

مروری بر انواع دوده‌ها به منظور ایجاد رسانایی در صنعت لاستیک

R

Review of the types of carbon black to provide conductivity in the rubber industry

چکیده:

دوده در کنار نقش اصلی‌اش برای تقویت‌کنندگی در صنعت لاستیک به منظور دستیابی به رسانایی الکتریکی یا گرمایی لازم نیز در آمیزه‌های لاستیکی استفاده می‌شود. در این مقاله، به بررسی انواع مختلفی از دوده‌ها و تفاوت آن‌ها در بحث رسانایی پرداخته خواهد شد. همچنین، نحوه اختلاط دوده با آمیزه، تأثیر ساختار و اندازه دوده برای ایجاد رسانایی مطلوب بحث خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تقویت‌کنندگی، دوده، رسانایی الکتریکی، عایق گرمایی.

نوع مقاله: مروری

مقدمه

ویژگی اساسی دوده در آمیزه است: افزایش استحکام آمیزه و خصوصیات مکانیکی ماده پس از پخت، مانند مدول آمیزه و مقاومت در برابر پارگی، افزایش سختی و ...

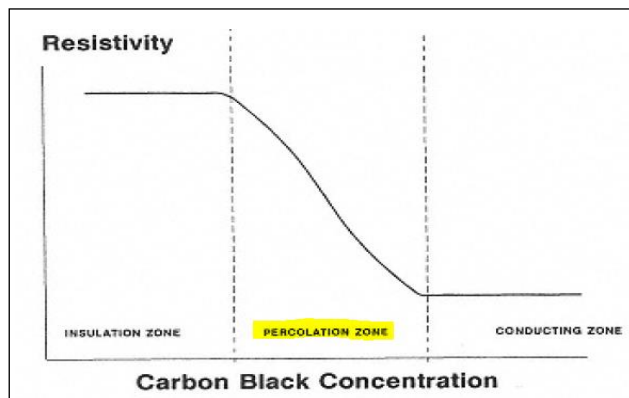
در صنعت لاستیک (به خصوص تایر) دوده کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. به طوری که در ۵۰ سال اخیر ۹۰ درصد از قطعات تولیدی لاستیکی،

اما لاستیک‌ها و به‌طور کلی بسپارها عایق الکتریسیته و گرما هستند، درحالی‌که دوده به‌خاطر ویژگی سطحی ناتوانی (ساختار کربن، شیمی سطح و خواص گرمافیزیکی) رسانای الکتریکی و

افزودنی مورد استفاده در آن‌ها دوده است. مهم‌ترین نقش دوده در آمیزه‌های لاستیکی بحث "تقویت‌کنندگی" است. اگرچه این عبارت کلی به نظر می‌رسد اما به‌طور کلی تقویت‌کنندگی، بیانگر

علی عباسیان^(۱)، حمیدرضا صباغی^{(۲)*}
 ۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
 ۲- دانشجوی ارشد مهندسی پلیمر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات:
 hamidrezasab@yahoo.com



شکل ۱- نمونه منحنی مقاومت الکتریکی آمیزه بر حسب غلظت دوده، که با افزایش غلظت دوده به آستانه تراوش خواهیم رسید. پیش از آن ناحیه عایق و پس از آن ناحیه رسانایی مشاهده می‌شود

ذرات دوده از طریق ایجاد مسیرهایی به صورت پل در درون آمیزه لاستیکی رسانایی الکتریکی را افزایش می‌دهند. اندازه ذرات، ساختار و یا تخلخل آن‌ها، نحوه اختلاط و فرایندپذیری هم بسیار بر رسانایی الکتریکی تأثیر خواهد داشت که درباره آن‌ها بحث خواهد شد.

الف) رسانایی الکتریکی ذاتی دوده

رسانایی ذاتی دوده‌ها به‌طورکلی تابعی از طبیعت ساختاری دوده، شیمی سطح آن‌ها و گروه‌های شیمیایی کربن‌دار است، برهم‌کنش‌های بین ذره‌های دوده به خاطر وجود عامل‌های شیمیایی بر سطح آن می‌تواند ویژگی رسانایی آمیزه را اصلاح و مقاومت الکتریکی را کاهش دهد [۱]. شکل ۲ و شکل ۳ مقاومت الکتریکی دوده‌های متفاوت را برحسب حجم ویژه نشان می‌دهد [۲]. مشاهده می‌شود که در یک حجم ویژه خاص، دوده‌ها مقاومت الکتریکی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. هرچه حجم ویژه بیشتر می‌شود، مقدار وزنی دوده کاهش می‌یابد. در نتیجه مقاومت الکتریکی دوده افزایش خواهد یافت. در

گرمایی است $10^{-1} - 10^2 (ohm.cm)^{-1}$. به همین دلیل در بسیاری از کاربردها دوده به‌منظور افزایش رسانایی آمیزه‌ها استفاده می‌شود. با این‌که دوده می‌تواند رسانایی خوبی را برای آمیزه فراهم کند اما استفاده از آن‌ها بستگی به شرایط زیر دارد:

- آستانه‌ی تراوش یا Percolation Threshold (کمترین غلظت یا آستانه غلظتی از افزودنی است که در آن یک ماده عایق با استفاده از مسیرهای ایجادشده انتقال بار (پل‌ها)، تبدیل به یک ماده رسانا شود) در چه کسر حجمی از دوده در بستر آمیزه رخ خواهد داد؟
- نحوه اختلاط و فرایندکاری دوده و آمیزه لاستیکی به منظور افزایش رسانایی چگونه باید باشد؟
- چه مقدار از دوده را باید به آمیزه افزود تا با حفظ خواص مکانیکی آمیزه مطلوب رسانا شود؟ زیرا باید بتوان تعادل و همگام‌سازی بین ویژگی الکتریکی-گرمایی با ویژگی‌های مکانیکی آمیزه ایجاد کرد، تا به اهداف موردنظر در خصوص رسانایی رسید. دوده‌ها در بستر لاستیک باید از طریق فرایندهای متفاوتی مثل قالبگیری تزریقی، فشاری، رانش گری و گرما شکل‌دهی به صورت یکنواخت و پایدار طوری قابلیت رسانایی را ایجاد کنند که هیچ‌گونه تأثیر منفی بر ویژگی مکانیکی نداشته باشند. در ادامه، عامل‌های تأثیرگذار در لاستیک بررسی می‌شود.

رسانایی الکتریکی

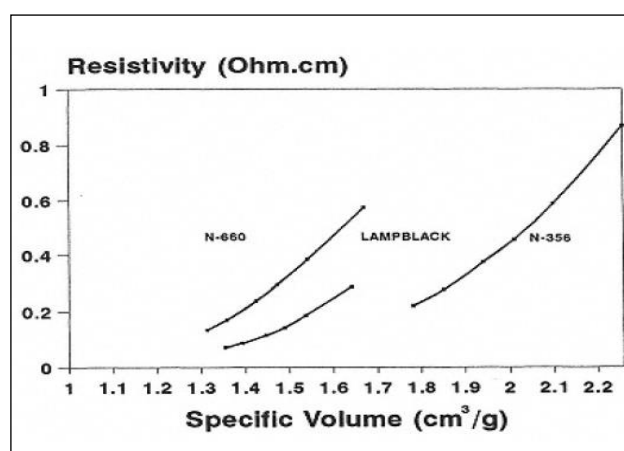
در مقدار کمی از دوده در بستر لاستیک رسانایی الکتریکی آمیزه خیلی تغییری نخواهد داشت اما هرچه که مقدار بیشتری از دوده به آمیزه افزوده می‌شود، زودتر به ناحیه‌ی آستانه تراوش خواهیم رسید. منحنی متداول برای بیان مقاومت الکتریکی آمیزه‌ها برپایه افزایش دوده در شکل ۱ قابل‌مشاهده است.

در بحث رسانایی الکتریکی (همچنین رسانایی گرمایی) تأثیرگذار است. در جدول ۱ و شکل ۴ تفاوت دوده ساختار بالا و ساختار پایین و اثر آن بر رسانایی الکتریکی آمیزه (در شکل ۵) نشان داده شده است:

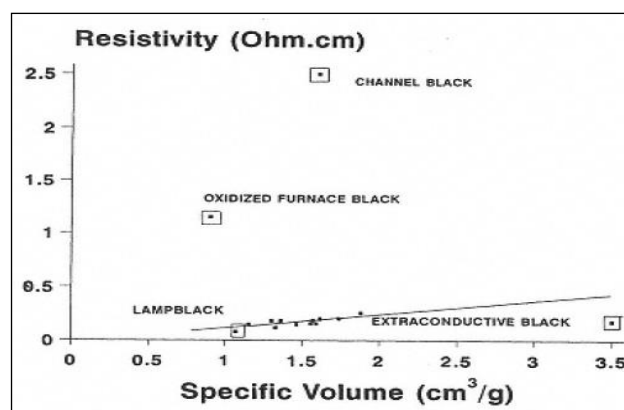
هرچه اندازه ذرات دوده ریزتر (یا مساحت سطح بیشتر) و ساختارش دارای تخلخل کمتری باشد، مقاومت الکتریکی آمیزه افزایش خواهد یافت. زیرا با کاهش تخلخل، فضای خالی بین و درون ذرات کمتر شده و در نتیجه تماس آنها با یکدیگر افزایش می‌یابد. پس، هرچه تماس بین ذرات بیشتر باشد، مقاومت تماسی الکتریکی در داخل ذرات ایجاد می‌شود. در نتیجه، افزایش مقاومت الکتریکی آمیزه را خواهد داشت. دوده‌های با تخلخل زیاد (ساختار بالا شکل ۶) در دسته‌ی دوده‌هایی با رسانایی ذاتی زیاد هستند که قادرند آستانه رسانایی غلظت دوده را کاهش دهند.

