

## روسازی های بتنی JPCP و RCCP (کد ۵۸F)

علی طالبی<sup>۱</sup>، محمد علی ارجمندی نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس عمران - مهندسی مشاور بانیان دیماس

Email : info@alitalebi.com,

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد عمران مهندسی و مدیریت ساخت - شرکت مادر تخصصی فرودگاههای کشور

Email : a\_arjmandi\_nm@yahoo.com,

### چکیده

نظر به توسعه ساخت رویه های بتنی در سالهای اخیر و لزوم بررسی های علمی در رابطه با روشهای مختلف ساخت رویه های بتنی در ایران با توجه به فن آوریها و واقعیات موجود، نسبت به بررسی و مقایسه مشخصات فنی و روشهای اجرای دو نوع رویه بتنی که در ایران با اقبال بیشتری مواجه بوده اند اقدام گردید. لازم به ذکر است که این پژوهش بر اساس تجربیات اجرایی و پژوهشهای قبلی نگارندگان و همچنین مقالات دیگر پژوهشگران انجام گرفته است. نام فارسی روسازی های بتنی JPCP و RCCP به ترتیب روسازی بتنی غیر مسلح درزدار و روسازی بتن غلتکی می باشد. این رویه ها از نظر مصالح، زیرسازی، طرح اختلاط، کنترلها، روش اجرا، رواداری، عمل آوری، میزان باربری، سرعت طرح، عمر مفید، مسائل محیط زیستی، مصرف انرژی و غیره، از اولین مرحله ساخت تا تا پایان عمر مفید با یکدیگر تفاوت داشته و در نهایت جهت داشتن یک دید مناسب اجرایی و توسعه پایدار در کشور می بایست مورد مقایسه فنی قرار گیرند.

کلمات کلیدی: رویه های بتنی، روسازی بتنی غیر مسلح درزدار، روسازی بتنی غلتکی

### Comparision of Jointed Plain Concrete Pavements and Rolled Compacted Concrete Pavements consructed in Iran

#### Abstract

According to expansive use of Concrete pavements in recent years in Iran and necessity of a concise scientific approach towards design and construction of such pavements according to existing technologies and facts in Iran we tried to have a comparison of two more common concrete pavements used in Iran. These two Pavement types are JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement) and RCCP (Rolled Compacted Concrete Pavement). These pavements are different in Material, Subgrade, Mix design, Controls and Tests, construction, Curing, Design Speed, Service Life, Environmental matters, Energy consumption and Etc. It is necessary to mention that this research is based on writers own experience and other Iranian scholars experiences.

## ۱. مقدمه

اولین روسازی بتنی در سال ۱۸۹۳ در بلوفنتاین اوهایو ساخته شد پانزده سال بعد در دترویت میشیگان در راه دیگری از این نوع روسازی استفاده شد. این روند در امریکا ادامه یافت و تنها تا سال ۲۰۰۱، ۹۵ هزار کیلومتر بزرگراه بتنی در امریکا ساخته شده است. روسازی های بتنی در مقایسه با روسازی های آسفالتی هر چند نیاز به سرمایه گذاری اولیه بیشتری دارد و در مقایسه با روسازی های آسفالتی گران تر می باشد، لیکن عمر مفید آن بیشتر و سهولت نگهداری آن در مقایسه با سایر روسازی ها مطلوبتر می باشد

