

طراحی و ساخت دستگاه شبیه ساز اندازه گیری مقاومت تایر در برابر پدیده سایش (Cut، Chip و Chunk) یا گل کندگی

رئوف خضریان^{۱*}، سیدمحمد حسینی^۲ و کیوان عزیزی^۳

۱- کارشناس مدیریت ابزار، شرکت بارز کردستان

۲- کارشناس فرایند اختلاط، پخت و بازرسی، شرکت بارز کردستان

۳- کارشناس پخت، شرکت بارز کردستان

khezrian_r@barez.org

چکیده: در کارخانه های تولید تایر رادیال سواری، تولید تایر باکیفیت و انجام آزمون های بسیاری برای اطمینان از عملکرد محصول نهایی در بخش های مختلف از خط تولید مانند طراحی و فرمولاسیون نیم ساخته از اهمیت به سزایی برخوردار است. یکی از نیم ساخته های مهم در تایر، ترد است که لازم است ویژگی های منحصر به فردی داشته باشد. اندازه گیری و سنجش میزان مقاومت نیم ساخته ترد در برابر پدیده ی گل کندگی و حصول نتیجه در مدت زمان کوتاه، یکی از چالش های پیش رو در بهبود میزان سایش و مایلژ تایرهای رادیال سواری است. در این زمینه دستگاه آزمون گل کندگی تایر باهدف بررسی رفتار سایش و بریدگی ترکیبات ترد تایر رادیال طراحی و ساخته شد. اجزای دستگاه طراحی شده عبارتند از: موتور الکتریکی، کوپلینگ انتقال نیرو، لودسل اندازه گیری نیرو و مکانیسم نگه دارنده نمونه. این دستگاه شرایطی مشابه کارکرد واقعی تایر در محیط های ساینده و برنده را شبیه سازی می کند.

واژه های کلیدی: سایش (Cut، Chip و Chunk)، گل کندگی، طراحی، دستگاه ICCA

مقدمه

آمیزه به همراه دوده و سیستم پخت سنتی با نسبت گوگرد به شتاب دهنده بین ۱/۵ تا ۲/۱ مناسب است [۵]. Nikolas Ryzí و همکاران به بررسی تأثیر حرارت زایی آمیزه بر پدیده سایش (CC) پرداختند. نتایج بررسی بدین صورت بود که از دیدگاه رفتار مکانیکی، تأیید شد که هرچه بار اعمال شده بیشتر باشد، میزان سایش (CC) در آمیزه SBR نیز بیشتر می شود. اما از نقطه نظر حرارتی، نکته ی شگفت انگیز این بود که تغییرات دما در حین سایش (CC) آمیزه ی SBR کاملاً مستقل از بار اعمال شده است. همچنین مشخص شد شروع فرایند سایش (CC) در دماهای اولیه به نیروی اعمال شده وابسته است، اما افزایش دما در فاز نخست سایش (CC) به نیروی اعمال شده بستگی ندارد. نهایتاً نشان داده شد که در طی سایش (CC)، دما تا یک سطح مشخص افزایش یافته و پس از آن دیگر بالا نمی رود و گرمای تولید شده به محیط اطراف منتقل می شود. [۶].

آزمون سایش (CC) روشی قابل اعتماد برای ارزیابی مقاومت مواد لاستیکی (ترد تایر) در برابر سایش شدید است. در این آزمون ضربات تکرار شونده با فرکانس، نیرو و مدت زمان مشخص به یک نمونه ی لاستیکی مدور داخل یک محفظه ی کنترل شده وارد شده و در نهایت نمونه از نظر سایش و آسیب مورد بررسی قرار می گیرد [۱]. از جمله شرکت های سازنده دستگاه آزمون سایش (CC) می توان به Montech، Endurica LLC و Alpha-Technologies اشاره کرد. از این رو در راستای اندازه گیری و سنجش میزان مقاومت آمیزه ی ترد در برابر پدیده ی سایش (CC) جهت بهبود میزان سایش و مایلژ تایرهای رادیال سواری، نیاز به روش آزمون استاندارد است که زمینه و ایده ی ساخت دستگاه اندازه گیری سایش (CC) مطابق با شرکت های سازنده ی مذکور را فراهم کرد. در نهایت طراحی و ساخت دستگاه آزمون گل کندگی با طراحی ساده و کاربردی و اضافه کردن قابلیت های مختلف آزمون از نظر بارگذاری و سرعت چرخش مختلف مطابق شرایط واقعی جاده، از اهداف این مقاله است.