البته باید خاطرنشان کرد که آن نوع دوده ساختار بالایی که از مساحت سطح کمتری برخوردار است، رسانایی الکتریکی بیشتری به آمیزه القا خواهد کرد [۳، ۴ و ۹]. زیرا اگر مساحت سطح ذرات زیاد باشد، بدان معناست که ذرات به اندازه کافی ریز بوده و توانسته‌اند در داخل آمیزه مقاومت تماسی الکتریکی ایجاد کنند که باعث افزایش مقاومت الکتریکی خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است، شرکت Timcal با تولید دوده‌ای با نام ENASCo 250 G تأثیر ساختار، مساحت سطح و نحوه فرایندپذیری (که پیش‌تر در بحث اختلاط به آن اشاره شده است) این افزودنی را از طریق ضریب شاخص مذاب بر رسانایی الکتریکی پلاستیک‌ها سنجیده است [۴]. (به این نکته باید توجه داشت که تأثیر مساحت سطح روی بحث رسانایی در پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها یکسان است). [۴ و ۹]

شکل ۳ دوده‌های کوره‌ای نوع Channel و اکسید شده دارای بیش‌ترین مقاومت الکتریکی هستند. این به علت وجود اتم‌های اکسیژن در مجاورت کربن‌ها است. همچنین، دوده‌های نوع چراغ (LampBlack) و ابررسانا و به‌طور کلی هر نوع دوده‌ای که مقاومت الکتریکی آن‌ها بیش از حد معمول کم باشند، الکترورسانا می‌نامند که دارای کمترین مقدار مقاومت الکتریکی و در نتیجه بیش‌ترین رسانایی الکتریکی هستند.

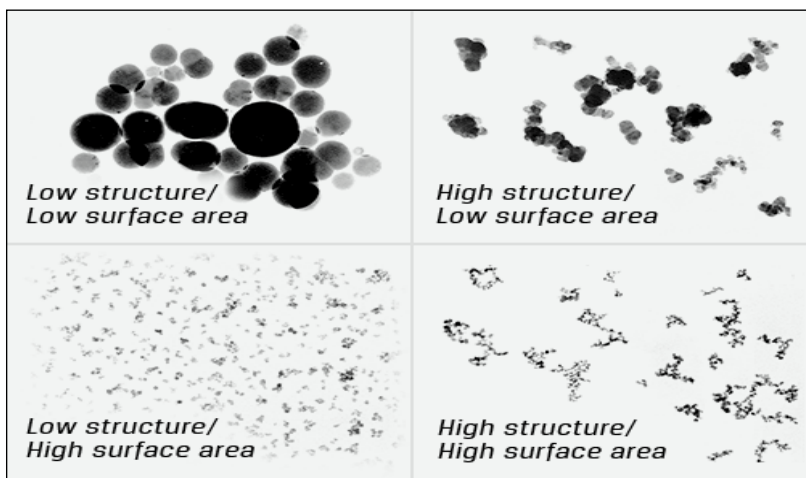


شکل ۲- رابطه بین مقاومت الکتریکی دوده‌ها با حجم ویژه [۲]



شکل ۳- رابطه بین مقاومت الکتریکی دوده‌ها با حجم ویژه [۲]

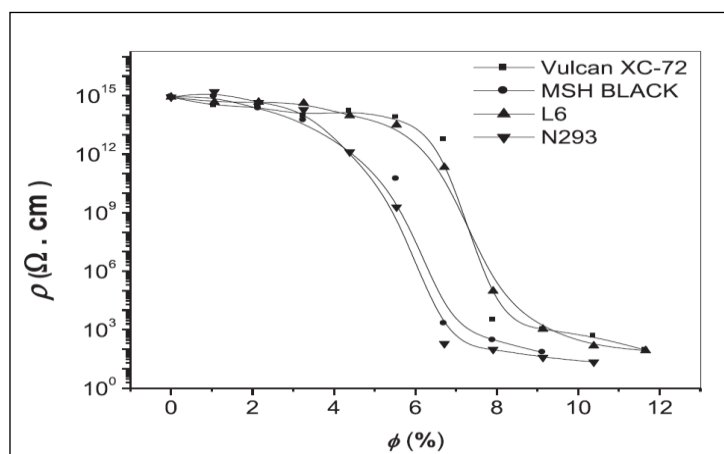
اندازه دوده (Particle size) و ساختار (Structure) آن کاملاً



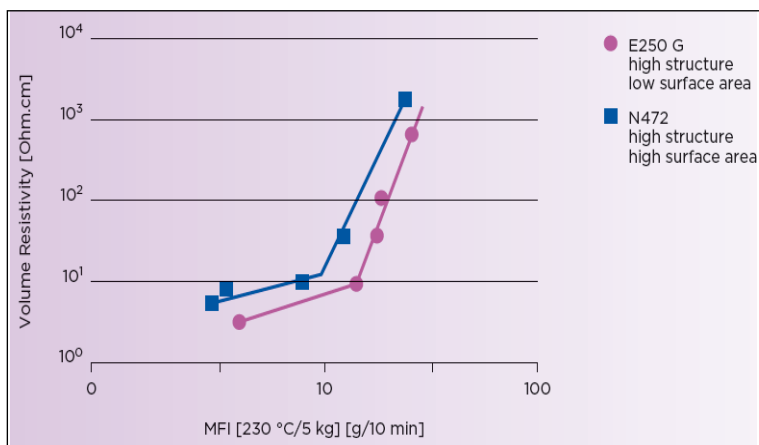
شکل ۴ = در این شکل تفاوت دوده ساختار بالا و دوده ساختار پایین قابل مشاهده است، اهمیت دوده ساختار بالا جهت کاربردهای رسانایی بسیار حائز اهمیت است. برای کاربرد رسانایی الکتریکی زیاد کاملاً مشهود است که دوده‌های ساختار بالا و مساحت سطح کم بهترین انتخاب است، اما در رسانایی گرمایی دوده ساختار بالا نیاز است اما تأثیر مساحت سطح (یا به عبارتی اندازه ذرات) روی بحث رسانایی گرمایی هنوز مشخص نیست [۷]. منبع عکس: Cabot Corporation

