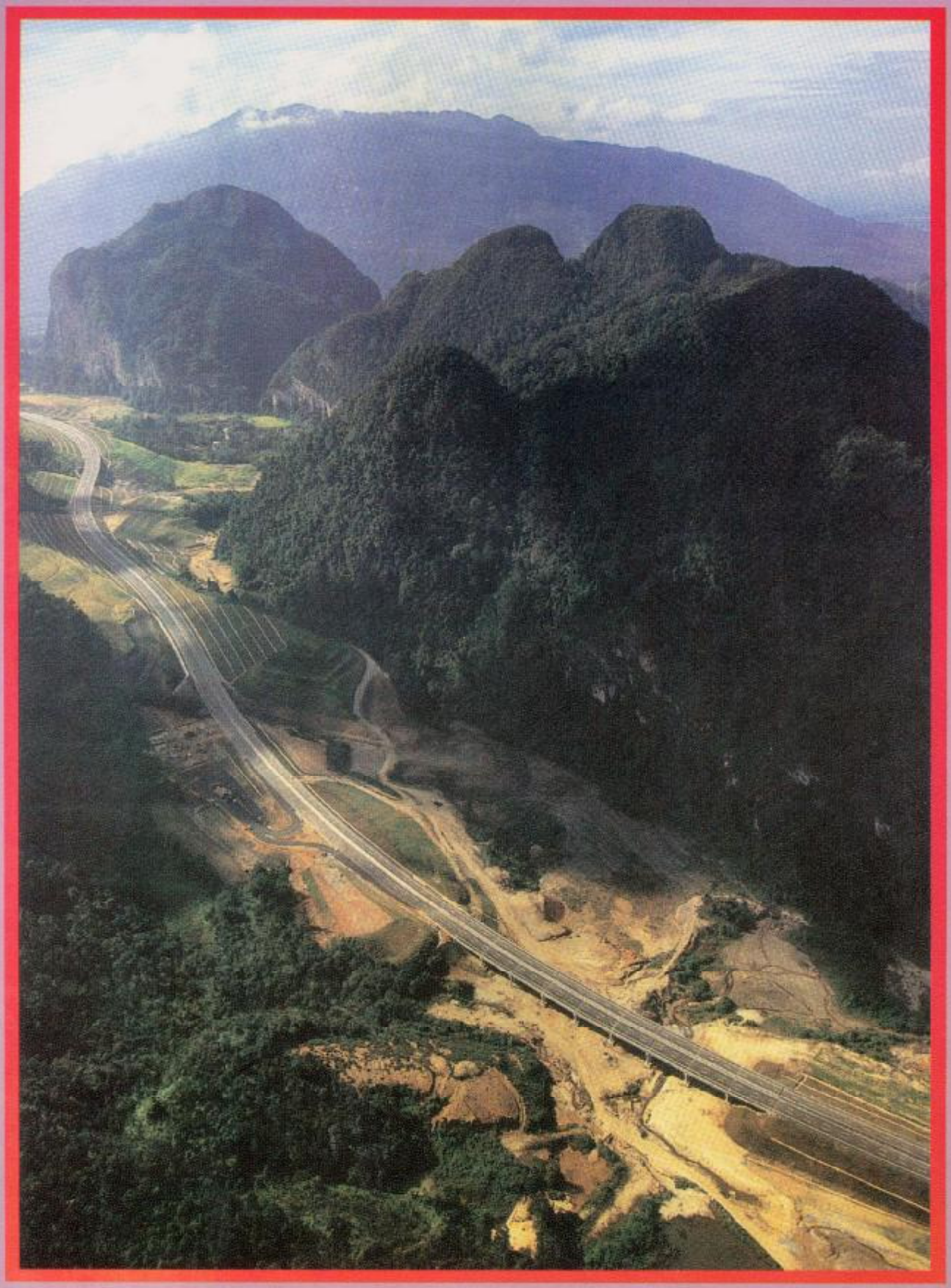
جاده

فصلنامه علمی، ترویجی در زمینه راه و مهندسی حمل و نقل

از انتشارات سازمان توسعه راههای ایران

ISSN 1735-062X



(آزاد راهی در کشور مالزی)

بسم الله الرحمن الرحیم

جاده

فصلنامه علمی، ترویجی در زمینه
راه و مهندسی حمل و نقل

صاحب امتیاز:
سازمان توسعه راههای ایران
❖❖❖
مدیر مسئول:
مهندس اسکندر سعیدی کیا
❖❖❖
سردبیر:
دکتر حمید بهبهانی
❖❖❖
شورای دبیران:
مهندس علیرضا امیدوار
مهندس حسین تهرانی
مهندس ابراهیم چینی فروش
دکتر علی خدایی
دکتر علیرضا رهایی
مهندس اسکندر سعیدی کیا
دکتر سیدغلامرضا شیرازیان
دکتر محمود صفارزاده
دکتر محمود عامری
مهندس محمد اسماعیل علیخانی
دکتر احمد فهیمی فر
دکتر سعید کاویانی
دکتر هادی نظرپور
❖❖❖
مدیر فنی :
حسین داودی

تیراژ: ۱۵۰۰ نسخه

شماره ۶۰ - زمستان ۸۶

آنچه در این شماره می خوانید:

عنوان	صفحه
خصوصیات رفتاری مخلوط های آسفالت سرد امولسیونی امیر کاووسی - امیر مدرس	۴
معرفی روشهای طرح مخلوط های بازیافتی آسفالت به روش سرد مرتضی جلیلی- ابوالفضل محمدزاده	۱۳
تبیین فرآیند عملکردی سیستم های هوشمند حمل و نقل محمود صفارزاده .بابک میر بهاء	۲۷
تخمین ایمنی راه توسط روش بیزین تجربی محمد رضا احدی - علی توکلی	۴۲
شناسایی ریسک های پروژه های راهسازی به روش Bot در ایران حمید بهبهانی - سید علی طالقانی	۵۴
بررسی نحوه طراحی و لزوم احداث مجتمع های خدماتی - رفاهی عبداله فتحی - مهدی طوبائی	۶۴
بررسی عوامل موثر و وسایل اندازه گیری مقاومت لغزشی سطوح آسفالتی محمود عامری - حمید جهانیان	۷۱
ممسنات و مشخصات آسفالت متخلخل علی خدایی - امیر کاووسی - زهرا میرعزیزی	۸۰
کاربرد آزمون دایلاتومتر تخت در مطالعه رفتار خاک علی قنبری	۸۹

✔ مطالب و مقاله های دریافتی، برگردانده نمی شود.
✔ نقل مطالب با ذکر ماخذ ، آزاد می باشد.
✔ جاده در گزینش، ویرایش و تلخیص مطالب و مقاله های دریافتی آزاد است.

شرح عکسها:

روی جلد: آزاد راه پنانگ (مالزی).
پشت جلد: راه شرقی - غربی (مالزی).

