مقاله

مروری بر فناوری تولید تایر

مهدی خاطر ویسی*
کارشناس ادارهٔ مهندسی محصول
شرکت تولیـد خودرو سایپـا کاشان
mehdi.veissi@gmail.com

محمد اسدزاده
کارشناس ادارهٔ مهندسی محصول
شرکت تولیـد خودرو سایپـا کاشان
mohammad.asadzadeh@rocketmail.com

سید محسن مسعود
سرپرست ادارهٔ مهندسی محصول
شرکت تولیـد خودرو سایپا کاشان
mohsen.masoud@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۵

چکیده

بدون شک یکی از جالب‌ترین صنایع وابسته به صنعت راهبردی خودروسازی، صنعت تولید تایر است. امروزه بهبود مستمر در عرصهٔ صنعت لاستیک با آمیزه‌های جدید شیمیایی و طراحی براساس روش‌های روزآمد مهندسی سبب شده است روزبه‌روز تایرهایی بادوام‌تر، با عملکردی بهتر در شرایط متنوع آب‌وهوایی روانهٔ بازار شود. با توجه به گستردگی این صنعت و آثار زیست محیطی فراوان آن، که به‌طور مستقیم ناشی از حجم مواد مصرفی برای تولید هر حلقه تایر و میزان پسماند ناشی از تایرهای فرسوده در طبیعت می‌شود و به‌طور غیرمستقیم که ناشی از اثر تایر بر مصرف سوخت و میزان آلاینده‌های تولیدشده توسط خودرو می‌باشد، کنترل هر یک از ابعاد مذکور می‌تواند شاخص بسیار مهمی در جلوگیری از آلودگی هرچه بیشتر محیط زیست گردد. در این مقاله نخست گزیده‌ای از تاریخچهٔ صنعت تولید تایر مطرح می‌شود. سپس مواد اولیهٔ مورد استفاده در صنایع تولید تایر معرفی و بخش‌های گوناگون هر تایر معرفی می‌شود. در ادامه فناوری‌های جاری در عرصهٔ تولید تایر مرعفی و روش‌های ساخت و تولید تایرهای متداول تشریح می‌گردد.

واژگان کلیدی: صنعت تولید تایر، تایر سبز، مقاومت غلتشی، طول عمر

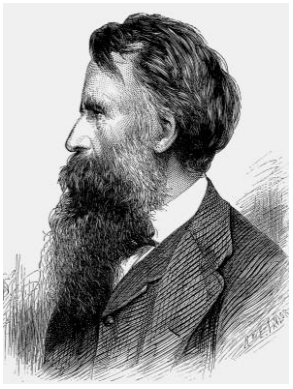
۱. مقدمه

تایر[۱] اصطلاحاً به لاستیکی مستحکم و انعطاف‌پذیر گفته می‌شود که بر روی طوقه یا رینگی فلزی[۲] قرار می‌گیرد و مجموعاً چرخ اداوات و وسائل نقلیه را تشکیل می‌دهد. این قطعهٔ خاص در طول تماس با جاده، همواره در معرض کشش[۳] قرار دارد و به‌هنگام حرکت خودرو بر بستر جاده از مجموعهٔ چرخ محافظت می‌کند [۱]. امروزه از تایرها در وسائلی چون انواع خودروهای سبک و سنگین، هواپیما، تراکتور و تجهیزات کشاورزی، ماشین‌آلات حمل‌ونقل صنعتی همچون انواع افرازه یا لیفت‌تراک[۴]، یدک‌کش، جک‌پالت[۵]، انباشت‌گر یا استکر[۶]، ریچ‌تراک[۷]، اداوات و ماشین‌آلات راه‌سازی، همچنین در اداواتی چون کالسکهٔ کودک، سبد خرید، ویلچر، انواع دوچرخه و موتورسیکلت

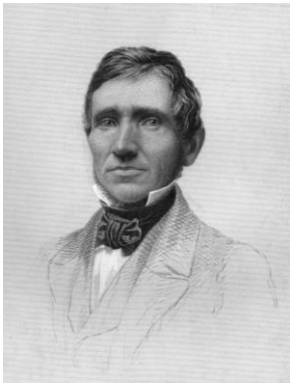
استفاده می‌شود. بیشتر تایرهای موجود در وسائل نقلیه از نوع بادی‌اند، که در آنها هوای فشرده داخل لاستیک حبس می‌شود [۲]. تا سالیان اخیر، بیشتر لاستیک‌ها مجهز به تیوبی داخلی بودند که از خروج هوای پرفشار داخل لاستیک جلوگیری می‌کرد، اما امروزه تایرها بدون تیوب[۸] و با خاصیت نفوذناپذیری بالا ساخته می‌شوند. در این دسته از تایرها حفظ فشار داخلی برعهدهٔ رینگ و لاستیک است.

نخستین‌بار رابرت ویلیام تامسن[۹]، مخترع اسکاتلندی، در سال ۱۸۴۵ م، تایر بادی[۱۰] مجهز به تیوب داخلی را ساخت. اما این اختراع قدری از گسترهٔ دانش فنی زمان او جلوتر بود، لذا چندان مورد توجه و اقبال قرار نگرفت. تا اینکه ۳۵ سال بعد؛ در سال ۱۸۸۰ م، تایر بادی توسط جان بوید دانلپ[۱۱]، مخترع و صنعتگر شهیر اسکاتلندی، بازآفرینی شد و با استفاده در دوچرخه‌ها به‌سرعت مورد توجه دوچرخه‌سواران آن روزگار قرار گرفت [۳].