جدول ۱ = خواص ذاتی، ساختاری و سطحی دوده‌های مختلف [۹]

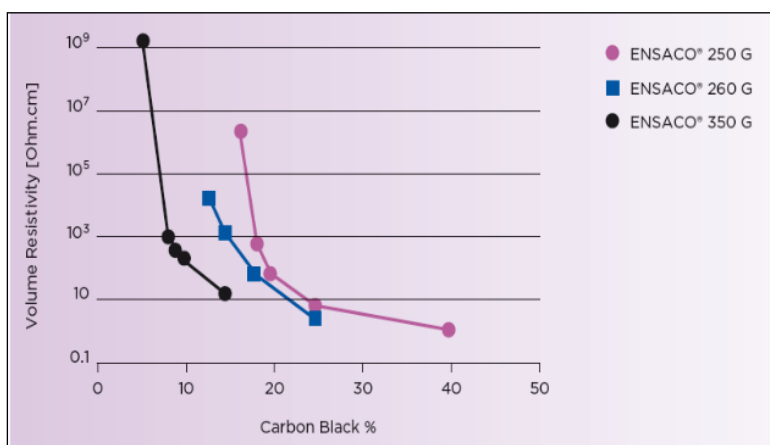
CB	Suppliers	DBP (ml/100 g)	BET specific area (m ² /g)	Average diameter (nm)
Vulcan XC-72	Cabot Corporation (USA)	178	254	30
MSH BLACK	Electric Chemical Co., Ltd. (Japan)	220	80	35
L6	Degussa Co. (Germany)	123	250	18
N293	Fushun Chemical General Factory (China)	100 ± 5	1,050	33



شکل ۵- مقاومت ویژه الکتریکی آمیزه LDPE برحسب دوده‌های جدول ۱، همان‌طور که قابل مشاهده است دوده نوع MSH به خاطر کم بودن مساحت سطح آن آستانه تراوش زودتری داشته است [۹]



شکل ۶- در سطح ساختاری مشابه (هر دو دوده high structure)، دوده با مساحت سطح کمتر رسانایی بیشتری از خود نشان می‌دهد [۴]. (به خاطر نداشتن مقاومت تماسی الکتریکی بین ذرات، مقاومت الکتریکی کمتری را دارا می‌باشد)



شکل ۷- هرچه دوده از نوع ساختار بالا باشد، آستانه تراوش زودتر در بستر لاستیک رخ خواهد داد [۴]

لاستیک به خوبی پراکنده (Dispersion) شود، به علت آنکه آمیزه قوام بیشتری پیدا می‌کند، ذرات در داخل آمیزه مقاومت‌تماسی الکتریکی بسیار زیادی ایجاد می‌کنند و در نتیجه، رسانایی الکتریکی کاهش خواهد یافت (به‌مانند همان چیزی که در شکل ۶ ضریب شاخص مذاب MFI در پلاستیک‌ها بیانگر آن بود). این مهم در شکل ۴ مشهود است، زیرا هرچه دوده ساختار بالا بوده و از مساحت سطح کمی برخوردار باشد، بهتر قادر است در داخل بستر آمیزه شبکه رسانش

(ب) رسانایی القا شده دوده به آمیزه‌های لاستیکی (بحث فرایندکاری) رسانایی الکتریکی ایجاد شده در آمیزه‌های برپایه کربن متأثر از عوامل پیچیده‌ای مانند مقدار افزودن دوده، خواص ساختاری و سطحی دوده، وزن‌مولکولی و گرانیروی و سازگاری شیمیایی آمیزه لاستیکی، و نحوه اختلاط و فرایندکاری است. بررسی شده اگر در هنگام اختلاط، دوده در بستر

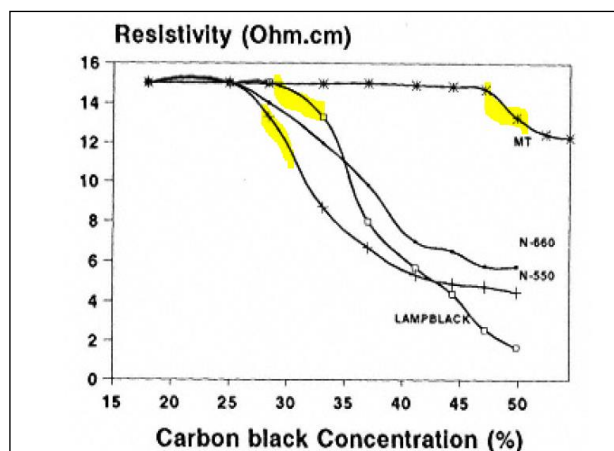
پیش از خارج شدن از بحث رسانایی الکتریکی و بحث کرن در مورد افزودنی‌های رسانای گرما، جالب است که بدانید دوده‌های نوع ENASCO از آن دسته از افزودنی‌های رسانای الکتریکی هستند که قادر به افزایش رسانایی گرمایی آمیزه هم هستند. پس، قدرت رسانایی آمیزه NBR برپایه‌ی ENASCO با نوع دیگری از دوده مثل N472 در شرایط برابر در جدول ۳ (مقدار ۲۵ phr از افزودنی) و جدول ۴ (مقدار ۳۰ phr از افزودنی) آورده شده‌است [۴]:

جدول ۳- همان‌طور که در سطر مقاومت‌ویژه مشاهده می‌شود (Resistivity) مقاومت الکتریکی آمیزه ENASCO بیش از ۴ برابر از آمیزه N472 کمتر است! [۴]

	A	B
	Compound ENSACO® 250	Compound N-472
Bayprene 610 (CR)	100	100
Buna CB 10	2	2
MgO Powder	4	4
N-472		30
ENSACO® 250	30	
Vulkanox DDA	1.5	1.5
Vulkanox 4020	0.5	0.5
Ingralen 450	15	15
ZnO Powder	5	5
Rhenogran ETU-80	0.2	0.2
Stearic acid	0.5	0.5
	A	B
	Compound ENSACO® 250	Compound N-472
t90% (min)	11.46	11.37
Mooney ML (1+4) at 100° C	45.7	47.2
Vulcanizate data unaged at RT		
Shore A Hardness	70.9	72.2
Stress-strain		
Elongation at break (%)	339	311
Tensile Strength (MPa)	13.8	14.8
Modulus 100% (MPa)	3.9	4.6
Modulus 300% (MPa)	8.6	10.3
Modulus 500% (MPa)	12.6	14.4
Resistivity (Ohm.cm)	79	360
Tear Strength (N/mm)	32.4	31.8

قوی‌تری ایجاد کند. به همین علت در مرحله فرایندکاری لاستیک‌ها (در کاربردهای رسانایی الکتریکی) اختلاط از نوع توزیع نرات (Distributive) ضروری است، به‌همین‌خاطر در فرایندپذیری دوده با لاستیک بیشتر از قالب‌گیری فشاری استفاده می‌شود زیرا در قالب‌گیری تزریقی به خاطر وجود نیروهای برشی اختلاط بهتر انجام‌شده است (نرات ریزتر شده، مساحت‌سطح بالاتر رفته و اختلاط از نوع پراکنش خواهد شد) و مقاومت‌تماسی الکتریکی بین نرات تشکیل می‌شود و آمیزه مقاومت الکتریکی مناسبی از خود نشان خواهد داد [۵].

بنابراین، با ثابت در نظر گرفتن آمیزه در شکل ۷ و شکل ۸، تأثیر نوع دوده بر مقاومت الکتریکی آمیزه SBR بررسی شده است [۶ و ۴]. آنچه که واضح است رفتار نزولی تمامی دوده‌ها در بستر لاستیک است، اما آنچه که حائز اهمیت است این است که آمیزه‌کار تشخیص دهد که دوده مورد استفاده در چه آستانه‌ای از غلظتش، مقاومت الکتریکی آمیزه را کاهش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، دوده نوع چراغ (LampBlack) رسانایی الکتریکی بسیار بالایی را برای SBR فراهم کرده‌است، همچنین، دوده نوع ENASCO شرکت Timcal هم در شکل ۷، تأثیر و اهمیت نوع دوده (دوده ساختار بالا) را بر بحث آستانه‌تراوش غلظت نشان می‌دهد [۴].



شکل ۸- مقاومت بر حسب درصد غلظت دوده‌های مختلف برای آمیزه SBR و تأثیر آن‌ها در کاهش آستانه‌تراوش [۶]

دول ۴- همانطور که در سطر مقاومت ویژه مشاهده می‌شود، (Resistivity) مقاومت الکتریکی آمیزه ENASCO ۸ برابر از آمیزه N472 کمتر است!

[۴]

	A	B
	Compound ENSACO® 250	Compound N-472
NBR NT 3945	100	100
ENSACO® 250	25	
N-472		25
N-550	40	40
ZnO	4	4
Stearic acid	0.5	0.5
DOP	30	30
Sulphur	0.4	0.4
Methyl Thuads	2	2
Amaz	2	2
	A	B
	Compound ENSACO® 250	Compound N-472
Dispersion Rating DIK	86.8	85.8
t90% (min)	20.7	21.8
Mooney ML(1+4) at 100°C	62	64
Vulcanizate data unaged at RT		
Shore A hardness	62	64
Stress-strain		
Elongation at break (%)	676	540
Tensile Strength (MPa)	23.4	22.4
Modulus 50% (MPa)	1.2	1.4
Modulus 100% (MPa)	2.4	2.7
Modulus 300% (MPa)	9.2	11.5
Modulus 500% (MPa)	16.1	20.6
Compression Set 24h at 70°C (%)	18	19
Resistivity (Ohm.cm)	100	800

بیشتری نسبت به دوده‌های ساختار پایین هستند؛ همچنین، در بیشتر مواقع دوده‌های با اندازه بزرگ موجب افزایش رسانایی گرمایی می‌شوند [۵]. البته همچنان تأثیر اندازه ذرات و مساحت سطح بر رسانایی گرمایی آمیزه به‌طور دقیق مشخص نیست و از قاعده کلی پیروی نمی‌کند [۸]. همان‌طور که در بخش رسانایی الکتریکی بحث شد، دوده‌های متخلخل دارای رسانایی الکتریکی زیادی هستند اما این نوع دوده‌ها به‌شکل عایق گرمایی رفتار کرده و رسانایی گرمایی را کاهش خواهند داد. در این‌جا هم نحوه فرایندکاری و پراکنش دوده کاملاً بر رسانایی گرمایی نهایی ماده تأثیرگذار است:

- اگر مقدار افزون دوده یا نحوه پراکنش آن در بستر لاستیک به‌گونه‌ای باشد که به نقطه "بیشینه تنگ‌چینی ذرات" یا ϕ_m نزدیک شویم (اندازه ذرات ریز باشد)، رسانایی گرمایی کاهش خواهد یافت [۵].

