

ارزیابی آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره در تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

علی اصغر اکبری نسرکانی، سیاوش کردی، محمد جعفری، نادر محمودی‌نیا

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

با توجه به این‌که در ساخت مخلوط میکروسرفیسینگ از قیر امولسیون پلیمری استفاده می‌شود، انجام آزمایش اکستراکشن و جداسازی قیر از مصالح سنگی با دشواری‌ها و خطاهایی همراه است، زیرا قیر پلیمری به راحتی از مصالح سنگی جدا نمی‌شود. به همین دلیل منابع مربوطه، انتخاب حلال مناسب برای انجام آزمایش را به عهده مشاور و کارفرما گذاشته‌اند. به علت نبود راهنمایی‌های کافی در کنترل کیفیت مخلوط‌های میکروسرفیسینگ تولید شده در کشور، این پژوهش به برداشتن گامی در روشن کردن این مسیر اهتمام ورزیده است تا بتواند جوابی مناسب برای سوالات کنترل کیفی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ پیدا نماید. بدین منظور، پس از انتخاب مصالح و مواد اولیه مناسب، آزمایش‌های طرح اختلاط میکروسرفیسینگ انجام شد. سپس از طریق ساخت نمونه‌هایی با مصالح و لاتکس مختلف و نیز با درصد‌های مختلف لاتکس، تأثیر هر یک از این عوامل بر دانه‌بندی مصالح سنگی و درصد قیر حاصل از آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر نوع حلال بر نتایج آزمون اکستراکشن، از دو حلال بنزین و تری‌کلرواتیلن استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد تمامی روش‌های مورد استفاده از دقت قابل قبولی در تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ برخوردارند ولی آزمایش سوزاندن در کوره از دقت بسیار بهتری در تعیین درصد قیر برخوردار است. همچنین مشاهده شد که قدرت حلال تری‌کلرواتیلن در کاهش خطای نتایج آزمایش تعیین درصد قیر میکروسرفیسینگ در آزمایش اکستراکشن بسیار مؤثر است و نوع و مقدار لاتکس تأثیر چندانی بر روی خطای آزمایش‌های مورد مطالعه ندارد.

واژه‌های کلیدی: میکروسرفیسینگ، آزمایش اکستراکشن، آزمایش سوزاندن در کوره (ACT)، دانه‌بندی، درصد قیر، لاتکس.

۱- مقدمه

از راه است. یکی از روش‌های بهبود شرایط عملکردی راه‌ها استفاده از آسفالت میکروسرفیسینگ است که در این روش مقاومت سازه‌ای افزایش نمی‌یابد. این روش سبب بهبود شرایط عملکردی روسازی و افزایش عمر در شرایط مطلوب می‌گردد. آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ نوعی نگهداری پیشگیرانه جهت جلوگیری از گسترش خرابی‌ها در رویه

خدمت‌دهی روسازی به دو پارامتر ظرفیت سازه‌ای و شرایط عملکردی بستگی دارد. ظرفیت سازه‌ای به قابلیت روسازی و بستر در تحمل بار بستگی دارد. در صورتی که شرایط عملکردی نشان دهنده میزان راحتی استفاده کنندگان

آسفالتی است. میکروسرفیسینگ نقش بهبود سطوح فرسایش یافته، پرکردن ترک‌ها و منافذ، حفظ یا بهبود اصطکاک و حذف اثر هوازدگی و اکسیداسیون را دارد [۱].

اجرای روکش‌های حفاظتی از جمله میکروسرفیسینگ به منظور نگهداری پیشگیرانه در زمان مناسب نقش مهمی در کاهش هزینه‌ها و افزایش عمر روسازی دارد. در صورت اجرای میکروسرفیسینگ در زمانی که ضعف سازه‌ای در روسازی موجود مشاهده نشود، هر هزار تومان هزینه در این بخش، ۶ تا ۱۰ هزار تومان هزینه در قسمت بازسازی را حذف خواهد کرد. به عبارت دیگر هزینه کردن برای میکروسرفیسینگ نوعی سرمایه‌گذاری دراز مدت محسوب می‌شود [۲]. از این روی طی سال‌های اخیر استفاده از آسفالت‌های حفاظتی به منظور نگهداری پیشگیرانه راه‌های کشور بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به طور مثال می‌توان به اجرای ۳۳ کیلومتر آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ در استان قم و اجرای چهار کیلومتر آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ در استان مرکزی اشاره کرد.

