بررسی چسبندگی سیم به لاستیک در ناحیهٔ بلت تایرهای رادیال سیمی سواری با نسبت منظر پایین

A Parametric Study on Rubber to Steel-Cord Adhesion for the Belt Section of Low Aspect Ratio Radial Passenger Car Tires

محمد کرابی*، غلامرضا بخشنده

تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۷۹/۷/۶، پذیرش: ۸۰/۱۱/۱۵

چکیده

تایر رادیال تقویت شده با سیم از نواحی مختلف تشکیل شده است که هر یک از این نواحی نقش مهمی در کاربرد تایر دارد. پایه و ساختار اصلی تایر نواحی منجید و بلت است که در تایرهای رادیال سواری، ناحیه بلت به دلیل پهن بودن از اهمیت بیشتری برخوردار است.در این پژوهش، بخش بلت تایر رادیال سیمی با نسبت منظر ۷۰ ساخت یک کارخانه خارجی که شامل دو لایه سیم فولادی است به عنوان مرجع انتخاب و بررسی شده است.

ابتدا، ناحیه بلت با استفاده از روشهای TG DSC.IR.FTIR.X-ray و دیگر امکانات موجود شناسایی و با کمک نتایج آن و مبانی علمی موجود، فرمولبندی بهینه ای طراحی شد. مبنای طراحی فرمولبندی افزایش چسبندگی آمیزه به سیمهای فولادی است و با بررسی اثر اجزای فرمولبندی شامل انواع رزینهای چسبنده، کبالت نفتنات،سیستم پخت، انواع دوده با اندازه ها و مقادیر مختلف بهترین فرمولبندی انتخاب و معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تایرهای رادیال سواری، بلت سیمی، چسبندگی، کبالت نفتنات

key words:radial passenger tires, steel belt.adhesion, cobalt naphtenate

مقدمه

خواص انحصاری لاستیک نظیر خواص کشش، دینامیکی و سایشی جوب موجب می شود که برای ساخت آن قطعه لاستیکی را با مسوج یا سیمهای فلزی تقویت کنند تا تحمل بار مکانیکی زیاد را داشته باشد. در واقع، برای دستیابی به این خواص از کامپوزیت لاستیکی استفاده می کنند. ناحیهٔ بلت تایر رادیال سیمی نیز یک لاستیک تقویت شده با سیمهای فولادی است که از مدول بالایی برخوردار است و تکیه‌گاه قسمت آج تایر محسوب می شود. امتیاز بکارگیری بلت با این مشخصات کاهش در حرکات اضافی و تغییر شکل آجهای تایر و در نتیجه کاهش سایش ناحیه آج است. برای آنکه بلت کارایی مناسبی داشته باشد باید آمیزهٔ لاستیکی دارای چسبندگی خوبی به سیم باشد، بطوری که با مرور زمان و زیر بارهای

*مسئول مکاتبات، پیام نگار: M. Karabi@proxy.ipt.ac.ir

دینامیکی وارده به تایر پدیدهٔ جدا شدن سیم از لاستیک رخ ندهد. از آنجا که چسبندگی آمیزه به سیم مهمترین عامل تعیین کننده در کرایی بلت است، به همین جهت در بخش بعدی درباره اثر افزودنیهای مختلف در یک آمیزه لاستیکی بر چسبندگی به سیمهای فولادی به اختصار بحث می شود.

چسبندگی حالتی است که در آن دو سطح با نیروی جاذبهٔ بین سطحی به واسطهٔ تاثیر نیروهای متقابل مولکولها ، اتمها و یونها در کنار هم قرار می‌گیرند . این نیروها از نظر بزرگی از پیوندهای قوی شیمیایی تشکیل شده و در حالتی که دو اتم مشارکت الکترونی دارند یا اختلاف بارهای الکتریکی آنها را بهم نزدیک می‌کند بوجود می‌آیند. چسبندگی بین دو ماده می‌تواند به وسیله پیوندهای شیمیایی یا فیزیکی باشد. پیوند شیمیایی به معنی ایجاد پلهای میان مولکولی بین دو ماده به کمک پیوندهای کووالانسی و یونی است. اتصال فیزیکی نیز می‌تواند حاصل در هم رفتگی مکانیکی یا حاصل نیروهای جاذبهٔ فیزیکی بین مولکولها باشد. در ادامه به اختصار درباره مکانیسمهای مختلف چسبندگی بحث می شود[۱،۲] .

الف) در هم رفتگی مکانیکی: طبق این مکانیسم دو سطح برای عملکرد مناسب باید درهمدیگر لنگر انداخته و نفوذ کنند که در مورد بسیاری از مواد برای راحتی کار، عمل حک کردن روی سطوح را انجام می‌دهند.

ب) جذب: چسبندگی می‌تواند حاصل تماس مولکولی بین دو ماده و افزایش نیروهای بین سطحی باشد. فرایند تماس مداوم بین دو سطح را اصطلاحاً ترکنندگی گویند و برای آنکه یک چسب خوب عمل کند باید قدرت ترکنندگی یک سطح جامد را داشته باشد.

ج) واکنشهای سطحی: در حالتی که یکی از سطوح، جامدی با چگالی بالا نظیر فلز و یا سرامیک باشد مولکولهای چسب یا آمیزه نمی‌توانند براحتی به داخل آن نفوذ کنند و معمولاً چسبندگی از طریق واکنشهای سطحی برقرار خواهد شد.

