

## بررسی عوامل موثر بر سایش تایر خودروهای سنگین و خارج جاده‌ای و تکنولوژی‌های تخمین و کنترل آن

Investigating the factors affecting tire wear of heavy and off-road vehicles and technologies for its wear detection and control

### چکیده

از دلایل کوتاهی عمر تایرهای سنگین می‌توان به سایش اشاره کرد که می‌تواند بر اثر موارد مختلفی در تایر شکل گیرد. تایر خودروهای سنگین به دلایل مختلفی از قبیل فعالیت در زمین سنگی، وزن بالا، بارهای سنگین وارد شده از طرف خودرو بیشتر تحت تأثیر سایش قرار می‌گیرند و در نتیجه عمر کوتاه‌تری دارند اگرچه در مطالعات اخیر تحقیقاتی در زمینه سایش بر اثر چندین مورد انجام شده است. ولی در این مقاله به بررسی عوامل موثر بر سایش تایر خودروهای سنگین با توجه به شرایط خاص کاری آنها، این مطالعه به شناخت عوامل کلیدی و اصلی سایش تایر، ارائه مسیر مناسب کاری تایرها، تشخیص قسمت‌های حساس‌تر تایر، شناخت شرایط کاری بهتر، تکنولوژی‌های جدید تشخیص سایش و در نهایت کنترل این پروسه کمک خواهد کرد. در بخش پایانی مقاله به معرفی تکنولوژی تشخیص سایش با استفاده از صوت و آکوستیک و استفاده از شبکه عصبی و سنسورهای تشخیص سایش و معرفی تکنولوژی جدید تایرهای خودترمیم و تأثیر سایش تایر بر مصرف سوخت خودرو، پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: خودرو سنگین، تایر، شبیه‌سازی، سایش، آکوستیک، کنترل، تشخیص

نوع مقاله: پژوهشی

عاطفه احمدی<sup>۱</sup>، مسعود مسیح طهرانی<sup>۲\*</sup>، سلمان ابراهیمی نژاد رفسنجانی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، سیستم‌های دینامیکی خودرو، دانشکده خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1- atf.ahmadi1375@gmail.com

2- \*masih@iust.ac.ir

3- ebrahiminejad@iust.ac.ir

شناسه دیجیتال: DOI: 10.22034/irm.2021.136712

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰

## ۱- مقدمه

در این تحقیق، ابتدا به بررسی عوامل موثر در تسریع سایش تایر پرداخته می‌شود، بررسی عوامل موثر در تسریع سایش تایر می‌تواند منجر به راه‌حلهایی برای تشخیص سایش و ترمیم آن ارائه شود. در این مقاله، تلاش بر این است که با موضوعاتی که عنوان می‌شود، بتوان پیش‌زمینه‌ای جهت افزایش عمر و کیفیت تایر فراهم کرد. برای بررسی و ارائه پیشنهادات در این زمینه، باید به بررسی تایر از طریق ساخت آن تا عوامل سایش و در نهایت ترمیم و کنترل این فرآیند پرداخته شود. با در نظر گرفتن این نکات و بررسی تک تک موارد موثر می‌توان راه‌کارهای کارآمد جهت افزایش عمر و کاهش سایش در تایر عنوان کرد. امروزه می‌توان از روش‌هایی بسیار ساده ولی در عین حال کارآمد برای عیب‌یابی استفاده کرد [۳]. برای بررسی دقیق عمر و کارایی یک تایر بایستی تایر را از نقطه نظر کارکرد، جنس مواد استفاده‌شده در آن، عوامل تاثیرگذار بر کوتاهی عمر و تشخیص عامل آسیب‌زننده بر تایر و راه‌های تشخیص سایش در تایر باید بررسی شود. در این مقاله سعی بر این بوده تا با معرفی مدلسازی‌ها و عوامل سایش و تکنولوژی‌های جدید تشخیص سایش، این فرآیند پیچیده و زمان‌بر را به زبان ساده بیان کرد. در انتهای این مطالعه و بر اساس مطالعاتی که از قبل انجام شده، مواردی جمع‌بندی و تحت عنوان فرآیند سایش ارائه خواهد شد، تا بتوان با استفاده از این نتیجه‌گیری‌ها، روش‌های افزایش عمر تایر و کاهش هزینه‌های خودروهای سنگین را استخراج کرد.

## ۲- مدلسازی و تخمین سایش تایر

رابطه معروف برای سایش در انواع تایر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(2)$$

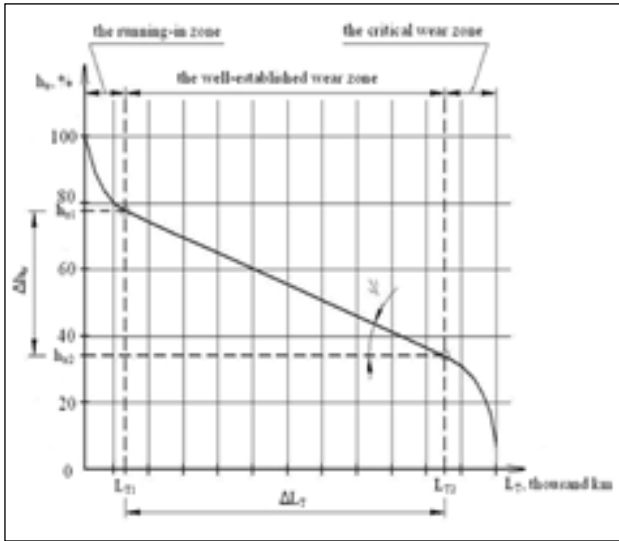
$$I_a = \frac{3C_1}{C_2 E} \left[ C_2 \mu_{TP} \frac{\sigma}{\sigma_0} \left( \frac{E}{\sigma} \right)^{1-\beta t} \right]^t \sigma \frac{S}{l}$$

$\sigma$  فشار ویژه اسمی روی سطح جاده است.  $S$  لغزش در منطقه تماس؛  $C_1$  و  $C_2$  و  $\beta$  ثابت‌های مربوط به ناهمواری سطح جاده؛

تایر اثر بالایی در کیفیت رانندگی، ایمنی، هندلینگ، شتابگیری، پایداری، مصرف سوخت و غیره دارد. اما چون تایر معمولاً در هر حالتی باز هم وظیفه خود را به هر شکلی انجام می‌دهد، بسیار کم مورد توجه قرار می‌گیرد تا آنجا که دچار سایش می‌شود. بنابراین بسیاری از مهندسين و محققين در زمينه تایر، به دنبال پیدا کردن مشخصه‌ها و عوامل سایش و یافتن راه‌حل جهت کنترل آن هستند. تایرها بعد از سوخت مهمترین هزینه را برای وسایل نقلیه سنگین به حساب می‌آورند، سطح جاده یکی از مهمترین عوامل به نظر می‌رسد. اگر تایر همیشه روی زمین سنگی کار کند، عمر آن در مقایسه با جاده آسفالت صاف ۸۰٪ کاهش می‌یابد. تایرهای دور ریخته شده در گذشته مشکل دفع داشته‌اند و امروزه همچنان در سراسر جهان انباشته می‌شوند. آمارهای اخیر آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده نشان می‌دهد که در اواخر سال ۲۰۰۳، ایالات متحده حدود ۲۹۰ میلیون لاستیک فرسوده تولید کرده است. هزینه یک تایر متوسط حدود ۷۰۰۰ دلار است و برای کامیون‌هایی با ظرفیت ۷۷-۸۵ تن ۷۵۰۰ دلار است. علاوه بر این، هزینه تایر یک کامیون با ظرفیت ۱۵۶ تن می‌تواند تا ۱۹۰۰۰ دلار برسد [۱،۲].