یکی از مهم‌ترین بخش‌های زنجیره طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی، کنترل تطابق عملیات اجرا شده با حدود مشخصات مندرج در آیین‌نامه‌ها و استانداردها است. این بخش را می‌توان مهم‌ترین حلقه این زنجیره معرفی کرد، زیرا کیفیت نهایی پروژه به این مرحله مربوط می‌شود. با توجه به اهمیت میکروسرفیسینگ در کاهش هزینه‌های روسازی در دوره عمر و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و نیز وجود تجهیزات و امکانات لازم برای اجرای آن در کشور، شناخت هر چه بهتر کنترل کیفیت حین اجرای این مخلوط‌ها، زمینه لازم به منظور بهره‌مندی هر چه بیشتر از مزایای آن را ایجاد خواهد کرد. انجمن بین‌المللی رویه اسلاری سیل (ISSA^۱)، اداره بزرگراه‌های ایالتی آمریکا

(FHWA^۲) و دستورالعمل‌های ایالتی، انجام آزمایش اکستراکشن بر اساس استاندارد ASTM D2172 بر روی مخلوط میکروسرفیسینگ تولید شده توسط دستگاه پخش، و تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی و درصد قیر را به منظور کنترل کیفیت مخلوط تولید شده ضروری می‌دانند [۱، ۳ و ۴].

از طرفی دیگر با توجه به این‌که در ساخت مخلوط میکروسرفیسینگ از قیر امولسیون پلیمری استفاده می‌شود، انجام آزمایش اکستراکشن و جداسازی قیر از مصالح سنگی با دشواری‌ها و خطاهایی همراه است، زیرا قیر پلیمری به راحتی از مصالح سنگی جدا نمی‌شود. به همین دلیل منابع ذکر شده در بالا، انتخاب حلال مناسب برای انجام آزمایش را به عهده مشاور و کارفرما گذاشته‌اند. این به علت نبود راهنمایی‌های کافی در کنترل کیفیت مخلوط‌های میکروسرفیسینگ تولید شده در کشور، این پژوهش به برداشتن گامی در روشن کردن این مسیر اهتمام ورزیده است. بدین منظور، پس از انتخاب مصالح و مواد اولیه مناسب، آزمایش‌های طرح اختلاط میکروسرفیسینگ انجام شد و دو مخلوط میکروسرفیسینگ کاملاً متفاوت (در مصالح و مواد تشکیل‌دهنده) طراحی شد. سپس نمونه‌های میکروسرفیسینگ با نسبت اجزای مشخص (طبق طرح اختلاط‌های انجام شده) ساخته شد. همچنین با ثابت نگه‌داشتن نسبت‌های طرح اختلاط، مقدار پلیمر تغییر داده شد و نمونه‌های میکروسرفیسینگ حاوی مقادیر مختلفی از پلیمر ساخته شد تا تأثیر پلیمر بر نتایج آزمایش‌ها بررسی گردد. سپس از طریق انجام آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره، دانه‌بندی مصالح سنگی و درصد قیر مخلوط‌های ساخته‌شده، بدست آمد و با مقادیر اولیه مقایسه شد. همچنین آزمایش اکستراکشن با استفاده از دو حلال بنزین و تری‌کلرواتیلن انجام شد تا تأثیر قدرت انحلال

2- Federal highway administration

1- International slurry surfacing association

مصالح سنگی باید صد در صد شکسته، تمیز و عاری از هرگونه موادی که دوام و چسبندگی مخلوط را دچار مشکل می‌سازد، باشد. در این پژوهش از دو نوع مصالح A و B استفاده شده است که هر دو دارای دانه‌بندی نوع ۳ طبق دستورالعمل ISSA A143 می‌باشند. این دانه‌بندی برای مناطق با ترافیک سنگین و راه‌های با شدت خرابی زیاد (راه‌های با زیرسازی سالم ولی با ترک‌ها و چاله‌های نسبتاً بزرگتر) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دانه‌بندی می‌تواند به عنوان یک رویه با ضریب اصطکاک بالا عمل کند [۵]. مشخصات دانه‌بندی و آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی در جدول ۱ ارائه شده است.

حلال ارزان‌قیمت (بنزین) در مقایسه با حلال استاندارد (تری‌کلرواتیلن) سنجیده شود. بدین طریق، تأثیر روش انجام آزمایش، درصد پلیمر و حلال مورد استفاده در تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مخلوط میکروسرفیسینگ مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش‌های مواد آزمایشگاهی

در این بخش، مواد و مصالح استفاده شده در میکروسرفیسینگ و آزمایش‌های مربوط به آن‌ها آورده شده است. در ادامه طرح اختلاط‌های میکروسرفیسینگ و نتایج مربوط به آزمایش‌های آن ارائه شده است.

