ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی بازیافت سرد آسفالت با استفاده از کف قیر

دانیال محمدزاده شادمهری[۱]*، الهام حسینی محراب[۲]، نادر کربلائی‌زاده[۳] ، امیر محمدزاده شادمهری[۴]

۱- کارشناس ارشد عمران مکانیک خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد و مشاور عالی انجمن مخترعین خراسان رضوی
Dmhz1989@yahoo.com
۲- الهام حسینی محراب، هیات علمی گروه عمران، موسسه آموزش عالی وحدت تربت جام
Elhamhosseinimehrab@gmail.com
۳- کارشناس ارشد راه و ترابری، مدرس گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشمر
N.Karballaeezadeh@gmail.com
۴- کارشناس عمران، کارشناس ارشد مدیریت اجرایی
Amir.Mohammadzadeh1554@gmail.com

Archive of SID

چکیده

سیستم حمل و نقل جاده‌ای به عنوان یکی از شاخص‌های موثر در رشد و توسعه اقتصادی همواره مورد توجه موسسات و ادارات مربوطه بوده است. با توجه به افزایش قابل تامل احجام ترافیک عبوری از راه‌ها و همچنین هزینه سرسام آور ساخت راه‌های جدید، لزوم بهسازی و نوسازی مناسب راه‌های موجود حائز اهمیت است. آسفالت به عنوان اساسی‌ترین مصالح مورد استفاده در ساختار روسازی راه، فرودگاه، محوطه، پارکینگ و ... همواره مورد توجه مهندسین راهسازی بوده است. در راستای اصلاح روش‌های سنتی بهسازی و ارائه تکنولوژی های نوین، "بازیافت آسفالت" به عنوان روشی جدید پا به عرصه گذاشته است. بازیافت آسفالت به دو صورت "گرم" و "سرد" انجام می‌پذیرد. در بازیافت گرم آسفالت، مصالح خرد و جمع‌آوری شده به کارخانه آسفالت جهت بازیابی منتقل می‌شود، اما در بازیافت سرد که در محل پروژه انجام می‌شود نیازی به حرارت دادن مصالح نمی‌باشد. در پژوهش پیش‌رو ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی بازیافت سرد آسفالت با کف قیر انجام شده است. بازیافت سرد آسفالت به دلیل صرفه‌جویی های اقتصادی (صرفه‌جویی در مصرف قیر، مصالح سنگی، هزینه حمل و ...)، حفظ محیط زیست (حفظ منابع طبیعی، عدم نیاز به محلی برای تخلیه مواد زائد و ...) و ارتقاء کیفیت روسازی (تامین مقاومت لازم، بهبود کیفیت سواری، کاهش ترک‌ها و ...) روشی بسیار مناسب برای بهسازی راه می‌باشد.

واژگان کلیدی: روسازی راه، عملیات بهسازی، بازیافت سرد آسفالت، کف قیر

www.SID.ir

۱- مقدمه

شبکه راه‌های هر کشور نقش اساسی در روند رشد اقتصادی و تعیین شاخص‌های توسعه یافتگی آن دارد. طی دهه‌های گذشته به طور قابل ملاحظه‌ای بر حجم ترافیک افزوده شده است، این در حالی است که سرعت نوسازی و بهسازی راه های موجود به تدریج از روند احداث راه‌های جدید عقب مانده است. هزینه سنگین اجرای راه‌های جدید، خسارت‌های ناشی از خرابی راه‌های موجود و نقایص متعدد روش‌های متداول در بهسازی، متخصصین روسازی را بر آن داشته که در جهت اصلاح روش‌های سنتی بهسازی و ارائه روش های نوین همراه با نوگرایی و ایجاد مشخصات مطلوب تر از نظر زمان، هزینه، دوام، کیفیت و پارامترهای جانبی آن در تکاپو باشند [۱].

در این راستا، یکی از تکنولوژی‌های نوینی که پا به عرصه گذاشته، بازیافت آسفالت است. در دهه هفتاد، با ظهور ماشین‌های خردکننده آسفالت میلیون‌ها تن آسفالت خرد شده (RAP) در سال تولید گردید. بخشی از مصالح خرد شده روسازی به کارخانجات آسفالت گرم جهت بازیابی به روش گرم حمل شده و یا در انبارها جهت استفاده در آینده، نگهداری می‌گردند. اما با این وجود بخشی از این مصالح دور ریخته می‌شود [۲].

امروزه علل گرایش به سوی بازیافت آسفالت را می توان درموارد زیر خلاصه نمود [۲ و ۴]:

الف- حل مسائل فنی- اقتصادی پروژه

ب- حفظ منابع طبیعی و به عبارت دیگر استفاده مجدد از مصالح با ارزش موجود

ج- ممانعت از آلودگی محیط زیست

د- سرعت اجرای کار

اصولاً بازیافت آسفالت در مقایسه با تهیّه آسفالت جدید ارزان تر تمام می شود [۵- ۷]. این امر به این دلیل است که در بازیافت آسفالت هزینه ها بیشتر محدود به ماشین آلات تخصصی است و از هزینه تهیّه مصالح و حمل آن ها بسیار کاسته می شود. معمولاً بازیافت آن چنان که در ادامه بیان خواهر شد یا بصورت درجا اجرا می شود و یا حداکثر با فاصله حمل کوتاه انجام می گیرد [۴].

به هر حال آنچه مسلم است، این است که با توجه به روند رو به رشد تکنولوژی بازیافت در جهان و همچنین صرفه جویی اقتصادی این روش در بهسازی راه ها، ضروری است که در برنامه ریزی های کشور به استفاده از این روش توجه بیشتری شود تا بتوان رونق اقتصادی کشور را نیز دو چندان کرد.

بازیافت آسفالت به روش سرد، در محل یکی از روش های بازیابی آسفالت می باشد که در این روش برای بازیافت مصالح از حرارت استفاده نمی شود [۲]. با وجود اینکه این روش از اوایل دهۀ ۱۹۲۰ مورد استفاده بوده است اما با پیشرفت ماشین آلات مورد نیاز برای بازیافت آسفالت از دهۀ ۱۹۸۰، رشد زیادی داشته و امروزه به عنوان یکی از سریع ترین و کم هزینه ترین روش های ترمیم روسازی شناخته می شود [۸].

