کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی راه.

نوشتهٔ : احمد حامی

در نخستین جنگ جهانی ، ارابهٔ موتوری به میدان جنگ رفت و سرداران جنگجو ارزش آنرا دریافتند. پس از آن جنگ ، و برای آماده کردن جنگ جهانی‌ی دویم ، کارخانه‌ها را گسترش زیاد دادند و ده‌ها میلیون ارابهٔ موتوری ساختند.

جنگ جهانی‌ی دویم ، جنگ موتوری بود و شمار ارابه‌های موتوری در دوران این جنگ از مرز ۱۰۰ میلیون گذشت. پس از جنگ جهانی‌ی دویم ، شمار خودروها به اندازهٔ باور نکردنی رسید ، جوریکه امروزه شمار خودروها در جهان بیش از ۲۰۰ میلیون است و تنها در راه‌ها و خیابانهای USA بیش از ۱۱۳ میلیون خودرو میغلتد.

برای غلتیدن این همه خودرو ، نیاز به راه خوب پیدا شد. راهسازان در پنجاه سال گذشته برای ساختن راه خوب تلاش فراوان کردند. دشواری‌ی بزرگ ساختن راه خوب ، روسازی‌ی آن بود که زیرچرخ غلتان بارکش های سنگین تاب بیاورد و خراب نشود.

کارشناسان راه سازی برای چاره جویی ، در کارگاه‌ها ، آزمایشگاه‌ها و دانشگاه‌ها به کوشش برخاستند. فورمولها ، منحنی‌ها ، نمودارهایی هم پیشنهاد کردند که چون با فرض های کم و بیش نادرست حساب شده بودند ، از آنها نتیجهٔ عملی گرفته نشد و اثرشان در مجله ها و کتاب‌های فنی ماند و به کارگاه‌ها نرفت.

نیاز روز افزون به داشتن راه‌های خوب که با هزینهٔ کم ساخته شوند ، کارشناسان راه سازی‌ی کشورهای صنعتی را وادار کرد که دست به آزمایش بزنند و از این راه درمان کار را بیابند.

پس از جنگ جهانی‌ی دویم ، راه سازان USA پس از چند سال بررسی ، با هزینهٔ بسیار سنگین

دست به آزمایش بزرگی زدند . پس‌از آماده شدن همهٔ کارها ، در نزدیکی‌ی Ottawa و Jllinois (۱۲۸ کیلومتری‌ی جنوب غربی‌ی شیکاگو) از اوت ۱۹۵۶ تا اکتبر ۱۹۵۸ در یک رشته راه ، ۸۳۶ تکه راه آزمایشی ساختند . پس‌از ساخته شدن راه ، در مدت ۲۵ ماه (از ۱۵-۱۰-۱۹۵۸ تا ۳۰-۱۱-۱۹۶۰) روی آن ده جور بارکش سبک و سنگین براه انداختند . روی تکه راه‌هایی که دوام آوردند ۱،۱۱۴،۰۰۰ آسهٔ بارکش گذراندند و برای این کار روی راه بیش‌از ۲۷ میلیون کیلومتر راننده‌گی کردند و به هرچه نیاز بود اندازه گرفتند .

برای کامل کردن نتیجه‌های آزمایش ، از سال ۱۹۶۴ در کشورهایی از USA آزمایش‌های تکمیلی کردند . نتیجهٔ این همه تلاش آن شد که : دستورهایی برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه بیرون دادند که ، کشورهای صنعتی از آنها پیروی کردند .

من ، آنچه از این دستورها را که بکار راهسازی در ایران میخورد ، با دشواری‌ی زیاد به فارسی برگرداندم . دستورهایی که دراینجانوشته میشوند ، همان دستورهای AASHO هستند که از استانداردهای سال ۱۹۷۱ سوئیسی گرفته شده و با وضع ایران جورگردیده‌اند .

باشد که راهسازان ایران و دیگر کشورهای فارسی زبان را بکار آید و از آنها بهره گیری کنند .

شناسایی .

راه ـ زمین دراز و باریکی‌ست که ، برای غلتیدن چرخ قطار یا چرخ ارابه ساخته شده باشد .

راه آهن ـ راهی‌ست که برای غلتیدن چرخ قطار ساخته شده باشد و روی آن را ریل گذاری کرده باشند .

راه ارابه‌رو ـ راهی‌ست که برای غلتیدن چرخ ارابه ساخته شده باشد وروی آن را روسازی کرده باشند .

گذرگاه همکف ـ جایی‌ست که ، دو رشته راه در یک سطح همدیگر را بُریده باشند .

زیرگذر ـ دالانی‌ست که ، زیر ساختمان یا راه دیگر ساخته شده باشد ، تا ارابه‌ها از درون آن گذر کنند .

روگذر ـ پلی‌ست که ، روی ساختمان یا راه دیگر ساخته شده باشد ، تا ارابه‌ها از روی آن گذر کنند .

زمین بستر راه ـ زمین دراز و باریکی‌ست که ، روی آن جسم راه یا روسازی‌ی راه ساخته شده باشد .

جسم راه ـ روی زمین بستر راه ساخته میشود که روی آن تخت راه است .

تخت راه ـ سطح هموار روی جسم راه است که ، روی آن را ریل گذاری یا روسازی میکنند .

ریخته ـ جایی‌ست که زمین بستر راه از تخت راه گودتر است ، برای هم کف کردنش با تخت راه ، روی آن خاك میریزند .

کنده ـ جایی‌ست که زمین بستر راه از تخت راه بلندتر است ، برای هم کف کردن آن با تخت راه، آنجا را میکنند .

تونل راه ـ سوراخ دراز و گشادیست که درون زمین کنده میشود تا قطار یا ارابه از درون آن گذر کند . تونل درجایی کنده میشود که ، زمین بستر راه از تخت راه خیلی بلندتر باشد .

نقب ـ سوراخ درازیست که درون زمین کنده میشود و دهانه‌اش از دهانهٔ تونل تنگ‌تر است .

نیم تونل ـ قسمت سمت کوه تونل است ، که در طرف دره بدنه و طاق ندارد .

گالری‌ی بهمن‌گیر ـ دالانی‌ست که روی راه کوهستانی‌ی پر برف ساخته شده باشد ، تا برف‌ازروی آن به دره فرو ریزد .

بهمن بُرها ـ ساختمان‌هایی هستند که در دامنهٔ کوه بهمن ریز ساخته شده باشند ، که تیزهٔ بهمن را ببرند و انرژی‌ی آنرا بکشند ، تا بهمن از فرو ریختن باز ایستد .

آب رو و پل ـ برای روان کردن آب‌از بالا دست به پایین‌دست راه ، در جسم راه جاسازی میکنند . آب‌رو ، دهانه‌اش تا ده متر است و با نقشه‌های «یکجور» ساخته میشود . پل دهانه‌اش بیش‌از ده متر است و بیشتر با نقشه‌های ویژه ساخته میشود .

سیل بند و سیل‌گردان ـ برای آنکه سیلاب به‌روی راه روان نکردد ، بالا دست راه سیل بند و سیل گردان میسازند که ، سیلاب را به زیر آب‌روها و پلها برسانند .

آب بُر وآب‌گردان ـ برای آنکه‌آب روان به راه آسیب نرساند ، کنار رودخانه‌ها و سیلاب روها ، آب بر وآب گردان میسازند که،از رسیدن آب روان به راه جلوگیری کنند .

دیوار نگهبان ـ در برابر فشار زمین و برای جلوگیری از ریزش زمین ، بالا دست و پایین دست راه ساخته میشود .

زیر سازی‌ی راه ـ انجام دادن همهٔ کارهای ساختمانی مانند ساختن : جسم راه ، آب‌رو و پل ، تونل ، سیل بند و سیل گردان ، آب بر و آب گردان ، دیوار نگهبان و جز اینهاست ، تا راه برای روسازی آماده شود .

روسازی‌ی راه ـ لایه‌ییست‌باتاب‌بُرشی‌ی خواسته شده که‌روی تخت راه‌ساخته میشود، تابار چرخ را بگیرد و به جسم راه برساند .

زیر پی راه ـ لایه‌ییست با تاب برشی‌ی خواسته شده که روی زمین بستر راه یا روی تخت راه ساخته میشود ، تا توان باربری‌ی آنها را افزایش دهد و از نشت کردن آب به زیر لایهٔ روسازی‌ی راه جلوگیری کند و در زمستان زیر لایهٔ روسازی یخ نبندد .

پی راه ـ لایه‌ییست با تاب برشی‌ی خواسته شده که روی زمین بستر راه یا روی تخت راه یا روی زیر پی راه ساخته میشود ، تابار چرخ را از رویه بگیرد و به‌زمین بستر راه یا به‌زیر پی یا به‌تخت راه برساند .

رویهٔ سیاه ـ لایه‌ییست با تاب برشی‌ی زیاد که چرخ روی آن میغلتد و بار آنرا به پی میرساند . رویه سیاه از دو پوسته ساخته میشود ، پوستهٔ رویی که چرخ روی آن میغلتد و پوستهٔ آستر ، که آنرا در زیر پوستهٔ رویی و روی پی میسازند .

روسازی‌ی بتنی ـ لایه‌ییست‌باتاب برشی‌ی زیاد که‌روی زیر پی ، یا روی تخت راه ساخته‌میشود، چرخ روی آن میغلتد و بار آنرا به تخت راه یا به زیر پی میرساند .

کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی راه .

پس‌از نخستین جنگ جهانی ، خیلی ازکارشناسان راه سازی کوشش کردند که کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی راه را هم مانند ساختمانهای بتنی حساب کنند . فورمولها و منحنی‌ها و نمودارهایی هم پیشنهاد کردند که چون با فرض‌های کم‌وبیش نادرست حساب شده‌بودند ، از آنها تاکنون نتیجهٔ عملی نگرفته‌اند و اثرشان هنوز از مجله‌ها و کتابهای فنی به کارگاه‌ها نرفته است‌وباگسترش زیاد راه سازی پس‌از جنگ جهانی دویم،حتی یک متر مربع هم تابه امروز با فورمول راه ساخته نشده است . زیرا راه سازی علمیست تجربی و روشهاییکه امروزه با آنها راه میسازند از تجربهٔ کارگاهی و آزمایشگاهی‌ی راه سازان بدست آمده‌است . آنچه حساب کردن کلفتی‌ی لایهٔ روسازی راه را دشوار و ناممکن ساخته ، در زیر نوشته شده‌است:

۱ـ چندی‌وچونی‌ی بارگذاری‌روشن نیست . کلفتی‌ی روسازی‌ی راه بسته گی دارد به‌سنگینی‌ی آمد و شد روی راه ، هرچه آمد و شد بیشتر و چرخ غلتان سنگین‌تر باشد ، باید لایهٔ روسازی کلفت‌تر ساخته شود . اثر آسهٔ تک چرخ ، از آسهٔ با چرخهای دنبال هم (tandem) هم‌وزنش بیشتر است . تندی‌ی رفت وآمد خودروها یکسان نیست ، هرچه تندتر آمد و شد کنند ، اثر چرخهای غلتانشان روی راه بیشتر است . جای‌غلتیدن‌چرخ خودروها مانندچرخ واگون‌راه‌آهن دریکجا نیست و از لبهٔ لایهٔ روسازی تا میان آن‌جابه‌جا میشود . وزن چرخ غلتان به شکل بارگسترده به روسازی میرسد . ازین‌رو تغییر شکل روسازی زیر چرخ غلتان ، به شکل یک گودال نیست،بلکه پیوسته و ناودانی شکل است . اگر تندی‌ی آمد و شد بارکشها

۵۰ تا ۶۰ کیلومتر در ساعت گرفته شود ، چرخ غلتان در $\frac{۱}{۱۰}$ ثانیه از روی هرمتر راه میگذرد. پس نمیشود تغییرشکل آنرا به شکل یک گودال انگاشت ، و هرفورمولی که با این فرض حساب شده باشد نادرست است.

۲- واکنش روسازی‌ی شَخ (بتنی) یا با پی شخ ، و روسازی‌ی فنری در برابر اثر چرخ غلتان و اثرهای جوّی یکسان نیست. صفحهٔ بتن راه جسمی برجهنده (الاستیک) است که روی بستر همگن نشست کننده آرمیده و بار چرخ را بهتر و روی سطح بیشتر ، به زیر خود میرساند. صفحهٔ بتن راه زیر چرخ غلتان به شکل ناودان تغییر شکل میدهد و در سطح زیر آن تنش کششی پیدا میشود. همین که این تنش از تاب کششی‌ی بتن بیشتر شود ، زیر صفحهٔ بتن تَرَک میخورد.

روسازی‌ی فنری تاب کششی ندارد (با پی شنی یا ماکادامی) یا تاب کششی‌ی آن بسیار کم است (با پی سیاه) و بار را روی سطح کمتر ، به زیر خود میرساند. لایهٔ روسازی‌ی فنری، زیر چرخ غلتان درهم فشرده شده توپر میگردد و هرگاه زمین زیر لایهٔ روسازی بیش از اندازه نشست کند ، روسازی‌ی فنری هم ازاین نشست پیروی کرده می‌بُرد و در سطح راه شیار پیدا میشود. پس روسازی‌ی شخ را بیشتر تنش خمشی‌ی بیش از اندازهٔ مجاز و روسازی‌ی فنری را بیشتر تنش برشی‌ی بیش از اندازهٔ مجاز خراب میکند.