۲-۱- مشخصات مصالح سنگی

مصالح سنگی حدود ۸۲ تا ۹۰ درصد از وزن مخلوط میکروسرفیسینگ را شامل می‌شود. برای حصول نتایج بهتر،

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی و مرغوبیت مصالح سنگی مورد مطالعه به همراه حدود مشخصات مربوطه بر اساس ISSA [۴]

اندازه الک		محدوده دانه‌بندی، %	رواداری، %	دانه‌بندی مصالح سنگی کارگاهی، %	
				مصالح A	مصالح B
۳/۸ اینچ (۹/۵ میلیمتر)		۱۰۰	-	۱۰۰	۱۰۰
شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر)		۷۰-۹۰	± ۵	۹۰	۸۸/۷
شماره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر)		۴۵-۷۰	± ۵	۶۱/۹	۵۲
شماره ۱۶ (۱/۱۸ میلیمتر)		۲۸-۵۰	± ۵	۴۱/۵	۳۱/۶
شماره ۳۰ (۰/۶ میلیمتر)		۱۹-۳۴	± ۵	۲۷/۷	۲۱/۹
شماره ۵۰ (۰/۳ میلیمتر)		۱۲-۲۵	± ۴	۲۰/۷	۱۵
شماره ۱۰۰ (۰/۱۵ میلیمتر)		۷-۱۸	± ۳	۱۴/۷	۱۰
شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)		۵-۱۵	± ۲	۱۱/۷	۷/۸
مشخصه		استاندارد	حدود مشخصات	نتیجه	
افت وزنی در مقابل سایش به روش لس‌آنجلس (درصد)		ASTM C131	< ۳۰	۲۲	۱۶
افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (درصد)		ASTM C88	< ۱۵	۰/۷	۱/۳
ارزش ماسه‌ای (درصد)		ASTM D2419	> ۶۵	۸۳	۶۷

مقدار فیلر، حداکثر ۳ درصد وزنی مصالح سنگی خشک را شامل می‌شود. استفاده از فیلر موجب افزایش کارپذیری و تنظیم زمان گیرش مخلوط می‌شود و عمل‌آوری آن را در زمان کوتاه‌تری میسر می‌سازد. استفاده از فیلر معدنی دو هدف اصلی دارد: الف) کاهش جداشدگی دانه‌ها و ب)

۲-۲- مشخصات فیلر معدنی

فیلرهای معدنی نظیر سیمان، آهک شکفته، پودر سنگ‌های آهکی یا هر نوع فیلر دیگری که مشخصات ذکرشده برای فیلر مصرفی در آسفالت گرم را داشته باشد را می‌توان در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ مصرف کرد.

ترجیح دارد زیرا دمای بالا سبب خرابی برخی لاتکسها می گردد [۲، ۸]. حداقل میزان لاتکس مصرفی باید بر مبنای وزن قیر مصرفی تعیین گردد. حداقل وزن خشک لاتکس (وزن پلیمر) باید سه درصد وزن قیر باقیمانده امولسیون باشد [۴]. افزایش پلیمر سبب افزایش سختی مخلوط می گردد و حساسیت دمایی آن را بهبود می بخشد. سختی بیشتر سبب بهبود مقاومت به شیارشدگی می شود و این امکان را فراهم می سازد که قیر پایه نرم تری به منظور دستیابی به خصوصیات دمای پایین بهتر، مورد استفاده قرار گیرد [۹]. لاتکسهای مصرفی در این پروژه شامل دو لاتکس، برای مصالح A و مصالح B به ترتیب با پسماندهای ۳۰ درصد و ۵۰ درصد مواد جامد، در نظر گرفته شد. مشخصات قیر امولسیونی اصلاح شده با لاتکسهای A و B به ترتیب به مقدار ۵ درصد و ۳ درصد در جدول ۲ ارائه شده است.

افزایش سرعت گیرش [۴]. سازگاری فیلر انتخاب شده با امولسیون مصرفی باید کنترل شود تا چسبندگی پایدار و بادوام بین قیر و سنگدانهها تأمین گردد. در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ ۲ به عنوان فیلر معدنی استفاده شده است.

۲-۳- مشخصات قیر امولسیونی اصلاح شده با پلیمر

قیر امولسیون باید از نوع دیرشکن اصلاح شده با پلیمر باشد و با مشخصات قیرآبه کاتیونیک CSS-1h آئین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران انطباق داشته باشد [۶]. شایان ذکر است دستورالعمل ISSA در بازنگری سال ۲۰۱۰ استفاده از قیر CQS-1h را الزام نموده است [۴]. قیر باقیمانده قیر امولسیونی میکروسرفیسینگ معمولاً بین ۵/۵ تا ۱۰/۵ درصد وزنی مصالح سنگی خشک می باشد [۷]. قیر امولسیون استفاده شده در این پژوهش از نوع CQS است.

لاتکس مصرفی را می توان با قیر پایه و یا فاز آبی، قبل از شروع فرآیند تولید امولسیون مخلوط کرد. روش دوم

جدول ۲- مشخصات قیر امولسیونی اصلاح شده با لاتکس به همراه حدود مشخصات مربوطه بر اساس ISSA [۴]

