

خواص آسفالت پلیمری حاصل از اختلاط پس مانده تقطیر در خلاء و ضایعات واحد تولید پلی اتیلن و لاستیک استیرن - بوتادی ان

اعظم یوسفی^۱، علی اکبر یوسفی*^{۲،۳}، مهدی ارجمند^۱
 ۱ - تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، کدپستی ۱۴۱۸۷۶۱۱۳۵
 ۲ - تهران، پژوهشکده صنایع رنگ، صندوق پستی ۱۶۷۶۵/۶۵۴
 ۳ - تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵
 دریافت: ۸۶/۱۷/۲۸، پذیرش: ۸۷/۳/۱۱



چکیده

ضایعات پلیمری و غیر پلیمری فرایندهای پتروشیمیایی به عنوان مشکل جدی محیط زیست مطرح اند. بنابراین باید راه حلی یافت تا این ضایعات به شکل مفیدی به کار برده شوند. در واحد تولید SBR دو ماده ضایعاتی، یکی به شکل پودر ریز لاستیکی و دیگری حلال بازیابی شده n-متیل پیرولیدون (NMP) ایجاد می شوند. در واحد تولید HDPE نیز ماده ضایعاتی با وزن مولکولی کم به دست می آید که به سادگی در طبیعت تخریب نمی شود. از طرفی، برای تهیه قیرهای پلیمری معمولاً قیر با پلیمرهای گرمانرم، لاستیکها و روغن نرم کننده مخلوط می شود. در این پژوهش، اثر ضایعات SBR و PE به عنوان اصلاح کننده و ضایعات NMP به عنوان روغن نرم کننده پس مانده تقطیر در خلاء نفت بررسی شد. نتایج نقطه نرمی، درجه نفوذ و نقطه شکست فراس قیرهای پلیمری حاصل حاکی از آن است که ضایعات پلیمری SBR و PE در دماهای بالا اصلاح کننده خوبی به شمار می آیند و ضایعات NMP به عنوان ماده پرکننده و کمکی در تولید قیر پلیمری قابل استفاده است. از این نوع قیر، آسفالت پلیمری نیز تهیه شد که در مقایسه با قیر ۶۰/۷۰ استاندارد استحکام مارشال بیشتر و روانی کمتری داشت. این نتایج تأکیدی بر استفاده مجدد مناسب این ضایعات مضر از نظر زیست محیطی است.

بخشی از این مقاله برای ارائه در همایش IBC 2008 پذیرفته شده است.

واژه های کلیدی

آسفالت پلیمری،
 پس مانده تقطیر در خلاء،
 مواد ضایعاتی، پلی اتیلن،
 لاستیک استیرن - بوتادی ان

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

a.yousefi@ippi.ac.ir

The Properties of Polymer-Modified Asphalt Driven from Vacuum Bottom and Wastes of PE and SBR Plants

A. Yousefi¹, A. A. Yousefi*^{2,3}, and M. Arjomand¹

1. Tehran-South Azad University, Postal Code: 1418761135 Tehran, Iran
2. Institute for Colorants, Paint and Coating, P.O. Box: 16765/654, Tehran, Iran
3. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965/115, Tehran, Iran

Received 17 February 2008; accepted 31 May 2008

Abstract

The polymeric and non-polymeric petrochemical wastes are environmentally unfavorable materials. We have to find a way to reuse these wastes in a safe manner. In styrene-butadiene rubber (SBR) production plant two major wastes are produced one is a fine rubber powder and the other is recycled N-methyl pyrrolidone (NMP). In high-density polyethylene (HDPE) production plant also a low molecular weight polymer waste is produced which does not degrade in environment easily. On the other hand, bitumen is usually blended with thermoplastics, rubbers and an oil to produce polymer-modified bitumens. Effect of SBR, PE and NMP wastes on vacuum bottom residue of crude oil distillation was investigated. The results of penetration, softening point and Frass tests revealed the advantages of SBR and PE wastes at high temperatures and suggest NMP waste as a good bitumen extender. The results of the Marshal test on the prepared polymer-modified hot-mix asphalt of the optimum formulation highlight the superiority of its strength and its lower flow as compared with those of standard 60/70 penetration grade bitumen.

Key Words

polymer-modified asphalt,
 vacuum bottom residue,
 waste materials, polyethylene,
 SBR

(* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: a.yousefi@ippi.ac.ir

مقدمه

متوسط و کم (مواد روغنی مانند) را جذب کرده و قیر را در سرما شکننده می کند. برای جلوگیری از این پدیده نامطلوب روغن اصلاح کننده ای را به مجموعه قیر و پلیمر اضافه می کنند [۲،۱]. در واحد تولید SBR مجتمع پتروشیمی بندر امام (BIPC) دو ماده ضایعاتی تولید می شود که یکی از آنها شامل ذرات ریز SBR ضایعاتی و دیگری باقی مانده برج خالص سازی با n- متیل پیرولیدون (NMP) است. ماده ضایعاتی دوم، شامل مخلوطی از اجزای شیمیایی مختلف و درصد کمی ذرات ریز SBR است. سومین ماده ضایعاتی از واحد HDPE پتروشیمی بندر امام است، این ماده ضایعاتی پلیمری، با وزن مولکولی کم و موم مانند در واحد شست و شو با هگزان ایجاد می شود.

