طراحی و ارزیابی آمیزه های ترد تایر سواری بر پایه فیلرهای هیبریدی ویژه خودروهای برقی

الهام حسن پور*، فرشید ذوالعلی

گروه صنعتی بارز، اداره مهندسی فرآیند تولید آمیزه در بنبوری

elham1372.hassanpour@gmail.com*

چکیده:

تایر به عنوان یکی از اجزای کلیدی خودرو، نقش تعیین کننده ای در ایمنی، مصرف سوخت و پایداری زیست محیطی دارد. آمیزه کاری و انتخاب مواد پرکننده از عوامل اصلی تعیین کننده خواص مکانیکی و دینامیکی تایر محسوب می شود. استفاده سنتی از دوده یا سیلیکا به تنهایی با محدودیت هایی در ایجاد توازن بین مقاومت غلتشی، چسبندگی در شرایط خیس و دوام سایشی همراه است. در سال های اخیر، بهره گیری از نانوکامپوزیت ها و فیلرهای هیبریدی به عنوان راهکاری نوین در طراحی آمیزه های لاستیکی مورد توجه گسترده قرار گرفته است. نانوکامپوزیت هایی نظیر نانورس، گرافن، نانولوله های کربنی و سیلیکای نانو-ساختار می توانند از طریق افزایش سطح تماس و ایجاد تعاملات قوی تر با ماتریس پلیمری، منجر به بهبود خواص مکانیکی و کاهش اتلاف شوند. همچنین فیلرهای هیبریدی مانند ترکیب دوده- سیلیکا یا سیلیکا-گرافن با ایجاد اثر هم-افزایی، امکان دستیابی به بهبود همزمان چند خاصیت کلیدی تایر را فراهم می سازند.

واژه های کلیدی: فیلرهای هیبریدی، تایر خودروهای برقی، اثر هم افزایی سیلیکا-دوده، تایر سبز

محور مقاله: مواد اولیه و آمیزه سازی

مقدمه:

طراحی فرمولاسیون آمیزه های لاستیکی همواره یکی از چالش های اصلی صنعت تایر بوده است، زیرا نیازمند ایجاد توازن بین خواص متناقضی همچون مقاومت غلتشی پایین، چسبندگی مطلوب به سطح خیس و مقاومت سایشی بالا می باشد. در این میان، پرکننده های تقویت کننده اهمیت ویژه ای داشته و تاثیر مستقیم بر عملکرد نهایی تایر می گذارند.

معمولا، دوده به عنوان پرکننده اصلی در آمیزه لاستیکی قرار می گیرد و نقش مهمی در خواص آمیزه به خصوص مقاومت سایشی ایفا می کند. اما، وابستگی به دوده و محدودیت آن در کاهش مقاومت غلتشی و بهبود چسبندگی به سطوح خیس، موجب شد توجه محققان صنعت لاستیک به پرکننده های جایگزین مانند سیلیکا جلب شود. سیلیکا به دلیل توانایی در کاهش مقاومت غلتشی و بهبود ترمزگیری روی سطوح خیس به عنوان گزینه ای برای تایرهای سبز مطرح شد.

در سال های اخیر، رویکرد جدیدی در طراحی آمیزه ها مطرح شده که بر ترکیب دو یا چند نوع فیلر و ایجاد فیلرهای هیبریدی متمرکز است. فیلرهای هیبریدی با بهره گیری از اثر هم افزایی میان پرکننده ها، می توانند خواصی را ایجاد کنند که با استفاده جداگانه از هر فیلر امکان پذیر نیست. برای مثال، ترکیب دوده و سیلیکا می تواند همزمان موجب افزایش دوام سایشی و کاهش مقاومت غلتشی گردد. همچنین ترکیب سیلیکا با نانو موادی مانند گرافن یا نانولوله های کربنی می تواند موجب ارتقای چشمگیر خواص الکتریکی، مکانیکی و دینامیکی گردد.

