

ارزیابی عملکرد آسفالت‌های بازیافتی ایران

محسن زاهدی
دانشجوی کارشناسی ارشد

محمود صفارزاده
استادیار

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

اخیراً بازیافت آسفالت به صورت مبحث جدیدی در تعمیر و نگهداری راه‌های ایران مطرح گردیده است. این تحقیق در نظر دارد عملکرد آسفالت‌های بازیافتی را مورد ارزیابی قرار دهد. حوزه مطالعه این تحقیق به ارزیابی خصوصیات قیر در آسفالت بازیافتی محدود شده است. نمونه‌های بدست آمده در این تحقیق از آسفالت فرسوده و بازیافتی از باند خزش^(۱) فرودگاه همدان است. خصوصیات قیر موجود در آسفالت جدید ساخته شده با قیر مناسب برای منطقه (قیر ۱۰۰ / ۸۵) به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شده و با خصوصیات قیر آسفالت فرسوده و بازیافت شده مقایسه گردید. خصوصیات اندازه‌گیری شده شامل درجه نفوذ، ویسکوزیته و نقطه نرمی قیر هر یک از گروه‌های مذکور می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون‌های آماری حاکی از آن است که تفاوت بین خصوصیات قیر در مخلوط‌های آسفالتی گروه‌های سه‌گانه فوق معنی‌دار است. به مفهوم اینکه آسفالت فرسوده پروژه مورد نظر نیاز به ارزیابی داشته و بازیافت آسفالت توانسته است خصوصیات آسفالت فرسوده را بهبود بخشد. اما بهبود خواص قیر آسفالت فرسوده در حد گروه کنترل نبوده است. محاسبات حساسیت حرارتی قیرها نشان می‌دهد که حساسیت حرارتی قیر آسفالت بازیافتی نسبت به گروه کنترل بهبود یافته است.

Evaluation of the Recycled Asphalts Performance in Iran

M. Saffarzadeh
Assistant Professor

M. Zahedi
Gradute Student

Department of Civil Engineering,
Tarbiat Modares University

Abstract

Asphalt recycling is a recently developed process in Iran which has received little attention. This study deals with the performance of the recycled asphalt in Iran, and it is limited to evaluating the characteristics of bitumen in recycled asphalts. The samples of aged and recycled asphalts were taken from the taxi-way of Hamedan airport. The characteristics of the bitumen in newly-made asphalts (with 85/1 bitumen) were considered as the control group, and, then, it was compared with those in old and recycled asphalts. The characteristics which were measured in the above mentioned groups include; penetration, viscosity, and softening point.

The statistical tests (including t - test and paired t-test) indicate that the difference between characteristics of the bitumen in the three above mentioned groups is significant. Therefore, it is concluded that the aged asphalt in this project was a proper candidate for recycling. Although recycling leads to improve the characteristics of the bitumen in the aged asphalts, the improvement does not amount to the characteristics of the control group (i.e. newly-made asphalt). However, the temperature susceptibility of the bitumen in the recycled asphalt was improved compared to the newly-made asphalt.

۱- مقدمه

بازیابی مصالح آسفالتی یک اندیشه جدید نیست. اولین کاری که در این زمینه انجام گرفت به سال ۱۹۳۰ برمی گردد. در این پژوهش آقای Taylor از دانشگاه لندن مأمور بررسی خیابان های شهرهای سنگاپور شد. او در پژوهش های خود دریافت که می توان روسازی های قدیمی را که سخت شده اند با اضافه کردن مصالح جدید دوباره بکار گرفت [۱].

بازیابی درجا (محلی) برای سالیان متمادی از روش های اجرایی در انگلستان بوده است که قدمت آن به سال ۱۹۴۹ می رسد [۲]. در ایران اولین بازیابی آسفالت به سال ۱۳۷۳ برمی گردد (پروژه اتوبان کرج - قزوین) و تاکنون پروژه های متعددی انجام شده و در حال حاضر نیز پروژه های زیادی در دست اقدام است.

