

تحلیل عملکرد روسازی های بتنی غلطکی و سازگاری آن با شرایط زیست محیطی

سعید بزرگمهرنیا*، لیلا اکبری نسب^۲

۱- مدیر تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران ، saeed.bozorgmehr@gmail.com

۲- کارشناس ارشد تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران، leila.akbarinasab67@gmail.com

چکیده:

در کشور ما به دلیل دسترسی به منابع نفتی و مشتقات آن از قبیل قیر، قدمت استفاده از آسفالت به صورت سرد یا گرم در خیابان ها و جاده های بین شهری به حدود ۸۰ سال می رسد. در سال های اخیر از سوی افزایش قیمت قیر و محدودیت استفاده از منابع نفتی و از سوی دیگر وجود ذخایر عظیم سنگی و کارخانجات متعدد تولید سیمان، کارشناسان را بر آن داشت تا به طور جدی نسبت به انجام تحقیقات و آزمایش ها و مشاوره با متخصصان تکنولوژی بتن به منظور انتخاب جایگزینی مناسب و منطبق بر امکانات موجود کشور اقدام نمایند. در حال حاضر علاوه بر اهداف اقتصادی و فنی، عوامل زیست محیطی و ملزومات توسعه پایدار نیز به طور فزاینده در طراحی، ساخت و نگهداری روسازی ها و پروژه های زیر ساختاری دیگر در نظر گرفته می شود. روسازی های سازگار با محیط زیست (روسازی های سبز) به روسازی هایی اطلاق می شود که در کلیه ابعاد از جمله طراحی، ساخت و نگهداری آنها مسائل محیط زیستی در نظر گرفته می شود. با توجه به گستردگی سطح بتن و کم بودن مقدار آب اختلاط در بتن های غلطکی، روسازی راه، روش و مدت زمان عمل آوری، در دستیابی به خواص مورد نظر این نوع بتن ها اهمیت بسیار دارد. روسازی های بتنی با طول عمر بالا، کمتر نیاز به ترمیم و بازسازی مکرر دارند و به ایمنی بزرگراه و کاهش ازدحام کمک می کنند. اجرا و حفظ عرض شانه های راه های اصلی از دغدغه های ایمنی راه هاست. اقدام به اجرای لایه بیندر (تراکم لایه های آسفالت ضخیم) روی شانه و حذف توپکا در روی شانه ها باعث افتادگی کنار جاده و در نتیجه خطر برای وسایل نقلیه سنگین شده به خصوص در شرایطی که خط کشی راه ها به موقع و با کیفیت صورت نمی پذیرد استفاده از بتن فشرده غلطکی تثبیت شده بستری ایجاد می کند که علاوه بر آن که در برابر بارهای سنگین عملکرد بسیار مطلوب دارد به دلیل پایین بودن قابلیت سواری دهی riding quality تمایل به سرعت را کاهش می دهد. این نوع روسازی ها در مقایسه با روسازی های آسفالتی، در صورت در نظر گرفتن تمهیدات لازم جهت مهار تنش های حرارتی و اصطکاک، از عمر مناسب و توجیه اقتصادی برخوردار می باشند، کما اینکه امروزه در اکثر کشورهای صنعتی که مشکل کمبود سیمان وجود ندارد، مورد استفاده قرار گرفته اند. در کشور ما نیز با توجه به افزایش قابل ملاحظه قیمت قیر در سال های اخیر و در پی آن افزایش قیمت روسازی های آسفالتی و افزایش تولیدات داخلی سیمان و در راستای کاهش استفاده از سوخت های فسیلی و همچنین کاهش مسائل زیست محیطی و سرمایه گذاری، بعلاوه فواید تکنیکی و فنی متعدد، باید استفاده از روسازی های بتنی برای جاده ها و بزرگراه ها مورد توجه قرار گیرد و بستری مناسب برای رقابت روسازی های بتنی با روسازی های آسفالتی فراهم گردد. با توجه به این نیاز، در این پژوهش به مقایسه روسازی های بتنی و آسفالتی از منظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: بتن غلطکی، عوامل زیست محیطی، روسازی آسفالتی، مسائل اقتصادی

۱- مقدمه:

