

۱۴

قیر در راه‌سازی

◀ ۱-۱۴ کلیات

چسباننده‌های^۱ سیاه مصرفی در راه‌سازی، شامل مواد قیری و قطرانی، دارای این خاصیت اصلی است که دانه‌های سنگی را به یکدیگر چسبانده و به جسم یکپارچه تبدیل می‌کند. قیر جسمی است به رنگ سیاه که از شمار زیادی هیدروکربن‌های مختلف ساخته شده است.

قیر خالص در دمای محیط جامد یا نیمه جامد است و بر اثر حرارت روان می‌شود. قیر در روغن‌های معدنی و حلال‌هایی نظیر سولفید کربن^۲، تتراکلرید کربن^۳، تری کلرید اتیلن^۴ و نرمال پروپیل بروماید^۵ کاملاً حل می‌شود. قبل از استفاده از هر یک از حلال‌های ذکر شده، اطلاعات مندرج در برگ‌های اطلاعات ایمنی مواد^۶ (SDS) باید دقیقاً مطالعه و در صورت ضرورت استفاده، حتماً در زیر هود شیمیایی، همراه با تهویه مناسب هوای محوطه آزمایشگاه، و رعایت اصول ایمنی محیطی و فردی (روپوش، دستکش، عینک و ماسک شیمیایی مناسب) توأم با ملاحظات خاص مندرج در SDS آن ماده مورد استفاده قرار گیرد.

^۱ Binder- این واژه، بصورت عام، هر نوع چسباننده‌ای را شامل می‌شود. به صورت خاص در واژگان قیر و آسفالت، شامل انواع قیر خالص یا اصلاح شده می‌شود. اگرچه این واژه گاهی به امولسیون قیر هم اطلاق می‌شود، در این فصل از این کاربرد پرهیز می‌شود.

^۲ این ماده بسیار قابل اشتعال است، و سال‌هاست که دیگر در صنعت قیر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

^۳ ماده Carbon tetrachloride یک مایع بیرنگ آلی با فرمول CCl_4 ، یک حلال ناقطبی مناسب برای برخی از واکنش‌ها است. این ماده بسیار سمی و خطرناک در دمای اتاق سریعاً به حالت بخار در آمده و وارد سیستم تنفسی شده و بر سیستم اعصاب مرکزی و سایر ارگان‌ها اثر نامطلوب می‌گذارد.

^۴ ماده Trichloroethylene یا TCE یک ماده آلی با ترکیب هیدروکربن با ساختاری ساده با فرمول C_2HCl_3 ، یک مایع حلال صنعتی شفاف، بی‌رنگ، غیرقابل اشتعال، و بوی شیرین است. این ماده سرطان‌زا و آلاینده شدید زیست محیطی بوده و بر سیستم اعصاب مرکزی و سایر ارگان‌ها اثر نامطلوب می‌گذارد.

^۵ n-Propylbromide یا nPB یک ماده آلی با فرمول $\text{C}_3\text{H}_7\text{Br}$ ، یک ماده حلال صنعتی بوده که تا حدودی نسبت به بقیه حلال‌های ذکر شده در بالا از خطرات کمتر برخوردار است.

^۶ Safety Data Sheet or Material Safety Data Sheet (MSDS)

قطران^۱ نیز که رنگی سیاه ولی متمایل به قهوه‌ای دارد از تقطیر گازهای حاصل از حرارت دادن زغال سنگ، چوب و سنگ‌های شیبستی به دست می‌آید. این ماده قطران خام نامیده می‌شود و از تصفیه آن قطران راه‌سازی حاصل می‌گردد. قطران در ایران به میزان بسیار کم تولید می‌شود و استفاده از آن در عملیات ساخت روسازی مجاز نیست.

۱۴-۲ انواع قیر

قیرهای مصرفی در راه‌سازی عمدتاً دو نوع است. اگر از معدن به دست آید قیر طبیعی^۲ یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود قیر نفتی^۳ یا پالایشگاهی یا فرآوری شده نام دارد. در راه‌سازی باید از قیرهای نفتی استفاده شود، چنانچه مصرف قیر معدنی در پروژه‌ای مورد نظر باشد، باید نسبت اختلاط قیر نفتی با معدنی و مشخصات قیر معدنی در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. قیرهای فرآوری شده طی فرآیند تقطیر نفت خام در پالایشگاه، واحدهای جانبی، و یا کارخانه‌های تولید قیر حاصل می‌شود. تولید قیر با هدف برآوردن مشخصات لازم با توجه به کاربرد مورد نظر است. از آنجایی که این فصل در رابطه با قیرهای راه‌سازی است، تأکید بر تبیین مشخصات این محصول است. ویژگی‌های اصلی قیرهای راه‌سازی شامل چسبندگی^۴، مقاومت در برابر آب، رفتار ترموپلاستیک^۵، دوام، قابلیت اصلاح^۶ و قابلیت بازیافت^۷ است. لازم به ذکر است که انواع مواد قیری مورد استفاده در عملیات راه‌سازی باید توسط واحدهای صنعتی دارای گواهینامه فنی معتبر از مرکز تحقیقات راه، مسکن، و شهرسازی تولید شده باشد.

^۱ Tar- این ماده در قرن بیستم در اروپا برای راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گرفت. روسازی‌های ساخته شده با قطران به دلیل آزادسازی مقادیر زیادی Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) هنگام حرارت‌دهی مجدد، قابل بازیافت نیستند.

^۲ Natural asphalt

^۳ Petroleum asphalt

^۴ Adhesion

^۵ ماده ترموپلاستیک یا گرمانرم، با افزایش دما نرم و شکل‌پذیر می‌شود و با افت دما سفت شده و حالت شکل‌پذیری را از دست می‌دهد، و این رفتار با تکرار روند گرمایش و سرمایش تکرار می‌شود.

^۶ Modifiable

^۷ Recyclability

۱۴-۳ قیرهای نفتی

قیرهای حاصل از پالایش نفت خام، با توجه به نوع و شرایط مصرف آن در راه‌سازی و سایر مصارف صنعتی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱۴-۳-۱ قیرهای خالص^۱

قیرهایی که مستقیماً در برج تقطیر در خلاء پالایشگاه به دست می‌آید و یا مختصری در جریان فرآیند هوادهی قرار می‌گیرد قیرهای خالص نامیده می‌شود. این قیرها باید همگن و فاقد آب بوده و به منظور رعایت اصول ایمنی تا دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس کف نکنند. قیرهای خالص در اثر فشار و حرارت به صورت مایع غلیظ و آب‌گون تغییر شکل می‌دهد و در دمای پایین حالت الاستیک (برگشت‌پذیر) دارد.

۱۴-۳-۲ فرآیند تولید قیر

قیر راه‌سازی^۲ در اکثر کشورها، به طور متداول، به یکی از سه روش زیر تولید می‌شود؛ خروج مستقیم^۳ از برج تقطیر،^۴ هوادهی^۵ (نیمه هوادهی)،^۶ و اختلاط قیر نرم و سفت. از این میان روش هوادهی با استفاده از راکتورهای اکسیدایزر^۷ روش غالب در واحدهای تولیدی قیر در ایران است. در فرآیند هوادهی، مشخصات مخزن راکتور و ظرفیت آن، نرخ ورود خوراک قیر،^۸ فشار و دمای راکتور، و نسبت هوا به خوراک (میزان هوادهی) از عوامل کنترلی مهم و تأثیرگذار بر مشخصات محصول نهایی است. به دلیل

^۱ Asphalt cement (neat asphalt)

^۲ Paving grade bitumen

^۳ Straight-run (SR)

^۴ Vacuum distillation

^۵ Air blowing or semi-blowing (SB)

^۶ برای تولید قیرهای راه‌سازی، میزان هوادهی خوراک قیر (VB) نسبتاً ملایم (مصرف هوا کمتر از ۱۰۰ مترمکعب بر تن) است. از این جهت به فرآیند نیمه هوادهی (Semi-air blowing) هم گفته می‌شود (فصل ۱۲ لوکاس به شرح زیر).

Lucas, A.G., (2000), Modern Petroleum Technology, Volume. 2, Downstream, John Wiley & Sons.

^۷ Oxidizer units or Bitumen blowing unit (BBU)

^۸ Vacuum bottom (VB)

تغییرات در مشخصات خوراک قیر (ساختار شیمیایی و گرانی) فرمولاسیون مشخصی برای جزییات فرآیند جهت حصول به مشخصات آیین‌نامه‌ای قابل ارائه نیست (Lucas^۲, 2000). آیین‌نامه‌ها معمولاً محدودیت‌هایی مانند عدم استفاده از شعله مستقیم و یا میزان سخت‌شدگی با هوادهی را مشخص می‌کنند. در مورد قیرهای PG، بسیاری از ایالت‌ها در آمریکا، افزایش بیش از دو رده عملکردی دمای بالای قیر در فرآیند هوادهی را مجاز نمی‌دانند. زیرا قیر حاصل خشک و شکننده شده، و از نظر چسبندگی به مصالح و دوام در برابر رطوبت و ترک‌خوردگی در دماهای میانی (ترک خستگی) و پایین (ترک برودتی) دچار ضعف می‌شود. فرآیند نیمه هوادهی^۳ برای تولید قیرهای راه‌سازی با کیفیت یکنواخت باید به صورت پیوسته^۴ صورت گیرد.

قیرهای خالص در راه‌سازی در کشور به دو روش درجه نفوذ^۵ یا عملکردی^۶ رده‌بندی می‌شوند که مشخصات آن‌ها به ترتیب باید با جدول‌های (۱-۱۴) و (۲-۱۴) مطابقت داشته باشد. مشخصات قیر برای هر پروژه بر حسب این که طبق رده‌بندی درجه نفوذ یا عملکردی باشد، باید در مشخصات فنی خصوصی آن قید شود.