## ۲. تاریخچه و تئوری طراحی روسازی بتنی

طراحی روسازی های بتنی بر اساس دو روش تمام تجربی و نیمه تجربی انجام می گیرد. همه تئوریهای طراحی روسازی صلب از تئوری الاستیسیته منشا می گیرند. در طراحی می توان از روشهای ساده برای حل مسایل پیچیده استفاده کرد ضریب عکس العمل بستر، صلبیت خمشی دال و تغییر شکل کلی دال پارامترهای اصلی می باشند. از آنجایی که بتن تنش خمشی قابل توجهی دارد از بین این پارامترها نیز خمشی فاکتور اصلی طراحی محسوب می شود. شکل معادله دیفرانسیل خمش در بارهای وارده در یک رویه که نسبت طول و عرض آن نسبت به ارتفاع آن بسیار زیاد باشد و از مصالحی صلب مانند بتن ساخته شده باشد ابتدا توسط لاگرانژ در سال ۱۸۸۱ ارائه شد پس از آن تلاشهای بسیاری جهت بدست آوردن معادلات طراحی بتن انجام گرفت قدیمیترین این روشها روش فرمول گلدبک در سال ۱۹۱۹ می باشد. گلدبک بوسیله ی تشبیه روسازی صلب به یک تیر طره ای با بار متمرکز در گوشه مدل خود را بیان کرد که روشی ساده برای طراحی روسازی های صلب است سپس وسترگارد مطالعات گسترده ای بر روی تنش ها و خیز ها در دالهای بتنی را انجام داد. او معادلاتی که ناشی از خم شدگی بر اثر دما بود را بر اساس سه موقعیت بارگذاری توسعه داد اولاً بارهای گوشه ی دالهای بزرگ دوما بارهای لبه ی دالهای بزرگ با فاصله ی زیاد از گوشه و در نهایت بارهای اعمال شده در وسط دال که از لبه ها فاصله ی قابل ملاحظه دارد. تحلیل ها بر اساس ساده سازی فرضی که نیروی عکس العمل بین دال و اساس متناسب است با خیز در همان نقطه و مستقل از خیز در نقاط دیگر است. این نوع از پی به عنوان پی مایع یا پی وینکلر نامیده می شود. وسترگارد این فرض را در رفتار دال و اساس مد نظر قرار داده است. در مقایسه با تنشهای بدست آمده از فرمولهای گوشه ای وسترگارد با تحقیقات میدانی، پیکت پی برد که فرمولهای گوشه ای وسترگارد بر اساس فرضی که دال و اساس با هم در تماس کامل هستند و تنشهای تسلیم بسیار کوچک هستند بنا شده است اما بر اساس این فرض که بخشی از دال تماس کافی با اساس ندارد فرمولهای نیمه تجربی را پیشنهاد داد که با نتایج تجربی مطابقت خوبی داشتند فرمولهای گوشه ای پیکت با اجازه ی ۲۰٪ انتقال بار، تا زمانی که یک روش جدید بر پایه ی انتقال تنش در درزها توسعه یافت. توسط انجمن سیمان پرتلند در سال ۱۹۶۶ استفاده شدند. [۱]

## ۳. روش های طراحی روسازی بتنی

معمول ترین روش طراحی ضخامت روسازی بتن بزرگراهها روش آشتو می باشد که یک روش نیمه تجربی است. در این روش آشتو با دیدگاه مشابه آنچه برای روسازی انعطاف پذیر آسفالتی و محور ۸.۲ تنی در نظر گرفته، معادلات طراحی را ارائه می کند. این روش همزمان با تهیه روش طراحی روسازی انعطاف پذیر آسفالتی آشتو تهیه و منتشر شد. روش طراحی بر اساس معادلات تجربی است که از آزمایشات میدانی جاده های آشتو بدست آمده و بر اساس تئوری اصلاح شده است. معادلات پایه ای آشتو برای روسازی بتنی به مانند آنچه که برای روسازی انعطاف پذیر آسفالتی در نظر گرفته شده است می باشد، باین تفاوت که مقادیر ثابت رگرسیون آن متفاوت است. همچنین معادلات تئوری اصلاح گردیدند که شامل پارامترهایی که در آزمایشات جاده آشتوپیشبینی نشده بودند باشند. نظیر روسازیهای انعطاف پذیر معادلات رگرسیون بصورت زیر می باشند.

$$G_1 = \beta(\log w_1 - \log \rho)$$

$$\beta = 100 + \frac{3.63(L_1 + L_2)^{0.20}}{(D + 1)^{0.46} L_2^{0.52}}$$

$$\log \rho = 5.85 + 7.35 \log(D + 1) - 4.62 \log(L_1 + L_2) + 3.28 \log L_2$$

$$G_1 = \log \left( \frac{4.5 - p}{4.5 - 1.5} \right)$$

که در آن ۴.۵ میزان سرویس دهی روسازی بتنی در آزمایش راه آشتو می باشد، که از میزان ۴.۲ برای روسازیهای انعطاف پذیر متفاوت می باشد و p میزان سرویس دهی راه در زمان t می باشد. و D در آن نشاندهنده ضخامت روسازی و معادل SN برای روسازیهای انعطاف پذیر می باشد. با استفاده از یک بار معادل تک محوره ۸۰ کیلو نیوتن برای L<sub>1</sub> معادل KIP ۱۸ و مقدار ۱ برای L<sub>2</sub> و ترکیب معادلات بالا خواهیم داشت.