بتن غلطکی روسازی RCC یک ترکیب بتنی سیمانی پرتلند با اسلامپ صفر است که توسط ماشین آلات متداول در بتن آسفالتی، پخش گردیده و به وسیله غلتکهای فلزی چرخ لاستیکی و غلتکهای ویبره ای، متراکم می‌شود. روسازیهای بتن غلتکی نوع ویژه ای از روسازیهای بتنی هستند که به صورت کلی در گروه روسازیهای بتنی غیرمسلح درزدار طبقه بندی می‌شوند. این بتن هم در سدها و هم در روسازی راه استفاده می‌شود. بتن RCC در سدهای خاکی به عنوان جایگزینی برای رس بکار می‌رود. روسازی ساخته شده از بتن غلتکی (RCCP) می‌تواند برای مسیرهای با ترافیک سبک و همچنین مسیرهای با ترافیک سنگین استفاده می‌شود. رویه بتن غلطکی مورد استفاده در این نوع روسازی دارای خصوصیتی نظیر دوام زیاد، هزینه‌های ساخت کم و تعمیرات و نگهداری در سطوح کم است. خواص مخلوط و اغلب خواص مهندسی بتن غلطکی مشابه روسازیهای بتنی متعارف است. بتن غلطکی مورد استفاده در راهسازی، یک تکنولوژی در حال پیشرفت است. حدود دو دهه است که پروژه‌های متعدد روسازی در آمریکا و کشورهای اروپایی نظیر فرانسه، اسپانیا، آلمان، استرالیا، هندوستان و ژاپن با بتن RCCP، اجرا شده است و روند استفاده از آن همچنان در حال گسترش است. اولین کاربرد واقعی و مهم RCCP در آمریکا احداث محوطه وسیع پارکینگ برای تانک ها و وسایل نقلیه نظامی سنگین در پایگاه هود در تگزاس در سال ۱۹۸۴ بوده است. بتن غلطکی از یک طرف به اندازه کافی خشک می‌باشد تا بتواند وزن غلتک متراکم‌کننده را تحمل کند. از طرف دیگر این نوع بتن به اندازه کافی مرطوب و دارای آب است تا توزیع مناسبی از خمیر سیمان در داخل مخلوط بتن سیمانی ایجاد شود. از جمله مشکلات اساسی معابر سواره رو خیابانها و شبکه های بزرگراهی و محوطه های صنعتی در کشور ما تخریب و تعویضهای متوالی آسفالت میباشد که در کنار تحمیل خسارات فراوان به اقتصاد ملی، ضریب ایمنی جاده ها و خیابان های کشور را نیز به شدت کاهش داده و البته خسارات فراوانی نیز به وسایل نقلیه وارد میکند. چشم انداز این معضلات بدین صورت است که تکنولوژی انعطاف پذیر، ساخت معابر قادر به پاسخگویی و رفع این مشکل نیست و نیازمند تغییر ساختاری و تکنیکی طراحی و ساخت معابر سواره رو و ترافیکی میباشد. از طرفی مشکلات زیست محیطی استفاده از مواد فعلی و هیدروکربنها در ترکیب آسفالت قیری در کنار پائین بودن قابلیت‌های آن برای احراز بسیاری از مشخصات فنی مورد لزوم در معابر ترافیکی بالاخص دوام و پایداری در برابر تغییرات جوی و سیکلهای یخبندان، استفاده از رویه های بتنی RCCP را پیش روی پروژه های راه سازی قرار داده است. با ترویج احداث جاده ها به روش روکش غلطکی ضمن بهره گیری از محاسن این روش و دوری از معایب روکش های آسفالت با افزایش مصرف سرانه سیمان موجب رونق این صنعت شده تا چرخ های صنعت سیمان همچنان با قوت و قدرت به چرخش خود ادامه دهد. از این رو در این تحقیق سعی شده است تا ضمن معرفی رویه های بتنی RCCP به عنوان جایگزین رویه های انعطاف پذیر با توجه به معایب اجرای آسفالت قیری از جمله آلودگی های جوی و زیست محیطی به ویژه در هنگام تولید، عدم سازگاری آن با شرایط اقلیمی مختلف خصوصا" در فصول سرما، تغییر شکل و عمر کوتاه، عدم دوام در برابر مواد شیمیایی و هزینه های زیاد مواد اولیه و تولید، مزایا و قابلیت های اجرای رویه های بتنی توانمند زود سخت شونده (RCCP) و دامنه کاربرد وسیع این روش در پروژه های راه سازی، مورد شرح و بررسی قرار گیرد.

۲- ملاحظات انتخاب نوع روسازی

در اینجا فاکتورهای مؤثر در فرآیند تصمیم گیری انتخاب نوع روسازی، که برای روسازیهای جدید و بازسازی روسازیها قابل اجرا است، به دو دسته فاکتورهای اصلی و ثانویه تقسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. فاکتورهای اصلی انتخاب نوع روسازی شامل ترافیک، مشخصات خاک، شرایط آب و هوایی، ملاحظات ساخت و ساز، بازیافت و مقایسه هزینه است. زمانی که فاکتورهای مهم برای انتخاب روسازی وجود نداشته باشد و چندین نوع مختلف روسازی مورد نظر باشد، از مقایسه هزینه، برای تعیین نوع روسازی استفاده می‌شود. این مقایسه باید شامل هزینه اولیه ساخت و ساز، هزینه مراحل بعدی یا کارهای اصلاحی، هزینه‌های چرخه عمر، هزینه نگهداری و ارزش اسقاطی باشد. هزینه استفاده کنندگان از جاده در طی دوره‌های ساخت و ساز، عملیات نگهداری و بازسازی نیز باید مدنظر قرار گیرد. فاکتورهای ثانویه انتخاب نوع روسازی نیز شامل عملکرد روسازیهای مشابه در منطقه، حفظ منابع طبیعی و صرفه جویی در مصرف مصالح و انرژی، در دسترس بودن مصالح محلی و امکانات پیمانکاران، مشخصات سطح رویه، نتایج آزمایش‌های محلی است. سنگدانه های مصرفی در ساخت روسازی بتن غلتکی باید دارای کیفیت و دانپبندی مناسب باشند. سنگدانه ها به صورت طبیعی یا شکسته و یا مخلوطی از این دو میتوانند مورد استفاده قرار گیرند. سنگدانه های به کار رفته در بتن غلتکی روسازی باید دارای بخش ماسه به صورت مجزا و بخش شن به صورت مجزا باشند. دستگاههای اجرای روسازی آسفالتی با اعمال تغییراتی برای اجرای روسازی بتن غلتکی میتوانند به کار روند. این تغییرات عبارت است از بزرگتر کردن دهانه بین ورودی مواد اولیه و شمشه به نحوی که امکان عبور حجم زیاد مصالح سفت فراهم آید. در ادامه به بررسی و مقایسه اقتصادی و زیست محیطی روسازی های آسفالتی و بتنی، که از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی است، می‌پردازیم.