۳- توان باربری‌ی زمین زیر لایهٔ روسازی همه‌جا یکسان نیست و بسته گی دارد به جنس زمین و دانه بندی‌ی آن و سطح بارگذاری به آن. هرچه جنس زمین بهتر باشد ، زمین توپرتر باشد ، سطح بار گذاری به زمین بزرگتر باشد ، زمین زیر بار چرخ کمتر نشست میکند. (توان باربری‌ی زمین ، مقداربار یست که روی واحد سطح زمین گذاشته شود تا به اندازهٔ واحد طول نشست کند وآنرا به kg/cm^3 می‌سنجند). توان باربری‌ی زمین را نمیشود در همه‌جا به یک اندازه انگاشت و کلفتی‌ی روسازی را پیدا کرد ، بلکه باید درهرجا آنرا اندازه گرفت.

۴- اثرهای جوّی ، به ویژه نشت کردن آب در جسم راه و کم و زیاد شدن گرما ، توان باربری‌ی زمین زیر روسازی‌ی راه را کم میکنند ، ازین رو در کلفتی‌ی روسازی‌ی راه اثر دارند و باید به حساب آیند. سطح راه هراندازه هم که خوب آب بندی شده باشد ، بازهم آب از شانه‌های راه ، دامن خاک ریزها ، دامن خاک های کنده شده ، در جسم راه نشت میکند و از تاب برشی‌ی آن میکاهد و چنانچه آب نشت کرده در زمین زیر روسازی بیش از اندازه باشد ، در زمستان یخ می‌بندد و ورم میکند ، در لایهٔ روسازی تنش کششی پیدا میشود و ترک طولی میخورد.

۵- لایهٔ روسازی‌ی شخ (بتنی) یا با پی شخ ، با گذشت زمان زیر اثر چرخ غلتان (کوبیدن ، خراشاندن راندن ، مکیدن) خسته شده تابش کم میشود. رویهٔ سیاه گذشته از اثر چرخ غلتان ، با کم و زیاد شدن

گرما حالت فنری‌ی خود را از دست میدهد. در سرما یخ می‌بندد و در گرما روغن های چسبندهٔ آن کم کم میپرند ورویهٔ سیاه‌خشک میشود. ازین رو نمیتوان لایهٔ روسازی‌ی سیاه‌راجسمی بامشخصات همیشه گی‌دانست.

۶- پایداری‌ی روسازی در برابر اثرهای چرخ و اثرهای جوّی، هم‌چنین چگونه گی‌ی رساندن بار چرخ به جسم راه، بسته گی دارد به جنس روسازی. جنس روسازی خود وابسته است به جنس مصالحی که در ساختنش مصرف میشود و روش ساختن آن.

روشهایی که برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه پیشنهاد شده‌اند میشود سه دسته کرد:

روشهای تؤری　　روشهای تؤری ـ آزمایشی　　روشهای آزمایشی

روشهای تؤری ـ تنها برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی شخ (بتنی) یا روسازی‌ی با پی شخ (شفتهٔ سیمانی یا بتنی) پیشنهاد شده‌اند. کلفتی‌ی صفحهٔ بتن راه را از روی تغییر شکل و تنش صفحهٔ برجهنده (الاستیک) که روی بستر نشست کننده آرمیده باشد، حساب کرده‌اند.

برای حساب کردن کلفتی‌ی لایهٔ بتن، باید توان‌باربری‌ی زمین زیر صفحهٔ بتن، چندی و چونی‌ی بارگذاری، جنس مصالح ساختمانی‌ی مصرف شده و روش ساختن لایهٔ بتنی، حالت برجهنده گی و تاب آن و به‌ویژه چگونه گی‌ی آرمیدن لایهٔ بتنی روی بسترش را دانست.

هرتس Hertz فیزیک‌دان به نام آلمانی در سال ۱۸۸٤ اندازهٔ نشست کردن و تنشی را که، در یک صفحهٔ برجهندهٔ شناور (روی جسم آبکی‌ی با چگالی‌ی ۲) زیر اثر بار تکی پیدا میشود حساب کرد. صفحه‌یی که به اندازهٔ معیّن در جسم آبکی‌ی باچگالی‌ی ۲ فرو رود، جسم آبکی، از زیر نیرویی برابر $s.2$ به آن وارد میآورد (s= اندازهٔ فرورفتن صفحه است در جسم آبکی).

وین کلر Winkler اطریشی برای حساب کردن تراورس راه آهن، توان باربری‌ی زمین زیر تراورس را به‌حساب گذاشت.

وسترگارد Westergaard امریکایی در سال ۱۹۲٦ فورمول هرتس را برای بارگذاری روی یک دایره گسترش داد و به‌جای ۲ توان باربری‌ی زمین را گذاشت. او پنداشت که، لایهٔ روسازی‌ی راه تنها زیر اثر بارگذاری نشست میکند. گذشته ازین، در حساب کردن تنش وتغییر شکل صفحهٔ برجهنده روی‌زمین نشست کننده، تنها در سه‌جای صفحه بارگذاشت: روی لبهٔ صفحه، کنار صفحه و دور از لبهٔ صفحهٔ بتن.

آزمایش روشن ساخت که، تنشی که در لایهٔ روسازی پیدا میشود با آنچه Westergaard حساب کرده بود تفاوت زیاد داشت، زیرا فرض او درست نبوده تا نتیجهٔ درست بدهد.

نویسنده درسال ۱۹۳۵ در دانشگاه فنی‌ی زوریخ ، روسازی‌ی بتنی‌ی راه را بررسی کرد ، نتیجه این شد که :

۱- کلفتی‌ی صفحهٔ بتن راه‌بسته گی‌دارد به: چندی و چونی‌ی بارگذاری‌ی‌روی آن و ، توان‌باربری‌ی زمین زیر آن.

۲- بار چرخ غلتان در یک نقطه روی صفحهٔ بتن راه اثر نمیکند ، بلکه روی یک نوار به پهنای لاستیک چرخ به سطح راه میرسد و صفحهٔ بتن به شکل ناودان تغییر شکل میدهد.

۳- اندازه‌گیری‌ی توان باربری‌ی همه جای تخت راه بسیار دشوار است ، تنها میشود پاره‌یی از جاهای آنرا اندازه‌گرفت و اندازه‌ها را باهم سنجید. امروزه ، برای آنکه توان‌باربری‌ی تخت راه به اندازهٔ خواسته شده برسد ، روی آن یک لایه زیر پی میسازند.

٤- بازشدن صفحهٔ بتن درگرمای تابستان و جمع شدن آن در سرمای زمستان،آن اندازه نیست که صفحهٔ بتن‌را روی‌بسترش بخزاند،ازین‌رو نیازنیست که میان‌صفحه‌های‌بتن درزهای گود و گشاد ساخته‌شود.

٥- اگر زمین زیر صفحهٔ بتن ، زیر بارگذاری بیش‌از اندازهٔ مجاز نشست نکند ، نیازی به فولاد گذاری در صفحهٔ بتن راه نیست.

Burmister ـ لایهٔ روسازی و زمین زیر آنرا دو پوسته گرفت و فرض کرد که که :

۱- لایهٔ روسازی جسم برجهنده‌یی باشد که روی بستر نشست کننده آرمیده است.

۲- سطح اتکای لاستیک چرخ روی راه ، یک دایره باشد و بار چرخ روی آن یکسان پخش‌شود.

۳- زیر لایهٔ روسازی زبر نباشد و با زمین‌زیرش سایش نداشته باشد ، یادارای بیشترین زبری‌باشد.

او برای اندازهٔ نشست کردن‌لایهٔ‌روسازی فورمول : $s = ۱٫٥ \frac{p \cdot a}{E_2} F_s$ را پیشنهاد کرد که در آن :

s = اندازهٔ نشست کردن لایهٔ روسازی در آسهٔ بارگذاری.

p = بارگسترده‌یی که از لاستیک چرخ روی راه یکسان پخش شود به kg/cm^2.

a = شعاع دایرهٔ اتکای لاستیک چرخ روی راه.

E_2 = ضریب برجهنده‌گی‌ی زمین زیر لایهٔ روسازی.

F_s = ضریب نشست کردن زمین زیر لایهٔ روسازی.

او کلفتی‌ی روسازی را تنها تابع اندازهٔ نشست کردن آن گرفت. دیگران، حساب او را به پیدایش تنش کششی در سطح زیری‌ی لایهٔ روسازی گسترش دادند.

این کار شناس حساب خود را برای روسازیهای سه لایه‌یی (صفحهٔ بتن ـ لایهٔ زیر پی ـ تخت راه) گسترش داد و شرط کرد که لایهٔ روسازی نباید بیش‌از ۱٫۲۵ م نشست کند.

تؤری‌ی Burmister برای پیدا کردن کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی‌فنری هم بکار برده شده که در آن رویه و پی یک لایه، و تخت راه لایهٔ دیگرفرض شده بود. کلفتی‌ی روسازی بااین شرط حساب شده بود که اندازهٔ نشست کردن روسازی زیر بار چرخ از ۵ م (که تجربی بدست‌آمده بود) زیادتر نشود.

با پیشنهاد Burmister هم نشد کلفتی‌ی‌روسازی‌راه را پیدا کنند، زیرا بافرض‌های‌نادرست حساب شده بود به‌این شرح:

۱ـ اتکای لاستیک چرخ غلتان روی سطح راه یک دایره نیست و بار چرخ غلتان روی یک نواربه پهنای لاستیک چرخ به روسازی میرسد. نتیجهٔ‌اندازه‌گیری‌ها این بوده است که‌اتکای لاستیک چرخ‌ایستاده روی راه، اگر چرخ سبک باشد دایره‌یی شکل، هرگاه میان وزن باشد بیضی شکل و چنانچه چرخ سنگین تراز ۲ تن باشد، به شکل مستطیل باگوشه‌های‌گرد است.

۲ـ لایهٔ روسازی جسم برجهندهٔ (الاستیک) کامل نیست.

۳ـ برای اندازهٔ بیشترین نشست کردن مجاز روسازی دلیلی نداده بود.

گذشته ازاینها، کارشناسان دیگر هم دراین زمینه پیشنهادهایی کردندکه ازآنها هم نتیجهٔ عملی گرفته نشد.

روشهای تؤری ـ آزمایشی: دراین روشها زمین تخت راه، لایهٔ زیر پی، لایهٔ پی و رویه برروی‌هم، یک جسم همگن آنگاشته شده و فرض کرده‌اند که سطح اتکای لاستیک چرخ روی راه یک دایره باشد و بار چرخ یکسان روی آن پخش شود.

چون زمین تخت راه، لایهٔ زیر پی، لایهٔ پی و رویه همگن نیستند وگذشته ازین، سطح اتکای چرخ غلتان روی راه دایره نیست، ازین‌رو آنچه بااین جور فرض‌ها حساب شده باشد درست نیست.

کلفتی‌ی روسازی‌ی راه را در روشهای، تؤری ـ آزمایشی، سه جورحساب کرده‌اند:

به روش تاب برشی، به روش Glossop و به روش Kansas.

روش با تاب برشی، که با آن کلفتی‌ی روسازیهای فنری را حساب کرده‌اند براین فرض است که، لایهٔ روسازی و زمین زیر آن همگن باشند. دراین روش باید:

۱- سطح دایرهٔ اتکای لاستیک چرخ را روی راه بدست آورد ، سپس بار چرخ را به سطح این دایره یکسان پخش کرد. لایهٔ روسازی و زمین زیر آن باید در برابر بار پخش شدهٔ چرخ پایداری کنند.

۲- تاب برشی‌ی زمین زیر لایهٔ روسازی را با آزمایش سه آسه‌یی پیدا کرد.

۳- کلفتی‌ی روسازی‌ی راه را جوری معیّن کرد که ، تنش برشی‌یی که از بار چرخ به زمین زیرلایهٔ روسازی میرسد ، از تاب برشی‌ی زمین خیلی کمتر باشد.

روش Glossop ، کلفتی‌ی روسازی‌ی راه از روی اندازهٔ نشست کردن مجاز زمین زیر لایهٔ روسازی حساب نشده است، بلکه فرض براین بوده است که تاب‌برشی‌ی زمین (سایش دانه‌ها به همدیگر وچسبندگی‌ی آنها) ازمیان برود ، هم‌چنین فرض شده است که بار چرخ به سطح راه مانند باریست که از پی‌ساختمان به زمین میرسد. این‌درست نیست ، زیرا بار پی‌ساختمان شناخته وهمیشه گی‌ست ، درحالیکه چندی و چونی‌ی بار چرخ غلتان روی راه ، نه روشن است و نه همیشه گی.

روش Kansas (U.S.A.) ، برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌های فنری پیشنهاد شده است.

