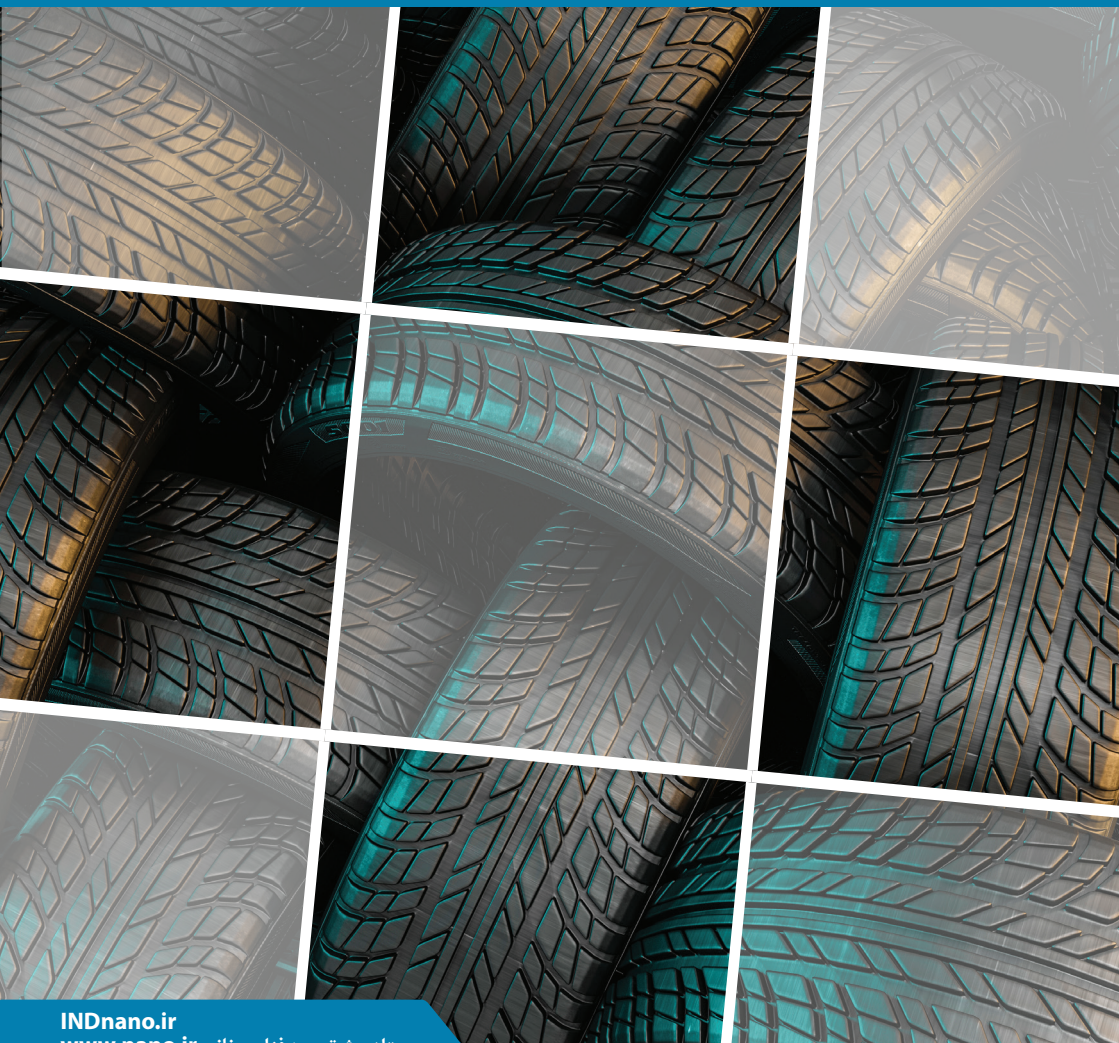


کاربرد فناوری نانو در صنعت تایرسازی



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نماینده:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
سندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir		www.INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۲	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

فهرست مطالب

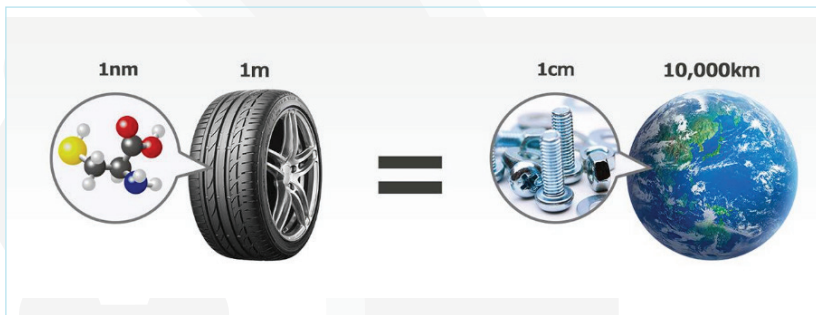
مقدمه	۳
معرفی مختصر انواع و اجزای تایر	۴
خواص موردنیاز و اساسی تایر	۶
چالش‌های موجود در عملکرد تایرها	۶
ضرورت استفاده و مزیت نانو ساختارها در بهبود عملکرد تایرها	۶
انواع نانو ساختارهای مورد استفاده در صنعت تایر	۱۰
بازار جهانی نانو ساختارها در زمینه صنعت خودرو و سهم بازار جهانی در زمینه تایرها	۱۴
تایر سبز	۱۴
شرکت‌های بین‌المللی فعال در صنعت تایرهای نانو	۱۵
شرکت‌های ایرانی فعال	۱۸
نتیجه‌گیری	۱۹
پی‌نوشت‌ها	۱۹
مراجع	۱۹

مقدمه

فناوری نانو راه حل های متنوع و نوآورانه را تقریباً برای اکثر موضوعات و معضلات زندگی بشر ارائه می کند. موضوع اصلی این فناوری نیز کنترل ماده یا تجهیزات در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در واقع فناوری نانو فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی، عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک از خود نشان می دهند. فناوری نانو در تمامی گرایش های علمی و کاربردها راه یافته و از فناوری های نوینی است که با سرعت بالایی در حال توسعه است. جهت درک بهتر مقیاس نانو، چنانچه که اندازه تایر مشابه با اندازه زمین در نظر گرفته شود. ایجاد یک تایر (به قطر تقریباً ۱ متر) از اتم های مواد (تقریباً ۱ نانومتر) مانند ایجاد زمین (به قطر تقریباً ۱۰۰۰۰ کیلومتر) از یک پیچ کوچک (تقریباً ۱ سانتی متر) است (شکل ۱).

تایرها جزء اقلام ضروری در صنعت خودرو هستند که امکان حرکت وسیله نقلیه روی جاده را فراهم کرده و در عین حال انعطاف پذیری کافی برای جذب ضربه را دارند. مواد مختلفی از جمله لاستیک طبیعی و مصنوعی، کربن سیاه، پلی استر، ابریشم مصنوعی، فولاد، سیلیس و افزودنی های عملیات بخت برای تولید تایر استفاده می شوند. امروزه طیف گسترده ای از تایرها در بازار جهانی موجود است که نیاز انواع وسایل نقلیه را برآورده می کند. نقش تایر در خودرو بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا تمام نیروها و گشتاورهای بین سطح جاده و خودرو ابتدا به تایر وارد می شوند، در واقع تایرها عملکردهای متعددی مانند تحمل وزن خودرو، انتقال نیروی شتاب و ترمز به زمین، تغییر یا حفظ جهت و جذب ضربه از سطح جاده را انجام می دهند که به بهبود عملکرد کلی خودرو کمک می کند. از سوی دیگر مقاومت غلظتی تایر یکی از ریشه های اتلاف انرژی در خودرو و به تبع آن، کاهش بازدهی سوخت است.

