

## Effect of SBS/HVS Blend on Modification of Physical and Chemical Properties of Bituminous Emulsion Insulators

V. Haddadi\*<sup>1</sup>, E. Taghdir<sup>2</sup>, M.A. Ghasri<sup>3</sup>, B. Gorji<sup>4</sup>

1. Islamic Azad University, Islamshahre branch, P.O. Box: 33135-369, Tehran, Iran

2. Islamic Azad University, Tehran North branch, P.O. Box: 19585-936, Tehran, Iran

3. Islamic Azad University, Shahrereay Branch, P.O. Box: 18155-1116, Tehran, Iran

4. Islamic Azad University, Tehran South Branch, P.O. Box: 11365-4435, Tehran, Iran

Received 22 August 2010, accepted 5 October 2010

### ABSTRACT

**B**ituminous emulsion insulators are types of bituminous emulsions groups composed of different grades of bitumen emulsified in water by bentonite and emulsifiers at 80-90°C. These emulsions are water resistant after drying and their physical and mechanical properties are superior in comparison to bitumen properties. Iranian climate, because of variety and extreme variations in temperature imposes high performance insulators. Modification of bitumen is considered as one of the most practical applications of polymers to impart more improved properties to bitumen. This investigation involved the study of polymers and resins such as SBS and heavy vacuum slops (HVS). For this purpose, the effect of each component of emulsions on the physical and chemical properties of insulators was examined and some insulators are made with more improved properties. Moreover, the bitumen was modified by styrene-butadiene-styrene blocked copolymer (SBS) blends and HVS and their roles on the behavior of the emulsion were studied. The results show that: 1- the bentonite content of the emulsion should not be more than 11%; 2- addition of SBS/HVS blend increased physical and chemical properties (thermal stability, flexibility and adhesion); 3- increased water content of the production process improved the thermal stability and flexibility of the insulators, whereas it did not so the stability of emulsion. Finally, it is found that the best formulation must contain: (1) bentonite with maximum content of 11%; (2) water content of 44% and (3) SBS/HVS blend of about 7%.

### Key Words:

bituminous emulsion  
insulator,  
SBS/HVS blend,  
bentonite,  
water content,  
physical and chemical  
properties

(\*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: v\_hadadi@yahoo.com

## اثر آمیخته پلیمری SBS و HVS بر اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی عایق‌های امولسیون پایه قیری

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،  
سال بیست و سوم، شماره ۴،  
صفحه ۳۴۴-۳۳۵، ۱۳۸۹  
ISSN : 1016-3255

وحید حدادی<sup>۱\*</sup>، الهام تقدیر<sup>۲</sup>، محمد رضا اله قلی قصری<sup>۳</sup>، بنفشه گرجی<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup>- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، گروه شیمی، صندوق پستی ۳۳۱۳۵-۳۶۹  
<sup>۲</sup>- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، صندوق پستی ۱۹۵۸۵-۹۳۶  
<sup>۳</sup>- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرری، صندوق پستی ۱۸۱۵۵-۱۱۱۶  
<sup>۴</sup>- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۴۴۳۵

دریافت: ۸۹/۵/۳۱، پذیرش: ۸۹/۷/۱۳

### چکیده

عایق‌های امولسیون پایه قیری از جمله قیرهای امولسیون‌اند که در آنها قیرهایی با درجه نفوذ و دمای نرمی مختلف به واسطه امولسیون‌کننده‌ای هم چون بنتونیت در دمای حداکثر ۸۰ تا ۹۰°C در آب به امولسیون تبدیل می‌شوند. این عایق‌ها پس از خشک شدن، در برابر نفوذ آب مقاوم شده و خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری نسبت به قیر نشان می‌دهند. اما با وجود این مزایا، عایق ایجاد شده دارای خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب برای مقاومت در گستره دمایی بالا نیست. در کشور ایران به دلیل تنوع آب و هوایی و برخورداری از گستره دمایی بسیار بالا در طول سال یا حتی شبانه روز نیاز به عایقی با کارایی بیشتر محسوس است. از طرفی، یکی از کاربردهای بسیار گسترده پلیمرها، استفاده از آنها در اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی قیرهاست که بدین وسیله می‌توان ضعف‌های یاد شده را تقویت کرد. در این پژوهش، با به کارگیری پلیمر SBS و رزین HVS در امولسیون سعی در بررسی خواص تک تک اجزای تشکیل دهنده امولسیون و تهیه عایقی با خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر شده است. بنابراین، اثر هر یک از اجزای تشکیل دهنده این امولسیون بررسی و مشخص شده که بیشترین مقدار مجاز استفاده از بنتونیت ۱۱٪ است. مشخص شده است، افزایش آمیخته SBS و HVS در مقادیر ثابت ۱۱٪ بنتونیت پایداری گرمایی، انعطاف‌پذیری در سرما، پایداری امولسیون و حتی مقدار چسبندگی را تا حد بسیار زیادی افزایش می‌دهد. افزایش مقدار آب در زمان تولید تا حدود ۴۴٪ موجب ازدیاد پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری عایق می‌شود و اثر زیادی بر پایداری امولسیون ندارد. بنابراین، بهترین مقدار درصد آب بین ۳۹ تا ۴۴٪ انتخاب شده است. با جمع بندی نتایج به دست آمده در این طرح مشخص می‌شود، بهترین مقدار بنتونیت در امولسیون ۱۱٪، حداکثر مقدار آب در حین تولید ۴۴٪ و بهترین مقدار آمیخته باید ۷٪ باشد، تا امولسیون افزون بر خواص پایداری گرمایی خوب، انعطاف‌پذیری زیاد، چسبندگی مناسب، دارای مقاومت زیاد در برابر امولسیون شدن مجدد و پایداری خوب باشد.