- اگر ذرات دوده دارای حفره و تخلخل باشند، رسانایی گرمایی آمیزه کاهش خواهد یافت [۶].

در بحث رسانایی گرمایی آمیزه‌های لاستیکی، به‌طورکلی دوده باعث افزایش رسانایی گرمایی آمیزه می‌شود (به‌غیر از برخی دوده‌های خاص مانند N660 و N134 آن هم در مقدار کم از غلظت)، اما مشخص نیست با افزایش رسانایی گرمایی، رسانایی الکتریکی و خواص مکانیکی آمیزه به چه سمت خواهد رفت؟

یک نمونه لاستیک SR را با دو نوع دوده متفاوت در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱؛ خواص گرمایی، الکتریکی و سختی آن موردبررسی قرار داده‌شده است [۷]. مطابق جدول ۵ که در آن خصوصیات ساختاری دو دوده با یکدیگر مقایسه شده‌است، واضح است که دوده‌های N990 و Vulcan XC-72 برای کاربردهایی که رسانایی گرمایی و الکتریکی بالا در لاستیک لازم است، بسیار مناسب هستند. از آن‌جا که دوده نوع Vulcan XC-72 نسبت به دوده نوع N990 از ساختار

رسانایی گرمایی

سازوکار رسانایی گرمایی در اغلب مواقع با رسانایی الکتریکی در تشابه است. اما به صورت کلی، انتقال بارهای الکتریکی از طریق "الکترون-آزاد" در فلزات رخ می‌دهد و انتقال گرما به شیوه رسانشی (Conduction) در جامدات از طریق Phononها انجام می‌شود.

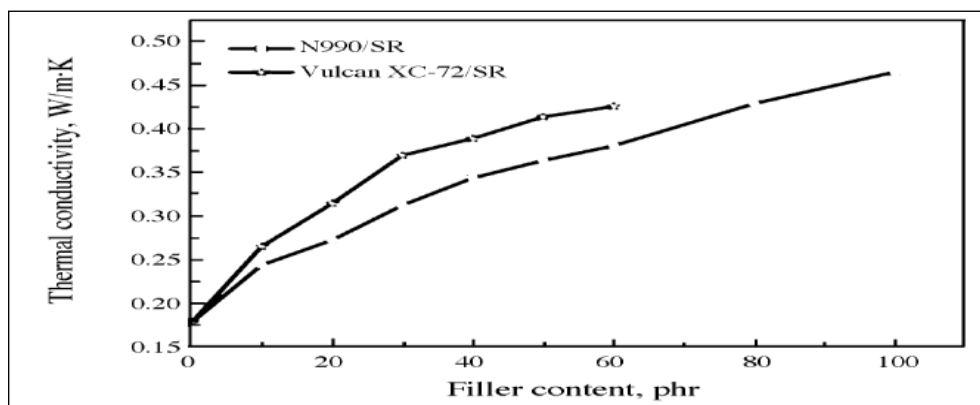
رسانایی گرمایی دوده‌ها هم وابسته به ساختار و اندازه آن‌ها است، دوده‌های ساختار بالا دارای رسانایی گرمایی

این مسئله بسیار حائز اهمیت است، به خصوص برای دوده نوع Vulcan XC-72، چرا که به اندازه 40phr از این دوده رسانایی گرمایی معادل 65phr از دوده N990 را برای آمیزه فراهم می‌کند. درحالی‌که مقدار تقویت‌کنندگی آن هم به شدت از N990 بهتر است که این موضوع در جدول ۶ و شکل ۱۰ مشهود است [V].

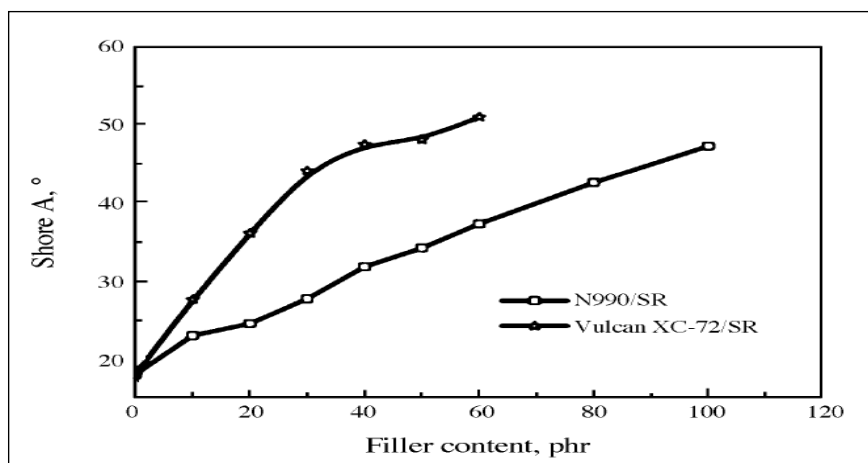
بالا تری برخوردار است، انتظار می‌رود که از رسانایی الکتریکی و گرمایی بهتری برخوردار باشد و شکل‌های ۹ و ۱۱ که به طور کامل مشاهده می‌شود. همچنین، همان‌طور که در جدول ۶ خواص مکانیکی آن‌ها در بستر آمیزه پخت‌شده مشاهده می‌شود، این دو نوع دوده با حفظ خواص مکانیکی مطلوب توانسته‌اند، رسانایی الکتریکی-گرمایی را بهبود بخشند.