پیش بینی شده است که فناوری نانو عامل اصلی در پیشبرد فناوری و کسب و کار در این قرن است و سبب ایجاد مواد با عملکرد بالاتر، سیستم های هوشمند و روش های تولیدی جدید با تأثیر قابل توجهی بر همه جنبه های جامعه می شود. نوآوری در ترکیب تایرها می تواند سواری را ایمن تر، نرم تر و کارآمدتر کند؛ بنابراین به نظر می رسد با توجه به قابلیت های منحصر به فرد نانومواد، استفاده از آن ها می تواند اثر قابل توجهی در بهبود خواص تایرها و افزایش کارایی آن ها داشته باشد [۱].



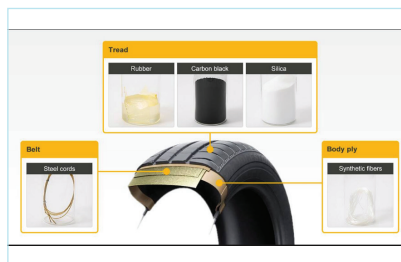
شکل ۱- مقایسه ابعاد نانو



شکل ۲- اجزای مختلف تایر: ۱- آستر داخلی (The inner liner)، ۲- لایه پوششی (The casing ply)، ۳- ناحیه بید (طوقه) پایینی، ۴- آج یا طوقه (Bead wires)، ۵- دیوارهای جانبی (Sidewalls)، ۶- لایه‌های سرپوش (Bracing plies)، ۷- آج (Tread).

معرفی مختصر انواع و اجزای تایر

تایر یک کامپوزیت است، به عبارت دیگر مجموعه‌ای جدانشدنی از مواد با خواص بسیار متفاوت که ساخت آن‌ها به دقت زیادی نیاز دارد. تایرها 'محفظه‌های پنوماتیک (استفاده از هوای فشرده برای انتقال انرژی) با اجزای جامد (از جمله لاستیک، فلزات و کامپوزیت‌های پلاستیکی) محسوب می‌شوند. تایرهای پنوماتیک در بسیاری از انواع وسایل نقلیه مانند دوچرخه، موتورسیکلت، استفاده می‌شود [۲]. انواع و اقسام تایرها در کاربردهای مختلف استفاده می‌شود و هر کدام خصوصیات مربوط به خود را دارد. تایر دوچرخه، تراکتور، کامیون، خودروهای سواری، موتورها و سایر وسایل نقلیه همه در خصوصیات با هم متفاوت هستند؛ اما در یک بررسی کلی می‌توان اجزای تایر را بررسی نمود (شکل ۲). آج تایر در قسمت خارجی آن قرار دارد و وظیفه آن هدایت آب موجود بر روی سطح جاده و جلوگیری از لغزیدن تایر بر روی آب و افزایش ضریب اصطکاک در جاده‌های برفی، سطوح خیس و یخ‌زده است. در طراحی تایرها به عنوان یک کامپوزیت مهندسی باید از دانش ویژه‌ای بهره گرفت. هریک از اجزای تایر شامل نسبت‌های مختلفی از کائوچوی طبیعی و مصنوعی هستند که این نسبت به خصوصیات فیزیکی موردنیاز بستگی دارد. به عنوان مثال کائوچوی طبیعی دارای مقاومت حرارتی بالا و چسبندگی عالی است و به این دلیل در اجزای درونی تر تایر مثل لایه‌ها بیشتر کاربرد دارد. ترکیبات مورد استفاده برای تایرها از مواد مختلفی مانند کربن



شکل ۳- مواد اولیه مورد استفاده در تولید تایر [۴].

سیاه و سیلیس برای تقویت، مواد شیمیایی برای کنترل تخریب، گوگرد به عنوان عامل پخت، طناب‌های فولادی، الیاف مصنوعی، لایه‌های نخ‌پوشش داده شده با خمیر لاستیکی از جنس پلی‌استر و نایلون استفاده می‌کنند. در جدول ۱ و شکل ۳ برخی از انواع مواد مورد استفاده در تایرها آورده شده است [۳]. تایرها انواع مختلفی دارند. در جدول ۲ برخی از انواع تایرها و مشخصات مربوط به هریک نیز آورده شده است.

جدول ۱- برخی از انواع مواد مورد استفاده در تایرها

نوع ماده	مثال
تایر پایه	NR, SBR, NBR, PBR, PUR, XNBR
پرکننده‌ها	کربن سیاه، خاک رس
مواد افزودنی	گوگرد، پراکسید، موم، شتاب دهنده CBS, MBT, MBTS, TMTD, DCBS, TBBS, (DPG)، شتاب دهنده فعال کننده (ZnO)، اسید استئاریک و...، اکسیدان (IPPD, HQ, TQ) و...، سیلیس، پرکننده‌های نانو (رس، فیبر و...)
سیم	فولاد، برنج، نایلون، پلی وینیل، پلی آمید، طناب پلی استر

جدول ۲- مقایسه برخی از انواع تایرها

نوع تایر	خاصیت
تایر بایاس ^۱	<ul style="list-style-type: none"> ■ ایجاد نرمی و راحتی بیشتر ■ تحمل بار بیشتر
تایر رادیال ^۲	<ul style="list-style-type: none"> ■ بهبود سایش آج ■ دوام بهتر ■ در برخی موارد افزایش انعطاف پذیری ■ استحکام به تایرها
تایرهای پنوماتیک ^۳	<ul style="list-style-type: none"> ■ کیفیت بالای تایر، طول عمر بالا ■ امکان استفاده در شرایط باتلاق و مناطق مرطوب
تایرهای بدون هوا ^۴	<ul style="list-style-type: none"> ■ تایرهای بدون هوا یک راه حل ابتکاری ■ ضد پنچر برای جایگزینی تایرهای معمولی ■ در وسایل نقلیه سواری

خواص موردنیاز و اساسی تایر

هر تایر طبیعی جهت ارائه عملکرد مناسب باید مزایایی از جمله ارزان بودن، انعطاف‌پذیری در دمای پایین، مقاومت در برابر آب، استحکام پارگی، مقاومت در برابر فشردگی، مقاومت در برابر ضربه، تولید نیروی کششی، ایجاد ثبات ابعادی، مقاومت به سایش و مقاومت غلتشی کم را داشته باشد. به علاوه حداقل نويز را ایجاد نموده و همچنین بادوام و ایمن نیز باشد.

چالش‌های موجود در عملکرد تایرها

مشاهده شده است که پس از طی مسافتی در حدود ۴۰۰۰۰ کیلومتر، آج تایر معمولاً فرسوده می‌شود و پس از آن نیاز به تایرهای جدید است. آلودگی هوای یکی دیگر از مشکلات ساییدگی تایر است که باید مدنظر قرار بگیرد. از سوی دیگر، در تایرها نمی‌توان همه خواص را به یک‌باره داشت، یعنی مصرف سوخت کم، قابلیت اطمینان در جاده‌های خشک و خیس و تائیری که برای همیشه دوام می‌آورد. در واقع، افزایش عمر تایر بدون از دست دادن سایر ویژگی‌های کلیدی آج، یک چالش بزرگ برای صنعت تایر محسوب می‌شود.