### واژه‌های کلیدی

عایق امولسیون پایه قیری،  
آمیخته SBS/HVS،  
بنتونیت،  
مقدار آب،  
خواص فیزیکی و شیمیایی

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

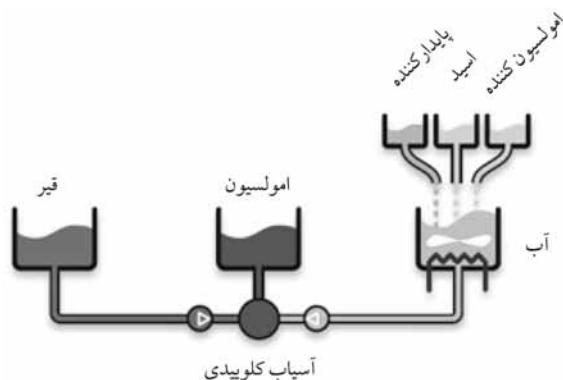
v\_hadadi@yahoo.com

## مقدمه

تولید عایق امولسیون که قابلیت مقاومت در برابر تنش‌های سرمایی و گرمایی را داشته باشد، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران و تولیدکنندگان این صنعت بوده است. اولین قیر امولسیون در سال ۱۹۲۲ توسط هیوالن مکی ثبت شد [۱]. امولسیون حالت تعلیق ذرات بسیار ریز یک نوع مایع در مایع دیگر است [۲]. آب و روغن نیز می‌توانند در حالت اختلاط تشکیل امولسیون دهند. اما، این امولسیون ناپایدار است و به محض خاتمه عمل اختلاط ذرات معلق به سرعت به هم می‌پیوندند [۳]. به طور کلی، امولسیون‌هایی که حاوی ۸۰ تا ۴۰ درصد قیر هستند، سیال‌هایی قهوه‌ای رنگ‌اند که گرانیوی آنها حدود روانی شیر تا خامه متغیر است و قطر ذرات معلق آنها نیز از ۰/۱ تا ۲۰  $\mu\text{m}$  متغیر است [۴]. در حقیقت، امولسیون‌های پایدار دارای یک عامل تشکیل‌دهنده سوم‌اند که امولسیون‌کننده نامیده می‌شوند. نقش این ماده جلوگیری از به هم پیوستن مجدد ذرات معلق است [۵]. امروزه، استفاده و به کارگیری پلیمرها تقریباً در تمام صنایع جایگاه بسیار ویژه‌ای یافته است. خواص منحصر به فرد پلیمرها موجب شده است تا برای افزایش کارایی و مقاومت محصولات در برابر تنش از آنها در مقادیر گسترده‌ای استفاده شود. برای مثال، پلیمرهای انعطاف‌پذیری هم چون SBS موجب افزایش درجه کارایی [۶] و خواص پویایی [۷] قیر می‌شود. عایق‌های امولسیونی پایه قیری نیز از این قاعده مستثنی نیستند. به طوری که قیر به کار رفته در آنها می‌تواند به وسیله چنین پلیمرهایی اصلاح شده و قابلیت عایق را افزایش دهد.

در سال ۱۹۶۶ برای اولین بار انواع مختلفی از افزودنی‌ها از قبیل لاتکس و SBS در امولسیون‌های قیری بررسی شد که در این طرح از ترکیبات دیگری هم چون ترکیبات کاهش‌دهنده گرانیوی و امولسیون‌کننده‌های کاتیونی نیز استفاده شد. برای تولید این نوع از امولسیون‌ها باید از روش‌هایی هم چون استفاده از همگن‌ساز یا آسیاب کلوییدی با سرعت‌های زیاد سود جست [۸]. در این روش، ابتدا قیر به وسیله SBS در دمای  $180^{\circ}\text{C}$  اصلاح شده و زمانی که ابعاد ذرات حل شده آن در حدود ابعاد ترکیبات قیر قرار گرفت، همراه با گروه‌های آسفالتنی و رزین‌های تشکیل‌دهنده قیر و به کمک سایر ترکیبات امولسیون‌کننده، در آب امولسیون می‌شود [۹]. در شکل ۱ نمای کلی تولید قیرهای امولسیونی آورده شده است. اما، استفاده از این سامانه‌ها برای بهبود امولسیون قیری بسیار پرهزینه بوده و مورد پذیرش تولیدکنندگان این محصول نیست.

عایق‌های امولسیونی پایه قیری از جمله قیرهای امولسیونی‌اند که در آنها قیرهایی با درجه نفوذ و دمای نرمی مختلف به واسطه امولسیون



شکل ۱ - نمای کلی واحد تولید قیرهای امولسیونی ناپیوسته [۶].

کننده‌ای هم چون بنتونیت در دمای حداکثر  $80^{\circ}\text{C}$  تا  $90^{\circ}\text{C}$  در آب به امولسیون تبدیل می‌شوند.

واژه بنتونیت از اصطلاح محلی شیل‌های بنتون واقع در ایالات وایومینگ آمریکا گرفته شده است. بنتونیت یک فیلسیلیکات آلومینیم دار با فرمول  $(\text{Na,Ca})_{0/33}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  است که به طور عمده از مونت موریلونیت یا کانی‌های گروه اسمکتیت تشکیل شده است. بنتونیت به دو نوع بنتونیت‌های متورم یا بنتونیت‌های سدیم دار بنتونیت‌های غیرمتورم یا بنتونیت‌های کلسیم دار دسته بندی می‌شوند [۱۰].

از آن جا که این عایق‌ها پایه آبی‌اند به راحتی با بتن سیمان مخلوط شده و افزون بر افزایش دوام و ماندگاری بتن در برابر تغییرات دما [۱۱]. به عنوان عایق‌های ضدصدا و گرما نیز به خوبی عمل می‌کنند [۱۲]. کاربری و نحوه استفاده آسان و هزینه کم تولید این عایق‌ها سبب می‌شود که بتوان از آنها در کلیه بام‌های با شیب‌های کم و زیاد استفاده کرد [۱۳]. این عایق در کلیه سامانه‌های ضدخوردگی، برای مثال در پوشش‌های لوله‌ها و صنایع عمرانی نیز قابل استفاده است [۱۴]. این عایق‌ها پس از خشک شدن، در برابر نفوذ آب مقاوم شده و خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری نسبت به قیر نشان می‌دهند [۱۵، ۱۶]. با این حال به دلیل این که اصلی‌ترین ترکیب این عایق‌ها قیر است، خواص فیزیکی و مکانیکی آنها کاملاً تحت اثر خواص فیزیکی و مکانیکی قیر قرار دارند [۱۷]. از سوی دیگر از آن جا که عایق‌های امولسیونی فاقد حلال‌های آلی هستند، امروزه بسیار مورد توجه سازمان محیط زیست، کاربرها و حتی تولیدکنندگان هستند [۱۸]. حداکثر پایداری گرمایی این نوع از عایق‌های امولسیونی مطابق استاندارد ASTM D 1227-95،  $100^{\circ}\text{C}$  و حداکثر انعطاف‌پذیری آنها در سرمای  $0^{\circ}\text{C}$  است. به طور عمده برای ایجاد یک لایه پیوسته و افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی عایق‌های امولسیونی از چسب‌های لاتکس پایه آبی استفاده می‌شود

جدول ۱ - مشخصات مواد نفتی اولیه استفاده شده.