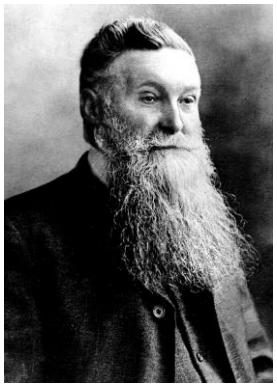
اصلی‌ترین عنصر مورد استفاده در صنعت تایرسازی، لاستیک[۱۲] است. امروزه اما در کنار لاستیک طبیعی از لاستیک مصنوعی[۱۳] نیز در ساخت انواع تایر استفاده می‌شود [۴]. جهت ایجاد خصوصیاتی چون استحکام، ضربه‌پذیری[۱۴] و مقاومت سایشی یا دیرسایی[۱۵] لازم است تا لاستیک خام با افزودنی‌های شیمیایی متعدد ترکیب و عمل‌آوری شود [۵]. در سال ۱۸۳۹ م، چارلز گودییر[۱۶]، مخترع نام‌آشنای امریکایی، به‌صورت کاملاً تصادفی روش استحکام‌بخشیدن به لاستیک را کشف کرد؛ روشی که بعدها به فرایندی موسوم به ولکانش[۱۷] یا عمل‌آوری[۱۸] شهرت یافت [۶]. او از سال ۱۸۳۰ م باهدف یافتن روشی مناسب جهت پخت و فراوری لاستیک آزمایشات متعددی انجام داد، اما توفیق چندانی نیافت، تا اینکه در جریان انجام یکی از آزمایشاتش، با اختلاط لاستیک طبیعی و گوگرد و حرارت‌دادن مخلوط متوجه انجام یک واکنش شیمیایی شد؛ او مشاهده کرد که مخلوط لاستیک و گوگرد به‌جای ذوب‌شدن، به یک تودهٔ سخت تبدیل می‌شود. پس از رؤیت چنین اتفاقی بود که با تداوم آزمایشات موفق به تولید نخستین لایه‌های لاستیکی شد [۱]. امروزه کارخانه‌های بزرگ تولید تایر به‌کمک نیروهای کارکشته و متخصص خود، سالیانه ۲۵۰ میلیون حلقه تایر جدید را روانهٔ بازار مصرف می‌کنند [۱]. درحال حاضر بخش اعظمی از فرایند ساخت تایر در مجموعه‌های تولیدی به‌صورت خودکار انجام می‌شود؛ اما در بخش‌هایی چون مونتاژ و لایه‌گذاری بدنهٔ تایر هنوز از نیروی انسانی ماهر استفاده می‌شود.



شکل ۱. رابرت ویلیام تامسن (۱۸۲۲-۱۸۷۳)



شکل ۲. چارلز گودییر (۱۸۰۰-۱۸۶۰)



شکل ۳. جان بوید دانلپ (۱۸۴۰-۱۹۲۱)

۲. مواد اولیه

همان‌گونه که پیشتر نیز بیان شد، اصلی‌ترین عنصر مورد استفاده در ساخت تایر، لاستیک است. این ماده به دو گونهٔ طبیعی و مصنوعی در دسترس است. لاستیک طبیعی از شیرهٔ پوست درخت لاستیک[۱۹] با نام علمی هیوآ

برازیلین‌سیس[۲۰] به‌دست می‌آید [۷]. البته باید توجه داشت که لاستیک طبیعی از بیش از دویست گونهٔ گیاهی به‌دست می‌آید، اما تنها چند مورد از آنها همچون درخت هیوآ برازیلین‌سیس که در برزیل، هند، مالزی و مالایا، آسیای جنوبی و جنوب شرقی و آفریقای غربی و همچنین درخت گوتاپرچا[۲۱]، که در تایلند و تایوان و شمال استرالیا رشد می‌کنند، کاربرد تجاری دارند [۸]. بیش از ۹۹ درصد از لاستیک طبیعی جهان از این منابع تأمین می‌شود. از دیگر منابع طبیعی لاستیک نیز می‌توان به درخت لاستیک پاناما[۲۲] و لاستیک انجیر[۲۳] اشاره کرد. برای به‌دست آوردن لاتکس[۲۴]، نخست پوست درخت را به‌گونه‌ای برمی‌دارند که شیرهٔ درخت در فنجان‌های کوچکی جمع شود. فنجان‌ها باید مرتباً جمع‌آوری شوند تا از فساد یا آلودگی شیره ممانعت شود. سپس، شیرهٔ درخت به محل جمع‌آوری برده می‌شود و در آنجا پس از صاف‌شدن با افزودن آمونیاک محافظت می‌گردد.

شکل ۴. شیرهٔ درخت لاستیک

لاستیک از طریق فرایندی موسوم به انعقاد جدا می‌شود. این کار با افزودن اسیدها یا نمک‌های متنوع انجام می‌شود. در طی انجام این عمل، لاستیک به شکل یک تودهٔ سفید خمیری از مایع جدا می‌شود و پس از آن با استفاده از غلتک به شکل ورقه درمی‌آید و در نهایت خشک می‌شود. روش جدیدتر این است که با استفاده تیغه‌های دوار یا اعمال برش بین دو غلتکی که با سرعت متفاوت می‌چرخند، شیرهٔ منعقدشده را به دانه تبدیل می‌کنند. سپس دانه‌ها برای چند ساعت در خشک‌کن‌های مخصوص خشک می‌شوند. این عمل در روش قدیمی که از هوا یا دود چوب برای خشک‌کردن استفاده می‌شد، چند روز به‌طول می‌انجامید. به‌منظور آمادسازی لاستیک خام مورد استفاده در ساخت تایر، ابتدا باید شیرهٔ درخت را با مواد شیمیایی ترکیب کرد تا مخلوطی سفت و جامد به‌دست آید. سپس لاستیک خام تحت فشار در دستگاه مخصوصی قرار می‌گیرد تا همگن و خشک شود. پس از آن به‌صورت ورقه‌ای درآمده و در اتاق دود خشک می‌شود. سپس ورقه‌های آماده‌شده به‌صورت عدل‌هایی حجیم در می‌آیند و به کارخانه‌های تایرسازی ارسال می‌گردند.