در این پژوهش، استفاده از سه ماده ضایعاتی به عنوان اصلاح کننده و روغن نرم کننده برای تهیه قیر پلیمری بررسی شده است. با استفاده از پس مانده تقطیر در خلاء نفت خام به جای قیر، فرایند اختلاط جایگزین فرایند هوادهی شد و بدین ترتیب از هزینه تولید کاسته شده است. افزون بر این، خواص آسفالت پلیمری نیز گزارش شده است. هم چنین، برای اولین بار مواد ضایعاتی با پس مانده تقطیر در خلاء مخلوط شده و خواص قیر و آسفالت حاصل گزارش شده است.

تجربی

مواد

مواد فهرست شده در جدول ۱ به عنوان مواد اولیه مخلوط استفاده شده است [۵] و پس مانده تقطیر در خلاء از پالایشگاه تهران تهیه شد. اطلاعات تکمیلی درباره ضایعات NMP در مرجع [۲۰] آورده شده است.

دستگاه ها روش ها

به منظور تعیین خواص فیزیکی قیرهای پلیمری حاصل، نقطه نرمی

جدول ۱ - مشخصات مواد اولیه مخلوط.

| نمونه | گرانروی مونی (ML ۱+۴) | درجه نفوذ در ۲۵°C | نقطه نرمی (°C) | گرانروی مختلط در ۱۷۰°C (Pa.s) |
|-------|--------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------------|
| VB | - | ۴۰۰ ≤ | ۴۲/۸ | - |
| PE | - | - | ۱۰۶ | ۱۰۴ |
| SBR | ۳۶ | - | - | - |
| NMP | - | ۴۰۰ ≤ | ۷ | - |

فرایندهای مختلف و پیچیده شیمیایی همیشه فرایندهای پاک و بدون مواد مضر زیست محیطی نیستند. در برخی فرایندهای پتروشیمیایی که به محصولات پلیمری مربوط می شوند، برحسب ظاهر خطر آبی زیست محیطی قابل مشاهده نیست. ولی، تجزیه یا تخریب این مواد در محیط سالیان متمادی به طول می انجامد. از این رو، رها کردن آنها در طبیعت باعث ورود مواد ناسازگار به خاک شده و عملاً تنش های فیزیکی و شیمیایی به خاک وارد می شود [۱،۲]. در واحدهای تولید مواد پلیمری، ضایعات پلیمری و غیر پلیمری نیز تولید می شوند. رها کردن این ضایعات در طبیعت تقریباً غیرممکن است. بنابراین، یافتن راه حلی مناسب برای استفاده از این ضایعات در کاربردهای پایین دست ضروری است [۲]. قیر مخلوطی از انواع هیدروکربن های سیر شده و آروماتیک های چند حلقه ای است. این مخلوط ساختار شیمیایی و فیزیکی بسیار پیچیده ای دارد [۳،۴] و کاربرد اصلی آن در راه سازی است. یک مخلوط آسفالتی گرم آمیخته ای از تقریباً ۹۵٪ وزنی مصالح سنگی با اندازه ذرات مختلف و ۵٪ وزنی قیر است. این لایه های آسفالتی در معرض شرایط آب و هوایی و دمایی بسیار متفاوت از گرم و خشک گرفته تا گرم و مرطوب، سرد و بسیار سرد و شرایط بارگذاری دینامیکی جاده و خیابان ها قرار دارند. در این شرایط قیر به عنوان محمل و حافظ یک پارچگی (integrity) لایه آسفالتی، رفتار رئولوژیکی - مکانیکی بسیار متفاوتی را نشان می دهد که در صورت عدم احراز خواص مناسب یا عدم قابلیت تطبیق، سریعاً لایه آسفالتی تخریب شده و باید آن را تعمیر کرد که این کار بسیار هزینه بر است [۵-۷]. از طرفی، به دلیل بارش باران و جمع شدن آب روی لایه های آسفالت معمولی، امنیت رانندگی کاهش یافته و بار ترافیک و احتمال تصادف افزایش می یابد [۵]. در حالی که با استفاده از قیرهای اصلاح شده می توان لایه های آسفالتی اسفنجی را ساخت که آب حاصل از بارندگی را زه کشی کنند [۸،۹]. از طرفی، در سرما لایه های آسفالتی تحت تنش های گرمایی می شکنند، در دماهای بالا زیر بار ترافیک شیاردار می شوند و در دماهای متوسط زیر بار دینامیک ترافیک خسته شده و ترک های شبکه ای برمی دارند. در هر مورد، لایه آسفالتی تخریب می شود. برای تولید این نوع لایه های آسفالتی باید قیرهایی تولید کرد که استحکام مکانیکی بسیار زیادی داشته باشند [۵،۹]. ساختار قیر به تنهایی پاسخ گوی این شرایط نیست و باید از مواد دیگری مانند پلیمرها استفاده کرد. پلیمرها و مواد ضایعاتی مختلف مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن و کوپلیمر اتیلن - وینیل استات (EVA)، PVC، خرده لاستیک، لاستیک SBR و SBS در اصلاح قیر استفاده شده اند [۱۹-۲۰].