اولین عاملی که مهندسين را وادار به استفاده مجدد از آسفالت نمود، مسئله اقتصادی آن است که شامل صرفه جویی در مصرف قیر و مصالح سنگدانه ای مورد نیاز و دستمزدها می باشد. دومین عامل بعد از فاکتور اقتصادی، مسئله حفظ محیط زیست و حفظ منابع محدود طبیعی می باشد. به طوری که برای ثابت نگه داشتن سطح راه ها نیاز است که روسازی قدیمی برداشته و به جای آن روکش آسفالتی جدید اجرا شود و این خود باعث هدر رفتن منابع طبیعی و آلودگی محیط زیست خواهد شد [۳ و ۴].

مطالعات نشان داده اند که بیشترین تحولات در آسفالت قدیمی بر روی قیر آن است که به صورت تغییرات فیزیکی در قیر، شامل تغییر در درجه نفوذ، ویسکوزیته، نقطه نرمی و ... ظهور پیدا می کند. در واقع این تغییرات در خصوصیات فیزیکی قیر، به علت تغییر در ترکیبات شیمیایی آن می باشد. به طور کلی اجزای قیر به دو دسته آسفالتین و مالتین تقسیم بندی می شود که فاز آسفالتین اسکلت ساختمانی قیر و مالتین فازی است که خصوصیات چسبندگی و روانی قیر را شامل می شود [۵ و ۱].

در طول زمان به علت وجود عوامل جوی و طبیعی شامل اکسیژن هوا، نور خورشید و آب، فاز مالتین به آسفالتین تبدیل می شود. این تغییرات در نهایت باعث ترک های پوست سوسماری ناشی از فرسودگی، جدا شدن دانه ها و گاهی چاله ها می شود [۳]. وظیفه اصلی بازیافت در این خصوص، احیای قیر

فرسوده تا حد مورد نیاز (استاندارد) می باشد. برای این منظور می توان از قیرهای نرمتر (با درجه نفوذ بیشتر و یا ویسکوزیته کمتر) و یا مواد جوان کننده^(۲) که نوعاً فرآورده های استخراج شده از روغن های آروماتیک^(۳) می باشند، استفاده کرد [۳ و ۴].

در این زمینه روابط و نمودارهای طراحی متعددی ارائه شده که اساس آنها بر مبنای احیای درجه نفوذ و یا ویسکوزیته قیر آسفالت فرسوده با افزودن قیر جدید و یا مواد جوان کننده می باشد. به این منظور می توان به نشریه MS-20 از انستیتو آسفالت و یا راهنماهای ارائه شده توسط شرکت های تولید کننده مواد جوان کننده مراجعه کرد [۴].

در پروژه مورد نظر برای احیای قیر فرسوده با توجه به سردسیر بودن منطقه از نرم ترین قیر موجود در کشور یعنی قیر ۸۵/۱۰۰ استفاده شده است.

۳- روش انجام تحقیق

روش تحقیق به طور خلاصه شامل نمونه گیری از آسفالت قدیم^(۴) (INT)، بازیافتی^(۵) (REC) و جدید «گروه کنترل»^(۶) (STD)، بلافاصله بعد از ساخت و مقایسه خصوصیات قیر آنها با یکدیگر بود.

۳-۱- تهیه نمونه ها

نمونه های آسفالت فرسوده از ۶ نقطه مسیر و با دستگاه مغزه گیر برداشت شد. نمونه های آسفالت بازیافتی در نقاط متناظر آسفالت فرسوده، هنگام اجرای عملیات بازیابی درجا؛ توسط دستگاه Remixer 4500 ساخت شرکت ویرتکن، از پشت و دو طرف دستگاه توسط بیل برداشت شد.

برای ساخت آسفالت جدید، با رجوع به فصل هجدهم از نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه و با منظور کردن ترافیک سنگین و آب و هوای سرد (جدول ۱)، باید از قیر ۸۵/۱۰۰ استفاده کرد [۶].