۱-۳-۳-۱۴ قیرهای رده‌بندی شده با درجه نفوذ

مطالب مربوط به رده‌بندی قیر بر اساس درجه نفوذ در ویرایش‌های پیشین نشریه ۱۰۱ عمدتاً الهام گرفته از استاندارد شماره AASHTO M 20 بود. این استاندارد در سال ۱۹۲۴ برای درج در استاندارد

^۱ Viscosity یا ویسکوزیته در متون مهندسی راه تحت نام "کندروانی" نیز ذکر شده است. ولی در مهندسی شیمی واژه گرانیروی مصطلح است. به دلیل میان‌رشته‌ای بودن مقوله تولید قیر مناسب است که کاربران این صنعت با هر دو اصطلاح آشنا باشند. از سوی دیگر با توجه به این که در قیرهای محلول و قیرابه‌ها به ترتیب از واژه‌های کُندگیر و کُندشکن برای عمل‌آوری و شکستن آن‌ها استفاده می‌شود، مناسب‌تر آن است که از واژه گرانیروی به جای کندروانی استفاده شود.

^۲ Lucas, A.G., (2000), Modern Petroleum Technology, Vol. 2: Downstream, John Wiley & Sons.

^۳ Semi-blowing process

^۴ Continuous blowing

^۵ Penetration grade

^۶ Performance Graded

به‌تصویب رسیده بود، و در سال ۲۰۰۹ به علت کمبود استفاده و ارجاع به آن، و گسترش استفاده از رده‌بندی عملکردی (PG)، از مجموعه استاندارد AASHTO حذف شد. استاندارد رده‌بندی براساس درجه نفوذ هنوز در ASTM وجود دارد، و از سال ۲۰۰۹ نیز در قالب دو جدول ارائه شده است. در ویرایش حاضر نشریه ۱۰۱، مشخصات فنی این قیرها در جدول شماره (۱-۱۴)، مشابه جدول ۲ از استاندارد ASTM D946/D946M - 20، ذکر شده است.

آزمون لکه (AASHTO T 102) در جدول (۱-۱۴) برای تشخیص بروز فرآیند شکست مولکولی^۱ است. در این فرآیند هیدروکربن‌های پیچیده و با زنجیره طولانی و بزرگ با شکستن پیوندهای کربن-کربن به مولکول‌های ساده‌تری مانند هیدروکربن‌های سبک تجزیه می‌شوند. میزان شکست مولکولی و محصولات نهایی حاصل از آن به شدت به دما و حضور کاتالیزورها بستگی دارد. این فناوری دهه‌هاست که در تولید قیر استفاده نمی‌شود. به دلیل استفاده از دمای زیاد در این فرآیند، قیر تولیدی دچار آسیب و کاهش شکل‌پذیری (داکتیلیته) و دوام در برابر پیرشدگی می‌شود. آزمون لکه برای تشخیص وجود گیربکناختی در قیر، به علت شکست مولکولی و یا هوادهی زیاد، در سال ۱۹۳۸ وارد استاندارد AASHTO شد.

آزمون لکه می‌تواند در شناسایی برخی قیرهای فاقد اصالت که با تلفیق افزودنی‌های غیرمجاز و مضر تولید، یا افزایش حجم و جرم داده شده، تا حدودی موثر باشد. با توجه به نبود تحقیقات کافی در این زمینه در کشور در زمان نگارش ویرایش حاضر، تعیین میزان تحقق این احتمال قابل صحت سنجی نیست. به‌ویژه آنکه مثبت شدن نتیجه آزمایش لکه به تنهایی ملاک عدم اصالت محتوایی قیر نبوده و باید آزمایش‌های مناسب از قبیل ساختار شیمیایی و مورفولوژی و مانند آن به تجویز و تشخیص متخصص ذیصلاح انجام شود. توضیح آن‌که، حلال‌های مورد استفاده در این آزمایش از مواد شیمیایی خطرناک حاصل از پالایش نفت خام و شامل ترکیبات آلی فرار است. این مواد از آلاینده‌های مهم هوا بوده و استنشام آن‌ها خطرناک است. همان‌گونه که در توضیح ۵ از جدول (۱-۱۴) ذکر شده، انجام این آزمایش باید با درک و رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی توسط تکنسین مجرب انجام شود.

¹ Molecular cracking or craking

جدول ۱۴-۱ مشخصات قیرهای خالص براساس رده‌بندی درجه نفوذ^۱

حالت قیر مورد آزمایش	نوع آزمایش	روش آزمایش										درجه نفوذ (dmm)			
		۵۰-۴۰		۷۰-۶۰		۱۰۰-۸۵		۱۵۰-۱۲		۳۰۰-۲۰۰					
قیر اولیه	درجه نفوذ (dmm) درجه اشتعال (°C) کشش‌پذیری در ۲۵ °C (cm) درجه خلوص (%) (با تری کلروراتیلن یا نرمال پروپیل بروماید) نقطه نرمی قیر (°C) ۳	ASTM		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر		
		D5	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۵	۱۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰			
		D92	۲۳۰		۲۳۰		۲۳۰		۲۲۰		۱۷۵				
		D113	۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰ ^۱				
		D2042 D7553	۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰				
		D36	۴۹		۴۶		۴۲		۳۸		۳۲				
قیر باقی‌مانده از لعب نازک	تغییر جرم (%) (نسبت به قیر اولیه) ۴ نسبت درجه نفوذ (%) (نسبت به قیر اولیه) کشش‌پذیری (cm)	D1754		۰/۸		۰/۸		۱		۱/۳		۱/۵			
		D5	۵۵+		۵۲+		۴۷+		۴۲+		۳۷+				
		D113			۵۰		۷۵		۱۰۰			۱۰۰*			
قیر اولیه	با ذکر نوع حلال ۵: • آزمون استاندارد با نفتا • حلال نفتا-زایلین • حلال هپتین-زایلین	AASHTO T 102	منفی برای همه رده‌ها												

- ۱- چنانچه مقدار کشش‌پذیری در 25°C کمتر از ۱۰۰ سانتیمتر، ولی در 15°C بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، قیر قابل قبول است.
- ۲- در انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا- زایلین، هپتین- زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسین مجرب انجام شود.

۴-۳-۱۴ قیرهای عملکردی

الف: کلیات

تدوین رده‌بندی عملکردی برای انتخاب قیر، در برنامه تحقیقات استراتژیک بزرگراهی موسوم به شارپ^۱ (SHRP) در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ انجام شد و نتایج آن طی گزارش‌های متعدد، و استانداردهای آن در ASTM و AASHTO ارائه شده است. این رده‌بندی مبتنی بر شناخت رفتار قیر و خصوصیات عملکردی آن در مخلوط آسفالتی متراکم در شرایط جاده‌ای است. از این‌رو، رفتار قیر بر اساس سه ویژگی عملکردی مخلوط، با توجه به محدوده آب و هوایی که مخلوط در آنجا خدمت‌دهی می‌کند و محدوده ترافیکی (بار محوری) رده‌بندی می‌شود. سه ویژگی عملکردی مهم عبارتند از: مقاومت مخلوط ساخته شده در برابر تغییر شکل در دماهای بالا، ترک‌خوردگی ناشی از خستگی (تکرار بارگذاری) در دماهای میانی و ترک‌خوردگی برودتی (در دماهای پایین). از سوی دیگر برای بررسی عملکرد قیر در شرایط مختلف پیرشدگی (سخت‌شدگی) دو فرآیند وجود دارد؛ یکی شبیه‌سازی آزمایشگاهی پیرشدگی کوتاه مدت قیر^۲ (سخت‌شدن قیر در دمای بالا هنگام تهیه مخلوط آسفالتی در کارخانه آسفالت، و پخش و تراکم) و دیگری پیرشدگی بلند مدت قیر^۳ (سخت‌شدن قیر در اثر مرور زمان در دوره بهره‌برداری). مجموعه آزمایش‌های تعیین شده در (استاندارد) مشخصات قیرهای عملکردی با توجه به نوع عملکرد مورد نظر (مقاومت مخلوط ساخته شده در برابر تغییر شکل، ترک‌خوردگی ناشی از سرما، و ترک‌خوردگی ناشی از خستگی)، مورد ارزیابی قرار گرفته و قیر مناسب با توجه به دمای محل اجرای پروژه، میزان آمد و شد ترافیک سنگین (برحسب معادل بارمحور ساده ۸۰ کیلونیوتن)، سرعت بارگذاری و موقعیت جغرافیایی انتخاب می‌شود.

¹ Strategic Highway Research Program

² Short-term binder aging

³ Long-term binder aging

ب: تعیین دمای طرح روسازی

رده عملکردی قیر (PG) برای هر پروژه باید توسط مهندس مشاور متناسب با میانگین ۷ روز متوالی بیشترین دمای روسازی یا دمای بالای عملکردی روسازی، و دمای پایین عملکردی روسازی، سطح سرعت ترافیک عبوری، و تعداد عبور بار معادل محور ساده (فرد) ۸۰ کیلونیوتن در ۲۰ سال تعیین، و در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. به عنوان راهنما در این ارتباط می توان از نرم افزار تدوین شده که در آدرس <http://pgi.bhrc.ac.ir> ارائه شده است، استفاده کرد.

حداکثر دمای طرح روسازی در عمق ۲۰ میلیمتر زیر سطح روسازی آسفالتی و دمای پایین طرح روسازی در سطح روسازی تعیین می گردد. رابطه شماره (۱-۱۴) برای تعیین حداکثر دمای طرح روسازی در عمق ۲۰ میلیمتری ارائه شده است.

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0.00618Lat^2 + 0.2289Lat + 42.2)(0.9545) - 17.78 \quad (1-14)$$

در این رابطه:

$$T_{20mm} = \text{دمای بالای عملکردی روسازی در عمق ۲۰ میلیمتری برحسب درجه سلسیوس}$$

$$T_{air} = \text{میانگین بیشترین دمای هفت روز متوالی در سال های مختلف برحسب درجه سلسیوس}$$

$$Lat = \text{عرض جغرافیایی محل پروژه}$$

دمای پایین عملکردی روسازی بر سطح روسازی به عنوان تابعی از کمترین دمای هوا و براساس رابطه شماره (۲-۱۴) تعیین می شود:

$$T_{\text{سطح}} = 0.859 T_{air} + 1.7 \quad (2-14)$$

$$T_{air} = \text{حداقل دمای هوا برحسب سلسیوس}$$

^۱ این دما، میانگین ۷ روز متوالی بیشترین دمای روسازی است.

^۲ این دما، پایین ترین دمای روسازی است.

