

بهبود خواص قیر با مواد پلیمری

Improving Bitumen Properties by Polymeric Materials

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

۱- تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۱۱۱، ۱۴۶۱۵/۱۱۰- تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۰/۱۱۰

دریافت: ۸۱/۲/۲۲، پذیرش: ۸۱/۵/۲۰

چکیده

اصلاح کننده‌های قیر موادی هستند که با از بیش به قیر افزوده شده یا در حین نهیه مخلوطهای آسفالتی به واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت اضافه می‌شوند تا خواص یا عملکرد قیر دلوای افزودنی یا مخلوط آسفالتی ساخته شده با آن را بهبود بخشدند. پیشرهای مهندسین خانواده اصلاح کننده‌های قیرند پودر لاستیک بازیابی شده بطور وسیعی در اصلاح قیر بکار می‌روند از مزایای افزودن پودر لاستیک به قیر می‌توان افزایش مقاومت مخلوطهای آسفالتی در مقابل بخ زدن، کاهش مقدار ناشی از تراپیک و کاهش آلاتیهای محیط زیست را نام برد. در این پژوهش، اثر توان پلیمرهای مختلف پودر لاستیک و روغن H.V.S. در قیر بررسی شده است. افزودن پودر لاستیک توان با پلی اتیلن موجب افزایش خاصیت کشسانی و برگشت پذیری قیر در دماهای بالا و متوسط و کاهش شکننده‌گی آن در دماهای پایین می‌شود. کاربرد پلی اتیلن سیک 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 نفعه شکست فراس 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

مقدمه

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

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 روش‌های اجرا شده و در دست طراحی در کشور

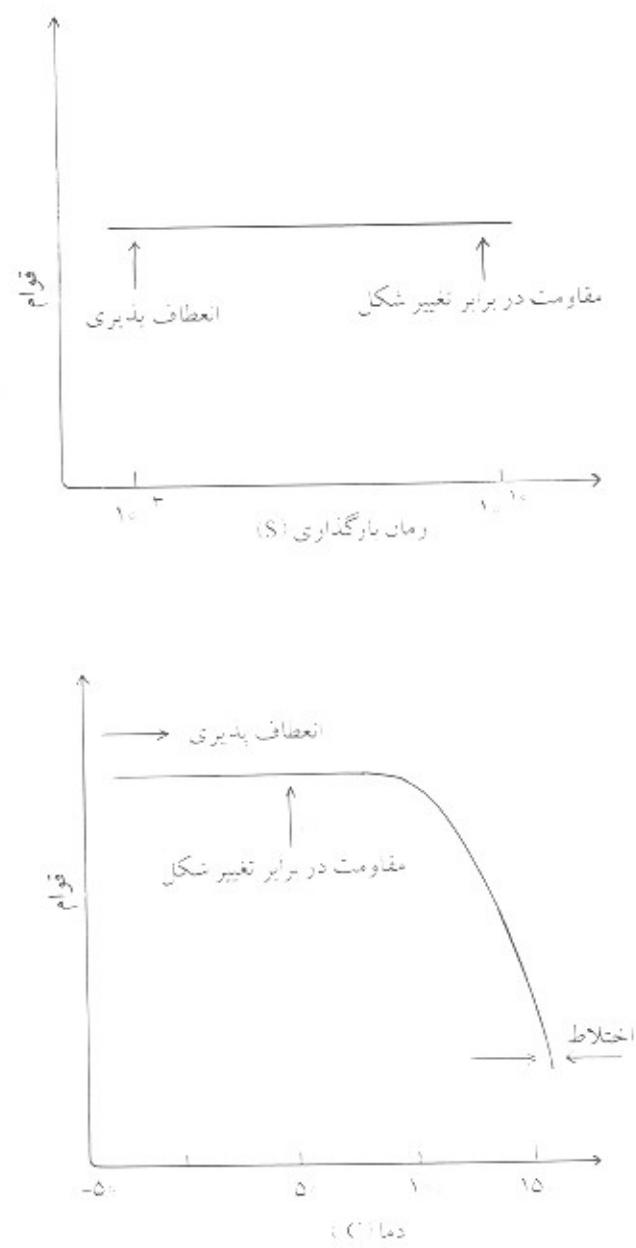
* مسئول مکانات، پیام نگار: A. Yousefi@proxy.ipi.ac.ir

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 ایده ال 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 کشنندگی قیر را در دماهای بالاتر 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 آسفالت 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 ترمتر در دماهای پایین بهره برداری و کاهش ترک خوردگی، دستیابی به مخلوط سخت تر در دماهای بالا و کاهش خط افتادگی (شیاردار شدن)، کاهش گرانروی 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، تسريع 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 ضخیمت قیر روی سنگدانه‌ها، بهبود جسبندگی و کاهش عربان شدگی (Stripping) مصالح، کاهش بیرون زدگی (Bleeding) قیر، کاهش ضخامت لایه روبه‌های آسفالتی، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، بهبود کلی عملکرد روسازیها. در نهایت، پلیمر به عنوان یک جایگزین شونده قیر بحساب می‌آید. بطور کلی، پلیمرهای موردن استفاده در صنعت راه‌آهاری به چهار گروه الاستomerها (لامستیکها)، پلیمرهای گرمایی، الاستomerهای گرمایی 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 بضور کامل شناخته شده نیست. دومکانیسم اصلی متورم شدن و تخریب خصوصیات قیر را تحت تأثیر فرار می‌دهند [۱۵]. اصلاح کننده پودر لاستیک (Crumb Rubber Modifier) در طی تورم و انتشار در قیر در زمان واولکاش و واپلیمر 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].

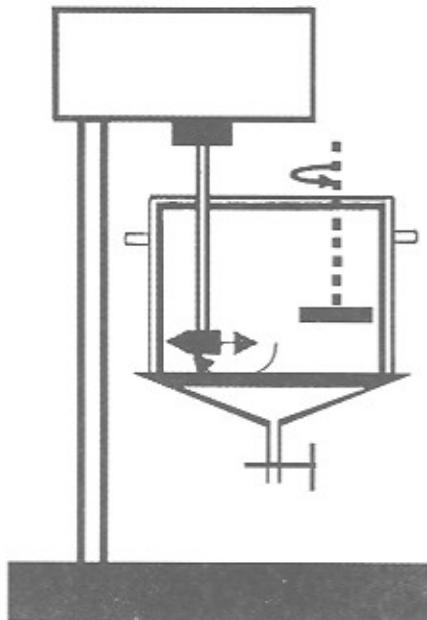
پلیمرها مهمترین خانواده اصلاح کننده‌های قیرند و بسته به نوع آنها آثار مثبتی روی خواص و عملکرد دمای بالا و پایین قیر مانند مقاومت در برابر شیاردار شدن (Rutting) و ترکهای گرمایی دارند [۱۶]. پلیمرها حساسیت گرمایی قیر را بوزیره در دمای بالا که قیر جاری می‌شود، کاهش می‌دهند تا قیر دیرتر روان شود. همچنین، این مواد مقاومت مخلوطهای آسفالتی را در برابر خستگی بالا برده و جسبندگی قیر به مصالح را افزایش می‌دهند [۱]. شکل ۱ رفتار قیر ایده ال را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های فیزیکی

درجه کارایی (PG)	درجه کارایی (PI)	شاخص نمودار پلیمری	نقطه شکست (°C)	درجه نفوذ در گاز (mm)	نقطه نرمی (°C)	SBR\WV (%)	پلی اتیلن HDW (%)	پلی اتیلن HVA (%)	پلی اتیلن LF, 65 (%)	روغن HVS, (%)	پلی اتیلن LSDR (%)	آبزد
V-۱۷	-۰/۶۲۵	-A	۳۹	۰۴/N	-	-	-	-	-	-	-	فیبر نمادهند*
V-۱۸	-۰/۶۱۸	-1/2	۳۳	۰۸/V۰	-	-	-	-	-	-	-	فیبر نمادهند*
AY-۱۷	+۰/۳۱	-9/8	۲۱	۰۲/V۰	-	-	-	-	-	-	۰	۱
V-۲۲	-۰/۳۰	-11/0	۴۵	۰۶/L	-	-	-	-	۰	-	-	۲
AY-۱*	-۰/۰۰	-7/2	۴۴	۰۲/V۰	-	-	-	-	-	-	-	۳
V-۲۲	+۰/۲	-11/3	۳۲	۰۱	-	-	-	-	۰	-	-	۴
AY-۲۲	+۰/۲	-11/1	۳۰	۰۲/V۰	-	-	-	-	۰	-	-	۵
AH-۱۷	+۰/۳۲	-A	۲۴	۰۲/V۰	-	-	-	-	۰	-	-	۶
AH-۱*	+۰/۴۰	-V	۲۲	۰۲/V۰	-	-	-	-	۰	-	-	۷
AH-۲۲	+۰/۴	-11/2	۲۱	۰۱/V۰	-	-	-	-	۰	-	-	۸
V-۲۲	+۰/۳۲	-11/3	۲۱	۰۱/V۰	-	-	-	-	۰	-	-	۹

* فیبر نمادهند فیبر ایونیک است که در درجه انتقالی در دمای بالا دارای مشخصات فوق است.