ضرورت استفاده و مزیت نانو ساختارها در بهبود عملکرد تایرها

چالش اصلی که از گذشته پیش روی طراحان تایر بوده است، رسیدن به حد مطلوبی از مقاومت غلتشی، قابلیت حرکت بر سطوح مرطوب و مقاومت سایشی است. مقاومت غلتشی تایر یکی از ریشه‌های اتلاف انرژی در خودرو و به تبع آن، کاهش بازدهی سوخت است. علاوه بر این، مقاومت غلتشی آثار محیط‌زیستی نیز به دنبال دارد؛ زیرا باعث از بین رفتن آج سطح تایر شده که تجزیه آن در محیط سال‌ها به طول می‌انجامد. بنابراین کمتر شدن مقاومت غلتشی، کاهش مصرف سوخت خودرو و همچنین کاهش آلودگی هوا را به دنبال دارد. این در حالی است که کاهش این مقاومت، معمولاً با کاهش قابلیت اصطکاک مناسب تایر با سطوح مرطوب همراه می‌شود که مطلوب نیست. برای کاهش مقاومت غلتشی، باید وزن تایر نیز کاهش یابد. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، کاهش نفوذپذیری هوا از لایه داخلی تایر است که منجر به کاهش ضخامت و وزن آن خواهد شد. حال محققان با استفاده از نانوذرات به ترکیبی بهینه از اصطکاک، ساییدگی و آلودگی رسیده‌اند که سبب کاهش مصرف سوخت نیز می‌شود [۵].

آنچه فناوری نانو را قادر به بهبود کیفیت عملکرد تایرها می‌کند، شامل موارد زیر است:

- بهبود توزیع پرکننده‌ها^۱ در زمینه پلیمری؛
- کاهش اصطکاک و جلوگیری از گرم شدن تایر و اتلاف انرژی ناشی از آن؛
- پوشش‌های مبتنی بر فناوری نانو جهت حبس مؤثر هوا و جلوگیری از نشت هوا در تایرها؛
- به‌کارگیری نانومواد سبک‌تر و امکان تولید تایرها با وزن کمتر؛
- فناوری نانو امکان آب‌گریز کردن سطح تایر و بهبود عملکرد آن در سطوح مرطوب را فراهم می‌کند. از این رو، امکان دستیابی به تایرهایی با طول عمر مؤثر بیشتر وجود دارد.

در جدول ۳ اثر استفاده یک ماده نانو ساختار (نانولوله کربنی) و کربن سیاه (دوده) به عنوان پرکننده مرسوم از جهات مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۳- مقایسه نانولوله کربنی و کربن سیاه به عنوان افزودنی های تایر

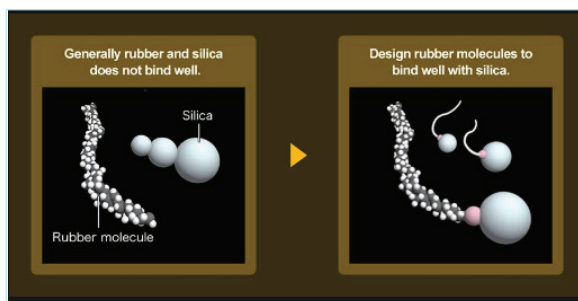
نانولوله کربنی (CNT's) کربن سیاه (CB)

ساختار	پیوندهای Sp^2	از مخلوطی از هیبریداسیون sp^2 و sp^3 تشکیل شده است این پیوندها در طبیعت قوی تر هستند. این هیبریداسیون باعث ایجاد نقص می شود.
وزن مواد	کاهش وزن با استفاده از CNT	CB بیشتری برای دستیابی به کسر حجمی یکسان مورد نیاز است.
نسبت ابعادی	نسبت ابعادی بالاتر	نسبت ابعادی کمتر
	اثر تقویت کننده خوب	اثر تقویت کننده کاهش می یابد. CB بیشتری برای ساخت پرکننده مورد نیاز است
مقدار مدول	از آنجایی که تعامل پرکننده-پرکننده با استفاده از CNT ها بیشتر است، مقدار مدول فوق العاده بالا است.	برهمکنش ضعیف تر پرکننده-پرکننده منجر به مقدار مدول پایین تر می شود.
	تغییرات در پیکربندی مولکولی پلیمر را محدود می کند. مدول کامپوزیت های تایری را افزایش می دهد.	به دلیل مدول پایین تر، پیکربندی مولکولی پلیمر می تواند تغییر کند.
	مقدار مدول = $1/2Tpa$	مقدار مدول = $13/2 Mpa$
مساحت سطح	مساحت سطح بالاتر	مساحت سطح پایین تر
	این باعث بهبود تعاملات با زنجیره های لاستیکی می شود که منجر به پیوندهای قوی تر می شود.	تعامل با زنجیره های لاستیکی ضعیف است، این مطلب منجر به پیوندهای ضعیف تر می شود.
	به دلیل افزایش واکنش شیمیایی، اصطکاک افزایش می یابد.	به دلیل مساحت سطح کمتر، اصطکاک کاهش می یابد.
	چسبندگی بهبود می یابد که منجر به راندمان بالاتر تایرها می شود.	چسبندگی در مقایسه با آنچه که با CNT ساخته شده ضعیف است.
	مقدار $1315 m2/g$	مقدار $27-145 m2/g$

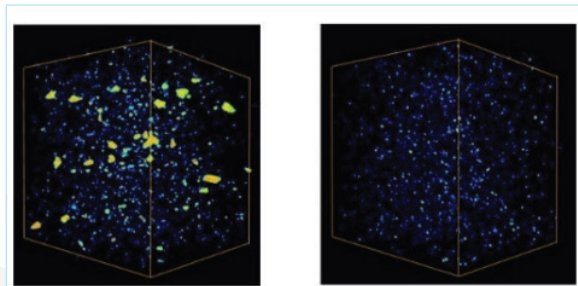
ادامه جدول ۳- مقایسه نانولوله کربنی و کربن سیاه به عنوان افزودنی‌های تایر

کربن سیاه (CB)	نانولوله کربنی (CNT's)	
کرنش بالا	کرنش کم	کرنش
به دلیل مقادیر کرنش بالاتر، تشکیل شبکه ضعیف است.	مدول ذخیره‌سازی در کرنش کم به تدریج افزایش می‌یابد. (تشکیل شبکه قوی توسط CNT).	
شکل‌گیری ضعیف شبکه به معنای اتصالات ضعیف‌تر و در نتیجه ضعیف‌تر بودن تایر است.	همان‌طور که شبکه تشکیل شده قوی‌تر است، تایر تولید شده با استفاده از CNT نیز قوی خواهد بود.	
راندمان تایر کاهش می‌یابد.	راندمان تایر افزایش می‌یابد.	هدایت حرارتی
مقدار 6 ~ 174 W/mK در ۲۵ درجه سانتی‌گراد.	مقدار 2000 ~ 6000 W/mK در ۲۵ درجه سانتی‌گراد.	
CB می‌تواند پایداری حرارتی را بهبود بخشد، اما نه به اندازه CNT.	افزودن CNT باعث افزایش پایداری حرارتی می‌شود	پایداری حرارتی
قابلیت جذب حرارتی	افزایش پایداری حرارتی پیشرفت‌های مختلفی را نشان می‌دهد زیرا ذرات CNT می‌توانند محدودیت‌هایی را در تحرک ماکرومولکول‌های تایر اعمال کنند.	
از آنجایی که پایداری حرارتی بالاتر نیست، بنابراین طول عمر تایرها ساخته شده توسط CB کمتر از ساخته شده از CNT است.	با افزایش پایداری حرارتی، طول عمر تایر افزایش می‌یابد.	
برهمکنش ضعیف پرکننده-پرکننده.	MWCNTs آگلومره می‌شود، بنابراین برهمکنش سطح سطح را افزایش می‌دهد که منجر به برهمکنش‌های پرکننده-پرکننده بالاتر می‌شود.	برهمکنش پرکننده
چسبندگی در مقایسه با CNT خوب نیست.	چسبندگی بهتر	

