ۱۰۵/ بهار۱۴۰۱

علمی- فنی

بررسی ساختار تایر بر روی هندلینگ تایر و بهینه سازی آن

Investigate and optimization the construction of tire on tire handling

چکیده

یک تایر در حال دوران تحت تاثیر نیروها و گشتاورهای متعددی حاصل از سطح تماس قرار می‌گیرد. از طرفی ساختار تایر بسیار پیچیده می‌باشد و تایر از اجزای مختلفی تشکیل شده است. هر کدام از این اجزا می‌تواند بر روی نیروها و گشتاورهای وارده بر تایر تاثیر گذار باشد. این نیروها و گشتاورها نیز بر روی هندلینگ خودرو بسیار تاثیر گذار می‌باشد. در این مقاله در بررسی ساختار تایر، اجزای مربوط به طول اپکس، عرض بلت، زاویه بلت و ساختار کپلای را در یک تایر سواری در نظر گرفته شده است. طراحی آزمایش مربوطه به متغییرهای طول اپکس، عرض بلت، زاویه بلت و نوع ساختار کپلای بر اساس روش تاگوچی انجام شده است. بر اساس روش طراحی آزمایش، ۹ تایر مختلف ساخته شده است و بر اساس نتایج سفتی گردشی تایر حاصل از انجام آزمایش، تاثیر متغیرهای ذکر شده بر روی سفتی پیچشی تایر مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تایر، سفتی پیچشی، تاگوچی، بلت، اپکس، کپلای

نوع مقاله: مروری

مرتضی رشیدی مقدم*[۱]،عبدالرسول عاشورزاده[۲]
۱- مرتضی رشیدی مقدم، دکتری تخصصی مهندسی مکانیک، کرمان، کیلومتر ۵۲ جاده جوپار، گروه صنعتی بارز،تهران، ایران
۲-کارشناس مهندسی مکانیک، کرمان، کیلومتر ۵۲ جاده جوپار، گروه صنعتی بارز،تهران، ایران

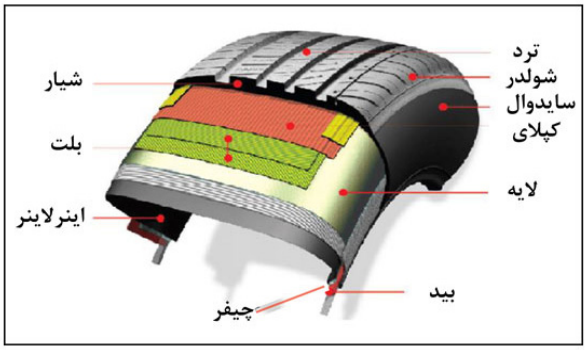
ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1-morteza2046@gmail.com

تاریخ دریافت: ۰۶-۰۹-۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۲۰-۰۱-۱۴۰۱

مقدمه

تایرهای جزیی از وسیله نقلیه می‌باشد که وظیفه آن‌ها انتقال نیروها و گشتاورها به وسیله نقلیه می‌باشد که این نیروها و گشتاورها حاصل پاسخ به واکنش‌های دینامیکی وسیله نقلیه و راننده می‌باشد که نمونه‌ای از آن چرخش فرمان وسیله نقلیه می‌باشد و کمترین وظیفه تایر مربوط به تحمل نیروی وزن حاصل از وسیله نقلیه می‌باشد. همچنین، تایرها تحت تاثیر شرایط‌های مختلفی همچون سطوح جاده، شرایط محیطی، شرایط عملکردی، شرایط نگه داری و رخدادهای آسیب قرار می‌گیرند. تایر اساسا یک کامپوزیت لاستیکی تقویت شده با الیاف است. به عبارت دیگر یک تایر از فرمولاسیون پیچیده الاستومر، نخ‌ها، منسوجات و سیم فولادی است. ساختار تایر در واقع شامل تعداد، محل و ابعاد اجزای مختلف استفاده شده در ساختمان یک تایر را تعریف می‌کند. اجزای اصلی که بر عملکرد یک تایر حکم می‌کنند لایه‌ها، ساختمان بید، بلت‌ها، اپکس، اینر لاینر، ترد و کپلای هستند. در شکل شماره ۱ اجزای اصلی یک تایر سواری را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱. اجزای ساختار داخلی تایرهای سواری

