**ساخت سطوح ورزشی SBR از ضایعات لاستیک با استفاده از امولسیون پلیمری**

**محمدحسین قربانی1 \*، ساره غانم طعیمه 2**

*1- گروه شیمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. MH\_Ghorbani@iau.ac.*

*2- گروه مهندسی مواد، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.*

**چكيده فارسی**

به‌دلیل اهمیت اقتصادی و زیست محیطی بازیافت ضایعات پلیمری، رویکرد این پژوهش دست‌یابی به روشی برای ساخت سطوح و کفپوش‌های ورزشی SBR از ضایعات لاستیک با بهره‌گیری از امولسیون پلیمری بوده‌است. سه ترکیب مختلف ۳۰/۷۰، ۵۰/۵۰ و ۷۰/۳۰ از استایرن بوتادین رابر حاصل از آسیاب‌کردن لاستیک ضایعاتی و پلی‌استایرن، به‌عنوان آمیختة پلیمری، با سه نسبت وزنی ۲۰، ۲۵ و ۳۰٪ از امولسیون تشکیل‌شده از قیر حاوی نانو رس بنتونیت، ترکیب شد. در نهایت بر اساس نتایج آزمایش‌ها، آمیختة ۳۰/۷۰ از SBR/PS به‌عنوان آمیختة بهینه برای تولید لاستیک قابل استفاده به‌عنوان سطوح ورزشی معرفی شد. تأثیر نسبت بارگذاری و ترکیب‌درصد آمیخته بر تعدادی از خواص مکانیکی کفپوش لاستیکی سنجیده شد. این خواص مکانیکی عبارت بودند از: مقاومت کششی، سختی، مقاومت سایشی مطالعه شد.

**واژه‌هاي كليدي:** SBR، ضایعات لاستیک، امولسیون پلیمری، استحکام کششی، سختی، مقاومت سایشی.

**MANUFACTURING OF SBR SPORT SURFACES FROM TIRES WASTES BY USING POLYMER EMULSION**

**Abstract**

Because of the economic and environmental importance of polymer waste recycling, the approach of this research was to find a method for making SBR sports surfaces and from rubber waste by using polymer emulsion. Three different combinations of 30/70, 50/50 and 70/30 of styrene butadiene rubber obtained by grinding waste rubber and polystyrene, as a polymer mixture, with three weight ratios of 20, 25 and 30% of the emulsion consisting of bitumen containing bentonite nano clay. was combined Finally, based on the results of the tests, the 70/30 mixture of SBR/PS was introduced as the optimal mixture for the production of rubber that can be used as sports surfaces. The effect of loading ratio and mix percentage on a number of mechanical properties of rubber flooring was measured. These mechanical properties were: tensile strength, hardness, abrasion resistance.

**مقدمه**

مواد مرکب از اختلاط دو یا چند ماده که از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت هستند به‌دست می‌آیند. با این هدف که از مواد اولیه، مادة جدیدی با مشخصات مورد نظر به‌دست آید. جزء نخست تشکیل‌دهندهٔ مادهٔ مرکب، ماده یا مواد پایه است که اغلب باید تقویت شود و جزء دیگر، ماده یا مواد تقویت‌کننده است. در سال‌های اخیر، علاقه به مواد کامپوزیت به‌عنوان موادی مهندسی به‌دلیل خواص یگانة آنها افزایش یافته و به‌خصوص در زمینه‌هایی که نیاز به استفاده از موادی با وزن کم و دوام زیاد دارد، مانند کاربردهای فضایی، بیشتر تجسم پیدا کرده‌است. درتعریفی دقیق‌تر، مواد مرکب از چندین ماده پایه تشکیل شده‌اند که هرچند هیچ اثر متقابل شیمیایی بین مواد پایه مخلوط وجود ندارد، با یکدیگر در هم می‌آمیزند تا خواص مورد نیاز محصول را ایجاد کنند.

