

بهبود خواص قیر با مواد پلیمری

Archive of SID

Improving Bitumen Properties by Polymeric Materials

محمدرضا صدرالدینی مهرجردی^۱، علی اکبر یوسفی^{۲*}، امیر کاووسی^۱

۱- تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۱۱۱/۱۴۱۱۵، ۲- تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۰/۵/۲۲ پذیرش: ۸۱/۲/۲۵

چکیده

اصلاح کننده‌های قیر موادی هستند که یا از پیش به قیر افزوده شده یا در حین تهیه مخلوطهای آسفالتی به واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت اضافه می‌شوند تا خواص یا عملکرد قیر دلزای افزودنی یا مخلوط آسفالتی ساخته شده با آن را بهبود بخشند. پلیمرها مهمترین خانواده اصلاح کننده‌های قیرند. پودر لاستیک بازیابی شده بطور وسیعی در اصلاح قیر بکار می‌رود. از مزایای افزودن پودر لاستیک به قیر می‌توان افزایش مقاومت مخلوطهای آسفالتی در مقابل یخ زدن، کاهش صدای ناشی از ترافیک و کاهش آلاینده‌های محیط زیست را نام برد. در این پژوهش، اثر توام پلیمرهای مختلف، پودر لاستیک و روغن H.V.S. در قیر بررسی شده است. افزودن پودر لاستیک توام با پلی اتیلن موجب افزایش خاصیت کشسانی و برگشت پذیری قیر در دماهای بالا و متوسط و کاهش شکستگی آن در دمای پایین می‌شود. کاربرد پلی اتیلن سبک و پودر لاستیک در قیر موجب بهبود عملکرد قیر در شرایط مختلف آب و هوایی شده و درجه کارایی آن را افزایش می‌دهد. افزودن روغن H.V.S. به آمیزه‌های قیر پلیمری موجب افزایش سازگاری پلی اتیلن با قیر شده و نقطه شکست قیر را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده‌های قیر، پلی اتیلن، پودر لاستیک، قیر پلیمری، روغن H.V.S.

Key Words: bitumen modifiers, polyethylene, crumb rubber, polymeric bitumen, H.V.S. oil

ما از نوع بتن آسفالتی است. بخش مهمی از پژوهشهای صورت گرفته در جهان پیرامون راه معطر ف به جزء قیر است، زیرا این جزء علی‌رغم درصد وزنی کم (۴ تا ۶ درصد) در قوام و استحکام پوشش جاده در مقابل عوامل فرسایشی نقش بسیار مهمی دارد و هرگونه بهبود خواص قیر در نهایت به اصلاح پوشش راه خواهد انجامید [۱-۳].

مقدمه

جزء مهم و تعیین کننده ساختمان یک راه آسفالتی قیر است و تنها با آگاهی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی قیر امکان شناخت رفتار صحیح و در صورت لزوم اصلاح آن به کمک افزودنیها فراهم می‌شود. به دلیل خصوصیات جالب این ماده و همچنین ارزانی و فراوانی آن بیشتر روسازی‌های اجرا شده و در دست طراحی در کشور

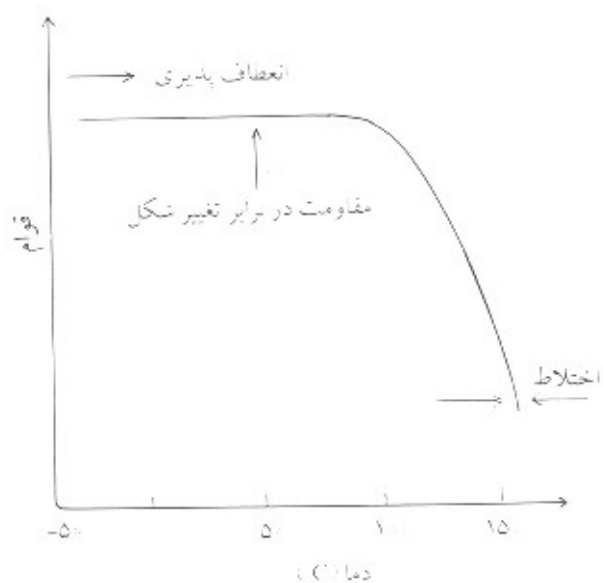
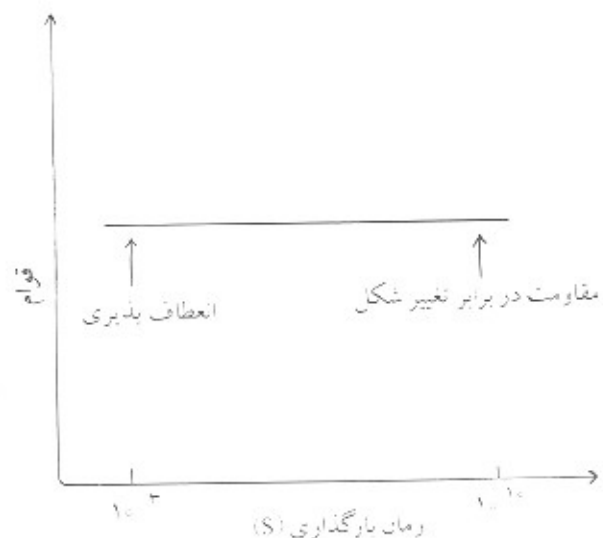
* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: A. Yousefi@proxy.ipi.ac.ir

یک قیر ایده ال باید در دمای معمولی رفتاری ثابت داشته باشد و در دمای اختلاط به ماده‌ای بسیار روان تبدیل شود. یک قیر اصلاح نشده رفتار ایده‌ال نشان نمی‌دهد و در برابر تغییرات دما دچار تغییرات پیوسته می‌شود [۱].

استفاده از برخی پلیمرها بهبود شایانی در رفتار ویسکوالاستیک قیر پدید می‌آورد. این مواد خاصیت کشسانی (Elasticity) را حفظ می‌کنند. لازمه تغییرات یاد شده پدید آمدن یک شبکه پلیمری در داخل قیر است، یعنی تا زمانی که این شبکه بوجود نیامده باشد در خصوصیات قیر بهبودی مشاهده نمی‌شود [۱]. باید توجه داشت که کارایی پلیمر به مقدار زیادی به وسیله مقدار آسفالتن در قیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۵]. همچنین، با وجود تعدد پلیمرهای موجود تعداد نسبتاً کمی از آنها برای اصلاح قیر مناسبند [۶].

کاربرد پلیمرها در مخلوطهای آسفالتی این نتایج سودمند را بدنبال دارد [۷، ۸]: دستیابی به مخلوط نرمتر در دماهای پایین بهره برداری و کاهش ترک خوردگی، دستیابی به مخلوط سخت تر در دماهای بالا و کاهش خط افتادگی (شیاردار شدن)، کاهش گرانیروی در دماهای ساخت و اختلاط، افزایش مقاومت و استحکام مخلوط، بهبود مقاومت در برابر سایش مخلوط، کاهش کنده شدن مصالح، کاهش ترکهای انقباضی روسازی، بهبود تراکم و اجراء. تسریع در سخت و سفت شدن مخلوطهای نرم، بهبود مقاومت در برابر خستگی مخلوط، تقویت قیر و آسفالت، امکان کاربرد سنگدانه‌های ضعیف در مخلوطهای آسفالتی، ایجاد لایه ضخیمتر قیر روی سنگدانه‌ها، بهبود چسبندگی و کاهش عریان شدگی (Stripping) مصالح، کاهش بیرون زدگی (Bleeding) قیر، کاهش ضخامت لایه رویه‌های آسفالتی، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، بهبود کلی عملکرد روسازیه‌ها. در نهایت، پلیمر به عنوان یک جایگزین شونده قیر بحساب می‌آید. بطور کلی، پلیمرهای مورد استفاده در صنعت راهسازی به چهار گروه الاستومرها (لاستیکها)، پلیمرهای گرمانرم، الاستومرهای گرمانرم و پلیمرهای گرماسخت تقسیم می‌شوند که توضیح آنها خارج از حیطه این مقاله است [۹-۱۴].

قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک خواص منحصر به فردی دارند، زیرا آنها از یک فاز مایع و ذرات متورم شونده تشکیل می‌شوند. ماهیت فرایند واکنش بین قیر و پودر لاستیک بطور کامل شناخته شده نیست. دومکانیسم اصلی متورم شدن و تخریب خصوصیات قیر رانحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۵]. اصلاح کننده پودر لاستیک (Crumb Rubber Modifier) در طی تورم و انتشار در قیر در زمان واوولکانیشن و واپلیم شدن جذب قیر می‌شوند. این رفتار فاز مایع را سخت‌تر و کشسانتر می‌سازد. متورم شدن ذرات لاستیک، شبکه قیر را به وسیله



شکل ۱- رفتار قیر ایده ال [۱۶]

پلیمرها مهمترین خانواده اصلاح کننده‌های قیرند و بسته به نوع آنها آثار مثبتی روی خواص و عملکرد دمای بالا و پایین قیر مانند مقاومت در برابر شیاردار شدن (Rutting) و ترکهای گرمایی دارند [۴]. پلیمرها حساسیت گرمایی قیر را، بویژه در دمای بالا که قیر جاری می‌شود، کاهش می‌دهند تا قیر دیرتر روان شود. همچنین، این مواد مقاومت مخلوطهای آسفالتی را در برابر خستگی بالا برده و چسبندگی قیر به مصالح را افزایش می‌دهند [۱]. شکل ۱ رفتار قیر ایده ال را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج حاصل از انجام آزمایشهای قیر.