۳- معرفی رویه بتن غلطکی و دامنه کاربرد

مطابق تعاریف مطرح شده در نشریات و کتب فنی، بتن غلطکی روسازی راه عبارت است از مخلوط سفت و نسبتاً خشکی از سنگدانه ها (با اندازه حداکثر ۱۹ میلی متر)، مواد سیمانی و آب که توسط دستگاه های متداول روسازی آسفالتی (فینیشر) پخش و پس از آن توسط غلطک ویبره ای کوبیده و متراکم می گردد و سرانجام بعد از سخت شدن در اثر واکنش هیدراتاسیون سیمان به بتن تبدیل می گردد.

امروزه دامنه کاربرد رویه های بتنی RCCP در پروژه های راهسازی تعریف شده در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بسیار وسیع بوده و عواملی همچون تنوع کاربردی این رویه ها در پروژه های مختلف، توجیه اقتصادی اجرای این رویه ها نسبت به رویه های آسفالتی، حصول مقاومت فشاری حتی تا بیشتر از سه برابر مقاومت فشاری ثبت شده برای آسفالت قیری، صلبیت و عدم تغییر شکل های زیان آور این رویه ها، سازگاری کامل با شرایط اقلیمی سرد و گرم، سرعت بالای اجرا و امکان بهره برداری زود هنگام و سازگاری با محیط زیست، باعث شده است تا استفاده از رویه های بتنی RCCP با توجیه فنی و اقتصادی مناسبی روبرو بوده و لزوم افزایش مطالعات در این زمینه را مشخص می سازد. دلایل گسترش استفاده از رویه های بتنی RCCP در پروژه های عمرانی را می توان بدین صورت بیان نمود:

- استفاده از رویه های بتنی RCCP در پروژه های عمرانی به دلیل سرعت و سهولت اجرا و امکان بهره برداری زود هنگام از آن باعث صرفه جویی در هزینه های طرح در مقایسه با سایر روش های روسازی می شود. بطور کلی استفاده از این روش تا ۳۰٪ صرفه جویی در هزینه ها را نسبت به استفاده از روسازی های آسفالتی به همراه دارد. جهت اجرای بتن RCCP دستگاه و یا لوازم خاصی مورد نظر نبوده و با ماشین آلات متداول اجرای رویه های آسفالتی نیز قابل اجرا می باشد.
- در اجرای روسازی بتنی RCCP معمولاً نیازی به استفاده از دال در درزها و تقویت سازه ای آن با فولاد نیست.
- مطابق آزمایشات صورت گرفته از اجرای بتن غلطکی RCCP در پروژه های روسازی راه، مقاومت فشاری و خمشی این رویه ها جوابگوی انواع بارهای ترافیکی طراحی بوده و در سیکل های مختلف یخبندان و تغییرات آب و هوایی کارایی مناسبی دارد. در کشور ما نیز پس از انجام طرح های تحقیقاتی و مطالعاتی گسترده در خصوص رویه های بتنی RCCP تا حدود زیادی دانش فنی ساخت و اجرای این رویه ها حاصل شده است. در شکل (۱) نمونه ای از این نوع روسازی نشان داده شده است.

شکل (۱) - روسازی با بتن غلطکی



۲۴- مقایسه فنی، اقتصادی و زیست محیطی روسازی های بتنی و آسفالتی:

در این قسمت به بیان برخی معایب رویه های آسفالت قیری و مزایای روسازی های بتنی پرداخته شده و توجیهات فنی و اقتصادی لازم جهت رو نمودن به روسازی های بتنی مورد بحث و بررسی قرار می گیرند.

۴-۱- معایب آسفالت قیری

به طور کلی رویه های آسفالت قیری در مقابل فشارهای فیزیکی مقاومت چندانی ندارند، این مقاومت در مرغوبترین آسفالت قیری ایران معادل ۷۵-۸۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که باعث شده این لایه ها در برابر تغییرات جوی و تغییر دما تغییر شکل داده و عمر مفید کوتاهی داشته باشند.

۴-۱-۱- آلودگی هوا و محیط زیست

برای تهیه آسفالت قیری به چیزی در حدود ۱۴۰ درجه سانتیگراد دما نیاز می باشد که در نتیجه برای تولید این نوع آسفالت مقادیر قابل توجهی سوخت به مصرف میرسد و میتوان گفت این روش تولید به لحاظ زیست محیطی، اقتصادی و خصوصاً آلودگی هوا در کلان شهرها بسیار نامناسب است.

۴-۱-۲- عدم سازگاری با شرایط آب و هوایی

بخش قابل توجهی از افت کیفیت آسفالت قیری در عبور از فصل سرما و یخبندان اتفاق می افتد و عواملی از قبیل پدیده جذب آب و یخ زدگی و آب شدگی، نفوذ آب به لایه های زیرین و یا استفاده از نمک برای یخ زدائی از جمله عوامل اصلی تخریب آسفالت های قیری در عبور از فصل سرما می باشد. همینطور در مناطق گرمسیر با مشکل تغییر شکل آسفالت قیری مواجه هستیم.

۴-۱-۳- عدم دوام در برابر مواد شیمیایی

آسفالت قیری در برابر مواد نفتی مانند گازوئیل، نفت، بنزین و اسیدهایی که در محوطه های صنعتی وجود دارند تخریب میشوند.

۴-۱-۴- استفاده از قیر نامناسب

قیر مورد مصرف در راهسازی به طور مستقیم در مقابل عوامل جوی بوده و باید ضربه های ناشی از حرکت وسایل نقلیه را تحمل نماید. این در حالی است که کیفیت قیر تولید شده در بسیاری از مواقع، کارایی لازم در مقابل عوامل گفته شده را نداشته و باعث بروز ضعف های متعدد در ترکیب آسفالت قیری می شود.

