

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی  
بین المللی و  
ترند های جستجو



## اثر واکس پلی اتیلن بر دمای اختلاط و تراکم مخلوط‌های آسفالت لاستیکی

فریدون مقدس‌نژاد<sup>۱</sup>، آرش رحیمی ینگجه<sup>۲</sup>، عبدالحمید بقراطی<sup>۳</sup>، کورش نادری<sup>۴</sup>

۱- دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۴- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-راه و ترابری دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

koorosh.naderi@aut.ac.ir

### خلاصه

افزودن پودر لاستیک به قیر و تولید آسفالت لاستیکی خصوصیات مطلوبی برای مخلوط آسفالتی ایجاد می‌نماید؛ و همینطور گامی در راستای حرکت در مسیر توسعه‌ی پایدار و حفظ محیط زیست است. ضعف اساسی آسفالت لاستیکی افزایش دماهای اختلاط و تراکم و به موجب آن افزایش هزینه‌های ساخت و صعوبت اجرا است. استفاده از فناوری آسفالت نیمه‌گرم و افزودنی‌های واکسی، یاری‌رسان در این زمینه خواهد بود. در این پژوهش از واکس پلی اتیلن بازیافتی برای نیل به این هدف استفاده شد. ابتدا ۱۶ درصد پودر لاستیک به عنوان درصد بهینه به قیر اضافه شد و سپس نمونه‌ی حاصل با ۳ و ۷ درصد واکس پلی اتیلن بازیافتی مخلوط گردید. سپس تعیین دماهای اختلاط و تراکم دقیق قیرهای اصلاحی مدنظر قرار گرفته و از دو روش گرانیوزی معادل دما و گرانیوزی در نرخ برش صفر ساده‌سازی شده این دماها از روی قیر محاسبه و با یک روش ابداعی از روی مخلوط کنترل شده و دماهای دقیق تعیین گردید. اثر اصلاح قیر لاستیکی با ۳ و ۷ درصد واکس پلی اتیلن در کاهش دمای اختلاط به ترتیب به میزان ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در کاهش دمای تراکم به میزان ۵ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

**کلمات کلیدی:** دمای اختلاط و تراکم، واکس پلی اتیلن، آسفالت لاستیکی، آسفالت نیمه‌گرم، روش گرانیوزی در نرخ برش صفر.

### ۱. مقدمه

تحقیقات بسیاری روی مخلوط‌های آسفالت لاستیکی از ۴۰ سال پیش آغاز شده است؛ این تحقیقات نشان داده که افزودن پودر لاستیک به قیر باعث بهبود خواص رئولوژیکی قیر [۱]، خصوصیات عملکردی مخلوط‌های آسفالتی (مقاومت در برابر خستگی [۲]، شیار شدگی [۳، ۴]، ترک‌های دمایی [۳] و انعکاسی [۴] و پیرشدگی ناشی از اکسیدشدگی [۵]، ایمنی و راحتی کاربران (بهبود مقاومت لغزشی [۶]، کاهش بازتاب و شکست نور [۷]، کاهش سر و صدای ترافیک [۶])، شاخص‌های فنی و اقتصادی (کاهش ضخامت روسازی [۶، ۸] و کاهش هزینه‌های چرخه‌ی عمر [۹]) و شاخص‌های محیط زیست [۶] (استفاده از تابرهای مستعمل و کاهش آلودگی) می‌گردد. اثرات بهبود دهنده‌ی پودر لاستیک، مطالعات بیشتر روی این ماده و ترکیب آن با قیر را توجیه می‌کند.

به کارگیری پودر لاستیک بازیافتی در صنعت روسازی با دشواری‌هایی نیز همراه است؛ ته نشینی ذرات پودر لاستیک در زمان انبارداری [۱۰] و تولید مقدار نسبتاً بیشتر بخارات ناشی از ساخت مخلوط آسفالتی [۱۱] از این دشواری‌هاست که البته برای هر یک راهکارهایی در پژوهش‌های مختلف ارائه شده‌است.

<sup>۱</sup>دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری

<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری

<sup>۴</sup>دانشجوی دکتری مهندسی عمران - راه و ترابری



مشکل دیگر، افزایش گرانروی قیر لاستیکی نسبت به قیر خالص در دماهای معمول اختلاط و تراکم است که موجب کاهش کارایی آن در این دماها می‌شود. شاید ساده‌ترین روش برای بهبود کارایی مخلوط حاوی قیر لاستیکی، افزایش دمای اختلاط و تراکم آن باشد که این امر موجب افزایش مصرف سوخت و در نتیجه افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای است؛ به علاوه بالا رفتن دمای اختلاط، سختی اجرای کارگاهی آسفالت لاستیکی را به همراه دارد که باعث کاهش استفاده از آسفالت لاستیکی توسط پیمانکاران شده است. تحقیقات بسیاری در راستای کاهش دمای اختلاط مخلوط‌های آسفالتی مختلف صورت گرفته است که در نهایت ظهور تکنولوژی آسفالت نیمه گرم را سبب گشته است. برخی از مواد افزودنی تولید شده‌اند که سبب کاهش دمای اختلاط و تراکم انواع مخلوط‌های آسفالتی و همین‌طور در برخی موارد سبب بهبود دیگر خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی شده‌اند.