Archive of SID

۲- تاریخچه بازیافت آسفالت

بازیابی مصالح آسفالتی، برای اولین بار در سال ۱۹۲۰، انجام گرفت. در این پژوهش آقای تیلور[1] از دانشگاه لندن به بررسی خیابان های شهرهای سنگاپور پرداخت. او در تحقیقات خود دریافت که می توان روسازی های قدیمی را که سخت شده اند، با اضافه کردن مصالح جدید دوباره به کار گرفت.

در آمریکا کار بازیافت از سال ۱۹۳۰، شروع شد و در سال ۱۹۵۲، موارد مختلفی از بازیافت آسفالت در فرودگاه های نیروی هوایی آمریکا، صورت گرفت. در انگلستان، نتایج بررسی های رستر[2] در سال ۱۹۵۹، در مورد تغییرات شیمیایی انجام شده در آسفالت فرسوده، مورد بررسی قرار گرفت.

در ژاپن، تحقیقات پژوهشی در زمینه بازیافت از سال ۱۹۵۰، آغاز شد، اما تحقیقات عملی و صنعتی در این کشور عملاً از سال ۱۹۷۰ آغاز گردید. ساخت اولین کارخانه بازیافت آسفالت در ژاپن به سال ۱۹۷۲ بر می گردد. این کارخانه در سال ۱۹۷۶ شروع به فعالیت کرد. طبق آمارهای موجود در ژاپن در سال ۱۹۸۴، حدود ۴۷ کارخانه مرکزی برای بازیافت آسفالت و ۳۴ کارخانه برای بازیابی لایه های اساس و زیراساس به صورت سرد، در این کشور مشغول به کار بوده اند. توسعه این صنعت به نحوی بوده که در سال ۱۹۸۷ جمعاً حدود ۲۰۰ کارخانه بازیافت در ژاپن فعال بوده است.

در ایران اولین مطالعات در خصوص بازیافت آسفالت به سال ۱۳۶۶ بر می گردد. این پژوهش توسط مهندس حمیدرضا سلیمانی به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد انجام شد. همچنین در سال ۱۳۷۵، مهندس شاهرخ مقصود مطالعاتی در این زمینه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران، انجام داد، همچنین مطالعات دیگری در سال های اخیر در زمینه بازیافت آسفالت توسط دکتر امیر کاوسی و دکتر امیر مدرس در دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۳۸۹، دکتر نیازی، مرتضی جلیلی و امید شیخی در دانشگاه فردوسی مشهد در سال های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ انجام شده است [۱۱- ۱۴].

در سال ۱۳۷۲، خیابان های شریعتی و آفریقا در تهران به مدت ۹۰ روز در اندازه ۱۵۳۱۸۸ متر مربع بازیافت گرم آسفالت گردید. در سال ۱۳۷۳ قطعه ای از اتوبان قزوین - کرج به طول ۱۵ کیلومتر از عوارضی قزوین تا نیروگاه شهیدرجایی توسط ماشین رمیکسر ۴۵۰۰[3] ، ساخت شرکت ویرتگن آلمان، مورد بازیابی قرار گرفت و بازیافت گرم به مساحت ۱۹۳۳۳۵ متر مربع، انجام شد.

۳- بازیافت سرد آسفالت

مفهوم بازیافت آسفالت در راهسازی عبارتست از استفاده مجدد از مصالح فرسوده و یا نادرست تولید و اجراء شده[۲ و ۴]. تکنولوژی بازیابی آسفالت طی سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته و هم اکنون در اکثر کشورهای دنیا مورد بهره برداری می باشد و روش‌ها و دستگاه‌های گوناگونی جهت بازیابی ابداع گردیده است.

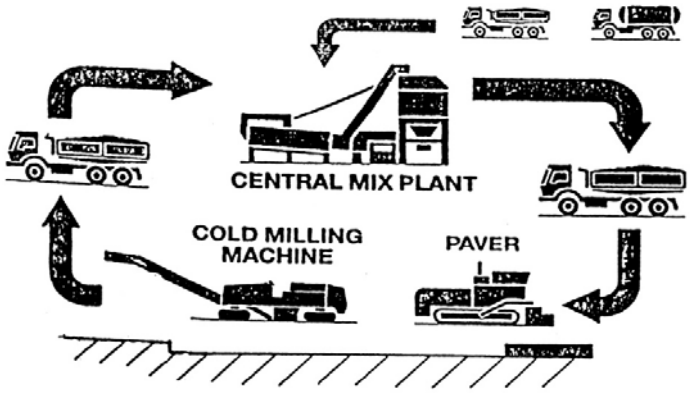
[1]- Taylor
[2]- Roster
[3]- Remixer 4500

Archive of SID
www.SID.ir

بطور کلی بازیابی آسفالت را می توان به دو بخش تقسیم کرد [۴ و ۵]:

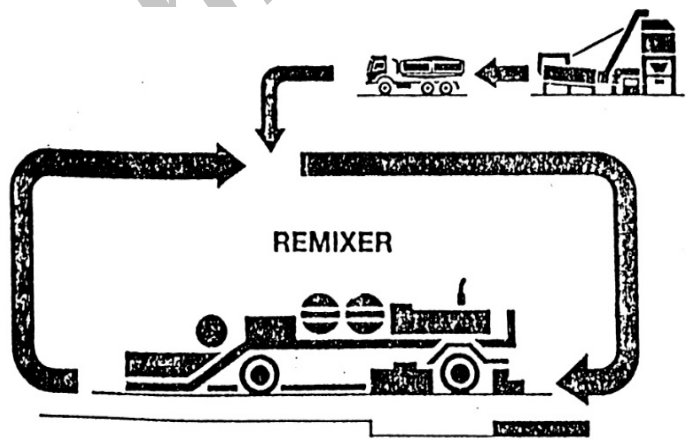
- بازیابی با استفاده از کارخانه آسفالت مرکزی
- بازیابی به صورت درجا

بازیابی با استفاده از کارخانه آسفالت مرکزی شامل مراحل برداشت و آسیاب کردن مصالح لایه آسفالتی توسط دستگاه‌های گوناگون، حمل مصالح آسیاب شده به کارخانه آسفالت مرکزی، بازیافت مصالح به وسیله افزودن مواد جدید از قبیل قیر و یا مواد احیاء کننده و همچنین مصالح سنگی در کارخانه آسفالت، حمل آسفالت بازیافته به محل، پخش و کوبیدن می‌باشد (شکل شماره ۱).



