

مروری بر تایرهای هوشمند

سلمان ابراهیم‌نژاد رفسنجانی^۱، مسعود دهمرده^۱، سعید نقوی^۲

۱ استادیار دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، said1368naghavi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۰

چکیده

امروزه سیستم‌های ایمنی خودرو همچون کنترل پایداری الکترونیکی و سیستم ترمز ضد قفل مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. اگرچه این سیستم‌ها عملکرد خوبی دارند، اما هنوز فاقد اطلاعاتی از سطح تماس تایر و جاده می‌باشند که سبب تولید نیروی اصطکاک می‌شود. بررسی و رفع چنین چالشی به پیدایش مفهوم تایرهای هوشمند منجر شده است؛ مقوله‌ای که قادر به اندازه‌گیری تغییر شکل تایر توسط حسگرهای به کار رفته است. این حسگرها به منظور جمع‌آوری اطلاعاتی درباره تایر و مشخصات سطح تماس آن همچون نیروها و زاویه لغزش تایر به کار می‌روند. مشخصات سطح تماس تایر با جاده و تغییر شکل آن، دو عامل مهم و کلیدی برای تخمین نیرو و ضریب اصطکاک تایر معرفی شده است. در این مقاله، فعالیت‌های انجام‌شده درباره تایرهای هوشمند مرور شده است.

واژگان کلیدی

سیستم پایداری خودرو، تایر هوشمند، حسگر، تغییر شکل تایر، تخمین ضریب اصطکاک

۱. مقدمه

شگرف تایر از مدت‌ها قبل پذیرفته شده و انگیزه‌های فراوانی برای جلب توجه بیشتر به طراحی سیستم‌های تایرهای هوشمند معرفی شده است. فناوری تایر هوشمند می‌تواند ایمنی خودرو را توسط نمایش وضعیت تایر، همراه با سیستم‌های کنترل دینامیکی خودرو فراهم آورد. علاوه بر این، در کاهش مصرف سوخت و آثار زیست‌محیطی مؤثر است. اساساً سه هدف عمده از یک سیستم تایر هوشمند در پروژه آپولو^۱ معرفی شده است [۲]: افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای، قابلیت پیاده‌سازی در سیستم‌های کنترل خودرو / شاسی و سیستم‌های کمک‌راننده^۲ و نهایتاً معرفی

عصر اصلی انتقال نیروها به خودرو، سطح کوچکی از لاستیک است که همواره در تماس با جاده است. تایرها ذاتاً دربرگیرنده اطلاعاتی حیاتی‌اند که می‌تواند به درک بهتر دینامیک خودرو و سیستم‌های کمک راننده کمک کند. ضریب اصطکاک و زاویه لغزش از مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در سیستم‌های کنترل پایداری الکترونیکی خودرو به شمار می‌روند [۱]. چون ایمنی خودرو به عملکرد تایر وابسته است، در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی درباره فناوری نمایشگر وضعیت تایر، که تحت عنوان تایرهای هوشمند توسعه یافته‌اند، انجام شده است. اهمیت و تأثیر

خدمات نوین درباره شرایط تایر و جاده به کاربران در خارج از خودرو.

۲. سیستم نمایش فشار تایر

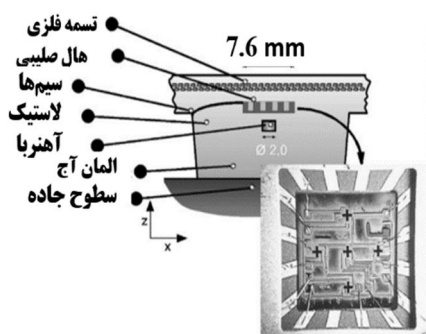
فشار باد نامناسب موضوعی مهم برای ایمنی خودرو است، به طوری که ضروری است برای جلوگیری از تصادفات جبران ناپذیر، راننده در هر لحظه از فشار باد تایر آگاه باشد. سیستم نمایش فشار باد تایر نخستین محصولی بود که تجاری شد و در سال ۲۰۰۲ م به بازار آمد. دو روش برای به دست آوردن فشار باد تایر وجود دارد: اندازه‌گیری غیرمستقیم و اندازه‌گیری مستقیم. در اندازه‌گیری غیرمستقیم معمولاً با استفاده از حسگرهای به کار رفته قبل مانند حسگر سرعت چرخ ABS فشار باد تایر را براساس یک الگوریتم خاص تخمین می‌زند. در اندازه‌گیری مستقیم اما یک حسگر روی رینگ داخل تایر یا روی والو^۳ نصب می‌شود و فشار باد را اندازه می‌گیرد. روش‌های مختلف زیادی از حسگر TPMS^۴ می‌تواند در بازار پیدا شود. واضح است که اندازه‌گیری به صورت مستقیم بسیار دقیق‌تر از اندازه‌گیری غیرمستقیم است. بعضی از سیستم‌های TPMS علاوه بر فشار باد تایر دمای تایر را نیز اندازه می‌گیرند. همچنین به غیر از فناوری حسگر به اصول اندازه‌گیری، منبع تغذیه، انتقال داده‌ها و جز این‌ها نیاز دارد ادغام شود.