ت: نوع قیر و شرایط ترافیک

شرایط آمد و شد شامل نوع و میزان آمد و شد سنگین، چگونگی بارگذاری (سریع، آهسته و یا ایستا) و تعداد کل محوره‌های ۸۰ کیلو نیوتنی هم ارز آمد و شد در انتخاب نوع قیر در هر پروژه موثر هستند. افزایش رده عملکردی قیر براساس میزان ترافیک و سرعت بارگذاری از جدول (۱۴-۲) به‌دست می‌آید. به عنوان مثال اگر برای شرایط عادی (استاندارد)، برای پروژه‌های قیر PG64-22 لازم باشد، در شرایطی که ایجاب کند دمای بالای عملکردی قیر مصرفی به میزان یک رده افزایش یابد، از قیر PG70-22 باید استفاده شود.

جدول ۱۴-۲- افزایش رده عملکردی قیر به علت ترافیک زیاد یا سرعت بارگذاری کم

سرعت متوسط ترافیک			تعداد محور هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)
ایستاد	کند	ایستا	
(سرعت بیش از ۷۰ کیلومتر در ساعت)	(سرعت بین ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت)	(سرعت کمتر از ۲۰ کیلومتر در ساعت)	
		*	۰/۳ >
	۱	۲	۳ تا ۰/۳
	۱	۲	۳ تا ۱۰
*	۱	۲	۱۰ تا ۳۰
۱	۱	۲	≥ ۳۰

* افزایش دمای بالای عملکردی قیر به میزان یک رده بررسی شود.

ث: رده‌بندی قیرهای عملکردی

قیرهای رده‌بندی شده بر مبنای عملکردی با توجه به میانگین ۷ روز متوالی بیشترین دمای روسازی، به ۷ رده اصلی PG 46 ، PG 52 ، PG 58 ، PG 64 ، PG 70 ، PG 76 ، PG 82 رده‌بندی و هر یک از آن‌ها نیز با توجه به پایین‌ترین دمای روسازی، به گروه‌های فرعی دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند. در نهایت، هر نوع قیر با یک عدد مثبت و یک منفی مشخص می‌شود، که عدد مثبت، برابر میانگین ۷ روز متوالی بیشترین دمای روسازی و عدد منفی، برابر حداقل دمای روسازی برحسب درجه سلسیوس است.

به‌طور مثال، قیر با رده عملکردی PG 58-34 تأمین کننده خواص فیزیکی و عملکرد مطلوب با سطح اطمینان مشخص تا دمای بالای طرح روسازی ۵۸ درجه سلسیوس و دمای پایین تا ۳۴- درجه سلسیوس است.

ج: مشخصات فنی و آزمایش‌های قیر

مشخصات قیرهای عملکردی، نوع آزمایش‌های مربوط و هدف از انجام آن‌ها در جدول (۱۴-۳) آمده است.

جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M 320-21)

PG 52							PG 46			رده‌بندی عملکردی	
۴۶	۴۰	۳۴	۲۸	۲۲	۱۶	۱۰	۴۶	۴۰	۳۴		
< ۵۲							< ۴۶			میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)	
>-۴۶	>-۴۰	>-۳۴	>-۲۸	>-۲۲	>-۱۶	>-۱۰	>-۴۶	>-۴۰	>-۳۴	حداقل دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)	
قیر اولیه											
۲۳۰							دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T 48، حداقل، (°C)				
۱۳۵							گرانروی ^۲ مطابق AASHTO T 316، حداکثر Pa.s ۳، دمای آزمایش (°C)				
۵۲							برش دینامیکی ^۳ مطابق AASHTO T 315، حداقل $G^*/\sin\delta$ برابر ۱/۰۰ kPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)				
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T 240)											
۱/۰۰							تغییر جرم ^۴ ، حداکثر، (%)				
۵۲							برش دینامیکی ^۵ مطابق AASHTO T 315، حداقل $G^*/\sin\delta$ برابر ۲/۲۰ kPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)				
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R 28)											
۹۰ (۱۰۰، ۱۱۰)							۹۰ (۱۰۰، ۱۱۰)				دمای پیرشدگی ^۶ PAV، (°C)
۷	۱۰	۱۳	۱۶	۱۹	۲۲	۲۵	۴	۷	۱۰	برش دینامیکی ^۵ مطابق AASHTO T 315، حداکثر $G^* \cdot \sin\delta$ برابر ۶۰۰۰ kPa و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه ^۷ ، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)	
-۳۶	-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶	۰	-۳۶	-۳۰	-۲۴	سختی خزش ^۸ مطابق AASHTO T 313، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa، حداقل مقدار m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (°C)	
-۳۶	-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶	۰	-۳۶	-۳۰	-۲۴	کشش مستقیم ^۹ مطابق AASHTO T 314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد دمای آزمایش (۱/۰ mm/min)، (°C)	

جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M 320-21) - ادامه ۱

PG 64						PG 58					رده‌بندی عملکردی
۴۰	۳۴	۲۸	۲۲	۱۶	۱۰	۴۰	۳۴	۲۸	۲۲	۱۶	
< ۶۴						< ۵۸					میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)
> -۴۰	> -۳۴	> -۲۸	> -۲۲	> -۱۶	> -۱۰	> -۴۰	> -۳۴	> -۲۸	> -۲۲	> -۱۶	حداقل دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)
قیر اولیه											
۲۳۰						دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T 48، حداقل، (°C)					
۱۳۵						گرانروی ^۲ مطابق AASHTO T 316، حداکثر Pa.s، دمای آزمایش (°C)					
۶۴						۵۸					برش دینامیکی ^۳ مطابق AASHTO T 315، حداقل $G^*/\sin\delta$ برابر ۱/۰۰ kPa برای ۱۰ rad/s، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T 240)											
۱/۰۰						تغییر جرم ^۴ ، حداکثر، (%)					
۶۴						۵۸					برش دینامیکی ^۵ مطابق AASHTO T 315، حداقل $G^*/\sin\delta$ برابر ۲/۲۰ kPa برای ۱۰ rad/s، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R 28)											
۱۰۰ (۱۱۰)						۱۰۰ (۱۱۰)					دمای پیرشدگی ^۶ PAV، (°C)
۱۶	۱۹	۲۲	۲۵	۲۸	۳۱	۱۳	۱۶	۱۹	۲۲	۲۵	برش دینامیکی ^۵ مطابق AASHTO T 315، حداکثر $G^*.sin\delta$ برابر ۶۰۰۰ kPa و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه ^۷ ، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)
-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶	۰	-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶	سختی خزش ^۸ مطابق AASHTO T 313، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa، دمای آزمایش در ۰/۳۰۰ m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (°C)

کشش مستقیم ^۱ مطابق AASHTO T 314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد دمای آزمایش (۱/۰ mm/ min)، (°C)										
-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶	۰	-۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶

جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M 320-21) - ادامه ۲

جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M 320-21) - ادامه ۳

PG 76			PG 82						PG 70				رده‌بندی عملکردی		
۳۴	۲۸	۲۶	۳۴	۲۸	۲۶	۳۴	۲۸	۲۶	۳۴	۲۲	۱۶	۱۰	رده‌بندی عملکردی		
< ۷۶			< ۸۲						< ۷۰				میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)		
> -۳۴			> -۲۸						> -۱۰				حداقل دمای طرح روسازی ^۱ ، (°C)		
فیلر اولیه															
۲۳۰														دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T 48، حداکثر (°C)	
۱۳۵														گرانروی ^۲ مطابق AASHTO T 316، حداکثر Pa.s، دمای آزمایش (°C)	
۷۶	۸۲													۷۰	برش دینامیکی ^۳ مطابق AASHTO T 315، حداکثر $G^*/\sin\delta$ برابر ۱/۰۰ kPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)
باقی مانده از آزمایش لعاب تارک چرخشی (AASHTO T 348)															
۱/۰۰														تغییر جرم ^۴ ، حداکثر، (%)	
۷۶	۸۲													۷۰	برش دینامیکی ^۵ مطابق AASHTO T 315، حداکثر $G^*/\sin\delta$ برابر ۲/۲۰ kPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)
باقی مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R 28)															
۱۱۰ (۱۰۰)														دمای پیرشدگی ^۶ PAV، (°C)	
۲۵	۲۸	۳۱	۲۸	۳۱	۳۴	۲۷	۳۰	۳۳	۲۵	۲۸	۳۱	۳۴	۲۷	۳۰	
> -۲۴			> -۱۸						> -۱۲				حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه ^۷ ، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)		
> -۲۴			> -۱۸						> -۱۲				سختی خزش ^۸ مطابق AASHTO T 313، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (°C)		
> -۲۴			> -۱۸						> -۱۲				کشش مستقیم ^۹ مطابق AASHTO T 314، حداکثر کرنش شکست برابر ۱/۱۰ درصد، دمای آزمایش در ۱/۱۰ mm/min، (°C)		

توضیحات جدول (۳-۱۴)

- ۱- اگر تأمین‌کننده تضمین کند که قیر قابلیت پمپ شدن و اختلاط در دماهای منطبق با استانداردهای ایمنی را دارد، در این صورت عدم رعایت این معیار در آیین‌نامه مشخصات قابل چشم‌پوشی است.
- ۲- براساس AASHTO M 320-21 برای کنترل کیفیت قیر اصلاح نشده می‌توان اندازه‌گیری گرانروی قیر اصلی را جایگزین اندازه‌گیری برش دینامیکی $G^*/\sin\delta$ نمود، به شرط آن که قیر در دمای آزمایش، حالت سیال نیوتنی داشته باشد.
- ۳- تغییر جرم قیر باید کمتر از ۱/۰ درصد برای تغییرات مثبت (افزایش جرم) یا تغییرات منفی (کاهش جرم) باشد.
- ۴- پارامتر $G^*/\sin\delta$ سختی قیر در دمای بالا و $G^*\sin\delta$ سختی قیر در دمای میانی (متوسط) است.
- ۵- دمای پیرشدگی با دستگاه PAV بر مبنای شرایط آب و هوایی شبیه سازی شده است، که شامل یکی از سه دمای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس است. برای قیرهای با رده PG 58-xx و بالاتر، دمای پیرشدگی PAV ۱۰۰ درجه سلسیوس است، ولی در شرایط آب و هوای بیابانی، برای قیرهای با رده PG 76-xx و بالاتر، دمای پیرشدگی PAV ممکن است برابر ۱۱۰ درجه سلسیوس انتخاب گردد.
- ۶- اگر مقدار سختی دمای میانی، $G^*\sin\delta$ ، کمتر از ۵۰۰۰ kPa باشد، رعایت حداقل زاویه تأخیر فاز (δ) برابر ۴۲ درجه الزامی نیست. تنها اگر مقدار سختی دمای میانی، $G^*\sin\delta$ ، بین ۵۰۰۰ kPa تا ۶۰۰۰ kPa باشد، رعایت حداقل زاویه تأخیر فاز (δ) برابر ۴۲ درجه الزامی است.
- ۷- اگر مقدار m آن مساوی یا بیش از ۰/۳۰۰ باشد، و سختی خزشی کمتر از ۳۰۰ مگاپاسکال باشد، آزمایش کشش مستقیم مورد نیاز نیست. ولی اگر سختی خزشی بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ مگاپاسکال باشد، و برای تعیین رده دمای پایین عملکردی آن قیر از آزمایش کشش مستقیم می‌توان به جای سختی خزشی استفاده کرد.