از روی نتیجهٔ آزمایش سه محوری‌ی‌زمین زیر لایهٔ روسازی و دستور Boussinesque که درآن :

$\mu = \frac{۱}{۲}$ گرفته شده و به شکل $s = ۱٫۵ \frac{p \cdot a}{E_2}$ درآمده، فورمول

$$h = \sqrt{\left(\frac{3 \times p \times m \times n}{2 \times \pi \times E_2 \times s}\right)^2 - a^2} \times \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}$$

را پیشنهاد کرده است که در آن:

h = کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی فنری ،

E_1 = ضریب برجهنده گی‌ی پی روسازی‌ی فنری.

E_2 = » » » زمین زیر لایهٔ روسازی‌ی فنری.

P = بیشترین بار چرخ که روی سطح راه گذاشته شود برابر با : $a^2 \times \pi \times p$

m = ضریب وابسته به سنگینی‌ی آمد و شد خودروها در راه.

n = ضریب سیر آبی‌ی زمین ، وابسته به میزان بارندگی.

a = شعاع دایرهٔ اتکای چرخ روی سطح راه.

s= بیشترین نشست مجاز سطح راه (۰ر۲۵مم = ۱ر. اینچ).

اندازه‌های m و n در جدولهای‌زیر داده شده است :

خودروهاییکه درهرشبانه روز در راه آمد و شد میکنند				بارچرخ (میانه گیری شده) به تن	ضریب آمد و شد به m
بیش‌از		۱۵۰۰	دستگاه	۴ر۰۸۰	۱ر۰
۱۵۰۰	تا	۹۰۰	»	۳ر۴۰۰	۰ر۸۳
۹۰۰	»	۳۰۰	»	۲ر۷۲۰	۰ر۶۷
۳۰۰	»	۵۰	»	۲ر۰۴۰	۰ر۵۰

میزان بارنده‌گی‌ی سالیانه به مم			ضریب سیرآبی‌ی زمین به n
۱۱۵۰	تا	۸۹۰	۱ر۰
۸۸۹	»	۷۶۰	۰ر۹
۷۵۹	»	۶۳۵	۰ر۸
۶۳۴	»	۵۱۰	۰ر۷
۵۰۹	»	۳۸۰	۰ر۶

روشهای‌آزمایشی ـ پس‌از آنکه از روشهای تؤری ، و تؤری ـ آزمایشی ، برای‌پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه نتیجهٔ عملی بدست نیامد ، راه سازان به تلاش‌افتادند تا از راه آزمایش کلفتی‌ی روسازی‌ی راه را پیدا کنند. درکشورهای صنعتی آزمایشهای زیادی انجام شدکه به نتیجهٔ خواسته شده نرسید ، تاآنکه در U.S.A. دست به آزمایش بزرگی زدند.

آزمایش بزرگ AASHO ـ برای آنکه هزینهٔ راه‌های کشوری در U.S.A. به تصویب کنگرهٔ آن کشور برسد ، نیاز به این بود که گزارش فنی‌ی کاملی از هزینه‌های راه سازی و راهداری برای کنگره آماده گردد. این کار به وزارت اقتصاد آن کشور واگذار گردید و National Advisor Comitee برای یک آزمایش بزرگ برنامه‌یی نوشت که AASHO آنرا انجام داد. دراین برنامه خواسته شده بود که :

۱ـ رابطه های مهم میان **شمارآسه‌های** جور به جور (آسهٔ تک چرخ و تاندم چرخ با وزن‌های کم و زیاد) که روی راه میغلتند و **دوام لایه‌های روسازی** (بتن آسفالتی ، بتن سیمانی ، بتن فولادی) که رویه و پی آنها به کلفتی‌های مختلف ساخته شوند پیدا شود ، با فرض شناخته بودن زمین زیر لایهٔ روسازی.

۲ـ اثرهای مهم‌بار آسه‌هاو وزن‌خودروهای معیّن که با تواُتر شناخته از روی پلها(ی با ساختمان شناخته) گذر کنند پیدا شود.

۳- بررسی‌های ویژه برای روشن ساختن آنچه در زیر نوشته شده است انجام شود :

اثر پایدار کردن شانه‌های راه. پی‌های با مصالح جور به جور (مانند:شن و ماسهٔ درهم ، شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده ، شفتهٔ سیمانی با شن و ماسهٔ درهم ، ماکادام سنگی). خسته گی‌ی روسازی . اثر نوع لاستیک و فشار آن برروی راه . اثر خودروهای جنگی روی راه. همهٔ نتیجه‌های این بررسی‌ها یا پاره‌یی از آنها با نتیجه‌های آزمایشهای اصلی مربوط شوند.

٤- فهرستی از مصالح ساختمانی و کارهای ضروری که برای تعمیر همیشه گی‌ی هرتکه راه ، که در دورهٔ آزمایش لازم باشد تهیه گردد.

٥- اسبابهای آزمایش ، روشهای آزمایش ، پیکره‌ها ، جدولها ، منحنی‌ها و فورمولهایی تهیه گردد، تا بتوان از روی آنها آماده گی‌ی هرتکه راه آزمایشی را برای بهره برداری روشن ساخت و در طرح کردن راه‌های نوازآنها بهره گیری کرد. هم‌چنین بشودآماده گی‌ی راه‌های ساخته شده را برای بارگذاری تخمین زد. رویهمرفته کاری بشود که ، زمینه‌یی برای بررسی‌های راه سازی در آینده فراهم گردد.

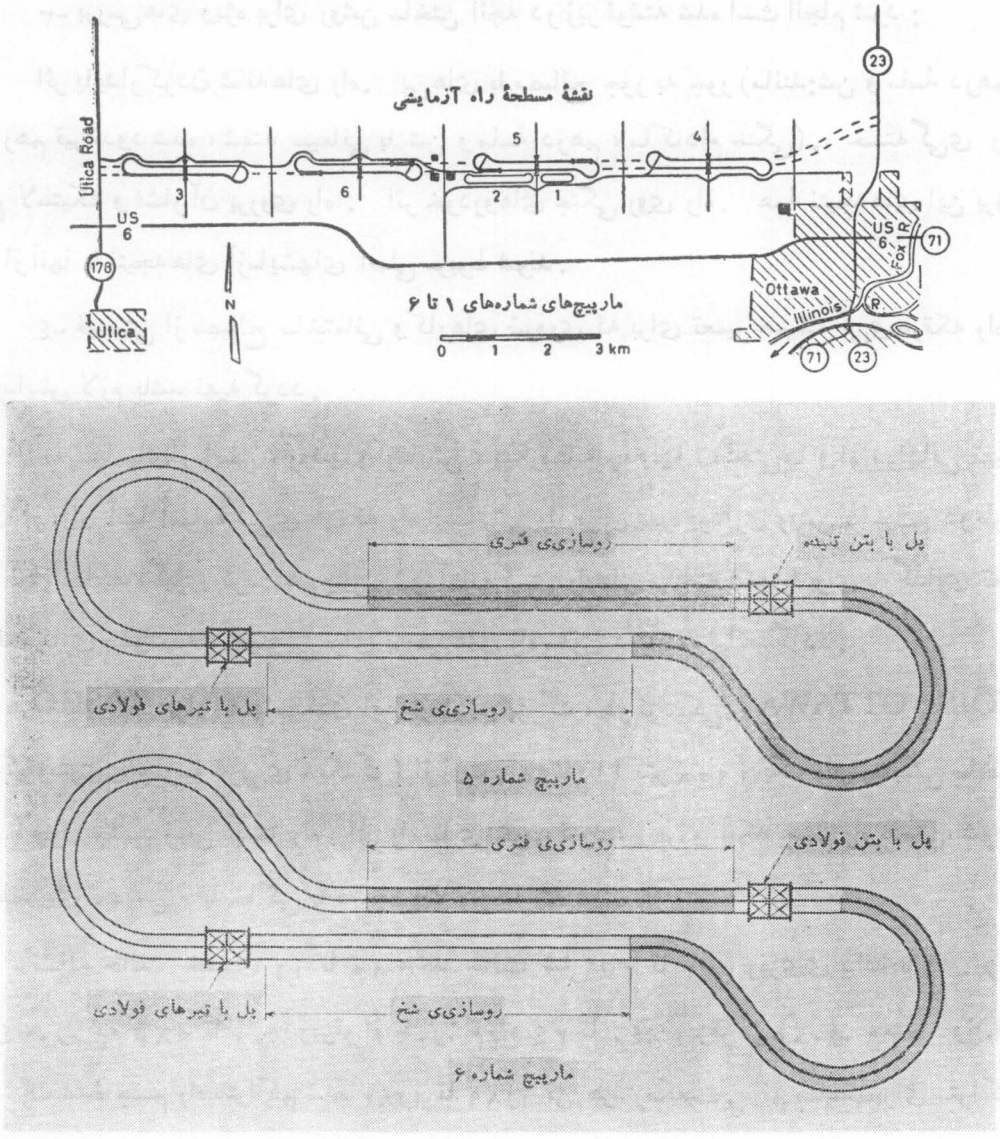
AASHO برای انجام دادن این آزمایش بزرگ ، در نزدیکی‌ی ILLINOIS , OTTAWA (۱۲۸ کیلومتری‌ی جنوب غربی‌ی شیکاگو) از اوت ۱۹۵٦ تا اکتبر ۱۹۵۸ یک راه آزمایشی ساخت.

چون جنس زمین بستر راه برای راه سازی خوب نبود ، و برای آنکه جسم راه همگن شود ، جسم راه به بلندی‌ی ۹۰ س م با خاکی با مشخصات زیر ساخته شد.

نشانهٔ حالت خمیری ۱۱ تا ۱۵ ، حد حالت شلی ۲۷ تا ۳۲ ، ریزی‌ی دانه‌ها : ۸۰ تا ۸۵٪ ریزتراز۰٫۷٤ م م و ۵۸ تا ۷۰٪ ریزتر از ۰٫۲ م م و ۳٤ تا ٤۰٪ ریزتر از ۰٫۰۰۵ م م . وزن‌فضایی‌ی خاك خشک شدهٔ جسم راه متراکم شده ۱٫۸۲ تا ۱٫۸۹ تن هرمترمکعب. نم مناسب‌برای متراکم کردن خاك در جسم راه ، ۱٤ تا ۱٦٪ وزن خاك.

راه آزمایشی با چهار مارپیچ بزرگ و دو مارپیچ کوچک ، و ٤٦۸ تکه باروسازی‌ی‌فنری ، هریک به پهنای ۳٫٦۵ متر و به درازی‌ی ۳۰ تا ٤۹ متر ، و ۳٦۸ تکه‌باروسازی‌ی بتنی ، هریک به پهنای۳٫٦۵ متر و به‌درازی‌ی ۳۷ تا ۷۳ متر ساخته شد.

پس‌از آنکه ساختن راه بپایان رسید ، در مدت ۲۵ ماه (از ۱۵-۱۰-۱۹۵۸ تا ۳۰-۱۱-۱۹٦۰) روی آن شش جور بارکش با آسهٔ تک چرخ ، هرآسه به وزن ۹٫۰ تا ۱۳٫٦ تن و چهار جور بارکش‌باآسهٔ تاندم چرخ (چرخهای دنبال هم) به وزن ۱٫۸ تا ۲٫۸ تن و سرعت ۵٦ کیلومتر در ساعت براه انداختند و از روی روسازیهایی که دوام آوردند ۱،۱۱٤،۰۰۰ بارآسهٔ بارکش گذراندند. برای این کار ، سربازان باربری‌ی ارتش امریکا بیش‌از ۲۷ میلیون کیلومتر روی راه آزمایشی راننده گی کردند.



شکل ۱- نقشهٔ کف دو مارپیچ از راه آزمایشی

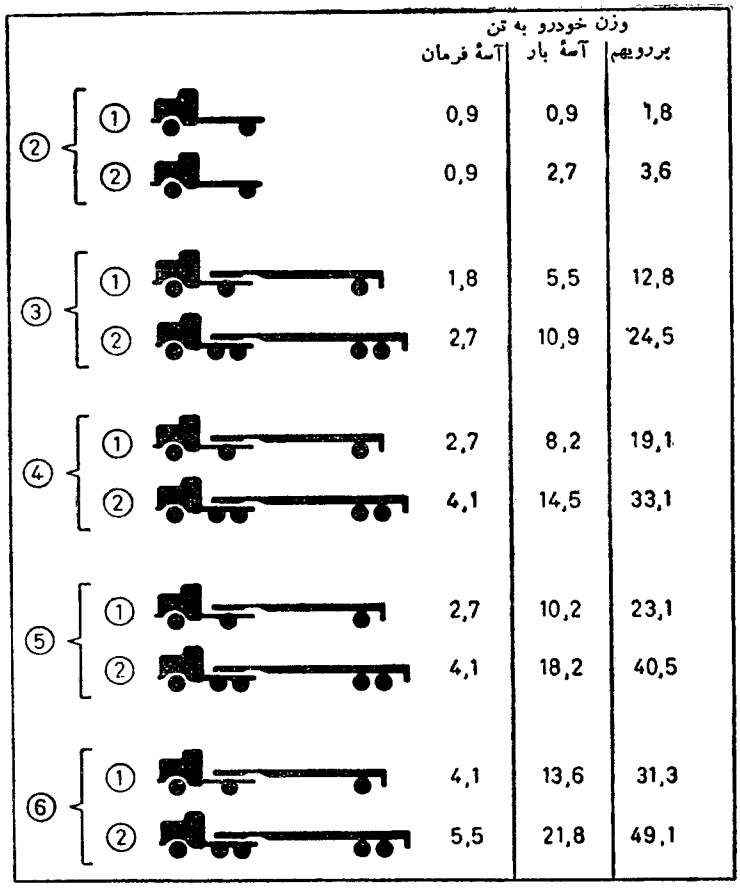
AASHO در ژانویهٔ ۱۹۶۲ دفتر آزمایش را بست و از روی نتیجه‌های بدست آمدهٔ آزمایش، نخستین دستورهای موقت را برای کلفتی‌ی روسازی‌ی فنری و روساری‌ی شخ بیرون داد که چون رسانبودند، برای کامل کردن آنها از سال ۱۹۶٤ دست به آزمایشهای تکمیلی زد.