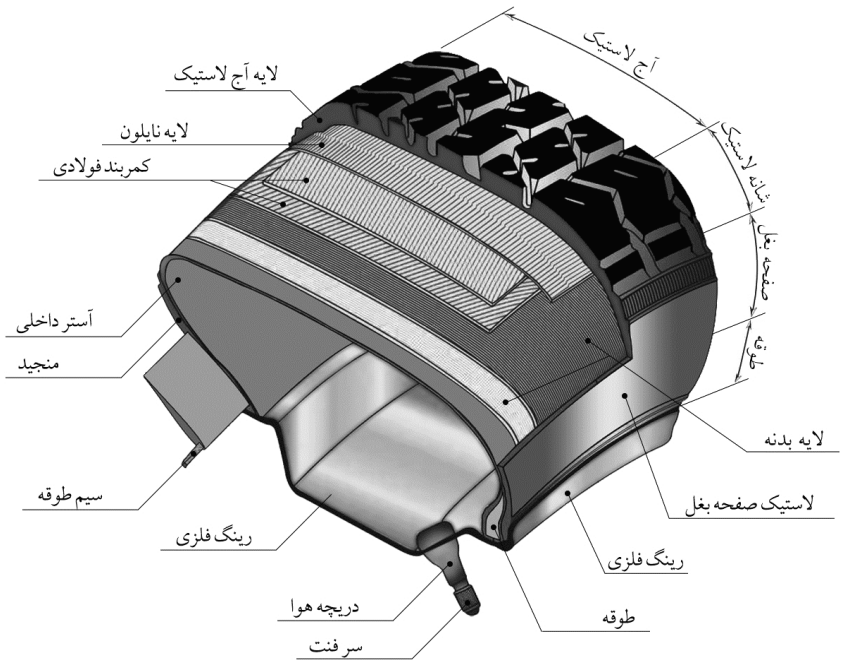
لاستیک مصنوعی اما از پلیمرهای نفت خام حاصل می‌شود [۹]. دوده[۲۵] از دیگر مواد اولیهٔ موجود در تایر است [۱۰]. دوده نوعی پودر نرم حاصل از احتراق ناقص نفت خام یا گاز طبیعی است. چون در ساخت تایر به حجم قابل توجهی از دوده نیاز است، در کارخانجات تایرسازی سیلوهای بزرگی به‌منظور ذخیره‌سازی دوده، در نزدیکی خطوط تولید جانمایی می‌شود [۱].

از دیگر عناصر مورد استفاده در ساخت تایر گوگرد است. با ترکیب مواد شیمیایی خاص با لاستیک خام آمیزه‌هایی حاصل می‌شود که در دسته‌ای از تایرها، با وجود عمر کم، خصوصیاتی چون اصطکاک و چسبندگی بالا را ایجاد می‌کنند. چنین تایرهایی اساساً برای خودروهای مسابقه مناسب‌اند. این در حالی است که در دسته‌ای دیگر از تایرها، با وجود عمر زیاد، ویژگی‌هایی چون اصطکاک و چسبندگی کم ایجاد می‌شود. معمولاً از این دسته از تایرها در خودروهای مسافربری استفاده می‌شود. برخی دیگر از

افزودنی‌های شیمیایی، در عین حال که فرم و شکل ظاهری تایر را حفظ می‌کند، خاصیت انعطاف‌پذیری آن را نیز افزایش می‌دهند. دسته‌ای دیگر از افزودنی‌ها نیز از لاستیک در برابر تابش فرابنفش نور خورشید محافظت می‌کنند [۱۱].

۳. فرایند طراحی

اجزای اصلی یک تایر خودرو مسافربری شامل رویه یا آج[۲۶]، بدنه، دیواره‌ها[۲۷] و طوقه‌ها[۲۸] می‌باشد. در شکل ۱ نمایی از اجزای اصلی یک تایر نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل نیز مشاهده می‌شود، رویه یا آج اصطلاحاً به بخشی از تایر گفته می‌شود که شامل الگوهایی برجسته و شیارهایی خاص است و در تماس مستقیم با جاده قرار دارد. مجموعهٔ لایه‌های بدنه نیز تکیه‌گاه آج لاستیک هستند که فرم کلی تایر را حفظ می‌کنند. طوقه‌ها نیز مفتول‌های فلزی‌اند که توسط توده‌ای از لاستیک پوشیده شده‌اند و نقش اصلی آنها نگه‌داشتن تایر در رینگ و حفظ هم‌مرکزی آنها می‌باشد.