سازمان توسعه راههای ایران
تهران: کیلومتر ۴ جاده مخصوص کرج - بولوار شیشه مینا - بولوار ولیعصر
سازمان توسعه راههای ایران
تلفن مدیر مسئول: ۶-۴۴۵۰۳۴۵۵ روابط عمومی: ۴۴۵۰۳۴۵۷ فاکس:۴۴۵۰۳۴۵۶-۴۴۵۱۶۱۱۶
E-mail:jaddeh@irdo-org

معرفی روش های طرح مخلوط های بازیافتی آسفالت به روش سرد با امولسیون قیر

دریافت: آبان ۸۶
پذیرش: بهمن ۸۶

مرتضی جلیلی قاضی زاده، کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
ابوالفضل محمدزاده دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
Jalili .m@engineer.com

چکیده

هدف اصلی از طرح اختلاط در بازیابی آسفالت به روش سرد، تولید مخلوطی مشابه با مخلوطی است که کاملاً با مصالح جدید ساخته شده باشد. اولین گام در طرح مخلوط، ارزیابی مصالح می باشد که خود شامل: نمونه برداری میدانی، تعیین خصوصیات و ترکیبات قیر قدیمی و مصالح سنگی روسازی قدیمی است. یکی از اهداف مهم این مرحله تشخیص کمبودهای مخلوط قدیمی و تعیین نیاز به مصالح جدید می باشد. طرح مخلوط شامل انتخاب ماده احیاء کننده و تعیین درصد قیر بهینه است. امروزه روشی استاندارد و پذیرفته شده برای طرح مخلوط های بازیافتی به روش سرد با امولسیون قیر وجود ندارد و بطور کلی آزمایش ها، فرمول های تجربی و تجربیات قبلی با پروژه های مشابه برای تعیین میزان اولیة قیر مورد استفاده قرار می گیرد و بدین صورت که پس از شروع عملیات ساختمانی در صورت ضرورت نسبت به تعدیل و تنظیم آن اقدام گردد با این وجود برخی موسسات تحقیقاتی روش هایی را ارائه داده اند. برخی از این روش های طرح عبارتند از روش اتحادیه بازیابی و بازیافت آسفالت، روش کالیفرنیا، پنسیلوانیا، انستیتو آسفالت و روش های جدید بر اساس روش طرح روسازی ممتاز که در حال ظهور هستند. در این مقاله به معرفی و بررسی روش هایی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته اند، پرداخته خواهد شد و در پایان روش طرح اختلاط پیشنهادی برای ایران ارائه شده است.

واژه های کلیدی: بازیافت آسفالت به روش سرد، طرح اختلاط، امولسیون قیر

۱- مقدمه

هدف اصلی از طرح اختلاط در بازیابی آسفالت به روش سرد، تولید مخلوطی مشابه با مخلوطی است که کاملاً با مصالح جدید ساخته شده باشد [۱]. امروزه روش عمومی و قابل پذیرش برای طرح اختلاط وجود ندارد [۱، ۲ و ۳] هرچند مراحل مشابهی در اکثر روش های طرح دیده می شود [۴]. بطور کلی آزمایش ها، فرمول های تجربی و تجربیات قبلی با پروژه های مشابه برای تعیین میزان اولیه قیر، مورد استفاده قرار می گیرد و پس از شروع عملیات ساختمانی در صورت ضرورت نسبت به تعدیل و تنظیم آن اقدام می شود [۳ و ۵].

۲- ارزیابی مصالح

اولین گام در طرح مخلوط، ارزیابی مصالح می باشد که خود شامل: نمونه برداری میدانی، تعیین خصوصیات و ترکیبات قیر قدیمی و مصالح سنگی روسازی قدیمی است [۵]. یکی از اهداف مهم این مرحله تشخیص کمبودهای مخلوط قدیمی و تعیین نیاز به مصالح جدید می باشد [۶]. طرح اختلاط شامل انتخاب ماده احیاء کننده و تعیین درصد قیر بهینه است [۷].

۲-۱- روش نمونه برداری میدانی

بعد از اینکه یک پروژه بعنوان کاندیدی برای بازیافت انتخاب شد، بایستی نمونه های میدانی برداشت شوند [۲ و ۵]. برداشت نمونه های شاخص از روسازی موجود، جهت تجزیه و تحلیل و همچنین اجرای طرح اختلاطی رضایت بخش مورد نیاز می باشد [۱]. در هنگام نمونه برداری بایستی ضخامت روسازی یادداشت گردیده و همچنین بازدید بصری از جاده و مروری بر سوابق ساختمانی و نگهداری راه انجام پذیرد تا هر گونه اختلاف قابل ملاحظه در مصالحی که بایستی بازیابی گردد مشخص شود. مقاطعی از جاده که دارای اختلاف درخور توجهی در ترکیب مصالح هستند بایستی بصورت واحد جداگانه مورد ارزیابی قرارگیرند [۱و۲]. برای نمونه برداری منطقه به قسمت های نسبتاً یکنواخت با خصوصیات مشابه تقسیم شده و حداقل پنج تا شش مکان برای نمونه برداری پیشنهاد می شود [۲ و ۸].

۲-۲- آزمایش های لازم برروی مصالح خرده آسفالتی (RAP)[1]

جهت تهیه طرحی مناسب برای مخلوط، به منظور بازیابی آسفالت به روش سرد، مصالح سنگی و قیری که از روسازی کهنه بدست آمده بایستی هر یک مستقلاً و بطور جداگانه مورد ارزیابی قرارگیرند. بنابراین بایستی بر روی مصالح خرده اسفالتی، آزمایشات زیر انجام پذیرد [۱، ۲، ۴ و ۶]:

- تعیین درصد رطوبت مصالح خرده آسفالتی
- استخراج قیر از مصالح خرده آسفالتی با استفاده از روش های ASTM D 2127[2] و ASTM D 1856[3]
- درجه نفوذ قیر استخراج شده با استفاده از روش ASTM D5[4]
- کندروانی قیر استخراج شده
- دانه بندی مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی استخراج شده از آن با استفاده از روش ASTM C 136[5]

۳- روش های طرح مخلوط

همانطور که قبلاً ذکر شد، روشی استاندارد و پذیرفته شده برای طرح مخلوط های بازیافتی به روش سرد وجود ندارد. با این وجود برخی موسسات تحقیقاتی روش هایی را ارائه داده اند. که بعضی از آنها عبارتند از روش اتحادیه بازیابی و بازیافت آسفالت[6]، روش کالیفرنیا، پنسیلوانیا، چورون[7]، انستیتو آسفالت و روش های جدید بر پایه روش های طرح روسازی های ممتاز[8] که در حال ظهور هستند. در ذیل روش هایی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته توضیح داده شده است. [۳، ۴، ۹ و ۱۰].