درجه کارایی (PG)	شاخص نفوذپذیری (PI)	نقطه شکست فراس (°C)	درجه نفوذ در ۲۵°C (°/mm)	نقطه نرمی (°C)	SBR۱۷۱۲ (%)	پلی اتیلن HD۳۸۴۰ (%)	پلی اتیلن HD۱۳ (%)	پلی اتیلن LF۰۴۵۰ (%)	روغن H.V.S. (%)	پودر لاستیک (%)	آمیزه
۷۰-۱۶	-۰/۶۲۵	-۷	۳۹	۵۴/۷	-	-	-	-	-	-	قیر اولیه
۷۶-۱۰	-۰/۷۰۰	-۶/۵	۳۳	۵۸/۶۵	-	-	-	-	-	-	قیر شاهد*
۸۲-۱۶	۱/۳۰	-۹/۶	۳۰	۶۲/۳۵	-	-	-	-	-	۵	۱
۷۰-۲۲	-۰/۳۵	-۱۱/۰	۴۵	۵۴/۶	-	-	-	-	۵	-	۲
۸۲-۱۰	-۰/۰۰	-۶/۲	۲۴	۶۲/۵	-	-	-	۳	-	-	۳
۷۶-۲۲	۸/۰	-۱۰	۳۲	۶۱	-	-	-	-	۵	۷	۴
۸۲-۲۲	۱/۲/۱	-۱۱/۶	۳۰	۶۷/۵	-	-	-	۳	۵	۷	۵
۸۸-۱۶	۱/۳	-۷	۲۴	۷۸	-	-	-	۴	۵	۷	۶
۸۸-۱۰	۵/۰	-۷	۲۴	۸۷/۸	-	-	۳	-	۵	۷	۷
۸۷-۲۲	۱/۰	-۱۰	۲۲	۷۰/۱۵	-	-	-	-	۵	۷	۸
۷۶-۲۲	۳/۰	-۱۱/۳	۳۱	۶۱/۸	-	۳	-	-	۵	۷	۹

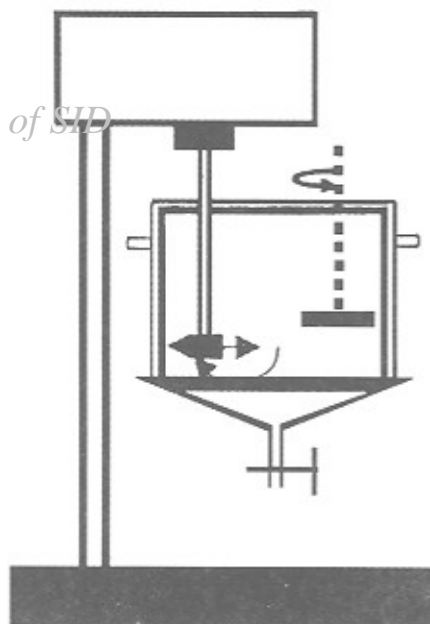
*قیر شاهد همان قیر اولیه است که در اثر اختلاط در همای بالا دارای مشخصات فوق است.

Archive of SID

جدول ۲- دانه بندی پودر لاستیک مصرف شده.

اندازه الک (mm)، شماره الک	درصد وزنی رد شده از الک
۸، ۲/۳۶	۹۹/۹۸
۱۶، ۱/۱۸	۹۹/۱
۳۰، ۰/۶	۸۰/۷۰۶
۴۰، ۰/۴۵	۵۳/۷۰۶
۵۰، ۰/۳	۳۱/۷۰۶
۸۰، ۰/۲۳	۹/۵۰۶
۱۰۰، ۰/۱۵	۳/۱۶۶
۲۰۰، ۰/۰۷۵	۰/۳۶۶
۲۰۰ >	۰/۰۲۶

Archive of SID



شکل ۲- مجموعه مخلوط کن قیر و پلیمر.

پودر لاستیک مصرفی که از مجتمع لاستیک سازی یزد تهیه شده است (داده های آزمایشگاهی) در جدول ۲، مشخصات روغن H.V.S. مصرفی (Heavy Vacuum Slops) در جدول ۳ و خصوصیات پلیمرهای مصرفی در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

دستگاهها و روشها

مخلوط کردن

مجموعه مخلوط کن قیر - پلیمر از یک مخلوط کن با سرعت برش بالا و با استفاده از یک سیستم ۶۰۰۰ Polytron مجهز به همزن PT-DA ۳۰۳۰/۲ همراه با مخلوط کن Polymix که هر سه از شرکت Kinematika و مجهز به یک همزن چهار پره معمولی است تشکیل شده است (شکل ۲). فرایند اختلاط به مدت ۷۵ دقیقه در دمای ۱۷۰ °C و مخلوط کن با سرعت برش بالا ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه و همزن چهار پره معمولی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه انجام شد.

تعیین درجه نفوذ

این آزمایش طبق استاندارد ASTM D ۵ و ۲۹۵۰ استاندارد ایران در ۲۵ °C انجام شد. در این آزمایش ظرف کوچکی از قیر در یک حمام آب ۲۵ °C به مدت یک ساعت قرار داده شد و میزان نفوذ یک سوزن استاندارد در قیر تحت بار استاندارد (۱۰۰ گرمی) به مدت ۵ ثانیه بر حسب ۰/۱mm اندازه گیری شد.

کاهش فاصله بین ذرات تحت تأثیر قرار می دهد، کمبود گر انرژی قیر را از بین برده و قیر را سخت تر می کند [۱۵].

اضافه کردن پودر لاستیک به قیر این مزایا را دارد: بهبود مقاومت در برابر خستگی مخلوطهای قیری، انعطاف بیشتر در دماهای پایین، کاهش سروصدای ناشی از ترافیک، کاهش درصد ماسه در مخلوط، کاربرد مواد زائد و لاستیکهای مستعمل انومیلها (کاهش آلانده های محیط زیست)، اصلاح ضریب کشسانی و برگشت کشان، بهبود مقاومت مخلوطهای قیری در برابر ضربه، کاهش آب پیمایی (Hydroplaning) و آب افشانی (Water Spray)، بهبود مقاومت لغزشی در طی دوره یخبندان جاده و کاهش هزینه های تمک پاشی و دیگر هزینه های نگهداری راه در زمستان (افزایش مقاومت در برابر یخ زدگی) [۱۱، ۱۵-۲۰].

تجربی

مواد

در این پژوهش قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه تهران به عنوان قیر پایه بکار برده شد که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. دانه بندی

جدول ۳- مشخصات روغن مصرفی [۲۱].

روغن	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
مواد سیر شده	آروماتیکهای نفتنی	آروماتیکهای قطبی	آسفالتن	خطا	
H. V. S.	۵۳/۶۴	۳۲/۲	۱۳/۰۱	۰/۴۴	±۰/۷۱

چگالی (g/cm ³)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	درجه تبلور (%)	شاخص جریان مذاب (MFI)*	شرکت تولید کننده	نوع	پلاستیک
۰/۹۲	۲۵۰	۴۷/۶	۴/۵	پتروشیمی بندر امام	LF۰۴۵۰	پلی اتیلن سبک (LDPE)
-	-	۷۱	۷/۲	پتروشیمی اراک	HD۱۳	پلی اتیلن سنگین (HDPE)
۰/۹۲۸	-	۵۲/۵	۴	پتروشیمی اراک	HD۳۸۴۰	پلی اتیلن سنگین (HDPE)

* واحد شاخص جریان مذاب ۱۰ min g/۱۹۰°C و وزنه ۲/۱۶ kg است.

تعیین نقطه نرمی (ساجمه - حلقه)

نقطه نرمی قیر اولیه و قیرهای اصلاح شده طبق استاندارد ASTM D ۳۶ و ۲۹۵۱ استاندارد ایران اندازه گیری شد. دو قرص قیری در دو حلقه برنجی قالبگیری شدند. پس از سرد شدن، قیر اضافی به وسیله یک کاردک داغ برداشته شد و سپس یک ساجمه استاندارد در مرکز هر قرص قیر قرار داده شد. بعد از آن آزمایش با سرعت گرمایش ۵°C/min در محیط آب انجام شد و دمایی که در آن قیر و ساجمه با انتهای دستگاه تماس پیدا کرد به عنوان نقطه نرمی قیر مربوط گزارش شد.

تعیین نقطه شکست فراس

آزمایش نقطه شکست فراس (T_{Frass}) طبق استاندارد IP ۸۰/۸۷ و ۳۸۹۷ استاندارد ایران انجام شد. ابتدا یک نمونه ۱۰/۴ ± ۰/۱ g از قیر روی یک صفحه فولادی صاف وزن شد. مجموعه صفحه و قیر به آرامی گرم شده و با حرکات ملایم، لایه نازک و یکنواختی از قیر روی صفحه فولادی شکل گرفت. سپس، آزمایش به کمک دستگاه مخصوص که در استاندارد بالا به آن اشاره شده است انجام شد. نقطه شکست فراس به صورت دمایی تعریف می شود که اولین ترک در لایه قیر روی صفحه فولادی تحت خمشهای پی در پی در حال سرد شدن ظاهر می شود. یادآور می شود که در این آزمایش جهت سرد کردن نمونه از نیتروژن مایع استفاده شد.

آزمون پایداری

بعد از انجام عمل اختلاط قیر و پلیمر به کمک دستگاه مخلوط کن

جدول ۵- مشخصات SBR مصرفی [۲۲].

نوع پلیمر	شرکت تولید کننده	استحکام کششی (kg/cm)	مقدار روغن (%)	مقدار استیرن (%)	گرانروی خام ML(۱-۴)	ازدیاد طول تا پارگی (%)
SBR۱۷۱۲	پتروشیمی بندر امام	۲۲۰-۲۶۰	۲۵/۸-۲۸/۸	۲۲/۵-۲۴/۵	۴۵-۴۹	۵۹۰-۶۹۰

مقداری از مخلوط حاصل به یک لوله آزمایش منتقل و درب آن محکم با چسب بسته شد. سپس، لوله آزمایش به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۱۶۰°C قرار گرفت. در مرحله بعد لوله آزمایش از آون بیرون آورده شد و پس از سرد شدن یک نمونه از بالا و یکی از انتهای لوله برداشته و از نمونه‌ها عکس میکروسکوپی تهیه شد. نتایج حاصل از انجام آزمایشهای رایج قیر در جدول ۱ نشان داده شده است. شاخص نفوذ (Penetration Index, PI) از معادلات زیر محاسبه شده است [۱۶]:

$$A = \frac{\log 800 - \log (25^\circ \text{C درجه نفوذ در } 25^\circ \text{C})}{T_{R\&B} - 25^\circ \text{C}} \quad (1)$$

که در آن T_{R&B} دمای نقطه نرمی است.

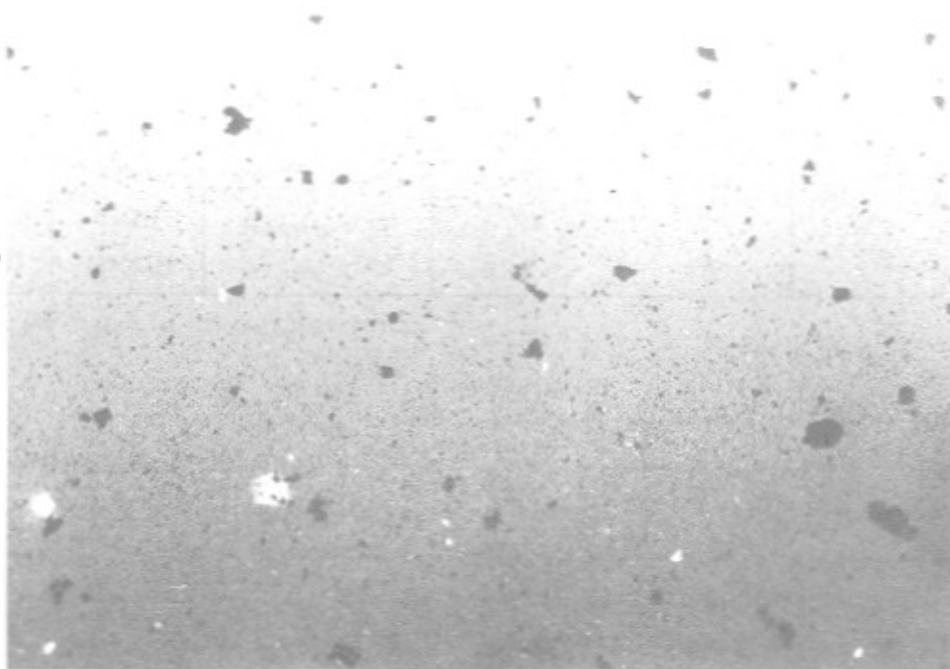
$$PI = \frac{200 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

مقدار درجه کارایی (Performance Grade, PG) از معادلات زیر بطور تقریبی معین می شود [۱۶]:

$$PG = H + L \quad (3)$$

$$H = T_{R\&B} + 20 \quad (4)$$

$$L = 2(T_{Frass}) \quad (5)$$



شکل ۳- نحوه توزیع ذرات پودر لاستیک در قیر (بزرگمایی ۱۰۰).

