بررسی خواص امولسیون‌های قیری رسی تولید شده در داخل کشور

علی رضا خاوندی، استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، ایران

وحید آین، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام‌شهر، ایران

بهنام اجلالی(مسئول مکاتبات)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

E-mail : b-edjlali@iau-ahar.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۴ پذیرش:۱۷ /۱۳۹۲/۰۷

چکیده:

تحقیقات نشان می‌دهند که افزودن مقداری رس به قیر، عملکرد قیر را در مقابل ترک خوردگی، جاری شدن، مقاومت در برابرآب و ضربه بهبود می بخشد، می دهند اما پخش ذرات رس به طور یکنواخت داخل قیر مذاب کار آسانی نیست و راه حل ساده‌تر و جدیدتر برای اختلاط قیر و ذرات رس، تولید امولسیونهای قیری رسی است. از سوی دیگر امولسیون سازهای شیمیایی، وارداتی و بسیار گرانقیمت اند و رسیدن به توانایی ساخت امولسیونهای رسی در کشور، با وجود منابع معدنی داخلی، با صرفه تر و مفیدتر خواهد بود. تولید این امولسیونها عمدتا با استفاده از بنتونیت امکان پذیر است. در این تحقیق برای ساخت امولسیون، از بنتونیت تولید داخل استفاده شد. امولسیونهای رسی، با موفقیت تولید شده و آزمایشهای کاربردی نظیر تعیین کندروانی، بار الکتریکی سطحی، قابلیت اندود مصالح و مقاومت در برابر آب و... بر روی امولسیونهای تولیدی انجام شد. همچنین مخلوط آسفالت سرد با امولسیونهای تولیدی تهیه و باآزمایش کشش غیر مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد بنتونیت، خواص امولسیون و قیر باقی مانده از شکست امولسیون، بهبود و مقاومت کششی افزایش می یابد.

واژه‌های کلیدی : امولسیون قیری، امولسیون ساز، بنتونیت، امولسیون قیری رسی

۱. مقدمه

امولسیون‌های قیری که به علت بی خطر بودن برای محیط زیست و انسان، قیر سبز نیز نامیده می شوند، اولین بار در سال ۱۹۲۲ توسط هیو آلن مکی[1] تولید و ثبت شدند . برای تهیه این فرآورده، قیر گرم، آب و ماده امولسیون ساز را با نسبتهای معین با اعمال انرژی مخلوط میکنند [Nedayi and Azhar , 2007]. نقش امولسیون‌ساز، جلوگیری از به هم پیوستن مجدد ذرات معلق است و با پوشش سطح ذرات معلق، باعث به وجود آمدن نیروی دافعه الکتریکی بین ذرات شده و مانع نزدیک شدن آنها به یکدیگر می‌شود. [Nikirashidi et.al , 2007]. امولسیون‌سازها از نقطه‌نظر ساختاری معمولاً بر دو نوع هستند [James and Zhou , 2012] :

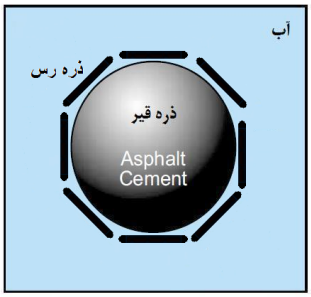
– امولسیون سازهای شیمیایی که خود به دو گروه کاتیونی و آنیونی تقسیم می‌شوند.

– امولسیون سازهای معدنی که عمدتاً از نوع رسی هستند.

– امولسیون سازهای شیمیایی از دو قسمت تشکیل می‌شوند : قسمت آب دوست[2] و قسمت روغن دوست[3] . در هنگام تشکیل امولسیون، قسمت روغن دوست در قیر حل شده و قسمت آب دوست بیرون از قیر باقی می‌ماند. حال اگر قسمت آب دوست، دارای بار الکتریکی مثبت باشد، امولسیون ایجاد شده کاتیونیک و اگر دارای بار الکتریکی منفی باشد، امولسیون به دست آمده، آنیونیک نامیده می‌شود .

اما امولسیون سازهای معدنی دارای ماهیت متفاوتی هستند. امولسیون سازهای معدنی و یا به عبارت دیگر ذرات و کانیهای رس که دارای بار سطحی منفی نیز هستند، ذرات قیر را احاطه می‌کنند و مانع از چسبیدن ذرات به هم می‌شوند (شکل ۱) .

امولسیونهای غیر یونی (رسی) علیرغم اینکه نسبت به امولسیون‌های کاتیونیک و آنیونیک دامنه کاربرد وسیع تری دارند، در داخل کشور تولید نمی‌شوند.



شکل ۱. طرح شماتیک امولسیون های رسی

در حال حاضر با توجه به مشخصات مصالح سنگی و کاربردهای مورد نظر، غالب امولسیونهای تولیدی در کشور از نوع کاتیونی است، لیکن علیرغم توسعه مراکز تولید امولسیون داخلی، استفاده از امولسیون مانند کشورهای پیشرفته گسترش پیدا نکرده است. در توضیح علل این امر می توان به چند مورد زیر اشاره کرد :

– امولسیون‌سازها، در داخل کشور تولید نمی‌شوند و وارداتی هستند، از این رو گرانقیمت بوده و دسترسی به آنها همواره با مشکلاتی همراه است، به همین دلیل معمولا تولید کنندگان امولسیون، از بکار بردن مقادیر دقیق و لازم امولسیون ساز امتناع میورزند که باعث کاهش شدید کیفیت امولسیون می‌شود.