شکل شماره ۱– فرآیند بازیافت آسفالت با استفاده از کارخانه مرکزی

در "بازیافت به صورت درجا" کلیه عملیات بازیافت به صورت درجا انجام می شود (شکل شماره ۲). به طور کلی بازیافت درجا را به دو گونه سرد و گرم تقسیم بندی می‌کنند.



شکل شماره ۲– فرآیند بازیافت بصورت درجا

بازیافت درجا به روش گرم، جهت ترمیم خرابی‌های سطحی لایه‌های آسفالتی استفاده می‌شود و به هیچ وجه برای جاده‌هایی با ترک‌های عمقی و دارای تغییر شکل در لایه‌های زیرین توصیه نمی‌گردد مگر آن که این خرابی‌ها قبل از عملیات بازیابی اصلاح شوند، کلیه عملیات به صورت درجا و معمولاً در یک بار عبور انجام می‌شود. به دلیل عدم نیاز به جابجایی و

www.SID.ir

حمل و نقل آسفالت قدیمی راه و آسفالت جدید آن، حداقل مزاحمت برای ترافیک ایجاد خواهد شد [۱۰و ۱۱]. در شکل شماره (۳) فرآیند این نوع بازیافت ملاحظه می‌گردد.

شکل شماره ۳– بازیافت درجا به روش گرم

بازیافت درجا مصالح آسفالتی به روش سرد، در سال‌های اخیر توسعه بسیاری پیدا کرده است. گرچه این پدیده نوینی نمی‌باشد، اما پیشرفت و توسعه در ماشین‌آلات، تکنیک‌ها و استفاده از امولوسیون‌های پلیمری، (CIR) را به یک روش مفید و موثر جهت بازیابی رویه‌های آسفالتی تبدیل کرده است [۱۰].

در این روش ابتدا لایه روسازی با عمقی تعیین شده توسط دستگاه برداشت و آسیاب می‌شود. سپس این مواد دانه‌بندی شده و با مواد جدید از قبیل مصالح سنگی و قیر (امولسیون قیر، کف قیر و ...) مخلوط گردیده و مجدداً بر روی سطح راه پخش می‌شوند. تمام این عملیات درجا و به صورت مداوم انجام می‌گیرد. بسته به نوع و شدت خرابی جاده، معمولاً یک لایه رویه آسفالتی بر روی این لایه اضافه می‌شود [۱۰]. با استفاده از این روش می‌توان تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از روسازی موجود را مورد بهسازی قرار داد [۵].

این روش را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف) بازیافت آسفالت به صورت قسمتی از روسازی (CIPR)[۴]

عبارت است از استفاده مجدد تنها از مصالح بتن آسفالتی موجود و عمق کار حدود ۵ تا ۱۲/۵ سانتی متر می‌باشد و توسط زنجیره‌ای از ماشین‌آلات چندکاره انجام می‌شود. این نوع بازیافت معمولاً برای روسازی‌های ضخیم انجام می شود. سازه روسازی بایستی کفایت لازم را داشته باشد اما تغییرات جزئی در پروفیل راه قابل قبول است. در این نوع بازیافت، روسازی‌های با ترک‌های متوسط تا زیاد قابل بازیابی می‌باشند [۳].

ب) بازیابی تمام عمق (FDR)[۵]

در این روش تمام روسازی آسفالتی و قسمتی از مصالح سنگی زیرین مورد بازیافت قرار می‌گیرد. حداقل مقدار مصالح سنگی لایه زیرین بایستی ۲۵٪ وزنی مخلوط باشد. عمق کار حدود ۱۲/۵ تا ۲۵ سانتی متر می‌باشد. این روش عموماً برای روسازی‌های با ضخامت کم و روسازی‌های با سطح خراب و ترک‌های زیاد انتخاب می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۳].

- هر نوع روسازی و با هر شدتی از خرابی را اصلاح می‌کند.
- ظرفیت باربری روسازی افزایش می‌یابد.
- در مقایسه با بازیابی آسفالت گرم، انرژی و تجهیزات کمتری لازم دارد.

[4] - **Cold In-Place partial depth Recycling**
[5] - **Full Depth Reclamation**

Archive of SID
www.SID.ir

۳- ۱- بازیافت سرد با کف قیر

استفاده از کف قیر اولین بار در ایالت IOWA، آمریکا برای تثبیت خاک مورد استفاده قرارگرفت. بعد از استفاده موفق از کف قیر، کاربرد آن در بازیافت آسفالت نیز مورد تایید قرارگرفت. با افزایش قیمت نفت از سال ۱۹۷۰، استفاده از کف قیر برای تثبیت اساس و بازیافت، محبوبیت بیشتری پیدا کرد و تکنولوژی کف قیر توسعه زیادی یافت [۵].

بازیافت آسفالت باکف قیر به خصوص طی سالیان اخیر از مقبولیت نسبی زیادی برخوردار شده است. هر چند که این تکنولوژی نیز از پیشینه نسبتاً زیادی برخوردار است و سابقه تحقیقاتی و اجرایی طولانی دارد، ولی به دلیل فقدان ماشین‌آلات مناسب تا مدت ها کاربرد چندان گسترده‌ای نداشت. توسعه استفاده از این افزودنی قیری به دهه ۹۰ و خصوصاً کشور آلمان مربوط می‌شود. نحوه تولید این فرآورده از دمیدن هوا و تزریق آب به قیر که تحت فشار تا دمای بین ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد گرم شده باشد بدست می‌آید و درآن کف قیر در ترکیب با مصالح ریزدانه ملات مناسبی را تولید می‌کند که کار پوشش سنگدانه‌های بزرگتر را برعهده دارد [۱].