بر اساس نظریه کارشناسان راهسازی، هر چه شاخص نفوذ (PI) قیر به عدد ۱+ نزدیکتر باشد آن قیر برای مصارف راهسازی مناسبتر است. درجه کارایی (PG) دارای دو مقدار است. مقدار سمت چپ (H) که مثبت و حداکثر دمای قابل تحمل قیر و مقدار سمت راست (L) که منفی و حداقل دمای قابل تحمل قیر را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

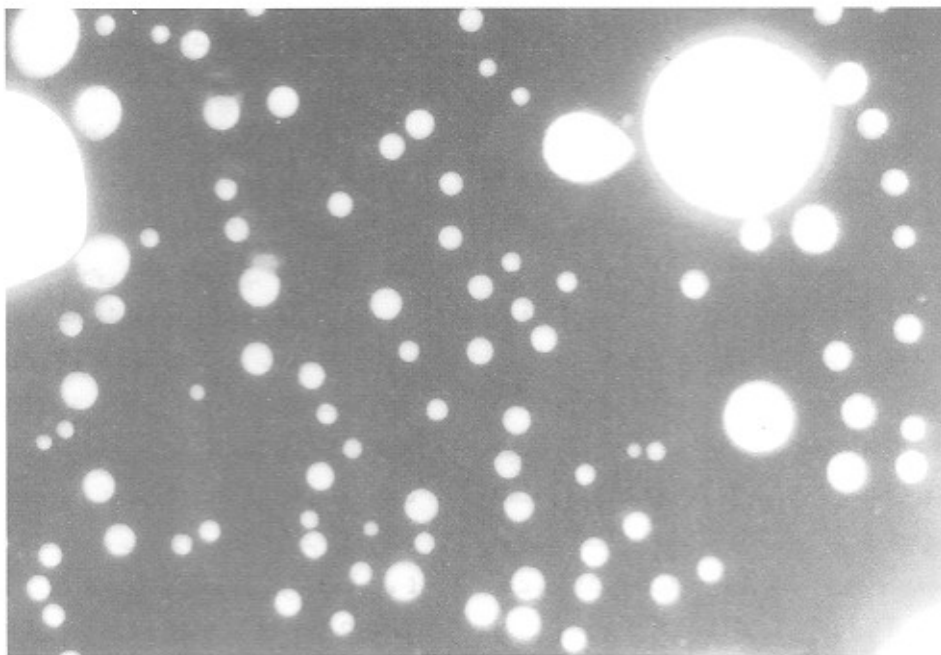
آزمونهای برآورد کارایی شامل درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس، شاخص نفوذپذیری، درجه کارایی، شکل شناسی و پایداری که به ترتیب درباره آنها بحث می‌شود.

درجه نفوذ

آزمون درجه نفوذ نمادی از قوام و پایداری قیر در برابر بار و فشار ترافیک در جاده است. کاهش درجه نفوذ یک قیر پلیمری در مقایسه با قیر اولیه می‌تواند به مقاومت بیشتر آن در دماهای بالا و متوسط ربط داده شود. در عین حال، چنین کاهش می‌تواند به معنی کاهش انعطاف پذیری در دماهای پایین و در نتیجه شکنده شدن قیر نیز باشد. تغییرات حاصل در درجه نفوذ قیر در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. در اثر عمل اختلاط در دمای بالا برخی از اجزای قیر تبخیر می‌شوند و برخی دیگر تغییر ساختار می‌دهند. این پدیده به کاهش درجه نفوذ قیر اولیه منجر می‌شود (جدول ۱ قیر شاهد). علت تهیه قیر شاهد کمی

کردن تغییرات خواص قیر اولیه بدون مواد دیگر است. افزودن ۵ درصد پودر لاستیک به قیر دوباره موجب کاهش درجه نفوذ قیر می‌شود که نشان دهنده قوام بیشتر قیر در دماهای بالا و متوسط است. افزودن ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر اثر عکس دارد و موجب افزایش درجه نفوذ قیر (از ۳۳ به ۴۵) می‌شود. در نتیجه، همان طور که از نوع گونه‌های موجود در روغن انتظار می‌رود، روغن اثر کاهش قوام قیر در گرما را دارد. افزایش ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به قیر موجب سخت تر شدن قیر شده و در نتیجه درجه نفوذ قیر (از ۳۳ به ۲۴) کاهش می‌یابد. ملاحظه می‌شود که پلی اتیلن اثر فوق العاده ای در افزایش قوام قیر در دماهای بالا دارد. آثار هر یک از این مواد بر شکنندگی قیر در سرما در بخش آزمون فراس بحث خواهد شد.

در آمیزه ۴، اضافه کردن ۷ درصد پودر لاستیک به همراه ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر موجب کاهش درجه نفوذ به اندازه یک واحد در مقایسه با قیر شاهد و افزایش دو واحد در مقایسه با آمیزه ۱ می‌شود. این مشاهدات بیانگر آن است که پودر لاستیک و روغن در این درصدها تقریباً اثر یکدیگر را در شرایط گرم خشی می‌کنند. در آمیزه ۵ برای مطالعه اثر همزمان هر سه اصلاح کننده، ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به آمیزه ۴ افزوده و ملاحظه شد که درجه نفوذ آمیزه حاصل برابر با درجه نفوذ آمیزه ۱ است. اثر مثبت پلی اتیلن روی قوام قیر در گرما با اثر هم مشاهده می‌شود. در آمیزه ۶ با افزایش یک درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ (از ۳ درصد به ۴ درصد) به آمیزه ۵، درجه نفوذ قیر به ۲۴ کاهش می‌یابد. در آمیزه ۷ اثر نوع و ساختار پلی اتیلن مطالعه شده است. با افزایش ۴



شکل ۴- نحوه توزیع ذرات پلی اتیلن I.F.0 ۴۵۰ در قیر (بزرگمایی ۱۰۰).

اثر ترافیک شیاردار شدن نامیده می‌شود. کاهش عمق شیار در گرما همیشه باعث مرغوبیت آسفالت و بهبود در امنیت رانندگی می‌شود. افزودن ۳ درصد پلی اتیلن I.F.0 ۴۵۰ به قیر نیز موجب افزایش نقطه نرمی از ۵۸/۶۵ به ۶۲/۷۵^oC می‌شود. می‌توان انتظار داشت که ۳ درصد از این نوع پلی اتیلن و ۵ درصد پودر لاستیک تقریباً اثر یکسانی بر مقاومت قیر در برابر شیاردار شدن دارند. البته، مکانیسم بازیابی کشسان (elastic recovery) سهم بسزایی در مورد قیرهای اصلاح شده با مواد لاستیکی دارد و تغییر شکل ایجاد شده را در اثر مرور زمان بطور جزئی با کامل بازیابی می‌کنند. در مورد پلی اتیلن این مکانیسم فعال نیست، در نتیجه تغییر شکل ایجاد شده باقی خواهد ماند.

اضافه کردن ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر باعث نرمتر شدن و در نتیجه موجب کاهش نقطه نرمی قیر می‌شود (آمیزه ۲). اثر روغن مخالف اثر پلیمرهای افزوده شده است، ولی در سرما از شکنندگی قیر می‌کاهد (بخش آزمون فراس). افزایش همزمان هر یک از این اجزا یک اثر همکرداری روی قیر دارد و برآیند این خواص منجر به تولید یک قیر پلیمری بهینه می‌شود. در آمیزه ۴ اثر پودر لاستیک و روغن در مجاورت یکدیگر مطالعه شده است. افزایش همزمان ۷ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر موجب افزایش نقطه نرمی قیر از ۵۸/۶۵ به ۶۱^oC می‌شود. در مقایسه با آمیزه ۱ و با توجه به آنکه اجزای سازنده روغن از خانواده اجزای سبک قیرند، می‌توان نتیجه گرفت این درصد از روغن برای جبران

درصد پلی اتیلن HD ۱۳ به جای پلی اتیلن سبک در آمیزه ۴ درجه نفوذ دوباره به ۲۴ کاهش می‌یابد. در آمیزه ۸ نوع پلی اتیلن به ۳۸۴۰ HD تغییر داده شده و ملاحظه می‌شود که درجه نفوذ قیر به ۲۲ کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که نوع و ساختار پلی اتیلنهای مطالعه شده اثر تقریباً مشابهی روی درجه نفوذ این نوع سیستم چهارتایی (قیر، پودر لاستیک، روغن و پلی اتیلن) دارد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت برهمکنشهای فیزیکی مانند جذب اجزای قیر در پلیمر در هر سه مورد مطالعه شده تقریباً یکسان است. در آمیزه ۹ اثر لاستیک مصنوعی SBR ۱۷۱۲ همراه با پودر بازیافت شده لاستیک و روغن در غیاب پلی اتیلن مطالعه شده است. ملاحظه می‌گردد که این آمیزه نیز درجه نفوذی (۳۱) در حد قیر شاهد (۳۳) دارد.

نقطه نرمی

با توجه به نتایج جدول ۱، در اثر اختلاط در دمای بالا برخی از مواد فرار و سبک قیر تبخیر می‌شوند و برخی تغییر ساختار می‌دهند که این عمل موجب افزایش نقطه نرمی قیر شاهد شده است. در آمیزه ۱، اضافه کردن ۵ درصد پودر لاستیک به قیر موجب افزایش نقطه نرمی قیر به اندازه ۸^oC شده است. از آنجا که نقطه نرمی نمادی از دمای است که قیر تحت یک فشار معین روان می‌شود، هرچه روانی قیر در دمایی بالاتری اتفاق بیفتد مقاومت قیر و در نتیجه مخلوط آسفالتی ساخته شده از آن در برابر تغییر شکل دائمی یا پلاستیک بیشتر می‌شود. تغییر شکل دائمی پوشش آسفالتی در اثر نیروهای وارده بر

مواد تبخیر شده تقریباً مناسب است. مقدار اضافه روغن نیز به وسیله پلی اتیلن جذب خواهد شد (آمیزه ۵).