شکل ۵. بخش‌های گوناگون تایر یک خودروی سواری

امروزه فناوری‌های روز، خصوصاً دانش کامپیوتر، نقش بسزای در طراحی انواع تایر تایر ایفا می‌کنند. بسته‌های نرم‌افزارهای پیشرفته با انجام پیچیده‌ترین محاسبات، مهندسان را قادر ساخته‌اند تا عملکرد آج و دیگر بخش‌های مربوطه را به‌راحتی شبیه‌سازی کنند و نتایج سال‌ها آزمایش و کار عملی را در کوتاه‌ترین زمان ممکن مشاهده نمایند [۱۲]. این بسته‌های نرم‌افزاری توانایی ایجاد مدلی سه‌بعدی از تایر را دارند و آثار ناشی از تنش‌ها و کشش‌های گوناگون را در نمونهٔ طراحی‌شده محاسبه می‌کنند. شبیه‌سازی کامپیوتری هزینهٔ اولیهٔ طراحی را به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد؛ زیرا از این طریق موانع پیش روی طرح اولیهٔ تایر پیش از اینکه نمونه‌ای واقعی از آن ساخته و آزمایش شود، قابل مشاهده و تحلیل است. همچنین به‌منظور تست آج و بدنهٔ تایر، کامپیوترها قادر به شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل آثار ناشی از ترکیبات مختلف اجزای تایر هستند.

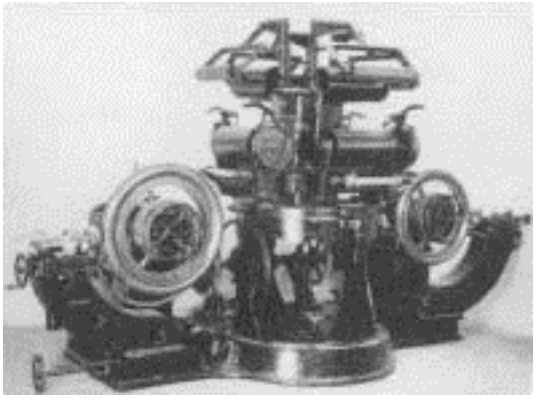
بر این اساس، در تایر خودروهای مسافربری امروزی، ممکن است بیش از بیست نوع لاستیک در اجزای تایر استفاده شود [۱۱]. به‌عنوان مثال در قسمت آج ممکن است لاستیکی استفاده شود که دارای کشش خوب در مناطق آب‌وهوایی سرد باشد. همچنین از لاستیکی که دارای صلبیت بهتری است در دیواره‌های تایر استفاده می‌شود [۱۳].

پس از اینکه مهندسان از لحاظ نظری نتایج حاصل از داده‌های کامپیوتری طرح را تأئید نمودند، کارشناسان ساخت و تولید به‌همراه طراحان نمونه‌های اولیه را می‌سازند. در صورتی که نمونه‌ها نیز مورد تأئید مهندسان باشد، کارخانه‌های تایرسازی تولید انبوه محصول جدید را آغاز خواهد کرد.

تاریخچهٔ ابداع و روند روبه رشد صنعت تولید تایر مصداق بارز این حقیقت است که اختراعات و اکتشافات در حوزه‌ای خاص از صنعت می‌تواند سبب ایجاد تحولاتی چشم‌گیر و شگرف در دیگر صنایع شود. به‌عنوان مثال، جهش سریع صنعت خودروسازی در اوائل قرن بیستم موجب انقلابی عظیم در صنعت تولید تایر در ایالات متحدهٔ امریکا شد [۱۳]. تا پیش از این؛ یعنی در اواخر قرن نوزدهم، صنعت تولید لاستیک در خدمت صنایع کوچکی چون تولید کفش، لاستیک دوچرخه و تایر انواع کالسکه و درشکه بود. درست از زمان زبانه‌کشیدن شعله‌های آتش جنگ جهانی اول بود که لاستیک و تایر انواع خودرو تقریباً برای عموم مردم شناخته شد. در سال ۱۹۰۱ م، هفت هزار دستگاه خودرو به بازار عرضه شد، تعداد ۲۸۰۰۰ حلقه تایر نیز به‌عنوان جزء اصلی این خودروها به فروش رسید. همچنین ۶۸۰۰۰ حلقه تایر به‌عنوان زاپاس روانهٔ بازار مصرف شد. به همین روال تا سال ۱۹۱۸ م، پنجاه درصد از لاستیک‌های موجود در بازار فروخته شد. پس از آن با فروش یک میلیون خودرو جدید، چهار میلیون حلقه تایر ساخته شد و رفته‌رفته تولید افزایش یافت تا اینکه صنعت تایرسازی رکورد تولید ۲۴/۵ میلیون حلقه تایر را نیز در آن زمان تجربه کرد [۱].

این رشد چشم‌گیر تولیدات با ظهور بزرگان صنعت تایرسازی، که امروز با نام‌های گودییر[۲۹]، گودریچ[۳۰] و فایرستون[۳۱] شناخته می‌شوند، همراه شد که مرکز اصلی فعالیت آنها در شهر آکرن[۳۲]، واقع در ایالت اهایـو[۳۳] قرار گرفته است.

درست است که امروزه میزان اشتغال در صنعت تولید تایر اوج گرفته است، اما این فناوری بود که سبب رشد تولید شد. به‌عنوان مثال یکی از اساسی‌ترین نوآوری‌ها، مکانیزه‌نمودن فرایند ساخت بدنهٔ تایر بود. تا قبل از سال ۱۹۱۰ م، اکثر فرایندهای ساخت تایر، همچون کشش لاستیک، چسب‌زنی لایه‌ها، دوخت لایه‌ها و نصب مفتول‌های طوقه روی بدنه به‌صورت دستی انجام می‌شد، تا اینکه در سال ۱۹۰۹ م یکی از کارخانه‌های گروه گودیر دستگاهی موسم به دستگاه ساخت تایر[۳۴] ساخت که با چیدمان اجزای گوناگون تایر، لایه‌ها، طوقه‌ها و لاستیک آج، امکان مونتاژ این اجزاء را برای اپراتور فراهم و کشش مورد نیاز جهت ثابت‌کردن آنها با استفاده از الکتروموتورهای تعبیه‌شده در دستگاه را ممکن می‌نمود [۳].



