Archive of SID

بررسی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از خرده آسفالت بر ویژگی های مخلوط میکروسرفیسینگ

مصطفی پورسلطانی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، مازندران
سعید حسامی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، مازندران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: poursoltani.n@hotmail.com

دریافت: ۹۶/۱۱/۲۰- پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۰
صفحه۲۴۷-۲۳۷

چکیده

مسائل زیست محیطی تولید تراشه‌ی آسفالت و تلاش برای حفظ معادن طبیعی، از جمله عوامل اصلی استفاده از خرده آسفالت هستند. علاوه بر آن خواص سنگدانه‌های خرده آسفالت می تواند برخی از ویژگی های مخلوط های آسفالتی را بهبود بخشد. از آن جایی که این مواد در عملیات ترمیم و یا نوسازی روسازی راه تولید می شوند، بهتر آن است که در همان عملیات نیز مصرف گردند. یکی از بهترین روش های ترمیم و نگهداری راه، استفاده از مخلوط میکروسرفیسینگ است که برای حفاظت پیشگیرانه از روسازی موجود به کار می رود. از این رو استفاده از خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ می‌تواند موجب توسعه ی کاربرد این روش گردد. در این پژوهش ابتدا ترکیب مناسب اختلاط مصالح برای نمونه‌های حاوی ۹۵، ۶۹ و ۴۳ درصد خرده آسفالت و نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه تعیین و سپس آزمایشات طراحی اولیه ی مخلوط میکروسرفیسینگ روی آن ها انجام شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که نمونه‌های حاوی خرده آسفالت، گرچه معیار های آیین نامه را براورده می نمایند اما در مقایسه با نمونه‌های حاوی سنگدانه ی تازه، نیاز به اندکی قیر بیشتر برای به دست آوردن بهم پیوستگی کافی در مدت زمان مشخص شده دارند. با این حال نمونه‌های حاوی مقادیر بیشتر خرده آسفالت، نیاز به مقادیر کمتر افزودنی برای افزایش کارایی و زمان اختلاط مخلوط داشته اند که این موضوع کاملا افزایش مقدار قیر مورد نیاز را توجیه می‌کند. هم چنین اندود بودن مصالح خرده آسفالت از عریان شدگی این مصالح در مجاورت آب جلوگیری کرده است. از میان نمونه های حاوی خرده آسفالت، نمونه ی دارای ۶۹ درصد خرده آسفالت عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: افزودنی، خرده آسفالت، قیر امولسیون، محیط زیست، مخلوط میکروسرفیسینگ

۱-مقدمه

سالانه میلیون‌ها متر مربع روسازی آسفالتی در جهان به اجرا در می آید. با گذشت زمان این روسازی‌ها فرسوده شده و دیگر قابل استفاده‌کردن نیستند. در بعضی موارد روسازی جدید، مستقیما بر روی روسازی قدیمی اجرا می‌شود. تکرار این عمل باعث افزایش رقوم ارتفاعی سطح راه شده و مشکلاتی را چه برای خیابان های شهری و چه برای جاده‌ها ایجاد می‌کند. بنابراین راه حل موجود برداشت روسازی قدیمی با تراشیدن سطح آسفالت و سپس اجرای روسازی جدید است. این کار باعث تولید سالانه مقدار قابل توجهی خرده آسفالت می‌شود که یا برای استفاده‌ی مجدد در صنعت راهسازی جمع‌آوری شده و یا در کنار جاده‌ها رها می‌شوند. بنابر گزارشی در کشور آمریکا سالانه حدود ۴۵ میلیون تن خرده آسفالت تولید می‌گردد (Kassim and Williamson, 2005)؛ که از این مقدار حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد یا در بازیافت

www.SID.ir

Archive of SID

گرم یا سردِ آسفالت، مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا به‌عنوان مصالح سنگی در اساس راه‌ها و یا برای تثبیت آن به‌کار می‌روند (Bloomquist, et al., 1993. Bleakley and Cosentino, 2013. Carvalho, et al., 2010). از این رو، مصالح خرده آسفالت که طی یک پروسه‌ی تعمیر و نگهداری روسازی های آسفالتی قدیمی تولید می‌شوند می‌توانند در همان پروسه، به عنوان بخشی از مصالح مورد نیاز به مصرف برسند. مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه ی خرده آسفالت در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که گرایش به استفاده‌ی مجدد از خرده آسفالت در راه‌سازی افزایش یافته است (Mhlongo, et al., 2014. Smith, 2011). قابلیت باربری، مزیت اقتصادی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و حفظ منابع طبیعی ازجمله عوامل مشوق برای بازیافت آسفالت به شمار می‌رود (Dhananjay, et al., 2016a. McDaniel and Anderson, 2001). استفاده از ۲۰ تا ۵۰ درصد خرده آسفالت در مخلوط‌های آسفالت گرم، صرفه‌جویی بین ١٤ تا ٣٤ درصد را در رابطه با هزینه‌ی تهیه‌ی مصالح، به دنبال داشته است (Kandhal and Mallick, 1997). هم چنین برخی از محققان در مورد روسازی‌های آسفالتی حاوی مواد خرده آسفالت به این نتیجه رسیده‌اند که فرایند پیرشدگی در این روسازی‌ها در مقایسه با روسازی‌های بدون مواد خرده آسفالت با سرعت کمتری به جریان می‌افتد (Dhananjay, et al., 2016a). از طرفی گستردگی شبکه ی راه های موجود کشور و کمبود سرمایه ی لازم برای نوسازی آن نیاز به توسعه‌ی روش‌های ترمیم و نگهداری روسازی‌های موجود را طلب می‌کند. افزایش سطح دانش در این زمینه یعنی روش‌های نوین ترمیم و نگهداری روسازی مانند استفاده از آسفالت‌های حفاظتی و به ویژه میکروسرفیسینگ و هم چنین کسب مهارت کافی در عملیات اجرای آن ها کمک بسزایی به موفقیت آمیز بودن این روش ها و در نتیجه توسعه ی آن ها می نماید. حال بکار گیری خرده آسفالت به جای مصالح سنگی تازه و یا به عنوان بخشی از آن در طرح اختلاط روش‌های مذکور می تواند کمک بیشتری به توسعه‌ی این روش‌ها نماید. برای مثال میکروسرفیسینگ برای روسازی‌های دارای فرسودگی نسبتا شدید رویه توصیه نمی‌شود اما اگر این روسازی از لحاظ سازه‌ای سالم باشد می‌توان با تراش سطحی رویه‌ی فرسوده (تا حد ۲ سانتی متر) یک سطح مناسب برای اجرای میکروسرفیسینگ به وجود آورد و بدون نیاز به پیدا کردن معدن مناسب مصالح سنگی و حمل مصالح به محل پروژه، اقدام به اجرای میکروسرفیسینگ با خرده آسفالت تولید شده نمود (Poursoltani, et al., 2017). بکار گیری خرده آسفالت باعث جلوگیری از آلودگی محیط زیست شده و با کاهش نیاز به سنگدانه‌ی تازه، منابع و معادن طبیعی را هر چه بیشتر حفظ می‌کند؛ می‌تواند باعث کاهش هزینه شده و حتی با توجه به ویژگی های خاص خود مزایای قابل توجهی را به همراه بیاورد. در این مقاله منظور از آیین نامه (در مواردی که صراحتا بیان نشده است) راهنمای طراحی و اجرای میکروسرفیسینگ انجمن بین المللی اسلاری سیل (ISSA. 2010) و آیین نامه ی روسازی آسفالتی راه های ایران (نشریه ٢٣٤) است.