در آمیزه ۵، اضافه کردن ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ در مقایسه با آمیزه ۴ دوباره موجب افزایش نقطه نرمی قیر می شود. در آمیزه ۶ با افزودن ۴ درصد از این پلی اتیلن دوباره نقطه نرمی افزایش می یابد. علت این امر ساختار اسفنجی شکل پلی اتیلن در قیر است [۴] که شدت ساختار و در نتیجه رفتار رئولوژیکی آن را تغییر می دهد.

در مورد آمیزه های ۷ و ۸ مخلوط کردن ۴ درصد از انواع پلی اتیلن HD۱۳ و HD ۳۸۴۰ با فرمولبندی آمیزه ۴ در مقایسه با رفتار آمیزه ۶ در شرایط گرم تغییر زیادی در قیر ایجاد نمی کند. این مشاهدات می تواند نشان دهنده قابلیت تقریباً مشابه پلی اتیلنها در جذب اجزای قیر باشد. در آمیزه ۹ به همراه پودر لاستیک و روغن ۴ درصد از SBR ۱۷۱۲ افزوده شده است. خواص این آمیزه بسیار شبیه آمیزه ۴ است. این مطلب نشان دهنده این است که لاستیک SBR ۱۷۱۲ در مجاورت پودر لاستیک بازیابی شده اثر چندانی نداشته و کیفیت قیر را بهبود نمی بخشد. اشاره می شود که مطالعه خواص رئولوژیکی قیرهای پلیمری می تواند اطلاعات دقیقتری را به دست دهد.

نقطه شکست فراس

در اثر همزدن قیر در دمای بالا و سخت تر شدن قیر شاهد، نقطه شکست فراس این قیر نسبت به قیر اولیه افزایش می یابد. با توجه به آمیزه های ۱ و ۲، اضافه کردن ۵ درصد پودر لاستیک و روغن H.V.S، هر کدام بطور جداگانه به قیر، موجب کاهش نقطه شکست فراس قیر می شود که اثر مثبت این دو ماده افزودنی را نشان می دهد. کاهش دمای فراس قیر نشان دهنده کاهش ترکیبهای گرمایی روکش آسفالتی در دماهای پایین است. عدم وجود ترک در آسفالت از رسیدن آب به زیرسازی جاده جلوگیری کرده و باعث افزایش عمر آن می شود.

اضافه کردن ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به قیر موجب افزایش نقطه شکست فراس قیر می شود. این یک نکته منفی برای پلی اتیلن است که از قابلیت زیاد پلی اتیلن در جذب اجزای نرم کننده قیر ناشی می شود. در عین حال، همراه کردن پلی اتیلن با دیگر مواد افزودنی می تواند این نقیصه را برطرف کند (آمیزه های ۵ تا ۸).

در آمیزه ۴، اضافه کردن ۷ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر، دمای شکست فراس قیر را (از ۶/۵- به ۱۳- $^{\circ}\text{C}$) کاهش می دهد. این پایینترین دمای فراس مشاهده شده برای این نوع قیر است. می توان نتیجه گرفت که این فرمولبندی بهترین قیر را برای مناطق سردسیر تولید می کند. علت این کاهش را می توان به همکرداری پودر لاستیک و اوولکانیده در اثر عمل مکانیکی همگن کننده و رها شدن مولکولهای لاستیکی با دمای انتقال شیشه ای پایین و

مولکولهای روغن با گرانی کم نسبت داد که تغییرات درصد ترکیب اجزای قیر را جبران می کنند.

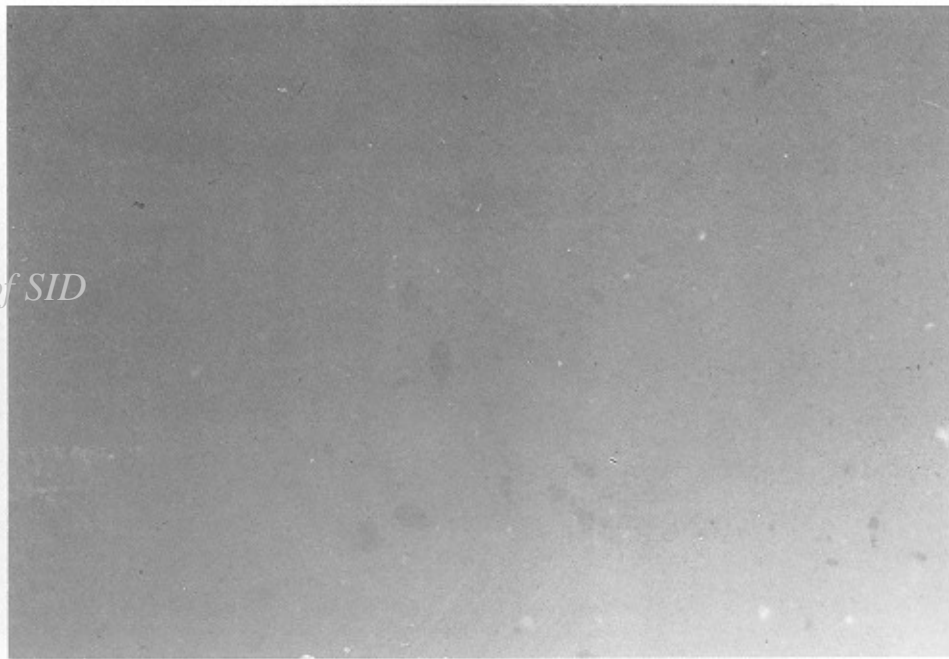
افزایش ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به همراه ۷ درصد لاستیک و ۵ درصد روغن دوباره نقطه شکست فراس قیر را افزایش می دهد (آمیزه ۵). ولی، همانطور که ملاحظه می شود، قیر در دماهای بالا مقاومت می شود. افزایش مقدار پلی اتیلن به *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (آب) را به قیر اولیه می رساند، ولی مقاومت قیر حاصل در دماهای بالا (نقطه نرمی) در مقایسه با قیر اولیه بسیار بهتر می شود. جایگزین کردن انواع دیگر پلی اتیلن در نهایت به یک فرمولبندی منجر می گردد که در آن قیر از خواص بسیار جالبی برخوردار است و در دمای فراس ۱۲- و نقطه نرمی حدود 70°C می تواند یک قیر بهینه برای شرایط آب و هوایی کشور باشد. در واقع، این قیر در شرایط گرم مانند جاده های جنوب کشور شیاردار نمی شود و در جاده های کوهستانی ترک بر نمی دارد و در شرایط کویری که در آن شرایط جوی در طی ۲۴ ساعت شدت متغیر است نیز کاملاً مقاومت می کند.

شاخص نفوذپذیری (PI)

با توجه به نتایج جدول ۱، عمل اختلاط در دمای بالا موجب افزایش PI قیر شاهد نسبت به قیر اولیه می شود (PI قیر شاهد به ۱+ نزدیکتر است). بنابر تجربه یک قیر راهسازی در شرایطی مناسب است که PI آن در حدود ۱+ باشد.

افزودن هریک از مواد افزودنی پودر لاستیک و پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به قیر، PI آن را افزایش می دهد. البته، ۵ درصد پودر لاستیک PI را کاملاً مثبت می سازد و از ناحیه منفی خارج می کند، در حالی که با پلی اتیلن تنها، PI قیر هنوز در ناحیه منفی قرار دارد. افزودن روغن H.V.S. به قیر موجب افزایش PI قیر نسبت به قیر اولیه می شود، ولی نسبت به قیر شاهد به دلیل نرم تر شدن قیر، PI قیر کاهش می یابد (آمیزه ۲). همراه کردن ۷ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد روغن H.V.S. در قیر دوباره اثر همکرداری دارد و موجب می شود که PI قیر به ۰/۲ برسد (آمیزه ۴). افزودن ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به همراه پودر لاستیک و روغن به دلیل سخت تر شدن قیر در اثر تغییر ساختاری ناشی از وجود پلی اتیلن، PI قیر را افزایش می دهد (آمیزه ۵). مقدار PI نزدیک به ۱+ بسیار جالب توجه است. اثر افزایش ۴ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به قیر به دلیل سخت تر شدن آمیزه (افزایش گرانی) PI قیر حاصل را افزایش می دهد (آمیزه ۶). تغییر نوع پلی اتیلن به HD ۱۳ (آمیزه ۷) و HD ۳۸۴۰ (آمیزه ۸) تغییرات مطلوبی را در PI قیر ایجاد می کند. در هر دو مورد می توان یک قیر راهسازی مناسب را انتظار داشت، ولی از آنجا که در سرما آمیزه ۸ رفتار

Archive of SID

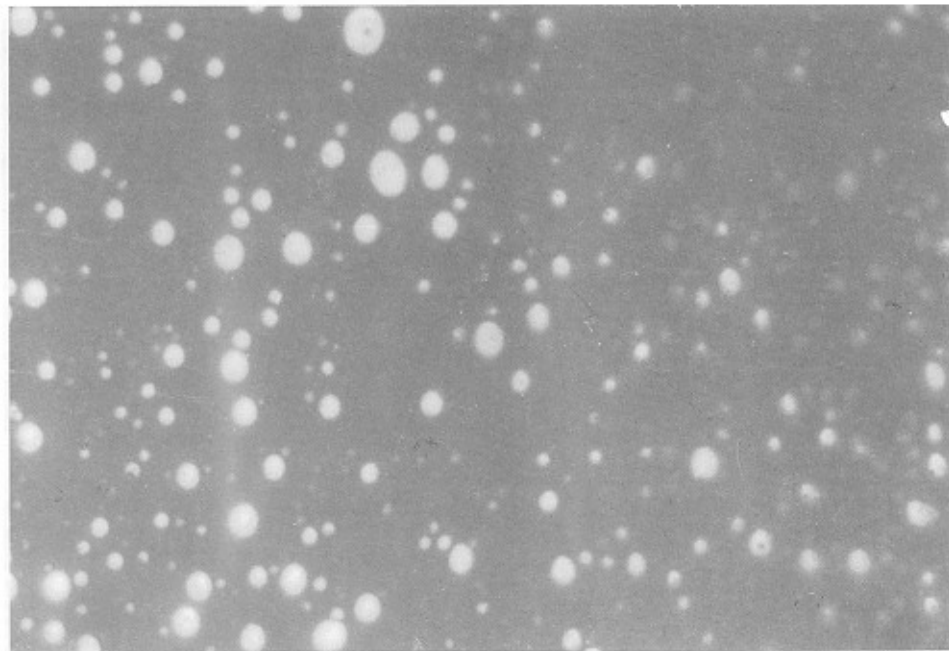


شکل ۵- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).

