علمی- فنی

مروری بر انواع دوده‌ها به‌منظور ایجاد رسانایی در صنعت لاستیک

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 به‌منظور 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: تقویت کنندگی، دوده، رسانایی الکتریکی، عایق گرمایی.

نوع مقاله: مروری

علی عباسیان[۱]، حمیدرضا صباغی[۲و*]

۱-عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۲- دانشجوی ارشد مهندسی پلیمر دانشگاه ازاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات:
hamidrezasab@yahoo.com

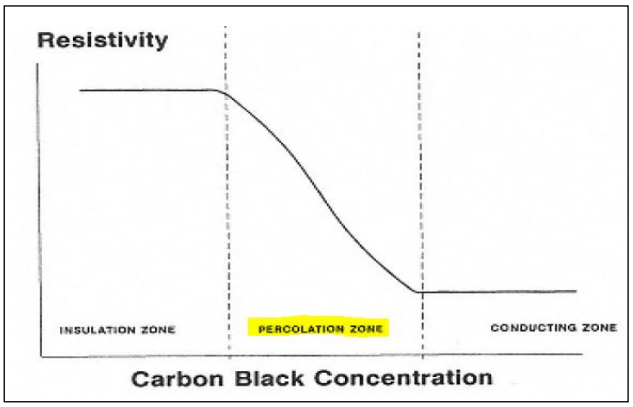
مقدمه

در صنعت لاستیک (به خصوص تایر) دوده کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. به‌طوری که در ۵۰ سال اخیر ۹۰ درصد از قطعات تولیدی لاستیکی، افزودنی مورداستفاده در آن‌ها دوده است. مهم‌ترین نقش دوده در آمیزه‌های لاستیکی بحث "تقویت‌کنندگی" است. اگرچه این عبارت کلی به نظر می‌رسد اما به‌طورکلی تقویت‌کنندگی، بیانگر 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 ...

اما لاستیک‌ها و به‌طورکلی بسپارها عایق الکتریسیته و گرما هستند، درحالی‌که دوده به‌خاطر ویژگی سطحی ذاتی‌اش (ساختار کربن، شیمی‌سطح و خواص گرمافیزیکی) رسانای الکتریکی و

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:

- آستانه‌ی‌تراوش 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 کسرحجمی 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 درخصوص 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.



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

رسانایی الکتریکی

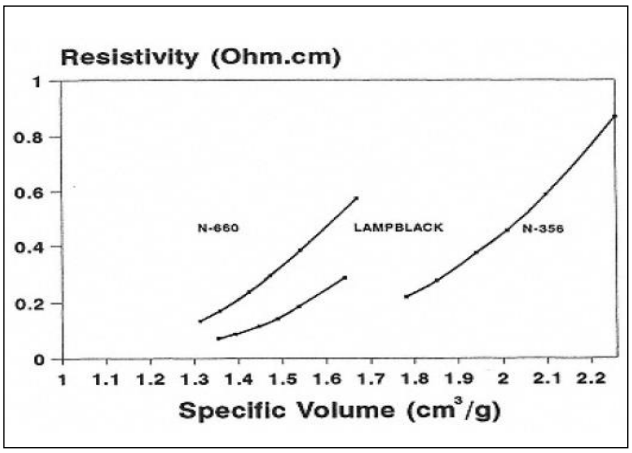
در مقدار کمی از دوده در بستر لاستیک رسانایی الکتریکی آمیزه خیلی تغییری نخواهد داشت اما هرچه که مقدار بیشتری از دوده به آمیزه افزوده می‌شود، زودتر به ناحیه‌ی آستانه تراوش خواهیم رسید. منحنی متداول برای بیان مقاومت الکتریکی آمیزه‌ها برپایه افزایش دوده در شکل ۱ قابل‌مشاهده است.

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.