– در تهیه امولسیون‌های کاتیونی مواد افزودنی دیگری نیز مانند نمک، اسید و حلال هم باید استفاده شود که تغییرات جزیی در مقادیر این مواد، خصوصیات محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می دهد.

– با توجه به حساسیت رفتار و خواص امولسیون تولیدی به نسبتهای اختلاط در هنگام ساخت، باید نسبتهای دقیق این مواد توسط افراد متخصص رعایت وکنترل شود.

– محدودیت کاربردی انواع امولسیون‌ها

از این رو، یافتن راهی که مسایل اقتصادی را برطرف کرده و از پیچیدگی‌های تولید بکاهد، می تواند جایگاه امولسیون‌های قیری را در پروژه‌های راهسازی و بهسازی، ارتقا بخشد.

با علم به مسایل مطرح شده، وجود معادن بزرگ بنتونیت در

داخل کشور، مزایای ترکیب رس و قیر، پیچیدگی‌های نسبتاً کمتر تولید امولسیون‌های رسی نسبت به انواع دیگر امولسیون‌ها و دامنه وسیع کاربرد امولسیون‌های رسی، در این مقاله، مشخصات امولسیون‌های تولید شده با درصدهای مختلف رس، تعیین و با امولسیون کاتیونی که با همان درصد قیر تهیه شده بود، مقایسه شده‌اند. همچنین برای بررسی عملکرد امولسیون‌های رسی و کاتیونی در مخلوط‌های آسفالتی، از آزمایش کشش غیرمستقیم استفاده شد .

۲. امولسیونهای رسی

امولسیون‌های قیری رسی عمدتاً در صنایع بکار می روند، ولی در راهسازی یا مصارف ساختمانی نیز می توان از این نوع امولسیونها بهره برد. کاربرد این نوع امولسیونها بسیار متنوع بوده و از پیوند درختان، تعمیر مخازن آب تا پوشش ساختمانها را شامل می شود [Marandi, 2006 and Nikirashidi , 2006].

قیرهای اصلاح شده با رس تقریباً به مدت ۱۰۰ سال است که ساخته می‌شوند، ذرات صفحه ای شکل رس پس از پخش شدن در داخل قیر، کم و بیش خواصی مشابه میلگرد در داخل بتن مسلح ایفا کرده و عملکرد قیر را در مقابل ترک خوردگی در دماهای کم و جاری شدن در دماهای بالا و مقاومت در برابر ضربه بهبود می بخشند [James , 2011].

تحقیقات نشان می دهند که اضافه نمودن رس بنتونیت به قیر، باعث افزایش نقطه نرمی و کاهش کشسانی قیر شده و مقاومت مخلوط آسفالتی را در برابر شیار افتادگی افزایش داده و ترک خوردگی آسفالت در دماهای پایین را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. [Zare- Shahabadi et.al , 2010]

اما علیرغم وجود مزایای اشاره شده، پخش ذرات رس به طور یکنواخت داخل قیر مذاب کار ساده ای نیست و نیاز به صرف انرژی و زمان فراوانی دارد. راه حل ساده‌تری برای اختلاط قیر و ذرات رس وجود دارد که در سالهای اخیر مورد توجه واقع شده است و آن، تولید امولسیونهای قیری رسی است[James, 2011] در این نوع امولسیونها، ذرات قیر پس از تشکیل، توسط ذرات ریزتر رس، احاطه می‌شوند و امولسیون پایدار می‌شود. قیر باقی مانده از شکست امولسیون، همان خواص بهبود یافته روش قبل را دارد و به این ترتیب هم می توان از مزایای امولسیون بهره برد و هم کیفیت قیر را ارتقا بخشید [James, 2011].

امولسیون‌های پایدار شده با بنتونیت با درصد معین قیر نسبت به امولسیون‌های متداول همسان، دارای ویسکوزیته بالاتری بوده و قیر باقیمانده از شکست امولسیون در نمونه‌های اصلاح شده با رس ، شاخص نفوذ کمتر و نقطه نرمی بیشتری دارد. [James, 2010]

در زمینه پی اچ فاز آبی و قطر ذرات امولسیون ، در تحقیقی در مورد پی اچ بهینه دوغاب بنتونیت، قبل از اختلاط با قیر، با انجام آزمایش درصد باقی مانده روی الک نسبت به درصد وزنی اسید مصرفی، عدد ۴/۳ به دست آمده است که این امر با افزودن ۳ درصد اسیدسولفوریک ده درصد، میسر می شود.

بنتونیت، نوعی خاک رس با خاصیت پلاستیک و کلوییدی زیاد است که عمدتاً از کانیهای مونت موریلونیت [۴] تشکیل می‌شود ، از سایر کانیهای رسی که می‌شود در امولسیونها استفاده کرد و اساساً صفحه ای شکل هستند، می‌توان ایلیت [۵]، لاپونیت [۶]، وکائولینیت[۷] را نام برد.[Adamis, Foder and Williams, 2005]

۳. برنامه آزمایشگاهی

۳-۱ مصالح

مصالح مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از :

۳-۱-۱ قیر

برای ساخت امولسیون‌ها، از قیر ۱۰۰ – ۸۵ تولیدی پالایشگاه تبریز (شرکت نفت پاسارگاد) استفاده شد. مشخصات قیرمصرفی

براساس اطلاعات دریافت شده از آزمایشگاه کنترل کیفی شرکت نفت پاسارگاد در جدول (۱) ارائه شده است .

۳-۱-۲ آب

در تهیه امولسیون‌ها، از آب شرب شهری با پی اچ عمدتا نزدیک به ۷ استفاده شد .

