



خواص مکانیکی آمیخته پلی پروپیلن بازیافتی با

قیرهای دمیده و نرم

وحید حدادی^۱، علی اکبر یوسفی^{۲*}، مسعود تقی گنجی^۳، مرتضی خسروی^۴

۱- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران اسلامشهر، صندوق پستی ۳۳۱۳۵/۳۶۹

۲- تهران، پژوهشگاه صنایع رنگ، صندوق پستی ۱۶۷۶۵/۶۵۴

۳- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۴- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، صندوق پستی ۱۹۵۸۵/۹۳۶

دریافت: ۸۶/۳/۲، پذیرش: ۸۶/۵/۲۷

چکیده

در این پژوهش، برای اولین بار رفتار مکانیکی آمیخته قیردمیده ۱۱۰/۱۰ (درجه نفوذ ۱۰ دهم میلی متر و نقطه نرمی ۱۱۰°C) در مقابل افزایش رزین ها، قیر ۶۰/۷۰ (درجه نفوذ ۶۰ تا ۷۰ دهم میلی متر) و پلیمر تک نظم پلی پروپیلن (iPP) بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان می دهد که نه تنها مدول مخلوط قیرها با آسفالتن ها رفتار غیرخطی دارند. بلکه بر خلاف انتظار در برخی نقاط پیک هایی نیز مشاهده می شوند. در ضمن در غیاب iPP، پیدایش رفتارهای غیر منتظره مربوط به برهم کنش های بین آسفالتن ها در شرایط و غلظت های مختلف است و کاملاً تحت تاثیر نوع و غلظت قیرهایی با نقطه نرمی کمتر و روان کننده هایی هم چون H.V.S (heavy vacuum slops) است. همچنین مشخص شد، آسفالتن ها در انتهای عبور از حالت گذار (مرز انحلال پذیری) به طور ناگهانی برهم کنش های نسبتاً قوی تری با یک دیگر برقرار می کنند و به ازای افزایش ۵ درصد H.V.S، حالت گذار در ۱۵ درصد قیر دمیده بیشتر اتفاق می افتد. از ارتباط این رفتارها با انرژی هم چسبی، طول همبستگی بین آسفالتن ها و تغییراتی که طی اختلاط با رزین ها و قیرهای نرم تر به وجود می آید، می توان رفتارهای بعدی را نیز پیش بینی کرد. افزایش غلظت های کم iPP به مخلوط های قیری در غلظت های زیاد آسفالتن ها، شبکه مجزای آسفالتنی را ایجاد می کند که مدول رزین را افزایش می دهد. در غلظت های زیاد iPP و درصدهای کم آسفالتن ها پدیده به هم پیوستگی درهم نفوذی موجب ایجاد ساختارهای حدواسط می شود که شیب تغییرات مدول آمیزه ها را کاهش می دهد. در نهایت مشاهده شد که افزایش iPP مدول آمیزه ها را افزایش داده و موجب بهبود مقاومت کشسانی آمیزه ها می شود.

واژه های کلیدی

پلی پروپیلن بازیافتی، آمیخته،
خواص مکانیکی،
آسفالتن،
به هم پیوستگی درهم نفوذی

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

a.yousefi@ippi.ac.ir

Mechanical Properties of the Blends of Recycled Polypropylene with Blown and Soft Bitumens

V. Hadadi¹, A.A. Yousefi^{2,3*}, M.T. Ganji⁴ and M. Khosravi⁴

1. Islamshahr Azad University, P.O. Box: 33135/369, 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

4. Tehran-North Azad University, P.O. Box: 19585/936, Tehran, Iran

Abstract

In this investigation, the mechanical properties of the blends of blown bitumen 110/10, heavy vacuum slops (H.V.S), bitumen 60/70 penetration grade and isotactic polypropylene (iPP) were studied for the first time. Our results showed that modulus varies non-linearly and at certain asphaltene contents a peak appears. Considering these phenomena it is revealed that in the absence of iPP, interactions between the asphaltene control the modulus of the blends. These interactions are dependent on the H.V.S and soft bitumen contents. The asphaltene establish strong interactions with other asphaltene groups during dissolution in H.V.S or bitumen 60/70 (called solubility limit). At low percentages of iPP and high concentrations of asphaltene a segregated network of asphaltene is formed. Formation of this network increases the modulus of blends. At higher percentages of iPP and low asphaltene concentration an interdiffusion-coalescence network is established. This network creates transition structures and increases the blend modulus. Finally, it is found that incorporation of iPP improves the modulus of bituminous blends.

Key Words

recycled polypropylene, blend,
mechanical properties,
asphaltene,
interdiffusion-coalescence

(* To whom correspondence should be addressed.

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

مقدمه

یکی از کاربردهای گسترده قیر در تهیه عایق‌های رطوبتی است که به شکل گرم‌ریز و سردریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این میان عایق‌های رطوبتی پیش ساخته به دلیل کارایی و سهولت استفاده، کاربرد بیشتری در صنایع ساختمانی و صنعتی دارند. این عایق‌های رطوبتی پیش ساخته شامل سه بخش: ساختار زمینه عایق، بستر چسبنده و یک غشای ضد آب شامل الیاف تقویت کننده یا الیافی است که بین دو لایه انعطاف پذیر قیری محصور شده‌اند. این تقویت کننده‌ها شامل الیاف پلی استر گرمانرم پلی اتیلن ترفتالات (PET)، شیشه، یا هردو این الیاف هستند.

عایق‌های رطوبتی پیش ساخته هنگامی که روی سطوح مختلف اعمال می‌شوند، فشار و نیروی زیادی را متحمل می‌شوند که می‌تواند عایق را ضعیف یا حتی پاره کند، به این دلیل از الیاف برای افزایش و تقویت عایق استفاده می‌شود. یکی از خواص مهم این عایق‌ها مقاومت در برابر کشش است که نوع تقویت کننده اثر زیادی بر آن دارد. به عنوان مثال، عایق‌های تقویت شده با پلی استر در مقابل تنش‌های وارد شده خواص بهتری را نسبت به الیاف شیشه نشان می‌دهند [۱]. از طرفی، به دلیل مقدار جذب آب زیاد این الیاف، آنها را با بستر قیری یا قیرهای اصلاح شده با پلیمر آغشته می‌کنند تا ضد آب شوند [۲].

با این توضیح و با وجود این که الیاف بیشترین اثر را در حفظ خواص مکانیکی عایق‌ها دارند، بستر قیری نیز علاوه بر خاصیت ضد آب می‌تواند در اصلاح خواص مکانیکی عایق اثرگذار باشد، به ویژه اگر این قیرها به وسیله پلیمرهای مناسب اصلاح شده باشند. بدین ترتیب که قیر با نفوذ از منافذ الیاف و افزایش نیروهای چسبندگی الیاف، خواص مکانیکی (مدول یا مقاومت کششی) عایق را اصلاح می‌کند. پژوهش‌های متفاوتی روی الیاف مختلف و قابلیت‌های هر یک از آنها در برابر کشش انجام گرفته است [۳، ۴]. بررسی‌های دیگری نیز روی خواص فیزیکی و شیمیایی قیرها برای دست‌یابی به بستری انعطاف پذیر و مقاوم در برابر گرما انجام شده است [۵-۸]. متأسفانه هیچ تحقیق منسجمی روی خواص مکانیکی مخلوط قیرها انجام نشده و بیشتر بررسی‌ها روی خواص مکانیکی محصول نهایی (شامل قیر، پلیمر و الیاف تقویت کننده) است. دانستن خواص مکانیکی هر یک از اجزای گفته شده در رسیدن به محصولی ایده آل بسیار مؤثر است.

