

بهینه سازی روش شستشو و خشک کردن سیلیکای رسوبی مورد استفاده در صنایع لاستیک سازی

غلامرضا وحدانی*⁺، اصغر کرمی، محمد عابدی

تهران، جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، گروه پژوهشی شیمی معدنی، صندوق پستی ۱۳۴۴۵-۶۸۶

چکیده: در این پژوهش، نمونه‌هایی از سیلیکای رسوبی که به‌عنوان پرکننده تقویت کننده در صنایع لاستیک به کار می‌رود، به وسیله‌ی خنثی سازی محلول سدیم سیلیکات صنعتی با محلول سولفوریک اسید ساخته شد و نحوه شستشو و خشک کردن آن مورد مطالعه قرار گرفت. سپس روی نمونه‌های خشک شده و دو نمونه سیلیکای رسوبی تجاری وارداتی (ولکاسیل) شاخص‌های فیزیکی مانند چگالی انباشتگی، جذب سطحی روغن، سطح ویژه، اندازه ذره‌ها و ... اندازه‌گیری شد. با بررسی و مقایسه‌ی نتیجه‌های این آزمون‌ها با نمونه وارداتی، بهترین نمونه ساخته شده با کد PS-۷ انتخاب شد و پس از استفاده به‌عنوان پرکننده در آمیزه لاستیکی از جنس آلیاژ لاستیک پلی بوتادین/لاستیک طبیعی (NR/PBR) مورد آزمون‌های عملکردی مانند رئومتر، مقاومت کششی، سختی و سایش قرار گرفت. مقایسه‌ی نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نمونه ساخته شده در این پژوهش قابل رقابت با نمونه وارداتی بوده و دارای قابلیت جایگزینی است. به طوری که سختی آمیزه لاستیکی ساخته شده با نمونه PS-۷ و سختی آمیزه لاستیکی ساخته شده با نمونه مشابه وارداتی با کد AKZO هر دو برابر ۵۷ واحد Shore بوده و مقاومت سایشی آن نیز بهتر از نمونه‌ی خارجی است ($56/59 \text{ mm}^3$ کاهش حجم نمونه بهینه در مقابل $56/76 \text{ mm}^3$ نمونه‌ی وارداتی). همچنین ازدیاد طول تا پارگی آمیزه لاستیکی ساخته شده با این نمونه بهینه ۴۸۴ درصد در مقابل ۴۷۰ درصد مربوط به آمیزه لاستیکی ساخته شده با نمونه‌ی وارداتی است. در ضمن پخت سریع‌تر این نمونه، ۳۵/۳۵ دقیقه در مقابل ۳۶/۷۴ دقیقه نمونه خارجی، نشان دهنده کیفیت مطلوب آن است.

واژه های کلیدی: سیلیکای رسوبی، سدیم سیلیکات، سطح ویژه، پرکننده تقویت کننده، جذب سطحی روغن، آزمون استحکام کششی، آمیزه لاستیکی.

KEY WORDS: Precipitated silica, Sodium silicate, Specific area, Reinforcing filler, Oil adsorption, Tensile strength test, Rubber compound.

مقدمه

پرکننده تقویت کننده در لاستیک باعث افزایش مقاومت مکانیکی لاستیک پخت شده می‌شود. این مواد در اصل در فرایند ولکانیزه شدن شرکت نمی‌کنند ولی باعث افزایش مقاومت سایشی، مقاومت در برابر پارگی، مقاومت کششی و سختی الاستومر

پرکننده ماده جامدی است که قابل اختلاط با دیگر مواد مورد استفاده بوده و برای کاهش قیمت تمام شده فرآورده‌ی نهایی و یا بهبود برخی ویژگی‌ها اضافه می‌شود که در مورد دوم به پرکننده تقویت کننده مشهور است.