۴-۲- خواص بتن غلطکی

به طور کلی خواص بتن غلطکی سخت شونده بستگی به دانه بندی، جنس و شکل سنگدانه ها، و مواد سیمانی، نحوه ساخت مخلوط، درصد تراکم و کنترل اجرا دارد. مزیت این روش ساخت بتن، هزینه کمتر از انواع دیگر بتن و سرعت اجرایی بسیار زیاد آن بوده و در عین حال دارای خواص مکانیکی مورد نیاز بتن معمولی نیز میباشد. عموماً بتن غلطکی را بتنی سفت با اسلامپ صفر تعریف میکنند.

۴-۲-۱- دامنه کاربرد رویه بتنی RCCP زود سخت شونده

دامنه کاربرد بسیار وسیع این محصول در ساخت جادهها و خیابانهای اصلی و فرعی، آزاد راهها، باند پرواز، آشیانه هواپیما، کف سالنهای صنعتی، محوطه های صنعتی و انبارها، باراندازها، جاده معادن، پیاده روها، ورزشگاهها، پیست اتومبیلرانی، کف نمایشگاههای صنعتی و تجاری، محوطه های تجاری، بنادر اسکله ها، دامداریها، سردخانه ها، جادههای شیبدار، لوپها، میداين، دورها، پلها، کف ترمینالها، ایستگاههای اتوبوس و کامیون (گاراژ) می باشد که این تنوع کاربرد از مزایای مهم و اساسی رویه های بتنی می باشد.

۴-۲-۲- مقاومت رویه بتنی RCCP زود سخت شونده

مقاومت فشاری با نسبت آب به سیمان پایین و صفر بودن اسلامپ از ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع که در شرایط عمل آوری و با مرغوبترین مصالح به دست آمده است، تحمل بارهای سنگین ترافیکی به ویژه در محل شیبها، دورها، بارهای ترافیکی و ایستگاههای سنگین را داشته و قادر خواهد بود بارهای اعمالی را به راحتی تحمل کند.

۴-۲-۳- صلیبیت

صلیبیت رویه های بتنی RCCP و عدم تغییر شکل در برابر بارهای وارده و ضربات ناشی از سقوط اجسام سخت یکی از مزایای مهم این روش بوده که در بسیاری از کاربردهای روسازی حائز اهمیت می باشد.

۴-۲-۴- سازگاری با شرایط آب و هوایی

دوام بلندمدت نسبت به آسفالت قیری در مناطق گرمسیر و معتدل با توجه به اینکه روسازی بتنی در برابر افزایش دما مقاوم بوده و به خاطر جذب آب پایین و مقاوم بودن، هیچگونه تغییر شکلی در آنها ایجاد نمیشود. در مناطق سردسیر رویه بتنی در برابر سیکل‌های یخبندان در مواجهه با آسیب‌های احتمالی ایمن و مقاوم است.

۴-۲-۵- اجرا و بهره برداری زود هنگام

سرعت بالای اجرا و سهولت نگهداری و قابلیت بهره برداری زود هنگام حتی در مواقع اضطرار (۲۴ ساعت پس از اجرا) یکی دیگر از مزایای استفاده از روش روسازی بتنی می باشد.

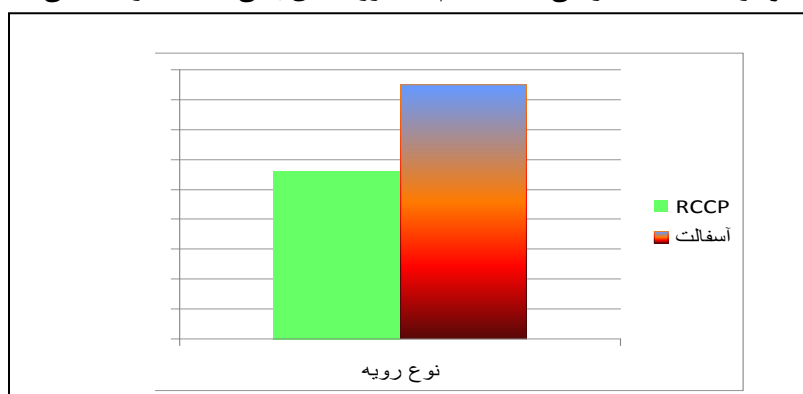
۴-۲-۶- سازگاری با محیط زیست

رویه بتنی RCCP به خاطر نفوذناپذیری مواد متشکله آن به بافت مصالح و طبیعت، به عنوان رویه سازگار هیچگونه مشکل زیست محیطی در محدوده کاربردی خود ندارند و تا پایان دوره دوام مواد و مصالح متشکله آن به عنوان بخشی از طبیعت تعریف میشود. رنگ خاکستری و خنثی بتن RCCP، ضریب جذب دمای مناسبی دارد و این به خاصیت پایین آوردن دمای محیط کمک میکند.