با گسترش و پیشرفت تکنولوژی و ظهور ماشین آلات باقابلیت های زیاد و از طرفی رشد دانش مهندسان در زمینه بازیافت آسفالت، تعداد راه هایی که با استفاده از تکنولوژی بازیافت آسفالت به روش سرد با کف قیر اصلاح شده اند افزایش قابل توجهی داشته است. شکل شماره (۴) مراحل اجرای بازیافت آسفالت با کف قیر را نشان می دهد.

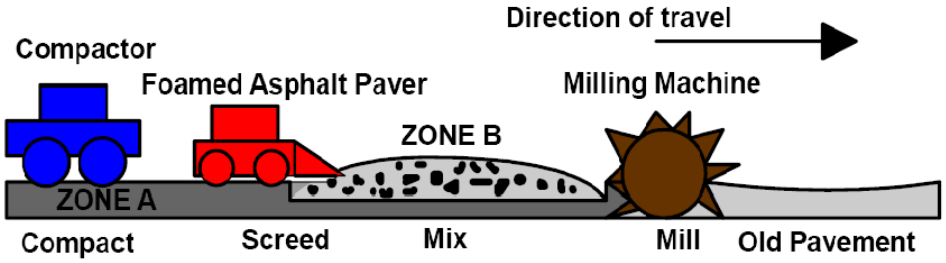


Figure 4-1. Schematic diagram of the CIR-Foam construction site

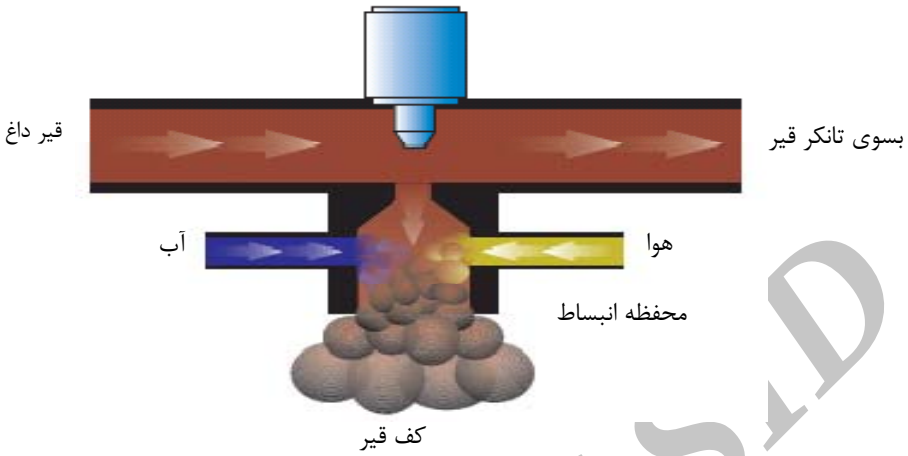
شکل شماره ۴– مراحل اجرای بازیافت آسفالت با کف قیر

کف قیر را می‌توان قیر حجیم شده‌ای نامید که تولید آن با تزریق آب و هوا به درون قیر داغ حاصل می‌شود. روش اولیه ساخت کف قیر، براساس تزریق بخار آب به درون قیر داغ استوار بود. سیستم بخار آب برای کارخانه آسفالت بسیار مناسب و راحت بود ولیکن برای اجرا در محل، مسائل و مشکلاتی به همراه داشت چرا که به تجهیزات مخصوص نظیر دیگ های تولید بخار نیاز بود. در سال ۱۹۷۶، کمپانی موبیل استرالیا[6] ، تغییرات و اصلاحاتی در روش تولید کف قیر بوجود آورد و بجای بخار آب از تزریق آب سرد به قیر داغ درون یک محفظه انبساط استفاده نمود، که نتیجه آن تهیه کف قیر به صورت بسیار ساده‌تر و اقتصادی‌تر و دارای کاربردی بهتر و عمومی‌تر بود [۵]. در شکل شماره (۵) محفظه تولید کف قیر نشان داده شده است.

[6] - **Mobil Oil Astralia**

www.SID.ir

سیستم ضربانی تمیزکننده نازل ها در حین اجرای کار



شکل شماره ۵- شمای محفظه تولید کف قیر [۵]

از کف قیر می‌توان برای تولید مخلوط جدید به منظور نوسازی و بهسازی راه ها استفاده نمود. کیفیت این تکنولوژی نیز مثل سایر انواع روش های راهسازی، به متغیرهای زیادی وابسته است که از آن جمله می‌توان به نوع قیر، دمای قیر و عوامل دیگر مثل نوع کارخانه آسفالت سازنده کف قیر و رطوبت ترکیب اشاره نمود، که هر کدام بطور جداگانه باید مورد بررسی و توجه قرار گیرند. در حال حاضر، دو مشخصه مهم کف قیر که عبارتند از نسبت انبساط و نیمه عمر را بصورت زیر می‌توان تعریف نمود [۵].

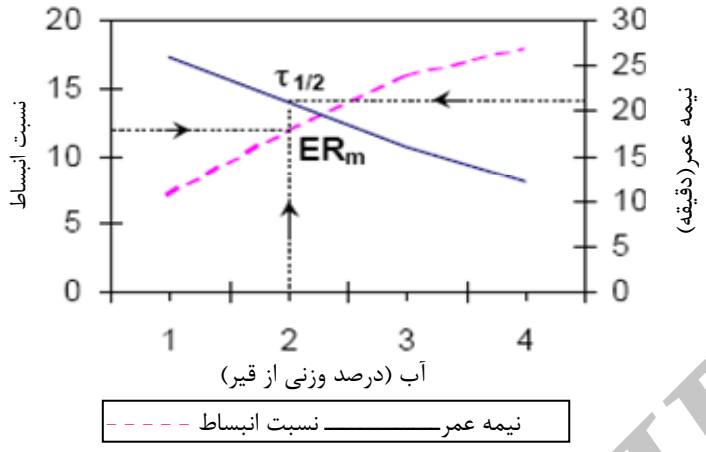
ـ نسبت انبساط[۷]: نسبت حجم حداکثر کف قیر به حجم اولیه قیر

ـ نیمه عمر[۸]: این شاخص که با واحد ثانیه اندازه‌گیری می‌شود، زمان رسیدن حجم کف به نصف حجم حداکثر است که از آزمایش حاصل شده است.

