



مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران

بررسی و مقایسه

روش‌های نوین روسازی معابر

از جنبه شرایط به کارگیری، اجرا و نگهداری





مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران

بررسی و مقایسه روش‌های نوین روسازی معابر از جنبه شرایط به کارگیری، اجرا و نگهداری

گزارش شماره‌ی ۲۹۸

اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی امور زیرساخت و طرح جامع
مدیریت مطالعات و برنامه‌ریزی امور فنی و عمرانی، استانداردسازی و امور بحران

تهیه‌کننده: دکتر ساسان افلاکی

ناظر علمی: دکتر منصور فخری

ناظر داخلی: مهندس مهدی آشتیانی، مهندس علیرضا نوری

نشانی: تهران، خیابان شریعتی، پل رومی، خیابان شهید اکبری، نبش خیابان شهید آقابزرگی، ۳۲، کدپستی ۱۹۶۴۶۳۵۶۱۱

تلفن: ۰۲۲-۲۳۳۹۲۰۸۰ <http://rpc.tehran.ir>

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران است و استفاده از مطالب آن صرفاً با ذکر مأخذ

بلامانع می‌باشد. ضمناً متن (PDF) بر روی سایت فوق قابل دریافت است.

سخن نخست

معاشر شهری از مهم‌ترین زیرساخت‌های شهری هستند که احداث و نگهداری آنها سالانه بودجه عظیمی را به شهرداری تحمیل می‌نماید. امروزه با گسترش فناوری‌های نوین در عرصه روسازی، اجرا و بهره‌برداری این زیرساخت‌ها نیز دستخوش تحولاتی شده است. شناخت و به کارگیری این قبیل فناوری‌ها در روسازی می‌تواند علاوه بر بهبود کیفیت ساخت روسازی و هزینه آن موجب کاهش هزینه و زمان تعمیر و نگهداری گردد. با توجه به اینکه در شهر تهران تقریباً تمامی راه‌های مورد استفاده جهت عبور و مرور خودروها توسط روکش آسفالتی پوشیده شده‌اند، در این گزارش ابتدا فناوری‌های نوین ارزیابی قیر بیان شده است. سپس برخی از فناوری‌های نوین ساخت و اجرای آسفالت و در نهایت برخی از روش‌های تعمیر و نگهداری آنها تشریح شده است.

با توجه به رسالت مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران در راستای نشر دانش و افزایش سطح آگاهی، در این گزارش تلاش شده است با مطالعات کتابخانه‌ای و دانش فنی نگارنده، شماری از روش‌های اصلی که قابلیت کاربرد در شهر تهران را دارند معرفی شوند. امید است پس از مطالعه گزارش، مخاطب با این روش‌ها به نحوی مناسب آشنا شود و در آینده شاهد اجرا و به کارگیری روش‌های مناسب در شهر تهران باشیم.

بی‌شک نظرات سازنده شما خوانندگان محترم می‌تواند یاری‌دهنده نویسندگان و همچنین مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران در ارتقاء سطح کیفی گزارش‌ها باشد.

بابک نگاهداری

رئیس مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

چکیده

با توجه به نقش چشمگیر راه‌ها در توسعه زیرساخت حمل‌ونقل و به تبع آن رشد و توسعه شهرها، استفاده و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید به منظور ساخت، توسعه و یا نگهداری شبکه راه‌ها می‌تواند علاوه بر افزایش کیفیت خدمت‌دهی، کاهش هزینه‌های چرخه عمر را در پی داشته باشد و در شهری با وسعت تهران منجر به صرفه جویی چشمگیری در منابع شود.

با توجه به اینکه در شهر تهران تقریباً تمامی راه‌های مورد استفاده جهت عبور و مرور خودروها توسط رویه آسفالتی پوشیده شده‌اند، در ابتدای گزارش روش‌های قدیمی و نوین سنجش مشخصات قیر و آسفالت مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب قیر بر اساس عملکرد، رویکرد نسبتاً نوینی در سنجش مشخصات قیر محسوب می‌شود که می‌تواند تا حدودی انتخاب قیر مناسب برای پروژه‌های راه‌سازی را بهبود بخشد و با بررسی پارامترهای مکانیکی مختلف عملکرد مناسب مخلوط‌های آسفالتی را در عمل تضمین نماید.

پس از بیان روش‌های نوین ارزیابی قیر و آسفالت، روش‌ها و فن‌آوری‌های نوین ساخت روسازی معابر شامل آسفالت‌های نیمه گرم، بازیافت سرد آسفالت، بازیافت گرم آسفالت، قیرهای امولسیون و استفاده آن‌ها در تولید مخلوط آسفالت، استفاده از پودر لاستیک به منظور بهبود خواص و عمر مخلوط آسفالت و مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگی SMA (Stone Matrix Asphalt) تشریح می‌شود. در هر مورد زمینه‌های مصرف فناوری برای کاربردهای درون‌شهری، ویژگی‌های خاص هر روش به همراه مزایا و معایب هر کدام از فناوری‌ها به اجمال توضیح داده شده است. هدف از تهیه و انتشار این مجموعه، آشنایی مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهری با فن‌آوری‌های پرکاربرد در زمینه روسازی در سایر کشورها بوده است که علاوه بر اطلاعات اولیه، با نقاط قوت و ضعف هر کدام از روش‌ها آشنا شوند. اطلاعات این مجموعه به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند که در انتخاب فن‌آوری‌های نوین بتوانند با توجه به نیاز بهترین گزینه فنی و اقتصادی را مشخص کرده و به کاربندند.

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۹
۲- روش‌های نوین سنجش مشخصات و عملکرد روسازی	۱۰
۱-۲- روش رده‌بندی مبتنی بر عملکرد	۱۰
۲-۲- برنامه تحقیقات راهبردی راه‌ها (شارپ)	۱۱
۱-۲-۲- فرآیند شکل‌گیری برنامه شارپ	۱۱
۲-۲-۲- آزمایش‌های انجام‌شده در مدل‌سازی‌های شارپ	۱۲
۳-۲-۲- مشخصات قیر بر اساس روش پیشنهادی شارپ	۱۳
۴-۲-۲- معیارهای رده‌بندی بر اساس عملکرد	۱۵
۳- روش‌های نوین روسازی معابر	۱۵
۱-۳- آسفالت‌های نیمه گرم	۱۵
۱-۱-۳- کلیات	۱۵
۲-۱-۳- تاریخچه استفاده از آسفالت نیمه گرم و اثرات آن بر خواص مخلوط	۱۶
۲-۳- بازیافت سرد آسفالت	۲۱
۱-۲-۳- تعریف	۲۱
۲-۲-۳- امتیازات بازیافت سرد	۲۱
۳-۲-۳- انواع بازیافت سرد	۲۲
۴-۲-۳- معیارهای انتخاب بازیافت سرد	۲۳
۳-۳- بازیافت آسفالت گرم	۲۶
۱-۳-۳- کلیات	۲۶
۲-۳-۳- اصطلاحات و واژه‌های بازیافت گرم	۲۶
۳-۳-۳- دامنه کاربرد بازیافت گرم	۲۷
۴-۳-۳- امتیازات بازیافت گرم	۲۸
۵-۳-۳- انواع بازیافت گرم	۲۸
۴-۳- استفاده از امولسیون‌های قیری در راه‌سازی	۲۹
۱-۴-۳- کلیات	۲۹
۲-۴-۳- تاریخچه کاربرد امولسیون‌های قیری	۳۰
۳-۴-۳- طبقه‌بندی و ساختار امولسیون‌های قیری	۳۱
۱-۳-۴-۳- تعریف امولسیون قیری	۳۱
۲-۳-۴-۳- موارد کاربرد امولسیون‌های قیری	۳۲
۴-۴-۳- آسفالت‌های حفاظتی با امولسیون قیری	۳۳
۱-۴-۴-۳- کلیات	۳۳

۳۴	۳-۴-۴-۲- اهداف استفاده از آسفالت‌های حفاظتی
۳۴	۳-۴-۴-۳- انواع آسفالت‌های حفاظتی
۳۵	۳-۴-۵- اندود آب‌بندی با ماسه
۳۶	۳-۴-۶- دوغاب آب‌بندی (اسلاری سیل)
۳۷	۳-۴-۷- مخلوط‌های آسفالتی نازک امولسیون (میکروسرفسینگ)
۳۷	۳-۴-۱- کلیات
۳۸	۳-۴-۲- آماده نمودن سطح راه
۳۸	۳-۴-۳- اجرای آسفالت نازک امولسیونی
۳۹	۳-۴-۴- محدودیت‌های فصلی و کنترل آلودشد وسایل نقلیه
۳۹	۳-۴-۸- اندود سطحی (تک کت)
۴۰	۳-۴-۹- اندود آب‌بندی بدون سنگ‌دانه (فاگ سیل)
۴۱	۳-۴-۱۰- اندود پرکننده ترک‌ها
۴۲	۳-۴-۱۱- اندود نفوذی
۴۳	۳-۴-۱۲- مخلوط‌های تعمیراتی و نگهداری
۴۳	۳-۴-۱۳- مخلوط‌های تعمیراتی در مصارف فوری
۴۳	۳-۴-۱۴- مخلوط‌های تعمیراتی برای مصارف مدت‌دار
۴۴	۳-۵- آسفالت‌های حاوی پودر لاستیک
۴۵	۳-۶- مخلوط آسفالتی با استخوان‌بندی دانه‌ای SMA
۴۶	۴- نتیجه‌گیری
۵۲	منابع

۱- مقدمه

یکی از متداول‌ترین انواع روسازی معابر برای تردد وسایل نقلیه روسازی آسفالتی است. آسفالت که لفظ دقیق‌تر آن، بتن آسفالتی است از اختلاط مصالح سنگی و قیر به عنوان ماده چسباننده به وجود می‌آید. نوع قیر بکار گرفته شده در تولید مخلوط آسفالتی، جنس و دانه بندی مصالح سنگی مصرفی نقش مهمی در عملکرد و دوام مخلوط آسفالتی ایفا می‌کند. نقش عملکردی روسازی به دو بخش سازه‌ای و وظیفه‌ای تقسیم می‌شود. نقش سازه‌ای هر لایه از روسازی که متشکل از لایه رویه آسفالتی، لایه اساس، و لایه زیراساس است، توزیع تنش‌های ناشی از عبور وسایل نقلیه به لایه‌های زیرین به صورتی که میزان تنش انتقالی به میزان کافی تقلیل پیدا کند و کمتر از حد تحمل لایه‌ها زیرین شده و در نتیجه گسیختگی در مصالح اتفاق نیفتد. نقش وظیفه‌ای سیستم روسازی، ایجاد یک سطح هموار برای تردد و تأمین اصطکاک کافی جهت حفظ ایمنی تردد وسایل نقلیه است.

مخلوط‌های آسفالتی از اوایل قرن بیستم میلادی در روسازی‌ها بکار گرفته شده‌اند. قیر مصرفی در روسازی‌های اولیه قیر طبیعی بوده و به تدریج، قیر حاصل از پالایش نفت خام جایگزین آن شده است. قیر حاصل از پالایش نفت خام در واقع پسماند ستون‌های تقطیر اتمسفریک و خلاء پالایشگاه است. در نتیجه با پیشرفت و توسعه فن‌آوری پالایش نفت خام که عمده هدف آن استحصال مواد سوختی و روغن‌های نفتی از نفت خام می‌باشد، کیفیت ماده باقیمانده که عمده آن به قیرهای راه‌سازی تبدیل می‌شوند تحت تأثیر قرار گرفته و خاصیت چسبندگی و دوام قبل را نخواهد داشت.

در سه دهه گذشته به علت کاهش کیفیت قیرهای راه‌سازی و به تبع آن کاهش کیفیت آسفالت معابر از یک طرف و افزایش تعداد تردد و بارمحوری وسایل نقلیه از طرف دیگر تحقیقات جامعی در راستای ساخت روسازی‌هایی با عملکرد و دوام بهتر مدنظر قرار گرفت که از جمله مهم‌ترین و جامع‌ترین آن‌ها برنامه تحقیقات راهبردی راه‌ها (Strategic Highway Research Program) است که در متون علمی به اختصار به پروژه SHRP و یا در فارسی به پروژه شارپ معروف است. پروژه شارپ در ایالات متحده آمریکا در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ به انجام رسیده که نتایج آن منجر به پیشنهاد روش جدید رده‌بندی قیرهای راه‌سازی مبتنی بر عملکرد و همچنین روش جدید طراحی مخلوط آسفالتی، روش SuperPAVE^۱، شده است. از دیگر تحقیقات جامع می‌توان به بازنگری روش طراحی لایه‌های روسازی اشاره کرد. روش متداول فعلی روش طراحی آشتو است که مبتنی بر آزمایش‌های دهه ۱۹۶۰ میلادی است، این روش طراحی، یک روش تجربی بر اساس نتایج آزمایش‌های میدانی است. در پروژه تحقیقاتی دیگری، NCHRP ۱-۳۷^۲، سعی شده است روش طراحی تجربی با روش‌های بر مبنای پاسخ‌های مکانیکی ناشی از بار ترافیکی و معادلات رفتاری مصالح در شرایط مختلف جوی و در سطوح مختلف تنش و کرنش مدنظر قرار گرفته و تولید گردد.

۱. روش طراحی مخلوط آسفالتی SuperPAVE یک روش طراحی مخلوط جایگزین روش قدیمی مارشال است که در نتیجه پروژه شارپ پیشنهاد شده است. در این روش طراحی مخلوط، عملکرد مخلوط آسفالتی تحت بارگذاری مشابه آنچه در زمان خدمت‌دهی تجربه می‌کند مورد آزمایش قرار می‌گیرد و در نهایت طرح اختلاط مناسب تهیه و پیشنهاد می‌شود.

۲. National Cooperative Highway Research Program یکی از مؤسسات معتبر در زمینه تحقیقات روسازی در ایالات متحده آمریکا است که همه‌ساله پروژه‌های مختلف تحقیقاتی را تعریف، مدیریت و حمایت مالی می‌کند. یکی از این پروژه‌ها با شماره ۱-۳۷ مربوط به تحقیقات در زمینه اصلاح و بهبود روش طراحی روسازی است.

به موازات موارد مطرح شده، استفاده از مصالح و فن‌آوری‌های نوین در تولید، اجرا و نگهداری روسازی‌ها نیز همواره مورد توجه بوده است. هدف اصلی جایگزینی مصالح و روش‌ها افزایش دوام و عملکرد مخلوط‌های آسفالتی و همچنین کاهش هزینه‌های تولید روسازی بوده است. شماری از این فناوری‌ها؛ شامل به کارگیری آسفالت نیمه گرم، آسفالت بازیافتی به روش سرد، آسفالت بازیافتی به روش گرم، به کارگیری آسفالت امولسیون، آسفالت حاوی پودر لاستیک و مخلوط آسفالتی^۱ SMA می‌باشد که به کارگیری برخی از این فناوری‌ها در سال‌های اخیر رشد چشمگیری در شهر تهران داشته است و هدف از گزارش حاضر، معرفی بیان نحوه کاربرست، مزایا و ملاحظات به کارگیری هر یک از این فن‌آوری‌ها است. در این راستا در ابتدا روش مبتنی بر عملکرد روسازی و آزمایش‌های شارپ به عنوان روش‌های نوین ارزیابی روسازی و سپس هر یک از فن‌آوری‌های مذکور تشریح و بیان خواهند شد.

۲- روش‌های نوین سنجش مشخصات و عملکرد روسازی

۲-۱- روش رده‌بندی مبتنی بر عملکرد

در ابتدا رده‌بندی قیرها به صورت کلاسیک با توجه به قوام آن‌ها انجام می‌شده است. یکی از روش‌های مبتنی بر قوام روش درجه نفوذ قیر است، در این روش قیرها بر اساس میزان نفوذ یک سوزن استاندارد در قیر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طبقه‌بندی می‌شوند، قیر ۴۰-۵۰، ۶۰-۷۰ و ۸۵-۱۰۰ در این روش که طی دهه ۱۹۳۰ میلادی پایه‌گذاری شده و هنوز هم در بعضی کشورها مانند ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتخاب قیر مناسب راه‌سازی بر اساس قوام آن است. به عنوان مثال برای آب‌وهوای گرم قیر ۴۰-۵۰، معتدل ۶۰-۷۰ و سرد ۸۵-۱۰۰. این روش دسته‌بندی و انتخاب قیر بسیار ساده است ولی هیچ شاخص عملکردی روسازی راه را مدنظر قرار نمی‌دهد. در ادبیات فنی و تجربیات اجرایی مثال‌های متعددی وجود دارد که قیر با رفتار مشابه از دیدگاه این روش رده‌بندی عملکرد و دوام کاملاً متفاوتی در عمل داشته است (افلاکی، ۱۳۸۷).

روش رده‌بندی دیگر، رده‌بندی بر اساس گرانیروی^۲ قیر بوده است، این روش برای رفع نقایص روش قبلی در دهه ۱۹۵۰-۱۹۶۰ میلادی پیشنهاد شد ولی به‌رغم اینکه از شاخص گرانیروی که یک پارامتر مکانیکی است بهره می‌برد، همچنان عملکرد مخلوط‌های آسفالتی را مدنظر قرار نداده بود و در بعضی موارد روسازی‌هایی که با استفاده از این روش کاملاً یکسان برآورد می‌شدند، در عمل رفتار متفاوتی داشتند.

در اواخر قرن بیستم میلادی (سال ۱۹۸۷)، یک برنامه تحقیقاتی گسترده توسط چند مرکز تحقیقاتی در آمریکا شروع شد که هدف آن ارائه یک روش رده‌بندی برای قیرهای راه‌سازی بود. نتیجه این تحقیقات روش رده‌بندی بر اساس عملکرد^۳ بوده است که به اختصار به صورت (PG) نمایش داده می‌شود. طبق این روش برای هر قیر راه‌سازی یک محدوده دمای عملکردی تعیین می‌شود و فرض می‌شود که قیر موردنظر در محدوده تعریف‌شده دارای عملکرد

1. Stone Mastic Asphalt or Stone Matrix Asphalt

2. Viscosity

3. Performance Grading

مناسب در مخلوط آسفالتی است. به‌عنوان مثال یک قیر PG58-28 برای استفاده در مخلوط آسفالتی که دمای آن به ۵۸ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین فصل و به ۲۸- درجه سانتی‌گراد در سردترین فصل سال می‌رسد مناسب است. در این روش مکانیزم شکل‌گیری و توسعه خرابی در دماهای مختلف هرکدام به‌طور جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال شیار شدگی مسیر چرخ، عمده‌ترین شکل خرابی در دمای بالاست، در روش رده‌بندی بر اساس عملکرد آزمونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پتانسیل شیار شدگی را ارزیابی کند و توسط آن بیشترین دمایی که قیر می‌تواند بدون ایجاد شیار شدگی مورد استفاده قرار گیرد تعیین می‌شود. در دمای پایین ترک‌های برودتی محتمل‌ترین شکل خرابی است که به‌واسطه کاهش دمای تدریجی در دوره چندساعته ابتدای شب و ایجاد کرنش انقباضی در روسازی رخ می‌دهد. در روش رده‌بندی بر اساس عملکرد یک روش ابتکاری برای ارزیابی سختی خمشی خزشی به‌منظور سنجش و تعیین کمترین دمایی که قیر می‌تواند بدون ایجاد ترک تحمل کند پیشنهاد شده است.

به‌کارگیری روش رده‌بندی بر اساس عملکرد می‌تواند تا حدودی انتخاب قیر مناسب برای پروژه‌های راه‌سازی را بهبود بخشد و با بررسی پارامترهای مکانیکی مختلف عملکرد مناسب مخلوط‌های آسفالتی را در عمل تضمین نماید (افلاکی، ۱۳۸۷).

تجهیزات مورد استفاده در این روش رده‌بندی نسبتاً گران بوده و در حال حاضر تنها چند مرکز تحقیقاتی در داخل کشور مجهز به دستگاه‌های ارزیابی قیر طبق پروتکل PG هستند. فرآیند رده‌بندی بر اساس این روش پیچیده‌تر از روش‌های سنتی بوده ولی نتایج خوب و قابل‌اعتماد آن منجر به به‌کارگیری این روش در اکثر ایالت‌های آمریکا، بیشتر کشورهای اروپایی و در برخی دیگر نقاط جهان شده است (افلاکی، ۱۳۸۷).