جدول ۲- دانه بندی پودر لاستیک مصرف شده.



شکل ۲- مجموعه مخلوط کن فایر و پلیمر.

پودر لاستیک مصرفی که از مجتمع لاستیک سازی بزرگ تهیه شده است (داده های آزمایشگاهی) در جدول ۲، مشخصات روغن H.V.S. مصرفی (Heavy Vacuum Slops) در جدول ۲ و خصوصیات پلیمرهای مصرفی در جدول ۱ نشان داده شده است.

دستگاهها و روشها
مخلوط کودن
مجموعه مخلوط کن فایر - پلیمر از یک مخلوط کن با سرعت پرش بالا و با استفاده از یک میکسیم Polytron ۶۰۰۰ مجهز به همزن ۳۰۳۰/۲ PT-DA همراه با مخلوط کن Polymix که هر سه از شرکت Kinematica 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 پرش 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 D ASTM D ۲۹۵۰ و استاندارد ایران در ۲۵ °C انجام شد. در این آزمایش ظرف کوچکی از فایر در یک حمام آب ۲۵ °C به مدت یک ساعت قرار داده شد و میزان نفوذ یک سوزن استاندارد در فریزر تحت بار استاندارد (۱۰۰ گرمی) به مدت ۵ ثانیه بر حسب ۰/۱ mm اندازه گیری شد.

اندازه الک (mm)، شماره الک	درصد وزنی رد شده از الک
۸۰/۲۳۶	۹۹/۹۸
۱۶۰/۱۱۸	۹۹/۱
۳۰۰/۰۶	۸۰/۷۰۶
۴۰۰/۰۴۵	۵۳۷/۰۶
۵۰۰/۰۳	۳۱۷/۰۶
۸۰۰/۰/۲۳	۹/۰/۰۶
۱۰۰۰/۰/۱۵	۳/۱۱۶
۲۰۰۰/۰/۷۵	۰/۳۶۶
۲۰۰>	۰/۰/۲۶

کاهش فاصله بین ذرات تحت تأثیر قرار می دهد، کمبود گرانزوی 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 زاید و لاستیکهای مستعمل اتومبیلها (کاهش آلاینده های محیط زیست)، اصلاح ضربه کشانی و برگشت کشان، بهبود مقاومت مخلوطهای قیری در برابر ضربه، کاهش آب پیمایی (Hydroplaning) و آب افسانی (Water Spray)، کاهش آب پیمایی لغزشی در طی دوره بخندان جاده و کاهش هزینه های تک پاشی و دیگر هزینه های نگهداری راه در زمستان (افزایش مقاومت در برابر بیخ زدگی) [۱۱، ۱۵-۲۰].

تجربی

مواد
در این پژوهش قیر ۷۰/۷۰ 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 خطای	درصد آسفالت	درصد آرومایتیکهای قطبی	درصد نفتی	درصد مواد سبز
H. V. S.	±۰/۷۱	۰/۴۴	۱۳/۰۱	۳۲/۰۲	۵۳/۶۴

جدول ۴- مشخصات پلی اتیلن مورد استفاده [۲۲، ۱۶].

پلاستیک	نوع	شرکت تولید کننده	شاخص جریان مذاب *	درجه تبلور (%)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	چگالی (g/cm³)
پلی اتیلن سیک (LDPE)	LF۰۴۵۰	پتروشیمی بندر امام	۴/۰	۴۷/۶	۲۰	۰/۹۲
پلی اتیلن سنگین (HDPE)	HD۱۳	پتروشیمی اراک	۷/۲	۷۱	-	-
پلی اتیلن سنگین (HDPE)	HD۳۸۴۰	پتروشیمی اراک	۴	۵۲/۰	-	۰/۹۳۸

* واحد شاخص جریان مذاب $10 \text{ min} / \text{g} / \text{dR}$ در شرایط 190°C و وزنه 16 kg است.

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 160°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]:

$$\text{PI} = \frac{\log A_{R&B} - \log (A_{25^\circ\text{C}})}{T_{R&B} - 25^\circ\text{C}} \quad (1)$$

که در آن $T_{R&B}$ دمای نقطه نرمی است.

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

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

$$\text{PG} = H + L \quad (3)$$

$$H = T_{R&B} + ۲۰ \quad (4)$$

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

تعیین نقطه نرمی (ساجمه - حلقه)

نقطه نرمی قیر اولیه و قیرهای اصلاح شده طبق استاندارد ASTM D ۳۶ و ASTM D 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 قیرقرارداده شد. بعد از آن آزمایش با سرعت گرمایش $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 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

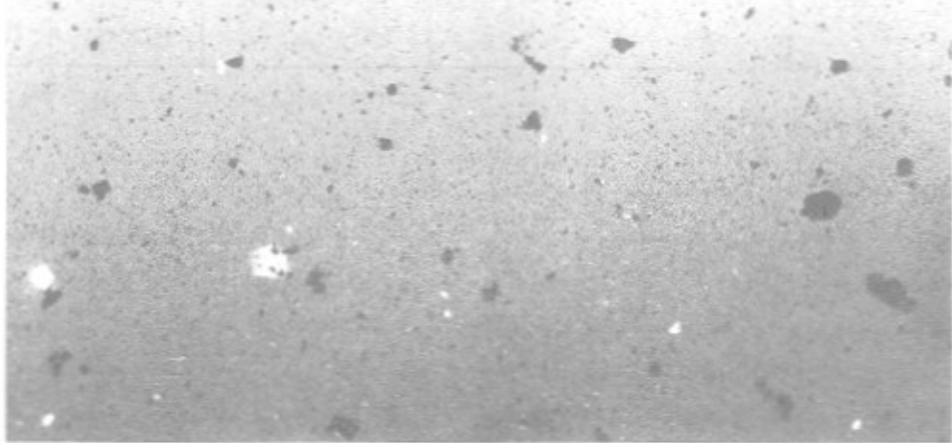
آزمایش نقطه شکست فراس (T_{Frass}) طبق استاندارد IP ۸۰/۸۷ و استاندارد ایران انجام شد. ابتدا یک نمونه $0.1 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$ روی یک صفحه فولادی صاف وزن شد. مجموعه صفحه و قیر به آرامی گرم شده و با حرکات ملایم، لایه نازک و یکنواختی از قیر روی صفحه فولادی شکل گرفت. سپس، آزمایش به کمک دستگاه مخصوص که در استاندارد بالا به آن اشاره شده است انجام شد. نقطه شکست فراس به صورت دمایی تعریف می‌شود که اولین ترک در لایه قیر روی صفحه فولادی تحت خشش‌های پی در پی در حال سرد شدن ظاهر می‌شود. یادآور می‌شود 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(1+4)	ازدیاد طول تا پارگی (%)
SBR ۱۷۱۲	پتروشیمی بندر امام	۲۲۰-۲۶۰	۲۵/۸-۲۸/۸	۲۲/۰-۲۴/۰	۴۰-۴۹	۵۹۰-۶۹۰



شکل ۲- نحوه توزیع ذرات پودر لاستیک در قیر (بزرگنمایی ۱۰۰).