آزمایش		روش استاندارد	نتیجه		حدود مشخصات	
			لاتکس A	لاتکس B	حداقل	حداکثر
قیر امولسیونی						
بار ذره‌ای		ASTM D7402	مثبت		مثبت	
دانه بندی (الک) (%)		ASTM D6933	۰/۰۵	۰/۰۳۶	-	۰/۱
کندروانی سیپولت- فیورل در دمای °C ۲۵ (ثانیه)		ASTM D7496	۲۴	۲۴	۲۰	۱۰۰
پایداری در برابر ته نشینی در ۲۴ ساعت (%)		ASTM D6930	۰/۶	۰/۷	-	۱
مقدار قیر پسماند از تقطیر (%)		ASTM D6997	۶۳/۴	۶۳	۶۲	-
درجه حلالیت در تری کلرو اتیلن (%)		ASTM D2042	۹۹/۸۵	۹۹/۷۶	۹۷/۵	-
قیر پسماند حاصل از تقطیر در خلأ (طبق ASTM D7403)						
نقطه نرمی (درجه سانتیگراد)		ASTM D36	۶۶	۵۹/۴	۵۷	-
درجه نفوذ (۰/۱ میلیمتر)		ASTM D5	۵۷	۷۵	۴۰	۹۰
کشش‌پذیری (سانتیمتر)		ASTM D113	۴۳	۶۰	۴۰	-

شد. برای ساخت مخلوطها از آب آشامیدنی شهری استفاده شد. نسبت اختلاط بهینه مخلوطها به شرح زیر بدست آمد.

۲-۴- مشخصات ساخت نمونه های میکروسرفیسینگ

طرح اختلاط مخلوطهای میکروسرفیسینگ A (شامل مصالح و لاتکس A) و B (شامل مصالح و لاتکس B) تهیه

- مخلوط A: ۳٪ سیمان، ۵٪ لاتکس، ۱۱/۵٪ قیر
امولسیون اصلاح‌شده و ۶/۵٪ آب
نتایج آزمایش‌های طرح اختلاط مخلوط‌های فوق در جدول ۳ ارائه شده است.

- مخلوط B: ۰/۵٪ سیمان، ۳٪ لاتکس، ۱۰/۵٪ قیر
امولسیون اصلاح‌شده و ۱۰٪ آب

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های طرح اختلاط مخلوط‌های مورد مطالعه به همراه حدود مشخصات مربوطه بر اساس ISSA [۴]

نتیجه	استاندارد	حدود مشخصات	مشخصه / آزمایش	
			مخلوط A	مخلوط B
۱۲۰	ISSA TB113	حداقل ۱۲۰ ثانیه	۱۸۰	۱۲۰
۱۳/۳	ISSA TB139	حداقل ۱۲ کیلوگرم سانتیمتر	۱۲	۱۳/۳
۲۰/۲	ISSA TB139	حداقل ۲۰ کیلوگرم سانتیمتر	۲۰	۲۰/۲
۴۳۰/۸	ISSA TB109	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع	۳۳۲	۴۳۰/۸
۴۲۰/۱	ISSA TB100	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع	۳۸۲	۴۲۰/۱
۷۴۲	ISSA TB100	حداکثر ۸۰۷ گرم بر مترمربع	۳۷۵	۷۴۲
۱۱	ISSA TB144	حداقل ۱۱ رتبه	۱۲	۱۱

۳- آزمایش‌ها

شستشوی مخلوط آسفالتی پیشنهاد شده است. از این رو، درصد قیر نمونه‌ها با حلال تری‌کلرواتیلن نیز تعیین شد.

۳-۱- آزمایش اکستراکشن مخلوط آسفالتی

پس از شستشو با حلال، مقدار مصالح ریزدانه عبوری از فیلتر و وارد شده به حلال تعیین می‌شود. این کار به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که رایج‌ترین آن‌ها، روش تعیین خاکستر درون پیاله تبخیر است. در این روش، مقدار محلول جمع‌آوری شده از شستشوی نمونه اندازه‌گیری می‌شود. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول را درون پیاله ریخته، با قرار دادن آن بر روی گرم‌کن، حلال آن به آرامی تبخیر می‌شود. سپس پیاله در داخل کوره با دمای ۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا مواد قیری آن سوزانده شده و مقدار خاکستر باقیمانده درون آن تعیین گردد. به این ترتیب مقدار ریزدانه موجود در کل محلول جمع‌آوری و تعیین و در محاسبات تعیین درصد قیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار قیر مخلوط آسفالتی از تفاوت جرم مصالح سنگی و مواد ریزدانه باقیمانده از آزمایش و جرم اولیه نمونه آسفالتی محاسبه می‌گردد [۳].

مخلوط‌های میکروسرفیسینگ با ویژگی‌های بند قبل تهیه شد. به منظور نجسبیدن مخلوط به ظرف و افزایش دقت نتایج، نمونه‌ها در سینی‌های سیلیکونی قالب‌گیری شدند. همچنین به منظور اطمینان از تبخیر آب موجود در مخلوط و گیرش کامل آن، نمونه‌ها پس از قالب‌گیری، یک ساعت در دمای محیط و سپس ۲۴ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از خارج کردن نمونه‌ها از آون و رسیدن به دمای محیط، درصد قیر آن‌ها مطابق روش استاندارد ASTM D2172 به روش اکستراکشن و شستشو با حلال بنزین تعیین شد [۳]. به دلیل ارزان‌قیمت و در دسترس بودن بنزین در کشور، در این تحقیق از این حلال برای انجام آزمایش‌های مقایسه‌ای استفاده شد تا در صورت مطلوب بودن نتایج، بتوان از آن در پروژه‌ها استفاده کرد. در استاندارد مذکور، استفاده از حلال‌های شیمیایی دیگر نظیر کربنات آمونیوم، متیلن کلرید، پروپیل پرومید نرمال و تری‌کلرواتیلن برای