یادآوری - دربارهٔ ساختن راه آزمایشی و اندازه‌گیری‌ها و حساب کردن آنها باید نوشته شود که:

۱- سالها بود که AASHO میخواست دو دشواری‌ی بزرگ را از میان بردارد. یکی آنکه، راه جوری ساخته شود که دربرابر افزایش همیشه‌گی‌ی بارگذاری دوام کند، و دیگر آنکه، برای وزن‌آسه‌ها و اندازهٔ خودروها دستوری نوشته شود.

۲- راه آزمایشی روی زمین خاکی‌ی نرم ساخته شد، همهٔ شن و ماسهٔ مصرف شده را از یک معدن

و همهٔ سنگ شکستهٔ آهک دولومیتی‌ی بمصرف رسیده را هم از یک معدن برداشتند ، تا مصالح سنگی‌ی پی‌ها یک جور باشد.



شکل ۲- وزن آسه‌های خودروهایی که روی راه آزمایشی غلتیدند

۳- روسازیهای فنری را روی زمین خاکی ، با زیر پی و پی و رویهٔ بتن آسفالتی ، و روسازی‌های شنی را هم روی زمین خاکی،بازیر پی‌و صفحهٔ بتن سیمانی یابتن فولادی ساختند. رویهٔ بتن‌آسفالتی ، روی چهار جور پی با کلفتی‌های کم و زیاد ساخته شد :

پی شن و ماسهٔ درهم سرند شدهٔ صفر تا ۲۰ مم.

پی شن و ماسهٔ درهم سرند شدهٔ صفر تا ۲۰ مم و قیر اندود شده.

پی شفتهٔ سیمانی ، با دوغاب سیمان و شن‌و ماسهٔ درهم سرند شدهٔ صفر تا ۲۰ مم.

پی ماکادامی ، با خرده سنگ شکستهٔ آهک دو لومیتی‌ی صفر تا ۳۸ مم.

از بررسی‌های‌ویژه در ٤٨ تکه‌از راه‌آزمایشی که باروسازی‌ی‌فنری ساخته‌شده بودند،نتیجه‌شد که : اگر توان باربری‌ی لایهٔ ماکادامی برابر یک گرفته شود ،

توان باربری‌ی لایهٔ شن و ماسه‌یی‌ی درهم به همان کلفتی برابر ۸ر. ،

و توان باربری‌ی لایهٔ شفتهٔ سیمانی‌ی با شن و ماسهٔ درهم به همان کلفتی برابر ۱ر۲ ،

و توان باربری‌ی لایهٔ شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده به همان کلفتی برابر ۶ر۲ است.

هم‌چنین توان باربری ۵ر۲ س‌م لایهٔ بتن آسفالتی برابر است با ۵ر۷ س‌م لایهٔ ماکادام سنگی و ۱۰ س‌م لایهٔ شن و ماسهٔ درهم.

گرچه این پیکره‌ها از یک جایگاه آزمایش بدست آمده‌اند و همه‌جایی نیستند ، بازهم برای راه سازان راهنمای خوبی هستند.

دانه‌بندی‌ی مصالح سنگی‌ی‌بتن(ماسه و شن صفر تا ۲۵ م‌م)اثری در صفحهٔ‌بتن به کلفتی‌ی ۶ر۷ تا ۹ر۲۲ س‌م نداشت ، هم‌چنین در درازی‌ی صفحهٔ‌بتن سیمانی‌ی ۶ر۴ متری ، و صفحهٔ بتن فولادی‌ی ۲ر۱۲ متری تفاوتی دیده نشد.

۴- در آزمایش اصلی ، آنچه باید روشن میشد این بود که : دوام روسازیهای شخ و فنری‌ی با کلفتی‌ی کم و زیاد را که با مصالح ساختمانی و مشخصات یکسان ساخته شده بودند ، زیر آمد و شد ده جور آسهٔ با و زن کم و زیاد بدست آورند.

۵- چون راه آزمایشی‌ی ساخته شده از دید : زمین زیر لایهٔ روسازی ، مصالح ساختمانی‌ی مصرف شده در روسازی ، آب و هوای جایی که راه آزمایشی ساخته شد ، بارگذاری‌ی روی راه ، با راه‌هایی که در جاهای‌دیگرساخته خواهند شد یکجورنخواهد بود،ازین رو از سال ۱۹۶۴ دست بساختن راه‌های آزمایشی‌ی تکمیلی زدند و با نتیجه‌یی که از آنها بدست آمد ، دستورهای نخستین را اصلاح کردند و برای راه سازی دستورهای نو نوشتند که در همه‌جای جهان میشود آنها را بکار برد.

۶- با همهٔ دقتی که در ساختن راه آزمایشی بکار برده شد ، کمی پس‌از براه افتادن خود روها روی راه ، از مقدار p کم‌وبیش کاسته شد. این کاهش به گذر کردن خودروها بسته گی نداشت ، و از تغییر فصل پیدا شده بود. لایه های متراکم شدهٔ زیر پی و پی،زیر اثرهای جوّی ، باعث‌نشست کردن روسازی‌های فنری شده بودند ، که آنرا اندازه گرفتند و بحساب گذاشتند.

هم چنین‌متراکم شدن‌رویه های سیاه‌درنخستین ماه‌های‌بارگذاری،باعث کم شدن مقدار p گردید.

پس‌از آنکه نتیجه های‌آزمایشهای‌اصلی و تکمیلی بدست آمد ، AASHO از روی آنها دستورهایی برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه نوشت که ، کشورهای صنعتی از آنها پیروی کردند.

دستورهایی که دراینجا نوشته میشوند،همان دستورهای AASHO هستند که از استانداردهای سوئیسی گرفته شده و با وضع ایران جورگردیده‌اند :

یکم - توان باربری و همجوری‌ی زمین تخت راه.

دویم ـ بارگذاری روی راه.

سه‌یم ـ آماده‌گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها.

چهارم ـ کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی سیاه.

پنجم ـ کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی بتنی‌ی راه.

یکم ـ توان باربری و همجوری‌ی زمین «تخت راه» که برای روسازی آماده شده است. دراین‌دستور در بارهٔ سه‌چیز نوشته شده:

۱ـ پی‌بردن به چگونه‌گی‌ی‌زمین خرده سنگی‌ی متراکم شدهٔ زیر تخت راه (سطح تخت شدهٔ جسم راه در زیر لایهٔ روسازی)، تا از روی آن بشود کلفتی‌ی روسازی‌ی راه را پیدا کرد.

۲ـ روشهای اندازه‌گرفتن یا تخمین زدن توان باربری‌ی زمین بستر راه یا جسم راه، پس‌از آماده شدن تخت راه برای روسازی.

۳ـ روشهای بررسی‌ی توان باربری وهمجوری‌ی تخت راهی که برای روسازی آماده شده باشد.

شناسایی ـ توان باربری‌ی زمین تخت راه، که برای پیداکردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه به حساب گذاشته میشود، نمایندهٔ پایداری‌ی زمین بستر راه (درکنده‌ها) یا جسم راه (در ریخته‌ها) است،در زیر بار.

در راه‌های بارویهٔ سیاه، توان باربری‌ی زمین تخت راه را با آزمایش کارگاهی و آزمایشگاهی‌ی CBR بدست میاورند.

در راه‌های باروسازی‌ی بتنی، توان باربری‌ی زمین تخت راه را (k=واکنش زمین درزیر بار به kg/cm³) با آزمایش VSS پیدا میکنند.

همگنی‌ی تخت راه ـ یک تکه از تخت راه همگن است، هرگاه اندازه‌های بدست آمده از یک رشته آزمایش توان باربری(درکنده‌ها یا ریخته‌ها)،از اندازه‌های نوشته شده در جدول بیشتر نشوند. گذشته ازین، پس‌از غلتیدن آهستهٔ چرخ آزمایشی‌ی بارکش روی تخت راه، اثر چرخ همه‌جا یکسان دیده شود.

آزمایش توان باربری درکارگاه	ضریب افزایش وکاهش به $\frac{\sigma}{x}$
رویهٔ سیاه CBR	۰٫۴۰ ⩽
روسازی‌ی بتنی k	۰٫۰ ⩽

$\overline{X}$ = نتیجهٔ میانه‌گیری شده از n اندازه‌گیری.

$$\sigma = \text{افزایش یا کاهش استاندارد شده} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2}$$

X_i = نتیجهٔ آزمایش در نقطهٔ i.

n = شمار اندازه‌های بدست آمده یا نقطه‌های آزمایش شده.

در یک خاکریز، که کار خوب انجام شده باشد، اندازه‌های نوشته شده در جدول بالا بدست خواهند آمد، و این نشانهٔ همجوری‌ی زمین خرده سنگی‌ی توپر شدهٔ تخت راه است.

در یک تکهٔ تخت‌راه همگن، میتوان کلفتی‌ی روسازی را از روی اندازه‌های میانه گیری شدهٔ توان باربری حساب کرد.

توان باربری‌ی زمین خرده سنگی با گذشتن زمان افزایش یا کاهش مییابد، این بسته گی دارد به دور کردن آب از راه، و متراکم کردن زمین خرده سنگی هنگام ساختن جسم راه، همچنین به یخ بستن جسم راه و، وارفتن یخ آن.

افزایش یا کاهش توان باربری‌ی تخت راه در جدول زیر نوشته شده است.

موقع اندازه‌گیری‌ی توان باربری‌ی تخت راه (نمونهٔ برداشته شده ازگودال گمانه هنگام پیش بررسی)	افزایش یا کاهش توان باربری‌ی تخت‌راه نسبت به اندازه‌های استاندارشده
۱- پس از انجام شدن کارهای خاکی وزه کشی، در زمین های ماسه‌یی ولایی.	افزایش
۲- پس از انجام شدن کارهای خاکی، در زمین های خاك رسی‌ی ورم کننده.	کاهش
۳- پس از ریختن و متراکم کردن لایهٔ شن و ماسهٔ درهم در زیر پی.	افزایش
٤- هرگاه زمین زیر سطح تخت راه یخ ببندد.	افزایش زیاد
٥- هنگام وارفتن زمین یخ بستهٔ بستر راه، به‌ویژه زمین هاییکه خطر یخ زد نشان زیاد است.	کاهش زیاد
٦- چگونه گی‌ی توان باربری‌ی زمین، پس از گذشتن زمان :	
اگر زمین با آب بیشتر از «نم مناسب» متراکم شده باشد.	بیشتر، افزایش
« کمتر از « «	بیشتر، کاهش

پیدا کردن اندازه‌های توان باربری :

تخمین زدن ـ برای طرح نخستین، یا برای حساب کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه‌های کم آمد و شد، میشود توان باربری‌ی راه را به یاری‌ی پیکره‌های نوشته شده در جدول زیر «تخمین زد» این جدول از

روی بررسی‌های راه سازان U.S.A. (Corps of Engineers) درست شده است ، که درآن بیشترین و کمترین اندازه‌ها ، همسنگ بیشترین و کمترین اندازه‌های وزن فضایی‌ی خاك متراکم شدهٔ خشک هستند.

اندازه‌های جدول برای زمین های خرده سنگی‌ییست که : با «نم مناسب» ریخته و متراکم شده باشند و دست کم دو سال از ساختن آنها گذشته باشد. با دور نگاهداشتن آب از زمین خرده سنگی‌ی تخت راه ، اگر تا گودی‌ی دست کم ۶۰ س م متراکم باشد.

