Archive of SID

ارزیابی نفوذپذیری امولسیون‌های اندود نفوذی تهیه شده با حلال‌های نفتی و بیولوژیکی

مقاله پژوهشی

سید حمیدرضا صاحب‌الزمانی*، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نادر محمودی نیا، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
صبا پژوهان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد واحد قوچان، تهران، ایران
مسعود محمودی نیا، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشکده فنی کاسپین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hsahebzamani@ut.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۸/۲۸- پذیرش: ۹۸/۰۲/۰٤
صفحه۲۱۹-۲۱۱

چکیده

اندود نفوذی برای ایجاد یک لایه قیری جهت آب بند کردن اساس راه، جلوگیری از نفوذ آب به لایه‌های زیرین، افزایش پایداری لایه‌های خاکی و کاهش جدا شدن مصالح ریزدانه از سطح لایه اساس توسط باد و باران اجرا می‌شود. همچنین چسبندگی رویه آسفالتی به لایه اساس را افزایش داده و از لغزش آن بر روی اساس جلوگیری می‌کند. وجود حلال در امولسیون‌ها با تسهیل حرکت امولسیون در خلل و فرج لایه اساس باعث نفوذ بیشتر اندود نفوذی می‌گردد. در این مقاله با توجه به اهمیت زیاد مسائل زیست محیطی، امولسیون کاتیونی با استفاده از حلال‌های نفتی و بیولوژیکی با سه مقدار متفاوت صفر، ۷ و ۱۲ درصد تولید شده و میزان نفوذپذیری امولسیون‌ها در نمونه‌های اساس متراکم در دو حالت خشک و مرطوب اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان دادند مقدار حلال در میزان نفوذ امولسیون‌های قیری بسیار مؤثر است و امولسیون‌های حاوی حلال، نفوذ بهتری نسبت به امولسیون بدون حلال داشتند. همچنین نوع مصالح سنگی و درصد رطوبت آن اثر قابل توجهی بر نفوذ امولسیون دارد به گونه‌ای که نفوذپذیری در مصالح کوهی آهکی مرطوب نسبت به مصالح کوهی خشک و مصالح رودخانه‌ای سیلیسی، در هر دو حالت خشک و مرطوب، بسیار مطلوب و قابل توجه بود.

واژه‌های کلیدی: اندود نفوذی، قیر امولسیونی، نفوذپذیری، حلال بیولوژیکی

۱- مقدمه

امروزه حذف قیرهای محلول به دلیل مصرف زیاد حلال‌های نفتی یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت راهسازی است. علت استفاده از حلال در قیرهای محلول، ایجاد ویسکوزیته پایین جهت نفوذ قیر در خلل و فرج موییه اساس متراکم است که در نهایت حلال نفتی تبخیر شده و وارد اتمسفر می‌گردد. در نتیجه علاوه بر هزینه‌های بالا و خطرات انفجار به دلیل دمای بالای استفاده از قیرهای محلول، با انتشار ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Compounds) آلودگی‌های زیست محیطی زیادی ایجاد میکند. این ترکیبات عموماً شامل مواد آلی سبک مانند پروپان، اتر، بنزن، متانول، تتراکلرید کربن و وینیل کلراید بوده و در به خطر انداختن و تهدید سلامت بشر و محیط زیست نقش دارند (Mc Asphalt and Kim et al, 2007). نوع و درصد حلال نفتی در قیر محلول بستگی به کاربرد آن دارد. قیر محلول انواع متفاوتی شامل زودگیر، کندگیر و دیرگیر دارد که نوع کندگیر به خصوص MC30 و MC70 استفاده گسترده در اندود نفوذی و آب‌بندی دارند (TRB, 2006). با توجه به مضرات قیرهای محلول در سالهای اخیر تلاش گسترده‌ای بر جایگزینی امولسیون‌ها صورت گرفته است. قیرهای امولسیونی در ابتدا جهت کنترل گرد و غبار و سپس در راههای دسترسی کشتزارها و در جاده‌های با بار ترافیکی کم