۵-۳-۱۴ قیرهای محلول^۱

قیرهای موسوم به قیر محلول^۲، نوعی قیر مایع بوده که از رقیق کردن قیرهای خالص با مواد نفتی به دست می‌آید. نوع و کیفیت قیرهای محلول به کیفیت قیرهای خالص پایه، نوع و مقدار روان‌کننده (رقیق‌کننده) نفتی بستگی دارد. هر اندازه مقدار این مواد در قیر محلول زیادتر باشد، روانی آن بیشتر است. معمولاً مقدار این مواد در قیرهای محلول، از ۲۰٪ تا ۵۰٪ تغییر می‌کند. در چند دهه اخیر، به دلیل

^۱ Cutback asphalt

^۲ واژه فارسی قیر "محلول" چندان صحیح نیست، ولی به غلط مصطلح تبدیل شده است. مواد نفتی (مانند بنزین، نفت سفید و گازوییل) هیچ یک حلال کامل قیر نبوده و اختلاط آنها با قیر سبب رقیق و روان شدن قیر می‌شود.

ایجاد آلودگی زیست‌محیطی، کاربردهای قیرهای محلول در جهان روند کاهشی داشته و با قیرآبه جایگزین شده است. در ایران نیز سیاست کلی مبنی بر عدم استفاده از آن است. قیرهای محلول بر حسب سرعت گیرش (عمل‌آوری) و نوع روان‌کننده به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند.

۱-۵-۳-۱۴ قیرهای محلول زودگیر (RC)^۱

اگر از بنزین برای رقیق کردن قیر خالص استفاده شود قیر محلول را زودگیر می‌نامند. زیرا بنزین موجود در قیر در مدت کمی بعد از مصرف قیر محلول تبخیر شده و قیر اصلی بر جای می‌ماند. قیرهای زودگیر بر حسب گرانشی، در ۴ رده RC-۷۰، RC-۲۵۰، RC-۸۰۰ و RC-۳۰۰۰ قرار می‌گیرند که اعداد پسوند معرف گرانشی قیر، بر حسب سانتی‌استکس است. مشخصات قیرهای زودگیر برای مصرف در راه‌سازی باید با جدول ۱۴-۴ انطباق داشته باشند.

۲-۵-۳-۱۴ قیرهای محلول کندگیر (MC)^۲

قیرهای کندگیر از رقیق کردن قیر خالص با نفت سفید تهیه می‌شود که سرعت تبخیر نفت از بنزین، کندتر و عمل‌آوری آن نیازمند زمان طولانی‌تری است. قیرهای کندگیر در ۵ رده قرار می‌گیرند که در دمای ۶۰ درجه سلسیوس گرانشی آنها از حداقل ۳۰ تا حداکثر ۶۰۰۰ سانتی‌استکس تغییر می‌کند. مشخصات قیرهای کندگیر باید با مندرجات جدول ۱۴-۵ مطابقت داشته باشد.

۳-۶-۳-۱۴ قیرهای محلول دیرگیر (SC)^۳

قیرهای محلول دیرگیر، علاوه بر رقیق کردن قیر خالص با مواد نفتی با فراریت پایین، مانند گازوئیل یا نفت سیاه، می‌توان مانند قیرهای خالص، مستقیماً از تقطیر نفت خام به‌دست آورد. در حالت اخیر، هنوز روغن‌های سبک (رقیق‌کننده) از آن جدا نشده است. گیرش کامل این قیرها بعد از اجرا مدت زمان زیادی به‌طول می‌انجامد. در واقع قیرهای دیرگیر در شرایط آب و هوای عادی تبخیر نمی‌شوند، بلکه تغییر شکل

^۱ Rapid Curing

^۲ Medium Curing

^۳ Slow Curing

مولکولی در آن‌ها به‌وجود می‌آید که نسبتاً تدریجی و طولانی است. مشخصات قیرهای دیرگیر باید با جدول ۱۴-۶ مطابقت داشته باشد.

پیش‌نویس - غیر قابل استناد

جدول ۱۴-۴ مشخصات قیرهای محلول زودگیر^۱ (AASHTO M 81-92 (2017))

رده قیر زودگیر								روش آزمایش	آزمایش
RC-۳۰۰۰		RC-۸۰۰		RC-۲۵۰		RC-۷۰		AASHTO	
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
۶۰۰۰	۳۰۰۰	۱۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۴۰	۷۰	T 201	گرانروی کینماتیک ^۲ در ۶۰ °C (mm ² /s)
---	۲۷	---	۲۷	---	۲۷	---	---	T 79	نقطه اشتعال (ظرف روباز) (°C)
۰/۲	---	۰/۲	---	۰/۲	---	۰/۲	---	ASTM D95	مقدار آب (%)
---	---	---	---	---	---	---	۱۰	T 78	درصد حجم مایع حاصل از تقطیر در دمای قید شده به حجم تقطیر در دمای ۳۶۰ °C
---	---	---	۱۵	---	۳۵	---	۵۰		
---	۲۵	---	۴۵	---	۶۰	---	۷۰		
---	۷۰	---	۷۵	---	۸۰	---	۸۵		
---	۸۰	---	۷۵	---	۶۵	---	۵۵		درصد حجمی قیر باقی مانده از تقطیر در دمای ۳۶۰ °C
۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۶۰	T 202	گرانروی مطلق برحسب (Pa.s) در ۶۰ °C*
---	۱۰۰	---	۱۰۰	---	۱۰۰	---	۱۰۰	T 51	کشش پذیری (cm) در ۲۵ °C†
---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	T 44	حلالیت در تری کلرور اتیلن (%)
منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها								T 102	آزمون لکه (در صورت درخواست با تعیین نوع حلال)**: - آزمون استاندارد با نفتا - حلال نفتا-زایلین، درصد، زایلین - حلال هپتین-زایلین، درصد، زایلین

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش AASHTO R 66 انجام می‌شود.

\$ بجای گرانروی کینماتیک، می‌توان از گرانروی سیپولت-فیورل به شرح زیر استفاده کرد:

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای 50°C برای رده RC-70 برابر با ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای 60°C برای رده RC-250 برابر با ۱۲۵ تا ۲۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای $82/2^{\circ}\text{C}$ برای رده RC-800 برابر با ۱۰۰ تا ۲۰۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای $82/2^{\circ}\text{C}$ برای رده RC-3000 برابر با ۳۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه

* بجای آزمایش گرانروی قیر باقی‌مانده، می‌توان از آزمایش درجه نفوذ قیر باقی‌مانده که برای کلیه قیرهای زودگیر باید حداقل ۸۰ و حداکثر ۱۲۰ باشد، استفاده کرد. انجام هر دو آزمایش در هیچ شرایطی ضرورت ندارد.

† اگر کشش‌پذیری در 25°C کمتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، در صورتی که کشش‌پذیری در 15°C بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، قیر قابل قبول است.

** انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا- زایلین، هپتین- زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسین مجرب انجام شود.

جدول ۱۴-۵ مشخصات قیرهای محلول کنگیر^۱ AASHTO M 82-17

رده قیر کنگیر										روش آزمایش	آزمایش
MC-۳۰۰۰		MC-۸۰۰		MC-۲۵۰		MC-۷۰		MC-۳۰		AASHTO	
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
۶۰۰۰	۳۰۰۰	۱۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۴۰	۷۰	۶۰	۳۰	T 201	گرانروی کینماتیک در ۶۰°C (mm ² /s)
---	۶۶	---	۶۶	---	۶۶	---	۳۸	---	۳۸	T 79	نقطه اشتعال (ظرف روباز) (°C)
۰/۲	---	۰/۲	---	۰/۲	---	۰/۲	---	۰/۲	---	ASTM D95	مقدار آب (%)
---	---	---	---	۱۰	۰	۲۰	۰	۲۵	---	T 78	درصد حجم مایع حاصل از تقطیر در دمای ۲۲۵°C
۱۵	۰	۳۵	۰	۵۵	۱۵	۶۰	۲۰	۷۰	۴۰		قید شده به حجم تقطیر در دمای ۳۶۰°C
۷۵	۱۵	۸۰	۴۵	۸۷	۶۰	۹۰	۶۵	۹۳	۷۵		درصد حجمی قیر باقی مانده از تقطیر در دمای ۳۶۰°C
---	۸۰	---	۷۵	---	۶۷	---	۵۵	---	۵۰		
۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	T 202	آزمایش روی گرانروی برحسب (Pa.s) در ۶۰°C*
---	۱۰۰	---	۱۰۰	---	۱۰۰	---	۱۰۰	---	۱۰۰	T51	کشش پذیری (cm) [†]
---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	---	۹۹/۰	T44	از تقطیر حلالیت در تری کلرور اتیلن (%)
منفی برای همه رده ها منفی برای همه رده ها منفی برای همه رده ها										T 102	آزمون لکه (در صورت درخواست با تعیین نوع حلال)**: - آزمون استاندارد با نفتا - حلال نفتا- زایلین، درصد، زایلین - حلال هپتین- زایلین، درصد، زایلین

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش AASHTO R 66 انجام می‌شود.