اهمیت این رویکرد در صنعت تایر زمانی بیشتر می شود که به الزامات خودروهای برقی توجه شود. تایرهای مخصوص این خودروها علاوه بر نیاز به مقاومت غلتشی پایین و دوام بالا، باید قادر به تحمل وزن بیشتر و تولید صدای کمتر نیز باشند. با توجه به رشد تقاضا برای تایرهای سبز، مطالعه و توسعه فیلرهای هیبریدی در آمیزه های لاستیکی به یکی از محورهای اصلی تحقیقات و نوآوری در صنعت تایر تبدیل شده است.

بخش تجربی:

فرمول بندی و تهیه آمیزه:

در این پژوهش، کائوچوی SSBR جز اصلی ماتریس پلیمر و ترکیب سیلیکا، دوده و TESPT با پارت غالب سیلیکا، به عنوان فیلر هیبریدی آمیزه ها در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به اهداف مختلفی مانند مقاومت غلتشی پایین، ترمزگیری مطلوب روی سطح خیس، دوام سایشی بالا از کائوچوهای BR و ESBR نیز در ترکیب ماتریس پلیمری آمیزه استفاده شده است. در ادامه به بررسی فرمول بندی آمیزه ها پرداخته می شود:

جدول ۱ : فرمولاسیون آمیزه ها

اجزا	LRR com.1 (Phr)	EV/AC com. 2 (Phr)	UHP/EV com.3 (Phr)
SSBR	70.0	60.0	75.0
ESBR		10.0	
BR	30.0	30.0	25.0
SILICA	70.0	60.0	65.0
N339	10.0		15.0
N330		20.0	
Nano Clay		20.0	
TESPT 50%	6.0	5.5	6.0
روغن	10.0	11.0	7.0
Alcyl-Phenolic Resin	2.0	3.0	3.5
6PPD	1.2	1.2	1.2
ZnO	2.0	2.0	2.0
Ste.Acid	2.0	2.0	2.0
Parrafin Wax	1.5	1.5	1.5
SULFUR	1.5	1.5	1.5
TBBS	1.4	1.4	1.4
TBZTD	0.4	0.4	0.4
DPG	0.2	0.2	0.2

دستگا ها و روش:

خواص رئومتری نمونه ها با استفاده از رئومتر مدل (Rheometer Alpha2000) ساخت شرکت Alpha مطابق با استاندارد ASTM D5289 در دمای 160 ^{O}C و مونی آن ها با دستگاه MV 2000 ALPHA طبق استاندارد ASTM D1646 اندازه گیری شد. آزمون کشش مطابق با استاندارد DIN53504 با استفاده از دستگاه ZWICK 2.5KN انجام و مقادیر مدول و استحکام کششی نمونه ها گرفته شد. آزمون سختی با دستگاه سختی سنج مدل Shore A H04.3150 ساخت شرکت ZWICK مطابق با استاندارد DIN 53505 تعیین شد. خواص اثر پایین و tanδ با دستگاه D-RPA 3000 ساخت شرکت Montech آلمان طبق استاندارد ASTM D8059-16 اندازه گیری شد. همچنین آزمون HBU با دستگاه Goodrich Flexometer طبق استاندارد ASTM D623 اندازه گیری شد.

بحث و نتایج:

نتایج خواص رئومتری و فیزیکی آمیزه ها در جدول۲ قابل مشاهده است.

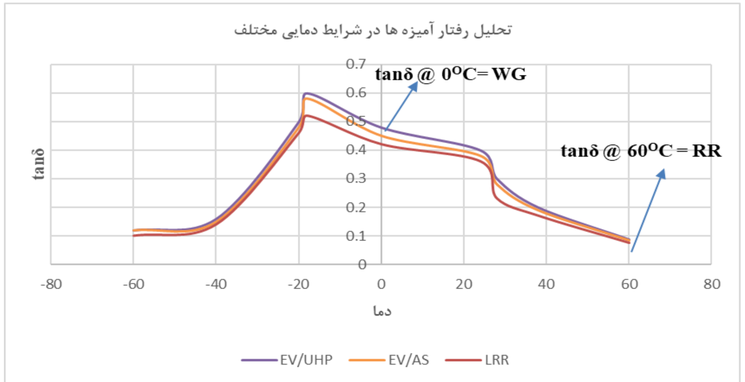
نتایج حاصل از طراحی فرمولاسیون های مختلف بر پایه فیلرهای هیبریدی نشان می دهد که ترکیب مناسب سیلیکا با دوده و نانوفیلرها می تواند مسیر جدیدی برای بهبود همزمان خواص کلیدی ترد تایر فراهم سازد. در ترکیب آمیزه شماره ۱ کاهش محسوس مقاومت غلتشی همراه با حفظ ترمزگیری مناسب روی سطح خیس و مقاومت سایشی قابل قبول به خوبی نشان می دهد که اثرهم افزایی سیلیکا و دوده می تواند محدودیت های استفاده صرف از سیلیکا را جبران کند.