۳-۲- آزمایش تعیین درصد قیر به روش سوزاندن

آزمایش تعیین درصد قیر مخلوط‌های میکروسرفیسینگ به روش سوزاندن در کوره مطابق استاندارد ASTM D6307 انجام شد [۱۰]. از این آزمایش برای تعیین درصد قیر مخلوط‌های آسفالتی از طریق سوزاندن قیر مخلوط، در درون یک کوره استفاده می‌شود. مصالح سنگی حاصل از این آزمایش برای انجام آزمایش دانه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. مصالح سنگی مختلف در اثر سوختن افت جرمی متفاوتی دارند، لذا نتایج تحت تأثیر نوع مصالح سنگی مخلوط آسفالتی قرار می‌گیرد. به همین دلیل از جنس مختلف سنگدانه در این پژوهش استفاده شد. وجود افزودنی نیز می‌تواند بر نتایج اثرگذار باشد. بنابراین به منظور بهینه‌سازی دقت آزمایش، برای هر یک از مخلوط‌های A و B، یک ضریب کالیبراسیون با انجام آزمایش بر روی نمونه‌های میکروسرفیسینگ تهیه شده در آزمایشگاه بدست آمد [۱۰].

۳-۳- آزمایش دانه‌بندی

آزمایش تعیین دانه‌بندی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ مورد مطالعه به روش استاندارد AASHTO T30 انجام شد [۱۱]. هدف این استاندارد، تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه استخراج شده از مخلوط آسفالتی با استفاده از الک‌هایی با چشمه‌های چهارگوش است.

۴- نتایج آزمایش

۴-۱- دانه‌بندی

مخلوط‌های میکروسرفیسینگ را مطابق طرح اختلاط ساخته و آزمایش‌های اکستراکشن، سوزاندن در کوره و دانه‌بندی مطابق بند قبل بر روی آن‌ها انجام شد. از آنجا که دانه‌بندی بدست آمده از آزمایش‌های فوق حاوی فیلر معدنی (سیمان) نیز می‌باشد، بنابراین دانه‌بندی فوق

می‌بایست با دانه‌بندی کارگاهی مصالح سنگی (جدول ۱) به همراه فیلر مقایسه شود. نتایج بدست آمده در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این جدول می‌توان دریافت که تمامی روش‌های مورد استفاده از دقت قابل قبولی در تعیین دانه‌بندی برخوردارند، به طوریکه تغییر نوع حلال در آزمایش اکستراکشن و یا استفاده از روش سوزاندن در کوره به جای روش اکستراکشن تأثیر چندانی در دانه‌بندی حاصله ندارد.

۴-۲- درصد قیر

برای آزمایش تعیین درصد قیر، نمونه‌های میکروسرفیسینگ مطابق طرح اختلاط و با مقادیر لاتکس صفر، دو، چهار و شش درصد (و با ثابت نگه‌داشتن سایر نسبت‌ها) ساخته شد و آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره به منظور تعیین درصد قیر مخلوط بر روی آن‌ها انجام شد. لازم به ذکر است که تغییر درصد لاتکس نسبت به مقدار بدست آمده از طرح اختلاط با هدف بررسی تأثیر مقدار لاتکس بر نتایج آزمایش تعیین درصد قیر انجام پذیرفت. نمونه‌های ساخته شده برای مخلوط A، به ترتیب A0، A2، A4، A6 و برای مخلوط B، به ترتیب B0، B2، B4، B6 نامگذاری شدند که عدد جلوی هر حرف نشان‌دهنده درصد لاتکس آن مخلوط است.

جدول ۴- نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی حاصل از اکستراکشن و سوزاندن در کوره مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

دانه‌بندی مخلوط A				دانه‌بندی مخلوط B				اندازه الک
روش اکستراکشن (تری کلرواتیلن)	روش اکستراکشن (بنزین)	روش کوره سوزاندن	سنگی به همراه فیلر	روش اکستراکشن (تری کلرواتیلن)	روش اکستراکشن (بنزین)	روش کوره سوزاندن	سنگی به همراه فیلر	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۸ اینچ (۹/۵ میلیمتر)
۹۱	۹۱	۹۱	۹۱	۸۸/۷	۸۸/۷	۸۸/۷	۸۸/۷	شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر)
۶۱/۹	۶۱/۹	۶۱/۹	۶۱/۹	۵۲	۵۲	۵۲	۵۲	شماره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر)
۴۲/۲	۴۲/۲	۴۲	۴۱/۵	۳۱	۳۲	۳۱/۹	۳۱/۶	شماره ۱۶ (۱/۱۸ میلیمتر)
۲۸/۵	۲۸/۵	۲۸	۲۷/۷	۲۱/۸	۲۲/۴	۲۲/۲	۲۱/۹	شماره ۳۰ (۰/۶ میلیمتر)
۳۳/۴	۳۳/۴	۳۲/۶	۳۰/۷	۱۷	۱۷/۴	۱۷/۵	۱۵	شماره ۵۰ (۰/۳ میلیمتر)
۱۹	۱۹	۱۹/۴	۱۷/۷	۱۳	۱۴/۳	۱۴/۲	۱۲	شماره ۱۰۰ (۰/۱۵ میلیمتر)
۱۶	۱۶/۴	۱۵/۶	۱۴/۵	۱۱/۶	۱۰/۵	۱۰/۷	۹/۶	شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)