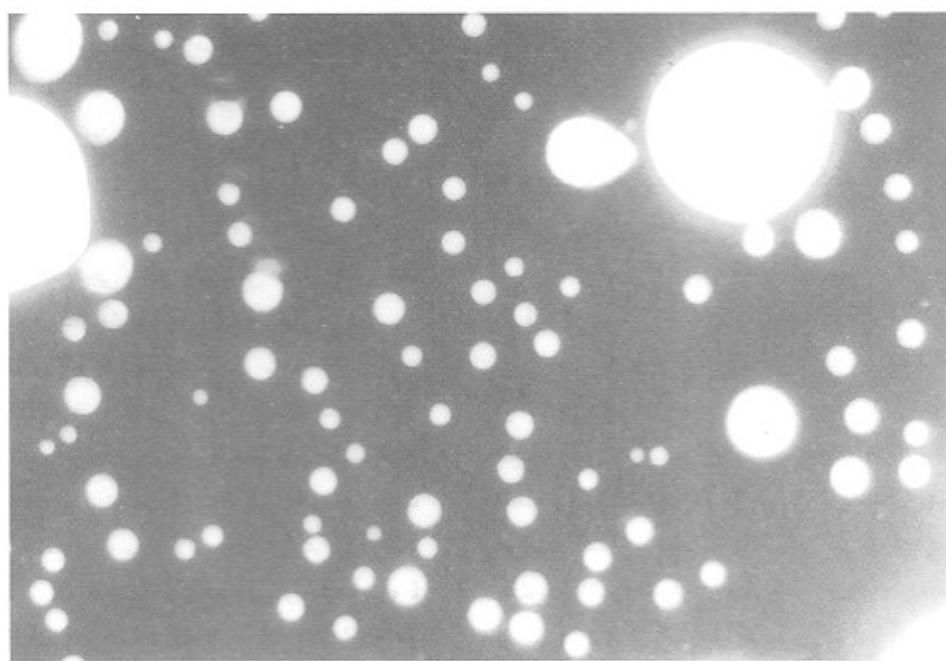
کردن تغییرات خواص قیر اولیه بدون مواد دیگر است. افزودن ۵ درصد پودر لاستیک به قیر دوباره موجب کاهش درجه نفوذ قیر می شود که نشان دهنده قوام بیشتر قیر در دماهای بالا و متوسط است. افزودن ۵ درصد روغن H.V.S به قیر اثر عکس دارد و موجب افزایش درجه نفوذ قیر (از ۳۳ به ۴۵) می شود. در نتیجه، همان طور که از نوع گونه های موجود در روند انتظار می رود، روغن اثر کاهش قوام قیر در گرمای دارد. افزایش ۳ درصد پلی اتیلن LF-۴۵۰ به قیر موجب سخت شدن قیر شده و در نتیجه درجه نفوذ قیر (از ۳۳ به ۲۴) کاهش می یابد. ملاحظه می شود که پلی اتیلن اثر فوق العاده ای در افزایش قوام قیر در دماهای بالا دارد. آثار هر یک از این مواد برآشتنی قیر در سرمه 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 پك واحد در مقایسه با قیر شاهدو افزایش دو واحد در مقایسه با آمیزه ۱ می شود. این مشاهدات بیانگر آن است که پودر لاستیک و روغن دراین درصد های تقریباً تریکدیگر را در شرایط گرم خشی می کنند. در آمیزه ۵ برای مطالعه اثر همزمان هرسه اصلاح کننده، ۳ درصد پلی اتیلن LF-۴۵۰ به آمیزه ۴ افزوده و ملاحظه شد که درجه نفوذ آمیزه حاصل برآورده درجه نفوذ آمیزه است. اثربخشی پلی اتیلن روی قوام قیر در گرمای از هم مشاهده می شود. در آمیزه ۶ با افزایش یک درصد پلی اتیلن LF-۴۵۰ (از ۳ درصد به ۴ درصد) به آمیزه ۵ درجه نفوذ قیر به ۲۴ کاهش می یابد. در آمیزه ۷ اثر نوع و ساختار پلی اتیلن مطالعه شده است. با افزایش ۴

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

نتایج و بحث

آزمونهای برآورد کارابی شامل درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس، شاخص نفوذ پذیری، درجه گارابی، شکل شناسی و پایداری که به ترتیب درباره آنها بحث می شود.

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 می تواند به مقاومت بیشتر آن در دماهای بالا و متوسط ربط داده شود. در عین حال، چیز کاهشی می تواند به معنی کاهش احتفاظ پذیری در دماهای پایین و در نتیجه شکننده شدن قیر نیز باشد. تغییرات حاصل در درجه نفوذ قیر در جدول ۱ خلاصه شده اند. در اثر عمل اختلاط در دمای بالا برخی از اجزای قیر تغییر می شوند و برخی دیگر تغییر ساختار می دهند. این پدیده به کاهش درجه نفوذ قیر اولیه مسخر می شود (جدول ۱ قیر شاهد). علت نهیه قیر شاهد کمی



شکل ۴- نحوه توزیع ذرات پلی اتیلن HD در قیر (بزرگنمایی ۱۰۰).

اثر ترافیک شیاردارشدن نامیده می‌شود. کاهش عمق شیار در نگاره همیشه باعث مرغوبیت آسفالت و بهبود در امنیت رانندگی می‌شود. افزودن ۳ درصد پلی اتیلن LF_{0.450} به قیر نیز موجب افزایش نقطه نرمی از ۵۸/۶۵ به ۶۲/۷۵°C می‌شود. می‌توان انتظار داشت که ۲ درصد از این نوع پلی اتیلن و ۵ درصد پودر لاستیک تغرباً اثر یکسانی بر مقاومت قیر در برابر شیاردارشدن دارد. البته، مکانیسم بازیابی کشسان (elastic recovery) سهم بزرگی در مورد قیرهای اصلاح شده با مواد لاستیکی دارد و تغییر شکل ایجاد شده را در اثر مرور زمان بطور جزئی یا کامل بازیابی می‌کند. 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 اجزای یک اثر همکرداری روی قیر دارد و برایند 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°C می‌شود. در مقایسه با آمیزه ۱ و با توجه به آنکه اجرای سازنده روغن از خالواده اجزای سبک قیرند، می‌توان نتیجه گرفت این درصد از روغن برای جرمان

درصد پلی اتیلن ۱۳ HD به جای پلی اتیلن سبک در آمیزه ۴ درجه نفوذ دوباره به ۲۴ کاهش می‌باشد. در آمیزه ۸ نوع پلی اتیلن به ۲۸۴۰ HD تغییر داده شده و ملاحظه می‌شود که درجه نفوذ قیر به ۲۲ کاهش باقی است. این نشان می‌دهد که نوع و ساختار پلی اتیلهای 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 هرسه مورد مطالعه شده تقریباً یکسان است. در آمیزه ۹ از لاستیک مصنوعی ۱۷۱۲ SBR 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.

نتیجه نویس

با توجه به نتایج جدول ۱، در اثر اختلاط در دمای بالا برخی از مواد فرار و سبک قیر تغییر می‌شوند و برخی نغير 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°C شده است. از آنجا که نقطه نرمی تمامی از دمایی است که قیر تحت بک 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 سایل استیک پیشتر می‌شود. تغییر شکل دائمی بوسیله آسفالتی در اثر تیروهای واردہ بر

مولکولهای روغن با گرانتری کم نسبت داد که تغییرات در صد ترکیب اجزای قیر را جرمان می‌کنند. افزایش 3°C در صد پلی اتیلن 45°C به همراه 7°C در صد لاستیک و 5°C در صد روغن دوباره نقطه شکست فراس قیر را افزایش می‌دهد (آمیزه ۵). ولی، همانطور که ملاحظه می‌شود، قیر در دماهای بالا مقاومت می‌شود. افزایش مقدار پلی اتیلن به 4°C در صد دمای فراس قیر را به قیر اولیه می‌رساند، ولی مقاومت قیر حاصل در دماهای بالا (نقطه نرمی) در مقایسه با قیر اولیه بسیار بهتر می‌شود. جایگزین کردن انواع دیگر پلی اتیلن در نهایت به یک فرمولیندی منجر می‌گردد که در آن قیر از خواص بسیار جالبی برخودار است و در دمای فراس 12°C و نقطه نرمی حدود 70°C می‌تواند یک قیر بهینه برای شرایط آب و هوایی کشور باشد. در واقع، این قیر در شرایط گرم مانند جاده‌های جنوب کشور شیاردار نمی‌شود و در جاده‌های کوهستانی ترک برتر نمی‌دارد و در شرایط کویری که در آن شرایط جوی در طی 24°C ساعت بشدت متغیر است نیز کاملاً مقاومت می‌کند.