۲- پیشینه تحقیق

استفاده از خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ در سال های اخیر مورد بررسی عده ای از محققین قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعات کمی متفاوت از یکدیگر می‌باشد. در یکی از این مطالعات، استفاده‌ی ۱۰۰ درصدی خرده آسفالت در عوض سنگ‌دانه‌ی تازه در مخلوط میکروسرفیسینگ، تمامی معیارهای آیین‌نامه را برآورده کرده است (Robati, Carter and Perraton, 2013). اما در نمونه ای دیگر این کار یعنی به‌کارگیری ۱۰۰ درصد خرده آسفالت در عوضِ سنگ‌دانه‌ی تازه در مخلوط میکروسرفیسینگ، نتوانسته است تعدادی از معیارهای آیین نامه را برآورده نماید (Garfa, Dony and Carter, 2016). مطالعه‌ای دیگر نیز استفاده‌ی ۳۰ درصد خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ را موفقیت آمیز گزارش کرده است (Jiang, 2015). اگرچه در این مطالعه، نتایج مربوط به چسبندگی نمونه ها در حد مطلوب نیستند. این موضوع یعنی، عمل آوری قابل قبول نمونه ها، می تواند به نوع و دانه‌بندی مصالح خرده آسفالت، نوع و درصد قیر امولسیون و ترکیب‌های مختلف آن‌ها با مواد معدنی، افزودنی و آب به‌کاررفته در مخلوط بستگی داشته باشد. برای بهتر مشخص شدن تأثیر هر یک از عوامل بایستی مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود. در پژوهش گذشته‌ی نویسنده، استفاده از نزدیک به ۱۰۰ درصد خرده آسفالت به عنوان مصالح سنگی

www.SID.ir

Archive of SID

(۹۵ درصد خرده آسفالت و ۵ درصد پودر سنگ) در طرح مخلوط میکروسرفیسینگ توانست معیارهای آیین نامه را برای آزمایشات عملکردی اولیه‌ی مخلوط برآورده نماید (Poursoltani and Hesami, 2017). در پژوهش حاضر نیز پس از ایجاد تغییراتی در طرح اختلاط، آزمایشات عملکردی اولیه‌ی مخلوط میکروسرفیسینگ برای نمونه‌های حاوی مقادیر ۹۵، ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت و همچنین نمونه های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه انجام گرفته است. هدف از این کار، ارزیابی تاثیر استفاده از مقادیر مختلف خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ و تعیین مقدار برتر می‌باشد. در این پژوهش طرح اختلاط مصالح شامل ترکیبی از مصالح سنگی، درصدهای مختلف قیر امولسیون، آب و افزودنی می باشد. از آن جایی که این پژوهش بر پایه‌ی یک تلاش محیط زیستی قرار دارد سعی شده است تا از سیمان و دیگر فیلرهای معدنی فعال در طرح اختلاط استفاده نشود.

۳- مواد و مصالح

۳-۱- مصالح سنگی

در این پژوهش مصالح خرده آسفالت از دو دپوی خرده آسفالت با منشا مصالح سنگی یکسان برداشت شده اند. این مصالح پس از برداشت، دانه‌بندی و مطابق با حدود آیین نامه (نوع ۳) با هم ترکیب شدند. به دلیل کافی نبودن فیلر موجود در مصالح خرده آسفالت، ۵ درصد پودر سنگ به آن‌ها اضافه گردیده است. مصالح خرده آسفالت دارای نزدیک به ۵٪ قیر خالص هستند. مصالح سنگی تازه هم از محل تولید سنگدانه‌های خرده آسفالت جدید (کارخانه آسفالت مسیر یاب بیرجند) تهیه و برای عدم دخالت تاثیر دانه‌بندی مصالح در نتایج آزمایش، مطابق با دانه بندی مصالح خرده آسفالت با هم ترکیب شدند. برای بهم نریختن دانه بندی، هر کدام از مصالح به دو قسمت درشت دانه (مصالح تقریبا بزرگتر از۱,۱۸ میلی‌متر) و ریز دانه (مصالح تقریبا کوچکتر از ۱,۱۸میلی‌متر) تقسیم شدند. جنس مصالح سنگی مورد استفاده (خرده آسفالت و سنگدانه ی تازه) سیلیسی می‌باشد. ارزش ماسه‌ای برای مصالح حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت ۸۵ و برای مصالح حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه ۷۹ می‌باشد.

مصالح سنگی حاوی ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت هم با استفاده از مصالح سنگی مذکور و مطابق با دانه‌بندی مشترک آن‌ها تهیه شده اند، شکل ۱ در دانه بندی مصالح دارای ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت سعی شده است تا سنگدانه‌های درشت از مصالح خرده آسفالت و سنگدانه‌های ریز از مصالح سنگی تازه انتخاب شوند. چرا که تهیه سنگدانه‌ی ریز از مصالح خرده آسفالت به مراتب سخت‌تر از مصالح سنگی تازه است (به دلیل مدفون شدن سنگدانه‌های ریز در پوشش قیر سنگدانه‌های درشت خرده آسفالت). مقادیر استفاده از سنگدانه‌های درشت و ریز مصالح خرده آسفالت و سنگدانه‌ی تازه برای هر کدام از ترکیبات مختلف دانه بندی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. نوع و مقدار مصالح بکار رفته در هر کدام از ترکیب های مصالح سنگی

ترکیب مصالح سنگی	مصالح درشت*		مصالح ریز*	
	خرده آسفالت (٪)	سنگدانه ی تازه (٪)	خرده آسفالت (٪)	سنگدانه ی تازه (٪)
۹۵ درصد خرده آسفالت	٤٦	۰	٤۹	۵
٦۹ درصد خرده آسفالت	٤۲,۵	۰	۲٦,۵	۳۱
٤۳ درصد خرده آسفالت	٤۳	۰	۰	۵۷
۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه	۰	٤۰,۵	۰	۵۹,۵

* مصالح مانده روی الک شماره ی ۱٦ (۱,۱۸میلی‌متر) مصالح درشت و رد شده از آن مصالح ریز در نظر گرفته شده‌اند.