مواد کامپوزیت پلیمری (به‌ویژه لاستیک) در کاربردهای صنعتی جایگاه برجسته‌ای دارند؛ زیرا لاستیک توانایی تعدیل تنش‌های الاستیک ناشی از شوک‌های ناگهانی را دارد و به‌همین دلیل در کاربردهای حمایتی از تجهیزات و ماشین‌هایی که در معرض ارتعاش هستند، به‌طور مؤثر استفاده می‌شود ]1[.

تجمع ضایعات لاستیک‌ها آلودگی شدید زیست‌محیطی در پی دارد؛ به‌ویژه اینکه بخش عمده‌ای از این زباله‌ها در نزدیکی شهرها ریخته می‌شود و عامل بروز بسیاری از بیماری‌های خطرناک است. این جدا از آتش‌سوزی‌های گسترده‌ای است که گاهی در این مناطق رخ می‌دهد و منجر به بلایایی فاجعه‌بار می‌شود [2].

کارهای انجام‌شده برای بازیافت لاستیک‌های ضایعاتی در مقایسه با تولید سالانة این مواد بسیار ناچیز است. بدتر اینکه لاستیک‌های فرسوده با رفتارهایی غیرمسئولانه و به‌صورت غیرمجاز در جوی‌ها، مزارع، جنگل‌ها و مناطق دیگر دفع می‌شوند و در نتیجه به‌دلیل اینکه از موادی شمیایی با روند تجزیة بسیار آهسته تشکیل شده‌اند، به محیط زیست و بهداشت عمومی آسیب جدّی وارد می‌کنند [2].

ساخت لاستیک از طریق فرایند ولکانیزاسیون صورت می‌گیرد که یک فرایند سخت‌شدن است و در آن واکنشی برگشت‌ناپذير بین لاستیک و گوگرد رخ می‌دهد. در نتیجه درهم تنیدگی‌های شیمیایی سه‌بعدی بین زنجیره‌های مولکولی لاستیک ایجاد می‌شود. این پلیمرهای اتصال متقاطع، جامد و نامحلول هستند. همین موضوع، فرایند بازیافت لاستیک‌های مستعمل و ضایعات لاستیک را دشوار می‌کند؛ بنابراین مشکلات زیست‌محیطی دفع ضایعات لاستیک در سال‌های اخیر به معضلی اساسی تبدیل شده‌است [3].

برای حل این مشکل، لاستیک‌هایی که به پایان عمر مفید خود می‌رسند، برای استفادة دوباره در انواع کاربردهای صنعتی بازیافت می‌شوند. یکی از این کاربردها، ساخت سطوح ورزشی و کفپوش‌های زمین بازی کودکان است که به‌دلیل قابلیت جذب ضربه، آسیب‌های بدنی و صدمات ناشی از برخورد ورزشکار یا کودک با سطح سفت را کاهش می‌دهند [4].

**بحث و بررسی**

**الزامات سطوح ورزشی**

سطوح ورزشی مصنوعی به دو قسمت داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. تفاوت اصلی آن‌ها در این است که سطوح خارجی در برابر شرایط جوی سخت، مانند گرما، تشعشع و باران مقاوم هستند. برخلاف سطوح داخلی که در معرض چنین شرایطی قرار نمی‌گیرند.

کارایی سطوح با شاخص‌های زیر ارزیابی می‌شود:

1. ایمنی

2. دوام

۳. اصطکاک

4. سفتی و جذب انرژی

5. نفوذپذیری

علاوه‌براین‌ها، شاخص‌های دیگری نیز وجود دارد که هنگام انتخاب سطوح ورزشی مناسب، باید در نظر گرفته شود، مانند ثبات رنگ، اندازه، جذب ضربه و همواری سطح.