نام و نشانی‌ی زمین خرده سنگی USCS	وزن فضایی‌ی زمین متراکم شدهٔ خشک به t/m^3	توان باربری‌ی زمین ، آزمایش کارگاهی	
		CBR به %	k به kg/cm^3
GW = زمین شنی‌ی با دانه‌بندی‌ی خوب	۲٫۰۰ تا ۲٫۲۵	۶۰ تا ۸۰	۸
GP = زمین شنی‌ی با دانه‌بندی‌ی بد	۱٫۷۵ » ۲٫۱۰	۲۵ » ۶۰	۸
GM = زمین شنی‌ی لای‌دار	۲٫۱۰ » ۲٫۳۰	۴۰ » ۸۰	۸
GC = زمین شنی‌ی خاك رس‌دار	۱٫۹ » ۲٫۲۵	۲۰ » ۴۰	۸ تا ۵
SW = زمین ماسه‌یی‌ی با دانه‌بندی‌ی خوب	۱٫۷۵ تا ۲٫۱۰	۲۰ تا ۴۰	۸ تا ۵
SP = زمین ماسه‌یی با دانه‌بندی‌ی بد	۱٫۶۰ » ۱٫۹۰	۱۰ » ۲۵	۸ » ۵
SM = زمین ماسه‌یی‌ی لای‌دار	۱٫۹۰ » ۲٫۱۵	۲۰ » ۴۰	۸ » ۵
SC = زمین ماسه‌یی‌ی خاك رس‌دار	۱٫۷۰ » ۲٫۱۰	۱۰ » ۲۰	۸ » ۵
ML = لای با حد حالت شلی‌ی پایین	۱٫۶۰ تا ۲٫۰۰	۵ تا ۱۵	۵ تا ۳
CL = خاك رس با حد حالت شلی‌ی پایین	۱٫۶۰ » ۲٫۰۰	۵ » ۱۵	۵ » ۳

برای زمین های خرده سنگی‌ی با جسم آلی (OH , OL) و زمین های ریزدانه با حد حالت‌شلی‌ی بالا (MH , CH) باید بررسی‌ی آزمایشگاهی پیش‌بینی شود.

روش دقیق ـ برای بدست آوردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه ، باید در منحنی‌ها ، اندازه‌های دقیق توان باربری‌ی زمین تخت راه گذاشته شود. این اندازه‌ها را باید از آزمایش های کارگاهی و آزمایشگاهی بدست آورد.

از آزمایش CBR آزمایشگاهی، برای روسازی‌ی بارویهٔ سیاه دو نمونه میسازند و آزمایش میکنند.

خاك آزمایشی را که دارای نم مناسب باشد در پنج لایه درهاون میریزند ، هرلایه را ۵۵ بار با وزنهٔ ٤٫۵ کیلوگرمی که از بلندی‌ی ۴۵٫۷ س م فروافتد میکوبند و با میانه گیری از نتیجه های دو آزمایش اندازه‌های CBR را بدست میآورند.

در یک آزمایش ، نمونهٔ خاك کوبیده شده را در زیر آب میگذارند. در آزمایش دیگر ، نمونه را زیر آب میگذارند و سپس با آن آزمایش یخ بندان هم میکنند (در جاهای سرد).

برای شناسایی‌ی زمین های خرده سنگی‌یی که جمع میشوند یا ورم میکنند ، بایدآزمایشهای دامنه‌دار انجام شود.

مدت آزمایش برای زمین های خرده سنگی‌ی آب گذران باید نزدیک به یک هفته،وبرای زمین های ریز دانه‌یی که آب از آنها نمیگذرد باید نزدیک به دو هفته باشد.

برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه ، از اندازه‌های CBR که از آزمایش نمونهٔ خاك کوبیده شده و زیر آب مانده بدست آید ، بهره گیری میشود. هرگاه اندازه‌های بدست آمده از آزمایش نمونهٔ خاك کوبیده شده و زیر آب مانده و یخ بسته ، خیلی کمتر از نمونهٔ یخ نبسته باشد(زمین های خرده سنگی‌یی که اثر یخبندان درآنها خیلی زیاد است) ، سفارش شده است که در اندازه‌ها ، کاهش توان باربری‌ی زمین هنگام وارفتن زمین یخ بسته پیش‌بینی شود.

آزمایش CBR کارگاهی ـ این آزمایش را میتوان هنگام نخستین بررسی‌ی زمین بستر راه ، درجاییکه تحت‌راه خواهد افتاد انجام داد ، باید بررسی شود که‌آیا توان باربری‌ی زمین درگودی‌ی ۶۰س‌م ازجای‌تخت‌راه ، کاسته خواهدشدیانه. این بررسی راباگمانه‌زنی ، یاباکوبیدن شمع های‌آزمایشی یاباآزمایش CBR درگودی‌های مختلف انجام میدهند.

اگر اندازهٔ CBR زمین خرده سنگی از ۱۰٪ کمتر باشد ، آنرا با نفوذ سنج ویژهٔ این کار اندازه میگیرند. هرگاه توان باربری‌ی زمین هنگام نخستین بررسی با توان باربری‌ی زمین پس‌از ساختن تخت‌راه یکی باشد ، میشود اندازه‌های بدست آمده از آزمایش CBR را برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه بکار برد. اگر این جور باشد ، اندازه‌های CBR کارگاهی هم با اندازه‌های CBR آزمایشگاهی برابر خواهند شد.

اندازه‌های k ـ اگرنتیجهٔ نخستین بررسی زمین ، برای روسازی‌ی بتنی پذیرفتنی باشد ، بااندازه‌هایی که برای k در جدول نوشته شده ، میتوان کلفتی‌ی لایهٔ بتنی‌ی روسازی‌ی راه را پیدا کرد. سفارش شده است که اندازه‌های k را روی تخت راه آماده شده بررسی کنند.

توان باربری و همجوری‌ی تخت راه ، باید پس‌از ترازگیری و پیش‌از آغاز روسازی بررسی شود.

برای این کار پس از آنکهٔ تخت راه برای روسازی آماده شد ، یک بارکش موتوری را روی «هرخط راه» به آهسته گی‌ی پیاده رفتن برآنند. فشار آسهٔ بارکش باید با توان باربری‌ی زمین تخت راه متناسب باشد جوریکه جای غلتیدن چرخ روی راه دیده شود. یکی دو کارشناش جای غلتیدن چرخ های بارکش‌موتوری را روی‌تخت راه بررسی کرده ، از روی اثر چرخ ، جاهای سُست را روی تخت راه نشانه گذاری کنند،جاهای سست نشانه گذاری شده باید از نو بررسی شوند.

به تجربه دیده شده است که اگر زمین تخت راه ، زیر فشار چرخ آسهٔ پنج تنی‌ی بارکش موتوری (با ۷ آتمسفر اضافه فشار درون لاستیک چرخ) تغییر شکل ندهد و ترك نخورد و نشست نکند میتوان M_Eی آنرا دست کم ۱۰۰ kg/cm^2 گرفت.

هرگاه از بررسی‌های به هنگام ساختن راه روشن شود که ، زمین یک تکه از تخت راه که هنگام طرح کردن همگن پنداشته شده بود، ناهمگن است ، باید آنرا به تکه‌های کوچکتر همگن تقسیم کنند وبسته به چگونه گی‌ی هریک‌از آنها ، توان باربری‌شان را افزایش دهند.

برای بهتر کردن «همجوری» ی تخت راه باید :

کلفتی‌ی روسازی‌ی راه را از روی توان باربری‌ی هرتکهٔ همگن تخت راه برگزینند. این کار در تکه‌های کوچک دشوار است ، پس بهتر آنست که کلفتی‌ی روسازی را کم و زیاد نکنند ، بلکه جنس لایهٔ زیر پی را بهتر کنند و یا آنرا کلفت‌تر بسازند.

کم و زیادی‌ی توان باربری‌ی زمین تخت راه را میشود به شرح نوشته شده در زیر در یک تکهٔ بزرگ راه‌یکسان کرد :

جای نمناك را بگذارند در هوای خشک باد بخورد و خشک شود.

جاهای آبدار را زه کشی کنند.

جاهای سست را از نومترا کم کنند.

زمین خرده سنگی‌ی با توان باربری‌ی کم را بردارند و به جای آن زمین خرده سنگی‌ی با توان باربری‌ی بیشتر بریزند.

قلوه سنگ ، تخته سنگ ، پاره سنگ و مانند اینها را درآورند و جای آنها را با زمین خرده سنگی پر کنند.

با ساختن شفتهٔ آهکی ، شفتهٔ قیری ، شفتهٔ سیمانی ، زمین را پایدار کنند.

دویم ـ بارگذاری روی راه : برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه ، باید چندی و چونی‌ی بارگذاری‌ی روی راه را شناخت. بارگذاری روی هرتکه راه برابر است با ، وزن همهٔ خودروهایی که در

دورهٔ عمر راه روی آن خواهند غلتید و باید از روی آمد و شد موجود پیش‌بینی شود.

وزن خودروها را چرخهای آسه‌های آنها به روی راه میرسانند. اثر آسه‌های خودروهای جور به جور روی راه، بسته‌گی دارد به سنگینی‌ی آنها و ساختمان خودروها. هرچه آسهٔ خودرو سنگین‌تر باشد، اثرش روی راه بیشتراست، هم‌چنین آسه‌های تک چرخ اثرشان از آسه‌های تاندم‌چرخ (tandem= چرخهای دنبال هم) هم وزن بیشتر است.

واحد آسه ـ برای آنکه حساب کردن بارگذاری روی راه آسان شود، اثر آسهٔ تک چرخ ۱۸ هزار پوندی (۸٫۱۶ تن) را روی راه «**واحد آسه**» گرفتند و، اثر آسه‌های جور به جور را روی راه، به «همسنگ واحد آسه» پیدا کردند که در جدول نوشته شده است. چون اثر آسه‌های کمتر از یک تن روی راه ناچیز است، از آنها چشم پوشی شده و به حساب نیامده‌اند.

بار همسنگ ـ برابر است با اثر وزن آسه‌های همهٔ خودروهایی که در یک روز، و یا در دورهٔ عمر راه روی آن خواهند غلتید، که به «واحد آسه» تبدیل شده باشند.

بارگذاری روی هرتکه راه بسته‌گی دارد به: شمار آسه‌های خودروهای جور به‌جور باوزن شناخته که روی راه میغلتند، و بررسی‌ی رفت‌وآمد خودروها، و پیش‌بینی‌ی رفت و آمد آنهادر دورهٔ عمر راه که آنرا ۷۳۰. برابر (روز ۷۳۰=۳۶۵×۲۰ سال) بارگذاری‌ی روزانه میگیرند.

باریکه از آسهٔ خودروها به راه میرسد، در همه‌جای آن یکسان نیست، ازین رو باید کلفتی‌ی روسازی‌ی هرخط راه را از روی بارگذاری به آن پیدا کرد. برای این کار، همهٔ بارگذاری‌ی روی راه را به «خط‌های رفتن و خط‌های آمدن» پخش میکنند.

راه یک خطی				٪۱۰۰
راه دو خطی			٪۵۰	٪۵۰
راه سه خطی		٪۵۰	٪۰	٪۵۰
راه چهار خطی	٪۴۵	٪۵	٪۵	٪۴۵

اندازهٔ بار همسنگ راکه به راه میرسد، تخمین میزنند یا حساب میکنند. بار همسنگ را میشود، با دانش راه‌سازی‌ی تا سال ۱۳۵۱، تخمین زد. دراین کار، شمار آسه‌های سنگین خودروهایی راکه پیش‌بینی میشود در دورهٔ عمر راه روی آن بغلتند ۲٫۱ برابر میکنند.

برای حساب کردن بار همسنگ، شمار و وزن خودروهای جور به جوری راکه روی راه میغلتند برمیدارد. اثر وزن آسه‌های هرجور خودرو را به «واحد آسه» تبدیل کرده، یادداشت میکنند. با پیش‌بینی کردن افزایش آیندهٔ بارگذاری روی راه در دوره عمر آن، بارگذاری‌ی همسنگ آنرا حساب میکنند.