www.SID.ir

Archive of SID

مورد استفاده قرار گرفتند، اما طی سالهای گذشته تکامل یافته و با امولسیفایرهای شیمیایی و سایر افزودنی‌ها عملکرد بهتری یافته‌اند (Issariyakul, 2014). انرژی مصرفی برای گرم کردن امولسیون‌ها کمتر از قیرهای محلول بوده و از طرفی در این قیرها به دلیل وجود درصد آب بیشتر نسبت به حلال نفتی، آلودگی زیست محیطی کمتری تولید می‌گردد. بنابراین از نظر زیست محیطی و اقتصادی، قیرهای امولسیونی مناسب‌ترین و با صرفه‌ترین جایگزین برای قیرهای محلول محسوب می‌شوند. یکی از کاربردهای امولسیون‌ها، استفاده به عنوان اندود نفوذی است. اندود نفوذی لایه نازکی از قیر امولسیون است که بر روی سطح اساس خاکی پاشیده می‌شود. هدف اولیه از اندود نفوذی محافظت لایه زیرین از نفوذ آب است. طبق استاندارد ASTM D8 هدف از اندود نفوذی، پیوستگی و پایداری لایه اساس و ارتقای چسبندگی بین لایه اساس و آسفالت است. بنابراین اندود نفوذی باید بطور مناسبی در لایه اساس نفوذ نماید (AEMA, 2004). به همین دلیل مقداری حلال نفتی به عنوان بخشی از فرمولاسیون قیرهای امولسیونی به آنها افزوده می‌شود. دلیل اصلی وجود حلال بهبود رطوبت‌دهی به مصالح سنگی ریزدانه و تسهیل نفوذ مویرگی است (Elkadri et al, 2013). استفاده از حلال‌های با پایه نفتی به دلایل زیست محیطی به علت انتشار VOCs چالش برانگیز است. اخیراً حلال‌های بیولوژیکی در مصارف راهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند که کمترین میزان انتشار VOCs را دارند. به دنبال اصول شیمی سبز، این حلال‌ها پیشرفت نموده و همانند حلال‌های نفتی بسیار عالی عمل می‌نمایند. حلال‌های بیولوژیکی ویسکوزیته قیر را به قدر کفایت کاهش داده، اختلاط و انتقال را تسهیل می‌نمایند (Elkadri et al, 2013). در این مقاله پس از بررسی دانه‌بندی‌های مختلف مصالح سنگی برای لایه اساس، میزان نفوذپذیری فرمول‌های مختلف امولسیون قیری با مقادیر مختلفی از حلال‌های بیولوژیکی و نفتی در شرایط اساس مرطوب و اساس خشک مورد آزمایش قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شدند.

۲- مواد و آزمایش‌ها

۲-۱- مواد و مصالح

قیر پایه خالص با درجه عملکردی PG 64-22 با مشخصات درجه‌بندی نفوذی طبق جدول ۱ برای تولید امولسیون کاتیونی دیرشکن در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. قیرهای امولسیونی مورد آزمایش با استفاده از یک نوع امولسیفایر کاتیونی به مقدار یک درصد و دو نوع حلال متفاوت، حلال بیولوژیکی و نفت سفید، به مقادیر صفر و ۷ و ۱۲ درصد وزنی امولسیون توسط دستگاه امولسیون‌ساز آزمایشگاهی که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است، تولید شدند. مشخصات حلال‌های مورد استفاده در این پژوهش نیز در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. حلال بیولوژیکی با نام تجاری Danox15 که توسط شرکت Kao برای مصرف در امولسیون‌های قیری تولید شده است، مورد استفاده قرار گرفت. اسید HCl نیز به مقدار لازم جهت حصول pH برابر با ۲ در فاز آبی امولسیون مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات قیر پایه

مشخصه	روش آزمایش	مقدار
قیر خالص اولیه		
وزن مخصوص در دمای ۲۵ °C	ASTM D70	۱/۰۱۷
درجه نفوذ در دمای ۲۵ °C (۰/۱ میلیمتر)	ASTM D5	٦٤
نقطه نرمی (°C)	ASTM D36	۵۱/۱
نقطه اشتعال (°C)	ASTM D92	۳۰۵
کشش‌پذیری در دمای ۲۵ °C (سانتیمتر)	ASTM D113	بیش از ۱۰۰
حلالیت در تری کلرو اتیلن	ASTM D2041	۹۹/۹
قیر پسماند فرآیند اثر گرما و هوا در آون لایه نازک قیر TFOT		
افت وزنی (درصد)	ASTM D1754	۰/۰۲
درجه نفوذ در دمای ۲۵ °C (۰/۱ میلیمتر)	ASTM D5	٤٤
کشش‌پذیری در دمای ۲۵ °C (سانتیمتر)	ASTM D113	بیش از ۱۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. دستگاه امولسیون‌ساز آزمایشگاهی