$$\log W_{r18} = 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + ((\log(4.5 - p) / (4.5 - 1.5)) / (1 + 1.624 * 10^7 / (D + 1)^{0.46}))$$

که در آن W<sub>r18</sub> تعداد تک محور KIPS ۱۸ است که در مدت زمان t اعمال می شوند. فرمول بالا تنها برای روسازیهایی که بر اساس آزمایش جاده آشتو ساخته می شوند و مدول الاستیسیته بتن در آنها برابر با E=۴.۲ \* ۱۰<sup>۸</sup> psi و مدول گسیختگی آن برابر Cd = ۱ و ضریب عکس العمل بستر آن برابر K=۶۰ PCI و ضریب انتقال بار J=۳.۲ و ضریب زهکشی بستر معادل S=۶۹۰ psi باشد، قابل استفاده است. فرمولهای فوق اثبات فرمول پایه و فرمول پایه برای محاسبه روسازی بتنی در روش آشتو می باشد. فرمول فوق برای قابل استفاده شدن عملی، نیاز به اصلاحاتی دارد که در روش آشتو به آن اشاره شده و در نهایت فرمول فوق بصورت فرمول زیر در می آید. [۲]

$$\log W_{r18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \left( \frac{\log \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1} / \left( \left( 1 + 1.624 * \frac{10^7}{(D + 1)^{0.46}} \right) \right) \right)$$

$$+ (4.22 - 0.32p) \log \left( \frac{(S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)) / (215.63 J \left( D^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right))}{1} \right)$$

#### ۴. انواع روسازی های بتنی

روسازی بتنی ساده ی درزدار JPCP : تمام روسازی های بتنی ساده با درزهای بسته ساخته می شوند. میلگردهای شاخک و قفل و بست سنگدانه ها می تواند برای انتقال بار استفاده شود. درز یک خاصیت مهم در در این نوع روسازی است که به صورت درز اجرایی و انبساط وجود دارد. فاصله ی درزهای انبساط بین ۳ تا ۵ متر است که اجازه ی انبساط و انقباض را به دال داده و موقعیت ترک را کنترل می کنند. استفاده کردن و یا نکردن از میلگرد شاخک بستگی به نوع سنگدانه ، شرایط آب و هوایی و تجربیات گذشته دارد فاصله ی دو درز عرضی در این نوع روسازی می تواند بین ۴.۵ - ۹ متر باشد اما با افزایش فاصله ی درز ها، قفل و بست سنگدانه ها کمتر می شود و به طبع آن ریسک ترک خوردگی بیشتر می شود. بر اساس نتایج و برآوردهای اجرایی Lokken & Nussbaum ۱۹۷۸ فاصله ی حداکثر بین درزها را ۶.۱ متر برای درزهای مسلح به میلگرد شاخک و ۴.۶ متر برای درزهای غیر مسلح به میلگرد شاخک توصیه می کنند. [۳]

روسازی بتنی مسلح درز دار JRCP : فولاد های مسلح کننده در انواع مش های سیمی و میلگردهای تغییر شکل دهنده باعث افزایش ظرفیت مقاومت روسازی نمی شوند اما باعث می شوند که فاصله ی درزها بیشتر باشد یعنی از ترک خوردن بتن جلوگیری نمی کنند اما در کنترل عرض ترک موثر هستند فاصله ی درزها در این نوع روسازی بین ۳ تا ۹ متر است. که این فاصله ی زیاد بین درزها سبب می شود از میلگرد شاخک برای انتقال بار در این نوع روسازی استفاده شود. افزایش توزیع میلگردها در روسازی بتنی مسلح درزدار با افزایش فاصله ی درزها رابطه ی مستقیم دارد که برای نگه داشتن دالها در کنار هم پس از ترک خوردن استفاده می شوند. اگرچه با افزایش فاصله ی درزها هزینه ی استفاده از میلگردهای شاخک و تعداد درزها کاهش می یابد. Lokken & Nussbaum در تحقیقات خود نشان دادند که اقتصادی ترین فاصله ۱۲.۲ متر است. [۳]