۳. حسگر تایر دارمستد

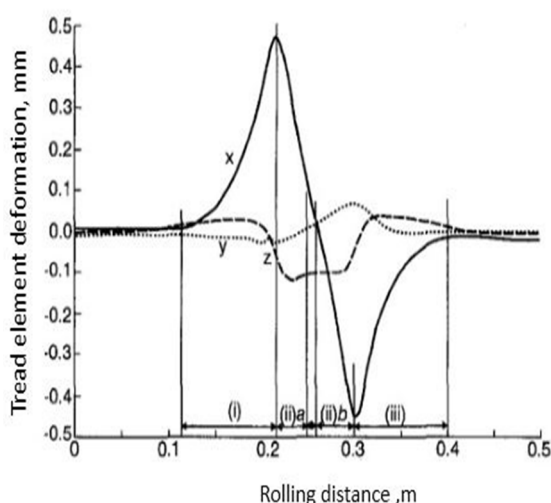
از دیگر اقدامات در زمینه فناوری تایرهای هوشمند، سیستم حسگری است که توسط محققان دانشگاه دارمستد^۵ آلمان به ثبت رسیده است. در این اختراع یک آهنربا در داخل آج تایر قرار دارد که حرکت آن توسط یک حسگر هال نمایش داده می‌شود شکل ۱ جابه‌جایی آج‌ها به اصطکاک و نیروهای تماسی جاده و تایر وابسته است که می‌تواند نمایش داده شود [۳].

در این سیستم از چهار حسگر موقعیت، که به صورت صلیب در کنار هم قرار گرفته‌اند، و یک حسگر دما استفاده شده است. برای نمایش موقعیت و انحراف بلوک آج تایر یک آهنربای دائم در فاصله ۱ میلی‌متری از حسگرهای هال^۶ درون لاستیک قرار دارد. سیگنال‌های تفاضلی دو جهت x و y سیگنال‌های تغییر شکل خروجی در جهت x و y را نشان می‌دهد. مجموعی از چهار ولتاژ هال، تشکیل یک سیگنال در جهت z می‌دهد. محدوده اندازه‌گیری شبه‌خطی ۱ میلی‌متر است. برای انتقال بی‌سیم سیگنال‌های حسگر درون تایر به دستگاه اندازه‌گیر، سیستم

تله‌متری^۷ کوچک چهار کاناله قدرت کم^۸ استفاده شده است. تغییر شکل تایر حتی قبل از رسیدن به تماس مستقیم با جاده رخ می‌دهد. سیگنال‌های x و y به ترتیب نشان‌دهنده تغییر شکل در راستای محور طولی و جهت جانبی تایر است. در شکل ۲ یک سیگنال پاسخ از این حسگرها نمایش داده شده است.



شکل ۱. حسگر تغییر شکل تایر با استفاده از اثر هال [۳]



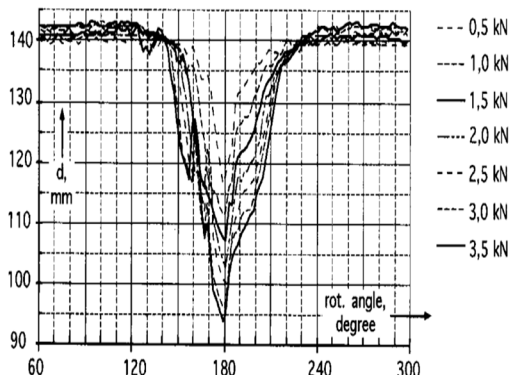
شکل ۲. سیگنال خروجی از سنسور هال [۴]

۴. حسگر آلتراسونیک

حسگر آلتراسونیک^۹ روی رینگ و داخل تایر نصب می‌شود و بار چرخ و خمیدگی عمودی تایر را تشخیص می‌دهد. حسگر به طور پیوسته فاصله تا دیواره داخلی تایر را اندازه می‌گیرد و اطلاعاتی درباره پارامترهای تماس تایر و دما از سیگنال خروجی آن می‌توان استخراج کرد. مشخصه مناسب برای اندازه‌گیری بار چرخ، خمیدگی عمودی تایر از مرکز آج تایر است شکل ۳ برای اندازه‌گیری این مقدار، حسگر فاصله بین رینگ و لایه داخلی آج را اندازه می‌گیرد [۵].

کاهش شعاع چرخ در منطقه تماس آج با جاده سبب جابه‌جایی در محیط تایر ولی با کمی افزایش شعاع در بیرون از

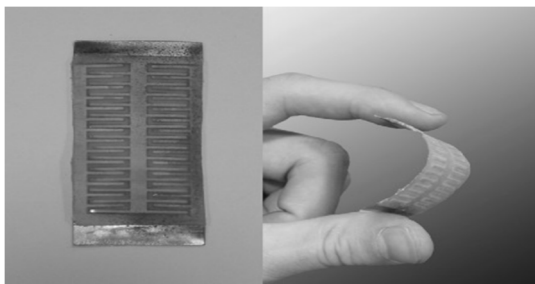
می‌آید، اما به دلیل افزایش فشار باد تایر مقدار جابه‌جایی کمتر و نیروی کمتری به دست می‌آید.



شکل ۵. تغییر شکل تایر در برابر زاویه چرخش تایر با فشار باد تایر ۱/۵ بار در بارهای مختلف [۵]

۵. حسگر خازنی

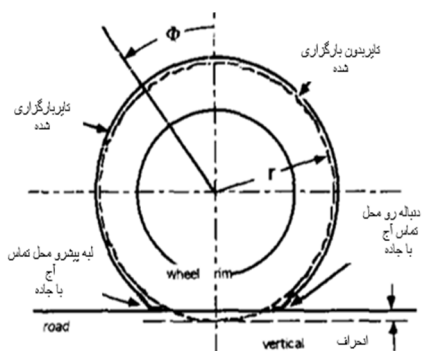
متسوزاکی و همکاران حسگری ارائه کردند که از تغییرات خازن فلزی بین انگشتی اطلاعات مربوط به کرنش تایر را به دست آورد [۶]. حسگر تشکیل شده از دو لایه الکتروکود شانه‌دار مسی و پلی‌آمید که به هم متصل شده‌اند، فضای بین شانه‌ها را با مواد رزین اپوکسی می‌پوشانند، که در شکل ۶ مشاهده می‌شود. رزین سختی کم و کشش زیادی دارد، بنابراین وقتی تایر دچار کرنش شود، این کرنش به حسگر اعمال می‌شود و منجر به تغییرات خازن بین الکترودها می‌شود.