به پلی‌اتیلن‌هایی که وزن مولکولی فوق سبک دارند، واکس پلی‌اتیلن اطلاق می‌شود. خاصیت پیچیده‌ی این ماده سبب شده است که افزودن این ماده به قیر موجب افزایش گرانروی آن در دماهای کم‌تر از ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و کاهش گرانروی قیر در دماهای بالاتر از این دما شود [۱۲، ۱۳]. همین مورد کافی است که این ماده را بتوان برای کاهش دادن دمای اختلاط به کار برد. در این پژوهش سعی بر این است که با استفاده از واکس پلی‌اتیلن باز یافتی دمای اختلاط و تراکم مخلوط آسفالت لاستیکی را کاهش داد تا بتوان از قیر لاستیکی با خصوصیات عملکردی بهتر از قیر خالص با کارایی بهتر و شرایط سهل‌تری بهره‌برداری کرد. روش‌های متنوعی برای محاسبه‌ی دمای اختلاط و تراکم قیرهای مختلف وجود دارد و هر روش در نوع خاصی از قیرها جواب مناسب‌تری می‌دهد. همچنین متاسفانه برای قیرهای اصلاح‌شده حاوی پودر لاستیک روش مشخصی پیشنهاد نشده است. علاوه بر این افزودنی استفاده شده نیز جدید بوده و شناخت دقیقی از رفتار آن در دست نیست، بنابراین محاسبه‌ی دماهای اختلاط و تراکم بهینه قیرهای اصلاح‌شده به دو روش انجام خواهد شد و توسط مخلوط آسفالتی کنترل می‌شود.

## ۲. روش پژوهش

### ۱.۲. تعیین دمای اختلاط و تراکم

روش‌های تعیین دمای اختلاط و تراکم، عمدتاً بر پایه‌ی تغییرات گرانروی قیر بنا شده‌اند. در قیرهای خالص تغییرات گرانروی تنها بر اثر تغییرات دماست؛ اما در قیرهای اصلاح‌شده گرانروی علاوه بر تغییرات دما به تغییرات نرخ برش هم وابسته است [۱۴، ۱۵]. برای به دست آوردن دمای بهینه و مناسب اختلاط و تراکم مخلوط‌های حاوی قیرهای اصلاح‌شده روش‌های متنوعی وجود دارد که علاوه بر تغییرات دما تغییرات نرخ برش را نیز در نظر می‌گیرند؛ اگرچه هنوز بر صحت و درستی هر یک از این روش‌ها بحث وجود دارد [۱۴]. به همین علت در این پژوهش سعی بر این است با استفاده از دو روش، دماهای اختلاط و تراکم نمونه‌های قیر و قیرهای حاوی پودر لاستیک و واکس پلی‌اتیلن محاسبه شده و از روی مخلوط کنترل شوند. برای محاسبه‌ی دمای اختلاط و تراکم نمونه‌ها از روی قیر آنها از ۲ روش مرسوم استفاده شد که شرح مختصری از طرز انجام هر یک از روش‌ها در ادامه می‌آید:

### ۱.۱،۲. روش گرانروی معادل با دما

روش گرانروی معادل با دما با استفاده از گرانروی کینماتیک، دمای تراکم و اختلاط را تعیین می‌کند. در این روش گرانروی قیر حداقل در ۲ دما و تحت نرخ برش ثابت  $6/8 S^{-1}$  با استفاده از دستگاه ویسکومتر چرخشی (RV) اندازه‌گیری می‌شود. از آنجا که نرخ برش، ثابت در نظر گرفته می‌شود، این روش توانایی تعیین دمای اختلاط و تراکم قیرهای اصلاح‌شده که دارای رفتاری غیر نیوتنی و گرانروی وابسته به نرخ برش هستند، را ندارد. بر اساس این روش، گرانروی در حداقل دو دما اندازه‌گیری شده و مقادیر لگاریتم لگاریتم گرانروی بر حسب میلی‌پاسکال. ثانیه در مقابل لگاریتم دما بر حسب کلونین در نموداری رسم شده و خطی از این دو نقطه برازش داده می‌شود. محدوده‌ی دمایی متناظر با خطوط گرانروی  $0/17 \pm 0/02$  پاسکال. ثانیه، دمای اختلاط پیشنهادی و دمای متناظر با محدوده گرانروی  $0/28 \pm 0/03$  پاسکال. ثانیه دمای تراکم پیشنهادی را ارائه می‌دهند.