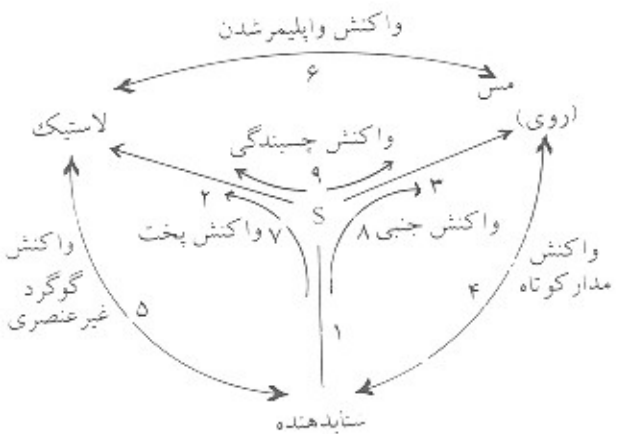
د) جذب الکتروستاتیک: طبق این مکانیسم نیروهای الکتروستاتیک به شکل یک لایهٔ دو گانهٔ الکتریکی بین دو سطح تشکیل می‌گردد. این نیروها که در مقابل جدا شدن مقاومت می‌کنند به واسطهٔ انتقال الکترون و ایجاد بارهای الکتریکی مثبت و منفی شکل می‌گیرند. به عنوان مثال، وقتی یک آمیزهٔ لاستیکی در تماس با یک فلز قرار می‌گیرد الکترونها از سطح فلز به سمت پلیمر پرتاب شده و لایه ای با بارهای الکتریکی متفاوت ایجاد می‌شود.

برای بهبود چسبندگی یک سطح به سیمهای فولادی تایر که معمولاً روکشی از جنس برنج یا برنز دارند از نمکهای آلی- فلزی استفاده می‌شود. همچنین ثابت شده است که استفاده از مشتقات کبالت می‌تواند بهبود چشمگیری در چسبندگی لاستیک بعد از زمانمندی داشته باشد. اثر کبالت بر لاستیک عبارت است از: شتابدهی واکنش پخت، توزیع مناسب پیوندهای عرضی که منجر به تولید تعداد بیشتری از پیوندهای عرضی پلی سولفیدی می‌شود، اثر کاتالیزوری کبالت بر پایداری گرمایی و اکسایشی آمیزهٔ پخت شده، که البته به دلیل مصرف گوگرد به وسیله کبالت باید مقداری گوگرد در این نوع سیستم پخت افزایش یابد. البته کلیهٔ اجزای افزودنی در آمیزه بر چسبندگی آن به سیم نقش خواهند داشت.

اجزای پخت یک آمیزهٔ لاستیکی شامل فعال کننده، شتابدهنده و گوگرد است که طی عمل وولکانش در مجاورت سیمهای فولادی واکنش می‌دهند. طرحی از این واکنشها در شکل۱ ارائه شده است. واکنشهایی که بیشترین اهمیت را دارند واکنش لاستیک-گوگرد- مس و واکنش لاستیک-گوگرد-شتابدهنده است که به ترتیب واکنشهای چسبندگی وپخت را شامل می‌شوند [۲،۳] .

مهمترین واکنش چسبندگی در لاستیک و سیمهای فولادی واکنش بین گوگرد و برنج است ، به عبارتی چسبندگی نوعی واکنش سولفیددار شدن است . طی فرایند پخت یا وولکانش بخشی از گوگرد در واکنشهای تشکیل پیوندهای عرضی و بخشی از آن در واکنشهای سولفیددار شدن مس شرکت می‌کند [۳] .

اولین مرحله در این نوع چسبندگی تشکیل Cu_2S است. این لایه ممکن است با نفوذ کاتدی رشد کند، یعنی انتقال یونهای فلز و الکترونهای آزاد در درون لایهٔ سولفید واقع می‌شود. به عبارتی، در سطح گوگرد واکنش $S+2e \Rightarrow S^{2-}$ رخ می‌دهد، در حالی که



شکل ۱- طرحی از واکنشهای لاستیک در حین پخت در تماس با برنج.

در سطح سولفید- فلز واکنش به شکل $2Cu \Rightarrow 2Cu^{1+} + 2e^-$ انجام می‌گیرد. مرحلهٔ تعیین کنندهٔ سرعت واکنش، نفوذ Cu^+ در لایهٔ سولفید است [٤،٥].

امروزه، نمکهای کبالت استفادهٔ گسترده ای در آمیزه های بلت سیمی دارند و ثابت شده است در صورتی که زمانمندی صورت نگیرد مشتقات کبالت تأثیر چندانی بر چسبندگی ندارند، اما بعد از زمانمندی بهبود چشمگیری در چسبندگی خواهند گذاشت. اکثر محققان بر این عقیده‌اند که یونهای کبالت از خوردگی پوششهای برنجی نیز ممانعت می‌کنند. افزایش چسبندگی و کنترل خوردگی حاصل واکنش بین یونهای کبالت و فیلم سولفیدی است [٢].

در مراحل اولیهٔ پخت، یک فیلم سولفیدی روی برنج تشکیل می‌شود و گره خوردن بین لاستیک و فیلم مس سولفید تعیین کنندهٔ چسبندگی است. در این موقعیت نقش نمکهای کبالت کاهش رسانندگی الکتریکی نیمه رسانای ZnO است که موجب متوقف شدن تشکیل ZnS می‌شود که متخلخل نبوده و چسبندگی ندارد و بنابراین، مس سولفید بیشتر تشکیل می شود [٢،٤].

رزین رزورسینول- فرمالدهید اولین رزین مورد استفاده در ایجاد چسبندگی بین آمیزه و سیم فولادی بود. در این سیستم که یک سیستم پیوند دهندهٔ خشک محسوب می گردد، از هگزامتوکسی اتیل ملامین یا هگزامتیلن تترامین به عنوان عامل سخت کننده استفاده می‌شود. کارهای آزمایشگاهی پژوهشگران نشان می‌دهد استحکام کششی و مدول رزین HMMM/RF با افزودن ١/٥ قسمت کبالت نفتنات افزایش می‌یابد و بیشترین چسبندگی را ایجاد می کند [٦].

فرمولبندیهای بر پایه لاستیک وولکانیده با گوگرد چسبندگی زیادی را با برنج ایجاد می کند. عموماً شتابدهنده‌های با عملکرد تأخیری همانند سولفون آمیدها و مقدار زیادی گوگرد جهت شرکت در واکنش سولفیددار کردن برنج بکار گرفته می شود. همچنین، نسبت گوگرد به شتابدهنده باید زیاد باشد. آمیزه‌های دارای شتابدهنده‌های خیلی سریع چسبندگی ضعیفی به برنج دارند.