جدول ۵- مقایسه خصوصیات ساختاری دو دوده [V].

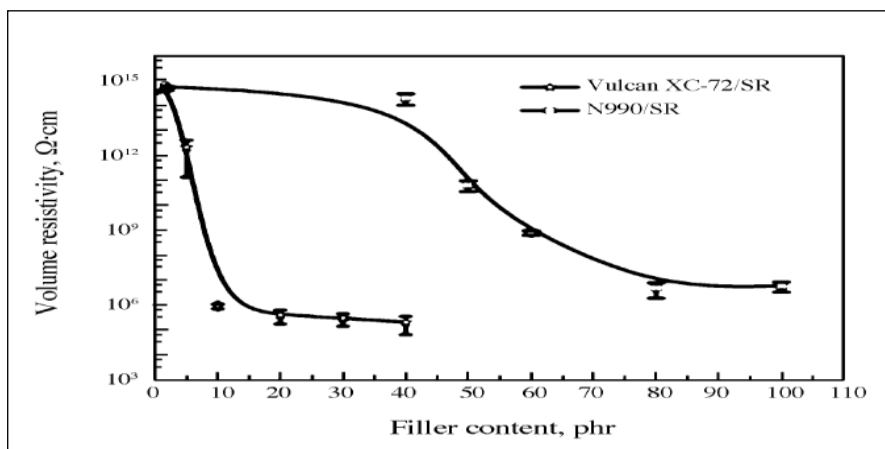
Type of carbon black	Particle size (nm)	Specific surface area (m ² /g)	DBP (ml/100 g)
N990	280	7~12	32~47
Vulcan XC-72	30	254	174



شکل ۹- افزایش میزان دو نوع دوده در لاستیک SR که باعث افزایش قابل‌توجه رسانایی گرمایی شده است [V]



شکل ۱۰- سختی لاستیک سیلیکون بر برحسب میزان پرکننده [V]



شکل ۱۱- مقاومت ویژه آمیزه سیلیکون بر برحسب میزان پرکننده [V]

جدول ۶- خواص مکانیکی SR شامل (استحکام کششی، پارگی در درصد کشش) برپایه افزایش دو نوع دوده [V]

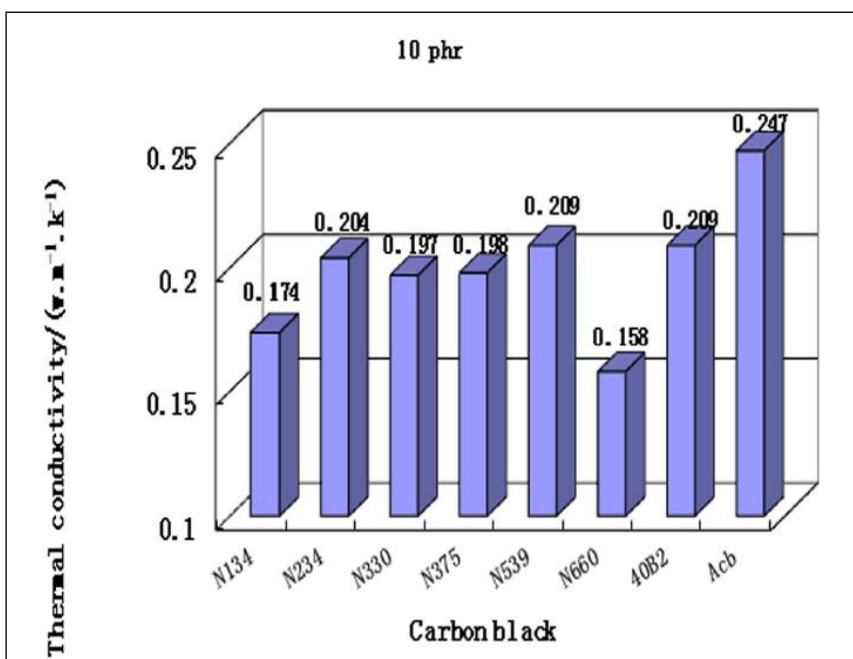
Sample	Filler loading [phr]	Tensile strength [MPa]	Elongation at break [%]
Silicone rubber	0	0.2±0.05	56.8±6.5
N990/SR	10	0.42±0.04	89.7±8.3
	20	0.61±0.07	93.5±7.9
	30	0.82±0.08	124.5±10.6
	40	0.99±0.03	126.7±12.9
	50	1.49±0.14	130.2±7.6
	60	1.85±0.16	138.5±11.5
	80	2.39±0.18	150.3±14.2
	100	3.1±0.20	146.1±12.1
Vulcan XC-72/SR	10	1.44±0.11	222.8±14.7
	20	3.6±0.17	257.3±24.5
	30	5.37±0.65	323.6±23.1
	40	6.23±0.40	352.6±17.9
	50	5.85±0.32	336.5±25.6
	60	3.55±0.12	262.3±18.6