### ۲.۱،۲. روش گرانروی در نرخ برش صفر ساده سازی شده

این روش اولین بار در گزارش NCHRP Report 459 منتشر شد [۱۵]. جزئیات این روش مشابه روش گرانروی معادل با دماست با این تفاوت که خطوط گرانروی برای دمای اختلاط و تراکم به منظور در نظر گرفتن اثر نرخ برش به ترتیب از  $0/17 \pm 0/02$  به  $0/75 \pm 0/05$  و از  $0/28 \pm 0/03$  به  $1/40 \pm 0/1$  پاسکال. ثانیه جایجا شده‌اند.



برای به دست آوردن گرانروی نمونه نیز مشابه روش گرانروی معادل با دما از دستگاه RV در نرخ برش  $6/8 S^{-1}$  (اسپیندل ۲۷ با سرعت ۲۰ دور بر دقیقه) استفاده می‌شود. علت استفاده از این نرخ برش علاوه بر ساده سازی روش ZSV، یکسان سازی روش‌های تعیین دمای اختلاط و تراکم برای قیرهای خالص و قیرهای اصلاح شده است. بدین معنی که بدون توجه به اصلاح شدگی قیر بتوان با اندازه گیری گرانروی آن در یک نرخ برش، البته با خطوط گرانروی متفاوت، دمای اختلاط و تراکم مناسب را تعیین نمود [۱۵].

### ۳،۱،۲. روش پیشنهادی درصد پوشش مصالح سنگی برای کنترل دمای اختلاط مخلوط

حد بیشینه‌ی دمای اختلاط مناسب برای مخلوط‌های آسفالتی دمایی است که تغییرات خصوصیات قیر بر اثر پیرشدگی کوتاه مدت ناشی از مراحل تولید و پخش، بیش از حد مجاز نباشد. همین طور حداقل این دما باید به گونه‌ای باشد که بتواند شرایط مناسب را برای تراکم مهیا کند به طوری که با مقدار معینی انرژی تراکم بتوان به میزان مطلوب تراکم و درصد هوای مورد نظر رسید. و بهینه‌ی این دما، دمایی است که در آن با مقدار انرژی مشخص و در کوتاه‌ترین زمان بتوان به پوشش کامل سنگدانه‌های مخلوط دست یافت. بنابر این کنترل میزان پوشش سنگدانه‌ها می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای اعتبارسنجی دمای اختلاط مناسب به کار رود. از این رو بایستی فرایندی در نظر گرفته شود که بتوان میزان پوشش سنگدانه‌ها را بدست آورد. استاندارد AASHTO T195 برای محاسبه‌ی میزان پوشش سنگدانه‌ها به کار می‌رود. در ادامه بر اساس این استاندارد روشی برای کنترل دمای اختلاط ارائه می‌شود. این روش برگرفته از روشی است که در گزارش NCHRP Report648 برای ارزیابی و اعتبارسنجی روش‌های معرفی شده در گزارش به کار گرفته شده بود [۱۴]. تفاوت روش به کار گرفته شده در این پژوهش، محاسبه‌ی زمان اختلاط مناسب برای مخلوط کن و مصالح بر اساس معیار ۹۵ درصد پوشش مصالح، بوده که برای دقت بیشتر اضافه شده است.

در این پژوهش به منظور اختلاط قیر و مصالح سنگی از مخلوط کن تکنو تست B205/20 با سرعت ثابت ۱۰۰ RPM استفاده شد. برای اختلاط سنگدانه‌ها و قیرهای مصرفی موجود دو مجهول دما و زمان اختلاط وجود داشت؛ بنابر این قیری خالص که دارای خصوصیات رئولوژیکی مشخصی بود به عنوان نمونه‌ی شاهد استفاده شد. دمای اختلاط قیر خالص با دقت مناسب و قابل اعتمادی از روش گرانروی معادل با دما بدست می‌آید. در ادامه با استفاده از دمای اختلاط به دست آمده و مطابق استاندارد AASHTO T195 با محاسبه‌ی درصد پوشش‌های مختلف در زمان‌های اختلاط گوناگون، زمان مناسب اختلاط برای چهار کیلوگرم مصالح مصرفی و دستگاه مخلوط کن مورد استفاده به دست می‌آید. بر اساس استاندارد AASHTO T195، مخلوط آسفالتی پس از سرد شدن از الک ۹/۵ میلیمتر عبور داده شده و سپس دانه‌های سنگی مانده روی الک از نظر پوشش کامل قیر به صورت چشمی بررسی می‌شوند. نسبت تعداد دانه‌های کاملاً پوشیده شده به کل دانه‌ها، درصد پوشش نامیده می‌شود. زمان اختلاط به دست آمده که برای مصالح این پژوهش، ۶۵ ثانیه به دست آمد. زمان مناسب و کافی برای اختلاط مصالح و قیر خالص در دمای مناسب اختلاط است؛ فرض می‌شود این زمان برای دیگر قیرها با مصالح سنگی مشابه در دمای اختلاط مناسب‌شان کافی بوده و درصد پوشش مطلوبی برای مصالح سنگی به دست دهد. بنابر این اگر برای هر قیر دیگری مخلوطی در دماهای اختلاط مختلف و زمان محاسبه شده ساخته شود، با تعیین و مقایسه‌ی درصد پوشش حاصل شده می‌توان دمای اختلاط مطلوب را تعیین و کنترل نمود. نمونه‌ها در دماهای اختلاطی که بر اساس نتایج آزمایش‌های قیر و تجربه انتخاب شدند و زمان اختلاط ثابت ۶۵ ثانیه و سرعت چرخش ۹۵/۵ RPM ساخته شده و درصد پوشش در هر دما و ۳ بار تکرار به دست آمد.