در میان شتابدهنده‌های سولفون آمیدی آنهایی که زمان برشتگی طولانی تری دارند و فرصت بیشتری به واکنش سولفیددار شدن می‌دهند، طبیعتاً چسبندگی بیشتری را تأمین می کنند. به عنوان مثال DCBS را می‌توان نام برد.

روی اکسید نیز از مهمترین عوامل بشمار می رود. مقدار روی اکسید در یک فرمولبندی و حتی شکل و اندازه این ماده در چسبندگی مؤثر است. تحقیقات نشان می‌دهد اندازهٔ ذرات بیشترین تأثیر را دارد و با کاهش اندازهٔ ذرات و افزایش میزان ZnO چسبندگی بهبود می‌یابد. همچنین، استفاده از دوده های HAF با گروههای فعال، چسبندگی بهتری ارائه می دهد.

ضد اکسنده ها عموماً اجزائی را تشکیل می دهند که اثر چندانی بر خواص مکانیکی و چسبندگی ندارند. اما، اگر ضد اکسنده ای نظیر MBI باشد که بتواند بر سرعت پخت تأثیر زیادی بگذارد چسبندگی کاهش می‌یابد[٩- ٧].

تجربی

مواد

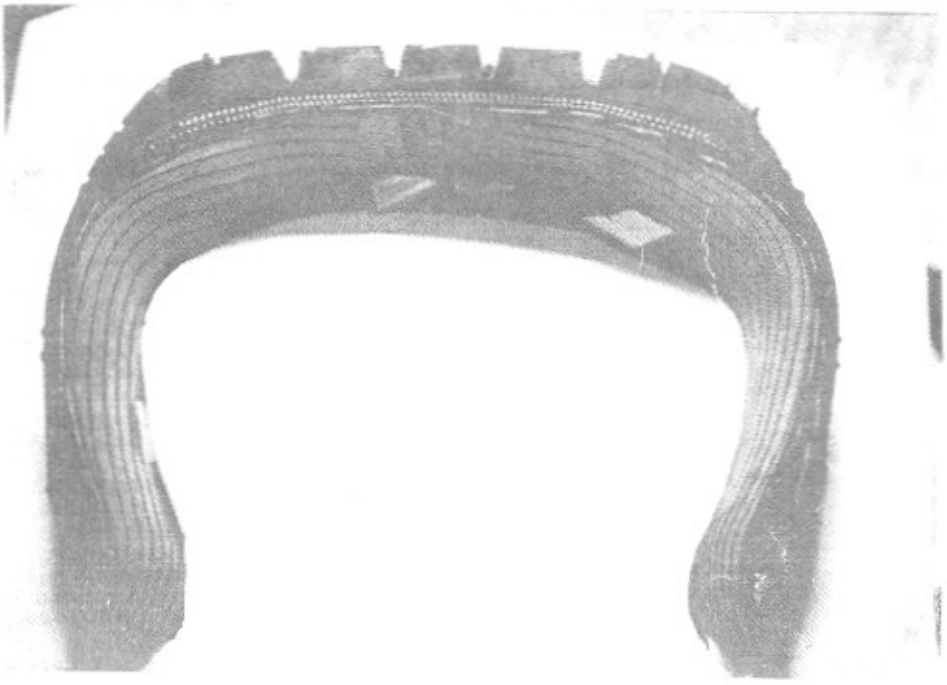
در این پژوهش، مواد زیر به عنوان اجزای فرمولبندی مورد استفاده قرار گرفتند:

RSS1 و SMR-5L-CV انواع تجاری از لاستیک طبیعی ساخت مالزی، لاستیک ایزوپرن (IR) ساخت شرکت شل آلمان، Vulkadur A نوع تجاری از رزین فنولی ساخت شرکت شنکتادی اروپای مشترک، دوده N٣٣٠ محصول دوده پارس، روی اکسید (Zno) محصول شرکت رنگینه پارس، استاریک اسید محصول شرکت یونی‌چی‌مای مالزی، هگزا متوکسی متیل ملامین (HMMM) ساخت شرکت فلکسیس بلژیک، ضد اکسنده‌های NA ٤٠١٠ و TMQ ساخت شرکت بایر آلمان، کبالت نفتنات ساخت شرکت آساهی ژاپن، DCBS نوعی شتابدهنده سولفون آمیدی ساخت شرکت بایر آلمان و گوگرد (S) ساخت شرکت رین چمی آلمان و بازدارنده شروع پخت (PVI) ساخت شرکت فلکسیس انگلیس.

دستگاهها

در این پژوهش، برای جانمایی ناحیه بلت و تجزیه آمیزه لاستیکی این ناحیه از تایر مرجع از دستگاه X-Ray نوع XRF ساخت آکسفورد انگلیس استفاده شد. طیف زیر قرمز به وسیله دستگاه طیف سنج IR فیلیپس انگلیس مدل PU٩٧١٢ و طیف FTIR به کمک دستگاه طیف سنج بروکر مدل IFS٤٨ برداشت شد. رفتار پخت و تغییرات گرمایی به وسیله دستگاه DSC-TG مدل STA ٦٢٥ ساخت شرکت انگلیسی پلیمرلاب بررسی شد.