*عهده دار مکاتبات

+E-mail: Vahdany@jdsharif.ac.ir

در این پژوهش روش استفاده از محلول سدیم سیلیکات به دلیل برخورداری از مواد اولیه ارزان قیمت و در دسترس، سادگی روش و همچنین عدم نیاز به تجهیزات یا تکنولوژی‌های پیچیده و گران قیمت برای ساخت نمونه‌ها انتخاب و براساس آن اقدام به ساخت چند نمونه شد. از آنجا که در مطالعات انجام شده، در خصوص نحوه‌ی شستشو و خشک کردن، اطلاعات کافی وجود نداشت لذا این دو مرحله مورد بررسی قرار گرفت و پس از آزمودن روش‌های متفاوت، روشی بهینه ارایه شد. سپس روی نمونه‌های ساخته‌شده آزمون‌های شیمی - فیزیکی انجام شد [۵ و ۶] و در نهایت بهترین نمونه ساخته‌شده برای ارزیابی عملکردی (آزمون کاربردی عملکردی) به شرکت ایران تایر ارسال شد که پس از فرموله‌شدن در آمیزه الاستومری با پایه آلیاژ NR/PBR^(۴) به‌عنوان پرکننده، مورد آزمون‌های مقاومت مکانیکی و رئومتری قرار گرفت.

بخش تجربی

مواد

ترکیبات مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

کلریدریک اسید Merck (Art No. ۳۱۴)، فلئوئوریدریک اسید Merck (Art No. ۳۳۷)، سولفوریک اسید BDH (Prod No. ۱۰۲۷)، سدیم سیلیکات تجارتي، فراورده‌ی شرکت سیلیکات ایران، باریم کلرید، متیل اورانژ.

دستگاه‌ها

دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

- ۱- تخلخل سنج نیتروژن ۲۰۰۰ ASAP ساخت شرکت Meteric.
 - ۲- آنالیزور اندازه‌ی ذره‌ها ۲۰۰۰ Master Sizer ساخت شرکت Malvern.
 - ۳- ترازوی الکترونیکی مدل ۲۱۰-LIBROR AEU ساخت شرکت Shimadzu.
 - ۴- رئومتر Monsanto مدل ۲۰۰۰E ODR ساخت شرکت Monsanto.
 - ۵- سختی سنج Durometer مدل Shore.
 - ۶- دستگاه pH متر CONSORT مدل P۶۱۴.
- سایر تجهیزات مورد استفاده عبارتند از: کوره الکتریکی مافلی، خشک‌کن الکتریکی، همزن مغناطیسی، حمام بخار و...

می‌شوند. انتخاب پرکننده تقویت‌کننده مناسب، سومین شاخص مهم آمیزه‌کاری لاستیک، پس از انتخاب نوع الاستومر و سیستم پخت است [۱].

تقویت‌کنندگی پرکننده‌ها از برهم‌کنش بین الاستومر و پرکننده ناشی می‌شود. این برهم‌کنش، محدوده‌ای از نیروهای ضعیف *و/ان درواالسی* تا نیروهای قوی پیوند شیمیایی را در برمی‌گیرد [۲]. دوده مهم‌ترین و عمده‌ترین پرکننده مورد استفاده در صنعت لاستیک است و به‌خاطر تقویت‌کنندگی بالای آن، در همه قطعه‌های لاستیکی سیاه‌رنگ و به‌ویژه تایرها به کار می‌رود. در قطعه‌های لاستیکی رنگی که نمی‌توان از دوده استفاده کرد از پرکننده‌های سفید (غیر دوده‌ای) استفاده می‌شود. یکی از این پرکننده‌ها، سیلیکای رسوبی است که به‌علت خاصیت تقویت‌کنندگی زیاد به دوده سفید مشهور است.

این فراورده تحت نام‌های تجاری متنوعی مانند انواع ولکاسیل^(۱)، A_۱، N، S، اولتراسیل^(۲) و به شکل پودر سفید آمورف یا گرانول در دسترس است. روی سطح این فراورده که در واقع سیلیسیک اسید پلیمریزه شده است، گروه‌های هیدروکسیل (سیلانول) وجود دارند که این گروه‌ها پیوند دوگانه الاستومرها را قطبی کرده و به‌وسیله‌ی جذب سطحی گروه‌های فعال، باعث تقویت الاستومر می‌شوند. این پرکننده به علت دارا بودن تخلخل بالا، در دسته پرکننده‌های خیلی فعال قرار گرفته و فراورده‌های لاستیکی فرموله شده با آن در مقایسه با فراورده‌های فرموله شده با دوده، استحکام کششی و مقاومت پارگی معادل با دوده را نشان می‌دهد، در حالی که مقاومت سایشی آن در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کمتر از دوده است.