۴-۳- بررسی هزینه های اولیه ساخت و تولید رویه های بتنی RCCP

مطابق مطالعات صورت گرفته در کشور هزینه ساخت و ساز اولیه روسازی های آسفالتی (بجز در شرایط بزرگراه با ترافیک کم با تکیه گاه بستر متوسط) از روسازی های بتنی بیشتر است. بطور متوسط هزینه ساخت و ساز اولیه روسازی های آسفالتی ۱۱ درصد بیشتر از روسازی های بتنی است. آسفالت تقریباً به ۲۵۰۰۰ لیتر در هر کیلومتر سوخت دیزل برای تولید و ۵۰۰۰ لیتر در هر کیلومتر برای حمل و نقل و اجرا نیاز دارد، درحالیکه بتن به ۱۵۰۰ لیتر در هر کیلومتر برای تولید بتن و ۳۵۰۰ لیتر در هر کیلومتر برای حمل و اجرا نیاز دارد. برای تولید، حمل و اجرای آسفالت نیاز به حداقل ۵٫۵ برابر انرژی بیش از تولید، حمل و اجرای بتن می باشد. بر اساس یک فرض محافظه کارانه که روسازی آسفالتی و بتنی معادل، ضخامت یکسان داشته باشند، مقدار سوخت دیزل مورد نیاز برای اجرای یک کیلومتر از یک باند آسفالتی به ضخامت ۲۵ سانتی متر، ۳۰۰۰۰ لیتر است و میزان مصرف سوخت دیزل برای اجرای یک کیلومتر مسیر بتنی با ضخامت ۲۵ سانتی متر، ۵۵۰۰ لیتر است، که این مقدار کمتر از یک پنجم مقدار سوخت مورد نیاز برای اجرای روسازی آسفالتی مشابه است. با توجه به توضیحات ارائه شده در جهت مقایسه ریالی اجرای روسازی های آسفالتی و بتنی با یکدیگر، آیت‌های موجود برای اجرای هر یک از این گزینه ها براساس فهرست بهای پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن سال ۱۳۹۴ استخراج شده و قیمت تقریبی تمام شده هر یک از این نوع روسازی ها برآورد شده است. از این رو مقایسه ریالی قیمت تمام شده رویه های بتنی RCCP و آسفالتی در نمودار (۱) ارائه شده است.

نمودار (۱) - مقایسه ریالی قیمت تمام شده رویه های بتنی RCCP و آسفالتی



همچنین با توجه به آیت‌های استخراج شده و دسته بندی راه ها، مقایسه ریالی طول عمرهای اجرای روسازی های آسفالتی و بتنی مطابق جدول (۱) با یکدیگر مقایسه شده اند. هزینه ساخت و ساز اولیه روسازی های بتنی و آسفالتی براساس آیت‌های موجود و مواد و مصالح مصرفی نیز، در جدول (۱) نشان داده شده است. [۴]

۴-۴- مقایسه زیست‌محیطی روسازی های بتنی

روسازی‌های سازگار با محیط زیست (روسازی‌های سبز) آنهایی هستند که در همه ابعاد از جمله طراحی، ساخت و نگهداری آنها مسائل محیط زیستی در نظر گرفته می‌شود. به دلیل عمر طولانی، روسازی بتنی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و سودمند است و به حداقل مصرف مواد، انرژی و سایر منابع برای ساخت و ساز، نگهداری و بازسازی در طول عمر خود نیاز دارد. روسازی های بتنی با طول عمر بالا، کمتر نیاز به ترمیم و بازسازی مکرر دارند و به ایمنی بزرگراه و کاهش ازدحام کمک می کنند. روسازی های بتنی در کشورهای مختلف برای ۳۰ تا بیش از ۵۰ سال عمر خدمت دهی، با نگهداری کمتر طراحی شده است. این نوع روسازی‌ها در صورت در نظر گرفتن تمهیدات لازم جهت مهار تنش‌های حرارتی و اصطکاکی، از عمر مناسب و توجیه اقتصادی برخوردار می‌باشند. در کشور ما نیز با توجه به افزایش قابل ملاحظه قیمت قیر در سال های اخیر و در پی آن افزایش قیمت روسازی های آسفالتی و در راستای کاهش استفاده از سوخت های فسیلی و همچنین کاهش مسائل زیست محیطی و سرمایه گذاری، بعلاوه فواید تکنیکی و فنی متعدد، باید استفاده از روسازی‌های بتنی برای جاده ها و بزرگراه ها مورد توجه قرار گیرد و بستری مناسب برای رقابت روسازی‌های بتنی با روسازی‌های آسفالتی فراهم گردد. علاوه بر اهداف اقتصادی و فنی، اثرات زیست محیطی و ملزومات توسعه پایدار به طور افزاینده در طراحی روسازی‌ها و پروژه‌های زیر ساختاری دیگر در نظر گرفته می شود. تولید بتن از نظر نیاز به منابع کارا است و مواد تشکیل دهنده بتن نیاز به فرآوری کمی دارند. بیشتر مواد تشکیل دهنده بتن در محل به دست آمده و ساخته می شوند و انرژی حمل و نقل را به حداقل می رسانند. در ذیل به برخی ویژگی‌های مثبت زیست‌محیطی روسازی‌های بتنی در مقایسه با روسازی‌های آسفالتی اشاره می‌شود. همچنین در جدول شماره (۲) به طور اجمالی آیت‌م های مربوط به روسازی های آسفالتی و بتن غلطکی در فهرست بها راه ، باند و فرودگاه سال ۹۵ با یکدیگر مقایسه شده اند که در قیمت واحد نیز مقرون به صرفه بودن روسازی بتن غلطکی مشهود می باشد. [۴]