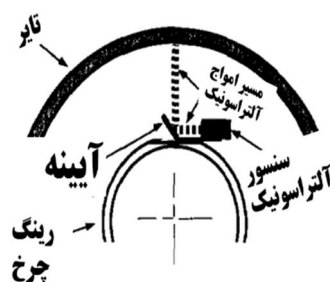
شکل ۶. حسگر رزین اپوکسی برای استفاده در تایر [۶]

بزرگترین عیب این حسگرها سختی زیاد آنها به نسبت تایر است، اختلاف سختی سبب تنش در لبه‌های اتصال مواد نامتشابه به علت اعمال بار خارجی یا تنش حرارتی می‌شود، و منجر به جدا شدن شدن حسگر و حتی به سطوح تایر آسیب وارد می‌کند. در شکل ۷ یک نتیجه از حسگر خازنی TC را نشان می‌دهد که با افزایش تنش کششی، ظرفیت خازن کاهش می‌یابد.

منطقه تماس است. در ناحیه کمی قبل و بعد از ناحیه تماسی افزایش بیشتر شعاع چرخ به نسبت محیط چرخ داریم. میدل آلتراسونیک باید عرض پرتو تابش باریک و مطلوبی برای جلوگیری از بازتاب اشیای جزئی داشته باشد. از طرف، پرتو باید یک عرض کافی برای تولید یک پژواک خوب داشته باشد حتی وقتی جهت پرتو اصلی دقیقاً عمود به بازتاب دیواره باشد. موقعیت حسگر درون تایر یک حفاظت خوب از راه‌اندازی میدل تضمین می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۴ نمایش داده شده، میدل به‌طور مماسی با رینگ چرخ قرار گرفته است و تابش آلتراسونیک توسط یک آینه تغییر مسیر می‌دهد.



شکل ۳. رفتار تایر در حال غلت [۵]



شکل ۴. راه‌اندازی اندازه‌گیر آلتراسونیک درون تایر [۵]

شکل ۵ نتیجه به دست آمده از این آزمایش را نشان می‌دهد که آزمایش برای یک تایر با مشخصات فشار باد تایر ۱/۵ بار، زاویه کمبر و لغزش صفر، بار وارده به چرخ از ۰/۵ تا ۴ کیلو نیوتن داده شده است.

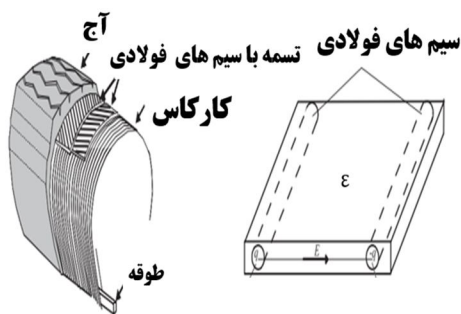
همان‌طور که مشخص است، مقدار بار چرخ تابعی از زاویه گردش تایر است. خمیدگی عمودی تایر به آسانی از اختلاف فاصله در ناحیه بدون تغییر شکل و بیشترین تغییر شکل در $\phi = 180$ محاسبه می‌شود که در شکل ۵ نمایش داده شده است. برای فشار باد ۲ بار هم نتیجه یکسانی مانند قبل به دست

نشان دهنده تغییر شکل تایر است. در شکل ۹ یک نمونه از روش فوق را نشان داده است.

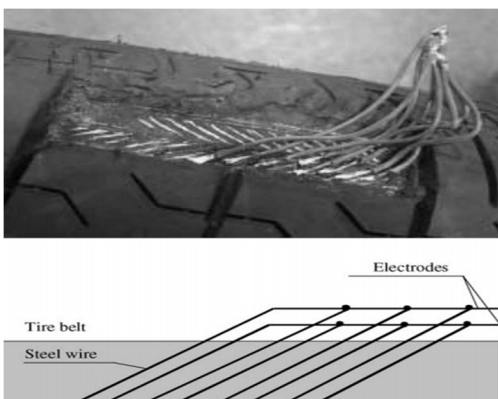
۶. حسگر نوری

۱-۶. شناساگر حساس موقعیت

تونونن و همکاران [۹] هسته اصلی حسگر نوری تایر، شناساگر حساس موقعیت دوبعدی است که از مقاومت سطحی، دیودهای حساس به نور استفاده می‌کنند. شناساگر حساس موقعیت در داخل تایر روی رینگ نصب می‌شود که می‌تواند حرکت نور ساطع شده از دیود LED را تشخیص دهد، که در زیر لایه زیرین تایر قرار دارد (شکل ۱۰). باید توجه داشت که شدت نور LED در برابر جابه‌جایی زاویه‌ای ثابت نیست. برای مثال جابه‌جایی ۳۰ درجه، شدت نور ۲۰ درصد کمتر می‌شود، از یک لنز محدب با پوشش ضدانعکاس برای تمرکز کردن نور استفاده می‌شود. فاصله کانونی مؤثر ۹ میلی‌متر که فاصله لنز از حسگر است. در این کار حسگر روی یک رینگ قابل تقسیم نصب شده است و یک باتری لیتیوم برای منبع تغذیه استفاده شده است و اطلاعات این حسگر به صورت دیجیتال و به صورت بی‌سیم در فرکانس ۴۳۳ مگاهرتز به دریافت‌کننده منتقل می‌شود. این اطلاعات با شبکه CAN منتقل می‌شود.