نکته قابل توجه در باره قیرهای پلیمری این است که پس از افزودن هر پلیمر به قیر، پلیمر اضافه شده، بخش هایی از اجزای قیر با وزن مولکولی

درصد‌های مختلفی از ضایعات به پس مانده افزوده شد که نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. با بررسی نتایج جدول ۲ نتیجه گیری می شود، با افزایش ضایعات پلی اتیلنی درصد مواد فرار مخلوط ها کاهش می یابد، درجه نفوذ به شدت کاهش و نقطه نرمی به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. افزایش ضایعات اثر منفی کمی روی نقطه شکست فراس دارد و می توان با افزودن درصد‌های بیشتری از ضایعات به پس مانده، به قیر پلیمری دست یافت که از نظر درجه بندی نفوذی در گستره ۶۰/۷۰ قرار دارد، اما دارای نقطه نرمی بسیار بالاتر از قیر نفوذی ۶۰/۷۰ و نقطه شکست فراس مناسب باشد. تنها عیب زیاد بودن درصد این ضایعات کاهش چسبندگی قیر به مصالح است.

با بررسی تصاویر شکل شناسی نمونه آمیزه های دارای پس مانده خلاء نفت (vacuum bottom, VB) مشاهده می شود که فیلمی یک نواخت تولید می شود و جالب این که در تصاویر میکروسکوپی اثری از جدایی فاز پلیمری دیده نمی شود. آزمون پایداری این نمونه که به مدت ۲۴ h در دمای ۱۶۵°C انجام شد، بیان گر پایداری نمونه ها در دماهای بالا است (شکل های ۲ و ۳). مخلوط های ۷ تا ۱۰٪ این ضایعات درجه تقریبی کارایی بسیار زیادی دارند. با توجه به اطلاعات جدول ۲ برای مواد فرار می توان نتیجه گرفت که این پلیمر به دلیل جذب اجزای با وزن مولکولی کم قیر، درصد مواد فرار آن را کاهش می دهد.

اختلاط ضایعات SBR با پس مانده تقطیر در خلأ

برای بررسی اثر ضایعات SBR بر خواص پس مانده تقطیر در خلأ، درصد‌های مختلفی از ضایعات SBR به پس مانده افزوده شد که نتایج در جدول ۳ گزارش شده است. با بررسی نتایج جدول ۳ این نتیجه حاصل می شود که افزایش این نوع ضایعات روی نقطه نرمی اثر

جدول ۲- اثر ضایعات PE بر خواص فیزیکی VB.

| PG | نقطه فراس (°C) | نقطه نرمی (°C) | درجه نفوذ (۰/۱mm) | مواد فرار (%) | ضایعات PE (%) | نمونه (%) |
|--------|----------------|----------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|
| ۵۸-۲۸ | -۱۶ | ۴۲/۸ | ۴۰۰ | ۰ | ۰ | پایه |
| ۶۴-۲۸ | -۱۶ | ۴۵/۳ | ۲۳۸ | ۷۰۳۹ | ۰ | شاهد |
| ۷۰-۲۲ | -۱۳ | ۴۹/۸ | ۱۹۳ | ۰/۶۶۵ | ۱ | L1 |
| ۸۲-۲۸ | -۱۴ | ۶۳ | ۲۰۶ | ۰/۸۵۳ | ۳ | L3 |
| ۹۴-۲۲ | -۱۲ | ۷۵ | ۱۴۱ | ۰/۷۷۸ | ۵ | L5 |
| ۱۰۰-۲۸ | -۱۴ | ۸۲ | ۱۱۱ | ۰/۷۵۵ | ۷ | L7 |
| ۱۰۰-۲۸ | -۱۴ | ۸۵ | ۷۵ | ۰/۸۵۶ | ۱۰ | L10 |