عمل نرم کردن لاستیک و مخلوط کردن اجزای آمیزه روی غلتک انجام شد. برای این منظور از مخلوط کن دو غلتکی ساخت آلمان با نام polymix مدل ٢٠٠L و همچنین از مخلوط کن بنبوری آزمایشگاهی با حجم ١/٥ لیتر ساخت فارل انگلیس استفاده شد. برای اندازه گیری سختی از دستگاه سختی سنج ساخت شرکت آلمانی زوئیک مطابق با استاندارد ASTM D٢٢٤٠ و برای اندازه‌گیری استحکام کششی مطابق با استاندارد ASTM D٤١٢ و چسبندگی



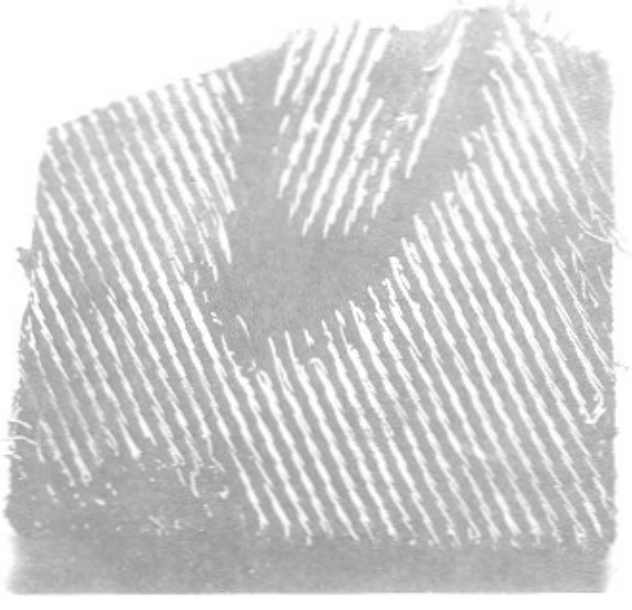
شکل ۲- برشی از سطح مقطع تایر رادیال سیمی با تست منظر ۷۰ ساخت یک کارخانه خارجی

آمیزه به سیم مطابق با استاندارد ASTM D۷۵۰، دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ بکار برده شد. همچنین، برای اندازه‌گیری میزان خستگی از دستگاه Fatigue Tester ساخت شرکت Monsanto مطابق با استاندارد ASTM D۴۴۸۲ استفاده شد.

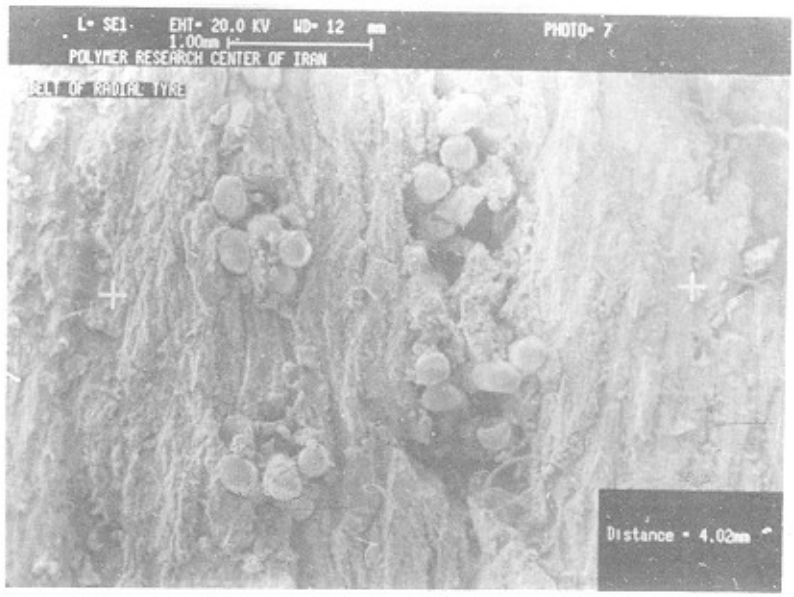
نتایج و بحث

جانمایی ناحیهٔ پلت تایر

در شکل ۲ برشی از سطح مقطع تایر مرجع آمده است. همان گونه



شکل ۳- زاویه سیمهای فولادی با جهت چرخش تایر رادیال سیمی.



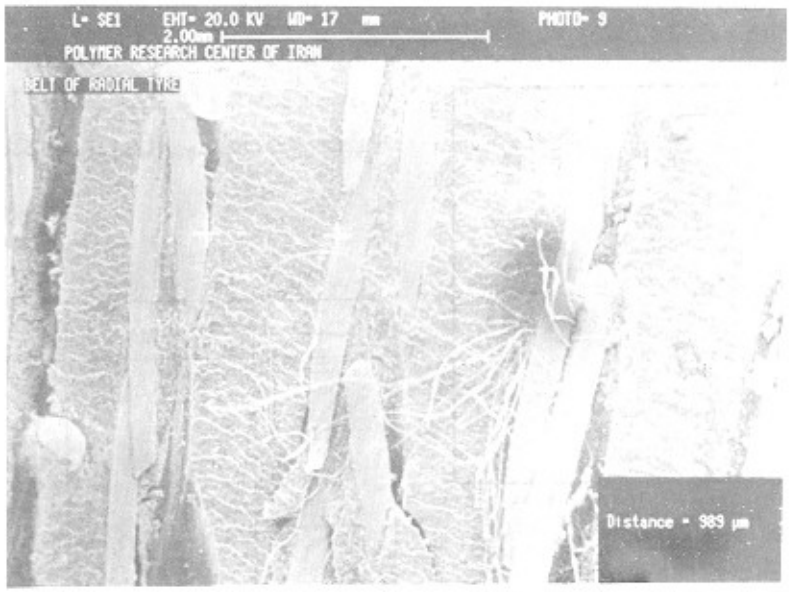
شکل ٤- ضخامت ناحیه بلت تایر رادیال سیمی.

که از این شکل پیداست ناحیه بلت بین منجید و آج واقع می شود. زاویه ای که سیمهای فولادی با جهت چرخش تایر می سازند در شکل ۳ کاملاً مشخص شده است و این زاویه برابر ۱۹/٦° بدست آمد. همچنین ،برای تعیین ضخامت بلت و اندازه گیری ابعاد دیگر آن چند عکس به وسیله SEM با بزرگنمایی ۲۰ برابر از مقطع عرضی و قسمتهای متفاوت بلت گرفته شد. ضخامت ناحیهٔ بلت ٤mm است که در شکل ٤ مشخص شده است .همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، سیمهای فولادی دررشته‌های ٥تایی ناحیهٔ بلت را تقویت می کنند.