جدول (۱) - مقایسه هزینه روسازی بتنی و آسفالتی

دسته بندی راه	تکیه گاه بستر	نوع روسازی	هزینه تقریبی ساخت و ساز اولیه (ریال)	هزینه تقریبی معادل نوسازی در سال صفر با نرخ تنزیل ۵٪ (ریال)	هزینه تقریبی معادل نگهداری در سال صفر با نرخ تنزیل ۵٪ (ریال)	مجموع هزینه های تقریبی معادل طول عمر	نسبت مجموع هزینه های تقریبی طول عمر روسازی آسفالتی به بتنی
بزرگراه با ترافیک کم	کم	بتنی	۸۸۷,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۳۶۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۹
		آسفالتی	۹۲۵,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۴۴,۰۰۰,۰۰۰	۲,۱۶۷,۰۰۰,۰۰۰	
بزرگراه با ترافیک متوسط	متوسط	بتنی	۸۳۶,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۳۸۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۸۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۴
		آسفالتی	۸۲۸,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۵۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۸۲,۰۰۰,۰۰۰	
بزرگراه با ترافیک کم	کم	بتنی	۹۳۹,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۴۲۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۴۳۷,۰۰۰,۰۰۰	۱,۷۰
		آسفالتی	۱,۰۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۹۷۳,۰۰۰,۰۰۰	۲,۴۳۸,۰۰۰,۰۰۰	
بزرگراه با ترافیک متوسط	متوسط	بتنی	۸۷۵,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۳۹۹,۰۰۰,۰۰۰	۱,۳۴۴,۰۰۰,۰۰۰	۱,۶۶
		آسفالتی	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۷۷,۰۰۰,۰۰۰	۲,۲۳۷,۰۰۰,۰۰۰	
بزرگراه با ترافیک کم	کم	بتنی	۱۰۱,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۴۵۹,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۳۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۸۰
		آسفالتی	۱,۲۳۶,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۱۲۸,۰۰۰,۰۰۰	۲,۷۶۳,۰۰۰,۰۰۰	
بزرگراه با ترافیک زیاد	متوسط	بتنی	۹۴۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۴۲۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۴۴۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۷۶
		آسفالتی	۱,۱۱۷,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰۲,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۳۵,۰۰۰,۰۰۰	

جدول (۲) - مقایسه آیتم های روسازی بتنی و آسفالتی

ردیف	شرح	واحد	قیمت واحد به ریال
۱	تهیه تمام مصالح و اجرای رویه‌ی بتنی غلتکی (RCCP) تا ضخامت ۲۰ سانتی‌متر.	تن	۵۵۲,۰۰۰
۲	تهیه مصالح و اجرای آسفالت در دو لایه (با در نظر گرفتن اضافه بهای اجرا و دستمزد)	تن	۵۹۵,۰۰۰

۴-۴-۱- طول عمر زیاد

بزرگراه‌های بتنی متعدد در آمریکای شمالی بیش از ۵۰ سال عمر داشته‌اند [۳]. چنین عمر طولانی روسازی‌های بتنی به یک منطقه از آمریکای شمالی و به یک نوع خاصی از محیط زیست و یا آب و هوا محدود نبوده است. در برخی مقایسه‌های اقتصادی مذکور در بخش‌های قبلی به مقایسه عمر روسازی‌های بتنی و آسفالتی اشاره گردیده است.

۴-۴-۲- کاهش مصرف سوخت خودرو و انتشار گازها و کاهش مصرف انرژی جهت ساخت و ساز

برخلاف آسفالت که ویسکوالاستیک است و به همین دلیل به دما و بارگذاری حساس است، سطح صلب روسازی‌های بتنی در زیر بارگذاری وسیله نقلیه سنگین تغییرشکل نمی‌دهد و در نتیجه دارای انحنای کمتری است. مصرف سوخت تا حدودی تابعی از درجه انحنای روسازی در اعمال بار از چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین است. هر گونه انحنای مقداری از انرژی پیش راندن وسیله نقلیه به جلو را جذب می‌کند. به این ترتیب، انرژی و سوخت بیشتر برای حرکت وسایل نقلیه سنگین بر روی روسازی‌های انعطاف پذیر لازم است. مصرف سوخت برای دو نوع کامیون هنگامی که روی روسازی‌های بتنی حرکت کرده‌اند، به طور متوسط حدود ۱٪ تا ۶٪ کاهش یافته است، که این کاهش بسته به نوع خودرو و سرعت کامیون تغییر می‌کند. بهر حال کاهش مصرف سوخت خودرو، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای را به همراه دارد.

آب، شن، ماسه و دیگر مواد تشکیل دهنده تا حدود ۹۰٪ وزنی از مخلوط بتن را شامل می‌شوند. فرآیند استخراج معدن شن و ماسه، خردکردن سنگ، ترکیب مصالح بتن و حمل و نقل بتن به کارگاه ساخت و ساز نیاز به انرژی بسیار کم دارد و در نتیجه فقط مقدار نسبتاً کمی از CO₂ به جو منتشر می‌کند. مقدار تولید CO₂ در ساخت بتن در درجه اول یک تابع از سیمان موجود در مخلوط است. در مورد گازهای گلخانه‌ای (CO₂) به تنهایی، به طور متوسط برای یک بزرگراه شریانی ۱۰۰ کیلومتری در طول ۳۰ سال عمر خود ۱۶۵,۰۰۰ تن و بیش از سه برابر CO₂ بوجود آمده در تولید سیمان مورد استفاده برای ساخت روسازی بتنی همان بزرگراه است. به عبارت دیگر، همه CO₂ که در ساخت سیمان مورد استفاده برای احداث یک بزرگراه بتنی بوجود آمده است در طی ۹ سال بهره برداری بدلیل بهبود بهره وری سوخت جبران می‌شود.

۴-۴-۳- کاهش استفاده از منابع طبیعی برای لایه‌های زیرین روسازی

به دلیل صلبیت و سختی بتن، دال بخش عمده‌ای از ظرفیت سازه‌ای را تأمین می‌کند و بارهای وسیله نقلیه سنگین را در منطقه نسبتاً وسیعی از زیر اساس توزیع می‌کند. بنابراین، در روسازی‌های آسفالتی در هنگام طراحی یکسان معمولاً لایه‌های ضخیم تری از مصالح دانه‌های زیراساس مورد نیاز است. بر اساس یک تجزیه و تحلیل در طرح معادل برای روسازی‌های آسفالتی و بتنی برای یک جاده شریانی در محل با مقاومت کم، تقریباً دو برابر مصالح دانه‌ای برای روسازی آسفالتی نسبت به روسازی بتنی مورد نیاز است.