همان‌طور که گفته شد، خواص مکانیکی الیاف به طور جداگانه بررسی و بهینه‌سازی شده است، اما تاکنون به مقاومت کششی بستر قیری توجه نشده است. مدول رزین‌های قیری بسیار کمتر از الیاف موجود در عایق‌های رطوبتی است. این مطلب ذهنیت نادرستی را به وجود می‌آورد که رزین قیری هیچ اثری در تقویت مدول عایق‌ها ندارد، در حالی که کلیه استانداردهای آزمون مقاومت کششی عایق‌های رطوبتی تأکید زیادی بر

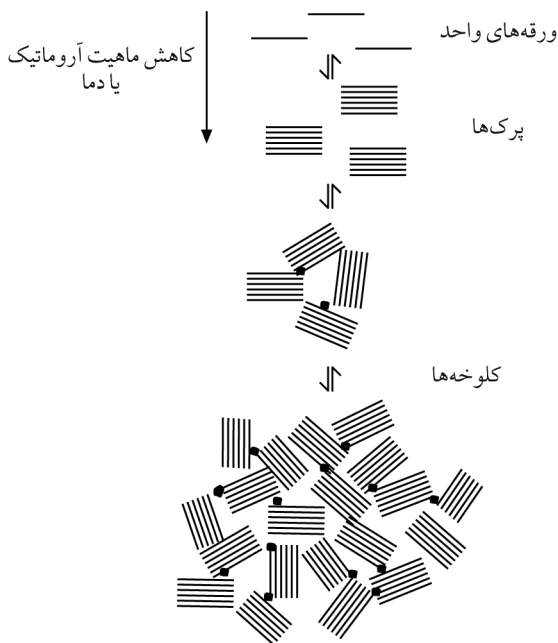
انجام آزمایش در 25°C دارند. تنها به این دلیل که تغییرات دما به طور عمده بر رزین قیری این عایق‌ها اثر می‌گذارد. از طرفی، الیاف پلیمری به کار رفته در عایق‌های رطوبتی مانند الیاف پلی استر، مدول آغازی بسیار کمی (0.2 kg/cm^2) دارند. اما، عایق‌های تهیه شده از آنها با وجود این که کسر حجمی الیاف در آنها کاهش می‌یابد، مدولی بسیار بیشتر تا $6/5 \text{ kg/cm}^2$ در حضور پلی پروپیلن تک‌نظم (iPP) دارند. در این حالت نمی‌توان اثر رزین قیری بر این نوع الیاف را نادیده گرفت. این الیاف زمانی در برابر نیروهای کششی مقاومت می‌کنند که در اثر کشش رشته‌های الیاف کاملاً به هم نزدیک شده و یک‌دیگر را تقویت کنند. در این شرایط، رزین قیری در منافذ الیاف نفوذ کرده و نیروهای اعمال شده را بهتر منتقل می‌کنند. در این میان، هرچه استحکام رزین بیشتر باشد، این انتقال بهتر انجام گرفته و الیاف زودتر وادار به عکس‌العمل می‌شوند [۹]. این اثر و تقویت در مورد الیاف معدنی هم چون الیاف شیشه نیز با شدت کمتری مشاهده می‌شود [۱۰]. در نتیجه، رزین قیری نقش افزایشی در رشد مدول الیاف به کار رفته در عایق‌های رطوبتی دارد و بررسی خواص مکانیکی آن علاوه بر بهینه‌سازی مدول عایق‌ها می‌تواند درک صحیحی از رفتار این عایق‌ها را هنگام تغییر رزین قیری آنها ارائه دهد. با مطالعه خواص مکانیکی مخلوط قیرها می‌توان به نیروهای حاکم در بین ترکیبات قیری پی برد که موجب ایجاد انرژی‌های هم‌چسبی در بین آنها می‌شود. افزون بر این، اثر iPP در تقویت این نیروها و در نهایت تقویت مدول عایق‌ها مورد بررسی قرار گرفت. iPP علاوه بر بهبود خواص فیزیکی قیر تا اندازه‌ای خواص مکانیکی آن را نیز بهبود می‌بخشد. پوشش‌های قیری فقط برای مصارف بام و همراه با الیاف با مدول زیاد استفاده نمی‌شوند، بلکه ترکیبات قیری گاهی به عنوان درزگیر و گاهی در راه‌سازی بدون وجود الیاف پیوسته به کار می‌روند که خواص مکانیکی آنها بسیار اهمیت دارد. حال این سؤال مطرح می‌شود که آیا ترکیبات قیری به تنهایی می‌توانند در برابر این نیروها مقاومت کنند، یا برای مقاومت نیاز به ترکیبات پلیمری با خواص کشسانی زیاد دارند. با وجود این که تجربه اثر زیاد پلیمر را در بهبود خواص مکانیکی قیرها و سایر ترکیبات اثبات نکرده است، ولی هیچ تحقیق منسجم و معتبری در مورد چگونگی و مقدار اثر این پلیمرها گزارش نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی خواص مکانیکی مخلوط قیرها و مقدار اثر پلیمر iPP روی این ترکیبات قیری است.

از طرفی مدول یک کامپوزیت یا آمیخته پلیمری تغییر شکل آن ماده را در اثر تنش نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، مدول یک خاصیت مکانیکی است که مقدار مقاومت یک ترکیب را قبل از تغییر آرایش‌های آن در اثر اعمال تنش نشان می‌دهد [۱۱، ۱۲]. با این توضیح مشخص است، افزون بر این که مقاومت کششی عایق بسیار مهم است، مقاومت و بازگشت آن به

تولید می کند که معیایی مانند: پایداری زمانی کمتر، خاصیت ضد آب کمتر، گرانروی بیشتر برای آغشته کردن الیاف و احتمال بروز تاول در عایق را دارد. این معایب از طریق اختلاط قیر دمیده با مشتقات نفتی هم چون برش H.V.S و قیرهای نرم تر قابل رفع است.

بررسی قیرهای دمیده نشان می دهد که گروه های آسفالتنی رفتارهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی قیر را کنترل می کنند. بنابراین، مطالعه رفتار آسفالتن ها می تواند به درک بهتر رفتار قیر کمک کند. اصطلاح آسفالتن به یک کمپلکس بزرگ و سنگین با حلقه های آروماتیک و ناجور حلقه گفته می شود که به زنجیرهای پارافینی متصل شده و به طور معمول بسیار قطبی و محتوی درصد زیادی ناجور اتم، مقداری گوگرد و کمی فلزات سنگین مانند وانادیم و نیکل هستند. با این تعریف، ویژگی های آسفالتن ها وابسته به صفحه ای قطبی، گروه های آروماتیک و شاخه های آلیفاتیک است که به صفحه ها متصل شده اند. این آسفالتن ها در بستر مالن پراکنده شده و بین آنها نیروهای الکتروستاتیک وجود دارد. هنگام افزایش غلظت، آسفالتن ها لخته و مجتمع می شوند. اطلاعات محدودی در مورد چگونگی تجمع آسفالتن ها وجود دارد و مطالعه با پراش پرتو X نشان داده است که لخته شدن آسفالتن ها در دو مرحله انجام می شود (شکل ۱) که تحت تأثیر مقدار روغن ها یا رزین هاست [۱۴].

رزین ها (روغن ها) ترکیباتی بسیار قطبی با خاصیت آروماتیک زیاد هستند (شکل ۲). دلیل انحلال مناسب آسفالتن ها (قیرهای دمیده) در رزین ها، ایجاد پیوندهای قوی بین مولکول های آروماتیک آسفالتن ها با رزین هاست (شکل ۳). موقعیت و ابعاد زنجیرهای آلیفاتیک اطراف



شکل ۱- چگونگی تجمع آسفالتن ها در دو مرحله [۱۴].