شکل ۱. دانه بندی ترکیب های مختلف مصالح سنگی بر اساس درصد مانده روی هر الک و حد بالا و پایین دانه بندی نوع ۳ آیین نامه

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲- قیر امولسیون

قیر امولسیون مورد استفاده در این پژوهش از نوع CQS-1HP با ۶۳,۹ درصد قیر باقیمانده است که با ۳,۰۶ درصد لاتکس اصلاح شده است. این قیر امولسیون از گروه بهبود صنعت تهیه گردیده است. CQS-1HP نام قیر امولسیون استاندارد مورد استفاده برای طراحی مخلوط میکروسرفیسینگ در صنعت می باشد و توسط راهنمای طراحی و اجرای میکروسرفیسینگ انجمن بین المللی اسلاری سیل توصیه شده است (ISSA, 2010). مشخصات قیر امولسیون مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. مشخصات قیر امولسیون مورد استفاده (بعد از اصلاح با لاتکس) و مطابقت با معیارهای آیین نامه های مربوطه

آزمایش بر روی قیر امولسیون	شماره استاندارد آزمایش	نتیجه ی آزمایش	معیارهای آیین نامه ی ISSA	
			کمینه مقدار قابل قبول	بیشینه مقدار قابل قبول
کندروانی در دمای ۲۵°C، ثانیه	AASHTO T59	۱۸	۱۵	۹۰
الک، ٪	AASHTO T59	۰,۰۲	–	۰,۳
اندود، ٪	AASHTO T59	۹۰	۸۰	–
قیر باقیمانده، ٪	ASTM D7497	۶۳,۹	۶۲	–
نشست بعد ۵ روز، ٪	AASHTO T59	۱	–	۵
بار ذرات	AASHTO T59	مثبت	مثبت	
آزمایش بر روی قیر باقیمانده (به دست آمده از ASTM D7497)				
نقطه نرمی با آزمایش حلقه و گلوله، °C	ASTM D36/D36M-14$^{\varepsilon 1}$	۷۵*	۵۷	–
درجه نفوذ در ۲۵°C، ۰.۱mm	ASTM D5	۶۲,۷*	۴۰	۹۰
قابلیت کشش در دمای ۲۵°C، cm	ASTM D113	+۱۰۰	۵۰	–

*قیر پایه ی مورد استفاده برای امولسیون سازی از نوع ۷۰-۶۰ با نقطه نرمی ۵۴ و درجه نفوذ ۶۵ است.

۳-۳- افزودنی

از آن جایی که قیر های امولسیون زود شکن در ترکیب با مصالح سنگی مختلف معمولا زمان اختلاط مناسب را فراهم نمی کنند از محلول‌هایی برای بالا بردن زمان اختلاط و افزایش کارایی مخلوط استفاده می شود. در این پژوهش نیز از محلولی با نام تجاری ادبیت ۱۰۰ استفاده شده است. این نوع افزودنی برای دماهای بالای ۲۵ درجه ی سانتی گراد مناسب بوده و علاوه بر بالا بردن زمان اختلاط باعث بهبود برخی از خواص مخلوط می شود.

۴- آزمایشات و نتایج

۴-۱ آزمایش زمان اختلاط

اولین آزمایش برای طراحی مخلوط میکروسرفیسینگ آزمایش زمان اختلاط می‌باشد. این آزمایش جهت اطمینان از عدم شکستن زود هنگام مخلوط درون مخلوط کن ماشین میکروسرفیسینگ انجام می‌شود. طبق این آزمایش مدت زمان اختلاط قیر امولسیون پس از اضافه شدن به مصالح، نباید کمتر از ۱۲۰ ثانیه باشد (ISSA TB113, 2017). پس از چند بار سعی و خطا ترکیب مناسب اختلاط برای نمونه‌های دارای ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه و ۹۵ درصد خرده آسفالت به صورت جدول ۳ و برای نمونه های دارای ۶۹ و ۴۳ درصد خرده آسفالت به صورت جدول ۴ تعیین شده است. در این طرح های اختلاط نسبت آب به افزودنی (غلظت محلول افزودنی و آب) برای مخلوط های دارای یک ترکیب مصالح سنگی، یکسان در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. ترکیب مصالح بکار رفته در طرح اختلاط نمونه های دارای ۹۵ درصد خرده آسفالت و ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه و مدت زمان اختلاط

مصالح بکار رفته در مخلوط (بر اساس وزن مصالح سنگی)	نمونه‌های دارای ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه			نمونه‌های دارای ۹۵ درصد خرده آسفالت			
	نمونه ی ۱ – ۱۲,۲۵	نمونه ی ۱ – ۱۳,۲۵	نمونه ی ۱ – ۱٤,۲۵	نمونه ی ۲ – ۱۳,۲۵	نمونه ی ۲ – ۱٤,۲۵	نمونه ی ۲ – ۱۵,۲۵	نمونه ی ۲ – ۱٦,۲۵
مصالح سنگی (٪)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۵-۵*	۹۵-۵	۹۵-۵	۹۵-۵
قیر امولسیون (٪)	۱۲,۲۵	۱۳,۲۵	۱٤,۲۵	۱۳,۲۵	۱٤,۲۵	۱۵,۲۵	۱٦,۲۵
آب (٪)	۱۰,۸۳	۱۰,٤۳	۱۰,۰۳	۱۳,٦۵	۱۳,٦۳	۱۳,٦۰	۱۳,۵۸
افزودنی (٪)	۱,٤۸۸	۱,٤۳۳	۱,۳۷۸	۰,۷٤۸	۰,۷٤۷	۰,۷٤۵	۰,۷٤٤
نسبت آب به افزودنی	۷,۲۸	۷,۲۸	۷,۲۸	۱۸,۲۵	۱۸,۲۵	۱۸,۲۵	۱۸,۲۵
مدت اختلاط (ثانیه)	۱۲٤	۱۲٦	۱۲۷	۱۲٤	۱۲۷	۱۲۷	۱۲۵

