

## بهینه سازی ساختار تایر خودرو با بهترین انتخاب از مواد تشکیل دهنده تایر

ایمان انصاری پور

شرکت لاستیک خوزستان

### چکیده

صنعت خودرو از همان آغاز در سراسر جهان به طور مداوم در حال پیشرفت بوده است، تایرها تحت تاثیر شرایط های مختلفی همچون سطوح جاده، شرایط محیطی، شرایط عملکردی، شرایط نگه داری و رخدادهای آسیب قرار می گیرند. تایر اساسا یک کامپوزیت لاستیکی تقویت شده با الیاف است. به عبارت دیگر یک تایر از فرمولاسیون پیچیده الاستومر، نخ ها، منسوجات و سیم فولادی است. ساختار تایر در واقع شامل تعداد، محل و ابعاد اجزای مختلف استفاده شده در ساختمان یک تایر را تعریف می کند. اجزای اصلی که بر عملکرد یک تایر حکم می کنند. لایه ها، ساختمان بید، بلت ها، اپکس، اینر الینر، ترد و کپالی هستند. این تحقیق با هدف بهینه سازی ساختار تایر خودرو با بهترین انتخاب از مواد تشکیل دهنده تایر و با استفاده از مدل آباکوس و مدل آدامز و با استفاده از روش بهینه سازی تاگوچی و با در نظر گرفتن نرخ زاویه غلت و نرخ زاویه سمت، مواد تشکیل دهنده تایر بهینه سازی خواهد شد. یافته های تحقیق نشان می دهد که به منظور اعتبار سنجی مدل المان محدود تایر خودرو در نرم افزار آباکوس بارگذاری ها و شرایط مرزی از مدل آباکوس هِلپ برای تایر خودرو استفاده شده است و با نتایج شبیه سازی و مدل های تایر فیالا مقایسه شد. اختلاف بسیار کم بین تمامی مدل های در نظر گرفته شده برای تایر در آباکوس نشان دهنده ی دقت بالای مدل سازی در تایر خودرو می باشد.

**کلمات کلیدی:** بهینه سازی، تایر، خودرو.



## مقدمه

صنعت خودرو از همان آغاز در سراسر جهان به طور مداوم در حال پیشرفت بوده است و نیازمندی این صنعت به نوآوری غیر قابل انکار است توسعه دینامیک خودرو از تجسم اولیه برنامه ها بر اساس پارامترهای مختلف از جمله اهداف عملکردی نیازهای مشتری و محدودیت های مالی و غیره شروع شده است. تعیین اجزا خودرو می تواند متناسب با نیاز مشتری و تا حدی مرتبط با وسیله نقلیه باشد. در مبحث هندلینگ خودرو با در نظر گرفتن نیازهای مشتری بایستی طراحی ها صورت گیرند یکی از مسائلی که در بحث طراحی اهمیت قابل توجهی دارد مبحث طراحی تایر خودرو است تایرها از اجزای اصلی در خودرو هستند که نیروهای ایجاد شده بین آن ها و جاده و تاثیرات آیرودینامیکی، موجب حرکت وسیله نقلیه می شوند اولین قدم برای تحلیل ایمنی و عملکرد خودرو محاسبه نیروهای تماسی تایر و جاده است. ویژگی تایرها در کیفیت سواری فرمان پذیری هندلینگ، شتاب گیری ترمز گیری و به طور کلی در تمامی رفتارهای دینامیکی وسیله نقلیه مؤثر است رابطه بین ساختار و مواد تایرها در عملکرد آن ها یک رابطه مهم است که شناسایی آن می تواند در بهینه سازی تایر و بهبود فرمان پذیری استفاده شود (رحیمی بیگی، ۱۳۹۹: ص ۱۰). بهبود کاهش مصرف انرژی در تایر که حدود ۳۰٪ از کار مکانیکی مفید حاصل از مصرف سوخت در نتیجه پدیده هیستریزس در تایر حرارت تبدیل می شود (روشن دل، ۱۳۹۰: ص ۴۰). تایرهای جزیبی از وسیله نقلیه می باشد که وظیفه آن ها انتقال نیروها و گشتاورها به وسیله نقلیه می باشد که این نیروها و گشتاورها حاصل پاسخ به واکنش های دینامیکی وسیله نقلیه و راننده می باشد که نمون های از آن چرخش فرمان وسیله نقلیه می باشد و کمترین وظیفه تایر مربوط به تحمل نیروی وزن حاصل از وسیله نقلیه می باشد. همچنین، تایرها تحت تاثیر شرایط های مختلفی همچون سطوح جاده، شرایط محیطی، شرایط عملکردی، شرایط نگه داری و رخدادهای آسیب قرار می گیرند. تایر اساسا یک کامپوزیت الاستیکی تقویت شده با الیاف است. به عبارت دیگر یک تایر از فرمولاسیون پیچیده الاستومر، نخ ها، منسوجات و سیم فولادی است. ساختار تایر در واقع شامل تعداد، محل و ابعاد اجزای مختلف استفاده شده در ساختمان یک تایر را تعریف می کند. اجزای اصلی که بر عملکرد یک تایر حکم می کنند. لایه ها، ساختمان بید، بتل ها، اپکس، اینر الینر، ترد و کپالی هستند (رشیدی مقدم، ۱۴۰۱: ص ۴). در این راستا رشیدی مقدم و همکاران (۱۴۰۱)، در تحقیقی تحت عنوان "شناخت عوامل مؤثر بر دوام تایر و ارتباط بین آن ها" بیان داشتند که «تایر به دلیل آنکه مستقیما با عملکردهایی همچون ترمزگیری، شتاب گیری و راحتی سرنشین در ارتباط می باشد، یک جزء بسیار مهم و ویژه برای خودرو می باشد. افزایش دوام تایر و اهمیت دادن به این پارامتر باعث افزایش امنیت جاده ای خواهد شد. نکته قابل توجه این است که عمر خستگی تایر باید همواره بیشتر از عمر سایش آن باشد و اگر عمر سایش افزایش یابد متناسب با آن عمر خستگی نیز باید افزایش می یابد. خستگی یک علت معمول در مورد واماندگی تایرهای رادیال با بتل فولادی می باشد. پارامترهایی همچون گرما، سرعت، ساختار تایر و پیرشدگی بر روی عمر خستگی تایر اثر گذار می باشد. در این مقاله اثر عواملی همچون گرما، سرعت، عمر خستگی و پیرشدگی بر روی دوام تایر و ارتباط بین آن ها مطالعه شده است. همچنین نحوه ایجاد ترک و شروع رشد ترک در سر بتل بررسی شده است. در انتها تاثیر تعداد سیم های بتل و آرایش آن بر روی استحکام ناحیه بتل نشان داده شده است. در این مقاله نشان داده شده است که عامل مکانیکی به خصوص بحث خستگی تایر باعث ایجاد ترک و شروع رشد ترک بر اثر بارهای نوسانی می شود. همچنین به علت خاصیت ویسکوالاستیک کامپاند، در نواحی بحرانی تایر گرمای زیادی ایجاد می شود که این گرما باعث کاهش عمر تایر می شود. همچنین پیرشدگی همراه با گرما باعث کاهش استحکام کششی و تخریب تایر می شود». 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 می شود. عوامل و پارامترهای بسیار متعددی در خوش فرمانی خودرو مؤثر می