در آزمایشگاه، پس از داغ کردن قیر و تبدیل آن به کف درون محفظه انبساط، دو پارامتر مهم اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند که عبارتند از: ماکزیمم حجم کف (ER_m[۹]) و نیمه عمر ($t_{1/2}$). با تغییر میزان حجم آب سازنده کف قیر، شکل شماره ۶ بدست می‌آید. از این شکل می‌توان دریافت که درصد آبی که به عنوان درصد بهینه ساخت کف قیر شناخته می‌شود، درصدی است که میزان مقبولی از نیمه عمر و نسبت انبساط را با هم بدست می‌دهد. تاکنون هیچ استانداردی برای انتخاب این درصد ارائه نداشته است، فقط مقادیر توصیه شده ای وجود دارد که استفاده $ER_m>10x$ و $t_{1/2}>12$ را توصیه کرده است [۵].

[7] - Expansion Ratio
[8] - Half-Life
[9] - Maximum Expansion Ratio

Archive of SID
www.SID.ir



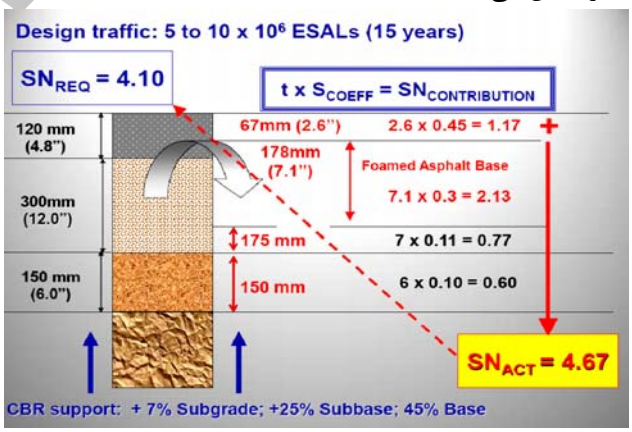
شکل شماره ۶ – تعیین درصد بهینه آب در ساخت کف قیر

۴- ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی

با انتخاب صحیح و اجرای مناسب بازیافت آسفالت، علاوه بر مزایای زیست محیطی، می توان هزینه ها را نیز در قیاس با روش های سنتی کاهش داد. کاهش هزینه ها شامل کاهش هزینه حمل، کاهش هزینه قیر مصرفی (به علت کاهش در ضخامت لایه رویه)، کاهش هزینه های ترمیم و نگهداری و کاهش هزینه های اجرا (از طریق کاهش زمان اجرای پروژه) خواهد بود. در این بخش به بررسی توجیه فنی، اقتصادی و زیست محیطی بازیافت آسفالت با کف قیر می‌پردازیم.

۴-۱- ضریب قشر(لایه) روسازی بازیافتی با کف قیر

Tia and Wood، در سال ۱۹۸۳، ضریب لایه مخلوط های بازیافتی با کف قیر را بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ تعیین نمودند. Wijk et al.، در سال ۱۹۸۳، با مطالعات میدانی محدوده وسیعی را برای ضریب لایه بسته به زمان عمل آوری از ۰/۰۵ تا ۰/۴۴ ارائه نمود. محدوده های مشابهی از ۰/۲ تا ۰/۴۲ برای روسازی های بازیافتی با امولسیون و کف قیر ارائه شده است [۱۵]. در تحقیقات جونز و همکاران در سال ۲۰۰۹، ضریب لایه بازیافتی با کف قیر معادل ۰/۳ بدست آمد [۱۵]. شکل شماره (۷) نمونه بکارگیری ضریب ۰/۳ در محاسبات را نشان می دهد.



شکل شماره ۷– عدد ضخامت سازه ای بازیافت آسفالت با کف قیر [۱۵]

Archive of SID

www.SID.ir

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ در ژاپن انجام شده است [۱۵] به این نتیجه رسیدند که بازیافت آسفالت با کف قیر و سیمان ضریب لایه بازیافتی را تا ۶۵٪ ضریب لایه آسفالتی متداول افزایش می دهد. جدول شماره (۱) این مطلب را نشان می‌دهد.

جدول ۱ – ضریب لایه نسبی بازیافتی [۱۵]

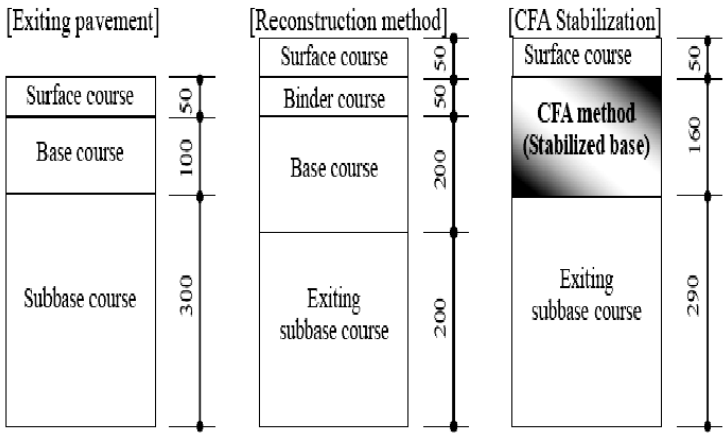
روش	ضریب لایه نسبت به آسفالت متداول
بازیافت و تثبیت با سیمان	۰/۵
بازیافت و تثبیت با کف قیر و سیمان	۰/۶۵

با توجه به مطالعات صورت گرفته می توان نتیجه گرفت که ضریب لایه بازیافتی بین ۰/۱۸ تا ۰/۳۵ در پروژه های مختلف بدست آمده است که نشان از تغییرات زیاد در ضریب لایه ای این قشر دارد. لذا مطالعات بیشتر در این زمینه و تهیه روابطی برای تعیین ضریب لایه بازیافتی قبل از اجرا ضروری است. همچنین با توجه به اینکه خصوصیات روسازی موجود در هر پروژه با پروژه های دیگر کاملا متفاوت می باشد بررسی این موضوع برای طراحی دقیق در هر پروژه ضروری است.