این نتیجه برای خودروهای برقی شهری بسیار حائز اهمیت می باشد. در آمیزه شماره ۲، افزودن نانورس به ترکیب سیلیکا و دوده باعث بهبود همزمان مقاومت سایشی و چسبندگی به سطح خیس مطلوب گردیده است. این ترکیب نشان می دهد که استفاده درست از فیلرهای هیبریدی، نه تنها بر عملکرد تایر در جاده های شهری و شرایط آب و هوایی متنوع موثر است، بلکه می تواند در کاهش آلایندگی ناشی از سایش نیز سهم بسزایی داشته باشد. میزان اتلاف آمیزه شماره ۳ ویژه خودروهای برقی، در دمای بالا نسبت به دو آمیزه قبل بالاتر است و گرمای ایجاد شده بیشتری نسبت به دو فرمول دیگر دارد که نشان می دهد این آمیزه برای عملکرد خاص طراحی شده است و در عین حال ممکن است بر مصرف انرژی اندکی اثر منفی بگذارد.

جدول ۲ : نتایج تست های رئومتری و فیزیکی آمیزه ها

ITEM	Standard	LRR com.1 (Phr)	EV/AC com. 2 (Phr)	UHP/EV com.3 (Phr)
ML(1+4)@130		55	60	58
SPGR	ISO 2781	1.18	1.20	1.19
T10(min)/160C	ASTM D5289	3.4	2.9	3.3
T90(min)/160C	ASTM D5289	9.2	8.9	9.0
MH(lb.in)/160C	ASTM D5289	15.2	14.6	14.8
ML(lb.in)/160C	ASTM D5289	2.8	2.3	2.7
Tensile (MPa)	DIN53504	12.8	13.5	14.2
Elongation (%)	DIN53504	420.0	400.0	380.0
Modulus 300% (MPa)	DIN53504	7.0	7.8	8.5
HD (Shore A)	DIN 53505	68	70	71
HBU ΔT	D 623	18°C	21°C	mm24°C
DIN Abrasion	mm^3	78	68	62
Wet Braking	80km/hr => 0 km/hr	36	35	33

همچنین نتایج tanδ آمیزه ها طبق نمودار زیر قابل مشاهده می باشد.



نمودار شماره ۱: نمودار نتایج tanδ آمیزه ها

مراجع:

[1]Thaptong, P., Sae-oui, P., & Sirisinha, C. (2021). Effect of conductive carbon black on electrical conductivity and performance of tire tread compounds filled with carbon black/silica hybrid filler. Polymer Testing, 96, 107065.

[2] Zou, M., Li, S., & Zhang, H. (2024). Hybrid carbon black/silica reinforcing system for high-performance green tread rubber. Polymers, 16(19), 2762.

[3] Le, H. H., Nakason, C., & Kummerlöwe, C. (2021). Effect of phase selective wetting of hybrid filler on the self-assembly and reinforcement of NR/BIIR blends. Polymer, 228, 123966.

[4] Zhao, F., Liu, Y., & Zhang, L. (2022). Preparation of high-performance and low-rolling resistance tire tread compound based on hydrogen-bonded self-assembled graphene/carbon nanotube–silica hybrid. Polymer Advanced Technologies, 33(12), 4299–4311.