باشند 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 می‌باشند که عبارتند از:

(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 (رشیدی مقدم، ۱۴۰۱: ص ۴).

به همین جهت، در این مقاله به موضوع بهینه‌سازی ساختار تایر خودرو با بهترین انتخاب از مواد تشکیل دهنده تایر پرداخته ایم.

## روش و طرح تحقیق

در این تحقیق، ابتدا مدل اجزای محدود تایر در نرم افزار آباکوس ایجاد خواهد شد. سپس با استفاده از این مدل اجزای محدود ضرایب مدل دینامیکی تایر شامل مدل پوشیکا و فیلا برای تایر استخراج خواهد شد. در ادامه مدل کامل خودرو در نرم افزار آدامز ایجاد شده و از ضرایب تایر مدل فیلا که در بخش قبل به دست آمدند در این مدل کامل استفاده خواهد شد. سپس برای انجام تست دینامیکی خودرو از مانور ورودی فرمان پله بهره برده خواهد شد. در نهایت از ترکیب مدل آباکوس و مدل آدامز و با استفاده از روش بهینه‌سازی تاگوچی و با در نظر گرفتن نرخ زاویه غلت و نرخ زاویه سمت، مواد تشکیل دهنده تایر بهینه‌سازی خواهد شد.

## ➤ اصول اولیه مربوط به دوام تایر

خستگی یک علت معمول در مورد واماندگی تایرهای رادیال با بت فولادی است، در ساختار تایر خستگی از طریق یک فرایند مربوط به رشد جلورونده ترک از نواحی دارای تنش و کرنش بیش از حد مجاز و در طول بارگذاری دینامیکی اتفاق می‌افتد، همچنین در یک ماده ویسکوالاستیک فاکتورهایی همچون دما و نرخ بارگذاری بر روی استحکام ماده تاثیر گذار است آسیب‌های ناشی از شکست مربوط به بت و لایه سیمی پارگی مربوط به پنچری عدم خلوص و فشار داخلی در محدوده ساختار داخلی درون تایر باعث افزایش سرعت روند فرایند خستگی و یا واماندگی ناگهانی می‌شود (رشیدی مقدم، ۱۴۰۱: ص ۱۶).

## ➤ خواص دینامیکی-مکانیکی کامپوزیت نیتریل-نانوسیلیکا

آزمون دینامیکی-مکانیکی یکی از آزمون‌های مهم تجزیه و تحلیل کامپوزیت‌های لاستیکی است که تغییرات ساختاری پرکننده در کامپوزیت‌ها را از طریق متغیرهای ضریب اتلاف و مدول ذخیره نشان می‌دهد. با افزایش مقدار ذرات نانوسیلیکا، ارتفاع قله ی ضریب اتلاف کاهش یافته، به سمت دماهای بالاتر انتقال پیدا میکند. معمولاً با کاهش بازده پخت و چگالی پیوند عرضی، ارتفاع قله ی ضریب اتلاف افزایش یافته، مقدار دمای قله ضریب اتلاف به سمت دمای پایین‌تر منتقل می‌شود. همچنین افزایش غلظت نانو ذرات در لاستیک کامپوزیت، ارتفاع قله ی ضریب اتلاف را کاهش می‌دهد و مکان آن را به سمت دمای بالاتر انتقال می‌دهد. بنابراین افزایش بازده پخت کامپوزیت در اثر برهم کنش پرکننده با لاستیک و همچنین محدود شدن تحرک زنجیر پلیمری نزدیک سطح نانو ذرات، از عوامل جابه جایی قله



ی ضریب اتلاف به سمت دمای بالاتر در کامپوزیت نیتریل- نانو سیلیکا محسوب می شود (خبری، ۱۳۹۶: ص ۵۹).

### ➤ اثر لاستیک بازیافتی بر خواص ویسکوالاستیک و رئولوژی لاستیک طبیعی

در کرنش های برشی کم وجود پرکننده در لاستیک بازیافتی باعث می شود که مدول و گشتاور ذخیره (G) و (S) و مدول و گشتاور اتلاف G و S لاستیک بازیافتی به ترتیب بیشتر و کمتر از لاستیک طبیعی (S) باشد. دلیل این امر وجود پرکننده دوده و سیلیکا در لاستیک بازیافتی است اما در کرنش های برشی متوسط طول محدوده رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی در لاستیک های بازیافتی در مقایسه با لاستیک طبیعی بزرگتر است در کرنش های برشی زیاد مجدداً رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی کاهش می یابد و روندی مشابه کرنش های برشی کم بر آن حکم فرماست با این تفاوت که طول این محدوده در لاستیک بازیافتی و آمیخته ها کوچک تر از لاستیک طبیعی است رفتار ویسکوالاستیک آمیخته های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی شبیه پلیمری است که سهم بیشتری در ساختار آمیخته دارد. اما، مقدار گشتاور و مدول هم ذخیره و هم اتلاف در همه آمیخته ها به دلیل عدم سازگاری و ناهمگنی طبیعی به همین دلیل کشسانی آمیخته ها کمتر از مقدار خالص است فازی کامل کمتر از لاستیک بازیافتی و لاستیک پیش بینی شده بر اساس قانون مخلوط های ایده ال است و هرچه مقدار لاستیک طبیعی در آمیخته کمتر می شود این انحراف بیشتر شده خواص کشسانی کمتر از مقدار مورد انتظار می شود. پدیده ویسکوالاستیک غیر خطی Payne که در آمیزه های لاستیکی دارای پرکننده به دلیل تشکیل و شکست شبکه های پرکننده روی می دهد در لاستیک بازیافتی به وضوح مشاهده می شود سرعت بیشتر افزایش عامل اتلاف ( $\tan \delta$ ) در این آمیخته ها نیز مؤید این مطلب است که می توان آن را به همگنی فازی بیشتر در این ترکیب درصد آمیخته نسبت داد (دارستانی فراهانی، ۱۳۸۵: ص ۲۸۱).