جدول ۲. مشخصات حلال بیولوژیکی

مشخصه	مقدار
وضع ظاهری در دمای ۲۰ ^{o}C	مایع تیره
مقدار کل آمین (KOH mg/g)	۲۲۰ – ۲۵۰
آب (درصد)	< ۰/۵
دانسیته در دمای ۲۰ ^{o}C (g/cm^3)	۰/۹۶
نقطه اشتعال (^{o}C)	> ۱۷۰

جدول ۳. مشخصات نفت سفید

مشخصه	استاندارد	نتیجه
حلال تقطیر شده در دماهای زیر (درصد حجمی)	ASTM D86	
۱۸۵ ^{o}C		۵۰
۲۰۰ ^{o}C		۷۰
۲۱۰ ^{o}C		۹۰
۲۳۵ ^{o}C		۹۵
دمای جوش نهایی، FBP (^{o}C)		۲۷۵
مقدار پسماند تقطیر (درصد حجمی)		۲
حداکثر مقدار ضایعات (درصد حجمی)		۱/۵
دانسیته در دمای ۱۵ ^{o}C (g/cm^3)	ASTM D1298	۰/۸۲
نقطه اشتعال(^{o}C)	ASTM D93	٤۳
مقدار کل گوگرد (درصد وزنی)	ASTM D1266	۰/۱۵

در این تحقیق دو نوع متفاوت مصالح سنگی شامل مصالح سنگ آهک شکسته کوهی از معادن حوضک شهرستان آبیک و مصالح شکسته رودخانه‌ای نسبتاً سیلیسی از معادن شهرستان پاکدشت، جهت آماده‌سازی نمونه‌های لایه اساس متراکم مورد استفاده قرار گرفت. محدوده دانه‌بندی پیوسته شماره ۵ از فصل چهارم نشریه ۲۳٤ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای مصالح لایه اساس در این پژوهش انتخاب شد و پس از تفکیک مصالح بر روی الک‌های استاندارد، مخلوط

www.SID.ir

Archive of SID

مصالح سنگی کوهی و رودخانه‌ای با دانه‌بندی پیوسته طبق جدول ٤ به مقدار لازم توزین شده و آماده گردید. با توجه به اینکه در نشریه ۲۳٤ استفاده از قیرهای امولسیونی دیرشکن به عنوان اندود نفوذی تنها برای اساس با دانه‌بندی باز و سطوح با تخلخل زیاد توصیه شده است، در این تحقیق به منظور بررسی اثر مقدار حلال در قیر امولسیونی اندود نفوذی بر نفوذپذیری در لایه‌ی اساس، از دانه‌بندی پیوسته استفاده شد و مقدار مصالح عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر برابر ۵ درصد درصد نظر گرفته شده است.

جدول ٤. دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی اساس مورد آزمایش

اندازه الک (میلیمتر)	مقدار عبوری (درصد)
۱۲/۵	۱۰۰
۹/۵	۸۵
٤/۷۵ (نمره ٤)	٥٦
۲/۳٦ (نمره ۸)	۳۷
۰/۳ (نمره ۵۰)	۱۸
۰/۰۷۵ (نمره ۲۰۰)	۵

۲-۲- آماده‌سازی نمونه و آزمایش‌ها

۲-۲-۱- تولید قیر امولسیونی

برای تولید امولسیون ابتدا فاز آبی آماده شد. به این منظور، ماده امولسیفایر و اسید درون آب با دمای ٤۵ درجه سانتیگراد به خوبی همزده شد تا فاز آبی همگن حاصل شود. سپس قیر برای تهیه‌ی فاز قیری تا دمای ۱٤۰ درجه سانتیگراد گرم شده و در حین همزدن، حلال به آن اضافه شد تا ترکیب همگنی به دست آید. فاز آبی داخل مخزن دستگاه امولسیون‌ساز ریخته شده و ضمن گردش فاز آبی و عبور آن از آسیاب کلوئیدی، فاز قیری به تدریج به آن اضافه شد تا امولسیون یکنواخت تهیه گردد. در مجموع پنج امولسیون کاتیونی دیرشکن با مشخصات طبق جدول ۵ تولید شد و تحت آزمایش نفوذپذیری قرار گرفت. اندازه ذرات فاز ناپیوسته قیری امولسیون به روش پراکندگی استاتیک نور لیزر (SLS) اندازه‌گیری شد که نتایج مربوطه در تحلیل نتایج آزمایش‌های این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۵. مشخصات و نتایج آزمایش قیرهای امولسیونی مورد آزمایش