HVS	قیر ۶۰/۷۰	آزمون
-	۵۱	دمای نرم شدن (°C)
-	۶۵	نفوذپذیری در ۲۵°C (۰/۱ mm)
-	۷۵+	چکش خواری در ۲۵°C (cm)
۲۴۸	۳۳۰	نقطه اشتعال (°C)
-	۹۹/۹۹	انحلال پذیری در TCE (wt %)
۱۹	-	گرانروی سینماتیک در ۱۰۰°C (cSt)
-	۰/۰۰۲۲	مدول (kgf/mm <sup>2</sup> )

### تجربی

#### مواد و دستگاه‌ها

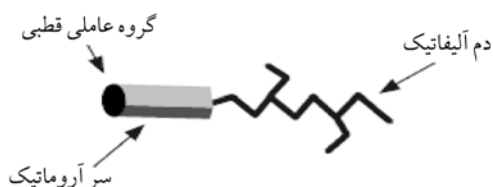
در این پژوهش، از قیر ۶۰/۷۰ با دمای نرمی ۵۱°C (مطابق جدول ۱) تهیه شده از شرکت پاسارگاد تهران، بنتونیت کلسیم دار تولیدی شرکت باریت ایران، روان کننده HVS (heavy vacuum slops) تولید پالایشگاه اراک با مشخصات جدول ۱ و نمای کلی شکل ۲ و کوپلیمر SBS تهیه شده از شرکت Shell با نام تجاری Kraton-D با مشخصات آمده در جدول ۲ استفاده شد.

عمل اختلاط به وسیله یک هم‌زن عمودی معمولی با سرعت ۸۰۰ rpm انجام شد. گرم‌خانه پروانه‌دار ۲۰ لیتری با گستره دمایی ۲۵ تا ۱۸۰°C تهیه شده از شرکت طب آزما و دستگاه خمش در سرما با گستره دمایی ۲۵ تا ۲۰°C - ساخت شرکت آسیا به کار گرفته شد.

#### روش‌ها

##### تهیه نمونه

نمونه‌ها در یک ظرف ۱ لیتری به مقدار ۵۰۰ mL تهیه شد. ابتدا، آب تا دمای ۸۰°C گرم شده و سپس پودر بنتونیت به آن اضافه شد. پس از اختلاط کامل آب و بنتونیت (حدود ۳ min تا ۱ h) قیر یا قیر اصلاح شده



شکل ۲ - ساختار کلی و غالب مولکول HVS [۲۴].

[۱۹]. این رزین‌ها به دلیل این که پایه آبی هستند، به راحتی با امولسیون تولید شده مخلوط می‌شوند و این کار را با هم‌زن‌های بسیار معمولی نیز می‌توان انجام داد. اما، برای افزایش بیشتر کارایی این عایق‌ها باید از مقدار رزین بیشتری استفاده کرد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و افزون بر آن زمان خشک شدن عایق را تا حدود زیادی افزایش می‌دهد [۲۰]. از سوی دیگر همان‌طور که بیان شد، اصلاح قیرها با پلیمرهای معمول دیگر موجب افزایش گرانروی قیر و امولسیون نشدن آن در آب می‌شود. از آن جا که استفاده از پلیمرهای رایج در رزین قیری انحلال قیر پلیمری را در آب به واسطه از دیاد گرانروی مشکل می‌سازد، تولیدکنندگان نیازمند استفاده از هم‌زن‌های با سرعت‌های بسیار زیاد (به ویژه با افزایش گرانروی رزین قیری) هستند که در صنعت بسیار پرهزینه و مشکل‌ساز است [۲۱].

با توجه به مطالب بیان شده، حساسیت شدید کیفیت آنها به فرمول‌بندی‌های استفاده شده، خواص فیزیکی و مکانیکی ضعیف عایق‌های امولسیونی [۲۲] و هم‌چنین هزینه زیاد مواد اولیه برای دستیابی به عایق‌هایی با کارایی زیاد موجب شده که اکثر تولیدکنندگان برای تهیه این عایق‌ها با مشکل مواجه شوند. بنا به دلایل گفته شده تعداد محدودی از شرکت‌های تولیدکننده عایق، عایق‌های امولسیونی تهیه می‌کنند که کارایی خواص فیزیکی و مکانیکی آنها فقط در گستره دمایی ۰ تا ۸۰°C است. در حالی که در شرایط اقلیمی ایران تغییرات دما بسیار گسترده‌تر از این مقدار است. افزون بر این، در ایران هیچ استاندارد برای این نوع عایق‌ها تعریف نشده است و کلیه عایق‌های امولسیونی تولید شده در ایران گستره دمایی ۰ تا ۸۰°C را دارند. اما، استانداردهای ASTM D 1227-95 و ASTM D 2939-94، گستره دمایی ۰ تا ۱۰۰°C را تعریف کرده است. در نتیجه، نیاز به روش‌ها یا فرمول‌بندی‌هایی احساس می‌شود که با افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی، هزینه‌های تولید عایق‌های امولسیونی را کاهش دهد.

هدف از پژوهش حاضر این است که با استفاده از درصد‌های بسیار کم کوپلیمر SBS به نام Kraton-D و اختلاط با یک برش نفتی به نام HVS (heavy vacuum slops)، گرانروی قیر به شدت کاهش داده شده و موجب آسانی امولسیون شدن آن شود. در نتیجه، موجب وسیع تر شدن گستره تغییرات دمایی عایق‌های امولسیونی شود تا در برابر تنش‌های سرمایی و گرمایی مقاومت بهتری نشان دهند. در این پژوهش، اثر تک‌تک اجزای مؤثر بر کیفیت عایق بررسی و فرمول‌بندی‌های بهینه مشخص شد. نتایج این طرح از نظر روش به کارگیری و توزیع ذرات پلیمری در قیر امولسیون و نیز از نظر فرمول‌بندی ارائه شده منحصر به فرد است و هم‌چنین دارای نتایج عملی بسیار خوبی در صنعت است.

جدول ۲ - مشخصات پلیمر Kraton-D.

مقدار	خاصیت
۲/۹	مدول ۳۰۰٪ (MPa)
۳۳	استحکام کششی (MPa)
۸۸۰	ازدیاد طول تا پارگی (%)
۱	سرعت جریان مذاب ۲۰۰°C و ۵ kg (g/۱۰ min)
۰/۹۴	وزن مخصوص
۷۲	سختی، شور A (۳۰ s)
۳۰/۴	چگالی توده (kg/dm)
۳۰/۰-۳۲/۰	مقدار پلی استیرن (%)
۳/۰-۵/۰	گرانروی محلول در ۲۵°C، تولوئن ۲۵%w (Pa.s)
۷۸x۱۰۵	وزن مولکولی (g/mol)

موارد دستگاه در دمای ۵°C کمتر از دمای پیشین تنظیم و در حالت مشاهده ترک، دمای پیشین به عنوان دمای انعطاف پذیری در سرما ثبت شد. برای آزمون مقاومت در برابر آب مطابق استاندارد ASTM D 2939-94 پنج نمونه دیگر از نمونه های تهیه شده از هر امولسیون به مدت ۲۴ h در آب مقطر ۲۵°C قرار گرفت. پس از آن با مالش آرام دست روی نمونه ها، مقاومت در برابر امولسیون شدن مجدد بررسی شد.