به علت عدم موفقیت در ساخت آسفالت جدید از نتایج آزمایش بر روی قیر باقی مانده بعد از آزمایش لعاب نازک چرخشی^(۷) استفاده شد [۷]. این آزمایش برای شبیه سازی فرسوده شدن قیر در هنگام ساخت در کارخانه آسفالت و پخش در مسیر می باشد [۸ و ۵].

جدول (۱) راهنمای انتخاب قیرهای خالص برای آسفالت گرم (سازمان برنامه و بودجه)

شرایط آب و هوا				موقعیت اجرای طرح
سرد	معتدل	گرم و مرطوب	گرم و خشک	
				راهها:
۸۵-۱۰۰	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰	ترافیک سنگین و خیلی سنگین
۱۲۰-۱۵۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰	ترافیک متوسط تا سبک
				خیابانها:
۸۵-۱۰۰	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰	ترافیک سنگین و خیلی سنگین
۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰	ترافیک متوسط تا سبک

۲-۳- استخراج قیر از مخلوط‌های آسفالتی

برای دسترسی به قیر مخلوط‌های فوق‌الذکر ابتدا قیر موجود در مخلوط‌های آسفالتی مورد نظر طبق روش ASTM D2172 توسط حلال بنزن استخراج شد. سپس برای احیای (۸) قیر موجود، در محلول قیر و بنزن، طبق استاندارد ASTM D1856 محلول مذکور تقطیر شد.

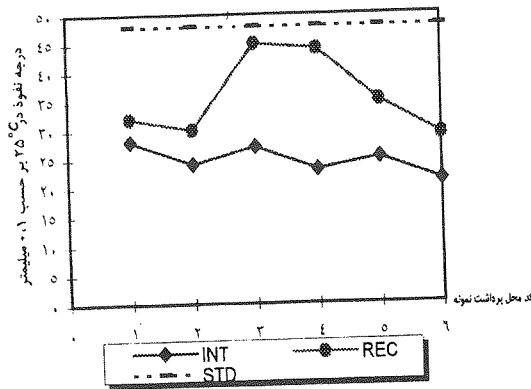
۳-۳- مواد

برای انجام آزمایش‌های استخراج قیر از مخلوط آسفالتی و احیای قیر از محلول قیر و حلال، نیاز به بنزن و گاز دی‌اکسید کربن بود که توسط پژوهشگاه صنعت نفت مطابق با استانداردهای موجود تهیه شد.

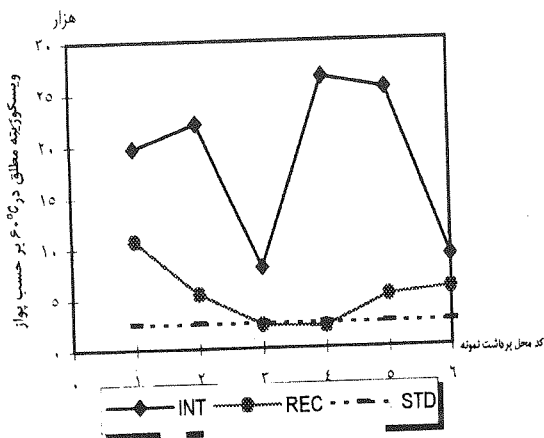
۴- آزمایشات و نتایج

روی قیر به دست آمده از آسفالت فرسوده و بازیافتی آزمایش درجه نفوذ، ویسکوزیته مطلق و نقطه نرمی به ترتیب طبق استانداردهای ASTM D36، ASTM D2172، ASTM D5 انجام گردید. از نتایج آزمایش درجه نفوذ و ویسکوزیته روی قیر ۸۵/۱۰۰ باقی مانده بعد از آزمایش لعاب نازک چرخشی، به عنوان خصوصیات قیر آسفالت جدید (گروه کنترل) استفاده شد.

نتایج در جدول‌های ۲ و ۳ و شکل‌های ۱ تا ۳ آورده شده است.



شکل (۱) نتایج آزمایش درجه نفوذ قیر گروه‌های مختلف.