\$ بجای گرانروی کینماتیک، می‌توان از گرانروی سیپولت-فیورل به شرح زیر استفاده کرد:

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای 25°C برای رده MC-30 برابر با ۷۵ تا ۱۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای 50°C برای رده MC-70 برابر با ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای 60°C برای رده MC-250 برابر با ۱۲۵ تا ۲۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای $82/3^{\circ}\text{C}$ برای رده MC-800 برابر با ۱۰۰ تا ۲۰۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای $82/3^{\circ}\text{C}$ برای رده MC-3000 برابر با ۳۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه

* بجای آزمایش گرانروی قیر باقی‌مانده، می‌توان از آزمایش درجه نفوذ قیر باقی‌مانده که برای کلیه قیرهای کندگیر باید حداقل ۱۲۰ و حداکثر ۲۵۰ باشد، استفاده کرد. انجام هر دو آزمایش در هیچ شرایطی ضرورت ندارد.

† اگر کشش‌پذیری در 25°C کمتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، در صورتی که کشش‌پذیری در 15°C بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، قیر قابل قبول است.

** انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا-زایلین، هپتین-زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام

این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسین مجرب انجام شود.

جدول ۱۴-۶ مشخصات قیرهای محلول دیرگیر^۱ ASTM D2026-15

رده قیر دیرگیر								روش آزمایش	آزمایش
SC-۳۰۰۰		SC-۸۰۰		SC-۲۵۰		SC-۷۰		ASTM	
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
۶۰۰۰	۳۰۰۰	۱۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۴۰	۷۰	D2170	گرانروی کینماتیک در °C ۶۰ ، (mm ² /s)
—	۱۰۷	—	۹۳	—	۷۹	—	۶۶	D92	نقطه اشتعال (ظرف روباز): °C)
۰/۵	—	۰/۵	—	۰/۵	—	۰/۵	—	D95	مقدار آب (%)
۵	—	۱۲	۲	۲۰	۴	۳۰	۱۰	D402	درصد حجمی مایع حاصل از تقطیر در دمای °C ۳۶۰
۳۵۰۰۰	۴۰۰۰	۱۶۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۰۰	۷۰۰۰	۴۰۰	D2170	گرانروی کینماتیک قیر باقی مانده از تقطیر در °C ۶۰ mm ² /s
—	۸۰	—	۷۰	—	۶۰	—	۵۰	D243	درصد قیر باقی مانده در تقطیر با درجه نفوذ ۱۰۰
—	۱۰۰	—	۱۰۰	—	۱۰۰	—	۱۰۰	D113	کشش پذیری قیر باقی مانده از تقطیر با درجه نفوذ ۱۰۰ در °C ۲۵ [†]
—	۹۹/۰	—	۹۹/۰	—	۹۹/۰	—	۹۹/۰	D2042/D7553	حلالیت (%) (در تری کلرور اتیلن، یا پروپیل بروماید نرمال)

توضیح: نمونه گیری قیر با روش ASTM D140 انجام می شود.

[†] اگر کشش پذیری در °C ۲۵ کمتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، در صورتی که کشش پذیری در °C ۱۵ بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر باشد، قیر قابل قبول است.

۶-۳-۱۴ قیرآبه‌ها (امولسیون‌های قیر)^۱

به‌طور کلی، قیرآبه‌ها از مخلوط کردن قیر و آب با یک ماده قیرآبه‌ساز^۲ به دست می‌آید. در این مخلوط، ذرات قیر با ابعاد از یک تا ۱۰ میکرون، در آب شناور است. آب، فاز پیوسته و قیر، فاز معلق و ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهد. قیرآبه‌سازها موجب ایجاد بار الکتریکی مثبت یا منفی در سطح ذرات قیر می‌شوند. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به هم پیوستن ذرات قیر در قیرآبه می‌شود. قیرآبه‌ها بر اساس بار ذره‌ای ایجاد شده در سطح ذرات شناور قیر، به دو گروه اصلی آنیونیک و کاتیونیک و زیرگروه‌های فرعی دیگر تقسیم می‌شوند.

۱-۶-۳-۱۴ قیرآبه‌های آنیونیک^۳

با استفاده از قیرآبه‌سازهایی از نوع املاح قلیایی اسیدهای آلی، سطح ذرات قیر، دارای بار منفی می‌شود. این قیرآبه‌ها را آنیونیک می‌نامند که مطابق استانداردهای ASTM D977-20 و AASHTO M 140-20 خود بر اساس سرعت شکستن به ۴ نوع سریع‌شکن، زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می‌شود. جدول ۷-۱۴ رده‌های مختلف قیرآبه‌های آنیونیک موجود مطابق استاندارد ASTM را نشان می‌دهد. پیشوندها و پسوندهای ذکرشده در این جدول دارای معانی زیر است:

الف: پیشوند HF^۴ معرف ایجاد پوشش قیر با ضخامت بیشتر روی سنگدانه‌هاست.

ب: پسوندهای ۱ و ۲ به ترتیب معرف درصد قیر خالص کمتر و بیشتر در قیرآبه است.

پ: پسوند h معرف کاربرد قیر خالص سفت‌تر (درجه نفوذ کمتر) در قیرآبه است.

ت: پسوند s نشانه کاربرد قیر خالص نرم‌تر در قیرآبه است.

ث: h-۱ QS ویژه مصرف در دوغاب قیری (اسلاری سیل) منطبق با مشخصات ASTM D3910 است.

^۱ Emulsified asphalt

^۲ Emulsifier

^۳ Anionic emulsions

^۴ High Float

مشخصات قیرآبه‌های آنیونیک مصرفی در راه‌سازی، باید با جدول ۷-۱۴ مطابقت داشته باشد.

پیش نویس - غیر قابل استناد

[illegible]

سریش- شکن	دیر شکن		کند شکن									زود شکن						آزمایش
QS-۱h	SS-۱h	SS-۱	HFMS-۲s	HFMS-۲h	HFMS-۲	HFMS-۱	MS-۲h	MS-۲	MS-۱	HFRS-۲	RS-۲	RS-۱						
خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	خاکبر	خاکل	
-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	-	۹۷/۵	۱۲] حلالیت در تری کلورو اتیلن یا نرمال پروپیل بروماید (%)
۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱/۰	-	۱۳] مقدار خاکستر (%)
-	-	-	-	-	۱۲۰۰	-	۱۲۰۰	-	۱۲۰۰	-	-	-	-	-	۱۲۰۰	-	-	۱۴] آزمایش پیاله شناور (s)

* نمونه‌گیری‌ها نیز با روش ASTM D140 انجام می‌شود. کلیات آزمایش‌های مورد نیاز برای قیرآبه‌ها مطابق با ASTM D244 انجام می‌گیرد. استاندارد مربوط به نحوه انجام هر آزمایش با شماره ردیف در ادامه پاورقی آمده است.

[۱] - D7496 ، [۲] - D7226 ، [۳] - D6930 ، [۴] - D6936 ، [۵] - D6998 ، [۶] - D6935 ، [۷] - D6933 ، [۸] - D6934 ، [۹] - D6997 ،

[۱۰] - D5 ، [۱۱] - D113 ، [۱۲] - D2042 یا D7553 ، [۱۳] - D139 ، [۱۴] - D8078 .

** انجام یکی از دو روش سنجش گرانی قیرآبه‌ها در دماهای قید شده کافی است.

† در صورتی که نتایج استفاده از قیرآبه مورد آزمایش در عملیات اجرایی قابل قبول باشد ضرورت انجام آزمایش دانه‌بندی مرتفع می‌شود.

۲-۶-۳-۱۴ قیرآبه‌های کاتیونیک^۱

با استفاده از قیرآبه‌سازهای حاوی ترکیبات آلی، مانند نمک‌های آمونیوم و یا آمین‌ها، سطح دانه‌های قیر دارای بار مثبت می‌شود. این قیرآبه‌ها را قیرآبه‌های کاتیونیک می‌نامند. قیرآبه‌های کاتیونیک بر اساس سرعت شکستن به ۴ نوع سریع‌شکن، زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می‌شود. پیشوند C نشانه قیرآبه کاتیونیک است و معانی پسوندها مشابه قیرآبه‌های آنیونیک است. مشخصات قیرآبه‌های کاتیونیک باید بر اساس استاندارد ASTM D2397-20 با مندرجات جدول ۸-۱۴ انطباق داشته باشد. قابل ذکر است که استاندارد AASHTO M 208-18 حاوی تقسیم‌بندی جزئی‌تری نسبت به استاندارد ASTM بوده و شامل ۶ رده از نوع CRS، ۲ رده از نوع CQS، ۲ رده از نوع CMS، و ۲ رده از نوع CSS است. بعضاً دارای حدود رواداری متفاوتی در رده‌های مشابه است. اگرچه کاربرد رده‌بندی اشتو برای مصارف راه‌سازی ارجح است، به‌جهت این‌که بسیاری از رده‌های ذکرشده در این استاندارد در حال حاضر در ایران تولید نمی‌شود، از ذکر آن خودداری شده است.

۳-۶-۳-۱۴ قیرآبه‌های اصلاح‌شده با پلیمر

این قیرآبه‌ها با مصرف پلیمرهای جامد^۲ یا مایع^۳ تولید می‌شود. نظر به تغییر و تحول نسبتاً سریع در این زمینه، استناد به آخرین نسخه استاندارد AASHTO M 316 ضروری است. در حال حاضر، مشخصات ۱۱ رده از انواع قیرآبه‌های پلیمری در استاندارد AASHTO M 316-18 وجود دارد. قیرآبه‌های پلیمری با پسوند P پس از حروف اختصاری نام‌گذاری قیرآبه‌ها مشخص می‌شوند از این میان، ۴ رده برای قیرآبه پلیمری کاتیونیک از نوع CRS، و ۲ رده برای آنیونیک از نوع MS است که عمدتاً برای کاربرد چپ‌سیل استفاده می‌شود، و حداقل پلیمر در قیر باقی‌مانده باید ۲/۵ باشد. همچنین ۲ رده از قیرآبه پلیمری کاتیونیک (CQS-1hP و CQS-1P) وجود دارد که عمدتاً برای کاربرد میکروسرفسینگ بوده و حداقل پلیمر در قیر باقی‌مانده آن باید ۳ درصد باشد.