۳-۱-۳ امولسیون ساز

برای تولید امولسیون قیری کاتیونی کند شکن، از امولسیون سازی با نام تجاری Redicote E-۴۸۷۵ استفاده شد .

۳-۱-۴ اسید

برای دستیابی به پی اچ های کمتر از ۷ در ساخت امولسیون‌ها از اسید هیدروکلریک (HCL)، استفاده شد.

۳-۱-۵ بنتونیت

برای ساخت امولسیون‌های رسی، از بنتونیت تولیدی شرکت "باریت فلات ایران " استفاده شد. مشخصات بنتونیت مصرفی بر اساس آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه در جدول (۲) آورده شده است .

۳-۱-۶ نمک

برای تولید امولسیون قیری کند شکن از نمک کلرید پتاسیم که در کارخانجات امولسیون سازی منطقه مصرف می‌شود، استفاده شد . مشخصات نمک مصرفی در جدول (۳) نوشته شده است .

۳-۱-۷ مصالح سنگی

برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی از مصالح شکسته آهکی استفاده شد. در جدول (۴) مشخصات مصالح سنگی و در جدول (۵)، دانه بندی آن که از نوع دانه بندی باز است، آورده شده است .

جدول ۱ . مشخصات قیر خالص ۱۰۰- ۸۵ پالایشگاه تبریز

ردیف	شرح آزمایش	روش آزمایش		نتایج	مشخصات استاندارد طبق AASHTO M20	
		ASTM	AASHTO		حداقل	حداکثر
۱	وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتیگراد	D70	T228	۱/۰۱۷		
۲	درجه نفوذ در۲۵ درجه سانتیگراد (۱۰۰ گرم- ثانیه)	D5	T49	۹۷	۸۵	۱۰۰
۳	نقطه نرمی (گلوله- حلقه) بر حسب سانتیگراد	D36	T53	۴۷/۶		
۴	مقدار کشش در ۲۵ درجه سانتیگراد بر حسب سانتیمتر	D113	T51	۱۰۰<	۱۰۰	
۵	حلالیت در تترا کلرید کربن	D2042	T44	۹۹/۵۶	۹۹	
۶	درجه اشتعال (روباز- کلوند) سانتیگراد	D92	T48	۲۶۰	۲۳۲	
۹	افت حرارت بر حسب درصد			۰/۱۵		۱
۱۰	درجه نفوذ بعد از آزمایش (افت حرارتی)			۶۶		
۱۱	نسبت درصد درجه نفوذ بعد ازآزمایش به درجه نفوذ اولیه			۶۶	۵۰	
۱۲	مقدار کشش قیر بعد از آزمایش در ۲۵ درجه سانتیگراد			۸۰	۷۵	
	حساسیت حرارتی قیر					
۱۳	PI- (بر حسب درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد ونقطه نرمی قیر)			-۰/۳		
۱۴	PVN- (بر حسب درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد و غلظت در ۱۳۵ درجه سانتیگراد بر حسب سانتی استکس)			۳/۲۱		

جدول ۲. مشخصات بنتونیت مصرفی

ذرات بزرگ تر از ۷۵ میکرون	PI	PL	LL	Gs
کمتر از ۴ درصد	۱۲۲	۴۱	۱۶۳	۲/۳۵۲

جدول ۳. مشخصات کلرید پتاسیم

فرمول شیمیایی	دمای ذوب	شکل ظاهری	جرم مولی (gr/mol)	Gs
KCL	°C۷۷۶	کریستال سفید جامد	۷۴/۵۵۱	۱/۹۸۷

جدول ۴. مشخصات مصالح سنگی

نوع مصالح	درصد هم ارز ماسه ای AASHTO T176	درصد افت وزنی به روش لس آنجلس AASHTO T 98		درصد شکستگی روی الک شماره ۴		درصد چسبندگی قیر به مصالح AASHTO T 182
		دور دستگاه	درصد سایش	در یک جبهه	در دو جبهه	
۲۵ – ۶ میلیمتر	-	۵۰۰	۱۹	۹۹	۹۶	بیشتر از ۹۵درصد
۶– ۰ میلیمتر	۶۳	–	–	۹۹	۹۵	بیشتر از ۹۵ درصد

جدول ۵ . دانه بندی مصالح سنگی

رد شده از الک درصد	محدوده قابل قبول درصد	اندازه الک mm
۱۰۰	۱۰۰	۱۹/۰۰
۹۳	۸۵ – ۱۰۰	۱۲/۵۰
۷۵	۶۰ – ۹۰	۹/۵۰
۳۵	۲۰ – ۵۰	۴/۷۵
۱۵	۵ – ۲۵	۲/۳۶
۱۱	۳ – ۱۹	۱/۱۸
۵	–	۰/۶۰

۳-۲ تهیه نمونه ها

۳-۲-۱ نمونه های امولسیونی

الف- تهیه نمونه های امولسیونی

برای اختلاط درصدهای مختلف آب، قیر و سایر افزودنی ها و تولید انواع امولسیون، از مخلوط کن با دور تند[۸] استفاده شد مخلوط کن دور تند با الهام گیری از منابع علمی ، توسط مولفین مطابق (شکل ۲) طراحی و ساخته شد .