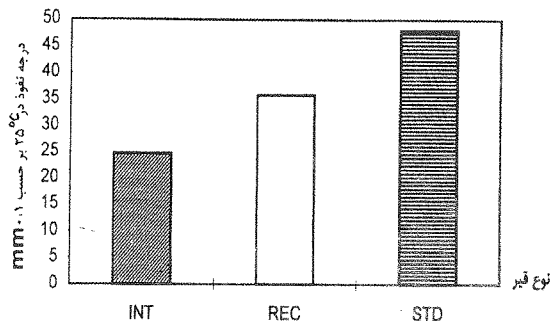
شکل (۲) نتایج آزمایش ویسکوزیته قیر گروه‌های مختلف.

جدول (۲) نتایج آزمایش درجه نفوذ و ویسکوزیته و نقطه نرمی قیر آسفالت‌های فرسوده و بازیافتی.

قیر آسفالت بازیافتی			قیر آسفالت فرسوده			کد محل برداشت نمونه
نقطه نرمی (درجه سانتیگراد)	ویسکوزیته مطلق در 60°C (پواز)	درجه نفوذ در 25°C (mm / 10)	ویسکوزیته مطلق در 60°C (پواز)	نقطه نرمی (درجه سانتیگراد)	درجه نفوذ در 25°C (mm / 10)	
۵۹	۱۰۶۶۶	۲۲	۵۹	۱۹۶۹۷	۲۸	۱
۵۴/۵	۵۳۵۴	۳۰	۶۱	۲۲۰۲۶	۲۴	۲
۵۱	۲۲۸۳	۴۵	۵۶	۷۹۷۲	۲۷	۳
۴۹	۲۱۲۸	۴۴	۶۳	۲۶۴۷۰	۲۳	۴
۵۴	۵۱۲۶	۳۵	۶۲	۲۵۳۶۱	۲۵	۵
۵۵/۵	۵۷۱۱	۲۹	۵۸/۵	۸۹۰۲	۲۱	۶

اختلاف بین گروه‌های مورد نظر وجود دارد. ولی به علت اینکه آنالیزهای آماری معمولاً در تصمیم‌گیری کمک زیادی می‌کنند، بنابراین در این پروژه علاوه بر مشاهدات عینی اطلاعات به دست آمده، از تجزیه و تحلیل‌های آماری نیز استفاده شده است.

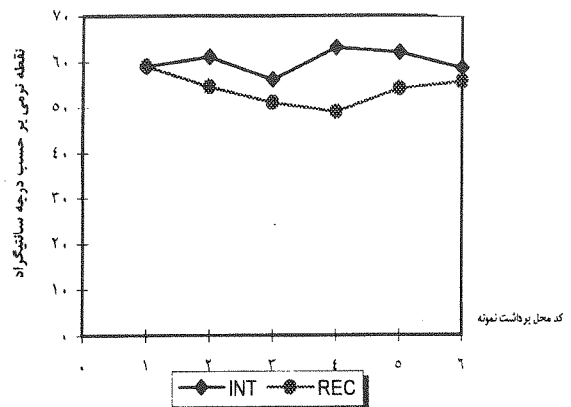
بین خصوصیات (درجه نفوذ و ویسکوزیته) قیر آسفالت‌های فرسوده و جدید و نیز بین خصوصیات قیر آسفالت‌های بازیافتی و جدید با توجه به اینکه از هم مستقل هستند، برای مقایسه آزمون t (۹) و بین خصوصیات قیر آسفالت‌های فرسوده و بازیافتی با توجه به اینکه از هم مستقل نیستند، آزمون زوجها (۱۰) انجام شده است. خلاصه نتایج در جدول ۴ و مقایسه میانگین درجه نفوذ و ویسکوزیته قیر گروه‌های مختلف در اشکال ۴ و ۵ آمده است.



شکل (۴) مقایسه میانگین درجه نفوذ قیر گروه‌های مختلف.