مقادیر درصد پوشش محاسبه شده در هر دمای اختلاط بر روی تابع سیگموئید برازش شده و مقادیر ثابت رگرسیون تعیین می‌شوند. سپس دمای متناظر با میزان پوشش ۹۵ درصد سنگدانه معادل دمای اختلاط مطلوب گزارش می‌شود. این رابطه در گزارش NCHRP Report648 به کار برده شده است [۱۴].

$$C = \frac{1}{1+ae^{-bT}} \quad (1)$$

در این رابطه، C مقدار درصد پوشش، T دمای اختلاط، a و b مقادیر ثابت رگرسیون هستند.

### ۲،۲. مصالح مصرفی

#### ۱،۲،۲. قیر

در این تحقیق از قیر خالص با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ شرکت نفت پاسارگاد تهران استفاده شده است که اجزاء تشکیل دهنده و مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. برای اصلاح قیر از واکس پلی اتیلن باز یافتی (PEw) و پودر لاستیک (CR) استفاده شده است.



### ۲,۲,۲. پودر لاستیک

پودر لاستیکی که در این تحقیق استفاده شد، محصول شرکت یزد تایر بود. این پودر لاستیک با روش رنده در دمای محیط تولید شده و اندازه ذرات آن متشکل از ۴۰ درصد عبوری از الک شماره ۳۰ و ۶۰ درصد عبوری از الک شماره ۵۰ بود.

جدول ۱: اجزاء تشکیل دهنده و مشخصات قیر مصرفی

مقدار	واحد	روش آزمایش	ویژگی
۱/۰۵-۱/۰۱	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D-70	وزن مخصوص در ۲۵
۹۱	0.1mm	ASTM D-5	درجه نفوذ در ۲۵
۴۵/۵	°C	ASTM D-36	نقطه نرمی
حداقل ۱۰۰	cm	ASTM D-113	کشش پذیری در ۲۵
۲۴۹	°C	ASTM D-92	درجه اشتعال

### ۳,۲,۲. واکس پلی اتیلن

برای اصلاح قیر در این پژوهش از واکس پلی اتیلن بازیافتی محصول شرکت کیمیا جاوید سپاهان استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۲ آمده است. قابل ذکر است که مواد اولیه برای تولید این واکس، واکس ضایعاتی حاصل از بخش شستشو با هگزان در پالایشگاه است و واکس پلی اتیلن تولید شده، طول زنجیر مشخصی ندارد.

جدول ۲: مشخصات واکس پلی اتیلن بازیافتی مصرفی

مقدار	واحد	استاندارد یا روش آزمایش	مشخصه
۵۰ ± ۳۰	Cps	ASTM D 3236	گرانروی در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد
۱۰۰ ± ۵	°C	ASTM E28	نقطه نرمی
۱۰۰ ± ۱۰	°C	DSC	دمای ذوب
۰/۹۳ ± ۰/۰۲	gr/l	ASTM D 611	چگالی
پرک	-	-	حالت
سفید	-	-	رنگ

### ۴,۲,۲. تهیه قیرها

برای ساخت قیرهای اصلاح شده از دستگاه همزن برش بالا استفاده شد. پودر لاستیک و قیر در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه در دستگاه مخلوط کن با نرخ برشی بالا مخلوط شدند. به منظور اختلاط واکس پلی اتیلن بازیافتی، ۴۵ دقیقه پس از اختلاط قیر و پودر لاستیک واکس پلی اتیلن بازیافتی به مخلوط اضافه شد و بدون تغییر در دما و سرعت پره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه اختلاط ادامه یافت. کد نمونه‌های ساخته شده و توضیح در رابطه با آن‌ها در جدول ۳ آمده است.

### ۵,۲,۲. مصالح سنگی

در این پژوهش از مصالح سنگی با مشخصات اشاره شده در جدول ۴ و دانه‌بندی نشان داده شده در شکل ۱ استفاده شد.