* ۹۵ درصد خرده آسفالت و ۵ درصد پودر سنگ

جدول ٤. ترکیب مواد و مصالح بکار رفته در طرح اختلاط نمونه‌های دارای ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت و مدت زمان اختلاط

مصالح بکار رفته در مخلوط (بر اساس وزن مصالح سنگی)	نمونه‌های دارای ٦۹ درصد خرده آسفالت			نمونه‌های دارای ٤۳ درصد خرده آسفالت		
	نمونه‌ی ۳ – ۱۳,۲۵	نمونه‌ی ۳ – ۱٤,۲۵	نمونه‌ی ۳ – ۱۵,۲۵	نمونه‌ی ٤ – ۱۳,۲۵	نمونه‌ی ٤ – ۱٤,۲۵	نمونه‌ی ٤ – ۱۵,۲۵
مصالح سنگی (٪)	٦۹-۳۱**	٦۹-۳۱	٦۹-۳۱	٤۳-۵۷*	٤۳-۵۷	٤۳-۵۷
قیر امولسیون (٪)	۱۳,۲۵	۱٤,۲۵	۱۵,۲۵	۱۳,۲۵	۱٤,۲۵	۱۵,۲۵
آب (٪)	۱۳,٤٤	۱۳,۰۵	۱۲,٦۷	۱۱,٤۷	۱۱,۰۳	۱۰,۵۹
افزودنی (٪)	۱,۰۱۷	۰,۹۸۷	۰,۹۵۸	۱,۳	۱,۲۵	۱,۲
نسبت آب به افزودنی	۱۳,۲۲	۱۳,۲۲	۱۳,۲۲	۸,۸۲	۸,۸۲	۸,۸۲
مدت اختلاط (ثانیه)	۱۲٤	۱۲٤	۱۲٤	۱۲۲	۱۲۵	۱۲٤

* ٤۳ درصد خرده آسفالت و ۵۷ درصد سنگدانه‌ی تازه ** ٦۹ درصد خرده آسفالت و ۳۱ درصد سنگدانه‌ی تازه

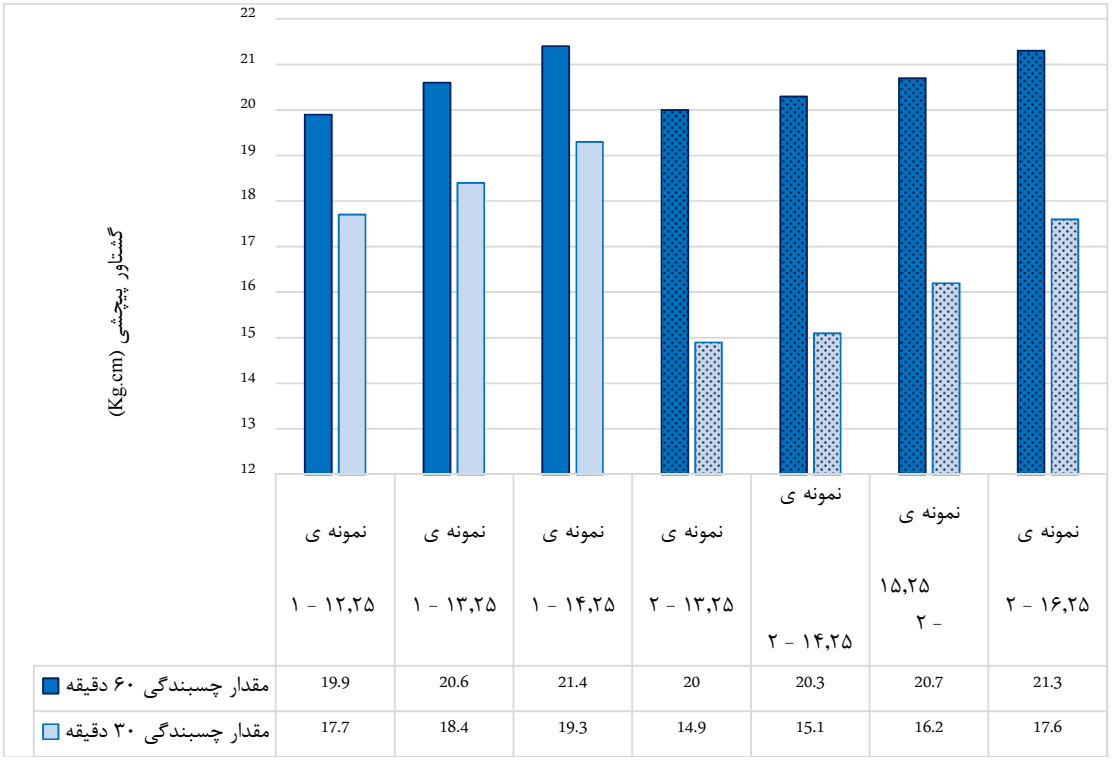
مطابق با جدول های ۳ و ٤ هر چه مقدار خرده آسفالت بکار رفته در طرح اختلاط نمونه‌ها افزایش یافته است مقدار آب بهینه‌ی مخلوط افزایش و مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش خرده آسفالت در طرح اختلاط، غلظت محلول آب و افزودنی کاهش یافته که این مسئله بیان گر کاهش یافتن میزان واکنش پذیری مصالح سنگی پس از قیراندود کردن آن‌ها می‌باشد.

٤-۲- آزمایش چسبندگی

پس از به دست آوردن یک ترکیب اختلاط مناسب مصالح، برای ارزیابی زمان گیرش مخلوط و زمان عمل آوری آن (رسیدن به مقاومت کافی) آزمایش چسبندگی بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. در این آزمایش نمونه‌ها ابتدا تحت یک فشار قائم مشخص شده قرار گرفته و سپس نیروی پیچشی به آن ها اعمال می گردد. با مشخص شدن مقدار گشتاور تحمل شده توسط نمونه‌ها و هم چنین وضعیت خرابی آن‌ها، مشخصات عملکردی اولیه‌ی مخلوط ارزیابی می‌گردد. این آزمایش برای مخلوط میکروسرفیسینگ در مدت زمان ۳۰ و ٦۰ دقیقه پس از ترکیب قیر امولسیون و مصالح انجام می‌شود. نتیجه آزمایش چسبندگی ۳۰ دقیقه برای ارزیابی خواص شکست مخلوط و نتیجه آزمایش چسبندگی ٦۰ دقیقه برای ارزیابی زمان بازگشایی ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. حداقل مقدار قابل قبول برای گشتاور ۳۰ دقیقه ۱۲ کیلوگرم سانتی متر و برای گشتاور ٦۰ دقیقه ۲۰ کیلوگرم سانتی متر و یا حالت نزدیک به چرخش می‌باشد (ISSA TB139, 2017). نتایج آزمایش چسبندگی برای نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه و نمونه‌های حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت در شکل ۲ نشان داده شده است.