مقدارهای کرنش و سختی نیز به‌طور معمول کمتر هستند، از طرف دیگر رفتار الکتریکی فراورده‌های تهیه شده با سیلیکاها تا اندازه‌ای بهتر است [۳]. سیلیکای رسوبی به‌طور عمومی به پنج روش تولید می‌شود که عبارت‌اند از [۴]:

- ۱- ساخت سیلیکای رسوبی از محلول سدیم سیلیکات
- ۲- ساخت سیلیکای رسوبی از محلول فلورید
- ۳- ساخت سیلیکای رسوبی با استفاده از محلول آلی
- ۴- ساخت سیلیکای رسوبی از سیلیکای کلوبیدی
- ۵- ساخت سیلیکای رسوبی از بخارهای سیلیکا (سیلیکای پیروژنیک)^(۳)

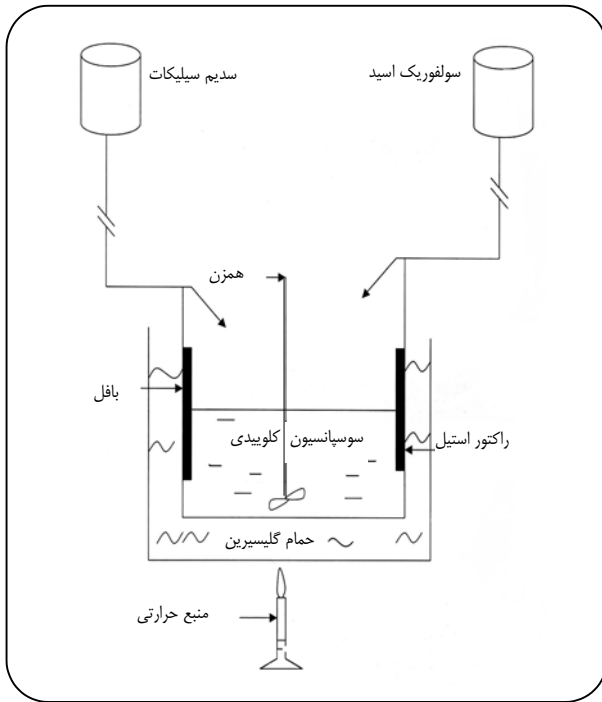
(۳) Pyrogenic silica

(۳) Natural Rubber / Poly Butadiene Rubber

(۱) Vulkasil

(۲) Ultrasil

روش آزمایش ساخت نمونه‌ها



شکل ۱- نمای شماتیک مرحله رشد هسته.

مرحله هسته زایی

این مرحله که هسته‌های اولیه سیلیکا تشکیل می‌شود، جزء یکی از مراحل اصلی تهیه سیلیکای رسوبی است. درون راکتور ۶۶۲ میلی‌لیتر سدیم سیلیکات با غلظت ۱۰ گرم بر لیتر ریخته شده و تا دمای ۸۰ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود. ضمن تثبیت دما به آرامی و در مدت زمان ۲۰۰ ثانیه محلول سولفوریک اسید با غلظت ۸۰ گرم بر لیتر و با سرعت جریان ۱۰/۲ میلی‌لیتر در دقیقه اضافه شده تا هسته‌های اولیه سیلیکا تشکیل شود.