حالت اولیه نیز اهمیت زیادی دارد. عایق های به کار رفته در عایق های پیش ساخته بام طی زمان به طور پیوسته تحت تنش و اثر نیروهای مختلف قرار دارند. حال اگر قرار باشد، عایق در اثر اعمال نیرو پاره نشود (مقاومت کششی زیاد) ولی به حالت اولیه خود باز نگردد (مدول کم) در اثر اعمال نیروی مجدد در همان ناحیه عایق مورد نظر به مرور زمان ضعیف شده و کارایی خود را از دست می دهد. با این حال متأسفانه تاکنون این خاصیت مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، سعی شد با بررسی مدول رزین های تشکیل دهنده عایق ها اولین قدم در تعیین اهمیت خاصیت مکانیکی مدول برداشته شود، تا با بررسی های بعدی اثر رزین های قیری بر مدول الیاف های مختلف عایق ها بهتر مشخص شود. برای درک بهتر رفتار قیرها ابتدا توضیحی مختصر در مورد انواع قیر و پلیمرهای مورد استفاده داده می شود. قیر ترکیبی سنگین، به رنگ سیاه یا قهوه ای بسیار تیره است که به سه گروه مهم دسته بندی می شوند: قیرهای طبیعی، قیرهای نفتی و قطران ها. از میان آنها فقط قیرهای نفتی و قطران برای تهیه عایق های رطوبتی پیش ساخته مناسب هستند. این قیرها محدوده تغییرات گرانروی زیادی دارند. به این معنی که محدوده دمایی که در آن قیر از حالت ژل به حالت سل تبدیل می شود، چنان وسیع است که این قیرها را برای ساخت عایق های رطوبتی پیش ساخته مناسب می سازد. در حقیقت، قیر یک باقی مانده گرانرو حاصل از تقطیر دوگانه نفت خام است که حاوی ترکیبات مختلفی است. قیر سنگین باقی مانده از برج تقطیر به منظور آماده سازی برای کاربردهای ساختمانی و صنعتی نیاز به اصلاحاتی دارد که پس از جمع آوری از انتهای برج این اصلاحات روی آن انجام می شود. قیر خام در دمای 260°C گرم می شود، در این هنگام هوا یا اکسیژن خالص از طریق لوله های سوراخ شده به درون قیر مایع و داغ دمیده می شود. ادامه هوادهی باعث گرانرو شدن قیر و مناسب تر شدن آن برای اهداف عایق سازی می شود. به وسیله چنین عملیاتی می توان قیرهای متفاوتی با نقطه نرمی از 57°C تا 110°C تهیه کرد. تشدید اکسایش قیر موجب هیدروژن زدایی از مولکول های قیر و ایجاد هیدروکربن های جدید در اثر گرما و خروج برخی هیدروکربن های سبک تر می شود. این عملیات تا تشکیل یک ساختار ژل برای قیر و هیدروکربنی های آروماتیک سنگین (آسفالتن ها) ادامه می یابد. قیر حاصل اصطلاحاً قیر دمیده (blown bitumen) نامیده می شود. این مسئله، قیر را کشسان تر کرده و خواص آن را به سمت خواص مناسب برای تولید عایق (با خواص مکانیکی مناسب و گستره تغییرات دمایی زیاد) هدایت می کند [۱۳]. مقایسه قیر دمیده با قیری که نقطه نرمی کمتری دارد، نشان می دهد که قیر دمیده خواص مکانیکی بهتر و حساسیت گرمایی کمتری دارد و در گستره دمایی وسیع تری از حالت ژل به سل تبدیل می شود. اما، این مزایای قیری با نقطه نرمی بالاتر

پلی پروپیلن بازیافتی استفاده شده از ضایعات دوک های نخ رسی و از نوع تک نظم iPP بود.

دستگاه ها و روش ها

در این پژوهش، از مدول به عنوان عاملی برای تعیین و مقایسه مقدار مقاومت کشسانی مخلوط قیرها و قابلیت آنها در بازگشت به حالت اولیه پس از اعمال نیرو استفاده شده است. مدول نمونه ها از منحنی های تنش - کرنش آنها قابل استخراج است. مطابق استاندارد ملی ۳۸۸۲، نمونه ها تهیه شدند و به وسیله دستگاه کشش مجهز به Load cell مدل ۳۸۳ با ظرفیت ۲۰۰ kg ساخت شرکت Revers آمریکا مورد آزمون قرار گرفت.

مطابق مراحل ذکر شده در بخش های زیر فرایند اختلاط در ۵ حالت و با درصد های مختلف از مواد اولیه انجام شد. برای هر یک از حالت های آزمایش، ۵ نمونه تهیه گردید. اختلاط با استفاده از مخلوط کن آزمایشگاهی در دمای 180°C و زمان اختلاط ۴ h انجام شد و نمونه های حاصل مطابق روش ذکر شده مورد آزمایش قرار گرفتند. مشخصه مقاومت کشسانی (مدول) آنها با استفاده از نمودارهای تنش - کرنش در دمای ثابت 25°C معین گردید. برای تثبیت دمای نمونه ها، قبل از آزمون نمونه ها به مدت ۱ h در حمام آب گرم و در دمای 25°C نگهداری شدند.

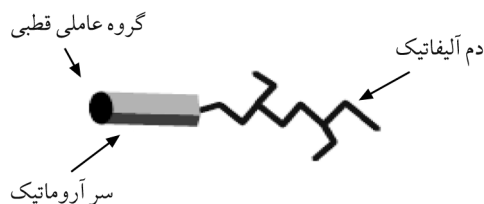
نتایج و بحث

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با H.V.S

در این مرحله درصد های مختلف از برش H.V.S و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) در منحنی تغییرات شکل ۴ رسم شده است.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه استفاده شده.

H.V.S	قیر دمیده	قیر ۶۰/۷۰	مواد	خواص
--	۱۱۰	۵۰		نقطه نرمی
--	۷	۶۵		درجه نفوذ در 25°C (mm) ۰/۱
--	۰/۵	۷۵+		شکل پذیری در 25°C (cm)
۲۴۸	۳۳۹	۳۳۰		دمای اشتعال ($^{\circ}\text{C}$)
--	۹۹/۹۱	۹۹/۹۹		انحلال پذیری در تری کلرواتان (wt%)
۱۹	--	--		گرانروی در 100°C (cSt)



شکل ۲- نمای کلی رزین ها یا روغن های نفتی [۱۵].

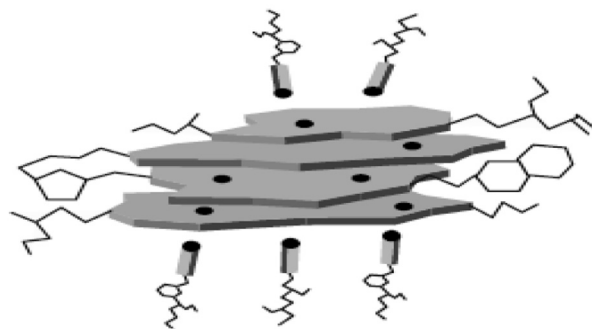
آسفالتن ها در حقیقت تعیین کننده ابعاد آسفالتن ها در حالت مجتمع است [۱۴]. ساز و کار لخته شدن یا تجمع آسفالتن ها برای اولین بار توسط نظریه واندروالس قوت گرفت که نیروهای الکتروستاتیک ایجاد شده بین مولکول ها موجب تجمع آنها می شود [۱۵]. افزون بر این، وجود پلیمری هم چون iPP در کنار قیرها موجب افزایش خواص مکانیکی و فیزیکی قیر می شود که تعیین درصد مناسب این پلیمر در کنار آسفالتن ها بسیار اهمیت دارد.

در این مقاله قیرهای ۱۱۰/۱۰ (درجه نفوذ ۱۰ دهم میلی متر و نقطه نرمی 110°C) و ۶۰/۷۰ (درجه نفوذ ۶۰ تا ۷۰ دهم میلی متر) با برش نفتی H.V.S (heavy vacuum slops) و ضایعات iPP با درصد های مختلف مخلوط شده و رفتار مکانیکی آنها (مدول) مورد بررسی قرار گرفت. در انتها اثر پلیمر بر اصلاح خواص مکانیکی قیر با ترکیب بندی های مختلف مقایسه شده است. در این پژوهش، تلاش شد تا بر خلاف سایر پژوهشگران، قیر به عنوان رزین در عایق رطوبتی (یک کامپوزیت الیاف بلند) در نظر گرفته و مطالعه شود.

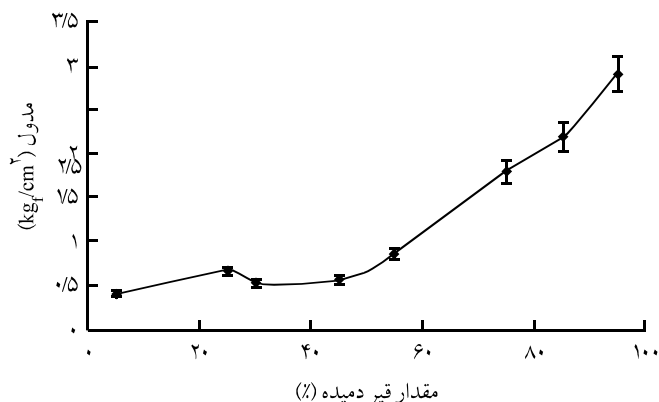
تجربی

مواد

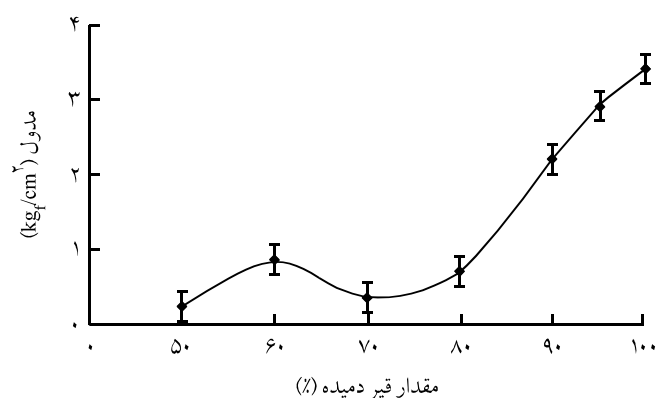
در این پژوهش، از مواد با مشخصات جدول ۱ استفاده شده است.