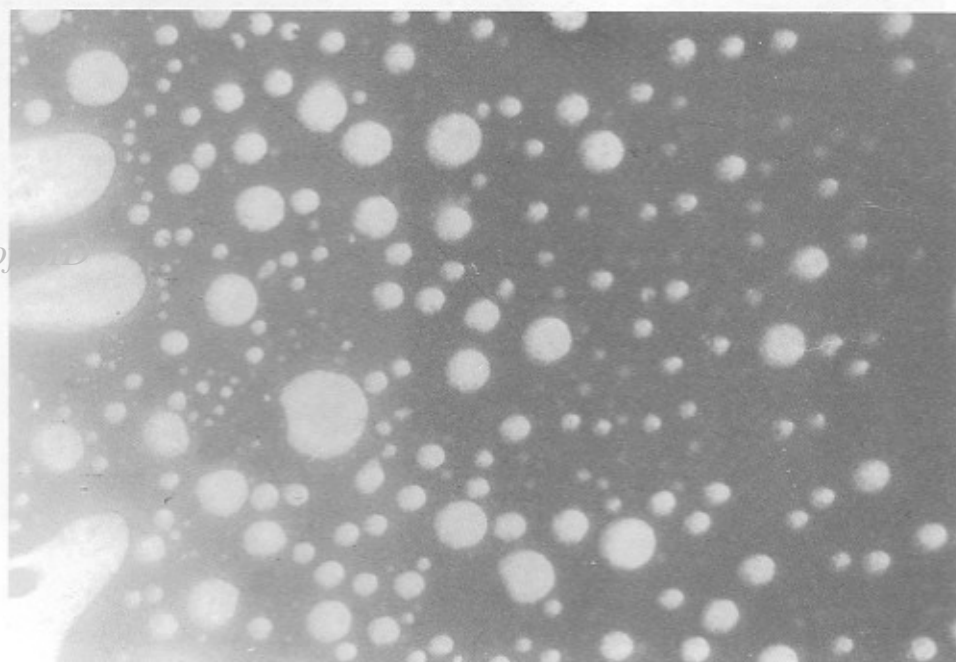
درجه کارایی (PG)

با توجه به نتایج جدول ۱، در اثر عمل اختلاط در دمای بالا، قیر شاهد نسبت به قیر اولیه سخت‌تر می‌شود و در نتیجه کارایی در دمای بالا آن افزایش می‌یابد، ولی کارایی در دمای پایین آن از ۱۶- به ۱۰°C- کاهش پیدا می‌کند. در اثر افزودن ۵ درصد پودر لاستیک به قیر، به

مناسبتی دارد، به عنوان فرمولبندی ترجیحی در راهسازی مطرح می‌گردد. در آمیزه ۹ افزودن ۴ درصد SBR ۱۷۱۲ به همراه پودر لاستیک و روغن به قیر موجب افزایش PI نسبت به قیر اولیه می‌شود. در آب و هوای سرد می‌توان از این آمیزه استفاده مناسب کرد.



شکل ۶- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۵ (بزرگنمایی ۱۰۰).



شکل ۷- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).

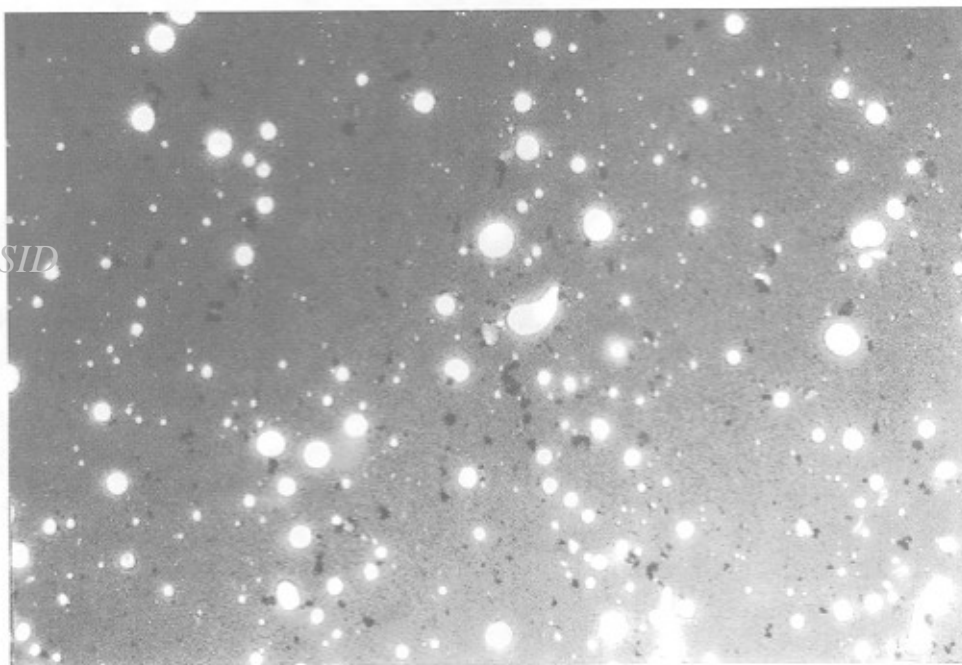
۴۵۰ LF به قیر به دلیل افزایش گرانیوی کارایی در دمای بالای قیر نسبت به قیر شاهد افزایش می یابد، ولی کارایی در دمای پایین آن تفاوتی نمی کند. با توجه به آمیزه ۴ افزودن ۷ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر شاهد کاهش می یابد، ولی کارایی در دمای پایین آن افزایش پیدا می کند. در اثر افزودن ۳ درصد پلی اتیلن

دلیل افزایش گرانیوی آمیزه حاصل، کارایی در دمای بالا و پایین قیر نسبت به قیر شاهد افزایش می یابد. در اثر افزودن ۵ درصد روغن H.V.S. به قیر به دلیل کاهش گرانیوی (نرمتر شدن قیر) کارایی در دمای بالای آمیزه نسبت به قیر شاهد کاهش می یابد، ولی کارایی در دمای پایین آن افزایش پیدا می کند. در اثر افزودن ۳ درصد پلی اتیلن



شکل ۸- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۷ (بزرگنمایی ۱۰۰).

Archive of SID



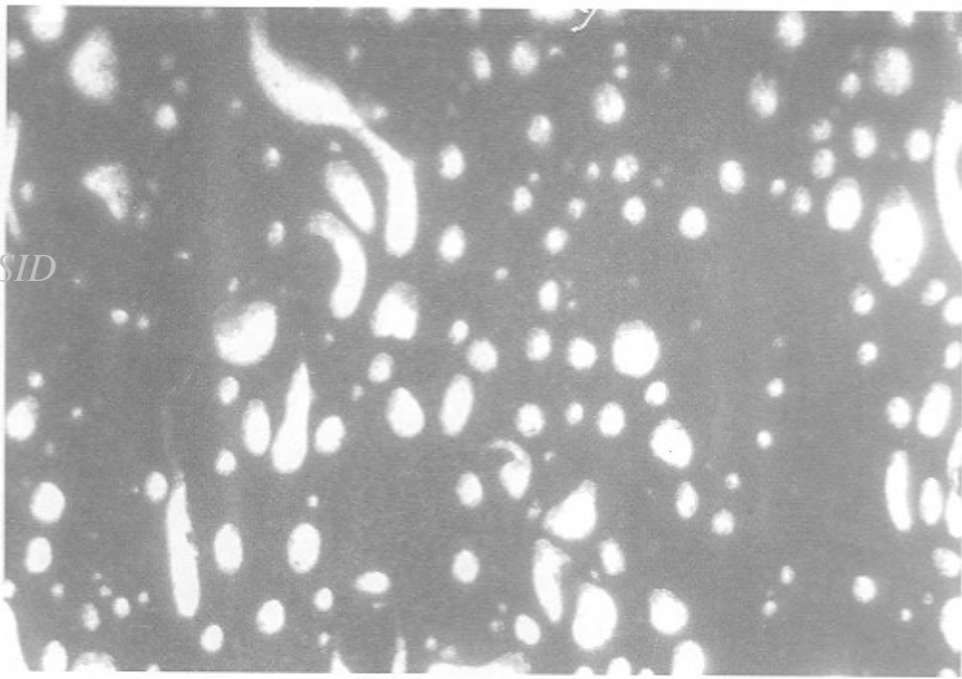
شکل ۹- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۸ (بزرگنمایی ۱۰۰).

کارایی در دمای پایین آن کاهش پیدا می کند. در آمیزه ۷، افزودن ۴ درصد پلی اتیلن HD ۱۳ به آمیزه ۴، به دلیل افزایش گرانیوی آمیزه حاصل، کارایی در دمای بالای قیر را افزایش داده، ولی کارایی در دمای پایین آن را نسبت به آمیزه ۴ کاهش می دهد. درباره آمیزه ۸ در مجاورت ۷ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد روغن با افزایش ۴ درصد

می یابد. در آمیزه ۵ افزودن ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ به آمیزه ۴، کارایی در دمای بالا و پایین آمیزه را نسبت به قیر شاهد افزایش می دهد (قیر سخت تر می شود). با توجه به آمیزه ۶، با افزایش ۱ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ (از ۳ درصد به ۴ درصد) به آمیزه ۵، به دلیل افزایش گرانیوی قیر، کارایی در دمای بالای آمیزه افزایش می یابد، ولی



شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۹ (بزرگنمایی ۱۰۰).

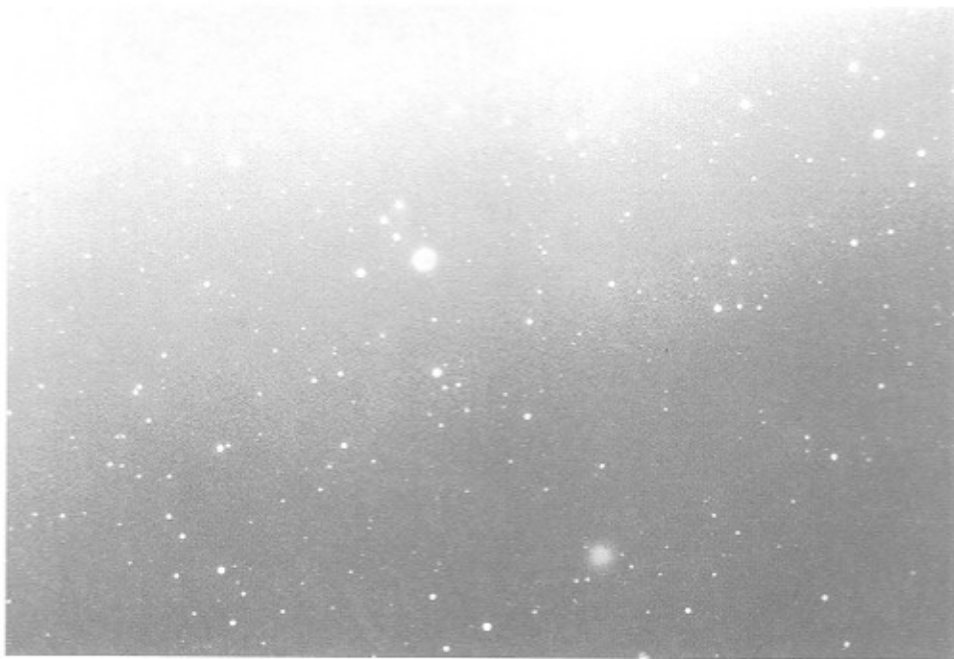


شکل ۱۱- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۳ (بزرگنمایی ۱۰۰).