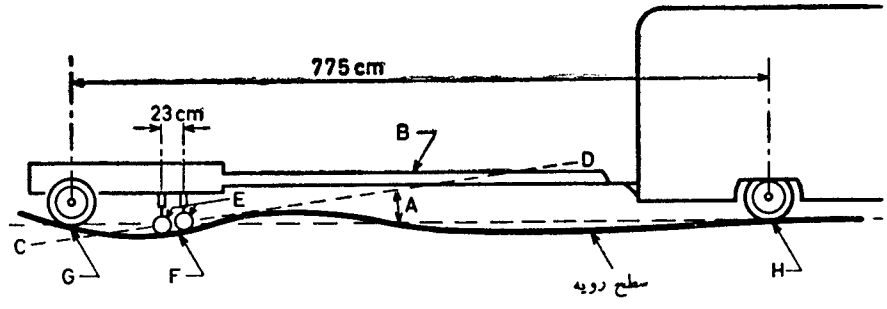
وزن آسه	همسنگی‌ی اثر وزن آسهٔ خودروهای جوربه جور با «واحد آسه»			
	رویهٔ سیاه		روسازی‌ی بتنی	
به تن	آسهٔ تک‌چرخ	آسهٔ تاندم	آسهٔ تک‌چرخ	آسهٔ تاندم
۱	۰٫۰۰۰۳	—	۰٫۰۰۰۳	—
۲	۰٫۰۰۳	—	۰٫۰۰۳	—
۳	۰٫۰۲	—	۰٫۰۲	—
٤	۰٫۰٦	—	۰٫۰٥	—
٥	۰٫۱٤	۰٫۰۱	۰٫۱۲	۰٫۰۲
٦	۰٫۳۰	۰٫۰۲	۰٫۲۷	۰٫۰٤
۷	۰٫٥٤	۰٫۰٥	۰٫٥۲	۰٫۰۷
۸٫۱٦	**۱٫۰۰**	**۰٫۰۹**	**۱٫۰۰**	**۰٫۱۳**
۹	۱٫٤۸	۰٫۱۳	۱٫٥۳	۰٫۲۰
۱۰	۲٫۳۱	۰٫۲۰	۲٫٤۱	۰٫۳۱
۱۱	۳٫٤۷	۰٫۲۹	۳٫٦٤	۰٫٤٦
۱۲	٥٫۱۰	۰٫٤۱	٥٫۲۸	۰٫٦۷
۱۳	۷٫۲۹	۰٫٥٦	۷٫٤۲	۰٫۹٤
۱٤	۱۰٫۱۹	۰٫۷٥	۱۰٫۱۷	۱٫۲۸
۱٥	۱۳٫۹٦	۰٫۹۹	۱۳٫٦٤	۱٫۷۲
۱٦	۱۸٫۷۸	۱٫۲۸	۱۷٫۹٥	۲٫۲۷
۱۷	۲٤٫۸٥	۱٫٦۳	۲۳٫۲۸	۲٫۹۳
۱۸	۳۲٫۳۹	۲٫۰٦	۲۹٫۸۰	۳٫۷۳
۱۹	—	۲٫٥۷	—	٤٫٦۹
۲۰	—	۳٫۲۰	—	٥٫۸۲
۲۱	—	۳٫۹٤	—	۷٫۱٥
۲۲	—	٤٫۸۲	—	۸٫۷۰

سه‌یم ـ آماده گی‌ی‌سطح راه برای غلتیدن‌چرخ خودروها : ناهمواری‌ی سطح راه ، چرخهای‌غلتان خودروها را میلرزاند،به‌خودروها آسیب‌میرسد ورانندگان‌آنها ناراحت میشوند. فرورفته گی ها،برآمده گی ها، موج ها ، شیارها ، ترَك ها ، تکه های موزائیک شدهٔ رویه های سیاه ، تکه های لکه گیری شده ، سطح راه را ناهموار میکنند. سطح راه ناهموار برای غلتیدن چرخ خودروها آماده گی ندارد.

کارشناسان U.S.A. سال ها آماده گی‌ی سطح راه را برای‌غلتیدن چرخ خودروهابررسی کردند. گذشته‌از آزمایش بزرگ AASHO ، یک«گروه بررسی» هم از : طرح کننده گان‌راه ، مهندسان راهداری، کارمندان سازمان راه‌ها ، نماینده گان سازنده گان مصالح ساختمان ، نماینده گان باربری‌های موتوری ، نماینده گان کارخانه‌های اتومبیل وکامیون سازی‌و دیگران درست شد ،که هرکدام جدا از دیگران ، روی ۱۳۸ تکه‌راه‌در سه کشور U.S.A. در بارهٔ : آمد و شد درهم خودروهای سواری و باری‌ی تندرو ، روی روسازی‌های فنری و روسازی‌های شخ نظر دارند.

همزمان باکار این گروه ، یک گروه‌دیگر ، از راه‌های «زیر بررسی» نیمرخ طولی و عرضی برداشت. گذشته از این ، ترك های‌تعمیر شدهٔ راه ، و در رویه های سیاه‌تکه های موزائیک شده ، فرورفته گی هاوشیارها را یادداشت کرد.

در مدت ۲۰ ماه (از ۵-۱۱-۱۹۵۸ تا ۳۰-۱۱-۱۹۶۰) هر ۱۴ روز یکبار و رویهم ۵۵ بار با دستگاه «نیمرخ سنج» ، نیمرخ طولی‌ی زیرچرخ های دستگاه برداشته شد. روی منحنی‌ی نیمرخ طولی‌درهر ۳۰ س م طول راه ، ارتفاع سطح راه داده شد.



شکل ۳- نیمرخ سنج

از یک کاسه کردن همهٔ بررسی ها و اندازه گیری ها ، برای آماد گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها ، فورمول $p=C_0-(C_0-C_1)\left(\frac{W}{\rho}\right)^{\beta}$ پیشنهاد شد که در آن :

p = آماده‌گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها در لحظهٔ بررسی.

C_0 = » » » » در آغاز بررسی.

C_1 = » » » » در پایان بررسی و مرز آزمایش.

W = شمار آسه‌هایی که تا هنگام پیدا کردن p از روی تکه راه آزمایشی گذر کردند.

β و ρ = دو تابع از ساختمان راه و کلفتی‌ی روسازی، هم‌چنین از نوع و سنگینی‌ی بارکش‌هایی که برای آزمایش براه انداخته شدند.

به p که نشانه همواری‌ی سطح راه است برای آمد و شد درهم، پُر پشت و تند خودروها نمره داده‌اند:

٥	تا	٤	خیلی خوب
٤	»	٣	خوب
٣	»	٢	میانه
٢	»	١	بد
١	»		صفر، خیلی بد

در آزمایش بزرگ، برای روسازی‌ی شخ $C_0=$ ٤٫٥ و برای روسازی‌ی فنری $C_0=$ ٤٫٢ وبرای مرز آزمایش $C_1=$ ١٫٥ گرفته شد.

$$\rho=\frac{10^{5,58}\times D_2+1)^{7,35}\times L_2^{32,8}}{(L_1\times L_2)^{4,62}} \quad \text{و} \quad \beta=\frac{3,63(L_1+L_2)^{5,3}}{(D_2+1)^{8,46}+L_2^{3,52}}$$ که در آنها:

L_1 = وزن اسمی‌ی آسهٔ بارکش به هزار پوند برابر ٤٥٣٫٦ کیلوگرم.

$L_2=1$ برای آسهٔ تک چرخ و $L_2=2$ برای آسهٔ تاندم چرخ.

D_1 = مربوط به فولادگذاری در صفحهٔ بتن فولادی‌ی راه.

D_2 = کلفتی‌ی صفحهٔ بتن سیمانی‌ی راه به اینچ.

D_3 = کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی به اینچ.

در پایان کار AASHO برای «آماده‌گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها» دو معادلهٔ زیر را پیشنهاد کرد:

برای روسازی‌ی فنری $p=5,03-1,92\log(1+\overline{SV})-0,01\sqrt{C+P}-1,38\,\overline{RD}^2$

و برای روسازی‌ی شخ $p=5,41-1,80log(1+\overline{SV})-0,09\sqrt{C+P}$ که در آنها :

p= آماده گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها در لحظهٔ بررسی.

$\overline{SV}$= مقدار میانه گیری شدهٔ پستی‌ها و بلندی‌های زیر چرخ نیمرخ سنج.

$$\overline{SV}=\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n} X_i^2-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2\right]$$

n= شمار اندازه گیری‌ی شیب راه ، در هر ۳۰ س م.

X_i=i یمین (ای یُمین)شیب اندازه گیری شده.

$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$= مقدار میانه گیری شده از i شیب اندازه گیری شده.

$\overline{RD}$= مقدار میانه کیری شده ازگودی‌ها ، شیارها یانشست‌های سطح راه ، زیر دو چرخ غلتان نیمرخ سنج به اینچ.

C= سطح موزائیک شده یا لق شدهٔ لایهٔ رویه به فوت مربع درهر هزار فوت مربع سطح راه.

P= تکه‌های تعمیر شدهٔ سطح راه به فوت مربع ، درهر هزار فوت مربع سطح راه.

از روی دو معادلهٔ بالا ، هرلحظه میشود درهرتکه راه p ی آنرا پیدا کرد.

این کار راباید آزمایشگاه‌ها یا دفترهای مهندسی انجام دهند.

چهارم ـ کلفتی‌ی روسازی‌ی‌سیاه : این دستور ، راهنماییست برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی‌راه با رویهٔ سیاه که ، از روی نتیجه های بدست آمده از آزمایش بزرگ AASHO با جورکردن آنها با وضع ایران نوشته شده است.

در روسازی‌ی راه با رویهٔ سیاه باید روشی را برگزید که ، بشود با ساختن لایه‌های دیگر روی آن، برای بارگذاری‌ی سنگین تر آنرا آماده کرد.

برای آنکه تخت راه زیر بار چرخ غلتان بارکش‌ها تغییر شکل پیدا نکند ، باید پایداری‌ی روی لایهٔ زیر پی $M_E=800kg/cm^2$ باشد.

زمین بستر راه یازمین جسم راه که روی‌آنها روسازی میشود ، باید همجور باشند و برای‌بارگذاری‌ی پیش‌بینی شده ، توان باربری داشته باشند.

برای پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی هرخط راه ، باید بار همسنگ دورهٔ عمر راه را به واحد آسه بحساب گذاشت. در راه‌های باریک که پُرپشتی‌ی بارگذاری روی راه بیشتر است ، باید بارگذاری‌ی

پیش‌بینی شده را افزایش داد. در پیدا کردن کلفتی‌ی روسازی‌ی راه ، از آماده گی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها در آغاز و پایان بررسی میتوان بهره گیری کرد.

لایهٔ زیر پی را بیشتر با شن و ماسهٔ درهم میسازند. اگر درجایی نتوانند لایهٔ زیر پی را با شن و ماسهٔ درهم بسازند ، آنرا به روشهای زیر هم میتوان ساخت :

با سنگ شکسته و ماسهٔ شکستهٔ در هم ، یا با مخلوط شن و ماسهٔ گرد گوشه و سنگ شکسته و ماسهٔ شکستهٔ درهم ، یا با شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده به حال داغ ، یا با شفتهٔ قیری ، یا باشفتهٔ سیمانی یا با شفتهٔ آهکی.

زیر پی شفتهٔ سیمانی یاشفتهٔ آهکی را تنها هنگامی میشود زیر لایهٔ رویهٔ سیاه ساخت که ، کلفتی‌ی آن برای گذر کردن تا ۳۰۰ واحد آسه در روز ، ۱۰ س‌م و برای بیش‌از آن ۱۴ س‌م باشد ، تا لایهٔ شفتهٔ سیمانی زیر چرخ غلتان ترك نخورد. هرگاه با آزمایش کردن روشن شود که ، لایهٔ شفتهٔ سیمانی ترك نخواهد خورد ، میتوان از کلفتی‌های نوشته شده ، برابر نتیجهٔ آزمایش کاست.

روسازی‌ی راه با رویهٔ سیاه در دو یا سه لایه ساخته میشود : پوستهٔ سیاه رویی که چرخ روی آن میغلتد ، پوستهٔ سیاه آستر در زیر پوستهٔ رویی، و لایهٔ پی‌ی سیاه داغ یالایهٔ پی جور دیگر در زیر لایهٔ آستر.

اگر روزانه کمتراز ۳۰۰ واحد آسه از روی راه گذر کند ، میشود به جای همهٔ لایهٔ روسازی یاقسمتی از آن ، لایهٔ ماکادام نفوذی ، یا زیر پی سیاه ، یا شفتهٔ سیمانی و یا شفتهٔ آهکی ساخت.

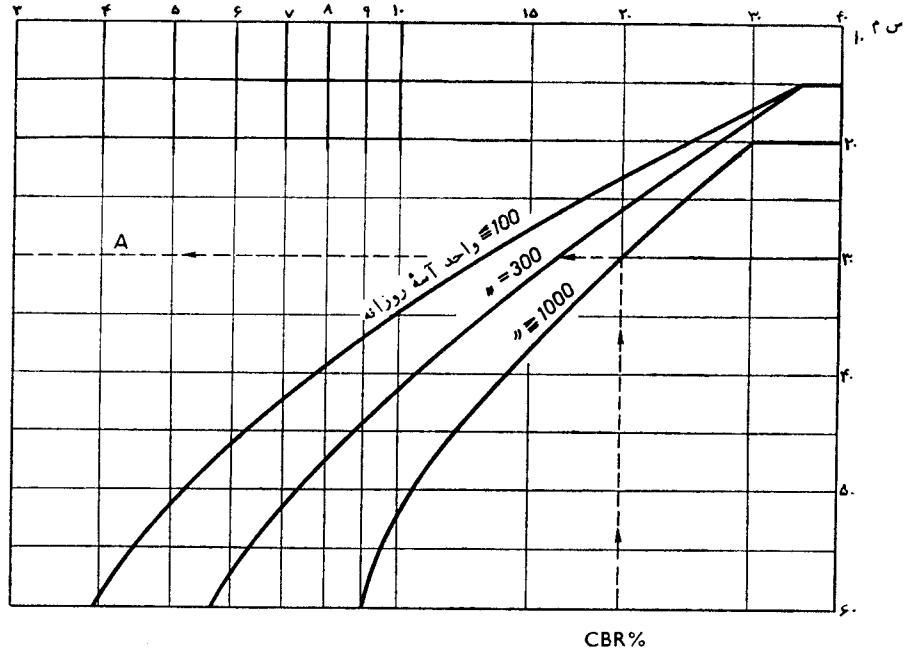
هرگاه بارگذاری‌ی روزانه روی راه بیش‌از ۳۰۰ واحد آسه باشد ، میشود بیشینه تنها ۸ س‌م زیری‌ی لایهٔ روسازی را به روشهای نوشته شده ساخت ، که روی آن باید بالایهٔ سیاه پوشیده شود.