شکل ۳- چگونگی انحلال آسفالتن ها در رزین ها [۱۵].



شکل ۶- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۵ درصد H.V.S.



شکل ۴- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با H.V.S.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰

در این مرحله درصدهای مختلف از قیر ۶۰/۷۰ و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۵ رسم شده است.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۵ درصد H.V.S

در این مرحله درصدهای مختلف از قیر ۶۰/۷۰ و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ همراه با ۱۵ درصد برش H.V.S با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۸ رسم شده است.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۵ درصد H.V.S

در این مرحله درصدهای مختلف از قیر ۶۰/۷۰، قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ همراه با ۵ درصد برش H.V.S با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۶ رسم شده است.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۲ درصد iPP

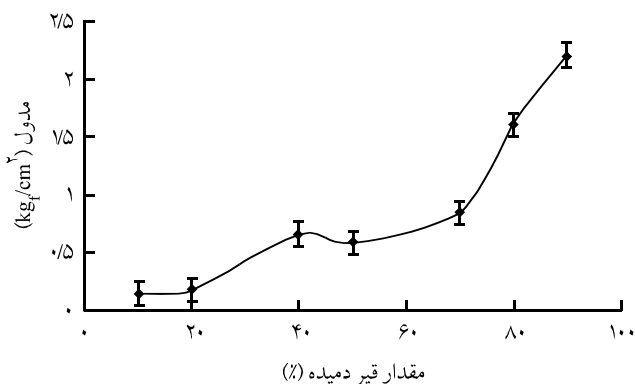
در این مرحله درصدهای مختلف از برش H.V.S و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ در مقدار ثابت ۲ درصد iPP با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۹ رسم شده است.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۰ درصد H.V.S

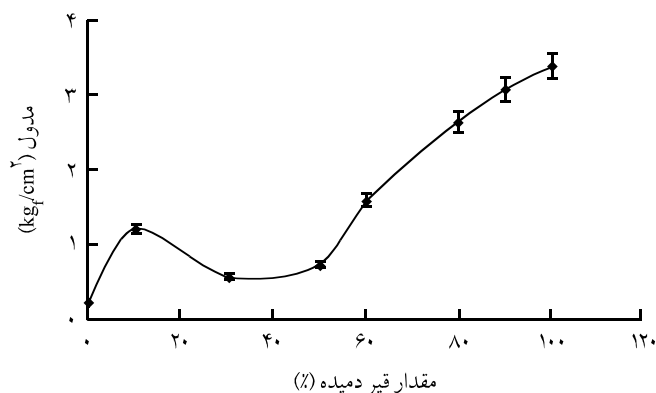
در این مرحله درصدهای مختلف از قیر ۶۰/۷۰ و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ همراه با ۱۰ درصد برش H.V.S با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۷ رسم شده است.

اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۵ درصد iPP

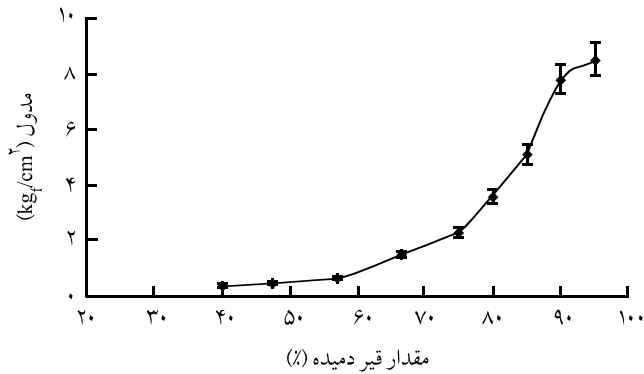
در این مرحله درصدهای مختلف از برش H.V.S و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ در مقدار ثابت ۵ درصد iPP با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۱۰ رسم شده است.



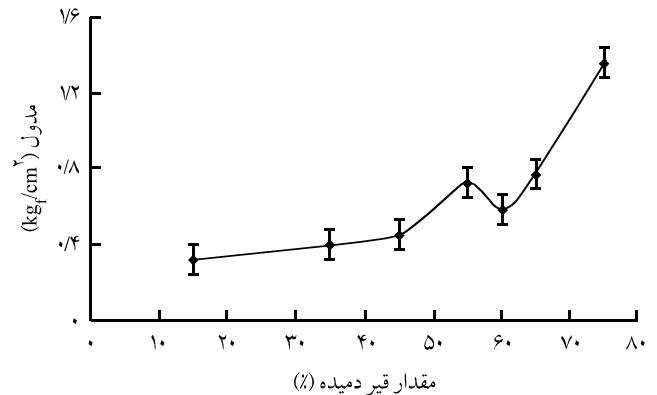
شکل ۷- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۰ درصد H.V.S.



شکل ۵- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰.



شکل ۱۰- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۵ درصد iPP.



شکل ۸- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۵ درصد H.V.S.

ماهیت آروماتیکی محلول می‌توان از تجمع و لخته شدن آسفالتن‌ها جلوگیری کرد. از طرفی کاهش ماهیت آروماتیکی محلول موجب جذب مونومرهای آسفالتنی به یک‌دیگر به وسیله نیروهای واندروالسی می‌شود. در نتیجه آسفالتن‌ها شروع به تجمع و لخته شدن می‌کنند [۱۶]. او دلیل انحلال آسفالتن‌ها را در حلال تولوئن به افزایش ماهیت آروماتیکی محلول و جدا شدن مونومرهای آسفالتنی از یک‌دیگر نسبت داد و با ارتباط دادن مقدار انحلال‌پذیری به طول همبستگی (ضخامت یک گروه آسفالتنی که از لخته شدن چند مونومر آسفالتن به وجود آمده است) به این نتیجه رسید که در ابتدا (آروماتیکی کم محلول) آسفالتن‌ها در فاصله بسیار نزدیکی از یک‌دیگر قرار دارند، به طوری که مولکول‌های آنها هم‌پوشانی کرده و این مسئله موجب کاهش مقدار طول همبستگی می‌شود، بدون آن که انرژی هم‌چسبی کاهش یابد. افزایش تولوئن باعث افزایش فاصله آسفالتن‌ها از یک‌دیگر شده و به

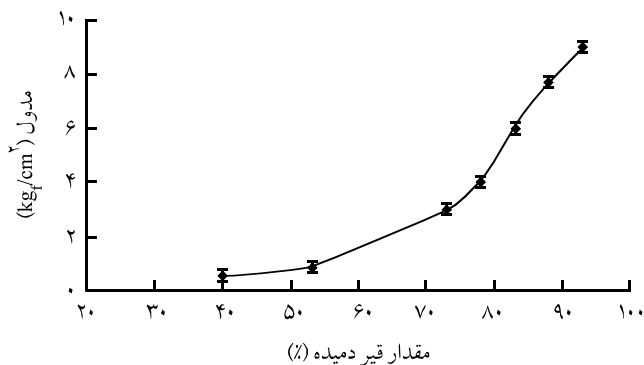
اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۷ درصد iPP

در این مرحله درصدهای مختلف از برش H.V.S و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ در مقدار ثابت ۷ درصد iPP با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۱۱ رسم شده است.