وسیع درجه کارایی، این آمیزه را به یک فرمولبندی منحصر بفرد تبدیل می کند.

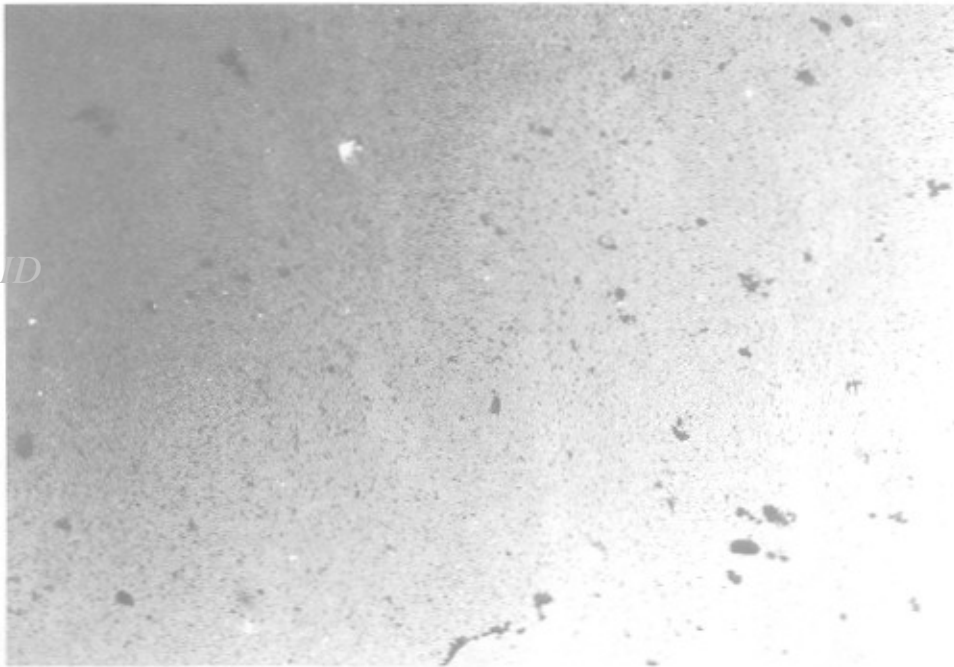
مجموع عددهای ۸۸ و ۲۲ برابر ۱۱۰ می شود که تنها قیرهای اصلاح شده دارای قابلیت ایجاد چنین محدوده وسیعی از کارایی هستند. قیرهای معمولی همگی محدوده کارایی زیر ۹۰ دارند.

پلی اتیلن HD۳۸۴۰ بهترین و وسیعترین درجه کارایی مشاهده می شود. اگر بتوان به نتایج حاصل از فرمولبندیهای نیمه تجربی ارائه شده اطمینان کرد، می توان نتیجه گرفت که آمیزه یاد شده تا 88°C در برابر شیاردار شدن در اثر ترافیک در شرایط استاندارد مقاوم است و تا 22°C در برابر ترکهای گرمایی مقاومت می کند. این محدوده



شکل ۱۲- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۳ (بزرگنمایی ۱۰۰).

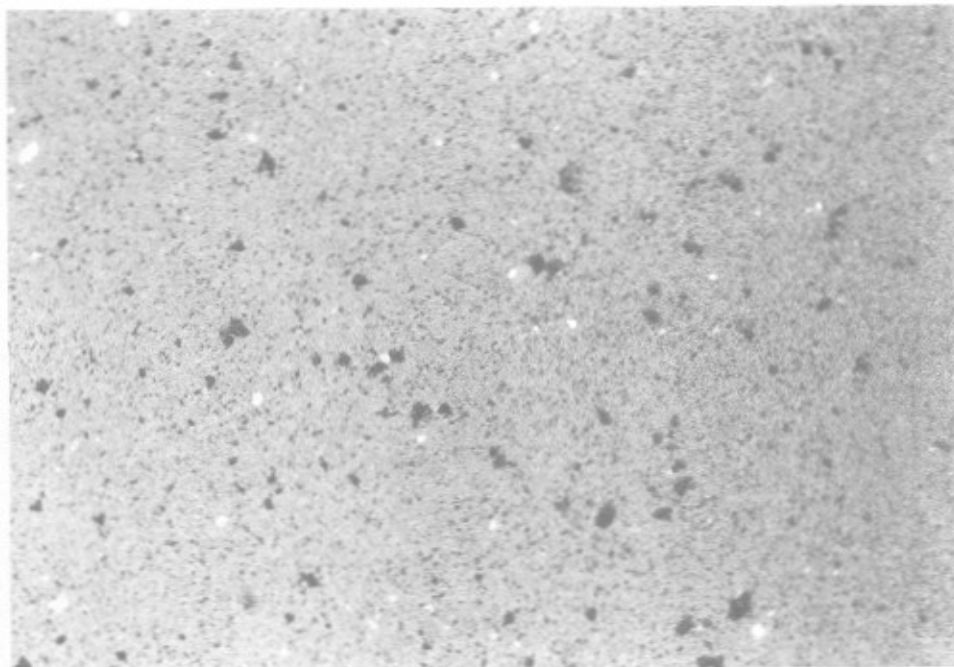
Archive of SID



شکل ۱۳- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).

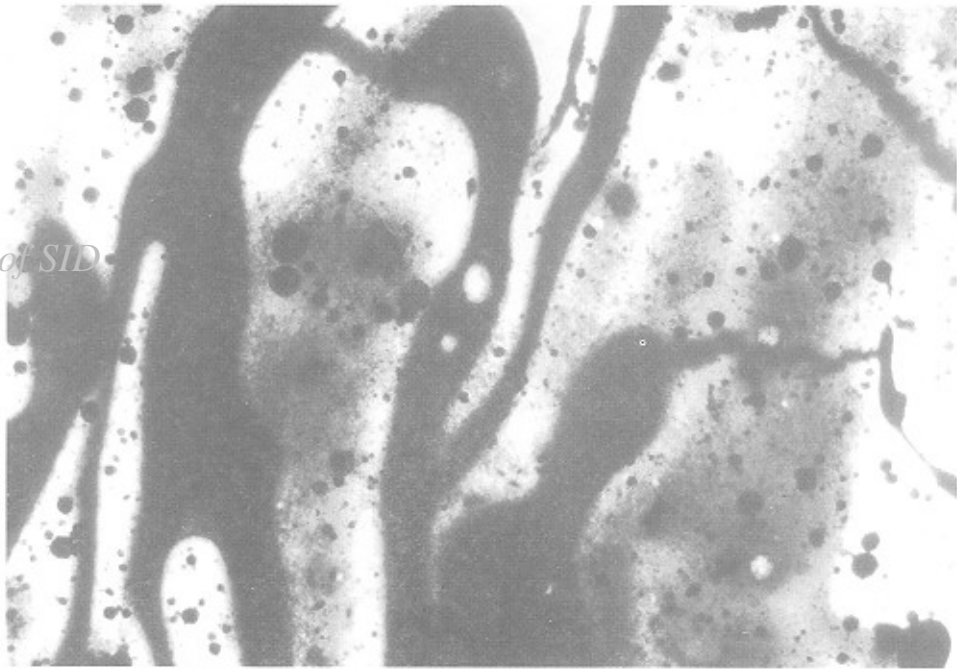
شکل شناسی
نحوه توزیع ذرات پلیمر و پودر لاستیک در قیر در شکل‌های ۳ تا ۱۰ ارائه شده است. در شکل ۳ که نحوه توزیع ۵ درصد پودر لاستیک را در قیر نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود که ذرات پودر لاستیک به خوبی در قیر پخش شده‌اند و مخلوط همگنی را

در آمیزه ۹ افزودن ۴ درصد SBR 1712 به آمیزه ۴، تغییری در درجه کارایی قیر ایجاد نمی‌کند که نشان دهنده بی‌اثری افزایش لاستیک روی کارایی قیر پلیمری است. در نتیجه، حذف این لاستیک از فرمولبندی این نوع قیرهای پلیمری توصیه می‌شود.



شکل ۱۴- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).

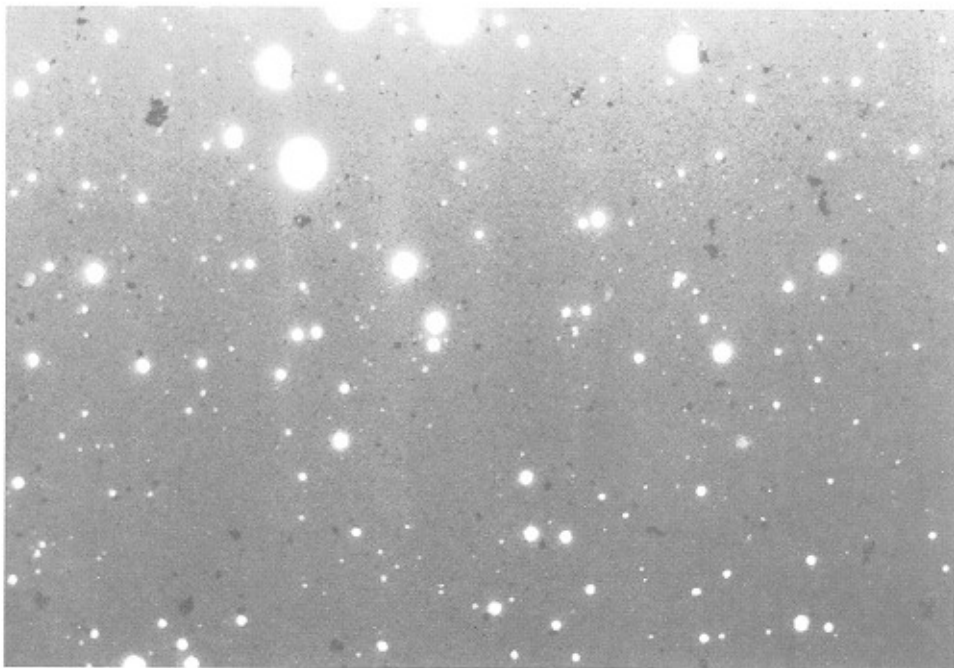
Archive of SID



شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).