۲-۲- برنامه تحقیقات راهبردی راه‌ها (شارپ)

۲-۲-۱- فرآیند شکل‌گیری برنامه شارپ

وقوع بحران نفت در سال‌های دهه ۱۹۷۰ سبب شد که فرآیند پالایش نفت خام مورد بازبینی قرار گرفته، و با استحصال مشتقات بیشتری از نفت خام بهره‌وری آن افزایش یابد. این روند بر کیفیت قیرهای تولیدشده تأثیر منفی گذاشت. از طرف دیگر سعی در افزایش راندمان حجم حمل‌ونقل جاده‌ای در همان سال‌ها باعث افزایش بارمحوری، فشار باد چرخ‌های وسایل حمل‌ونقل جاده‌ای شد. افزایش بارگذاری ترافیکی از یک‌طرف و کاهش کیفیت قیرهای تولیدشده از طرف دیگر سبب تسریع روند ایجاد خرابی در روسازی‌های آسفالتی شد. با توجه به افتی که در کیفیت قیرهای تولیدی پدید آمده بود، ناکارآمدی روش‌های موجود در تحلیل و ارائه راهکار برای طرح مخلوط روسازی که پاسخگوی نیازهای ترافیکی جدید باشد را بیش‌ازپیش آشکار کرد. روش‌های مورد استفاده در آن زمان، بر اساس آزمایش‌های جاده‌ای آشو در اواخر دهه ۵۰ و اوایل دهه ۶۰ میلادی، روی خواص فیزیکی قیرها و شرایط ترافیکی آن زمان ایجادشده بود. به‌منظور مرتفع کردن این خلاء تحقیقاتی و عملیاتی، کنفرانس ایالات‌متحده آمریکا در سال ۱۹۸۷ یک برنامه تحقیقاتی ۵ ساله را با بودجه ۱۵۰ میلیون دلاری باهدف بهبود عملکرد، دوام و ایمنی راه‌ها تعریف کرد، که

«برنامه تحقیقات راهبردی راه‌ها» نامیده شد. این پروژه که به صورت اختصاری شارپ نامیده می‌شود، توسط گروه‌های محقق متعددی به صورت همزمان مورد پیگیری قرار گرفت. نتیجه این تحقیقات جامع و گسترده انتشار گزارش‌های مختلف، شامل گزارش‌های توصیف و ارزیابی خواص قیر و عملکرد آن در روسازی‌های آسفالتی بود (افلاکی، ۱۳۸۷).

در سال‌های اخیر نتایج تحقیقات شارپ موردنظر اکثر محققان قرار گرفته و به طور مداوم، نتایج به دست آمده و شرایط و نحوه آزمایش مورد ارزیابی دقیق‌تر و بعضاً بازنگری قرار گرفته است. برنامه تحقیقات شارپ به چهار قسمت کلی شامل قیر^۱، بتن و ابنیه فنی^۲، عملیات راه‌ها^۳ و عملکرد روسازی^۴ تقسیم‌بندی شده است که هر بخش به صورت مستقل مورد مطالعه قرار گرفته است. گسترده‌ترین بخش از برنامه تحقیقات شارپ، تحقیق بر روی قیر بوده است که با بودجه‌ای بالغ بر ۵۳ میلیون دلار تعریف و دنبال شده است. در آیین‌نامه رده‌بندی عملکردی قیر^۵ که خروجی کلیدی این تحقیقات است، از سه سازوکار اصلی مکانیک جامدات، یعنی اعمال تنش خمشی، تنش محوری کششی و کرنش برشی، در دماهای مختلف استفاده شده است.

۲-۲-۲- آزمایش‌های انجام شده در مدل‌سازی‌های شارپ

در استانداردهای کلاسیک، قیرهای خالص با دو مبنای درجه نفوذ^۶ و گرانیوی جهت مصرف در مخلوط‌های آسفالتی گرم طبقه‌بندی شده‌اند. در مشخصات مبتنی بر درجه نفوذ قیرها با توجه به میزان نفوذ آن‌ها به گروه‌های مختلف رده‌بندی و برای هر یک از آن‌ها معیارهای فنی مشخص در نظر گرفته شده است (افلاکی، ۱۳۸۷).

در طبقه‌بندی بر اساس گرانیوی قیرها با توجه به مقدار گرانیوی مطلق در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و گرانیوی کینماتیک در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد رده‌بندی و برای هر یک از آن‌ها معیارهای فنی مشخصی تعیین شده است (گرانیوی مطلق برحسب پواز، و گرانیوی کینماتیک برحسب سانتی استوکس بیان می‌گردد). طبقه‌بندی و مشخصات قیرهای خالص بر اساس گرانیوی در استانداردهای AASHTO^۷-M226 و ASTM^۸-D3381 بیان شده است.

در ایران قیرهای مصرفی در مخلوط‌های آسفالتی گرم بر اساس درجه نفوذ، تولید و طبقه‌بندی می‌شوند. تلفیقی از معیارهای استانداردهای AASHTO-M20 و AASHTO-M226 به عنوان مشخصات قیرهای خالص جهت عملیات آسفالتی گرم در نشریه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است.

1. Asphalt
2. Concrete and structures
3. Highway operations
4. Pavement performance
5. Performance grading
6. Penetration Graded

۷. AASHTO; American Association of State Highway and transportation Officials. آشتو انجمن صاحب‌منصبان راه و حمل‌ونقل ایالتی آمریکا، یک موسسه تحقیقاتی و سیاست‌گذاری در زمینه استانداردها و مشخصات مصالح در ایالات متحده آمریکا است.

۸. American Society for Testing and Materials; ASTM. انجمن آمریکایی آزمون و مواد، یکی از معتبرترین مراجع استانداردسازی روش‌های آزمون اندازه‌گیری مشخصات مواد و همچنین تعریف معیارهای استاندارد برای مشخصات مواد در دنیا است.

۲-۳- مشخصات قیر بر اساس روش پیشنهادی شارپ

تحقیقات شارپ در مورد قیرهای مصرفی در روسازی، منجر به ارائه آزمایش‌ها، معیارها و طبقه‌بندی‌های جدیدی برای قیر شد. این روش طبقه‌بندی، رده‌بندی بر اساس عملکرد^۱ نامیده شد. در این طبقه‌بندی پارامترهای زیر موردنظر قرار می‌گیرد:

- مقاومت در برابر تغییر شکل
 - مقاومت در برابر ترک‌خوردگی در اثر سرما
 - مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ناشی از خستگی
 - پیش‌بینی چگونگی سخت شدن و تغییر رفتار قیر در کارخانه آسفالت و هنگام تهیه مخلوط آسفالتی
 - پیش‌بینی چگونگی تأثیر پیرشدگی قیر در اثر مرور زمان بر خواص فیزیکی آن
- در این روش قیر، با آزمایش‌هایی طبق جدول ۱ مورد ارزیابی قرار گرفته و معیارهایی برای آن تعیین شده است. از این رو، می‌توان با توجه به شرایط آب و هوایی محل اجرای مخلوط آسفالتی، قیر مناسب جهت استفاده در مخلوط آسفالتی موردنظر را برگزید. در نتیجه این تحقیقات قیرهای موردنظر با توجه به حداکثر دمای قابل تحمل به ۷ گروه اصلی PG76، PG70، PG64، PG58، PG52، PG46 و PG82 رده‌بندی شده است. قیرهای مختلفی که در هریک از این ۷ دسته جای دارند، نیز با توجه به پایین‌ترین درجه حرارت قابل تحمل به گروه‌های کوچک‌تری تقسیم‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال قیر با مشخصات PG 52-16 معرف قیری است که برای محیطی که متوسط حداکثر دمای ۷ روزه روسازی در آن منطقه برابر ۵۲ درجه سانتیگراد و حداقل دمای هوای آن برابر ۱۶- درجه سانتیگراد است، مناسب است. تنوع آزمایش‌های صورت گرفته در تحقیقات شارپ به همراه هدف و شیوه مورد استفاده در هر آزمایش در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱: نوع و هدف آزمایش‌ها بر اساس توصیه شارپ

نوع آزمایش	هدف از آزمایش	روش آزمایش
آزمایش لایه‌نازک قیر به روش چرخشی (دوار) (RTFO) ^۱	سخت شدن قیر در حین تولید مخلوط آسفالتی	D2872
آزمایش تسریع پیری (PAV) ^۲	سخت شدن قیر به‌مرور زمان و در خدمت‌دهی	D6521
آزمایش رئومتر برش دینامیکی (DSR) ^۳	بررسی خواص تغییر شکل‌پذیری (شیار) و ترک‌های ناشی از خستگی در دماهای بالا و متوسط	D7175
آزمایش گرانونوی چرخشی (RV) ^۴	خواص قیر در دمای بالای کارایی قیر	D4402
آزمایش رئومتر تیرخمشی (BBR) ^۵	بررسی خواص قیر در دماهای پایین و ترک‌های ناشی از دمای پایین	D6648
آزمایش کشش مستقیم (DTT) ^۶	بررسی خواص قیر در دماهای پایین و ترک‌های ناشی از دمای پایین	D6723

1. Rolling thin film oven
4. Rotational viscometer

2. Pressure aging vessel
5. Bending beam rheometer

3. Dynamic shear rheometer
6. Direct tension test

در مطالعات شارپ چند مکانیزم اصلی خرابی برای مخلوط آسفالتی در نظر گرفته شده و سعی شده تا با استفاده از روش‌های آزمایش مناسب، شاخص‌هایی جهت تخمین عملکرد قیر و مقاومت آن در برابر خرابی‌ها تعیین و رخداد آن خرابی‌ها در مخلوط‌های آسفالتی کنترل شود.

مکانیزم‌های خرابی شامل شیار شدگی، خرابی‌های ناشی از خستگی و ترک‌های برودتی است.

شیارشدگی بر اثر تجمع تغییر شکل‌های دائمی ایجاد شده به علت تکرار بارگذاری ترافیکی عبوری و عمدتاً در لایه آسفالتی روسازی رخ می‌دهد. در هر تکرار بارگذاری مقداری از انرژی اعمال شده توسط بازگشت تغییر شکل الاستیک لایه بازگردانده می‌شود و بقیه آن صرف ایجاد تغییر شکل دائمی مخلوط و گرما می‌شود. شیار شدگی در دمای بالا و در روسازی‌هایی با سن کم رخ می‌دهد.

ترک‌های خستگی معمولاً بعد از فصل یخبندان، در زمانی که لایه‌های زیر مخلوط آسفالتی از حالت یخ‌زده خارج شده، ولی هنوز دما به اندازه‌ای بالا نرفته که قیر نرم شود رخ می‌دهد؛ زیرا در این حالت مدول ارتجاعی لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد و این لایه‌ها در اثر عبور ترافیک تغییر شکل بیشتری می‌دهند، درحالی که این میزان تغییر شکل به سبب سختی زیاد قیر و مخلوط آسفالتی باعث ایجاد تنش کششی زیادی در رویه آسفالتی شده و در نتیجه آن ترک‌خوردگی اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، در فصل گرما برای کنترل شیار شدگی باید سختی قیر زیاد، و در دمای میانه برای مقابله با ترک‌های خستگی نباید سختی قیر در مخلوط بیش از حد زیاد باشد.

ترک‌های برودتی یکی از خرابی‌های اصلی روسازی‌ها در مناطق سردسیر است، علت اصلی رخداد آن انقباض روسازی ناشی از سرد شدن هوا و در نتیجه کاهش دمای روسازی است که باعث ایجاد تنش کششی در مخلوط آسفالتی می‌شود.

چنانچه سرعت تغییر شکل ناشی از انقباض بیشتر از سرعت تغییر شکل ویسکوز قیر در دمای پایین باشد، سختی زیاد قیر سبب ایجاد تنش کششی شده و چنانچه تنش ایجاد شده بیشتر از مقاومت کششی قیر باشد، ترک‌های برودتی عمود بر محور راه ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از ترک‌های برودتی در مخلوط آسفالتی، مقدار سختی قیر در دمای پایین و قابلیت تطابق آن با شرایط تنش و کرنش ایجاد شده بر اثر انقباض ناشی از کاهش دما اندازه‌گیری و کنترل می‌شود. در تحقیقات شارپ برای نیل به روش رده‌بندی بر اساس عملکرد سه نوع خرابی روسازی آسفالتی به عنوان معیار ارزیابی عملکرد انتخاب شد.

این سه عملکرد عبارت‌اند از: خستگی^۱، تغییر شکل دائم^۲ و ترک‌های برودتی^۳

1. Fatigue

2. Rutting

3. Thermal Cracking

۲-۲-۴- معیارهای رده‌بندی بر اساس عملکرد

در آیین‌نامه شارپ برای رده‌بندی قیرها بر اساس عملکرد معیار $G^*/\sin(\delta)$ بیشتر از ۱/۰ KPa برای قیر اولیه، معیار $G^*/\sin(\delta)$ بیشتر از ۲/۲ KPa برای قیر پیر شده با $RTFO^1$ به منظور کنترل خرابی شیار شدگی در دمای حداکثر خدمت‌دهی روسازی و معیار $G^*/\sin(\delta)$ کمتر از ۵۰۰۰ KPa برای قیرهای پیر شده با PAV جهت کنترل ترک‌های خستگی در دمای میانی خدمت‌دهی روسازی و معیارهای (سختی خمشی خزشی) کمتر از ۳۰۰ MPa و m بیشتر از ۰/۳۰۰ برای کنترل ترک‌های برودتی در دمای ۱۰ درجه بیشتر از دمای حداقل خدمت‌دهی^۲ تعیین شده است. زمان مناسب برای آزمایش و تعیین عملکرد قیر در دمای پایین (با توجه به مدت‌زمان کاهش دما در شب)، ۲ ساعت است. در روش آزمایش تیرچه خمشی برای عملی‌تر کردن آزمایش و کاهش مدت‌زمان آن، با توجه به اندرکنش دما و زمان بارگذاری در قیرها، دمای آزمایش ۱۰ درجه افزایش و مدت‌زمان بارگذاری در آزمایش از دو ساعت به ۶۰ ثانیه کاهش داده شده است. منظور از رده عملکردی قیر بیشترین دمایی است که قیر معیارهای دمای بالای سرویس و همچنین کمترین دمایی که معیارهای دمای پایین سرویس را دارا باشد. رده عملکردی قیر به وسیله این دو دما نشان داده می‌شود. PG64-22 نشان‌دهنده قیری است که در دمای ۶۴ درجه سانتی‌گراد معیارهای دمای بالا و در دمای ۱۲- (۱۰ درجه بیشتر از ۲۲-) معیارهای دمای پایین را داشته است (افلاکی، ۱۳۸۷).

۳- روش‌های نوین روسازی معابر

۳-۱- آسفالت‌های نیمه گرم^۳

۳-۱-۱- کلیات

در سال‌های اخیر، با ظهور فن‌آوری ساخت مخلوط‌های نیمه گرم، افزایش دمای ناشی از استفاده از افزودنی‌ها جبران شده و نیز امکان استفاده از درصد‌های بیشتر تراشه در ساخت مخلوط فراهم شده است. در سال‌های اخیر با افزایش ناگهانی قیمت جهانی نفت، تلاش‌ها برای کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی گسترش یافته است. در صنعت آسفالت نیز تلاش برای ساخت مخلوط با کیفیت مناسب در دماهای پایین‌تر از مخلوط‌های گرم متداول و استفاده از مواد جایگزین قیر در حال گسترش است.

از جمله روش‌های نوین ساخت مخلوط می‌توان به فن‌آوری ساخت مخلوط‌های نیمه گرم اشاره کرد. در این روش با استفاده از افزودنی‌ها یا انجام برخی اصلاحات در فرآیند ساخت مخلوط، دمای اختلاط برای ساخت مخلوط به میزان ۲۰ تا ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. با این حال بر اساس نتایج تحقیقات محققان مختلف،

۱. Rolling Thin Film Oven یک روش استاندارد برای شبیه‌سازی پیرشدگی قیر در زمان ساخت مخلوط آسفالتی، پخش و تراکم آن است.

۲. در آزمایش رنومتر تیرچه خمشی برای کاهش زمان آزمایش با توجه به اندرکنش دما و زمان آزمایش، دمای آزمایش را ۱۰ درجه افزایش داده و زمان را به ۲۴۰ ثانیه تقلیل دادند.

نگرانی‌هایی راجع به عملکرد نامناسب مخلوط در برابر خستگی و حساسیت مخلوط‌های ساخته‌شده به این روش در برابر رطوبت گزارش شده است.

با استفاده از روش‌های ساخت مخلوط‌های نیمه گرم و کاهش دمای ساخت مخلوط، امکان استفاده از درصد‌های بیشتری از تراشه در ساخت مخلوط‌های آسفالتی میسر شده است. تراشه به دلیل دارا بودن مقادیر قیر می‌تواند در کاهش مقدار قیر تازه‌ی موردنیاز برای ساخت مخلوط مفید باشد.

همچنین استفاده از این ماده که کاربردی در سایر صنایع ندارد، در راستای حفظ محیط‌زیست بوده و منجر به کاهش مصرف سنگ‌دانه طبیعی شده و از طرف دیگر از انباشت تراشه در طبیعت کاسته می‌شود. از طرفی به دلیل قیمت کمتر تراشه نسبت به سنگ‌دانه‌های طبیعی، استفاده از این ماده از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است. با این حال استفاده از تراشه در ساخت مخلوط منجر به ساخت مخلوطی می‌شود که در برابر ترک‌خوردگی و خستگی مقاومت کمتری نسبت به مخلوط‌های بدون تراشه خواهد داشت.

۳-۱-۲- تاریخچه استفاده از آسفالت نیمه گرم و اثرات آن بر خواص مخلوط

آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش روزافزون تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله نگرانی‌های جامعه جهانی، بخصوص پس از انقلاب صنعتی است. این نگرانی‌ها در کنار رشد سریع صنایع و عدم توجه کافی به محیط‌زیست منجر به این شد که توسعه پایدار به‌عنوان یکی از راهکارهای حفظ محیط‌زیست از سال ۱۹۹۲ و طی برگزاری همایشی در ریودوژانیرو برزیل موردتوجه قرار گیرد. در ادامه و پس از امضای پیمان کیوتو در سال ۱۹۹۷، کشورهای صنعتی متعهد شدند که تولید گازهای گلخانه‌ای را به میزان تولیدی در سال ۱۹۹۰ کاهش دهند. علاوه بر این، افزایش ناگهانی قیمت نفت و به‌تبع آن قیمت سوخت نیز دست‌اندرکاران صنایع را بر آن داشت تا با ارائه روش‌هایی مصرف سوخت و فرآورده‌های نفتی را در کارهای خود تا حد امکان کاهش دهند.

از آنجا که صنعت آسفالت از صنایعی است که از فرآورده‌های نفتی به میزان قابل‌ملاحظه‌ای در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌کند، تحقیقات گسترده‌ای در کشورهای مختلف جهت کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی در این صنعت انجام شد. یکی از راهکارهایی که در این رابطه مورد بررسی قرار گرفت، ابداع روشی برای کاهش دمای ساخت و تراکم مخلوط‌های آسفالتی بود. این روش که بانام آسفالت نیمه گرم شناخته می‌شود امکان کاهش دمایی بین ۱۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد را در ساخت مخلوط فراهم می‌کند.

این روش برای اولین بار در کشور آلمان و در سال ۱۹۹۶ در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و اولین قطعه‌راه در سال ۱۹۹۹ در آن کشور به روش آسفالت نیمه گرم اجرا گردید. این تحقیقات در آمریکا و کانادا از سال ۲۰۰۲ آغاز شد و اولین راه‌ها در سال ۲۰۰۴ در آمریکا و در سال ۲۰۰۵ در کانادا به این روش اجرا شده و به‌سرعت در حال گسترش است. به‌عنوان مثال در ایالت اوهایو در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰، میزان تولید مخلوط‌های آسفالت نیمه گرم از ۰ به ۳۰ درصد افزایش یافته است.