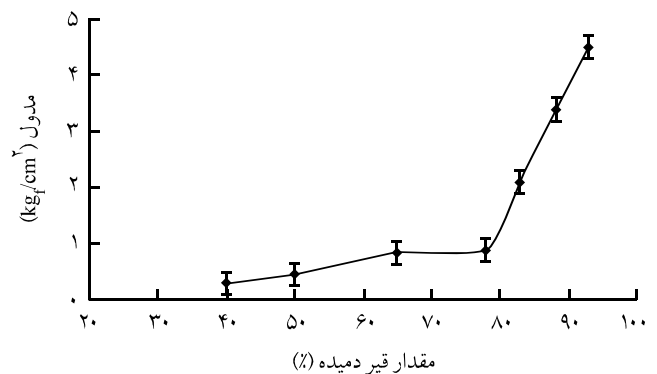
اختلاط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۱۰ درصد iPP

در این مرحله درصدهای مختلف از برش H.V.S و قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ در مقدار ثابت ۱۰ درصد iPP با هم مخلوط و نتیجه آزمایش مقاومت کششی (مدول) و منحنی تغییرات در شکل ۱۲ رسم شده است.

Spiecker در تحقیقی انحلال آسفالتن‌ها را در حلال تولوئن مورد بررسی قرار داد. او با توجه به تحقیقات گذشته اظهار داشت که علت تجمع و لخته شدن گروه‌های آسفالتنی کاهش شدید در ماهیت آروماتیکی محلول است و با افزایش حلال‌های مناسب و افزایش



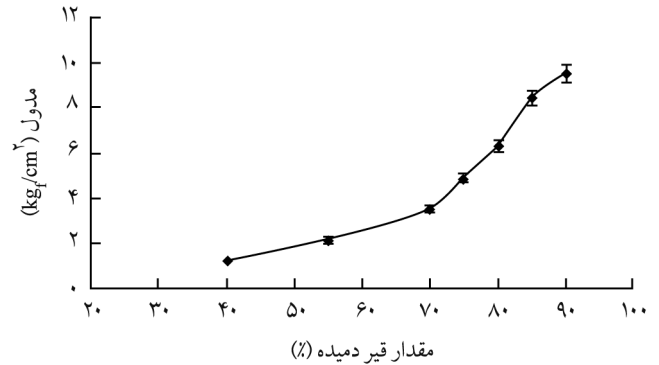
شکل ۱۱- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۷ درصد iPP.



شکل ۹- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۲ درصد iPP.

همبستگی شروع به افزایش کرده که اثر آن را می توان در تغییرات مدول مشاهده کرد.

در مقادیر بین ۸۰-۶۵ درصد از قیر دمیده طول همبستگی در آسفالتن ها بتدریج شروع به افزایش می کند که این امر موجب افزایش نیروی واندروالسی بین گروه های آسفالتنی می شود. از طرفی به علت کاهش غلظت آسفالتن ها فاصله بین گروه های آنها افزایش و در نتیجه انرژی هم چسبی بین آسفالتن ها کاهش می یابد. این دو عامل در محدوده ذکر شده یک دیگر را تا حدودی خنثی کرده و در نتیجه موجب می شوند، مدول، تغییرات جزئی در این ناحیه داشته باشد. در این ناحیه در واقع مخلوط در حالت گذار از ژل به سل است (شکل ۱۳). اما با افزایش H.V.S یا کاهش غلظت قیر دمیده (آسفالتن ها) تا مقدار ۶۰ درصد مدول به طور ناگهانی افزایش یافته و موجب پدیدار شدن یک پیک در منحنی می شود. این امر نشان می دهد که در این مقدار از قیر دمیده با افزایش H.V.S طول همبستگی بین آسفالتن ها به طور ناگهانی افزایش یافته است و این موضوع موجب افزایش ناگهانی نیروهای واندروالسی بین گروه های آسفالتنی می شود. این افزایش به اندازه ای زیاد است که کاهش نیروهای هم چسبی در اثر کاهش غلظت و افزایش فاصله بین آسفالتن ها را جبران کرده و یک مقاومت کششی مناسب در این ناحیه از خود نشان می دهد. در واقع، مخلوط در این ناحیه در مرز بین انتقال ژل به سل قرار دارد، یا به بیان Spiecker این نقطه مرز انحلال پذیری آسفالتن ها به وسیله حلال و روان کننده آروماتیک H.V.S است. به عبارت دیگر افزایش برش H.V.S بیشتر از این مقدار



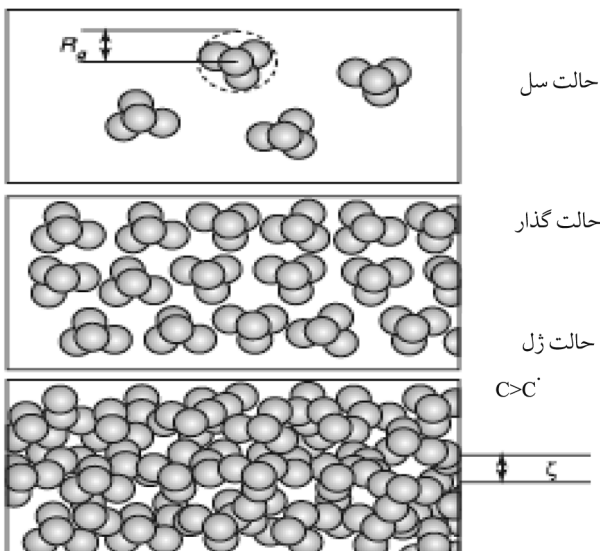
شکل ۱۲- تغییرات مدول بر حسب افزایش درصد قیر دمیده در مخلوط قیر ۱۱۰/۱۰ با H.V.S در مقدار ثابت ۱۰ درصد iPP.

طور ناگهانی طول همبستگی افزایش می یابد، اما در این حالت انرژی هم چسبی شروع به کاهش می کند. وی این ناحیه را مرز انحلال پذیری نامید و با ادامه افزایش تولوئن نشان داد که طول همبستگی کاهش ناچیزی دارد [۱۶].

در این جا نیز با توجه به این که نیروهای همبستگی و انرژی های چسبندگی عامل های مقاومت در برابر کشش هستند، رفتارها را می توان با استناد به یافته های Spiecker توجیه کرد.

از طرفی Gawrys بیان کرد که نیروهای بین آسفالتن ها از نوع نیروهای واندروالسی هستند و با افزایش طول همبستگی، این نیروهای بین مولکولی افزایش می یابد [۱۵]. با توجه به شکل ۴ دیده می شود که مدول با کاهش درصد قیر دمیده (مقدار آسفالتن ها) به شدت کاهش می یابد، به این دلیل که در ابتدا در غلظت های زیاد آسفالتن به علت کاهش ماهیت آروماتیکی مخلوط مونومرهای آسفالتن روی یک دیگر رسوب کرده و لخته می شوند. از طرفی، آسفالتن ها به علت ازدیاد غلظت، فاصله بسیار کمی با یک دیگر پیدا کرده اند و در نتیجه نیروی هم چسبی بین آنها بیشترین مقدار بوده و طول همبستگی بین آنها به دلیل به هم نزدیک بودن آسفالتن ها و هم پوشانی مولکول های آنها با یک دیگر کمی کاهش یافته است. ولی با افزایش H.V.S، این ترکیب به عنوان حلال، ماهیت آروماتیکی مخلوط را افزایش می دهد و در بین مولکول های آسفالتنی نفوذ می کند. این امر موجب کاهش انرژی هم چسبی بین آنها می شود، ولی هنوز طول همبستگی بین آنها تغییری نکرده است. این عوامل در کنار یک دیگر موجب می شود که مدول مخلوط با افزایش مقدار کمی از حلال H.V.S کاهش زیادی پیدا کند.

با ادامه افزایش H.V.S هم چنان که غلظت آسفالتن ها کاهش می یابد، مانند حالت قبل کاهش انرژی هم چسبی، افزایش لغزندگی و افزایش فاصله بین آسفالتن ها را در پی دارد. با این تفاوت که در این حالت طول



شکل ۱۳- چگونگی انتقال آسفالتن ها از حالت ژل به سل پس از عبور از حالت گذار [۱۹].

آسفالتنی نشان می دهد. در این شکل مشاهده می شود که در حالت سل (بخش بالای شکل) ذرات آسفالتنی به طور کامل از هم فاصله داشته و نیروهای جاذبه بین آنها از بین رفته است، در حالی که در حالت گذار (بخش میانی شکل) حالت واسطه ای بین ژل و سل دیده می شود که با کوچک ترین تنش تغییرات زیادی در نیروهای بین آسفالتن ها به وجود می آید. در حالی که در حالت ژل آسفالتن ها آن قدر به یک دیگر نزدیک شده اند که حتی با یک دیگر هم پوشانی دارند و این مسئله موجب افزایش نیروهای بین ذرات آسفالتن ها می شود [۱۱]. در این ناحیه طول همبستگی با سرعت بسیار کمی در حال افزایش است و در پی آن نیروهای واندروالسی بین آسفالتن ها شروع به افزایش می کند. این پدیده کاهش انرژی هم چسبی در اثر ایجاد فاصله بین آسفالتن ها را تا حدودی خنثی می کند. به این دلیل تغییرات مدول در این ناحیه بسیار آهسته بوده و مخلوط در حال عبور از حالت گذار است.