۴-۲- مقایسه میزان قیر مصرفی

مقایسه مصرف قیر در پروژه های مختلف بازیافت آسفالت را با کف قیر نشان می دهد که میزان قیر مصرفی با توجه به کاهش ضخامت لایه رویه که بیشترین درصد قیر را دارا می باشد، کاهش می یابد. در برخی از پروژه های اجرا شده به دلیل مشکلات اجرایی و عدم قطعیت از عملکرد روسازی های بازیافتی، کاهش چندانی در میزان مصرف قیر انجام شده و حتی افزایش مصرف قیر را نیز در پی داشته است. در ادامه بعنوان نمونه مقایسه ای بین مصرف قیر در بازیافت آسفالت با کف قیر و روش های دیگر در پروژه هایی که در نقاط مختلف دنیا اجرا شده اند مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ ، در ژاپن انجام شده است [۱۵] مطابق شکل شماره (۸) گزینه های روکش و بازیافت را برای این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که ملاحظه می شود، پیشنهاد اول، اجرای روکش به ضخامت ۱۰ سانتی متر و اصلاح اساس به عمق ۲۰ سانتی متر می باشد و گزینه دوم، بازیافت لایه رویه موجود به همراه اساس و قسمت کمی از زیر اساس و اجرای لایه رویه به ضخامت ۵ سانتی متر است. همانطور که ملاحظه می شود قیر مصرفی تقریبا یکسان بوده است.



شکل ۸ – گزینه های روکش و بازیافت [۱۵]

www.SID.ir
Archive of SID

در مطالعات دیگری که در سمیناری در آمریکا در سال ۲۰۰۷، ارائه شد [۱۵] مقدار قیر مصرفی در بازیافت آسفالت با کف‌قیر در مقایسه با بازسازی مجدد مورد بررسی قرارگرفته است که نتایج آن به شرح جداول شماره (۲) می‌باشد.

جدول ۲ – مقایسه قیر مصرفی در پروژه های مختلف [۱۵]

نام پروژه	بازیافت آسفالت با کف قیر			روکش آسفالت	
	ضخامت لایه بازیافتی (Cm)	ضخامت رویه	حاصلضرب ضخامت در درصد قیر*	ضخامت روکش (Cm)	حاصلضرب ضخامت در درصد قیر
در جاده TI6 (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و R value = 50 **)	۱۲/۵	۵	۰/۵	۶/۲۵	۰/۳۱
در جاده ، TI6 (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و R value = 5)	۱۷/۵	۵	۰/۶	۶/۲۵	۰/۳۱
در جاده، TI10 (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و R value = 50)	۴۰	۵	۰/۶۵	۱۵	۰/۷۵
در جاده، TI10 (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و R value = 5)	۲۵	۵	۰/۷۵	۱۵	۰/۷۵
در جاده، SF (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و با ۵٪ لکه گیری)	۱۷/۵	۵	۰/۶	۱۵	۰/۷۵
در جاده، SF (مساحت = ۱۰۰۰۰ متر مربع و با ۱۰٪ لکه گیری)	۱۷/۵	۵	۰/۶	۱۵	۰/۷۵

* در جدول فوق درصد قیر مخلوط بازیافتی ۲٪ و برای روکش آسفالتی ۵٪ در نظر گرفته شده است.

** آزمایشی است برای تعیین توانایی خاک بستر در مقابله با تغییر شکل های جانبی و R-value ، معیاری است از مقاومت در برابر تغییر شکل خاک اشباع تحت فشار با تراکم مشخص.

همانطور که در جدول فوق نشان داده شده است در پروژه هایی که ضخامت لایه روکش کم باشد مصرف قیر در مخلوط های بازیافتی اندکی افزایش دارد اما با افزایش ضخامت روکش، مقدار قیر مصرفی بطور قابل توجهی کاهش می یابد.

در تحقیق Eric G. Heckert، در سال ۲۰۰۶ [۱۵] ، برای بهسازی راه Wood County, RT-18، سه گزینه به شرح ذیل ارائه شد:

۱. کندن و پر کردن ۸ سانتی متر از روسازی موجود ، اجرای بیندر به ضخامت ۴/۵ سانتی متر (با حداکثر اندازه دانه بندی ۱۹ میلی متر)، اجرای توپکا به ضخامت ۴ سانتی متر (با حداکثر اندازه دانه بندی ۹/۵ میلی متر) و ۱۲٪ لکه گیری و اقدامات ترمیمی
۲. کندن و پر کردن ۱۷ سانتی متر از روسازی موجود، اجرای بیندر به ضخامت ۴/۵ سانتی متر (با حداکثر اندازه دانه بندی ۱۹ میلی متر)، اجرای توپکا به ضخامت ۴ سانتی متر (با حداکثر اندازه دانه بندی ۹/۵ میلی متر)
۳. بازیافت آسفالت با کف قیر به عمق ۱۱/۵ سانتی متر، اجرای توپکا به ضخامت ۶ سانتی متر (با حداکثر اندازه دانه بندی ۹/۵ میلی متر)

اگر مقایسه ای بین مصرف قیر در این پروژه (با فرض مصرف قیر به شرح قبل) انجام گیرد، مطلب فوق مبنی بر افزایش

Archive of SID

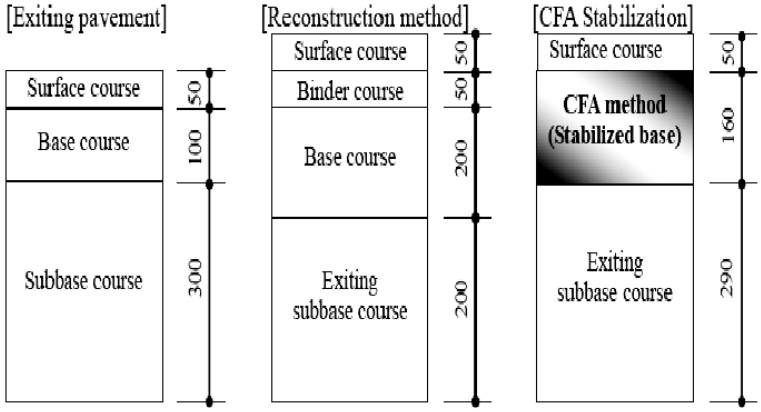
www.SID.ir

قیر مصرفی در بازیافت آسفالت با کف قیر در زمانی که ضخامت روکش کم باشد تایید می شود.