بررسی‌ی زمین بستر راه و جسم راه ـ پیش‌ازآغاز کردن روسازی ، باید بررسی شود که آیا یخ بندان و آب به زمین بستر راه و جسم راه آسیب میرسانند یانه ، اگر آسیب برسانند باید از آن جلوگیری شود وسپس روسازی انجام گیرد.

زیر پی باشن ماسهٔ درهم ـ هرگاه توان باربری‌ی جسم راه برای بارگذاری‌ی پیش‌بینی شده کافی نباشد ، باید روی تخت راه یک لایهٔ زیر پی ساخته شود. کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی شن و ماسه‌یی‌ی درهم بسته گی دارد به، توان باربری‌ی اندازه گیری شده روی تخت راه و بارگذاری‌ی پیش‌بینی شده ، که ازمنحنی‌های شکل (۴) میتوان آنرا خواند. چهل سانتی‌متر رویی‌ی لایهٔ زیر پی شن و ماسهٔ درهم را میشود جور دیگر هم ساخت. اگر کلفتی‌ی لایهٔ شن و ماسهٔ گرد گوشهٔ درهم برابر ـ یک ـ گرفته شود، باید کلفتی‌ی لایهٔ خرده سنگ و ماسهٔ شکسته برابر ۰٫۸. و کلفتی‌ی لایهٔ شن و ماسهٔ گرد گوشهٔ درهم خاکداربرابر ۱٫۰ و کلفتی‌ی لایهٔ شن و ماسهٔ درهم خاکدار که در ماشین سنگ شکن ریخته شده و دانه‌های درشت آن خرد شده باشد برابر ۱٫۱ باشد.

کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی با مخلوط شن و ماسهٔ درهم گرد گوشه و شن و ماسهٔ درهم شکسته ، باید به نسبت مخلوط آنها حساب شود .

کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی‌یی که درگودی‌ی بیش‌از ٤٠ س‌م زیر تخت راه ساخته شود ، برای هرجور شن و ماسهٔ درهم ، باید منحنی‌های شکل(٤) بی کم و کاست بکار برده شوند .



توان باربری‌ی روی تخت راه

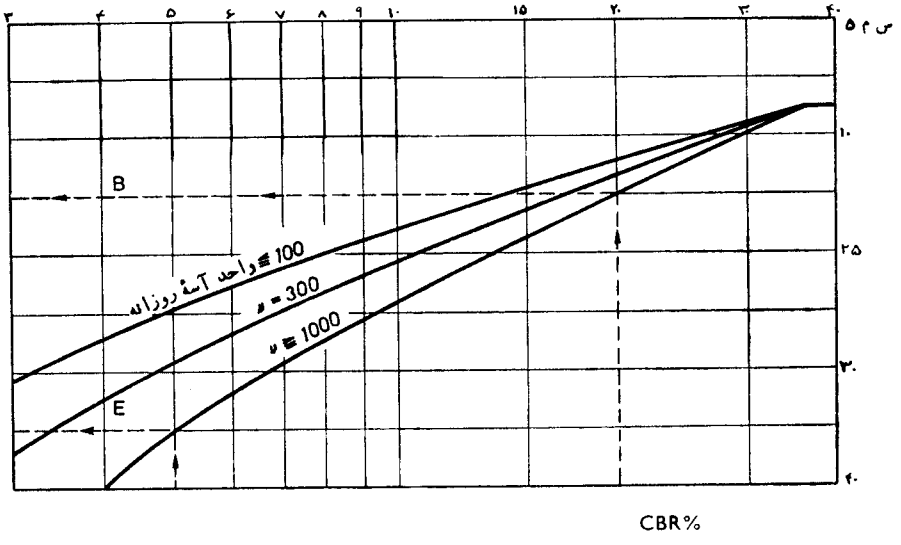
شکل ٤ـ کلفتی‌ی زیر پی با شن و ماسهٔ درهم (k_3) به س‌م

کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی شن و ماسهٔ درهم ، برای بارگذاری‌ی همسنگ روزانه تا ۳۰۰ واحد آسه از ۱۰ س‌م و برای بیش‌از ۳۰۰ واحد آسه از ۲۰ س‌م نباید کمتر باشد. همچنین کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی شن و ماسهٔ درهم نباید از ٦٠ س‌م بیشتر شود. هرگاه توان باربری‌ی تخت راه کم ، و بارگذاری سنگین باشد ، به اندازه‌یی که ، زیر پی شن و ماسهٔ‌درهم به کلفتی‌ی ٦٠ س‌م نتواند جواب گوی بارگذاری‌ی‌سنگین بشود ، باید توان باربری‌ی زمین بستر راه را افزایش داد و یا آنکه تمام یا قسمتی از زیر پی را شفته‌یی ساخت. کلفتی‌ی لایهٔ شن و ماسهٔ درهم بسته گی به درشت‌ترین دانه شن آن هم دارد .

زیر پی‌های شفته‌یی ـ کلفتی‌ی زیر پی‌ی سیاه داغ (شن و ماسهٔ درهم قیر اندود شده) ، و شفته سیاه ، و شفتهٔ سیمانی (k_3) را بسته به‌توان باربری‌ی تخت‌راه (اندازهٔ CBR) و همسنگ بارگذاری‌ی روزانه به واحد آسه ، از روی منحنی‌های شکل (٥) پیدا میکنند. کلفتی‌ی زیر پی‌ی شفتهٔ آهکی ، باید ۱٫۲٥ برابر کلفتی‌ی شفتهٔ سیمانی باشد .

هرگاه بخواهند قسمتی از زیر پی را شفته‌یی بسازند ، در آغاز کلفتی‌ی آن قسمت از زیر پی را که باید با شفته ساخته شود معیّن کنند (که در زیر پی‌های ، سیاه داغ از ۸ س‌م ، و شفتهٔ سیاه از ۱۰ س‌م، و شفتهٔ سیمانی از ۱۵ س م ، و شفتهٔ آهکی از ۲۰ س‌م نباید کمتر باشند) ، پس‌از آن :

کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی شفته‌یی را از روی منحنی‌های شکل(۵) پیدا کنند، آنچه باید باشفته ساخته شود از آن کم کرده ، مانده را از روی برابری‌های‌نوشته شده در زیر ، با شن و ماسهٔ درهم بسازند.



توان باربری‌ی روی تخت راه

شکل ۵ـ کلفتی‌ی زیر پی با شفتهٔ سیمانی یا شفتهٔ قیری به (k_3) س‌م

کلفتی‌ی ۱ س‌م شفته = ۰٫۲ س‌م شن و ماسهٔ گرد گوشهٔ درهم.

» = ۱٫۶ س‌م خرده سنگ‌وماسهٔ درهم که‌از سنگ‌لاشه‌شکسته شده باشند.

» = ۰٫۳ س‌م شن و ماسهٔ درهم خاکدار.

» = ۰٫۲ » شن و ماسهٔ درهم خاکدار که دانه‌های درشت‌آن درماشین سنگ شکن خرد شده باشند.

اگر دانه‌های گرد گوشه و شکسته را باهم مخلوط کنند ، کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی ، به نسبت مخلوط کردن آنها حساب شود.

هرگاه کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی شن و ماسهٔ درهم که از منحنی‌های (۵) بدست آید از ۱۵ س‌م کمتر باشد نباید ، زیر پی شفته‌یی بسازند و یا بایدآنرا در یک لایه بسازند.

کلفتی‌ی لایهٔ رویه (k_1) و لایهٔ پی (k_2) را بسته به بارگذاری‌ی روی راه ، از روی منحنی‌ی شکل (۶) پیدا کنند ، که کمترین کلفتی‌ی رویهٔ سیاه و پی‌ی سیاه داغ است.

هرگاه بخواهند به‌جای لایهٔ رویهٔ بتن آسفالتی یا پی سیاه داغ ، رویه و پی جور دیگر بسازند ، باید کلفتی‌ی آنرا از روی برابری‌های نوشته شده در زیر حساب کنند .

کلفتی‌ی ۱ س‌م رویهٔ سیاه‌داغ (بتن اسفالتی) = ۱ س‌م پی سیاه‌داغ (شن وماسه درهم‌قیراندودشده) .

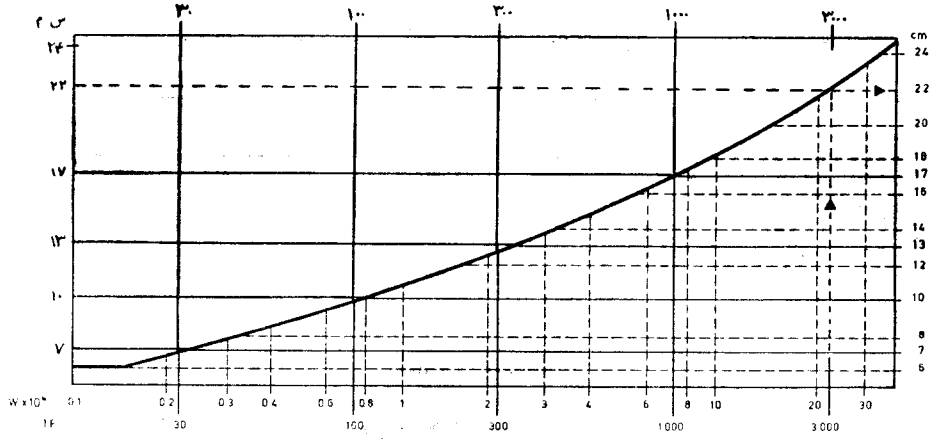
» » » » = ۱٫۸ » ماکادام سیاه نفوذی .

» » » » = ۱٫۸ » زیر پی سیاه داغ .

» » » » = ۱٫۸ » شفتهٔ سیاه (قیری) .

» » » » = ۱٫۸ » شفتهٔ سیمانی .

» » » » = ۲٫۳ » شفتهٔ آهکی .



بارگذاری‌ی همسنگ باواحدآ سه

شکل ٦ـ کلفتی‌ی پی سیاه (k_2) + رویهٔ سیاه (k_1) به س‌م

در جاهایی که زمستانهایش سرد ویخ بندانش سخت‌باشد و،وارفتن یخ تاشش هفته به درازابکشد، در حساب کردن کلفتی‌ی روسازی ، باید از توان باربری‌ی تخت راه که در روزهای گرم خشک اندازه‌گیری شده است کاسته شود .

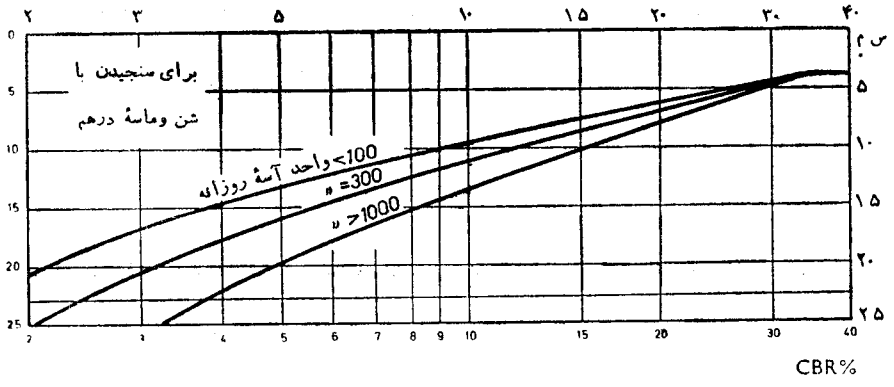
برای آنکه حساب کردن آسان شود و اندازه‌ها را بشود با همدیگر سنجید ، پی سیاه و زیر پی سیاه را از جنس رویهٔ سیاه گرفته‌اند ، که کلفتی‌ی آنها را میشود از منحنی‌های شکل‌های ٦ و ٧ پیدا کرد . اگر پی و زیر پی از جنس رویهٔ سیاه نباشند ، باید کلفتی‌شان‌را در ضریب‌های برابریشان با رویهٔ سیاه ضرب کرد . منحنی‌های شکل (٧) همان منحنی‌های‌شکل (٤) هستند، هرگاه جنسشان به جای شن وماسهٔ درهم ، از جنس رویهٔ سیاه باشد .

کلفتی‌ی هریک از لایه‌های‌روسازی و اینکه با چه مصالحی باید ساخته شوند،بسته گی دارد به :

فرسایش سطح لایهٔ رویه درزیر چرخ غلتان ، به ویژه اگر لاستیک چرخ یخ شکن باشد و یا به آن زنجیر بسته باشند.

زبری‌ی سطح رویه برای جلوگیری‌از سُرخوردن چرخ غلتان ، و همواری‌ی آن برای راحتی‌ی سرنشینان خودروها. چگونه گی‌ی اجرای کار ، که همهٔ روسازی یکباره انجام شود ، یا آنکه میان ساختن لایهٔ های روسازی فاصلهٔ زمانی باشد ، هم‌چنین در چه فصلی باید ساخته شود.

بسته گی‌ی لایه های روسازی به مصالح آنها ، مانند کلفتی‌ی‌لایه و درشت‌ترین دانهٔ سنگ‌درآن. هزینهٔ ساختن و نگاهداری‌ی روسازی‌ی راه در دورهٔ عمر آن.