روسازی بتنی مسلح پیوسته CRCP : در این نوع روسازی درزها کلا حذف شده اند این نوع روسازی نقطه ضعف روسازی های بتنی که همان درزهاست را برطرف کرد و ضخامت روسازی نیز نسبت به دیگر انواع روسازی بتنی کمتر و تا ۵ سانتیمتر است که ۸۰ درصد کمتر از دیگر روسازیهها است. ترکهای عرضی با عرض کنترل شده جزء مشخصات روسازی های بتنی پیوسته ی مسلح می باشد. این ترکها بوسیله ی مسلح کننده ها کاملا نگهداری شده و بزرگتر نمی شوند [۳]

روسازی بتن غلتکی RCCP : طبق تعریف بتن غلتکی روسازی راه عبارت است از مخلوط سفت و نسبتا خشکی از سنگدانه ها با اندازه حداکثر ۱۹ میلیمتر، مواد سیمانی و آب که توسط دستگاههای متداول روسازی آسفالتی یا همان فینیشر آسفالت پخش و پس از آن توسط غلتک ویریه ای و و غلتکهای چرخلاستیکی آسفالت کوبیده و متراکم می گردد. اساس مکانیسم طراحی ضخامت و درزها و عدم مسلح بودن در این نوع رویه دقیقا همانند روسازی بتنی ساده ی درزدار JPCP می باشد و از این رو می توان این دو نوع روسازی را با تقریب اجرایی و عملکردی مناسبی با یکدیگر مقایسه کرد چرا که اصول طراحی این دو دقیقا همانند می باشد

## ۵. طرح اختلاط و روشهای اجرای روسازی بتنی عادی

طرح اختلاط و نوع بتن روسازی بتنی عادی همان بتن سنتی با ضخامت و مقاومت متغیر بر اساس نیاز و ترافیک و شرایط محیطی روسازی می باشد. روشهای اجرای رویه بتنی به طور کلی به سه دسته اصلی سنتی با قالب ثابت، مدرن با قالبهای لغزان و روشهای ساخت سریع تقسیم می شود. در روش سنتی معمولا ابتدا در سطح مورد نظر قالب بندی هایی مربع شکل بصورت خالی و پر انجام می شود و بدین صورت اسلب ها یکی در میان و در کل سطح بصورت شطرنجی از اسلب ها ساخته شده و فضای خالی بین آنها بوجود می آید بصورتی که دیواره اسلب های ساخته شده بصورت قالب دیواره اسلب های ساخته نشده عمل می کند. با این روش زمان قالب بندی و باز کردن قالبها و همچنین خطای تجمعی به حداقل می رسد. استفاده از روش مدرن دستگاه های بتن ریز با قالب لغزان باعث بالا رفتن سرعت کار و همچنین بدلیل استفاده از دستگاه های داوول گذار حذف سبدهای نگهدارنده داوولها و تای بارها، برش زود هنگام درز و همچنین بتن ریزی، ویریه کردن و داوول گذاری با دقتی بالاتر از روش دستی سنتی می گردد. در نهایت روش ساخت سریع علاوه بر سرعت بخشیدن به ساخت با وسایل مدرن، شامل تسریع در کسب مقاومت نیز می گردد گرچه در رویه های عادی زمانی حدود ۵ تا ۱۴ روز برای نگهداری و سپس تردد بر روی آنها لازم است اما مقاومت لازم جهت بازگشایی در این روش در کمتر از ۱۲ ساعت حاصل می گردد [۴]

## ۶. ترکها و درز بندی ها در روسازی بتنی

بتن ماده ای با ظرفیت کم تغییر شکل تحت کشش می باشد. بارهای مکانیکی، نیروهای عکس العمل نامناسب و شرایط محیطی می تواند سبب گسترش این تنش های کششی گردد. این تنش های کششی اغلب سبب ترک سازه های بتنی می گردد که می تواند سبب