^۱. Cationic emulsions

^۲. Solid polymer

^۳. Latex polymer

۴-۶-۳-۱۴ نمونه‌گیری از قیرابه‌ها

نمونه‌گیری قیرابه‌ها طبق استانداردهای ASTM D140 و AASHTO R 66، که مربوط به انواع مواد قیری است، انجام می‌شود. از روش مندرج در استاندارد ASTM D6930 نیز برای سنجش میزان پایداری و ته‌نشینی قیرهای امولسیون استفاده می‌شود.

در استاندارد AASHTO M 208-18 آمده است که پس از دریافت قیرآبه، برای انجام پروتکل مناسب آماده‌سازی قیرآبه برای هم‌زدن و انجام آزمایش‌ها به استاندارد AASHTO T 59 مراجعه شود. قیرآبه می‌بایست پس از هم‌زدن کامل به صورت همگن به‌نظر برسد. آزمایش‌های مربوط به قیرآبه باید طی ۱۴ روز و آزمایش‌های مربوط به قیر باقی‌مانده باید طی ۳۰ روز از زمان نمونه‌برداری پایان پذیرد. نمونه‌گیری از قیرآبه‌ها با زمان انبارداری طولانی (به‌ویژه رده RS) منجر به اخذ نمونه غیرنماینده می‌شود. نتایج آزمایش قیرآبه‌هایی که دچار غیریکنواختی شده یا در معرض سیکل ذوب و یخ‌بندان قرار گرفته‌اند می‌تواند متأثر از آن شرایط شود. بنابراین، در صورت بروز این شرایط و نبود امکان نمونه‌گیری مجدد، عملکرد واقعی مخلوط آسفالتی ساخته‌شده با قیرآبه مبنای ارزیابی قرار می‌گیرد.

جدول ۱۴-۸ قیرآبه‌های کاتیونیک ASTM D2397-20

سرّی شكن		دیر شكن				کند شكن				زود شكن				آزمایش *												
															CSS-۱h		CSS-۱		CMS-۲h		CMS-۲		CRS-۲		CRS-۱	
															حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر													
۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	[۱] گرانروی سی بولت فورل در °C ۲۵ (s)												
-	-	-	-	-	-	۴۵۰	۵۰	۴۵۰	۵۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰	[۱] گرانروی سی بولت فورل در °C ۵۰ (s)												
۴۵	۲۲۰	۴۵	۲۲۰	۴۵	۲۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	[۲] گرانروی پاروی چرخشی در °C ۲۵ (mPa.s)												
-	-	-	-	-	-	۹۹۰	۱۱۰	۹۹۰	۱۱۰	۸۸۰	۲۲۰	۲۲۰	۴۵	[۲] گرانروی پاروی چرخشی در °C ۵۰ (mPa.s)												
-	-	۱	-	۱	-	۱	-	۱	-	۱	-	۱	-	[۳] پایداری ذخیره‌سازی بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار* (%)												
-		-		-		-		-		-	۴۰	-	۴۰	[۴] شکست‌پذیری (Demulsibility) (%), با محلول دی‌آکتیل سولفوساکسینات سدیم ۰/۸۰												
-	-	-	-	-	-	خوب		خوب		-	-	-	-	قابلیت مقاومت اندود قیری در برابر آب												
-	-	-	-	-	-	متوسط		متوسط		-	-	-	-													
-	-	-	-	-	-	متوسط		متوسط		-	-	-	-													
-	-	-	-	-	-	متوسط		متوسط		-	-	-	-													
مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		[۶] بار ذره‌ای دانه‌های قیر												
۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	۰/۱۰	-	[۷] آزمایش دانه‌بندی* (۰) - (دانه‌های درشت قیر)												
N/A	-	۲	-	۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[۸] قیر شکسته شده در آزمایش اختلاط با سیمان (%)												

۹۰	۴۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	[۹] مقدار حجمی روغن امولسیون در آزمایش تقطیر (%)
۹۰	۴۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	[۱۰] مقدار وزنی قیر در آزمایش تقطیر (%)
۹۰	۴۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	[۱۱] درجه نفوذ (dmm)
۹۰	۴۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	[۱۲] خاصیت کشش پذیری (cm)
۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	[۱۳] مقدار خاکستر (%)**
۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	[۱۴] حلالیت در تری کلور اتیلن یا نرمال پروپیل بروماید (%)

* نمونه‌گیری‌ها نیز با روش ASTM D140 انجام می‌شود. کلیات آزمایش‌های مورد نیاز برای قیرآبه‌ها مطابق با ASTM D244 انجام می‌گیرد. استاندارد مربوط به نحوه انجام هر آزمایش با شماره ردیف در ادامه پاورقی آمده است.

[۱] - D7496 ، [۲] - D7226 ، [۳] - D6930 ، [۴] - D6936 ، [۵] - D6998 ، [۶] - D7402 ، [۷] - D6933 ، [۸] - D6935 ، [۹] - D6997 ،

[۱۰] - D6934 ، [۱۱] - D5 ، [۱۲] - D113 ، [۱۳] - D139 ، [۱۴] - D2042 یا D7553 .

** انجام یکی از دو روش سنجش گرانی قیرآبه‌ها در دماهای قید شده کافی است.

† در صورتی که نتایج استفاده از قیرآبه مورد آزمایش در عملیات اجرایی قابل قبول باشد ضرورت انجام آزمایش دانه‌بندی مرتفع می‌شود.

۱۴-۴ کاربرد قیر در راه‌سازی

مصرف قیر در راه‌سازی متنوع و متفاوت است. انتخاب قیر مناسب برای شرایط گوناگون اجرایی و مصارف ناهمگون به کیفیت مصالح، شرایط جوی - جغرافیایی، وسایل اجرای کار، نوع و میزان ترافیک بستگی دارد که در مشخصات فنی خصوصی هر پروژه تعیین می‌شود. برای هر پروژه نوع قیر باید در مشخصات فنی خصوصی تعیین شود. برای اطلاعات بیش‌تر در خصوص نحوه انتخاب و موارد کاربرد قیرآبه‌ها، استفاده از روش استاندارد AASHTO R 5-17 توصیه می‌شود.

۱۴-۵ گرم کردن قیر

انتخاب دمای صحیح برای گرم کردن انواع قیر در شرایط مختلف اجرا و مصارف گوناگون با کیفیت و مرغوبیت کار و نکات ایمنی ارتباط مستقیم دارد. برای حفظ کیفیت قیر خالص و اجتناب از گرمایش مجدد آن در زمان تخلیه از تانکرهای حمل قیر به مخازن نگهداری در کارگاه‌های آسفالتی، قیر باید توسط تانکرهای ویژه حمل قیر به کارگاه وارد شود. این تانکرها باید علاوه بر مخزن عایق‌بندی شده، مجهز به سیستم گرمایش یکپارچه از طریق لوله‌های روغن یا بخار یا گرم‌کننده الکتریکی باشند. استفاده از شعله مستقیم برای تخلیه قیر به هیچ‌وجه مجاز نبوده و دستگاه نظارت موظف است از تخلیه قیر تانکرهایی که از شعله مستقیم آتش برای گرم کردن استفاده می‌کنند، جلوگیری کند. پیمانکار نیز باید از تخلیه قیر چنین تانکرهایی جداً خودداری کند.

در مناطق گرم‌سیر و در فصول گرما (بهار و تابستان) یا در صورت کوتاه بودن مسافت حمل، منوط به آن‌که نیازی به گرم کردن قیر در زمان تخلیه نباشد، می‌توان از تانکرهای معمولی برای حمل قیر استفاده کرد. در این موارد نیز استفاده از تانکرهای عایق‌بندی شده برای تخلیه بهتر و آسان‌تر قیر و حفظ کیفیت آن در هنگام جابجایی، توصیه می‌شود.

تانکرهای ویژه حمل قیر باید با آخرین معیارهای منتشر شده از سوی مراکز تحقیقاتی رسمی کشور از جمله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انطباق داشته باشند. ضمن آنکه برای عایق‌بندی تانکرها رعایت موارد زیر، لازم است:

- با توجه به دمای بالا، عایق‌های از جنس پشم شیشه و پلیمر برای عایق‌بندی تانکرهای حمل قیر، مناسب نیست؛ بنابراین استفاده از پشم معدنی دارای انعطاف (پشم سنگ، سرباره)، ضروری است. عایق‌های پشم معدنی علاوه بر عایق بودن در مقابل حرارت، عایق صوتی و ضد آتش نیز بوده و دارای مقاومت فشاری مناسب هستند.
 - مصرف آبست بدلیل مشکلات زیست محیطی، مجاز نیست.
 - به علت محدودیت بار ترافیکی، وزن تانکرهای حمل قیر پس از دوجداره کردن نباید از ۲ تن بیشتر شود.
 - کلیه محصولات عایق مصرفی در تانکرهای حمل قیر اعم از تولیدات داخلی یا خارجی، باید دارای گواهی‌نامه فنی از مراکز تحقیقات رسمی کشور از جمله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند.
- برای گرم کردن قیر به‌منظور انتقال از مخازن ذخیره به کارخانه آسفالت نیز باید از لوله‌های روغن یا بخار، دستگاه‌های الکتریکی یا وسایل مناسب و قابل قبول دیگر استفاده شود. کاربرد شعله مستقیم آتش که با بدنه مخازن قیر در تماس باشد، موجب سوخته شدن موضعی قیر و در نتیجه کاهش خواص چسبندگی آن شده و مجاز نیست. در صورت لزوم برای اعمال شعله باید بین شعله و جدار مخازن، کوره‌هایی از نوع آجر نسوز حایل باشد.
- دمای قیرهای خالص در مخازن و لوله‌ها و هنگام اختلاط با سنگدانه‌ها در مخلوط‌کن کارخانه آسفالت، باید بگونه‌ای تنظیم شود که دمای آسفالت با دانه‌بندی پیوسته که از کارخانه به کامیون تخلیه می‌شود هیچ‌گاه از ۱۶۳ درجه سلسیوس تجاوز ننماید. در عین حال درجه دمای قیر نیز در تمام مراحل تخلیه، ذخیره، انتقال و اختلاط حداکثر ۱۷۶ درجه سلسیوس باشد و هنگام گرم کردن، دود نکند.