شرکت‌های سازنده تایر از فناوری نانو در محصولات خود استفاده کرده‌اند. برای مثال محصول Nanoenergy 3 دارای فناوری جدیدی است که باعث بهبود عملکرد در محیط‌های مرطوب، خشک و همچنین کاهش سایش ناهموار و نویز می‌شود [۶].



شکل ۴- بهبود پراکندگی سیلیس به کمک فناوری نانو

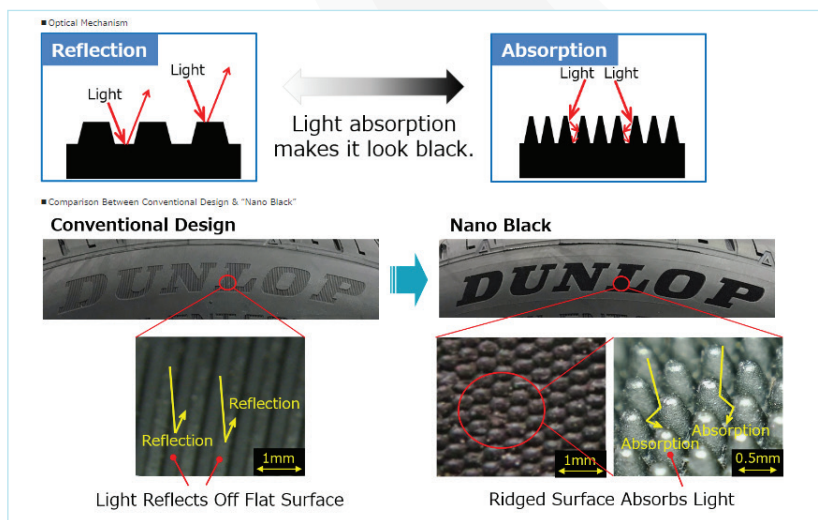


شکل ۵- در ترکیبات تایر طبیعی معمولی، پرکننده به صورت توده‌ای (سمت چپ) باقی می‌ماند. فناوری فرایند نانو Toyo Tires، پرکننده را در سراسر ترکیب پخش می‌کند.

در کار دیگری که در گروه Bridgestone انجام شده است، مواد و ترکیبات تایر جدیدی را با استفاده از NanoPro-Tech ایجاد می‌کنند تا طیف گسترده‌ای از عملکرد تایر را برآورده کند. فناوری پراکندگی سیلیس نمونه خوبی از NanoPro-Tech است. در حالی که سیلیس می‌تواند هم راندمان سوخت و هم عملکرد چسبندگی تایرها را در سطوح مرطوب بهبود بخشد، سطح آب‌دوست آن برای پراکندگی در تایر آب‌گریز مناسب نیست؛ بنابراین پراکندگی سیلیس یک مسئله اصلی برای دستیابی به عملکرد بهتر تایرهاست؛ این رو مولکول‌های تایر را طوری طراحی می‌کنند که به خوبی با ذرات سیلیس متصل شوند تا پراکندگی سیلیس در تایر را بهبود بخشند (شکل ۴) [۷].

به منظور بهبود پراکندگی پرکننده در ترکیب تایر، Toyo Tire (شکل ۵) فرایند مبتنی بر فناوری نانو را توسعه داده است که توزیع پرکننده را در تایر بهینه می‌کند. پیشرفت‌های انجام شده با تمرکز بر تکنیک‌های فرآوری مواد، این شرکت را قادر به ایجاد ترکیبی لاستیکی کرده است که می‌تواند اتلاف انرژی ($\tan\delta$) را در زمان تغییر شکل تا حدود ۲۰ درصد، حتی در یک ترکیب مبتنی بر تایر طبیعی، سرکوب کند. فناوری Nanobalance در حال حاضر در دو تایر خودروی توپو NanoEnergy M676 و Proxes Sport، و همچنین تایر کامیون NanoEnergy M676 استفاده شده است.

همچنین در مطالعه دیگری اصلاح سطح ذرات لاستیک تایر زمینی^۷ توسط پلاسمای سرد برای بهبود سازگاری در آسفالت انجام شده است [۸]. به علاوه شرکت Sumitomo با هدف بهبود نمایش لوگوهای برند، نام‌های تجاری و سایر علائم روی دیواره‌های تایر از طراحی نانو مینای استفاده کرده است. هرچه تعداد دفعاتی که نور به سطح برخورد کند بیشتر باشد، در نهایت نور بیشتری جذب می‌شود و در نتیجه سایه‌های سیاه عمیق‌تر و تیره‌تری ایجاد می‌شود. "Nano Black" طراحی جدیدی (شکل ۶) در خود جای داده است که با افزودن برجستگی‌های ظریف به سطح دیواره جانبی تایر به منظور به حداکثر رساندن سطح جذب نور در واحد سطح دیواره جانبی، از این اصل بهره کامل می‌برد. به لطف این نوآوری، لوگوها و سایر نشانه‌های دیواره جانبی در صورت مشاهده از هر زاویه، مشکلی و واضح به نظر می‌رسند [۹].



شکل ۶- استفاده از طراحی به کمک فناوری نانو توسط شرکت Sumitomo

انواع نانوساختارهای مورد استفاده در صنعت تایر

اصولاً نانوساختارهای مورد استفاده در صنعت تایر را می‌توان به دو دسته کلی نانوساختارها (نانوذرات) و نانوکامپوزیت‌ها تقسیم بندی کرد.

نانوساختارها (نانوذرات)

حضور نانوذرات به دلیل پیوندهایی که در مقیاس اتمی بین آن‌ها و ترکیبات تایر صورت می‌گیرد، علاوه بر این که خواص فیزیکی آن‌ها بهبود می‌یابد، باعث افزایش مقاومت سایشی، افزایش استحکام، بهبود خاصیت مکانیکی، بهبود خواص حرارتی، افزایش حد پارگی و حد شکستگی و زیبایی ظاهری تایر می‌شوند. جدول ۴ برخی نانوذرات مورد استفاده و مزایا و کاربرد آن‌ها را در زمینه تایر ارائه می‌کند.