### ➤ تاثیر اکسیژن بر پیرشدگی تایر

واکنش اکسیژن با الاستومرها باعث تخریب زنجیره ی اصلی و اتصالات عرضی می شود. در دماهای پایین تشکیل اتصالات عرضی اکسیژن رخ می دهد که منجر به افزایش مدول و سختی و نیز کاهش ازدیاد طول تا نقطه پارگی می شود. با این وجود، تخریب زنجیره ی الاستومرها در دمای بالاتر اتفاق می افتد و یا در زمان طولانی تر با دمای پایین تر، که این امر منجر به کاهش استحکام کششی و تخریب بیشتر می شود. در دماهای پایین تر از ۸۰ درجه سانتیگراد نفوذ اکسیژن سریع تر از مقدار مصرف آن می باشد، درحالی که در دماهای بالاتر این روند برعکس می شود. نفوذ اکسیژن به شکل محدودی برای قطعات با ضخامت زیاد در دماهای بالاتر اتفاق می افتد. تغییرات مدول، استحکام کششی و ازدیاد طول ناشی از حضور اکسیژن با لگاریتم غلظت آن متناسب است. علاوه بر این وجود فلزاتی مانند کبالت، روی، مس و آهن در شبکه لاستیکی باعث افزایش سرعت تخریب آن می شود. متفاوت بودن نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی و ارزیابی آزمون های میدانی نشان دهنده تاثیرات پیچیده شرایط سرویس است، که ناشی از تغییر شکل های مکانیکی است (رشیدی مقدم، ۱۴۰۱: صص ۲۶-۲۷).

### ➤ جایگزین دوده در لاستیک

با توجه به اثرات مخرب دوده به عنوان پرکننده غالب در آمیزه های لاستیکی بر روی محیط زیست و همچنین افزایش مصرف سوخت های فسیلی در تایرهای ساخته شده با این پرکننده، میت وان از پرکننده معدنی با پایه سیلیکاتی که از معادن داخل ایران به دست آمد به عنوان جایگزین بخشی از دوده (۳۰٪) استفاده شد. اندازه ذرات بر



اساس روش تفرق دینامیک نور (DLS) اندازه گیری و به منظور بررسی گروه های عاملی پراکننده معدنی روش IR (فروسرخ) به کار گرفته شد (شفیعی، ۱۳۹۶: ص ۲۹).

در تحقیقی حداقل گشتاور نیرو، حداکثر گشتاور نیرو و اختلاف آن ها با افزایش مقدار پودر لاستیک طبیعی در مخلوط های RRP/NR افزایش یافت، در حالی که زمان برشتگی و زمان پخت روندی مخالف را نشان دادند. مخلوط های RRP/NR پخت شده با سیستم وولکانش معمولی از بالاترین میزان حداقل گشتاور نیرو، حداکثر گشتاور نیرو و اختلاف آن ها برخوردار بودند، اما زمان پخت (T90) برای آن ها طولانی تر شد. با افزایش مقدار RRP در مخلوط های RRP/NR مدول کششی و سختی افزایش یافت، ولی استحکام کششی، استحکام پارگی، جهندگی و ازدیاد طول تا پارگی کاهش یافت. گرچه سیستم پخت معمولی بیشترین مدول کششی و سختی را نشان داد، ولی مخلوط های RRP/NR پخت شده با سیستم وولکانش کارا از بالاترین استحکام کششی، استحکام پارگی، جهندگی و ازدیاد طول تا پارگی برخوردار بودند و سیستم های وولکانش نیمه کارا و معمولی در رده های بعدی قرار گرفتند (حنفی، ۱۳۸۲: ص ۳۷۳).

#### ➤ اثر لاستیک بازیافتی و پودر لاستیک بر خواص فیزیکی، دینامیکی و فرایندی آمیزه NR/BR

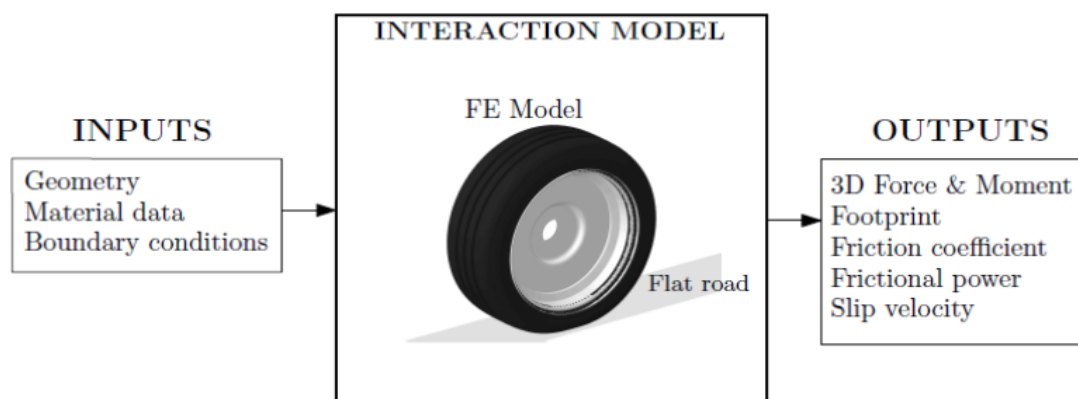
با جایگزینی مقدار مناسبی از آمیزه NR/BR با لاستیک بازیافتی (تا حداکثر ۱۰phr پودر یا لاستیک بازیافتی) می توان با حفظ خواص فیزیکی سایر خواص از جمله سرعت پخت مقاومت در برابر رشد، ترک، مقاومت پارگی و فرایند پذیری را بهبود بخشید. استفاده از لاستیک بازیافتی باعث بهبود قابل توجه در سرعت پخت می شود که انتظار می رود با استفاده از این ویژگی بتوان با تغییر سامانه پخت به عنوان مثال کم کردن شتاب دهنده یا روی اکسید (به قیمت آمیزه را باز هم کاهش داد. از طرفی با وجود لاستیک بازیافتی، مقاومت پارگی اندکی افزایش یافته و مقاومت در برابر رشد ترک نیز بهبود قابل توجهی می یابد. در نمونه دارای ۵phr پودر لاستیک و ۵phr لاستیک بازیافتی، استحکام کششی تقریباً ثابت مانده و در سایر نمونه ها روند کاهشی داشته است. وجود لاستیک بازیافتی باعث کاهش تورم پس از حدیده در اکسترودر آزمایشگاهی شده است. نکته قابل توجه این است که وجود لاستیک بازیافتی (پودر لاستیک یا لاستیک بازیافتی) تا ۱۰phr، اثر قابل توجهی بر مقدار اتصالات عرضی و مدول آمیزه بر پایه NR/BR نگذاشته است (احمدی، ۱۳۸۷: ص ۲۲۲).