توان باربری‌ی روی تخت راه

شکل ۷ـ کلفتی‌ی زیر پی سیاه به س‌م

پوستهٔ‌رویی‌ی‌لایهٔ‌سیاه داغ ، با بتن‌آسفالتی‌ی زبر ، باید با قیر خالص و نرمه سنگ بادانه‌بندی‌های نوشته شده در زیر ساخته شود :

برای بارگذاری‌ی روزانهٔ همسنگ تا ۳۰ واحد آسه ، نرمه سنگ با دانه بندی‌ی ۳تا۶م‌م

» ۳۰ » ۱۰۰ » » ۶تا۱۰م‌م

» ۳۰۰ » ۱۰۰۰ » » ۱۰تا۱۶م‌م

» بیش‌از ۱۰۰۰ » » ۱۶تا۲۵م‌م

برای ساختن لایهٔ توپر و با دوام ، کلفتی‌ی پوستهٔ رویی‌ی بتن آسفالتی نباید از اندازه‌های نوشته شده در زیر کمتر باشد :

برای بارگذاری‌ی روزانهٔ همسنگ تا ۳۰ واحد آسه ، ۲ر۵ س‌م

» ۱۰۰ » ۳۰۰ » ۳ر۰ »

» ۳۰۰ » ۱۰۰۰ » ۴ر۰ »

» ۱۰۰۰ » ۳۰۰۰ » ۰ر۵ تا ۶ر۰ »

هرگاه بارگذاری‌ی روزانه از همسنگ ۱۰۰ واحد آسه کمتر باشد ، میتوان از ساختن پوستهٔ بتن آسفالتی‌ی رویی چشم پوشی کرد و پی سیاه داغ را بی‌رویه زیر آمد و شد گذاشت ، اما روی زیر پی‌های ماکادام سیاه نفوذی و شفتهٔ قیری و شفتهٔ سیمانی و شفتهٔ آهکی را باید با یک پوسته‌رو کاری ، یا رومالی‌ی سیاه ، یا ماسه آسفالت پوشانید.

لایهٔ آستر سیاه داغ ، با بتن آسفالتی‌ی داغ درشت دانه ساخته میشود. اگر روی لایهٔ پی خوب تخت باشد ، میتوان از ساختن لایهٔ آستر چشم‌پوشی کرد.

لایهٔ پی سیاه داغ ، از شن و ماسهٔ درهم اندود شده با قیر خالص ساخته میشود. اگر رویهٔ سیاه همزمان با پی سیاه ساخته نشود وپی سیاه زیر آمد وشدبارکشهای موتوری بماند ، سنگ چنین پی‌بی باید خوب دانه‌بندی شده باشد و کلفتی‌ی لایهٔ پی سیاه از دو برابر قطر درشت‌ترین دانهٔ سنگ درآن بیشتر باشد.

پی سیاه داغ را به کلفتی‌ی تا ۱۰ س‌م در یک لایه و بیش‌از آن‌را در دو لایه میسازند. چنانچه بتوانند روی آنرا خوب تخت کنند ، میشود آنرا به کلفتی‌ی تا ۱۵ س‌م در یک لایه ساخت.

لایهٔ‌زیر پی‌بی‌که(با دانه‌های‌بهم چسبیده) ، با شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده ، یا ماکادام سیاه نفوذی،یا شفتهٔ قیری ، یا شفتهٔ سیمانی ، یاشفتهٔ آهکی ساخته میشود ، کلفتی‌یش نباید از آنچه در زیرنوشته شده کمتر باشد :

زیر پی یاپی باماکادام سیاه نفوذی	۶	س‌م
زیر پی با شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده	۸	«
« شفتهٔ قیری	۱۰	«
« شفتهٔ سیمانی	۱۵	«
« شفتهٔ آهکی	۲۰	«

کلفتی‌ی روسازی با رویهٔ سیاه (زیر پی ، پی ، آستر ، رویی) برای بارگذاری‌های روزانه تا ۳۰۰۰ واحد آسه در جدول نوشته شده است.

پنجم ـ کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی بتنی‌ی راه : این دستور راهنماییست برای پیدا کردن کلفتی‌صفحهٔ بتنی‌ی راه که از آزمایش بزرگ AASHO بدست آمده ، و با وضع ایران جور شده است.

پیش‌از ساختن لایهٔ بتن روی راه ، باید توان باربری و همجوری‌ی تخت راه بررسی شود. اگر توان باربری‌ی تخت راه (روی زمین بستر راه درکنده‌ها و روی جسم راه در ریخته‌ها) برای روسازی‌ی‌بتنی کافی نباشد ، باید روی آن یک لایه «زیر پی» ساخته شود :

تا توان باربری‌ی زمین زیر لایهٔ بتن افزایش یابد ،

کلفتی روسازی راه با رویهٔ سیاه

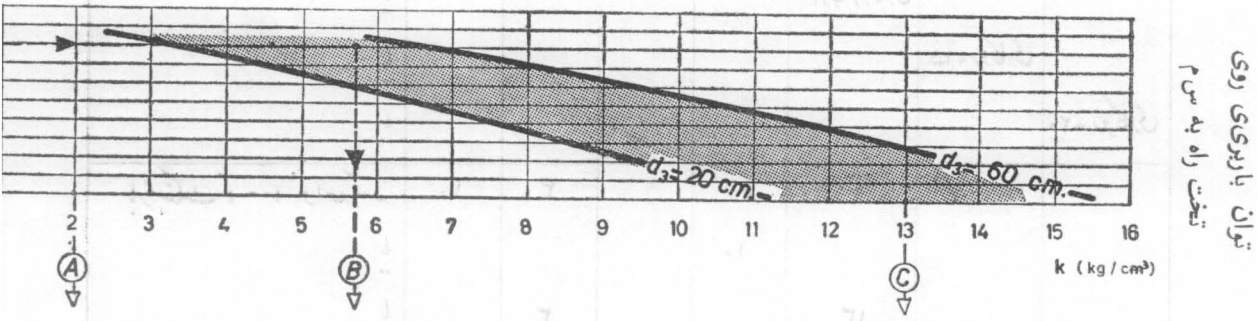
بارگذاری روزانه به واحد آسه س م (۸٫۱۶ تن) / کلفتی لایه‌های روسازی	کمترین کلفتی به س م	بتن آسفالتی داغ رویه		پی سیاه داغ	زیرپی		
		رویی	آستر	شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده	ماکادام نفوذی یا شفتهٔ قیری	شفتهٔ سیمانی	شفتهٔ آهکی
بارهمنگ تا ۳۰ واحد آسه	۷	۲٫۵	۴٫۵				
یا				۷			
یا					۱۳+ روکاری		
یا						۱۵+ روکاری	
یا							۲۰+ روکاری
بارهمنگ تا ۱۰۰ واحد آسه	۱۰	۳		۷			
یا				۱۰			
یا		۳			۱۳		
یا					۱۸+ روکاری		
یا						۱۸+ روکاری	
یا							۲۵+ روکاری
بارهمنگ تا ۳۰۰ واحد آسه	۱۳	۳	۴	۶			
یا		۴		۹			
یا		۳	۴		۱۱		
یا		۴		۶		۱۵	
یا		۴		۶			۲۰
بارهمنگ تا ۱۰۰۰ واحد آسه	۱۷	۴	۶	۷			
یا		۳٫۵	۴٫۵	۹			
یا		۵	۶		۱۱		
یا		۳٫۵	۴٫۵	۶		۱۵	
یا		۳٫۵	۴٫۵	۶			۲۰
بارهمنگ تا ۳۰۰۰ واحد آسه	۲۲	۵	۶	۱۱			
یا		۳٫۵	۴٫۵	۱۴			
یا		۴	۵	۷	۱۱		
یا		۳٫۵	۴٫۵	۶		۱۵	
یا		۳٫۵	۴٫۵	۶			۲۰

آب کف به زیر لایهٔ بتن نشت نکند که در زمستان یخ بزند ،

چرخ غلتان دانه‌های ریز زمین زیر درزهای میان صفحه‌های بتن را بیرون نمکد ،

هنگام ساختن راه ، بارکشی روی لایهٔ زیر پی انجام گیرد و نیازی بساختن «راه خدمت برای مدت ساختمان» نباشد .

افزایش توان باربری ، بسته‌گی دارد به کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی . اگر با شن و ماسهٔ درهم ساخته شود ، کلفتی‌ی آنرا میتوان از شکل (۸) پیدا کرد .



توان باربری ، روی سطح زیر پی

شکل ۸- اثر کلفتی‌ی زیر پی شن و ماسهٔ درهم در اندازه‌های توان باربری

هرگاه لایهٔ زیر پی با شفته ساخته شود ، توان باربری‌ی روی لایهٔ شفتهٔ قیری یا شفتهٔ سیمانی‌ی به کلفتی‌ی ۱۰ س م ، و شفتهٔ آهکی‌ی به کلفتی‌ی ۲۰ س م را میتوان $k=۱۳\ kg/cm^3$ به حساب گذاشت .

چنانچه لایهٔ شفتهٔ قیری یا شفتهٔ سیمانی به کلفتی‌ی ۲۰ س م ، و شفتهٔ آهکی به کلفتی‌ی ۳۲ س م ساخته شود ، میشود توان باربریشان را $k=۱۶\ kg/cm^3$ گرفت .

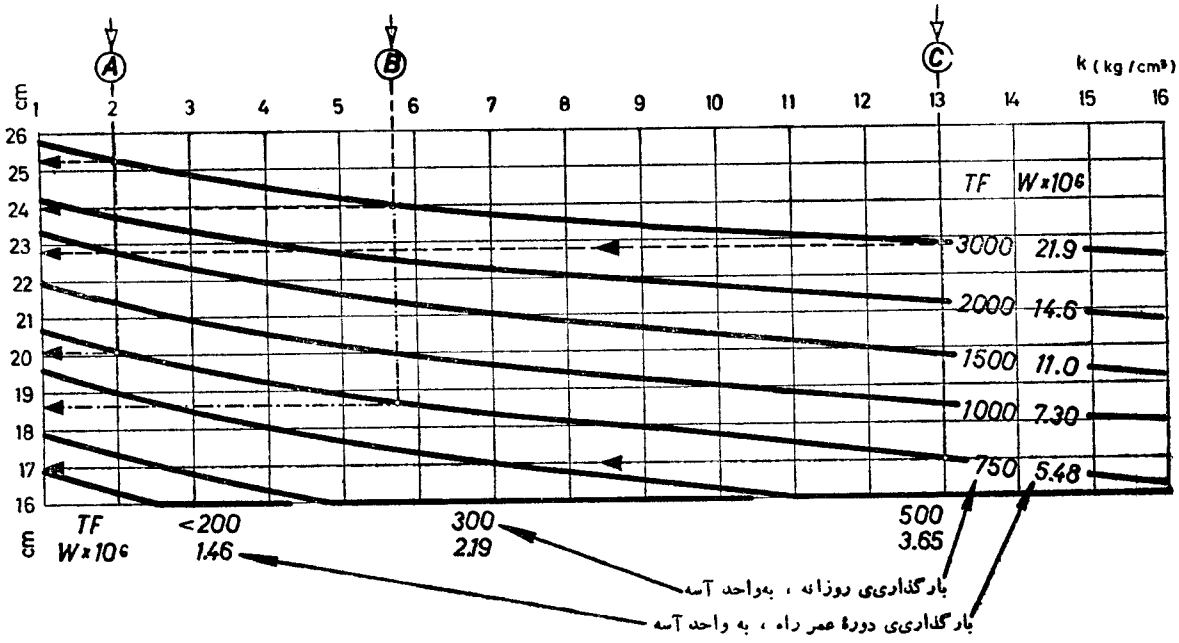
کلفتی‌ی لایهٔ زیر پی برای روسازی‌ی بتنی ، نباید از آنچه در زیر نوشته شده کمتر باشد :

شن و ماسهٔ درهم قیراندود شده	۵ س م .
شفتهٔ قیری	۱۰ «
شفتهٔ سیمانی	۱۵ «
شن و ماسهٔ درهم	۲۰ «
شفتهٔ آهکی	۲۰ «

در راه‌های بتنی ، از اندازه‌های آغاز و پایان «آمادگی‌ی سطح راه برای غلتیدن چرخ خودروها» بهره گیری میشود .

پس‌از آنکه توان باربری روی تخت راه یا روی لایهٔ زیر پی به اندازهٔ خواسته شده رسید ، روی‌آن برابر «استاندارد بتن روسازی‌ی راه» لایهٔ بتنی میسازند.

بارگذاری ـ کلفتی‌ی لایهٔ بتن راه را از روی بارگذاری‌ی پیش‌بینی شدهٔ روزانه ، یا دورهٔ عمر راه (همسنگ آنها به واحد آسه = ۱۸ هزار پوند = ۸٫۱۶ تن) که درشکل (۹) کشیده شده است پیدا میکنند.



شکل ۹ـ کلفتی‌ی لایهٔ روسازی‌ی بتنی‌ی راه

تهران ، شهریورماه ۱۳۵۱