جدول (۳) نتایج آزمایش درجه نفوذ ویسکوزیته قیر ۸۵/۱۰۰ بعد از آزمایش لعاب نازک چرخشی.

۴۸	درجه نفوذ 25°C بر حسب mm / 10
۲۴۹۹	ویسکوزیته مطلق در 60°C بر حسب پواز



شکل (۳) نتایج آزمایش نقطه نرمی قیر در آسفالت‌های فرسوده و بازیافتی.

۵- تجزیه و تحلیل نتایج

۵-۱- تجزیه و تحلیل آماری نتایج

مشاهده عینی نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که

جدول (۲) مقایسه بین متوسط درجه نفوذ و ویسکوزیته قیر گروه های مختلف.

آبایین دو گروه در سطح معنی دار α اختلاف وجود دارد؟	سطح معنی دار (α)	نوع آزمون آماری	گروه INT	گروه PEX	گروه STD	خصوصیات مورد ارزیابی
بله	$3/49 \times 10^{-6}$	t - test	۲۴/۶۷	-	۴۸	متوسط درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد (۰/۱mm)
بله	$1/02 \times 10^{-2}$	Paired t - test	۲۴/۶۷	۳۵/۸۵	-	
بله	$10/07 \times 10^{-2}$	t - test	-	۳۵/۸۳	۴۸	
بله	$4/82 \times 10^{-3}$	t - test	۱۸۴۰۵	-	۲۴۹۹	متوسط ویسکوزیته متوسط در ۶۰ درجه سانتی گراد (پواز)
بله	$1/25 \times 10^{-3}$	Paired t - test	۱۸۴۰۵	۵۲۱۱	-	
بله	$8/5 \times 10^{-2}$	t - test	-	۵۲۱۱	۲۴۹۹	

نفوذ $PI^{(۱۴)}$ و عدد ویسکوزی درجه نفوذ $PVN^{(۱۵)}$ طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه شده است.

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (۱)$$

که در آن:

$$A = \frac{\text{Log}800 - \text{Logpen}}{T_{RB} - 25}$$

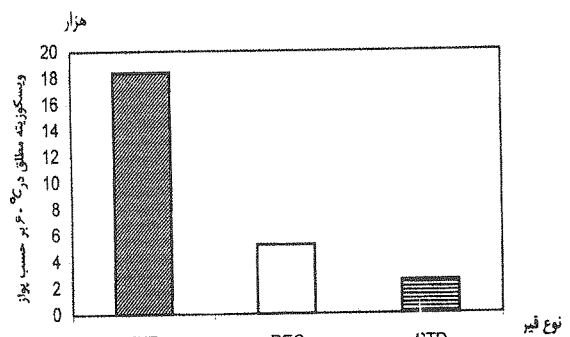
رابطه فوق توسط Van Doormal و Pfeiffer ارائه شده و بر مبنای درجه نفوذ در $25^{\circ}C$ (Pen) بر حسب $0/1mm$ و درجه حرارت نقطه نرمی قیر (T_{RB}) بر حسب درجه سانتیگراد است.

$$PVN = 1.5 \times \frac{6.489 - 1.590 \text{Logpen} - \text{Log}V}{1.02 - 0.2234 \text{Logpen}} \quad (۲)$$

رابطه (۲) که توسط شرکت نفتی Chevron ارائه و بر حسب درجه نفوذ قیر در $25^{\circ}C$ (Pen) بر حسب $0/1mm$ و ویسکوزیته قیر در $60^{\circ}C$ (V) بر حسب پواز می باشد [۱۰].

جدول ۵ بیان کننده توصیف کیفی از حساسیت حرارتی قیرها بر مبنای PI (یا PVN) می باشد.

حساسیت حرارتی قیرها در گروه های مختلف محاسبه و به طور جداگانه برای PI و PVN در جداول ۶



شکل (۵) مقایسه میانگین ویسکوزیته قیر گروه های مختلف.

۲-۵- محاسبه حساسیت حرارتی قیرها

حساسیت حرارتی قیرها پارامتری است که بیان کننده حالت روانی و غلظت قیرها در دماهای مختلف می باشد و تأثیر بسزایی در عملکرد روسازی دارد.

