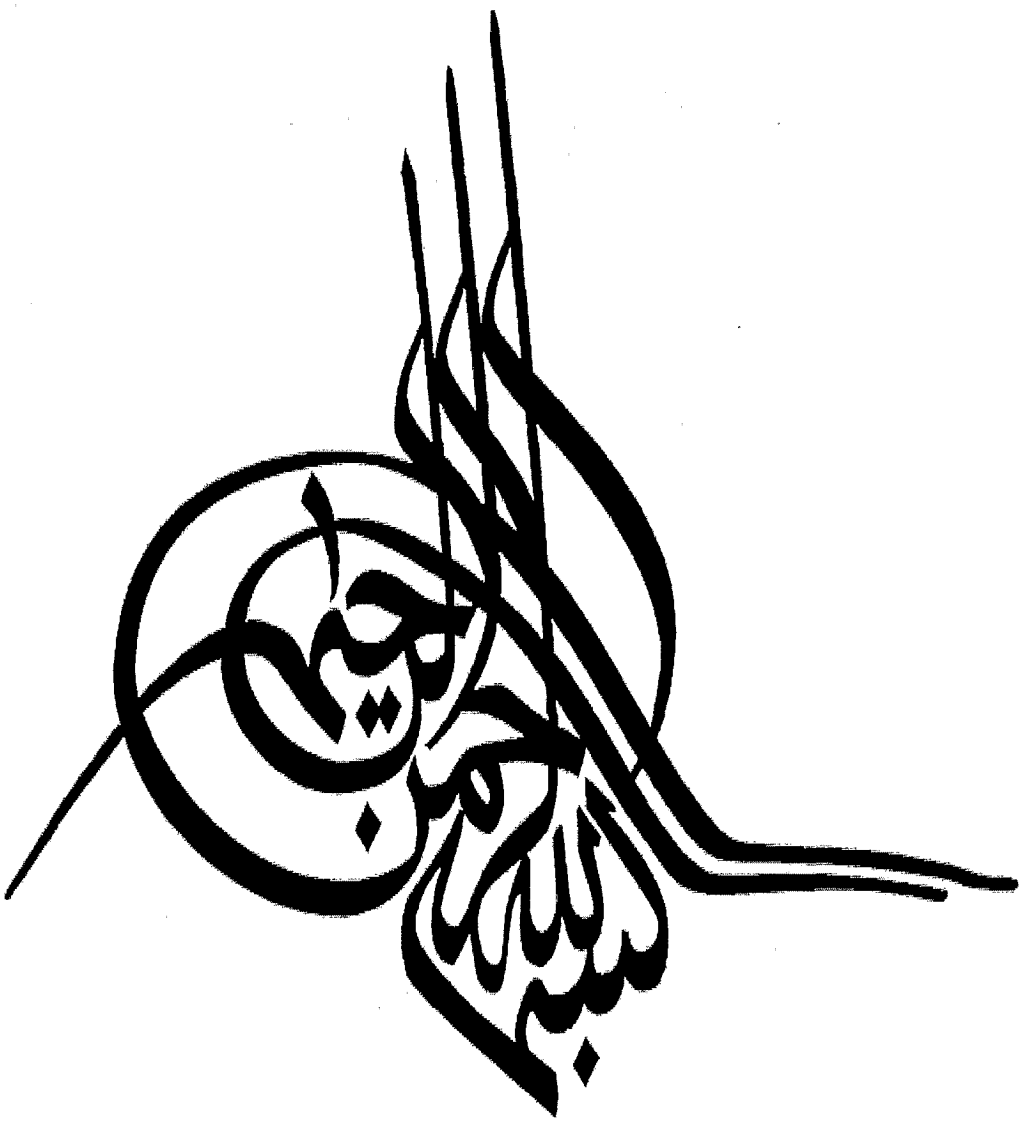


۱۰۸۲۲۴

دانشگاه شیراز
دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک
(گرایش طراحی کاربردی)

آنالیز تنش-کرنش ناشی از تغییرات زوایای فرمان و زاویه لغزش در تایر به روش اجزاء محدود

توسط
علی فراضی

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

استاد راهنما:
دکتر محمد رحیم نامی

مهر ۱۳۸۷

۱۰۸۲۳۴

به نام خدا

آنالیز تنش-کرنش ناشی از تغییرات زوایای فرمان و زاویه لغزش در تایر به روش اجزاء محدود

توسط:

علی فراضی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان
بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

از دانشگاه شیراز

شیراز- جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: **عالی**

دکتر محمد رحیم نامی، استاد یار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته).....

دکتر جعفر زرین چنگ، دانشیار بخش مهندسی مکانیک(عضو کمیته).....

دکتر محمد اقتصاد، دانشیار بخش مهندسی مکانیک(عضو کمیته).....

مهر ماه ۱۳۸۷

تقدیم به

خانواده‌ام،

که مأمن و معلم من بوده‌اند

و جناب آقای دکتر نامی

استاد گرانقدرم

سپاسگزاری

سپاس و ستایش خدای را جل جلا له که آثار قدرت او بر چهره روز روشن تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار درخشان.
الهی شکر این نعمت چگونه توانم گزارد که مرا مصاحب بهترین بندگانت گردانیدی تا فضایل وجود ایشان را درک نمایم و از علمی که خود به ایشان ارزانی داشتی بهره جویم.
انجام این تحقیق، بلا شک بدون راهنمایی‌های استاد ارجمندم جناب آقای دکتر نامی ممکن نبود. بر خود واجب می‌دانم که تمام سپاس خود را خالصانه نثار ایشان نمایم و سلامت و موفقیت ایشان را از خداوند منان آرزو کنم.
همچنین از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر محمد اقتصاد و جناب آقای دکتر جعفر زرین چنگ کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.
پدر و مادرم بزرگترین حامیان من در طول زندگیم بوده‌اند. هیچگاه نمی‌توانم آنچنان که شایسته است از ایشان قدردانی نمایم. آنچه از من بر می‌آید آرزوی سلامتی برای ایشان است.
در پایان، از دوستان عزیزم امیرحسین همدانیان، حمید مدنی نسب، رضا نظری و کاوه پارسا به خاطر همه راهنمایی و کمک هایشان تشکر می کنم.