### آزمون پایداری امولسیون

برای انجام آزمون پایداری امولسیون، ۱۰۰ mL از امولسیون در یک استوانه مدرج ۲۰۰ mL ریخته و در دمای معمولی به مدت پنج روز نگهداری شد. سپس، ۲ نمونه حدود ۱۰ mL از بالا و پایین امولسیون درون استوانه مدرج برداشته و در شیشه ساعت ریخته شد و در گرم خانه پروانه دار با دمای ۱۶۳°C به مدت ۳ h نگهداری شد. پس از سرد شدن تا دمای محیط، تفاوت وزن ها اندازه گیری شده و معیار پایداری عایق قرار گرفت [۲۳]. در حالتی که امولسیون از پایداری مناسب برخوردار نباشد، در این فاصله زمانی دوفاز شده به شکلی که آب در بخش بالا و قیر در بخش های پایین استوانه مدرج قرار می گیرد. با نمونه برداری از قسمت بالا و پایین این استوانه مدرج و تبخیر آب تفاوت زیادی در وزن باقی مانده مشاهده می شود، چرا که بخش بالایی دارای مقدار بیشتری از آب است که تبخیر می شود.

### نتایج و بحث

نمونه های تهیه شده در این پژوهش را می توان به دو دسته امولسیون هایی با قیر ۶۰/۷۰ و با قیر اصلاح شده تقسیم کرد.

ابتدا برای بررسی اثر و بهینه سازی مقدار امولسیون کننده بنتونیت، قیر ۶۰/۷۰ با نسبت های مختلف با آب مخلوط شد. در این قسمت از مقدار های مختلف بنتونیت استفاده شد. پس از آماده سازی نمونه ها، آزمون ها روی آنها انجام شد که نتایج آزمون ها در شکل های ۳ و ۴ و جدول ۳ آمده است.

توجه و دقت به نمودار های ۳ و ۴ اثر مقدار بنتونیت بر پایداری گرمایی و انعطاف پذیری امولسیون پس از خشک شدن را نمایان می سازد. مشاهده می شود، با افزایش مقدار بنتونیت پایداری گرمایی افزایش می یابد. با این وجود مشخص است، تغییرات پایداری گرمایی نسبت به تغییرات مقدار بنتونیت کم است. دلیل این تغییرات را می توان در پایداری و مقاومت گرمایی زیاد ترکیبات معدنی هم چون بنتونیت

که دمای آن در ۹۰°C تثبیت شده است به آن اضافه و اجازه داده شد مخلوط در همین دما به مدت ۱ h هم زده شود. برای اصلاح قیر، در ظرف جداگانه ای قبلاً قیر با اصلاح کننده های SBS و HVS در دمای ۱۸۰±۵°C مخلوط و سپس به مخلوط آب و بنتونیت اضافه می شود.

### آزمون ها

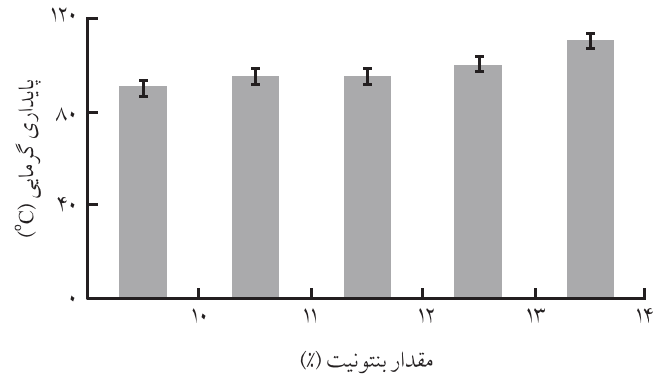
آزمون های پایداری گرمایی، انعطاف پذیری در سرما و مقاومت در برابر آب (امولسیون شوندگی مجدد) مطابق استاندارد ASTM D 2939-94 انجام گرفت. برای انجام این آزمون ها، هر یک از امولسیون های تولید شده با ضخامت ۲ mm و ابعاد ۱۰x۱۰ cm روی پانزده صفحه حلبی به ضخامت ۰/۲ mm و ابعاد ۱۵x۱۵ cm اعمال شد. پس از خشک شدن (در حدود ۲۴ h) نمونه ها به مدت ۶۰ min در یک گرم خانه پروانه دار در دمای ۵۰°C نگهداری شد.

برای آزمون پایداری گرمایی، پنج نمونه از هر امولسیون به طور عمودی در گرم خانه پروانه دار جای داده شد. ابتدا دمای گرم خانه روی ۶۰°C تنظیم شد. پس از گذشت ۲ h، نمونه ها از نظر تاول زدگی و شره کردن بررسی شدند. در حالت عدم مشاهده معایب یاد شده، گرم خانه در دمای ۱۰°C بیش از دمای قبلی تنظیم و در حالت مشاهده هرگونه تاول و شره دمای قبلی به عنوان دمای پایداری گرمایی ثبت شد.

برای آزمون انعطاف پذیری در سرما پنج نمونه دیگر از هر امولسیون، به مدت ۲ h در دستگاه خمش در سرما در دمای ابتدایی ۱۵°C قرار داده شد. پس از این زمان، نمونه ها به دور یک میله به قطر ۵ cm در مدت ۵ s خم و از نظر شکستگی و ترک بررسی شدند. در حالت عدم مشاهده این

جدول ۳- امولسیون مخلوط قیر ۶۰/۷۰، آب و بنتونیت.