باقیمانده قیر کاهش یافته و در نتیجه درصد قیر خالص در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ A کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در قیر B، با افزایش درصد لاتکس، مقدار باقیمانده قیر و درصد قیر در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ افزایش می‌یابد. تفاوت فوق را می‌توان به تفاوت در مقدار مواد جامد لاتکس‌های A و B مربوط دانست.

جدول ۵- مقادیر درصد باقیمانده قیر امولسیون حاصل از تبخیر به همراه درصد قیر خالص مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

نام قیر	پسماند قیر (به درصد)	درصد قیر خالص محاسبه شده
A0	۶۵/۰۸	۷/۴۸
A2	۶۳/۳۸	۷/۲۹
A4	۶۱/۹۸	۷/۱۳
A6	۶۱/۱۰	۷/۰۳
B0	۶۱/۶۸	۶/۴۸
B2	۶۱/۹۱	۶/۵۰
B4	۶۲/۱۷	۶/۵۳
B6	۶۲/۴۰	۶/۵۵

با بدست آوردن درصد قیر خالص مخلوط‌های میکروسرفیسینگ می‌توان درصد قیر بدست آمده از

به منظور بررسی دقت روش‌های آزمایش اکستراکشن و سوزاندن در کوره در تخمین درصد قیر مخلوط‌های میکروسرفیسینگ، ابتدا درصد قیر خالص مخلوط‌های فوق از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$AC = EAC \times PR \quad (۱)$$

در این رابطه:

AC - درصد قیر خالص مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

PR - درصد باقیمانده قیر امولسیون حاصل از تبخیر

مطابق استاندارد ASTM D7497 [۱۲]

EAC - درصد قیر امولسیون مورد استفاده در مخلوط میکروسرفیسینگ بدست آمده از طرح اختلاط (۱۱/۵٪) برای مخلوط A و ۱۰/۵٪ برای مخلوط B)

جدول ۵ مقادیر درصد باقیمانده قیر امولسیون حاصل از تبخیر (PR) به همراه درصد قیر خالص مخلوط‌های میکروسرفیسینگ (AC) را ارائه می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در قیر A، با افزایش درصد لاتکس، مقدار

آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره را با آن فوق را نشان می‌دهد. مقایسه کرد. جدول ۶ درصد قیر حاصل از دو آزمایش

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره به منظور تعیین درصد قیر مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

نام قیر	درصد قیر بدست آمده از روش‌های مختلف		
	اکستراکشن (تری کلرواتیلن)	اکستراکشن (بنزین)	سوزاندن کوره
A0	۶/۹۵	۶/۸۴	۷/۴۷
A2	۶/۸۲	۶/۶۳	۷/۳۷
A4	۶/۶۵	۶/۴۵	۷/۰۹
A6	۶/۵۷	۶/۲۳	۶/۹۹
B0	۵/۹۶	۵/۸۳	۶/۴۶
B2	۶/۰۲	۵/۸۴	۶/۴۷
B4	۶/۰۶	۵/۸۶	۶/۵۱
B6	۶/۰۹	۵/۸۵	۶/۵۱

تعیین ضریب کالیبراسیون برای هر مخلوط آسفالتی قبل از انجام آزمایش سوزاندن در کوره، پراکندگی نتایج این آزمایش به دقت تجهیزات مورد استفاده و همچنین عملکرد شخص آزمایش کننده بستگی دارد. به این معنی که با تکرار آزمایش به دفعات مختلف و معدل‌گیری از نتایج می‌توان خطای اندازه‌گیری درصد قیر را به حداقل رسانید. در صورتی‌که در آزمایش تعیین درصد قیر به روش اکستراکشن، پراکندگی نتایج به عوامل دیگری از شرایط انجام آزمایش بستگی دارد. به عبارت دیگر، دقت نتایج این آزمایش به قابلیت حلال مورد استفاده در شستن و برداشتن قیر جذب شده از درون حفرات مصالح سنگی بستگی دارد که با توجه به مشخصات و تخلخل مصالح سنگی مصرفی در مخلوط آسفالتی تغییر می‌کند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی نتایج این آزمایش بیشتر از پراکندگی نتایج آزمایش سوزاندن در کوره است.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که درصد قیر میکروسرفیسینگ را می‌توان به کمک آزمایش سوزاندن در کوره به صورت دقیق تعیین کرد. بنابراین اکیداً توصیه می‌شود از این روش برای تعیین درصد قیر