چکیده

آنالیز تنش-کرنش ناشی از تغییرات زوایای فرمان و زاویه لغزش در تایر به روش اجزاء محدود

به وسیله:

علی فراضی

تایر در حال حرکت روی سطوح مختلف زمین تنشهای زیاد و تغییر شکلهای بزرگی را متحمل می شود و میزان این تنشها و تغییر شکلها بایستی ارزیابی و مشخص شود تا بتوان رفتار تایر، عمر و دوام آن را پیش بینی کرد. از جمله عوامل تاثیر گذار بر تغییر شکل ها و تغییرات تنش در تایر می توان به زوایای کمبر و لغزش اشاره کرد. در این پایان نامه با مدلسازی سه بعدی تایر و اعمال زوایای ذکر شده، به تاثیرات آنها روی تایر می پردازیم. بطوری که محاسبه جابجایی، کرنشها و یا تنشها در هر موقعیت انتخاب شده، داخل یا روی ساختمان مورد نظر، انجام می گردد. در راستای مدلسازی تایر و اعمال زوایای کمبر و لغزش از دیدگاهها و نتایج تجربی بدست آمده از مدل کاگایاما و کواهارا و همچنین مدل اسمیت استفاده می کنیم. تنش ها و کرنش های نامتقارن که موثرترین عامل در سایش ناهمگون و کاهش عمر تایر می باشند با افزایش زوایای کمبر و لغزش به صورت تصاعدی افزایش پیدا می کنند. پس می بایست با تنظیمات اولیه، شرایط را بگونه ای فراهم کرد که کمترین کمبر و لغزش را هنگام حرکت، در تایر داشته باشیم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- هدف	۳
۱-۳- تاریخچه تایر	۴
۱-۴- مروری بر تحقیقات انجام شده	۵
۲- آشنایی با تایر و زوایای کمبر و لغزش	۸
۲-۱- اجزای تشکیل دهنده تایر	۸
۲-۱-۱- آج تایر	۹
۲-۱-۲- دیواره پهلویی	۹
۲-۱-۳- کرکس و بریکر	۱۰
۲-۱-۴- آستر داخلی تایر	۱۰
۲-۱-۵- زهواره	۱۱
۲-۱-۶- لایه های سرپوش	۱۱
۲-۲- ریز ساختار کامپوزیتی اجزاء تشکیل دهنده تایر	۱۳
۲-۳- خصوصیات الاستیک تایر	۱۳
۲-۴- زاویه کمبر	۱۵
۲-۵- زاویه لغزش	۱۶
۳- معادلات تنش-کرنش و نیروهای وارد بر تایر	۱۹
۳-۱- معادلات تنش – کرنش در تایر	۱۹
۳-۱-۱- روابط تنش-کرنش برای مواد ایزوتروپیک	۱۹
۳-۱-۲- روابط تنش-کرنش برای مواد ارتوتروپیک	۲۰
۳-۲- روابط حاکم بر مواد مرکب چند لایه	۲۴

عنوان	صفحه
۳-۳- مدلسازی زوایای کمبر و لغزش	۲۸
۳-۳-۱- مدل کاگایاما وکواهارا	۲۸
۳-۳-۱-۱- نیروی کمبر	۳۰
۳-۳-۱-۲- گشتاور کمبر	۳۲
۳-۳-۲- مدل اسمیت	۳۳
۳-۳-۲-۱- نیروهای جانبی	۳۳
۳-۳-۲-۲- گشتاور خود همراستا ساز	۳۶
۳-۴- استفاده از روش اجزاء محدود	۳۸
۳-۴-۱- تحلیل مواد مرکب به روش اجزاء محدود	۳۹
۳-۴-۲- شبکه بندی مساله به روش اجزاء محدود	۴۰
۴- مدلسازی تایر	۴۱
۴-۱- مدلسازی هندسی تایر	۴۱
۴-۲- شرایط مرزی واعمال بارهای وارده به تایر	۴۵
۵- نتایج	۴۶
۵-۱- اعتبارسنجی مدل	۴۶
۵-۲- نتایج	۴۸
۵-۲-۱- مدل تایر بدون کمبر و لغزش	۴۸
۵-۲-۲- مدل زاویه کمبر ۲ درجه	۵۲
۵-۲-۳- مدل زاویه لغزش ۱ درجه	۵۵
۵-۲-۴- تحلیل تنش در سطح تماسی	۵۷
۵-۲-۴-۱- تنش در خط عرضی تحت زوایای کمبر متفاوت	۵۸
۵-۲-۴-۲- تنش در خط محیطی تحت زوایای کمبر متفاوت	۶۳
۵-۲-۴-۳- تنش در خط عرضی تحت زوایای لغزش متفاوت	۶۴
۵-۲-۴-۴- تنش در خط محیطی تحت زوایای لغزش متفاوت	۶۷
۵-۲-۵- تغییر شکل های سطح مقطع تایر، در تماس با زمین	و۶۹
۶-جمع بندی و پیشنهادات	۷۰
۶-۱- جمع بندی	۷۰
۶-۲- پیشنهادات	۷۱
منابع	۷۲