اصول اولیه طراحی دستگاه

پیش بینی مستقیم آزمایشگاهی معتبر رفتار (CC) آمیزه های لاستیکی مختلف قبل از ساخت نهایی تایر، به دلیل هزینه ی بالای تولید تایرهای آزمایشی و آزمایش آن ها در میدان تست از اهمیت بالایی برخوردار است. آزمایش های

پدیده ی سایش (CC) یا گل کندگی که مخفف شرایط واقعی جاده (Cut، Chip و Chunk) است، به آسیب های وارد بر آمیزه ی ترد تایر بر اثر غلتیدن، سرخوردن (لغزش) و تماس طولانی مدت با سطوح ناهموار یا سخت اطلاق می شود. مقاومت در برابر پدیده ی گل کندگی مخصوصاً برای تایرهای آفرود که در میان سنگ و صخره حرکت می کنند، بسیار مهم است [۱]. در این راستا شرکت Michelin تایر سایز 11R22.5 H XZE [CHIP & CUT] را مخصوص مقاومت در برابر سایش (CC) معرفی و به بازار عرضه کرده است [۲]. مفهوم پدیده سایش (CC) در تایرها، به ویژه بر روی سطوح مختلف جاده، چالشی جدی است و با ایجاد آسیب های موضعی، می تواند عمر تایر را به شدت کاهش دهد [۱]. مطالعات زیادی جهت بهبود مقاومت در برابر پدیده ی سایش (CC) انجام شده است. به عنوان مثال KASI ELANGOVAN و همکاران اثر چگالی پیوندهای عرضی بر سایش (CC) در یک آمیزه ی محتوی SBR را بررسی کردند که نتایج نشان دهنده ی روند افزایش مقاومت در برابر سایش (CC) با کاهش چگالی پیوندهای عرضی بود [۳].

R. Stoček و همکاران رفتار سایش (CC) در آمیزه های لاستیکی بر پایه NR، SBR و آلیاژ NR/SBR (به نسبت ۵۰/۵۰) در بازه ی وسیعی از نیروهای نرمال را بررسی کردند. نتایج بررسی ها نشان داد که در تمام آمیزه های مورد مطالعه، سایش (CC) یا گل کندگی در محدوده ی پایین نیروهای نرمال زیاد می شوند؛ این افزایش برای SBR تا سطوح بالای نیروهای نرمال ادامه می یابد، اما برای NR پس از رسیدن به ماکزیمم، روند کاهشی پیدا می کند که در نتیجه ی کریستالی شدن ناشی از کرنش است [۴].

BYUNG-HO PARK و همکاران در پژوهش خود به طراحی آمیزه ی ترد تایر کامیون مقاوم در برابر پدیده ی سایش (CC) برای جاده های آفرود و غیر آفرود پرداختند. نتیجه ی حاصل شده بدین صورت بود که برای دستیابی به بهترین خواص سایش (CC)، مقدار تنش بین ۹۰ تا ۱۳۵ kgf/cm² برای جاده های آفرود در ۳۰٪ کشش، استفاده از پایه ی پلیمر NR برای شرایط سخت و آلیاژ NR/SBR برای شرایط شدت پایین تر، استفاده از ۱۰ الی ۲۰ phr سیلیکا در فرمول بندی

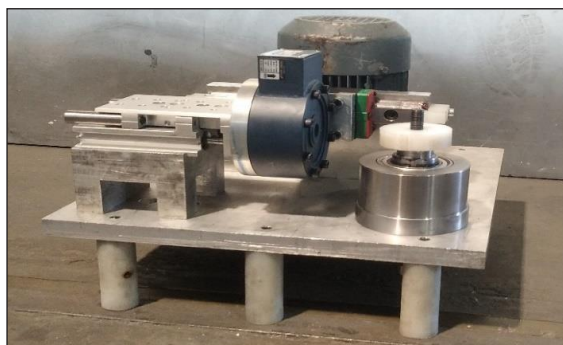
به شرایط واقعی تاپر خودرو در زمان استفاده در خودرو حین سرویس ایجاد می کند. بر این اساس دستگاه مذکور با در نظر گرفتن قابلیت های زیر و مطابق با شکل (۳) اقدام به ساخت شد.