۶،۲،۲. شرایط اختلاط و ساخت نمونه‌های مخلوط

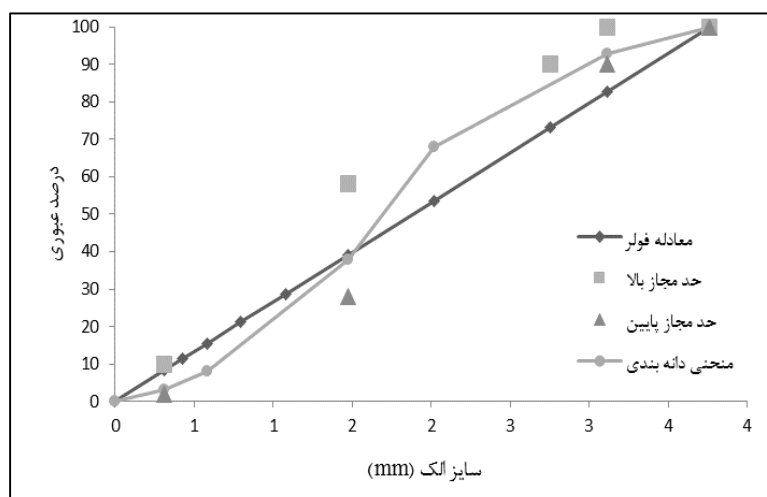
طراحی اختلاط و ساخت نمونه‌ها به روش مارشال صورت گرفت. درصد قیر بهینه برای قیر خالص از روی معیار ۴ درصد هوا و کنترل VMA، VFA، مقاومت مارشال و روانی به میزان ۶ درصد به دست آمد که به منظور یکنواختی شرایط آزمایش برای دیگر قیرهای اصلاح شده نیز از همین میزان قیر استفاده شد.

جدول ۳: شرایط اختلاط و کد گذاری نمونه‌ها

کد نمونه	توضیحات
A	قیر خالص ۸۵/۱۰۰
B	قیر پایه + ۱۶ درصد پودر لاستیک
C	قیر پایه + ۱۶ درصد پودر لاستیک + ۳ درصد PE Wax
D	قیر پایه + ۱۶ درصد پودر لاستیک + ۷ درصد PE Wax

جدول ۴: خصوصیات مصالح سنگی درشت و ریزدانه

شرح	واحد	استاندارد آزمایش	مقدار	مقدار قابل قبول
حداکثر سایش به روش لوس آنجلس	%	ASTM C131	۱۶/۷	۲۵
حداکثر جذب آب مصالح سنگی درشت دانه	%	ASTM C127	۲/۲	۲،۵
حداکثر جذب آب مصالح سنگی ریزدانه	%	ASTM C128	۲/۴	۲،۵
حداکثر درصد سنگدانه‌های پهن و دراز	%	ASTM D4791	۱۲/۳	۱۵
وزن مخصوص واقعی مصالح سنگی درشت دانه	gr/cm <sup>۳</sup>	ASTM C127	۲/۵۹	-
وزن مخصوص واقعی مصالح سنگی ریزدانه	gr/cm <sup>۳</sup>	ASTM C128	۲/۳۲	-



شکل ۱: منحنی دانه بندی مصالح سنگی استفاده شده

۳. نتایج و تحلیل



### ۱,۳,۱. بررسی دمای اختلاط و تراکم از روی قیر

برای محاسبه دمای اختلاط و تراکم نمونه‌ها، از ۲ روش استفاده شد. در جدول ۵ نتایج دماهای اختلاط و تراکم برای هر دو روش ذکر شده آورده شده‌است. در ادامه در بندهای مجزا برای هر روش تفسیری برای نتایج به دست آمده ارائه می‌شود. در این جدول ستون‌های ۳ و ۵، افزایش و کاهش دماهای اختلاط و تراکم نمونه‌های اصلاح شده نسبت به قیر خالص هستند.

جدول ۵: دمای اختلاط و تراکم محاسباتی برای قیرهای مورد پژوهش

شماره ستون		۱		۲		۳		۴		۵	
روش		کد نمونه		دمای اختلاط (°C)		کاهش/افزایش		دمای (°C) تراکم		کاهش/افزایش	
گرانروی معادل با دما	A	۱۴۲	۱۴۲	مقدار (°C)	درصد	۱۳۱	۱۳۱	مقدار (°C)	درصد	۷۵	۵۷
	B	۲۳۱	۲۳۱	۸۹	۶۳	۲۰۶	۲۰۶	۷۵	۵۷	۷۵	۵۷
	C	۲۲۲	۲۲۲	۸۰	۵۶	۱۹۹	۱۹۹	۶۸	۵۲	۶۸	۵۲
	D	۲۰۷	۲۰۷	۶۵	۴۶	۱۸۲	۱۸۲	۵۱	۳۹	۵۱	۳۹
گرانروی در نرخ برش صفر ساده سازی شده	A	۱۱۳	۱۱۳	مقدار (°C)	درصد	۱۰۳	۱۰۳	مقدار (°C)	درصد	۴۲	۴۱
	B	۱۶۶	۱۶۶	۵۳	۴۷	۱۴۵	۱۴۵	۴۲	۴۱	۴۲	۴۱
	C	۱۶۰	۱۶۰	۴۷	۴۲	۱۴۰	۱۴۰	۳۷	۳۶	۳۷	۳۶
	D	۱۴۳	۱۴۳	۳۰	۲۷	۱۲۲	۱۲۲	۱۹	۱۸	۱۹	۱۸