شکل ۲. مخلوط کن دور تند

مطابق منابع نظری محدود در دسترس، تولید امولسیون توسط مخلوط کن شامل چند مرحه کلی است [, Alan James] 2010

۱) گرم کردن قیر تا دمای ۱۴۰ درجه

۲) تهیه فاز آبی و تنظیم پی اچ آن

۳) گرم کردن فاز آبی تا دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه

۴) روشن کردن مخلوط کن در حالت فاز آبی

۵) اضافه کردن قیر به فاز آبی در حین اختلاط

۶) اختلاط مداوم مخلوط حداقل به مدت ۳ دقیقه

در این تحقیق مراحل فوق انجام شد ولی پس از تلاش های متعدد، مشخص شد که نیاز است نکات بیشتری رعایت شود تا امولسیون مناسب تولید شود. این نکات تجربه شده عبارتند از :

۱) با توجه به نسبتهای مواد سازنده امولسیون، باید بنتونیت مورد نظر حداقل ۲۴ ساعت قبل از اختلاط، با آب مخلوط شده و به اصطلاح خیس بخورد [El Gamala, Mohameda and Zakeri, 2005].

۲) بهترین روش این است که پس از وزن کردن مصالح فوق، آنها را درون یک ظرف (بطری) سرپوش دار ریخته و به مقدار لازم آب گرم به آن اضافه شود. سپس در ظرف بسته و به شدت به‌هم زده شود .

۳) پیش گرمایش مخلوط کن قبل از اختلاط بسیار ضروری است. چون کلیه قطعات مخلوط کن از جنس استیل بوده و در صورت عدم پیش گرمایش، دمای مخلوط را پایین می‌آورد و حتی ممکن است محصول نهایی تولید نشود .

۴) اضافه کردن قیر به فاز آبی باید به آرامی و با دقت انجام شود. اضافه کردن یکباره قیر باعث جوشیدن فاز آبی می‌شود و عمل اختلاط را مختل می کند .

۵) سرعت مخلوطکن در تمام مدت امولسیون سازی باید بالای پنج هزار دور دقیقه باقی بماند وگرنه امولسیون سازی انجام نمی‌شود .

۶) بهتر است دمای فاز آبی در ساخت امولسیون‌های رسی بیشتر از ۵۰ درجه سانتیگراد باشد .

ب- مشخصات نمونه های تولیدی

برای انجام آزمایشها و بررسیهای لازم، پنج نمونه امولسیون قیری رسی و دو نمونه امولسیون قیری کاتیونی کندشکن با مقدار قیر تقریباً برابر، تولید شدند.

مشخصات نمونه ها در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶. درصد مواد تشکیل دهنده امولسیونهای تولیدی

نام نمونه	A رسی	B رسی	C رسی	D رسی	E رسی	F کاتیونی	G کاتیونی
آب	۵۲/۳۳	۵۱/۸۳	۵۱/۳۳	۵۰/۷۵	۵۰/۲۵	۴۷/۶۸	۳۲/۶۸
اسید	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۱۷
بنتونیت	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	–	–
قیر	۴۴/۴۵	۴۴/۴۵	۴۴/۴۵	۴۴/۴۵	۴۴/۴۵	۵۰	۶۵
امولسیون ساز	–	–	–	–	–	۱	۱
نمک	–	–	–	–	–	۰/۱۵	۰/۱۵
حلال نفتی	–	–	–	–	–	۱	۱
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پی اچ بهینه	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۲

مطابق جدول ۶ مشاهده می‌گردد که برای تهیه امولسیون‌های کاتیونی در هرتن امولسیون، حداقل ۱ درصد (۱۰ کیلوگرم) امولسیون ساز مورد نیاز است و در مورد امولسیونهای رسی ملاحظه می شود که در هر تن امولسیون، حداکثر ۵ درصد (۵۰ کیلوگرم) رس بنتونیت مورد نیاز است .در هنگام انجام این تحقیق، قیمت هر کیلوگرم امولسیون ساز ۲/۵ دلار و قیمت هر تن بنتونیت ۴۵ دلار بود.در مورد امولسیون‌های کاتیونی هزینه ماده امولسیون ساز برای هر تن ۲۵ دلار و در مورد امولسیون‌های رسی این مقدار ۲/۲۵ دلار برای هر تن امولسیون به دست می‌آید.

۳-۲-۲ نمونه های مخلوط آسفالتی

الف- روش تهیه نمونه های مخلوط آسفالتی

نمونه های مخلوط آسفالتی به روش مارشال و در قالب نمونه‌های استوانه ای مارشال به قطر ۱۰۲ میلیمتر و ارتفاع ۸۰ میلیمتر تهیه شدند. برای تراکم با استفاده از چکش مارشال ، ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه وارد شد.

ب- مشخصات مخلوط آسفالتی

مخلوط های آسفالتی تهیه شده از نوع آسفالت سرد با دانه بندی باز انتخاب شدند. مطابق آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، دامنه دمایی استفاده از امولسیون‌ها در حین اختلاط با مصالح، ۷۰ – ۱۰ درجه سانتیگراد است که در این تحقیق، با توجه به اینکه ویسکوزیته امولسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد اندازه گیری و مشخص شده بود، امولسیون‌ها در دمای ۲۵ درجه به۱۲۰۰ گرم مصالح سنگی آهکی با دانه بندی مشخص، اضافه و به خوبی مخلوط شدند.

به هر نمونه ۱۰۰ گرم و به عبارتی ۸ درصد وزن مصالح سنگی امولسیون قیری اضافه شد .

۳-۲-۳ آزمایش ها

الف- آزمایش های قیر امولسیونی

در جدول (۷)، فهرست آزمایشهای انجام شده و در ذیل آن بترتیب توضیحات مربوط به آزمایشات، آورده شده است.

