Archive of SID

پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۴۲۳- ۴۳۲

تأثیر سیمان و آهک بر خواص عملکردی مخلوط‌های بازیافتی سرد با امولسیون قیر پلیمری

علیرضا عاملی، عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملارد، تهران، ایران
حسن زیاری، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
حبیب شهریاری هولاسو*، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
رضوان باباگلی، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
مسلم آقاپور، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۵- پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

در همه جای دنیا پروژه‌های زیادی با امولسیون قیر برای بازیافت سرد درجا استفاده شده است که نتایج قابل قبولی به همراه داشته است. با این وجود در برخی پروژه‌های بازیافت سرد درجا مشکلاتی نظیر شیارشدگی، ترک‌های حرارتی و عریان‌شدگی گزارش شده که باعث شده نیاز به افزودنی‌ها برای کاهش شیارشدگی و مشکلات روسازی بازیافت شده با امولسیون قیر به شدت احساس شود. از آنجایی که تحقیقات محدودی در زمینه تأثیر افزودنی‌ها بر خواص آسفالت‌های بازیافتی سرد در دنیا انجام شده است، در این تحقیق از سیمان و آهک به عنوان دو نوع افزودنی که در بازیافت سرد با امولسیون قیر کاربرد زیادی دارند، استفاده شده است که از سیمان و آهک به‌صورت پودری و همچنین از پلیمر SBS نیز به عنوان افزودنی دیگر با و بدون سیمان و آهک استفاده شده است و تأثیر هر کدام بر خواص مخلوط‌های بازیافتی نظیر استقامت مارشال، دوام، مدول برجهندگی و تغییرشکل دائمی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که SBS[1]، سیمان و آهک باعث افزایش استقامت مارشال، مدول برجهندگی و همچنین افزایش مقاومت در برابر رطوبت و تغییر شکل‌های دائمی می‌شود. به‌علاوه مخلوط‌های حاوی سیمان و SBS نسبت به سایر نمونه‌ها نتایج بهتری را در برداشت.

واژه‌های کلیدی: بازیافت سرد، مدول برجهندگی، شیارشدگی، امولسیون قیر، پلیمر SBS، سیمان و آهک

۱- مقدمه

از جمله فواید بازیافت آسفالت می‌توان به حفظ منابع طبیعی، صرفه‌جویی در هزینه و انرژی اشاره نمود. مخلوط‌های بازیافتی گرم دارای دوام و مقاومت بیشتری نسبت به مخلوط‌های سرد می‌باشد، ولی استفاده از حرارت موجب ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، انتشار گازهای سمی و مضر و کاهش ایمنی کارگران می‌شود (Yan et al., 2010). بنابراین، استفاده از افزودنی‌ها در مخلوط‌های بازیافتی سرد برای بالا بردن دوام و مقاومت احساس می‌شود تا بتوان مخلوطی مقاوم و با دوام تولید نمود (Thanaya, Zoorob and Forth, 2009).

استفاده از افزودنی‌ها باعث افزایش هزینه‌های ساخت خواهد شد، ولی اگر منافع حاصل از استفاده صحیح از افزودنی‌ها یعنی عمر بیشتر روسازی‌ها را در نظر بگیریم، به‌کار بردن آنها توجیه پذیر خواهد بود (Cross, 1999; Yan et al., 2010). تجربیات گذشته نشان داده است که عملکرد بهتر روسازی‌های بازیافتی با انتخاب درست نوع افزودنی، حاصل خواهد شد.

در این تحقیق از سیمان، آهک و پلیمر SBS به عنوان افزودنی برای بررسی خواص عملکردی مخلوط‌های بازیافتی استفاده شده است. با توجه به تحقیقات انجام شده که میزان ۱ تا

* نویسنده مسئول
E-mail: h.shahriary.h@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۲ درصد به عنوان مقدار قابل قبول و بهینه برای افزودنی‌های سیمان و آهک در نظر گرفته شده است (Issa et at., 2001; Niazi and Jalili, 2009) در این تحقیق از ۱/۵ درصد سیمان و آهک (بر حسب وزن کل مخلوط) استفاده شده است. البته لازم به ذکر می‌باشد که این افزودنی‌ها به‌صورت پودری و قبل از امولسیون به مخلوط اضافه می‌گردد.

پلیمر SBS که در گروه الاستومترها طبقه‌بندی می‌شود، باعث انعطاف‌پذیری قیر شده و احتمالاً بهترین اصلاح کننده قیر می‌باشد (Sengoz and Isikyakar, 2008). با توجه به تأثیر مهم پلیمرها در اصلاح خواص قیر و در نتیجه بهبود خصوصیات آسفالت و همچنین اهمیت افزودنی‌ها در بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی، هدف در این مقاله بررسی نقش این سه پارامتر (سیمان، آهک، SBS) بر خواص عملکردی مخلوط‌های بازیافتی سرد با امولسیون و همچنین مقایسه‌ای بین این سه افزودنی بود؛ زیرا با توجه به مطالعات مؤلفان، مقایسه‌ای بین این سه پارامتر در تحقیقات گذشته انجام نشده است.