1- Reclaimed Asphalt Pavement
2- Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous paving Mixtures
3- Recovery of Asphalt from Solution by Abson Method
4- Penetration of Bituminous Materials
5- Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
6- Asphalt Recycling and Reclamation Association
7- Chevron
8- Superior performing Asphalt Pavement

جدول۱- راهنمایی برای دانه بندی مخلوط بازیافته به روش سرد [۱]

اندازه الک (میلی متر)	درصد عبوری بر حسب وزن						
	دانه بندی باز			دانه بندی متراکم			
	A	B	C	D	E	F	G
۳۸/۱	۱۰۰			۱۰۰			
۲۵	۹۵-۱۰۰	۱۰۰		۸۰-۱۰۰			
۱۹		۹۰-۱۰۰					
۱۲/۵	۲۵-۶۰		۱۰۰		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۹/۵							
(۴) ۴/۷۵	۰-۱۰	۰-۱۰		۲۵-۸۵	۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰
(۸) ۲/۳۶	۰-۵	۰-۵					
(۱۶) ۱/۱۸			۰-۵				
(۵۰) ۰/۳							
(۱۰۰) ۰/۱۵						۱۵-۳۰	۱۵-۶۵
(۲۰۰) ۰/۰۷۵	۰-۲	۰-۲	۰-۲	۳-۱۵	۰-۱۲		۱۲-۲۰

۳-۱- روش طرح مخلوط انستیتو آسفالت

با اطلاعاتی که از ارزیابی مصالح، بدست آمده می توان نسبت به فرموله کردن طرح اختلاط مخلوط آسفالت بازیافتی اقدام نمود. مراحل مختلف طرح مخلوط در زیر آورده شده است:

• ترکیب مصالح در مخلوط بازیافتی

با استفاده از دانه بندی مصالح بدست آمده از آسفالت روسازی قدیمی و در صورت نیاز مصالح جدید، یک دانه بندی ترکیبی که با دانه بندی مشخصات مورد نظر انستیتو آسفالت (جدول ۱) مطابقت داشته باشد محاسبه می گردد. اصلاح دانه بندی با مصالح جدید معمولاً لازم نمی باشد. با این وجود دانه بندی مصالح نمونه برداری شده بایستی همیشه مورد ارزیابی قرار گیرد.

• انتخاب نوع قیر جدید

انتخاب نوع قیر جدید در این روش براساس نوع دانه بندی (جدول ۲) انجام می گیرد.

• درصد قیر مورد نیاز برای ترکیب مصالح

درصد قیر مورد نیاز برای ترکیب مصالح را می توان با فرمول تجربی زیر محاسبه نمود:

$$Pc = \frac{0.035a + 0.045b + KC + F}{R} \quad (۱)$$

Pc= درصد مواد قیری نسبت به کل مخلوط

K= ۰/۱۵ برای ۱۵-۱۱ درصد عبور مصالح از الک شماره ۲۰۰
۰/۱۸ برای ۱۰-۶ درصد عبور مصالح از الک شماره ۲۰۰
۰/۲ برای ۵ درصد یا کمتر عبور مصالح از الک شماره ۲۰۰

a = درصد مصالحی که روی الک شماره ۸ باقیمانده است

b=درصد مصالحی که از الک شماره ۸ رد شده است و روی الک ۲۰۰ باقیمانده است

c=درصد مصالحی که از الک ۲۰۰ عبور می نماید

F= ۰ تا ۲ درصد که براساس درصد جذب قیر مصالح استوار است

R= ۱ برای قیر خالص و ۰/۶ تا ۰/۶۵ برای امولسیون قیر

جدول-۲ راهنمای انتخاب نوع امولسیون قیر بر اساس دانه بندی [۱]

نوع مصالح	نوع دانه بندی	ASTM D 977 آنیونیک					ASTM D 2397 کاتیونیک			
		MS-2,HFMS-2	MS-2h,HFMS-2h	HFMS-2S	SS-1	SS-1h	CMS-2	CMS-2 h	CSS-1	CSS-1h
مصالح با دانه بندی باز	A,B,C	*	*				*	*		
مصالح با دانه بندی متراکم	D			*	*	*			*	*
شن	E,F			*	*	*			*	*

• درصد قیر جدید در مخلوط

میزان قیر جدید که بایستی به مخلوط بازیافته اضافه شود برابر است با قیر محاسبه شده در مرحله قبل منهای درصد قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی قدیمی و فرمول آن عبارتست از:

$$P_r = P_t - \frac{(P_a \times P_p)}{R} \qquad (۲)$$

P_r = درصد قیر جدید درمخلوط بازیافتی

P_t = درصد قیر نسبت به کل مخلوط

P_a = درصد قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی

P_p = درصد لایه آسفالتی بدست آمده از روسازی در مخلوط بازیافتی

(در بازیابی تمام عمق کاربرد دارد)

• مخلوط آزمایشگاهی کارگاهی

تنظیم نهایی میزان قیر بر اساس نیاز به حداقل رساندن تغییر شکل و ترک خوردگی آسفالت و احداث سواره رویی با استحکام و پایدار، می تواند توسط مهندس مقیم در کارگاه به اجرا در آید [۱].

۳-۲- روش طرح مخلوط کالیفرنیا

در این روش دانه بندی نمونه های میدانی خرد شده بایستی با استفاده از الک های ۳۸، ۲۵، ۲۰، ۹/۵، ۴/۷۵ و ۴ میلی متر کنترل شوند. در این روش طرح همچنین بایستی کندروانی قیر کهنه تعیین شود. آزمایش طرح اختلاط شامل تعیین وزن مخصوص، درصد فضای خالی و استقامت نمونه های متراکم شده می باشد. درصد امولسیون انتخابی، حداکثر درصد امولسیونی است که حداقل مقدار استقامت مورد نظر را فراهم نماید و موجب قیر زدگی مخلوط نشود البته نباید کمتر از ۲٪ باشد. حداقل درصد فضای خالی در این روش طرح ۴٪ می باشد [۱۱].

۳ـ۳ـ روش های طرح اختلاط اتحادیه بازیابی و بازیافت آسفالت

اتحادیه بازیابی و بازیافت آسفالت سه روش را برای طرح اختلاط مخلوطهای سرد ارائه می دهد که عبارتند از روش اصلاح شده مارشال، روش اصلاح شده ویم و روش اورگان که به معرفی آنها پرداخته شده است.