با ظهور فن‌آوری ساخت آسفالت‌های نیمه گرم، امکان استفاده از درصدهای بالاتر تراشه در مخلوط نیز عملی شد چراکه با کاهش دمای اختلاط و تراکم، پیرشدگی قیر در فرآیند ساخت مخلوط آسفالتی کندتر می‌شود. این امر سبب می‌شود تا حساسیت مخلوط نسبت به ترک‌های خستگی و برودتی کاهش یابد. در سال‌های اخیر راه‌های مختلفی با استفاده از این فن‌آوری ساخته شده و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بررسی خواص عملکردی مخلوط‌های آسفالت نیمه گرم در حال انجام است.

تحقیقات مختلفی در راستای تعیین مشخصات عملکردی مخلوط‌های ساخته شده به روش آسفالت نیمه گرم انجام شده است. در بسیاری از موارد اثر استفاده‌ی همزمان از تراشه و روش‌های ساخت مخلوط نیمه گرم مورد بررسی قرار گرفته است چراکه یکی از مزایای عمده‌ی ساخت مخلوط‌های نیمه گرم، امکان استفاده از مقادیر بیشتر تراشه در ساخت مخلوط است. کوپلند^۱ و همکارانش در مقایسه‌ای بین قیرهای جدا شده از مخلوط‌های گرم و نیمه گرم ساخته شده با تراشه نشان داده‌اند که قیر جدا شده از مخلوط نیمه گرم نرم‌تر از مخلوط گرم است. لذا کیفیت قیر در مخلوط‌های نیمه گرم نسبت به مخلوط گرم مشابه بیشتر حفظ شده است (بهروزی خواه، ۱۳۹۱).

مالیک^۲ با انجام آزمایش‌هایی نشان داده است که با استفاده از ساسوئیت می‌توان مخلوط‌هایی با ۷۵ درصد تراشه آسفالتی با خواص حجمی - وزنی مشابه آسفالت گرم تهیه کرد. تائو^۳ نیز در پژوهش دیگری توانست با استفاده از فن‌آوری ساخت مخلوط نیمه گرم، مخلوط‌هایی با ۱۰۰ درصد تراشه با خواص حجمی - وزنی و سختی مشابه آسفالت گرم نیز تهیه کند.

شروم^۴ نشان داده است که استفاده از تراشه در مخلوط‌های نیمه گرم منجر به ساخت مخلوط‌هایی شده است که مقاومت بیشتری در برابر شیار شدگی در شرایط آزمایشگاهی از خود نشان می‌دهند. این در حالی است که مشاهدات این محققان عملکرد مشابهی برای مخلوط‌های نیمه گرم و گرم از نظر مقاومت در برابر ترک‌های رطوبتی را گزارش کرده است.

شو^۵ و همکاران اثر درصدهای مختلف تراشه در ساخت مخلوط‌های آسفالت نیمه گرم را بررسی کرده و مشاهده کرده‌اند که استفاده از تراشه سختی مخلوط و مقاومت آن در برابر شیار شدگی را بالا می‌برد، اما مقاومت در برابر خستگی را کاهش می‌دهد.

کوپر^۶، ژیانو و امیرخانیان نیز تجارب مشابهی راجع به استفاده از تراشه در ساخت مخلوط داشته‌اند.

تحقیقات و بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که تولید آسفالت نیمه گرم نه تنها از جنبه زیست‌محیطی بسیار مطلوب و مورد توجه است، بلکه از لحاظ خواص عملکردی و کارپذیری^۷ نیز تا حد قابل قبولی مشابه آسفالت‌های

1. Copeland
2. Malick
3. Tao
4. Shrum
5. Shu
6. Cooper
7. Workability

گرم رایج بوده و در مواردی نیز خواص بهتری نسبت به آسفالت گرم از خود نشان داده است.

ازجمله مزایای تولید آسفالت نیمه گرم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی
 - کاهش کربن دی‌اکسید
 - کاهش بخارات ناشی از تبخیر قیر و فرآورده‌های وابسته. نوع مواد و میزان کاهش بخارات ناشی از ساخت مخلوط بسته به نوع سوخت مصرفی، میزان کاهش دما، روش ساخت و کیفیت کارخانه‌ی تولید آسفالت، مقدار تراشه مصرفی در ساخت مخلوط و ... می‌تواند متغیر باشد. جدول ۳ میزان درصد کاهش بخارات ناشی از ساخت مخلوط‌های آسفالتی را برای کشورهای مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱ نیز مقایسه‌ای از میزان بخارات ناشی از ساخت مخلوط‌های گرم و نیمه گرم را نشان می‌دهد. گنزالز^۱ کاهش ۱۴ تا ۳۶ درصدی آلاینده‌ها را در ساخت مخلوط آسفالتی نیمه گرم در مقایسه با مخلوط گرم گزارش کرده است.

جدول ۲: برخی افزودنی‌ها و روش‌های ساخت آسفالت نیمه گرم (بهروزی خواه، ۱۳۹۱)

روش ساخت مخلوط نیمه گرم	میزان استفاده از افزودنی	دمای تولید در کارخانه (سانتی‌گراد)	محل استفاده	مقدار استفاده تا سال ۲۰۰۸
ساسوبیت ^۱	آلمان حدود ۲ تا ۲/۵ درصد آمریکا حدود ۱ تا ۱/۵ درصد وزن قیر	حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد کمتر از مخلوط آسفالت گرم	آلمان و ۲۰ کشور در سراسر دنیا	بیش از ۱۰ میلیون تن در سراسر دنیا
آسفامین ^۲	حدود ۰/۳ درصد کل وزن مخلوط آسفالتی	حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد کمتر از مخلوط آسفالت گرم	فرانسه، آلمان و آمریکا	حدود ۳۰۰ هزار تن
دوبل بارل گرین ^۳	لازم نیست. می‌توان یک افزودنی ضد عریان شدگی را مشابه با مخلوط آسفالت گرم معمولی استفاده نمود.	۱۱۶ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد	آمریکا	بیش از ۴۰۰۰ تن
ادورا ^۴	حدود ۰/۲۵ درصد از وزن کل مخلوط آسفالتی	حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد کمتر از مخلوط آسفالت گرم	آمریکا	بیش از ۱۰ هزار تن
آسفالت نیمه گرم کف قیری ^۵	الزامی نیست. یک افزودنی ضدعریان‌شدگی ممکن است به قیر نرم اضافه شود.	۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد	فرانسه، نروژ، کانادا، ایتالیا، لوگزامبورگ، هلند، سوئد، سوئیس	بیش از ۶۰ هزار تن

1. Sasobit
4. Advera

2. Asphamin
5. WAM-Foam

3. Double Barrel Green

- کاهش مصرف سوخت به دلیل کمتر بودن دمای ساخت مخلوط. کاسوزی^۱ و دی‌آنجلو^۲ در تحقیقات خود بیان کرده‌اند که با کاهش ۲۸ درجه‌ای در دمای ساخت، مصرف سوخت به میزان تقریباً ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. محاسبات تئوری روی مخلوط‌هایی که دمای ساخت آن‌ها کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد نشان می‌دهد که مصرف سوخت تا میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. مقدار دقیق کاهش مصرف سوخت به پارامترهای دیگری از جمله مقدار رطوبت موجود در سنگ‌دانه‌ها و جزئیات مراحل اختلاط و ساخت مخلوط در کارخانه بستگی دارد. کیلاس^۳ نیز در تحقیقات خود به این نکته اشاره می‌کند که مصرف سوخت آسفالت نیمه گرم، بسته به روش ساخت، ۲۰ تا ۴۰ درصد کمتر از آسفالت گرم است. گنزالز نیز با استفاده از افزودنی سسایس^۴ کاهش ۲۰-۲۴ درصدی در مصرف انرژی را مشاهده کرده است.

جدول ۳: میزان کاهش در گازهای آلاینده در فرآیند تولید آسفالت نیمه گرم در مقایسه با آسفالت گرم

ماده انتشار یافته	نروژ	ایتالیا	هلند	فرانسه
CO ₂	۳۱/۵٪	۳۰-۴۰٪	۱۵-۳۰٪	۲۳٪
SO ₂	-	۳۵٪	-	۱۸٪
VOC	-	۵۰٪	-	۱۹٪
CO	۲۸/۵٪	۱۰-۳۰٪	-	-
NO _x	۶۱/۵٪	۶۰-۷۰٪	-	۱۸٪
گردوغبار	۵۴٪	۲۵-۵۵٪	-	-



شکل ۱: کاهش میزان بخارات و گازهای متصاعد شده در فرآیند ساخت مخلوط نیمه گرم در مقایسه با مخلوط گرم

1. Kasozi
2. D Angelo
3. Kilas
4. Cecabase

- افزایش سهولت ساخت
 - امکان استفاده از درصدهای بیشتر تراشه‌ی آسفالت به‌واسطه نیاز کمتر به پوشش سنگدان‌های و سهولت متراکم سازی. امکان استفاده از ۲۰ تا ۴۵ درصد تراشه در ساخت مخلوط‌های نیمه گرم با استفاده از روش‌های مختلف امکان‌پذیر است چراکه دمای پایین‌تر ساخت مخلوط‌های نیمه گرم نسبت به مخلوط‌های گرم موجب کمتر شدن پیرشدگی مضاعف قیر در فرآیند ساخت در دماهای بالاتر می‌شود.
 - پیرشدگی کمتر قیر در فرآیند ساخت مخلوط
 - امکان احداث کارخانه تولید آسفالت در نزدیکی مناطق شهری به‌واسطه آلودگی کمتر
 - افزایش سهولت اجرا
 - کارپذیری راحت به‌واسطه کاهش گرانیروی قیر
 - تراکم‌پذیری راحت
 - امکان اجرا در هوای سرد
 - راحتی کار به‌واسطه کاهش دما
 - امکان حمل در فواصل طولانی‌تر به دلیل کاهش تبادل دمایی بین مخلوط و هوا
 - کاهش زمان سرد شدن مخلوط و امکان خدمت‌دهی در ساعات اولیه پس از ساخت
 - بهبود شرایط کاری برای کارگران باینکه داده‌های مختلف از اجرای آسفالت نیمه گرم در اروپا، کاهش قرار گرفتن کارگران در معرض بخارات و ذرات معلق در فرآیند ساخت را گزارش می‌کند، باین حال مقایسه‌ی میزان دقیق این کاهش با توجه به این که آیین‌نامه و نحوه اندازه‌گیری این پارامترها با یکدیگر متفاوت است کار دشواری است. باین حال طبق دستورالعمل^۱ (NIOSH) method 5024 در مقایسه‌ی دو پروژه، کاهش تقریبی ۶۰ تا ۷۷ درصدی در معرض قرار گرفتن کارگران در برابر بخارهای ناشی از ساخت مخلوط وقتی که از فن‌آوری ساخت مخلوط نیمه گرم استفاده می‌شود را برآورد می‌کند (بهروزی خواه، ۱۳۹۱).
 - کاهش هزینه‌های اقتصادی
 - مصرف کمتر انرژی
 - پوشش کمتر برای وسایل تولید و حمل آسفالت به دلیل دمای کمتر مخلوط نسبت به مخلوط گرم و شار گرمایی کمتر بین مخلوط و محیط
- در کنار مزایای فراوان استفاده از آسفالت نیمه گرم که در بالا به آن اشاره شد، نگرانی‌هایی نیز از بابت برخی روش‌های تولید آسفالت نیمه گرم وجود دارد که به شرح زیر است:
- شیار شدگی زودرس
 - پیرشدگی کمتر قیر در فرآیند ساخت به دلیل دمای پایین‌تر اختلاط و تراکم
 - افزایش پتانسیل عریان شدگی به دلیل وجود رطوبت در سنگ‌دانه‌ها یا قیر در روش‌های بر پایه آب (تولید کف قیر به‌صورت مکانیکی یا با افزودنی‌های شیمیایی)

- کمبود داده‌های میدانی برای ارزیابی عملکرد طولانی‌مدت مخلوط‌های آسفالتی به دلیل نوظهور بودن این فن‌آوری
- دوام کم مخلوط در مجاورت آب
- عملکرد نسبتاً ضعیف‌تر مخلوط در دماهای پایین
- نامناسب بودن خواص فیزیکی و مکانیکی برخی مخلوط‌های نیمه گرم نسبت به مخلوط‌های گرم
- گران بودن برخی افزودنی‌های آسفالت نیمه گرم یا هزینه‌بر بودن برخی اصلاحات در کارخانه‌ی ساخت آسفالت
- نیاز به افزایش زمان اختلاط در برخی روش‌ها

با توجه به موارد ذکر شده، افزایش روزافزون قیمت قیر و فرآورده‌های سوختی در جهان، ملاحظات زیست‌محیطی و توسعه‌ی شبکه‌ی راه‌ها در جهان به نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های جدید تولید آسفالت و به‌خصوص آسفالت نیمه گرم باید مورد توجه قرار گیرد.

با این حال برای بهبود مشخصات عملکردی مخلوط آسفالتی نیمه گرم، به‌ویژه افزایش مقاومت آن در برابر شیار شدگی و ترک‌های دمای پایین باید تمهیداتی اندیشیده شود.

۳-۲- باز یافت سرد آسفالت

۳-۲-۱- تعریف

باز یافت سرد آسفالت عملیات کندن، شخم زدن، تراشیدن و خرد کردن مصالح لایه آسفالتی با یا بدون قشرهای اساس و زیراساس موجود را شامل می‌شود. این مصالح بعد از فرآوری مجدد در محل پروژه و در سطح راه و یا در یک کارخانه آسفالت مرکزی و اختلاط با مواد قیری نظیر امولسیون قیر و یا کف قیر با یا بدون موادی مانند سیمان، آهک و یا خاکستر بادی و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید، در دمای محیط و بدون استفاده از حرارت و نهایتاً تولید محصولی که عملکرد سازه‌ای دارد در سطح راه پخش و متراکم می‌شود. این قشر معمولاً به تناسب شرایط ترافیکی محور با بتن آسفالتی یا آسفالت سطحی روکش می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵).

۳-۲-۲- امتیازات باز یافت سرد

باز یافت سرد می‌تواند بسیاری از انواع خرابی‌ها و آسیب دیدگی‌های سطحی و سازه‌ای روسازی را با استفاده از مصالح سنگی و قیری روسازی موجود و صرفه‌جویی عمده در مصرف انرژی و حفظ منابع طبیعی، اصلاح و تقویت کند و در نهایت موجب کاهش هزینه کلی بهسازی شود. از مزایای باز یافت سرد درجا و کارخانه‌ای موارد زیر را می‌توان نام برد:

- حفظ منابع طبیعی از طریق استفاده مجدد از مصالح موجود

- کاهش و جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی (بنزین، گازوئیل، روغن، قیر، برق و ...) و امکان استفاده از مصالح سنگی سرد و مرطوب
- امکان استفاده و اصلاح مصالح سنگی لایه‌های غیر چسبنده روسازی با دامنه خمیری زیاد
- افزایش کیفیت روسازی با حفظ رقوم پروژه و بدون افزایش ضخامت روسازی
- تثبیت و تقویت مصالح دانه‌ای و غیر آسفالتی روسازی از طریق افزودن مواد قیری و یا هیدرولیکی و یا ترکیب از این دو
- حذف کلیه ترک‌های انعکاسی و حرارتی روسازی
- افزایش مقاومت سیستم روسازی در مقابل یخبندان و رطوبت از طریق تبدیل مصالح غیر آسفالتی موجود به اساس تثبیت‌شده قیری و یا سیمانی
- کاهش تردد کامیون‌های سنگین عملیات راه‌سازی از روی محور موجود و یا از روی محور بهسازی شده به‌ویژه در فرآیند بازیافت درجا
- عدم نیاز به احداث راه دسترسی و انحرافی از طریق باز نگه‌داشتن راه بر روی استفاده‌کنندگان
- عدم نیاز به محل تخلیه و انبار کردن مواد زائد
- تأمین اهداف بهسازی
- کاهش مخرج بهره‌برداری و نگهداری راه
- سرعت اجرای طرح

۳-۲-۳- انواع بازیافت سرد

بازیافت سرد به‌طور کلی با دو روش درجا و یا کارخانه‌ای انجام می‌شود:

الف: بازیافت درجا

در این روش کلیه عملیات بازیابی به‌صورت درجا و در محل پروژه (مسیر راه موجود) انجام می‌گیرد و طی آن بخشی یا تمامی لایه آسفالتی و لایه‌های غیر چسبنده (سنگدانه‌ای) روسازی موجود، تراشیده و خرد می‌شود. سپس این مصالح دانه‌بندی شده و مواد قیری و هیدرولیکی به آن افزوده و محصول تولیدشده در سطح راه پخش و متراکم می‌شود. تمام این عملیات در محل و به‌طور مداوم به کمک شماری از ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش می‌توان تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از روسازی موجود را مورد بهسازی قرارداد.

ب: بازیافت کارخانه‌ای

در این روش مصالح برداشت‌شده از روسازی به یک کارخانه آسفالت مرکزی حمل و بعد از فرآوری و تغذیه مصالح به کارخانه و تولید محصول، بدون استفاده از حرارت و در دمای محیط و حمل به محل مصرف، پخش و کوبیده می‌شود.

کارخانه‌های آسفالت مرکزی جهت عملیات بازیافت سرد باید مجهز به ماشین‌آلات و وسایل مختلفی از جمله سنگ‌شکن، تسمه‌نقاله با سیلوهای تغذیه مصالح خرده آسفالتی، سیستم مکانیزه و دقیق جهت افزودن آب به مخلوط در شرایط مصرف کف قیر و یا امولسیون قیر و مواد مضاف هیدرولیکی و شیمیائی، سیلوی ذخیره آسفالت و سایر دستگاه‌های موردنیاز باشد. از روش کارخانه‌ای در شرایطی استفاده می‌شود که حجم مصالح بازیافتی بسیار زیاد بوده یا برای تهیه مخلوط، کنترل دقیقی در کلیه مراحل تولید آسفالت موردنظر باشد.

۳-۲-۴- معیارهای انتخاب بازیافت سرد

انتخاب پروژه و ارزیابی آن برای اجرای موفقیت‌آمیز بازیافت سرد از اهمیت خاصی برخوردار است. این انتخاب با توجه به وضعیت روسازی و زیرسازی موجود، ضمن نمونه‌گیری و آزمایش قشرهای آسفالتی، غیر آسفالتی و بستر روسازی و بااطلاع از سوابق ساخت و نگهداری راه، آمار ترافیکی گذشته و حال و شرایط جوی- محیطی منطقه، سیستم‌های زهکشی سطحی و عمقی، راه‌های دسترسی در محدود پروژه و نهایتاً با تأکید بر استفاده از شیوه‌های متداول مطالعات توجیه فنی و اقتصادی مبتنی بر هزینه‌های چرخه عمر روسازی باید توسط مشاور طرح صورت گیرد.

پروژه‌هایی که با مصالح و شرایط متفاوت و ناهمگون از طریق بازیافت سرد بهسازی می‌شوند، بسیار فراوانند اما مواردی هم وجود دارد که به دلیل مشکلات فنی، اقتصادی و یا اجرائی انتخاب روش بازیافت سرد درجا می‌تواند توجیه فنی و اقتصادی داشته (مطلوب) و یا نداشته باشد (نامطلوب) مقایسه شده است. ضمن آنکه تعدادی از موارد نامطلوب هم که قابلیت استفاده از بازیافت سرد درجا را ندارند می‌توان با پیش‌بینی‌ها و فراهم کردن امکانات لازم جهت رفع مشکلات اجرائی و عملیاتی آن‌ها را با بازیافت سرد بهسازی کرد.

علاوه بر متغیرهای اصلی مطلوب و نامطلوب عوامل مشروحه زیر نیز برای تصمیم‌گیری نهایی در خصوص ارزیابی و امکان‌سنجی میزان سودمندی استفاده از بازیافت سرد درجا در پروژه‌های بهسازی باید موردتوجه قرار گیرد.