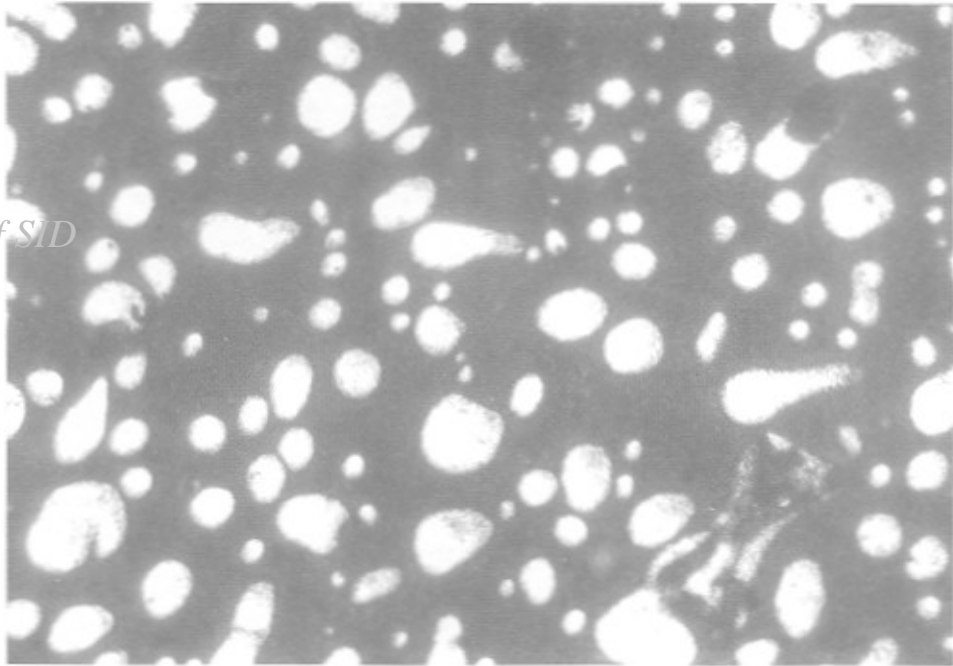
بیشتری است استفاده شود. در شکل ۴ نحوه توزیع ۳ درصد پلی اتیلن LF۰۴۵۰ در قیر نشان داده شده است. همان گونه که از این شکل پیداست، ذرات پلی اتیلن بخوبی در قیر پخش شده و مخلوط یکنواختی را بوجود آورده‌اند. البته باید توجه داشت که ذرات بزرگ در این تصویر نشان دهنده حبابهای

بوجود آورده‌اند. البته، در این شکل ذرات درشت لاستیک دیده می‌شوند که هنوز باز نشده‌اند. این ذرات احتمالاً از قسمت آج لاستیک وسایل نقلیه اند که سختی نسبتاً زیادی دارند. برای مصرف بهینه پودر لاستیک در قیر بهتر است از قسمت بدنه لاستیک که سختی کمتری دارد و دارای انعطاف پذیری



شکل ۱۶- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).

Archive of SID



شکل ۱۷- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۸ (بزرگنمایی ۱۰۰).

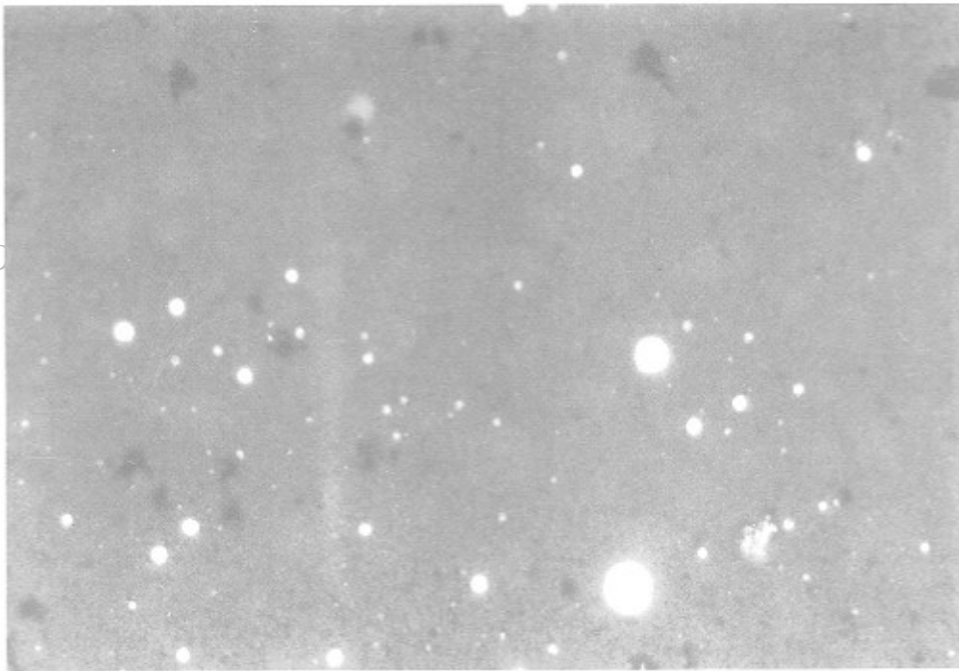
شده اند و مخلوط کاملاً یکنواخت و همگن است. یک شکل شناسی مناسب و ذرات یکنواخت می‌تواند توجه کننده خواص مطلوب مشاهده شده باشد. در مقایسه با شکل ۶ ملاحظه می‌شود که در غلظت یکسان از پلی‌اتیلنهای مختلف قطرات HD ۳۸۴۰ با وجود شاخص جریان مذاب کمتر نسبت به قطرات LF۰۴۵۰ ریزترند. دلیل این نوع شکل شناسی احتمالاً سازگاری بهتر پلی‌اتیلن HD ۳۸۴۰ با قیر است. در شکل ۱۰ عکس میکروسکوپی آمیزه ۹ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات SBR ۱۷۱۲ کاملاً در قیر باز شده و همچنین ذرات پودر لاستیک بطور یکنواخت در قیر پخش شده‌اند. در این شکل نیز ذرات درشت لاستیک دیده می‌شود. با توجه به پژوهشهای انجام گرفته [۱۵] با افزایش شاخص جریان مذاب پلیمرها، قابلیت توزیع و پایداری پلیمر در قیر بهتر خواهد بود، ولی در این پژوهش در مجاورت روغن H.V.S. و پودر لاستیک، پلی‌اتیلن HD ۳۸۴۰ با توجه به داشتن شاخص جریان مذاب کمتر از پلی‌اتیلن HD ۱۳ پایداری و در نتیجه سازگاری بهتری را نسبت به پلی‌اتیلن HD ۱۳ نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در مجاورت روغن H.V.S. و پودر لاستیک پلی‌اتیلنها رفتار متفاوتی نشان می‌دهند.

پایداری

در این بخش برای رعایت اختصار به پایداری و ناپایداری ۴ نمونه از آمیزه‌ها اکتفا می‌شود. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ عکسهای میکروسکوپی

هواست که در حین نمونه‌گیری در زیر لامل بوجود آمده‌اند. در شکل ۵ عکس میکروسکوپی آمیزه ۴ نشان داده شده است. این شکل حاکی از آن است که مخلوط یکنواختی بوجود آمده است. در این شکل ذرات درشت لاستیک نیز دیده می‌شود که همان گونه قبلاً اشاره شد این ذرات از قسمت آج لاستیک اند که سختی نسبتاً زیادی دارند. در شکل ۶ عکس میکروسکوپی آمیزه ۵ نشان داده شده است. در این شکل پیداست که ذرات پودر لاستیک در این شکل کاملاً باز شده و ذرات پلی‌اتیلن بخوبی در قیر پخش شده‌اند و مخلوط یکنواختی را بوجود آورده‌اند. در شکل ۷ تصویر میکروسکوپی آمیزه ۶ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات پودر لاستیک و پلی‌اتیلن بخوبی در قیر پخش شده و مخلوط یکنواختی را بوجود آورده‌اند. همچنین، مشاهده می‌شود که افزایش درصد این پلی‌اتیلن باعث درشت‌تر شدن ذرات پلی‌اتیلن در قیر می‌شود.

در شکل ۸ عکس میکروسکوپی آمیزه ۷ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات پلی‌اتیلن HD ۱۳ بخوبی در قیر پخش نمی‌شود و مخلوط حاصل همگن نیست. این شکل شناسی می‌تواند تا اندازه‌ای افزایش دمایی فراس در نتیجه شکسته‌تر شدن قیر حاصل را در سرما توجه کند. در شکل ۹ عکس میکروسکوپی آمیزه ۸ نشان داده شده است. از این شکل پیداست که ذرات پودر لاستیک و پلی‌اتیلن HD ۳۸۴۰ بخوبی در قیر پخش



شکل ۱۸- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۸ (بزرگنمایی ۱۰۰).

سختی نسبتاً زیادی دارند. در این آمیزه پایداری خوبی مشاهده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، به دلیل اختلاف کمتر چگالی پلی اتیلن HD ۳۸۴۰ با قیر ۶۰/۷۰ تهران ($1/01 \text{ g/cm}^3$)، آمیزه ۸ پایداری نسبتاً خوبی را نشان می دهد. در آمیزه های ۱، ۲، ۵، ۹ و پایداری خوبی مشاهده می شود، ولی آمیزه ۷ پایداری خوبی ندارد. با توجه به مشخصات جدول ۵، وجود روغن در SBR ۱۷۱۲ موجب پایداری و سازگاری خوب این آمیزه در قیر می شود.

پایدار شدن آمیزه های چهارتایی شامل قیر، لاستیک، پلی اتیلن و روغن را می توان این طور توجه کرد که به دلیل انحلال پذیری و سازگاری خوب لاستیک با قیر، مولکولهای لاستیک کاملاً در قیر حل می شوند. این در حالی است که قطرات پلی اتیلن با قیر ناسازگارند و تمایل زیادی به جدایی فاز دارند. در ابتدا، قطرات پلی اتیلن کوچک اند و نیروی شناوری وارد بر آنها بسیار کوچک است. پس از آنکه قطرات مختلف به یکدیگر می پیوندند، حجم قطره نهایی بزرگ شده و نیروی شناوری وارد بر آن نیز بزرگ می شود. در نتیجه این عمل، قطرات بزرگ پلی اتیلن سریعاً به سطح بالایی قیر مهاجرت می کند و جدایی فاز روی می دهد. حال اگر پلیمر محلولی در قیر وجود داشته باشد، به دلیل داشتن حجم هیدرودینامیکی زیاد، براساس مکانیسم پایدارسازی نخلیه (Ostwald ripping) از نزدیک شدن بیش از حد قطرات پلی اتیلن جلوگیری می کند (شکل ۱۹) و در نتیجه سیستم پایدار می ماند [۲۳، ۲۴].