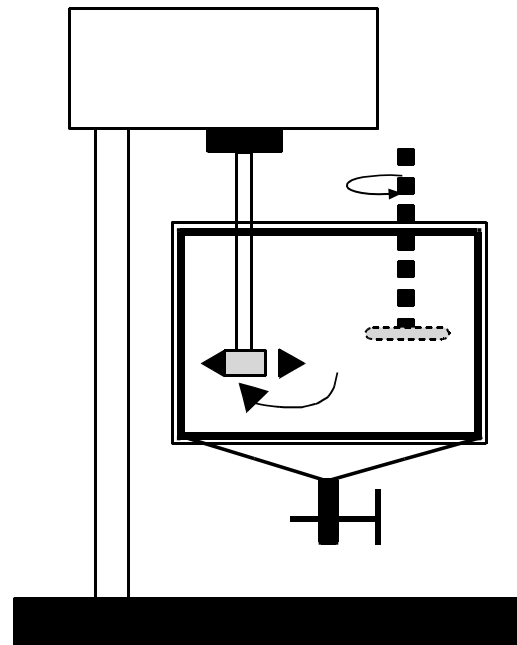
مطابق استاندارد (ASTM D36 (ISIRI-2951) به روش حلقه و گلوله، درجه نفوذ مطابق استاندارد (ASTM D5 (ISIRI-2950) و نقطه شکست فراس به روش (IP-80 (ISIRI-3867) معین شد. آزمون پایداری در دمای ۱۶۵°C به مدت ۲۴h، آزمون اثر آب جوش بر مصالح پوشیده شده با قیر طبق استاندارد ASTM D3625 و آزمون استحکام مارشال و روانی طبق استاندارد ASTM D1559 انجام شد.

عملیات اختلاط نمونه های ضایعات پلیمری و پس مانده تقطیر در خلاء با درصد های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ با استفاده از مخلوط کن آزمایشگاهی، سامانه Polytron 6000 مجهز به هم زن ۳۰۳۰/۲ PT-DA و مخلوط کن Polymix انجام شد که هر سه ساخت شرکت Kinematika و مجهز به یک هم زن چهار پره بودند (شکل ۱). اختلاط در دمای ۱۸۰°C و زمان ۴۵ min با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm انجام شد و نمونه ها طبق روش های استاندارد مربوط آمیزش شدند. درجه تقریبی کارایی قیرهای تولیدی مطابق روش گفته شده در مراجع [۸،۹] محاسبه شد.

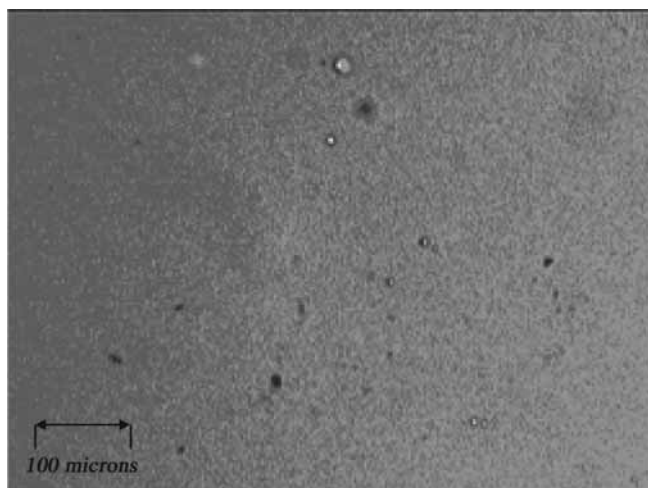
نتایج و بحث

اثر ضایعات پلی اتیلن بر خواص پس مانده تقطیر در خلأ

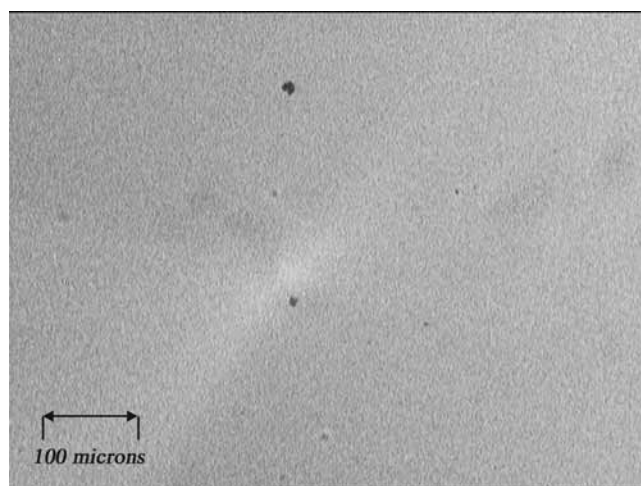
برای بررسی اثر ضایعات پلی اتیلن بر خواص پس مانده تقطیر در خلأ،



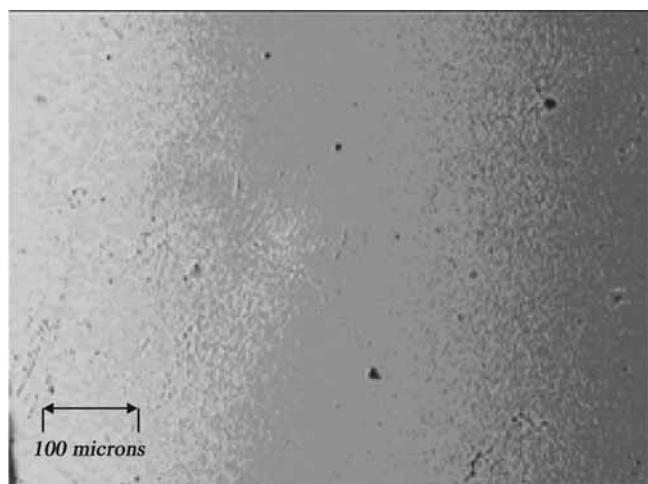
شکل ۱- نمای دستگاه مخلوط کن دوگانه آزمایشگاهی (سرعت برش کم و زیاد).