الف: شرایط آب و هوایی

دمای محیط در حین اجرای بازیافت سرد با کف قیر و امولسیون قیر عامل مؤثری محسوب می‌شود. دمای محیط کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد پوشش قیری سنگ‌دانه‌هایی با کف قیر را کاهش می‌دهد، ضمن آنکه مدت عمل‌آوری مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیونی را نیز افزایش داده و شکستن امولسیون قیر را به تأخیر می‌اندازد. به‌طور کلی افزایش دمای سنگ‌دانه‌ها از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۶۵ درجه سانتی‌گراد در موارد استفاده از کف قیر موجب می‌شود تا ابعاد سنگ‌دانه‌هایی که پوشش قیری کامل می‌یابند از یک میلی‌متر به پنج میلی‌متر افزایش داده شود.

ب: نوع و کیفیت مصالح روسازی

تنوع کیفیت مصالح روسازی و زیرسازی به شرح زیر باید مدنظر قرار بگیرد:

الف- ضخامت روسازی کم و در نتیجه ظرفیت سازه‌ای ضعیف به ندرت برای بهسازی با روش بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب- در شرایطی که CBR^1 خاک بستر روسازی کمتر از ۳ درصد باشد استفاده از بازیافت سرد توصیه نمی‌شود زیرا مصالح تثبیت شده با ضخامت‌ها معمول ۲۵-۳۰ سانتی‌متر با روش بازیافت سرد بر روی زیرسازی ضعیف را نمی‌توان متراکم کرد.

ج- در شرایط ضخامت روسازی کافی وقتی مشکلات سازه‌ای راه به قشر اساس محدود شود، استفاده از بازیافت سرد گزینه مناسبی است.

د- روسازی‌های آسفالتی که به شدت آسیب دیده و با ترک‌های طولی و عرضی گسترده ناشی از پدیده خستگی وقتی که با دستگاه‌های قدیمی بازیافت سرد بهسازی شوند با مشکل مواجه می‌گردند. چنانچه قطعات ترک خورده به یکدیگر نزدیک باشند یا ابعاد آن‌ها از فاصله میان ناخن‌های دستگاه بازیافت کمتر باشد امکان اینکه بتوان آن‌ها را به اندازه‌های مناسب و یکنواخت خرد کرد و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از روند خرد کردن مصالح همگن باشد، وجود ندارد. چنین شرایطی به عنوان گزینه نامناسب برای انتخاب بازیافت محسوب می‌شود.

ه- زمانی که مشخصات فنی لایه‌های تشکیل دهنده روسازی در طول محور متفاوت بوده و یا اینکه در دوره بهره‌برداری با روش‌های مختلف و متفاوت مورد بهسازی قرار گرفته و سابقه‌ای از آن‌هم در دسترس نباشد و یا سطح روسازی با لکه‌گیری‌های زیاد و گسترده و عمقی سراسری و یا موضعی تعمیر شده باشد، استفاده از روش بازیافت سرد باید با احتیاط همراه شود، یا اینکه دقت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی مضاعفی برای شناسایی وضعیت روسازی صورت گیرد.

ج: رطوبت لایه‌های روسازی و وضعیت زهکشی

برای روسازی‌هایی که خرابی آن‌ها از مصالح غیر آسفالتی مرطوب و اشباع به وجود آمده که ناشی از عدم تخلیه آب و زهکشی نامناسب باشد، یا در شرایطی که مصالح ریزدانه بستر روسازی موجب کاهش کیفیت سازه‌ای و زهکشی مصالح روسازی شده است، بازیافت سرد درجا گزینه مناسبی نیست. ولی از طریق بازیافت سرد کارخانه‌ای می‌توان این لایه‌ها را بعد از برداشت لایه‌های آسفالتی جمع‌آوری و با مصالح مرغوب جایگزین کرد.

۱. California Bearing Ration; CBR نسبت باربری کالیفرنیا، شاخصی است که میزان باربری خاک یا لایه‌های زیرسازی را نشان می‌دهد، هرچه شاخص سی بی آر بیشتر باشد نشان دهنده قابلیت باربری بیشتر مصالح است. طبق تعریف مقدار سی بی آر برابر با نسبت مقدار نیرویی که برای فروبردن یک محور استوانه‌ای درون خاک به مقدار نیروی لازم برای فروبردن همان محور در یک خاک استاندارد در کالیفرنیا است.

د: تورم و انبساط لایه‌های روسازی

در شرایطی که خرابی و آسیب دیدگی‌های روسازی ناشی از تورم و انبساط و حساسیت مصالح لایه روسازی و زیرسازی در مقابل یخبندان باشد، بازیافت سرد گزینه مناسبی محسوب نمی‌شود.

ه: دوره طرح پروژه مورد بازیافت

در مرحله انتخاب پروژه برای بازیافت سرد، قابلیت باربری و قابلیت‌های سازه‌ای لایه‌های روسازی موجود بعد از عملیات بازیافت باید با توجه به وضعیت ترافیک دوره طرح و CBR خاک بستر روسازی ارزیابی شده و پیش‌بینی‌های لازم برای کنترل عمر واقعی طرح و نگهداری‌های دوره این بررسی و مطالعه شود.

و: ترافیک دوره عملیات بازیافت سرد

تأمین عبور و مرور ترافیک در محدوده عملیات اجرائی بازیافت در راه‌هایی که کل عرض سواره‌رو و شانه‌های آن محدودیت دارد و یا در محل‌هایی که استفاده از راه‌های انحرافی و انشعابی از آن مشکلاتی ایجاد می‌کند از اهمیت خاصی برخوردار است. این گونه محدودیت‌ها می‌باید در انتخاب پروژه بازیافت سرد درجا موردتوجه قرار گیرد.

ز: وضعیت هندسی محور موجود

در برخی موارد عرض راه، ضخامت لایه‌های روسازی، رقوم خط پروژه و وجود مستحذات مختلف در اطراف محور موجود، محدودیت‌هایی را به وجود می‌آورد که عملاً احداث راه جدید به معنای تخریب کامل راه موجود و ایجاد قشرهای جدید در محل راه قدیمی خواهد بود. در چنین شرایطی استفاده از روش بازیافت سرد درجا راه‌حل مناسبی برای فائق آمدن بر مشکلات فوق محسوب می‌شود.

ح: سایر محدودیت‌ها

عواملی که در انتخاب پروژه بازیافت محدودیت ایجاد می‌کند و باید موردتوجه قرار گیرد عبارت‌اند از:

الف- شیب‌های تند طولی، بیشتر از ۵ درصد و در طول تقریباً ۷۵۰ متر و بیشتر سرعت عملیات را کاهش می‌دهد و باید برای ترافیک عبوری قبلاً چاره‌اندیشی شود.

ب- وقتی که راه در سایه قرار می‌گیرد و تابش آفتاب در محدوده عملیاتی کم و یا اصلاً وجود ندارد، افزایش مدت عمل‌آوری مخلوط باید مدنظر قرار گیرد.

ج- برای بازیافت سرد، طرح‌های با مساحت کم مقرون به صرفه نیست. این طرح‌ها باید از نظر امکان سنجی و ایجاب مطالعه شود.

د- تغییر عرض اجرای عملیات در حین بازیافت سرد درجا عملی نیست ضمن آنکه توصیه هم نمی‌شود زیرا با وسایل و تجهیزاتی که نوعاً در این فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد نمی‌توان تقاطع‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌ها، فواصل و سطوح کم‌و بیش کوتاه و کم‌عرض موجود در مسیر را به سهولت با روش بازیافت سرد درجا بهسازی نمود.

۳-۳- باز یافت آسفالت گرم

۳-۳-۱- کلیات

باز یافت آسفالت گرم؛ شامل عملیاتی است که طی آن آسفالت برداشت شده از روسازی موجود با یا بدون مصالح غیر آسفالتی، به شرح ضخامت تعیین شده در نقشه‌های اجرائی و مطابق دستورات دستگاه نظارت، بعد از شکستن و خرد شدن و دانه‌بندی و اختلاط با مواد قیری و یا ترکیبات جوان کننده با یا بدون مصالح سنگی جدید و یا آسفالت گرم جدید، در یک کارخانه مرکزی آسفالت و یا در محل به طریق گرم و مطابق مشخصات آسفالت گرم و بتن آسفالتی تولید و در سطح راه پخش و کوبیده می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵).

۳-۳-۲- اصطلاحات و واژه‌های باز یافت گرم

عملیات باز یافت گرم شامل واژه‌ها و تعاریف زیر است:

الف- باز یافت

استفاده مجدد از مصالح روسازی موجود برای تهیه آسفالت جدید و بهسازی روسازی کهنه و قدیمی

ب- باز یافت کارخانه‌ای

مصالح بازیابی شده از روسازی موجود، به کارخانه آسفالت مرکزی حمل و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید و مواد قیری جدید مخلوط شده و به آسفالت گرم تبدیل می‌شود. این آسفالت مجدداً به محل مصرف حمل و پس از پخش در سطح راه متراکم می‌گردد.

پ- باز یافت درجا

در این روش کلیه عملیات بازیابی گرم به صورت درجا (در محل مصرف) انجام و در سطح راه پخش و متراکم می‌شود.

ت- آسفالت باز یافتی

مصالح به دست آمده از آسفالت موجود، که شامل قیر و مصالح سنگی است که با روش‌های گوناگون، با و یا بدون حرارت دادن سطح روسازی، برداشت می‌شود.

ث- مصالح سنگی باز یافتی

شامل مصالح سنگی به دست آمده از روسازی موجود است که فاقد قیر غیر قابل استفاده است.

ج- قیر جدا شده

شامل قیری است که از مصالح RAP^۱ یا خرده آسفالت حاصل از باز یافت به دست می‌آید.

۱. Reclaimed asphalt pavement منظور آسفالت تراشیده شده و کنده شده از سطح راه است که به منظور باز یافت روسازی از این مصالح استفاده می‌شود.

چ- مصالح سنگی جداشده

شامل مصالح سنگی به دست آمده از مصالح RAP است که بعد از جداسازی قیر حاصل می‌شود.

ح- مصالح سنگی جدید

شامل مصالح سنگی جدید با دانه بندی و کیفیت معین و منطبق با مشخصات است که برای اختلاط با آسفالت گرم مورد بازیافت و به نسبت تعیین شده در طرح اختلاط مصرف می‌شود.

خ- ماده جوان کننده قیر

ماده جوان کننده و یا احیاء کننده با مشخصات معین که به منظور اصلاح خصوصیات قیر سخت شده موجود در مصالح بازیافت مصرف می‌شود.

د- مخلوط آسفالت گرم بازیافتی

مخلوط آسفالت گرم نهائی از عملیات بازیافت که از اختلاط مصالح روسازی قدیمی و مصالح سنگی جدید یا آسفالت گرم جدید و در صورت لزوم قیر جدید یا ماده جوان کننده، تهیه می‌شود. این مخلوط برای استفاده در هریک از لایه‌های روسازی باید مشخصات تعیین شده برای لایه مورد نظر را داشته باشد.

۳-۳-۳- دامنه کاربرد بازیافت گرم

به طور کلی بازیافت روسازی‌های آسفالتی با استفاده از روش‌های مختلف، از جمله روش بازیافت گرم کارخانه‌ای یا درجا، یکی از گزینه‌هایی است که معمولاً برای ترمیم، بهسازی و یا بازسازی روسازی بکار می‌رود. این گزینه‌ها عبارت‌اند از (بهروزی خواه، ۱۳۹۱):

- بازیافت گرم
- بازیافت سطحی
- بازیافت سرد
- بازسازی با مصالح کاملاً جدید سنگی و مواد قیری
- مرمت و اجرای روکش‌های تقویتی ضخیم
- مرمت و اجرای روکش‌های تقویتی با ضخامت کم
- مرمت بدون روکش و یا روکش با ضخامت حداکثر ۲۵ میلی‌متر
- مرمت باروکش آسفالت سطحی
- مرمت معمولی به عنوان نگهداری دوره‌ای
- سایر روش‌ها

بدیهی است که قبل از انتخاب بازیافت گرم جهت بهسازی برای هر پروژه، کلیه گزینه‌های فوق باید از نظر ملاحظات فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳-۳-۴- امتیازات بازیافت گرم

حفظ منابع طبیعی ناشی از مصرف کل یا بخش عمده‌ای مصالح سنگی و مواد قیری روسازی قدیمی در بازیافت گرم از مهم‌ترین امتیاز این فرآیند محسوب می‌شود که سایر امتیازات زیر را نیز باید به آن افزود:

- افزایش مقاومت روسازی بدون تغییر و یا تغییر جزئی در ضخامت روسازی
- اصلاح آسیب‌دیدگی‌های سطحی شامل قیر زدگی، پدیده جدا شدن سنگ‌دانه‌ها از رویه آسفالتی، شیار افتادگی، ناهمواری‌ها و تغییر شکل‌ها.
- افزایش تاب لغزشی.
- اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی قیر سخت شده موجود روسازی با جوان سازها و انطباق آن با مشخصات قیر خالص و در نتیجه افزایش دوام رویه آسفالتی و بهبود تاب خستگی آن.
- ثابت نگه‌داشتن رقوم سطح راه و یا تغییر جزئی این رقوم و در نتیجه سازگاری با شرایط هندسی راه.
- کاهش آلودگی زیست‌محیطی.
- کاهش تولید ضایعات و مواد زائد و عدم نیاز به محل تخلیه برای این مواد.
- صرفه‌جویی در هزینه و انرژی و افزایش سرعت اجرای عملیات.
- در مقابل امتیازات فوق باید آلودگی زیست‌محیطی بازیافت گرم کارخانه‌ای ناشی از مصرف مصالح بازیابی شده و گرم کردن و تبدیل آن به آسفالت گرم و نیز اختلال جزئی در جریان ترافیک عمومی از کارخانه به محل مصرف و برعکس را یادآور شد.

۳-۳-۵- انواع بازیافت گرم

عملیات بازیافت گرم طی دو روش متفاوت زیر به مورد اجرا گذاشته می‌شود.

الف: روش کارخانه‌ای

در این روش که از پیشینه بیشتری برخوردار است، مصالح خرده آسفالتی یا RAP را به یک کارخانه مرکزی آسفالت گرم حمل و آن را با قیر خالص جدید و یا مواد جوان‌کننده و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید مخلوط می‌کنند که در نهایت آسفالت گرمی تولید می‌شود که بخشی از آن را مصالح RAP تشکیل می‌دهد. درصد مصالح RAP مصرفی در این روش برحسب اینکه کارخانه از نوع مرحله‌ای یا استوانه‌ای باشد از ۲۰ تا ۷۰ درصد متغیر است که با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته این رقم می‌تواند به ۹۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد.

در این روش ضخامت روسازی مورد بازیافت از ضخامت بازیافت درجا بیشتر است که در نتیجه، موارد زیر را نیز امکان‌پذیر می‌سازد:

- افزایش توان سازه‌ای راه
- کاهش حساسیت ناشی از یخبندان لایه‌های غیر آسفالتی روسازی

- مرمت ترک‌های انعکاسی و انقباضی با شدت متوسط
- مرمت ترک‌های طولی و عرضی ناشی از بارگذاری با شدت کم
- مرمت و اصلاح معایب و آسیب‌دیدگی‌های سطحی

ب: روش درجا

استفاده از روش درجا محدود به آن است که روسازی از توان باربری لازم و کافی برخوردار باشد تا اصلاح و ترمیم خرابی‌های سطحی زیر با حداکثر ضخامت بازیابی حدود ۵ سانتی‌متر امکان‌پذیر شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵):

- اصلاح تغییر شکل‌های طولی و عرضی شامل شیارافتادگی و موج‌های ایجادشده در جهت حرکت وسایل نقلیه، اصلاح شیب عرضی زهکشی سطحی.
- حذف موقت ترک‌های انعکاسی.
- مرمت ترک‌های ناشی از بارگذاری و ترک‌های حرارتی با شدت خیلی کم.
- احیاء قیر اکسیده شده آسفالت موجود با مصرف جوان سازها بدون افزایش قیر آسفالت.
- مرمت ترک‌های لغزشی.
- اصلاح تاب لغزشی و قیر زدگی.
- اصلاح دانه‌بندی و افزایش کیفیت آسفالت.

در این روش ابتدا سطح آسفالت موجود حرارت داده می‌شود و آسفالت نرم شده توسط حرارت با شخم‌زن‌های دوار برداشته‌شده و به داخل دستگاه مخلوط کننده آسفالت ریخته می‌شود. در صورت لزوم ضمن اختلاط با مصالح جدید سنگی، قیر و یا ماده جوان ساز نیز به مخلوط افزوده می‌شود و نهایتاً مخلوط آسفالت گرم حاصل روی سطح راه پخش و متراکم می‌شود که معمولاً یک لایه آسفالت گرم جدید نیز روی این لایه اجرا می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵).

تمام این عملیات به صورت درجا و طی یک یا دو بار عبور انجام می‌گیرد. حداکثر عمق بازیافت در روش درجا گاهی تا ۷۵ میلی‌متر نیز قابل افزایش است.

۳-۴- استفاده از امولسیون‌های قیری در راه‌سازی

۳-۴-۱- کلیات

قیر به عنوان ماده چسباننده به شکل‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قیر در دمای محیط به حالت جامد یا نیمه جامد است که کارایی لازم را ندارد ولی می‌توان آن را به سه روش قابل استفاده کرد که عبارت‌اند از:

الف- حرارت دادن

ب- مخلوط نمودن قیر با حلال‌های نفتی (غیرمحللول)

پ- مخلوط نمودن قیر با آب به صورت امولسیون قیری

روش (الف) معمولاً برای مخلوط‌های آسفالتی گرم و زمانی به کار می‌رود که حجم کار آسفالتی زیاد و وسایلی که بتوان مخلوط آسفالتی را تا زمان استفاده کاملاً گرم نگهداری نمود، در دسترس باشد. این روش از نظر اقتصادی برای کارهای کوچک یا مواردی که تجهیزات لازم در اختیار نباشد، مناسب نخواهد بود. در این روش ابتدا قیر و مصالح سنگی، گرم و در کارخانه آسفالت مخلوط می‌گردند. سپس مخلوط آسفالتی به محل اجرا حمل می‌شود و نهایتاً در سطح راه پخش و کوبیده می‌شود؛ اما در مناطق دورافتاده و کوهستانی فراهم کردن کارخانه آسفالت و ماشین‌آلات لازم برای ریختن آسفالت گرم همیشه امکان‌پذیر نیست و نیاز به روش مناسبی است که بتوان از قیر و مصالح سنگی سرد، آسفالت تهیه نمود، لذا روش (ب) یعنی رقیق کردن قیر با استفاده از حلال‌های نفتی و تهیه قیرهای محللول مطرح می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵).

تهیه و استفاده از قیرهای محللول امروزه گران تمام می‌شود زیرا باعث هدر رفتن حلال‌های نفتی می‌شود که هیچ‌گونه نقشی در چسبندگی ندارند بعلاوه مسئله آلودگی محیط‌زیست به علت استفاده از حلال‌های نفتی و نیز خطرات و صدمات ناشی از آتش‌سوزی، مسائلی هستند که امروزه کاربرد این روش را محدود می‌نماید. ضمناً اجرای کار در این حالت باید در فصل مساعد سال و با مصالح سنگی خشک و غیر مرطوب انجام گیرد تا چسبندگی قیر و مصالح سنگی را تأمین گردد.

روش (ج) استفاده از امولسیون قیری در راه‌سازی است و مصرف امولسیون‌های قیری، به حرارت زیاد یا حلال‌های نفتی زیاد نیاز ندارد و می‌تواند با مصالح سرد و یا حتی مرطوب به کار برده شود.