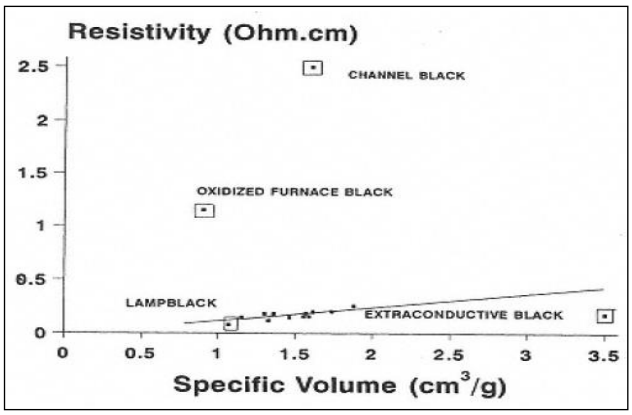
الف) رسانایی الکتریکی ذاتی دوده

رسانایی ذاتی دوده‌ها به‌طورکلی تابعی از طبیعت ساختاری دوده، شیمی‌سطح آن‌ها و گروه‌های شیمیایی کربن‌دار است، برهم‌کنش‌های بین ذره‌ای 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. درنتیجه مقاومت الکتریکی دوده افزایش خواهد یافت. در

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



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

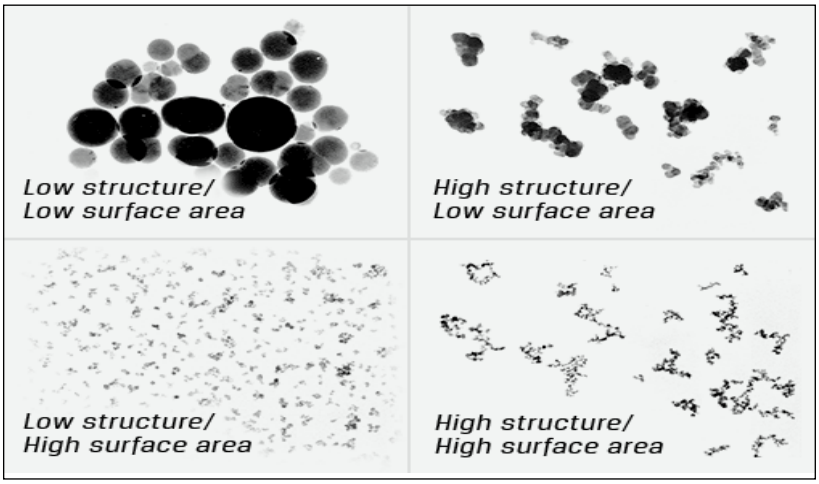


شکل ۳- رابطه بین مقاومت الکتریکی دوده‌ها با حجم ویژه [۲]

اندازه دوده (Particle size) و ساختار (Structure) آن کاملاً در بحث رسانایی‌الکتریکی (همچنین رسانایی‌گرمایی) تأثیرگذار است. در جدول ۱ و شکل ۴ تفاوت دوده ساختار بالا و ساختار پایین و اثر آن بر رسانایی‌الکتریکی آمیزه (در شکل ۵) نشان داده‌شده‌است:

هرچه اندازه ذرات دوده ریزتر (یا مساحت‌سطح بیشتر) و ساختارش دارای تخلخل کمتری باشد، مقاومت الکتریکی آمیزه افزایش خواهد یافت. زیرا با کاهش تخلخل، فضایِ خالیِ بین و درون ذرات کمتر شده و درنتیجه تماس آن‌ها با یکدیگر افزایش می‌یابد. پس، هرچه تماس بین ذرات بیشتر باشد، مقاومت تماسی‌الکتریکی در داخل ذرات ایجاد می‌شود. درنتیجه، 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.