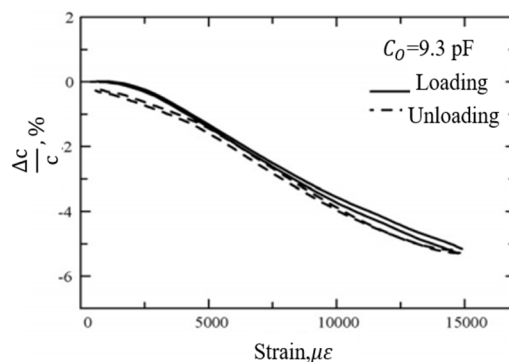


شکل ۸. استفاده از سیم‌های فولادی خود تایر برای تشخیص تغییر شکل



شکل ۹. آرایش الکترودهای تسمه تایر [۸]

در پژوهش متسوزاکی [۷] یک حسگر کرنش خازنی بر مبنای لاستیک تایر پیشنهاد شده است، که سختی الاستیک، نسبت پواسون، ضریب انبساط گرمایی و دیگر پارامترهای مکانیکی آن مانند لاستیک بوده که رفتار دقیق‌تری از کرنش نشان می‌دهد. در این روش الکترودهای حسگر با مواد لیتوگراف نوری ساخته می‌شوند؛ به طوری که ظرفیت خازن بالاتر به آسانی با این روش امکان‌پذیر است. حسگر روی سطح داخلی لاستیک نصب می‌شود. در کار دیگری از متسوزاکی و همکاران [۸] اثبات شده است که کرنش تایر همان تغییرات خازن خود تایر است. در روش قبل نیاز به یک منبع تغذیه بود، اما در این روش نیازی به منبع تغذیه نیست و تغییرات خازن در بین دو سیم فولادی تسمه تایر که روبروی هم قرار دارند اندازه‌گیری می‌شود و فرکانس به دست آمده از آن را با یک مدار تقویت‌کننده افزایش می‌دهند. این روش سبب خرابی سطح تایر نمی‌شود. شکل ۸ یک تایر رادیال را نشان می‌دهد که لایه‌های کارکاس^۱ به صورت عمود بر طوقه تایر قرار گرفته‌اند.



شکل ۷. تغییر ظرفیت حسگر TC در هنگام اعمال کرنش [۶]

وظیفه کارکاس تایر نگه داشتن شکل تایر است، که معمولاً از فیبر آلومینا مانند پلی‌استر استفاده می‌کنند. روی لایه کارکاس سیم‌های فولادی سوار شده‌اند که این اعضا با لاستیک پوشش داده شده‌اند و لایه آج هم روی آنها قرار می‌گیرد. تغییر شکل در آج، به لایه‌های سیم انتقال داده می‌شود که اندازه‌گیری کرنش در سیم‌های فولادی بیانگر تغییر شکل در آج تایر است. سیم فولاد یک رسانای الکتریکی است و لاستیک یک مقاوم الکتریکی که در واقع همان دی‌الکتریک است. وقتی لایه‌های سیم فولادی کشیده می‌شود، فاصله بین سیم‌ها زیاد می‌شود که مقدار ظرفیت خازن افت می‌کند و مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد که این

۶-۲. لیزر

استفاده شده است. لیزر درون تایر منطقه بیشتری از تایر را پوشش می‌دهد.



شکل ۱۱. نمونه‌ای از سیستم لیزری برای اندازه‌گیری تغییر شکل آج تایر

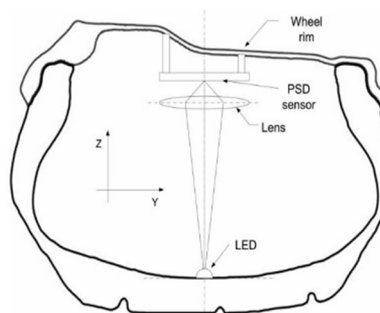
۶-۳. دوربین

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک مطلوب است که کرنش و شعاع غلتش تایر (جابه‌جایی خارج از صفحه) را اندازه بگیریم. در این روش از یک سیستم نمایش همزمان کرنش دورن صفحه‌ای و جابه‌جایی خارج از صفحه تایر با استفاده از روش ارتباط تصویر دیجیتال^{۱۲} و طرح نقاط نوری استفاده شده است. کرنش و جابه‌جایی از روی پردازش تصویر سطوح داخلی تایر که با دوربین CCD نصب شده روی رینگ محاسبه می‌شود. در این روش جابه‌جایی خارج از صفحه با استفاده از طرح نقطه نوری محاسبه می‌شود و کرنش سطوح هم از تغییرات درون صفحه، که از روی پردازش تصویر به دست می‌آید، محاسبه می‌شود (شکل ۱۳). تصویر نقطه نوری روشی مبتنی بر اصل قضیه مثلثاتی است که از زاویه بین لیزر و محور دوربین به دست می‌آید. این روش قادر است جابه‌جایی خارج از صفحه را با دقت بالا محاسبه کند. وجود لیزرهای با دقت بالا و قیمت بالا سبب افزایش هزینه تمام شده و نگهداری بیشتر این سیستم می‌شود. متسوزاکی و همکاران [۱۳] روشی نوین برای نمایش پیوسته کرنش و جابه‌جایی با استفاده از بلوک‌های لاستیکی چسبیده به سطح درون تایر استفاده کردند. شکل ۱۴ به علت همجنس بودن این بلوک‌ها با لاستیک تایر از جدا شدن آن که به علت یکسان نبودن سختی و خواص مکانیکی رخ می‌دهد، جلوگیری می‌شود. بلوک‌ها در دو ردیف قرار گرفته اند.