#### ➤ شبیه سازی تایر در نرم افزار آباکوس

با توجه به اهمیت مدل سازی های کامپیوتری در صرفه جویی وقت و هزینه ها به منظور طراحی و تولید محصولات جدید و پیچیده امروزه سعی می شود تا حد امکان از روش های اجزا محدود که یکی از معتبرترین روش های شبیه سازی کامپیوتری هستند، استفاده گردد. با استفاده از نرم افزار آباکوس مدل تقریباً کاملی از تایر رادیال خودرو سواری تهیه شده است. به گونه ای که ابتدا مدل دو بعدی وارد نرم افزار آباکوس می شود و در آنجا پس از اعمال مشخصات لایه های تشکیل دهنده، آن مش بندی و بارگذاری مدل سه بعدی تایر با دوران مدل دو بعدی حول محور، دوران شبیه سازی می شود بعد از مدل سازی سطح جاده و تماس آن با تایر تحلیل حرکت یکنواخت انجام می شود و در ادامه حرکت با زاویه لغزش سه درجه به دلیل اهمیت امنیت خودرو مورد استفاده قرار می گیرد.

## ➤ مدل دو بعدی تایر

شماتیکی از شبیه سازی مدل المان محدود تایر در شکل زیر نشان داده می شود:



«شماتیکی از نقشه راه شبیه سازی اجزای محدود تایر خودرو»

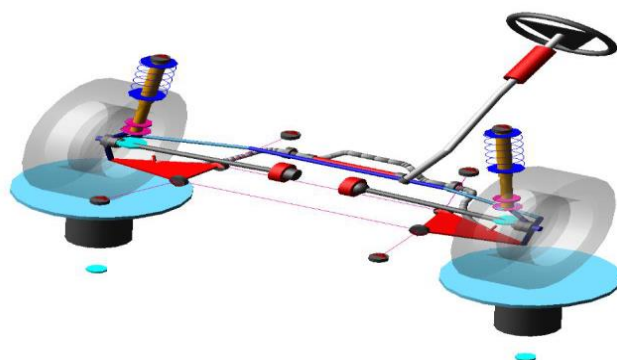
## ➤ مشخصات دینامیکی خودرو

«جدول مشخصات دینامیکی خودرو»

مقدار	آیتم
۲۶۳۰	فاصله محوری (میلی متر)
۱۴۶۵	فاصله عرضی جلو (میلی متر)
۱۴۵۵	فاصله عرضی عقب (میلی متر)
۱۱۰۹۵/۵	وزن خالص (کیلوگرم)
$X=۹۵۵/۷, Y=۳/۶, Z=۴۰۰$	مرکز جرم (میلی متر)
۰/۱۶۷ و ۰/۷۳۳	زاویه کمبر جلو و عقب (درجه)
۷/۲	زاویه کستر (درجه)
۱۰/۲۸	زاویه کینگ پین (درجه)

## ➤ مدل سازی سیستم تعلیق عقب و جلو

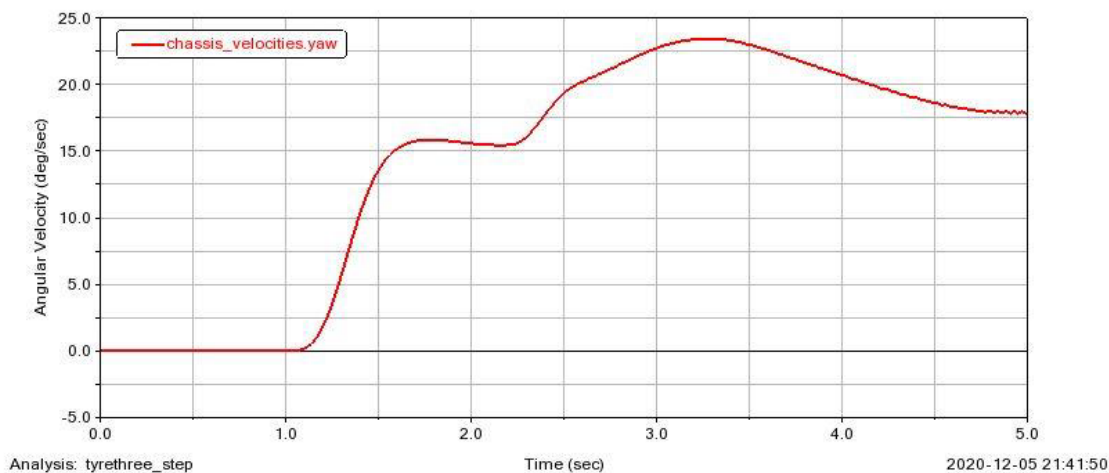
از مهمترین سیستم هایی که در رفتار دینامیک خودرو تاثیر به سزایی دارد سیستم تعلیق جلو و عقب می باشد. برای این منظور باید اطلاعات هندسی شامل موقعیت نقاط اتصال هندسه میل تعادل زوایای چرخ قطعات به صورت دقیق مدل شود. اطلاعات مربوط به سختی فنر بوش ها و همچنین استهلاک کمک و وزن فنر از مهمترین اطلاعات عملکردی می باشند که باید به طور دقیق از اطلاعات نقشه ها و یا از نتایج تست ها استخراج گردند.