۱. دستگاه باید قابلیت بارگذاری تحت نیروی کنترل شده را داشته باشد
۲. دستگاه می بایست نمونه لاستیکی را در معرض سایش دورانی با سرعت بالا قرار دهد.

۳. اثر ضربه وارد شده به نمونه لاستیکی لازم است تا به صورت داده های عددی دریافت شود

۴. خروجی دستگاه قابلیت مقایسه مستقیم ترکیبات مختلف از نظر عملکرد سایش-بریدگی را فراهم کند.

مطابق با شکل (۳) دستگاه تست گل کندی براساس طراحی انجام شده در نرم افزار سالیدورکس، ساخت شد. این دستگاه از بخش های اصلی موتور الکتریکی، کوپلینگ و گیربکس، لودسل (Load Cell)، نگه دارنده نمونه (Speci-men Holder)، پایه و سیستم راهنمای بارگذاری (Guide Plate) تشکیل شده است. در طراحی دستگاه و به منظور کاهش نیروهای جانبی که اثر منفی بر روی خوانش نیروی وارده از سمت نمونه آزمایش را دارد از جک پنوماتیکی راهنمادار مدل DGST استفاده شده است و برای اطمینان از حرکت خطی بدون انحراف از لاینر گاید HGH30CA بهره گرفته شده است.



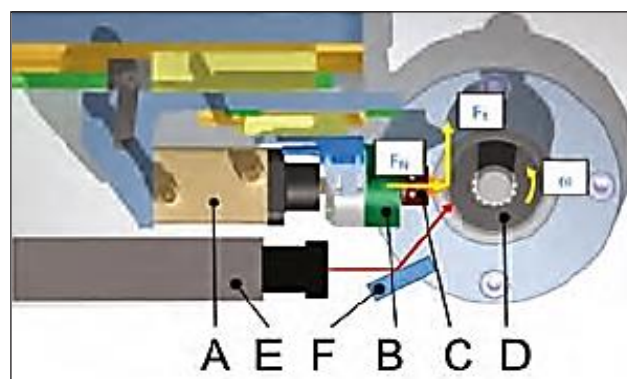
شکل ۳- مجموعه مکانیکال و الکترونیکال داخلی دستگاه ساخته شده

با توجه به اینکه دستگاه مذکور قابلیت کار در دوره های چرخش مختلف نمونه مورد آزمایش و همچنین اعمال نیروی جانبی به نمونه تحت آزمایش به صورت نمودار پله ای در فرکانس های مختلف را دارد، می توان خروجی های مختلفی از دستگاه دریافت کرد و براساس داده های دریافتی و تحلیل های انجام شده اقدام به تغییر در فرمولاسیون کامپاند نمونه های لاستیکی جهت بهینه کردن آن کرد. بدین ترتیب در این پروژه دو دسته متغیر بررسی خواهد شد:

۱. شرایط کاری دستگاه از نظر سرعت و زمان و نحوه تست
 ۲. روش اندازه گیری خروجی ها از طریق ثبت نیرو و اندازه گیری حجم برداشته شده و تصویربرداری قبل و بعد
- لازم به ذکر است با توجه به نمودار پله ای نیروی وارده از طریق سیستم

میدانی (CC) با حداقل دو و حداکثر چهار تاپر آزمایشی با آمیزه، ابعاد و طراحی یکسان انجام می شود که یک فرایند بسیار گسترده، وقت گیر و هزینه بردار است. بنابراین، برای ساده سازی توسعه آمیزه های لاستیکی بسیار مقاوم در برابر پدیده های Cut و Chip، پیش بینی واقع بینانه ی رفتار (CC) با استفاده از آزمایش های آزمایشگاهی به عنوان یک دستاورد آینده نگرا نه و امیدوارکننده در نظر گرفته می شود [۸].