ایمنی سطح، جنبه‌های مختلفی دارد؛ مانند پتانسیل ایجاد صدمات فیزیکی، سمّی‌بودن و مقاومت آن در برابر اشتعال. شکستگی‌های استخوانی ناشی از ضربة شدید، در اثر سفتی، فقدان خاصیت ارتجاعی و اصطکاک کم سطح روی می‌دهد. سطوحی بتنی، چنین معایبی دارند.

سطوح سخت به‌دلیل جراحت‌هایی که به‌بار می‌آورند و صدمات زیادی که به استخوان‌ها، رباط‌ها و ماهیچه‌های ورزشکاران وارد می‌کنند، یک مشکل بزرگ به‌شمار می‌روند.

دوام سطوح ورزشی به دو دستة دوام محیطی و دوام مکانیکی تقسیم می‌شود. دوام محیطی عمدتاً مربوط به سطوح خارجی در معرض باران، گرمای شدید، تشعشعات خورشیدی و پوسیدگی اشاره دارد، درحالی‌که دوام مکانیکی به مقاومت سطح در برابر سایش و پارگی اشاره دارد که در نتیجه اصطکاک، ضربه و خستگی ایجاد می‌شود.

اصطکاک فعل‌وانفعالی است که بین پای ورزشکار و سطح ایجاد می‌شود و اصطکاک مطلوب آن است که حد کافی برای جلوگیری از لغزش ایجاد کند؛ و آنقدر زیاد نباشد که حرکت آسان را محدود سازد. اصطکاک از شرایط محیطی مانند باران تأثیر می‌پذیرد و کاهش می‌یابد. یکی دیگر از آسیب‌هایی رایج میان ورزشکاران، پیچ‌خوردگی مفصل است و زمانی رخ می‌دهد که سطح، اصطکاکی بیشتر یا کمتر از حد لازم داشته باشد.

تعامل دینامیکی بین پای ورزشکار و سطح پیچیده است و ویژگی‌های بسیاری دارد؛ مثلاً حرکت روی سطحی که زبری بالایی دارد، سخت است و برای ورزشکار مشکل جدی ایجاد می‌کند؛ درحالی‌که سطح نرم که زبری کمی دارد، حرکت ورزشکار را آسان می‌کند؛ اما از جنبة ایمنی، به‌دلیل عدم برخورداری از اصطکاک لازم، سطح مناسبی نیست.

نفوذپذیری شاخص مهمی برای سطوح ورزشی خارجی است؛ زیرا در صورت وجود آب روی سطح، خاصیت اصطکاک کاملاً تحت تأثیر قرار می‌گیرد که منجر به افزایش احتمال لغزش ورزشکار و ایمنی کمتر ورزش می‌شود؛ بنابراین این سطوح باید قابلیت حذف سریع و مؤثر آب را داشته باشند تا کارایی‌شان محدود نشود [5].

**انتخاب امولسیون پلیمری برای ترکیب با خرده‌لاستیک**

در این پژوهش پلیمر پلی‌استایرن (PS) در درصدهای وزنی مختلف به‌عنوان افزودنی به قیر حاوی بنتونیت اضافه می‌شود. افزایش میزان SBR/PS در قیر موجب افزایش درجه نفوذ به‌دلیل افزایش انعطاف‌پذیری و نرمی مخلوط و در نتیجه بهبود کارایی آن در دماهای کم می‌شود. حضور زنجیره‌های بلند و منعطف پلیمری باعث زیادترشدن گران‌روی و افزاش نقطة نرمی مخلوط می‌شود که کارایی بیشتر محصول در گرما را به‌دنبال دارد.

«بنتونیت» نوعی خاک رس از گروه مونت‌مورلونیت‌ها با ساختمانی کریستالی است که ترکیب پیچیده‌ای از سیلیکات‌آلومینیوم آب‌دار دارد. بنتونیت به‌عنوان پرکننده، تغلیظ‌کننده و پایدارکننده در قیر استفاده می‌شود و در ترکیب با آن، باعث کاهش چشمگیر درجة نفوذ و افزایش نسبی نقطهٔ نرمی می‌شود. کاهش درجة نفوذ، افزایش مقاومت فشاری را در پی دارد و بیشترشدن نقطة نرمی، سبب عملکرد بهتر امولسیون در دماهای بیشتر می‌شود ]6، 7 [.