شاخص نفوذپذیری (PI)

با توجه به تابع جدول ۱، عمل اختلاط در دمای بالا موجب افزایش PI قیر شاهد نسبت به قیر اولیه می‌شود (قیر شاهد به $+1^{\circ}\text{C}$ نزدیکتر است). بنابر تجربه یک قیر راهسازی در شرایطی مناسب است که آن در حدود $+1^{\circ}\text{C}$ باشد.

افزوondن هریک از مواد افزودنی پودر لاستیک و پلی اتیلن 45°C به قیر، PI آن را افزایش می‌دهد. البته، 5°C در صد پودر لاستیک PI را کاملاً ثابت می‌سازد و از ناحیه منفی خارج می‌کند، در حالی که با پلی اتیلن تنها، PI قیر هنوز در ناحیه منفی فرار دارد. افزودن روغن H.V.S. به قیر موجب افزایش PI قیر نسبت به قیر اولیه می‌شود، ولی نسبت به قیر شاهد به دلیل نرمتر شدن قیر، PI قیر کاهش می‌یابد (آمیزه ۲). همراه کردن 7°C در صد پودر لاستیک و 5°C در صد روغن H.V.S. در قیر دوباره اثر همکرداری دارد و موجب می‌شود که PI قیر به -2°C برسد (آمیزه ۴). افزودن 3°C در صد پلی اتیلن 45°C به همراه کردن پودر لاستیک و روغن به دلیل سخت تر شدن قیر در اثر تغییر ساختاری ناشی از وجود پلی اتیلن، PI قیر را افزایش می‌دهد (آمیزه ۵). مقدار PI نزدیک به $+1^{\circ}\text{C}$ بسیار جالب توجه است. اثر افزایش 4°C در صد پلی اتیلن 45°C به قیر به دلیل سخت تر شدن آمیزه (افزایش گرانتری) PI قیر حاصل را افزایش می‌دهد (آمیزه ۶). تغییر نوع پلی اتیلن به 12°C HD (آمیزه ۷) و 38°C HD (آمیزه ۸) تغییرات مطلوبی را در PI قیر ایجاد می‌کند. در هر دو مورد می‌توان یک قیر راهسازی مناسب را انتظار داشت، ولی از آنجاکه در سرما آمیزه ۸ رفتار

مواد تغییر شده تقریباً مناسب است. مقدار اضافه روغن نیز به وسیله پلی اتیلن جذب خواهد شد (آمیزه ۵). در آمیزه ۵، اضافه کردن 3°C در صد پلی اتیلن 45°C در مقایسه با آمیزه ۴ دوباره موجب افزایش نقطه نرمی قیر می‌شود. در آمیزه ۶ با افزودن 5°C در صد از این پلی اتیلن دوباره نقطه نرمی افزایش می‌یابد. علت این امر ساختار اسفنجی شکل پلی اتیلن در قیر است [۴] که بشدت ساختار و در نتیجه رفتار رنلوزیکی آن را تغییر می‌دهد. در مورد آمیزه‌های 7°C و 8°C مخلوط کردن 4°C در صد از اتواع پلی اتیلن $HD 72^{\circ}\text{C}$ و $HD 38^{\circ}\text{C}$ با فرمولیندی آمیزه ۴ در مقایسه با رفتار آمیزه ۶ در شرایط گرم تغییر زیادی در قیر ایجاد نمی‌کند. این مشاهدات می‌تواند نشان دهنده قابلیت تقریباً مشابه پلی اتیلنها در جذب اجزای قیر باشد. در آمیزه ۹ به همراه پودر لاستیک و روغن 5°C در صد از 17°C SBR افزوده شده است، خواص این آمیزه بسیار شبیه آمیزه ۴ است. این مطلب نشان دهنده این است که لاستیک 17°C در SBR در مجاورت پودر لاستیک بازیابی شده اثر چندانی نداشته و کیفیت قیر را بهبود نمی‌بخشد. اشاره می‌شود که مطالعه خواص رنلوزیکی قیرهای پلیمری می‌تواند اطلاعات دقیق‌تر را به دست دهد.

نقطه شکست فراس

در اثر همزدن قیر در دمای بالا و سخت نر شدن قیر شاهد، نقطه شکست فراس این قیر نسبت به قیر اولیه افزایش می‌یابد. با توجه به آمیزه‌های ۱ و ۲، اضافه کردن 5°C در صد پودر لاستیک و روغن H.V.S. هر کدام بضرور جداگانه به قیر، موجب کاهش نقطه شکست فراس قیر می‌شود که اثر مثبت این دو ماده افزودنی را نشان می‌دهد. کاهش دمای فراس قیر نشان دهنده کاهش ترکهای 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 می‌شود.

اضافه کردن 3°C در صد پلی اتیلن 45°C به قیر موجب افزایش نقطه شکست فراس قیر می‌شود. این یک نکته منفی برای پلی اتیلن است که از قابلیت زیاد پلی اتیلن در جذب اجزای نرم کننده قیر ناشی می‌شود. در عین حال، همراه کردن پلی اتیلن با دیگر مواد افزودنی می‌تواند این نقیصه را بر طرف کند (آمیزه‌های ۵ تا ۸).

در آمیزه ۶، اضافه کردن 7°C در صد پودر لاستیک و 5°C در صد روغن H.V.S. به قیر، دمای شکست فراس قیر را (از -75°C به -13°C) کاهش می‌دهد. این پایینترین دمای فراس مشاهده شده برای این نوع قیر است. می‌توان نتیجه گرفت که این فرمولیندی بهترین قیر را برای مناطق سرد سیر تولید می‌کند. علت این کاهش را می‌توان به همکرداری پودر لاستیک و اولوکائیند در اثر عمل مکانیکی همگن کننده و رهاشدن مولکولهای لاستیکی با دمای انتقال شیشه‌ای پایین و

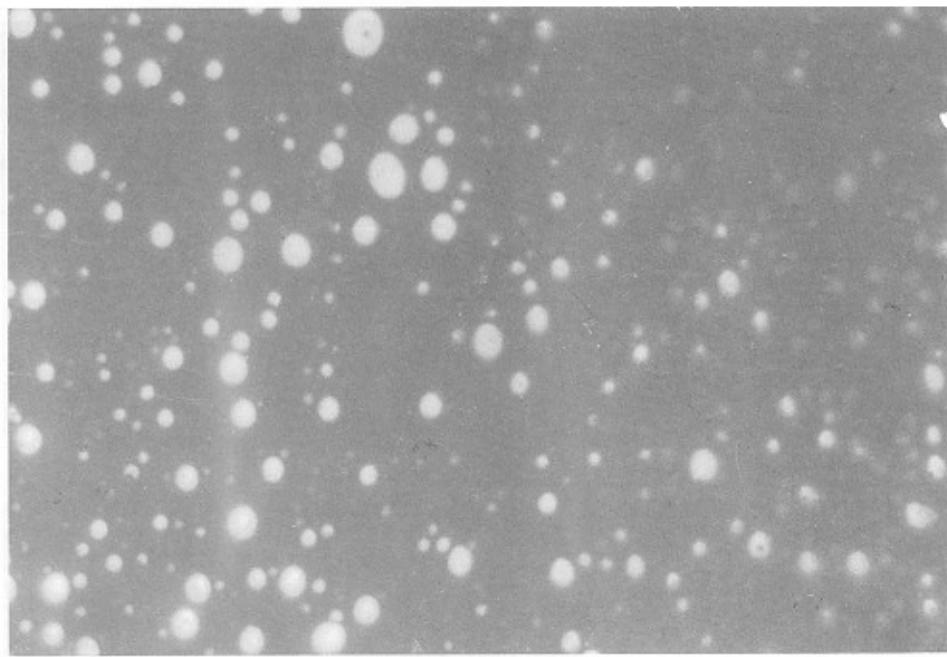


شکل ۵- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).