اختلاف درصد قیر بدست آمده از آزمایش‌های فوق (جدول ۶) با مقادیر محاسبه شده (جدول ۵) به همراه نتایج آماری در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج دو آزمایش اکستراکشن و سوزاندن در کوره نشان می‌دهند که در هر دو مخلوط A و B، آزمایش سوزاندن در کوره از دقت بسیار بهتری در تعیین درصد قیر مخلوط میکروسرفیسینگ برخوردار است. همچنین می‌توان دریافت که نوع حلال در کاهش خطای آزمایش اکستراکشن بسیار مؤثر است، به طوری که استفاده از حلال تری کلرواتیلن به جای بنزین موجب افزایش دقت تعیین درصد قیر می‌شود. مقایسه نتایج هر کدام از آزمایش‌ها در درصدهای مختلف لاتکس نشان می‌دهد که در هر دو مخلوط A و B، مقدار لاتکس تأثیر چندانی بر روی خطای آزمایش ندارد.

بررسی مقادیر انحراف معیار هر کدام از آزمایش‌های فوق نشان می‌دهد که در هر دو مخلوط A و B، پراکندگی مقادیر درصد قیر حاصل از آزمایش سوزاندن در کوره کمتر از آزمایش تجزیه به روش شستشو با حلال است. علت پراکندگی کم نتایج آزمایش سوزاندن در کوره به ضریب کالیبراسیون آزمایش مربوط می‌گردد. با توجه به

میکروسرفیسینگ در آزمایش‌های کنترل کیفی استفاده شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد در صورتی که در آزمایش اکستراکشن از حلال تری‌کلرواتیلن استفاده شود، درصد قیر میکروسرفیسینگ به طور متوسط $0/48$ کمتر از واقعیت بدست می‌آید و در صورتی که در آزمایش اکستراکشن از حلال بنزین استفاده شود، درصد قیر میکروسرفیسینگ به طور متوسط $0/68$ کمتر از واقعیت تعیین می‌شود. از طرفی حداکثر رواداری مجاز مقدار قیر باقیمانده مخلوط میکروسرفیسینگ در راهنمای مشخصات فنی و اجرایی میکروسرفیسینگ منتشر شده توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، $\pm 1\%$ نسبت به طرح اختلاط تعیین شده است [۱۳]. همچنین لازم به ذکر است که در استاندارد ASTM D2172 مقدار انحراف معیار نتایج آزمایش‌های درون آزمایشگاهی برابر $0/21$ درصد و حداکثر مجاز اختلاف بین دو نتیجه آزمایش از یک نمونه یکسان توسط یک آزمایشگر برابر $0/59$ درصد مشخص شده است. بنابراین ممکن است هنگام تعیین درصد قیر

میکروسرفیسینگ به روش اکستراکشن، خطای مجاز آزمایشگاهی در راستای کمتر نشان دادن مقدار قیر مخلوط میکروسرفیسینگ قرار گیرد و درصد قیر میکروسرفیسینگ خارج از محدوده رواداری مجاز تعیین شود در حالی که در عمل این صحیح نیست. لذا با توجه به اختلاف درصد قیر حاصل از آزمایش اکستراکشن و مقدار واقعی و با توجه به حدود رواداری معرفی شده در راهنمای مشخصات فنی و دقت‌های مندرج در استاندارد آزمایش اکستراکشن، اتکا به نتایج یک‌بار انجام این آزمایش رویه نادرستی است. به نظر می‌رسد بایستی تدابیر لازم در خصوص درج روش انجام آزمایش تعیین درصد قیر مخلوط میکروسرفیسینگ و تفسیر آن در مشخصات فنی خصوصی پروژه‌ها به عمل آید تا از کم‌قیر نشان داده شدن میکروسرفیسینگ و یا قیرزدگی آن (بر اثر افزایش درصد قیر) پیشگیری شود و بتوان به یک مخلوط میکروسرفیسینگ با کیفیت مطلوب دست یافت.

جدول ۷- اختلاف درصد قیر بدست آمده و درصد قیر محاسبه شده به همراه نتایج آماری

نام قیر	اختلاف درصد قیر بدست آمده از مقدار محاسبه شده		
	روش اکستراکشن (بنزین)	روش اکستراکشن (تری‌کلرواتیلن)	روش سوزاندن کوره
A0	$0/64$	$0/53$	$0/02$
A2	$0/66$	$0/47$	$0/01$
A4	$0/68$	$0/48$	$0/04$
A6	$0/79$	$0/45$	$0/04$
میانگین مخلوط‌های A	$0/69$	$0/48$	$0/03$
انحراف معیار مخلوط‌های A	$0/06$	$0/03$	$0/01$
B0	$0/65$	$0/52$	$0/01$
B2	$0/66$	$0/48$	$0/03$
B4	$0/67$	$0/47$	$0/02$
B6	$0/70$	$0/46$	$0/03$
میانگین مخلوط‌های B	$0/67$	$0/48$	$0/02$
انحراف معیار مخلوط‌های B	$0/02$	$0/02$	$0/01$