* **مزایای امولسیون پلیمری**

۱. نیازی به کف‌سازی پیش از اجرا ندارد؛

۲. تک جزء، با استفاده از غلتک روی مادة پایه اعمال می‌شود؛

۳. کاراست؛

۴. به اغلب سطوح پایه، چسبندگی کامل ایجاد می‌کند؛

۵. در دماهای زیاد و کم، انعطاف پذیری و کشسانی عالی دارد؛

۶. غیررساناست؛

۷. در برابر نفوذ رطوبت مقاوم است؛

۸. در برابر تابش خورشید مقاوم است و اشعة فرابنفش را جذب می‌کند؛

۹. توانایی تنفس دارد زیرا به بخار آب اجازة خروج می‌دهد [6].

**ویژگی‌های محصول**

ویژگی‌های ‌این کفپوش لاستیکی که به‌عنوان سطح ورزشی استفاده خواهد شد، به قرار زیر است:

۱. هزینة بسیار کم تهیة ضایعات لاستیک از انبار لاستیک‌های فرسوده و آلایندة محیط زیست؛

۲. هزینة بسیار کم امولسیون پلیمری استفاده‌شده به‌عنوان تقویت‌کننده در مقایسه با پلی‌اورتان که اغلب برای تهیة سطوح لاستیکی استفاده می‌شود؛

۳. خواص مکانیکی مطابق با استانداردهای جهانی؛

۴. مقاومت در برابر گرمای هوا، باران و اشعة فرابنفش؛

۵. قابلیت اجرا برای فضاهای ورزشی سربسته و روباز؛

۶. ظرفیت مناسب جذب شوک برای محافظت از ورزشکاران در برابر آسیب؛

۷. سهولت نصب و استفاده؛

۸. امکان بازیافت و پرداخت سطوح پس از استفادة طولانی‌مدت؛

**مزایای محصول**

مهم‌ترین برتری کفپوش لاستیکی تولید‌شده به این روش در مقایسه با سطوحی که در آن‌ها از پلی‌اورتان به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود، کاربری آسان آن است. آماده‌سازی کفپوش‌هایی که در آن‌ها از پلی‌اورتان استفاده می‌شود، دشوار است؛ زیرا این ماده به‌سرعت سفت می‌شود و این موضوع به‌خصوص در فضاهای باز و در فصل تابستان، آزادی عمل کاربران را سلب می‌کند.

**خواص مکانیکی لاستیک**

* **مقاومت کششی**

به‌عنوان توانایی ماده و میزان مقاومتش در برابر نیروی کششی خارجی تعریف می‌شود. مقاومت کششی را می‌توان از رابطة زیر محاسبه کرد ]8[:

|  |  |
| --- | --- |
| (۱-۲) |  |

در این رابطه:

: نیروی واردشده به نمونه برحسب *N*

*: سطح مقطع نمونه برحسب mm2 است.*

* **سختی**

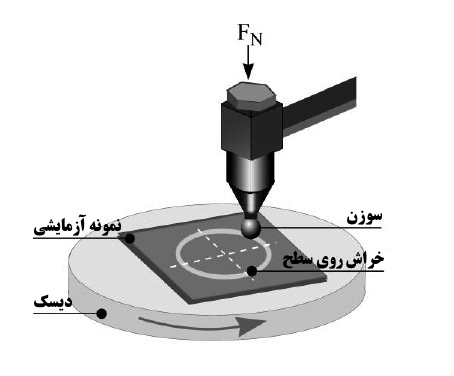
سختی را می‌توان مقاومت سطح یک ماده در برابر نفوذ تعریف کرد. یکای رایج در سنجش میزان سختی، Shore است. سختی را می‌توان با اندازه‌گرفتن عمق نفوذ ناشی از یک توپ صلب تحت بار متحرک یا بار استاتیک محاسبه کرد. این نفوذ با تبدیل به درجة سختی در مقیاسی از 0 تا 100 بیان می‌شود که درجة بین‌المللی سختی (IRHD) نامیده می‌شود. این مقادیر مدول الاستیسیتة لاستیک را نشان می‌دهند و مقدار 100، نشان‌دهندة این است که لاستیک دارای مدول الاستیسیته بی‌نهایت است [9].