۳-۴-۲- تاریخچه کاربرد امولسیون‌های قیری

استفاده از امولسیون قیری برای ساخت و نگهداری راه، روش جدیدی نیست. نخستین بار در اوایل قرن بیستم از این قیرها استفاده شده است گرچه تا قبل از سال‌های ۱۹۲۰ امولسیون‌هایی که امروزه می‌شناسیم هنوز تولید نشده بودند و کاربردهای آن فقط محدود به قیرپاشی و تثبیت گردوغبار در راه‌های شنی و خاکی می‌شد. از سال‌های ۱۹۵۳ کاربرد امولسیون‌های قیری افزایش گسترده‌ای یافته است. در حال حاضر بیشترین مصرف این قیرها در ساخت آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی، فرعی و روستایی به روش آسفالت سرد، انواع آسفالت‌های حفاظتی (آسفالت سطحی، دوغاب آب‌بند امولسیون قیری و ...)، اندود سطحی، مصرف در لکه‌گیری و نگهداری و بهسازی راه‌ها، تثبیت خاک و فرونشاندن گرد و غبار می‌باشد. یکی از مزایای امولسیون قیری نسبت به قیرهای محللول امکان استفاده آن‌ها بر روی سطوح مرطوب است که بدون از دست دادن چسبندگی، لایه‌نازکی از قیر را بر روی مصالح سنگی یا سطوح روسازی بر جای می‌گذارند.

با مصرف امولسیون‌های قیری، تعمیر، نگهداری و بهسازی راه‌ها در مناطق دورافتاده که از محل کارخانه

آسفالت فاصله زیادی دارند با استاندارد بالا قابل اجرا است. البته امولسیون‌های قیری برحسب مورد مصرف باید خصوصیات ویژه‌ای داشته باشند. به عنوان مثال مشخصات امولسیون قیری که برای ایجاد لایه چسبنده بین دولایه آسفالتی استفاده می‌شود با امولسیون قیری که برای تهیه مخلوط آسفالتی سرد به کار می‌رود، متفاوت است. لذا به صرف تهیه امولسیون قیری و بدون در نظر گرفتن کیفیت لازم نمی‌توان آن را مصرف کرد.

به طور کلی استفاده از امولسیون قیری موجب ایمنی بیشتر، صرفه جویی در هزینه، تنوع کاربرد، صرفه جویی در انرژی و ایجاد آلودگی کمتر می‌گردد. با توجه به اینکه در جریان استفاده از امولسیون‌های قیری نیازی به حرارت دادن زیاد و خشک نمودن مصالح سنگی نمی‌باشد و با مصالح سنگی مرطوب نیز قابل مصرف است لذا مصرف آن‌ها از نظر ایمنی و اقتصادی نسبت به قیرهای معمولی برتری دارد. استفاده از امولسیون قیری بر روی بستر مرطوب شنی و آسفالتی راه نیز میسر است و از آنجاکه برخلاف قیرهای محلول، فقط آب تبخیر می‌شود از نظر زیست محیطی و اقتصادی مطلوب‌تر است. استفاده از امولسیون‌های قیری به ویژه در مناطق شهری برای حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی هوا مناسب است. مصرف امولسیون‌های قیری بدون استفاده از گرم کردن و یا حرارت دادن آن‌ها به مقدار کم در مرحله نگهداری و اختلاط با مصالح سنگی هزینه‌های انرژی را به حداقل می‌رساند.

۳-۴-۳- طبقه بندی و ساختار امولسیون‌های قیری

امولسیون، مخلوطی از دو مایع غیر امتزاج است که یکی از این مایعات به صورت ذرات ریز در مایع دیگر معلق است. مایع معلق شده (فاز داخلی یا فاز غیر پیوسته) مایعی است که به صورت ذرات بسیار ریز در داخل مایع دیگر که فاز خارجی (پیوسته) نامیده می‌شود، شناور شده است. امولسیون‌ها به لحاظ نوع فاز معلق به دو دسته آب در روغن و روغن در آب تقسیم می‌شوند. در امولسیون‌ها به روش‌های مختلف می‌توان مشخص نمود که کدام فاز پیوسته و کدام فاز غیر پیوسته است. به عنوان مثال در امولسیون روغن در آب، روغن فاز غیر پیوسته و آب فاز پیوسته است و برعکس، در امولسیون آب در روغن، آب فاز غیر پیوسته و روغن، فاز پیوسته را تشکیل می‌دهد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۱).

جهت تعادل دو فاز داخلی و خارجی در امولسیون و یا به عبارت دیگر برای ساخت امولسیون و حفظ ثبات این دو فاز به صورت معلق، موادی به مخلوط دو مایع افزوده می‌گردد که امولسیون ساز نامیده می‌شود. در بعضی موارد لازم است که پایداری امولسیون را افزایش داد، به این منظور ماده دیگری به نام پایدارکننده به امولسیون اضافه می‌گردد. قطر ذرات قیر در امولسیون قیری معمولاً از ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱ میلی متر (یک میکرون تا ده میکرون) متغیر است که بزرگتر از قطر ذرات محلول‌های حقیقی و کلوئیدی است (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۱).

۳-۴-۳-۱- تعریف امولسیون قیری

امولسیون قیری مخلوطی از قیر و آب است که به کمک ماده امولسیون ساز ساخته می‌شود. در این مخلوط، قیر در آب حل نشده بلکه به صورت گلبول‌هایی بسیار ریز در آب شناور است. در بعضی موارد ممکن است همراه با

ماده امولسیون ساز، ماده پایدارکننده نیز استفاده گردد. رنگ امولسیون قیری قبل از مصرف قهوه‌ای است و بعد از شکستن به رنگ سیاه قیر تبدیل می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱).

امولسیون‌های قیری از نظر نوع فاز معلق به دودسته آب در روغن و روغن در آب تقسیم می‌شود، که امولسیون‌های قیری عمدتاً از نوع امولسیون‌های روغن در آب هستند که قیر در فاز آب پراکنده می‌باشد. در این نوع امولسیون‌های قیری، مقدار قیر بستگی به کاربرد آن دارد که معمولاً در آئین‌نامه‌ها از حداقل ۵۵ درصد تا حداکثر ۶۵ درصد تغییر می‌کند. زمانی که میزان قیر در امولسیون به حداکثر می‌رسد، ذرات قیر بیشتر به یکدیگر نزدیک می‌شوند، بدون اینکه تغییری در شکل ذرات پدید آید. سپس ذرات قیر به نحوی به یکدیگر می‌چسبند که آب محبوس شده بین آن‌ها به‌صورت گلوله درمی‌آید که نتیجه این عمل، ایجاد امولسیون آب در روغن است.

امولسیون‌های آب در روغن، رفتاری مشابه با قیرهایی با کند روانی زیاد دارند. مقدار قیر این نوع امولسیون‌ها در محدوده بین ۷۰ تا ۸۰ درصد قرار دارد.

۳-۴-۲- موارد کاربرد امولسیون‌های قیری

در حال حاضر امولسیون‌های قیری برحسب مورد در کلیه کارهای آسفالتی گرم و سرد، انواع آسفالت‌های حفاظتی، اندود نفوذی و سطحی و تثبیت خاک به کار می‌روند. موارد کاربرد امولسیون‌های قیری به شرح زیر می‌باشد:

- مخلوط‌های آسفالتی گرم
- مخلوط‌های آسفالتی سرد
- آسفالت مخلوط در محل
- آسفالت‌های حفاظتی و آب‌بندی
- آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای
- آسفالت سطحی چندلایه‌ای
- اندود آب‌بندی با مصالح سنگی
- اندود آب‌بندی با ماسه
- ماکادام نفوذی با فضای خالی کم و زیاد
- قیرپاشی‌ها
- اندود سطحی بدون سنگ‌دانه
- اندود نفوذی برای سطوح قابل نفوذ
- اندود سطحی
- غبارنشانی

- مالچ پاشی
- پر کردن ترک‌ها
- تعمیرات و لکه‌گیری فوری و غیر فوری

۳-۴-۴- آسفالت‌های حفاظتی با امولسیون قیری

۳-۴-۴-۱- کلیات

آسفالت حفاظتی واژه‌ای کلی است که کاربردهای مختلف قیر و قیر با مصالح سنگی را که معمولاً با ضخامت کمتر از ۲۵ میلی‌متر بر روی سطح راه اجرا می‌شود، شامل می‌شود. سطح راه ممکن است سطوح شنی آماده یا روسازی موجود باشد. آسفالت‌های حفاظتی را که بر روی سطوح روسازی موجود اجرا می‌شوند، پوشش‌های آب‌بندی می‌نامند. کاربردهای متنوع امولسیون‌های قیری بدون پوشش با مصالح سنگی نیز در ردیف اندودهای آب‌بندی قرار می‌گیرند. از جمله این کاربردها می‌توان به اندود سطحی، اندود آب‌بندی و پوشش سطح روسازی، مالچ ریزی، پرکننده ترک‌ها، اندود نفوذی و فرونشاندن غبار اشاره کرد. آسفالت‌های سطحی تک لایه‌ای یا چندلایه‌ای نیز از انواع آسفالت‌های حفاظتی می‌باشند. در آسفالت سطحی تک لایه‌ای، امولسیون قیری را بر روی سطح راه پاشیده، بلافاصله قشر نازکی از مصالح سنگی تقریباً یک اندازه بر روی آن پخش و غلتک زده می‌شود. برای آسفالت سطحی چندلایه‌ای، این عمل دو یا سه بار تکرار می‌شود و در هر مرحله اندازه مصالح سنگی کوچک‌تر می‌شود به گونه‌ای که حداکثر اندازه مصالح سنگی در هر مرحله، حدود نصف اندازه مصالح سنگی مرحله پیشین است. ضخامت آسفالت سطحی تقریباً برابر حداکثر اندازه ذرات مصالح سنگی مصرفی در اولین لایه است.

آسفالت‌های حفاظتی که به‌طور مناسب ساخته شده‌اند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و بادوام می‌باشند. آسفالت حفاظتی سطح راه را آب‌بندی و عمر آن را طولانی می‌کند. هدف از کاربرد هر نوع آسفالت حفاظتی دستیابی به مقاصد ویژه‌ای است. گرچه آسفالت حفاظتی را نمی‌توان از نقطه نظر سازه‌ای به عنوان سازه باربر در نظر گرفت لیکن در برابر سایش ناشی از آمدوشد وسایل نقلیه مقاومت کرده، پوشش نفوذناپذیری را برای لایه‌های زیرین فراهم می‌آورد.

آسفالت سطحی مقاومت باربری را اندکی افزایش می‌دهد، اما این افزایش مقاومت معمولاً در محاسبه باربری در نظر گرفته نمی‌شود، با این وجود آسفالت حفاظتی اگر بجا و صحیح مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند سطحی با کیفیت قابل قبول برای راه تأمین نماید. برای استفاده از آسفالت حفاظتی، بررسی میزان آمدوشد، ارزیابی مصالح در دسترس و لایه‌های روسازی موجود ضروری است (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

۳-۴-۴-۲- اهداف استفاده از آسفالت‌های حفاظتی

آسفالت‌های حفاظتی به منظورهای زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف: تأمین رویه‌ای کم‌هزینه برای آمدوشد کم تا متوسط

ب: تأمین لایه‌ای نفوذناپذیر برای جلوگیری از نفوذ آب به لایه‌های زیرین

ج: تأمین رویه‌ای مقاوم در برابر لغزش

روسازی‌هایی که به علت قیر زدگی یا فرسودگی و صیقلی شدن سطح مصالح سنگی، لغزنده شده‌اند رامی‌توان با به‌کارگیری امولسیون قیری با یا بدون مصالح سنگی تیز گوشه و سخت اصلاح نمود تا مقاومت در برابر لغزش بهبود یابد.

د: احیای رویه هوازده و خشک

روسازی‌هایی که هوازده شده‌اند (به‌گونه‌ای که شن زدگی و جدا شدن دانه‌ها ممکن است اتفاق بیفتد) رامی‌توان با کاربرد آسفالت سطحی تک لایه‌ای یا چندلایه‌ای تعمیر و به حالت اولیه برگرداند.

ه: فراهم کردن پوشش موقتی برای لایه اساس جدید

آسفالت حفاظتی برای ساخت مرحله‌ای راه یا به‌عنوان رویه‌ای که باید در آینده از نظر سازه‌ای تقویت شود، پوشش مناسبی خواهد بود. در این مورد آسفالت حفاظتی تا اجرای لایه‌های آسفالت بعدی، سطح بسیار خوبی را ایجاد خواهد کرد. احیای روسازی‌های قدیمی که به علت پیرشدگی، ترک‌های انقباضی و ترک‌های ناشی از خستگی آسیب‌دیده‌اند.

و: متمایز کردن شانه‌ها از سواره‌رو

۳-۴-۴-۳- انواع آسفالت‌های حفاظتی

آسفالت‌های حفاظتی بر اساس روش اجرا به دودسته تقسیم می‌شوند:

الف: آسفالت سطحی تک لایه‌ای

آسفالت سطحی تک لایه‌ای برای موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف: به‌عنوان اقدام موقتی پیش از روسازی باکیفیت بالاتر

ب: اصلاح رویه‌های قدیمی شن زده و اکسیدشده

ج: ایجاد پوشش نفوذناپذیر بر روی روسازی موجود

د: اصلاح فرسودگی ناشی از آمدوشد بیش از مقدار پیش‌بینی‌شده در طرح اولیه

آسفالت سطحی تک لایه‌ای، برای راه‌های با آمدوشد سبک مناسب است و در سایر راه‌های با ترافیک متوسط و زیاد می‌توان از آن به عنوان یک پوشش موقت استفاده کرد.

همچنین از آسفالت سطحی تک لایه‌ای، می‌توان پس از عملیات آب‌بندی ترک‌ها استفاده کرد. آسفالت سطحی برای مقابله با نیروهای ساینده ناشی از آمدوشد به کار می‌رود. محدودیت‌هایی که در رابطه با استفاده از این نوع آسفالت سطحی مطرح می‌شود، عبارت‌اند از (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹):

- عدم امکان اجرا در هوای سرد

معمولاً آسفالت سطحی تک لایه‌ای پس از اجرا در حدود یک ماه شرایط هوایی گرم نیاز دارد تا ذرات مصالح سنگی به طور مناسبی قرار گرفته و کاملاً در غشای قیری فرو روند.

- احتمال خسارت ناشی از پرتاب مصالح سنگی کنده شده که در غشای قیری فرو نرفته‌اند
- احتمال کاهش پوشش مصالح سنگی

ب: آسفالت سطحی چندلایه‌ای

آسفالت‌های سطحی چندلایه‌ای از اجرای دو یا چندلایه آسفالت سطحی تک لایه‌ای حاصل می‌شود. این نوع آسفالت‌ها اگر به نحو مناسبی طراحی و اجرا شوند، عمر بهره‌برداری آن‌ها در حدود سه برابر آسفالت سطحی تک لایه‌ای است. در ضمن هزینه آن حدود ۱/۵ برابر آسفالت سطحی تک لایه‌ای است. در آسفالت‌های سطحی چندلایه‌ای به دلیل اینکه اندازه مصالح سنگی لایه دوم کوچک‌تر می‌باشند، احتمال کنده شدن ذرات مصالح سنگی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. ضخامت آسفالت‌های سطحی چندلایه‌ای را، بزرگ‌ترین اندازه مصالح سنگی در اولین لایه، تعیین می‌کند. در این گونه آسفالت‌ها، لایه دوم برای پر کردن فضای خالی بین مصالح سنگی لایه اول به کار می‌رود. میزان پرشدگی فضای خالی بین مصالح سنگی لایه اول، بافت آسفالت سطحی و کیفیت رانندگی را تعیین می‌نماید.

یکی از انواع آسفالت سطحی چندلایه‌ای، استفاده از دوغاب آب‌بندی بر روی آسفالت سطحی جدید اجرا شده است. با تغییر میزان آمدوشد می‌توان با افزایش ضخامت آسفالت‌های سطحی از طریق اجرای تعداد بیشتر لایه‌ها، روسازی خوب و بادوامی ایجاد نمود (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

۳-۴-۵- اندود آب‌بندی با ماسه

اندود آب‌بندی با ماسه به امولسیون قیری پاشیده شده که متعاقباً با مصالح سنگی ریزدانه نظیر ماسه تمیز یا سرنده شده به ضخامت کم پوشش گردیده گفته می‌شود. گرچه اجرای اندود آب‌بندی با ماسه عمل ساده‌ای است لیکن می‌تواند در ترمیم عیوب سطح روسازی مفید باشد. برای اجرای اندود آب‌بندی با ماسه، ابتدا امولسیون قیری بر سطح روسازی پاشیده می‌شود. بدین منظور معمولاً قیرهای امولسیون گروه MS-1, CRS-1, RS-1 یا HFMS-1 به میزان ۰/۶۸ تا ۰/۹ لیتر در مترمربع مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس حدود ۵/۵ تا ۸ کیلوگرم بر

مترمربع پوششی از ماسه تمیز یا سرنده شده بر روی امولسیون قیری ریخته می‌شود. اندود آب‌بندی با ماسه برای تأمین اهداف زیر به کار می‌رود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱):

الف: احیای سطح خشک هوازده و اکسیدشده

اندود آب‌بندی با ماسه، از کنده شدن مصالح سنگی از سطوح قدیمی در اثر سایش ناشی از آمدوشد جلوگیری خواهد کرد.

ب: جلوگیری از نفوذ رطوبت و هوا

هنگامی که سطح روسازی موجود، شروع به ترک خوردن می‌نماید، رطوبت و هوا به داخل لایه‌های زیرین نفوذ می‌کند و موجب کاهش تحمل باربری آن می‌شود. اجرای اندود آب‌بندی با ماسه، مانع نفوذ این عوامل می‌شود.

ج: ایجاد بافت سطحی مقاوم در مقابل لغزش

با انتخاب مصالح سنگی ریزدانه و تیز گوشه و زاویه‌دار، سطحی زبر با مقاومت لغزشی زیاد ایجاد می‌شود. ماسه همچنین می‌تواند موجب جذب لکه‌های قیر اضافی که در سطح روسازی ظاهر شده، شود.

۳-۴-۶- دوغاب آب‌بندی (اسلاری سیل)

دوغاب آب‌بندی، مخلوطی از مصالح سنگی ریزدانه با دانه‌بندی خوب (در صورت لزوم فیلر معدنی)، امولسیون قیری و آب است که به‌عنوان آسفالت حفاظتی استفاده می‌شود. دوغاب آب‌بندی در تعمیر و نگهداری روسازی آسفالتی نیز به کار می‌رود ولی نمی‌تواند باعث افزایش مقاومت سازه‌ای آن شود.

به‌کارگیری دوغاب آب‌بندی در سطح روسازی‌های کهنه می‌تواند بسیار مؤثر واقع شود، زیرا این عمل باعث آب‌بندی ترک‌های سطحی، جلوگیری از جدا شدن سنگ‌دانه‌ها در مخلوط آسفالتی، سالم ماندن ساختار جاده، غیرقابل نفوذ شدن سطح جاده در برابر آب و اکسیژن و بهبود مقاومت در مقابل لغزش می‌گردد. استفاده از دوغاب آب‌بندی به کاهش خرابی سطح راه ناشی از اکسید شدن قیر و شکننده شدن مخلوط آسفالتی کمک می‌کند. برخی از مزایای دوغاب آب‌بندی عبارت‌اند از (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹):

- کاربرد سریع
- محافظ پوشش مصالح سنگی
- فراهم کردن بافت سطحی پیوسته
- اصلاح معایب جزئی سطح راه

در بسیاری از موارد به علت هزینه نسبتاً کم دوغاب آب‌بندی، تأمین مصالح سنگی از مسافت‌های دور برای منظورهای خاصی از قبیل مقاومت زیاد در مقابل لغزش مقرون‌به‌صرفه است. دوغاب آب‌بندی معمولاً در ضخامت‌های ۳ تا ۶ میلی‌متر اجرا می‌شود.