در صورتی که حساسیت حرارتی قیر زیاد باشد، قیر در دمای بالا حالت نرم و روانی دارد و باعث می شود که آسفالت حالت ناپایداری داشته باشد و در روسازی شیار^(۱۱) و موج^(۱۲) ایجاد شود.

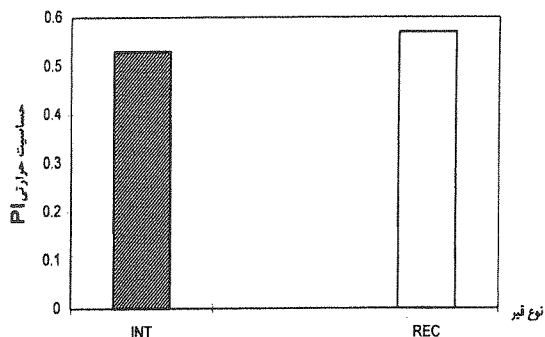
همچنین در دمای پایین و سرد، قیر حالت ترد و شکننده ای به خود می گیرد و باعث ایجاد ترک های انقباضی^(۱۳) در روسازی میشود.

حساسیت حرارتی قیرها با دو پارامتر نشانه درجه

جدول (۵) توصیف کیفی حساسیت حرارتی قیرها.

توصیف کیفی حساسیت قیر	محدوده PI یا (PVN)
کم	$PI \geq -0.5$
متوسط	$-1 \leq PI < -0.5$
زیاد	$PI < -1$

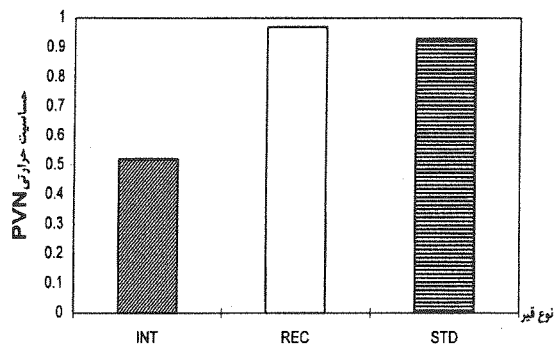
و ۷ آمده است و مقایسه میانگین PI و PVN در برابر گروه‌های مورد نظر در اشکال ۶ و ۷ آورده شده است.



شکل (۶) مقایسه میانگین PI قیر در آسفالت فرسوده و بازیافتی.

جدول (۶) مقادیر PI قیر در آسفالت فرسوده و بازیافتی.

قیر آسفالت بازیافتی	قیر آسفالت فرسوده	کد محل برداشت آسفالت فرسوده و بازیافتی
-۰/۱۸	-۰/۴۵	۱
-۰/۲۳	-۰/۳۷	۲
-۱/۱۹	-۱/۱۱	۳
-۰/۷۲	-۰/۰۹	۴
-۰/۰۳	-۰/۱۱	۵
-۱/۰۸	-۰۱/۰۷	۶
-۰/۵۷	-۰/۵۳	میانگین



شکل (۷) مقایسه میانگین PVN قیر گروه‌های مختلف.

جدول (۷) مقادیر PVN قیر در آسفالت فرسوده و بازیافتی.

قیر آسفالت جدید	قیر آسفالت بازیافتی	قیر آسفالت جدید	کد محل برداشت آسفالت فرسوده و بازیافتی
-۰/۹۳	-۰/۱۴	-۰/۲۲	۱
-۰/۹۳	-۰/۸۶	-۰/۱	۲
-۰/۹۳	-۱/۱۱	-۰/۶۴	۳
-۰/۹۳	-۱/۲	-۰/۰۲	۴
-۰/۹۳	-۰/۶۹	-۰/۲۸	۵
-۰/۹۳	-۱/۸۴	-۱/۸۷	۶
-۰/۹۳	-۰/۹۷	-۰/۵۲	میانگین

۶- بحث و نتیجه گیری

باتوجه به نتایج آزمون های آماری و محاسبات حساسیت حرارتی قیر گروه های مختلف ملاحظه می شود که:

۱- بین خصوصیات قیر آسفالت فرسوده و جدید اختلاف معنی داری وجود دارد؛ به مفهوم آنکه آسفالت فرسوده نیاز به بازیابی دارد.