### ۱,۳,۱. روش گرانروی معادل با دما

بر اساس نتایج جدول ۵ مربوط به این روش، دمای اختلاط و تراکم قیر پایه با افزایش پودر لاستیک به ترتیب ۸۸ و ۷۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته‌اند. همچنین این دماها، پس از افزایش واکس پلی اتیلن به قیر، به میزان ۷ تا ۱۷ درجه کاهش یافته‌اند. منطقی است که با افزایش درصد واکس، میزان کاهش دما نیز بیشتر می‌شود. اگرچه روند این تغییرات مطابق انتظار است اما مقادیر دماهای محاسبه شده مطابق با واقعیت نیست. دماهای اختلاط بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی گراد موجب پیرشدگی بیش از حد قیر، تغییرات در ساختار قیر و اصلاح کننده‌ها و همچنین متصاعد شدن بخارات سمی از قیر می‌شود. بنابر این نتایج حاصل، نمایانگر نامناسب بودن روش گرانروی معادل با دما برای محاسبه دمای اختلاط و تراکم برای قیرهای اصلاح شده است.

یکی از دلایل افزایش غیرمنطقی دمای اختلاط و تراکم برای نمونه‌های اصلاح شده این است که روش گرانروی معادل با دما تغییرات نرخ برش را در نظر نمی‌گیرد. این در حالی است که در مواد غیر نیوتنی «رقیق گردانی برشی»<sup>۵</sup> افزایش نرخ برش به روان تر شدن مخلوط کمک می‌کند و در صورتی که در محاسبات به اشتباه از آن چشم پوشی شود، منتج به این می‌شود که محاسبات، دمای بسیار زیادی را برای اختلاط و تراکم به دست دهند [۱۴].

### ۱,۳,۲. روش گرانروی در نرخ برش صفر ساده سازی شده

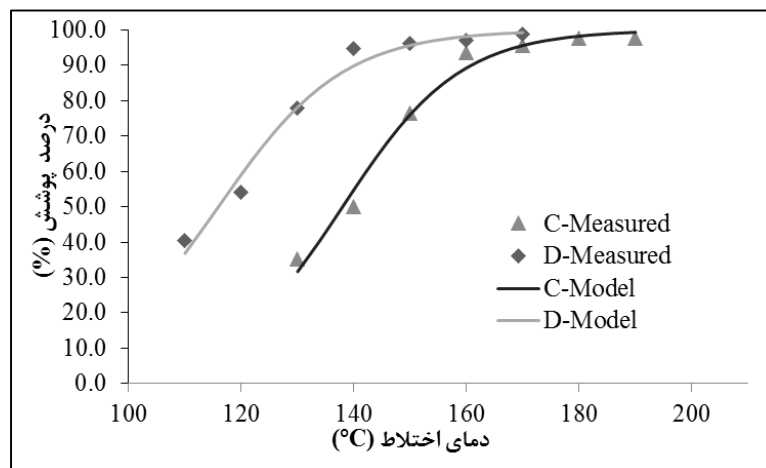
نتایج جدول ۵ برای روش ZSV ساده سازی شده مشابه روش قبل نشان می‌دهد که با افزودن پودر لاستیک به قیر پایه دمای اختلاط و تراکم افزایش می‌یابد و پس از آن با افزودن واکس پلی اتیلن به مخلوط، این دماها دچار کاهش می‌شوند. با توجه به اینکه گرم کردن قیر بیش از ۱۷۷ درجه سانتی گراد توصیه نمی‌شود و معمولاً دمای تراکم کمتر از ۱۵۵ درجه است. دمای اختلاط و تراکم به دست آمده از این روش برای نمونه‌های اصلاح شده، منطقی به نظر می‌رسد.