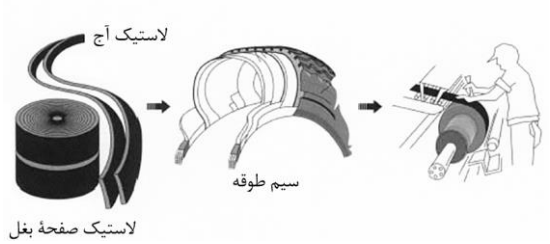
شکل ۶. دستگاه دستگاه ساخت تایر؛ سال ۱۹۰۹ م

لذا در این حالت اپراتور با سهولت و دقت بیشتری فرایند چسب‌کاری و دوخت لایه‌ها را انجام می‌داد. با وجود دستگاه مونتاژ تایر، اهمیت مهارت و چابکی اپراتور در این فرایند هنوز پابرجا بود، لذا این دستگاه عملیات را برای اپراتور آسان‌تر نمود و نرخ تولید را به‌صورت چشمگیری

افزایش داد، به‌طوری‌که اپراتور می‌توانست تولید خود را از شش تا هشت حلقه در روز به بیست تا چهل حلقه، بسته به نوع آن، برساند.

۴. فرایند ساخت

تایر خودروهای مسافری، از قرارگیری لایه‌های متعدد لاستیک با آمیزه‌های مختلف بر روی هم در دستگاه فرم‌دهی تایر[۳۵]، که به‌صورت استوانه‌ای فلزی می‌باشد، ساخته می‌شود. بدین صورت که ابتدا اجزای گوناگون تایر را، که به‌صورت لاستیک‌های نواری با خصوصیاتی متفاوت‌اند، به دستگاه فرم‌دهی انتقال می‌دهند. در این مرحله، اپراتور لاستیک‌های نواری را به‌ترتیب به‌دور استوانهٔ دستگاه می‌پیچد و در موقعیت خود برش می‌دهد. در واقع اولین مرحله در فرایند ساخت تایر، تولید خمیر لاستیک است که از اختلاط مواد لاستیکی، دوده، گوگرد و دیگر مواد شیمیایی تشکیل می‌شود. پس از آن لاستیک به‌صورت ورقه‌ای فرم داده شده و به فرم نواری برش داده می‌شود. نوارهای لاستیکی به دستگاه ساخت تایر انتقال داده شده و در آنجا توسط اپراتور به‌صورت لایه‌لایه روی دستگاه مونتاژ قرار می‌گیرد و فرم اولیهٔ تایر را به‌وجود می‌آورد. محصول این ایستگاه کاری را تایر تـر[۳۶] می‌نامند.



شکل ۷. دستگاه ساخت تایر

وقتی اپراتور فرایند مونتاژ تایر تـر را به پایان رساند، استوانهٔ فلزی دستگاه، تایر را رها کرده و اجازه می‌دهد تا اپراتور تایر را از دستگاه بیرون بکشد. سپس تایر تر به‌منظور پخت و فرم‌دهی نهایی به بخش قالب نهایی انتقال می‌یابد. گام نخست در فرایند ساخت تایر اختلاط مواد خام و تهیهٔ مخلوط لاستیک[۳۷] است. تجهیزات انتقال مواد، حجم وسیعی از لاستیک طبیعی و مصنوعی، دوده، گوگرد و دیگر افزودنی‌های شیمیایی و روغن‌ها را از انبار به داخل دستگاه اختلاط انتقال می‌دهند.

سیستم‌های کنترل کامپیوتری، با گزینه‌های متنوعی که براساس نوع لاستیک برای آنها تعریف شده، میزان مصرف هر یک از مواد و افزودنی‌های مورد استفاده در تهیهٔ مخلوط لاستیک را اندازه‌گیری و به‌صورت خودکار کنترل می‌کنند. یک دستگاه اختلاط[۳۸] غول‌پیکر عمودی، درست مشابه دستگاه‌های اختلاط بتن، توده‌هایی از لاستیک را - که بعضاً تا ۱۱۰۰ پوند هم وزن دارند - به‌همراه مواد شیمیایی و دیگر افزودنی‌ها ترکیب و این آمیزه را به‌خوبی ورز می‌دهد. سپس با افزودن مواد شیمیایی برای نرم‌کردن لاستیک مجدداً به لاستیک حرارت داده و آسیاب می‌شود [۱]. در گام سوم، لاستیک به محفظهٔ دستگاه اختلاط دیگری انتقال و با افزودن دیگر مواد شیمیایی به فرم نهایی خود تبدیل می‌شود. در هر یک از مراحل سه‌گانهٔ اختلاط باید تودهٔ لاستیک دائماً در معرض حرارت و مالش قرار گیرد تا مواد شیمیایی به‌طور یکسان در تمام تودهٔ لاستیک توزیع و مخلوطی همگن و نرم ایجاد شود. ترکیبات شیمیایی هر لاستیک، بسته به فرمولاسیون و نوع کاربرد آن در اجزای مختلف تایر از جمله آج، بدنه، طوقه و دیواره‌ها، متفاوت است.