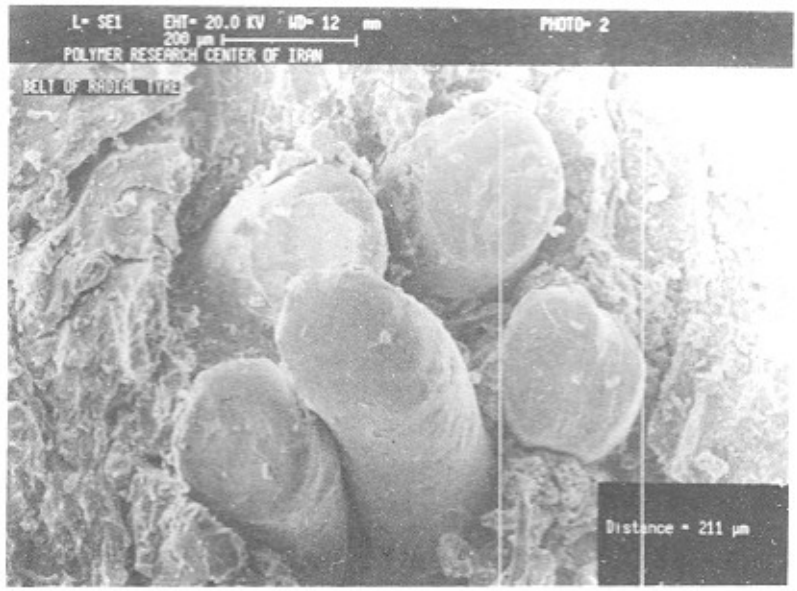
شکل ٥ فاصله بین دو رشتهٔ پنج تایی از سیمهای مجاور را در یک لایهٔ بلت نشان می دهد که این فاصله حدود ۱ میلی متر است و در شکل ٦ قطر هر رشته سیم مشاهده می‌شود که حدود ۰/۲میلی متر است .

شناسایی آمیزه

در شناسایی آمیزهٔ بلت از امکانات آزمایشگاهیIR ، DSC-TG FTIR و X-ray استفاده شد که برای بالا بردن ضریب اطمینان کلیهٔ آزمایشها تکرار گردید.



شکل ٥ - فاصله بین دو سیم مجاور در یک لایه بلت تایر رادیال سیمی.



شکل ۶- قطر هر سیم بلت تایر رادیال سیمی.

برای تعیین پایهٔ لاستیکی، ابتدا آمیزه از ناحیهٔ بلت جدا شده و سپس نمونه در محیط حلالهای قطبی و غیرقطبی (استون و هگزان نرمال) بازروانی شدتا نرم کننده و رزین موجود در آمیزه از آن خارج شود. بعد از این عمل، آمیزهٔ عاری از روغن در محیط نیتروژن پیرولیز شده و از عصارهٔ حاصل FTIR و IR تهیه شد که در شکل ۷ طیف FTIRآن آمده است. این طیفها نمایانگر وجود لاستیک طبیعی است.

با تفسیر نتایج DSC-TG می‌توان نوع لاستیک پایه ، درصد روغن، دوده و پرکننده باقیمانده را معین کرد. با توجه به شکل ۸ درصد اجزای مختلف (جدول ۱) مشخص می شود.

همچنین با مراجعه به طیف FTIR و IR نرم کننده یا رزین استخراج شده (شکل ۹)، می توان نتیجه گرفت که نوع آن تلفیقی از یک رزین چسبنده و روغن آروماتیک است. نوار مشاهده شده در $1730 cm^{-1}$ در این طیف نمایانگر وجود رزینهای چسبندهٔ استری است.

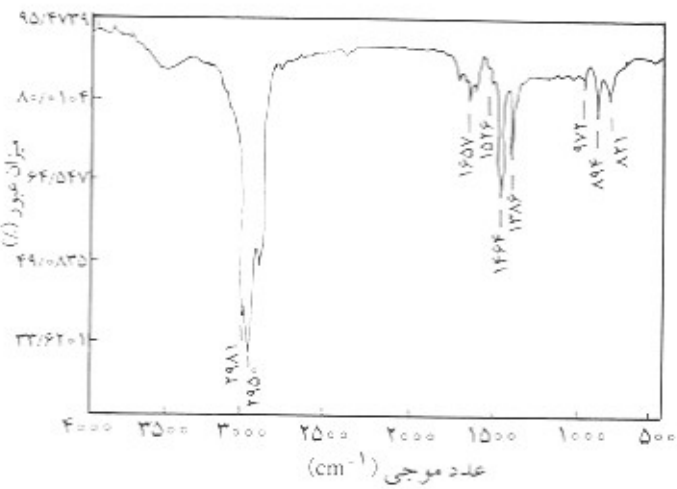
جدول ۱- مقدار اجزای مختلف آمیزه.

اجزای آمیزه	درصد	قسمت
پایه لاستیکی	۵۰	۱۰۰
روغن یا نرم کننده	۷	۱۲-۱۵
دوده	۳۰	۶۰-۶۵
پرکننده	۵	۷-۱۰
اجزای دیگر	۸	-

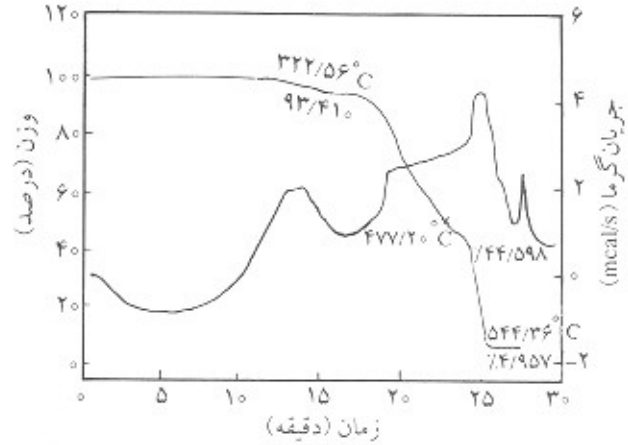
با قرار دادن آمیزه در کوره در دمای $700^{\circ}C$ مواد معدنی یا پرکننده موجود در آن جدا شده و نوع مواد معدنی با استفاده از IR و X-ray شناسایی شد. نتایج نشان می دهد که میزان قابل توجهی از مواد معدنی (۷-۵ قسمت) ZnO است که به عنوان فعال کنندهٔ سیستم پخت و عامل چسبنده در آمیزه بکار می‌رود.