۱) آزمایش تعیین کندروانی به روش سی بولت فیورل:

کندروانی امولسیون‌ها در بحث راهسازی جزو اولین مشخصاتی است که مورد بررسی قرار می گیرد و طبق آیین نامه، حداقل باید ۲۰ ثانیه باشد. تعیین کندروانی امولسیون قیری با استفاده از کندروانی سنج سی بولت – فیورل و در دماهای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد، (در این تحقیق ۲۵ درجه سانتی گراد) انجام می گیرد. کندروانی سی بولت فیورل بر حسب ثانیه عبارت است از مدت زمان لازم برای عبور۶۰ میلی لیتر امولسیون از یک روزنه به قطر ۳/۱۵ میلیمتر که در این دستگاه تعبیه شده است.

۲) آزمایش تعیین بار الکتریکی ذرات امولسیون قیری:

در این آزمایش امولسیون قیری را در یک بشر ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و الکترودهای مثبت و منفی را در آن قرار می دهند. جریان مستقیم الکتریکی را با استفاده از مقاومت الکتریکی متغیر در ۸ میلی آمپر تنظیم می نمایند. وقتی شدت جریان به ۲ میلی آمپر افت کرد و یا پس از مدت ۳۰ دقیقه (هر کدام که زودتر رخ داد) جریان را قطع نموده و الکترودها را مشاهده می نمایند. اگر امولسیون قیری از نوع کاتیونیک باشد، قشری از قیر روی قطب کاتد (الکترود منفی) و اگر از نوع آنیونیک باشد روی قطب آند (الکترود مثبت)، رسوب می‌کند.

۳) آزمایش پایداری امولسیون در انبار بعد از ۲۴ ساعت:

این آزمایش تمایل ذرات قیری به نشست در امولسیون های قیری را مشخص می کند و از نتایج آن می توان برای بررسی پایداری آنها، هنگام ذخیره سازی استفاده کرد. در این آزمایش ۵۰۰ میلی لیتر از امولسیون قیری را بطور جداگانه در داخل دو استوانه شیشه‌ای ریخته، درپوش آنرا می بندند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری می کنند. بعد از این مدت طی فرایندی از بالا و پایین استوانه ها نمونه برداری انجام می شود . درصد نشست در ۲۴ ساعت، از اختلاف میانگین درصد باقیمانده از تبخیر نمونه برداشته از بالا و پایین استوانه ها، به دست می آید

۴) قابلیت اندود مصالح و مقاومت آن در مقابل آب:

در این آزمایش ۴۶۱ گرم مصالح خشک با دانه بندی مشخص (۱۰۰در صد عبوری از الک ۱۹ میلی متر و بیش از ۹۵ درصد مانده روی الک ۴,۷۵ میلی متر) را با ۴ گرم پودر کربنات کلسیم به مدت حدود ۱ دقیقه خوب مخلوط می کنند تا پوشش نازک یکنواخت روی سنگدانه ها بنشیند. ۳۵ گرم از امولسیون قیری را بر روی آن ریخته و به مدت ۵ دقیقه به شدت هم می زنند. سپس مقدار اضافی امولسیون قیری را با کج کردن ظرف خارج می‌کنند. در حدود نیمی از مصالح را بر روی کاغذ جاذب رطوبت ریخته، وضعیت پوشش قیری مصالح سنگی را ارزیابی می نمایند. بلافاصله با آبفشان بر روی نیمه دیگر مصالح سنگی اندود شده از ارتفاع ثابت و معینی، آب ریخته تا روی مخلوط را بپوشاند. شستشو را آنقدر ادامه می دهند تا آب خروجی، زلال شود. سپس با احتیاط آب اضافی ظرف محتوی مخلوط را خالی می کنند. مخلوط را بر روی کاغذ جاذب رطوبت ریخته و پوشش قیری مصالح سنگی را با بررسی چشمی مورد ارزیابی قرار می دهند و بصورت خوب، متوسط و ضعیف گزارش می نمایند.

۵) آزمایش تعیین زمان شکست وگیرش اولیه امولسیون:

جدول ۷ . آزمایشهای انجام شده بر روی امولسیونهای قیری

ردیف	عنوان	استاندارد
۱	آزمایش تعیین کندروانی به روش سی بولت فیورل	ASTM : D244
۲	آزمایش تعیین بار الکتریکی ذرات امولسیون قیری	ASTM : D244
۳	آزمایش پایداری امولسیون در انبار بعد از ۲۴ ساعت	ASTM : D244
۴	قابلیت اندود مصالح و مقاومت آن در مقابل آب	ASTM : D244
۵	آزمایش تعیین زمان شکست وگیرش اولیه امولسیون	-

۶) این آزمایش، آزمایش استانداردی نبوده و صرفا جهت مشخص شدن مدت زمان لازم در دمای اتاق برای شروع شکست امولسیونها انجام می شود. برای این منظور پس از ساخت امولسیون و سرد شدن آن، مقدار ۵۰ گرم از امولسیون با ۵۰۰ گرم مصالح درشت دانه بخوبی مخلوط و روی کاغذ جاذب آب پخش می شود. با گذشت زمان، نمونه ها به صورت منظم با دست کنترل شده و هنگامی که در سنگدانه ها خاصیت چسبندگی مشاهده گردید زمان با دقت ساعت گزارش می شود.

ب- آزمایش مخلوط آسفالتی

برای بررسی عملکرد امولسیونهای قیری در اختلاط با مصالح سنگی از آزمایش کشش غیر مستقیم بر روی نمونه های مارشال (مطابق با AASHTO:T283) استفاده شد. هدف از انجام آزمایش مقایسه مقاوت کششی نمونه های آسفالتی با دانه بندی باز ساخته شده با ۳ نمونه از امولسیون‌های تولیدی و درک تاثیر نوع و میزان اثر امولسیون سازها بر مقاوت کششی مخلوط آسفالتی بود.

مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$S_t = \frac{2000P}{\pi D} \qquad (۱)$$

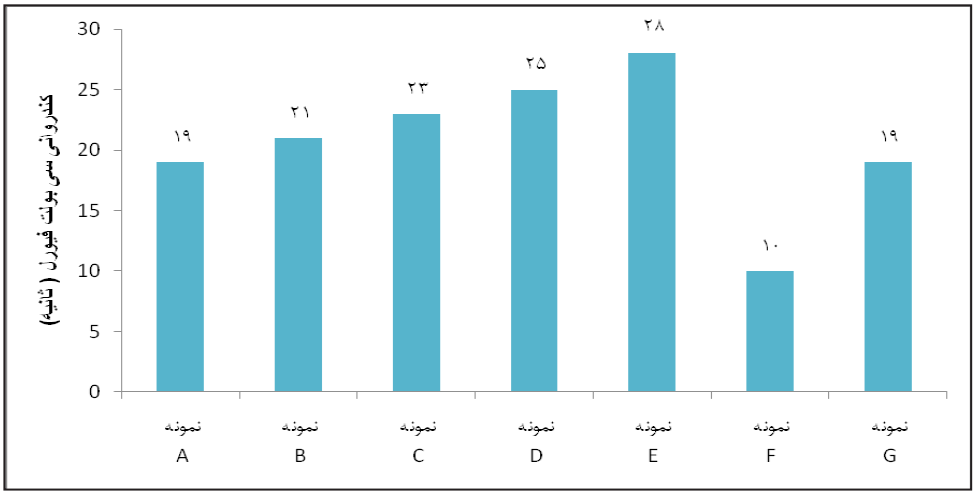
که در آن S_t مقاومت کششی غیر مستقیم بر حسب کیلو پاسکال، P حداکثر با وارده بر حسب نیوتن، D قطر نمونه بر حسب میلیمتر و t ضخامت نمونه بر حسب میلیمتر است.

۴. نتایج

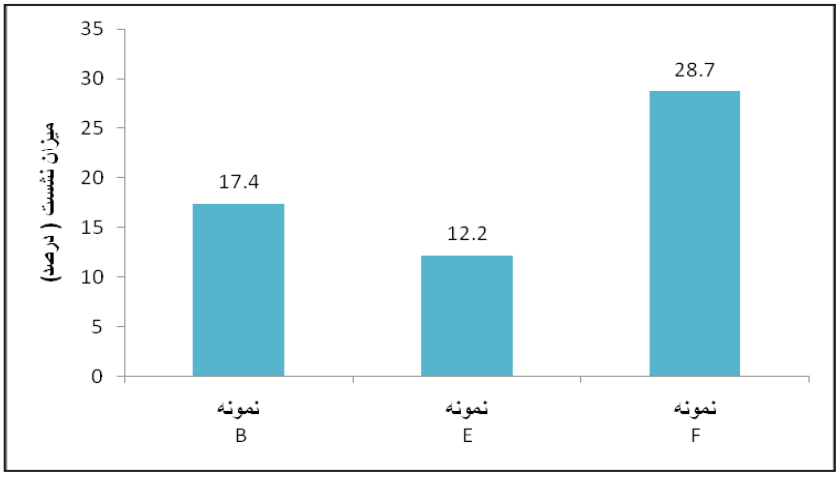
۴-۱ نتایج آزمایش های قیر امولسیونی

۴-۱-۱ کندروانی به روش سی بولت فیورل

در شکل (۳) نتایج آزمایش کندروانی ارائه شده است. با افزایش مقدار رس، (در امولسیونهای A تا E) میزان کندروانی امولسیونها هم افزایش میابد. نمونه B اولین امولسیونی است که کندروانی آن از لحاظ آیین نامه ای (آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران) مورد قبول و بیشتر از ۲۰ ثانیه است. بنابراین مطالعه خواص نمونه‌های B (اولین امولسیون قابل قبول) و E (آخرین امولسیون تولید شده قابل قبول) می‌تواند خواص نمونه های C و D را هم پوشش دهد. بنابراین آزمایشهای بعدی فقط بر روی سه نمونه B و E و F انجام شدند .



شکل ۳. کندروانی امولسیونهای تولید شده در تحقیق



شکل ۴. نشست امولسیونهای تولید شده پس از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار

شکل ۵. زمان شکست و گیرش اولیه امولسیون بر حسب ساعت

۴-۱-۲ بار الکتریکی سطحی ذرات قیر

بر اساس نتایج این آزمایش، امولسیونهای قیری پایدار شده با بنتونیت، دارای بار الکتریکی منفی و امولسیون قیری کاتیونی کندشکن دارای بار الکتریکی مثبت بودند.

۴-۱-۳ نشست پس از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار

نتایج آزمایش نشست بعد از ۲۴ ساعت در شکل (۴) آورده شده است . نمونه E کمترین و نمونه F بیشترین میزان نشست را دارند.

۴-۱-۴ زمان شکست وگیرش اولیه امولسیون

نتایج آزمایش زمان شکست و گیرش امولسیون در شکل (۵) آورده شده است. زمان شکست در نمونه E بیشتر از سایر نمونه‌ها به دست آمد.

۴-۱-۵ دوام اندود مصالح در برابر آب

دوام اندود مصالح در برابر آب برای نمونه B ، امولسیون حاوی ۴۵ درصد قیر و ۳/۵ درصد بنتونیت، متوسط و برای نمونه E، امولسیون حاوی ۴۵ درصد قیر و ۵ درصد بنتونیت، خوب و برای نمونه F امولسیون قیری کاتیونی کندشکن حاوی ۵۰ درصد قیر، ضعیف گزارش شد. در شکلهای (۶) تا (۸) نتایج حاصل از دوام اندود مصالح در برابر آب مشاهده می‌شود.