۳-۴-۷- مخلوط‌های آسفالتی نازک امولسیون (میکروسرفسینگ)

۳-۴-۷-۱- کلیات

مخلوط‌های آسفالتی نازک امولسیون از سال ۱۹۸۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا به‌منظور بهسازی سطح و افزایش عمر مفید روسازی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مخلوط‌های آسفالتی نازک امولسیون، مخلوطی از امولسیون قیری اصلاح‌شده با پلیمر، مصالح سنگی صد در صد شکسته، فیلر معدنی، آب و در صورت لزوم ماده مضاف است. این مخلوط درواقع نوعی دوغاب آب‌بندی است که با قیر اصلاح‌شده پلیمری و اغلب مصالح باکیفیت بهتر تهیه می‌شود. برخلاف دوغاب آب‌بندی که فقط به ضخامت ۱/۵ برابر بزرگ‌ترین اندازه دانه مصالح سنگی در مخلوط اجرا می‌شود، مخلوط‌های آسفالت نازک امولسیون را می‌توان در لایه‌های نسبتاً ضخیم‌تری اجرا نمود. عملکرد مخلوط‌های آسفالت نازک امولسیون به عوامل زیادی از قبیل شرایط آب و هوایی، حجم آمدوشد، وضعیت روسازی موجود، کیفیت مصالح، روش طرح اختلاط و نحوه اجرا بستگی دارد. معمول‌ترین کاربردهای این مخلوط‌ها تأمین بافت سطحی زبر و پر کردن شیارهای چرخ در روسازی‌های آسفالتی است. سایر کاربردهای آسفالت‌های نازک امولسیون عبارت‌اند از:

- اصلاح قیر زدگی و شن زدگی
- تسطیح و تراز نمودن لایه
- آب‌بندی و پر کردن ترک‌ها
- پر کردن خلل و فرج سطح روسازی
- مرمت چاله‌های کوچک و کم‌عمق

آسفالت نازک امولسیونی در قشرهای نازک ۹/۵ تا ۱۲/۵ میلی‌متری اجرامی شوند و اگر به نحو مناسبی طراحی و اجرا گردند، برای مدت ۴ تا ۷ سال عملکرد خوبی خواهند داشت.

به‌کارگیری مصالح باکیفیت خوب در طرح اختلاط، نقش مهمی در عملکرد مناسب مخلوط‌های نازک امولسیونی دارند. گرچه مصالح باکیفیت خوب به‌تنهایی نمی‌تواند مخلوط مطلوبی را به دست دهد، زیرا مصالح باکیفیت خوب ممکن است هنگامی که باهم مخلوط می‌شوند، ناسازگار باشند. به این دلیل در ارزیابی آسفالت نازک امولسیونی انجام آزمایش بر روی مخلوط ضروری است. این آزمایش‌ها به‌منظور تعیین ویژگی‌های مخلوط کردن و کاربرد اجزا و تعیین درصد قیر بهینه انجام می‌شوند. از آنجاکه آسفالت نازک امولسیونی مخلوطی از مصالح مختلف است، هر تغییر در یک جزء ممکن است عملکرد کل مخلوط را تغییر دهد. بر این اساس نمونه‌های آزمایشی با درصد‌های مختلف امولسیون قیری، آب، فیلر معدنی و در صورت لزوم مواد مضاف به‌منظور تعیین اثرات هر جزء در خصوصیات مخلوط کردن، شکست و گیرش نمونه‌ها تهیه و بر روی آن‌ها آزمایش‌های تجربی انجام می‌شود انجام آزمایش‌های چسبندگی، چرخ بارگذاری شده، ساییدگی در شرایط مرطوب و مارشال جهت ارزیابی مخلوط‌های آسفالت نازک امولسیونی توصیه شده است. با این آزمایش‌ها سازگاری امولسیون قیری و مصالح سنگی، نیاز به فیلر یا ماده مضاف و میزان آبی که مخلوط یکنواختی را به دست دهد، تعیین می‌شود.

۳-۴-۷-۲- آماده نمودن سطح راه

قبل از اجرای آسفالت نازک امولسیون، همه درزها و ترک‌های سطح روسازی ۶/۳۵ میلی‌متر یا بیشتر باید تعمیر و آب‌بندی شوند. بهتر است که این عمل ۱ تا ۶ ماه قبل از اجرای آسفالت نازک امولسیونی انجام شود. اگر سطح روسازی بسیار خشک (به واسطه کمبود قیر) باشد، قبل از اجرای آسفالت نازک امولسیونی به اندود سطحی نیاز است. در صورت نیاز به اندود سطحی، امولسیون قیری رقیق‌شده به نسبت یک قسمت امولسیون قیری و یک تا سه قسمت آب استفاده و به میزان ۰/۱۶ تا ۰/۳۲ لیتر در مترمربع پخش شود. اندود سطحی معمولاً باید ۰/۵ تا ۲ ساعت قبل از اجرای آسفالت نازک امولسیونی پخش شود تا فرصت کافی برای عمل آمدن داشته باشد.

در صورت اجرای آسفالت نازک امولسیونی در هوای گرم، سطح روسازی باید مرطوب گردد تا از شکست زودهنگام امولسیون قیری جلوگیری شده و پیوند بهتری با سطح موجود روسازی حاصل شود.

۳-۴-۷-۳- اجرای آسفالت نازک امولسیونی

برای اجرای آسفالت نازک امولسیونی در راه‌های با حجم آموشد زیاد از ماشین مخصوصی که عمل اختلاط و پخش را به‌طور پیوسته انجام می‌دهد، استفاده می‌شود. این ماشین دارای مخازن جداگانه مصالح سنگی، فیلر معدنی، ماده مضاف، آب و امولسیون قیری می‌باشد. این ماشین‌ها مجهز به سیستم‌های کنترل وزنی یا حجمی می‌باشند. معمولاً امولسیون قیری، مصالح سنگی و فیلر با مقادیر تعیین‌شده، قبل از پخش مخلوط می‌گردند، درحالی‌که میزان آب و مواد مضاف لازم با توجه به حصول روانی و غلظت، کنترل مخلوط کردن و زمان شکست تغییر داده می‌شوند. از آنجاکه در هنگام اجرا، غلظت و انسجام مخلوط متأثر از رطوبت مصالح سنگی، رطوبت و دمای محیط و میزان جذب آب سطح راه است لذا میزان آب را می‌توان حدود ± 2 درصد نسبت به میزان آب بهینه طراحی تغییر داد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

این ماشین‌ها قادرند مخلوط یکنواختی را تأمین نمایند. مصالح حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه در مخلوط‌کنی که با سرعت حدود ۳۰ دور می‌چرخد، مخلوط می‌شوند. مدت‌زمان مخلوط کردن به ویژگی‌های مصالح سنگی، آب و امولسیون قیری بستگی دارد. اگر زمان مخلوط کردن زیاد باشد باعث لخت شدگی مصالح سنگی می‌شود. دقیقاً قبل از وارد شدن مصالح سنگی به مخلوط‌کن، فیلر معدنی به آن اضافه می‌شود. آب و مواد مضاف باهم مخلوط می‌شوند و هم‌زمان با مصالح سنگی به داخل مخلوط‌کن ریخته می‌شوند. معمولاً این اجزا در طول مخلوط‌کن باهم مخلوط می‌شوند، سپس امولسیون قیری اضافه می‌شود.

آسفالت‌های نازک امولسیونی معمولاً در ضخامت‌های ۶/۵ تا ۹/۵ میلی‌متر اجرا می‌شوند. هدف اساسی، اجرای آسفالت در ضخامت‌های کمی بیش از حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی مصرفی در مخلوط می‌باشد. وقتی که سطح راه موجود شن زده شده باشد، مصالح بیشتری برای پر کردن فضاهای خالی سطح لازم است. برای سطوح روسازی هموار، اجرای یک‌لایه آسفالت نازک امولسیونی برای دستیابی به اهداف موردنظر کافی است. در صورتی که

سطح روسازی ناهموار باشد یا شیار افتادگی‌های جای چرخ، عمقی در حدود $6/5$ تا $12/5$ میلی‌متر داشته باشند، اجرای دولایه آسفالت نازک امولسیون‌ی لازم می‌باشد. در این حالت لایه اول به منظور اصلاح ناهمواری سطح و لایه دوم برای تأمین بافت زبر است.

میزان مصرف مخلوط آسفالت نازک امولسیون‌ی برای تأمین بافت سطحی زبر و آب‌بند درراه‌های با حجم آمدوشد زیاد از ۸ تا ۱۹ کیلوگرم در مترمربع (بسته به وزن واحد حجم مصالح سنگی، وضعیت روسازی و میانگین ضخامت آسفالت) تغییر می‌کند.

در مواقعی که وضعیت سطح روسازی، ایجاد یک‌لایه آسفالت نازک امولسیون‌ی را ایجاب می‌نماید، عموماً ۸ تا ۱۶ کیلوگرم در مترمربع مخلوط آسفالتی برای ضخامت $6/5$ تا $12/5$ میلی‌متر استفاده می‌شود. برای اجرای لایه اول آسفالت نازک امولسیون‌ی بر روی سطح ناهموار روسازی و شیار افتاده (با عمق شیار بیش از $6/5$ میلی‌متر) میزان مخلوط بستگی به وضعیت ناهمواری‌ها و عمق شیار دارد.

۳-۴-۷- محدودیت‌های فصلی و کنترل آمدوشد وسایل نقلیه

مخلوط آسفالت نازک امولسیون‌ی هنگامی که دمای هوا یا سطح روسازی کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد است یا احتمال باران و یا افت دمای محیط تا زیر صفر درجه سانتی‌گراد در حدود ۲۴ ساعت پس از اجرا وجود داشته باشد، نباید اجرا شود. اگر آسفالت نازک امولسیون‌ی در هوای سرد اجرا گردد، ممکن است سطح راه، شن زده‌شده و ترک بخورد. هنگام اجرای آسفالت نازک امولسیون‌ی، کنترل آمدوشد وسایل نقلیه همانند انواع دیگر روسازی‌ها مهم است. آسفالت‌های نازک امولسیون‌ی به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که روسازی بتواند آمدوشد را یک ساعت بعد از اجرا تحمل نماید. به این منظور، امولسیون قیری باید شکسته شود، مخلوط باید مقاومت برشی لازم را به دست آورده و با لایه‌های زیرین روسازی پیوند خوبی داشته باشد. طراحی خوب و عمل‌آوری سریع آسفالت نازک امولسیون‌ی موجب می‌گردد که بتوان بدون هیچ‌گونه آسیب‌دیدگی ناشی از شیارافتادگی یا شن زدگی حدود یک ساعت بعد از اجرا، جریان آمدوشد وسایط نقلیه را برقرار نمود. چنانچه راه در محل‌های دور زدن و تقاطع‌ها یک ساعت بعد از اجرا بر روی عبور وسایط نقلیه باز شود، امکان پارگی آسفالت نازک امولسیون‌ی وجود دارد. در این نواحی باید از مخلوط‌های نسبتاً خشک استفاده نمود (پخش ماسه ریز بر روی سطح راه) (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۲).

۳-۴-۸- اندود سطحی (تک کت)

اندود سطحی، پخش یک‌لایه بسیار نازک امولسیون قیری رقیق‌شده، روی سطح آسفالتی یا بتنی است، این لایه به‌منظور ایجاد چسبندگی بین سطح مذکور و لایه جدید آسفالتی استفاده می‌شود. برای اجرای اکثر روکش‌ها نیاز به کاربرد اندود سطحی است تا چسبندگی کافی بین دو لایه ایجاد شود. امولسیون قیری رقیق‌شده CSS-1h و CSS-1,SS-1h,SS-1 متداول‌ترین انواع امولسیون قیری برای اندود سطحی می‌باشند. به این منظور امولسیون با مقدار آب هم‌حجم خود رقیق می‌شود. برای جلوگیری از شکست زود هنگام امولسیون، همیشه آب به

امولسیون (نه امولسیون به آب) اضافه می‌شود. در صورت امکان، آب گرم به‌آرامی به امولسیون اضافه می‌گردد. در ابتدا جهت اطمینان از سازگاری آب مصرفی با امولسیون قیری، آزمایش رقیق شدن انجام می‌شود. اندود سطحی با امولسیون قیری رقیق‌شده به میزان ۰/۲۵ تا ۰/۷۰ لیتر در مترمربع اجرا می‌گردد. اندود سطحی تنها برای سطوحی که طی عملیات همان روز پوشش داده خواهد شد، به کار می‌رود. اندود سطحی نباید در آب‌وهوای مرطوب یا سرد اجرا شود. بهترین نتایج هنگامی که سطح راه خشک و دمای سطح روسازی بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و احتمال بارندگی وجود ندارد، حاصل می‌شود (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

هدف از اجرای اندود سطحی، ایجاد پوشش خیلی نازک و یکنواخت از قیر بر روی سطح، پس از شکست امولسیون قیری است. استفاده بیش‌ازحد مقرر اندود سطحی ممکن است صفحه لغزنده‌ای بین دولایه روسازی به وجود آورد، به‌طوری‌که قیر به‌جای چسباننده به‌عنوان کاهنده اصطکاک دولایه عمل نماید. در این حالت ممکن است لکه‌های قیری یا قیر زدگی بر روی سطح روسازی جدید به وجود آید که موجب بدناما و لغزنده شدن خطرناک روسازی خواهد شد.

بعد از پخش اندود سطحی باید زمان کافی برای شکست کامل امولسیون قیری، قبل از اجرای روکش منظور گردد و از عبور وسایط نقلیه از نواحی اندود شده جلوگیری شود. اگر امکان جلوگیری از عبور وسایط نقلیه وجود نداشته باشد، سرعت وسیله نقلیه عبوری باید کمتر از ۳۲ کیلومتر در ساعت باشد. سطح تازه اندود شده برای رانندگی ایمن در سرعت‌های بالا به‌خصوص قبل از شکست امولسیون قیری، بیش‌ازحد لغزنده است. همچنین اندود سطحی، بخش اساسی از اجرای عملیات لکه‌گیری است.

ابتدا سطحی که باید لکه‌گیری شود کاملاً تمیز شده و همه مصالح کنده‌شده آن برداشته می‌شود. سپس اندود سطحی نسبتاً غلیظ از امولسیون قیری روی کل سطح از جمله دیواره‌های قائم پاشیده یا مالیده می‌شود. اندود به چسبانیدن و نگه‌داشتن لکه‌گیری در محل خود کمک می‌کند و بین لکه‌گیری و روسازی اطراف آب‌بندی ایجاد می‌نماید (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

۳-۴-۹- اندود آب‌بندی بدون سنگ‌دانه (فاگ سیل)

اندود آب‌بندی و پوشش سطح رویه آسفالتی همانند اندود سطحی، شامل پخش قشر نازک از امولسیون قیری دیر شکن رقیق‌شده با آب بر روی سطح آسفالتی موجود است. بدین منظور امولسیون قیری را می‌توان با نسبت‌های مختلف با آب رقیق کرد.

حداکثر میزان رقیق کردن، بکار بردن یک قسمت امولسیون قیری و پنج قسمت آب است. لیکن در اکثر مواقع امولسیون قیری رقیق‌شده با آب به نسبت یک‌به‌یک مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً امولسیون‌های قیری CSS-1، SS-1h، SS-1 یا CSS-1h برای این منظور استفاده می‌شود. کاربرد اندود آب‌بندی بدون سنگ‌دانه می‌تواند در نگهداری سطح راه مؤثر باشد. این نوع اندود آب‌بندی برای احیای سطوح آسفالتی قدیمی که به‌مرور زمان

خشک و شکننده شده‌اند و همچنین برای پر کردن ترک‌های کوچک و منافذ سطحی به کار می‌رود. امولسیون قیری رقیق شده با کند روانی نسبتاً کم به راحتی داخل ترک‌ها و منافذ سطحی نفوذ می‌کند همچنین ذرات مصالح سنگی روی سطح رویه آسفالتی را پوشش می‌دهد. این عمل عمر رویه را افزایش داده و ممکن است زمان لازم برای تعمیر و نگهداری اساسی یا بازسازی را به تعویق اندازد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

مقدار اندود آب‌بندی مورد استفاده به طور معمول ۰/۴۵ تا ۰/۷ لیتر بر مترمربع است که میزان دقیق آن با توجه به بافت سطحی، خشکی و میزان ترک‌های سطح روسازی تعیین می‌شود. از مصرف بیش از اندازه اندود آب‌بندی باید اجتناب گردد، زیرا موجب کندن شدن قیر توسط وسایل نقلیه و احتمالاً لغزندگی سطح راه می‌شود. اگر امولسیون قیری اضافی به کار رود با پاشیدن ماسه ریز بر روی سطح می‌توان مشکل قیر زدگی را برطرف نمود. محدودیت‌های آمدوشد یادشده برای اندود سطحی باید برای اندود آب‌بندی رویه آسفالتی موجود نیز به کار گرفته شود.

۳-۴-۱۰- اندود پرکننده ترک‌ها

آب‌بندی و پر کردن ترک‌های سطح روسازی، وقت زیادی را در فرآیند تعمیر و نگهداری راه به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به وضعیت و اندازه ترک‌ها، تعمیر و نگهداری آن‌ها را می‌توان به عنوان اقدامی ترمیمی یا پیش‌گیرنده تلقی نمود. روش آب‌بندی و پر کردن ترک در هر دو مورد یکسان است. ترک‌های سطح راه ممکن است اشکال مختلفی داشته باشند، از جمله می‌توان به ترک‌های موئی یا ترک‌های بزرگ با عرض تا حدود ۲۵ میلی‌متر اشاره کرد. ترک‌های بزرگ یا نواحی با ترک‌های زیاد را همیشه نمی‌توان با پر کردن اصلاح و ترمیم نمود. در این حالت اغلب لازم است مصالح ترک‌خورده به طور کامل برداشته شده و با مخلوط آسفالتی لکه‌گیری برای تمام ضخامت لایه اصلاح شود. همچنین ترک‌هایی که به علت شرایط نامناسب لایه‌های زیرین پدید آمده‌اند را نمی‌توان با آب‌بندی و پر کردن اصلاح نمود. در این موارد ابتدا باید عیوب لایه‌های زیرین روسازی مرتفع گردند (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

نگهداری خوب راه، مستلزم آب‌بندی ترک‌ها به محض پیدایش و نمایان شدن آن‌ها است. آب‌بندی و پر کردن ترک‌ها در اولین مراحل ظهور آن‌ها، مسائل و مشکلات آتی را برطرف می‌نماید. در مواردی که بازشدگی عرض ترک به طور مستمر ادامه دارد آب‌بندی و پر کردن آن نیز تا توقف گسترش ترک ادامه می‌یابد. قصور در آب‌بندی و پر کردن به موقع ترک‌ها، موجب آسیب دیدگی بیشتر روسازی، ناشی از دوره‌های یخبندان - ذوب یخ یا تضعیف بستر در اثر نفوذ آب خواهد شد.

ترک‌های طولی، انعکاسی، انقباض و عرضی را می‌توان با امولسیون قیری تعمیر نمود. آب‌بندی ترک‌ها با امولسیون قیری آسان و کم‌خرج است. این عمل تعمیرات اساسی را به تعویق می‌اندازد و ممکن است حتی موجب عدم نیاز به تعمیرات اساسی شود.

قبل از پر کردن ترک‌ها، آن‌ها را باید به شرح زیر تمیز کرد:

- استفاده از هوای فشرده برای خارج کردن مصالح لق و سست داخل ترک‌ها
- خارج کردن سایر مصالح و موارد خارجی از داخل ترک (که با فشار هوا بیرون نیامده‌اند)
- جاروب کردن منطقه ترک‌خورده

پس از تمیز کردن، شرایط برای آب‌بندی و پر کردن ترک‌ها آماده است. آب‌بندی مؤثر ترک‌های کوچک (با عرض ترک کمتر از ۳ میلی‌متر) دشوار است. برای ترک‌های بزرگ ابتدا داخل ترک با دوغاب یا مخلوط امولسیون قیری و ماسه تا عمق ۳ تا ۶ میلی‌متری سطح راه با فشار پر می‌گردد. پس از عمل آمدن کامل امولسیون قیری، عملیات آب‌بندی با پر کردن سطح ترک‌خورده با امولسیون قیری تکمیل می‌شود. آنگاه به‌منظور جلوگیری از کنده شدن امولسیون قیری در اثر عبور وسایل نقلیه، پودر ماسه خشک بر روی سطح راه پاشیده می‌شود.