تعیین مشخصات سیم بلت

جهت تجزیه پوشش سیم، تکه‌هایی از آن از ناحیهٔ بلت تایر مرجع بریده شده و با استفاده از دستگاه SEM مورد بررسی قرار گرفت. تکرار آزمایشها از چند نقطه سطح جانبی سیم نشان می‌دهد که پوشش از جنس برنج با ترکیب درصد $\frac{Zn}{Cu}=\frac{30}{70}$ است. نتایج



شکل ۷- طیف FTIR عصاره حاصل از پیرولیز آمیزه بلت.

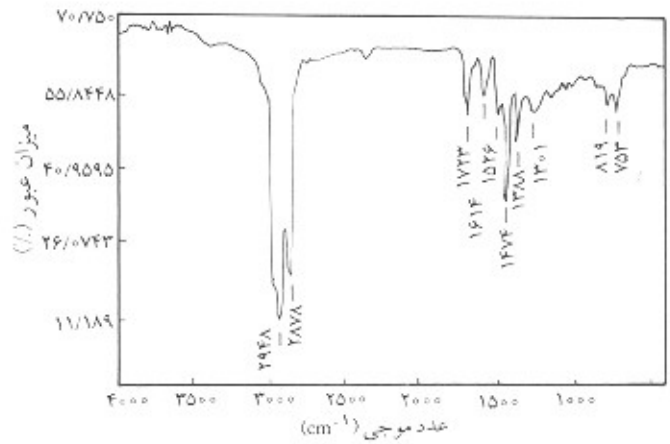


شکل ۸- گرمانگاشت DSC-TG حاصل از آمیزه بلت.

تجزیه عنصری در جدول ۲ آمده است. اشاره می شود که الکترونهای بمباران کننده به علت انرژی و قدرت نفوذ بالا به داخل نمونه نفوذمی کنندوبه همین دلیل عنصر آهن که مربوط به سطح مقطع سیم یعنی فولادمصرفی است دراین آزمایش مشخص شده است.

طراحی و تهیه فرمولبندی آمیزه

مبنای کار برای انتخاب مواد اولیه و طراحی فرمولبندی کارهای تحقیقاتی دیگران [۹] و نیز نتایجی بود که از شناسایی ناحیه بلت تایر مرجع حاصل شد. برای این منظور حدود ۲۰ فرمولبندی، با اجزای متناسب طراحی و کنترل کیفی شد که در این میان فرمولبندیهایی که خواص چسبندگی بهتری به سیم نشان می داد انتخاب و به همراه خواص مربوطه مورد بررسی قرار گرفت. برای



شکل ۹- طیف FTIR حاصل از روغن آمیزه بلت.

جدول ۲- عناصر سیم و پوشش سطحی آن.

عنصر	درصد
کربن	۱/۶
اکسیژن	۱/۳۴
آهن	۸۴/۷۵
مس	۸/۲۴
روی	۳/۳۶

جدول ۳- اثر افزایش شتابدهنده DCBS بر خواص لاستیک.

اجزای فرمولبندی	بلت ۱	بلت ۲
لاستیک طبیعی (RSS 1)	۶۰	۶۰
لاستیک ایزوپرن (IR)	۱۰	۱۰
لاستیک طبیعی (SMR-5 L-CV)	۳۰	۳۰
نوع تجاری رزین فنولی (Vulkadur-A)	۷	۷
دوده (N۳۳۰)	۶۵	۶۵
روغن ۲۵۰	۴	۴
روی اکسید فعال	۷	۷
استاریک اسید	۱/۵	۱/۵
هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)	۰/۶	۰/۶
ضد اکسنده (۴۰۱۰NA)	۱/۰	۱/۰
ضد اکسنده (TMQ)	۰/۵	۰/۵
کبالت نفتنات	۰/۵	۰/۵
شتابدهنده (DCBS)	۰/۹	۱/۵
گوگرد	۳/۵	۳/۵
تاخیر دهنده (PVI)	۰/۳	۰/۳
خواص (واحد)		
سختی (Shore A)	۸۲	۸۴
مدول در ۱۰۰ درصد (Mpa)	۳/۲۲	۳/۸۲
مدول در ۲۰۰ درصد (Mpa)	۵/۵۴	۶/۵۷
مدول در ۳۰۰ درصد (Mpa)	۸/۰۵	۹/۳۵
استحکام کششی (Mpa)	۱۵/۶	۱۴/۰۳
ازدیاد طول تا پارگی (درصد)	۵۶۸	۴۶۴
نیروی چسبندگی به سیم (Kg/cm)	۳۰/۴	۳۲/۱
خستگی (سیکل)	۱۷۱۰۰	۱۷۶۰۰

جدول ٤- اثر مقدار کبالت نفتنات بر خواص لاستیک.