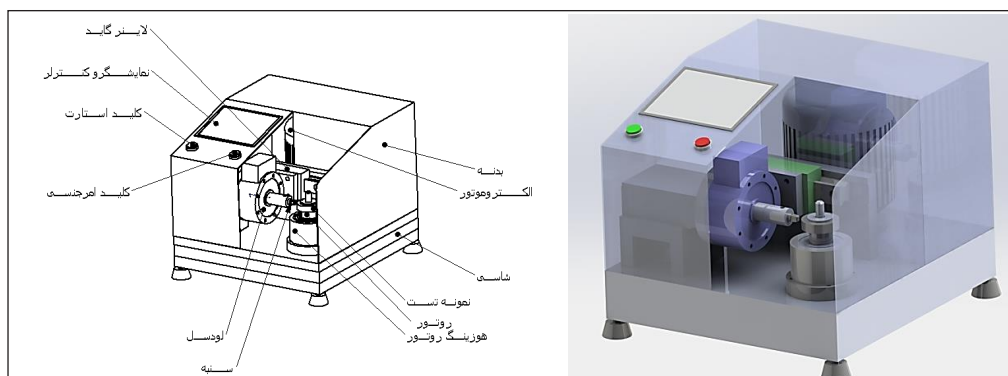
اصول آزمایش عموماً براساس ضربه ی چرخه ای یک نمونه ی لاستیکی کوچک، چرخان و گرد (D) به قطر ۵۵ میلی متر با سرعت تعریف شده توسط کاربر استوار است (شکل ۱)، بدین صورت که یک محرک پنوماتیک (A) ضربه (C) را فعال می کند، که با توجه به فرکانس f بارگذاری داده شده به نمونه ضربه می زند، جایی که نیروی نرمال FN حین زمان ضربه ی تعریف شده کنترل می شود. این زمان ضربه بازمان تماس ترد تاپر با جای ردپا (footprint) مطابقت دارد و از چند میلی ثانیه تا ده ها میلی ثانیه متغیر است. نیروی نرمال FN و نیروهای مماسی Ft به وسیله ی سل بارگذاری دوماحوره (B) به صورت پیوسته اندازه گیری می شوند. پس از گذشت زمان ضربه، ضربه گیر نمونه ی آزمایش را رها کرده و چرخه ی بارگذاری با فرکانس داده شده تکرار می شود.



شکل ۱- طرح شماتیکی اصول اندازه گیری ICCA با محرک پنوماتیک (A)، سل بارگذاری دوماحوره (B)، نگه دارنده + ضربه گیر (C)، نمونه ی آزمایش لاستیکی استوانه ای شکل (D)، سنسور دمایی IR (E)، سطح بازتابنده برای مسیریاب IR (F) و تصویر ICCA

معرفی دستگاه تست گل کندی

مطابق با آنچه در اصول طراحی دستگاه در قسمت قبل اشاره شد، ضمن در نظر گرفتن الزامات طراحی و بهره گیری از مازول های استاندارد مطابق با شکل (۲) اقدام به طراحی دستگاه در نرم افزار سالیدورکس شد. اصل عملکرد این تست بر این است که سطح نمونه دیسکی در تماس با یک ابزار ساینده سخت، تحت دوران سریع و بارگذاری کنترل شده قرار می گیرد. اصطکاک مداوم باعث افزایش دما و نرم شدن سطح می شود، درحالی که لبه های تیز سطح ساینده، الگوی بریدگی و کنده شدن را ایجاد می کنند. ترکیب این دو عامل، تخریبی شبیه



شکل ۲- دستگاه طراحی شده جهت شبیه سازی تست گل کندی تاپر

۳. پردازش تصویر سطح گل کندگی در نمونه ها پس از انجام تست جهت بررسی مقاومت در برابر کندگی