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱: ابعاد تایر..... ۳
جدول۲-۱: درصد وزنی مواد تشکیل دهنده تایر..... ۱۳
جدول۲-۲: خصوصیات مکانیکی اجزاء تشکیل دهنده لایه های کامپوزیتی کرکس و بریکر..... ۱۴
جدول۲-۳: خصوصیات مکانیکی مواد مرکب برای لایه های کرکس و بریکر..... ۱۴
جدول ۴-۱: مختصات هندسی لایه های اول و دوم کرکس..... ۴۱
جدول۴-۲: مختصات هندسی لایه های اول تا چهارم بریکر..... ۴۲
جدول۴-۳: مختصات هندسی نقاط آج و دیواره..... ۴۳
جدول۵-۱: مقایسه داده های نرم افزاری با مقادیر تجربی برای زاویه کمبر..... ۴۷
جدول۵-۲: مقایسه داده های نرم افزاری با مقادیر تجربی برای زاویه لغزش..... ۴۷

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: نمایی از تایر ۳
شکل ۲-۱: نمایی از تایر و اجزا تشکیل دهنده ۸
شکل ۲-۲ : چهار مدل اصلی آج ۱۲
شکل۲-۳: تایر رادیال و بایاس ۱۲
شکل۲-۴ : زاویه کمبر در دو حالت مثبت و منفی ۱۵
شکل۲-۵: زاویه لغزش حاصل از تفاوت جهت خط مرکزی تایر وجهت حرکت ۱۸
شکل۳-۱ : یک المان پوسته چند لایه وگره های مربوط به آن ۲۵
شکل۳-۲: سطح تماسی تایر و جاده تحت تاثیر زاویه کمبر ۲۸
شکل۳-۳: نیرو وگشتاورحاصل از زاویه کمبر در دستگاه مختصات ۲۹
شکل۳-۴: تجهیزات آزمایشگاهی با سنسورهای اندازه گیری نیرو وگشتاور کمبر ۲۹
شکل۳-۵: مدل نیروی حاصل از زاویه کمبر (کاگایاما و کواهارا) ۳۱
شکل۳-۶: اختلاف قطر خارجی اجزاء تایر و گشتاور کمبر حاصله ۳۳
شکل۳-۷:نمودار تجربی نیروی جانبی حاصل از زوایای کمبر در حالات متفاوت نیروی عمودی ۳۴
شکل۳-۸: نمودار تجربی نیروی جانبی حاصل از زوایای لغزش در حالات متفاوت نیروی عمودی ۳۵
شکل۳-۹: نمودار گشتاور خود همراستا ساز بر حسب زاویه لغزش ۳۶
شکل۳-۱۰: جای پا تایر، نیروی جانبی و اثر لاستیک بادی در حالات کمبر و لغزش صفر و غیر صفر ۳۷
شکل۳-۱۱: یک لایه جسم مرکب ۳۹
شکل ۴-۱: نمونه مدل سازی سطح مقطع آج و دیواره ۴۲
شکل۴-۲: المان های جامد توپر و پوسته ای که بخش های مختلف تایر را شبیه سازی کرده اند ۴۴
شکل۴-۳: تایر و زمین مش بندی شده آماده بار گذاری ۴۴
شکل۴-۴: نمایش سطح مقطع و تایر کامل در دستگاه مختصات ۴۵
شکل ۵-۱: نمودار تجربی نیروی جانبی بر حسب نیروی عمودی و زاویه کمبر ۴۶
شکل۵-۲ : نمودار تجربی نیروی جانبی بر حسب نیروی عمودی و زاویه لغزش ۴۷
شکل۵-۳: میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های جامد توپر ۴۸
شکل۵-۴: میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های پوسته ای لایه اول کرکس ۴۹
شکل۵-۵: میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های پوسته ای لایه دوم کرکس ٤٩
شکل۵-۶: میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های پوسته ای لایه اول بریکر ۵۰
شکل۵-۷: میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های پوسته ای لایه سوم بریکر ۵۰
شکل۵-۸ : میزان تنش ون میسز و نحوه گسترش آن در المان های جامد توپر قطاع پایینی تایر ۵۱
شکل ۵-۹: میزان جابجایی در راستای قائم و نحوه گسترش آن در المان های جامد توپر ۵۱