در ناحیه سوم مانند ناحیه مشابه در شکل ۴ یک پیک در مدول با کاهش غلظت قیر دمیده دیده می شود. همان طور که بیان شد، پیک ایجاد شده در واقع انتهای حالت گذار است و آسفالتن ها در نقطه پیک فرصت پیدا می کنند که طولشان را به طور ناگهانی افزایش دهند. این افزایش در حقیقت به دلیل ایجاد فاصله مناسب در بین گروه های آسفالتنی است. این مسئله موجب افزایش ناگهانی نیروهای واندروالسی به دلیل افزایش ناگهانی طول همبستگی در گروه های آسفالتنی می شود. این افزایش ناگهانی نیروهای واندروالسی موجب افزایش ناگهانی انرژی هم چسبی با وجود کاهش غلظت آسفالتن ها نیز می شود. در نهایت، مقاومت رزین تهیه شده در برابر نیروهای کششی و مدول افزایش می یابد. با مقایسه مجدد این ناحیه با ناحیه مشابه در شکل ۴ مشخص می شود که به علت ضعیف بودن قدرت انحلال پذیری قیر ۶۰/۷۰ نسبت به H.V.S ناحیه گذار بسیار دیرتر ظاهر می شود (در درصدهای کمتر از قیر دمیده) و نقطه پیک مدول نیز در ازای افزایش مقدار بیشتری از حلال ظاهر می شود. پس از نقطه پیک، مدول شروع به کاهش می کند. زیرا نیروهای هم چسبی کاهش یافته و هیچ عاملی برای خنثی سازی آن وجود ندارد. تقریباً مخلوط در این ناحیه وارد ساختار سل می شود که در آن آسفالتن ها به طور ذراتی با طول همبستگی کم در بستر روغنی یا رزینی توزیع شده اند.

این سه ناحیه هنگامی که قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۵ درصد H.V.S به قیر دمیده اضافه می شود (شکل ۶) نیز دیده می شود، با این تفاوت که در ناحیه اول مدول و نیروی هم چسبی به دلیل افزایش قدرت انحلال پذیری با وجود ۵ درصد H.V.S با شیب بیشتری نسبت به ناحیه اول در شکل ۵ کاهش می یابد. علاوه بر این، پیک مدول در درصدهای

موجب انحلال پذیری کامل آسفالتن ها و نزدیک شدن به ساختار سل می شود. پس از این ناحیه همان طور که دیده می شود، کاهش نیروهای هم چسبی و کاهش مدول نمایان می شود. زیرا از این نقطه به بعد طول همبستگی تغییر چندانی نمی کند، در حالی که انرژی هم چسبی آسفالتن ها به دلیل افزایش فاصله بین آنها کاهش می یابد و مخلوط در این ناحیه در ساختار ژل قرار می گیرد. این دو اثر در این ناحیه در یک راستا قرار گرفته و موجب کاهش مدول مخلوط می شوند.

در شکل ۵ باز هم این سه ناحیه به وضوح دیده می شود. ناحیه اول شامل ناحیه ای است که بدون وجود یا با مقدار اندکی قیر ۶۰/۷۰ غلظت زیاد آسفالتن ها به وجود می آید. در این ناحیه و با کاهش غلظت قیر دمیده تا ۵۵ درصد با وجود کم بودن نسبی طول همبستگی (به علت هم پوشانی) فاصله بین آسفالتن ها هنوز کم است. در این حالت انرژی هم چسبی زیادی بین گروه های آسفالتنی وجود دارد و هنگامی که قیر ۶۰/۷۰ به قیر دمیده اضافه می شود، مدول رزین تغییرات متفاوتی نشان می دهد. در نگاه اول قیر ۶۰/۷۰ را می توان مانند H.V.S حلالی برای آسفالتن ها در نظر گرفت. با توجه به این که با افزایش ماهیت آروماتیکی حلال قابلیت انحلال پذیری آسفالتن ها بیشتر می شود [۱۷]، قیر ۶۰/۷۰ انحلال پذیری بسیار کمتری نسبت به برش H.V.S دارد، افزون بر این، دارای گروه های کوچک آسفالتنی با غلظت کم است [۱۸]. در نتیجه افزایش قیر ۶۰/۷۰ موجب انحلال نسبی آسفالتن ها در قیر دمیده شده و با حفظ طول همبستگی در بین گروه های آسفالتنی، بین این گروه ها فاصله ایجاد می کند. در نهایت، کاهش انرژی هم چسبی و مدول در برابر کاهش غلظت قیر دمیده تا ۵۵ درصد با شیب زیاد مشاهده می شود (ناحیه اول). از مقایسه این ناحیه با ناحیه مشابه در آزمایش قبل دیده می شود که این ناحیه دارای شیب بیشتر نسبت به زمانی است که قیر دمیده به H.V.S اضافه می گردد. علت شیب کمتر این ناحیه در شکل ۵ نسبت به ناحیه مشابه در شکل ۴ کمتر بودن قدرت انحلال پذیری قیر ۶۰/۷۰ و اضافه شدن گروه های کوچک آسفالتنی است. زیرا، از یک طرف وجود گروه های کوچک آسفالتن ها با طول همبستگی کم مانع از ایجاد ناگهانی فاصله بین گروه های بزرگتر آسفالتنی شده و از طرف دیگر مالتن های موجود در قیر ۶۰/۷۰ قابلیت تفکیک مناسب گروه های آسفالتنی را از هم ندارند. هر دو عامل گفته شده موجب می شود که انرژی هم چسبی بین گروه های آسفالتنی با افزایش قیر ۶۰/۷۰ با سرعت کمی کاهش یابد و در نهایت مدول رزین در این ناحیه با شیب کمی تغییر کند.

ناحیه دوم شامل عبور آسفالتن ها از یک حالت واسطه ای است که موجب می شود، حالت ژل به سل تبدیل شود [۱۹]. شکل ۱۳ چگونگی انتقال حالت سل به ژل پس از عبور از حالت گذار را در گروه های

مولکولی را افزایش می دهد. حال با توجه به شکل ۹ که H.V.S در مقدار ثابت ۲ درصد iPP به قیر دمیده اضافه می شود، دو ناحیه مشخص شده است که شامل: ناحیه ای که در آن در ابتدا بدون وجود H.V.S، آسفالتن ها به کمک ذرات iPP به طور قوی با مالتن ها پیوند خورده اند، ولی به علت کم بودن مقدار iPP در مقابل آسفالتن ها این پوشش به طور کامل انجام نمی شود و با افزایش H.V.S کاهش ناگهانی به علت کاهش در نیروهای هم چسبی بین آسفالتن ها و iPP رخ می دهد، تا این که وارد ناحیه دوم و حالت گذار شود.

در این ناحیه طول همبستگی در آسفالتن ها شروع به افزایش کرده ولی این افزایش تحت کنترل ذرات بزرگ iPP قرار گرفته و آنها مانع از جهش ناگهانی در طول همبستگی و ایجاد پیک در منحنی مدول می شوند. در نتیجه آسفالتن ها را وادار می کنند که افزایش طول همبستگی را با افزایش H.V.S (افزایش فاصله بین آسفالتن ها) به طور هماهنگ پیش ببرد، به همین دلیل ناحیه دوم یک روند کاهش مدول را با شیب کم دارد. اما، هنگامی که مقدار iPP به مقدار ثابت ۵ درصد افزایش می یابد (شکل ۱۰) باز هم دو ناحیه خودنمایی می کند که در ناحیه اول کاهش مدول به ازای افزایش H.V.S با شیب کمتری نسبت به شکل ۹ پیش می رود. علت این امر وجود مقدار بیشتر iPP در مخلوط است.