(الف)



شکل ۲ - تصویر میکروسکوپی VB.



(ب)

شکل ۳ - تصویر میکروسکوپی: (الف) بالای آمیخته VB/PE و (ب) پایین آمیخته VB/PE.

معکوس دارند (تا ۱۰٪)، درجه نفوذ را کاهش می دهند و اثر منفی کمتری روی نقطه شکست فراس می گذارند. در ضمن، افزایش SBR باعث افزایش خاصیت کشسانی قیرهای حاصل می شود. با بررسی تصاویر شکل شناسی نمونه این آمیزه ها با VB مشاهده می شود که فیلمی یک نواخت تولید می شود و آزمون پایداری نیز بیان گر پایداری نمونه ها در دماهای بالاست (شکل های ۲ و ۴). برای ضایعات SBR خالص سازی های لازم انجام نشده است، از این رو، مواد فرار مانند مونومرهای عمل نکرده در آن وجود دارند. به همین دلیل، افزایش این ماده ضایعاتی درصد مواد فرار قیر را افزایش می دهد.

اختلاط ضایعات NMP با پس مانده تقطیر در خلاء

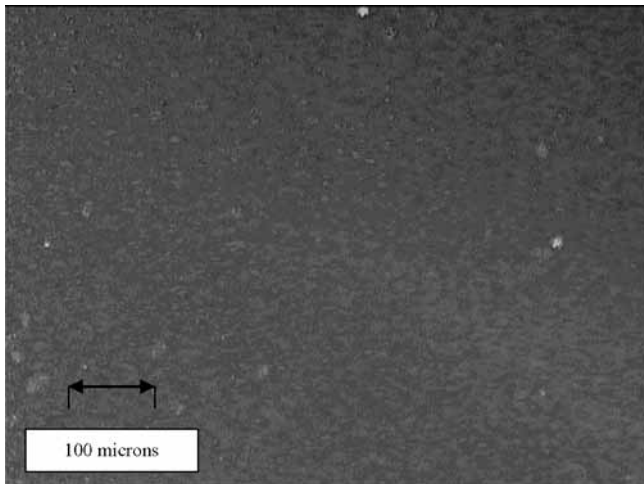
برای بررسی اثر ضایعات NMP بر خواص پس مانده تقطیر در خلاء، درصد های مختلفی از ضایعات NMP به پس مانده افزوده شد و نتایج در جدول ۴ گزارش شده است. با بررسی نتایج جدول ۴ نتیجه گیری می شود که با افزایش ضایعات NMP درصد مواد فرار مخلوط ها

جدول ۴ - اثر ضایعات NMP بر خواص فیزیکی VB.

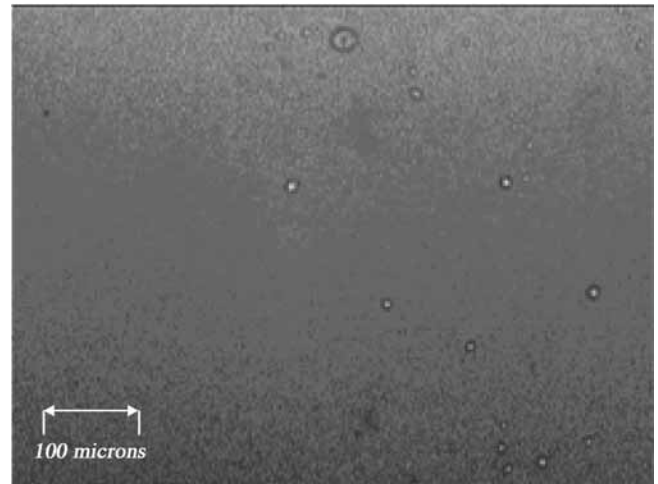
جدول ۳ - اثر ضایعات SBR بر خواص فیزیکی VB.

| نمونه (%) | ضایعات (%) NMR | مواد فرار (%) | درجه نفوذ (°/1mm) | نقطه نرمی (°C) | نقطه فراس (°C) | PG |
|-----------|----------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|-------|
| N3 | ۳ | ۷۶۹۲ | ۲۰۱ | ۴۶ | -۱۴ | ۶۴-۲۸ |
| N5 | ۵ | ۷۸۵۳ | ۱۸۰ | ۴۸/۱ | -۱۴ | ۶۴-۲۸ |
| N7 | ۷ | ۲/۲۹۵ | ۲۲۱ | ۴۵/۵ | -۱۶ | ۶۴-۲۸ |
| N10 | ۱۰ | ۳/۵۳۷ | ۱۶۱ | ۴۸/۱ | -۱۱ | ۶۴-۲۲ |