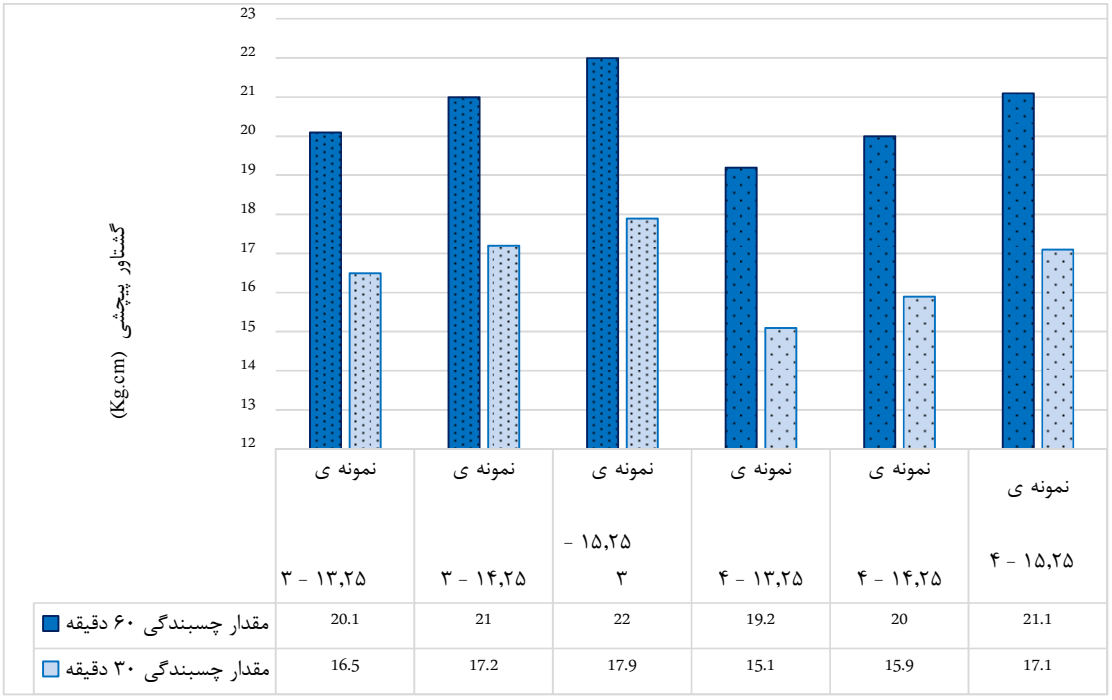
www.SID.ir

Archive of SID



	نمونه ی ۱ - ۱۲,۲۵	نمونه ی ۱ - ۱۳,۲۵	نمونه ی ۱ - ۱۴,۲۵	نمونه ی ۲ - ۱۳,۲۵	نمونه ی ۲ - ۱۴,۲۵	نمونه ی ۲ - ۱۵,۲۵	نمونه ی ۲ - ۱۶,۲۵
مقدار چسبندگی ۶۰ دقیقه	19.9	20.6	21.4	20	20.3	20.7	21.3
مقدار چسبندگی ۳۰ دقیقه	17.7	18.4	19.3	14.9	15.1	16.2	17.6

شکل ۲. نتایج آزمایش چسبندگی ۳۰ و ۶۰ دقیقه برای نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه و نمونه های حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت



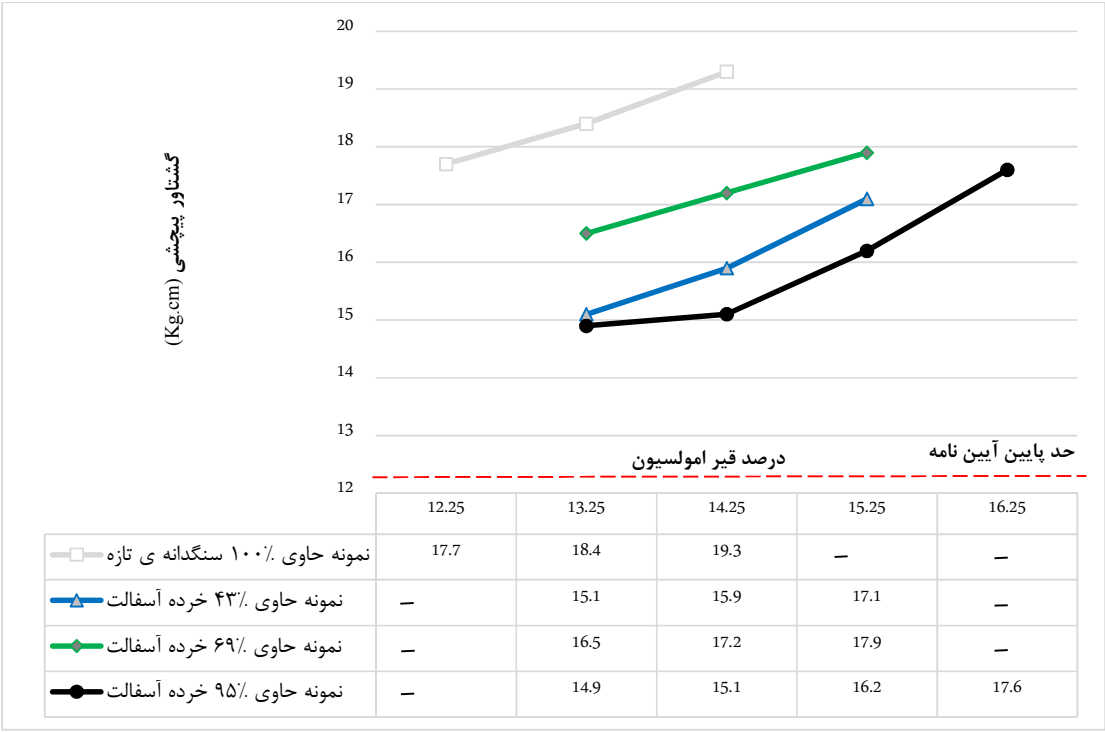
	نمونه ی ۳ - ۱۳,۲۵	نمونه ی ۳ - ۱۴,۲۵	نمونه ی ۳ - ۱۵,۲۵	نمونه ی ۴ - ۱۳,۲۵	نمونه ی ۴ - ۱۴,۲۵	نمونه ی ۴ - ۱۵,۲۵
مقدار چسبندگی ۶۰ دقیقه	20.1	21	22	19.2	20	21.1
مقدار چسبندگی ۳۰ دقیقه	16.5	17.2	17.9	15.1	15.9	17.1