۴-۱. بدنه، طوقه و آج تایر

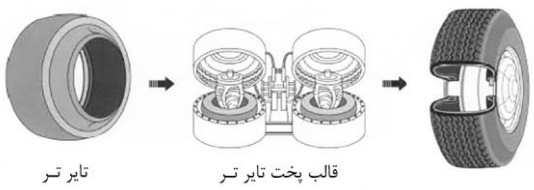
پس از آماده‌سازی یک دسته لاستیک[۳۹]، آن را به دستگاه نورد[۴۰] انتقال می‌دهند تا به‌شکل ورقه‌های ضخیم لاستیکی درآید. در واقع، در مراحل بعد، از این ورقه‌ها جهت ساخت قسمت‌های مختلف تایر استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، بدنهٔ اصلی تایر شامل نوارهای لاستیکی می‌باشد؛ الیاف‌هایی نخی که با لایه‌ای از لاستیک پوشیده شده است. هر یک از لایه‌های نخی پوشیده‌شده از لاستیک که برای فرم‌دادن بدنهٔ تایر استفاده می‌شوند را یک لایه[۴۱]

می‌نامند. به‌عنوان مثال در تایر یک خودرو سواری بیش از چهار لایه در بدنهٔ تایر استفاده می‌شود. برای ساخت طوقه‌های تایر، ابتدا با استفاده از دستگاه مفتول‌پیچ[۴۲] دسته‌ای از سیم‌های فلزی به‌صورت مفتول‌های حلقوی فرم داده می‌شوند و پس از مونتاژ آن روی بدنهٔ تایر، آن را با توده‌ای از لاستیک می‌پوشانند. لاستیک مورد استفاده در قسمت آج و دیواره‌های تایر، پس از آماده‌سازی دستهٔ لاستیک در دستگاه اختلاط به داخل قیف دستگاه اکسترودر[۴۳] منتقل می‌شود. در این دستگاه لاستیک بار دیگر گرم و ورز داده می‌شود. سپس دستگاه با اعمال نیرو، مخلوط لاستیکی را روانهٔ روزنه‌های انتهایی دستگاه نموده و به‌شکل لایه‌های لاستیکی درمی‌آورد. سپس لاستیک دیواره‌ها با لایه‌ای از پلاستیک پوشانده و روی هم پرس می‌شود. لاستیک آج نیز به‌شکل قطعات نواری درآمده و در محفظه‌های فلزی بزرگی بارگذاری می‌شود [۱۱].

۲-۴. دستگاه ساخت تایر

پس از ساخت تایر تـر در دستگاه مونتاژ، تایر نیمه‌آماده درون قالب پخت قرار می‌گیرد تا فرم نهایی را به‌خود بگیرد. قالب مورد نظر مشابه یک گیره با دو فک است و داخل آن یک بالن ارتجاعی حجیم قرار دارد. تایر روی بالن قرار می‌گیرد و قالب بسته می‌شود. سپس بخار آب پرفشار به داخل بالن پمپ می‌شود و موجب منبسط‌شدن بالن و در نهایت، پرس تایر روی دیواره‌های قالب می‌شود. در این مرحله تایر فرم نهایی خود را می‌گیرد [۱۱].

پس از آن تایر برای انجام تست، ابتدا خنک و از هوا پر می‌شود. طوقه‌ها، که مفتول‌هایی حلقوی‌شکل هستند، توسط اپراتور دستگاه مونتاژ روی بدنهٔ تایر نصب می‌شوند. در مرکز دستگاه مونتاژ تایر یک روتور استوانه‌ای تاشو قرار دارد که اجزای گوناگون تایر را روی استوانه نگاه می‌دارد. اپراتور مونتاژ تایر تـر را با قراردادن اجزای مختلف تایر، که به‌صورت نوارهایی لاستیکی‌اند، می‌سازد. وی با جانمایی لایه‌های روی هم و چسباندن آنها، طوقه‌ها را روی لایه‌ها قرار داده و با تاکردن لبه‌های بدنه، مفتول طوقه را با لاستیک می‌پوشاند و در جای خود ثابت می‌کند. سپس با استفاده از یک ابزار مخصوص لبه‌های تایر را فرم می‌دهد. در پایان، لایه‌های اکسترودشدهٔ مخصوص دیواره‌ها و لایهٔ آج را با استفاده از چسب مخصوصی در جای خود تثبیت می‌نماید. پس از تکمیل این فرایند، فرم اولیهٔ تایر ایجاد می‌شود. در این مرحله، محصول آماده‌شده از دستگاه خارج شده و به قسمت قالب پخت انتقال می‌یابد.



شکل ۸ نمایی شماتیک از قالب پخت تایر تـر

۳-۴. فرایند پخت تایر

همان‌گونه که در بخش قبل نیز بیان شد، تایر تـر را به‌منظور فرم‌دهی و پخت نهایی، داخل یک قالب بزرگ دوتکه‌ای قرار می‌دهند. قالب پخت مشابه یک گیرهٔ فلزی نسبتاً بزرگ است که درون آن یک بالن ارتجاعی قرار دارد. تایر تـر را روی بالن قرار داده و سپس با بسته‌شدن قالب، بالن از بخار آب پرشده و منبسط می‌شود. انبساط بالن سبب فشرده‌شدن لاستیک به دیواره‌های قالب می‌شود و طرح آج که روی دیواره‌های قالب تعبیه‌شده با لاستیک پر و شکل آج روی تایر نقش می‌بندد. در این فرایند دمای بخار آب موجود در بالن به ۲۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. زمان مورد نیاز برای پخت هر تایر در قالب، به نوع تایر و خصوصیات مخلوط لاستیکی آن بستگی دارد [۱۱].