۳ـ۳ـ۱ـ روش طرح اورگان

در این روش که در سال های ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ توسط اسکولز[1]، هیکس[2] و آلن[3] ارائه گردید. ابتدا درصدی را بعنوان درصد امولسیون پایه[4] انتخاب کرده و سپس مقدار آن را با توجه به دانه بندی مصالح خرده آسفالتی، نرمی قیر استخراج شده و درصد قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی اصلاح می نماییم [۲ و ۵]. که شرح کامل آن در زیر ارائه شده است:

۳ـ۳ـ۱ـ۱ـ تخمین درصد امولسیون

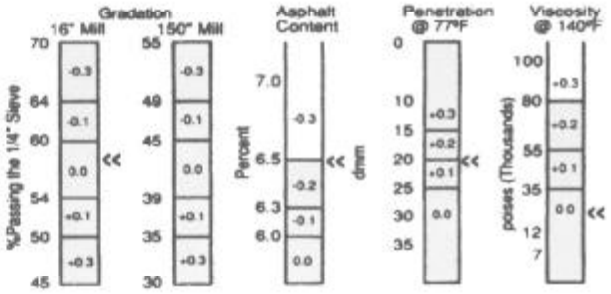
انتخاب درصد امولسیون قیر بر اساس یک تخمین آغاز می شود و در ابتدای کار درصدی بعنوان درصد امولسیون پایه انتخاب می شود. با توجه به تجربیات گذشته با امولسیون های CMS-2S و HFE-150 ، مقدار ۱/۲ درصد وزن خشک مصالح خرده آسفالتی می تواند نقطه شروع مناسبی باشد [۲]. برای یافتن این مقدار از روش سعی و خطا استفاده گردیده است بدین ترتیب که نمونه هایی با درصد امولسیون ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ ساخته شده و مشاهده گردید که در مخلوط های با درصد امولسیون کمتر از ۱/۵ تمایل به جدا شدن مصالح سنگی از قیر[5] وجود دارد امّا در نمونه های با ۲ درصد امولسیون قیر و بیشتر احتمال وقوع شیارشدگی[6] افزایش می یابد. بنابراین درصد امولسیون ۱/۵ بعنوان نقطه شروع انتخاب گردید امّا در سال ۱۹۸۷ و بعد از تجربیات عملی بیشتر درصد امولسیون پایه، ۲/۱ انتخاب شد [۵].

نتایج آزمایش نفوذپذیری و کندروانی برای تعیین نرمی قیر استخراج شده بکار می رود. دانه بندی مصالح خرده آسفالتی با استفاده از الک های ۰/۵ اینچ، ۰/۲۵ اینچ و الک شماره ۱۰ تعیین می شود. درصد قیر موجود در آسفالت کهنه با استفاده از روش استاندارد ASTMD 2172 بدست می آید. با توجه به نتایج آزمایشگاهی درصد امولسیون قیر با استفاده از رابطه(۳) و شکل ۱ تعیین می شود [۲ و ۵]:

با توجه به شکل ۱، حداقل درصد امولسیون تخمین زده شده ۰/۶ و حداکثر ۱/۸ درصد می باشد. که این بازه ایست که در اغلب پروژه های بازیافت سرد بکار می رود [۵].

برای قیر سخت شده (درجه نفوذ کمتر) درصد امولسیون تا ۰/۳ افزایش داده می شود امّا برای قیر نرم تعدیلی در نظر گرفته نمی شود. اگر مصالح خرده آسفالتی درشت دانه باشد، تا ۰/۳ به درصد امولسیون افزوده می شود امّا در صورت ریزدانه بودن تا ۰/۳ از درصد امولسیون کاسته می شود. اگر مصالح خرده آسفالتی حاوی مقدار زیادی قیر باشد. تا ۰/۳ از درصد امولسیون کاسته می شود. امّا اگر مقدار قیر کم باشد تعدیلی صورت نمی گیرد [۵].

1- T.V.Schols
2- R.G.Hicks
3- D.Allen
4- Base emulsion content
5- Raveling
6- Rutting



شکل ۱-اصلاح درصد امولسیون برای دانه بندی، درصد قیر و نرمی قیر [۲ و ۵]

(۳)

$$EC_{EST} = 1.2 + A_G + A_{A/C} + A_{P/V}$$

EC_{EST} = درصد امولسیون اصلاح شده

1.2 = درصد امولسیون پایه

A_G = اصلاح برای دانه بندی

$A_{A/C}$ = اصلاح برای درصد قیر اقیمانده

$A_{P/V}$ = صلاح برای درجه نفوذ یا کندوانی

برای اعدادی که در نواحی مرزی شکل ۱ واقع می شوند، درصد کمتر امولسیون قیر بایستی انتخاب شود.

همچنین زمانی که اختلافی بین درصد بدست آمده از درجه نفوذ و کندروانی وجود داشته باشد، درصد کمتر پذیرفته می شود [۲]. برای درک بهتر این روش مثالی ارائه می شود. فرض کنید مشخصات مصالح خرده آسفالتی بصورت زیر باشد:

درصد رد شده از الک ۰/۲۵ اینچ = ٪۵۸ (دستگاه خرد کننده ۱۶ اینچی)

درصد قیر باقیمانده = ٪۶/۵

درجه نفوذ = ۲۰ دسی میلیمتر

کندروانی = ۱۹۰۰۰ پواز

بنابراین با توجه به شکل ۱ داریم

تعدیل برای دانه بندی = ٪۰

تعدیل برای مقدار قیر = ۰/۳- ٪

تعدیل برای درجه نفوذ یا کندروانی = ٪۰

EC_{EST}= ۱/۲ + ۰/۰ -۰/۳ + ۰/۰ = ٪۰/۹

۳-۳-۱-۲- تخمین مقدار آب مورد نیاز

افزودن آب به مخلوط به منظور پراکندگی مناسب امولسیون قیر در مخلوط و پوشش کامل مصالح توسط قیر می باشد [۱۲]. روش اصلاح شده OSHD TM-126 برای تعیین درصد آب مورد نیاز بکار می رود. بنابراین پس از تعیین درصد امولسیون، از این روش برای تخمین مقدار آب مورد نیاز استفاده می شود [۲]. بطور خلاصه نحوه آزمایش بطریق زیر است :

- نمونه ها با درصد امولسیون تعدیل شده در مرحله قبل و درصد آب ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ تهیه می شوند و وزن هر نمونه اندازه گیری می شود.
- نمونه ها در قالب ریخته شده و توسط میله کوچکی متراکم می شوند.
- هر نمونه تدریجاً تحت بارگذاری قرار گرفته تا کل بار به 25^{kips} (تقریباً ۱۱۲۰۰kg کیلوگرم) برسد. بدین ترتیب که بارگذاری یک دقیقه انجام می شود تا بار به 20^{kips} (تقریباً ۸۹۶۰kg کیلوگرم) برسد و سپس سی ثانیه تا بار به 25^{kips} برسد سپس نمونه تحت این بار به مدت یک دقیقه قرار می گیرد.
- اکنون نمونه ها وزن شده و اختلاف بین وزن اولیه نمونه و وزن نمونه متراکم شده، مقدار آب از دست رفته می باشد.درصد آبی که منجر به مقدار آب از دست رفته به میزان ۱ تا ۴ گرم شود، بعنوان درصد آب مطلوب انتخاب می شود. بنابراین درصد آب لازم برای مخلوط کردن با

مصالح از کم کردن مقدار امولسیون از درصد آب تعیین شده، بدست می آید [۲].