اجزای فرمولبندی	بلت ١	بلت ٣	بلت ٤	بلت ٥
لاستیک طبیعی (RSS 1)	٦٠	٦٠	٦٠	٦٠
لاستیک ایزوپرن (IR)	١٠	١٠	١٠	١٠
لاستیک طبیعی (SMR- 5 L-CV)	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠
نوع تجاری رزین فنولی (Vulkadur-A)	٧	٧	٧	٧
دوده (N٣٣٠)	٦٥	٦٥	٦٥	٦٥
روغن ٢٥٠	٤	٤	٤	٤
روی اکسید فعال	٧	٧	٧	٧
استاریک اسید	١/٥	١/٥	١/٥	١/٥
هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)	٠/٦	٠/٦	٠/٦	٠/٦
ضد اکسنده (٤٠١٠NA)	١/٠	١/٠	١/٠	١/٠
ضد اکسنده (TMQ)	٠/٥	٠/٥	٠/٥	٠/٥
کبالت نفتنات	٠/٥	١	١/٥	٢/٠
شتابدهنده (DCBS)	٠/٩	٠/٩	٠/٩	٠/٩
گوگرد	٣/٥	٣/٥	٣/٥	٣/٥
تاخیر دهنده (PVI)	٠/٣	٠/٣	٠/٣	٠/٣
خواص (واحد)				
سختی (Shore A)	٨٢	٨٢	٨١	٨٦
مدول در ١٠٠ درصد(Mpa)	٣/٢٢	٣/٩	٣/٤١	٣/٤٠
مدول در ٢٠٠درصد(Mpa)	٥/٥٤	٥/٤٣	٥/١٨	٥/٧١
مدول در ٣٠٠ درصد(Mpa)	٨/٠٥	٧/٧٣	٧/٢٩	٧/٠٢
استحکام کششی (Mpa)	١٥/٦	١٢/٤٩	١١/٧١	١١/٤٨
ازدیاد طول تا پارگی (درصد)	٥٦٨	٤٥٥	٤٧٢	٤٦٩
نیروی چسبندگی به سیم (Kg/cm)	٣٠/٤	٣٢	٣٣/٥	٣٢/٢
خستگی (سیکل)	١٧١٠٠	٢١١٠٠	٢١٣٠٠	٢٢٤٠٠

دوری از تاثیر پذیری خواص و فرایند اختلاط کلیه آمیزه ها با یک روش ثابت تهیه شدند. در تهیه هر فرمولبندی ابتدا آمیزه اصلی و سپس آمیزه نهایی با استفاده از آن تهیه شد. در این روش، ابتدا اجزای آمیزه در ظروف جداگانه ای توزین و سپس آمیزه اصلی در دو مرحله اختلاط تهیه شد. در مرحله اول پایه لاستیکی با نیمی از دوده و کلیه افزودنیهای فرمولبندی در مخلوط کن بنبوری تهیه شد. این اختلاط حدود ٣٠ ثانیه بطول انجامید و در مرحله دوم نیم دیگر دوده به همراه روغن به مخلوط اضافه شد و عمل اختلاط تا حدود ٣ دقیقه ادامه پیدا کرد و در حدود دمای C ° ١٠٠ مخلفه بنبوری تخلیه شد.

بعد از تهیه آمیزه اصلی باید حدود ٨ ساعت فرصت داده شود تا آمیزه اصلی دمای ناشی از گرمادهی اختلاط را که در بنبوری حاصل شده از دست بدهد و اصطلاحا آسودگی رخ دهد. بعد از آن آمیزهٔ نهایی تهیه شد. مرحلهٔ سوم اختلاط تهیهٔ آمیزهٔ نهایی است که ابتدا نصف آمیزه به همراه سیستم پخت وارد محفظهٔ بنبوری شده و سپس نصف دیگر آمیزه به مخلوط اضافه شد. طول زمان اختلاط یک

جدول ۵- اثر پایه لاستیکی بر خواص.

اجزای فرمولبندی	بلت ٤	بلت٦
لاستیک طبیعی (RSS 1)	٦٠	٧٠
لاستیک ایزوپرن (IR)	١٠	-
لاستیک طبیعی (SMR-5 L-CV)	٣٠	٣٠
نوع تجاری رزین فنولی (Vulkadur-A)	٧	٧
دوده (N٣٣٠)	٦٥	٦٥
روغن ٢٥٠	٤	٤
روی اکسید فعال	٧	٧
استاریک اسید	١/٥	١/٥
هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)	٠/٦	٠/٦
ضد اکسنده (٤٠١٠NA)	١/٠	١/٠
ضد اکسنده (TMQ)	٠/٥	٠/٥
کبالت نفتنات	١/٥	١/٥
شتابدهنده (DCBS)	٠/٩	٠/٩
گوگرد	٣/٥	٣/٥
تاخیر دهنده (PVI)	٠/٣	٠/٣
خواص (واحد)		
سختی (Shore A)	٨١	٨٧
مدول در ١٠٠ درصد(Mpa)	٣/٤١	٤/٥١
مدول در ٢٠٠درصد(Mpa)	٥/١٨	٧/٢٠
مدول در ٣٠٠ درصد (Mpa)	٧/٢٩	٩/٩٥
استحکام کششی (Mpa)	١١/٧١	١٥/٤٢
ازدیاد طول تا پارگی (درصد)	٤٧٢	٤٤٣
نیروی چسبندگی به سیم (Kg/cm)	٣٣/٥	٣٣
خستگی (سیکل)	٢١٣٠٠	٢٤٠٠٠

دقیقه و دمای محفظه در زمان تخلیهٔ آمیزهٔ نهایی C ° ٨٠ بود. دور چرخنده در همه مراحل rpm ٧٧ و ثابت بود.

بهینه سازی فرمولبندی

با تکیه بر نتایجی که از شناسایی تایر مرجع حاصل شد و نیز مقالات موجود[٩]، بهینه سازی فرمولبندی صورت پذیرفت. بنابراین، نوع و ترکیب درصد برخی اجزا ثابت در نظر گرفته شد و با تغییر اجزای فرمولبندی تغییرات خواص ارزیابی شد. به عنوان مثال، نوع دوده و مقدار آن یا نوع ضد اکسنده و مقدار آن در همه

جدول ٦- مقایسه شتابدهنده MBS و DCBS بر چسبندگی.