۷. حسگر موج صوتی سطحی

پل و همکاران [۱۴] از یک حسگر SAW برای تخمین اصطکاک استفاده کرده‌اند. حسگر درون تایر قرار می‌گیرد و از یک پین

ژیونگ [۱۰] با استفاده از دو حسگر لیزر نیمه‌هادی با الگو نور مثلثاتی و یک اینکودر برای اندازه‌گیری موقعیت زاویه‌ای، تغییر شکل بلوکه آج تایر را محاسبه کرده است. آج تایر تنها قسمتی است که تماس با سطح جاده دارد، بنابراین اثر قابل توجهی بر عملکرد تایر از قبیل کشش، سایش و مقاومت غلتشی دارد. تغییر شکل آج با سطح تماس یک پدیده سه‌بعدی پیچیده است که شامل تغییر شکل برشی، خمشی و فشاری است.

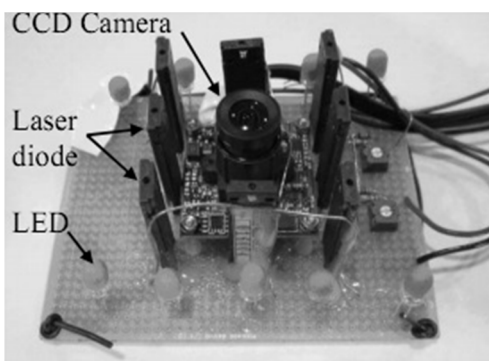


شکل ۱۰. حسگر نوری درون تایر [۹]

تغییر شکل خمشی، که امروزه با روی کار آمدن انعطاف‌پذیری آج تایر مقدار آن را به حداقل رسانده‌اند، تنش برشی شدیداً به فشرده شدن آج تایر وابسته است و از طرفی فشرده شدن آج تایر در اصطکاک تایر هم تأثیر دارد؛ به همین خاطر در این مقاله به اندازه‌گیری فشرده شدن بلوکه آج تایر تمرکز شده است. یک حسگر لیزری درون تایر روی رینگ نصب شده است و همراه با رینگ می‌چرخد که مقدار ارتفاع دیواره تایر (فاصله بین آج و طوقه تایر) را اندازه می‌گیرد. اطلاعات حسگر اول از طریق یک رینگ لغزشی خوانده می‌شود. حسگر لیزر دوم روی یک محور هرز که به تویی تایر متصل است استفاده شده است که در محل خود ثابت است و شعاع تایر تا زمین را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری زاویه دوران حسگر درون چرخ از یک رمزگذار نوری یا اینکودر^{۱۱} استفاده می‌کنند که در هنگام غلتش تایر، زاویه حسگر لیزری اول که متصل شده به رینگ است را با راستای عمودی تایر مشخص می‌کند که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

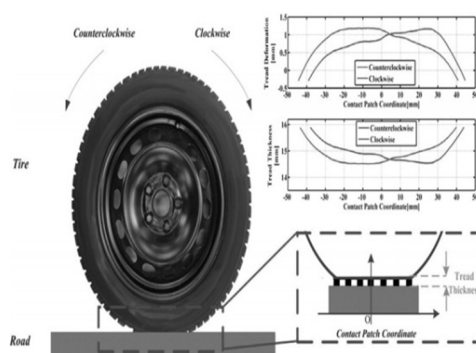
در این مقاله، درباره ارتباط تغییر ضخامت آج تایر با مقاومت غلتشی تایر بحث شده است و اثر پارامترهایی مانند بار وارده به چرخ، فشار باد تایر و سرعت تایر را بر روی تغییر شکل آج بررسی شده است. در پژوهش انجام شده توسط ایکسیونگ [۱۱] تغییر شکل جانبی تایر با استفاده از همین روش، اما به صورت دوبعدی

می‌شود و پاسخ حسگر از طریق یک آنتن فرستاده می‌شود. دو حسگر درون تایر قرار دارد که هرکدام برای یک جهت استفاده می‌شود. دستگاه SAW درون یک محافظ برای جلوگیری از گردوغبار درون تایر به کار گرفته شده است. برای جلوگیری از خم‌شدگی زیاد از یک آهن زایه استفاده شده است که جلوی حرکت زیاد ساچمه کروی در بارهای زیاد را می‌گیرد.

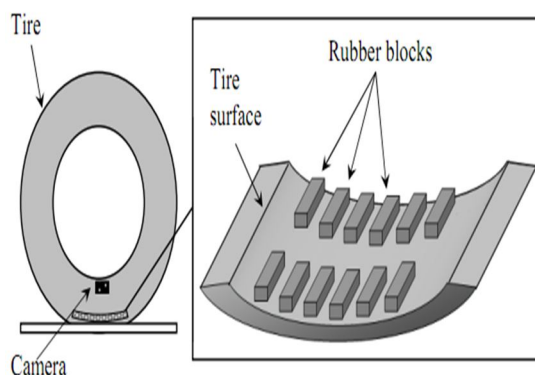


شکل ۱۳. (شکل چپ) شماتیک تایر تحت تست، (شکل راست) دوربین استفاده شده در تایر [۱۲]

به‌عنوان اهرم استفاده می‌شود که در شکل ۱۵ نشان داده شده است. یک سر بین درون المان‌های آج تایر قرار گرفته، قسمت بالا اهرم به یک ساچمه کروی متصل است که به حسگر SAW متصل شده است. تغییر شکل در جهت x به صورت یک جابه‌جایی در ساچمه کروی شده و در نهایت سبب خم شدن حسگر SAW می‌شود که در خروجی حسگر این مقدار خم‌شدگی به ولتاژ تبدیل



شکل ۱۲. تغییر شکل آج تایر برای یک تایر رادیال [۱۰]