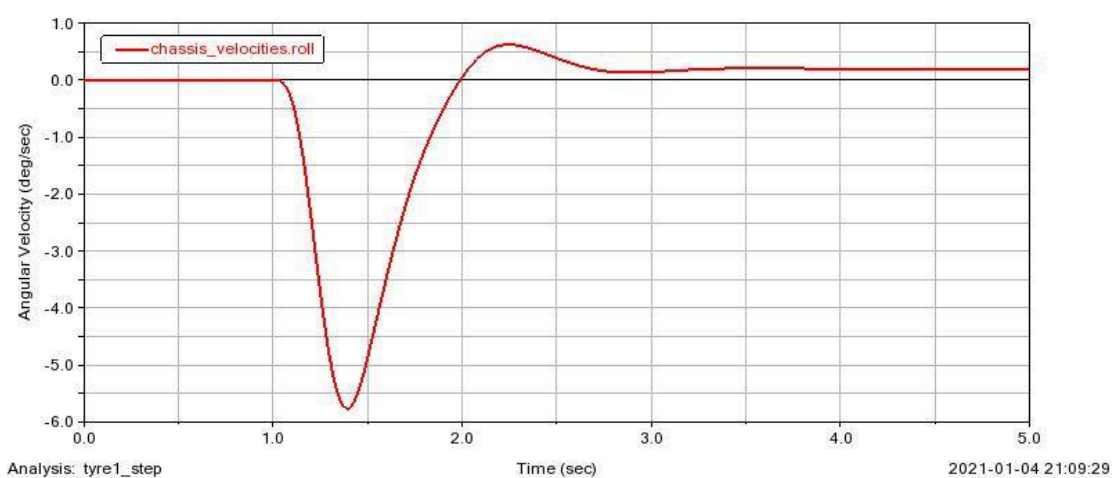
«مدل سیستم تعلیق جلو و فرمان»

### ➤ نتایج مدل سازی آدامز

همانطور که در شکل زیر مربوط به نمودار نرخ زاویه غلت بر حسب زمان قابل مشاهده است نرخ زاویه غلت خودرو در شرایط پایدار حرکت صفر می شود ولی همان طور که در نمودار قابل مشاهده است وجود مقدار اندکی اختلاف نسبت به صفر در محاسبات نشان از خطای جزئی محاسبات توسط نرم افزار می دهد.



«نمودار نرخ زاویه سمت خودرو بر حسب زمان در تایر اول»



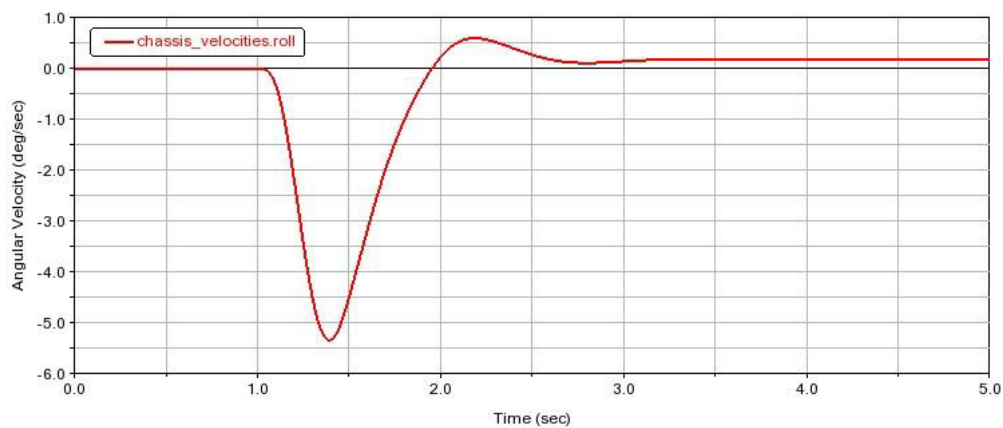
«نمودار نرخ زاویه غلت خودرو بر حسب زمان در تایر اول»

### ➤ پارامترهای طراحی تایر در تاگوچی

«جدول پارامترهای طراحی تایر در تاگوچی»

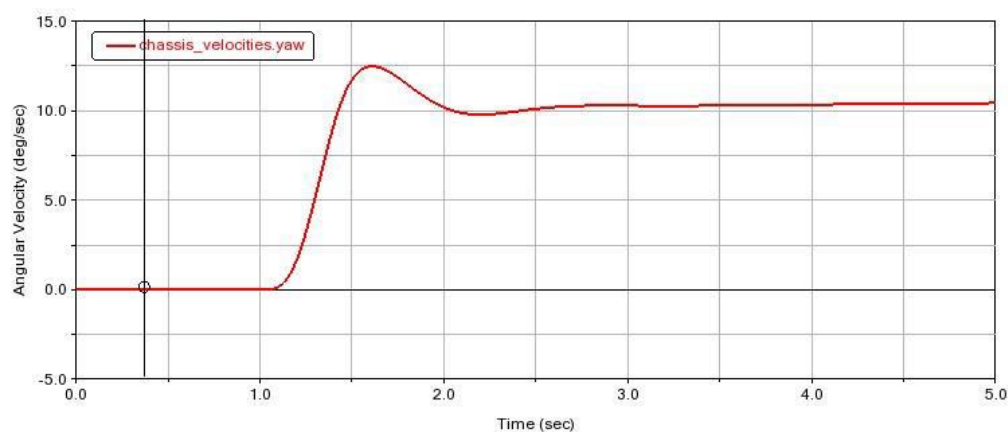
شماره سطح پارامتر طراحی	سطح شماره یک	سطح شماره دو	سطح شماره سه
ضریب هایپر الاستیک آج	۷۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰
ضریب الاستیک منجید	۹۸۷۰۰۰۰۰۰	۱۲۸۳۱۰۰۰۰۰	۶۹۰۹۰۰۰۰۰
ضریب الاستیک تسمه	۱۷۲۲۰۰۰۰۰۰۰	۱۲۰۵۴۰۰۰۰۰۰	۲۲۳۸۶۰۰۰۰۰