اجزای فرمولبندی	بلت ٤	بلت٦
لاستیک طبیعی (RSS 1)	٦٠	٦٠
لاستیک ایزوپرن (IR)	١٠	١٠
لاستیک طبیعی (SMR-5 L-CV)	٣٠	٣٠
نوع تجاری رزین فنولی (Vulkadur-A)	٧	٧
دوده (N٣٣٠)	٦٥	٦٥
روغن ٢٥٠	٤	٤
روی اکسید فعال	٧	٧
استاریک اسید	١/٥	١/٥
هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)	٠/٦	٠/٦
ضد اکسنده (٤٠١٠NA)	١/٠	١/٠
ضد اکسنده (TMQ)	٠/٥	٠/٥
کبالت نفتنات	١/٥	١/٥
شتابدهنده (MBS)	-	٠/٩
شتابدهنده (DCBS)	٠/٩	-
گوگرد	٣/٥	٣/٥
تاخیر دهنده (PVI)	٠/٣	٠/٣
خواص (واحد)		
سختی (Shore A)	٨١	٨٣
مدول در ١٠٠ درصد(Mpa)	٣/٤١	٥/٠١
مدول در ٢٠٠درصد(Mpa)	٥/١٨	٧/٤٠
مدول در ٣٠٠ درصد (Mpa)	٧/٢٩	١٠/١١
استحکام کششی (Mpa)	١١/٧١	١٥/٦٣
ازدیاد طول تا پارگی (درصد)	٤٧٢	٤٨٤
نیروی چسبندگی به سیم (Kg/cm)	٣٣/٥	٣١/٩
خستگی (سیکل)	٢١٣٠٠	٢٤٧٠٠

فرمولبندیها ثابت درنظر گرفته شد. همان طور که در جدول ٣ مشاهده می گردد، افزایش شتابدهنده مدول و سختی و نیروی چسبندگی سیم را افزایش می دهد. این روند بدان معنی است که با افزایش DCBS تراکم پیوندهای عرضی بیشتر می شود، بنابراین مدول و سختی افزایش می یابد. همچنین، چون این شتابدهنده دارای زمان برشتگی زیاد است، فرصت واکنشهای سولفیددار شدن سطح مس را مهیا می کند و چسبندگی را افزایش می دهد. اما، با توجه به کاهش استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی، مقدار

phr ۰/۹ شتابدهنده که در کارهای تحقیقاتی دیگران[٤،٥] نیز تایید شده بود به عنوان مقدار بهینه معین شد. در جدول ٤ اثر مقدار کالت نفتنات که اهمیت ویژه ای در چسبندگی سیم به آمیزهٔ لاستیکی دارد، نشان داده شده است. این ترکیب به دلیل تاثیری که روی سیستم پخت دارد تا حدی مکانیسم پخت را تحت الشعاع قرار می دهد، اما چسبندگی خوبی به آمیزه می بخشد و منحنی خستگی آمیزه را بطور چشمگیری افزایش می دهد. بنابراین، باتوجه به اینکه افزایش کالت نفتنات بمقدار phr ۱/۵افزایش سختی را بهمراه دارد و بر چسبندگی تاثیر منفی می گذارد، مقدار آن ۱/۵ phr معین گردید. در مرحله بعد با حذف IR از فرمولبندی افزایش خستگی ارزیابی شد (جدول ٥).

همان گونه که انتظار میرود خستگی بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، اما چون عدم استفاده از IR در فرمولبندی افزایش سختی و مشکل فرایند پذیری را بهمراه دارد ، بنابر این استفاده از آن توصیه می گردد.

در جدول ٦ مشاهده می شود که با استفاده از MBS به جای DCBS چسبندگی افت می کند.

افزایش سختی، مدول و خواص کششی دیگر به‌بانگر این نکته است که وجود MBS موجب می‌شود زمان پرشتگی کوتاهتر شود. بنابر این سهم بیشتری از گوگرد در واکنشهای پخت شرکت می کند و در نتیجه گوگرد در واکنشهای سولفیددار کردن سطح سیم اثر کمتری دارد و چسبندگی کاهش می‌یابد.

نتیجه گیری

در این کار پژوهشی تاثیر عوامل زیر بر چسبندگی آمیزه لاستیکی به سیم ارزیابی شد و نتایج به قرار زیر است:

الف) روی اکسید فعال به میزان phr ۷ چسبندگی آمیزهٔ لاستیکی به سیم را افزایش می دهد.

ب) رزین فنولی به همراه HMMM تر فرایندی بر چسبندگی دارد.

ج) کبالت نفتنات تا مقدار Phr ۱/۵ افزایش چسبندگی را موجب می گردد.

د) برای سیستم پخت استفاده از گوگرد در مقادیر زیاد (phr ۳/۵ برای شرکت در واکنشهای چسبندگی توصیه می‌شود. همچنین، بهره گیری از شتابدهنده نهایی که زمان برشتگی طولانی تری دارد افزایش چسبندگی را بهمراه خواهد داشت.

مراجع

1. Skiest I., *Adhesion Handbook* , 2th eddition, VAN Nostrand Reinhold Company, Newgersy, 1977.
2. Yosomia R., *Adhesion and bonding in composites* , Marcel Dekker INC, New York, 1990.
3. Van Ooij W.J., " Mechanism and theories of rubber adhesion to steel tire cords"; *Rubber Chem.Technol.*, **57**, 3,421, 1984.
4. Ayerst R.C. and Rodger E.R., " Steel cord skim compounds the achievement and maintenance of maximum adhesion"; *Rubber Chem.Technol.*, **45**, 5, 1497, 1972.
5. Albrecht K.D., " Influence of curing agents on rubber- to-textile and rubber-to-steel cord dhesion" *Rubber chem.Technol.*, **46**, 4, 981, 1973.
6. Peterson A., and Dietrick M.I., "Resorcinol bonding systems for steel cord adhesion" *Rubber World.*, **194**, 5, 24,1984.
7. Van Ooij W.J, Wesning W.E. and Muray P.F., "Rubber adhesion of brass-plated steel-tire cords: fundamental study of the effects of compound formulation variations on adhesive properties", *Rubber Chem.Technol.*, **54**, 2, 227, 1981.
8. Carpenter G.T., "The effect of zinc oxide particle size and shape on adhesion of rubber to brass-coated steel radial tire cord"; *Rubber chem.Technol.*, **51**, 4,788, 1978.
9. Hamed G.R., and Donatelli T., " Effect of accelerator type on brass-rubber adhesion"., *Rubber Chem. Technol.*, **56**,2, 450, 1983.