جدول ۴- نانوذرات مورد استفاده و مزایا و کاربرد آن‌ها در زمینه تایر [۱۰]

مزایا و کاربردها	نوع نانوذره
کاهش هزینه‌ها، بازدهی بالا، افزودنی‌های عملیات پخت ^۸ و دامنه دمایی گسترده، زیبایی و ظرافت بخشیدن به آن، صافی و همواری شکل ظاهری، افزایش مقاومت سایشی (خاصیت ضد اصطکاک و سایش)، پایداری دمایی بالا، طول عمر زیاد، افزایش حد پارگی	اکسیدروی
بهبود کیفیت و خواص ترکیبات تولید در مقیاس زیاد، افزایش استحکام تایر، بهبود خواص مکانیکی، افزایش استحکام مکانیکی، ساختمان شیمیایی بسیار محکم، جذب سطحی بسیار بالا	کلسیم کربنات
خاصیت انعطاف پذیری، افزایش استحکام، افزایش حد شکستگی، خاصیت ضد پارگی	نانوذرات الماس
افزایش مقاومت تایر در برابر سایش، افزایش استحکام مکانیکی، افزایش مقاومت گرمایی، کاهش قابلیت اشتعال، بهبود بخشیدن اعوجاج گرمایی، پایداری ابعادی در برابر گرما	ذرات نانومتری خاک رس
افزایش انرژی کششی سطحی، افزایش مقاومت سایشی و طول عمر بیشتر تایر	دوده (نانوذرات کربنی)
عملکرد تایر تابستانی با استفاده از Nano prene در آج تایر افزایش یافته است و به طور قابل توجهی سایش را کاهش می‌دهد و در نتیجه عمر مفید آن را افزایش می‌دهد. چسبندگی خشک نیز نسبت به تایرهای سنتی با چسبندگی در آب نسبتاً بهتر بهبود یافته است [۱۱]	Nanoprene
بهبود مقاومت سایشی - استحکام کششی - هدایت حرارتی تایر [۱۲]	گرافن
در تایرهای مدرن به جای کربن سیاه برای کاهش مقاومت در برابر غلتش استفاده می‌شود و چسبندگی عالی به تایرها در آب می‌دهد.	سیلیس

Nano prene

ارز نظر شیمیایی، این افزودنی تنها از ذرات حدود ۵۰ نانومتری ساخته شده از استارین پلیمریزه شده و بوتادین - یعنی مواد خام تایر «سنتی» تشکیل شده است. چیزی که تفاوت را ایجاد می‌کند، حداقل اندازه و عملکرد سطح است که توسط یک فرایند تولید بسیار تخصصی ایجاد شده است. نانوذرات با هسته متقاطع و مقاوم در برابر تورم، «نقاط لنگر» ویژه‌ای بر روی سطح خود دارند و ذرات Nano prene را قادر می‌سازند تا کاملاً با سیلیس و سیلان‌ها پیوند بخورند. افزودن Nano prene به مخلوط آج حاوی سیلیس، مقاومت در برابر سایش و چسبندگی را بهبود می‌بخشد. در عین حال، مقاومت غلتشی در سطح پایینی باقی می‌ماند [۱۳].



شکل ۷- نانوکامپوزیت گرافن و اثر آن بر عملکرد تایر

نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت پلیمر توسعه مواد لاستیکی را امکان پذیر می‌کند که هم مقاومت در برابر سایش و هم بازده سوخت را در سطح بالاتری به دست می‌آورند. با حفظ مقاومت در برابر سایش، مشاهده شده است که اتلاف انرژی (tanδ) ترکیب لاستیکی در مقایسه با روش تولید مرسوم حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است.

انطباق مشخصات خواص مواد الاستومری برای تایرهای خودرو با توجه به الزامات بازده انرژی، چسبندگی و عمر افزایش یافته، ادغام و پراکندگی بهتر ذرات پرکننده در مقیاس نانو در زمینه پلیمری ضروری است. سیلیکات‌های لایه‌ای، هیدروتالسیدها^۱، نانولوله‌های هالوژیت^۲، نانولوله‌های کربنی^۳، گرافن، نانوالماس‌ها و ذرات سلولز از جمله برخی نانوذرات مورد استفاده در کامپوزیت‌های تایرها هستند [۱۴].

نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT) به دلیل شکل لوله‌ای خود، نسبت ابعاد بالایی دارند و بنابراین هنگامی که به عنوان پرکننده در تایر استفاده می‌شوند، اثر تقویت‌کننده خوبی دارند. تایرهای تقویت شده با نانولوله‌های کربنی خواص مکانیکی مانند استحکام کششی، استحکام پارگی و سختی کامپوزیت‌ها را به ترتیب تقریباً ۶۰، ۲۵۰ و ۷۰ درصد در مقایسه با کامپوزیت‌های SBR خالص (استایرن- بوتادین) بهبود بخشیدند [۱۵].

تایر، ماده‌ای عایق است که گرما را به خوبی از بین نمی‌برد. از سوی دیگر، گرافن دارای رسانایی حرارتی ذاتی بالایی است (5300 W/m·K) که می‌توان از آن برای بهبود رسانایی حرارتی کامپوزیت گرافن-تایر استفاده کرد. ساختار دوبعدی گرافن آن را قادر می‌سازد تا یک شبکه همپوشانی در داخل تایر ایجاد کند تا مسیر پریپیچ و خم انتشار گاز را افزایش دهد و احتمال نشت هوا در تایرها را کاهش دهد. به علاوه گرافن به علت دارا بودن خاصیت آنتی استاتیک، جهت کاهش تجمع استاتیک روی تایرها عمل کرده و خطرات احتمالی آتش سوزی را به حداقل می‌رساند. گرافن همچنین مقاومت غلظتی تایرها را کاهش می‌دهد که به کاهش مصرف سوخت کمک می‌کند.

به عنوان مثال، اگر هدایت حرارتی برای عملکرد تایر مهم باشد، برای دفع سریع‌تر گرما از منبع، مقدار بیشتری گرافن نیاز است. ویژگی‌های فیزیکی نشان‌دهنده گرافن - خواه شکل آن تک لایه، دولایه یا چندلایه باشد یا حتی با بخش‌های سطحی مختلف عملکردی داشته باشد- بر اساس مورفولوژی آن زمانی که در بارگذاری‌های مختلف با تایر ترکیب شود، متفاوت خواهد بود. وقتی گرافن به طور یکنواخت در تایر پراکنده می‌شود، شکاف‌های باقی‌مانده بین مولکول‌های مجاور را پر می‌کند و به عنوان یک ذره تقویت‌کننده عمل کرده تا حرکت فاز زمینه را مهار کند، بنابراین خواص تایر را تقویت می‌کند. با این حال، درجه بهبود مکانیکی حاصل، مشروط به سازگاری زمینه لاستیکی با ذرات گرافن است. استحکام مکانیکی ذاتی گرافن، به دلیل ساختار دوبعدی آن، چیزی است که آن را به یک ماده تقویت‌کننده ایده‌آل تبدیل می‌کند. به طور مشابه، توانایی گرافن برای ایجاد یک شبکه نفوذی در زمینه لاستیکی (در صورت مخلوط شدن مناسب) به فرد امکان می‌دهد از رسانایی گرمایی و خواص سدی آن نیز استفاده کند. در حالی که گرافن مزایای بالقوه بسیاری دارد، ولی همچنین باید به چالش‌های مرتبط با استفاده از گرافن توجه داشت. اولین مورد مشکل در پراکندگی مواد در طول فرایند ترکیب است. تلاش‌هایی جهت حل این مشکل مربوط به پراکندگی با بهینه‌سازی چندین پارامتر اختلاط با استفاده از حامل گرافن و اکسید گرافن اصلاح شده انجام شده است [۱۶]. تایر تقویت شده با گرافن سه بهبود عملکرد کلیدی را ارائه می‌دهد: رسانایی حرارتی افزایش یافته، خواص سدی گاز، استحکام مکانیکی و مقاومت در برابر سایش. رسانایی حرارتی افزایش یافته در تایرها توزیع حرارتی را افزایش می‌دهد که نقاط داغ موضعی را هنگام ترمزگیری از بین می‌برد. همچنین بهبود سد گاز، احتمال نشست هوادر تایرها را کاهش می‌دهد و استحکام مکانیکی تایر را تقویت می‌کند و قابلیت سایش پذیری را بهبود می‌بخشد. شکل زیر به صورت شماتیک، نانوکامپوزیت گرافن و مهم‌ترین خواص بهبود یافته این نانوکامپوزیت و اثر آن بر عملکرد تایر را نشان می‌دهد.