۴-۴-۴- رنگ روشن تر و سردی

سطوح بتنی منعکس کننده نور است. این مشخصه میزان انرژی مورد نیاز برای روشن کردن زمین جاده‌ها در طول شب را کاهش می‌دهد. چراغ‌های روشنایی، عناصر مهمی از امکانات بزرگراه‌های شهری است که با تقویت دید شب به طور مستقیم باعث بهبود ایمنی ترافیک می‌شود. روسازی آسفالتی نیاز به چراغ بیشتر در هر واحد طول برای دستیابی به روشن‌سازی نسبت به روسازی بتنی دارد. مطالعات انجام شده نتایج صرفه جویی هزینه‌ها تا حد ۳۱٪ در انرژی اولیه و هزینه‌های نگهداری روشنایی روسازی بتنی در مقابل روسازی آسفالتی را نشان می‌دهد. انرژی نور خورشید که از روسازی سطوح منعکس نشده است به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود که

درجه حرارت روسازی را افزایش می دهد. روسازی بتنی نور خورشید را بیشتر از روسازی آسفالتی منعکس می کند و سردتر است. درجه حرارت بالاتر باعث افزایش تشکیل مه غلیظ می شود. خنک بودن یک شهر تنها به اندازه ۵ درجه سانتیگراد می تواند تاثیر شگرفی بر غلظت دود و مه داشته باشد. استفاده از روسازی های روشن تر بتنی می تواند در این خصوص تأثیر مناسبی داشته باشد.

۴-۴-۵- بهبود کیفیت رواناب

کیفیت رواناب می تواند از طریق استفاده از روسازی های نفوذ پذیر بتنی بهبود یابد. روسازی های نفوذ پذیر بتنی باعث کاهش رواناب و کمک به شارژ شدن سفره های آب زیرزمینی می شود. آنها همچنین میزان آلاینده، مانند روغن خودرو، ضد یخ زدگی و مایعات دیگر موجود در رواناب را کاهش می دهد.

۴-۴-۶- بافت سطحی ساکت

یکی از مزایای استفاده از روسازی های بتنی این است که عملاً هر گونه بافت سطحی می تواند در طول عملیات پرداخت، برای به حداقل رساندن آلودگی صوتی لاستیک-روسازی ایجاد شود. نتایج تحقیقات انجام شده تاکنون نشان می دهد که برای روسازی های عادی بتنی الگوهای طولی از لحاظ سر و صدای کم مساعد هستند. استفاده از بافت سنگدانه نمایان در اروپا از لحاظ کاهش سر و صدا و اثربخشی هزینه بسیار مطلوب است.

۴-۴-۷- بهبود ایمنی آتش سوزی در تونل ها

آتش سوزی در تونل ها باعث خسارت های سازه ای و تلفات جانی می شود. مصالح روسازی غیرقابل احتراق و غیر سمی به ایمنی افراد در داخل تونل کمک می کند و باعث محافظت از تجهیزات تونل و اجزای سازه ای می شود. بتن مصالحي غیرقابل احتراق است که گازهای مضر از خود منتشر نمی کند. این ویژگی بتن باعث افزایش ایمنی و کاهش آتش سوزی می شود. قوانین برخی از کشورها استفاده از روسازی های بتنی در تونل ها را ضروری می داند. برای مثال در اتریش برای تونل های با طول بیش از یک کیلومتر استفاده از روسازی های بتنی اجباری است. مطالعه آزمایشگاهی برای مقایسه روسازی های آسفالتی و بتنی در آتش سوزی انجام شده است. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که آسفالت ارزش گرمایی بالایی دارد:

- ❖ سطوح آسفالتی در دمایی بین ۴۲۸ تا ۵۳۰ درجه سانتیگراد بعد از ۸ دقیقه مشتعل می شود و به بار آتش سوزی داخل تونل اضافه می شود.
 - ❖ اولین بخارات ۵ دقیقه بعد از مشتعل شدن متصاعد می شوند. این گازها سمی بوده و باعث خفگی می شوند و سرطان زا هستند. (مانند دی اکسیدکربن)
 - ❖ روسازی های بتنی گازهای سمی منتشر نمی کنند در حالیکه روسازی های آسفالتی گازهای سمی و آلوده کننده (CO و CO₂ و ...) از خود متصاعد می کند. علاوه بر این روسازی های آسفالتی دود سیاه رنگی منتشر می کنند که باعث کاهش قدرت دید و در نتیجه کاهش سرعت عمل مردم و تیم های نجات می شود.
- روسازی های بتنی در هنگام آتش سوزی تغییر شکل نمی دهند و خواص مکانیکی خود را تا حد زیادی حفظ می کنند، درحالیکه آتش سوزی باعث از دست رفتن پیوند سنگدانه ها در روسازی های آسفالتی می شود و خواص مکانیکی آسفالت تا حد زیادی از دست می رود.

۵- طراحی اولیه مخلوط بتن

بتن غلطکی جهت کاربرد به عنوان روسازی راه (RCCP)، در حالت تازه با بتن معمولی متفاوت بوده و بسیار سفت تر و کارایی آن به مراتب کمتر می باشد. در حالت سخت شده بتن غلطکی روسازی از بسیاری جهات مشابه بتن معمولی است و پارامترهای اصلی تاثیرگذار بر روی خواص بتن های معمولی نظیر نسبت آب به سیمان (W/C) و میزان تراکم، تاثیر مشابه روی خواص بتن غلطکی روسازی دارند. در عین حال باید توجه داشت به علت کارایی بسیار پایین این نوع بتن ها، روش های تهیه آزمون ها جهت بررسی خواص آنها با بتن های معمولی متفاوتی دارد. آزمون های بتن غلطکی از طریق روش های ویژه نظیر کوبش با چکش های بادی و یا روش های ارتعاشی تحت سربار و یا از طریق اجرای مقطع آزمایشی و بریدن نمونه های لازم صورت می گیرد.