| نمونه (%) | ضایعات (%) SBR | مواد فرار (%) | درجه نفوذ (°/1mm) | نقطه نرمی (°C) | نقطه فراس (°C) | PG |
|-----------|----------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|-------|
| S3 | ۳ | ۰/۸۳ | ۲۷۱ | ۴۱/۸ | -۱۳ | ۵۸-۲۲ |
| S5 | ۵ | ۷۰۲ | ۲۳۱ | ۴۲/۶ | -۱۵ | ۵۸-۲۸ |
| S7 | ۷ | ۲/۱۸ | ۲۳۷ | ۴۴/۵ | -۱۶ | ۶۴-۲۸ |
| S10 | ۱۰ | ۷۵۶۲ | ۱۹۷ | ۴۵/۳ | -۱۲ | ۶۴-۲۲ |



شکل ۵ - تصویر میکروسکوپی NMP.

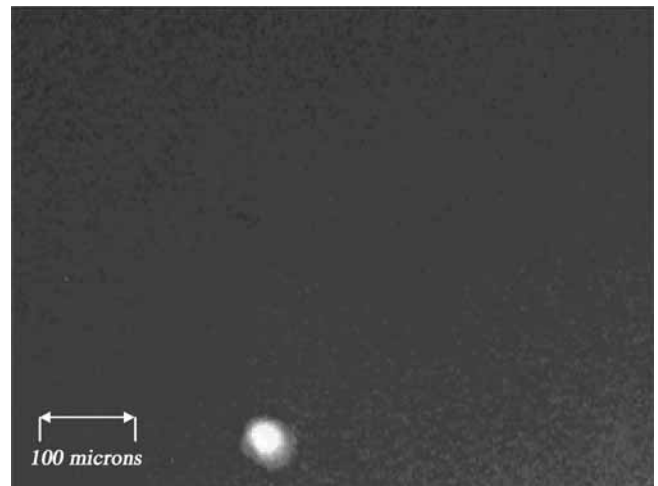


(الف)

اجزای شیمیایی مختلف و درصد کمی ذرات ریز SBR هستند (شکل ۵) و به طور جزئی در آب محلول هستند. بنابراین، نمی توان از آن به عنوان روغن نرم کننده استفاده کرد. بلکه بهتر است از این ماده ضایعاتی به عنوان ماده پرکننده بسط دهنده (extender) استفاده شود. افزون بر این، به دلیل وجود مواد فرار زیاد در این ضایعات درصد مواد فرار قیر افزایش یافته است.

اختلاط مخلوط ضایعات پلیمری با پس مانده تقطیر در خلاء

پس از بررسی اثر تک تک مواد ضایعاتی بر پس مانده تقطیر در خلاء، به منظور دست یابی به قیرهای پلیمری با درجه نفوذ مشابه ۸۵/۱۰۰ و ۶۰/۷۰ اما با نقطه های نرمی بالاتر، مخلوط های ترکیبی از این ضایعات و پس مانده تقطیر در خلاء تهیه و آزمایش شد که نتایج آنها در جدول ۵ گزارش شده است. همان طور که مشاهده می شود، قیرهای پلیمری با درجه های نفوذ ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ حاصل شده اند که ویژگی این نوع قیرها علاوه بر گستردگی درجه نفوذ و نقطه نرمی بسیار بالا، نقطه فراس نسبتاً مناسب و فراریت کم است. به دلیل بیچیدگی آمیخته های چند جزئی به



(ب)

شکل ۴ - تصویر میکروسکوپی: (الف) بالای آمیخته VB/SBR و (ب) پایین آمیخته VB/SBR.

افزایش می یابد، اما آثار مثبتی روی درجه نفوذ و نقطه فراس می گذارد و تقریباً روی نقطه نرمی بی اثر است. چون این ضایعات، مخلوطی از

جدول ۵ - اثر مخلوط ضایعات بر خواص فیزیکی VB.

| PG | نقطه فراس (°C) | نقطه نرمی (°C) | درجه نفوذ (°/1mm) | مواد فرار (%) | ضایعات NMR (%) | ضایعات SBR | ضایعات PE (%) | نمونه (%) |
|--------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------|------------|---------------|-----------|
| ۹۴-۲۸ | -۱۴ | ۷۸/۱ | ۹۸ | ۷/۸۹ | ۰ | ۷ | ۵ | LS7 |
| ۱۰۰-۲۲ | -۱۱ | ۸۳/۲ | ۸۱ | ۰/۸ | ۰ | ۵ | ۷ | L7S |
| ۱۰۶-۲۲ | -۱۱ | ۸۶ | ۷۰ | ۰/۹۶۵ | ۰ | ۷ | ۷ | LS77 |
| ۱۰۰-۲۸ | -۱۵ | ۸۲ | ۹۶ | ۷/۹۲۰ | ۵ | ۰ | ۷ | LN5 |
| ۵۸-۲۸ | -۱۵ | ۴۱ | ۲۱۱ | ۲/۲۴۹ | ۵ | ۱۰ | ۰ | NS5 |

و نقطه شکست فراس کمی کاهش می یابد که این نمونه درجه تقریبی کارایی مناسبی دارد.