<sup>5</sup> Shear Thinning



### ۲.۳. روش میزان پوشش سنگدانه‌ها برای کنترل دمای اختلاط

پس از ساخت نمونه‌ها در دماهای مختلف و محاسبه‌ی میزان پوشش سنگدانه‌ها در هر دما و برای هر ۴ نوع قیر، نتایج در نموداری مانند شکل ۲ ترسیم می‌شود. در شکل ۲ محور افقی دماهای اختلاط و محور قائم، میزان درصد پوشش مصالح سنگی است و نتایج آزمایش و مدل برای قیر لاستیکی اصلاح‌شده با ۷ درصد واکس پلی‌اتیلن ملاحظه می‌گردد. سپس مدل پیشنهادی NCHRP Report 648 که در بند ۲ اشاره شد بر این داده‌ها برازش شده و دمای اختلاط متناظر با ۹۵ درصد پوشش مصالح از نمودار درونیابی شد. معیار ۹۵ درصد پوشش کامل مصالح سنگی به عنوان معیار مناسب اختلاط مطلوب در نظر گرفته شده است. بر این اساس زمان و دمایی مطلوب است که ۹۵ درصد پوشش مصالح سنگی را به دست دهد. علت انتخاب ۹۵ درصد بر اساس پیشنهاد NCHRP Report 691 است [۱۶]. دماهای اختلاط مناسب برای هر قیر بر اساس معیار ۹۵ درصد پوشش سنگدانه‌ها، انتخاب شده و در جدول ۷ دیده می‌شوند.



شکل ۲: محاسبه‌ی دمای اختلاط از روی پوشش سنگدانه‌ها برای قیر C و D

جدول ۶: دمای اختلاط محاسباتی به روش درصد پوشش مصالح سنگی

قیر	A	B	C	D
دمای اختلاط (درجه سانتیگراد)	۱۵۰	۱۷۳	۱۶۹	۱۴۸

از آنجا که روش میزان پوشش سنگدانه‌ها بر مبنای عملکرد واقعی قیر در مخلوط آسفالتی است، خروجی‌های این آزمایش را می‌توان به واقعیت نزدیک دانست. همانطور که مشاهده می‌شود در این روش افزایش ۲۳ درجه‌ای دمای اختلاط قیر با افزایش پودر لاستیک و کاهش ۴ و ۲۵ درجه‌ای دمای اختلاط آسفالت لاستیکی با افزودن ۳ و ۷ درصد واکس پلی‌اتیلن قابل مشاهده است.

### ۴. جمع بندی و نتیجه گیری

یکی از مشکلات اساسی مربوط به استفاده از قیر و مخلوط‌های آسفالت لاستیکی، دمای اختلاط و تراکم بالای آنهاست. در پژوهش حاضر، با هدف کاهش دمای اختلاط و تراکم قیرهای اصلاح‌شده با پودر لاستیک، به آنها واکس پلی‌اتیلن بازیافتی اضافه شد. ابتدا با استفاده از دو روش، دماهای اختلاط و تراکم قیرهای اصلاح‌شده از روی خصوصیات رئولوژیکی قیر آنها تعیین شد. سپس به کمک یک روش مربوط به خصوصیات مخلوط آسفالتی، دماهای اختلاط ارزیابی و کنترل گردید. بر اساس آزمایش‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته می‌توان به نتایج زیر دست یافت:





همانطور که انتظار می‌رفت روش گرانروی معادل با دما نتایج نادرست برای قیرهای اصلاح‌شده در این پژوهش نشان داد. اصول روش گرانروی در نرخ برش صفر ساده سازی شده بر اساس روش ZSV بوده و از نظر اجرای آزمایشگاهی بسیار شبیه به روش گرانروی معادل با دماست. نتایج حاصل از این روش برای قیرهای اصلاح‌شده بسیار منطقی به نظر می‌رسد.

در روش درصد پوشش مصالح سنگی معیار ۹۵ درصد پوشش انتخاب شده و بر اساس آن دماهای اختلاط برای قیرهای اصلاحی محاسبه شدند. دماهای محاسبه شده با این روش منطقاً با شرایط عملکردی مخلوط بوده و بیشترین انطباق را با عملکرد میدانی خواهد داشت. در قیاس با دو روش قبلی، نتایج قیر خالص منطبق با روش گرانروی معادل با دما و هر سه قیر اصلاح‌شده منطبق با روش ZSV ساده‌سازی شده است. به نظر می‌رسد روش ZSV ساده‌سازی روش مناسبی برای قیرهای اصلاح‌شده با پودر لاستیک باشد. کنترل صورت گرفته به روش درصد پوشش فقط روی دمای اختلاط انجام گرفته است و مقادیر دمای اختلاط محاسبه شده را می‌توان مقادیر صحیح و منطبق با واقعیت برای قیرهای مورد آزمایش در نظر گرفت؛ برای دماهای تراکم در این پژوهش کنترلی قرار داده نشد اما از آنجا که دماهای تراکم و اختلاط وابستگی نسبی به یکدیگر دارند می‌توان دماهای تراکم نظیر دماهای اختلاط صحیح را با تقریب خوبی مد نظر قرار داد. در هر صورت مقادیر دمای اختلاط بدست آمده از روش درصد پوشش اندکی از دمای اختلاط بدست آمده از روی آزمایش روی قیر اندکی بالاتر است. بالاتر بودن دمای اختلاط برای قیرهای اصلاح‌شده در روش درصد پوشش در حدود ۵ تا ۹ درجه بوده که چندان قابل توجه نیست؛ البته برای توجه آن می‌توان به روش سختگیرانه‌ی تعیین درصد پوشش در استاندارد AASHTO T195 اشاره کرد که فقط ذرات با پوشش کامل مورد شمارش قرار گرفته و این امر می‌تواند یکی از دلایل این اختلاف قابل چشم‌پوشی باشد.