خرابی شده و قابلیت سرویس دهی را تهدید و مشکلات سازه ای بوجود آورد. در رویه های بتنی هنگامیکه تنش های کششی از مقاومت کششی فراتر رود ترک رخ خواهد داد در سنین اولیه بتن، این تنش های کششی از تغییر حجم بتن در اثر جمع شدگی خشک شدگی و حرارت و گرادیان حرارتی و رطوبت در بتن می باشد. هر نوع برش طولی و عرضی در رویه ها سبب ایجاد منطقه ضعیفی در بتن می گردد که ترک در آن نقطه آغاز خواهد شد و تا پایین اسلب گسترش خواهد یافت. پس هدف اصلی از ایجاد درزها در رویه های بتنی کنترل ترک می باشد. پنجره برش به بازه زمانی بهینه در برش درزهای انقباض گفته می شود و عمق مناسب برش در رویه های با زیر سازی تثبیت شده یک سوم ضخامت رویه می باشد. برش باید زمانیکه بتن به اندازه کافی سخت شده است آغاز گردد یعنی بتن باید توانایی حمل وزن دستگاه برشکاری و پرسنل مربوطه را داشته باشد از علائمی که می توان دریافت بتن به اندازه کافی جهت برش سخت نشده است در آمدن و کنده شدن سنگدانه ها در طول خط برش می باشد. تحقیقات نشان داده است اگر افت دمای سطح رویه بیش از ۹.۵ درجه سانتیگراد باشد سبب جمع شدگی شدید سطح رویه و ترک خوردگی های تصادفی خواهد شد. این مشکل بویژه در در مناطقی که دارای اختلاف شدید دمای روز و شب می باشد، می تواند بسیار حاد باشد. ترکیب فاکتور های نامبرده محیطی می تواند تا دو ماه پس از ریختن بتن، سبب ترک های کنترل نشده گردد. [۵]

#### ۷. موارد خاص اجرایی و عملکردی بتن غلتکی

روسازی بتن غلتکی در واقع جزو روسازی های بتنی غیر مسلح درز دار طبقه بندی می شود. از ویژگی های مهم طراحی رویه بتن غلتکی کارایی مخلوط تازه بتن غلتکی است این پارامتر مقدار انرژی لازم برای رسیدن به بیشینه چگالی سنگدانه ها در مخلوط را مشخص می کند کارپذیری، سهولت اجرا و تراکم لایه روسازی بتن غلتکی در مکان پروژه و همگن بودن رویه نهایی ساخته شده را کنترل می کند. عملکرد بلند مدت ویژگی های مکانیکی و دوام نیز از پارامتر کارپذیری تاثیر می پذیرند همچنین بتن غلتکی بتنی است بدون اسلامپ که قبل از گیرش باید بتواند وزن غلتک هایی که برای تراکم آن به کار می رود، تحمل کند مصالح اصلی موجود در طرح اختلاط بتن غلتکی مشابه سایر بتن ها سیمان نوع اول و دوم (سیمان پرتلند نوع ۱ استفاده نمی شود) سنگدانه ها ۷۱ که تا ۸۱ درصد حجم بتن غلتکی را تشکیل می دهند. در مخلوط تازه، سنگدانه ها بر کارایی، پتانسیل جداسازی و راحتی تحکیم موثر هستند. مخلوط های بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی به درصد های بیشتری از ریزدانه نسبت به درشت دانه ها نیاز دارند ریزدانه بیشتر باعث کارایی بهتر اما مقاومت کمتر میشود. از آنجا که سنگدانه های درشت باعث پارگی سطح روسازی در حین عبور فینیش می شوند، اکثر پروژه های روسازی بتن غلتکی این اندازه را به ۵۳ میلیمتر محدود کرده اند استفاده از دانه های پولک و سوزنی نیز به ۲۱ درصد محدود شده است [۶]