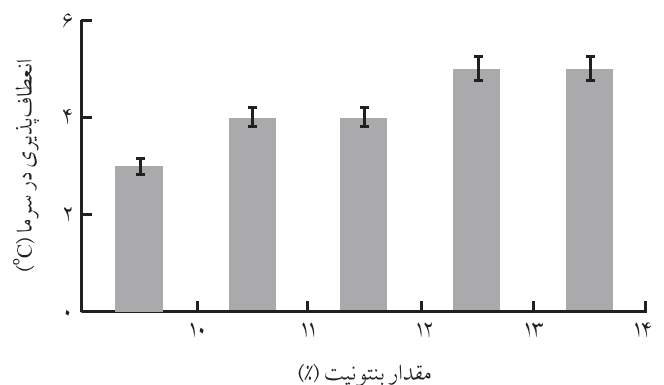
نمونه	بنتونیت (%)	آب (%)	مقاومت در برابر آب	پایداری امولسیون
E <sub>10</sub> -1	۱۰	۵۵	امولسیون نشدن	پایداری با ۲٪ اختلاف
E <sub>10</sub> -2	۱۰	۵۲/۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>10</sub> -3	۱۰	۵۰	امولسیون نشدن	"
E <sub>10</sub> -4	۱۰	۴۷/۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>10</sub> -5	۱۰	۴۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>10</sub> -6	۱۰	۴۲/۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>10</sub> -7	۱۰	۴۰	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -1	۱۱	۵۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -2	۱۱	۵۲	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -3	۱۱	۵۰	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -4	۱۱	۴۷	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -5	۱۱	۴۵	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -6	۱۱	۴۲	امولسیون نشدن	"
E <sub>11</sub> -7	۱۱	۴۰	امولسیون نشدن	"
E <sub>12</sub> -1	۱۲	۵۵	تاول زدگی	پایداری با کمتر از ۱٪ اختلاف
E <sub>12</sub> -2	۱۲	۵۲/۵	تاول زدگی	"
E <sub>12</sub> -3	۱۲	۵۰	تاول زدگی	"
E <sub>12</sub> -4	۱۲	۴۷/۵	تاول زدگی	"
E <sub>12</sub> -5	۱۲	۴۵	تاول زدگی	"
E <sub>12</sub> -6	۱۲	۴۲/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>12</sub> -7	۱۲	۴۰	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -1	۱۳	۵۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -2	۱۳	۵۲/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -3	۱۳	۵۰	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -4	۱۳	۴۷/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -5	۱۳	۴۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -6	۱۳	۴۲/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>13</sub> -7	۱۳	۴۰	تاول زدگی	"
E <sub>14</sub> -1	۱۴	۵۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>14</sub> -2	۱۴	۵۲/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>14</sub> -3	۱۴	۵۰	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>14</sub> -4	۱۴	۴۷/۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>14</sub> -5	۱۴	۴۵	امولسیون شدن مجدد	"
E <sub>14</sub> -6	۱۴	۴۲/۵	تاول زدگی	"
E <sub>14</sub> -7	۱۴	۴۰	امولسیون شدن مجدد	"



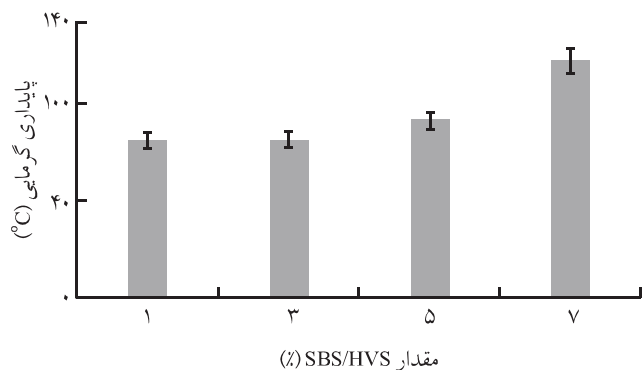
شکل ۳- اثر مقدار بنتونیت روی پایداری گرمایی امولسیون.

جست و جو کرد. چرا که افزایش ترکیبات معدنی، پایداری گرمایی اغلب ترکیبات پلیمری و نفتنی را تا حدودی افزایش می‌دهد و ترکیب امولسیون بنتونیت و قیر نیز از این قاعده مستثنا نیست. افزون بر این، افزایش بنتونیت انعطاف‌پذیری عایق را در برابر سرما چندان افزایش نمی‌دهد (شکل ۴)، زیرا ترکیبات معدنی (در گستره ارائه شده در این مقاله) اثر زیادی در انعطاف‌پذیری ماتریس ندارند. پس در این دو آزمون اخیر (پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری) ملاحظه می‌شود، افزایش مقدار بنتونیت فقط تا حدود کمی بر پایداری گرمایی مؤثر است و انعطاف‌پذیری آن را تغییر چندانی نخواهد داد.

گذشته از آزمون‌های پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری، در جدول ۳ پایداری امولسیون و مقاومت در برابر آب نیز آورده شده است که در این میان مقاومت در برابر آب از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا، مقدار کم امولسیون‌کننده موجب امولسیون نشدن مناسب و مقدار زیاد آن موجب امولسیون شدن مجدد آن و کاهش مقاومت در برابر آب می‌شود که در این شرایط پایداری امولسیون در درجه دوم اهمیت قرار دارد. با بررسی جدول ۳ دیده می‌شود، افزایش مقدار بنتونیت بیشتر از

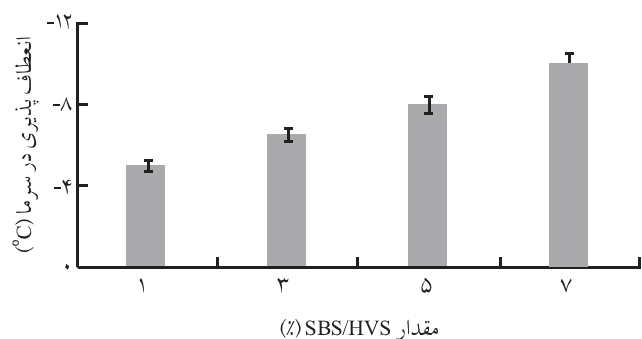


شکل ۴- اثر مقدار بنتونیت روی مقاومت انعطاف‌پذیری در سرمای امولسیون.



شکل ۵- اثر مقدار آمیخته SBS/HVS روی پایداری گرمایی امولسیون.

شیمیایی، این خواص کشسانی و انعطاف‌پذیری را به آمیخته و قیر پلیمری نیز القای می‌کند. در نتیجه امولسیونی که از این قیر پلیمری حاصل می‌شود، افزون بر پایداری گرمایی مناسب دارای انعطاف‌پذیری بسیار خوبی نیز خواهد بود. این مطلب در نمودار شکل‌های ۵ و ۶ اثبات شده است، زیرا با افزایش آمیخته SBS و HVS پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری به خوبی بهبود یافته است و این پدیده در درصد‌های زیاد (۷٪) بهتر نمایان شده است. دلیل این امر با توجه به نسبت SBS و HVS در آمیخته (۲۵/۷۵)، افزایش مقدار SBS در اثر افزایش مقدار آمیخته است که در نهایت موجب افزایش پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری امولسیون شده و خواص فیزیکی آن را اصلاح کرده است. افزون بر این، با فرض این که روان‌کننده HVS را بتوان به عنوان عامل کاهش‌دهنده گرانشی قیر در نظر گرفت و با توجه به نسبت SBS و HVS در آمیخته (۲۵/۷۵)، مشخص است که افزایش مقدار آمیخته برای افزایش مقدار SBS باعث افزایش مقدار بیشتری از HVS و کاهش گرانشی می‌شود که در نهایت باز هم موجب توزیع بهتر ذرات در امولسیون خواهد شد. نکته قابل توجه در امولسیون‌های یادشده این است که مقدار آب امولسیون نیز بر خواص فیزیکی و شیمیایی این عایق‌ها اثر زیادی دارد.