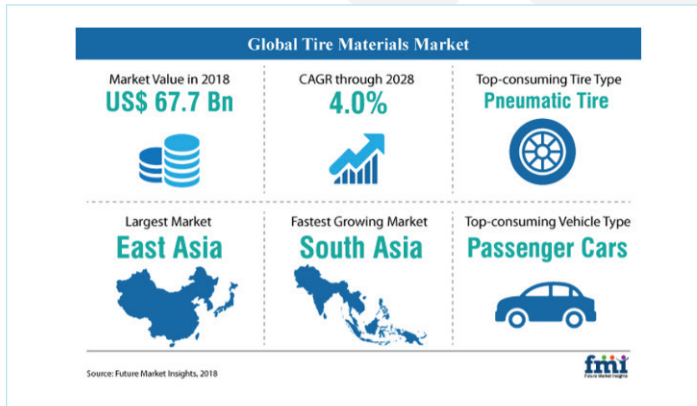


شکل ۸- دسته‌بندی بازار تایر بر اساس طراحی، کاربری نهایی، نوع وسیله نقلیه، کانال توزیع و فصل

بازار جهانی نانوساختارها در زمینه صنعت خودرو و سهم بازار جهانی در زمینه تایرها

بازار جهانی تایر رشد متوسطی را طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۵ نشان داد، گروه IMARC انتظار دارد که این بازار در طول سال‌های ۲۰۲۶-۲۰۲۱ با CAGR حدود ۴ درصد رشد کند. بازار را براساس طراحی، کاربری نهایی، نوع وسیله نقلیه، کانال توزیع و فصل می‌توان دسته‌بندی کرد (شکل ۸).

افزایش تقاضا برای سیلیس در سال‌های آینده به دلیل رشد در بازار مواد تایر پیش‌بینی می‌کند که نتیجه غیرمستقیم افزایش حجم تولید تایر در سراسر جهان است. انتظار می‌رود گسترش صنعت تایر باعث افزایش تقاضا برای مواد تایر شود [۱۷]. چین و ژاپن مناطق مهم تولید تایر هستند. تخمین زده می‌شود که چین در سال‌های آینده و ژاپن به دلیل حضور سازندگان تایر مانند Bridgestone Corporation و Yokohama Rubber در تولید تایر پیشرو باشند. در نتیجه، پیش‌بینی می‌شود که آسیای شرقی بازار بزرگ مواد تایر در چند سال آینده باشد (شکل ۹) در بازارهای آمریکای شمالی و اروپا نیز پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آتی روند تولید تایر کاهش پیدا کند که دلیل آن تشدید رقابت از سوی تولیدکنندگان تایر چینی است که محصولات ارزان قیمتی را ارائه می‌کنند. با وجود این، پیش‌بینی می‌شود که بازار مواد تایر در آمریکای شمالی و اروپا با توجه به حجم بالای تولیدکنندگان بزرگ تایر در منطقه، شاهد رشد باشد. Cabot، JSR Corporation، Exxon Mobil Corporation، Lanxess، Solvay، Birla Carbon، Evonik Industries و Ecolife از جمله بازیگران کلیدی در بازار مواد تایر هستند [۱۸].

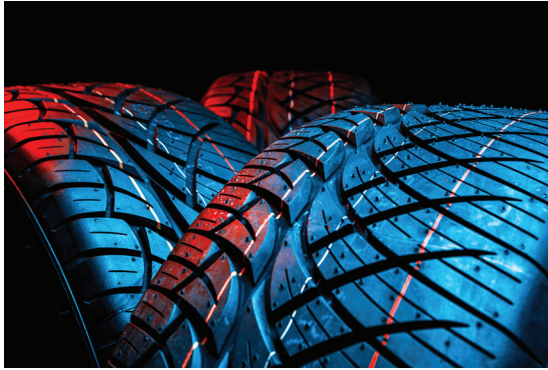


شکل ۹- بررسی بازار جهانی تایر

تایر سبز

لاستیک مصنوعی و پرکننده‌های مورد استفاده در تایرها در دهه گذشته تغییر کرده‌اند. با توجه به افزایش نگرانی‌های محیط‌زیستی، بسیاری از مناطق مقرراتی را تنظیم کرده‌اند که استفاده از برچسب تایر را بر روی تایرهای جدید الزامی می‌کند. نهادهای نظارتی همچنین مشوق‌هایی را برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برای استفاده از تایرها در نظر گرفته‌اند. این عوامل منجر به افزایش تولید تایرهای با کارایی بالا و به نام «سبز» شده است [۱۹]. به این ترتیب، در سال‌های اخیر، سیلیس به عنوان یک پرکننده جایگزین برای کربن سیاه شده است.

استفاده از سیلیس در تولید تایرهای سبز باعث کاهش انتشار CO₂ و افزایش بهره‌وری سوخت خودرو شده است [۲۰]. تایرهای سبز در واقع تایرهایی هستند که با استفاده از موادی مانند سیلیس برای مقاومت غلظتی کم تنظیم شده‌اند. مقاومت غلظتی انرژی تلف شده از اصطکاک چرخش تایر بر روی یک سطح معین است. افزودن سیلیس به فرمول تایر باعث می‌شود تایرها از نظر انرژی کارآمدتر باشند و همچنین ایمنی کلی تایرهای سبز را افزایش دهند. اندازه بازار تایرهای سبز در سال ۲۰۱۶، معادل ۵۶۷۴۲٫۳ هزار دلار آمریکا بود و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۲ به ۱۰۴،۲۲۹٫۴ هزار دلار برسد و CAGR ۱۰/۷ درصد در طول دوره پیش‌بینی به ثبت برسد [۲۱].



