گزارش آزمایش‌های عملکردی مخلوط آسفالتی	تاریخ : ۹۸/۰۲/۲۴
پروژه: آزمایش‌های عملکردی در مخلوط‌های آسفالتی معمولی و اصلاحی با افزودنی پلیمری متقاضی: شرکت ملی ساختمان	

مقدمه

گزارش حاصل براساس درخواست شرکت ملی ساختمان مورخه ۹۷/۱۲/۱۲ به شماره ۹۷/۴۴۹۹ در خصوص ساخت نمونه و انجام آزمایش‌های عملکردی مخلوط‌های آسفالتی معمولی و اصلاح شده با افزودنی پلیمری تهیه گردیده‌است. لازم به ذکر است که تولید مخلوط آسفالت در میکسر کارخانه آسفالت شرکت ملی ساختمان در تاریخ ۱۳۹۸/۰۲/۰۲در فرودگاه امام خمینی (ره) با حضور نماینده مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تولید و با انتقال نمونه‌های آسفالت شاهد و حاوی افزودنی به دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انجام آزمایش‌ها برروی تمامی نمونه‌ها صورت گرفته است. شایان ذکر است که به ادعای متقاضی، نمونه‌های اصلاح شده با ۵٪ وزنی قیر با پلیمری با نام تیس 1410A در کارخانه آسفالت به صورت خشک به میکسر آسفالت اضافه و تولید شده است.

دانه‌بندی ارائه شده و درصد قیر متناظر آن در جدول ۱ آورده شده‌است.

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

جدول۱: دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده و درصد قیر آن‌ها

اندازه الک	حدود مشخصات دانه‌بندی شماره ۴ آیین‌نامه	دانه‌بندی پیشنهادی متقاضی
۱۹mm	۱۰۰	۱۰۰
۱۲,۵mm	۹۰-۱۰۰	۹۵
شماره ۴	۴۴-۷۴	۶۰
شماره ۸	۲۸-۵۸	۳۷
شماره ۵۰	۵-۲۱	۱۱
شماره ۲۰۰	۲-۱۰	۵
درصد قیر	--	۵,۶

۱.آزمایش مدول برجهندگی

مطابق درخواست، آزمایش مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی خالص و حاوی افزودنی با پلیمر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش استاندارد ASTM-D4123 انجام گرفت. نمونه‌های استوانه‌ای ۴ اینچی مورد استفاده در آزمایش با فضای خالی ۴ درصد ساخته و متراکم شدند. مطابق استاندارد، در این آزمایش از شکل بارگذاری نیمه سینوسی با فرکانس یک هرتز، سیکل بارگذاری یک ثانیه، مدت زمان اعمال بار ۱.۰ ثانیه، مدت زمان استراحت ۰,۹ ثانیه و ضریب پواسون ۰,۳۵ استفاده گردید. نتایج آزمایش مدول برجهندگی برای ۲ بار تکرار هر نوع آسفالت در جدول ۲ ارائه شده است.

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

جدول ۲:معدل نتایج مدول برجهندگی مخلوط‌های آزمایش‌شده

نوع مخلوط آسفالتی	مدول برجهندگی (مگاپاسکال)
آسفالت معمولی با قیر خالص	۳۱۹۹
آسفالت حاوی افزودنی	۵۴۲۵

۲.آزمایش خستگی به روش کشش غیرمستقیم

آزمایش خستگی کشش غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی خالص و حاوی افزودنی با پلیمر مطابق درخواست در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سطوح تنش متفاوت بر اساس روش استاندارد BS EN 12697-24 انجام پذیرفت. نمونه‌های استوانه‌ای ۴ اینچی (قطر ۱۰ سانتی‌متر) مورد استفاده در آزمایش به ارتفاع حدود ۶,۵ سانتی‌متر و با فضای خالی ۴ درصد ساخته و متراکم شدند. در این آزمایش و در هر سیکل بارگذاری، مدت اعمال بار ۰,۱ ثانیه و مدت زمان استراحت برابر ۰,۴ ثانیه می‌باشد. نتایج برای مخلوط‌های آزمایش‌شده در جدول ۳ ارائه شده است. عمر خستگی برای این آزمایش به صورت گسیختگی نمونه و پس از رسیدن مجموع تغییر شکل قطری نمونه‌ها به ۸ میلی‌متر تعریف شده‌است.