تانکرهای حمل قیر و همچنین مخازن قیرکارگاه باید مجهز به دماسنج باشد. یک دماسنج در قسمت تحتانی تانکر و دیگری در قسمت فوقانی نصب می‌شود. در کارخانه آسفالت نیز باید دماسنج برای قیر نصب شده باشد به طوری که در هر زمان بتوان دمای قیر را کنترل نمود.

قیر در کارگاه‌ها در مخازن قیر ذخیره می‌شود. در صورتی که برای این کار از استخر استفاده گردد، دیوار و کف استخرها باید بتنی یا با پوشش سیمانی بوده و سرپوشیده باشد تا قیر کاملاً از گرد و غبار، بارندگی و دیگر آلاینده‌ها محفوظ بماند. نقشه مخازن زمینی قیر باید به تأیید دستگاه نظارت برسد. وسایل گرم کردن قیر باید در کف استخر پیش‌بینی گردد.

۱۴-۶ اصلاح‌کننده‌های قیر و آسفالت و افزودنی‌های آسفالت

در مورد مخلوط‌های آسفالتی که تحت شرایط آب و هوایی دشوار و ترافیکی سنگین خدمت‌دهی می‌کنند علاوه بر انتخاب مناسب رده قیر و مشخصات مصالح سنگی، انتخاب و استفاده به‌جای مواد دیگری مانند اصلاح‌کننده‌های^۱ قیر و مخلوط آسفالتی، و افزودنی‌های آسفالت^۲ نیز می‌تواند در بهبود عملکرد آن‌ها بسیار مؤثر باشد. این مواد که معمولاً در مقادیر محدود استفاده می‌شوند، طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی، صنعتی و یا ترکیبات خاصی از آن‌ها را در بر می‌گیرد. اصلاح‌کننده‌ها از طریق تغییر ساختار شیمیایی قیر یا افزایش پلیمریزاسیون منجر به بهبود خصوصیات قیر و در نتیجه مخلوط آسفالتی می‌شوند. ولی افزودنی‌ها، مانند برخی الیاف، عمدتاً از طریق افزایش مقاومت فیزیکی ناشی از اتصال و ارتباط سنگ‌دانه‌ها به یکدیگر ایفای نقش می‌کنند. برخی از اهداف بهبود خواص قیر و یا مخلوط‌های آسفالتی بسته به نوع اصلاح‌کننده به شرح زیر است:

^۱. Modifiers

^۲. Additives

الف: کاهش تغییر شکل دائمی (شیارشدهگی) و پیش‌گیری از قیرزدگی رویه‌های آسفالتی
 ب: جلوگیری از وقوع انواع ترک‌خوردگی در مخلوط‌های آسفالتی شامل ترک‌های دمای پایین (ترک‌های عرضی و ترک‌های بلوکی)، ترک‌های خستگی ناشی از تکرار بارگذاری (ترک پوست سوسماری) و ترک‌های انعکاسی از لایه‌های زیرین به رویه
 پ: جلوگیری از عریان‌شدگی سنگ‌دانه‌های مخلوط آسفالتی و خرابی‌های وابسته به رطوبت
 ت: افزایش کارایی^۱ مخلوط‌های آسفالتی و کاهش دمای تراکم مخلوط‌ها (WMA)
 ث: حجم‌دهنده‌ها^۲ / نرم‌کننده‌ها^۳

ج: کاهش نرخ پیرشدگی و میزان سخت‌شدگی قیرها در اثر زمان
 تأثیر اصلاح‌کننده‌ها عمدتاً بر رفتار ترموپلاستیک و حساسیت دمایی قیر و در مواردی افزایش مقاومت کشسانی، بهبود کارایی و اختلاط‌پذیری و بازیافت‌پذیری قیر و مخلوط‌های آسفالتی است. این شاخه از تکنولوژی قیر و آسفالت شاهد رشد و تغییرات چشم‌گیری در چند دهه اخیر بوده و ماهیتاً به‌گونه‌ای است که ایجاد ساختار کامل آیین‌نامه‌ای برای استفاده از آن‌ها ممکن نخواهد بود.
 علاوه بر این‌که در ارزیابی قیرهای اصلاح‌شده باید حتماً از آزمایش‌های مندرج عملکردی قیر (PG) استفاده کرد، آزمون‌هایی که در عنوان کلی PG+ یا PG-Plus تعریف شده‌اند نیز باید ارزیابی و بررسی شوند. از جمله متداول‌ترین آن‌ها آزمون MSCR^۴ است، که آزمون آن در AASHTO T 350 و ASTM D7405^۵، و مشخصات استاندارد آن در ASSHTO M 332 و ASTM D8239 در

۱. Workability

۲. Extender

۳. Softener

۴. Multiple Stress Creep Recovery

۵. Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)

۶. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test

سال‌های اخیر منتشر شده است. از این‌رو، مطالب این بخش جنبه آشنایی و راهنمای کلی داشته و در پروژه‌ها نیز باید توسط مشاور ذیصلاح در حوزه تکنولوژی قیر بررسی و اظهار نظر شود.

به‌طور کلی استفاده از افزودنی‌ها باید در دو فاز مجزا صورت پذیرد. در فاز اول، افزودنی‌ها باید با قیرهای خالص یا قیرآبه‌های انتخاب شده از منظر سازگاری داشته و بهبود خصوصیات قیر اصلاح‌شده نسبت به قیر پایه (نمونه کنترلی) مورد آزمایش قرار گیرد و تطابق آن با مشخصات ذکرشده در نشریه بررسی شود. بدین ترتیب چنانچه در فاز نخست بهبود مطلوبی از اصلاح‌کننده مشاهده نشود، با غربال‌گری به موقع از مرحله دوم حذف می‌شود. در غیر این صورت، خصوصیات اصلاح‌کننده (افزودنی) باید در فاز دوم در راستای بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی و تأثیر آن در هنگام اختلاط قیر و سنگ‌دانه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

در هنگام استفاده از اصلاح‌کننده‌ها باید نکات ایمنی مربوط به استفاده از آن‌ها بر اساس توصیه‌های تولیدکننده‌ها، و بازیافت‌پذیری آن‌ها بر اساس منابع علمی و اطلاعاتی مورد توجه قرار گیرد. به‌منظور پیشگیری از دو فازی شدن قیرهای اصلاح‌شده، باید نسبت به پایداری در ذخیره‌سازی و همگن‌سازی احتمالی آن‌ها پیش از مصرف، و همچنین ملاحظات لازم هر نوع خاص از نظر کارایی در حین اختلاط، پخش و تراکم دقت شود.

برای دسته‌بندی اصلاح‌کننده‌های قیر روش‌های متنوعی بر حسب مکانیزم هدف در قیر، نوع ماده افزودنی و تأثیر آن ماده بر عملکرد مخلوط‌های آسفالتی در مراجع و منابع علمی ارائه شده است. جدول ۹-۱۴ یکی از اقسام ساده و در عین حال مفید این دسته‌بندی هاست.

برای استفاده از اصلاح‌کننده یا افزودنی ابتدا تحلیل فنی-اقتصادی برای پروژه کاندید باید صورت گیرد. ارجحیت استفاده از این مواد عمدتاً در تحلیل چرخه عمر روسازی مشخص می‌شود. ضمن این‌که افزایش عمر خدمت‌دهی روسازی در صورت احراز توجیه فنی-اقتصادی در چرخه عمر عملاً باعث کاهش مصرف منابع تجدید‌ناپذیر و هم‌سو با مبانی توسعه پایدار خواهد بود.

1. Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer

2. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using the Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) Test

جدول ۱۴-۹ دسته‌بندی انواع افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های قیر بر مکانیزم هدف و مثال هریک^۱

نوع اصلاح‌کننده	مثال
فیلرها	فیلرهای معدنی: ریزدانه‌های دستگاه سنگ‌شکن، آهک، سیمان پرتلند، خاکستر بادی • کربن سیاه
حجم‌دهنده‌ها (اصلاح‌کننده شیمیایی)	• ترکیبات ارگانیک فلزی • گوگرد • لیگنین • پلیمرها
لاستیک‌ها (الاستومرهای ترمو پلاستیک (گرم‌انرم))	• لاستیک طبیعی • Styrene butadiene rubber (SBR) • Polychloroprene latex • Styrene butadiene styrene (SBS) • Styrene isoprene styrene (SIS) • پودر لاستیک
پلاستیک‌ها (پلیمرهای ترموپلاستیک)	• پلی‌اتیلن (PE) / پلی‌پروپیلن (PP) • کوپلیمر اتیلن اکریلات • اتیل وینیل استات (EVA) • پلی وینیل کلراید (PVC) • اتیلن پروپیلن یا EPDM • پلی‌الفین‌ها
مواد الیافی	• طبیعی: آزبست پشم سنگ • مصنوعی: پلیپروپیلن، پلی‌استر، الیاف شیشه، الیاف معدنی، الیاف سلولزی
اکسیدان‌ها	• نمک‌های منگنز
آنتی‌اکسیدان‌ها (افزودنی‌های ضد پیرشدگی)	• ترکیبات سرب • کربن • نمک‌های کلسیم • آمین‌ها
هیدروکربن‌ها	• افزودنی‌های روان‌ساز و جوان‌سازها • قیرهای طبیعی و سخت (نظیر گیسونایت)
افزودنی‌های ضدعریان‌شدگی	• آمیدها • آهک
بهبوددهنده‌های کارایی	• افزودنی‌های مخلوط گرم آسفالتی (WMA) • ایجادکننده‌های کف (Foaming agents)
افزودنی‌های شیمیایی	• پلی‌فسفریک اسید (PPA)
مواد بازبافتی	• پوشش‌های بام‌ها (Roofing shingles) • لاستیک‌های بازبافتی • شیشه
سایر افزودنی‌ها	• سیلیکون‌ها • کلسیم کلراید برای یخ‌زدایی

^۱. Airey, G.D. Chapter 23: Bitumen Properties and Test Methods. ICE Manual of Construction Materials, Institution of Civil Engineers, UK, 2009.