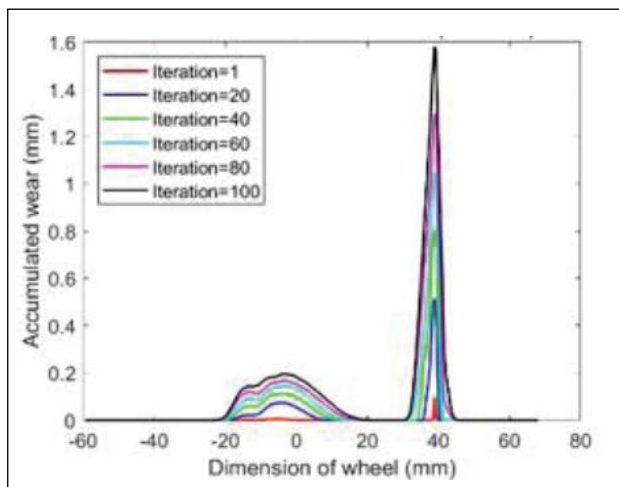


شکل ۱- خودرو سنگین خارج جاده‌ای [۳]



شکل ۳- تاثیر ارتفاع باقی مانده عاج تایر بر عمر تایر [۶]

خستگی ناشی از تماس سایشی و غلتشی تایرها عامل اصلی خرابی در تایر است و عملکرد ایمنی را به شدت تهدید می‌کند. در شکل ۴ مشخص شده است که انحنای بزرگ مسیر منجر به فرسودگی سریع تایر می‌شود [۷]. مقدار کارکرد تایرها متفاوت است، بنابراین، مقدار سایش را می‌توان بر اساس مقدار تکرار حرکت چرخ‌ها اندازه‌گیری کرد. خستگی با افزایش تکرار حرکت تایر باعث افزایش سایش تایر می‌شود. با توجه به شکل ۴ مقدار خستگی در انحنای خاصی از مسیر بیشتر از مقادیر دیگر آن است.



شکل ۴- سایش چرخ با شتاب‌های مختلف [۷]

و  $\sigma_0$  پارامترهای منحنی خستگی ماده،  $L$  طول منطقه تماس،  $E$  مدول الاستیسته مواد؛  $\mu_{TP}$  ضریب اصطکاک است، از اصطکاک برای تخمین سایش در مرحله طراحی مفهومی استفاده می‌شود [۴]. برخی از تحقیقات ثابت شده که شدت سایش تایر ناشی از لغزش با بار طبیعی و لغزش جانبی متناسب است، برای این نوع سایش معادله زیر ارائه شده است [۵]:

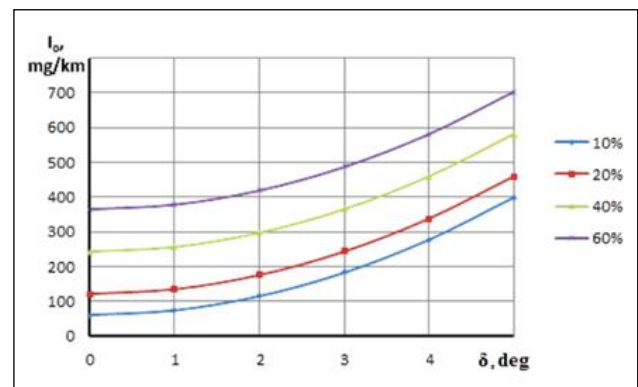
$$(۳)$$

$$I_{\delta} = A_{\delta} \sigma \frac{dS_y}{dl}$$

$$(۴)$$

$$I = I_a + I_{\delta} = A_{\delta} \sigma \frac{dS}{dl} + \frac{A_{\delta} \sigma k_{\delta} \delta}{Z \phi_y} \frac{dS_y}{dl}$$

$dS_y$  افزایش لغزش است که در اثر لغزش بوجود می‌آید.  $A_{\delta}$  ضریب متناسب با  $A_a$  است.

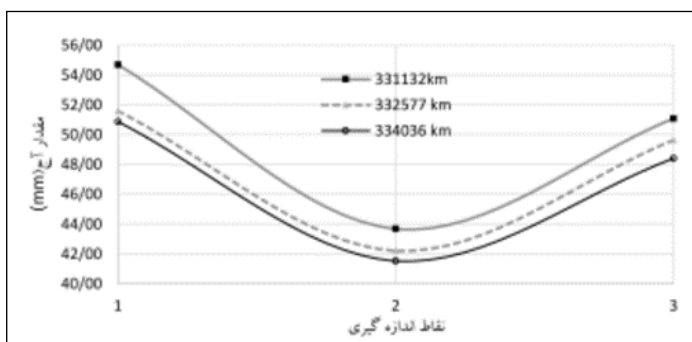


شکل ۲- سایش خاص لاستیک با مقادیر مختلف لغزش طولی [۵]

همانطور که در شکل ۲ نشان داده می‌شود، با افزایش لغزش طولی در رابطه سایش و بر اساس لغزش عرضی، مقدار سایش تایر نیز افزایش می‌یابد.

میزان افزایش سایش تایر برحسب درصد اندازه‌گیری می‌شود و وابسته به کارکرد خودرو است. در هزار کیلومتر کارکرد اندازه‌گیری می‌شود [۶]. هرچه ساعات کاری و مسیری که تایر می‌پیماید بیشتر می‌شود، ارتفاع آج تایر نیز کاهش می‌یابد و در نهایت با کاهش ارتفاع آج مقدار سایش تایر افزایش پیدا می‌کند.