۴-۳- مقایسه آثار زیست محیطی

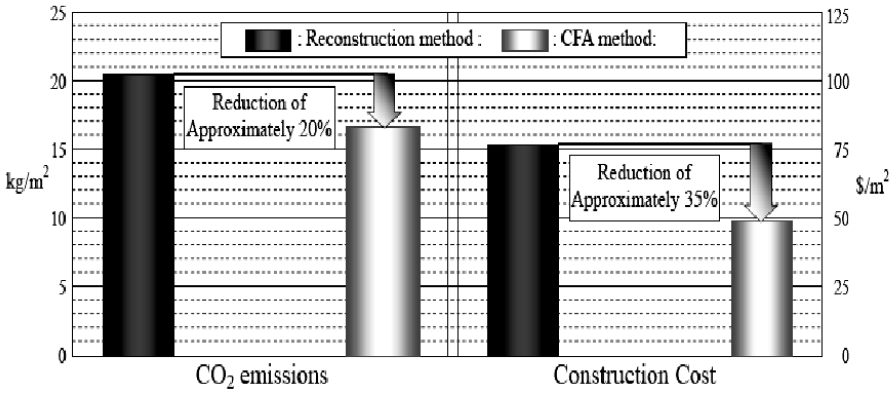
با استفاده از تکنولوژی بازیافت به روش سرد با کف قیر، مزایای زیر حاصل خواهد شد:

کاهش مصرف انرژی، کاهش گازهای CO_2 (گازهای گلخانه ای)، کاهش هزینه های دپو و دفن مواد زائد. این موضوع در پروژه ای تحقیقاتی در سال ۲۰۱۰، در ژاپن مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵]. در این پروژه تحقیقاتی دو گزینه متفاوت "روکش" و "بازیافت" براساس جزئیات نشان داده شده در شکل شماره (۹) برای این پروژه پیشنهاد گردید. همانطور که ملاحظه می شود، پیشنهاد اول، روکش به ضخامت ۱۰ سانتی متر و اصلاح اساس به عمق ۲۰ سانتی متر می باشد و گزینه دوم، بازیافت لایه رویه موجود به همراه اساس و قسمت کمی از زیر اساس و اجرای لایه رویه به ضخامت ۵ سانتی متر است.



شکل ۹- گزینه های مختلف پیشنهادی [۱۵]

شکل شماره (۱۰) مقایسه ای از میزان تولید گاز دی اکسید کربن برای دو روش نوسازی و بازیافت با کف قیر و سیمان را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود با استفاده از بازیافت آسفالت با کف قیر ۲۰٪ از میزان این آلاینده کاسته می شود این در حالی است که هزینه تمام شده نیز ۳۵٪ کاهش خواهد یافت.



شکل ۱۰- مقایسه هزینه و میزان تولید گاز دی اکسید کربن برای دو روش نوسازی و بازیافت با کف قیر و سیمان [۱۵]

www.SID.ir

۴-۴- مقایسه سرعت اجرا

سرعت اجرای پروژه های بازیافت آسفالت در محل (با توجه به عدم نیاز به حمل و جابجایی مصالح در مسیرهای طولانی) بسیار کاهش می یابد که برخی این کاهش را تا ۵۰٪ نسبت به روش های سنتی برآورد کرده اند [۲ و ۱۱]. کاهش زمان اجرا علاوه بر منافعی که برای دست اندرکاران راه (کارفرما، پیمانکار، مشاور و ...) دارد برای استفاده کنندگان از راه نیز بسیار سودمند خواهد بود. در ادامه و بعنوان نمونه، زمان اجرای کار در یکی از پروژه هایی که در ایران اجرا شده است مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

محور تازیان سه راه اسکله:

این مسیر جهت جلوگیری از تردد کامیون ها و تریلی های حامل بار از داخل خیابان های شهر بندرعباس، به عنوان بخشی از کمربندی بندرعباس، ترافیک سنگین بندر شهید رجائی و باهنر را از خود عبور می دهد. از نظر مشخصات هندسی و عملیات زیرسازی و روسازی در وضع موجود شرایط نامطلوبی دارد.

عرض موجود راه ۶/۵ متر و طول آن ۲۴ کیلومتر است و بر این اساس مقرر شد عملیات بهسازی محور با روش بازیافت سرد و به عرض ۹ متر انجام شود.

گزینه های پیشنهادی به شرح زیر بودند:

- ❖ روش سنتی به شرح زیر:
  - ✓ تخریب آسفالت موجود و حمل به دپو
  - ✓ شخم زنی، اضافه نمودن مصالح، اختلاط، پخش و کوبیدن بستر
  - ✓ تهیه، حمل، پخش و کوبیدن دو لایه ۱۵ سانتی متری مصالح زیراساس
  - ✓ تهیه، حمل، پخش و کوبیدن یک لایه ۱۵ سانتی متری مصالح اساس
  - ✓ تهیه، حمل، پخش و کوبیدن دو لایه ۶ سانتی متری آسفالت بیندر و یک لایه ۵ سانتی متری لایه توپکا
- ❖ روش بازیافت سرد: بازیافت آسفالت و لایه زیرین به عمق ۲۵ سانتی متر به شرح زیر:
  - ✓ درصد قیراضافه شده: ۳/۵٪
  - ✓ درصد سیمان: ۱٪
  - ✓ درصد اب اضافه شده به کف قیر ۲٪ وزن قیر

مدت اجرا: در روش سنتی طول ۷۷۰۰ متر شامل دو بخش قطعه اول به طول ۱۲۰۰ متر و قطعه دوم ۶۵۰۰ متر به مدت حداقل ۳ ماه نیاز داشت ولی روش بازیافت سرد به مدت ۱۵ روز انجام شده است.