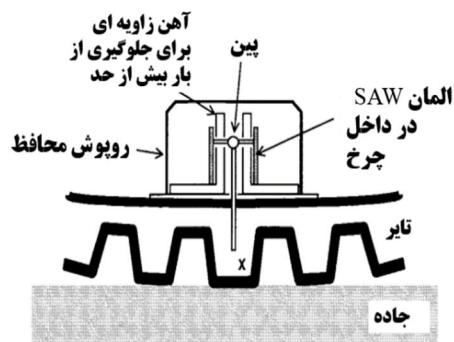
شکل ۱۴. آزمایش تایر با بلوک‌های لاستیکی درون تایر برای اندازه‌گیری جابه‌جایی خارج از صفحه [۱۳]

محور z تعریف می‌شود که به ترتیب شتاب محیطی، جانبی و شعاعی را اندازه می‌گیرد. شتاب‌سنج‌ها در کنار هم قرار گرفتند که نیمی از منطقه تماس تایر در جهت جانبی را پوشش می‌دهند. موقعیت شتاب‌سنج‌ها در پشت شیارهای تایر قرار می‌گیرد به جز شتاب‌سنج ۳ که در پشت بلوک آج قرار گرفته است. از یک رینگ لغزشی جهت انتقال داده‌های شتاب‌سنج استفاده شده است. این رینگ دستگاهی الکترومکانیکی است که امکان انتقال برق و سیگنال‌های الکتریکی را از یک ساختار دوار به یک ساختار ثابت فراهم می‌کند. طول تماس تایر و جاده، فاصله بین دو پیک از

۸. شتاب‌سنج

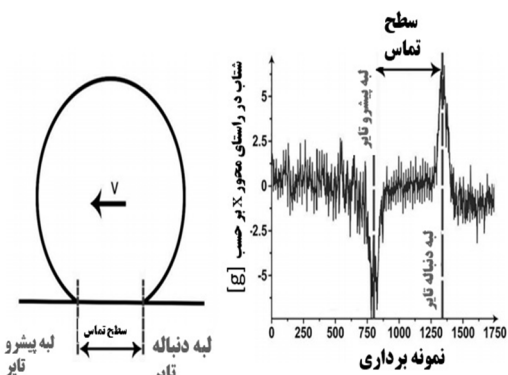
نیسکانن^{۳۳} و همکاران [۱۵] طول سطح تماس و اصطکاک را توسط شتاب‌سنج اندازه گرفته‌اند. در این مطالعه اندازه‌گیری روی دو سطح یخ و بتن با زبری نرم و یکسان اندازه‌گیری شده است. این به خاطر است که اثر زبری سطوح روی سیگنال‌های شتاب حذف شود. سه حسگر شتاب‌سنج سه محوری با وزن هر کدام $1/18g$ انتخاب شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، شتاب‌سنج‌ها به آستر داخلی تایر متصل شده‌اند. وقتی شتاب‌سنج روی لایه داخلی و در مقابل سطح جاده قرار می‌گیرد، جهت طولی همان محور x، جهت جانبی محور y و جهت عمودی

شتابسنج در جهت x است که در لبه‌های پیشرو و دنباله به علت تغییر شکل تایر اتفاق می‌افتد مقدار طول تماس از زمان بین پیک‌ها ضربدر سرعت شتابسنج به دست می‌آید که سرعت شتابسنج تقریباً برابر با سرعت خودرو است (شکل ۱۷).



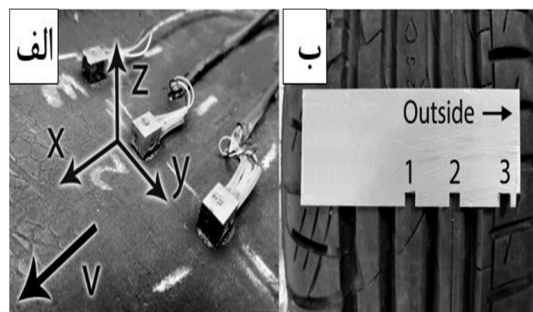
شکل ۱۵. ساختمان داخلی حسگر SAW [۱۴]

انجام شده است. شکل ۱۹ که از روی سیگنال شتاب طولی به دست آمده، طول تماس تایر در دو حالت جاده خشک و آب‌گرفتگی کامل را نشان می‌دهد که نتایج تقریباً با هم برابر است. در شکل ۲۰ برای حالتی است که هنوز آب‌گرفتگی تایر به طور کامل انجام نشده است، در حالت نیمه‌آب‌گرفتگی ۳ پیک وجود دارد که پیک اول تماس با آب، پیک دوم تماس با جاده و پیک سوم دوباره لبه پیشرو را نشان می‌دهد.



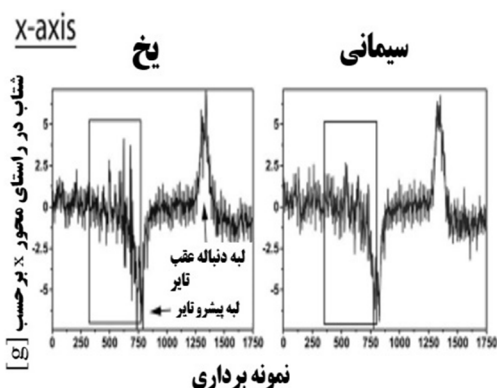
شکل ۱۷. موقعیت لبه‌های پیشرو و دنباله در تایر و پیدا کردن لبه‌ها در

سیگنال طولی شتابسنج [۱۶]



شکل ۱۶. الف) شتابسنج نصب شده روی لایه داخلی تایر، ب) موقعیت

شتابسنج روی تایر [۱۵]



شکل ۱۸. سیگنال شتاب (x) از شتابسنج آروی یخ و سیمان

[۱۶] (۲/۲bar، ۲۰Km/h)