عنوان	صفحه

شکل ۵-۱۰: تایر با زاویه کمبر ۲ درجه ، قبل از بارگذاری ۵۲
شکل ۵-۱۱:نحوه گسترش تنش ون میسز در تایر با زاویه کمبر ۲ درجه ۵۲
شکل ۵-۱۲: نحوه گسترش تنش ون میسز در تایر با زاویه کمبر ۲ درجه ۵۳
شکل ۵-۱۳: نحوه گسترش تنش ون میسز در قطاع پایینی تایر با زاویه کمبر ۲ درجه ۵۳
شکل ۵-۱۴: نحوه گسترش تنش ون میسز در قطاع پایینی تایر با زاویه کمبر ۲ درجه ٥٤
شکل ۵-۱۵: جابجایی قائم در المان های جامد توپر قطاع پایینی در زاویه کمبر ۲ درجه ٥٤
شکل ۵-۱۶: نحوه گسترش تنش ون میسز در تایر با زاویه لغزش ۱ درجه ٥٥
شکل ۵-۱۷: نحوه گسترش تنش ون میسز در قطاع پایینی تایر با زاویه لغزش ۱ درجه ٥٦
شکل ۵-۱۸: گره ها و شکل تماسی تایر و زمین در حالت کمبر و لغزش صفر ٥٧
شکل۵-۱۹: تنش ون میسز در خط عرضی تحت کمبرهای ۱ ، ۲ ، ۵ و بدون کمبر ٥٨
شکل ۵-۲۰: تنش ون میسز در خط عرضی در حالت بدون کمبر ٥٩
شکل ۵-۲۱: نمایش چگونگی تماس آج ها با زمین در حالت بدون کمبر ٦٠
شکل ۵-۲۲: تنش ون میسز در خط عرضی تحت کمبر۱ درجه ٦٠
شکل ۵-۲۳: تنش ون میسز در خط عرضی تحت کمبر۲ درجه ٦١
شکل ۵-۲۴: نمایش چگونگی تماس آج ها با زمین در حالت کمبر ۲ درجه ٦١
شکل ۵-۲۵: تنش ون میسز در خط عرضی تحت کمبر۲ درجه ٦٢
شکل ۵-۲۶: نمایش چگونگی تماس آج ها با زمین در حالت کمبر ۵ درجه ٦٢
شکل۵-۲۷: تنش ون میسز در خط محیطی تحت کمبرهای مختلف ٦٣
شکل۵-۲۸: تنش ون میسز در خط عرضی تحت زوایای لغزش متفاوت و بدون لغزش ٦٤
شکل۵-۲۹: تنش ون میسز در خط عرضی تحت زوایای لغزش متفاوت در آج سمت چپ ٦٥
شکل۵-۳۰: تنش ون میسز در خط عرضی تحت زوایای لغزش متفاوت در آج سمت راست ٦٦
شکل ۵-۳۱: نمایش چگونگی تماس آج ها با زمین در حالت های مختلف لغزش ٦٦
شکل۵-۳۲: تنش ون میسز در خط محیطی تحت زوایای لغزش متفاوت و بدون لغزش ٦٧
شکل۵-۳۳: سطح مقطع تایر در تماس با زمین بدون کمبر با لغزش ٦٨
شکل۵-۳۴: سطح مقطع تایر در تماس با زمین با کمبر ۲ درجه ٦٩
شکل۵-۳۵: سطح مقطع تایر در تماس با زمین با کمبر ۵ درجه ٦٩

۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه

وظایف تایر در خودرو تحمل وزن خودرو، کاهش ضربه ناشی از نیروهای وارده از طرف جاده، امکان ایجاد حرکت در جهت دلخواه و انتقال نیروی ترمز و یا شتاب گیری از خودرو به جاده می باشد. تا کنون خصوصیات تایر به طور پیوسته ای با پیشرفت صنایع اتومبیل سازی، بهبود پیدا کرده است. به منظور طراحی و ساخت تایر های مناسب و مورد نیاز ماشینهای مدرن امروزی و با توجه به محدوده سرعت و بارگذاریهای متفاوت و نیز انتظاراتی که در شرایط مختلف بایستی توسط تایر برآورده شود محققین صنعت تایر، تحقیقات زیادی را در زمینه طراحی و ساخت تایر از نقطه نظرهای متفاوتی انجام می دهند. کامپیوتر و روشهای عددی کمکهای شایانی در جهت بررسی خصوصیات مختلف تایر کرده اند که از جمله این روش ها، روش قدرتمند اجزاء محدود است که به عنوان یک ابزار عددی مفید در ارزیابی مفاهیم طراحی ساختمانهای پیچیده ای چون تایر، شناخته می شود. تایر در حال حرکت روی سطوح مختلف زمین تنشهای زیاد و تغییر شکلهای بزرگی را متحمل می شود و میزان این تنشها و تغییر شکلها بایستی ارزیابی و مشخص شود تا بتوان رفتار تایر، عمر و دوام آن را پیش بینی کرد. تایر های پیشرفته امروزی در واقع از انجام تصحیحات و تغییرات بر روی تایرهای لاستیکی اولیه و بر اساس تجربیات عملی و مطالعات آزمایشگاهی و ارائه روش های عددی در مورد رفتار تایر، حاصل شده اند.

محاسبه جابجایی، کرنشها و یا تنشها در هر موقعیت انتخاب شده، داخل یا روی ساختمان مورد نظر، به کار گرفته می شود. به کار بردن آنالیز ساختمان تایر نیاز به بهره مندی از دانش خصوصیات فیزیکی مربوط به مواد تشکیل دهنده و نحوه قرارگیری آنها در ساختمان تایر، دانستن خصوصیات کامل نیروهای وارده و نهایتاً وجود یک تکنیک تحلیلی و یا تئوری مناسب برای محاسبه واکنشهای مورد نظر می باشد. زمانی که تایر تا فشار معینی از هوا پر می شود تمام تایر به طور یکنواخت تحت تأثیر نیروهای استاتیکی قرار می گیرد و بقیه نیروهای دینامیکی وارده به تایر به این نیروها اضافه می شوند. ضربه ها و ارتعاشات وارده از طرف جاده، پیچش تایر هنگام حرکت در پیچها، وزن وسیله نقلیه و نیروهای زوایای فرمان از جمله نیروی کمبر نیروهایی هستند که به تایر وارد می شوند. نیروی وارده به تایر در صورتی متقارن است که از نظر نوع و اندازه هیچگونه تغییری در جهت محیطی نداشته باشد مثل نیروهای وارده در

اثر فشار باد داخلی و نیروهای گریز از مرکز ولی نیروهایی همچون نیروی کمبر و نیروی حاصل از زاویه لغزش یک گسترش نیرو در تایر به وجود می آورند که تقارن محوری ندارند.

از پارامترهای مؤثر بر عمر و دوام تایر می توان به میزان فشار باد تایر، بار عمودی اعمالی به تایر و تنظیم نبودن سیستم تعلیق و شاسی اشاره کرد.