۲-روش تحقیق

۲-۱- ارزیابی مصالح خرده آسفالتی

یکی از اهداف مهم در ارزیابی مصالح، تشخیص کمبودهای آسفالت موجود و تعیین نیاز به مصالح جدید می‌باشد (Murphy and Emery, 1996). اولین گام در ارزیابی مصالح خرده آسفالتی ۲، تعیین درصد رطوبت مصالح با روشASHTO T110 که مقدار رطوبت موجود ۰/۲۵ درصد به‌دست آمد. سپس نوبت به دانه‌بندی مصالح خرده آسفالتی می‌رسد که برای این کار ابتدا مصالح خرده آسفالتی به چهار قسمت تقسیم شده و از هر قسمت سه نمونه ۱ کیلوگرمی تهیه گردید و از الک ۲۵ میلی‌متر عبور داده شد و دانه‌بندی مصالح تعیین گردید. نتایج آزمایش دانه‌بندی در جدول ۱ ارایه شده است. پس از این مرحله به منظور تعیین درصد قیر مصالح خرده آسفالتی از روش سوزاندن (استاندارد AASHTO TP53-95) استفاده شد و درصد وزنی قیر نسبت به کل مخلوط ۵/۳ درصد تعیین گردید. پس از استخراج قیر از مصالح خرده آسفالتی، آزمایش دانه‌بندی بر طبق روش‌های استاندارد ASTM C117,136 انجام گردید که نتایج آن را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید. با توجه به دانه‌بندی که انستیتو آسفالت (Asphalt Cold Mix Recycling, 1983) توصیه نموده و عیناً در نشریه ۳۳۹ (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،۱۳۸۵) آورده شده، دانه‌بندی مصالح سنگی استخراج شده از نوع دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ می‌باشد. بنابراین، در این تحقیق از ۱۰۰ درصد مصالح خرده آسفالتی استفاده شد.

۲-۲- انتخاب امولسیون قیر

با توجه به تحقیقات انجام شده توسط کارشناسان فنی عمران شهرداری منطقه ۱۳، مصالح خرده آسفالتی از معدنی در غرب تهران تهیه شده که این معدن دارای مصالح سنگی سیلیسی می‌باشد و همچنین برای بررسی سازگاری امولسیون قیر با مصالح خرده آسفالتی، سه نمونه با امولسیون قیر دیر شکن (CSS-1) که مقدار امولسیون قیر ٤ درصد بود، تهیه شد. انتخاب ٤ درصد امولسیون قیر صرفاً برای ارزیابی پوشش دانه‌های سنگی توسط امولسیون قیر می‌باشد، سپس کیفیت مخلوط از نظر نحوه پوشش مصالح سنگی با امولسیون قیر به‌طور بصری مورد ارزیابی قرار گرفت که با توجه به مشاهدات، امولسیون قیر دیر شکن (CSS-1) رضایت‌بخش بود که این انتخاب با توجه به دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ مخلوط و توصیه نشریه ۳۳۹ مبنی بر انتخاب امولسیون قیر دیر شکن برای مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته مطابقت داشت. نوع امولسیفایر با توجه به مطالب ذکر شده نمک آمونیوم چهار ظرفیتی می‌باشد.

۲-۳- طرح اختلاط

در این تحقیق از روش اصلاح شده مارشال (استاندارد ASTM-D1559) با توجه به متداول بودن این روش و همچنین امکانات آزمایشگاهی موجود، برای طرح اختلاط مخلوط‌های بازیافتی استفاده شد. ابتدا نمونه‌هایی با درصدهای مختلف امولسیون قیر (۱/۵ تا ٤ درصد و با تفاوت ۰/۵ درصد) و درصد ثابت آب (٤ درصد) نسبت به وزن کل مخلوط ساخته شد سپس با توجه به نتایج آزمایش مارشال (استقامت مارشال، وزن مخصوص و درصد فضای خالی) مقدار امولسیون قیر بهینه ۳ درصد وزن کل مخلوط انتخاب گردید و برای تمامی نمونه‌ها در نظر گرفته شده است. سپس برای تعیین درصد بهینه آب

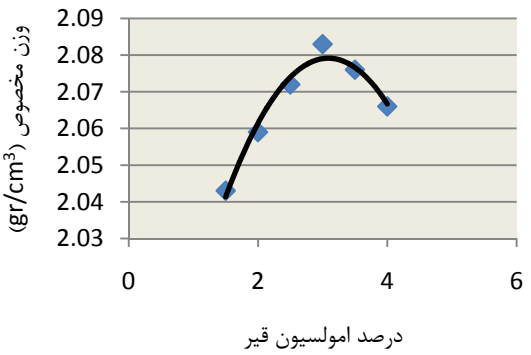
www.SID.ir

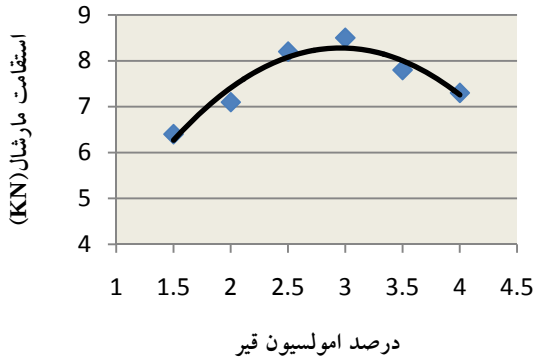
Archive of SID

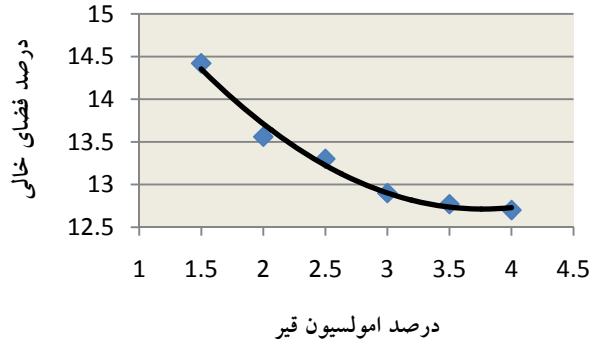
اختلاط، درصد امولسیون قیر بهینه را ثابت (۳ درص) قرار داده و درصد آب را تغییر می‌دهیم (۲/۵ تا ٤ درصد و با تفاوت ۰/۵ درصد) و از درصد آبی که حداکثر وزن مخصوص را نتیجه دهد و با معیار درصد فضای خالی ۹ تا ١٤ درصد هماهنگ باشد، استفاده می‌شود (نشریه ۳۳۹, ۱۳۸۵). با توجه به مطالب گفته شده و نتایج آزمایش در شکل ۱، ۳/۸ درصد به عنوان آب اختلاط بهینه و ۳ درصد به عنوان امولسیون قیر بهینه تعیین گردید.