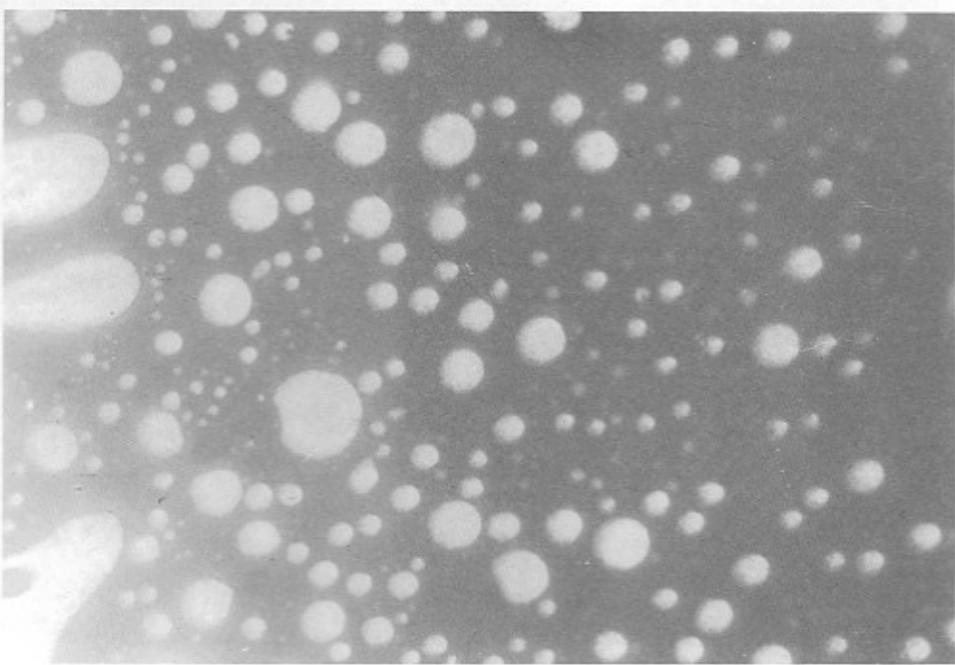
درجه کارایی (PG)

با توجه به نتایج جدول ۱، در اثر عمل اختلاط در دمای بالا، قیر شاهد نسبت به قیر اولیه سخت تر می شود و در نتیجه کارایی در دمای بالا آن افزایش می یابد، ولی کارایی در دمای پایین آن از -۱۶- به -۱۰°C کاهش پیدا می کند. در اثر افزودن ۵ درصد پودر لاستیک به قیر، به

مناسبتری دارد، به عنوان فرمول بندی ترجیحی در راهسازی مطرح می گردد. در آمیزه ۹ افزودن ۴ درصد SBR به همراه پودر لاستیک و روغن به قیر موجب افزایش PI نسبت به قیر اولیه می شود. در آب و هوای سرد می توان از این آمیزه استفاده مناسب کرد.



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



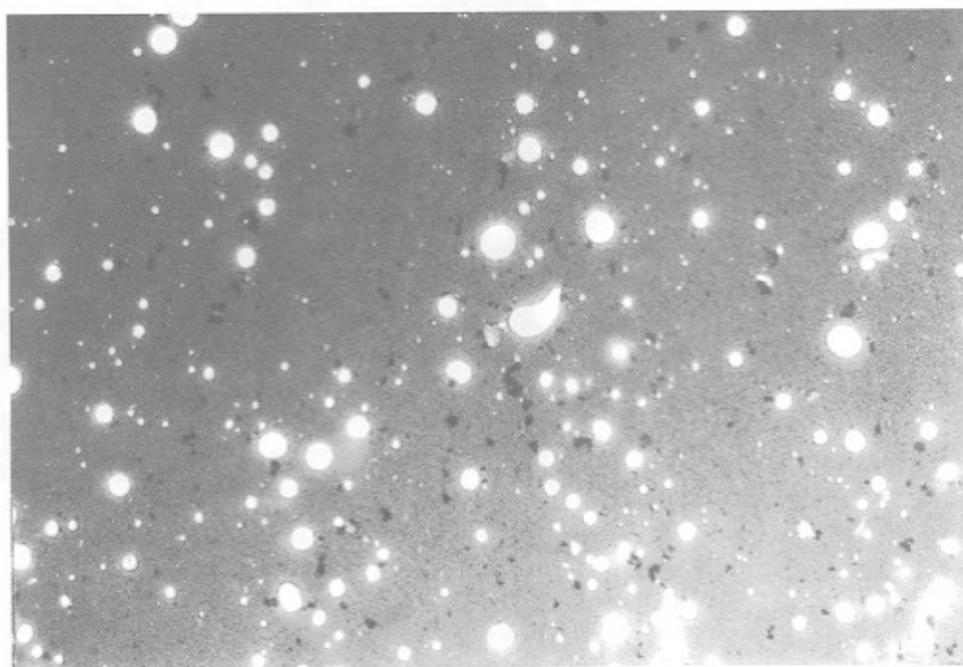
شکل ۷- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).

LF_{0.45} به قیر به دلیل افزایش گرانروی 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، کارایی در دمای بالای آمیزه حاصل نسبت به قیر شاهد تغییری نمی کند، ولی کارایی در دمای پایین آن افزایش

دلیل افزایش گرانروی 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 گرانروی (نمتر 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



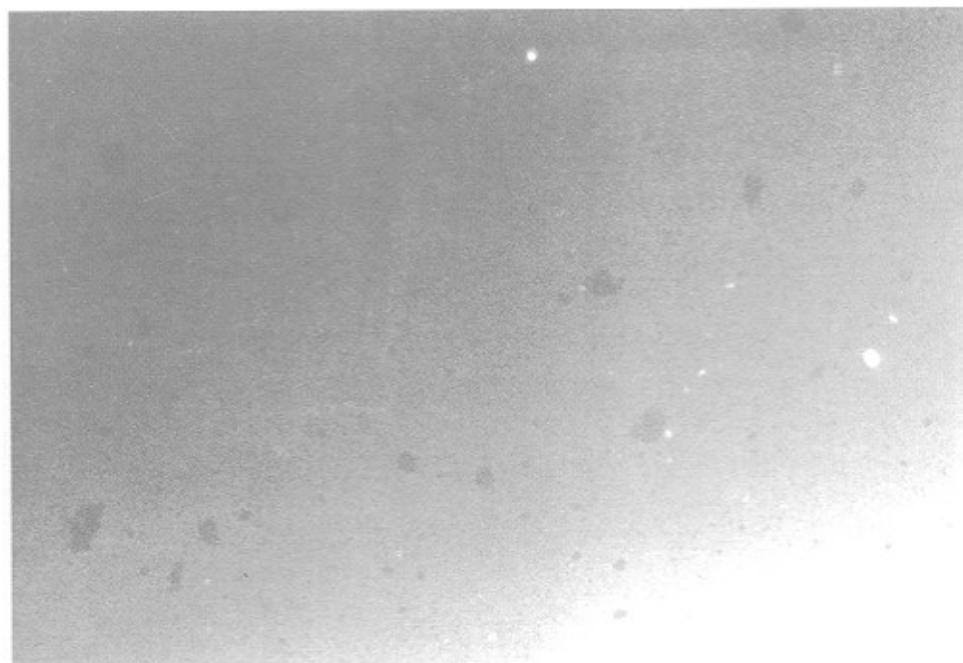
شکل ۸- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۷ (بزرگنمایی ۱۰۰).



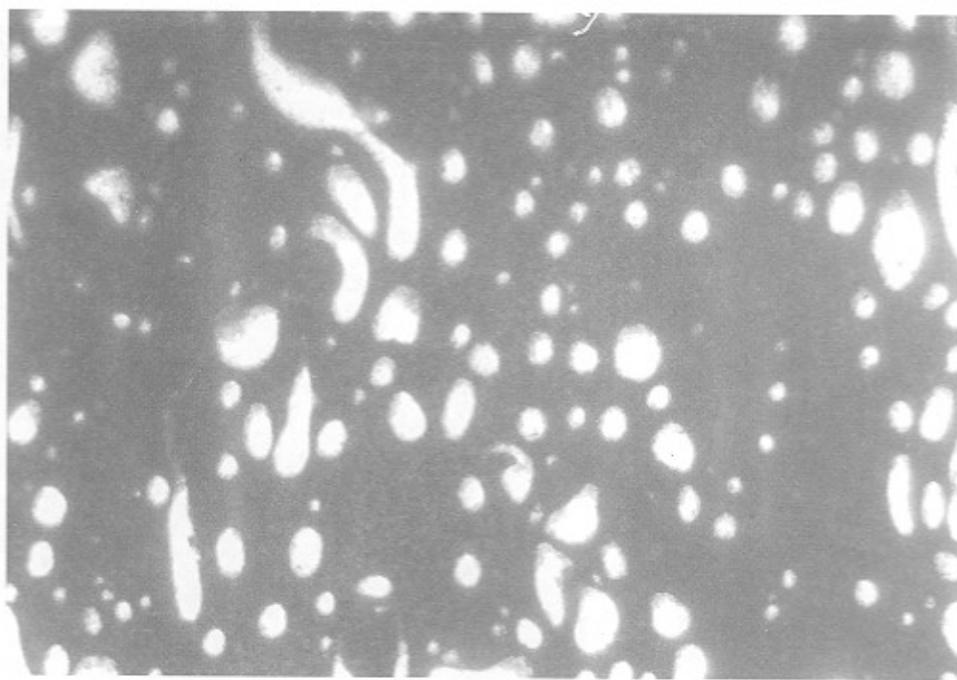
شکل ۹- تصویر میکروسکوپی آمیزه ۸ (بزرگنمایی ۱۰۰).