سیستم پایش ساییدگی تایر، داده‌های مرجع را براساس اطلاعات تایر تعیین شده بازیابی می‌کند و یک هشدار بر اساس مقایسه بین داده‌های تصویر دریافتی و داده‌های تصویر مرجع بازیابی شده ایجاد می‌کند [۱۰]. در داده‌های آماری برای بررسی ساییدگی تایر خودروهای سنگین در ۳ نقطه (۱- قسمت داخلی ۲- مرکز ۳- خارج تایر) از تایر، ضخامت آج ثبت می‌شود [۱۱]. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که مقدار ساییدگی در قسمت وسط تایر نسبت به کناره‌های آن بیشتر است که این ناشی از کاهش ارتفاع آج تایر است. قسمت داخلی تایر هم نسبت به خارج آن تحت ساییدگی بیشتری قرار دارد، دلیل این مسئله می‌تواند اثر وزن و نیروهای وارده از سمت خودرو بر این قسمت باشد.



شکل ۷- نرخ ساییدگی متوسط در سه نقطه از آج تایر کامیون [۱۱]

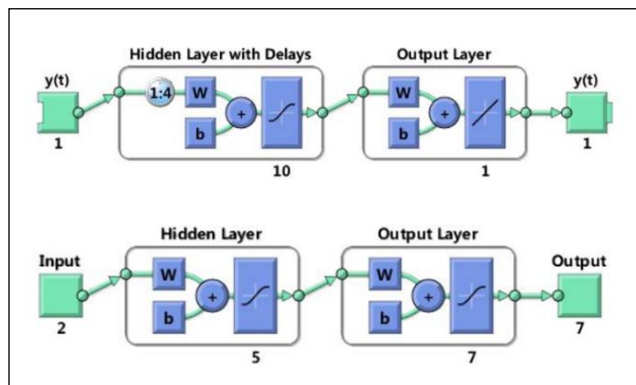
### ۳- عوامل موثر بر ساییدگی تایر

عوامل محیطی بصورت مستقل و در اکثر مواقع بصورت ترکیبی می‌توانند موجب ساییدگی تایر و در نتیجه کوتاهی عمر تایر شود. ادامه چند عامل مهم بر ساییدگی تایر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

#### ۳-۱- تغییر دمای تایر، اصطکاک و جنس زمین کاری

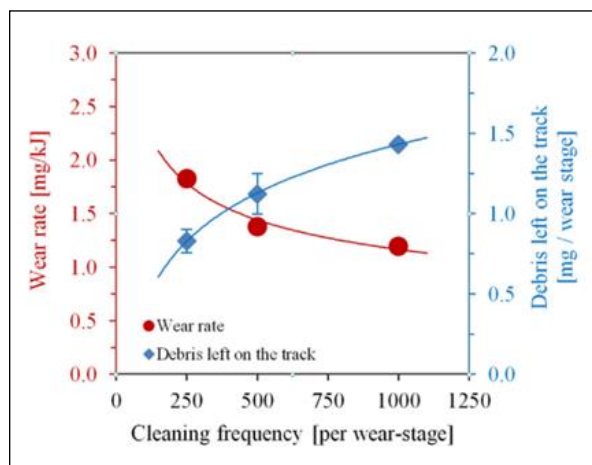
افزایش سرعت باعث افزایش درجه حرارت تایر می‌شود، افزایش دما بر روی ساییدگی تایر تأثیر می‌گذارد. بنابراین توصیف ساییدگی برحسب دما منطقی‌تر است [۱۲]. به طور کلی، تأثیر ارتفاع آج بر تولید گرما در تایر ایجاد شده است، که در طی این عملیات

روند تغییر قطر تایر و میزان ساییدگی با استفاده از شبکه‌های عصبی (غیرخطی رگرسیون خودکار) و BP (انتشار عقب)، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (شکل ۴) تخمین زده می‌شود.



شکل ۵- ساختار شبکه عصبی NAR و BP [۸]

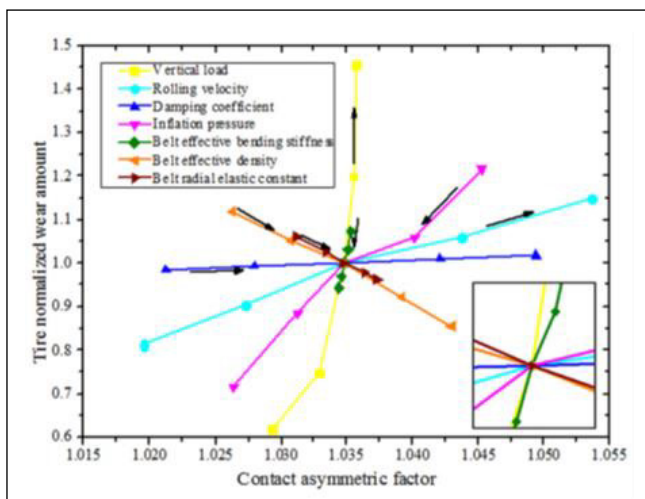
شبکه از دقت پیش‌بینی خوبی برخوردار است. موقعیت تایر تأثیر قابل توجهی بر ساییدگی تایر دارد [۸]. به منظور بررسی روند ساییدگی تایر، یک تریبومتر دوار ایجاد کرده اند، با توجه به شکل ۶ هرچه تعداد دفعات تمیز کردن تایر از گل و لای و خاک کمتر باشد، میزان ساییدگی بالاتر است. [۹] این افزایش فرکانس مقدار باقیمانده از ساییدگی تایر را افزایش می‌دهد، ولی باعث کاهش مقدار ساییدگی می‌شود. رابطه بین فرکانس ساییدگی و مقدار ساییدگی و باقیمانده‌های خرد تایر در شکل نشان داده شده است.



شکل ۶- میزان ساییدگی به عنوان تابعی از تعداد تماس بین عملیات [۹]

### ۳-۲- تأثیر ویژگی تماس بر سایش و آسیب خستگی تایر

سایش در مقابل سه متغیر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و هنگامی که این سه متغیر افزایش یا کاهش می‌یابد، فرسودگی تایر روند مشابه را دنبال می‌کند. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که افزایش ضریب میرایی می‌تواند منجر به افزایش سایش تایر شود. افزایش مقاومت الاستیک شعاعی بلت باعث افزایش ضریب عدم تقارن و تغییر مقاومت نورد می‌شود، اما طول تماس را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش فرسودگی تایر می‌شود [۱۷]. نامتناسب بودن نقطه تماس در تایر می‌تواند باعث سایش تایر شود. تغییر و نامتناسب بودن ناحیه تماس تایر می‌تواند بر اثر عوامل مختلفی در تایر باشد. این عوامل در شکل ۱۰ نشان داده می‌شود.