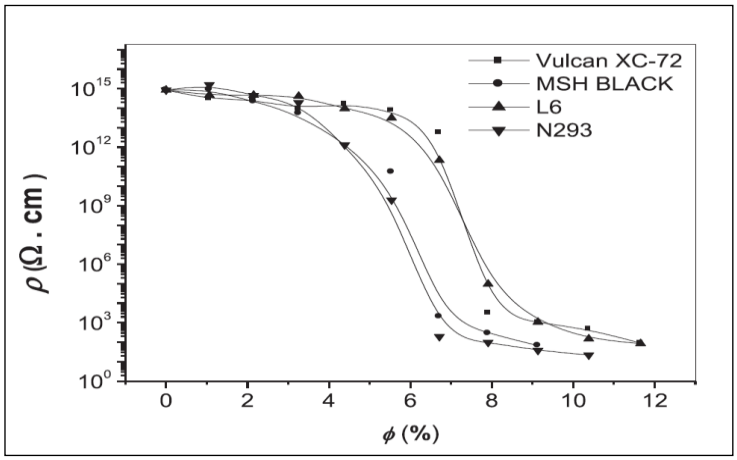
البته باید خاطرنشان کرد که آن نوع دوده ساختار بالایی که از مساحت‌سطح کمتری برخوردار است، رسانایی الکتریکی بیشتری به آمیزه القا خواهد کرد [۳، ۴ و ۹]. زیرا اگر مساحت‌سطح ذرات زیاد باشد، بدان معناست که ذرات به‌اندازه کافی ریز بوده و توانسته‌اند در داخل آمیزه مقاومت‌تماسی‌الکتریکی ایجاد کنند که باعث افزایش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



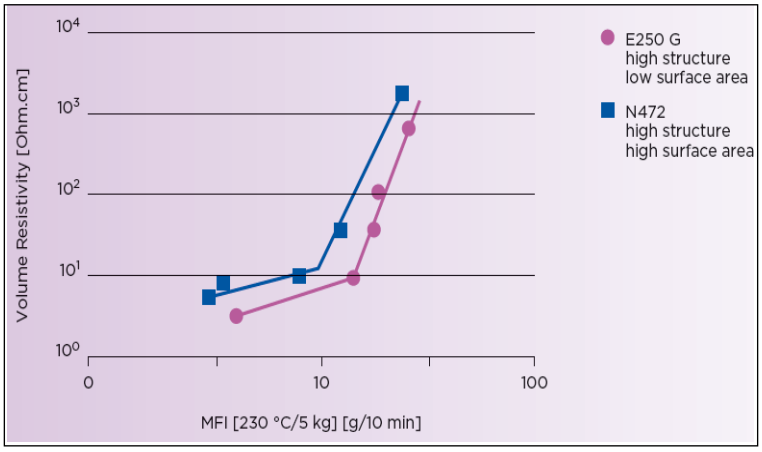
شکل ۴= در این شکل تفاوت دوده ساختار بالا و دوده ساختار پایین قابل‌مشاهده است، اهمیت دوده ساختار بالا جهت کاربردهای رسانایی بسیار حائز اهمیت است. برای کاربرد رسانایی‌الکتریکی زیاد کاملاً مشهود است که دوده‌های ساختار بالا و مساحت‌سطح کم بهترین انتخاب است، اما در رسانایی‌گرمایی دوده ساختار بالا نیاز است اما تأثیر مساحت‌سطح (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]

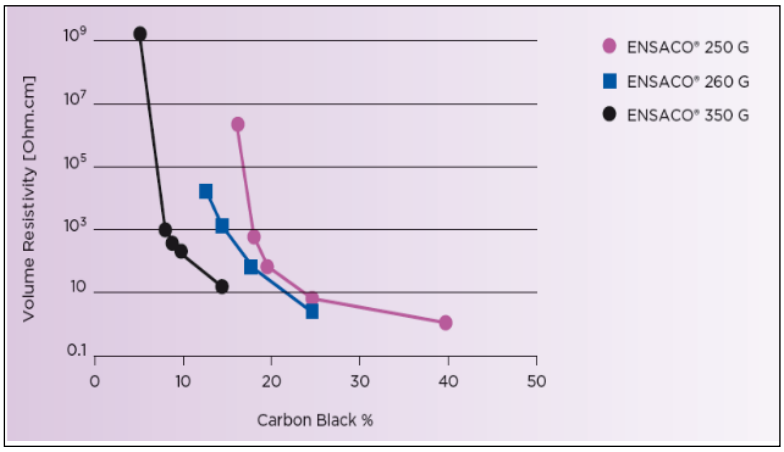
CB	Suppliers	DBP (ml/100 g)	BET specific area (m^2/g)	Average diameter (nm)
Vulcan XC-72	Cabot Corporation (USA)	178	254	30
MSH BLACK	Electric Chemical Co., Ltd. (Japan)	220	80	35
L6	Degussa Co. (Germany)	123	250	18
N293	Fushun Chemical General Factory (China)	100 ± 5	1,050	33