۵- نتیجه‌گیری

بازیابی نقش مهمی در دستیابی به توسعه پایدار دارد که بدون به خطر انداختن توانایی نسل آینده در برآوردن نیازهایشان، نیازهای روز را برآورده می‌کند. منابع طبیعی محدود بوده، بنابراین، لازم است که تا حد امکان در مصرف مصالح صرفه‌جویی گردد، تولید ضایعات محدود شود و به امر بازیابی و استفاده مجدد کمک شده و تشویق به اجرای آن گردد. این اصول کلی به همراه ملاحظات اقتصادی باید در به وجود آمدن فضایی که هدف آن رسیدن به یک چرخه بسته ساخت در فرآیند بازیافت و استفاده مجدد از مصالح است، کمک کند. وضعیت بهینه، زمانی اتفاق می‌افتد که بازیابی از نظر اقتصادی

Archive of SID

مقرون به صرفه باشد. تا رسیدن به چنین حالتی، مدیران و سیاستگذاران باید تلاش نمایند که شرایطی را فراهم آورند تا پیمانکاران و مجریان پروژه های راهسازی با اعتماد کافی به این روش ها روی آورند و اطمینان حاصل کنند که قوانینی برای ترغیب و تشویق به بازیابی مصالح در راه های قدیمی وجود دارد. به طور خلاصه، اقدامات زیر باعث ترغیب به انجام بازیابی و استفاده مجدد از مصالح می‌گردد :

۱- ترویج روحیه بازیابی

۲- سهیم شدن با پیمانکاران در زیان احتمالی به منظور برانگیختن آنان برای بکارگیری روش های نوین و نوآوری و ابداع در پروژه‌های مربوط به بازیابی

۳- تاکید و الزامی نمودن بازیابی در آئین‌نامه‌ها و نظام‌نامه‌های مربوط به قراردادها

۴- قرار دادن پاداش و کمک هزینه برای بازیابی و استفاده مجدد از مصالح قدیمی

۵- حمایت از سرمایه‌گذاری های بیشتر در احداث کارخانه‌های بازیابی و آماده‌سازی شرایط عملی برای توسعه و افزایش استفاده از مصالح بازیابی شده

در این پژوهش مروری بر روش بازیافت سرد آسفالت بوسیله کف قیر و ارزیابی فنی و اقتصادی آن پرداخته شد. نتایج این پژوهش را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- روش های نوین بهسازی در راه ها که متکی بر استفاده از مصالح موجود و بازیابی آن می باشد را می توان به عنوان جایگزینی مناسب برای بهسازی به شیوه های سنتی جاری در راه های کشور استفاده نمود.
- تحلیل های اقتصادی نشان می دهد که درصورت استفاده مجدد از مصالح موجود که موجب کاهش مصرف مصالح جدید می شود، کاهش هزینه های حمل و دپوی مصالح، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی های زیست محیطی، کاهش زمان اجرای پروژه و در نتیجه کاهش هزینه بهسازی راه و .. را بدنبال داشته و لذا روش های نوین بهسازی در قیاس با روش های سنتی از دیدگاه اقتصادی نیز بسیار با صرفه تر خواهند بود.
- از نظر مشخصات فنی به دلیل تثبیت مصالح ضعیف واصلاح مصالح لایه های زیرین و اجرای لایه بازیافت شده با قیر و خرابی های موجود بصورت بنیادی رفع شده و عملکرد بهتر روسازی را شاهد خواهیم بود.

مراجع

[۱] فخری، منصور "روش های بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان سنجی اقتصادی آن در ایران" وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸۵.

[۲] محمدزاده شادمهری، دانیال، مصطفوی نژاد، مرتضی، ظهوریان نیک، آزاده، امینی، معصومه، "مقایسه فنی و اقتصادی روش های بازیافت آسفالت با روش سنتی نمونه موردی شهر مشهد" همایش ملی مهندسی عمران و توسعه بایدار با محوریت استفاده از روش های نوین در مهندسی عمران، مشهد، ایران، ۱۳۹۳.

[3] J. Keith Davidson, Claude Blais, Jean Martin "A Review of In-Place Cold Recycling/Reclamation in Canada", Meeting of Transportation Association of Canada, 2004.

[۴] کاووسی، امیر، "بازیافت آسفالت " فصلنامه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۷۰، ۱۳۷۴.

Archive of SID

[۵] محمدزاده شادمهری، دانیال،" *بازیافت سرد (معرفی، امکان سنجی و روش اجرا)* "، طرح پژوهشی انجام شده در شهرداری منطقه ۹ مشهد، ۱۳۹۲.

[6] Todd Thomas, Arlis Karmas "Performance – Related Tests and Specifications for Cold In-Place Recycling; Lab and Field Experience", TRB, 2002.

[7] T.V. Scholz, R.G. Hicks, D.F. Rogge and Dale Allen "Use of Cold In-Place Recycling on Low-Volume Roads", TRB 1291, pp 239-252,1991.

[۸] حاجی غفوری، حسین، "بازیافت در جای آسفالت به روش سرد" نشریه شماره ۷۲ ژئوتکنیک و مقاومت مصالح ۱۳۷۵.

[9] M. Y. Shahin "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots", second edition, springer science Business Media, LLC, 2005.

[۱۰] جلیلی قاضی زاده، مرتضی، "بررسی تأثیر سیمان و آهک بر خواص آسفالت های بازیافتی بـه روش سـرد بـا امولسـیون قیـر"، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر یونس نیازی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.

[۱۱] محمدزاده شادمهری، دانیال، " *بازیافت گرم (معرفی، امکان سنجی و روش اجرا)* "، طرح پژوهشی انجام شـده در شـهرداری منطقه ۹ مشهد، ۱۳۹۳.

[12] Amir Kavussi, Fereidoon Moghadas Nejad & Amir Modarres, "Laboratory fatigue models for recycled mixes with pozzolanic cement and bitumen emulsion" Journal of Civil Engineering and Management , Volume 17, Issue 1, 2011

[13] Amir Modarres, Fereidoon Moghadas Nejad, Amir Kavussi, Abolfazl Hassani, and Ehsan Shabanzadeh, "A parametric study on the laboratory fatigue characteristics of recycled mixes" Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 4, April 2011, Pages 2085-2093

[14] Amir Kavussi and Amir Modarres, "A model for resilient modulus determination of recycled mixes with bitumen emulsion and cement from ITS testing results" Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 11, November 2010, Pages 2252-2259

[15] Eric G. Heckert, "Cold in place recycling with Foamed asphalt", Ohio Asphalt Paving Confernce, 2006.

Archive of SID

www.SID.ir