۳ـ۳ـ۱ـ۳ـ مزایای روش طرح اورگان

- روشی ساده و سریع برای تعیین درصد امولسیون قیر می باشد.
- آزمایشات مورد استفاده در این روش بطور وسیعی پذیرفته شده هستند.
- در این روش برای تعیین درصد امولسیون نیازی به ساخت، متراکم کردن و عمل آوری نمونه های آزمایشگاهی نمی باشد.
- اگر هدف تنها بازسازی و ترمیم روسازی موجود باشد، درصد امولسیون بدست آمده مناسب می باشد.

۳ـ۳ـ۲ـ روش اصلاح شده مارشال

با وجود پیشرفتهای زیاد در روشهای بازیافت، باز هم برخی از پروژه های اجرا شده موفقیت مورد انتظار را نداشتند که یکی از دلایل آن نبود روش طرحی اختلاط مناسب برای مخلوط های بازیافتی تشخیص داده شد. به همین دلیل گروهی متشکل از سازمانهای مختلف نظیر آشتو[1] برای تهیه روش طرحی مناسب تشکیل گردید که روش طرح اصلاح شده مارشال که شرح این روش در زیر آمده است را ارائه نمودند [۳].

در این روش حداقل سه نمونه برای هر ترکیب از مصالح خرده آسفالتی و درصد امولسیون قیر بایستی آماده شود. همچنین یک نمونه غیر متراکم برای هر ترکیب، به منظور تعیین حداکثر وزن مخصوص لازم است. مصالح خرده آسفالتی بایستی از سطح سواره رو و به اندازه عمق بازیافت برداشته شده و با خرد کردن به روش سرد (بدون استفاده از حرارت) بدست آیند. برای تعیین درصد رطوبت مقداری از مصالح خرده آسفالتی را جدا کرده و در دمای $110^{\circ}c$ خشک می نماییم.

برای تهیه مخلوط ابتدا مصالح را با استفاده الک ۱ اینچ الک نموده بطوریکه صد درصد مصالح از آن عبور نماید. سپس حدود ۱۱۵۰ گرم از مصالح را در تابه های جداگانه ریخته، که این مقدار برای ساخت نمونه هایی به ارتفاع ۶۳/۵ میلی متر و قطر ۱۰۱ میلی متر مناسب می باشد و در گرمخانه به مدت یک ساعت با دمای $25^{\circ}c$ میزان قرار داده. سپس مقدار مناسب آب را به منظور رسیدن به درصد آب اختلاط ۳٪ وزن خشک مصالح به مخلوط اضافه می گردد. درصد کل آب اختلاط عبارتست از:

درصد کل مایع = مقدار آب اضافه شده + درصد رطوبت مصالح + درصد آب امولسیون

بعد از افزودن آب به مخلوط، آن را به مدت یک دقیقه با دست مخلوط می نماییم. امولسیون قیر که $60^{\circ}c$ حرارت داده شده است را در درصد های ۱/۵،۱، ۲ و ۲/۵، با ثابت نگه داشتن مقدار کل درصد آب مورد نیاز، به مخلوط اضافه می گردد. سپس نمونه را به مدت ۲ دقیقه به خوبی هم زده تا امولسیون قیر بطور یکنواخت پراکنده شود. بعد با استفاده از چکش مارشال تعداد ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه وارد می نمائیم. اکنون نمونه ها را در گرمخانه به مدت ۶ ساعت در دمای $60^{\circ}c$ قرار داده و بعد از عمل آوری، نمونه ها را بر روی سطح جانبی آنها نیز قرار داده و در دمای اتاق به مدت یک شب قبل از بیرون آوردن نمونه ها از قالب قرار می دهید. وزن خشک نمونه ها را اندازه گیری کرده (A)و سپس نمونه ها را در آب با دمای $25^{\circ}c$ به مدت ۳ تا ۵ دقیقه قرار داده و وزن آنها را بدست

1- American Association of State Highway and Transportation officials

می آورید (C) نمونه ها را از آب خارج کرده و سطح آن را خشک نموده و وزن آنرا اندازه می گیریم (B)اکنون وزن مخصوص نمونه ها را از رابطه ۲ بدست می آوریم:

$$\text{وزن مخصوص نمونه ها} = \frac{A}{B-C} \qquad (۲)$$

سپس نمونه ها را در گرمخانه به مدت ۲ ساعت تا دمای $60^{\circ}c$ حرارت داده و آزمایش استقامت و روانی را بر روی نمونه ها انجام می دهیم. بر اساس نتایج استقامت و روانی، درصد اسولسیون قیر بهینه را تعیین می نماییم. در درصد اسولسیون قیر بهینه ، حداکثر وزن مخصوص نمونه را نیز بدست می آوریم.

در درصد اسولسیون قیر بهینه، سه نمونه دیگر هر کدام با درصد آب اختلاط کل ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ آماده نموده و میانگین درصد فضای خالی را برای هر درصد آب تعیین می نماییم. درصد فضای خالی بایستی بین ۹ تا ۱۴ درصد باشد [۱۳].

۳ـ۳ـ۲ـ۱ـ مزایای روش طرح اختلاط اصلاح شده مارشال برای مخلوط های بازیافتی

- سهولت انجام آزمایش
- عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته
- امکان انجام آزمایش در شرایط کارگاهی
- آشنایی مهندسین با این روش طرح اختلاط

۳ـ۳ـ۲ـ۲ـ معایب روش اصلاح شده مارشال

- زمان طولانی انجام کل روش،
- در این روش نیاز به افزودن مصالح جدید مشخص نشده است و همچنین مشخصاتی برای دانه بندی ارائه نشده است.
- مقدار مصالح لازم برای ساخت نمونه های ۶۳/۵ میلی متری حدود ۱۰۰۰ گرم است که کمتر از مقدار پیشنهادی در روش یعنی ۱۱۵۰ گرم می باشد.
- انجام آزمایش استقامت و روانی در دمای ۲۵ منطقی به نظر نمی رسد.
- در این روش به روشنی بیان نمی شود که درصد بهینه آب و اسولسیون چگونه باید تعیین شود.
- در این روش وزن مخصوص نمونه های متراکم شده آزمایشگاهی با وزن مخصوص مخلوط بازیافتی در محل متفاوت می باشد. [۳، ۱۰ و ۱۴]

۳ـ۳ـ۳ـ روش اصلاح شده ویم

در روش اصلاح شده ویم روش تهیه و ساخت نمونه ها مشابه روش اصلاح شده مارشال می باشد با این تفاوت که بجای استفاده از چکش مارشال، نمونه ها با استفاده از دستگاه متراکم کننده ویم متراکم می شوند. تقریباً ۲۰ ضربه با فشار ۱/۷۲۵ Mpa بکار برده می شود سپس فشار تا ۳/۴۵Mpa و تعداد ضربات تا ۱۵۰ ضربه برای کامل نمودن تراکم افزایش می یابد. سپس نمونه ها تحت بار ۵/۶ kN با نرخ بارگذاری ۱mm/min قرار می گیرند. نمونه ها تحت آزمایش وزن مخصوص، استقامت (۶۰) قرار می‌گیرند. بر اساس حداکثر وزن مخصوص درصد اسولسیون قیر بهینه تعیین شده و در این درصد نمونه هایی با درصد متفاوت آب (۲، ۲/۵، ۳/۵ و ۴) تهیه شده و درصد فضای خالی آن تعیین می شود. درصد فضای خالی توصیه شده بین ۹ تا ۱۴ درصد می باشد. برای هر دو روش اصلاح شده مارشال و ویم پیشنهاد شده است که حساسیت رطوبتی نمونه ها با استفاده از روش AASHTO T 283 مورد ارزیابی قرار گیرد [۱۵].