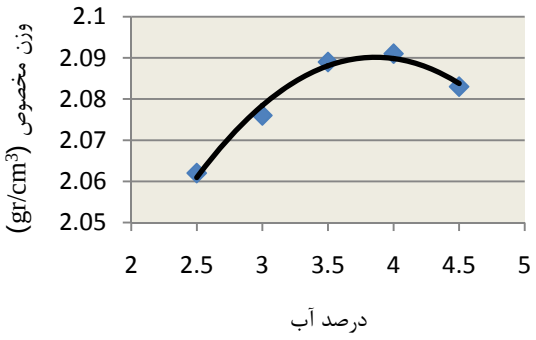
۲-٤- تعیین مقدار امولسیون قیر پلیمری بهینه

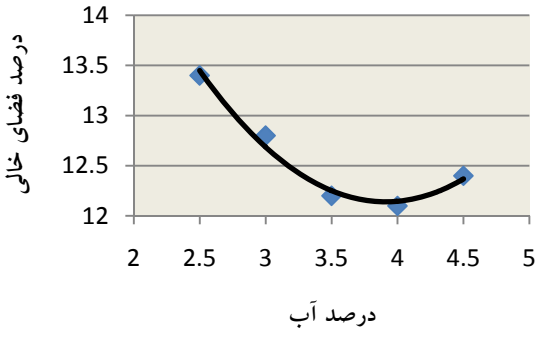
لازم به ذکر است در این تحقیق ترکیب قیر امولسیون پلیمری تنها تا ۳/۵ درصد SBS (نسبت به وزن قیر) شرایط پایداری حفظ شد و در درصدهای بیش از ۳/۵ درصد SBS، درصد نشست در ٢٤ ساعت (پایداری) از حد مجاز بیشتر بود. بنابراین، در این تحقیق از سه درصد ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد SBS برای تهیه امولسیون قیر پلیمری استفاده شد. نتایج آزمایش مارشال در جدول ۲ نشان داده شده است.











شکل ۱. نتایج طرح اختلاط

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. دانه‌بندی مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد عبوری مصالح خرده آسفالتی	درصد عبوری مصالح سنگی استخراج شده	درصد عبوری محدوده دانه‌بندی شماره ٤
۳۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۸۰–۱۰۰
٤/۷۵	٤۱/٤	۵۹/۸	۲۵–۸۵
۰/۰۷۵	۰/۳	٦/۷	۳–۱۵

جدول ۲. نتایج آزمایش مارشال برای تعیین درصد قیر امولسیون پلیمری بهینه

درصد SBS موجود در امولسیون قیر پلیمری	میانگین استقامت مارشال (کیلو نیوتن)	وزن مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد فضای خالی
۱/۵	۸/٦	۲/۰۷۵	۱۲/۸
۲/۵	۸/۹	۲/۰۷۱	۱۳/۱
۳/۵	۹/٤	۲/۰٦۸	۱۳/۳

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده، با افزایش درصد پلیمر استقامت مارشال نمونه‌ها بیشتر شده است که علت این موضوع را می‌توان این طور توجیه کرد که پلیمر SBS با ایجاد شبکه‌ای سه بعدی در قیر باعث مسلح کردن قیر و افزایش مقاومت و کشش‌پذیری آن و در نتیجه افزایش مقاومت مارشال نمونه‌ها می‌شود (زیاری، گلی و ابطحی, ۱۳۸۷). با توجه به نتایج جدول ۲ و به دلیل این‌که امکان پایداری بیش از ۳/۵ درصد SBS در امولسیون قیر امکان‌پذیر نیست و همچنین درصورت پایداری بیش از این مقدار، امکان این است که درصد فضای خالی نمونه‌ها از حد قابل قبول (۱٤–۹ درصد برای بازیافت سرد) تجاوز کند، بنابراین، ۳/۵ درصد پلیمر SBS (نسبت به وزن قیر) برای تولید امولسیون قیر پلیمری تعیین شد.

۳- ساخت نمونه‌ها و آزمایش‌ها

در این پژوهش از سیمان و آهک به‌صورت پودر استفاده گردید. برای تهیه نمونه‌های حاوی سیمان و آهک شکفته، ابتدا آب را به مخلوط اضافه می‌کنیم سپس سیمان و آهک (۱/۵ درصد نسبت به وزن کل مخلوط) را به مصالح خرده آسفالتی افزوده و به خوبی هم می‌زنیم و در آخر می‌توان امولسیون قیر یا امولسیون قیر پلیمری را که به مدت یک ساعت در دمای ٦۰°C قرار داده شده را به مخلوط اضافه می‌کنیم. لازم به یادآوری می‌باشد که برای تهیه امولسیون قیر پلیمری ابتدا با دستگاه همزن برش بالا ۳ (با ۳۰۰۰ در دقیقه) و قیر ۱۰۰–۸۵ و ۳/۵ درصد پلیمر SBS (نسبت به وزن قیر) اقدام به ساخت قیر پلیمری در دمای ۱۸۰°C نموده و سپس با دستگاه تولید قیر امولسیون آزمایشگاهی، امولسیون قیر پلیمری تولید شد.

برای ارزیابی تأثیر افزودنی‌ها بر خواص مخلوط‌های بازیافتی سرد، آزمایش‌های مارشال، مدول برجهندگی، دوام و خزش دینامیکی بر روی انواع مخلوط‌های ساخته شده انجام شد که نتایج آن در ذیل آورده شده است.