نتیجه گیری

همانگونه که از مطالب ارائه شده برمی آید علاوه بر طول عمر (طول عمر سرویس دهی روسازی های بتنی بیش از روسازی های آسفالتی است، گاه تا ۲ برابر)، ویژگی های زیر را می توان برای روسازی بتنی برشمرد که موجب استفاده از آن در سطح وسیعی شده است:

- ۱- در طول عمر بهره برداری روسازی های بتنی نیاز به نگهداری کمتری نسبت به روسازی های آسفالتی دارند. روسازی بتنی نیاز کمتری به مصالح دانه بندی برای زیرساز جهت نگهداری سازه ای نسبت به روسازی آسفالتی دارد. همچنین روسازی های بتنی را می توان بر روی بسترهای ضعیف نیز اجرا نمود. (مقاومت بستر تأثیر چندانی در افزایش ضخامت روسازی های بتنی ندارد، اما در روسازی های آسفالتی مقاومت بستر در تعیین ضخامت روسازی، از اهمیت بالایی برخوردار می باشد).
 - ۲- تردد بر روی روسازی های بتنی بدلیل وجود درزها معمولا دارای صدای بیشتری نسبت به روسازی های آسفالتی می باشد، البته تکنولوژی مصالح جدید صدای ناشی از تردد در روسازی های بتنی را کاهش می دهد. بافت سطحی بهینه روسازی بتنی سطحی ساکت تر را فراهم می کند و باعث کاهش آلودگی صوتی می شود.
 - ۳- احداث روسازی های بتنی نسبت به روسازی های آسفالتی نیاز به سرمایه اولیه کمتر داشته و هزینه تعمیر و نگهداری کمتری نیز دارد. (راه ها به منظور تامین منابع جامعه احداث می شوند و معمولا سرمایه آنها از طریق منابع ملی تامین می گردد. به همین دلیل برای محاسبه کل هزینه یک راه باید علاوه بر هزینه اولیه ساخت، تمام هزینه های مربوط به جامعه و نیز هزینه های مربوط به راه در طول عمر آن مورد محاسبه قرار گیرد). البته لازم به ذکر است که تعمیر و مرمت روسازی های بتنی مشکلتر از تعمیر و مرمت روسازی های آسفالتی می باشد.
 - ۴- روسازی بتنی با کیفیت مطلوب ریخته شده و بافت سطحی مناسب دارد، باعث کاهش مصرف سوخت خودرو می شود. این کاهش مصرف سوخت بدلیل کمتر بودن انحنای بتن نسبت به آسفالت تحت بار لاستیک است. همچنین مصرف سوخت (به خصوص دیزل) در طول تولید مواد، حمل و نقل، تهیه و ساخت و ساز برای روسازی بتنی کمتر از روسازی آسفالتی است. عبارت دیگر انرژی جهت تولید، انتقال و نگهداری روسازی بتنی از روسازی آسفالتی پایین تر است.
 - ۵- در مخلوط روسازی بتنی محصولات جانبی صنعتی (از جمله خاکستر بادی و سیمان سرباره) می تواند استفاده شود، که تقاضا برای مصالح دست نخورده را کاهش می دهد و منابع طبیعی را از صدمه محفوظ نگه می دارد. در ضمن روسازی بتنی خود تجدید شدنی و ۱۰۰ درصد قابل بازیافت است.
 - ۶- رنگ روسازی بتنی روشنتر است و این باعث افزایش بازتابش نور و در نتیجه باعث بهبود دید در شب و کاهش مقدار برق مورد نیاز برای روشن کردن جاده ها در شب می شود و به کاهش ایجاد جزیره گرمایی شهری کمک می کند.
 - ۷- روسازی بتنی طراحی شده با شانه های بتنی نفوذ پذیر رواناب سطحی را به حداقل رسانده و به پر کردن سفره های آبی زیرزمینی کمک می کند.
- علاوه بر این تقریبا ۹۲ درصد از حجم بتن ترکیبی از مصالحی از جمله ماسه، شن، آب، هوا و محصولات جانبی صنعتی است که نیاز به انرژی بسیار کمی جهت فراهم کردنشان است و تولید CO_2 کمی دارند.

منابع

- [۱] استاندارد ملی ایران (شماره ۱۴۸۳۰)، بتن غلتکی در روسازی راه های کشور، سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۱.
- [۲] دفتر امور فنی و تدوین معیارها، وزارت راه و ترابری، "آئین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران"، نشریه شماره ۲۳۴، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، ۱۳۸۱.
- [۳] حسنی، ا.، "بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی رویه های بتنی و آسفالتی"، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری، تهران، ۱۳۸۳.
- [۴] فهرست بهای واحد پایه رشته راه، "باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن، رشته راه و ترابری"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، سال ۱۳۹۵.
- [۵] مشخصات فنی راه، نشریه شماره ۱۰۱، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، وزارت برنامه و بودجه، ۱۳۹۲.
- [۶] راهنمای طراحی و اجرای بتن غلطکی در روسازی راه های کشور، نشریه شماره ۳۵۴، وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۸.
- [۷] بهشتی مال، همایون، طراحی و اجرای روسازی بتنی، انتشارات کیان، ۱۳۸۸.
- [۸] طباطبایی، امیرمحمد، روسازی راه و فرودگاه، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۴.

[۹] krebs,R.D., and R.D. Walker, Highway Materials, Chapter 10, McGraw-Hill, 1971.

[۱۰] Sargious, M. , Pavements and Surfacing for Highways and Airports, Chapter 17, Applied Science ,1975.