شکل ۱۰- تأثیر ضریب تماس روی سایش تایر [۱۷]

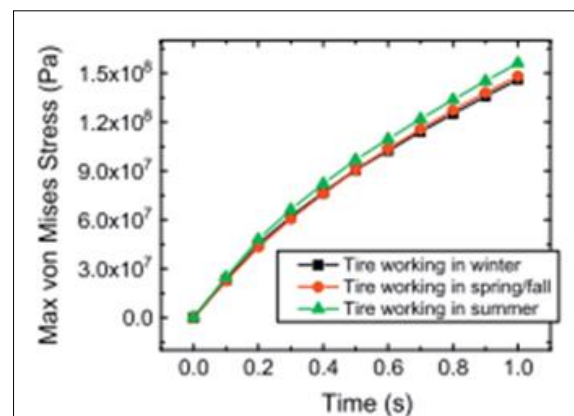
ارزیابی تغییرات عمر خستگی در یک زمان پیرشدگی برابر در دمای اتاق تأیید می‌کند که عمر خستگی با توجه به درجه حرارت و روزهای پیری افزایش یا کاهش می‌یابد [۱۸]. تایر از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده که در طی فرآیند سایش دچار تغییرات یکسانی نمی‌شوند. تغییرات و شدت سایش بستگی به نیروها و تنش‌هایی دارد که هر قسمت تحمل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که دیواره‌های کناری پایین، انتهای تسمه

باید مورد توجه قرار گیرد [۱۳، ۱۴]. در شکل ۸ تأثیر دما بر تنش‌های ایجاد شده در تایر قابل مشاهده است. گرما و افزایش دما باعث افزایش تنش در تایر می‌شود، این تنش در قسمت‌های مختلف تایر باعث سایش در تایر می‌شود. به طور مثال، شرایط عملیاتی متفاوت تایرهای سنگین معدنی، طراحی الگوی آج تایر را در ساختار آن تحت تأثیر قرار می‌دهد. جاده ای که از سنگ‌های تیز پر شده می‌تواند باعث سایش سریع تایر و در نتیجه کوتاهی عمر آن شود [۱۵، ۱۶].

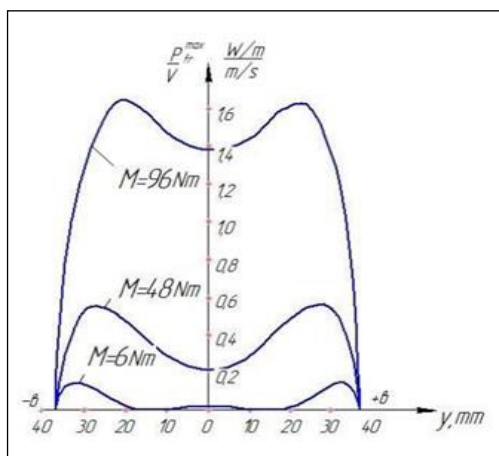


شکل ۸- جداسازی آج از قسمت‌های شانه به دلیل وجود سنگ [۱۵]

تایر در شرایط مختلف آب و هوایی مثل تابستان و زمستان که در دماهای مختلفی کار می‌کند دچار تنش‌های مختلفی می‌شود، در تابستان به دلیل بالا بودن دما تنش نیز بالاتر است، این تنش در فصل‌های دیگر مقدار متفاوتی دارد.

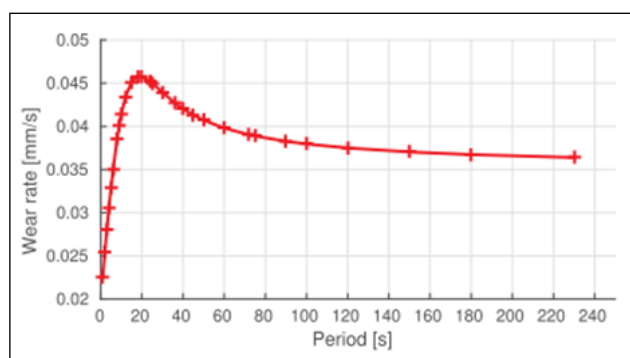


شکل ۹- تنش‌های وارده بر تایر در سه شرایط مختلف آب و هوایی [۱۴]



شکل ۱۲- توزیع قدرت اصطکاک آج چرخ با شعاع محذب آج [۲۰]

هنگامی که تایرها از نقطه نظر ساعات کاری بررسی می‌شوند، آسیب متوسط افزایش می‌یابد. در این مطالعه دوره زمانی افزایش می‌یابد. با این وجود، سایش پس از حداکثر مقدار، در حدود  $T=20$  ثانیه کاهش می‌یابد (شکل ۱۳). مقدار متوسط نرخ سایش در ابتدا افزایش می‌یابد و سپس در واقع دوره ای را که حداکثر اوج نرخ سایش ثابت ایجاد می‌شود را می‌توان با پارامترهای مدل سایش پیشنهادی تنظیم کرد [۲۱].

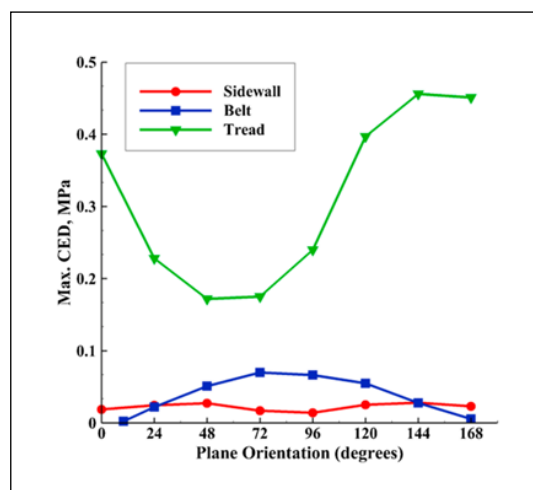


شکل ۱۳- میزان سایش برای دوره های مختلف [۲۱]

### ۳-۴- تأثیر موقعیت و فشار تایر بر عمر تایر

تجزیه و تحلیل برای موقعیت‌های مختلف تایر انجام شده است. توصیه می‌شود تایرهای جدید را جلوی خودرو قرار داده و دو تایر جلو را در

و گوشه‌های آج داخلی، مناطق مهم برای شروع ترک هستند. بارگذاری موثر در هر صفحه بحرانی در شکل ۱۱ نشان داده شده است [۱۹]. هرچه قسمتی در تایر تحت تغییر و سایش بیشتری باشد، باید آن قسمت را تقویت کرد. تقویت این قسمت می‌تواند در حین تولید تایر و با اضافه کردن ترکیبات لاستیکی و فلزی در آن قسمت و یا اینکه با استفاده از ابزار حفاظت از تایر انجام شود شناسایی این قسمت‌ها کمک خوبی به طراحی‌های جدید تایر می‌کند.