شکل ۳. نتایج آزمایش چسبندگی ۳۰ و ۶۰ دقیقه برای نمونه های حاوی ۶۹ و ۴۳ درصد خرده آسفالت

www.SID.ir

Archive of SID

همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است تمامی نمونه‌های حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت توانسته‌اند معیارهای آیین نامه را برای آزمایش چسبندگی بر آورده نمایند. اگرچه نمونه ی دارای ۱۳,۲۵ درصد قیر امولسیون، حداقل مقدار قابل قبول را برای آزمایش چسبندگی ۶۰ دقیقه کسب نموده است. با توجه به روند نزولی نمودار با کاهش قیر امولسیون، نمونه‌های دارای قیر امولسیون کمتر از ۱۳,۲۵ درصد دیگر نمی‌توانند آزمایش چسبندگی را بگذرانند. هم چنین برای نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه حداقل قیر مورد نیاز آزمایش چسبندگی کمی بیشتر از ۱۲,۲۵ درصد می باشد. نتایج آزمایش چسبندگی برای نمونه‌های دارای ۶۹ و ۴۳ درصد خرده آسفالت با مقدار قیر امولسیون بیشتر از ۱۳,۲۵ درصد در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق با شکل ۳ نمونه‌های حاوی ۴۳ درصد خرده آسفالت عملکرد ضعیفی نسبت به نمونه‌های حاوی ۶۹ درصد خرده آسفالت از خود نشان داده‌اند به طوریکه نمونه ی حاوی ۴۳ درصد خرده آسفالت با ۱۳,۲۵ درصد قیر امولسیون، از آزمایش چسبندگی ۶۰ دقیقه رد شده است. با این حال نمونه ی حاوی ۶۹ درصد خرده آسفالت با همین مقدار قیر امولسیون حد پایین آیین نامه را برآورده نموده است. نتایج آزمایشات چسبندگی ۳۰ و ۶۰ دقیقه برای همه‌ی نمونه‌ها با ترکیب‌های مختلف مصالح سنگی به ترتیب در شکل های ٤ و ٥ نشان داده شده است.



	12.25	13.25	14.25	15.25	16.25
نمونه حاوی ۱۰۰٪ سنگدانه ی تازه	17.7	18.4	19.3	–	–
نمونه حاوی ۴۳٪ خرده آسفالت	–	15.1	15.9	17.1	–
نمونه حاوی ۶۹٪ خرده آسفالت	–	16.5	17.2	17.9	–
نمونه حاوی ۹۵٪ خرده آسفالت	–	14.9	15.1	16.2	17.6

شکل ٤. نتایج آزمایش چسبندگی ۳۰ دقیقه برای همه‌ی نمونه‌ها با ترکیب های مختلف مصالح سنگی

www.SID.ir

Archive of SID

	12.25	13.25	14.25	15.25	16.25
نمونه حاوی ٪۱۰۰ سنگدانه ی تازه	19.9	20.6	21.4	_	_
نمونه حاوی ٪۴۳ خرده آسفالت	_	19.2	20	21.1	_
نمونه حاوی ٪۶۹ خرده آسفالت	_	20.1	21	22	_
نمونه حاوی ٪۹۵ خرده آسفالت	_	20	20.3	20.7	21.3

شکل ۵. نتایج آزمایش چسبندگی ۶۰ دقیقه برای همه‌ی نمونه‌ها با ترکیب‌های مختلف مصالح سنگی

با توجه به نمودار شکل ٤ نمونه‌های حاوی خرده آسفالت، مقدار چسبندگی ۳۰ دقیقه ی کمتر و در نتیجه سرعت‌گیرش پایین‌تری نسبت به نمونه‌های حاوی سنگدانه‌ی تازه داشته اند. در این میان نمونه‌های حاوی ٦۹ درصد خرده آسفالت عملکرد بهتری را از خود نشان داده اند. سپس نمونه‌های حاوی ٤۳ درصد خرده آسفالت و سپس نمونه‌های حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت. هم چنین با توجه به نمودار شکل ۵ گرچه استفاده از خرده آسفالت در طرح اختلاط میکروسرفیسینگ باعث پایین آمدن نتایج آزمایش چسبندگی شده است اما این به معنای بهتر شدن نتایج با کاهش هرچه بیشتر مقدار خرده آسفالت نیست چرا که نمونه‌های حاوی ٦۹ درصد خرده آسفالت با وجود مقدار خرده آسفالت بیشتر از نمونه‌های ٤۳ درصدی خرده آسفالت، نتایج بهتری را در آزمایش چسبندگی کسب کرده‌اند. این موضوع بیانگر وجود یک مقدار بهینه ی خرده آسفالت برای استفاده در مخلوط می‌باشد.