برای استفاده از اصلاح‌کننده یا افزودنی ابتدا تحلیل فنی-اقتصادی برای پروژه کاندید باید صورت گیرد. ارجحیت استفاده از این مواد عمدتاً در تحلیل چرخه عمر روسازی مشخص می‌شود. ضمن این‌که افزایش عمر خدمت‌دهی روسازی در صورت احراز توجیه فنی-اقتصادی در چرخه عمر عملاً باعث کاهش مصرف منابع تجدید ناپذیر و هم‌سو با مبانی توسعه پایدار خواهد بود.

در صورت احراز توجیه فنی-اقتصادی برای پروژه کاندید، مراحل کلی زیر برای انتخاب فناوری و ماده مناسب باید اقدام کرد:

- ۱- ارزیابی اولیه توجیه فنی-اقتصادی با توجه به اطلاعات کلی و اولیه پروژه
- ۲- بررسی دقیق اهداف و اهمیت پروژه
- ۳- شرایط آب و هوایی پروژه
- ۴- شناسایی فناوری‌ها/ مواد (اصلاح‌کننده یا افزودنی‌های) موجود در کشور با سابقه عملکردی قابل قبول
- ۵- شناسایی پیمانکاران با توانمندی و دانش مهندسی کافی و دستگاه نظارت با دانش کافی برای انجام این دست پروژه‌ها
- ۶- مشخصات و در دسترس بودن قیر و مصالح مناسب برای فناوری/ مواد منتخب
- ۷- انجام بررسی‌ها و آزمایش‌های لازم جهت سنجش سازگاری اجزای مخلوط با یکدیگر
- ۸- تهیه طرح اختلاط برای فناوری/ ماده منتخب
- ۹- انجام تحلیل اقتصادی در چرخه عمر برای فناوری/ ماده منتخب
- ۱۰- انجام آزمایش‌های عملکردی بر روی قیر و یا مخلوط‌های ساخته شده متناسب با فناوری/ ماده منتخب
- ۱۱- تدوین فرآیند تضمین کیفیت^۱ (QA) و کنترل کیفیت^۲ (QC) در زنجیره تأمین اصلاح‌کننده و سایر مواد، و مشخصات محصول نهایی^۳
- ۱۲- تدوین مشخصات فنی خصوصی مبتنی بر آخرین ابلاغیه‌های مرتبط توسط وزارت راه و شهرسازی.

^۱. Quality Assurance

^۲. Quality Control

^۳. End Results Specification

۷-۱۴ ◀ آزمایش‌های کنترل و تضمین کیفیت قیر دریافتی

به‌طور کل، کنترل کیفیت توسط تولیدکننده و تضمین کیفیت توسط خریدار صورت می‌گیرد. فرآیند کنترل کیفیت قیر توسط تولیدکننده قیر باید منجر به خروجی‌هایی برای ارائه به خریدار، بازرسی و/یا ممیزی‌های دوره‌ای توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی شود:

واحد‌های تولیدی قیر که خوراک (VB) را خریداری می‌کنند باید ابتدا فرآیند تضمین کیفیت را در خصوص خوراک (و سایر مواد اولیه) فرآیند تولید انجام دهند. بنابراین در زنجیره تولید عملیات به شرح زیر است:

الف- تضمین کیفیت خوراک دریافتی توسط واحد تولید قیر- خلاصه اقدامات لازم به‌شرح زیر است:

- ۱- دریافت مستندات حمل از پیمانکار و مشخصات محموله از پیمانکار (عامل) حمل
- ۲- اخذ ۳ نمونه از هر تانکر (ابتدا، وسط، و اواخر محموله در حال تخلیه) یا هر ۱۰ تن (یا مترمکعب) از خط لوله خوراک، و ثبت زمان اخذ، و دمای هر نمونه بلافاصله پس از نمونه‌گیری
- ۳- انجام آزمایش‌های جرم‌مخصوص و گرانش بر روی هر نمونه خوراک و مطابقت با مشخصات خرید

ب- کنترل کیفیت محصول توسط واحد تولید قیر- خلاصه اقدامات شامل فعالیت‌هایی مانند اقدامات زیر است:

- ۱- ثبت تاریخ و زمان تولید، نام کارشناس نظارت بر تولید، شرایط محیطی در واحد، مشخصات خوراک مصرفی، رده اسمی قیر هدف، و اکسیدایزر و دیگر تجهیزات تأثیرگذار بر محصول تولیدی
- ۲- نمونه‌گیری از قیر تولیدی از هنگام شروع تولید و در فواصل زمانی ۳ ساعت با درج تنظیمات کنترلی (مانند دبی و دمای خوراک ورودی، فشار و دمای و ارتفاع (حجم) خوراک در اکسیدایزر)
- ۳- انجام آزمایش‌های درجه نفوذ و نقطه نرمی بر روی نمونه‌های گرفته شده در هر ۳ ساعت
- ۴- مطابقت با مشخصات قیر هدف، و ذکر اقدامات لازم برای تنظیم تولید

۵- انجام آزمایش‌های جرم‌مخصوص و گرانروی بر روی نمونه‌ها در فواصل زمانی ۹ ساعت و مطابقت با فرمول‌ها و روابط توسعه داده شده برای آن واحد تولیدی خاص؛ و اقدامات اصلاحی انجام شده در صورت عدم مطابقت و نتیجه آن‌ها

سوابق و نتایج آزمایش‌ها و نمونه‌ها باید توسط واحد تولیدی به نحو قابل ارائه برای بازرسی و ممیزی‌های دوره‌ای یا موردی برای مدت ۳ ماه بایگانی شود.

پ- مستندات لازم قیر تولیدی جهت ارائه به خریدار هنگام تحویل - خلاصه موارد به شرح زیر است:

- ۱- تنظیم مشخصات دقیق محصول ارسالی بر اساس نتایج تک تک آزمایش‌های صورت گرفته در بند ب، و اعلان رسمی رده قیر تولیدی شامل ارائه نتایج و گواهی مربوط توسط تولیدکننده قیر
- ۲- طی صحیح مراحل بارگیری، حمل توسط تانکرهای دوجداره پلمپ شده توسط تولید کننده (یا تأمین کننده در صورت وجود) و ارائه تضامین مربوط به مطابقت مشخصات محموله با مشخصات خرید
- ۳- ارائه مستندات مبنی بر سلامت حمل (عدم تخلیه و/یا بارگیری در مسیر).

ت- آزمایش‌های اولیه تضمین کیفیت توسط خریدار هنگام تحویل - در صورت وجود و ارائه مستندات مثبت توسط پیمانکار حمل به خریدار، اقدامات زیر جهت آزمایش‌های اولیه تضمین کیفیت به شرح زیر است:

- ۱- انجام آزمایش‌های پذیرش اولیه (شامل مطابقت درجه نفوذ، نقطه نرمی، و در صورت امکان انجام آزمایش‌های لکه^۲ و گرانروی چرخشی^۳)

^۱. باید توجه داشت که مطابقت با فرمول‌ها و روابط توسعه داده شده صرفاً برای کنترل کیفیت درون واحدی است و از نظر تضمین کیفیت قابل استناد نبوده و باید آزمایش‌های استاندارد قید شده در جدول ۱۴-۳ انجام و مطابقت داده شود.

^۲. Spot Test of Asphalt Materials, AASHTO T 102

^۳. Rotational Viscosity, AASHTO T 316 or ASTM D4402

- ۲- در صورت قابل قبول بودن نتایج آزمایش‌های پذیر اولیه، اخذ ۳ سری نمونه به مقدار کافی (حداقل یک کیلوگرم برای هر سری)، و پلمپ آن‌ها به صورت مشترک توسط پیمانکار و خریدار
- ۳- صدور اجازه تخلیه تانکر، و تخلیه قیر در مخازن بدون استفاده از شعله مستقیم
- ۴- انجام آزمایش‌های تطابق رده قیر عملکردی بر روی یک سری نمونه، یا ارسال به آزمایشگاه معتبر^۱
- ۵- بایگانی نمونه‌های پلمپ‌شده توسط خریدار، برای آزمایش توسط آزمایشگاه ثالث در بروز تناقض بین نتایج آزمایش تطابق مشخصات خریداری شده و محصول دریافتی
- ۶- استفاده از قیر دریافتی در رده اسمی خریداری شده در صورت تطابق مشخصات آزمایش‌ها

با توجه به آماده نبودن کلیه زیرساخت‌های لازم، فرآیندهای بالا نیازمند بررسی‌های بیشتر لجستیکی یا بخشنامه‌های موقت است. وجود پایگاه داده‌ای مربوط به عملکرد هریک از اجزا در زنجیره تولید/تأمین/حمل قیر می‌تواند در کاهش گام‌های ذکر شده در فرآیندهای بالا کمک کند.

برای کنترل کیفیت قیرهای خالص و تأثیر پیرشدگی ناشی از زمان ماند در مخازن باید حداقل یکبار در مرحله شروع عملیات آسفالت، و همچنین در حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت عملیات، هر وقت که دستگاه نظارت لازم بداند آزمایش‌های مشروحه در این فصل روی قیرهای مصرفی، انجام شود.

در مورد قیرهای محلول و به‌خصوص قیرآبه‌ها، تأثیر زمان ماند بیشتر از ۱۴ روز در مخازن بر کیفیت، سلامت و قابلیت استفاده آنها بسیار حائز اهمیت بوده و به عوامل متعددی از جمله نوع امولسیون‌ساز بستگی داشته و نیازمند جمع‌آوری اطلاعات ریزتری است.

مطالب ذکر شده در این بخش بیشتر جنبه راهنما داشته، و آخرین بخشنامه‌های وزارت راه، مسکن و شهرسازی ملاک عمل در فرآیند کنترل کیفیت/تضمین کیفیت است.

^۱ . توضیح آن‌که آزمایش‌های تطابق رده قیر برای قیرهای عملکردی مستلزم حداقل ۳ روز زمان در صورت وجود آزمایشگاه محلی است.