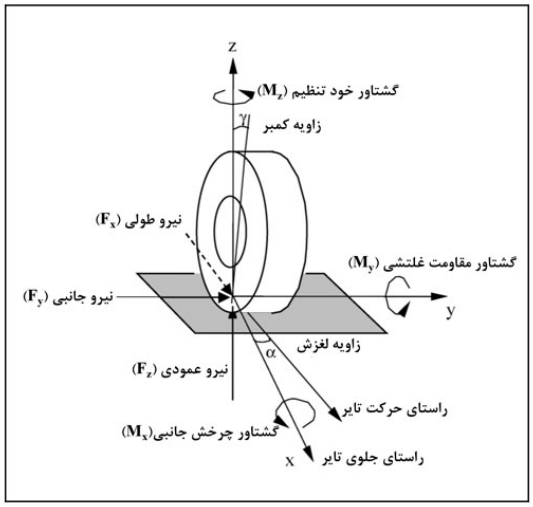
در بحث حرکت تایر، هندلینگ تایر به عنوان یک خروجی مورد انتظار باید مورد بررسی قرار بگیرد. هندلینگ عبارت است از توانایی خودرو جهت انجام یک مانور بدون از دست دادن پایداری و با کیفیت مطلوب که اصطلاحا از آن به خوش فرمانی یاد می‌شود. عوامل و پارامترهای بسیار متعددی در خوش فرمانی خودرو موثر می‌باشند که از آن جمله میتوان به وزن، اینرسی خودرو، موقعیت مرکز ثقل، عملکرد سیستم تعلیق و ساختار داخلی تایر اشاره کرد. تایرهای خودرو شامل سه عملکرد اصلی زیر می‌باشند [۲ و۳]:

۱) تایر بالشتکی از هوا در برابر ضربه‌ها، لرزش‌ها و بارهای عمودی جاده است و از این نظر بر خوش سواری خودرو موثر است .

۲) ایجاد نیروهای طولی جهت شتاب‌گیری و ترمزگیری که در نتیجه عامل اصلی موثر بر عملکرد شتاب‌گیری و ترمزگیری خودرو است.

۳) ایجاد نیروهای جانبی که در نتیجه عامل اصلی موثر بر انجام چرخش و حرکات جانبی خودرو و موثر بر خوش فرمانی (هندلینگ) خودرو است.

تایر به طور کلی قادر است سه مولفه نیرو و سه مولفه گشتاور تولید نماید که در شکل ۲ نشان داده شده اند [۳].



شکل ۲. نیروها و گشتاورهای وارد بر تایر در حال حرکت

سه نیروی آن شامل نیروی عمودی (F_z) که حاصل نیروی وزن تایر می‌باشد، نیروی طولی (F_x) که بر اثر شتاب گیری و ترمزگیری ایجاد می‌شود، نیروی جانبی (F_y) که در واقع نیروی کمبر نیز نامیده می‌شود که این نیرو بر اثر زاویه کمبر که زاویه انحراف تایر از حول محور X (محور راستای حرکت تایر) ایجاد می‌شود. سه گشتاور آن شامل M_y که گشتاور مقاومت غلتشی می‌باشد، M_x گشتاور چرخش جانبی و M_z گشتاور خود تنظیم می‌باشد. از آنجا که عوامل موثر در پاسخ دریافتی از یک تایر به اختصار CCCP[1] (کامپاند-ساختار-کانتور-پروسه) می‌باشند در این مقاله تصمیم بر آن است که تاثیر ساختار به عنوان یکی از عوامل بسیار موثر مورد بررسی قرار گیرد که در این مقاله به بررسی تاثیر عوامل ساختاری تایر در مقادیر هریک از این نیروها و گشتاورها پرداخته است که حاصل این امر بهبود خواص تایر که موثر در خوش فرمانی (هندلینگ) خودرو می باشد. طراحی آزمایش و ساخت تایربه طور کلی طرح های آزمایشی به دو گروه بزرگ، طرح‌های عاملی کامل و طرح‌های عاملی کسری تقسیم می‌شوند. منظور از یک طرح عاملی کامل این است که در هر تکرار آزمایش تمام ترکیب‌های ممکن از سطوح عامل‌ها بررسی شوند [۴]. در استفاده از طرح‌های عاملی کامل وقتی که تعداد زیادی متغیر وجود دارد، زمان و هزینه زیادی صرف اجرای آزمایش‌ها می‌شود. به همین دلیل کاهش تعداد آزمایش‌ها امری ضروری به نظر می-آید. بنابراین استفاده از طرح‌های عاملی کسری می‌تواند مفید باشد. یکی از انواع طرح‌های عاملی کسری طرح تاگوچی است که در مسائل مهندسی کاربرد زیادی دارد.