در ادامه با توجه به نمودار شکل ۵ این نتیجه حاصل می شود که نمونه‌های حاوی خرده آسفالت نسبت به نمونه های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه، نیاز به حداقل درصد قیر امولسیون بیشتری برای کسب مقدار قابل قبول چسبندگی در مدت ٦۰ دقیقه دارند. نیاز به قیر بیشتر در نمونه‌های حاوی خرده آسفالت می تواند به دلیل سطح مخصوص بیشتر مصالح خرده آسفالت و هم چنین تیز گوشگی کمتر آن‌ها (برای ایجاد قفل و بست بهتر بین سنگدانه‌ها و در نتیجه مقاومت چسبندگی بیشتر) نسبت به سنگدانه‌ی تازه باشد. این اختلاف برای مخلوط حاوی ۹۵ و یا ٦۹ درصد خرده آسفالت با مخلوط حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه کمتر از ۱ درصد می باشد که در برابر مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش یافته کاملا قابل توجیه است. مقدار کاهش افزودنی در صورت استفاده از ۹۵ درصد خرده آسفالت به جای سنگدانه ی تازه در مخلوط برای کسب حداقل مقدار قابل قبول چسبندگی در مدت ٦۰ دقیقه مطابق با جدول ۳ برابر است با:

$$\text{وزن مصالح سنگی} \underbrace{۱.۴۸۸\%}_{(۱)} - \underbrace{۰.۷۴۸\%}_{(۲)} = ۰.۷۴\%$$

(۱) درصد افزودنی مورد نیاز مخلوط دارای ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه در ۱۲,۲۵ درصد قیر امولسیون

(۲) درصد افزودنی مورد نیاز مخلوط دارای ۹۵ درصد خرده آسفالت در ۱۳,۲۵ درصد قیر امولسیون

قیمت یک کیلوگرم افزودنی تقریبا ٤ برابر و قیمت یک کیلوگرم لاتکس (شیره لاستیک) تقریبا ۱۸,۷۵ برابر قیمت یک کیلوگرم قیر امولسیون است. با در نظر گرفتن ۳ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

لاتکس برای اصلاح قیر امولسیون، صرفه ی اقتصادی طرح مورد بحث برای هر تن مصالح سنگی، تنها با در نظر گرفتن تغییرات این سه مولفه برابر خواهد بود با:

$$\underbrace{۰.۷۴\% \times ۴}_{\text{افزودنی}} - \underbrace{۱\% \times ۱}_{\text{قیر امولسیون}} - \underbrace{۳\% \times ۱\% \times ۱۸.۷۵}_{\text{لاتکس}}$$

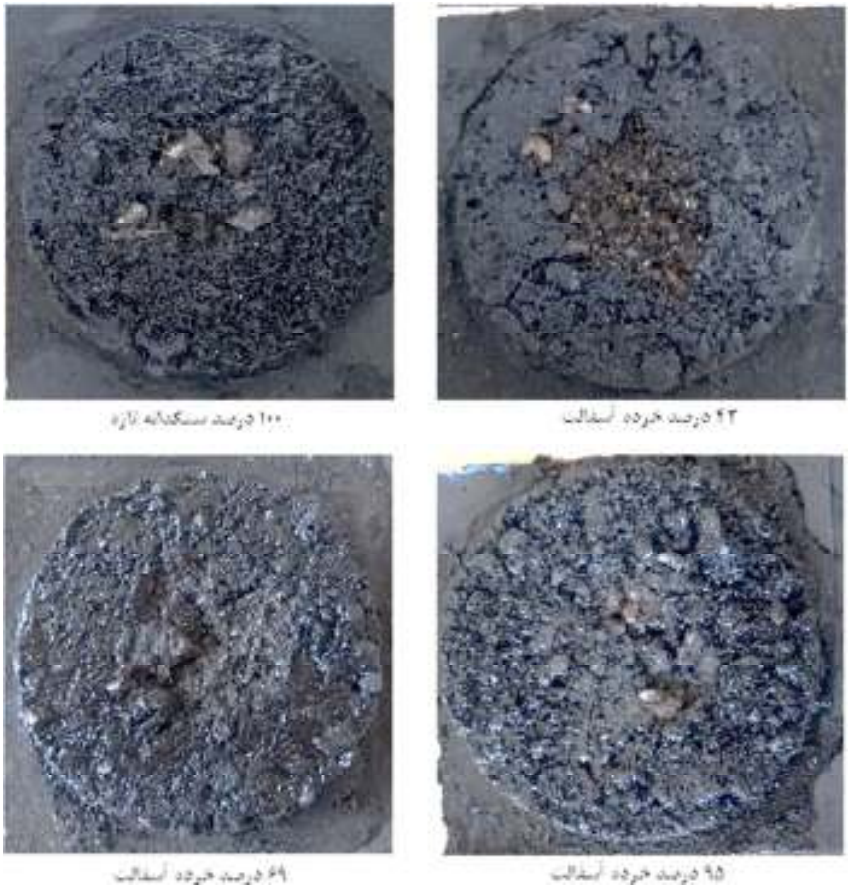
قیمت هر تن قیر امولسیون $\times \% ۱.۳۹۸ =$

هم چنین قیمت هر تن مصالح سنگی تازه تقریبا ۵ برابر قیمت مصالح خرده آسفالت است. بنابراین صرفه‌ی اقتصادی حاصل از این اختلاف قیمت نیز برای هر تن مصالح سنگی برابر است با:

$$\frac{۱۰۰\times۵-(۹۵\times۱+۵\times۵)}{۱۰۰\times۵}$$

×۰.۷۶=قیمت هر تن مصالح سنگی تازه

بنابراین استفاده از خرده آسفالت به جای سنگدانه ی تازه در مخلوط میکروسرفیسینگ می تواند صرفه ی اقتصادی نسبتا خوبی را نیز به همراه داشته باشد. این موضوع به مشخصات و عملکرد مصالح به کار رفته در مخلوط وابسته است. هم چنین شکل ظاهری نمونه‌های حاوی مقادیر بیشتر خرده آسفالت پس از آزمایش چسبندگی ٦٠ دقیقه، اندود مصالح بهتری را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ٦ مشخص است با چرخش پایه‌ی پیستون در آزمایش چسبندگی ٦٠ دقیقه، اندود قیر روی سنگدانه‌های درشت نمونه ی حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه، کنده شده است.



شکل٦. نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف خرده آسفالت و ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه پس از آزمایش چسبندگی ٦٠ دقیقه

٤-۳- آزمایش عریان شدگی مرطوب

پس از انجام آزمایشات چسبندگی، آزمایش عریان شدگی مرطوب با استفاده از نمونه های چسبندگی که برای چند روز در دمای آزمایشگاه عمل آوری شدند انجام گرفت. بعد از آزمایش اگرچه حتی مقدار اندکی هم از اندود سنگدانه ها

www.SID.ir

Archive of SID

شسته نشد اما به دلیل اندود نشده بودن کامل سنگدانه ها قبل از آزمایش، درصد سنگدانه‌های اندود شده در نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه ی تازه ۷۸ درصد تعیین شد، شکل۷. این مقدار برای نمونه های حاوی ۹۵ درصد خرده آسفالت به طور قابل توجهی بیشتر و ۹۵ درصد تعیین شد. نتایج آزمایش عریان شدگی مرطوب برای نمونه‌های حاوی ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت نیز به ترتیب ۹۳ و ۹۰ درصد تعیین شده است. مقدار رضایت بخش اندود مصالح بعد از آزمایش عریان شدگی مرطوب بر اساس توصیه ی انجمن بین المللی اسلاری سیل ۹۰ درصد است (ISSA TB114, 2017).