در این تحقیق برای انجام آزمایشات لازم انواع مخلوط‌های زیر ساخته شد و برای راحتی بیشتر نام اختصاری بر روی آنها گذاشته شده است که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید.

۳-۱- آزمایش مارشال

همان‌طور که در جدول ٤ و شکل ۲ مشاهده می‌شود هر سه افزودنی باعث افزایش استقامت مارشال نمونه‌ها شده است و بیشترین استقامت مارشال مربوط به نمونه‌های امولسیون پلیمری با سیمان می‌باشد که شاهد ۳۵ درصد افزایش استقامت مارشال نسبت به نمونه‌های بدون افزودنی هستیم. با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

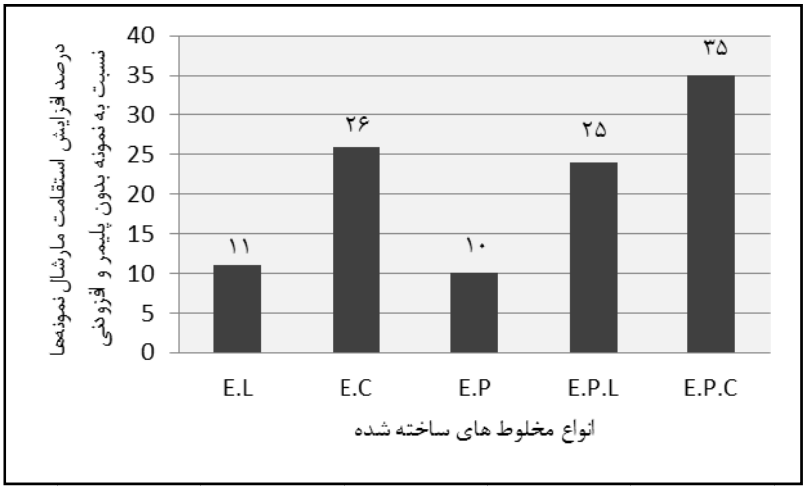
نتایج استفاده از سیمان و آهک موجب کاهش درصد فضای خالی و افزایش وزن مخصوص نمونه‌ها شده است و همچنین پلیمر SBS به دلیل تورم پلیمر در ترکیب با قیر و همچنین افزایش گرانروی قیر، موجب افزایش درصد فضای خالی و کاهش وزن مخصوص نمونه‌ها شده است.

جدول ۳. انواع مخلوط‌های ساخته شده

شرح نمونه	نام اختصاری	درصد پلیمر (نسبت به وزن قیر)	درصد آهک (نسبت به وزن کل مخلوط)	درصد سیمان (نسبت به وزن کل مخلوط)
امولسیون قیر بدون افزودنی	E	–	–	–
امولسیون قیر با افزودنی آهک	E.L	–	۱/۵	–
امولسیون قیر با افزودنی سیمان	E.C	–	–	۱/۵
امولسیون قیر پلیمری بدون افزودنی	E.P	۳/۵	–	–
امولسیون قیر پلیمری با افزودنی آهک	E.P.L	۳/۵	۱/۵	–
امولسیون قیر پلیمری با افزودنی سیمان	E.P.C	۳/۵	–	۱/۵

جدول ٤. نتایج آزمایش مارشال

نوع نمونه	وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد فضای خالی	استقامت مارشال (کیلو نیوتن)	روانی (میلی‌متر)
E	۲/۰۷۸	۱۲/۵	۸/۲	٤/۲
E.L	۲/۰۹۸	۱۱/۷	۹/۱	۳/۹
E.C	۲/۱۱۱	۱۱/۱	۱۰/۳	۳/٦
E.P	۲/۰٦۸	۱۳/۲	۹	٤/٤
E.P.L	۲/۰۹٦	۱۲	۱۰/۲	٤/۲
E.P.C	½	۱۱/۸	۱۱/۱	۳/۸



شکل ۲. مقایسه درصد افزایش استقامت مارشال نمونه‌ها نسبت به نمونه بدون پلیمر و افزودنی

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲- آزمایش مدول برجهندگی

برای تعیین مدول برجهندگی از استاندارد AS 2891-13-1-1995 استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها را به مدت ۲٤ ساعت در محفظه دستگاه در دمای ۲۵ °C قرار داده شد. شکل بارگذاری نیمه سینوسی، مدت اعمال بار ۰/۱ ثانیه، زمان استراحت ۰/۹ ثانیه و ضریب پواسون ۰/۳۵ فرض گردید. در این آزمایش به ازای هر مخلوط، ۳ نمونه آسفالتی تهیه و روی هر نمونه ۵ پالس تکرار شد و میانگین نتایج به وسیله دستگاه نمایش داده شد. جدول ۵ و شکل ۳ نتایج آزمایش مدول برجهندگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید نمونه‌های دارای افزودنی در قیاس با نمونه بدون افزودنی، مدول برجهندگی بیشتری دارند که این امر به دلیل افزایش سفتی قیر و در نتیجه سختی آسفالت در حضور افزودنی‌ها می‌باشد. در این آزمایش، مدول برجهندگی نمونه بدون افزودنی برابر ۱٦۹۳ مگاپاسکال به‌دست آمد که نشان دهنده ضعف این نمونه‌ها می‌باشد و نیاز شدید به افزودنی‌ها احساس می‌شود.