با جمع‌بندی همه‌ی روش‌های انجام شده، افزایش ۲۳ درجه‌ای دمای اختلاط با افزودن ۱۶ درصد پودر لاستیک به قیر و کاهش ۴ و ۲۵ درجه‌ای دمای اختلاط با افزودن ۳ و ۷ درصد واکس پلی‌اتیلن مشاهده گردید. دلیل این امر را می‌توان اینچنین تفسیر کرد که کریستال‌های واکس پلی‌اتیلن در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب شده و کاملاً روان می‌شوند. جاری شدن واکس پلی‌اتیلن موجب روان‌تر شدن کل ساختار قیر اصلاح‌شده می‌شود؛ نتیجه اینکه مخلوط قیر و پودر لاستیک در دمایی کمتر از قبل به گرانروی لازم برای اختلاط و تراکم می‌رسد. بنابراین واکس پلی‌اتیلن را می‌توان به عنوان افزودنی نیمه‌گرم با کارایی مناسب طبقه‌بندی کرد.

##### ۵. مراجع

1. Liu, S., Cao, W., Fang, J., and Shang, S. (2009), "Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt." *Construction and Building Materials*, **23**(7): pp 2701-2708.
2. Wang, H., Dang, Z., Li, L., and You, Z. (2013), "Analysis on fatigue crack growth laws for crumb rubber modified (CRM) asphalt mixture." *Construction and Building Materials*, **47**: pp 1342-1349.
3. Lee, S.-J., Akisetty, C.K., and Amirhanian, S.N. (2008), "The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements." *Construction and Building Materials*, **22**(7): pp 1368-1376.
4. Yildirim, Y. (2007), "Polymer modified asphalt binders." *Construction and Building Materials*, **21**(1): pp 66-72.
5. Naderi, K., Asgharzadeh, S., Tabatabaee, N., and Partl, M. (2014), "Evaluating Aging Properties of Crumb Rubber and Styrene-Butadiene-Styrene Modified Binders." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2444**: pp 110-119.
6. Huang, Y., Bird, R.N., and Heidrich, O. (2007), "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements." *Resources, Conservation and Recycling*, **52**(1): pp 58-73.
7. Lo Presti, D. (2013), "Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review." *Construction and Building Materials*, **49**: pp 863-881.



8. Holleran, G. and Van, K. (2000). "Asphalt rubber concrete leads to cost effective pavement rehabilitation reduced thickness". in Synopses for 1st Int. Conf. World of Pavement. Sydney, Australia.
9. Shu, X. and Huang, B. (2014), "Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview." *Construction and Building Materials*, **67, Part B**: pp 217-224.
10. Navarro, F.J., Partal, P., Martínez-Boza, F., and Gallegos, C. (2004), "Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens." *Fuel*, **83**(14–15): pp 2041-2049.
11. Rodríguez-Alloza, A.M., Gallego, J., Pérez, I., Bonati, A., and Giuliani, F. (2014), "High and low temperature properties of crumb rubber modified binders containing warm mix asphalt additives." *Construction and Building Materials*, **53**: pp 460-466.
12. Edwards, Y., Tasdemir, Y., and Isacson, U. (2006), "Rheological effects of commercial waxes and polyphosphoric acid in bitumen 160/220—low temperature performance." *Fuel*, **85**(7–8): pp 989-997.
13. Edwards, Y., Tasdemir, Y., and Isacson, U. (2007), "Rheological effects of commercial waxes and polyphosphoric acid in bitumen 160/220 – high and medium temperature performance." *Construction and Building Materials*, **21**(10): pp 1899-1908.
14. West, R.C., Watson, D.E., Turner, P.A., and Casola, J.R., *NCHRP Report 648: Mixing and compaction temperatures of asphalt binders in hot-mix asphalt*. 2010, Transportation Research Board: Washington, D.C.
15. Bahia, H.U., Hanson, D., Zeng, M., Zhai, H., Khatri, M., and Anderson, R., *NCHRP Report 459: Characterization of modified asphalt binders in superpave mix design*. 2001, Transportation Research Board: Washington, D.C.
16. Bonaquist, R., *NCHRP Report 691: Mix design practices for warm mix asphalt*. 2011, Transportation Research Board: Washington, D.C.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو  
بین المللی و ترند های جستجو