۳-۴- روش اختلاط چورون

در این روش برای طرح مخلوطهای بازیافتی به روش سرد شامل مراحل ششگانه زیر است:

- ارزیابی مصالح خرده آسفالتی
- انتخاب نوع و دانه بندی مصالح سنگی جدید
- تخمین قیر مورد نیاز
- انتخاب نوع و مقدار امولسیون
- آزمایش نمونه های متراکم شده
- تعیین فرمول کارگاهی

در این روش نحوه تعیین درصد قیر، سازگاری با مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی استخراج شده، بیان می شود. روش هایی برای تعیین نیاز به مصالح سنگی جدید و تخمین مقدار قیر مورد نیاز نیز ارئه شده است. نمونه های متراکم شده در شرایط عمل آوری اولیه و نهایی تحت آزمایش مدول برجهندگی و استقامت قرار می گیرند. فرمول کارگاهی بر اساس حداقل درصد امولسیون که معیارهای طرح را برای مدول برجهندگی و استقامت تأمین نماید، انتخاب می شود [۱۱].

۳-۵- روش طرح پنسیلوانیا

روش طرح پنسیلوانیا نحوه نمونه برداری، تعیین درصد بهینه آب و امولسیون را ارائه می نماید. ارزیابی اولیه شامل تعیین دانه بندی مصالح سنگی استخراج شده، درصد قیر مصالح خرده آسفالتی، درجه نفوذ و کندروانی قیر کهنه می باشد. دو سری آزمایش در این روش انجام می شود. یک سری آزمایش با استفاده از درصد ثابت امولسیون ودرصدهای مختلف آب به منظور ارزیابی پوشش مصالح توسط امولسیون تهیه می شود و براساس نتایج این آزمایش درصد آب بهینه تعیین می شود. سپس درصد امولسیون قیر بهینه بر اساس مدول برجهندگی تحت شرایط اشباع و خشک بر روی نمونه های متراکم و عمل آوری شده، انتخاب می شود [۱۱].

۳-۶- روش طرح جدید مخلوط با استفاده از دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز[1]

در سال های اخیر تلاش های زیادی برای بازیافت آسفالت به روش سرد در محل انجام گرفته است. نتایج روش طرح اصلاح شده مارشال که توسط آشتو در سال ۱۹۹۸ ارائه گردید، نشان داد که نیاز به روش طرح اختلاط جدیدی برای مخلوط های بازیافتی به روش سرد وجود دارد. از طرفی گسترش روش های طرح روسازی ممتاز و نتایج مثبت آن برای روسازی های آسفالتی گرم، انگیزه توسعه روشی جدید برای طرح مخلوط با استفاده از دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز، ایجاد نمود [۳ و ۱۳].

برای توسعه روش جدید طرح مخلوط گروهی از کارشناسان خبره انتخاب گردیدند. اولین قدم گروه تعریف حدود کار بود. بدلیل محدودیت زمانی و بودجه، فقط به بررسی بازیافت سرد در محل و بوسیله امولسیون قیر محدود گردید. مراحل مختلف کار این گروه عبارت بود از [۳]:

- شناسایی مشکلات مخلوطهای بازیافته موجود.
- تهیه نمونه ها شامل تهیه مصالح خرده آسفالتی و امولسیون که بدین منظور مصالح خرده آسفالتی از مناطق مختلف تهیه گردید.
- ارزیابی روش های طرح مخلوط موجود.
- ارائه روش طرح جدید مخلوط براساس عملکرد.
- ارزیابی های میدانی

1- Superpave Gyratory Compactor

برای توسعه روش طرح جدید، ابتدا مطالعات مقدماتی انجام شد. بدین صورت که مصالح خرده آسفالتی از سه منطقه کانزاس[1]، اونتاریو[2] و کانکتیکات[3] انتخاب و نمونه ها تهیه و توسط دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز، متراکم گردید. که تعداد چرخش دستگاه ۵۲ دور و با فشار قائم ۶۰۰ کیلو پاسکال و زاویه چرخش ۱/۲۵ درجه انتخاب گردید. برای طرح نیز از روشی مشابه روش اصلاح شده مارشال استفاده گردید. سپس برنامه های تجربی و آزمایشگاهی برای ارزیابی تأثیر متغیرهای مهم انجام پذیرفت. بدلیل اینکه وزن مخصوص یکی از مهمترین عوامل مورد توجه در بازیافت به روش سرد می باشد در این مطالعه به عنوان متغیر اصلی انتخاب شد و تأثیر متغیرهای دیگر شامل درصد امولسیون، درصد آب کل، زمان عمل آوری و دمای عمل آوری بر روی وزن مخصوص مورد ارزیابی قرار گرفت که درصد امولسیون بین ۰/۵ تا ۲ درصد و درصد کل مایع ۳/۵ و ۴ درصد انتخاب گردید. با توجه به مطالعات و تجربیات قبلی، زمان عمل آوری ۶ و ۲۴ ساعت انتخاب شد که ۶ ساعت نشان دهنده استقامت روسازی پس از تراکم اولیه است و ۲۴ ساعت نشان دهنده استقامت روسازی پس از روکش کردن می باشد. دمای عمل آوری نیز $25^{\circ}c$ و $60^{\circ}c$ انتخاب گردید زیرا $25^{\circ}c$ دمای تقریبی روسازی در شبهای تابستان و $60^{\circ}c$ حداکثر دمایی است که روسازی در تابستان تجربه می کند [۳، ۱۰ و ۱۶].