۳-۳- آزمایش دوام

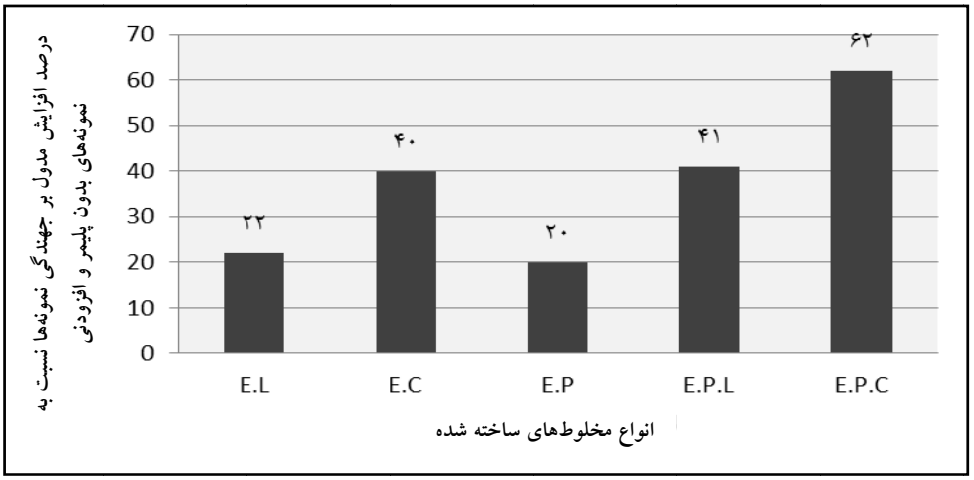
صدمات ناشی از رطوبت یکی از خرابی‌های عمده در روسازی‌های بازیافت شده به روش سرد می‌باشد (Asphalt Institute,1997).

بنابراین، در این تحقیق دوام مخلوط‌های بازیافتی سرد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش براساس استاندارد AASHTO-T283 انجام می‌گیرد با این تفاوت که نمونه‌ها تحت چرخه ذوب و یخبندان قرار نمی‌گیرد، چرا که این استاندارد برای مخلوط‌های گرم می‌باشد و برای مخلوط‌های بازیافتی سختگیرانه بوده و همین‌طور طبق تحقیقاتی که اخیراً انجام شده (He and Wong, 2008; صادقی، ۱۳۹۱) برای حالت اشباع تنها نمونه‌ها را ۲٤ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهند. نتایج آزمایش در اشکال ٤ و ۵ ارایه شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده ملاحظه می‌شود که نسبت مقاومت کششی۵ برای نمونه‌های امولسیون قیر پلیمری با افزودنی سیمان و آهک و نمونه‌های امولسیون قیر با افزودنی سیمان به ترتیب ۹۳، ۸٤ و ۸۲ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده نقش مؤثر سیمان، آهک و پلیمر SBS در کاهش حساسیت رطوبتی می‌باشد. نکته قابل توجه در این آزمایش نسبت مقاومت کششی بسیار پایین نمونه‌های امولسیون قیر بدون پلیمر و افزودنی می‌باشد که این نسبت ۵۹ درصد می‌باشد و نشان‌دهنده حساسیت بالای مخلوط در برابر رطوبت است.

جدول ۵. نتایج آزمایش مدول برجهندگی

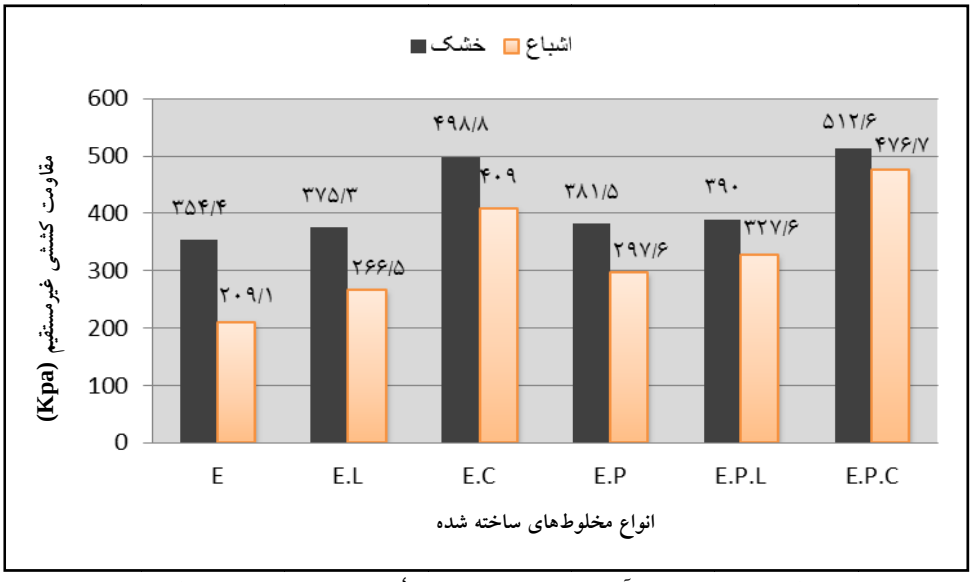
نوع مخلوط	E	E.L	E.C	E.P	E.P.L	E.P.C
مدول برجهندگی (MPa)	۱٦۹۳	۲۰٦۳/٦	۲۳٦۷	۲۰۳۱/۳	۲۳۹۱/۵	۲۷٤٤/۳



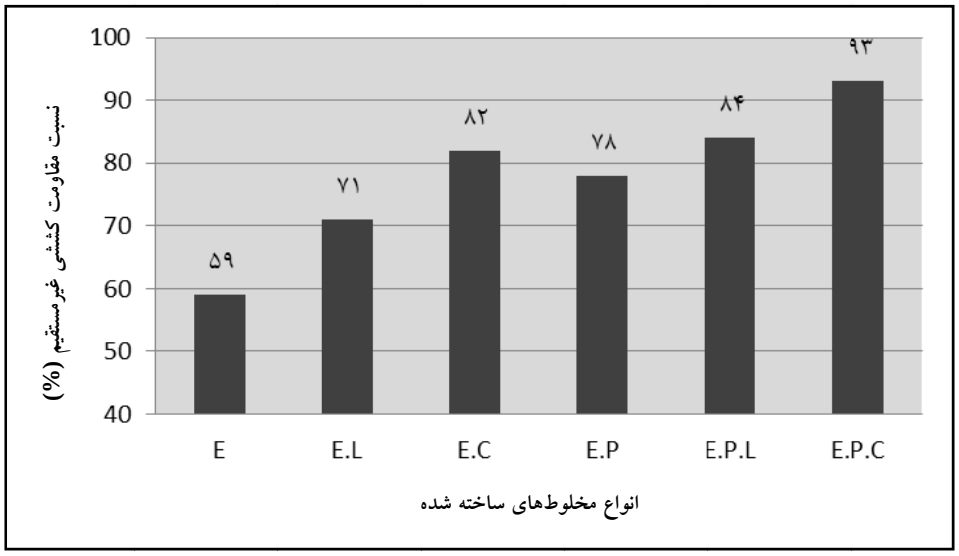
شکل ۳. نمودار درصد افزایش مدول برجهندگی نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های بدون پلیمر و افزودنی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤. نمودار نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم[٤] در دو حالت اشباع و خشک