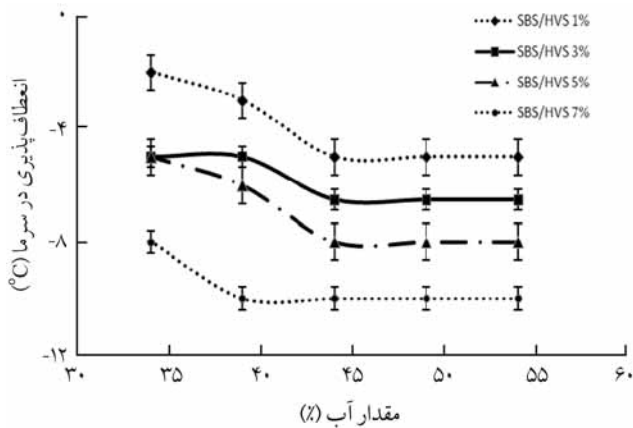
شکل ۶- اثر مقدار آمیخته SBS/HVS روی مقاومت انعطاف‌پذیری در سرما امولسیون.

۱۱٪ احتمال امولسیون شدن مجدد عایق را پس از خشک شدن افزایش می‌دهد. هرچند افزایش مقدار بنتونیت به دلیل توزیع بهتر ذرات قیر در آب پایداری و ماندگاری بیشتری را به امولسیون می‌دهد. اما، افزایش مقدار امولسیون‌کننده‌ای هم چون بنتونیت که به شدت جاذب آب است، موجب می‌شود که امولسیون پس از خشک شدن به واسطه نیروهای الکتروستاتیک و جذب سطحی، مقداری آب را از سطح جذب کرده و با امولسیون شدن مجدد، باعث کاهش مقاومت عایق شود. از آن جا که افزایش مقدار بنتونیت بهبود عمده‌ای در پایداری گرمایی و انعطاف‌پذیری عایق ایجاد نمی‌کند و با جذب زیاد آب در ساختار بلوری خود موجب کاهش مقاومت عایق در برابر آب می‌شود، باید مقدار بهینه‌ای برای بنتونیت به دست آید. با مراجعه به جدول ۳ بیشترین مقدار بنتونیت که موجب کاهش مقاومت عایق در برابر آب نشود، ۱۱٪ است. بنابراین، برای سایر آزمایش‌های این پژوهش مقدار بهینه (۱۱٪) بنتونیت به طور ثابت در نظر گرفته می‌شود.

#### افزایش SBS و HVS به امولسیون

در مرحله بعد، با ثابت نگه داشتن مقدار بنتونیت معادل ۱۱٪ مقادیر مختلفی از SBS و HVS به امولسیون اضافه شد. به منظور آسانی بررسی و توزیع مناسب SBS در قیر، ابتدا SBS و HVS با نسبت ثابت ۲۵/۷۵ آمیخته شدند (حداکثر مقدار توزیع SBS در HVS نسبت ذکر شده است) [۲۴] و مخلوط تولید شده با درصد‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ به قیر اضافه شد. SBS یک پلیمر غیرقطبی است که با ایجاد نیروهای الکتروستاتیک، با بازوهای غیرقطبی HVS (شکل ۲) ایجاد برهم‌کنش می‌کند. HVS نیز مانند یک حد واسط با سر قطبی خود با بخش‌های قطبی مولکول‌های آسفالتی قیر ایجاد برهم‌کنش می‌کند و به این شکل به عنوان واسطه، توزیع SBS را در قیر راحت‌تر و ممکن‌تر می‌سازد. درصد بسیار کمی از پلیمر SBS در دمای ۱۸۰°C، ابتدا در HVS و سپس در قیر توزیع می‌شود که تبدیل به مولکول‌هایی با طول زنجیر کمتر می‌شود. با برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک و فیزیکی این پلیمر با مولکول‌های HVS و قیر به راحتی به وسیله بنتونیت همراه با قیر امولسیون می‌شود.

اثر اختلاط درصد‌های مختلف از آمیخته SBS و HVS بر مقاومت گرمایی و انعطاف‌پذیری امولسیون‌ها به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است. پلیمر SBS، از جمله پلیمرهایی است که با وجود آن که مقاومت گرمایی زیادی دارند، دارای انعطاف و کشسانی بسیار زیادی نیز هستند. هنگامی که این پلیمر با روش یاد شده در HVS و قیر توزیع می‌شود، با برقراری برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک و تا حدود بسیار کمی



شکل ۸- تغییرات انعطاف پذیری امولسیون نسبت به تغییرات مقدار آب و اصلاح کننده SBS.

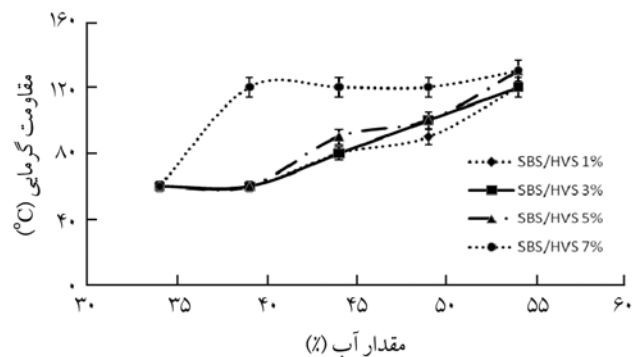
گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. همان طور که در ستون آخر این جدول ملاحظه می شود، تمام نمونه های تولید شده دارای پایداری امولسیونی یکسان است و با تغییر مقدار آب تغییری در آن ملاحظه نمی شود. بررسی این نتایج و مقایسه آنها با جدول ۳ نشان می دهد، تنها عامل اثرگذار بر پایداری امولسیون در عایق های امولسیونی، مقدار بنتونیت یا امولسیون کننده است.