مرحله رشد هسته

در این مرحله هم‌زمان با افزایش محلول سولفوریک اسید، با همان سرعت جریان مرحله قبل به محتویات داخل راکتور، افزایش سدیم سیلیکات با غلظت ۱۳۰ گرم بر لیتر (بر حسب SiO_2) با سرعت جریان ۱۴/۲ میلی‌لیتر در دقیقه نیز آغاز شد. در هنگام این افزایش، سیلیکای فعال ناشی از افزایش هم‌زمان اسید و سیلیکات، روی هسته‌های اولیه تشکیل شده مرحله قبلی نشست و باعث رشد آنها می‌شود و pH مواد معلق داخل راکتور نیز، در ۹ ثابت باقی می‌ماند. این عمل حدود ۷۰ دقیقه طول می‌کشد و شکل ۱ این مرحله را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

این روش شامل سه مرحله اصلی هسته زایی، رشد هسته و خنثی‌سازی و دو مرحله تکمیلی شستشو و خشک کردن است. در طول مرحله رشد هسته، درجه خنثی‌سازی سیلیکات و در نتیجه pH مواد معلق ثابت می‌ماند و در مرحله بعد که مرحله خنثی‌سازی است با افزایش اسید معدنی به تدریج سیلیکات خنثی شده و pH کاهش می‌یابد تا به مقدار ۴/۵ برسد. در این لحظه خنثی‌سازی تکمیل شده و سیلیکای رسوبی تولید می‌شود [۷].

در این پژوهش پانزده نمونه ساخته شد و در ساخت هر نمونه سعی شد که نقص‌های احتمالی مربوط به نمونه قبلی برطرف شود. لذا تغییر شرایط ساخت و کنترل شاخص‌های موثر مانند دبی واکنشگرها، نحوه شستشوی رسوب‌ها و خشک کردن فرآورده از جمله فعالیت‌های اصلی این پژوهش است که برای اختصار فقط به روش ساخت دو نمونه بهینه آخر اشاره می‌شود.

دو عامل خیلی مهم و تأثیر گذار روی ویژگی‌های فرآورده‌ی نهایی که در حین فرایند ساخت بایستی به دقت تنظیم شوند، نسبت قوام‌دهی^(۱) و تراکم ساختاری^(۲) است.

نسبت قوام دهی، عبارت است از نسبت وزن سیلیکات اضافه شده در مرحله رشد هسته به وزن سیلیکات اولیه که این نسبت بهتر است در محدوده ۴۰-۱۳ برابر باشد.

نسبت تراکم ساختاری، عبارت است از نسبت وزن نهایی سیلیکا در سیستم به وزن سیلیکای جمع شده در مواد معلق در شروع واکنش که این نسبت بهتر است کمتر از ۴ برابر باشد.

دو عامل مذکور تأثیرهای زیادی را در خواص و کیفیت فرآورده‌ی نهایی اعمال می‌کنند. برای مثال، تراکم ساختاری روی میزان پخش‌شوندگی پرکننده در لاستیک تأثیر گذار است و اگر مقدار آن بیشتر از ۴ باشد، در آن صورت، ذره‌های سیلیکای نهایی به مقدار زیادی قوام یافته و آن قدر به هم می‌چسبند که در هنگام کاربرد به‌عنوان پرکننده لاستیک، آسیاب کردن آن مشکل شده، در نتیجه باعث عدم توزیع مناسب نمونه در آمیزه لاستیکی شده و در نهایت از کیفیت فرآورده‌ی نهایی کاسته می‌شود [۸]. به همین علت، در این پژوهش براساس نتیجه‌های به‌دست آمده از نمونه‌های ساخته شده، از نسبت قوام دهی ۱۹/۵ و تراکم ساختاری کمتر از ۴ برای ساخت نمونه بهینه استفاده شد و بر همین اساس نیز غلظت محلول‌های خوراک و سرعت جریان آنها تنظیم شد.

(۱) Consolidation ratio

(۲) Built ratio

مرحله خنثی سازی

در این مرحله، جریان محلول سدیم سیلیکات قطع شده ولی محلول سولفوریک اسید همچنان با همان سرعت قبلی به داخل راکتور اضافه می‌شود تا مواد معلق داخل راکتور خنثی شود. این مرحله در مورد نمونه بهینه، ۱۰ دقیقه طول کشیده و در پایان این مرحله pH مواد معلق به ۴/۵ رسیده و مواد معلق داخل راکتور به صورت دوغابی سفید رنگ درآمده است.