شکل ٥. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم

٣-٤- آزمایش خزش دینامیکی

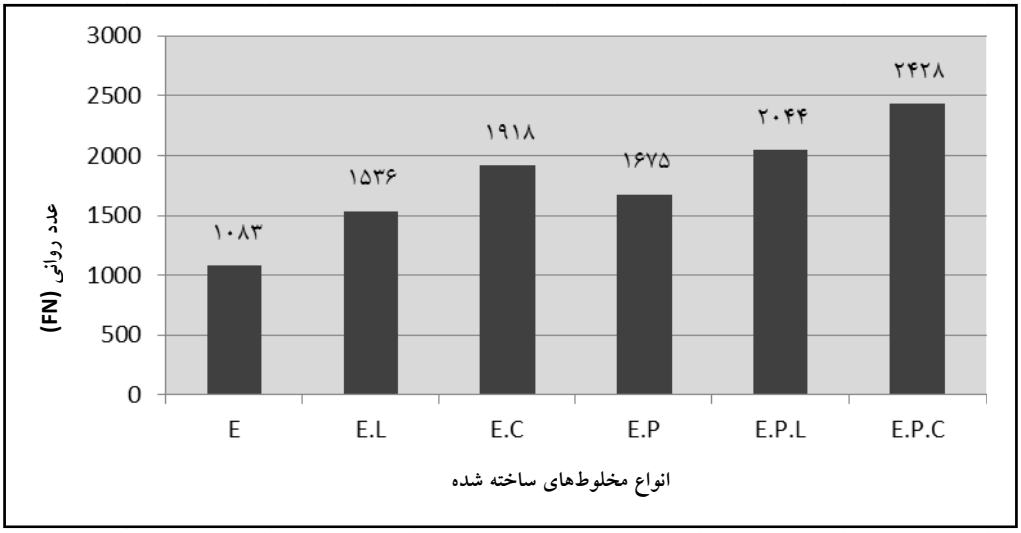
شیارشدگی یکی از خرابی‌های رایج در روسازی‌های آسفالتی می‌باشد و به تغییرشکل‌های دائمی گفته می‌شود که به‌صورت شیار فرورفته در مسیر چرخ وسایل نقلیه به موازات محور طولی راه دیده می‌شود (Sureyya, Halit, Aksoy, 2007). این خرابی در مورد روسازی‌های بازیافت شده نیز صادق می‌باشد و معمولاً در مقایسه با روسازی‌های آسفالت گرم زودتر اتفاق می‌افتد (Todd, Arlis and Huffman, 2000). لذا در این تحقیق شیارشدگی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی شیارشدگی نمونه‌ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد (National Cooperative Highway,2002). آزمایش با استفاده از دستگاه UTM-5P ٦ در دمای ثابت ٥٠ درجه سانتی‌گراد و تحت تنش ثابت ٤٥٠ کیلو پاسکال که به صورت شبه سینوسی اعمال شد، انجام گرفت. در این آزمایش یک تنش ثابت در دمای ثابت با مدت بارگذاری ٠/١ ثانیه و زمان استراحت ٠/٩ ثانیه، توسط یک صفحه صلب به صورت عمودی به نمونه وارد می‌شود. نتایج