شکل ۵- مقاومت ویژه الکتریکی آمیزه LDPE برحسب دوده‌های جدول ۱، همان‌طور که قابل‌مشاهده است دوده نوع MSH به خاطر کم بودن مساحت‌سطح آن آستانه‌تراوش زودتری داشته است [۹]



شکل ۶- در سطح ساختاری مشابه (هر دو دوده high structure)، دوده با مساحت‌سطح 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]

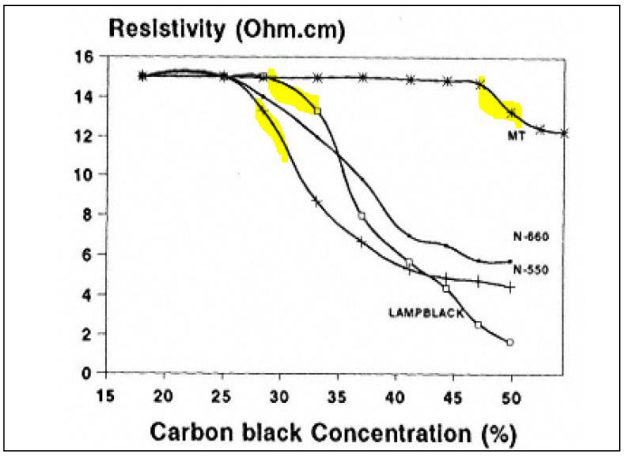
ب) رسانایی القا شده دوده به آمیزه‌هایلاستیکی (بحث فرایندکاری)

رسانایی الکتریکی ایجادشده در آمیزه‌های برپایه‌ی کربن متأثر از عوامل پیچیده‌ای مانند مقدار افزودن دوده، خواص ساختاری و سطحی دوده، وزن‌مولکولی و گرانروی و سازگاری شیمیایی آمیزه لاستیکی، و نحوه اختلاط و فرایندکاری است.

بررسی‌شده اگر در هنگام اختلاط، دوده در بستر لاستیک به خوبی پراکنده (Dispersion) شود، به‌علت آنکه آمیزه قوام بیشتری پیدا می‌کند، ذرات در داخل آمیزه مقاومت‌تماسی‌الکتریکی بسیار زیادی ایجاد می‌کنند و درنتیجه، 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 مساحت‌سطح کمی برخوردار باشد، بهتر قادر است در داخل بستر آمیزه شبکه رسانش

قوی‌تری ایجاد کند. به همین علت در مرحله فرایندکاری لاستیک‌ها (در کاربردهای رسانایی الکتریکی) اختلاط از نوع توزیع ذرات (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 (ذرات ریزتر شده، مساحت‌سطح بالاتر رفته و اختلاط از نوع پراکنش خواهد شد) و مقاومت‌تماسی‌الکتریکی بین ذرات 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 مقاومت‌الکتریکی آمیزه SBR بررسی‌شده است [۲ 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 مورداستفاده 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 [۲]

پیش از خارج شدن از بحث رسانایی‌الکتریکی و بحث کردن در مورد افزودنی‌های رسانای گرما، جالب است که بدانید دوده‌های نوع ENASCo از آن دسته از افزودنی‌های رسانای الکتریکی هستند که قادر به افزایش رسانایی‌گرمایی 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 ENASCO® 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 ENASCO® 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

دول ۴- همان‌طور که در سطر مقاومت‌ویژه 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
Amax	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**

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 انتقال‌گرما 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 بیش‌تری نسبت به دوده‌های ساختار پایین هستند؛ همچنین، در بیش‌تر مواقع دوده‌های با اندازه بزرگ موجب افزایش رسانایی‌گرمایی می‌شوند [۵]. البته همچنان تأثیر اندازه ذرات و مساحت‌سطح بر رسانایی‌گرمایی 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 افزودن 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؟