شناسه قیر امولسیونی	نوع حلال	مقدار حلال (درصد)	ویسکوزیته سیبولت فیورل (ثانیه)	مقدار قیر پسماند (درصد)	درجه نفوذ پسماند (۰/۱ میلیمتر)	میانگین اندازه ذرات (میکرومتر)
EP	–	۰	۲۲	۵۷/٤	۸۵	۱۳/۰
EP-bio7	حلال بیولوژیکی	۷	۲٤	٥٦/۹	۱۱۵	۷/۱
EP-bio12	حلال بیولوژیکی	۱۲	۲٦	۵۷/۱	۱٤۵	۵/٤
EP-kero7	نفت سفید	۷	۲۳	۵۷/۲	۱۱۸	٦/۷
EP-kero12	نفت سفید	۱۲	۲۵	۵۷/۱	۱٤۰	٤/۲

۲-۲-۲- ساخت نمونه اساس متراکم

برای آماده‌سازی نمونه‌های اساس متراکم، مخلوط مصالح سنگی کوهی و رودخانه‌ای با مقدار رطوبت ۳ درصد در دو لایه درون قالب استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۱۰۰ و ۸۷ میلی متر ریخته شده و هر لایه توسط چکش تراکم مارشال با ۱۰ ضربه

www.SID.ir

Archive of SID

چکش متراکم گردید (شکل ۲). مقدار مخلوط مصالح به گونه‌ای انتخاب شد که ارتفاع نمونه‌های متراکم حدود ۷ سانتیمتر باشد.

به منظور تعیین انرژی تراکم ساخت نمونه‌های اساس، نمونه‌های متعدد با انرژی تراکمی متفاوت ساخته شدند و نفوذپذیری امولسیون بدون حلال درون آنها ارزیابی شد. انرژی تراکم برابر با ۱۰ ضربه چکش مارشال در هر لایه به نحوی انتخاب شد که زمان نفوذ امولسیون در لایه اساس متراکم کمتر از ۳۰ دقیقه حاصل گردد. قابل ذکر است با وجود انتخاب دانه‌بندی و انرژی تراکمی مشابه برای دو نوع مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق، با توجه به تفاوت‌های موجود در شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها، درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی در لایه اساس متراکم برای مصالح کوهی و رودخانه‌ای متفاوت است که این امر بر مدت زمان نفوذ امولسیون اندود نفوذی در مصالح مورد استفاده در این پژوهش تأثیرگذار بود.

شکل ۲. نمونه‌های اساس متراکم پیش از آزمایش نفوذپذیری

۲-۲-۳- آزمایش نفوذ امولسیون

برای آزمایش نفوذپذیری نمونه‌های اساس متراکم، قیرهای امولسیونی تا حدی که مقدار پسماند آنها برابر با ٤٠ درصد گردد، توسط آب رقیق شدند و به مقدار یکنواخت ۰/۵ گرم بر سانتیمترمربع بر روی نمونه‌های اساس پاشیده شدند. بلافاصله پس از پاشش امولسیون‌ها همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، زمان شروع نفود ثبت شده و مدت زمان نفوذ کامل امولسیون به درون اساس متراکم تعیین گردید. مشابه شکل ٤، جداره قالب‌های نمونه در محل تماس با مخلوط مصالح اساس با استفاده از قیر داغ آب‌بندی شد تا پس از پاشش امولسیون و شروع نفوذ، قیر امولسیونی از فاصله میان مخلوط و جداره قالب نفوذ نکرده و خطای آزمایش کمینه شود. جهت ارزیابی اثرات رطوبت مخلوط مصالح اساس بر زمان و مقدار نفوذ امولسیون اندود نفوذی، آزمایش نفوذپذیری نمونه‌های اساس متراکم در دو حالت، خشک و مرطوب با رطوبت ۳ درصد، انجام پذیرفت. به این منظور، نیمی از نمونه‌های اساس متراکم بلافاصله پس از تراکم با مقدار رطوبت ۳ درصد تحت آزمایش نفوذپذیری قرار گرفتند. گروه دوم نمونه‌ها نیز پس از خشک شدن به مدت ٢٤ ساعت درون آون ۱۱۰ درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه هر دو گروه نمونه‌های خشک و نمونه‌های مرطوب با مقدار رطوبت یکسان برابر با ۳ درصد متراکم شدند، لذا فرض شده است که دانسیته خشک هر دو گروه از نمونه‌های خشک و مرطوب یکسان بوده و فضای خالی مصالح سنگی هر دو گروه از نمونه‌های اساس مشابه باشد. لذا پیش‌بینی شده است که تخلخل و اندازه حفره‌های مویینه برای نفوذ امولسیون درون نمونه‌های اساس خشک و اساس مرطوب یکسان باشد. از این رو، نتایج این دو گروه از نمونه‌های آزمایش قابل قیاس است.