www.SID.ir

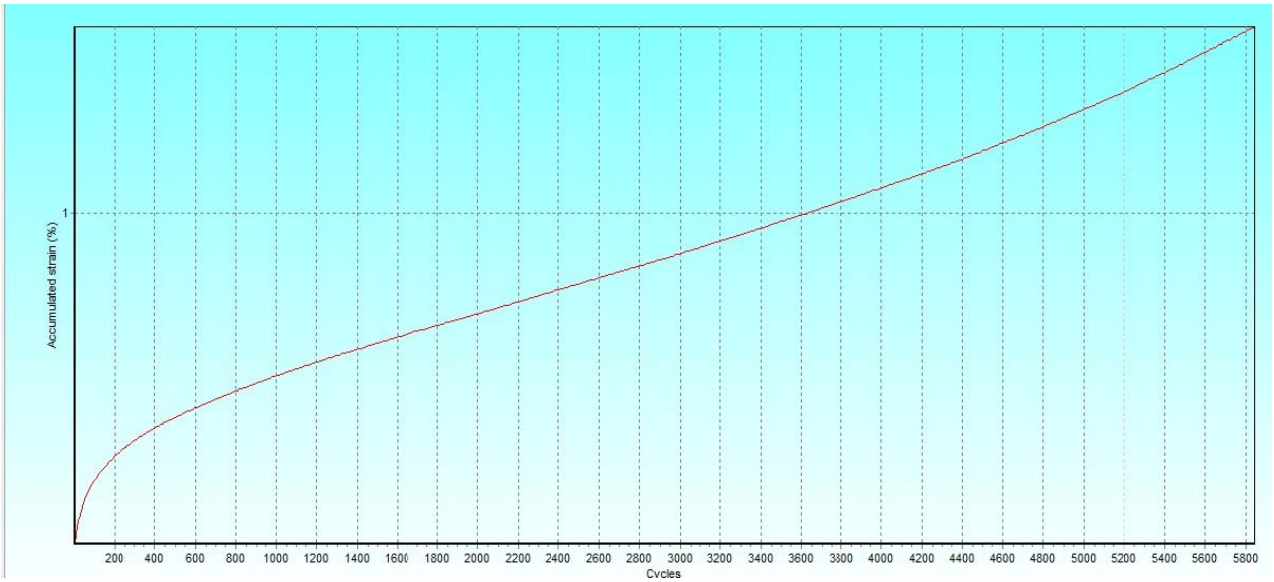
Archive of SID

آزمایش بر حسب عدد روانی برداشت شد که معیاری برای نشان دادن مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکل‌های دائمی می‌باشد یعنی هر قدر عدد روانی بزرگ‌تر باشد مقاومت نمونه در برابر تغییر شکل‌های دائم بیشتر است. با توجه به نتایج به‌دست آمده که در شکل ٦ نشان داده شده است، نمونه‌های بدون افزودنی دارای کمترین عدد روانی و در نتیجه مقاومت پایین در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد.

همچنین نقش مؤثر افزودنی‌ها به ویژه نقش سیمان و پلیمر در کنار هم مشهود می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بهترین نتیجه برای نمونه امولسیون قیر پلیمری با سیمان به‌دست آمده است که به دلیل افزایش سختی و چسبندگی آسفالت قابل انتظار می‌باشد. در این آزمایش، آهک هم به نوبه خود همانند سیمان باعث عمل‌آوردن سریع‌تر مخلوط و در نتیجه افزایش سختی آن می‌شود. نمونه‌ای از خروجی دستگاه که به صورت کرنش تجمعی می باشد در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ٦. نمودار نتایج آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌ها در دمای ۵۰° C



شکل ۷. نمونه ای از خروجی دستگاه UTM برای کرنش تجمعی در برابر تعداد سیکل در آزمایش خزش دینامیکی

www.SID.ir

Archive of SID

٤- نتیجه‌گیری

برای ارزیابی خواص مخلوط‌های بازیافتی ساخته شده آزمایش‌هایی نظیر استقامت مارشال، دوام، ضریب برجهندگی و خزش دینامیکی، بر روی نمونه‌ها انجام گرفت که خلاصه‌ای از نتایج آن در این بخش ارایه شده است:

استفاده از سیمان و آهک موجب کاهش درصد فضای خالی و افزایش وزن مخصوص نمونه‌ها شده است که این مطلب به دلیل پر شدن فضاهای خالی مخلوط توسط سیمان و آهک و واکنش های سیمان و آهک با آب، می‌باشد.

پلیمر SBS به دلیل تورم پلیمر در ترکیب با قیر و همچنین افزایش گرانروی قیر، موجب افزایش درصد فضای خالی نمونه‌ها شده است. اما این افزایش فضای خالی باعث ایجاد فضای خالی بیش از حد استاندارد (١٤-٩ درصد) نمی‌شود و پلیمر سبب کاهش وزن مخصوص نمونه‌ها شده است.

با توجه به نتایج آزمایش استقامت مارشال، سیمان، آهک و پلیمر SBS باعث افزایش استقامت مارشال نمونه‌ها شده است. افزایش در مقادیر استقامت می‌تواند ناشی از عمل‌آوردن سریع‌تر مخلوط در حضور سیمان و آهک باشد که این موضوع در مورد سیمان پررنگ‌تر می‌باشد. همچنین پلیمر SBS به دلیل ایجاد شبکه‌ای سه بعدی در قیر و در واقع مسلح کردن آن سبب افزایش مقاومت مارشال می‌شود.

مشاهده می‌شود که با افزودن پلیمر مقدار روانی افزایش می‌یابد. در نگاه اول شاید این پدیده به عنوان یک عیب برای پلیمر SBS به نظر برسد، ولی با در نظر گرفتن آن به طور همزمان با مقاومت مارشال، این موضوع نه‌تنها یک ضعف به‌شمار نمی‌رود بلکه به عنوان عاملی مؤثر و مثبت عمل می‌کند؛ زیرا SBS، مخلوط را به یک ماده با مقاومت بالا و شکننده تبدیل نمی‌کند، بلکه علاوه بر مقاومت، باعث افزایش انعطاف‌پذیری مخلوط می‌شود که این خود می‌تواند باعث جذب انرژی بیشتر مخلوط و در نتیجه عملکرد مناسب مخلوط در شرایط آب و هوایی و ترافیکی سخت شود.

نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی نشان داد که مخلوط‌های آسفالت بازیافتی به روش سرد با استفاده از امولسیون قیر نسبت به عوامل محیطی و رطوبت مقاومت بسیار کمی دارند و استفاده از افزودنی‌ها توصیه می‌شود.

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم حاکی از افزایش مقاومت کششی نمونه‌های حاوی افزودنی است که این مطلب را می‌توان با بهبود چسبندگی قیر و مصالح سنگی در حضور آهک، سیمان و پلیمر SBS، توجیه نمود.

نتایج آزمایش AASHTO T 283 (آزمایش کشش غیرمستقیم) نشان می‌دهد که افزودن سیمان، آهک و SBS به مخلوط منجر به بهبود مقاومت مخلوط در برابر رطوبت می‌شود اما این مطلب در مورد نمونه‌های امولسیون قیر پلیمر با سیمان یا آهک بیشتر صادق است، به‌طوری‌که این نسبت به‌ترتیب برابر ٩٣ و ٨٤ درصد می‌باشد.