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

جدول ۳: نتایج آزمون خستگی به روش کشش غیر مستقیم نمونه‌های مورد نظر

نوع مخلوط آسفالتی	عمر خستگی در سطح تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال (بر حسب سیکل)	عمر خستگی در سطح تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال (بر حسب سیکل)	عمر خستگی در سطح تنش ۳۵۰ کیلوپاسکال (بر حسب سیکل)
آسفالت معمولی با قیر خالص	۲۲۰۵۰	۱۱۸۰۰	۸۳۱۰
آسفالت حاوی افزودنی	۳۱۰۷۰	۱۸۰۲۵	۱۲۳۷۰

۳.آزمایش خزش دینامیکی

آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های آسفالتی خالص و حاوی افزودنی با پلیمر مطابق درخواست در دمای ۵۵ درجه سانتی-گراد و تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال بر اساس روش استاندارد BS EN 12697-25 انجام پذیرفت. نمونه‌های استوانه‌ای ۴ اینچی (قطر ۱۰ سانتی‌متر) مورد استفاده در آزمایش به ارتفاع حدود ۶,۵ سانتی‌متر و با فضای خالی ۶ درصد ساخته و متراکم شدند. در این آزمایش و در هر سیکل بارگذاری، مدت اعمال بار و مدت زمان استراحت برابر یک ثانیه می‌باشد. همچنین قبل از اعمال سیکل‌های آزمایش، تنش پیش بارگذاری به میزان ۱۲ کیلوپاسکال به مدت ۱۲۰ ثانیه اعمال گردید. نتایج برای مخلوط های آزمایش شده با ۲ تکرار در جدول زیر ارائه شده است.

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

جدول ۴: نتایج آزمون خزش دینامیکی نمونه‌های خالص و پلیمری

نوع مخلوط آسفالتی	تعداد سیکل گسیختگی*
آسفالت معمولی با قیر خالص	۴۳۰
	۶۶۰
آسفالت حاوی افزودنی	۲۶۰۰
	۳۴۰۰
*گسیختگی نمونه به صورت تغییر شکل آن به اندازه کرنش ۶٪ در نظر گرفته شده‌است. نمونه در این وضعیت به طور کامل به مرحله سوم تغییر شکل (گذر از عدد روانی) رسیدند.	

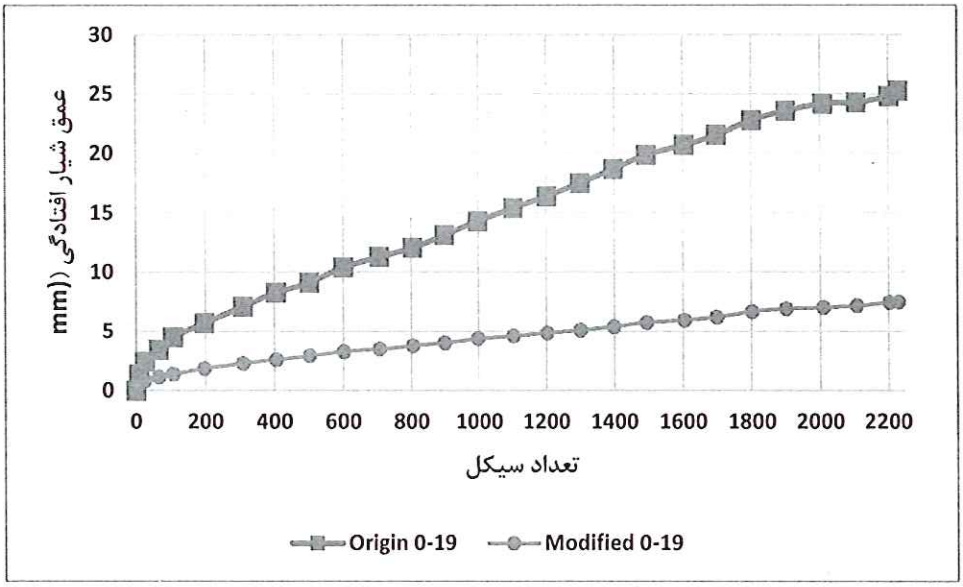
۴.آزمایش ویلترک (عبور چرخ)

برای سنجیدن پتانسیل شیارافتادگی از دستگاه ویلترک STZ-01 استفاده می‌شود. استاندارد T0719 شرایط و الزامات مربوط به آزمایش شیارافتادگی بوسیله این دستگاه را بیان می‌کند. نمونه دال آسفالتی در قالب فلزی مکعبی ۳۰۰ ×۳۰۰ میلی‌متر سطح و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. چرخ دستگاه، دارای قطر ۲۰۰ میلی‌متر و عرض ۵۰ میلی‌متری می‌باشد. فشار وارده به نمونه از طرف چرخ، معادل ۰/۷ مگاپاسکال بوده و دارای سرعت ثابتی معادل ۴۲ سیکل رفت و برگشت در هر دقیقه می‌باشد. جهت آماده‌سازی برای اجرای آزمایش، باید نمونه آسفالتی به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در داخل محفظه دستگاه بماند. مدت زمان انجام آزمایش به میزان عمق ایجادشده در نمونه بستگی داشته به این‌صورت که اگر عمق شیارافتادگی به ۲۵ میلی‌متر

اداره کل فناوری و ارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

برسد آزمایش تمام شده و به صورت خودکار قطع می‌شود. قابل ذکر است که دقت اندازه‌گیری عمق توسط این دستگاه ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد.