از ماده ضایعاتی NMP نمی توان به عنوان نرم کننده استفاده کرد. ولی، با افزودن ۱۰٪ از این ماده ضایعاتی به عنوان ماده پرکننده و کمکی به پس مانده تقطیر در خلاء، به قیر پلیمری ۱۵۰/۲۰۰ با نقطه نرمی و نقطه شکست فراس مناسب تر می توان دست یافت.

افزودن SBR روی نقطه نرمی و فراس زیاد موثر نیست، ولی درجه نفوذ قیر را کاهش و خاصیت کشسانی آن را افزایش می دهد و به عنوان ماده اصلاح کننده از چند جهت مناسب است. با مخلوط ضایعات می توان به قیر پلیمری ۶۰/۷۰ (آمیخته LS77) با کارایی بیشتر دست یافت.

با استفاده از اختلاط ضایعات و پس مانده تقطیر در خلاء فرایند هوادهی حذف شد و می توان به قیرهای پلیمری با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ و ۶۰/۷۰ و نقطه نرمی بالاتر دست یافت. بدین ترتیب، در مصرف انرژی و هزینه های تولید صرفه جویی می شود.

برای مقدار زیادی از ضایعات پلیمری که محل مصرف مناسبی نداشتند، کاربرد بهینه پیدا شد. در واقع، با حفاظت از محیط زیست، ضایعات پلیمری جایگزین حدود ۱۰٪ از مواد قیری شد.

قیرهای پلیمری تولیدی درجه تقریبی کارایی بسیار بالایی دارند و از نظر قیمت ارزان تر از قیرهای پلیمری حاصل از مواد پلیمری نو هستند. نمونه قیر پلیمری LS77 چسبندگی لازم به مصالح را همانند قیر ۶۰/۷۰ تهران داراست و از نظر نقطه نرمی و نقطه شکست فراس انتظارات بیشتری را برآورده می کند.

آزمون مارشال و روانی نمونه آسفالتی تهیه شده از قیر پلیمری LS77 بیانگر استحکام زیاد و روانی کم این مخلوط است (جدول ۷).

بررسی های تصاویر شکل شناسی حاکی از پایداری مناسب تمام نمونه ها در دماهای بالاست و این موضوع نشان دهنده توزیع مناسب ذرات ضایعاتی پلیمر است.

به دلیل پیچیدگی ساختار پس مانده خلاء و مواد افزوده شده هیچ روند مشخصی برای تغییرات درصد مواد فرار ملاحظه نمی شود. هم چنین، می توان نتیجه گرفت که پلی اتیلن اثر کاهشی بر درصد مواد فرار دارد. درباره ضایعات SBR نیز می توان گفت که به دلیل وجود مواد فرار زیاد همراه با این ضایعات درصد این مواد افزایش می یابد. برای ضایعات NMP پر واضح است که به دلیل وجود مواد فرار و وزن مولکولی کم اجزای آن، مواد فرار قیر با افزایش این ماده افزایش می یابد. در آمیخته هایی که شامل مخلوطی از این ضایعات هستند، اثر تجمعی به شکل کاهش یا افزایش نمایان می شود و روند خاصی ندارد.

جدول ۶- دانه بندی مصالح سنگی به کار رفته در تهیه مخلوط آسفالتی.

| اندازه الک | ۳/۴ (inch) | ۷/۲ (inch) | شماره ۴ | شماره ۸ | شماره ۵۰ | شماره ۲۰۰ |
|------------------|------------|------------|---------|---------|----------|-----------|
| درصد وزنی رد شده | ۱۰۰ | ۹۵ | ۵۲ | ۴۰ | ۱۴ | ۵ |

جدول ۷- پارامترهای آزمون مارشال مخلوط های آسفالتی.

| نوع مخلوط آسفالتی | استحکام مارشال (kgf) | روانی (۰/۲۵ mm) |
|-------------------|----------------------|-----------------|
| آسفالت قیر ۶۰/۷۰ | ۱۰۸۰ | ۱۲/۷ |
| آسفالت قیر LS77 | ۱۵۵۵ | ۱۷/۶ |

دست آمده آثار تجمعی به شکل کاهش یا افزایش درصد مواد فرار ملاحظه می شوند.

با بررسی این جدول ها و مقایسه درجات تقریبی کارایی (PG) نتیجه می شود که:

۱- نمونه های LS7 و LN5 با داشتن ویژگی های بسیار مناسب، قابلیت کاربرد در گستره وسیع جغرافیایی را در کشورمان دارند که از نوع قیر پلیمری نفوذی ۸۵/۱۰۰ هستند.