نتیجه گیری

توسعه موفقیت آمیز تردهای تایر بسیار مقاوم در برابر Cut و Chip در درجهی اول نیاز به آمیزه های لاستیکی توسعه یافته براساس نسل جدید مواد اولیه و افزودنی ها دارد. برای توسعه ی بسیار کارآمد و پیشرو در جهان در این بخش به طور فزاینده رقابتی، اجرای روش های آزمایشگاهی پیش بینی کننده یک نکته ی کلیدی است. روش آزمایشگاهی ICCA فرایند بهینه سازی را قبل از تولید تایر تسریع می کند - زمان بهینه سازی و توسعه را تسریع می کند و آزمایش های پرهزینه و میدانی را به حداقل می رساند. در این راستا دستگاه آزمون گل کندگی تایر باهدف بررسی رفتار سایش و بریدگی ترکیبات ترد تایر با اجزای موتور الکتریکی، کوپلینگ انتقال نیرو، لودسل اندازه گیری نیرو و مکانیسم نگه دارنده طراحی و ساخته شد.

پنوماتیکی، نمودار دریافتی از لودسل به دو صورت زیر قابل استخراج است:

۱. نمودار میرا شونده در هر پله از نیروی وارد شده در بازه زمانی مشخص برای تعداد پالس های مشخص
 ۲. استخراج حداکثر نیرو وارده در هر پله از نیروی وارد شده (پیک نیرو) در بازه زمانی مشخص برای تعداد پالس های مشخص
 ۳. ترسیم نمودار میانگین از پیک نیروها در بازه زمانی و مقایسه نمودارهای مختلف در اثر تغییر در نمونه مورد آزمایش
- مطابق با آنچه در بالا اشاره شد، افزون بر نتایج به دست آمده از داده های لودسل می توان دو پارامتر دیگر که به صورت بصری است نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن در اعمال تغییرات در فرمولاسیون نمونه های مورد آزمایش تأثیر گذار باشد:
۱. مقایسه تغییرات وزنی نمونه قبل و بعد از تست گل کندگی
 ۲. پردازش تصویر سطح کندگی در نمونه ها پس از انجام تست جهت بررسی مقاومت در برابر گسستگی سطحی

مراجع

- [1] <https://www.ace-laboratories.com/laboratory-testing-services/cut-chip-testing/>
 - [2] <https://business.michelinman.com/tires/michelin-x-works-z>
 - [3] KASI ELANGOVAN, FRANCIS XAVIER JOSEPHRAJ, ARUN KUMAR MURUGESAN, BALU PANDIAN; Effect of Crosslink Density on Cut and Chip Resistance of 100% SBR Based Tire Tread Compound; Mater. Plast., 58(1), 2021, 34-46.
 - [4] R. Stoček, G. Heinrich, R. Kipscholl, O. Kratina; Cut & chip wear of rubbers in a range from low up to high severity conditions; Applied Surface Science Advances 6 (2021) 100152.
 - [5] BYUNG-HO PARK, DONG-HO CHANG, HAN-SEOK SONG, IL-TAIK JUNG and CHOON-TACK CHO; Design Concept of Tread Compound for Cutting and Chipping Resistance of Truck Tyres on On/Off the Roads; Asian Journal of Chemistry; Vol. 25, No. 9 (2013), 5208-5214.
 - [6] Nikolas Ryzí, Radek Stoček, Jaroslav Maloch, Martin Stěnička; How does heat generation affect the cut and chip wear of rubber?; Polymer Bulletin (2024) 81:17213–17232.
 - [7] Radek Stoček, Tomas Bata, Gert Heinrich, Reinhold Kipscholl; Cut and chip measurement; Tire Technology International 2021.
- [۸] سید محمد حسینی؛ مروری بر توسعه ی روش آزمایشگاهی برای اندازه گیری مقاومت آمیزه ی تایر در برابر پدیده ی Cut و Chip؛ پانزدهمین همایش و پنجمین نمایشگاه بین المللی زنجیره ی ارزش صنایع لاستیک؛ ۲۱ تا ۲۳ دی ۱۴۰۰؛ هتل المپیک تهران؛ ایران.