برای ارزیابی تأثیر متغیرهای فوق برروی مخلوط های بازیافتی بایستی وزن مخصوص نمونه های آزمایشگاهی مشابه وزن مخصوص واقعی اندازه گیری شده در محل باشد. برای تحقیق این مطلب وزن مخصوص در محل پروژه اندازه گیری شد که ($۲/۰۵۷ gr/cm^3$) $۱۲۰ lb/ft^3$ بود. برای دستیابی به این وزن مخصوص توسط دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز بایستی یکی از پارامترهای دستگاه را تغییر داد. برای حل این موضوع تحقیقاتی در سال ۱۹۹۸ توسط هابر[4] بر روی این پارامترها انجام گردید که مشخص شد سرعت چرخش و فشار قائم تأثیر ناچیزی دارند و زاویه چرخش ۱/۲۵ درجه بهترین زاویه برای متراکم نمودن نمونه هاست. بنابراین تنها عامل تعداد چرخشهاست که تعیین کننده می باشد [نقل از مرجع ۳]. بنابراین برای این نمونه ها تعداد ۳۷ دور برای بدست آوردن وزن مخصوصی مشابه با وزن مخصوص در محل بدست آمد. سپس نمونه های جدید با این تعداد دور ساخته شد و وزن مخصوص هر نمونه دو بار اندازه گیری شد. اولین اندازه گیری دو ساعت بعد از عمل آوری و دومین اندازه گیری یک هفته بعد از عمل آوری انجام شد. نتایج بدست آمده از اندازه گیری ها در جدول ۱ آمده است. سپس تحلیل های آماری بر روی نتایج صورت گرفت و مشخص شد که زمان عمل آوری به مدت ۲۴ ساعت و در دمای $60^{\circ}c$ شرایط خروج آسان آب از مخلوط را فراهم می آورد.

همانطور که از نتایج مشاهده می شود اختلاف بین مقادیر بسیار ناچیز است. با توجه به تحلیل های فوق نتایج زیر بدست آمد [۳]:

- نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای $60^{\circ}c$ پس از متراکم نمودن، عمل آوری شوند.
- نمونه هایی حداقل با چهار در صد مختلف امولسیون تهیه گردد.

1- Kansas
2- Ontario
3- Connecticut
4- G.A.Huber

• تعداد چرخشها برای متراکم کردن نمونه ها بایستی طوری تنظیم شود که وزن مخصوصی مشابه وزن مخصوص محل را بدست آید.

در مورد تعداد چرخشها در مطالعاتی که توسط سالومن[1] و نیو کامب[2] در سال ۲۰۰۰ انجام گرفت [۹]. با توجه به داده های دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز نمودارهایی که به منحنی های دانسیته، معروف است، تنظیم گردید. محور افقی این نمودارها تعداد چرخش ها و محور عمودی نسبت وزن مخصوص نمونه به وزن مخصوص حداکثر را نشان می دهد. در شکل۲ برای نمونه یکی از این نمودارها برای منطقه ای خاص و با امولسیون قیر CSS-1 و همچنین با درصد امولسیون مختلف آورده شده است. (EC[3]نشان دهنده درصد امولسیون قیر است.)

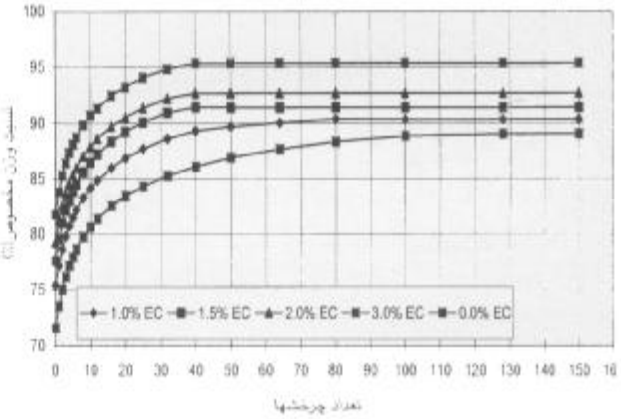
با توجه به شکل۲، بعد از تقریباً ۶۰ دور چرخش برای تمام درصد های امولسیون، وزن مخصوص به مقدار ثابتی می رسد. آزمایشات بعدی نشان داد که با ۱۰ دور چرخش، وزن مخصوص به مقدار ۸۵ تا ۹۰ درصد وزن مخصوص حداکثر می رسد و پس از ۶۰ دور چرخش دانسیته بین ۹۰ تا ۹۵ درصد وزن مخصوص حداکثر خواهد رسید [۸].

جدول۳- وزن مخصوص نمونه ها دو ساعت و یک هفته بعد از عمل آوری (lb/ft3)[۳]

دمای عمل آوری								
	۲۵ درجه سانتیگراد				۶۰ درجه سانتیگراد			
	زمان عمل آوری (ساعت)							
	۲۴		۶		۲۴		۶	
درصد امولسیون	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۳/۵	۴
دو ساعت پس از عمل آوری								
۰/۵	۱۳۲/۶	۱۳۱/۹	۱۳۲/۵	۱۳۰/۳	۱۲۹/۹	۱۲۹/۶	۱۳۲/۵	۱۳۱/۳
۴	۱۲۹	۱۳۱/۶	۱۳۲/۴	۱۳۳/۲	۱۲۹/۸	۱۲۹/۵	۱۳۱/۶	۱۳۱/۲
۱/۵	۱۳۱	۱۳۱/۸	۱۳۵/۱	۱۳۵/۲	۱۳۴/۴	۱۳۱/۴	۱۳۰/۳	۱۳۰/۴
۲	۱۳۱	۱۳۰/۶	۱۳۲/۲	۱۳۱/۴	۱۳۳/۶	۱۳۳/۵	۱۳۲/۵	۱۳۱/۴
یک هفته پس از عمل آوری								
۱/۵	۱۳۲	۱۳۰/۹	۱۳۰/۲	۱۳۲/۸	۱۳۰/۲	۱۳۰/۱	۱۳۱/۳	۱۳۰/۶
۱	۱۲۸/۵	۱۳۰/۳	۱۳۱/۱	۱۳۱/۱	۱۲۹/۸	۱۲۹/۷	۱۳۱	۱۳۱
۱/۵	۱۳۰/۶	۱۳۰/۸	۱۳۳/۶	۱۳۳/۱	۱۳۴/۶	۱۳۱/۶	۱۲۹/۹	۱۳۰
۲	۱۳۰/۴	۱۲۹/۸	۱۳۱/۷	۱۳۱	۱۳۳/۸	۱۳۳/۸	۱۳۲/۳	۱۳۱

1- Salomon A.
2- Newcomb D.E
3- Emulsion Content

بعد از ارائه اولیه روش طرح جدید، نمونه هایی با استفاده از مصالح مناطق مختلف ساخته شد و برای تحلیل و ارزیابی عملکرد این مخلوط ها از نظر وضعیت تغییر شکل های دائم، ترکهای خستگی و ترک های حرارتی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن تا کنون ارائه نشده است [نقل از منبع [۳].



شکل۲- منحنی های دانسیته برای امولسیون قیر CSS-1 [۹]

در اکتبر سال ۲۰۰۰ قطعه ای راه در آریزونا با استفاده از روش طرح جدید ساخته شد. راه مذکور در منطقه ای بیابانی و دو خطه با ترافیک متوسط قرارداشت. درصد امولسیون و آب بهینه به ترتیب ۲/۵ و ۲ درصد تعیین گردید. لایه ۵۰ میلی متری موجود به عمق ۵۰ میلی متر تراشیده شد و مجدداً بازیافت گردید و پس از دو ماه توسط لایه ای به ضخامت ۳۷/۵ میلی متر با آسفالت گرم، روکش شد. مشاهداتی که در مارس ۲۰۰۲ انجام شد یعنی تقریباً ۸ ماه پس از ساخت که شامل دو زمستان است. هیچ گونه خرابی را نشان نداد [۳].