شکل ۶. دوام اندود مصالح برای نمونه B (سمت راست بعد از شست و شو)

شکل ۷. دوام اندود مصالح برای نمونه E (سمت راست بعد از شست و شو)

شکل ۸. دوام اندود مصالح برای نمونه F (سمت راست بعد از شست و شو)

۴-۲ نتایج آزمایش مخلوطهای آسفالتی

شکل ۹. مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های ساخته شده (کیلو پاسکال)

مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های مارشال در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شرایط خشک (بر حسب کیلو پاسکال) در شکل (۹) آورده شده است. نمونه E دارای بیشترین مقاومت کششی است.

۵. تحلیل نتایج

۵-۱ تحلیل نتایج آزمایش‌های امولسیون‌ها

بر اساس نتایج آزمایش کندروانی مشخص شد که با افزایش درصد رس، کندروانی امولسیون افزایش می یابد. این نتیجه قابل پیش بینی بود. حداقل مقدار قیر برای کسب حدود آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، کندروانی (۲۰ ثانیه)، در مورد امولسیون‌های رسی ۴۵ و برای امولسیون‌های کاتیونی بیشتر از ۶۵ درصد است و این به آن معنی است که امولسیون‌های رسی با ۲۰ درصد قیر کمتر می توانند حدود آیین نامه ای را کسب کنند . منفی بودن بار الکتریکی سطحی امولسیون رسی برخلاف انتظار بود. زیرا در اکثرمنابع، امولسیونهای رسی جزء امولسیونهای خنثی(غیریونی) رده بندی می‌شوند، اما نتیجه حاضر نشان می‌دهد در امولسیون‌های رسی، ذرات رس، همان گونه که در(شکل ۱) نشان داده شده است، ذرات قیر را احاطه می کنند و چون ذرات و کانیهای رس، خود دارای بار منفی هستند، با ایجاد نیروی دافعه، هم باعث پایدار شدن سیستم امولسیون و هم سبب ایجاد خواص شبه آنیونیک در این نوع امولسیون‌ها می‌شوند. از این رو تولید امولسیون آنیونی با استفاده از ترکیب مورد آزمایش می تواند در کارآیی آن درصنعت راهسازی بسیارمؤثر باشد .

به طورکلی هر اندازه مقدار نشست کمترباشد، قابلیت آن در انبارکردن و انتقال به فواصل دور بیشتر شده و امولسیون، مرغوب‌تر به شمار می‌آید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش مقدار رس به میزان ۲ درصد ، مقدار نشست امولسیون‌ها به میزان ۵ درصد کمتر می‌شود. در مورد نشست نمونه کاتیونی هم مشاهده می‌شود که در شرایط نسبتاً برابر، میزان نشست تقریباً دو برابرنمونه‌های رسی است.

البته آیین نامه راه‌های ایران مقدار حداکثر مجاز برای نشست را یک درصد تعیین کرده است و روشن است که نمونه‌های تولیدی تا رسیدن به مرز قابل قبول فاصله زیادی دارند. ولی با توجه به اینکه شرایط و ابزار تولید در هر دو نوع کاتیونی و رسی کاملا یکسان بوده اند، می توان نتیجه گیری کرد که از نقطه نظر نگهداری در انبار، امولسیون‌های رسی نسبت به امولسیون‌های کاتیونی کاربردی تر هستند.

زمان شکست بسته به نوع امولسیون ، آب و هوا ، مصالح و محل مصرف امولسیون میتواند متغیر بوده وانتخاب شود. از طرفی

می‌دانیم که فرآیند آبگیری کانیهای رس امری نسبتا سریع بوده و فرآیند آب دهی، معمولا کندتر از فرآیند آبگیری صورت می‌گیرد، از این رو پیش بینی می‌شود که امولسیون‌های رسی در گروه امولسیون‌های کند شکن واقع شوند. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش شکست این موضوع روشن شد که امولسیون‌های رسی، جزء امولسیون‌های کندشکن هستند و هرچقدر میزان رس زیادتر شود، زمان شکست امولسیون هم افزایش پیدا می کند.از این رو می‌توان از این امولسیون‌ها در مواردی که امولسیون‌های کند شکن مورد مصرف قرار می‌گیرند به راحتی استفاده کرد.

در زمینه قابلیت اندود مصالح توسط امولسیون‌ها، مطابق نتایج، مشاهده شد هردو نوع کاتیونی و رسی در هنگام اختلاط با مصالح سنگی به خوبی سطح مصالح را می‌پوشانند . با توجه به اینکه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، کندروانی امولسیون کاتیونی کمتر از امولسیون‌های رسی است، پوشش امولسیون روی مصالح کمی بهتر از نوع رسی انجام شد، ولی در حالت کلی نتیجه برای هر دونوع امولسیون خوب گزارش گردید. ولی در مورد دوام اندود مصالح در برابر آب لازم به ذکر است که دوام امولسیون کاتیونی بسیار ضعیف مشاهده شد، درصورتی که دوام امولسیون‌های رسی در برابر آب بهتر بوده ومشخص شد با افزایش میزان رس، دوام هم بیشتر می‌شود .لازم به ذکر است که نگرش غالب در مورد امولسیون‌های رسی، این است که این امولسیون‌ها با داشتن رس در ساختمان خود ، در برابر آب از خود نقطه ضعف نشان می‌دهند که با انجام این آزمایش، عکس این باور ثابت شد.