شکل ۳. نمونه‌های اساس متراکم در آزمایش نفوذپذیری امولسیون

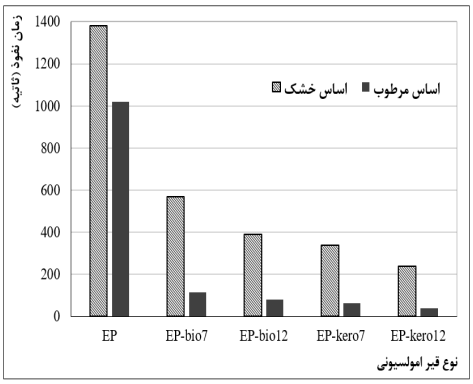
شکل ٤. آب‌بندی فاصله میان دیواره قالب و مخلوط مصالح اساس

www.SID.ir

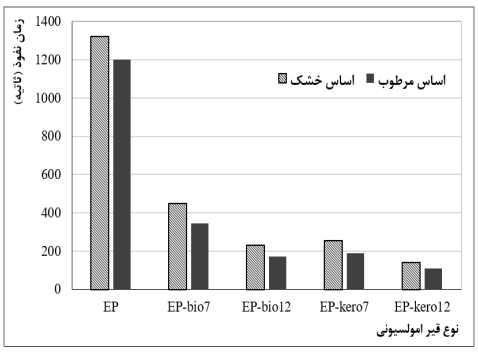
Archive of SID

۳- نتایج آزمایش‌ها

آزمایش نفوذ امولسیون اندود نفوذی برای پنج نوع امولسیون کاتیونی دیرشکن تولید شده با مقادیر مختلف حلال بیولوژیکی و نفت سفید بر روی نمونه‌های اساس متراکم با مصالح شکسته کوهی و رودخانه‌ای انجام شد. مدت زمان نفوذ هر یک از قیرهای امولسیونی درون نمونه‌های اساس متراکم ساخته شده با مصالح کوهی آهکی و رودخانه‌ای سیلیسی در دو حالت اساس خشک و اساس مرطوب در اشکال ۵ و ٦ نشان داده شده است. در جداول ٦ نیز نتایج آزمایشها برای دو نوع مصالح مورد آزمایش با مقایسه نسبت زمان نفوذ حالت مرطوب به حالت خشک برای امولسیون‌های مختلف ارائه شده است.



شکل ۵. نمودار نتایج نفوذ امولسیون‌ها در اساس با مصالح کوهی



شکل٦. نمودار نتایج نفوذ امولسیون‌ها در اساس با مصالح رودخانه‌ای

جدول ٦. نسبت زمان نفوذ امولسیون درون اساس حالت مرطوب به خشک برای مصالح مختلف

شناسه قیر امولسیونی	نوع حلال	مقدار حلال (درصد)	نسبت زمان حالت مرطوب به حالت خشک	
			مصالح کوهی	مصالح رودخانه‌ای
EP	–	۰	۰/۷٤	۰/۹۱
EP-bio7	حلال بیولوژیکی	۷	۰/۲۰	۰/۷۷
EP-bio12	حلال بیولوژیکی	۱۲	۰/۲۱	۰/۷٤
EP-kero7	نفت سفید	۷	۰/۱۹	۰/۷۵
EP-kero12	نفت سفید	۱۲	۰/۱۷	۰/۷۹