باد تایر: برای افزایش عمر تایر و ایمنی در حرکت، همواره باید به نقش تعیین کننده باد تایر توجه نمود. اگر باد تایر کمتر از حد مجاز باشد، فشار هوای کم باعث تولید حرارت بیشتر در تایر می گردد. نتیجه افزایش حرارت تایر در حرکت، جدایی نخ منجید از لاستیک خواهد بود. بریده شدن نخ ها و پنچری تایر نتیجه نهایی این بی توجهی است. اگر باد تایر بیش از حد مجاز باشد، فرمان پذیری چرخ ضعیف می شود و امکان ترکیدگی تایر هنگام برخورد با موانع وجود خواهد داشت. از این رو فشار باد باید حداقل ماهی دو بار کنترل شود. میزان فشار باد مجاز با توصیه کارخانه سازنده خودرو و یا بر اساس میزان بار و توصیه سازنده تایر مشخص می شود. کنترل فشار باد حتما باید هنگامی صورت گیرد که تایر ها کاملا خنک و در شرایط عادی باشند. فشار باد کم موجب خمش زیاد تایر شده و در اثر تغییر شکل مداوم تایر کم باد در حین حرکت روی جاده، حرارت زیادی در بدنه تایر تولید شده و حرارت زیاد منجر به تخریب بدنه می گردد. از طرف دیگر در اثر فشار باد کم سایش ناحیه شانه افزایش یافته و فرمان پذیری مشکل و ضعیف می گردد. در واقع در این حالت طرفین ناحه آج بیشتر از وسط آن با زمین در تماس هستند. لذا در صورت مشاهده چنین عیبی فشار باد تایر خودرو را تا مقدار مجازافزایش دهید. فشار باد زیاد توانایی تایر را برای جذب لرزشهای ناشی از جاده کاهش داده و در نتیجه راننده احساس می کند فرمان می کوبد. از طرف دیگر فشار باد بیش از حد باعث می شود تا مرکز تایر بیش از بقیه سطح رویه آن با جاده در تماس باشد و لذا منجر به صدمه رسیدن به بدنه و سایش سریع مرکز سطح آج تایر می گردد.

بار تایر: میزان حداکثر تحمل بار هر تایر روی دیواره آن قابل مشاهده است و تحت هیچ شرایطی نباید میزان بار وارده بر تایر از حداکثر تحمل آن تجاوز نماید. باید به خاطر داشت که تایر تنها هنگامی قادر به تحمل حداکثر بار است که فشار باد آن نیز حداکثر باشد. کنترل میزان باری که به چرخها وارد می شود از طریق بار گذاری صحیح خودرو میسر است. در صورتیکه بار روی خودرو در وسط کفی یا محفظه بار قرار نگیرد، میزان فشار بار در یک طرف بیش از طرف دیگر خواهد بود و این پدیده به خصوص در سر پیچها می تواند بر میزان بار اعمالی به چرخها بیفزاید.

تنظیم سیستم تعلیق و شاسی: تنظیم نبودن جلوبندی و شاسی و بخصوص موازی نبودن چرخها در حین حرکت و بارگذاری علاوه بر تاثیرات نامطلوب در کارکرد خودرو، تایرها را به شدت دچار فرسایش خواهد نمود. لذا در صورت بروز سایش غیر معمول در تایر فورا باید پس از

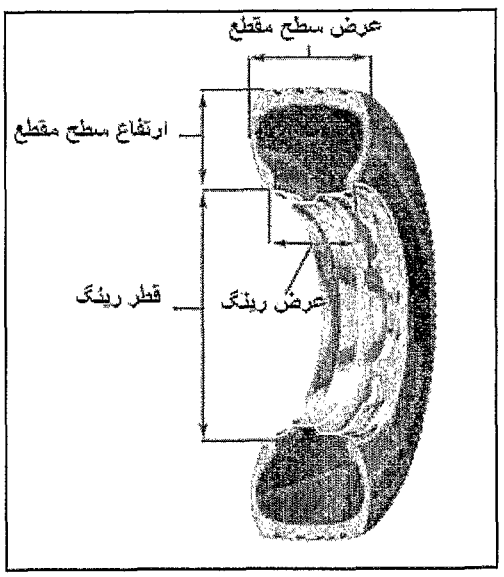
کنترل فشار باد ، سیستم تعلیق و جلوبندی را کنترل نمود و از صحت عملکرد آن مطمئن شد. تنظیم نبودن جلو بندی و موازی نبودن چرخها به میزان قابل توجهی به تنظیم نبودن دو زاویه کمبر و لغزش مربوط می گردد.

۱-۲- هدف

بدلیل اهمیت دو زاویه کمبر[1] و لغزش[2] و تأثیر این دو پارامتر در سایش و عمر تایر هدف این پایان نامه آنالیز تغییر شکلها و تنشها در اثر تغییرات زاویه کمبر و زاویه لغزش در محدوده سطح تماس تایر و زمین تعریف می شود، که با یک مدلسازی سه بعدی تایر و سطح زیرین و اعمال شرایط مرزی و نیروهای موثر که به تفصیل به آنها اشاره خواهد شد، سعی در ایجاد شرایط واقعی در نرم افزار المان محدود ANSYS داریم.

تایر جنس کاملاً مرکبی دارد و از قسمتهای مختلف ساخته شده است. کرکس، دیواره ها، آج، ناحیه تاج و بید اجزاء ساختمانی یک تایر را تشکیل می دهند که هر کدام به نوبه خود از لحاظ دوام، بقاء و قابلیت انعطاف دارای شکلی پیچیده بوده و از مواد مرکب ساخته شده اند. این عوامل بر مشکلات و پیچیدگی آنالیز آن می افزایند.