برخی دوده‌ها هم مانند N330 و N375 تأثیر خاصی نداشته و خنثی هستند. دیگر دوده‌ها تاحدی توانسته‌اند، رسانایی گرمایی کائوچو را بهبود ببخشند. همچنین، برای کاربردهایی از کائوچو که رسانایی گرمایی بسیار زیاد در آن‌ها لازم است طبق جدول ۷ بهترین انتخاب دوده نوع Acetylene است، زیرا در ۴۰ Phr از این نوع دوده رسانایی گرمایی تا اندازه ۲۰۰ درصد افزایش یافته است.

نمونه‌ی دیگری برای بررسی رسانایی گرمایی، آمیزه‌ی لاستیک طبیعی پر شده با استفاده از دوده‌های متنوع در جدول ۷ است [۸]. همان‌طور که مشخص است، حتی ممکن است در مقادیر کمی از دوده، رسانایی گرمایی کائوچو کاهش یابد! مانند دو نوع دوده‌ی N660 و N134 که به خاطر ویژگی سطحی و ذاتی‌شان استثناء هستند و برای کاربرد افزایش رسانایی گرمایی مناسب نیستند. همچنین،

جدول ۷- بررسی افزایش درصد رسانایی گرمایی لاستیک طبیعی برحسب مقدار دوده‌های مختلف

Composite	phr					
	10	20	40	50	70	80
N134	-12.1	10.1	38.4	51	88.9	90.4
N234	3	13.1	40.4	60.6	86.4	100
N330	-0.5	16.2	42.9	60.6	84.3	118.2
N375	0	12.1	41.9	52.5	72.7	99
N539	5.6	17.7	51	58.6	77.8	108.6
N660	-20.2	-7.6	16.2	25.3	43.4	49.5
40B2	5.6	7.6	41.9	74.2	109.1	130.8
Acetylene black	24.7	47.5	104	-	-	-



شکل ۱۲- برابر با رسانایی گرمایی لاستیک طبیعی بدون افزودن دوده است و مقدار آن برابر با است. مقدار رسانایی گرمایی لاستیک طبیعی در هر مقدار مشخص از دوده است [۸]

نتیجگی

رسانایی گرمایی آمیزه کاهش خواهد یافت. بنابراین، دوده در کنار نقش اصلی‌اش برای تقویت‌کنندگی در صنعت لاستیک به‌منظور دستیابی به رسانایی الکتریکی یا گرمایی لازم نیز در آمیزه‌های لاستیکی استفاده می‌شود *IRM*

اندازه نرات، ساختار و یا تخلخل آن‌ها، نحوه اختلاط و فرایندپذیری هم بسیار بر رسانایی الکتریکی دوده تأثیر خواهد داشت. اگر نرات دوده دارای حفره و تخلخل باشند،

مراجع

1. Stuebaker, M. L., Rubber, Chem., Technol., 30, 1401 (1957)
2. Probst, N. and Donnet, J.-B., Proc. Conf. Conducteurs Granulaires, Paris, Oct. 10, 1990
3. Nelson, J. R., presented at 16th Carbon Conf., ACS, San Diego, 1983.
4. Carbon additives for polymer compounds, ENASCO conductive carbon black, Timcal, 2014
5. Mixing and Compounding of polymers, Ica Zloczower and Zahey Tadmor, Hanser 1994, page 562
6. Donner, J.-B., Voet, A., Carbon Black -- Physics, Chemistry and Elastomer Reinforcement, Dekker, New York (1976), p.117
7. Thermal Conductivity and Mechanical Properties of Carbon Black Filled Silicone Rubber, Jibin Wang, Qiuying Li, Chifei Wu, and Haiyan Xu. 2013
8. Contribution of Carbon Black to Thermal Conductivity of Natural Rubber, SONG Jun-pinga and MA Lian-xiangb Qingdao, University of Science and Technology, China, 2013
9. Effects of carbon black content and size on conductive properties of filled low-density polyethylene composites, Wiley, 2017

R

eview of the types of carbon black to provide conductivity in the rubber industry

H. Sabaghi^{2*}, A. Abasian¹

1. Faculty Member of Islamic Azad University Research Sciences Branch, Tehran, Iran
2. Student of Polymer Engineering, Islamic Azad University, Science Research Branch, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: hamidrezasab@gmail.com

Abstract: Carbon black is also used in rubber compound in addition to its primary role as reinforcement in the rubber industry to achieve the required electrical or thermal conductivity. In this article, we will discuss different types of carbon black and their differences in conductivity. Also, it will be reviewed how to mix the carbon black with the rubber compound, effect of the structure and size of the carbon black to create the desired conductivity

Keywords: Reinforcement, carbon black, electrical conductivity, heat insulation.