۲- نمونه LS77 بهترین نمونه قیر تولیدی است و بهترین خواص فیزیکی را دارد و از نظر نفوذی مشابه قیر ۶۰/۷۰ است و کاربرد زیادی در گستره آب و هوایی کشورمان دارد.

روی این نمونه آزمون چسبندگی قیر به مصالح با آب جوش طبق استاندارد ASTM D3625 انجام شد که نتایج یکسانی را با قیر شاهد ۶۰/۷۰ پالایشگاه تهران نشان داد. نمونه مخلوط آسفالتی با دانه بندی جدول ۶ تهیه شد و آزمون مارشال و روانی این نمونه طبق استاندارد ASTM D 1559 انجام شد. نتایج آمده در جدول ۷ مشخص می کند که این نمونه قیر پلیمری تولید شده دارای استحکام زیاد و روانی کم است و مناسب مناطق پر رفت و آمد و حتی فرودگاه هاست [۱۹، ۶].

نتیجه گیری

با توجه به آزمایش های انجام شده و بررسی رفتار قیرهای پلیمری در ارتباط با آزمون های نقطه نرمی، درجه نفوذ، نقطه شکست فراس و مطالعه شکل شناسی نمونه ها نتایج زیر حاصل شده است:

با افزودن ۱۰٪ مواد ضایعاتی پلی اتیلنی درجه نفوذ پس مانده تقطیر در خلاء از ۴۰۰ به ۷۵ می رسد، نقطه نرمی به طور قابل ملاحظه ای افزایش

مراجع

1. Yousefi A.A., Ait-Kadi A., and Roy C., Effect of Elastomeric and Plastomeric Tougheners on Different Properties of Recycled Polyethylene, *Adv. Polym. Technol.*, **17**, 127-143, 1998.
2. Yousefi A.A., *Preparation and Rheological Behavior of Polymer-Modified Asphalt*, PhD Dissertation, Laval University, Quebec, 1999.
3. Zakar P., *Asphalt*, Chemical Publishing, New York, 1971.
4. Speight J.G., *The Chemistry and Technology of Petroleum*, New York, Marcel-Dekker, 1980.
5. Yousefi A.A. and Yousefi A., Modification of Bitumen Using Petrochemical Westes, Report of Project No. 31713103, Iran Polymer and Petrochemical Institute, 2007.
6. Nicholls J.C., *Asphalt Surfacing*, E&FN Spon, New York, 1998.
7. Brown S., *The Shell Bitumen Handbook Surry*, Shell Bitumen, 1990.
8. Yousefi A.A., Rubber-modified Bitumens, *Iran. Polym. J.*, **11**, 303-309, 2002.
9. Yousefi A.A., Rubber-polyethylene Modified Bitumens, *Iran. Polym. J.*, **13**, 101-112, 2004.
10. *The Proceedings of the 1st National Conference on Polymer-Modified Bitumens and Their Applications*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran, Dec. 16-17, 2002.
11. Walter H.F., Use of Waste Materials in Hot-mix Asphalt, Philadelphia, ASTM Technical Publication (STP 1193), 1993.
12. Gonzalez O., Munoz M.E., Santamaria A., Garcia-Morales M., Navarro F.J., and Partal P., Rheology and Stability of Bitumen/EVA Blends, *Eur. Polym. J.*, **40**, 2365-2372, 2004.
13. Navarro F.J., Partal P., Martinez-Boza F.J., and Gallegos C., Influence of Processing Conditions on the Rheological Behavior of Crumb Tire Rubber-modified Bitumen, *J. Appl. Polym. Sci.*, **104**, 1683-1691, 2007.
14. Garcia-Morales M., Partal P., Navarro F.J., Martinez-Boza F.J., and Gallegos C., Processing, Rheology and Storage Stability of Recycled EVA/LDPE Modified Bitumen, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 181-191, 2007.
15. Yousefi A.A., Ait-Kadi A., and Roy C., Effect of Used-tire-derived Pyrolytic Oil Residue on the Properties of Polymer-modified Asphalts, *Fuel*, **79**, 975-986, 2000.
16. Barral M., Santamaria A., Peria J.J., and Munoz M.E., Ternary Gels of a Polymer Blend and a Recycled Oil: Their Use as Bitumen Modifiers, *Macromol. Mater. Eng.*, **288**, 951-956, 2003.
17. Polaczek J., Zielinski J., Machowska Z., and Wielgosz Z., Thermal Conversion of Plastics Waste in Secondary Petroleum-derived Bitumens, *Polym. Adv. Technol.*, **10**, 567-569, 1999.
18. Yousefi A.A., Polyethylene Dispersion in Bitumen: The Effects of Polymer Structural Parameters, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 3183-3190, 2003.
19. Yousefi A.A. and Ramazani N., Polymeric Asphalt, *Proceedings of the 2nd Iranian Bitumen and Asphalt Conference*, Tehran University, 76, December 2005.
20. Yousefi A., *Polymer-Modified Bitumen from Vacuum Bottom and PE, SBR and NMP Wastes*, MSc Thesis, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Tehran South Campus, 2008.