آزمایش‌ها نشان داد که مصرف حلال در تولید امولسیون‌های اندود نفوذی منجر به افزایش سرعت نفوذ امولسیون در اساس متراکم و در نتیجه عمق نفوذ بیشتر امولسیون و چسبندگی و استحکام بیشتر سطح لایه اساس می‌شود. با توجه به نتایج حاصل شده، کاربرد ۷ و ۱۲ درصد حلال، صرف‌نظر از نوع حلال مصرفی، باعث حداقل ۲ و ۳ برابر کاهش مدت زمان نفوذ امولسیون در لایه اساس خشک و حداقل ۹ و ۱۳ برابر در لایه اساس مرطوب در مورد مصالح آهکی کوهی شده است. همچنین ۷ و ۱۲ درصد از حلال‌های مختلف، زمان نفوذ امولسیون درون اساس رودخانه‌ای را حداقل ۳ و ٦ برابر در حالت اساس خشک و حداقل ۳ و ۷ برابر در حالت اساس مرطوب کاهش داده است. همچنین استفاده از ۱۲ درصد حلال بیولوژیکی در تولید امولسیون، مدت زمان نفوذ آن در لایه اساس خشک را به مقدار ۳/۵ و ۵/۷ برابر و در لایه اساس مرطوب را به مقدار ۱۲/۸ و ۷/۱ برابر، برای مصالح کوهی و رودخانه‌ای کاهش داده است. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که مقدار حلال بیشتر منجر به افزایش نفوذپذیری و کاهش زمان نفوذ امولسیون درون لایه اساس شده است. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که ذرات قیرهای امولسیونی با اندازه کوچکتر از ٤ میکرون به نفوذپذیری بیشتر امولسیون در لایه‌های اساس متراکم کمک می‌کنند، در حالی که ذرات بزرگتر از ٤ میکرون به طور سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذ کرده و یا احتمالاً در سطح لایه اساس می‌شکنند. بررسی اندازه ذرات قیرهای امولسیونی مورد آزمایش نشان می‌دهد که امولسیون بدون حلال و امولسیون‌های تولید شده با حلال بیولوژیکی (Ep ، Epbio7 و EPbio12) بزرگترین اندازه ذرات را در مقایسه با امولسیون‌های ساخته شده با حلال نفتی دارند. با این وجود، استفاده از حلال بیولوژیکی اندازه ذرات امولسیونی را بیش از ۲ برابر کاهش داده و به مقدار ۵ میکرون نزدیک ساخته است. امولسیون بدون حلال با بزرگترین اندازه ذرات، بیشترین زمان نفوذ را به خود اختصاص داده است و امولسیون‌های ساخته شده با حلال بیولوژیکی و سپس نفت سفید در رتبه‌های بعد از نظر زمان نفوذ قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که مقدار نفوذ امولسیون‌های اندود نفوذی همبستگی قابل‌توجهی با اندازه ذرات امولسیون دارد و استفاده از حلال با کاهش اندازه ذرات امولسیون منجر به افزایش سرعت و عمق نفوذ امولسیون می‌شود.

مقایسه نتایج آزمایش نفوذ امولسیون‌های حاوی حلال بیولوژیکی و نفت سفید نشان می‌دهد که حلال نفت سفید مقدار سرعت نفوذ امولسیون در اساس متراکم را بیش از حلال بیولوژیکی افزایش داده است. با وجود اینکه نتایج حاصل برای نفت سفید بهتر از حلال بیولوژیکی است، حلال بیولوژیکی نتایج قابل قبولی دارد و با توجه به مزایای زیست محیطی آن جایگزینی مناسب برای حلال‌های نفتی است. همچنین مقایسه نتایج مربوط به نمونه‌های اساس خشک و مرطوب نشان داد که نفوذ امولسیون در لایه اساس مرطوب سریعتر از اساس خشک بوده و رطوبت مصالح اساس متراکم منجر به افزایش نفوذ امولسیون دیرشکن در لایه خاکی متراکم می‌شود. بررسی آزمون‌های نمونه‌های اساس خشک و اساس مرطوب در امولسیون‌های با مقدار حلال متفاوت نشان می‌دهد که افزایش نفوذ اندود نفوذی در اساس مرطوب نسبت به اساس خشک برای امولسیون حاوی حلال بیشتر از امولسیون بدون حلال است. نسبت زمان نفوذ در اساس با مصالح کوهی مرطوب به مصالح خشک برای امولسیون بدون حلال برابر ۰/۷٤ و بطور میانگین برای امولسیون‌های حاوی حلال برابر ۰/۱۹ است. بعلاوه در مصالح رودخانه‌ای این نسبت برای برای امولسیون بدون حلال برابر ۰/۹۱ و بطور میانگین، برای امولسیون‌های حاوی حلال حدود ۰/۷٦ است. به این ترتیب نتایج حاکی از آن است که استفاده از امولسیون اندود نفوذی حاوی حلال بر روی اساس مرطوب بهترین نتایج نفوذ را به همراه دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، اثر رطوبت بر نفوذ امولسیون در لایه اساس با مصالح کوهی بسیار بیشتر از مصالح رودخانه‌ای سیلیسی است، به گونه‌ای که برای امولسیون‌های حاوی حلال، نسبت زمان نفوذ امولسیون درون لایه اساس مرطوب به اساس خشک برای مصالح رودخانه‌ای حدود ۰/۷٦ و برای مصالح کوهی حدود ۰/۱۹ است. از سوی دیگر، زمان نفوذ امولسیون در اساس خشک برای مصالح کوهی بیشتر از مصالح رودخانه‌ای است، لیکن این زمان در حالت اساس کوهی مرطوب بسیار کمتر از اساس رودخانه‌ای مرطوب است.