در این مطالعه، طرح تاگوچی به عنوان ملاک طراحی متغییرهای ساختاری تایرهای رادیال سواری در نظر گرفته شده است. روش تاگوچی این امکان را فراهم کرده است که اطلاعات حیاتی از سیستم با تعداد تجربه و آزمایش کمتری فراهم شود. تاگوچی دسته‌ای از طرح‌های عاملی کسری را توسعه داد که در کاربردهای مختلف بکار گرفته می‌شوند. وی برای انجام آزمایش‌ها،جدول‌های استانداردی را فراهم نمود و آن‌ها را جانشین طرح‌های عاملی کامل کرد. روش تاگوچی با فرم کلی $L_N(n^k)$ برای طرح آزمایش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه‌نماد طرح تاگوچی،L تعداد کل آزمایش‌ها،N سطوح مربوط به هر متغیر وn تعداد متغیرها می‌باشد [۵].

در راستای طراحی و تعیین ترکیب آزمایش‌های مورد نیاز، برای ۴ متغیر ورودی سه سطح تعیین می‌شود. ارتفاع اپکس، عرض بلت، زاویه سیم های بلت و ساختار کپلای به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ سطوح هر متغیر آورده شده است.

جدول ۱: حدود پارامترهای مسیر بارگذاری.

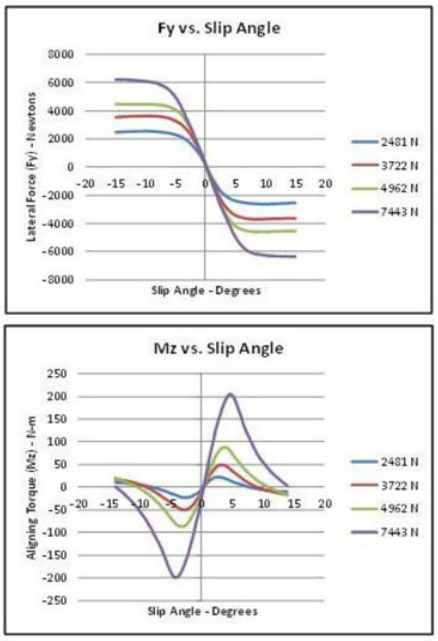
سطح	ارتفاع اپکس	عرض بلت	زاویه بلت	ساختار کپلای
1	5.5*50	145/135	20	1-1-1
2	6.5*36	150/140	24	2-1-2
3	6*18	155/145	28	3-2-3

برای ۴ فاکتور با سطوح تعیین شده، مدل تاگوچی از میان تعداد متنوعی از ترکیب‌های ممکن برای مقادیر پارامتری، با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب5، به صورت $L_9(3^4)$ بدست می‌آید. سپس این ۹ حالت را با استفاده از تجهیزات خط تولید، تایر R14 ۶۵/۱۸۵ ساخته شده است و بر روی این تایرهای ساخته شده آزمایش تعیین گشتارو و نیرو انجام گرفته است که در در شکل ۳ دو نمودار مربوط به تغییرات مقدار نیروی جانبی (F_y)، وگشتاورخود تنظیم (M_z) بر حسب زاویه لغزش (a) در چهار حالت نیروی عمودی ۲۴۸۱N، ۳۷۲۲N، ۴۹۶۲N و۷۴۴۳N در یکی از این ۹ حالت به عنوان نمونه رسم شده است.

نکته‌ای که وجود دارد این می‌باشد که متغییر پاسخ در بررسی خوش فرمانی (هندلینگ) چه چیزی باید در نظر

1.contour construction compound process 2.Full Factorial Experimental 3.Fractional Factorial Expriment

گرفته شود. همانطور که اشاره شد، هنگامی که یک تایر در زاویه ای قرار می گیرد که راستای تایر با راستای حرکت آن برابر نیست، یک نیروی جانبی عمود بر صفحه چرخ وارد می شود که به عنوان نیروی کمبر شناخته می‌شود. تغییرات نیروی کمبر بر حسب زاویه لغزش در زوایای کوچک تقریبا خطی می‌باشد که درشکل۳ نیز همانطورکه مشاهده می‌شود تغییرات نیروی کمبر بر حسب زاویه لغزش تقریبا خطی می‌باشد به شیب این نمودار سفتی گردشی (K) گفته می‌شود که یک پارامتر اساسی در بررسی هندلینگ می‌باشد. سفتی گردشی تایر، در واقع توانایی تایر در مقاومت در برابر تغییر شکل شکل تایر در هنگام پیچیدن خودرو است. بنابراین طبق فرمول $F_y = K \times \alpha$ هرمقدار که سفتی گردشی بیشتر باشد، در هنگام پیچیدن خودرو مقدار نیروی جانبی بیشتر می‌باشد و احتمال لغزش خودر کمتر می‌باشد. بنابراین سفتی گردشی به عنوان متغییر پاسخ در نظر گرفته می‌شود.