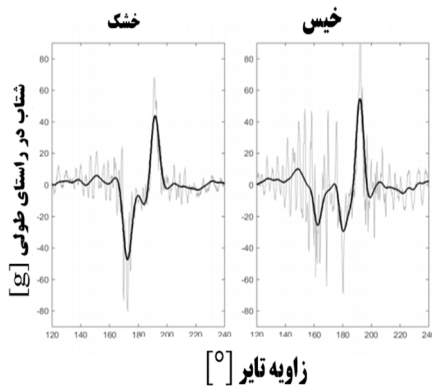
۹. مروری بر فعالیت‌های انجام شده

ارینا^{۱۴} و همکاران [۱۷] برای به دست آوردن سطح تماس تایر با جاده از روش سافت حسگر^{۱۵} استفاده کردند، در این روش از داده‌های متغییر که در ارتباط با تایر است استفاده می‌کنند. متغیرهای که به طور مستقیم با سطح تماس تایر در ارتباط است از قبیل شتاب هر چرخ در محور z، جابه‌جایی تعلیق از هر دمپر، زاویه انحراف شاسی مانند (زاویه رول، زاویه غلتش طولی، زاویه یاو)، زاویه فرمان. کیم و همکاران [۱۸] یک رابطه بین کرنش تایر و

بزرگترین طول در مرکز تماسی که شکل بیضوی دارد ایجاد می‌شود و کوتاه ترین آن مربوط به شتابسنج ۳ است که در لبه‌های کناری تایر قرار دارد. فشار باد تایر هم روی طول تماس تأثیر دارد که به طور مثال اگر باد تایر کم باشد طول تماس با جاده افزایش پیدا می‌کند. برای تخمین اصطکاک، یکی از قسمت‌های مهم شتابسنج قسمت قبل از تماس است. در لبه پیشرو ارتعاشات مختلفی برای سطوح‌های مختلف در شکل ۱۸ نشان داده شده است که در سطح یخ این ارتعاشات بیشتر است. افزایش لغزش در ناحیه تماس با جاده در سطوح کم اصطکاک بیشتر است که همین امر سبب ارتعاش بیشتر بلوک‌های آج می‌شود.

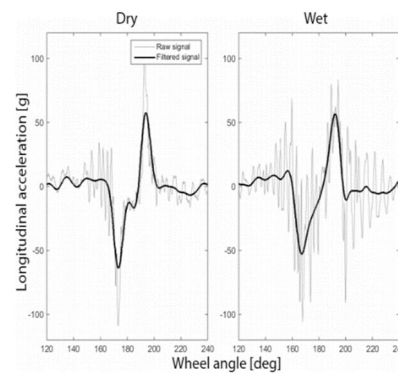
تغییرات ارتعاش شتاب در شتابسنج‌های دیگر بسیار کمتر است و تنها داده‌های مربوط به شتابسنج ۱ اهمیت دارد. نیسانان و همکاران [۱۶] برای تخمین حالت آب‌گرفتگی تایر از روش شتابسنج استفاده کردند که آزمایش روی دو جاده خشک و خیس

مگنتومتر، سیستم موقعیت‌یاب جهانی^{۱۶} و واحد اندازه‌گیری اینرسی^{۱۷} زاویه لغزش خودرو با استفاده از یک فیلتر سری کالمن و ضریب اصطکاک تایر و جاده را بر مبنای دینامیک خودرو و مدل برآش تایر تخمین زده‌اند. متسوزاکی و همکاران [۲۱] و [۲۲] با استفاده از شتاب‌سنج مقدار ضریب اصطکاک تایر و زاویه لغزش تایر را روی سطوح مختلف به‌صورت تخمینی اندازه گرفته‌اند.



شکل ۲۰. سیگنال شتاب طولی خام و فیلتر شده از جاده خشک (چپ) و آب‌گرفتگی کامل (راست) در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت [۱۶]

بقیه پارامترهای خودرو مانند بار وارده به تایر، سرعت طولی خودرو و در آخر یک مدل برای تایرهای هوشمند ارائه دادند. در پژوهش انجام شده توسط شیواو [۱۹] با استفاده از یک سلول شناسایی فرکانس رادیویی سایش آج تایر را به‌صورت هشدار به راننده اعلام می‌کند، از مزایای این سیستم کوچک بودن، هزینه کم و عدم نیاز به باتری است. یون و همکاران [۲۰] با ترکیب اندازه‌ها از یک



شکل ۱۹. سیگنال شتاب طولی خام و فیلتر شده از جاده خشک (چپ) و آب‌گرفتگی کامل (راست) در سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت [۱۶]

۱۰. نتیجه‌گیری

متوسط را داراست، اما حسگرهای نوری مقدار بالاتری را دارند. اما از نظر اثرگذاری روی تایر مقدار کمتری دارند که این به‌علت عدم تماس این حسگرها با تایر است. در آینده می‌توان با استفاده از پردازش سیگنال حسگر شتاب‌سنج اطلاعات مفیدی به‌صورت مستقیم از تایر به‌دست آورد، از جمله ضریب اصطکاک و زاویه لغزش تایر. همچنین با گذاشتن چندین حسگر در تایر می‌توان به‌صورت لحظه‌ای این اطلاعات را در اختیار کامپیوتر خودرو قرار داد که کمک به سیستم‌های پایداری و ایمنی خودرو می‌کند.