از امولسیون‌های قیری CSS-1,SS-1h,SS-1 یا CSS-1h برای پر کردن ترک‌ها می‌توان استفاده کرد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

۳-۴-۱۱- اندود نفوذی

پخش قیر با کند روانی کم در سطح شنی راه (بستری روسازی راه زیراساس و اساس) برای اجرای لایه آسفالتی بر روی آن، اندود نفوذی نامیده می‌شود. اندود نفوذی به‌منظور انجام وظایف زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- پوشش و پیوند ذرات مصالح سنگی سطح شنی راه
- سخت و سفت کردن سطحی شنی راه
- نفوذناپذیر کردن سطح شنی راه در برابر آب
- مسدود نمودن فضاهای خالی موئی
- ایجاد چسبندگی بین لایه اساس و لایه آسفالتی بعدی

برای انجام رضایت‌بخش وظایف، اندود نفوذی باید به داخل لایه اساس یا زیراساس نفوذ نماید. هنگامی که لایه اساس دانه‌ای، مستقیماً در معرض نیروهای ساینده ناشی از آمدوشد قرار دارد، یا اجرای آن در مدتی طولانی به‌ویژه ماه‌های زمستان انجام می‌شود، اندود نفوذی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در گذشته، قیرهای محلول برای اندودهای نفوذی به‌کاررفته‌اند. کاربرد امولسیون قیری برای اندود نفوذی مستلزم شرایط خاص و رعایت موارد احتیاطی ویژه‌ای است. مقدار امولسیون قیری مصرفی برای اندود نفوذی بستگی به ویژگی‌های سطوح شنی و شرایط آب و هوایی دارد، ضمن آنکه دانه‌بندی مصالح سنگی، اندازه فضاهای خالی و در صد جذب قیر مصالح سنگی نیز بر آن تأثیر عمده می‌گذارند. اجرای اندود نفوذی با امولسیون قیری، محدود به سطوحی است که دارای فضای خالی زیاد، مصالحی با دانه‌بندی یکنواخت و یک اندازه مانند ماکادام و یا به‌طور کلی قابل نفوذ باشد. یک روش استفاده از امولسیون قیری برای اندود نفوذی، در شرایطی به‌غیر از آنچه

توضیح داده شد، تراشیدن سطحی شنی راه (حدود ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر) و مخلوط کردن آن در محل با امولسیون قیری است. بدین منظور معمولاً برای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مقدار ۰/۴۵ تا ۱/۳۵ لیتر بر مترمربع امولسیون‌های قیری از نوع CSS-1, CSS-1h, SS-1 یا CSS-1h مورد استفاده قرار می‌گیرد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹) (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱).

۳-۴-۱۲- مخلوط‌های تعمیراتی و نگهداری

یکی از وقت‌گیرترین عملیات نگهداری راه، تعمیر چاله‌ها و نواحی ضعیفی است که در سطح روسازی گسترش یافته‌اند. استفاده از مخلوط‌های آسفالتی گرم با کیفیت بالا برای لکه‌گیری علیرغم هزینه بیشتر، نتایج بهتری به دست می‌دهد؛ اما مانع جدی این است که در برخی از فصول سال به دلیل بارندگی و مرطوب بودن مصالح و سطح راه استفاده از مخلوط‌های آسفالتی گرم میسر نیست. علاوه بر این با پیشرفت عملیات لکه‌گیری با مخلوط آسفالتی گرم در طی یک روزه علت کاهش دمای مخلوط، قابلیت تراکم‌پذیری آن و چسبندگی مصالح سنگی کاهش می‌یابد.

مخلوط‌های تعمیراتی از نظر کاربرد به دودسته تقسیم می‌شوند:

- برای مصرف فوری
- برای مصرف مدت‌دار (تا شش ماه)

۳-۴-۱۳- مخلوط‌های تعمیراتی در مصارف فوری

برای تهیه مخلوط‌های تعمیراتی در مصارف فوری، مخلوط مصالح سنگی و امولسیون قیری در مخلوط‌کن، مخلوط و برای استفاده به محل حمل می‌شود. اگر مقادیر کمی از مخلوط لکه‌گیری مورد نیاز باشد، مصالح سنگی و امولسیون قیری را می‌توان در محل کار با روش دستی مخلوط نمود (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

امولسیون‌های قیری که برای این منظور استفاده می‌شوند از نوع CMS-2h, CMS-2, HFMS-2s می‌باشند. امولسیون‌های قیری حاوی مقادیر اندک حلال نفتی، بهترین مخلوط تعمیراتی را تولید می‌کنند، گرچه این گونه مخلوط‌ها تا تبخیر حلال، مقاومت کامل را به دست نمی‌آورند. مخلوط‌های لکه‌گیری با امولسیون قیری رقیق شده نباید تهیه شود، زیرا عبور وسایل نقلیه را از روی این مخلوط‌ها به تعویق می‌اندازد (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹).

۳-۴-۱۴- مخلوط‌های تعمیراتی برای مصارف مدت‌دار

مخلوط‌های تعمیراتی مورد استفاده در طول ماه‌های سرد سال از مخازن ذخیره گرفته می‌شوند. به‌طور معمول این مخلوط‌ها در اواخر تابستان تهیه و به مقادیر مورد نیاز در محل مناسب ذخیره گذاشته می‌شوند. این مخلوط‌ها بدون نیاز به حرارت دادن تا شش ماه کارایی خوبی برای مصرف خواهند داشت. معمولاً پوسته نازکی بر روی سطح

مخزن تشکیل می‌شود که می‌توان هنگام مصرف آن را با بیل شکست. در زیر این پوسته، مخلوط، خصوصیات مخلوط تازه را دارد. تهیه مخلوط‌های تعمیراتی مدت‌دار، عملیات نسبتاً ساده‌ای است. وسایل اساسی لازم برای مخلوط کردن مقادیر زیاد شامل انواع مخلوط‌کن‌های ثابت و سیار و سیستم اندازه‌گیری صحیح برای اختلاط مقادیر مصالح سنگی و امولسیون قیری و نیز کارخانه آسفالت است. ممکن است سیستم اندازه‌گیری حجمی و یا وزنی باشد. مصالح سنگی مصرفی در این‌گونه مخلوط‌ها باید تمامی خصوصیات لازم را دارا باشند. امولسیون‌های قیری کند شکن در تهیه این مخلوط‌ها استفاده می‌شود که مقدار آن معمولاً بین ۵ تا ۱۰ درصد وزن کل مخلوط آسفالتی است. عمر مخلوط به فرمولاسیون امولسیون قیری مصرفی و خصوصیات مصالح سنگی بستگی دارد. به‌منظور افزایش کارایی مخلوط از امولسیون قیری حاوی مقداری حلال نفتی استفاده می‌شود. عمر و کارایی مخلوط‌های تعمیراتی مدت‌دار در دماهای پایین، نسبت مستقیمی با میزان حلال نفتی دارد. برای تهیه مقادیر زیادی از این‌گونه مخلوط‌ها، از مخلوط‌کن و سیستم اندازه‌گیری دقیق مقادیر مصالح سنگی و امولسیون قیری و یا کارخانه آسفالت استفاده می‌شود. مخلوط تهیه‌شده باید در محیط تمیز که امکان آلوده شدن نباشد، ذخیره گردد. سیلوی ذخیره‌سازی باید سرپوشیده باشد تا از مخلوط محافظت کرده و به حفظ کارایی آن کمک کند. گرچه استفاده از حلال‌های نفتی در امولسیون قیری با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در انرژی هم سو نیست، اما بهبود کارایی و عمر بیشتر مخلوط تعمیراتی، ممکن است افزودن حلال نفتی را توجیه نماید. در این مخلوط‌ها میزان حلال نفتی اضافه‌شده، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقدار لازم برای مخلوط‌های تعمیراتی با قیرهای محلول است. انتخاب دقیق و مناسب مصالح، نسبت‌های اختلاط و مخلوط کردن، مخلوط تعمیراتی باکیفیت بالا و اقتصادی را نتیجه می‌دهد. در صورت اجرای خوب، این مخلوط‌ها می‌توانند در مقابل عوامل مخرب ناشی از آب‌وهوا و آلوده‌شد، مقاوم باشند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱).

۳-۵- آسفالت‌های حاوی پودر لاستیک

لاستیک‌های فرسوده خودروها در سال‌های اخیر به یک معضل زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. بازیافت لاستیک‌های فرسوده و استفاده مجدد از آن‌ها مستلزم صرف هزینه زیاد بوده و کیفیت محصول بازیافتی نیز در سطح قابل قبول نیست. لذا طی دو دهه اخیر یکی از مصارف عمده لاستیک‌های فرسوده استفاده از آن‌ها در روسازی‌های آسفالتی معابر بوده است. لاستیک فرسوده عمدتاً به‌صورت خردشده در مخلوط‌های آسفالتی اضافه می‌شوند. فرآیند افزودن پودر لاستیک به مخلوط آسفالتی به دو صورت خشک و تر انجام می‌شود. در روش خشک پودر لاستیک با مصالح سنگ‌دانه‌ای مخلوط می‌شود و سپس قیر به آن‌ها اضافه‌شده و مخلوط آسفالتی حاوی پودر لاستیک تولید می‌شود.

در روش تر ابتدا قیر با افزوده شدن پودر لاستیک اصلاح می‌شود. روش تولید قیر اصلاح‌شده با پودر لاستیک معمولاً به این صورت است که قیر و پودر لاستیک در دمای بالاتر از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک تا چند ساعت باهم آمیخته می‌شوند. وجود پودر لاستیک در قیر خواص قیر راه‌سازی را بهبود می‌دهد و باعث افزایش

مقاومت قیر و به دنبال آن مخلوط آسفالتی در برابر شیار شدگی، ترک‌های خستگی و ترک‌های برودتی می‌شود. افزودن پودر لاستیک، خواص جذب انرژی مخلوط‌های آسفالتی را به شدت بهبود بخشیده و عملکرد مخلوط آسفالتی را در هر سه محدوده دمایی بالا، متوسط و پایین بهبود می‌دهد. درصد مطلوب افزودن پودر لاستیک به قیر در تحقیقات مختلف حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی قیر معرفی شده است (دیباپی، ۱۳۹۱).

در استفاده از پودر لاستیک شرایط اختلاط و اصلاح قیر با استفاده از پودر لاستیک در کیفیت محصول نهایی نقش تعیین کننده و اساسی دارد، لذا طراحی و کنترل فرآیند اصلاح قیر همواره مورد توجه محققان و تولیدکنندگان قیرهای لاستیکی بوده است.

استفاده از آسفالت‌های پودر لاستیکی در صورت طراحی و اجرای درست می‌تواند عمر روسازی را به میزان زیادی افزایش و هزینه‌های چرخه عمر آسفالت را کاهش دهد.

۳-۶- مخلوط آسفالتی با استخوان‌بندی دانه‌ای SMA^۱

سابقه استفاده از مخلوط آسفالتی SMA به دهه ۱۹۶۰ میلادی باز می‌شود. در آن زمان محققان آلمانی برای مقابله با تخریب روسازی ناشی از به کارگیری لاستیک‌های دارای میخ‌های یخ‌شکن به این نتیجه رسیدند که سنگ‌دانه‌های درشت‌تر مقاومت و دوام بیشتری در برابر حرکت لاستیک‌های یخ‌شکن دارند. بدین ترتیب ایده کاربرد مخلوط‌های SMA از آن زمان مطرح شد. مخلوط آسفالتی SMA از یک استخوان‌بندی سنگی درشت‌دانه که میانه آن‌ها با قیر و فیلر پر شده است تشکیل شده بود. این ترکیب سنگ‌دانه‌ها در واقع نوعی دانه‌بندی میان تهی^۲ بوده است. روش اجرای SMA در آن زمان، پاشیدن مخلوط قیر و فیلر به صورت گرم و سپس پخش درشت‌دانه و به دنبال آن عبور غلتک برای ایجاد تراکم مورد نظر بوده است (Blazejowski, 2011).

ترکیب و دانه‌بندی اولین مخلوط‌های SMA شامل ۷۰ درصد مصالح سنگی درشت، ۱۲ درصد فیلر، ۸ درصد قیر، و ۱۰ درصد ماسه شکسته بوده است. روسازی راه‌هایی که در دهه ۱۹۷۰ با مخلوط SMA ساخته شده بودند، علیرغم اینکه قیر مصرفی در مخلوط آن‌ها بسیار نرم بود، روسازی مقاومت خوبی در برابر شیار شدگی مسیر چرخ نشان داده و همچنین دوام این نوع مخلوط نسبت به مخلوط‌های دیگر بسیار بیشتر بود؛ بنابراین مخلوط SMA به عنوان یک مخلوط مناسب برای راه‌های با ترافیک سنگین و دوره عمر مفید زیاد شناخته شد و در دهه ۱۹۸۰ به کشورهای اسکانیدیناوی و در دهه ۱۹۹۰ به ایالات متحده آمریکا و پس از آن به استرالیا، نیوزلند و چین راه یافت (Blazejowski, 2011).

اقبال بسیار خوب به مخلوط SMA در نقاط مختلف دنیا به دلیل خصوصیات منحصر به فرد آن است، از جمله مزایای مخلوط‌های SMA می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- طول عمر مفید بیشتر نسبت به دیگر مخلوط‌های آسفالتی

1. Stone Matrix Asphalt or Stone Mastic Asphalt
2. Gap graded

- مقاومت بسیار بالا در برابر تغییر شکل
- مقاومت بیشتر در برابر ترک‌های خستگی، به علت وجود قیر بیشتر در مخلوط
- دوام خیلی خوب در برابر سایش حاصل از تردد وسایل نقلیه به سبب وجود سنگ‌دانه‌های درشت در ترکیب مخلوط
- وجود بافت درشت زبر که باعث جلوگیری از پاشش آب از زیر چرخ وسایل نقلیه عبوری در زمان بارندگی می‌شود
- کاهش آلودگی صوتی و سروصدای ناشی از عبور چرخ

۴- نتیجه‌گیری

جهت مقایسه روش‌های نوین ارائه‌شده در این گزارش، به‌طور خلاصه جدول ۴ ارائه‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هر یک از روش‌ها از مزایا و معایب مختلفی در زمینه ساخت و اجرا و همچنین تعمیر و نگهداری برخوردار هستند که باید انتخاب نوع روسازی بر اساس نوع بارگذاری عبوری، شرایط به‌کارگیری، وضعیت ترافیک منطقه مورد استفاده، امکانات پیمانکاران و بر اساس تدابیر موردنظر جهت تعمیر و نگهداری راه انجام گیرد.

همچنین با توجه به اهمیت بسیار بالای هزینه‌های اقتصادی هر روش، باید روش مناسب بر اساس الگوی تعمیر و نگهداری موردنظر و با در نظر گرفتن تحلیل هزینه چرخه عمر روسازی و با در نظر گرفتن هزینه‌های کاربران، مؤسسات متولی تعمیر و نگهداری راه و سایر هزینه‌های جاری انجام گیرد.

قطعاً به‌کارگیری هر کدام از روش‌های یادشده در محل مناسب می‌تواند سبب صرفه اقتصادی و بهبود شرایط فنی برای پروژه‌های شهرداری تهران گردد. به‌طور مثال استفاده از روسازی‌های با آسفالت نیمه گرم اگر ملاحظات فنی آن به‌درستی موردتوجه قرار گیرد، می‌تواند با صرفه‌جویی در مصرف انرژی سبب کاهش هزینه تولید شود و چون دمای مخلوط پایین‌تر از مخلوط آسفالتی گرم است می‌توان فصل کاری را افزایش داد که در نتیجه آن ظرفیت کاری مناطق مختلف افزایش خواهد یافت. توسعه استفاده از قیر امولسیون به‌عنوان اندودهای سطحی و حفاظتی و جایگزین کردن قیرهای محلول می‌تواند از نشت مقادیر زیادی حلال نفتی به سفر آب‌های زیرزمینی جلوگیری کند. آسفالت‌های سرد ساخته‌شده با قیرهای امولسیونی می‌تواند در مصارف تعمیر و نگهداری روسازی در مناطق مختلف شهرداری تهران به‌خصوص در فصول سرد سال مورد استفاده قرار گیرد. آسفالت سرد ساخته‌شده با قیر امولسیونی را می‌توان پس از زمان تولید در محل‌هایی در شهر دیو نمود و بسته به نیاز در زمان‌های مختلف از آن دیوها برداشت کرده و به ترمیم چاله‌ها و ... در سطح شهر پرداخت. استفاده از آسفالت‌های پودر لاستیکی سبب افزایش عمر روسازی شده و مقاومت آن در برابر ترک‌های خستگی و ترک‌های برودتی را افزایش می‌دهد. شهرداری تهران می‌تواند با اتخاذ سیاست‌های تشویقی مناسب، استفاده از این نوع آسفالت را با مشخصات فنی از پیش تعریف‌شده ترویج دهد و با افزایش عمر روسازی، سالیانه مبالغ صرفه‌جویی را صرفه‌جویی نماید.

جدول ۴- مقایسه روش‌های نوین روسازی معابر

روش روسازی معبر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
آسفالت نیمه گرم	- پیرشدگی کمتر قیر در فرآیند ساخت مخلوط - امکان احداث کارخانه تولید آسفالت در نزدیکی مناطق شهری به واسطه آلودگی کمتر - کارپذیری راحت به واسطه کاهش گرانبوی قیر - امکان اجرا در هوای سرد - امکان حمل در فواصل طولانی‌تر به دلیل کاهش تبادله دمایی بین مخلوط و هوا - کاهش زمان سرد شدن مخلوط و امکان خدمت‌دهی در ساعات اولیه پس از ساخت - بهبود شرایط کاری برای کارگران. - به دلیل قیمت کمتر تراشه نسبت به سنگ‌دانه‌های طبیعی، استفاده از این ماده از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است.	- کمبود داده‌های میدانی برای ارزیابی عملکرد طولانی‌مدت مخلوط‌های آسفالتی به دلیل نوظهور بودن این فن‌آوری - نامناسب بودن خواص فیزیکی و مکانیکی برخی مخلوط‌های نیمه گرم نسبت به مخلوط‌های گرم - گران بودن برخی افزودنی‌های آسفالت نیمه گرم یا هزینه‌بر بودن برخی اصلاحات در کارخانه‌ی ساخت آسفالت - نیاز به افزایش زمان اختلاط در برخی روش‌ها	- با توجه به کاهش حرارت تولید، پیرشدگی کمتری در قیر پدید می‌آید.	- شیار شدگی زودرس - افزایش پتانسیل عریان شدگی به دلیل وجود رطوبت در سنگ‌دانه‌ها یا قیر - دوام کم مخلوط در مجاورت آب - عملکرد نسبتاً ضعیف‌تر مخلوط در دماهای پایین

روش روسازی معبر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
آسفالت بازیافتی سرد	- حفظ منابع طبیعی از طریق استفاده مجدد از مصالح موجود - کاهش و جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی - صرفه‌جویی در مصرف انرژی (بنزین، گازوئیل، برق و ...) - امکان استفاده از مصالح سنگی سرد و مرطوب - امکان استفاده و اصلاح مصالح سنگی لایه‌های غیر چسبیده روسازی با دامنه خمیری زیاد - تثبیت و تقویت مصالح دانهای و غیر آسفالتی روسازی از طریق افزودن مواد قیری و یا هیدرولیکی و یا ترکیب از این دو - کاهش تردد کامیون‌های سنگین - عملیات راه‌سازی از روی محور موجود و یا از روی محور بهسازی شده به‌ویژه در فرآیند بازیافت درجا - عدم نیاز به محل تخلیه و انبار کردن مواد زائد (نخاله) - سرعت اجرای طرح - در برخی موارد عرض راه، ضخامت لایه‌های روسازی، رقوم خط پروژه و وجود مستحذات مختلف در اطراف محور موجود، محدودیت‌هایی به وجود می‌آورد که عملاً احداث راه جدید به معنای تخریب کامل راه موجود و ایجاد قشرهای جدید در محل راه قدیمی خواهد بود. در چنین شرایطی استفاده از روش بازیافت سرد درجا راه‌حل مناسبی برای فائق آمدن بر مشکلات فوق محسوب می‌شود. - تأمین عبور و مرور ترافیک در محدوده عملیات اجرایی بازیافت در راه‌هایی که کل عرض سواره‌رو و شانه‌های آن محدودیت دارد و یا گزینه استفاده از راه‌های انحرافی و انشعابی از آن مشکلاتی ایجاد می‌کند از اهمیت خاصی برخوردار است که باید در انتخاب پروژه بازیافت سرد درجا مورد توجه قرار گیرد.	- ایجاد اختلال در جریان ترافیک در حین اجرا - این روش برای روسازی‌های با ضخامت کم و ظرفیت سازه‌ای ضعیف قابل استفاده نمی‌باشد. - چنانچه روسازی قدیمی ترک‌خورده باشد و قطعات ترک‌خورده به یکدیگر نزدیک باشند یا ابعاد آن‌ها از فاصله میان ناخن‌های دستگاه بازیافت کمتر باشد امکان اینکه بتوان آن‌ها را به اندازه‌های مناسب و یکنواخت خرد کرد و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از روند خرد کردن مصالح همگن باشد، وجود ندارد. - برای بازیافت سرد، طرح‌های با مساحت کم مقرون به صرفه نیست. این طرح‌ها باید از نظر امکان سنجی و ایجاب مطالعه شود. - تغییر عرض اجرای عملیات در حین بازیافت سرد درجا عملی نمی‌باشد ضمن آنکه توصیه هم نمی‌شود زیرا با وسایل و تجهیزاتی که نوعاً در این فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد نمی‌توان تقاطع‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌ها، فواصل و سطوح کم‌وبیش کوتاه و کم‌عرض موجود در مسیر را به سهولت با روش بازیافت سرد درجا بهسازی نمود.	- تأمین اهداف بهسازی - افزایش کیفیت روسازی با حفظ رقوم پروژه و بدون افزایش ضخامت روسازی - عدم نیاز به احداث راه دسترسی و انحرافی از طریق باز نگه داشتن راه بر روی استفاده کنندگان - حذف کلیه ترک‌های انعکاسی و حرارتی روسازی - کاهش مخارج بهره‌برداری و نگهداری راه	