شکل ۷ نمونه اساس در پایان آزمایش نفوذ برای یک نمونه امولسیون بدون حلال و یک نمونه امولسیون حاوی حلال را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، شکست امولسیون بدون حلال در سطح لایه اساس باعث مسدود شدن تخلخل سطحی اساس با قیر پسماند و تأخیر در نفوذ امولسیون می‌شود، در حالی که امولسیون حاوی حلال به طور کامل در سطح لایه اساس نفوذ کرده و رویه چسبنده و مستحکم ایجاد نموده است.

امولسیون حاوی حلال

امولسیون بدون حلال

شکل ۷. نمونه‌های لایه اساس پس از پایان آزمایش نفوذ

www.SID.ir

Archive of SID

٤- نتیجه‌گیری

اندود نفوذی در لایه اساس یکی از مراحل مهم اجرای روسازی راه است که با به کار بردن آن، لایه‌ی اساس از اثرات مخرب جوی و ترافیک حفظ شده و چسبندگی خوبی برای لایه‌های بعدی روسازی ایجاد می‌شود. در گذشته بیشتر از قیرهای محلول کندگیر به عنوان اندود نفوذی استفاده می‌شد، اما امروزه قیر امولسیون به دلیل مشکلات زیست محیطی کمتر آن، جایگزین قیرهای محلول شده است. با توجه به اثر حلال موجود در امولسیون‌ها بر عملکرد اندود نفوذی، در این پژوهش پنج نوع قیر امولسیونی متفاوت، شامل امولسیون بدون حلال و امولسیون‌های با مقادیر مختلف حلال بیولوژیکی و نفت سفید، بر روی دو نوع لایه اساس متشکل از مصالح شکسته کوهی و رودخانه‌ای مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به داده‌ها و مشاهدات آزمایش‌های انجام پذیرفته نتایجی به شرح زیر حاصل شده است.

۱- مصرف حلال در تولید امولسیون‌های اندود نفوذی منجر به افزایش سرعت نفوذ امولسیون در اساس متراکم و در نتیجه عمق نفوذ بیشتر امولسیون و چسبندگی و استحکام بیشتر سطح لایه اساس می‌شود. کاربرد ۷ و ۱۲ درصد حلال، باعث حداقل ۲ و ۳ برابر کاهش زمان نفوذ امولسیون در لایه اساس خشک و حداقل ۹ و ۱۳ برابر در لایه اساس مرطوب در مورد مصالح کوهی شده است. همچنین ۷ و ۱۲ درصد از حلال‌های مختلف، زمان نفوذ امولسیون درون اساس رودخانه‌ای را حداقل ۳ و ٦ برابر در حالت خشک و حداقل ۳ و ۷ برابر در حالت مرطوب کاهش داده است.

۲- استفاده از ۱۲ درصد حلال بیولوژیکی در تولید امولسیون، مدت زمان نفوذ آن در لایه اساس خشک را به مقدار ۳/۵ و ۵/۷ برابر و در لایه اساس مرطوب را به مقدار ۱۲/۸ و ۷/۱ برابر، برای مصالح کوهی و رودخانه‌ای کاهش داده است.

۳- افزایش مقدار حلال تا مقدار ۱۲ درصد امولسیون منجر به افزایش نفوذپذیری و کاهش زمان نفوذ امولسیون درون لایه اساس شده است.