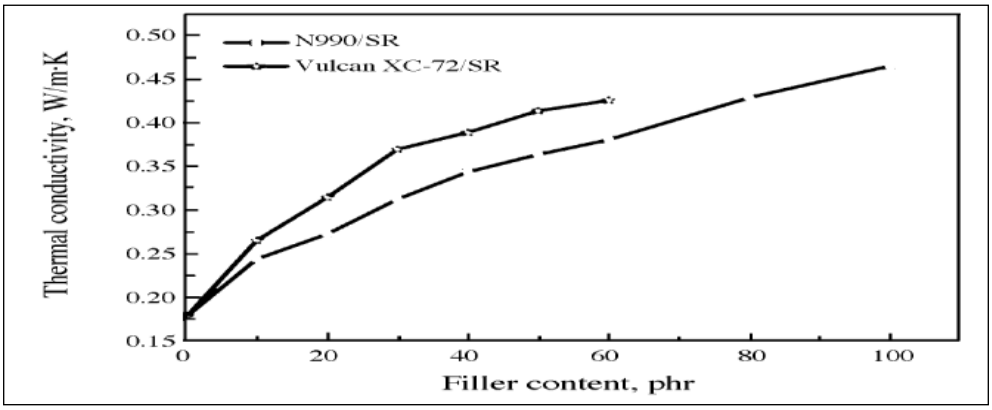
یک نمونه لاستیک SR را با دو نوع دوده متفاوت در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱؛ خواص گرمایی، الکتریکی و سختی آن موردبررسی قرار داده‌شده است [۷]. مطابق جدول ۵ که در آن خصوصیات ساختاری دو دوده با یکدیگر مقایسه شده‌است، واضح است که دوده‌های N990 و Vulcan XC-72 برای کاربردهایی که رسانایی گرمایی و الکتریکی بالا در لاستیک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

بالاتری برخوردار است، انتظار می‌رود که از رسانایی الکتریکی و گرمایی بهتری برخوردار باشد و شکل‌های ۹ و ۱۱ که به‌طور 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.

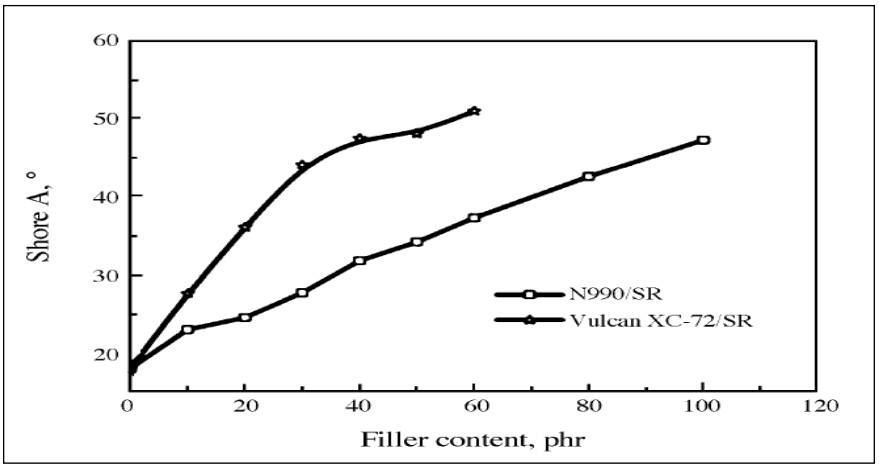
این مسئله بسیار حائز اهمیت است، به‌خصوص برای دوده نوع Vulcan XC-72، چرا که به‌اندازه 40phr از این دوده رسانایی گرمایی معادل 65phr از دوده N990 را برای آمیزه فراهم می‌کند. درحالی‌که مقدار تقویت‌کنندگی آن هم به‌شدت از N990 بهتر است که این موضوع در جدول ۶ و شکل ۱۰ مشهود است [۷].

جدول ۵- مقایسه خصوصیات ساختاری دو دوده [۷].