در شکل ۱-۱ و جدول ۱-۱ نمایی از ابعاد تایر مورد بررسی نمایش داده می شود:



شکل۱-۱: نمایی از یک تایر نمونه

جدول۱-۱: ابعاد یک تایر نمونه

پارامترهای تایر	ابعاد mm
ارتفاع سطح مقطع	۱۲۴
عرض سطح مقطع	۱۵۰
قطر رینگ	۲۳۰
عرض رینگ	۱۰۰

[1]Camber Angle
[2] Slip Angle

۱-۳- تاریخچه تایر

در پی تلاش دانشمندان و صنعت‌گران در جهت ساخت وسیله‌ای به منظور جایگزینی حمل و نقل انسان و کالا، که با اسب و کالسکه انجام می‌پذیرفت، اولین خودرو با استفاده از نیروی بخار در سال ۱۷۶۹ در شکل و صورت یک تراکتور و با کاربردی نظامی توسط نیکلاس کوگو۱ ساخته شد. تفکر استفاده از لاستیک جهت چرخ‌های خودرو از همان زمان پیدایی لاستیک در ذهن دانشمندان و محققان وجود داشت، ولی عملا این مهم در سیر تدریجی تکامل تولید خودروهای سواری در فاصله سال‌های ۱۷۶۹-۱۸۴۰ بود که با جایگزین نمودن لاستیک به جای چرخ‌های چوبی و فلزی در انگلستان ، تحقق پیدا نمود.

نیاز به استفاده از تایر به جای چرخ‌های چوبی و فلزی به دلیل راحتی و روان بودن رانندگی با آن به همراه سبک شدن وزن خودرو موجب تحولات چشمگیر در ساخت خودرو و تایر گردید. با تکامل تدریجی اتومبیل، در سال ۱۸۵۰ اولین اتومبیل سواری با چهارسرنشین توسط چارلزدیتس ساخته شد.

با وجود چرخ‌های لاستیکی پخته شده (ولکانیزه) این اتومبیل که در سال ۱۸۴۴ اختراع آن به ثبت رسیده بود، عملا تکامل تدریجی تکنولوژی ساخت خودرو و تایر به صورت موازی و هماهنگ آغاز گردید.

تایر دوچرخه را در حقیقت می‌توان سرچشمه و یا الگوی اولیه تایرهای اتومبیل تلقی کرد. در سال ۱۸۴۰، طرح آج تایر که بخش مهمی از ساختار تایر را شامل می‌شد به صورت گسترده‌ای در تایرهای دوچرخه متداول گشت. استفاده از طرح آج چند سال بعد بود که در تایرهای اتومبیل معمول گردید.

در سال‌های ۱۸۸۰ به دنبال ساخت تایرهای خیلی بزرگ که روی رینگ چرخ‌ها پخت می‌شدند، تایرهای توخالی و تایرهای مشبک حفره‌دار نیز ساخته شدند، ولی همگی آنها به دلیل عدم قابلیت جذب ضربه و شوک های ناشی از ناهمواری‌های جاده‌ای ، نتوانستند نیازهای حمل و نقل با اتومبیل را برآورده سازند.

با این پیش زمینه بود که اختراع تایر بادی به وسیله دانلپ در سال ۱۸۸۸ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردید. در سال‌های پس از این اختراع بود که بهبودهایی در روش اتصال تایر دانلپ به رینگ چرخ به وقوع پیوست و در همین مدت بود که لاستیک تویی (تیوب) نیز در تایر مورد استفاده قرار گرفت.

در سال ۱۹۱۱ اشتراوس اولین تایر اتومبیل و تیوب را با مارک کمپانی هاردمن تایر و رابر تولید نمود. تایرهایی به شکل امروزی در حدود سال‌های ۱۹۳۰ ساخته شده و تغییرات و

تحولات بعدی که در آن به وقوع پیوست و عمدتا در برگیرنده ابعاد تایر، ساختار آن، مواد اولیه مصرفی و بالاخره کاربرد تایر برای مصارف ویژه بود، تدریجاً بعد از این تاریخ پدیدار شد.

جنگ جهانی دوم بر توسعه و پیشرفت تایر در حوزه تایرهایی با فشار باد متغیر و همین‌طور ساخت تایرهای پهن که سهولت و تسهیل حرکت خودرو در جاده‌های نرم را موجب می‌گردید، تاثیر چشمگیری بر جای گذاشت.

اولین تایرهای با نخ سیمی که به وسیله کمپانی میشیلن فرانسه ساخته شده بود، در سال ۱۹۳۹ در نمایشگاه پاریس به معرض دید بازدید کنندگان نمایشگاه گذارده شد. تداوم تحولات و توسعه تکنولوژی تایر موجب پیدایش تکنولوژی تولید تایرهای رادیال نخی در سال ۱۹۵۰ گردید و از همین مقطع زمانی بود که پیشرفت‌های سریع و چشمگیر صنعت تایر با ساخت تایرهای سواری رادیال سیمی (۱۹۶۰) تایرهای باری رادیال تمام سیمی (۱۹۷۰)، تایرهای بایاس– بلتدار، تایرهای بسیار سبک، تایرهای پنچررو و اخیراً نیز تایرهای هوشمند ادامه پیدا کرد .

۱-۴- مروری بر تحقیقات گذشته

در واقع از حدود چهل سال پیش به این طرف که یکی از محققین به نام پاردی یک جواب تحلیلی برای تحلیل تنش-کرنش تایر باد شده ارائه داد، جواب تحلیلی تایر باد شده به صورت استاتیکی همواره از مقاصد و خواسته های مهندسین صنعت تایر بوده است . مشکل بودن و دشواری در رسیدن به جواب تحلیلی قابل قبول و راه گشا از آنجا مشهود میگردد که چهل سال از تحقیقات بر روی تایر گذشته ، اما هنوز یک جواب تحلیلی کامل در این زمینه ارائه نشده است.