نتایج حاصله برای مخلوط‌های ساخته‌شده با قیرخالص و حاوی افزودنی، در شکل زیر ارائه شده‌است.



شکل ۱. منحنی عمق شیارافتادگی برای نمونه‌های ساخته‌شده با قیر خالص و قیر حاوی افزودنی

۵. آزمایش شکست ترد (خمشی نیم‌دایره‌ای)

آزمایش شکست ترد روی نمونه‌های نیم‌دایره‌ای آسفالتی معمولی و اصلاح شده با افزودنی ارسالی شرکت متقاضی صورت پذیرفت. نمونه‌ها به قطر ۱۵ سانتی‌متر، ضخامت ۳ سانتی‌متر و با ترک مصنوعی به طول ۱,۵ سانتی‌متر ساخته شدند. این نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تراکم فشاری-برشی (PReSBOX COMPACTOR) با فضای خالی ۴ درصد ساخته و در نهایت پس از کُرگیری، بادستگاه برش به ضخامت ۲,۵ سانتی‌متر برش داده شده‌اند. این آزمون در دمای ۱۵ - درجه سانتی‌گراد (طبق درخواست متقاضی) و سرعت

اداره کل همکاری و ارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

بارگذاری ۰,۵ میلی‌متر بر دقیقه با استفاده از دستگاه بارگذاری UTM25 انجام گردید. نتایج آزمایش خمش نیم‌دایره‌ای برای نمونه‌های مورد آزمایش در جدول ۵ ارائه شده‌است.

جدول ۵: آزمایش شکست ترد (خمش نیم‌دایره‌ای)

نوع مخلوط آسفالتی	نیروی شکست نمونه(KN)
آسفالت معمولی با قیر خالص ۸۵-۱۰۰	۲,۶۵
	۱,۷۳
	۳,۲۸
آسفالت حاوی افزودنی	۳,۹۵
	۳,۷۱
	۵,۲۸

۶. آزمایش حساسیت رطوبتی

استاندارد این روش تست AASHTOO T283 بوده که از متداول‌ترین روش‌های تست برای مطالعه حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی است و ارتباط و همبستگی خوبی با عملکرد فیلد مخلوط آسفالتی دارد.

در این تست برای هرنوع مخلوط آسفالتی، یک مجموعه نمونه‌های استوانه‌ای مارشالی ساخته شدند. همچنین این مهم قابل ذکر است که این نمونه‌های متراکم شده باید داری فضای خالی در دامنه 7 ± 0.5 داشته باشند. هر مجموعه به دو زیرمجموعه (تر و خشک) تقسیم می‌گردد. مجموعه خشک در دمای اتاق (۲۵ درجه) و در شرایط خشک نگه داشته شد درحالی‌که مجموعه تر باید تحت شرایط قرار بگیرند.

اداره کل فناوری و ارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
پلی تکنیک تهران
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

نمونه‌های مجموعه‌ی تر، در آب مستغرق گردیده و با اعمال فشار منفی ۰٫۸ بار توسط دسیکاتر به درصد اشباع بین ۵۵٪ الی ۸۰٪ رسیدند. سپس نمونه‌های اشباع شده در یک محفظه پلاستیکی قرار گرفته و ۱۰ میلی‌گرم آب به آن اضافه می‌شود. در ادامه محفظه حاوی نمونه اشباع در منفی ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای ۱۶ ساعت (قسمت یخبندان یک سیکل) قرار می‌گیرد. سپس با جداسازی نمونه از محفظه پلاستیکی، در حمام آب ۶۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت (قسمت ذوب یک سیکل) نگه داشته می‌شود. کل این فرآیند، یک سیکل ذوب و یخبندان را تشکیل می‌دهد. اکنون که نمونه‌های مجموعه‌ی تر، تحت شرایط قرار گرفته‌اند یا به اصطلاح کاندیشن شده‌اند؛ آماده جهت تست کشش غیرمستقیم یا ITS می‌باشند. برای این منظور، بار شکست برای هر نمونه در دمای ۲۵ درجه ثبت می‌گردد که رابطه آن معادل زیر است:

$$ITS = \frac{2000P}{t\pi d}$$

در این رابطه، P بیشترین نیروی وارده بر نمونه (N)، t ضخامت نمونه و d قطر نمونه است.