شرکت‌های بین‌المللی فعال در صنعت تایرهای نانو

شرکت بریجستون^۱، بزرگ‌ترین شرکت تایر جهان، نسل بعدی فناوری تایر کم مصرف را معرفی کرده است که بازده سوخت عالی و فشار باد بالا برای کاهش تغییر شکل تایرها به میزان قابل توجهی ارائه می‌دهد. تایرهای این شرکت برخلاف تایرهای معمولی به تحمل وزن خودرو با استفاده از دیواره‌های جانبی تقویت شده حتی زمانی که تایر پنجر می‌شود، ادامه می‌دهند [۲۲]. یوکوهاما، یک شرکت تایر مستقر در ژاپن، در حال افزایش قابلیت‌های تولید خود در رادیال بادی، بایاس پنوماتیک، تایرهای جامد انعطاف‌پذیر و تایرهای باند فشاری برای برآورده کردن درخواست مشتری است [۲۳]. امروزه، شرکت Vittoria از گرافن در تایرهای با کارایی بالا استفاده می‌کند. تایرهای G+ از اثر تجمعی کاهش مقاومت غلظتی و افزایش چسبندگی به طور هم‌زمان استفاده می‌کنند که در نتیجه تایر سریع‌تر و ایمن‌تر هم در ترمزگیری و هم در شرایط آب و هوایی شدید است، علاوه بر این، اثر بخشی G+ مصرف سوخت را کاهش می‌دهد و عمر تایر را از طریق سایش کمتر افزایش می‌دهد و G+ را هم مقرون به صرفه و هم از نظر محیط‌زیستی پایدار می‌کند [۲۴]. جدول ۵ برخی محصولات خارجی تولید شده با فناوری نانو را ارائه می‌کند.

جدول ۵- برخی محصولات تولید شده توسط شرکت‌های خارجی

نام محصول	نوع نانو افزودنی	کاربرد	نام شرکت
Martello enduro	گرافن	<ul style="list-style-type: none"> ■ سبک‌تر از تایرهای معمولی ■ ماندگاری بیشتر ■ دفع مؤثر گرما 	Vittoria
Nano energy 3	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ بادوام و راحت ■ بهینه‌سازی مصرف سوخت ■ سازگار با محیط زیست 	Toyo
Turanza T005A [۲۵]	تکنولوژی بهبود یافته با فناوری نانو در طراحی قسمت‌های داخلی تایر	<ul style="list-style-type: none"> ■ راحت، ایمن ■ مقاومت به سایش ■ طولانی مدت 	Bridgestone ¹²
ECOPIA EP300 [۲۶]	طراحی با فناوری نانو جهت کاهش اصطکاک بین مولکول‌ها	<ul style="list-style-type: none"> ■ افزایش بازده انرژی ■ افزایش عمر 	
Ecopia H/L 001 [۲۷]	طراحی با فناوری نانو جهت تقویت پیوند بین سیلیکا و پلیمر جهت کاهش تولید گرما	<ul style="list-style-type: none"> ■ پایداری سرعت و عملکرد بالا ■ صرفه جویی در مصرف سوخت ■ عمر سایش طولانی 	
Eagle F1 و Eagle F1 (تایر دوچرخه) [۲۸]	گرافن	<ul style="list-style-type: none"> ■ چسبندگی بهتر ■ کاهش مقاومت غلتشی و سایش 	Goodyear
-	Nano prene افزودنی لاستیکی با کارایی بالا	<ul style="list-style-type: none"> ■ کاهش سایش* ■ عمر طولانی‌تر 	LANXESS

* لازم به ذکر است استفاده از این افزودنی برای افزایش مقاومت در برابر سایش به هیچ وجه بر مقاومت غلتشی یا چسبندگی خیس تأثیر نمی‌گذارد.



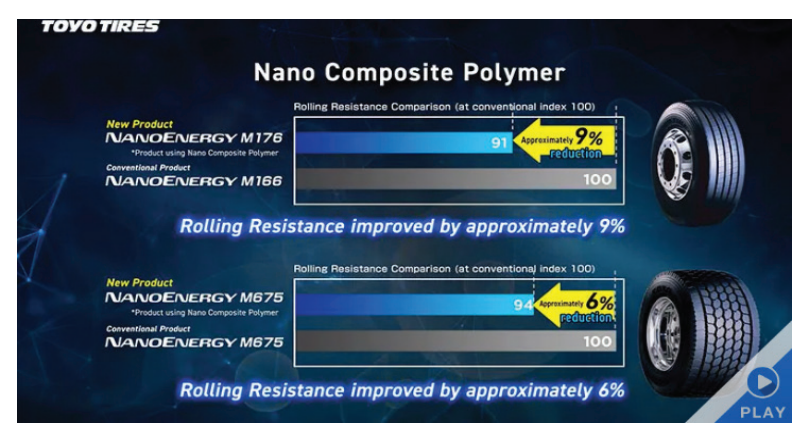
EAGLE F1
Supersport

Dynamic:GSR
Improved Grip, Reduced Rolling Resistance and Longer wear
More Info >>

R:Shield Breaker
A layer of puncture protection located under the tire's tread cap. Our R:Shield under tread belt offers excellent puncture protection while allowing the tire to remain supple to maximize performance and comfort.
More Info >>

Forward Facing Fitment
Tire profile designed for the latest standards

شکل ۱۰- نمونه‌ای محصول شرکت good year [۲۹].



TOYO TIRES

Nano Composite Polymer

New Product
NANOENERGY M176
*Product using Nano Composite Polymer

Conventional Product
NANOENERGY M166

Rolling Resistance Comparison (at conventional index 100)

Conventional Product (Index 100)	New Product (Index 91)	Approximately 9% reduction
----------------------------------	------------------------	----------------------------

Rolling Resistance improved by approximately 9%

New Product
NANOENERGY M675
*Product using Nano Composite Polymer

Conventional Product
NANOENERGY M675

Rolling Resistance Comparison (at conventional index 100)

Conventional Product (Index 100)	New Product (Index 94)	Approximately 6% reduction
----------------------------------	------------------------	----------------------------

Rolling Resistance improved by approximately 6%

PLAY

شکل ۱۱- نمونه‌ای از محصول نانوکامپوزیت شرکت TOYO TIRES (در محصولات این شرکت برای مثال در محصول M176 (شامل نانوکامپوزیت پلیمری) در مقایسه با نمونه مرسوم M166، مقاومت غلتشی به میزان ۹ درصد کاهش یافته است (بهبود یافته است)، در نمونه‌ای دیگر محصول M675 (شامل نانوکامپوزیت پلیمری) در مقایسه با نمونه مرسوم مقاومت غلتشی به میزان ۶ درصد بهبود یافته است [۳۰].

شرکت‌های ایرانی فعال

صنعت تایر مکملی برای صنعت ترابری و صنعت خودروری کشور بوده و نیم‌درصد از کل تولید ناخالص داخلی کشور به عهده صنعت تایر است و باید زمینه‌سازی بیشتری برای رشد آن فراهم کرد. افزایش ارتباطات بین‌المللی در سطح صنعتی و حضور در حوزه‌هایی در سازمان ملل که روی قوانین زیست‌محیطی کار می‌کنند و تأثیر آتی مهمی روی صنایع مختلف کشور از جمله صنعت تایر دارد، موجب می‌شود که صنعت تایر کشور نیز فرصت تغییر متناسب با تحولات دنیا را به دست آورد. در کشور ما سالانه بیش از ۲۰ میلیون حلقه تایر با سایزهای مختلف مصرف می‌شود که تقریباً ۱۶ میلیون حلقه آن تولید داخل است. با توجه به اینکه نزدیک به ۶۰ درصد مواد اولیه ساخت تایرهای داخلی از خارج کشور وارد می‌شود، کاهش مصرف کائوچوی مصنوعی، صرفه‌جویی ارزی قابل توجهی از طریق کاهش واردات مواد اولیه مصرفی ایجاد می‌نماید [۳۱].