تقریبا از سال (۱۹۷۰) به این طرف با توسعه تئوری مواد مرکب و نیز روش اجزاء محدود در زمینه مکانیک سازه ای و همچنین با پیشرفت در تولید کامپیوتر های پر سرعت، می توان گفت قدمهای محکمتر ی در تحلیل ساختمانهای پیچیده ای مثل تایر بر داشته شده است. از سال (۱۹۸۰) تعدادی کدهای اجزاء محدود به صورت همه منظوره یا کلی که ادعا می شد توانایی حل مسائل مربوط به تایر باد شده را نیز دارند، برای فروش عرضه شدند. تقریبا هر برنامه ارائه شده دارای محدودیتهایی بود که بر روی جواب تاثیر می گذاشت.

در اوائل دهه هفتاد بود که محققین توانستند به کمک اولین کامپیوتر های دیجیتال پیشرفتی در زمینه محاسبات عددی انجام دهند، از جمله کسانی که در این زمینه کار کرده اند می توان از برور[1] (۱۹۷۳) که در زمینه تنشها و تغییر شکلهای تایر با استفاده از تئوری مواد

[1] Brewer

مرکب کار کرده و جزء پیش گامان حل تحلیلی تایر می باشد [۱]، دیک و آتلوری[1] (۱۹۷۵) که در زمینه تنش ها و تحلیل اجزاء محدود تایرهای بادی اولین آنالیزهای غیر خطی را ارائه دادند [۲]، پا تل[2] (۱۹۷۸) که در زمینه تایرهای بادی و تغییر شکلها و تنش های حاصله تحقیق کردند [۳]، دیسلینازی و ریدها[3] (۱۹۸۲) که در زمینه سطح تماس تایر با زمین به روش اجزا ء محدود جهت فرمولاسیون تحلیل های مربوطه اقدام نمودند [۴]، راپر[4] (۱۹۹۵) که در زمینه تأثیرات فشار باد تایر، تنش های ناشی از تماس تایر و زمین و نیروهای دینامیکی حاصل از حرکت تایر تحقیق نمودند [۵] و [۶]، تانیگوچی[5](۱۹۹۷) که با مدل سازی سه بعدی تایر به تحلیل تنش واندازه گیری آن در سطح تماس تایر با زمین و عوامل موثر بر آن پرداختند [۷]، جیم[6] (۱۹۹۹) و (۲۰۰۱) که با تعریف یک مدل تجربی تایر و شبیه سازی تایر در حال چرخش سعی در بالابردن دقت شبیه سازی و کم کردن عوامل تأثیر گذار در مدل کردن تایر داشت [۸] و [۱۴]، ایواساکی[7] و هایاشی[8] (۱۹۹۹) که با استفاده از روش المان محدود، با شبیه سازی تایر به بررسی نیروهای وارده به تایر در حال حرکت پرداختند [۹] و [۱۰]، یاسوی[9] و همکاران (۲۰۰۰) که طی مقاله ای با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به محاسبه پارامترهای موثر بر تایر پرداختند که از آن جمله می توان به فشار باد و بار موثر به تایر اشاره کرد [۱۱]، برچ[10] (۲۰۰۰) که در زمینه مدل سازی تایر و شبیه سازی فرمان دادن و ترمز کردن و نیروهای ناشی از آن نتایج تئوری جامعی ارائه دادند [۱۲]، لاکمب[11] (۲۰۰۰) که با مدلسازی تایر در حال حرکت در سطوحی با ضریب اصطکاک بالا و پایین به بررسی این پارامتر و تأثیرات آن پرداختند [۱۳]، شیراشی[12] (۲۰۰۱) نیز با تعریف مدل جدید المان محدودی از تایر به بررسی شرایط پایداری تایر پرداخته و عوامل موثر بر آن را تحلیل می کند [۱۵]، کاگایاما و کواهارا[13] (۲۰۰۲) که در زمینه تحلیل و آنالیز زاویه، نیرو و گشتاور کمبر تحقیقات وسیعی انجام دادند و با مدلسازی آزمایشگاهی توانستند با فرمولاسیون نیرو و گشتاور حاصل از زاویه کمبر، این پارامتر مؤثر بر عمر تایر را بیشتر بررسی کنند [۱۶]، یومنو[14] (۲۰۰۲) که با شبیه سازی تایری با حرکت نوسانی به محاسبه نیروی اصطکاک بین تایر و زمین پرداخت [۱۷]، ایچی[15] (۲۰۰۳)

---

[1] Deak and Atluri
[2] Patal
[3] Deslinazi and Ridha
[4] Raper
[5] Taniguchi
[6] Gim
[7] Iwasaki
[8] Hayashi
[9] Yasui
[10] Brach
[11] Lacombe
[12] Shiraishi
[13] Kageyama and Kuwahara
[14] Umeno
[15] Eiichi

که با مدل کردن تایر با سرعت های معین به تخمین نیروهای وارد به چرخ می پردازد [۱۸]، ژانگ[1] (۲۰۰۴) که با مدل المان محدود تایر به تخمین نیروهای وارده از طرف زمین به تایر پرداخت [۱۹]، هیونگ[2](۲۰۰۴) که در زمینه سطح تماس تایر و تنش های حاصله نمودارهای تجربی را ارائه کردند [۲۰]، فوکوشیما[3] (۲۰۰۴) که با شبیه سازی دور زدن اتومبیل به بررسی تأثیرات آن بر مدل المان محدود تایر پرداخت [۲۲] و اسمیت[4] (۲۰۰۴) که با تمرکز روی زاویه کمبر و زاویه لغزش به عنوان پارامترهای موثر در مدل سازی تایر توانست نتایج تجربی و در نهایت فرمولهای کاربردی در خصوص زوایای یاد شده ارائه دهد [۲۴]، نام برد.