Slope:	Min:	Max:	Avg:	RMS:	# of Points:
13.2373	-5.3398	0.5959	-0.3335	1.347	501



«نمودار روش استخراج بیشینه مقدار نرخ زاویه غلت در تایر بیست و چهارم»

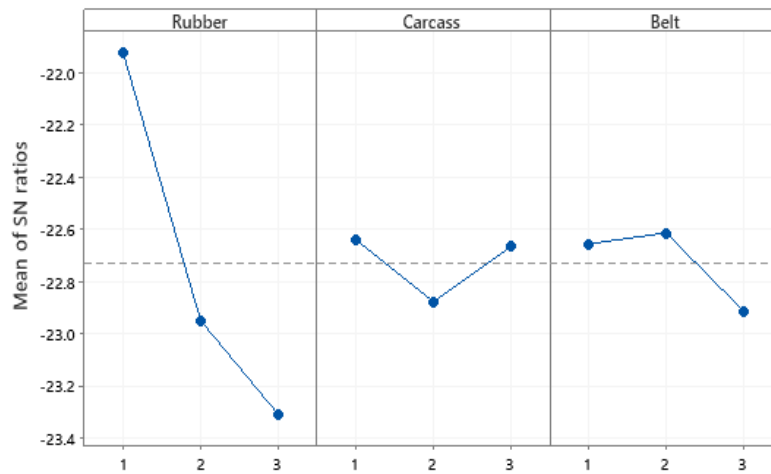
Slope:	Min:	Max:	Avg:	RMS:	# of Points:
4.4091E-04	-2.3243E-04	12.4837	7.7481	8.9552	501



«نمودار روش استخراج بیشینه مقدار نرخ زاویه سمت در تایر بیست و چهارم»

Main Effects Plot for SN ratios

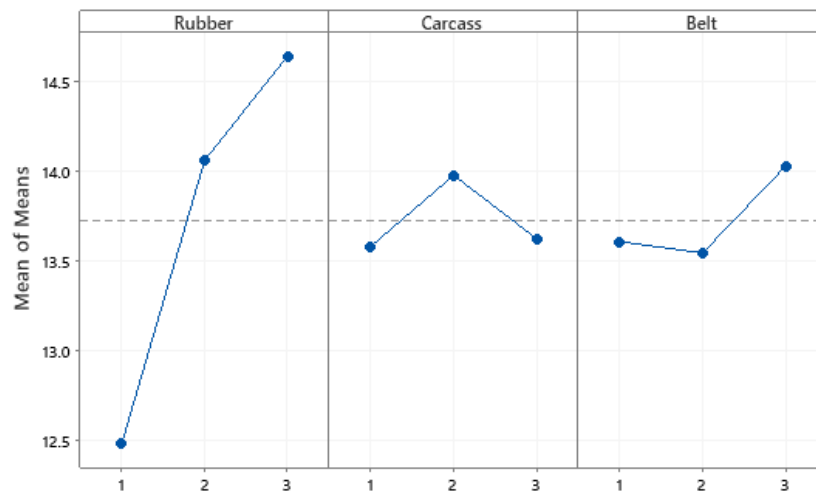
Data Means



Signal-to-noise: Smaller is better

Main Effects Plot for Means

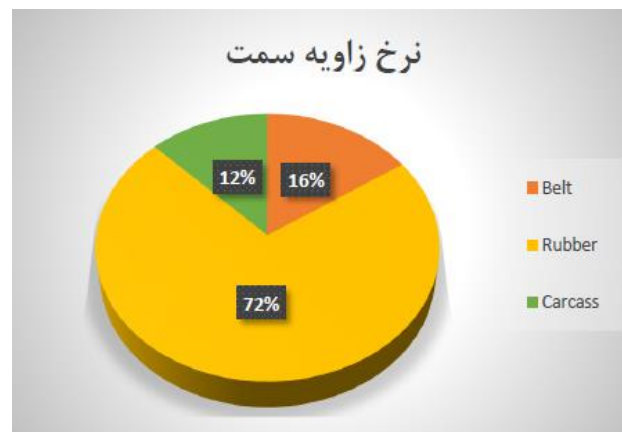
Data Means





«نمودارهای سیگنال به نویز در بهینه سازی تایر خودرو با ۳۰ درصد تغییرات در ضرایب ساختاری با تابع هدف زاویه سمت»

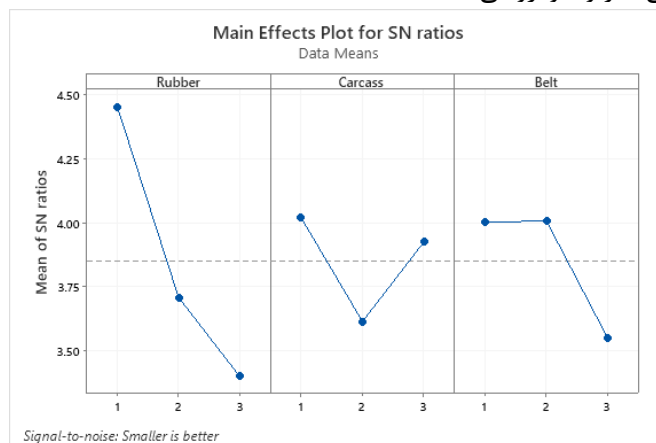
نمودارهای سیگنال به نویز در تحلیل های تاگوچی مشخص کننده تاثیرات همه پارامترهای طراحی می باشد به نحوی که مقدار هر پارامتر در این نمودارها بیشتر باشد تاثیر آن پارامتر هم در تابع هدف بهینه سازی بیشتر بوده است. در زیر می توان چگونگی صعود و نزول هر پارامتر با توجه به تابع هدف از پیش تعریف شده از نتایج شبیه سازی تایر در نرم افزار آباکوس و آدامز را در تمام پارامترهای طراحی آزمایش مشاهده کرد.