۵-۲ تحلیل نتایج مخلوط‌های آسفالتی

نتایج نشان می دهد که افزایش میزان رس در امولسیون‌های رسی، مقاومت کششی نمونه های آسفالتی ساخته شده را اندکی افزایش می‌دهد. اما مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با امولسیون کاتیونی نسبت به نمونه های رسی به صورت قابل توجهی، پایین‌تراست. مقایسه عددی مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی ساخته شده، نشان داد که نمونه های حاوی امولسیون‌های رسی(امولسیون حاوی حدودا ۴۵ در صد قیر) با ۱۰ درصد قیر کمتر نسبت به امولسیون کاتیونی(امولسیون با ۵۰درصد قیر)، به طور میانگین ۱۰ درصد مقاومت کششی بیشتری از خود نشان دادند.

۶ . نتیجه گیری

در این تحقیق برای ساخت امولسیون از بنتونیت تولید داخل و از مخلوط کن دور تند استفاده شد. امولسیون‌های پایدار شده با بنتونیت، با موفقیت تولید شده و مشخص شد که با افزایش درصد بنتونیت خواص امولسیون و قیر باقیمانده از شکست امولسیون، بهبود می‌یابد. همچنین امولسیون‌های قیری رسی نسبت به امولسیون‌های قیری کاتیونی دارای خواص و رفتار بهتر، هزینه تولید بسیار کمتر، پیچیدگی‌های تولید کمتر، خاصیت اسیدی کمتر بوده و می توان با تولید امولسیون‌های قیری رسی در مصرف قیر هم صرفه جویی کرد . در ذیل نتایج این تحقیق با جزئیات آورده شده است :

– تولید امولسیون‌های قیری رسی با بنتونیت ایرانی در داخل کشور امکان پذیر است و می توان با وجود معادن بزرگ بنتونیت در کشور براحتی این فراورده ها را تولید و استفاده کرد.

– در مقایسه خواص هر دو گروه رسی و کاتیونی با مقدار قیر تقریبا برابر(۵۰ درصد) مشخص گردید نتایج آزمایشهای کندروانی، دوام اندود مصالح در برابر آب، ته نشینی بعد از ۲۴ ساعت نگهداری برای امولسیون‌های رسی بسیار بیشتر از امولسیون کاتیونی به دست آمده و نتایج امولسیون کاتیونی تولید شده غیرقابل قبول است .

– با توجه به دارا بودن بار الکتریکی منفی امولسیون‌های رسی، استفاده از آن به نسبت امولسیونهای کاتیونی دارای محدودیت بیشتری است .

– در مقایسه مواد ساخت، امولسیونهای رسی دارای تنوع محدودتر مواد و پی اچ ۴ و گروه دوم دارای تعدد مواد و پی اچ۲ است که نشان می دهد امولسیون‌های کاتیونی خاصیت اسیدی زیادتری داشته و ساخت و نگهداری گروه اول آسان تر و کم خطر تر است .

– هزینه تامین امولسیون ساز کاتیونی با توجه به قیمت زیاد آن (۲۵ دلار برای هر تن امولسیون) ، برای سازندگان گران است و معمولاً به همین دلیل، کمتر از حدنیاز استفاده می‌شود. در صورتی که قیمت ارزان بنتونیت در کشور (۲/۲۵ دلار برای هر تن امولسیون)، تولید امولسیون‌های رسی را از دیدگاه اقتصادی بیشترتوجیه می کند .

۷. سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس علیرضا سورچی و همکاران آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان آذربایجان شرقی که در تمام امور اجرایی این تحقیق مساعدت بسیار کردند، سپاسگزاریم.

۸. پی نوشتها

1- Hugh Alan Mackay
2- Hydrophilic
3- Lipophilic
4- Montmorillon
5- Ilite
6- Laponite
7- Kaolinite
8- High shear mixer

۹. مراجع

- Adamis, Z., Fodor, J. and Williams, R. B. (2005) “Bentonite, kaolin and selected clay minerals”, Environmental Health Criteria 231, World Health Organization, Geneva.

- El Gamala, M., Mohameda, A. M. and Zekri, A. (2005) “Effect of asphaltene, carbonate and clay mineral contents on water cut determination in water–oil emulsions Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 46, pp. 209 – 224.

- James, A. (2010) “Clay-stabilised asphalt emulsions”, AkzoNobel Surface Chemistry LLC.

- James, A. (2011) “Clay-stabilised emulsions”, Asphalt Newsletter Issue 82, AkzoNobel, tcm 45, pp. 2-3.

- James, A. and Zhou, P. (2012) “Particle-stabilized and particle-modified emusions and their residues”, International Symposium on Asphalt Emulsion Technology.

- Zare-Shahabadi, A., Shokuhfar, A. and Ebrahimi-Nejad, S. (2010) “Preparation and rheological characterization of asphalt binders reinforced with layered silicate”, Nanoparticles Construction and Building Materials 24, pp.1239–1244.

– مرندی، مرتضی و نیکی رشیدی، هادی (۱۳۸۵) "تاریخچه مروری کاربرد و تولید امولسیونهای قیری، سومین همایش قیر و آسفالت ایران"، موسسه قیرو آسفالت ایران.

– ندائی، محمد امین و ازهر، حدیث السادات (۱۳۸۵) « کاربردها و مزیتهای امولسیون قیر در راهسازی»، سیزدهمین کنفرانس دانشجویان سراسر کشور.

– نیکی رشیدی، محمد هادی و نیکی رشیدی، محمد مهدی (۱۳۸۵) "درآمدی برقیرامولسیون"،سیزدهمین‌کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، دانشگاه‌شهید باهنر کرمان ۴۵۱– ۴۶۱.