مقالات ارائه شده در سالهای اخیر مسأله تایر را با استفاده از الگوریتم اجزاء محدود از جنبه های مختلف مورد بررسی قرار می دهند و این در حالی است که مسأله تحلیل تایر هنوز در مرحله توسعه و تکامل است.

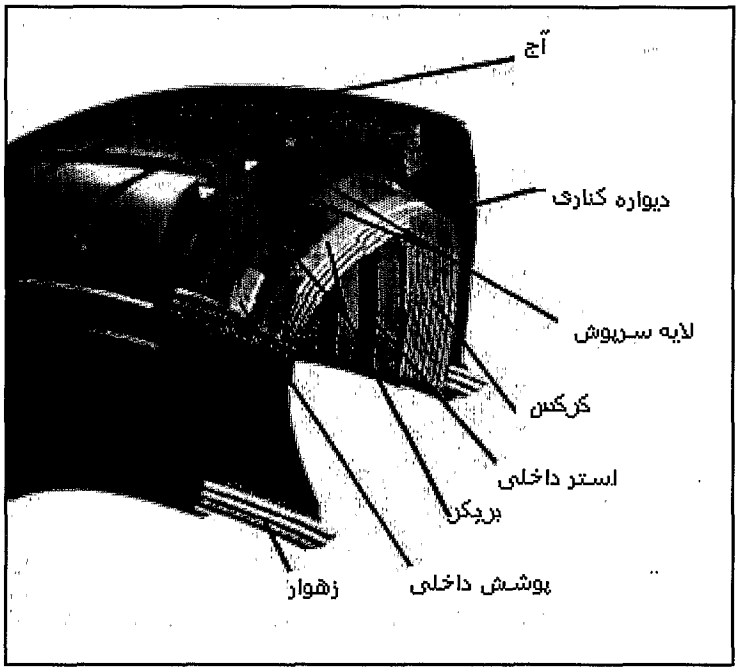
[1] Zhang
[2] Hyung
[3] Fukushima
[4] Smith

۲- آشنایی با تایر و زوایای کمبر و لغزش

۲-۱- اجزای تشکیل دهنده تایر

خواصی چون تحمل بار و ضربات وارده از طرف جاده، ضربه پذیری، مقاومت در مقابل سایش، دارا بودن ضریب اصطکاک و انتقال حرارت مناسب، عمر و دوام کافی و ایمنی در رانندگی از یک تایر مناسب انتظار می رود. برای به وجود آمدن خواص فوق، مواد لازم با ترکیبات و مشخصات مربوطه د ر کنار هم قرار گرفته و بخش های مختلف تایر را تشکیل می دهند.

نمایی از اجزاء اصلی یک تایر را در شکل ۲-۱ مشاهده می کنیم. تایر شامل اجزاء تشکیل دهنده ای همچون کرکس، بریکر، تاج، دیواره ها، آج ها و زهواره می باشد که این اجزاء از ساختارهای متفاوت برای عملکرد های متفاوت تولید می شوند.



شکل ۲-۱: نمایی از تایر و اجزا تشکیل دهنده

۲-۱-۱- آج تایر[1]

این قسمت به عنوان رابط بین سطح جاده و تایر، با ترکیبی از لاستیک‌های طبیعی و مصنوعی به عنوان لایه خارجی وظیفه محافظت از بدنه را در برابر سایش و صدمات احتمالی بر عهده دارد. طرح‌های مختلف آج برای تخلیه بهتر آب از زیر تایر و افزایش قابلیت تایر در برخورد با شرایط گوناگون سطح جاده ساخته می‌شود. می‌توان به طرح‌های رگه‌ای[2]، عرضی[3]، ترکیبی از عرضی و رگه‌ای[4] و بلوکی[5] اشاره کرد که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. برای مثال طرح رگه‌ای در تایرها جهت استفاده در جاده های هموار برای حرکت سریع کاربرد دارد. مقاومت بالا در برابر لغزش و صدای کم از جمله ویژگی‌های این طرح است. همچنین در مورد طرح عرضی می‌توان گفت تایر با این آج نسبت به طرح رگه‌ای، کشش بهتری دارد، اما صدای آن زیاد است و مقاومت کمی هم در برابر لغزش دارد. این طرح بطور کلی بیشتر مناسب خودروهایی است که در مسیرهای ناهموار تردد می‌کنند. طرح بلوکی تایر نیز بیشتر در تایرهای ویژه برف کاربرد دارد، زیرا باعث کاهش لغزش در جاده‌های برفی می‌شود. آج باید دارای خصوصیاتی نظیر مقاومت در مقابل سایش و پارگی باشد و نیز سختی بیشتری نسبت به دیگر نقاط دارا باشد تا ضربات وارده را کمتر به اجزاء دیگر منتقل نماید، این بخش از لاستیک ساخته شده و خصوصیات آن در راستاهای مختلف تقریبا برابر و همگن می باشد در این تحلیل خصوصیات این ناحیه همگن و ایزوتروپیک فرض شده است. در شکل ۲-۲ نمایی از چهار مدل آج معرفی شده نمایش داده شده است.

۲-۱-۲- دیواره پهلویی[6]

این بخش به عنوان محافظ لایه های داخلی تایر به نام کرکس عمل می کند، دارای خواص انعطاف پذیری بوده و بایستی جنس آن به گونه ای در نظر گرفته شود که حرارت ایجاد شده را به بیرون انتقال دهد. این قسمت دارای کمترین ضخامت نسبت به سایر نواحی بوده و از آنجا که دائما در حال نوسان و تغییر شکل حین حرکت اتومبیل است و نیز به طور مستقیم در

[1] Tread
[2] Rib
[3] Lug
[4] Rib & Lug
[5] Block
[6] Sidewall