فعالیت‌های انجام‌شده در حوزه تایرهای هوشمند را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد: دسته نخست در پی یافتن حسگری مناسب برای دستیابی به اطلاعات درباره تایر بوده است. دسته دوم اما به‌دنبال حسگری با سختی کمتر و بدون نیاز به منبع تغذیه برای گرفتن این اطلاعات بود. دسته‌بندی آخر به استفاده از سایر اطلاعات اضافی و مفید یک حسگر برای اطلاعاتی درباره پایداری یک خودرو مطلوب پرداخته‌اند. در جدول ۱ اهمیت این حسگرها آمده است که شتاب‌سنج از نظر دقت، هزینه، دوام‌پذیری مقدار

جدول ۱. مقایسه‌ای از اهمیت حسگرها

نوع حسگر	دقت	دوام پذیری	هزینه	اثر آن روی تایر
شتاب‌سنج	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
نوری	زیاد	زیاد	زیاد	کم
کرنش‌سنج	متوسط	کم	کم	متوسط
PVDF	متوسط	کم	متوسط	متوسط
حسگر هال	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد

- [1] L. Li and F. Y. Wang, *Advanced motion control and sensing for intelligent vehicles*, Springer Science & Business Media, 2007
- [2] A. Consortium, Intelligent tyre systems - State of the art and potential technologies, APOLLO Deliverable D7 for Project IST-2001-34372, 2003.
- [3] O. Yilmazoglu, M. Brandt, J. Sigmund, E. Genc, H. Hartnagel, Integrated InAs/GaSb 3D magnetic field sensors for “the intelligent tire, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 94, pp. 59-63, 2001.
- [4] M. Brandt, V. Bachmann, A. Vogt, M. Fach, K. Mayer, B. Breuer, et al., Highly sensitive AlGaAs/GaAs position sensors for measurement of tyre tread deformation, *Electronics letters*, vol. 34, pp. 760-762, 1998.
- [5] V. Magori, V. Magori, N. Seitz, On-line determination of tyre deformation, a novel sensor principle, in *Ultrasonics Symposium*, 1998. Proceedings., 1998 IEEE, 1998, pp. 485-488.
- [6] R. Matsuzaki and A. Todoroki, Wireless flexible capacitive sensor based on ultra-flexible epoxy resin for strain measurement of automobile tires, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 140, pp. 32-42, 2007.
- [7] R. Matsuzaki, T. Keating, A. Todoroki, N. Hiraoka, Rubber-based strain sensor fabricated using photolithography for intelligent tires, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 148, pp. 1-9, 2008.
- [8] R. Matsuzaki, A. Todoroki, Passive wireless strain monitoring of actual tire using capacitance - resistance change and multiple spectral features, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 126, pp. 277-286, 2006.
- [9] A. J. Tuononen, Optical position detection to measure tyre carcass deflections, *Vehicle System Dynamics*, vol. 46, pp. 471-481, 2008.
- [10] Y. Xiong, A. Tuononen, A laser-based sensor system for tire tread deformation measurement, *Measurement Science and Technology*, vol. 25, p. 115103, 2014.
- [11] Y. Xiong, In-plane Tire Deformation Measurement Using a Multi-Laser Sensor System, 2016.
- [12] N. Hiraoka, R. Matsuzaki, A. Todoroki, Concurrent monitoring of in-plane strain and out-of-plane displacement of tire using digital image correlation method, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 3, pp. 1148-1159, 2009.
- [13] R. Matsuzaki, N. Hiraoka, A. Todoroki, Y. Mizutani, Optical 3D Deformation Measurement Utilizing Non-planar Surface for the Development of an Intelligent Tire, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 4, pp. 520-532, 2010.
- [14] A. Pohl, R. Steindl, L. Reindl, the intelligent tire utilizing passive SAW sensors measurement of tire friction, *Instrumentation and Measurement*, IEEE Transactions on, vol. 48, pp. 1041-1046, 1999.
- [15] A. Niskanen, A. J. Tuononen, Three Three-Axis IEPE Accelerometers on the Inner Liner of a Tire for Finding the Tire-Road Friction Potential Indicators, *Sensors*, vol. 15, pp. 19251-19263, 2015.
- [16] A. J. Niskanen, A. J. Tuononen, Accelerometer tyre to estimate the aquaplaning state of the tyre-road contact, in *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2015 IEEE, 2015, pp. 343-348.
- [17] L. Urbina, C. A. Duchanoy, G. Faustino-González, M. A. Moreno-Armendáriz, C. A. Cruz-Villar, H. Calvo, A novel tire contact patch soft sensor via Neural Networks, in *Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2015 12th International Conference on, 2015, pp. 1-6.
- [18] S. Kim, K. S. Kim, Y.-S. Yoon, Development of a tire model based on an analysis of tire strain obtained by an intelligent tire system, *International Journal of Automotive Technology*, vol. 16, pp. 865-875, 2015.
- [19] Y. J. Shiao, C. W. Shiao, C. S. Shiao, Development of an Onboard Automatic Tire-Wear Warning System, in *Applied Mechanics and Materials*, 2013, pp. 1821-1825.
- [20] J. H. Yoon, S. E. Li, C. Ahn, Estimation of vehicle sideslip angle and tire-road friction coefficient based on magnetometer with GPS,

International Journal of Automotive Technology, vol. 17, pp. 427-435, 2016.

[21] R. Matsuzaki, K. Kamai, R. Seki, Intelligent tires for identifying coefficient of friction of tire/road contact surfaces using three-axis accelerometer, *Smart Materials and Structures*, vol. 24, p. 025010, 2014.

[22] R. Matsuzaki, K. Kamai, R. Seki, Intelligent tires for identifying coefficient of friction of tire/road contact surfaces, in *SPIE Smart Structures & Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, 2015, pp. 94350A-94350A-9.

پی نوشت

-
1. Appolo
 2. Advanced Driver Assistance Systems
 3. Valve
 4. Tire Prussure Monitoring Systems (TPMS)
 5. Darmstadt
 6. Hall
 7. Telemetry system
 8. Low power four-channel
 9. Ultrasonic Sensor
 10. Carcass
 11. Encoder
 12. Digital Image Correlation Method (DICM)
 16. Global Positioning System (GPS)
 17. Inertial Measurement Unit (IMU)