از آزمایش مدول برجهندگی می‌توان به این نتیجه رسید که سیمان، آهک و پلیمر SBS موجب افزایش ضریب برجهندگی نمونه‌ها می‌شود که با تحقیقات انجام گرفته در گذشته مطابقت دارد. همچنین نمونه‌های امولسیون قیر پلیمری با سیمان بالاترین مدول برجهندگی را نشان داد که حاکی از افزایش سختی مخلوط در حضور سیمان و SBS است

نتایج آزمایش خزش دینامیکی حاکی از کاهش تغییرشکل‌های دائمی در حضور سیمان، آهک و پلیمر SBS می‌باشد که به دلیل افزایش سختی مخلوط در حضور این افزودنی‌ها قابل توجیه است و همچنین این آزمایش نشان داد که نیاز به افزودنی‌ها برای کاهش شیارشدگی کاملاً محسوس می‌باشد.

٥- سپاسگزاری

در پایان از همکاری شرکت نفت پاسارگاد و نیز جناب آقای مهندس نهالی و مهندس شهریاری سپاسگزاری می‌شود.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Styrene-Butadiene-Styrene
2. Reclaimed Asphalt Pavement
3. High Shear Mixer (IKA)
4. Indirect Tensile Strength
5. Tensile Strength Ratio
6. Universal Testing Machine

٧- مراجع

- زیاری، ح.، گلی، ا. و ابطحی، س.مهدی ، (١٣٨٧)"اثر پلیمر SBS بر خواص دینامیکی آسفالت"، مجله علمی- پژوهشی، علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیست و یکم، شماره ٦.

www.SID.ir

Archive of SID

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه ۳۳۹ (۱۳۸۵) "مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت"، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.
- عامری، م. و صادقی، م. (۱۳۹۱) "ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم حاوی RAP"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- نیازی، ی. و جلیلی، م. (۱۳۸۷) "تأثیر سیمان و آهک بر خواص مخلوط‌های آسفالت بازیافتی به روش سرد با استفاده از امولسیون قیر"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران.
- "Asphalt Cold – Mix Recycling". The Asphalt Institute Series No.21 (MS-21), (1983), First Edition.
- Daniel T. Murphy and John J. Emery (1996) "Modified cold in-place asphalt recycling". TRR 1545, pp. 143-150.
- He, G. P. and Wong, W. G. (2008) "Effects of moisture on strength and permanent deformation of foamed asphalt mix incorporating RAP materials," Construction and Building Materials, Vol. 22, pp. 30-40.
- Thanaya, W. G., Zoorob, S. and Forth, J. (2009) "A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures", pp. 47-55.
- Yan, J., Ni, F., Yang, M. and Li, J. (2010) "An experimental study on fatigue properties of emulsion and foam cold recycled mixes", Construction and Building Materials, Vol. 24, pp. 2151-2156.
- National Cooperative Highway Research Program. (2002) "Simple Performance Test for Superpave Mix Design", Report 465.
- Issa, R, Zaman, M. M., Miller, G. A. and Senkowski, L. J. (2001) "Characteristics of cold processed asphalt millings and cement-emulsion mix", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1767, pp. 1-6.
- Cross, S. A. (1999) "Experimental cold in-place recycling with hydrated lime", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1684, pp. 186-193.
- Sengoz and Isikyakar, G. (2008) "Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen", Construction and Building Materials, Vol. 22, pp. 1897-1905.
- Sureyya Tayfur, Halit Ozen, Atakan Aksoy (2007) "Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers", Construction and Building Materials 21, pp. 328-337.
- Todd, T., Kadrams, A. and Huffman, J. (2000) "Cold in-place recycling on kansas US-283". 79th Annual Meeting of TRB.
- Niazi, Y. and Jalili, M. (2009) "Effect of Portland cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion". Construction and Building Materials 23.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Cement and Lime on Performance Properties Cold Recycling Asphalt Mixtures with SBS Modified Emulsion

A. Ameli, Faculty Member, Islamic Azad University, Malard Branch, Tehran, Iran.

H. Ziari, Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

H. Shahriari H., M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

R. Babagoli, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

M. Aghapour, M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: h.shahriary.h@gmail.com

Received: October 2013 - Accepted: February 2014

ABSTRACT

Asphalt recycling has many benefits among which the preservation of natural resources, saving cost and energy can be mentioned. Although hot recycled mixtures are more durable and resistant compared to cold mixtures, using heat causes environmental pollution and toxic and hazardous gas emission and reduce workers safety. Therefore, there is a need to use additives in recycled asphalt mixtures for increasing durability and resistance of mixtures.
Using additives increases construction cost, but if we consider increasing pavement life cycle as one of the advantages from precise additives consuming, it would be justifiable.
So far, for the three reasons of higher void content, weak early life strength and long curing times, hot mixes were preferred to cold mix asphalts. On the other hand cold mixes are produced in more simple way and their characteristics are suitable for low to medium traffic conditions.
All over the world there are many projects used bitumen emulsion for cold in-place recycling (CIR) with good results. However, some emulsion CIR projects reported rutting, thermal cracking and asphalt stripping problems, caused to use additives to decrease rutting and emulsion CIR pavement distresses.
In recent researches cement, lime, fly ash and SBS modified bitumen emulsion have been used to improve the performance of recycling mixtures including durability, cracking resistance and resistance to moisture. Since limited researches have been conducted to investigate the effect of additives on the recycled asphalt mixtures properties, in this research cement and lime used as additives in CIR mixtures. We used cement and lime in the form of powder and SBS as additive with or without cement and lime to evaluate the effect of each additive on the mechanical properties such as Marshall Stability, durability, resilient modulus and permanent deformation.

www.SID.ir

Archive of SID

Results indicate that cement and lime improve the performance properties of emulsion CIR mixtures. Furthermore, SBS with cement and lime show same results.

Keywords: Cold Recycling, Bitumen Emulsion, Cement, Lime, SBS

www.SID.ir