۲- اختلاف بین خصوصیات قیر آسفالت فرسوده و بازیافتی حاکی از آن است که بازیابی توانسته است آسفالت فرسوده را بهبود بخشد.

۳- بین خصوصیات قیر گروه های آسفالت بازیافتی و جدید اختلاف معنی داری وجود دارد. به مفهوم آنکه بازیابی نتوانسته است خصوصیات آسفالت فرسوده را تا حد مورد نیاز (گروه کنترل) بهبود بخشد که به نظر می رسد علت آن عدم دسترسی به قیر نرم تر از ۸۵/۱۰۰ برای احیاء قیر فرسوده باشد. به عبارت دیگر ممکن است ترکیب شدن قیر فرسوده (با درجه نفوذ کم و ویسکوزیته بالا) با قیر جدید (۸۵/۱۰۰) نتواند خصوصیات قیر فرسوده را تا حد مورد نیاز منطقه (که قیر ۸۵/۱۰۰ می باشد) اصلاح نماید.

۴- حساسیت حرارتی (PI و PVN) از حدود کم به حدود متوسط رسیده است و علت آن ترکیب شدن قیر جدید با قیر فرسوده و کاهش درجه حرارت نقطه نرمی

خواهد بود. با مقایسه PVN قیر در گروه های بازیافتی و جدید دیده می شود که حساسیت حرارتی در حد گروه کنترل و حتی کمتر از آن است که می توان آن را به ترکیب شدن قیر فرسوده (که دارای حساسیت حرارتی کم می باشد) با قیر جدید نسبت داد.

زیر نویس ها

- 1 - Taxiway
- 2 - Rejuvenating agent
- 3 - Aromatic Oil
- 4 - Intact
- 5 - Recycled
- 6 - Standard
- 7 - Rolling Thin Film Oven Test
- 8 - Recovery
- 9 - t-test
- 10 - Paired t - test
- 11 - Rutting
- 12 - Corrugation
- 13 - Shrinkage Cracking
- 14 - Penetration Index (PI)
- 15 - Penetration - Viscosity Number (PVN)

مراجع

- [1] Taylor. N. H. "Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving", Recycling of Bituminous Paving, ASTM, 1977.
- [۲] عباسی داریوش، ویژگی ساختمانی مخلوط های بازیافته»، مجموعه مقالات اولین سمینار راهداری، سازمان برنامه و بودجه و وزارت راه و ترابری، ۱۳۶۶.
- [۳] کاوسی امیر، «بازیافت آسفالت» فصل نامه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۷۰، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۴.
- [4] The Asphalt Institute, "Asphalt Hot-Mix Recycling", Manual series 20, MS-20, 1989.
- [۵] سلیمانی حمیدرضا، «بازیافت آسفالت»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، آبان ۱۳۶۶.
- [۶] سازمان برنامه و بودجه، «مشخصات فنی و عمومی راه»، نشریه شماره ۱۰۱، دفتر تحقیقات و
- معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۶۴.
- [7] Chari C.t, B. E. Ruth, M. Tia, G.C. Page, "Evaluation of Age Hardening on Asphalts and Mixture", AAPT, 1990.
- [۸] کاوسی امیر، «مشخصات و آزمایشات جدید قیرها»، سمینار آموزش راه و ژئوتکنیک، گروه راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران و آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری ۱۳۷۳.
- [۹] طباطبایی نادر، «آشنایی با آزمایش های جدید قیر به روش شارپ»، مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۳.
- [۱۰] «بررسی آزمایشگاهی حساسیت حرارتی قیرهای خالص و کنترل آنها»، مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۳.