سختی لاستیک با معیارهای زیر اندازه‌گیری می‌شود:

* Shore A که رایج‌ترین یکای سختی است و با مقیاس IRHD مطابق است؛
* Shore D که برای بیان سختی لاستیک‌های سخت، مانند آبنیت و پلاستیک استفاده می‌شود؛
* Pussy & Jones که در کاربردهای گسترده‌ای استفاده می‌شود.
* **مقاومت سایشی**

سایش، آسیبی است که در نتیجة از بین رفتن مواد بر روی سطح کامپوزیت در اثر حرکت نسبی اجسام مجاور هم، ایجاد می‌شود. سایش نقش مهمی در طول عمر محصولات و قطعات ساخته‌شده ایفا می‌کند [1۰] و زمانی رخ می‌دهد که یک سطح ناهموار بر سطح دیگری بلغزد. خراشیدگی سطح به‌شکل براده‌های جداشده از آن بروز می‌کند [1۱].

برای محاسبة ضریب اصطکاک و مقاومت سایشی مواد از دستگاه «سوزن روی دیسک» استفاده می‌شود که بر اساس استاندارد G99-2005 کار می‌کند. این دستگاه به یک ماشین‌حساب الکترونیکی متصل است که شاخص‌های بررسی مدل، شامل سرعت نمونه، زمان، تعداد چرخش و دما را اندازه‌گیری می‌کند. در این آزمایش، درحالی‌که دیسک می‌چرخد، سوزن دستگاه بر روی نمونه قرار می‌گیرد تا نیروی مشخصی را بر سطح نمونه اعمال کند. طرح‌واره‌ای از این دستگاه در شکل 1 نشان داده شده‌است. در این آزمایش، ضریب اصطکاک مستقیماً توسط دستگاه محاسبه می‌شود. برای تعیین میزان سایش، باید براده‌های ازدست‌رفته از سطح نمونه و مقدار آسیب واردشده را اندازه گرفت. برای این منظور، وزن نمونه بعد از آزمایش با وزن نمونة اولیه مقایسه می‌شود [1۳،1۲].



**شکل 1: طرح‌وارة دستگاه سوزن روی دیسک**

**روش آزمایش**

**مواد مصرفی**

* **قیر**

در این پژوهش از قیر ۷۰/۶۰ محصول پالایشگاه نفت جی اصفهان با درجةنفوذ ۸/۶۷ و نقطة نرمی ۳/۴۹ به‌عنوان پایة امولسیون استفاده کردیم.

* **پلی‌استایرن (PS)**

مشخصات پلی‌استایرن خریداری‌شده از پتروشیمی تبریز در جدول 1 آمده‌است.

**جدول 1: مشخصات پلی‌استایرن استفاده‌شده**

|  |  |
| --- | --- |
| **نوع** | ۱/۱۵۴۰ |
| **مونومر باقی‌مانده (در میلیون)** | ۵۰۰ |
| **شاخص جریان مذاب (MFI)** | ۹-۱۳ |
| **نقطهٔ نرمی ()** | ۵/۸۹ |
| **دمای انتقال شیشه‌ای ()** | ۱۰۰+ |
| **مقاوت کششی (MPa)** | ۴۵ |
| **ازدیاد طول تا پارگی (٪)** | ۲ |
| **مدول خمشی (MPa)** | ۳۰۰۰ |

### 

* **بنتونیت**

ترکیب‌درصد بنتونیت استفاده‌شده به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کنندة قیر پایة امولسیون در جدول 2 آمده‌است.