مرحله شستشو

با بررسی منابع و پژوهش‌های قبلی، در این مرحله فقط به استفاده از صاف کردن اشاره شده و در مورد جزئیات نحوه شستشوی دوغاب به دست آمده در مرحله قبل اطلاعات مناسبی ارایه نشده است. در واقع هدف از انجام این مرحله، حذف نمک‌ها از جمله سدیم سولفات از دوغاب است، زیرا باقی ماندن نمک‌های مذکور باعث مسدود شدن حفره‌ها و کاهش سطح سیلیکای رسوبی می‌شود. در این پژوهش، روش‌های متفاوت شستشوی سل‌ها و ژل‌ها بررسی شد و نمونه‌های متفاوت، طی مراحل متنوعی مانند صاف کردن، دکانته کردن و غوطه‌وری و ... تحت عمل شستشو با آب مقطر قرار گرفت و در نهایت، روش استخراج متوالی نمک به صورت غیر پیوسته (غوطه‌وری) مناسب تشخیص داده شد و در ساخت نمونه بهینه مورد استفاده قرار گرفت.

دوغاب به دست آمده از مرحله قبل به وسیله یک صافی خلاء و روی کاغذ صافی، صاف می‌شود. سپس ماده جامد باقی مانده طی چند مرحله با آب مقطر شسته و در فاصله‌های زمانی متفاوت هم زده می‌شود تا عمل استخراج تسریع شود. طی هر مرحله مدت زمان عمل استخراج به تدریج افزایش داده می‌شود تا این که در نمونه بهینه ۷ بار عمل استخراج با مدت زمان‌های به ترتیب ۲، ۵، ۹، ۱۵، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت اعمال شد. در آخرین مرحله برای اطمینان از استخراج کامل نمک و خالص شدن رسوب، محلول روی رسوب تحت آزمون باریم کلرید ۱۰ درصد قرار داده شد که با عدم تشکیل رسوب باریم سولفات از تکمیل شستشو اطمینان حاصل شد. مدت زمان استخراج طولانی ۷۲ ساعت از این جهت دارای اهمیت است که امکان دفع کامل نمک‌های سولفات را فراهم می‌سازد.

مرحله خشک کردن

این مرحله به دلیل تأثیر روی ویژگی‌های تخلخل فرآورده‌ی

نهایی بسیار حایز اهمیت است. در منابع بررسی شده به روش‌های متفاوتی مانند خشک‌کن پاششی، خشک‌کن معمولی و خشک‌کن سانتریفوژی و ... اشاره شده اما در خصوص جزئیات این مرحله توضیحی ارایه نشده است.

در این پژوهش روی مرحله خشک کردن مطالعاتی صورت گرفت و نمونه‌های متفاوتی تحت شرایط دمایی متفاوت با خشک‌کن معمولی به شرح زیر خشک شد.

در ساخت نمونه بهینه، رسوب حاصل از مرحله قبل وارد آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد شد و در حدود ۴۵ دقیقه در این دما باقی ماند. سپس دمای آون با سرعت ۲/۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت پنج ساعت نیز در این دما باقی ماند. درصد کاهش وزن در این مرحله حدود ۸۰ درصد بود.

آزمون‌های شیمی - فیزیکی

به منظور بررسی کیفیت نمونه‌های ساخته شده، پیش‌بینی رفتار عملیاتی آنها و مقایسه آنها با نمونه‌های تجاری وارداتی، چندین آزمون شیمی - فیزیکی مانند تخلخل سنجی نیتروژن، تعیین توزیع اندازه‌ی ذره‌ها، جذب سطحی روغن، pH مواد معلق و ... روی دو نمونه ساخته شده بهینه PS-۶ و PS-۷ انجام شد. در ضمن افزون بر نمونه‌های ساخته شده، دو نمونه تجاری وارداتی با کدهای PS-۱۰ (نمونه ولکاسیل S خریداری شده از بازار) و PS-۱۱ (نمونه ولکاسیل S خریداری شده از یکی از شرکت‌های لاستیک‌سازی) نیز برای مقایسه با نمونه‌های ساخته شده، تحت آزمون‌های شیمی - فیزیکی مذکور قرار گرفت که نتیجه‌های این آزمون‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