نمونه های تهیه شده از بخش بالا و پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۳ (۳ درصد پلی اتیلن I.F. ۰۴۵۰) نشان داده شده است. همان طور که از این شکلها پیداست، ذرات بزرگتر پلی اتیلن به دلیل اختلاف چگالی بیشتر با قیر در دمای زیاد در بخش بالا و ذرات ریزتر در بخش پایین قرار گرفته اند. در این آمیزه، همان گونه که ملاحظه می شود، پایداری نسبتاً خوبی مشاهده می شود. در شکلهای ۱۳ و ۱۴ عکسهای میکروسکوپی نمونه های تهیه شده از بخشهای بالا و پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۴ نشان داده شده است. از این تصاویر پیداست که وجود روغن H.V.S. در این آمیزه پایداری خوبی را به مخلوط بخشیده است. این تصاویر نشان می دهند که ذرات پودر لاستیک بخوبی در قیر پخش شده و مخلوط همگنی را بوجود آورده اند. در شکلهای ۱۵ و ۱۶ تصاویر میکروسکوپی نمونه های تهیه شده از بخشهای بالا و پایین لوله آزمایش برای آمیزه ۶ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل ۱۵ ملاحظه می شود، ذرات پلی اتیلن در قیر فاز جداگانه ای را ایجاد می کند که به مرور زمان از قیر جدا می شوند. در این آمیزه با توجه به تصاویر پایداری خوبی مشاهده نشده است. در شکلهای ۱۷ و ۱۸ عکسهای میکروسکوپی نمونه های تهیه شده از بخشهای بالا و پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۸ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، ذرات پودر لاستیک و پلی اتیلن بخوبی در قیر پخش شده و مخلوط همگنی را بوجود آورده اند. البته، در این شکلها ذرات درشت لاستیک دیده می شود. این ذرات از قسمت آج لاستیک است که

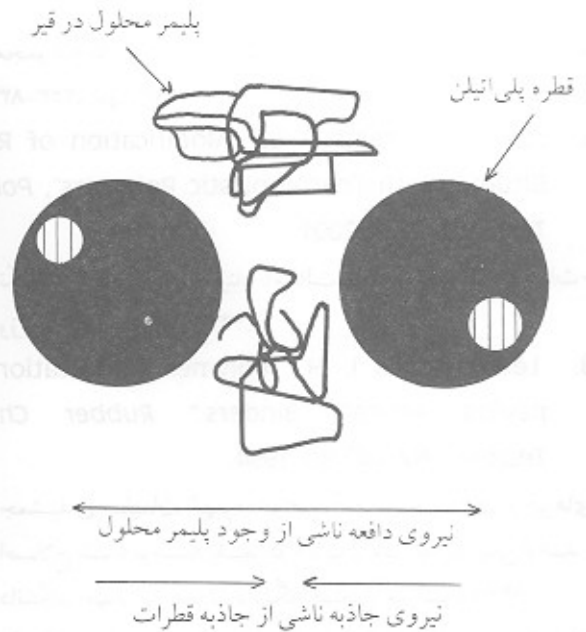
در جاده‌ها و خیابان‌هاست. اضافه کردن روغن H. V. S. به قیر به دلیل افزایش نرمی قیر موجب افزایش درجه نفوذ می‌شود، ولی نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری قیر را نسبت به قیر شاهد کاهش می‌دهد. در نتیجه، کارایی قیر در شرایط سرد بهبود می‌یابد. اثر دیگر روغن H.V.S. روی آمیزه‌های قیر و پلیمر تهیه شده افزایش سازگاری و پایداری بیشتر این نوع پلیمرهاست. اصلاح کننده بطور همزمان در قیر منجر به فرمولبندی می‌گردد که دارای خواص خوب در همه شرایط، پایداری و سازگاری است. استفاده از این نوع قیر در مناطق با آب و هوای کویری (گرم و سرد خشک) مطلوب بنظر می‌رسد. این فرمولبندی به عنوان فرمولبندی بهینه معرفی می‌شود.

تشکر و قدردانی

از مدیریت گروههای مختلف پژوهشگاه پلیمر ایران که در اجرای این پژوهش مشارکت داشتند و همکاری صمیمانه صادق احسانی، مهندس سیاوش نفیسی و نیز از اعضای مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری قدردانی می‌شود. از دکتر خراسانی نیز به دلیل در اختیار گذاردن مقدار لازم از SBR ۱۷۱۲ تشکر می‌شود.

مراجع

۱. طباطبایی سارا، "کاربرد پلیمرها در صنعت راهسازی" مجله عمران شریف - ویژه‌نامه کاربرد پلیمرها در مهندسی عمران، صفحه ۳۶-۳۳، بهار ۱۳۷۹.
۲. زندی فائز احمد، "ساختمان و رئولوژی قیر" فصلنامه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، سال سیزدهم، شماره ۶۹، صفحه ۵۹-۴۹، بهار ۱۳۷۴.
۳. مهندسین مشاور ایران استن، "افزودنیهای قیر و مخلوطهای آسفالتی" فصلنامه علمی، فنی و آموزشی راه و ترابری، سال اول، شماره ۴، صفحه ۳۷-۳۲ تابستان ۱۳۷۱.
۴. یوسفی علی اکبر، "اثر پلی اتیلن بازیابی شده روی خواص قیر" فصلنامه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، سال هفدهم، شماره ۸۲، صفحه ۷۳-۴۹، بهار و تابستان ۱۳۷۸.
۵. مالدر آلن، سامی محمد، افتخاری دادخواه علیرضا، امام رضا، "قیر اصلاح شده برای روسازیهای انعطاف پذیر آسفالتی"



شکل ۱۹- چگونگی پایدار شدن قطرات پلی اتیلن در قیر به وسیله پلیمرهای محلول.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج گزارش شده می‌توان نتیجه گرفت که در اثر عمل اختلاط در دمای بالای برخی از مواد فرار و سبک قیر اولیه تبخیر می‌شوند و برخی دیگر تغییر ساختار می‌دهند. در نتیجه این عمل نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری (PI) افزایش می‌یابد، ولی به دلیل سخت تر شدن قیر درجه نفوذ آن کاهش پیدا می‌کند. همچنین، با توجه به مقادیر PG (قیر اولیه و قیر شاهد) تحمل دمای بالای قیر در اثر این اختلاط افزایش می‌یابد، ولی تحمل دمای پایین آن به دلیل افزایش سختی قیر کاهش پیدا می‌کند.

اضافه کردن پودر لاستیک در قیر به دلیل افزایش گرانی قیر موجب افزایش نقطه نرمی، شاخص نفوذپذیری و درجه کارایی می‌شود، ولی درجه نفوذ و نقطه شکست فراس قیر را کاهش می‌دهد که به معنای بهبود خواص قیر در شرایط آب و هوایی سرد و گرم با استفاده از پودر بازیابی شده است. در واقع، در این پژوهش یک هدف فنی (بهبود خواص قیر) به صورت همزمان با یک هدف زیست محیطی (پرهیز از دفن کردن لاستیکهای فرسوده در طبیعت) حاصل شده‌اند.

اضافه کردن پلی اتیلن به قیر به دلیل افزایش سختی قیر موجب افزایش نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری قیر می‌شود، ولی درجه نفوذ قیر را کاهش می‌دهد که معنای آن افزایش کارایی قیر حاصل در جلوگیری از شیاردار شدن پوششهای آسفالتی

مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، صفحه ۸۳-۲۵۳، مهر ۱۳۷۳.

6. Lu X. and Isacsson U.; "Modification of Road Bitumen with Thermoplastic Polymers", *Polym. Test.*; **20**, 77-86, 2001.

۷. نکلو محمدحسین، "سمینار آسفالت لاستیکی" مرکز تحقیقات - وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۳.

8. Lewandowski L. H.; "Polymer Modification of paving Asphalt Binders." *Rubber Chem. Technol.*; **67**, 447-80, 1994.

۹. جمشیدی سلیمان، "بهبود خواص آسفالت با استفاده از قیرهای اصلاح شده بوسیله پلیمرها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸.

۱۰. نظریگی علی احسان، "مقایسه تأثیر الاستومرها، ترموپلاستها و الاستومر ترموپلاستها بر خواص آسفالت" مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، صفحه ۳۰-۲۱۸، مهر ۱۳۷۳.

۱۱. نظریگی علی احسان، "بهبود خواص قیر آسفالت" مجله عمران شریف - ویژه نامه کاربرد پلیمرها در مهندسی عمران، صفحه ۱۷-۱۸، بهار ۱۳۷۹.

12. Yen T. F. and Chilingarian G. V., "Asphaltenes and Asphalts, 1" *Developments in Petroleum Science* 40A, 381-400, 1994.

13. Walsh I., and Hoban, T.; "Polymer Modified Surface Dressing Pass an Important Test"; *Highways and Transportation*, 10-15, 1992.

14. Yousefi A. A.; "Modified Asphalt", Report for General Examination of Doctorate, Chemical Engineering Department, Laval University, Quebec, 1995.

15. Abdelrahman M. A. and Carpenter S. H.;

"Mechanism of Interaction of Asphalt Cement with Crumb Rubber Modifier", *Transportation Research Record*, TRB, National Research Council, Washington, **1661**, 106-13, 1999.

۱۶. یوسفی علی اکبر، "وضعیت قیر در کشور" پژوهشگاه پلیمر ایران، مهر ۱۳۷۸.

۱۷. زیباری حسن، "آسفالت گوگردی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، تابستان ۱۳۶۹.

۱۸. روشندل بدیع...، "افزایش مقاومت شکنندگی قیر به کمک لاتکس" نشریه داخلی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک - وزارت راه و ترابری، سال یازدهم، شماره ۶۵، صفحه ۶۹-۵۰، پائیز ۱۳۷۱.

19. Takallou H. B. and Takallou M. B.; "Design and Construction of Rubber Modified Asphalt Concrete Mixtures", 1st Conference on Asphalt and Asphaltic Mixes, Iran, 48-75, 1994.

20. World Road Association (PIARC) Technical Committee Flexible Roads (C8), "Use of Modified Bituminous Binders, Special Bitumens and Bitumens with Additives in Road Pavements" *Road/Routes*; 303, 1999.

۲۱. نظریگی علی احسان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۱.

22. Iranian Petrochemical Companies Brochure, 2000.

23. Russel W. B., Saville D. A. and Schowalter W. R.; *Colloidal Dispersions*; Cambridge University, New York, 1989.

24. Napper D. H.; *Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions*; Academic, New York, 1983.