**جدول 2: ترکیب‌درصد بنتونیت مصرفی**

|  |  |
| --- | --- |
| **SiO2** | ۰۶/۷۰ |
| **Al2O3** | ۲۲/۱۴ |
| **Fe2O3** | ۰۴/۳ |
| **Na2O** | ۱۷/۲ |
| **K2O** | ۳۹/۰ |
| **MgO** | ۴/۲ |
| **CaO** | ۶۸/۱ |
| **L.O.I** | ۳۲/۵ |

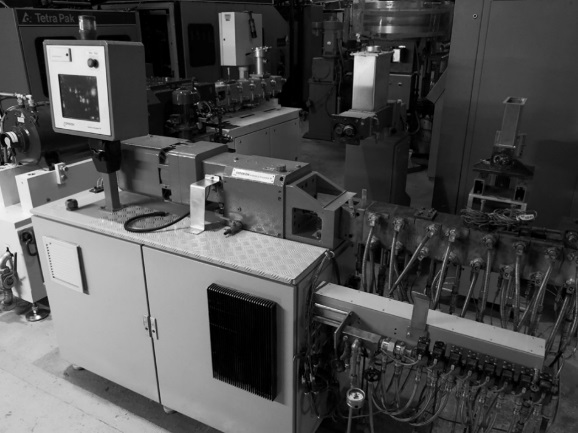
* **لاستیک خردشده**

لاستیک خردشده از کارخانة لاستیک در استان یزد به‌صورت رنگ‌دانه‌های سیاه حاصل فرایند بازیافت لاستیک‌های فرسوده به‌دست آمد. فرایند غربالگری لاستیک خردشده به‌منظور به‌دست‌آوردن ریزدانه‌هایی به‌قطر mm 2 با استفاده از دستگاه غربال ارتعاشی انجام شد.

**آماده‌سازی امولسیون پلیمری**

برای آماده ساختن آمیختة پلیمری SBR/PS، نخست دانه‌های پلی‌استایرن را با ریزدانه‌های لاستیک آسیاب‌شده، با نسبت‌های وزنی ۷۰/۳۰، ۵۰/۵۰ و ۳۰/۷۰ مخلوط کردیم. این کار به‌کمک دستگاه هم‌زن برقی با سرعت برشی 1000 دور در دقیقه انجام شد که برای ترکیب‌کردن مواد مناسب بود. هرچه سرعت چرخش بیشتر باشد، مخلوط همگن‌تری به‌دست می‌آید.

سپس در فرایند اکسترود، توسط دستگاه Twin-Screw Extruder مدل ZSK25 (شکل 2) ریزدانه‌های آمیختة پلیمری تهیه شد.



**شکل 2: دستگاه اکسترودر برای تهیة ریزدانه‌های آمیختة SBR/PS**

برای بهبود اختلاط با قیر پایة امولسیون و ایجاد شبکة پایدار امولسیونی، بهتر بود ریزدانه‌های آمیختة SBR/PS به پودر تبدیل شوند؛ بنابراین، نیازی به آزمودن مش‌های متفاوتی از لاستیک خردشده برای دست‌یابی به نتیجة بهینه نبود و از ریزدانه‌هایی به‌قطر mm ۲ استفاده شد.

برای پودرکردن مخلوط لاستیک خردشده و پلی‌استایرن، ابتدا ریزدانه‌ها به‌وسیلة نیتروژن مایع ترد و شکننده شدند و سپس در هم‌زنی با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه ریخته شدند تا پودر شوند.