٤- نوع حلال در نفوذ امولسیون درون اساس بسیار مؤثر است. با وجود اینکه نتایج حاصل برای نفت سفید بهتر از حلال بیولوژیکی است، حلال بیولوژیکی نتایج قابل قبولی دارد و با توجه به مزایای زیست محیطی آن جایگزینی مناسب برای حلال‌های نفتی است.

۵- نفوذ امولسیون در لایه اساس مرطوب سریعتر از اساس خشک بوده و رطوبت مصالح اساس متراکم منجر به افزایش نفوذ امولسیون دیرشکن در لایه خاکی متراکم می‌شود.

٦- افزایش نفوذ اندود نفوذی در اساس مرطوب نسبت به اساس خشک برای امولسیون‌های حاوی حلال بیش از امولسیون بدون حلال است. نسبت زمان نفوذ در مصالح کوهی حالت مرطوب به حالت خشک برای امولسیون بدون حلال برابر ۰/۷٤ و برای امولسیون‌های حاوی حلال بطور میانگین حدود ۰/۱۹ است.

۷- امولسیون‌های بدون حلال، بزرگترین اندازه‌ی ذرات را در مقایسه با امولسیون‌های ساخته شده با حلال داشتند. امولسیون‌های با حلال نفتی، دارای اندازه‌ی ذرات کوچکتری نسبت به امولسیون‌های با حلال بیولوژیکی بودند، با این وجود، استفاده از حلال بیولوژیکی اندازه ذرات امولسیون را بیش از ۲ برابر کاهش داده است. نتایج نشان داد که مدت زمان نفوذ امولسیون‌های اندود نفوذی همبستگی قابل‌توجهی با اندازه ذرات امولسیون دارد و استفاده از حلال با کاهش اندازه ذرات امولسیون منجر به افزایش سرعت و عمق نفوذ امولسیون می‌شود.

۸- استفاده از امولسیون اندود نفوذی حاوی حلال بر روی لایه اساس مرطوب بهترین نتایج را از نظر نفوذپذیری به دنبال دارد.

۹- شکست امولسیون بدون حلال در سطح لایه اساس منجر به انسداد تخلخل سطحی توسط قیر پسماند و تأخیر در نفوذ اندود نفوذی می‌شود، در حالی که امولسیون حاوی حلال در سطح لایه اساس نفوذ کرده و رویه چسبنده و مستحکم ایجاد می‌کند.

۵- سپاسگزاری

مؤلفین مقاله از شرکت ساختمانی کندوان پارس برای تأمین مواد و مصالح و هزینه‌های انجام این پژوهش، همچنین از کارکنان آزمایشگاه مرکزی آن شرکت در کارگاه معدن حوضک آبیک بابت همکاری در انجام آزمایش‌ها قدردانی می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

٦- مراجع

- Asphalt Emulsion Manufactures Association-AEMA, (2004), "A Basic Asphalt Emulsion Manual-2nd Edition".

- Asphalt Emulsion Manufactures Association-AEMA, (2004), "Recommended Performance Guidelines-3rd Edition".

- Chun, S., Kim, K., Park,B., Greene, J., (2016), "Evaluation of Structural Benefits of Prime Coat Application for Flexible Pavements using Accelerated Pavement Testing (APT)", KSCE Journal of Civil Engineering, Korean Society of Civil Engineers.

-Elkadri, A., Zanini, T., Lapayronie, M., Belkahia, A., Croteau, J.M., (2013), "Bio-Solvents in the Production of Emulsified Prime Coat Systems", Canadian Technical Asphalt Association.

- Issariyakul, P., (2014), "Cationic Asphalt Emulsion for Prime Coat", International Application Published Under The Patent Cooperation Treaty, WO 2014/123491.

–Khana, A., Redelius, P., Kringos, N., (2015), "Effects of Surfactants and Adhesion Promoters on the Bitumen Minerals Interfacial Bond During Breaking of Bitumen Emulsions".

- Kim, M.S., Kim, J.H., Park, H.S., Sun, Y.S., Kim, H.S., Choi, K., (2007), "A new Approach for Estimating VOC Emission from Anthropogenic Non-Source Communities", Korean. J. Chem. Eng., 24(5), pp.763-773.

-Mc Asphalt Industries, "Solvent-Free Bitumen Emulsion for Prime Coats and Granular Sealing."

–Transportation Research Board (TRB), (2006), "Asphalt Emulsion Technology", Transportation Research Circular No.E-C102.

www.SID.ir