فهرستی از خواص شیمی - فیزیکی نمونه‌های تجاری ولکاسیل ساخت شرکت بایر آلمان نیز در جدول ۲ برای مقایسه با نمونه‌های ساخته شده آورده شده است [۱].

آزمون‌های عملکردی

روی نمونه بهینه PS-۷ آن دسته از آزمون‌های عملکردی انجام شد که حضور پرکننده بر نتایج آنها تأثیرگذار است. این آزمون‌ها در شرکت ایران تاپر انجام شد و پرکننده مصرفی این شرکت با کد AKZO-CO به عنوان نمونه استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها هر کدام جداگانه در فرمولاسیون یکسانی با پایه آلیاژ NR/PBR به کار برده شدند و سپس بر روی این دو آمیزه

جدول ۱- نتیجه‌های آزمون‌های شیمی - فیزیکی.

آزمون نمونه	چگالی انباشتگی (g/cm ³)	pH	کاهش وزن در ۱۰۵ °C	کاهش وزن در ۱۰۰۰ °C	اندازه متوسط ذره (μm)	سطح ویژه BET (m ² /g)	جذب سطحی روغن بزرگ (g/۱۰۰g)
PS-۶	۰/۲۵	۵/۵	۵/۴۴	۳/۹۱	۲۰/۰۵	۱۷۷	۲۵۱/۱
PS-۷	۰/۲۱	۵/۵	۵/۸۲	۴/۱۸	۱۹/۴۶	۲۴۸	۳۱۶/۲
PS-۱۰	۰/۲۱	۷-۸	۴/۰۵	۷/۵۹	۱۶/۴۶	۷۷	۲۶۰/۴
PS-۱۱	۰/۳۰	۶	۴/۳۰	۴/۰۱	۱۴/۶۲	۱۷۵	۲۲۳/۲

جدول ۲- مشخصات انواع پرکننده‌های ولکاسیل تجاری شرکت بایر.

مشخصات	واحد	ولکاسیل A۱	ولکاسیل C	ولکاسیل C/KG	ولکاسیل N/KG	ولکاسیل N	ولکاسیل S
میزان مواد فرار (۲ ساعت در دمای ۱۰۵ °C)	%	۴-۷	۴-۷	۴-۷	۴-۷	۴-۷	۴-۷
کاهش وزن (در دمای ۱۰۰۰ °C) بر مبنای ماده خشک	%	۵-۷	۳-۵	۴	۴	۲/۵-۴/۵	۳-۵
سطح ویژه BET	m ² /g	۴۵-۷۵	۴۰-۶۰	۱۵۵-۱۹۵	۱۰۵-۱۴۵	۱۰۵-۱۵۵	۱۶۰-۲۰۰
باقی مانده روی غربال ۶۳ μm	%	≤۰/۳	≤۰/۳	-	-	≤۰/۱	≤۰/۱
چگالی انباشتگی	g/cm ³	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۲۲
pH مواد معلق ۵ درصد محلول در آب	-	۱۰/۶-۱۲	۸/۳-۱۰/۵	۵/۴-۷	۶/۳-۷/۵	۶/۳-۷/۸	۵/۴-۷

خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه با نمونه تجاری PS-۱۱ و نمونه‌های تولیدی شرکت بایر از خود نشان می‌دهد. این نمونه به علت دارا بودن بیشترین سطح ویژه BET^(۱)، جذب سطحی روغن و حجم حفره بالا، تعداد زیادی حفره با اندازه بزرگ دارد که قابلیت جذب مولکول‌های درشت روغن بزرگ و در نتیجه امکان درگیر شدن مناسب (نفوذ بیشتر) با مولکول‌های الاستومر را در آمیزه فراهم می‌سازد. این نکته با توجه به نتیجه‌های آزمون‌های عملکردی ارایه شده در جدول ۳ تأیید می‌شود. طبق این نتیجه‌ها، نمونه PS-۷ از نظر مقاومت سایشی حتی عملکردی بهتر از نمونه استاندارد AKZO-CO دارد (کاهش حجم کمتر). همچنین سختی این نمونه با نمونه AKZO-CO برابر است. از نظر مقاومت کششی نیز نمونه ساخته شده شباهت زیادی به نمونه استاندارد دارد و

آزمون‌های رئومتر (در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد) و مونی ویسکوزیته صورت گرفت. آمیزه در نهایت پس از پخت، در قالب قطعات لاستیکی مورد آزمون‌های عملکردی قرار گرفت. نتیجه‌های آزمون‌های انجام شده بر روی دو نمونه PS-۷ و AKZO-CO در جدول ۳ آورده شده است.

نتیجه‌ها و بحث

درصد وزنی SiO_۲ و Na_۲O موجود در سدیم سیلیکات تجاری به منظور اطلاع از ترکیب شیمیایی و تعیین نسبت وزنی و مولی SiO_۲:Na_۲O آن، اندازه‌گیری شد که نتیجه‌های آن در جدول ۴ ارایه شده است [۹].
با توجه به نتیجه‌های مندرج در جدول‌های ۱ و ۲، نمونه PS-۷

(1) Brunauer-Emmett-Teller

جدول ۴- ترکیب شیمیایی سدیم سیلیکات صنعتی استفاده شده.

درصد وزنی SiO ₂	درصد وزنی Na ₂ O	نسبت وزنی SiO ₂ :Na ₂ O	نسبت مولی SiO ₂ :Na ₂ O
۳۱/۰۲	۹/۹۷	۳/۱۰	۳/۲۰

در حد قابل قبول است. همچنین از روی نتیجه‌های رئومتر و ویسکوزیته مونی به این نکته پی برده می‌شود که زمان‌های متفاوت پخت نمونه PS-۷ نسبت به نمونه استاندارد کمتر بوده و در نتیجه پخت سریع‌تر اتفاق افتاده است که می‌توان علت آن را به pH مناسب نمونه ساخته شده نسبت داد. بدین معنی که در این pH، گروه‌های سیلانول (OH) روی سطح سیلیکای رسوبی به جای شتاب دهنده‌ها، مولکول‌های آب را به خود جذب کرده، در نتیجه شتاب دهنده‌ها آزاد بوده و به راحتی در فرایند پخت شرکت کرده و باعث افزایش سرعت پخت می‌شوند. این عمل توجیه اقتصادی استفاده از سیلیکای رسوبی ساخته شده را بالا می‌برد.

نتیجه‌گیری نهایی

هدف اساسی از انجام این پروژه، ساخت نوعی پرکننده تقویت کننده (سیلیکای رسوبی) و بهینه‌سازی روش ساخت آن بوده است. در این راستا از سدیم سیلیکات و سولفوریک اسید به عنوان مواد اولیه که با قیمت ارزان و به مقدارهای متنابهی در کشور یافت می‌شود، استفاده شده و مراحل شستشو و خشک کردن تحت بررسی دقیق‌تری انجام و روش مناسبی برای ساخت سیلیکای رسوبی بهینه ارایه شد.

نمونه ساخته شده دارای خواص شیمی - فیزیکی مطلوب بوده و از جنبه کاربردی به‌طور کامل قابل رقابت با نمونه‌های تجاری وارداتی است. از آنجا که نمونه ساخته شده مقاومت و سختی خوبی از خود نشان می‌دهد، می‌تواند در قطعاتی که در تماس با سطوح زبر و ساینده هستند، مانند بخش زمین خور تایرها^(۱)، به کار برده شود.

تاریخ دریافت: ۱۳/۱۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴/۱۱/۱۰

جدول ۳- نتیجه‌های آزمون‌های عملکردی.