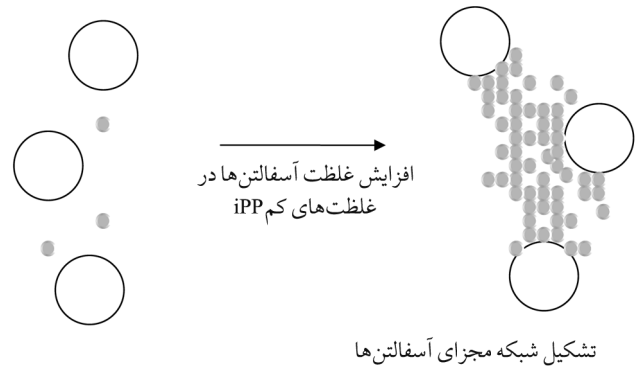
شاید بتوان اثر افزایش غلظت iPP را بر مدول رزین قیری این طور بیان کرد که هرگاه از غلظت های کم iPP استفاده شود، ذرات iPP در داخل رزین قیر و برش H.V.S پراکنده شده و از یک دیگر فاصله زیادی می گیرند. افزایش غلظت آسفالتن ها با افزایش درصد قیر دمیده تنها پیوندهای بین آسفالتن ها را قویتر می کند و اثر زیادی روی واکنش های سطحی iPP و آسفالتن ها ندارد. در نتیجه با افزایش آسفالتن ها بدون ایجاد هیچ حد واسطی از حالت ژل به سرعت به ساختار شبکه مجزای آسفالتن ها (segregated-network) تبدیل می شود. در این ساختار آسفالتن ها در اثر ازدیاد غلظت طول همبستگی خود را افزایش داده و با یک دیگر پیوندهای واندروالسی قوی ایجاد می کنند و در نهایت شبکه ای را تولید می کنند که ذرات iPP در بین این شبکه در فاصله زیاد از هم قرار می گیرند [۲۰]. شکل ۱۴ این مطلب را نشان می دهد و مقایسه شکل های ۴ و ۹ این مسئله را اثبات می کند. اما، زمانی که غلظت iPP در مخلوط زیاد می شود، با افزایش غلظت آسفالتن ها پس از ساختار ژل مخلوط تبدیل به ساختار واسطه ای می شود که ساختار به هم پیوسته درهم نفوذی (interdiffusion-coalescence) نام دارد [۲۰]. در این ساختار در غلظت های کم آسفالتن ها ذرات iPP به یک دیگر نزدیک شده و با ایجاد پیوندهایی به داخل یک دیگر نفوذ می کنند. این مسئله موجب ایجاد پیوندهای قوی بین ذرات iPP شده و در نتیجه مقاومت

بیشتری از قیر دمیده (در درصدهای کمتری از قیر ۶۰/۷۰) ظاهر می شود و نشان دهنده این واقعیت است که عبور از حالت گذار با سرعت بیشتری انجام شده به طوری که با افزایش مقدار ۵ درصد از H.V.S نقطه پیک نسبت به شکل ۵ در درصدهای بیشتری از قیر دمیده (در غلظت های بیشتری از آسفالتن ها) ظاهر می شود. این روند در شکل ۷ جایی که قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۰ درصد H.V.S به قیر دمیده اضافه می شود، مجدداً تکرار می شود و نقطه پیک را به درصدهای بیشتری از قیر دمیده در مقایسه با شکل های ۵ و ۶ جابه جا می کند. این امر با افزایش قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۵ درصد H.V.S به قیر دمیده (شکل ۸) تکرار شده و نقطه پیک باز هم به سمت غلظت های بیشتر آسفالتن ها جابه جا می شود.

دلیل این جابه جایی های نقطه پیک کاملاً مشخص است، زیرا هنگامی که برش نفتی H.V.S که ماهیت آروماتیکی بیشتری دارد، به مخلوط قیر دمیده و قیر ۶۰/۷۰ اضافه می شود، موجب می گردد که گروه های آسفالتنی راحت تر از هم جدا شوند. این امر همچنین، موجب می شود که افزایش ناگهانی طول همبستگی در آسفالتن ها (عبور از حالت گذار) در برابر افزایش مقدار کمتری از قیر ۶۰/۷۰ اتفاق بیفتد. به همین دلیل با دقت بیشتر به شکل های ۵ تا ۸ یک نظم در جابه جایی پیک ها مشاهده می شود. به طوری که مقایسه آنها نشان می دهد برای ایجاد نقطه پیک با افزایش هر ۵ درصد از H.V.S باید ۱۵ درصد قیر دمیده بیشتری به مخلوط اضافه شود. به عنوان مثال، در شکل ۵ نقطه پیک در ۱۰ درصد از قیر دمیده ظاهر شد، در حالی که با افزایش مقدار ثابت ۵ درصد از H.V.S در شکل ۶ نقطه پیک در ۲۵ درصد از قیر دمیده ظاهر شده است. این روند افزایش ادامه دارد تا جایی که وقتی فقط از قیر دمیده و روان کننده H.V.S استفاده شد (شکل ۴) نقطه پیک در ۶۰ درصد از قیر دمیده ظاهر شد. با بررسی مدول قیرهای پایه اکنون بهتر می توان تغییرات مدول قیرها را با وجود نسبت های ثابت ۲، ۵، ۷ و ۱۰ درصد از پلیمر iPP در مخلوط H.V.S و قیر دمیده بررسی کرد.

افزایش iPP به مخلوط قیر دمیده و H.V.S تغییرات مدول را کمی متفاوت می کند، نسبت به زمانی که قیر دمیده و H.V.S به تنهایی با هم مخلوط می شدند (شکل ۵). به طوری که نقاط پیک حذف شده و فقط دو ناحیه در منحنی های تغییرات مدول با افزایش قیر ۱۱۰/۱۰ مشاهده می شود. از آنجا که iPP دارای زنجیرهای پلی اولفینی است، می تواند از یک طرف با بخش های غیر آروماتیک آسفالتن ها پیوندهای سطحی ایجاد کند و از طرف دیگر با بخش غیر آروماتیک مالتن ها و رزین ها نیز پیوندهای ضعیفی را برقرار کند. این مسئله موجب تجمع این دو گروه (مالتن ها و آسفالتن ها) در کنار یک دیگر شده و قدرت پیوندهای بین

(۱۱) ساختار واسطه بیشتر خود را نشان داده و با افزایش مدول مخلوط، شیب تغییرات مدول را کاهش می دهد. با افزایش مقدار ثابت iPP تا ۱۰ درصد (شکل ۱۲) دیده می شود که شیب تغییرات کاهش قابل ملاحظه ای می یابد و به نظر می آید، افزایش بیشتر iPP منحنی را تا تبدیل به یک خط با شیب کم پیش می برد. در انتها با مقایسه نتایج مدول به وضوح دیده می شود که افزایش iPP به مخلوط قیر و برش H.V.S موجب افزایش مدول مخلوط می شود، یا به عبارت دیگر مقاومت کششی آن را بهبود می بخشد.