افزون بر این از نتایج جدول ۴ ملاحظه می شود، افزایش آب بیش از ۴۴٪ احتمال امولسیون شدن مجدد امولسیون را پس از خشک شدن افزایش می دهد. آن چنان که مشخص است، با افزایش مقدار آمیخته SBS این روند تغییر زیادی نمی کند. همان طور که پیشتر بیان شد، افزایش آب و کاهش گرانیوی امولسیون موجب کاهش ابعاد ذرات قیر پلیمری در امولسیون شده و هر ذره کوچک از این قیر پلیمری را تعداد زیادی امولسیون کننده احاطه می کند (شکل ۹). زمانی که امولسیون خشک می شود، این ذرات همراه با امولسیون کننده های اطراف آن در کنار یک دیگر قرار می گیرند و این امولسیون کننده ها بهترین بستر برای برهم کنش با آب و امولسیون شدن مجدد عایق هستند. افزون بر این، کوچک بودن ذرات قیر پلیمری موجب کاهش انسجام و نیروهای بین مولکولی قیر و افزایش اثرپذیری آن می شود [۲۶] تا حدی که در برابر تنش های مولکول های آب حساسیت بیشتری نشان می دهند. بنابراین، ذرات کوچک قیر پلیمری در کنار امولسیون کننده دارای نیروهای بین مولکولی کمتری است و در برابر تنش های آب به راحتی امولسیون می شوند. با پذیرفتن این حقیقت به راحتی می توان دلیل افزایش احتمال امولسیون شدن مجدد را با افزایش مقدار آب توجیه کرد.

افزون بر آزمون های توصیف شده، در نمونه های ۷٪ از آمیخته SBS ملاحظه شد که امولسیون پیش و پس از خشک شدن دارای حالت

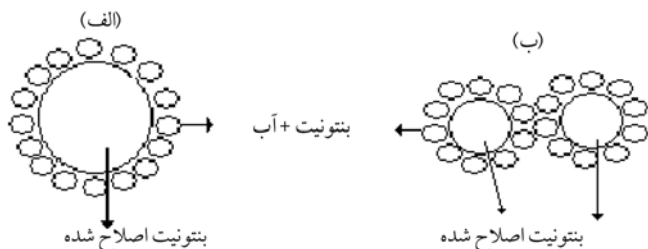
به این دلیل اثر مقدار آب امولسیون بر پایداری گرمایی، انعطاف پذیری عایق امولسیونی، پایداری امولسیون (پایداری تعلیق) و مقاومت در برابر آب نمونه های امولسیون تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۷، اثر مقدار آب را بر پایداری گرمایی در مقدارهای مختلف آمیخته پلیمری نشان می دهد. در این نمودار ملاحظه می شود، با افزایش مقدار آب امولسیون، پایداری گرمایی با شیب تقریباً زیادی افزایش می یابد. شکل ۸ اثر مقدار آب را بر انعطاف پذیری امولسیون در مقدارهای مختلف آمیخته پلیمری نشان می دهد. دیده می شود، افزایش مقدار آب تا ۴۵٪ انعطاف پذیری عایق امولسیونی را پس از خشک شدن، افزایش می دهد و افزایش آب بیش از این مقدار تغییر زیادی در انعطاف پذیری ایجاد نمی کند. از آن جا که آمیخته پلیمری SBS/HVS در قیر توزیع شده است، توزیع مناسب قیر پلیمری در امولسیون موجب توزیع بهتر پلیمر و در نتیجه توزیع بهتر خواص پلیمری آمیخته در امولسیون می شود. افزون بر این، ابعاد ذرات قیر پلیمری امولسیون شده به شدت کاهش می یابد و در زمان خشک شدن این ذرات با ابعاد کوچک تر بهتر در کنار یک دیگر قرار می گیرند که با ایجاد سطح تماس بیشتر نیروی الکتروستاتیکی بیشتری بین خود ایجاد می کنند [۲۵]. بنابراین، هر عاملی که به نوعی موجب توزیع بهتر قیر پلیمری در امولسیون شود، باعث افزایش پایداری گرمایی و انعطاف پذیری عایق امولسیونی خواهد شد. افزایش مقدار آب در نمونه های امولسیون، گرانیوی آن را به شدت کاهش می دهد و در نتیجه قیر پلیمری در امولسیون بهتر توزیع می شود. این امر سبب شده است تا خواص پلیمر بیشتر در امولسیون ظاهر شود. بنابراین، افزایش آب و کاهش گرانیوی امولسیون، عایق تولید شده را یکنواخت تر و توزیع اصلاح کننده را بهتر می کند [۲۳].

برای بررسی بیشتر این امولسیون ها، آزمون های مقاومت در برابر آب پایداری امولسیون نیز روی نمونه های امولسیون با قیر پلیمری انجام



شکل ۷- تغییرات مقاومت گرمایی امولسیون نسبت به تغییرات مقدار آب و اصلاح کننده SBS.





شکل ۹ - توزیع ذرات قیر پلیمری به وسیله بتونیت در مقادیر آب مختلف: (الف) مقدار کم که در این حالت قطر ذرات زیاد است و (ب) مقدار زیاد که قطر ذرات در آن کمتر است.

یک عایق امولسیونی بین ۱۰ تا ۱۱٪ است و از آن جا که افزایش بتونیت پایداری گرمایی را افزایش می دهد، مقدار بهینه آن ۱۱٪ باید انتخاب شود. هم چنین، افزایش آمیخته SBS و HVS در مقادیر ثابت ۱۱٪ بتونیت پایداری گرمایی، انعطاف پذیری در سرما، پایداری امولسیون و حتی مقدار چسبندگی را تا حد بسیار زیادی افزایش می دهد. بنابراین، افزایش مقدار آمیخته تا ۷٪ نتایج بسیار خوبی را دربر خواهد داشت.

با توجه به نمودارها ثابت شد، مقدار آب اثر بسیار زیادی بر خواص امولسیون دارد. به طوری که افزایش مقدار آن در زمان تولید پایداری گرمایی و انعطاف پذیری عایق را افزایش می دهد. از سوی دیگر، افزایش آب تا بیش از ۴۴٪ احتمال امولسیون شدن عایق را افزایش می دهد و اثر زیادی بر پایداری امولسیون ندارد (بیشترین عامل تغییرات پایداری امولسیون تغییرات مقدار حلال یا HVS است). از این رو، بهترین درصد آب می تواند بین ۳۹ تا ۴۴٪ انتخاب شود.

نمونه های ES-3 و ES-4 نیز دارای بهترین فرمول بندی ها هستند و افزون بر خواص پایداری گرمایی خوب، انعطاف پذیری زیاد، چسبندگی مناسب، دارای مقاومت زیاد در برابر امولسیون شوندگی مجدد و پایداری خوب امولسیون نیز هستند.

### قدردانی

از جناب آقای مهندس امینی مدیرعامل شرکت پشم شیشه ایران و جناب آقای مهندس عزیزیان مدیر کارخانه آن شرکت به دلیل فراهم کردن امکانات و مواد اولیه کمال تشکر را داریم.

### مراجع

1. Branthaver J.F., Petersen J.C., Robertson R.E., Duvall J.J., Kim S.S., Harnsberger P.M., and Schabron J.F., *Binder Characteriza-*

جدول ۴ - نتایج آزمون پایداری و مقاومت در برابر آب در امولسیون های اصلاح شده با SBS.