نمونه	نمونه	واحد	آزمون
PS-۷	AKZO		
۵۷	۵۷	Shore	سختی
۵۶/۵۹	۵۶/۷۶	Mm ^۳	سایش
۱۵۳	۱۵۷	Kg/cm ^۲	مقاومت کششی
۸۱	۸۷	Kg/cm ^۲	مدولوس (۱۰۰ درصد)
۴۸۴	۴۷۰	%	ازدیاد طول تا پارگی
۵/۸۵	۵/۵۰	lb-in	گشتاور حداقل
۳۳/۶۳	۳۴/۵۰	lb-in	گشتاور حداکثر
۲۶/۵۴	۲۸/۸۳	min	T-۲۵% ^(۱)
۲۹/۱۷	۳۱/۲	min	T-۵۰% ^(۲)
۳۵/۳۵	۳۶/۷۴	min	T-۹۰% ^(۳)
۵۶/۸۰	۵۳/۸۰	ML	ویسکوزیته اولیه
۳۹/۱۰	۳۷/۰۰	ML	ویسکوزیته نهایی
۲۹/۱۵	۳۲/۲۸	min	T _۵ ^(۴)
۳۱/۴۲	۳۵/۱۵	min	T _{۱۰} ^(۵)
۳۴/۴۹	۳۸/۴۷	min	T _{۳۵} ^(۶)

۱- مدت زمانی است که گشتاور در یک رئومتر به ۲۵ درصد گشتاور حداکثر رسیده است.

۲- مدت زمانی است که گشتاور در یک رئومتر به ۵۰ درصد گشتاور حداکثر رسیده است.

۳- مدت زمانی است که گشتاور در یک رئومتر به ۹۰ درصد گشتاور حداکثر رسیده است (زمان پخت کامل).

۴- مدت زمانی است که ویسکوزیته در یک مونی ویسکومتر به ۵ واحد بیش از مقدار حداقل خود می‌رسد (زمان اسکورچ).

۵- مدت زمانی است که ویسکوزیته در یک مونی ویسکومتر به ۱۰ واحد بیش از مقدار حداقل خود می‌رسد.

۶- مدت زمانی است که ویسکوزیته در یک مونی ویسکومتر به ۲۵ واحد بیش از مقدار حداقل خود می‌رسد این ویژگی معیاری از زمان پخت کامل است.

مراجع

[۱] عوض ملایری، فریبرز؛ "پرکننده‌ها، نگرشی بر خواص و موارد استفاده آنها در صنعت لاستیک"، نشر سمر،

چاپ اول، شرکت تحقیقات و مهندسی صنایع لاستیک (۱۳۷۷).

(۱) Tread of tires

- [۲] عوض ملایری، فریبرز؛ "مقدمه‌ای بر مبنای آمیزه‌کاری و تکنولوژی لاستیک"، نشر سمر، چاپ اول، شرکت تحقیقات و مهندسی صنایع لاستیک (۱۳۷۵).
- [۳] هوفمان، ورنر؛ "تکنولوژی جامع لاستیک هافمن" آبائی، مریم؛ ابراهیمی، پیمان؛ اسلامی، پروین؛ عابدینی، زهرا (مترجمان)؛ انتشارات ستایش، جلد دوم، چاپ اول، شرکت تحقیقات و مهندسی صنایع لاستیک (۱۳۷۹).
- [4] Iler, R.K., "The Chemistry of Silica", Vol. 3., Jone Wiley & Sons Inc. N. Y., pp. 554-568 (1979).
- [5] Norme Francaise, NFT 45-007, (Novembre 1987).
- [6] International Organization for Standards, Iso 3953:1993(E).
- [7] Chevallier, Y., Prat, E., "Precitipated silica", U.S. Pat. 6,001,322(1999).
- [8] Schaer, E., Ravetti, R., Plasari, E., Study of Silica Particle Aggregation in a Batch Agitated Vessel, *Chem. Eng. processing*, **40** (3), p. 277 (2001).
- [9] Annual Book of ASTM Standards, D501(2003).

Archive of SID