روش مناسب برای اختلاط قیر و پلیمر، بر اساس اندازة پلیمر انتخاب می‌شود. مهم این است که این اختلاط به‌صورتی انجام شود که پلیمر در فاز آروماتیک قیر، متورم یا محلول شود و پس از اختلاط مناسب در دمای مناسب به‌شکل یکنواخت در قیر پراکنده شود.

مجموعة مخلوط‌کن قیر پایة امولسیون و پلیمری که استفاده کردیم شامل یک مخلوط‌کن با سرعت زیاد و مجهز به سامانة ۶۱۰۰ ‌Polytron با تیغة ۲/۳۰۳۰ PT-DA، همراه مخلوط‌کن Polymix تولید شرکت Kinematica با هم‌زن چهارپرة معمولی با قابلیت گردش ۵۰۰ دور در دقیقه بود (شکل ۳).



**شکل** Error! No text of specified style in document.**: دستگاه مخلوط‌کن ۱۶۰۰Polytron**

ابتدا قیر پایة امولسیون تا دمای ۱۷۰ گرم شده و سپس مخلوط پودرشدة خرده‌لاستیک و PS در تمام نسبت‌های مورد نظر به قیر اضافه و عمل اختلاط با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه انجام شد. برای دستیابی به ترکیبی همگن، این فرایند به‌مدت ۷۰ دقیقه به‌صورت پیوسته ادامه داشت که در ۴۰ دقیقة نخست، فقط پلیمرها با قیر مخلوط شدند و در ۳۰ دقیقة بعد، در حین اختلاط قیر و پلیمر، بنتونیت به‌میزان ۴٪ وزنی قیر به‌تدریج به مخلوط اضافه شد.

**آزمایش پایداری**

به‌منظور کنترل پایداری پلیمر و اطمینان‌یافتن از عدم ته‌نشینی آن در قیر، به‌خصوص در قیرهای حاوی آمیختة پلیمری، از آزمایش پایداری استفاده می‌شود.

با اضافه‌شدن پلیمر به قیر، تعادل فازها از بین می‌رود. به‌عبارتی دو گروه «پلیمر» و «آسفالتن» موجود در ترکیب، برای حل‌کردن فاز «مالتن» قیر با هم رقابت می‌کنند و در صورت ناسازگاری در جذب مالتن، آسفالتن قیر و پلیمر، دو فاز جدا را تشکیل می‌دهند و مخلوطی غیریکنواخت ایجاد می‌کنند.

در آزمایش پایداری، مطابق ASTM D-5976، نمونه‌های قیر حاوی پلیمر درون استوانه‌ای به‌قطر mm ۳۲ و ارتفاع mm ۱۶۰ریخته می‌شوند و سپس به‌مدت ۴۸ ساعت به‌صورت عمودی داخل یک گرم‌کن با دمای ۱۶۳ قرار می‌گیرند. بعد از آن به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۵- نگه داشته می‌شوند. در انتها، نمونه‌های سردشده در ارتفاع استوانه به سه قسمت مساوی بریده می‌شوند.

اگر اختلاف نقاط نرمی قسمت بالایی و پایینی نمونه‌ها، کمتر از ۵/۲ باشد، نمونه «پایدار» ارزیابی می‌شود.

**قالب‌گیری**

برای قالب‌گیری کف‌پوش، پس از اتمام فرایند اختلاط، مخلوط را در قالب آهنی مربع‌شکلی به ابعاد ۲cm ۳۰×۳۰ ریختیم و سپس سطح مخلوط را برای به‌دست‌آوردن سطحی صاف، تراز کردیم. قالب را به‌مدت ۵ ساعت در دمای اتاق، زیر وزنه‌ای ۱۰ کیلوگرمی قرار دادیم.

بعد از ۵ ساعت، وزنه برداشته شد و قالب بدون پوشش به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت.