پس از اتمام فرایند پخت، تایر از قالب خارج می‌شود تا سرد و آمادهٔ تست گردد. تایرهای تولیدشده در این مرحله از نظر ظاهری کاملاً بررسی می‌شوند تا از عدم وجود حباب، ترک و سوراخ در سطوح آج، دیواره‌ها و سطوح داخلی آن تأیید شوند. سپس تایر بادشده را روی چرخ آزمایش نصب

می‌کنند و می‌چرخانند. حسگرهای موجود در چرخ آزمایش بالانس‌بودن تایر را اندازه‌گیری می‌کنند. همچنین حرکت تایر روی خط راست نیز در این مرحله تست می‌شود. بلافاصله پس از انجام بازرسی‌های ظاهری و انجام تست‌های مکانیکی و دینامیکی، تایرها به انبار انتقال می‌یابند تا روانهٔ به بازار مصرف شوند.

شکل ۹. نمایی از یک تایر غیربادی

۵. کنترل کیفیت

نخستین ایستگاه کنترل کیفیت در زنجیرهٔ ساخت تایر، کنترل در محل تأمین مواد اولیه است. امروزه بیشتر سازندگان و تولیدکنندگان تایر به‌دنبال آن دسته از تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ای هستند که کنترل و نظارت دقیق‌تری بر محصولات خود داشته باشند و قبل از ارسال هر محموله به کارخانه‌های تایرسازی کنترل کافی روی آنها انجام دهند. سازندگان تایر اغلب قراردادهای خود را با تأمین‌کنندگانی منعقد می‌کنند که دارای گواهینامه‌های معتبر بین‌المللی برای محصولات خود باشند و مواد اولیه را از منظر خصوصیات شیمیایی و مکانیکی تضمین نمایند. با این‌حال، کارخانه‌های تایرسازی جهت حصول اطمینان از کیفیت مواد اولیه مجدداً توسط کارشناسان خود با استفاده از نمونه‌برداری تصادفی بخشی از محموله‌ها را به‌محض ورود به شرکت مورد آزمایش قرار می‌دهند. کارخانه‌های تایرسازی در حین فرایند ساخت مواردی را کنترل می‌کنند. به‌عنوان مثال در فرایند اختلاط مخلوط لاستیک در دستگاه مخلوط‌کن از مخلوط نمونه‌برداری و آزمایش می‌کنند. تست‌هایی که در این مرحله انجام می‌شود، شامل تست مقاومت کششی[۴۴] و چگالی است. همچنین هر یک از اپراتورها که فرایند مونتاژ تایر را برعهده دارند، مسئول کنترل قطعات لاستیکی قبل از مونتاژ و حصول اطمینان از عدم وجود نقص در آنها می‌باشند. سیستم جامعی جهت ردیابی قطعات و محصولات به‌صورت خودکار شمارهٔ کد هر تایر را در حین فرایند ساخت ثبت می‌کند و این امکان را به مدیران کارخانه می‌دهد که هر یک از دسته‌های تولیدی و حتی قطعات استفاده‌شده در آنها را به‌راحتی شناسایی و ردیابی کنند. وقتی تایر جدیدی طراحی و ساخته می‌شود، چند نمونه از آن در انتهای خط تولید برداشته و انواع تست‌های مخرب[۴۵] روی آنها انجام می‌هند. به‌عنوان مثال برخی از آنها را تکه‌تکه کرده تا از عدم وجود منافذ بین لایه‌های مختلف بدنهٔ تایر اطمینان حاصل کنند. دسته‌ای دیگر از تایرها را روی صفحه‌های فلزی میخ‌دار با اعمال نیروی مشخص آزمایش می‌کنند تا مقاومت تایر در برابر پنچری را مشخص نمایند. برخی دیگر از تایرها را روی استوانه‌های فلزی تحت نیروهای مختلف می‌غلتانند تا خصوصیات دینامیکی تایر را بررسی و میزان دوام آن را مشخص کنند. همچنین از روش‌های گوناگون در تست‌های غیرمخرب[۴۶] استفاده می‌شود تا کیفیت تایرهای تولیدشده کنترل گردد. عکسبرداری با استفاده از اشعهٔ ایکس یکی از روش‌های سریع و مطمئن جهت بررسی اجزای داخلی بدنهٔ تایر است. در این تست ابتدا یک حلقهٔ تایر به‌صورت تصادفی از دستهٔ تولیدشدهٔ روز انتخاب می‌شود و در اتاق پرتو افشانی عکسبرداری می‌شود. تکنسین کنترل کیفیت با استفاده از تصاویر از قسمت‌های مختلف تایر، نقص‌ها و ایرادهای موجود در لایه‌های درونی تایر را به‌سهولت شناسایی می‌نماید. در صورت بروز هرگونه ایراد در تایر، مهندسان ایرادها را ریشه‌یابی می‌کنند و اقدامات اصلاحی متناسب را به‌منظور رفع و جلوگیری از تکرار آن تعریف و اجرا می‌نمایند [۱۱]. همچنین

بازخوردهای رسیده از مشتریان و نمایندگی‌های فروش نیز مورد بررسی قرار گرفته و نواقص را رفع نموده و محصول نهایی را بهبود می‌بخشند.