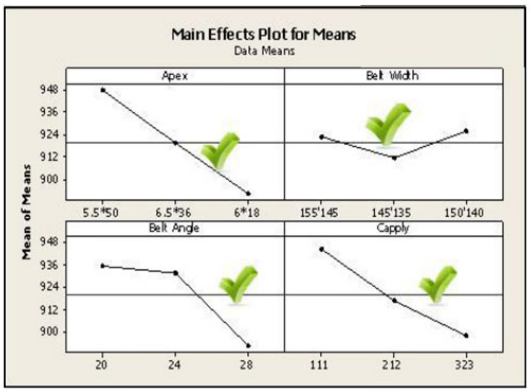
شکل ۳. تغییرات مقدار نیروی جانبی (F_y) و گشتاور خود تنظیم (M_z) بر حسب زاویه لغزش (a) در چهار حالت نیروی عمودی.

نتیجه گیری

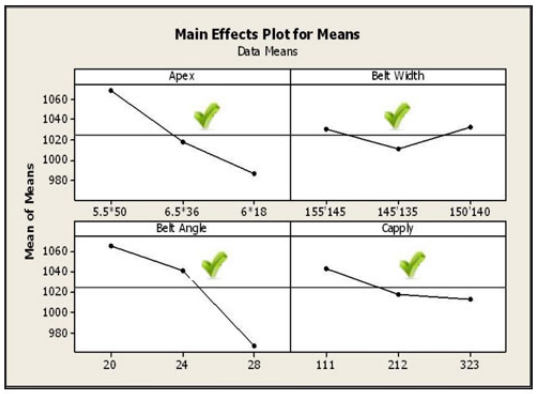
در شکل۴، تاثیر ارتفاع اپکس، عرض بلت، زاویه سیم های بلت و ساختار کپلای بر سفتی گردشی (K) به عنوان شاخصی از خوش فرمانی (هندلینگ) نشان داده شده است. درشکل ۴ این بررسی در سه نیروی عمودی (وزن) مختلف ۳۷۲۲N، ۴۹۶۲N و۷۴۴۳N انجام گرفته است.که۳۷۲۲N در واقع ۸۰ درصد بار مجاز، ۴۹۶۲N حداکثر بار مجاز و ۷۴۴۳N بالاتر از بار مجاز می‌باشد. با توجه به نمودارهای بدست آمده مشخص می‌گردد که در بارهای مختلف میزان تاثیر هریک از چهار عامل متفاوت می‌باشد. ولی در هر سه بار اعمال شده روند نمودارها یکسان می‌باشد و تنها در بار ۷۴۴۳Nدر قسمت مربوط به ساختار کپ پلای مشاهده می‌شود که روند متغایر می‌باشد .با توجه به این شکل، در هر سه حالت ۸۰ درصد بار مجاز، حداکثر بار مجاز و بالاتر از بار مجاز، زاویه بلت و ارتفاع اپکس در مقایسه با دو عامل دیگر تاثیری قابل توجهی بر سفتی گردشی دارد.کاهش مقدار زاویه بلت باعث افزایش سفتی گردشی و در نتیجه افزایش خوش‌فرمانی (هندلینگ) می‌شود. البته تاثیر افزایش زاویه بلت در کاهش سفتی گردشی در مقدار زوایای بزرگتر تاثیر بیشتر دارد و هر چه زاویه بلت بزرگتر باشد امکان انتقال نیروی جانبی در آن به علت نوع قرارگیری زاویه نسبت به لایه کمتر خواهد بود. همچنین افزایش ارتفاع اپکس باعث افزایش سفتی گردشی و در نتیجه افزایش خوش-فرمانی (هندلینگ) می‌شود به طوریکه با افزایش ارتفاع اپکس امکان انتقال نیرو از فرمان به تایر از طریق رینگ افزایش می‌یابد. در مورد عرض بلت، هر چه عرض بلت بیشتر در نظر گرفته شود سطح تماس تایر با سطح جاده بیشتر خواهد شد و با افزایش ناحیه تماس توزیع نیروی جانبی وارده بر تایر یکنواخت تر خواهد شد و این امر باعث افزایش خوش فرمانی تایر خواهد شد. در مورد ساختار کپلای، با حرکت از ساختار ۲۱۲(حالت