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بررسی و مطالعه منابع موجود و انجام آزمایش‌های اکستراکشن و سوزاندن در کوره به منظور تعیین دانه‌بندی و درصد قیر مخلوط‌های میکروسرفیسینگ تهیه‌شده با دو نوع مصالح، دو نوع لاتکس و درصد‌های مختلف لاتکس، به نتایج زیر منتهی شد:

- تمامی روش‌های مورد استفاده از دقت قابل قبولی در تعیین دانه‌بندی برخوردارند، به طوری که تغییر نوع حلال در آزمایش اکستراکشن و یا استفاده از روش سوزاندن در کوره به جای روش اکستراکشن تأثیر چندانی در دانه‌بندی بدست آمده ندارد.
- آزمایش سوزاندن در کوره از دقت بسیار بهتری در تعیین درصد قیر مخلوط میکروسرفیسینگ برخوردار است.
- نوع حلال در خطا و نتیجه آزمایش اکستراکشن بسیار مؤثر است، استفاده از حلال تری‌کلرواتیلن به جای بنزین موجب افزایش دقت تعیین درصد قیر می‌شود.
- نوع و مقدار لاتکس تأثیر چندانی بر خطای آزمایش‌های مورد مطالعه ندارد.
- پراکندگی مقادیر درصد قیر حاصل از آزمایش سوزاندن در کوره کمتر از آزمایش اکستراکشن است.
- پراکندگی نتایج آزمایش سوزاندن در کوره به دقت تجهیزات مورد استفاده و عملکرد شخص آزمایش‌کننده بستگی دارد. لذا با تکرار آزمایش به دفعات مختلف می‌توان دقت نتایج را به حداکثر رسانید.
- دقت نتایج آزمایش اکستراکشن به قابلیت حلال مورد استفاده در شستن و برداشتن قیر جذب شده از درون حفرات مصالح سنگی بستگی دارد.
- با توجه به اختلاف بین درصد قیر حاصل از آزمایش اکستراکشن و مقدار واقعی و نیز با توجه به حدود رواداری معرفی شده در راهنمای مشخصات فنی و اجرایی

میکروسرفیسینگ منتشر شده توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و دقت‌های مندرج در استاندارد آزمایش اکستراکشن، توصیه می‌شود به منظور کنترل کیفیت بهتر میکروسرفیسینگ در پروژه‌ها، چندین نمونه میکروسرفیسینگ مورد آزمایش قرار گیرد و مقادیر میانگین اختلاف آن به عنوان ضریب کالیبراسیون در اختیار مجری و کارفرما قرار داده شود.

۶- مراجع

- [1] Smith, R. E., Beatty, C. K., Button, J. W., Stacy, S. E., and Andrews, E. M. (1994). Use of micro-surfacing in highway pavements. Technical Rep. No. FHWA A/TX-95/1289-2F, Federal highway Administration, DOT, Washington, D.C.
- [2] Gransberg, D. D. (2010). NCHRP Synthesis 411: Microsurfacing; a synthesis of highway practices. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.
- [3] ASTM D2172, (2005). "Standard test Methods for quantitative extraction of bitumen from bituminous paving mixtures", ASTM Standard.
- [4] International Slurry Surfacing Association. (2010). A143-"Recommended performance guideline for micro surfacing.", ISSA.
- [5] Labi, S., Lamptey, G., & Kong, S. H. (2007). Effectiveness of microsurfacing treatments. Journal of transportation engineering, 133(5), 298-307.
- [6] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، «آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳۴)»، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ایران، ۱۳۹۰.
- [7] Raza, H. (1994). State of the practice: design, construction, and performance of microsurfacing. Technical Rep. No. FHWA-SA-94-051, Federal highway Administration, DOT, Washington, D.C.
- [8] Shatnawi, S. (2008). Maintenance technical advisory guide; volume I: flexible pavement preservation. California Department of Transportation, Sacramento (CA).
- [9] Johnston, J. B., and King, G. (2008). Using polymer modified asphalt emulsions in surface treatments. Federal Lands Highway Interim Report.

- [10] ASTM D6307, (2010). "Standard test method for asphalt content of hot-mix asphalt by ignition method", ASTM Standard.
- [11] AASHTO T30, (2012). "Standard method of test for mechanical analysis of extracted aggregate", AASHTO Standard.
- [12] ASTM D7497, (2009). "Standard practice for recovering residue from emulsified asphalt using low temperature evaporative technique", ASTM Standard.

[۱۳] سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، «راهنمای

مشخصات فنی و اجرایی میکروسرفیسینگ»، انتشارات

مشق شب، تهران، ایران، ۱۳۹۵.