نمونه	مقدار آمیخته HVS/SBS(%)	آب (%)	مقاومت در برابر آب	پایداری امولسیون
ES <sub>1</sub> -1	۱	۵۴	تاویل زدگی	پایداری با کمتر از ۱٪ اختلاف
ES <sub>1</sub> -2	۱	۴۹	تاویل زدگی	"
ES <sub>1</sub> -3	۱	۴۴	امولسیون نشدن	"
ES <sub>3</sub> -1	۳	۵۴	امولسیون شدن مجدد	"
ES <sub>3</sub> -2	۳	۴۹	تاویل زدگی	"
ES <sub>3</sub> -3	۳	۴۴	امولسیون نشدن	"
ES <sub>3</sub> -4	۳	۳۹	امولسیون نشدن	"
ES <sub>3</sub> -5	۳	۳۴	امولسیون نشدن	"
ES <sub>5</sub> -1	۵	۵۴	امولسیون شدن مجدد	"
ES <sub>5</sub> -2	۵	۴۹	امولسیون شدن مجدد	"
ES <sub>5</sub> -3	۳	۴۴	امولسیون نشدن	"
ES <sub>5</sub> -4	۳	۳۹	امولسیون نشدن	"
ES <sub>5</sub> -5	۳	۳۴	امولسیون نشدن	"
ES <sub>7</sub> -1	۷	۵۴	امولسیون شدن مجدد	"
ES <sub>7</sub> -2	۷	۴۹	امولسیون شدن مجدد	"
ES <sub>7</sub> -3	۷	۴۴	تاویل زدگی	"
ES <sub>7</sub> -4	۷	۳۹	امولسیون نشدن	"
ES <sub>7</sub> -5	۷	۳۴	امولسیون نشدن	"

کشسانی بسیار زیاد و به عبارتی حالت چسبندگی ویژه ای است. این امر با توجه به وجود آمیخته SBS و HVS و خواص کشسانی زیاد آن طبیعی بوده و دور از انتظار نیست.

### نتیجه گیری

از پژوهش انجام شده مشخص شد که بهترین مقدار پودر بتونیت در

*tion and Evaluation, Chemistry, SHRP-A.368, National Research Council, Washington DC, 2, 1993.*

2. Dickinson E.J., The Hardening of Middle East Petroleum Asphalts in Pavement Surfacing, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Technical Session, Luisville, Kentucky, 1980.
3. Black Gold Bitumen Co., Pro-forma Technical Data Sheet Bituminous Emulsion.
4. Masson J.F. and Polomark G.M., Bitumen Microstructure by Modulated Differential Scanning Calorimetry, *Thermochemica Acta*, **374**, 105-114, 2001.
5. Masson J.F. and Lacasse M.A., Towards a Performance-based Specification for Bituminous Crack Sealants Used in Urban Conditions, *Proceedings of the Pavement Crack and Joint Sealants for Rigid and Flexible Pavements Conference*, United States Army Engineer Waterways Experiment Station, Airfields and Pavements Division, Vicksburg, 152-167, 1997.
6. Ziari H., Abtahi S.M., and Goli A., Effect of Polymer on Bitumen Properties and Its Performance Grade, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 201-208, 2008.
7. Ziari H., Abtahi S.M., and Goli A., The Effect of SBS Polymer on the Dynamic Properties of Asphalt, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 370-465, 2008.
8. Holtrop W., Booth T., and Leach R., *Sprade Sealing-aggregate Precoating*, APRG Technical Austroads Pavement Research Group, Note 6, 1996.
9. Masson J.F., Collins P., Woods J.R., Bundalopers S., and Al-Qadi I.L., Degradation of Bituminous Sealants due to Extended Heating before Installation: A Case Study, *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, 22-26, 2006.
10. SMHI, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Vader och vatten, No.13, 2002.
11. Mackey C.O. and Wright L.T., Summer Comfort Factors as Influenced by the Thermal Properties of Building Materials, *ASHVAE Transactions*, **49**, 148-154, 1943.
12. Chandrawat M.P.S., Ojha T.N., and Yadav R.N., Effect of Bitumen Emulsion on Setting, Strength, Soundness and Moisture Resistance of Oxychloride Cement, *Ind. Academ. Sci.*, **24**, 313-316, 2001.
13. Bjork F. and Granne F., Products for Covering of Flat Roofs, Swedish Practice in Light of EOTA TB 97/24/9.3.1 PT3 Durability, *Mater. Struct.*, 270-273, 2000.
14. Slaughter G., Environmental Comparison of Cut Back Bitumen and Bitumen Emulsions for Sealing Road, *1<sup>th</sup> Sprayed Sealing Conference-cost Effect High Performance Surfacing*, Australia, Fulton Hogan Committed, 2004.
15. Bjork D.F., Green Roofs Effect on Durability of Roof Membranes, Division of Building Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, Pub. No. 6, 5-10, 2004.
16. Elementis Specialties Stolberger Strabe 370 50933 Cologne Germany. Application guide, www.elementis specialties.com.
17. Wen W.W., Granu Flow Process Development, A Report from Pittsburgh, US Department of Energy, Federal Energy Technology Center, 2005.
18. Bretz S., Akbari H., and Rosenfeld A., Practical Issues for Using Solar-Reflectance Materials to Mitigate Urban Heat Islands, *Atmospheric Environment*, **32**, 95-101, 1998.
19. Cash C.C., Evans J.D., and Ketola W.D., Estimating the Durability of Roofing Systems, Accelerated and Outdoor Weathering Testing, A Report from American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 2000.
20. Derjaguin B., Muller V., and Toporov Y., Effect of Contact Deformations on the Adhesion of Particles, *J. Colloid Interface Sci.*, **53**, 314-326, 1975.
21. *The Shell Bitumen Handbook*, 5th ed., 2003.
22. Fisher R.M. and Ketola W.D., Surface Temperatures of Materials in Exterior Exposures and Artificial Accelerated Tests, Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials, ASTM STP 1202, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994.
23. Firoozifar S.H., Forutan S.Z., and Forutan S.R., The Effect of pH & Bituminous Density on Stabilization of Bitumen -in-water Emulsion, *Petrol. Coal. J.*, **52**, 31-34, 2010.
24. Yousefi A.A., Rubber-modified Bitumen, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **11**, 303-309, 2003.
25. Derjaguin B.V., *Theory of Stability of Colloids and Thin Films*, Plenum Consultants Bureau, New York, 1989.
26. Gawryse K.L., *How Asphaltenes Aggregate: Role of Chemistry and Solvent*, PhD Dissertation, Department of Chemical Engineering, North Carolina State University, 2005.