کارایی در دمای پایین آن کاهش پیدا می کند. در آمیزه ۷، افزودن ۴ درصد پلی اتیلن ۱۳ HD به آمیزه ۴، به دلیل افزایش گرانروی 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 باید. در آمیزه ۵ افزودن ۳ درصد پلی اتیلن LF_{0.450} به آمیزه ۴، کارایی در دمای بالا و پایین آمیزه را نسبت به قیر شاهد افزایش می دهد (قیر سخت ترمی شود). با توجه به آمیزه ۶، با افزایش ۱ درصد پلی اتیلن LF_{0.450} (از ۳ درصد به ۴ درصد) به آمیزه ۵، به دلیل افزایش گرانروی قیر، کارایی در دمای بالای آمیزه افزایش می باید، 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).

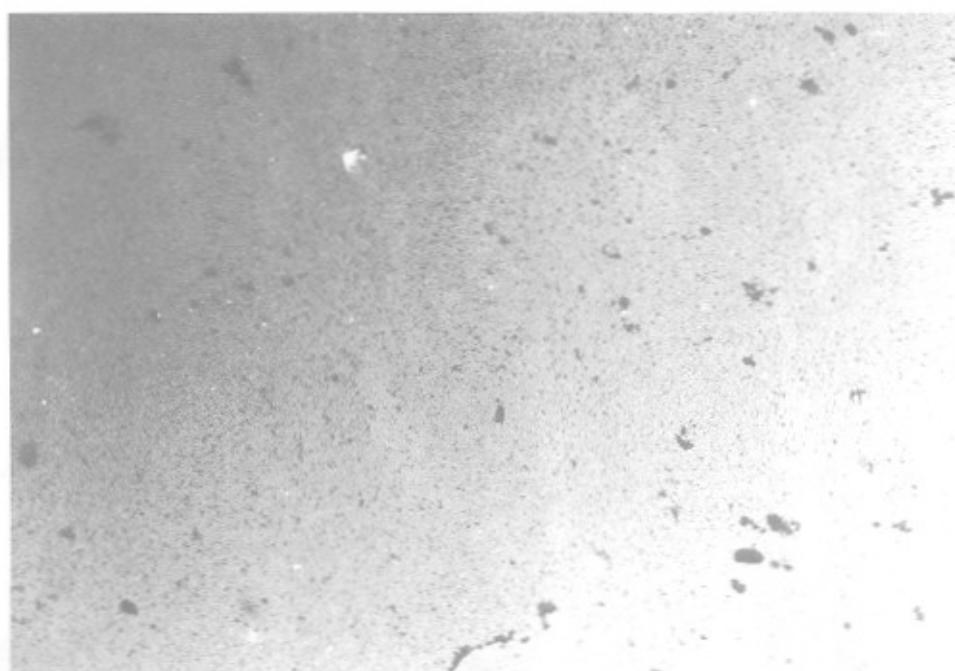
واسیع درجه کارایی، این آمیزه را به یک فرمولبندی منحصر بفرد تبدیل می کند.

مجموع عدددهای 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 اتلن 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 ۸°C در برابر شیاردار شدن در اثر ترافیک در شرایط استاندارد مقاوم است و تا ۲۲°C در برابر نرکهای 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).

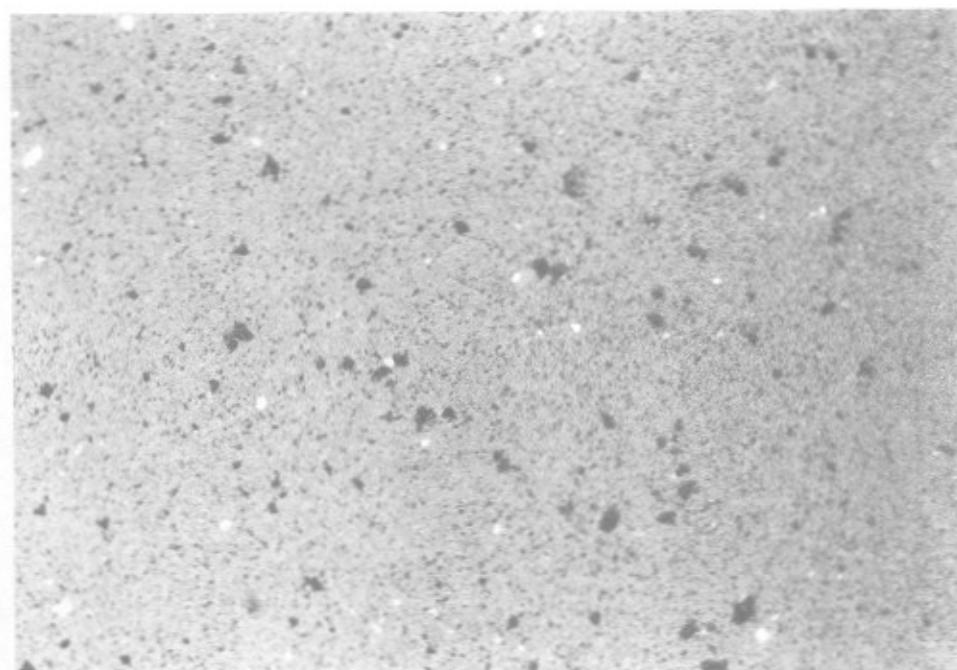


شکل ۱۳- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).

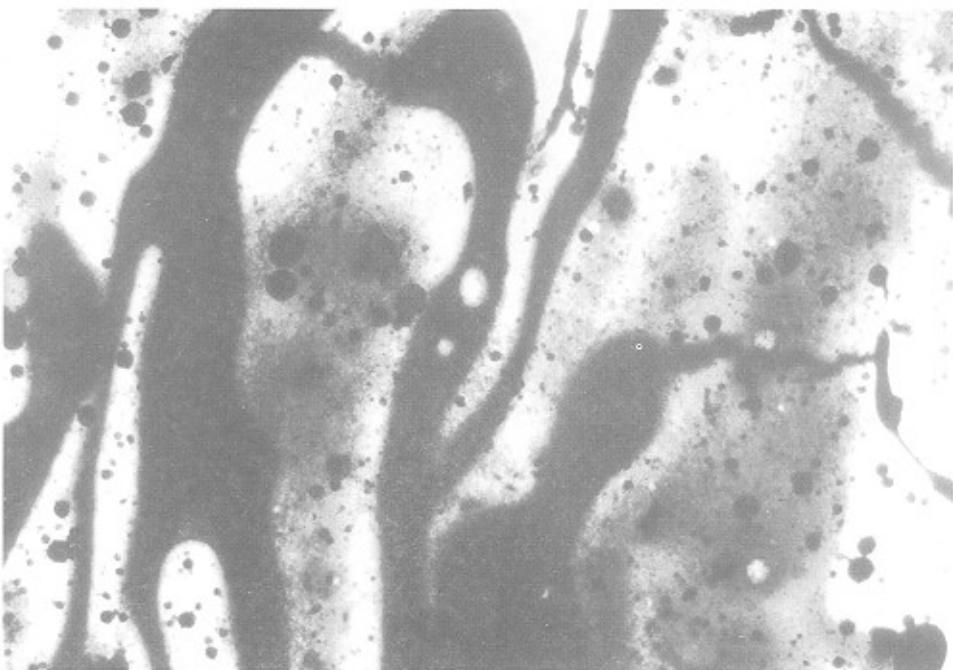
شکل شناسی

نحوه توزیع ذرات پلیمر و پودر لاستیک در قیر در شکلهاي ۳ تا ۱۰ ارائه شده است. در شکل ۳ که نحوه توزیع ۵ درصد پودر لاستیک را در قیر نشان می دهد، ملاحظه می شود که ذرات پودر لاستیک به خوبی در قیر پخش شده‌اند و مخلوط همگنی را

در آمیزه ۹ افزودن ۴ درصد SBR به آمیزه ۴، تغییری در درجه کارایی قیر ایجاد نمی گند که نشان دهنده بی اثری افزایش لاستیک روی کارایی قیر پلیمری است. در نتیجه، حذف این لاستیک از فرمولبندی این نوع قیرهای پلیمری توصیه می شود.