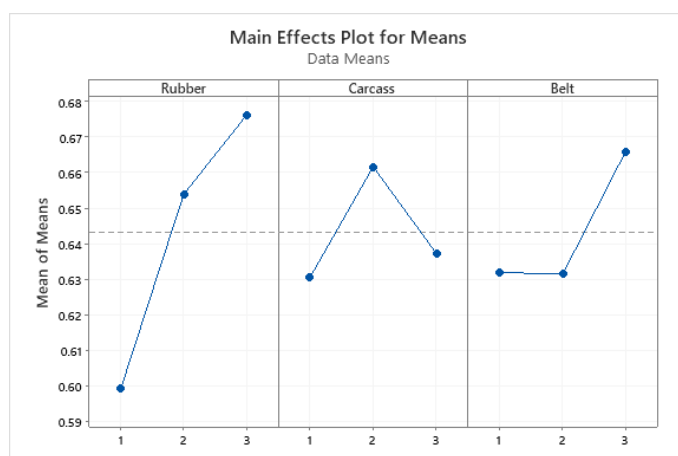


«نمودار درصد میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف تایر در زاویه سمت»

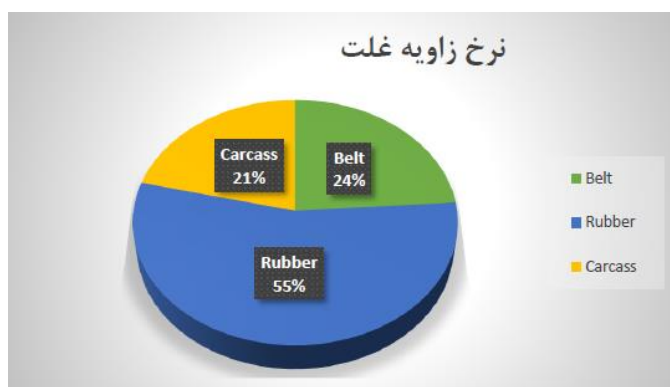
### ➤ نتایج بهینه سازی تاگوچی برای نرخ زاویه غلت

در بهینه سازی تاگوچی برای زاویه غلت خودرو همان مسیر بهینه سازی زاویه سمت طی می شود و نتایج آن برای حالت زاویه غلت گزارش می شود. این نکته قابل ذکر است که همانند بهینه سازی تاگوچی برای زاویه سمت مهمترین و تاثیر گذارترین پارامتر طراحی برای مواد تشکیل دهنده ساختار تایر خودرو، ابتدا ضریب هایپرالاستیک آج تایر و در رده بعد ضرایب الاستیسیته منجید و تسمه تایر خودرو میباشد. با توجه به تابع هدف بهینه سازی تعریف شده در تایر خودرو، نتایج جدول نشان می دهد که تغییرات ضریب هایپرالاستیک لاستیک آج تایر خودرو مهمترین پارامتر در تعیین میزان نرخ غلت کلی تایر و خودرو می باشد.





«نمودارهای سیگنال به نویز در بهینه سازی تایر خودرو با ۳۰ درصد تغییرات ساختاری با تابع هدف زاویه غلت»



«نمودار درصد میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف در تایر با تغییر خواص ۳۰ درصدی»

با توجه به نمودارهای سیگنال به نویز تاگوچی و همچنین نمودار بالا، درصد میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف طراحی در بهینه سازی پارامترهای طراحی ساختار مواد تشکیل دهنده تایر خودرو مشخص می کند که مهمترین و تاثیر گذارترین پارامتر طراحی برای مقادیر پارامترهای طراحی ساختار مواد تشکیل دهنده تایر خودرو در حالت آزمون نرخ زاویه غلت همانند آزمون زاویه سمت ابتدا ضریب هایپر الاستیک آج تایر با میزان تاثیر ۵۵ درصدی و در رده بعد ضریب تسمه و منجید تایر خودرو به ترتیب با میزان ۲۴ و ۲۱ درصد می باشند.



## ➤ بهینه سازی آزمایش های تاکوچی برای تایر خودرو

«جدول بهینه سازی آزمایش های تاکوچی برای تایر خودرو»

شماره آزمایش	هایپرالاستیک آج	الاستیسیته منجید	الاستیسیته تسمه	نیرو جانبی	سفتی جانبی	نرخ غلت	نرخ سمت
۲۷	۷۰۰۰۰۰	۶۹۰۹۰۰۰۰۰۰	۱۷۲۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۷۳/۶۷	۶۰۹	۰/۵۹۳۳	۱۲/۵۰۳۵

### نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، مدل المان محدود تایر یک خودروی سواری با حرکت یکنواخت و همچنین تحت لغزش ۳ درجه بررسی شد و در شبیه سازی تایر خودرو در نرم افزار آدامز و مدل های تایر فیلا مورد بررسی قرار گرفت به منظور اعتبار سنجی مدل المان محدود تایر خودرو در نرم افزار آباکوس بارگذاری ها و شرایط مرزی از مدل آباکوس هلیپ برای تایر خودرو استفاده شده است و با نتایج شبیه سازی و مدل های تایر فیلا مقایسه شد. اختلاف بسیار کم بین تمامی مدل های در نظر گرفته شده برای تایر در آباکوس نشان دهنده ی دقت بالای مدل سازی در تایر خودرو می باشد. ضریب هایپرالاستیک آج تایر، ضریب منجید و تسمه تایر خودرو به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده است. در تحلیل تاکوچی نرخ زوایای غلت و سمت به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است در بین ۲۷ آزمایش تاکوچی برای پارامترهای ساختاری تایر خودرو ۲۷ امین آزمایش برای تایر خودرو از نقطه نظر دینامیک حرکتی خودرو نتایج بهتری دارد. به دلیل این که در این حالت نمودار سیگنال به نویز آن ها مقادیر کمتری را از خود نشان می دهد ضریب هایپرالاستیک آج تایر خودرو مهمترین فاکتوری می باشد که بر زاویه غلت و زاویه سمت تایر خودرو بیشترین تاثیر را دارد و به ترتیب برای زاویه سمت و زاویه غلت ۷۴ و ۵۵ درصد این ضرایب تاثیر گذارند و ضریب منجید و تسمه تایر خودرو کمترین تأثیر گذاری را دارند در این پایان نامه به بهینه سازی ضریب هایپرالاستیک آج تایر و ضریب منجید و تسمه تایر خودرو سواری به منظور بهبود حرکت دینامیکی خودرو پرداخته شد.