۶. جمع‌بندی

امروزه بهبود مستمر در عرصهٔ صنعت لاستیک با آمیزه‌های جدید شیمیایی و طراحی براساس روش‌های روزآمد مهندسی سبب شده است روزبه‌روز تایرهایی بادوام‌تر، با عملکردی بهتر در شرایط متنوع آب‌وهوایی روانهٔ بازار شود. سازندگان تایرهایی را به بازار عرضه می‌کنند که طول عمر آنها تا ۸۰۰۰۰ مایل تضمین می‌شود. طراحی نامتقارن طرح آج‌ها و تحلیل و تست آن توسط کامپیوتر سبب شده است که میزان چسبندگی تایر به سطح جاده ارتقاء و ایمنی تایر در جاده‌هایی با اقلیم‌های آب‌وهوایی متنوع بهبود یابد. مهندسان در حال آزمایش مدلی از تایر هستند که تایر بدون باد[۴۷] نامیده می‌شود، این‌گونه از تایر هیچ‌گاه پنچر نمی‌شوند؛ زیرا هیچ نوع گاز فشرده‌ای در آن وجود ندارد. در واقع ساختمان این دسته از تایرها بدین صورت است که یک قطعهٔ حلقوی پلاستیکی بین رینگ و لایهٔ آج وجود دارد که نقش بدنهٔ تایر را ایفاء می‌کند. از منظر دینامیکی این تایرها مقاومت غلتشی[۴۸] پایین‌تری نسبت به نمونه‌های فعلی دارد و سبب کاهش مصرف سوخت خودرو می‌شوند. همچنین فرمان‌پذیری[۴۹] خودرو به‌واسطهٔ افزایش سطح تماس آج با جاده، در این نوع از تایرها بهبود یافته است.

با توجه به گسترش روزافزون صنعت خودروسازی و به‌تبع آن رشد و توسعهٔ صنعت تولید تایر بجاست تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در عرصهٔ تولید این محصول مهم، راه را برای رشد و اعتلای صنعت خودروسازی هموارتر سازیم. در این مقاله، فناوری‌های مرسوم در عرصهٔ صنعت تولید تایر بررسی شد. در شمارهٔ آینده از مجلهٔ *مهندسی مکانیک*، فناوری تولید تایر سبز و فرصت‌ها و تهدیدهای فراروری آن تبیین و بررسی خواهد شد.

۷. مآخذ

[1] Schlager, Neil, *How Products Are Made: An Illustrated Guide to Product Manufacturing*, Volume 1, Gale, 1993.

[2] Pacejka, Hans, *Tire and Vehicle Dynamics*, Butterworth-Heinemann, 3rd edition, 2012.

[3] Amato, Joseph A., *Surfaces: A History*, University of California, 2013.

[4] Groover, Mikell P., *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, Wiley, 4th edition, 2010.

[5] Whelan, A., *Polymer Technology Dictionary*, Springer, 1993.

[6] Hillstrom, Kevin, *Encyclopedia of American Industries Volume 1: Manufacturing Industries*, Gale Group, 1st edition, 1994.

[7] Walker, Denise, *Green Plants (Science Essentials Biology)*, MMS Gold, 2009.

[8] Marshall Cavendish Corporation, *Growing Up with Science*, Cavendish Square Publishing, 3rd edition, 2006, p. 1499.

[9] Hepburn, C., *Rubber Compounding Ingredients: Need, Theory and Innovation, Part II*, Smithers Rapra Technology, 1997.

[10] Ciesielski, Andrew, *An Introduction to Rubber Technology*, William Andrew, 1st edition, 2000.

[11] Knowles, Don, *Automotive Suspension and Steering Systems*, Delmar Cengage Learning, 3rd edition, 2002.

[12] Newton, Richard, *Wheel and Tire Performance Handbook*, Motorbooks, 1st edition, 2007, p. 68.
[13] Kozmetsky, George, Piyu Yue, *The Economic Transformation of United States, 1950 - 2000: Focusing on the Technological Revolution, the Service Sector Expansion, and the Cultural, Ideological, and Demographic Changes*, Purdue University Press, 2005.

پی‌نوشت

1. tire (American English) or tyre (British English)
2. rim
3. traction or tractive force
4. forklift truck, also called a lift truck, a fork truck, or a forklift
5. pallet jack, also known as a pallet truck, pallet pump, pump truck, or jigger
6. stacker
7. reach trucks
8. tubeless
9. robert William Thomson (1822 – 1873)
10. pneumatic tire
11. John Boyd Dunlop (1840 – 1921)
12. natural rubber
13. synthetic rubber
14. resiliency
15. wear-resistance
16. Charles Goodyear (1800 – 1860)
۱۷. ولکانش (Vulcanization) نوعی فرایند شیمیایی است که در آن لاستیک طبیعی یا پلیمرهای مشابه، با افزودن گوگرد یا مواد بهبوددهنده و شتاب‌دهنده، به موادی پایدار تبدیل می‌شوند. این افزودنی‌ها، پلیمر را به‌شکل اتصال عرضی با زنجیری مواد پلیمری درمی‌آورند. مواد ولکانیده چسبناکی کمتر و خواص مکانیکی قابل توجه‌تری دارند. پرمصرف‌ترین و معمول‌ترین عامل ولکانش، گوگرد است که با اکثر لاستیک‌های سیرنشده وارد واکنش شده و تولید فراوردهٔ ولکانیده می‌کند. دو عنصر سلنیم و تلوریم نیز قادرند محصولات ولکانیده تولید کنند.
18. curing
19. rubber tree
20. Hevea brasiliensis
21. Gutta-Percha
22. Castilla elastica, the Panama Rubber Tree
23. Ficus elastica, also called the rubber fig, rubber bush, rubber tree, rubber plant, or Indian rubber bush
24. latex
25. carbon black
26. tread
27. sidewalls
28. beads
29. Goodyear, http://www.goodyear.eu (accessed March 10, 2015)
30. Goodrich
31. Firestone Tire and Rubber Company, http://www.firestone.com (accessed March 9, 2015)
32. Akron
33. Ohio
34 tire-building machine
35. tire forming machine
36. green tire
37. rubber compound
38. mixer
39. batch of rubber
40. rolling mills
41. ply
42. wire wrapping machine
43. extruder
44. tensile strength
45. destructive test
46. nondestructive test
47. non-pneumatic tires (NPT) or Airless tires
48. rolling resistance
49. handling