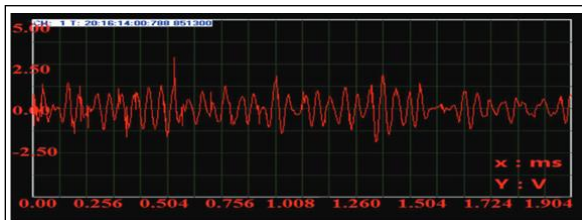
شکل ۱۱- تأثیر ترک بر سایش قسمت‌های مختلف تایر [۱۹]

### ۳-۳- تأثیر شکل آج و مسافت طی شده بر سایش

پارامتر دیگر تایر که بر سایش آن تأثیر می‌گذارد، تحدب است (انحنای آج در جهت عرضی). شکل ۱۲ توزیع اصطکاک خطی در تماس با عرض آج تایر را با یک لاستیک دارای شعاع انحنای آج در صفحه عرضی نشان می‌دهد [۲۰]. این شکل تأثیر مقدار محذب بودن تایر را بر سایش نشان می‌دهد، این مقدار چه بصورت مثبت و یا منفی افزایش یابد، نیروی سایش و به اصطلاح شدت سایش را کاهش می‌دهد. کاهش شعاع در صفحه عرضی ناهمواری و شدت سایش را در عرض آن افزایش می‌دهد.

#### ۴- تشخیص و کنترل سایش تایر

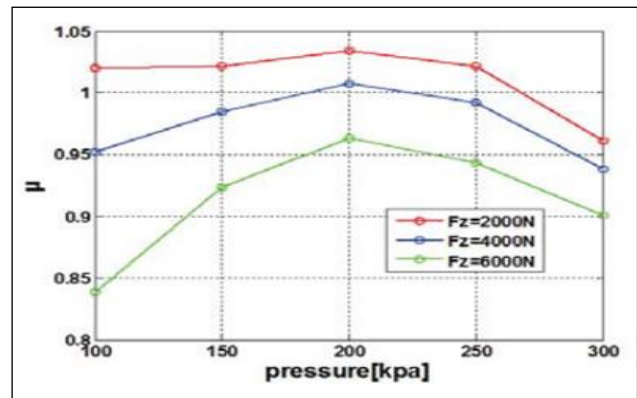
اساسی‌ترین مورد در نگهداری تایرها، تشخیص روند سایش و کنترل و تضعیف این فرایند است، هرچه زودتر اقدام به تشخیص سایش شود، زودتر می‌توان آن را کنترل کرد. هرچه تشخیص دقیق‌تر باشد کنترل هم دقیق‌تر و کارآمدتر می‌شود. هنگام ارزیابی طول عمر تایر، اثر سایش آج در نظر گرفته می‌شود. [۲۶] امروزه می‌توان از روش‌های بسیار ساده ولی در عین حال کارآمد برای عیب‌یابی استفاده کرد. سیگنال انتشار صوتی می‌تواند به طور موثر حالت سایش را منعکس کند. شکل ۱۶ سیگنال انتشار صوت را در ابتدای سایش نشان می‌دهد [۲۷]. این سیگنال‌ها انعکاس صوت از سطح تایر می‌باشد، این سیگنال‌ها و مقدار دامنه‌ای که دارند بسته به قسمت‌های مختلف تایر و اندازه سایش می‌تواند متفاوت باشد. برای تشخیص سایش می‌توان سیگنال‌های دریافتی از یک تایر نو و سالم را با تایر تحت سایش مقایسه کرد و نتایج مقایسه را برای تایرهایی که ظاهری سالم دارند بکار گرفت.



شکل ۱۶- سیگنال اصلی در مرحله اولیه سایش [۲۷]

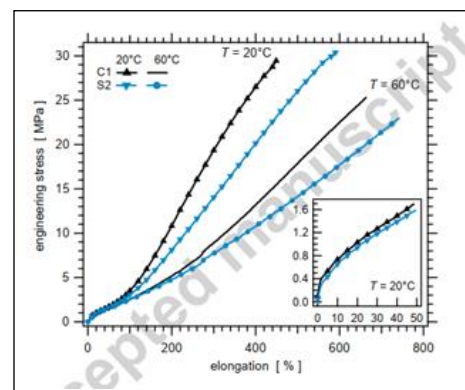
یکی از موارد دیگری که بر تسریع سایش تایر تاثیرگذار است، مقدار بارهای وارده بر آن است. تأثیر فشار داخلی و همچنین بار تایرها بر توزیع فشار صوتی مورد مطالعه قرار گرفته است. این آثار ممکن است پایه‌ای برای کاهش صداهای ناشی از تشدید صوتی تایر در داخل کابین خودرو باشد. برای بررسی وجود حفره داخل تایر از آزمایش شکل ۱۷ استفاده می‌شود [۲۸، ۲۹]. در این آزمایش چند حفره در قسمت‌های مختلف تایر ایجاد شده که با توجه به انعکاس صوت و بررسی

موقعیت‌های عقب جابجا کرد. با این کار می‌توان اطمینان حاصل کرد که چهار تایر در عقب دارای عمق آج نزدیک به یکدیگر هستند [۲۲]. با توجه به شکل ۱۵ می‌توان اطمینان حاصل کرد که فشار باد تایر بر ضریب اصطکاک تأثیر می‌گذارد [۲۳]. افزایش سایش نشان‌دهنده تأثیر حرکت سر پیچ بر جابجایی ناحیه نقش پا است. گردش نقاط آج به سمت داخل منحنی باعث سایش کمتر نسبت به سمت مخالف آن می‌شوند [۲۴].

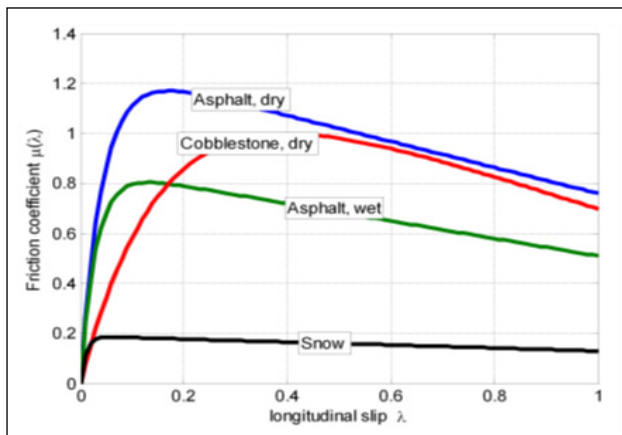


شکل ۱۴- رابطه بین فشار باد تایر و ضریب اصطکاک [۲۳]

مواد مورد استفاده در تایر می‌تواند بر عمر آن تأثیرگذار باشد. مقاومت در برابر سایش با استحکام مکانیکی، سختی و انعطاف پذیری مواد ارتباط دارد. مواد مورد مطالعه، ماتریس لاستیک طبیعی (نمونه C1) و پرکننده سیلیکا رسوبی (نمونه S2) است، مقایسه بین دو مواد در شکل ۱۵ نشان داده شده است [۲۵]. طبق نتایج نشان داده شده ماده C1 در مقایسه با ماده دیگر تحت کشش یکسان تنش بیشتری را متحمل می‌شود. پس ماده S2 برای استفاده در تایر و افزایش طول عمر آن مناسب‌تر است.