همچنین شاخص نسبت مقاومت کششی یا TSR به شکل زیر تعریف می‌گردد که بر اساس آن می‌توان پتانسیل خرابی رطوبتی را برای یک نمونه مخلوط آسفالتی تعیین نمود. هرچه این مقدار بزرگتر باشد، مخلوط آسفالتی در برابر خرابی رطوبتی مقاومت بیشتری خواهد داشت:

$$TSR = (\frac{ITS_{Wet}}{ITS_{Dry}}) * 100$$

در این رابطه ITS_{Wet} و ITS_{Dry} به ترتیب مقاومت کششی غیرمستقیم برای نمونه های تر و خشک می‌باشند. نتایج این آزمایش پس از طی ۱ سیکل ذوب و یخبندان در جدول زیر ارائه شده است:

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

نوع مخلوط آسفالتی	نسبت مقاومت کششی (٪)
آسفالت معمولی با قیر خالص	٪ ۵۹
آسفالت حاوی افزودنی	٪ ۸۱

مطابق آیین نامه حداقل میزان قابل قبول برای شاخص TSR در مخلوط آسفالتی برابر ۸۰ درصد بوده که مطابق نتایج، این کنترل تنها در مخلوط آسفالتی اصلاح شده مشاهده می‌گردد.

۷. آزمایش تیرچه خمشی ۴ نقطه ای

به منظور انجام آزمایش خستگی تیرچه خمشی، دال‌های آسفالتی با استفاده از دستگاه پرسباکس که دارای دقت بالا در ساخت نمونه با درصد هوای معین می‌باشد، ساخته شد. این دال‌ها با استفاده از دستگاه اره برقی اتوماتیک برش داده شده و ابعادی مطابق با استاندارد AASTO T321 آماده شدند. آزمایش خستگی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد با بارگذاری نمیه سینوسی و حالت کرنش ثابت ۲۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ میکرو برای مخلوط‌های آسفالتی خالص و حاوی افزودنی در دانشگاه تهران انجام شد که نتایج آن به پیوست ارائه می گردد. عمر خستگی متناظر با کاهش ۵۰٪ از سختی اولیه نمونه برای ۲ تکرار در جدول زیر گزارش شده است:

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

نوع مخلوط آسفالتی	کرنش (میکرو)	سختی اولیه (مگاپاسکال)	سختی نهایی (مگاپاسکال)	تعداد سیکل نهایی خستگی
آسفالت معمولی با قیر خالص	۲۰۰	۴۸۸۰	۲۴۴۰	۴۷۶۵۰۷
	۲۰۰	۴۶۲۴	۲۳۱۲	۱۸۷۹۱۴
	۵۰۰	۳۷۸۸	۱۸۹۴	۱۳۹۱۰
	۵۰۰	۴۷۴۳	۲۳۷۱	۱۰۹۶۰
	۷۰۰	۴۷۹۱	۲۳۹۶	۷۱۷۰
آسفالت حاوی افزودنی	۲۰۰	۵۳۷۱	۲۶۸۶	* ∞
	۲۰۰	۵۲۸۰	۲۶۴۰	* ∞
	۵۰۰	۶۳۳۳	۳۱۶۷	۱۵۳۶۰
	۵۰۰	۶۴۱۶	۳۲۰۸	۱۰۸۵۰
	۷۰۰	۴۱۴۸	۲۰۷۴	۱۰۱۸۰
	۷۰۰	۶۴۰۲	۳۲۰۱	۹۲۰۰

* با توجه به اینکه سختی کاهش‌یافته در نمونه حاوی افزودنی و خالص پس از طی چندین هزار سیکل تحت کرنش ۲۰۰ میکرو به میزان ثابتی (نه حتی ۵۰٪ سختی اولیه) رسیده است، می‌توان نتیجه گرفت که عمر خستگی هر دوی نمونه‌ها بسیار زیاد است. اما جهت قیاس این دو مخلوط لازم است که یک معیار را در نظر

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir

گرفت. از این‌رو با برازش معادله بر نتایج نمودار سختی-تکرار بار، می‌توان تعداد سیکل مورد نیاز برای رسیدن به عمر خستگی، یعنی ۵۰٪ سختی اولیه را برون‌یابی و محاسبه کرد. با انجام این محاسبات معلوم شد که به طور میانگین برای نمونه خالص ۳۳۲۲۱۰ تعداد سیکل و برای نمونه حاوی افزودنی ۶۰۸۲۴۲۱ تعداد سیکل جهت طی کردن عمر خستگی لازم است. با توجه به بزرگیِ عدد خستگیِ نمونه حاوی افزودنی، عمر خستگی بینهایت (به طور تئوری) برای آن منظور شد.

فریدون مقدس نژاد

استاد و سرپرست آزمایشگاه روسازی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

اداره کل فناوری وارتباط با صنعت
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تهران ، خیابان حافظ ، روبروی خیابان سمیه ، شماره ۴۲۴ ، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
تلفن : ۱ - ۶۴۵۴۰ http://www.aut.ac.ir