روش روسازی معبر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
آسفالت بازیافتی گرم	- کاهش آلودگی زیست محیط یاز منظر - کاهش تولید ضایعات و مواد زائد و عدم نیاز به محل تخلیه برای این مواد و همچنین مصرف بخش عمده‌ای مصالح سنگی و مواد قیری روسازی قدیمی در روسازی جدید و حفظ منابع طبیعی - اصلاح آسیب‌دیدگی‌های سطحی شامل قیر زدگی، پدیده جدا شدن سنگ‌دانه‌ها از رویه آسفالتی، شیار افتادگی، ناهمواری‌ها و تغییر شکل‌ها - ثابت نگه‌داشتن رقوم سطح راه و یا تغییر جزئی این رقوم و در نتیجه سازگاری با شرایط هندسی راه. - صرفه‌جویی در هزینه و انرژی و افزایش سرعت اجرای عملیات - افزایش توان سازه‌ای راه - مرمت ترک‌های انعکاسی و انقباضی با شدت متوسط - اصلاح تغییر شکل‌های طولی و عرضی شامل شیارافتادگی و موج‌های ایجادشده در جهت حرکت وسایل نقلیه، اصلاح شیب عرضی زهکشی سطحی - مرمت ترک‌های ناشی از بارگذاری و ترک‌های حرارتی با شدت خیلی کم - احیاء قیر اکسیده شده آسفالت موجود با مصرف جوان سازه‌ها بدون افزایش قیر آسفالت - مرمت ترک‌های لغزشی - اصلاح تاب لغزشی و قیر زدگی - اصلاح دانه‌بندی و افزایش کیفیت آسفالت	- ایجاد اختلال در جریان ترافیک در حین اجرا - آلودگی زیست‌محیطی ناشی از گرم کردن مصالح آسفالتی و تولید گازهای سرطان‌زا	- افزایش مقاومت روسازی بدون تغییر و یا تغییر جزئی در ضخامت روسازی - افزایش تاب لغزشی - اصلاح خواص فیزیکی و شیمیائی قیر سخت شده موجود روسازی با جوان سازه‌ها و انطباق آن با مشخصات قیر خالص و در نتیجه افزایش دوام رویه آسفالتی و بهبود تاب خستگی آن - کاهش حساسیت ناشی از یخبندان لایه‌های غیر آسفالتی روسازی - مرمت ترک‌های طولی و عرضی ناشی از بارگذاری با شدت کم - مرمت و اصلاح معایب و آسیب‌دیدگی‌های سطحی	- حذف موقت ترک‌های انعکاسی - احتمال به وجود آمدن آثار ناشی از سوختگی قیر در مرحله پیش گرم کردن و تخریب زودهنگام روسازی ناشی از این سوختگی

روش روسازی معبر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
آسفالت امولسیون	- آسفالت‌های حفاظتی که به‌طور مناسب ساخته‌شده‌اند از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه بوده و بادوام می‌باشند. - امکان اجرای آسفالت حفاظتی در هوای سرد - تطابق بیشتر با محیط زیست و آلاینده‌گی کمتر هوا	- معمولاً آسفالت سطحی تک لایه‌ای پس از اجرا در حدود یک ماه شرایط هوایی گرم نیاز دارد تا ذرات مصالح سنگی به‌طور مناسبی قرار گرفته و کاملاً در غشای قیری فرو روند - احتمال کاهش پوشش مصالح سنگی	- آسفالت حفاظتی سطح راه را آب‌بندی و عمر آن را طولانی می‌کند. - آسفالت حفاظتی اگر بجا و صحیح مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند سطحی با کیفیت قابل قبول برای راه تأمین نماید. - آسفالت سطحی مقاومت باربری را اندکی افزایش می‌دهد - در آسفالت‌های سطحی چند لایه‌ای به دلیل اینکه اندازه مصالح سنگی لایه دوم کوچک‌تر می‌باشند، احتمال کنده شدن ذرات مصالح سنگی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. - آسفالت حفاظتی در برابر سایش ناشی از آلوده‌شدن و وسایل نقلیه مقاومت کرده، پوشش نفوذناپذیری را برای لایه‌های زیرین فراهم می‌آورد.	- آسفالت حفاظتی را نمی‌توان از نقطه نظر سازه‌ای به‌عنوان سازه باربر در نظر گرفت - احتمال خسارت ناشی از پرتاب مصالح سنگی کنده‌شده از آسفالت حفاظتی تک لایه که در غشای قیری فرو رفته‌اند
آسفالت حاوی پودر لاستیک	- عملکرد بهتر نسبت به مخلوط‌های آسفالتی معمولاً در برابر شیار شدگی، خستگی و ترک‌های برودتی - استفاده مطلوب از مواد ضایعاتی	- امکان بروز مشکل و گرفتگی مجاری عبور قیر در کارخانه‌های آسفالتی - عدم وجود منابع مکتوب آیین‌نامه‌ای - عدم وجود تجربه کافی برای کنترل کیفی پخش و تراکم - هزینه اختلاط پودر لاستیک در فرایند اصلاح‌تر به سبب دمای بالا و زمان مورد نیاز	- استفاده از آسفالت‌های پودر لاستیکی در صورت طراحی و اجرای درست می‌تواند عمر روسازی را به میزان زیادی افزایش و هزینه‌های چرخه عمر آسفالت را کاهش دهد.	- احتمال وجود مشکل در تراش گرم سطح راه - عدم وجود تجربه کافی در بازیافت آسفالت‌های پودر لاستیکی (درجا، کارخانه‌ای)

روش روسازی معتبر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
مخلوط آسفالتی SMA	- مقاومت بیشتر در برابر بارهای ترافیکی سنگین	- الزام استفاده از افزودنی جهت افزایش قوام قیر و جلوگیری جدایی قیر از سنگ‌دانه - آشنا نبودن کارخانه‌های آسفالت با طرح اختلاط مخلوط‌های SMA - حساسیت بیشتر به نحوه و میزان تراکم	- طول عمر مفید بیشتر نسبت به دیگر مخلوط‌های آسفالتی - مقاومت بسیار بالا در برابر تغییر شکل - مقاومت بیشتر در برابر ترک‌های خستگی، به علت وجود قیر بیشتر در مخلوط - دوام خیلی خوب در برابر سایش حاصل از تردد وسایل نقلیه به سبب وجود سنگ‌دانه‌های درشت در ترکیب مخلوط - وجود بافت درشت زیر که باعث جلوگیری از پاشش آب از زیر چرخ وسایل نقلیه عبوری در زمان بارندگی می‌شود - کاهش آلودگی صوتی و سروصدای ناشی از عبور چرخ	- پر شدن منافذ سطحی زهکشی در صورت استفاده از دانه‌بندی توخالی و عدم نگهداری صحیح - امکان ایجاد قیر زدگی در صورت ساخت نامناسب (عدم استفاده از افزودنی مناسب برای افزایش قوام قیر در مراحل ساخت)

منابع

- Blazejowski, Krzysztof. 2011. Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice. s.l.: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011.
- افلاکی، ساسان. ۱۳۸۷. بررسی انطباق‌پذیری قیرهای ایران با روش رده‌بندی بر اساس عملکرد و تولید قیرهای منطبق. تهران: دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.
- بهروزی خواه، عبدالحمید. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر افزودنی‌های آسفالت نیمه گرم و پودر لاستیک بر خستگی نمونه‌های آسفالت بازیافتی. تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.
- دیبایی، محمدمهدی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر افزودنی‌های مختلف قیر بر عملکرد مخلوط آسفالتی. تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی. ۱۳۸۱. دستورالعمل استفاده از امولسیون‌های قیری در راه‌سازی. تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۱. ۲۰۷.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۵. مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت. تهران: دفتر تدوین و معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵. ۳۳۹.
- —. ۱۳۸۵. مشخصات فنی اجرایی بازیافت گرم آسفالت. تهران: دفتر تدوین و معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵. ۳۴۱.
- —. ۱۳۸۲. مشخصات فنی عمومی راه (تجدیدنظر اول). تهران: دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۲. ۱۰۱.
- سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران. ۱۳۸۹. ساخت قیر اصلاح‌شده امولسیون برای استفاده در آسفالت نازک میکروسرفیسینگ. تهران: مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ۱۳۸۹.
- Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice CRC Press Taylor & Francis Group 2011

عناوین انتشارات مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران سال ۱۳۹۳:
کتاب:

- میانی نظری حسابداری و گزارشگری مالی شهرداری ها؛ جلد اول و دوم
- طرح جامع شهر تهران
- Strategic-structure comprehensive plan of Tehran city
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی خدمات شهری جلد ۱
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی فرهنگی اجتماعی جلد ۲
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی حمل و نقل و ترافیک جلد ۳
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی فنی و عمرانی جلد ۴
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی مالی و اداری جلد ۵
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی شهرسازی، معماری، اراضی و املاک جلد ۶
- مجموعه قوانین و مقررات شهرداری تهران؛ حوزه تخصصی بودجه جلد ۷
- قانون خودگردانی محلی کلان‌شهر توکیو
- قوانین مدیریت شهری ترکیه و جمهوری کره
- قوانین شهرداری کلان‌شهر لندن
- مدیریت محلی و حکمروایی شهری
- جهان مسطح است
- جهان‌شهرها
- تولید فضا
- چکیده مقالات همایش ملی شهر جهانی
- حسابداری محیط زیست در شهر تهران
- گزارش وضعیت محیط زیست شهر تهران (SOE)
- میانی توسعه پایدار با تاکید بر محیط زیست شهری
- دستورالعمل پایش تونل‌های شهر تهران در زمان بهره‌برداری
- دستورالعمل پایش تونل‌های شهر تهران در زمان ساخت
- سند راهبردی بحران و پدافند غیرعامل شهر تهران
- سیاست‌گذاری اجتماعی در خاورمیانه دینامیسم‌های اقتصادی، سیاسی و جنسیتی
- توسعه اجتماعی در شهر تهران
- نرخ سفرسازی کاربری‌های شهر تهران
- گزارش تحولات اقتصادی ایران و جهان (۱۹ جلد)
- اولین نمایشگاه فناوری‌های نوین مدیریت شهری؛ پایداری شهری و شهر آینده (۲ جلد)
- ابرشهرها فرم شهری حکمروایی و پایداری
- الگوی مداخله در منطقه ۱۲ مبتنی بر طرح توسعه و تعالی فرهنگی و اجتماعی
- مجموعه مقالات در موضوع جهانی شدن، شهرهای جهانی و نقش فراملی شهرها
- مجموعه مقالات برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک، سوانح و شرایط اضطراری شهری
- نقشه راه تحول گروه اقتصاد شهری و درآمد پایدار
- نقشه راه تحول گروه فرهنگی اجتماعی (دیپلماسی عمومی)
- نقشه راه تحول گروه اداری و سرمایه انسانی شهرداری تهران
- نقشه راه تحول به سوی تعالی
- نقشه راه تحول گروه فرهنگی اجتماعی (رسانه)
- تحول جامع مدیریت شهری؛ توسعه و تعالی فرهنگی اجتماعی
- نقشه راه شهر اسلامی - ایرانی
- نقشه راه اقتصاد مقاومتی و راهبردهای اجرایی آن در شهرداری تهران
- نقشه راه جهان‌شهر تهران
- مجموعه نشست های مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران (۳ جلد)
- بازاریابی مناسبات مالی دولت و شهرداری (۲ جلد)
- مطالعات پشتیبان نقشه راه تحول گروه فرهنگی اجتماعی (حوزه دیپلماسی عمومی)
- مطالعات پشتیبان نقشه راه تحول گروه فرهنگی اجتماعی (حوزه رسانه)
- مطالعات پشتیبان نقشه راه تحول گروه اداری و سرمایه انسانی شهرداری تهران
- زنان و زندگی شهری (۸ جلد)

گزارش‌های دانش شهر:

- رفتارها و واکنش‌های اجتماعی تجربه شده در هنگام وقوع سوانح
- ارائه چارچوب مدیریت بصری در شهر تهران
- نقش حاکمیتی شهرداری در مدیریت و اولویت‌بندی پروژه‌های شهری (روش‌ها و ابزارها)

گزارش‌های مدیریتی:

- راهکارهای ترویج محصولات کشاورزی ارگانیک در شهر تهران
- آسیب‌های اجتماعی کارگران میادین میوه و تره بار در شهر تهران: با تاکید بر تجربه زندگی روزمره
- بررسی شاخص‌های توسعه پایدار شهری در شهر تهران (با تاکید بر رویکرد اجتماعی)
- بررسی پتانسیل آب گرفتگی معابر و سیل‌خیزی شهر تهران و راه‌های کنترل آن

- مطالعه و تعیین نظام محاسبه تعرفه بهینه و متناسب عوارض مالکیت خودرو تهران بزرگ
- فرصت‌ها و تهدیدها در انتخاب شیوه حمل‌ونقل سفرهای تحصیلی
- مقدمه‌ای بر شناخت تحولات الگوی محله در قرن بیستم و چشم‌انداز آن در قرن حاضر
- بررسی عوامل موثر در طراحی المان‌ها و مجسمه‌های شهری در فضاهای عمومی شهر تهران
- مطالعه و بررسی نقش پایش تونل‌ها در مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری
- نقش ژئوسنتتیک‌ها در کاهش ترک و روکش‌های آسفالتی
- ارزیابی خطر سیل خیزی شهر تهران و ارائه راهکارهای مدیریتی
- جایگاه روش فعالیت مینا در برنامه‌ریزی شهری
- مطالعه و بررسی ابعاد زیباشناختی نقاشی‌های دیواری در سطح شهر تهران
- مجموعه عملیات حفاظتی پیشنهادی برای زمان وقوع بحران
- جایگاه علم جامعه‌شناسی در تبیین مسائل و مدیریت زیست محیطی شهر تهران
- بررسی انطباق سند طرح جامع شهر تهران با اصول ارتقای کیفیت زندگی شهری
- الزامات تعیین معیارهای طراحی فیزیکی مراکز عملیات شرایط اضطراری (EOC)
- هدف‌گذاری اقتصادی کلان‌شهرها، نگاهی مقایسه‌ای به تجارب جهانی و تهران
- رهیافتی بر شناخت مدل‌ها و تکنیک‌های مکان‌یابی ارائه خدمات شهری
- وندالیسم؛ زمینه‌های ایجاد و پیامدهای آن در محیط شهری
- مطالعه و بررسی الگوهای مناسب رفتاری شهروندان در برابر زلزله (با تاکید بر پناه‌گیری)
- مفاهیم و اصول مدیریت منابع در بلایا و حوادث طبیعی
- ایمنی در زمین بازی
- بازیافت ضایعات لاستیک
- بررسی و آسیب‌شناسی اختیارات شوراها و شهرداری‌ها در وضع و وصول عوارض محلی
- روش‌های نوین مدیریت رواناب‌های سطحی شهری
- بررسی علل ترافیک در روزهای بارانی و برفی و راهکارهای کاهش آن
- بررسی تمایل به مشارکت شهروندان در مدیریت و توسعه فضای سبز پارک‌های محله‌ای شهر تهران
- خاطره‌ی جمعی در شهر تهران (تحلیل فضای گورستان: هتراتوپیا و مکان خاطره)
- ساماندهی و توسعه میادین میوه و تره بار شهر تهران
- ساماندهی و مکان‌یابی ایجاد و توسعه مراکز سوخت‌رسانی
- واکاوی مفهوم عدالت در توسعه و بهره‌برداری از پروژه‌های حمل‌ونقل شهری
- مطالعه‌ی جایگزینی روسازی بتنی در ساخت معابر شهری به جای روسازی آسفالتی
- پیامدهای زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های عمرانی با نگاه ویژه به ژئوتکنیک
- نقش احداث و توسعه ساختمان‌های سبز و بهبود وضعیت محیط زیست شهری
- آشنایی با توسعه شهری بدون خودرو (نمونه موردی: محله کن)
- خوردگی مواد در هوای شهری روش‌های مطالعه خوردگی و پایش در کلان‌شهر تهران (فاز سوم)
- تحلیل نقش و عملکرد فروشگاه شهروند در فرآیند مشتری‌مداری
- الزامات اقلیمی در برنامه‌ریزی و طراحی شهرها و ارائه راهکار برای شهر تهران
- تحلیل ترافیک تهران از منظر جامعه‌شناختی
- مقدمه‌ای بر الگوی کاربری زمین در راستای کاهش مصرف انرژی
- امنیت اجتماعی در شهر تهران (مرور نظام مند تحقیقات انجام شده در موضوع امنیت اجتماعی شهر تهران)
- رویکردهای کنترل رشد افقی شهرها؛ نمونه مورد مطالعه: تهران
- بررسی فناوری‌های نوین در ساخت و بهره‌برداری از پیاده‌روهای شهری
- طراحی مدل مفهومی دیپلماسی شهری
- کاربرد بتن خود تراکم (SCC) در پروژه‌های عمرانی شهری

با توجه به نقش چشمگیر راه‌ها در توسعه زیرساخت حمل‌ونقل و به تبع آن رشد و توسعه شهرها، استفاده و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به منظور ساخت و توسعه و یا نگهداری شبکه راه‌ها می‌تواند علاوه بر افزایش کیفیت خدمت‌دهی، کاهش هزینه‌های چرخه عمر را در پی داشته باشد و در شهری با وسعت شهر تهران منجر به صرفه‌جویی چشمگیری در منابع گردد. در این خصوص، با توجه به اینکه در شهر تهران تقریباً تمامی راه‌های مورد استفاده جهت عبور و مرور خودروها توسط رویه آسفالتی پوشیده شده‌اند، در ابتدای گزارش روش‌های قدیمی و نوین سنجش مشخصات قیر و آسفالت موردبررسی قرار گرفته است. در ادامه، روش‌ها و فناوری‌هایی نوین ساخت روسازی معابر به همراه زمینه‌های مصرف فناوری برای کاربردهای درون‌شهری و ویژگی‌های خاص هر روش تشریح شده‌اند. هدف از تهیه و انتشار این مجموعه آشنایی مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهری با فناوری‌های پرکاربرد در زمینه روسازی در جهان بوده است که علاوه بر اطلاعات اولیه، با نقاط قوت و ضعف هر کدام از روش‌ها آشنا شوند. اطلاعات این مجموعه به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند که در انتخاب فناوری‌های نوین بتوانند با توجه به نیاز بهترین گزینه فنی و اقتصادی را مشخص نموده و به کاربندند.