### پیشنهادهای

با توجه به مطالعات صورت گرفته شده در این پایان نامه انجام کارهای آتی پیشنهاد می گردد:

- از مدل های بهینه سازی شده می توان به عنوان یک ابزار معتبر در مرحله اولیه طراحی تایر خودرو استفاده کرد در این پایان نامه بهینه سازی روی ضرایب ساختاری تایر خودرو سواری با سه متغیر طراحی و سه سطح انجام شد با توجه به تعداد کم متغیرهای طراحی پیشنهاد می شود روش های بهینه سازی با تعداد متغیرهای بیشتری مورد بررسی قرار گیرد.
- به دلیل گستردگی موضوع پایان نامه ساده سازی هایی در مدل دینامیکی خودرو انجام شد؛ لذا پیشنهاد می شود که در ادامه مدل دینامیک چند جسمی خودرو با تمام جزئیات بررسی شود و تاثیرات مدلسازی کامل و دقیق تر روی تایر خودرو مشخص شود.
- بهینه سازی تایر خودروهای سنگین مانند تریلرها به خصوص تریلرهای تولید داخل به منظور بهبود شرایط دینامیکی آن ها صورت گیرد.
- با توجه به وجود شرکت های سازنده تایر خودرو در ایران می توان مسیر همین پایان نامه را برای بهبود تایرهای تولید داخلی انجام داد مراحل کار مانند همین پژوهش می باشد با این تفاوت که ساختار تایرها و نوع بارهای وارد بر آن ها کمی متفاوت باشد.

## منابع

- رشیدی مقدم، مرتضی، و عاشورزاده، عبدالرسول. (۱۴۰۱). بررسی ساختار تایر بر روی هندلینگ تایر و بهینه سازی آن. صنعت لاستیک ایران، ۲۶ (۱۰۵).
- رشیدی مقدم، مرتضی، ذوالعلی، فرشید، و حاج ابراهیمی، فرحناز. (۱۴۰۱). شناخت عوامل موثر بر دوام تایر و ارتباط بین آن ها. صنعت لاستیک ایران، ۲۶ (۱۰۴)، ۱۵-۲۸.
- رحیمی بیگی، مهسا، (۱۳۹۹). بهینه سازی ساختار تایر خودرو با هدف بهبود هندلینگ.
- روشن دل، محمدرضا، بابایی جهرمی، آرش، بصیرت تبریزی، حسن، صمدی، حسین، و تاجدینی، فریبرز. (۱۳۹۰). بهینه سازی مصرف انرژی در تایر. (نشریه علمی ترویجی مهندسی مکانیک) مهندسی مکانیک، ۲۰ (۸۰)، ۴۰-۴۸.
- شفیعی، شیماء، تقوایی، سعید، و مطیعی، فرشته. (۱۳۹۶). به کارگیری پرکننده های بر پایه ارتو سیلیکات در ساخت آمیزه های لاستیکی تایر خودرو به منظور کاهش پدیده حرارت اندوزی. پژوهش های کاربردی در شیمی (پژوهش های شیمی کاربردی)، ۱۱ (۱)، ۳۷-۲۹.
- رشیدی مقدم، مرتضی، و عاشورزاده، عبدالرسول. (۱۴۰۱). بررسی ساختار تایر بر روی هندلینگ تایر و بهینه سازی آن. صنعت لاستیک ایران، ۲۶ (۱۰۵).
- خبیری، محمد، جعفری، سیدحسن، پورحسینی، محمدرضا، و خنکدار، حسین علی. (۱۳۹۶). اثر پدیده ی تورم بر ساختار پرکننده در نانوکامپوزیت لاستیک نیتریل-سیلیکا ویژه ی لاستیک مقاوم به حلا. پژوهش های کاربردی مهندسی شیمی - پلیمر، ۱ (۲ (پیاپی ۲))، ۶۶-۵۱.
- دارستانی فراهانی، طاهره، بخشنده، غلامرضا، و ابطحی، مجتبی. (۱۳۸۵). مطالعه اثر لاستیک بازیافتی بر خواص ویسکوالاستیک و رئولوژی لاستیک طبیعی. علوم و تکنولوژی پلیمر (فارسی)، ۱۹ (۴ (پیاپی ۸۴))، ۲۷۷-۲۸۳.
- احمدی، مهدیه، و یزدانی، راحله. (۱۳۸۷). بررسی اثر لاستیک بازیافتی و پودر لاستیک بر خواص فیزیکی، دینامیکی و فرایندی آمیزه NR/BR. علوم و تکنولوژی پلیمر (فارسی)، ۲۱ (۳ (پیاپی ۹۵))، ۲۱۷-۲۲۳.
- اسماعیل، حنفی، نوردین، رضیف، و موهدنور، احمد. (۱۳۸۲). اثر مقدار پودر لاستیک بازیافتی و انواع سیستمهای و ولکانش روی خصوصیات پخت و خواص مکانیکی مخلوط لاستیک طبیعی و پودر لاستیک بازیافتی. مجله ایرانی علوم و تکنولوژی پلیمر (انگلیسی)، ۱۲ (۵ (پیاپی ۴۷))، ۳۷۳-۳۸۰.



## Abstract

The automotive industry has been constantly present around the world since its inception, tires are affected by environmental conditions, environmental conditions, conditions, maintenance conditions and vulnerable damages. Tyrita is a fiber reinforced rubber compound. In other words, a tire is a complex formulation of elastomer, threads, textiles and steel wire. The actual tire structure includes the number, location and different components in the construction of a tire. The main components that determine the performance of a tire. The layers are willow construction, belts, apex, inner liner, crisp and capali. This research aims to optimize the car tire structure with the best selection of tire constituent materials and using the Abaqus model and Adams model and using the Taguchi optimization method and taking into account the roll angle rate and side angle rate, the tire constituent materials will be optimized. The findings of the research show that in order to validate the finite element model of the car tire in Abaqus software, loads and boundary conditions, the Abaqus Help model was used for the car tire and it was compared with the simulation results and Fiala tire models. The very small difference between all the models considered for tires in Abaqus shows the high accuracy of modeling in car tires.

**Keywords:** optimization, tire, car.