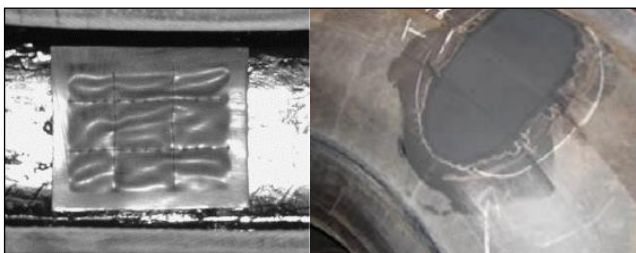
شکل ۱۵- تنش مهندسی بر حسب کشش [۲۵]



شکل ۱۸- مدل براک هارت<sup>۱</sup> از ضریب اصطکاک [۳۸]

#### ۴-۱- ترمیم تایر

با توجه به هزینه‌های بالا و محدودیت در تولید و واردات در صنعت تایر، بخصوص تایرهای فوق سنگین، رانندگان خودروهای سنگین اکثراً تمایل به تعمیر تایر دارند. نمونه‌ای از ترمیم تایر در شکل ۱۹ آورده شده است. اگرچه این کار در خودروهای سبک کارایی نداشته و حتی تایر بعد از ترمیم می‌تواند منجر به حادثه شود، ولی در کامیون‌ها تا مدت‌ها به کار مفید خود ادامه می‌دهد و صرفه اقتصادی دارد.

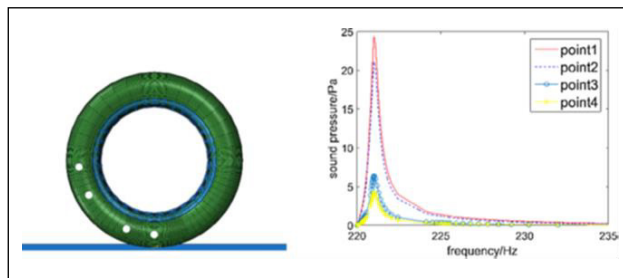


شکل ۱۹- تایر خودرو بعد از ترمیم [۳۹], [۴۰]

در تایرهای خودترمیم، در قسمت سوراخ شده تایر، واحد به دیواره داخلی تایر می‌چسبد. در این سیستم، زنجیرهای پلیمر با مایع خنک کننده رقیق شده در آب گسترش می‌یابند و به ژل تبدیل می‌شوند. از این رو، نشت هوا را در تایر متوقف می‌کنند، فرآیند خودترمیمی در شکل ۲۰ مشخص شده است [۴۱].

1. Burek hardt

آن مقدار فشار صوت مختلفی داده است. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که هرچه عمق حفره درون تایر بیشتر باشد، مقدار فشار صوت نسبت به حفره‌ای که در قسمت بیرونی‌ست، بیشتر است.



شکل ۱۷- نتایج شبیه سازی تحت تحریک سرعت فرکانس رفت و برگشت [۳۰]

با استفاده از علم آکوستیک، برای تشخیص سایس باید به روش بازپخش صوت از قسمت‌های مختلف تایر برای تشخیص قسمت آسیب دیده استفاده کرد [۳۱, ۳۲, ۳۳]. روش دیگر برای جلوگیری از سایس افزایش یا کاهش ارتفاع آج یا ضخامت بعضی مقاطع در تایر است. بهینه‌سازی طراحی آج برای رزونانس شیار می‌تواند کمکی برای کاهش اثرات صدای تایر و جاده باشد. نواحی تایر با حداکثر تنش اصلی و برشی، می‌تواند منجر به خرابی، خستگی، ساییدگی و پارگی لاستیک و انفجار شود، پس می‌توان با کنترل بحث فیزیکی تایر به تضعیف این نواحی حساس کمک کرد [۳۴, ۳۵]. سایس تایر می‌تواند به طور مستقیم با پارامترهای کنترل کننده ضدالکتریسیته مرتبط باشد [۳۶, ۳۷]. در شکل ۱۸ منحنی  $\mu(\lambda)$  در شرایط مختلف نشان داده شده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که هرچه زمینی که تایر در آن فعالیت می‌کند خشک‌تر باشد نسبت به آسفالتی که با آب باران یا برف خیس شده، ضریب اصطکاک نیز بیشتر می‌شود، خود ضریب اصطکاک بیشتر مسبب ایجاد گرما و در نهایت باعث ایجاد تنش بیشتر در برخی نواحی تایر می‌شود، که خود این تنش زیاد یکی از عوامل ایجاد و تسریع سایس است.



است. همچنین به نظر می‌رسد که یک سطح تمیزتر (یعنی سطحی که بیشتر ساییده می‌شود) سرعت سایش بیشتری دارد. میزان سایش مواد لاستیکی با افزایش دما افزایش می‌یابد. هرچه آج تایر کوتاه‌تر باشد، دمای آن حین کار بیشتر افزایش می‌یابد. دما از سطح آستر داخلی به سمت لایه های خارجی کاهش می‌یابد.

۳- حداکثر تنش ون مایرز روی لایه بت متمرکز می‌شود و با افزایش درجه حرارت محیط افزایش می‌یابد. افزایش ضریب میرایی می‌تواند باعث افزایش سایش تایر شود، در حالی که افزایش چگالی خمشی موثر و ثابت الاستیک موثر منجر به کاهش سایش تایر می‌شود.

۴- افزایش ثابت الاستیک شعاعی تسمه، عامل عدم تقارن و تغییر مقاومت غلتشی را افزایش می‌دهد اما طول تماس را کاهش می‌دهد، که منجر به کاهش سایش تایر می‌شود.

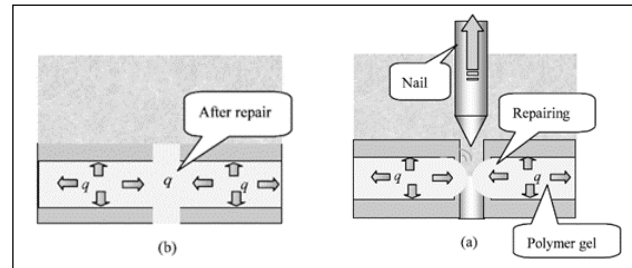
۵- عمق آج به طور خطی با ساعت کار کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌شود که از نیتروژن برای باد کردن تایر به جای هوا استفاده شود، که باعث افزایش عمر تایر و کمک به کاهش خرابی آن می‌شود.