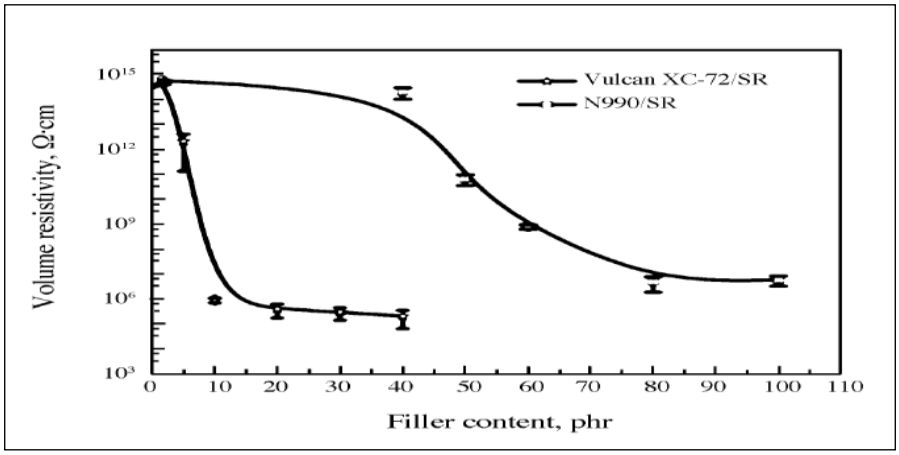
Type of carbon black	Particle size (nm)	Specific surface area (m^2/g)	DBP (ml/100 g)
N990	280	7~12	32~47
Vulcan XC-72	30	254	174



شکل ۹- افزایش میزان دو نوع دوده در لاستیک SR که باعث افزایش قابل‌توجه رسانایی گرمایی شده است [۷]



شکل ۱۰- سختی لاستیک سیلیکون بر برحسب میزان پرکننده [۷]



شکل ۱۱- مقاومت ویژه آمیزه سیلیکون بر برحسب میزان پرکننده [۷]

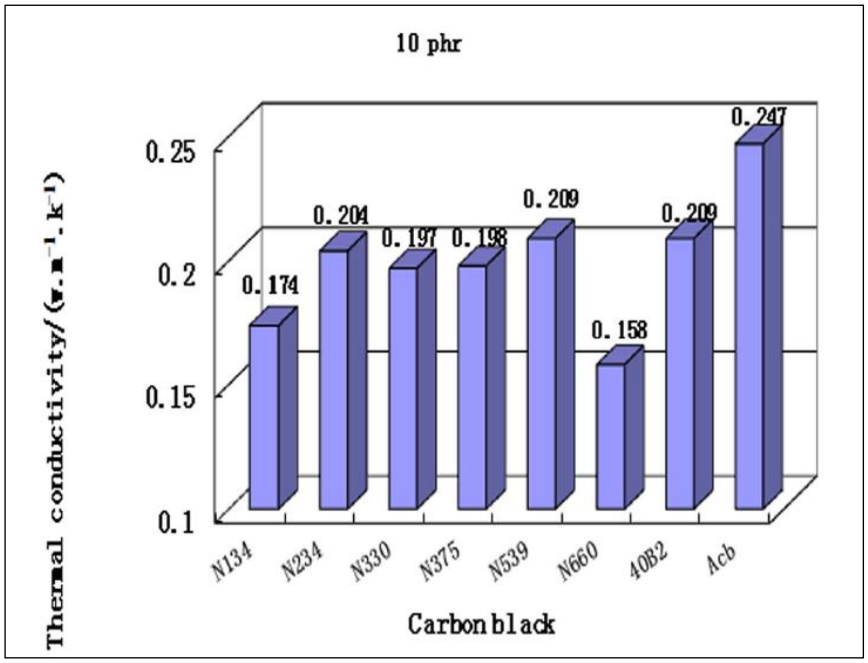
جدول ۶- خواص مکانیکی SR شامل (استحکام‌کششی، پارگی در درصد کشش) برپایه افزایش دو نوع دوده [۷]

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

نمونه‌ی دیگری برای بررسی رسانایی گرمایی، آمیزه‌ی لاستیک طبیعی پرشده 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، 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 Phr ۴۰ از این نوع دوده رسانایی گرمایی تا اندازه ۲۰۰ درصد افزایش یافته است.

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

phr / Δλ/% / Composite	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]

نتیجه‌گیری

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

مراجع

1. Studebaker, 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

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

H. Sabaghi[2,*], A. Abasian[1]

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.