شکل ۷. اندود سنگدانه ها در نمونه های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه پس از آزمایش عریان شدگی مرطوب

۵- نتیجه‌گیری

استفاده از خرده آسفالت در طرح اولیه ی مخلوط میکروسرفیسینگ معیارهای آیین نامه را برآورده کرده و علاوه بر مزایای محیط زیستی و اقتصادی می تواند به عنوان یک ماده برای بهبود خواص مخلوط نیز به کار رود. نتایج استفاده از خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ به صورت خلاصه ارائه می‌گردد.

– هر چه مقدار خرده آسفالت در مخلوط افزایش یابد مقدار آب بهینه ی مورد نیاز مخلوط افزایش و مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش می یابد.

– مخلوط‌های حاوی خرده آسفالت سرعت‌گیرش کندتری نسبت به مخلوط‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه داشته‌اند.

– مقدار حداقل قیر امولسیون مورد نیاز مخلوط های حاوی خرده آسفالت برای برآورده کردن معیار آزمایش چسبندگی ٦۰ دقیقه نسبت به مخلوط‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه افزایش یافته است. این اختلاف برای مخلوط حاوی ۹۵ و یا ٦۹ درصد خرده آسفالت با مخلوط حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه کمتر از ۱ درصد می باشد که در برابر مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش یافته کاملا قابل توجیه است.

–از میان مخلوط‌های حاوی ۹۵، ٦۹ و ٤۳ درصد خرده آسفالت مخلوط حاوی ٦۹ درصد خرده آسفالت عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

–با توجه به نتایج آزمایش عریان شدگی مرطوب استفاده از خرده آسفالت در مخلوط میکروسرفیسینگ می تواند مشکل اندود نشدن مطلوب سنگدانه ها را به طور کامل حل کند. در آزمایش چسبندگی نیز نمونه های حاوی خرده آسفالت مقاومت بیشتری را برای حفظ اندود سنگدانه ها از خود نشان داده‌اند که به دلیل تثبیت شدن اندود قیر روی سنگدانه‌های خرده آسفالت پس از مدت زمان طولانی می باشد. با توجه به زمان بازگشایی کوتاه میکروسرفیسینگ (حدود یک ساعت) حفظ هرچه بیشتر اندود مصالح در آزمایش چسبندگی می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

٦- سپاسگزاری

نویسنده کمال تقدیر و تشکر را از گروه بهبود صنعت برای فراهم کردن امکانات مورد نیاز انجام این پژوهش دارد.

۷- مراجع

-پورسلطانی، م. و حسامی، س.، (۱۳۹٦)، "طراحی مخلوط میکروسرفیسینگ با مصالح خرده آسفالت"، اولین کنفرانس ملی مهندسی راه و شهرسازی، دانشگاه گیلان.

-پورسلطانی، م.، عطاالهی، ا.، حسامی، س. و حسامی، ا.، (۱۳۹٦)، "مروری بر مخلوط میکروسرفیسینگ و بررسی امکان استفاده از مواد بازیافتی در آن"، مجله جاده، دوره ۲۵، شماره ۹۱، ص. ۸۷-۱۰۰.

-Bleakley, A. M. and Cosentino, P. J. (2013), "Improving properties of reclaimed asphalt pavement for roadway base applications through blending and chemical stabilization",

www.SID.ir

Archive of SID

-Jiang, H. (2015), "Construction technology of recycled micro-surfacing of yong wu highway", Proceedings of the International Forum on Energy, Environment Science and Materials.

-Kandhal, P. S. and Mallick R. B. (1997), "Pavement recycling guidelines for state and local governments participant's reference book", Washington, Federal Highway Administration.

-Kassim, T. A. and Williamson, K. J. (2005), "Environmental impact assessment of recycled wastes on surface and ground", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, Berlin.

-McDaniel, R. and Anderson, R. M. (2001), "Research Result Digest Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines", Transportation Research Board and National Research Council, pp.17.

-Mhlongo, S. M., Abiola, O. S., Ndambuki, J. M. and Kupolati, W. K. (2014), "Use of recycled asphalt materials for sustainable construction and rehabilitation of roads", International Conference on Biological , Civil and Environmental Engineering (BCEE-2014), Dubai.

-Robati, M., Carter, A. and Perraton, D. (2013), "Incorporation of reclaimed asphalt pavement and post-fabrication asphalt shingles in microsurfacing mixture", 58th Proceeding Of Annual Canadian Technical Asphalt Association (CTAA).

-Smith, P. (2011), "Increased use of recycled asphalt pavement technology", First published in Aggregates Business Europe November December 2011 as RAP gets repackaged, Website:www.aggbusiness.com.

Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Washington, D.C., No. 2335, pp.20-28.

-Bloomquist, D., Diamond, G., Oden, M., Ruth, B. and Tia, M. (1993), "Engineering and Environmental Aspects of Recycling Materials for Highway Construction", Washington, DC, Federal Highway Administration and U.S. Environmental Protection Agency.

-Carvalho, R. L., Shirazi, H., Ayres Jr, M. and Selezneva, O. (2010), "Performance of recycled hot-mix asphalt overlays in rehabilitation of flexible pavements", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2155, pp. 55-62.

-Dhananjay, A. S., Sayyad, Z. M., Sawant, O. B., Tamboli, S. A. and Tamboli, A. A. (2016), "Recyclability using reclaimed asphalt pavement: a review", International Journal of Science Technology & Engineering (IJSTE), No. 2.

-Garfa, A., Dony, A. and Carter, A. (2016), "Performance evaluation and behavior of microsurfacing with recycled materials", E&E Congress 2016, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague.

-ISSA. (2010), "Recommended Performance Guideline For Micro Surfacing", A143 Revised February, International Slurry Surfacing Association.

-ISSA TB139. (2017), "Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester", International Slurry Surfacing Association, Technical Bulletin.

-ISSA TB114. (2017), "Test Method for Wet Stripping of Cured Slurry Surfacing Mixtures", International Slurry Surfacing Association, Technical Bulletin.

-ISSA TB113. (2017), "Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems", International Slurry Surfacing Association, Technical Bulletin.

www.SID.ir