۶- مقدار سیگنال با افزایش درجه سایش کاهش می‌یابد. در فرکانس های بالاتر، پاسخ تایر به طور خاص حالت خاصی ندارد، اما حالت های صوتی شعاعی به دلیل موج صوتی دوم قابل اندازه گیری است.

۸- تجهیز تعمیرگاه تایر به دستگاه نصب و تعویض رینگ، قفسه ایمنی برای باد کردن تایر، دستگاه حمل کننده تایر و سیستم پایش وضعیت لحظه‌ای دما و فشار از جمله مواردی هستند که افزایش عمر مفید تایر را در پی دارند.

### سپاسگزاری

IRM ...



شکل ۲۰- مراحل انجام خودترمیم کنندگی تایر [۴۱]

تغییرات هندسی که ناشی از سایش تایر است، می‌تواند بر رفتار تایر اثر گذاشته و به دنبال آن عملکرد دینامیکی خودرو را تحت تاثیر قرار دهد [۴۲،۴۳،۴۴].

### ۵- نتیجه گیری

طبق اطلاعات جمع‌آوری شده از مصرف سالیانه خودروها، موضوع تایر خود از تاثیرگذارترین عوامل بر افزایش هزینه سالیانه یک خودرو سنگین محسوب می‌شود. این هزینه صرفاً برای تعمیر و تعویض تایر صرف نمی‌شود و بخش‌های زیادی از خودرو مثل مصرف بیش از حد سوخت و امثال آن را درگیر می‌کند، از این رو برای افزایش عمر مفید تایر باید به موارد مختلفی از قبیل جنس استفاده شده در آن تا روش صحیح استفاده و شرایط نگهداری از آن را در نظر گرفت، تا بتوان روش‌های افزایش عمر تایر یا حتی نمونه جدیدی از تایر را ارائه داد، این موارد شامل نحوه صحیح استفاده از تایر، ذکر و بهبود عامل اصلی سایش تایر، شکل مناسب آج و معرفی روش‌های بروز برای تشخیص سایش می‌باشد. نتیجه نهایی این مقاله در موارد مختلف ذیل ذکر شده است:

۱- انحنای بزرگ مسیر منجر به فرسودگی سریع چرخ می‌شود. با تنظیم هندسه مشخصات چرخ می‌توان کاهش در حداکثر عمق سایش را به دست آورد. موقعیت تایر تأثیر قابل توجهی بر سایش تایر دارد، از شبکه عصبی می‌توان برای پیش‌بینی تغییر دینامیکی قطر تایر استفاده کرد.

۲- هرچه فرکانس سایش بیشتر باشد، میزان سایش نیز بالاتر

## مراجع

1. S. Frimpong, G. Galecki, Y. Li, and R. Suglo, "Dump truck tire stress simulation for extended service life," Soc. Mining, Metall. Explor., vol. 332, no. January, pp. 422–429, 2012.
2. I. Celik and C. Sensogut, "The life of tires on wheeled heavy duty mining vehicles from point view of the environmental apprehension," Proc. 24th Int. Min. Congr. Turkey, IMCET 2015, no. April, pp. 1504–1512, 2015.
3. <https://www.komatsu.eu/en/dump-trucks/rigid-dump-trucks/hd325-8>
3. Y. Nakajima and Y. Nakajima, Tire Noise. 2019
4. (LEE, 2012) LEE, T. Y. K. and S. H. (2012). Combustion and Emission Characteristics of Wood Pyrolysis Oil-Butanol Blended Fuels in a Di Diesel Engine. International Journal. <https://doi.org/10.1007/s12239>
5. R. Ivanov, "Tire wear modeling," no. September, 2016.
6. A. Kravchenko, O. Sakno, and A. Lukichov, "Research of dynamics of tire wear of trucks and prognostication of their service life," Transp. Probl., vol. 7, no. 4, pp. 85–94, 2012
7. L. Bai et al., "An integrated approach for predicting wear and fatigue damage of wheels and rails in SMRT systems," 2018 Int. Conf. Intell. Rail Transp. ICIRT 2018, pp. 1–5, 2019.
8. N. Fan, S. Wang, C. Liu, and X. Liu, "Wheel Wear Prediction of High-Speed Train Using NAR and BP Neural Networks," Proc. - 2017 IEEE Int. Conf. Internet Things, IEEE Green Comput. Commun. IEEE Cyber, Phys. Soc. Comput. IEEE Smart Data, iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData 2017, vol. 2018-January, pp. 126–130, 2018.
9. M. Huang et al., "A new test method to simulate low-severity wear conditions experienced by rubber tire materials," Wear, vol. 410–411, no. June, 2018.
10. T. (U.) Nishikant N. Puranik, Frisco, "SYSTEMS AND METHODS FOR MEASURING TIRE WEAR USING EMBEDDED IMAGE SENSORS TECHNICAL," Toyota Mot. North Am., Inc., vol. 2020, 2020
۱۱. رحیمی، علی. (۱۳۹۸). بررسی عوامل سایش لاستیک کامیون‌های معدن سنگ آهن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
12. H. Yin, L. Ma, Y. He, Z. Wang, and S. Hu, "The environmental study on simulation analysis of variable temperature wear of tire," Ekoloji, vol. 28, no. 107, pp. 4329–4336, 2019.
13. S. Goryunov, A. Khoreshok, N. Grigoryeva, E. Preis, and O. Alitkina, "The research of operational temperatures of dump trucks tires," E3S Web Conf., vol. 134, 2019.
14. Y. Li, W. Y. Liu, and S. Frimpong, "Effect of ambient temperature on stress, deformation and temperature of dump truck tire," Eng. Fail. Anal., vol. 23, pp. 55–62, 2012.