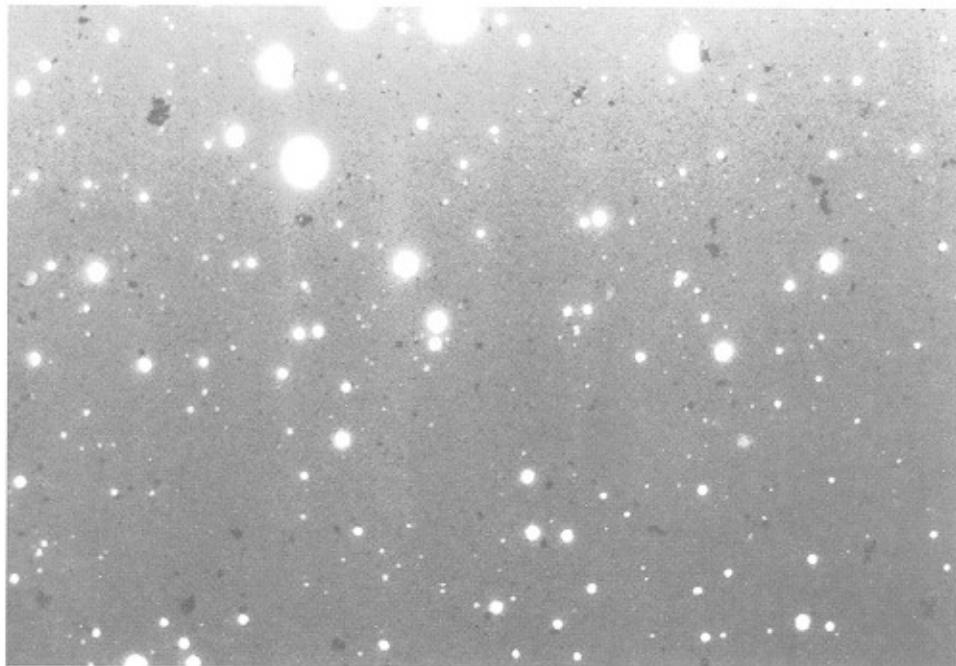
شکل ۱۴- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش باین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۴ (بزرگنمایی ۱۰۰).



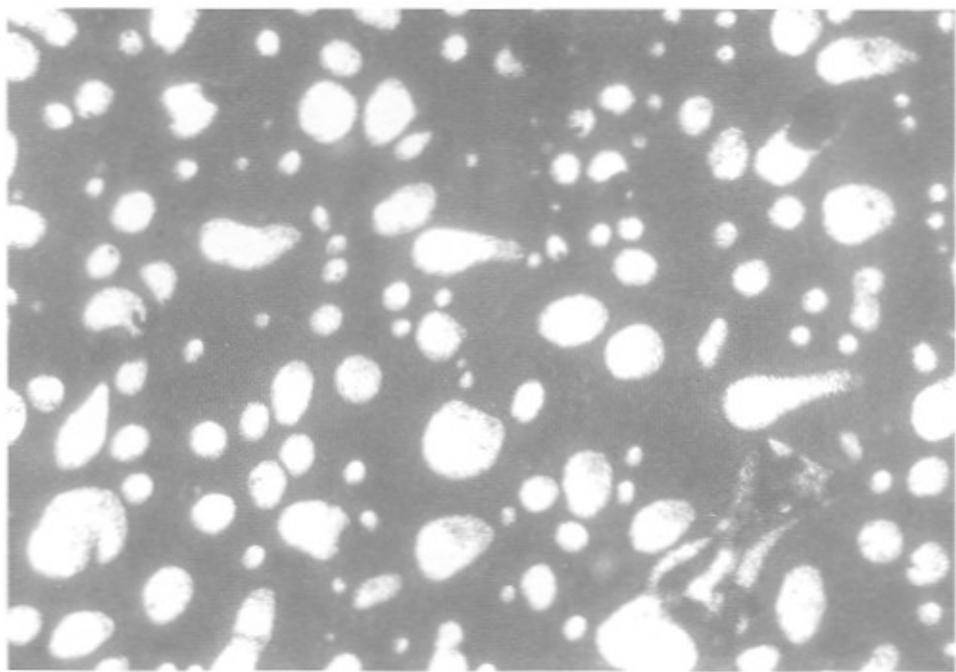
شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپی نمونه تهیه شده از بخش بالای لوله آزمون برای آزمون پایداری آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).

بیشتری است استفاده شود. در شکل ۴ نحوه توزیع 3 درصد پلی اتیلن $LF\cdot450$ 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 آورده است. البته باید توجه داشت که ذرات بزرگ در این تصویر نشان دهنده حبابهای

بوجود آورده است. البته، در این شکل ذرات درشت لاستیک دیده می شوند که هنوز باز نشده اند. این ذرات احتمالاً از قسمت آج لاستیک و سایل نقلیه اند که سختی نسبتاً زیادی دارند. برای مصرف بهینه پس از 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 آزمون برای آزمون پایداری آمیزه ۶ (بزرگنمایی ۱۰۰).



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

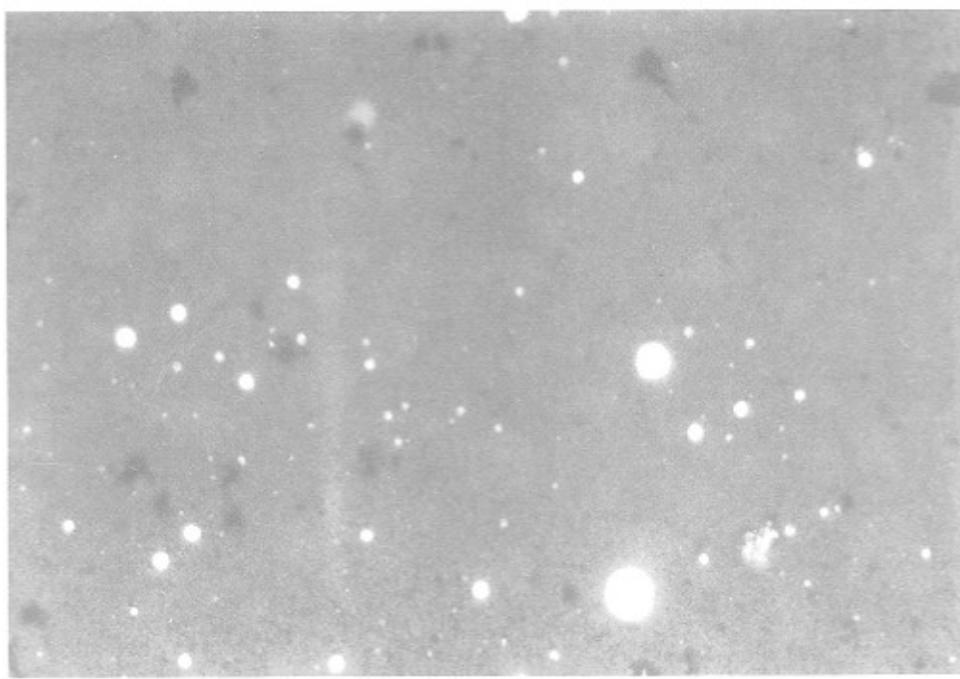
شده اند و مخلوط کاملاً یکنواخت و همگن است. یک شکل شناسی مناسب و ذرات یکنواخت می‌تواند توجیه کننده خواص مطلوب مشاهده شده باشد. در مقایسه با شکل ۶ ملاحظه می‌شود که در غلظت یکسان از پلی‌اتیلن‌های مختلف قطرات HD_{۳۸۴۰} با وجود شاخص جریان مذاب کمتر نسبت به قطرات LF_{۴۵۰} ریزترند. دلیل این نوع شکل شناسی احتمالاً سازگاری بهتر پلی‌اتیلن HD_{۳۸۴۰} با قیر است. در شکل ۱۰ عکس میکروسکوپی آمیزه ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات SBR_{۱۷۱۲} کاملاً در قیر باز شده و همچنین ذرات پودر لاستیک بطور یکنواخت در قیر بخش 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 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 همان‌گونه 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 شده اند و مخلوط یکنواختی را بوجود آورده‌اند. در شکل ۷ تصویر میکروسکوپی آمیزه ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه 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. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات پلی‌اتیلن HD_{۱۳} بخوبی در قیر پخش نمی‌شوند و مخلوط حاصل همگن نیست. این شکل شناسی می‌تواند ترا اندمازه‌ای افزایش دمای فراس در نتیجه شکنندگی شدن قیر حاصل را در سرما توجیه 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 کترنگ‌گالی پلی اتیلن HD ۳۸۴، HD با قیر ۶۰/۷۰ تهران ($1/0\text{g/cm}^3$)، آمیزه ۸ و ۹ پایداری خوبی مشاهده می شود، ولی آمیزه ۷ و ۵ 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 آمیزه‌های چهارتایی شامل قیر، لاستیک، پلی اتیلن و روغن را می‌توان این طور توجه کرد که به دلیل انحلال پذیری و سازگاری خوب لاستیک با قیر، مولکولهای لاستیک کاملاً در فری حل می‌شوند. این در حالی است که قطرات پلی اتیلن با قیر ناسازگارند و تمايل زیادی به جدایی فاز دارند. در ابتدا، قطرات پلی اتیلن کوچک‌اند و نیروی شناوری وارد بر آنها بسیار کوچک است. پس از آنکه قطرات مختلف به یکدیگر می‌پیونددند، حجم قطره نهایی بزرگ‌شده و نیروی شناوری وارد بر آن تیز بزرگ می‌شود. در نتیجه این عمل، قطرات بزرگ پلی اتیلن سریعاً به سطح بالای قیر مهاجرت می‌کند و جدایی فاز روی می‌دهد. حال اگر پلیمر محلولی در قیر وجود داشته باشد، به دلیل داشتن حجم هیدرودیتمیکی زیاد، براساس مکائیسم پایدارسازی نخلیه (Ostwald rippling) از تزدیک شدن بیش از حد قطرات پلی اتیلن جلوگیری می‌کند (شکل ۱۹) و در نتیجه سیستم پایدار می‌ماند [۲۳، ۲۴].