**یافته‌ها و نتایج**

**نمودار 1: نتایج آزمون پایداری ذخیره‌سازی**

**جدول 4: مشخصات ترکیب‌های مختلف آمیخته**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **گران‌روی (cst)** | **درصد بنتونیت افزوده به قیر** | **درصد قیر پایة امولسیون** | **نسبت وزنی SBR/PS** | **شمارة آمیخته** |
| ۶۰۸ | ٪۴ | ٪۲۰ | ۷۰/۳۰ | ۱ |
| ۸۸۴ | ٪۴ | ٪۲۵ | ۲ |
| ۱۲۷۱ | ٪۴ | ٪۳۰ | ۳ |
| ۸۶۱ | ٪۴ | ٪۲۰ | ۵۰/۵۰ | ۴ |
| ۱۱۶۹ | ٪۴ | ٪۲۵ | ۵ |
| ۱۶۵۶ | ٪۴ | ٪۳۰ | ۶ |
| ۹۴۰ | ٪۴ | ٪۲۰ | ۳۰/۷۰ | ۷ |
| ۱۳۳۵ | ٪۴ | ٪۲۵ | ۸ |
| ۲۰۷۶ | ٪۴ | ٪۳۰ | ۹ |

**نمودار 2: تأثیر نسبت وزنی امولسیون پلیمری بر مقاومت کششی لاستیک**

**نمودار 3: تأثیر نسبت وزنی امولسیون پلیمری بر میزان سختی لاستیک**

**نمودار 4: تأثیر نسبت وزنی پلیمر بر مقاومت سایشی لاستیک**

**نتیجه‌گیری**

در این پژوهش تأثیر ترکیب‌های مختلف آمیختة پلیمری SBR/PS بر قیر حاوی نانو رس بنتونیت، به‌عنوان امولسیون پلیمری، بررسی شد. سه ترکیب مختلف ۳۰/۷۰، ۵۰/۵۰ و ۷۰/۳۰ از پلی‌استایرن و استایرن بوتادین رابر به‌عنوان آمیختة پلیمری با سه نسبت وزنی ۲۰، ۲۵ و ۳۰٪ از امولسیون ترکیب شد که در نهایت بر اساس نتایج آزمایش‌ها، آمیختة ۳۰/۷۰ از SBR/PS به‌عنوان آمیختة بهینه برای تولید لاستیک قابل استفاده به‌عنوان سطوح ورزشی معرفی شد.

**مراجع**

1. Mohammad H. Al-Maamori, Effect of Shells Powder on Scorch and Cure Time of Elastomer Material, Journal of Mosul University, Vol. 3, Iraq, 2013.

2. Vidula Swami, Use of Waste Plastic in Construction of Bituminous Road, College of Civil Eng. Kolhapur, Maharashtra, 2003.

3. Avraam I. Isayev, Recycling of Rubbers, University of Arkon, Ohio, 2005.

4. Cardno Chem Risk Pittsburgh, PA Review of the Human Health & Ecological Safety of Exposure to Recycled Tire Rubber Found at Playgrounds and Synthetic Turf Fields, 2013.

5. Toby Mark Singleton, Characterization of Impact Absorbing Asphalt, University of Nottingham, Ph.D. thesis, 2000.

6. Brushbond TI Flexicoat Specification Elastomer Acrylic Polymer Based Solar Reflective and Insulting Coating.

7. Anchor for Wear, Flexi-Coat Exterior Latex - 3600 Series

8. Eckold G., Design and Manufacture of Composite Structure, McGraw-Hill Book Company, England, 2000.

9. V.C. Chandrasekaran, Essential Rubber Formulary. William Andrew Publishing, Norwich, 2007.

10. Theo Mang, Wilfried Dresel, Lubricants and Lubrication, Second Edition, John, 2007.

11. B.C. Majumdar, Introduction to Tribology of Bearings, Second Edition, S. Chand & Company Ltd., 2008.

12. Khan and Mohammad Sohail, Friction, Wear and Mechanical Properties of Electron Beam Modified PTFE-Based Rubber Compounds, Technical Universität Dresden, 2009.

13. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, 2000.