1.Taguchi 2 Minitab 3.Cornering Stiffness

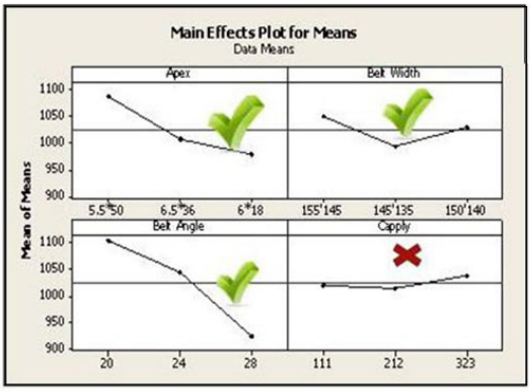
گرد) به سمت ساختار ۱۱۱ (حالت تخت) افزایش هندلینگ را در ۸۰ درصد بار مجاز و حداکثر بار مجاز در برخواهد



F_z=3722 N



F_z=4962



F_z=7443 N

شکل ۴. تاثیر ارتفاع اپکس، عرض بلت، زاویه سیم های بلت و ساختار کپلای بر سفتی گردشی (K) به عنوان شاخصی از خوش فرمانی (هندلینگ)

داشت و همچنین در این دو مقدار بار، ساختار ۳۲۳ نسبت به دو ساختار ۱۱۱ و ۲۱۲ حالت بحرانی تری در تایر از لحاظ کاهش سفتی پیچیشی ایجاد خواهد کرد. باید توجه داشت که سفتی گردشی و راحتی سرنشین دو عامل روبروی یکدیگر می باشند و بهبود یک عامل باعث افت کیفیت در عامل دیگر می‌شود.

نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله با استفاده از روش طراحی آزمایش بر اساس مدل تاگوچی، ۹ تایر مختلف بر اساس متغییرهای ارتفاع اپکس، عرض بلت، زاویه سیم های بلت و ساختار کپلای در سه سطح در راستای اندازه گیری سفتی چرخشی ساخته و مقدار نیروها و گشتاروهای آن اندازه گیری شد. بر اساس نتایج مشاهده شد که مقدار زاویه بلت و ارتفاع اپکس بیشترین تاثیر بر روی سفتی چرخشی و عرض بلت و ساختار کپلای کمترین تاثیر را دارا می‌باشد.

[1]Pacejka, H.B. and I.J.M. Besselink, Magic formula tyre model with transient properties. Proc. 2nd International Colloquium on Tyre Models for Vehicle Dynamics Analysis. Berlin. Suppl. Vehicle System
Dynamics, Vol. 27, pp 234–249,1997.

[2]E. Esmailzadeh, G.R. Vossoughi & A. Goodarzi, Dynamic Modeling and Analysis of a Four Motorized Wheels Electric Vehicle, Veh. Sys. Dyn., Vol. 35, No. 3, pp. 163-194,2001.

[3]Gonçalves, J. P. C., & Ambrósio, J. A. C. (2005). Road Vehicle Modeling Requirements for Optimization of Ride and Handling. Multibody System Dynamics 2005 13:1, 13(1), 3–23. https://doi.org/10.1007/S11044-005-2528-5.

[4]Kadkhodayan, M., Erfani-Moghadam, A., "Optimization of load paths in X- and Y-shaped hydroforming ", Material Forming , Vol. 6, 75–91, 2013.

Investigate and optimization the construction of tire on tire handling

M.Rashidi Moghadam A.Ashori Zade

1. Morteza Rashidi Moghadam, Ph.D. in mechanical engineering, Kerman, 25 km Jopar road, Barez Industrial Group, Tehran, Iran

2.Abd al-Rosoul Ashourzadeh, mechanical engineering expert, Kerman, 25 km Jopar road, Barz Industrial Group, Tehran, Iran

⁎Corresponding author Email:morteza2046@gmail.com

Abstract

A rotated tire is affected by various forces and torques from the contact patch. On the other hand, the structure of the tire is very complex and tire is a complex combination. Each of these components can affect the forces and torques applied to the tire. These forces and torques also have a great effect on the handling of the car. In this paper, the apex height, the belt width, the belt angle and the capply type in a PCR tire are considered. The design of Experimental is based on Taguchi method which related to the apex height, the belt width, the belt angle and the capply type. Based on the design of experimental, 9 different tires have been made. The values of cornering stiffness obtained from the experimental and the effect of the mentioned factors on the cornering stiffness of the tire has been investigated.

Key words: Tire, Cornering Stiffness, Taguchi, Belt, Appex, Capply