15. L. Tyres, "Earthmover Tyre Damage Information Booklet Produced by LC Tyres," pp. 1–61, 2019.
16. P. Farhadi, A. Golmohammadi, A. Sharifi Malvajerdi, and G. Shahgholi, "Finite element modeling of the interaction of a treaded tire with clay-loam soil," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 162, no. October 2018, pp. 793–806, 2019.
17. C. Wang, H. Huang, X. Chen, and J. Liu, "The influence of the contact features on the tyre wear in steady-state conditions," 2016.
18. B. Moon, K. Kim, K. Park, S. Park, and C. S. Seok, "Fatigue life prediction of tire sidewall using modified Arrhenius equation," *Mech. Mater.*, vol. 147, no. March, p. 103405, 2020, doi: 10.1016/j.mechmat.2020.103405.
19. W. Nyaaba, S. Frimpong, and A. Anani, "Fatigue damage investigation of ultra-large tire components," *Int. J. Fatigue*, vol. 119, no. April 2018, pp., 2019.
20. I. O. P. C. Series and M. Science, "Influence of rolling condition and geometry of tire tread on its wear intensity Influence of rolling condition and geometry of tire tread on its wear intensity," 2020.
21. V. H. Nguyen, D. Zheng, F. Schmerwitz, and P. Wriggers, "An advanced abrasion model for tire wear," *Wear*, vol. 396–397, no. July, 2018.
22. A. Sarkar, "Regression and Failure Analysis of Dumper Tires: A Case Study for Iron Ore Mines," *Saf. Reliab.*, vol.
23. D. Lu, C. Wang, Z. Pang, Q. Liu, Y. Zhang, and Z. Lin, "Study on the influence of tire pressure to tire mechanical properties," *IET Conf. Publ.*, vol. 2016, no. CP697, 2016, doi: 10.1049/cp.2016.1167.
۲۴. شکوهنده، علی. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی عددی سایش در حرکت گردش تایر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علم و صنعت ایران
25. L. Guy, L. Vanel, J. Loubet, and P. Sotta, "Author ' s Accepted Manuscript conditions experienced by rubber tire materials," *Wear*, 2018, doi: 10.1016/j.wear.2018.06.004.
26. X. J. Qi and Q. Wang, "Study on the prediction technology of the retreaded tire residual life," *ICMREE2011 - Proc. 2011 Int. Conf. Mater. Renew. Energy Environ.*, vol. 2, no. c, pp. 1082–1085, 2011.
27. N. Ding, J. Duan, C. Liu, S. Jiang, and S. Cui, "Experimental Study on the Relationship between Acoustic Emission Signal and Grinding Wheel Wear," *Proc. 2019 IEEE 4th Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2019*, no. Iaeac, pp. 2699–2703, 2019.
28. X. Hu, X. Liu, X. Wan, Y. Shan, and J. Yi, "Experimental analysis of sound field in the tire cavity arising from the acoustic cavity resonance," *Appl. Acoust.*, vol. 161, p. 107172, 2020.
29. R. Cao and J. Stuart Bolton, "Point excitation of a coupled structural-acoustical tire model with experimental verification: Higher order cavity modes," *Appl. Acoust.*, vol. 136, no. March 2018.
30. J. Yi, X. Liu, Y. Shan, and H. Dong, "Characteristics of sound pressure in the tire cavity arising from acoustic cavity resonance excited by road roughness," *Appl. Acoust.*, vol. 146, pp. 2019.

31. M. Dittrich, F. De Roo, S. Van Zyl, S. Jansen, E. De Graaff, J. Sliggers: Triple a tyres for cost-effective noise reduction in Europe, 10th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering EuroNoise 2015 (2015) 2607–2612.
32. U. Sandberg, J. Ejsmont: Tyre/road noise – Reference Book, Informex, Kisa, 2002
33. T. Vieira, U. Sandberg, and S. Erlingsson, “Acoustical performance of winter tyres on in-service road surfaces,” Appl. Acoust., 2019.
34. J. Pinay, Y. Saito, C. Mignot, and F. Gauterin, “Understanding the contribution of groove resonance to tire-road noise on different surfaces under various operating conditions,” 2020
35. S. Frimpong, G. Galecki, Y. Li, and R. Suglo, “Dump truck tire stress simulation for extended service life,” Soc. Mining, Metall. Explor., vol. 332, no. January, pp. 422–429, 2012.
36. L. D’Avico, M. Tanelli, and S. M. Savaresi, “Combining tire-wear and braking control for aeronautical applications,” 2019 18th Eur. Control Conf. ECC 2019, pp. 131–136, 2019
37. (Kravchenko et al., 2014) Kravchenko, A., Sakno, O., & Lukichov, A. (2014). Trucks tires resource controlling by control of process of their wearing-out. Transport Problems, 9(1), 83–93.
38. S Savares , M. Tanelli, and L. d’Avico, “System and method for the combined control of a braking maneuver in a vehicle, in particular in an aricraft, and of the consumption of at least one tire of said vehicle,” Italian Patent 102018000006348, Jun. 2018.
39. L. D. Avico, M. Tanelli, S. Member, and S. M. Savaresi, “Tire-Wear Control in Aircraft via Active Braking,” pp. 1–12, 2020.
۴۰. عبثنا تولایی، ترمیم لاستیک از ۱۳۹۸
41. K. Nagaya and S. Ikai, “Tire with Self-Repairing Mechanism □,” vol. 49, no. 2, pp. 379–384, 2006.
۴۲. اصلیاصفهانی، شهاب. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر تغییر ویژگی‌های تایر بر بهبود عملکرد دینامیکی خودرو. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان
43. J. Malik, A. Datta, and S. Sharma, “Tire technologies and their impact on heavy-duty vehicle fuel efficiency in India Authors : Jai Malik , Yogita Karpate , Arindam Datta , Sumit Sharma ( The Energy and Resources Be,” no. March, 2016.
44. F. Farroni, A. Sakhnevych, and F. Timpone, “Physical modelling of tire wear for the analysis of the influence of thermal and frictional effects on vehicle performance,” vol. 0, no. 0, pp. 1–11, 2019

# I Investigating the factors affecting tire wear of heavy and off-road vehicles and technologies for its wear detection and control

A. Ahmadi<sup>1</sup>, M.M. Tehrani<sup>\*2</sup>, S. Ebrahimi-nezhad rafsanjani<sup>3</sup>

1. Master, Automotive Dynamic Systems, Faculty of Automotive, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2. PhD, Faculty of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
3. PhD, Faculty of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

\*Corresponding author Email: [masih@iust.ac.ir](mailto:masih@iust.ac.ir)

**Abstract:** One of the reasons for the short life time of heavy tires is wear, caused in the tire by various factors. Heavy vehicle tires are more affected by abrasion and wear for various reasons, such as high weight, movement on rocky ground, heavy loads exerted on the vehicle, and as a result, have a relatively shorter life time. Although in recent studies, research has been conducted on abrasion due to several cases, in this article, the effective factors on abrasion of heavy vehicle tires are studied according to their special working conditions. New methods of wear detection and control of the wear process are discussed. This study will help identify the key causes of tire wear, providing suitable working environment for tires, distinguishing more sensitive parts of the tire, and recognizing better operating conditions. Finally, this paper introduces wear detection technologies using sound waves and acoustics and by means of neural network and wear detection sensors, and the effect of tire wear on car fuel consumption is investigated and a new technology of self-repairing tires is introduced.

**Keywords:** heavy vehicle, tire, simulation, wear, acoustics, control, detection