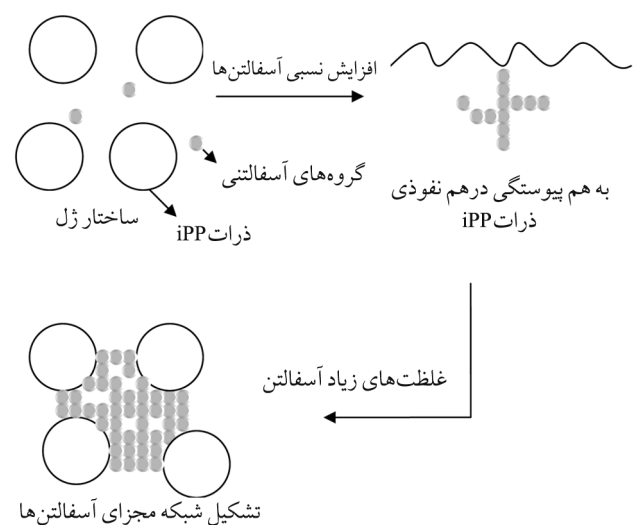


شکل ۱۴- تغییر ساختار مستقیم ژل ذرات iPP به شبکه مجزای آسفالتی در غلظت های کم آن.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش ها مشاهده می شود که در غیاب پلیمرهایی هم چون iPP رفتار غیرخطی مدول قیرها کاملاً وابسته به نوع رفتار آسفالتن هاست. این آسفالتن ها هستند که در کنار بستر رزینی قیر چگونگی رفتار قیر را کنترل می کنند، در حالی که آسفالتن ها به شدت وابسته به نوع رزین و محیطی هستند که در آن قرار می گیرند. به طوری که هنگام افزایش روان کننده ها یا قیرهایی با نقطه نرمی کمتر و به اصطلاح دارای آسفالتن هایی با طول همبستگی کمتر عکس العمل های متفاوتی نشان می دهند. در این حالت عبور از حالت ژل به سل در واقع تغییر در شرایط متفاوت آسفالتن هاست، به طوری که وجود یک پیک در مدول در انتهای حالت گذار کاملاً غیرقابل پیش بینی است. در غیاب iPP، آسفالتن ها مسئول کنترل رفتار قیرها هستند، در انتهای حالت گذار در تمام مخلوط ها در مرز انحلال پذیری افزایش ناگهانی در طول همبستگی آسفالتن ها به وجود می آید که نشان دهنده پایان حالت گذار در این نوع مخلوط هاست. از مقایسه مجموعه ای از مخلوط ها که در آنها iPP وجود ندارد، مشخص شد که پایان حالت گذار کاملاً وابسته به نوع و مقدار رزین افزوده شده به آن است، به طوری که استفاده از H.V.S در مقایسه با قیر ۶۰/۷۰ نقطه بیشینه را به سمت راست منتقل می کند، یا به عبارت دیگر پایان حالت گذار (نقطه بیشینه) در غلظت های بیشتری از آسفالتن ها یا قیر دمیده ظاهر می شود. افزون بر آن، دیده می شود که به ازای افزایش هر ۵ درصد از H.V.S به مخلوط، حالت گذار به مقدار ۱۵ درصد بیشتر نسبت به قیر دمیده جابه جا شود. به عنوان مثال، مدول مخلوط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۵ درصد برش H.V.S نقطه بیشینه ای در حدود ۲۵ درصد نسبت به قیر دمیده دارد. در حالی که مدول مخلوط قیر دمیده ۱۱۰/۱۰ با قیر ۶۰/۷۰ در مقدار ثابت ۱۰ درصد برش H.V.S نقطه بیشینه ای در حدود ۴۰ درصد نسبت

بیشتری در برابر کشش نشان می دهند که اثر آن افزایش مدول رزین قیری است. مقایسه شکل های ۹ و ۱۰ نشان می دهد که شیب تغییرات مدول به دلیل تشکیل همین ساختار واسطه ای و افزایش نسبی پیوندهای بین ذرات iPP کاهش یافته است. با توجه به مطالب گفته شده هرچه غلظت iPP بیشتر باشد، این ساختار واسطه بیشتر خود نمایی می کند. زیرا با افزایش غلظت iPP، فاصله این ذرات از یک دیگر کمتر شده و پدیده به هم پیوستگی درهم نفوذی بهتر شکل می گیرد. اما، با افزایش آسفالتن ها، ذرات آسفالتن در بین ذرات iPP قرار گرفته و مانع از به هم پیوستگی درهم نفوذی آنها می شوند. با افزایش آسفالتن ها ساختار مخلوط تبدیل به ساختار شبکه مجزای آسفالتی می شود (شکل ۱۵). هنگامی که مقدار iPP به ۷ درصد در مخلوط افزایش می یابد (شکل



شکل ۱۵- تشکیل ساختار به هم پیوسته درهم نفوذی ذرات iPP در غلظت های زیاد آن.

و هنگام حذف تنش به سرعت به حالت اولیه باز می گردند. با مقایسه شکل های ۹ تا ۱۲ ملاحظه می شود که رشد مدول با افزایش ۵ درصد iPP تفاوت زیادی با افزایش ۷ درصد iPP ندارد، در حالی که وجود ۱۰ درصد iPP تغییر بیشتری در مدول رزین ایجاد می کند.

این نتایج نشان دهنده اثر استثنایی و منحصر به فرد پلیمر روی خواص قیر است. در حالی که سایر اصلاح کننده ها این خاصیت را ندارند. با این نتایج رفتار قیرها در مقابل افزایش روغن ها و پلیمرها قابل پیش بینی است و می توان زمان عبور مخلوط را از حالت گذار پیش بینی کرد. افزون بر آن، می توان مدول مورد نظر برای تهیه عایق ها و بهینه سازی آنها را از طریق این نمودارها استخراج یا پیش بینی کرد.

قدردانی

بدین وسیله از شرکت عایق های رطوبتی ایران، خانم نسرين جلیلی و آقای روزبه محبی که امکانات لازم را برای این پژوهش فراهم کرده و خانم الهام تقدیر در ویرایش مقاله تشکر می شود.

مراجع

- Jolitz R., Pierce H.H., Daniel S. and Donoho D., An Analysis of Load-strain Properties of SBS-Modified Bitumen Roofing, *Proceeding of the Fourth International Symposium on Technology*, Gaithersburg, 278-284, 1996
- Stam M.J., Key C. and Bouw K.D., Glassmat as a Base fore Bituminous Roofing Membranes, *Symposium on Roofing Technology*, Maassluis, Holland, **14**, 96-104, Sept. 21-23, 1977.
- Allen D.J., Phalen J.R.T.E., Stress-strain Characteristics for EPDM, CSPE and PVC for the Development of Stresses in Membranes Utilized as Single-ply Roof Systems, *Third International Symposium on Roofing Technology*, Gaithersburg, 487-493, 1991.
- Brodland G.W., Dell M.J. and Burnett E.F.P., Finite Element Modeling of Reinforced Bitumen Membranes, *Third International Symposium on Roofing Technology*, Gaithersburg, 21-25, 1991.
- Jones P.M. and Garden G.K., Properties of Bituminous Membranes, NRC-IRC (National Research Council Canada, Institute-for Research in Construction), Canada, February 1966.
- Turenne R.G., Stenman H.K., Mech M.N. and Dutt O., Single-ply Membranes-effect of Cold Temperature and Heat Aging on Tensile Properties, *Third International Symposium on Roofing*, Gaithersburg, 7-14, 1991.
- Porcher J., Herbert J.R. and Busching W., A Laboratory Investigation of Thermo-mechanical Properties of Polymer Modified Roofing Bituminous, *Second International Symposium on Roofing Technology*, Gaithersburg, 62-68, 1985.
- Hadadi V., Yousefi A.A., Moeini A.R., Ganji T. and Khosravi M., Bituminous Blends for Different Application, *J. Color. Sci. Technol.*, **1**, 7-19, 2007.
- Hadadi V., Yousefi A.A., Ganji T.M. and Khosravi M., Mechanical Properties of Non-Woven Polyester Fibers and Polymer-Modified Bitumen Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, **20**, 489-502, 2007.
- Hadadi V., Yousefi A.A., Ganji T.M. and Khosravi M., Mechanical Properties and Modeling of Fiber-Glass/Polymer-Modified Bitumen Composites, *Submitted to Iran. Polym. J.*, 2007.
- Steffe F.J., *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd ed., Freeman, East Lansing, USA, Chap.1, 8-13, 1996.
- Ward I.M. and Hadley D.W., *An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers*, John Wiley and Sons, New York, Chap. 2, 2-130, 1996.

13. Ggriffin C.W. and Fricklas R.L., *The Manual of Low-slope Roof System*, 3rd ed. McGraw Hill, New York, Chap.13, 280-300, 1982.
14. Christopher J., Sarpal A.S., Karishna G.S. and Tyagi M.C., Jain S.K. and Bhatnagar A.K., Chemical Structure of Bitumen-derived Asphaltenes by Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and X-ray Diffractometry, *Fuel*, **75**, 999-1008, 1996.
15. Gawrys K.L., *How Asphaltene Aggregate: Role of Chemistry and Solvent*, PhD Dissertation, North Carolina State University, 2005.
16. Spiecker P.M., *The Impact of Asphaltene Chemistry and Salvation on Emulsion and Interfacial Film Formation*, PhD Dissertation, North Carolina State University, 2002.
17. Fredrich F., *Effect of Non-condensable on the Vapex Process*, PhD Dissertation, Waterloo, Ontario, Canada, 2005.
18. *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Oil Co., Chap. 2, 1989.
19. Saniere A., Henaut I. and Argillier J.F., Pipeline Transition of Heavy Oils, a Strategic, Economic and Technological Challenge, *Oil Gas Sci. Technol. J.*, **59**, 455-466, 2004.
20. Harris J., *Electrically Conductive Latex-Based Composites*, *TiiMS 3rd Annual Review and Conference*, North Carolina A&T State University, August 2-3, 2005.