جدول ۶- برخی محصولات تولید شده به کمک فناوری نانو توسط شرکت‌های ایرانی

نام شرکت	نوع نانوآفرودنی	خاصیت بهبود یافته	نام محصول
شریف نانو پارس	نانوذرات کروی با ابعاد ۵۰-۳۰ نانومتر	<ul style="list-style-type: none"> خاصیت ضدگردوغبار قدرت براق‌کنندگی و محافظتی بالا جلوگیری از فرسودگی و ترک‌خوردگی تایر 	براق‌کننده و پاک‌کننده تایر و داشبورد خودرو
کویر تایر	کاهش ضخامت داخلی‌ترین لایه با نانورس	<ul style="list-style-type: none"> کاهش نفوذپذیری مولکول هوا کاهش وزن کاهش مصرف سوخت افزایش عمر تایر 	تایر سبز
سیلیکای نانو ساختار فدک	نانوپودر سیلیکا (۱۵-۳۵ نانومتر)	<ul style="list-style-type: none"> استفاده به عنوان تقویت‌کننده و عامل چسبندگی سیم به ترکیب^{۱۳} تایر [۳۳][۳۴] 	https://fadakgroup.ir/home/fa/
شرکت نانو پارمین خاوران	نانوذرات خاک رس توسعه یافته در تایر	<ul style="list-style-type: none"> بهبود توزیع نانوصفحات خاک رس بهبود فرایند پخت تایر 	توسعه نانومواد خاک رس جهت استفاده در تایر
گروه صنعتی بارز	نانوسیلیکا	<ul style="list-style-type: none"> افزایش کیفیت کاهش قیمت تمام شده تایر 	قابل استفاده در انواع تایرهای رادیال، سواری، کشاورزی و بادی [۳۵]

شرکت ایرانی کوپیر تایر با استفاده از فناوری نانو، موفق به تولید تایرهایی با ضخامت پایین لایه داخلی شده است. لایه داخلی یا همان داخلی ترین لایه استفاده شده در تایرهای بدون تیوب است که در نقش تیوب عمل می‌کند و باعث عدم خروج هوا از تایر خودرو می‌شود. ضخامت لایه داخلی با استفاده از مواد نانویی می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید از وزن تایر و در نهایت میزان مصرف سوخت خودرو نیز بکاهد [۳۲]

نتیجه‌گیری

استفاده از فناوری نانو در صنعت روزه‌روز گسترش می‌یابد. یکی از صنایعی که در آن فناوری نانو حضور دارد صنعت تایرسازی است. استفاده از فناوری نانو در این صنعت می‌تواند مزایایی چون افزایش طول عمر تایر، کاهش احتمال پارگی آن، پایداری دمایی بالا و کاهش مصرف سوخت در پی داشته باشد. فناوری نانو می‌تواند قابلیت بهبود عملکرد تایرهای خودرو را افزایش دهد و امکان رسیدن به مثلث جادویی کیفیت در سه شاخص «مقاومت غلتشی»، «طول عمر» و «مقاومت لغزشی در رطوبت» را فراهم کند.

پی‌نوشت‌ها

- | | | |
|------------------|------------------------------|------------------|
| ۱ Tire or Tyre | ۶ Fillers | ۱۱ Wearability |
| ۲ Bias | ۷ Ground Tire Rubber (GTR) | ۱۲ Bridgestone |
| ۳ Radial | ۸ Vulcanization | ۱۳ Compound |
| ۴ Pneumatic | ۹ hydrotalcides | |
| ۵ Air Less | ۱۰ halloysite nanotubes | |

مراجع

- ۱ | www.ana.press/x6kCL
- ۲ | Pal, K., et al., Elastomeric nanocomposites for tyre applications, in Recent Advances in Elastomeric Nanocomposites. 2011, Springer. p. 201-231.
- ۳ | <http://doctorkhodro.com/newsp.php?id=550>
- ۴ | https://www.bridgestone.com/technology_innovation/nanopro-tech/
- ۵ | irna.ir/xjrdft
- ۶ | <https://paultan.org/2014/07/16/toyo-nanoenergy-3/>
- ۷ | https://www.bridgestone.com/technology_innovation/nanopro-tech/
- ۸ | Li, J., et al., Surface modification of ground tire rubber particles by cold plasma to improve compatibility in rubberised asphalt. International Journal of Pavement Engineering, 2020: p. 1-12.
- ۹ | https://www.srigroup.co.jp/english/newsrelease/2021/sri/2021_068.html
- ۱۰ | الهه جولانی، هادی جولانی، «کاربرد نانوتکنولوژی در صنعت لاستیک خودروها»، هفتمین همایش فناوری نانو (از تئوری تا کاربرد)، ۲۵ بهمن ۹۷

- ۱۱ http://www.nanotech-now.com/news.cgi?story_id=27514
- ۱۲ <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5747>
- ۱۳ http://www.nanotech-now.com/news.cgi?story_id=27514
- ۱۴ <http://www.ipfdd.de/en/research/research-division-elastomers/high-performance-elastomers-and-interfaces-in-filled-rubbers/reinforcing-filler-concepts>
- ۱۵ <https://inscx.com/shop/nanomaterials-used-in-tyre-tire-manufacturing/>
- ۱۶ <https://www.oemoffhighway.com/engineering-manufacturing/materials/article/21023807/the-many-possibilities-of-graphene>.
- ۱۷ <https://www.tiretechnologyinternational.com/opinion/tire-materials-market-forecasted-to-reach-us100bn-by-2028-silica-to-overtake-carbon-black.html>
- ۱۸ <https://www.tiretechnologyinternational.com/opinion/tire-materials-market-forecasted-to-reach-us100bn-by-2028-silica-to-overtake-carbon-black.html>
- ۱۹ <https://www.tiretechnologyinternational.com/opinion/tire-materials-market-forecasted-to-reach-us100bn-by-2028-silica-to-overtake-carbon-black.html>
- ۲۰ <https://www.tiretechnologyinternational.com/opinion/tire-materials-market-forecasted-to-reach-us100bn-by-2028-silica-to-overtake-carbon-black.html>
- ۲۱ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/green-tires-market-100595227.html>
- ۲۲ <https://www.imarcgroup.com/tyre-manufacturing-plant>
- ۲۳ <https://www.transparencymarketresearch.com/rubber-tires-market.html>.
- ۲۴ <https://gb.mynetmoto.com/news.cfm/1206-graphene-revolution-in-motorcycle-tyres..html>»
- ۲۵ https://www.bridgestone.co.nz/tyres/nz/bridgestone/turanza#pattern-grouping-range_grouping=TOURING
- ۲۶ <https://www.tyrepac.com/tyres/pattern/ECOPIA-EP300>
- ۲۷ <https://www.sgarmart.com/products/overview.php?ID=13324>
- ۲۸ <https://www.thegraphenecouncil.org/blogpost/1501180/Graphene-Updates?tag=TiresSupersport>
- ۲۹ <https://cf.shopee.co.th/file/81195c426338d92b400233fb1c1302e8>
- ۳۰ <https://www.toyotires-global.com/rd/ncp/>.
- ۳۱ <https://www.donya-e-eqtesad.com/fa/tiny/news-3483845>
- ۳۲ <https://kavirtire.ir/>
- ۳۳ <https://nanoproduct.ir/product/2792>
- ۳۴ <https://nanoproduct.ir/product/4129>
- ۳۵ <https://news.nano.ir/>