نمونه‌های تهیه شده از بخش بالا و پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۳ (۳۰ درصد پلی اتیلن I.F. ۴۵۰) 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 گرفته‌اند. در این آمیزه، همان گونه که ملاحظه می‌شود، پایداری نسبتاً خوبی مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ عکس‌های میکروسکوپی نمونه‌های 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 بخشدیده است. این تصاویر نشان می‌دهند که ذرات پودر لاستیک بخوبی در قیر بخش شده و مخلوط همگنی را بوجود آورده‌اند. در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های تهیه شده از بخش‌های بالا و پایین لوله آزمایش برای آمیزه ۶ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود، ذرات پلی اتیلن در قیر فاز جداگانه‌ای را ایجاد می‌کند که به مرور زمان از قیر جدا می‌شوند. در این آمیزه با توجه به تصاویر پایداری خوبی مشاهده نشده است. در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ عکس‌های میکروسکوپی نمونه‌های تهیه شده از بخش‌های بالا و پایین لوله آزمایش برای آزمون پایداری آمیزه ۸ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ذرات پودر لاستیک و پلی اتیلن بخوبی در قیر بخش شده و مخلوط همگنی را بوجود آورده‌اند. البته، در این شکلها ذرات درشت لاستیک دیده می‌شود. این ذرات از قسمت آج لاستیک است که

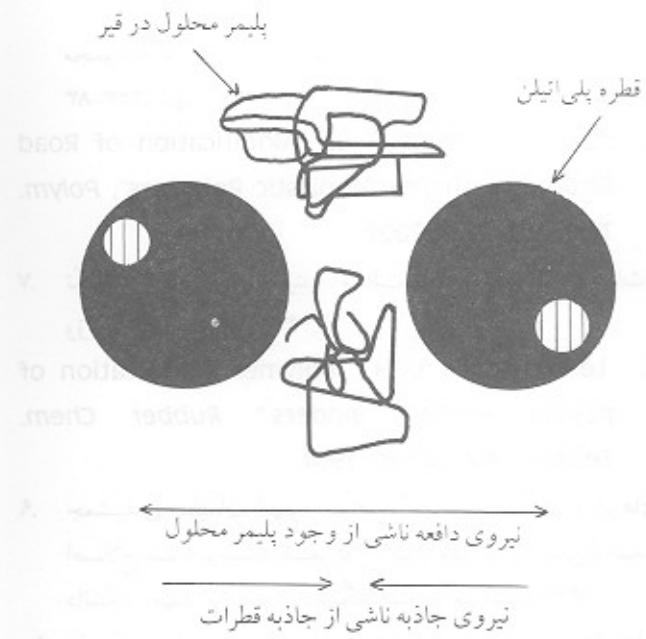
در جاده‌ها و خیابان‌های است. اضافه کردن روغن H.V.S به قیر به دلیل افزایش نرمی قیر موجب افزایش درجه نفوذ می‌شود، ولی نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری قیر را نسبت به قیر شاهد کاهش می‌دهد. درنتیجه، کارایی قیر در شرایط سرد بهبود می‌یابد. اثر دیگر روغن H.V.S روی آمیزه‌های قیر و پلیمر تهیه شده افزایش سازگاری و پایداری بیشتر این نوع آمیزه‌های است. استفاده از هر سه اصلاح کننده بطور همزمان در قیر منجر به فرمولیندی 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 فرمولیندی به عنوان فرمولیندی 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 اعضاي 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

- طباطبایی سارا، "کاربرد پلیمرها در صنعت راهسازی" مجله عمران شریف - ویژه‌نامه کاربرد پلیمرها در مهندسی عمران، صفحه ۳۳-۳۶، بهار ۱۳۷۹.
- زندي فائز احمد، "ساختمان و رئولوژي قیر" فصلنامه زئونتکنيك و مقاومت مصالح، سال سیزدهم، شماره ۶۹، صفحه ۴۹-۵۹، بهار ۱۳۷۴.
- مهندسين مشاور ايران استن، "افزونيهای قیر و مخلوطهای آسفالتی" فصلنامه علمي، فني و آموزشي راه و ترابري، سال اول، شماره ۴، صفحه ۳۷-۴۲ تابستان ۱۳۷۱.
- يوسفى على اكير، "اثر پلی اتيلن بازيابي شده روی خواص قیر" فصلنامه زئونتکنيك و مقاومت مصالح، سال هفدهم، شماره ۸۲، صفحه ۴۹-۷۳، بهار و تابستان ۱۳۷۸.
- مالدر آلن، سامي محمد ، افتخاري دادخواه عليرضا ، امام رضا ، "قیر اصلاح شده برای روسازیهای انعطاف پذیر آسفالتی"



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

نتیجه گیری

با توجه به نتایج گزارش شده می‌توان نتیجه گرفت که در اثر عمل اختلاط در دمای بالا 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 گرانوی 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 اتيلن 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 شiardar شدن پوشش‌های آسفالتی

- مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، صفحه ۱۳۷۳-۸۳، مهر ۲۰۰۳.
6. Lu X. and Isacsson U.; "Modification of Road Bitumen with Thermoplastic Polymers", *Polym. Test.*; **20**, 77-86, 2001.
7. تکلو 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.
9. جمشیدی سلیمان، "بهبود خواص آسفالت با استفاده از قیرهای اصلاح شده بوسیله پلیمرها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۸.
10. نظریگی علی احسان، "مقایسه تأثیر الاستومرهای، ترموبلاستها و الاستومر ترموبلاستها بر خواص آسفالت" مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، صفحه ۲۱۸-۳۰، مهر ۱۳۷۳.
11. 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.
16. یوسفی علی اکبر، "وضعیت قیر در کشور" پژوهشگاه پلیمر ایران، مهر ۱۳۷۸.
17. زیاری حسن، "آسفالت گوگردی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، تابستان ۱۳۶۹.
18. روشنبل بدیعا...، "افزایش مقاومت شکننده قیر به کمک لاتکس" تشریه داخلی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک - وزارت راه و ترابری، سال یازدهم، شماره ۶۵، صفحه ۵۰-۶۹، 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.
21. نظریگی علی احسان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۱.
22. Iranian Petrochemical Companies Brochour, 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.