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

با وجود پیشرفت های فراوان در روش های بازیافت، باز هم برخی از پروژه های اجرا شده موفقیت مورد انتظار را نداشتند که یکی از دلایل آن نبود روش طرحی مناسب برای مخلوط های بازیافتی تشخیص داده شده است. روش های طرح مخلوط موجود هر کدام نواقصی دارند که بایستی اصلاح شوند. روش طرح انستیتو آسفالت یکی از اولین روش های طرح می باشد که بر اساس روابط تجربی استوار است و امروزه کمتر از آن استفاده می شود. روش طرح اورگان روشی ساده و سریع برای تعیین درصد امولسیون قیر می باشد و آزمایشات مورد استفاده در این روش بطور وسیعی پذیرفته شده هستند و در این روش برای تعیین درصد امولسیون نیازی به ساخت، متراکم کردن و عمل آوری نمونه های آزمایشگاهی نمی باشد. امّا این روش تنها هنگامیکه از امولسیون قیر CMS-2S و HFE-150 استفاده می شود کاربرد دارد و همچنین اگر هدف بالا بردن توان سازه ای روسازی باشد، پیشنهاد شده است که نمونه هایی با درصد امولسیون مختلف ساخته شود و با استفاده از روشهای مارشال و یا ویم متراکم گردد و سپس آزمایشات استقامت و مدول ارتجاعی بر روی نمونه ها انجام گیرد.

روش اصلاح شده مارشال بیشترین مورد استفاده را در بین روش های طرح موجود داشته است امّا معایب این روش باعث ترغیب محققین برای ارائه روش طرح جدید با استفاده از دستگاه متراکم کننده چرخشی روسازی ممتاز، شده است. که نیاز به تحقیقات بیشتر به منظور توسعه این روش وجود دارد امّا تحقیقات موجود بر روی نمونه های آزمایشگاهی ساخته شده با این روش و نیز مطالعات میدانی محدود انجام شده، نتایج بسیار خوبی را نشان داده است.

از میان روش های اختلاط معرفی شده برای مخلوط های بازیافتی به روش سرد با امولسیون قیر، روش اصلاح

مارشال با توجه به سهولت انجام آزمایش، عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته، امکان انجام آزمایش در شرایط کارگاهی و آشنایی مهندسین با این روش طرح اختلاط و همچنین عدم نیاز به انجام آزمایش بر روی قیر کهنه (زیرا انجام آزمایش بر روی قیر استخراج شده از آسفالت قدیمی نیاز به انجام آزمایش بازیابی قیر به روش آبسون دارد که آزمایشی دشوار است و امکانات آزمایشگاهی ان در اکثر آزمایشگاه های کشور وجود ندارد.) به عنوان روش مناسب برای طرح اختلاط مخلوط های آسفالتی پیشنهاد می شود هرچند استفاده از این روش نیز احتیاج به تحقیقات بیشتر و همچنین تغییراتی در نحوه انجام آزمایش ها دارد.

۵- مراجع

[1] "Asphalt Cold - Mix Recycling" the Asphalt Institute Series No.21 (MS-21), First Edition, 1983

[2] D.F. Rogge, R.G. Hicks, T.V. Scholz "Dale Allen, Use of Asphalt Emulsions for In-place Recycling: Oregon Experience" TRR 1342, pp 1-8, 1992

[3] Lee.K.W., Brayton T.E. and Huston M. "New Mix Design Procedure of Cold IN-Place Recycling for Pavement Rehabilitation" TRB Annual Meeting 2003.

[4] Asphalt Recycling and Reclamation Association (ARRA), "Basic Asphalt Recycling Manual (chapter 14)" 2001

[5]T.V. Scholz, R.G. Hicks, D.F. Rogge and Dale Allen "Use of Cold In-Place Recycling on Low-Volume Roads" TRR 1291, pp 239-252, 1991

[6] Daniel T. Murphy and John J.Emery "Modified Cold In-Place Asphalt Recycling" TRR 1545, pp 143-150, 1996

[7] Michael D. O'Leary and Robert D. Williams "In Situ Cold Recycling of Bituminous Pavements with Polymer-Modified High Float Emulsions" TRR 1342, pp 20-25, 1992

[8] Nabil Suleiman "A State-of-The-Art Review of Cold In-Place Recycling of Asphalt Pavements in Northern Plains" Final Report Submitted to The North Dakota Department of Transportation, Bismarck, ND, 2002

[9] Saloman,A., And D.E. Newcomb "Cold In-Place Recycling Literature Review and Preliminary Mixture Design Procedure", Minnesota Department of Transportation, 2000

[10] Brayton T.E., Lee K., Gress D., and Harrington J. "Development of Performance-Based Mix Design for Cold In-Place Recycling of Asphalt Mixtures" TRB annual meeting 2001

[11] J.A. Epps "Cold Recycled Bituminous Concrete Using Bituminous Material" NCHRP Synthesis of Highway Practice 160, TRB, 1990

[12] Schols T., Rogge F., Hicks G., And Allen D. "Evaluation of Mix Properties of Cold In-Place Recycled Mixes" TRR 1317, pp 77-89, 1991

[13] AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee Task Force 38 "Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements" Washington, DC: AASHTO, 1998

[۱۴] جلیلی قاضی زاده مرتضی، "بررسی تأثیر سیمان و آهک بر خواص آسفالتهای بازیافتی به روش سرد با امولسیون قیر" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶

[15] "Mixture and structural Design of Cold Recycled Pavements" Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1996

[16] Lee.K.W., Brayton T.E. and Huston M. "Development of Mix- Design for Cold In-Place Recycling of Bituminous Pavements Based on Fundamental Properties" 2002

Introducing Mix design Methods of Cold In-Place Recycling with asphalt Emulsion and suggesting the Appropriate Method in Iran

1Jalili Qazizadeh M., 2mohammadzadeh A.
1Msc in Road and Transportation Engineering
2Graduate Student in Road and Transportation Engineering
Jalili.m@engineer.com

Abstract

A standard national method for designing cold recycled mixes is not available. However, certain basic steps are included in most mix design procedures used by highway agencies. The first step in mix design is material evaluation that includes field sampling, determination of aged mix composition, and properties of aged asphalt binder and aggregates. One of the important purposes for this step is to identify the deficiencies of the aged mix and determine the need for virgin material. The mix design procedure consists of selection of the recycling agent and the determination of the optimum binder. Some agencies and groups developed mix design procedures. Methods proposed by the Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), California, Pennsylvania, Chevron, the Asphalt institute, and volumetric mix-design utilizing the Superpave gyratory compactor (SGC) are reviewed in this paper and the appro***priate mix design for*** Iran is recommended.

Key words: cold recycling, mix design, Asphalt emulsion