در روسازی بتنی غلتکی نسبت کم آب به سیمان که از ۰.۳ تا ۰.۴ متغیر می باشد و منجر به افزایش مقاومت مکانیکی مخلوط های بتن غلتکی می شود. بطور معمول مقاومت فشاری محصور نشده روسازی از ۳۵ تا ۵۵ مگاپاسکال در سن ۲۸ روزگی متغیر می باشد. مفهوم کمینه نمودن نسبت آب به سیمان برای کسب مقاومت بیشتر نمی تواند تراکم پذیری مطلوبی را بدنبال داشته باشد. نسبت آب به سیمان باید در عین فراهم ساختن مقاومت فشاری در مرطوب ترین حالت برای دستیابی به تراکم بهینه قرار داشته باشد. در عین حال مطالعات نشان داده که عیار سیمان بالا، خزش بیشتر و تردی و شکنندگی بیشتری را نتیجه می دهد. هدف اصلی در طرح اختلاط بتن غلتکی دستیابی به مخلوطی با جرم پایدار است و اینکه مقاومت، دوام و نفوذپذیری مناسب را برای کاربرد مورد نظر برآورده سازد. از طرفی خلل و فرج در بتن غلتکی می تواند مقاومت را در برابر دوره های یخ زدن و آب شدن افزایش دهد و از طرفی دیگر هر یک درصد خلل و فرج در بتن مقاومت فشاری بتن را ۳ تا ۵ مگاپاسکال کاهش می دهد و بنابراین خلل و فرج بتن غلتکی نباید بیشتر از ۳ درصد باشد تا دوام مناسبی برابر دوره های یخ بندان داشته باشد. همچنین الیافهای نیز مانند روسازی های بتنی

دیگر در جهت جلوگیری از ترک خوردگی، افزایش توانمندی، کاهش ضخامت مورد نیاز و افزایش فاصله مجاز درز مورد استفاده قرار می گیرد [۷]

بتن غلتکی عبارت است از مخلوط سفت و نسبتاً خشکی با کارایی و ظاهری مشابه با مخلوط شن نم دار و یا بتن با اسلامپ صفر است این مخلوط توسط کامیون دامپ تراک حمل و با دستگاههای روسازی آسفالتی که علاوه بر میله لرزشی به میله کوبشی نیز مجهز هستند در لایه هایی که ضخامت حداکثر آنها در وضعیت متراکم شده از ۲۵ سانتیمتر تجاوز نمی نماید، پخش می شوند لایه پخش شده توسط غلتکهای فولادی ویبره ای متراکم و در مواردی جهت بهبود کیفیت سطح از غلتکهای چرخ لاستیکی برای تراکم نهایی لایه ریخته شده استفاده می شود مقاومت لازم برای طراحی حدود ۱۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و ضریب ارتجاعی نیز حدود ۸۴۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع (مگا پاسکال) است که بسیار کمتر از ضریب ارتجاعی بتن معمولی یعنی حدود ۲۰۰۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع (مگا پاسکال) می باشد و این باعث عملکرد بهتر بتن غلطکی در مقابل ترک خوردگی می گردد صلب بودن و عدم تغییر شکل در برابر بارهای وارده و ضربات ناشی از سقوط اجسام سخت نیز از دیگر مشخصات این نوع بتن می باشد. [۸]

#### ۸. مشکلات روسازی بتن غلتکی نسبت به سایر روسازیهای بتنی

در اینجا با استاندارد فرض کردن سایر انواع روسازی بتنی، معضلات و معایب روسازی بتن غلتکی نسبت به روسازی های بتن عادی که توسط پژوهشگران ایرانی ذکر گردیده است را بر می شماریم :

- پرت مصالح به علت تراکم نگرفتن حدود ۳۰ سانتیمتر از دو لبه کناری مسیر غلطک زنی و لزوم برش و دور ریزی آن
- مصرف انرژی و الیاندگی محیط زیستی بیشتر نسبت به روسازی های بتنی عادی در حین تولید و اجرا و پرت مصالح
- نیاز به تجهیزات قویتر و خاص و استهلاک بیشتر ماشین آلات در هنگام تولید بواسطه اسلامپ صفر روسازی بتن غلتکی
- روسازی بتن غلتکی برای ترافیک های با سرعت بالا مناسب نیست مگر اینکه چاره ای جز به استفاده از این نوع روسازی نداشته باشیم [۸]

- سطح ناهموار آن منجر به سطحی پر سر و صدا تر از دیگر انواع روسازی می شود [۸]
- سطح ناهموار بتن غلتکی برای ترافیک پر سرعت رضایتبخش نیست و سرو صدای زیادی که ایجاد میشود باعث ناراحتی راننده و سرنشینان خودرو خواهد شد. در ابتدا روسازی بتن غلتکی در راههای با ترافیک کم، خیابانهای مسکونی، محوطه پارکینگها و مراکز صنعتی مورد استفاده قرار گرفت و به همین دلیل سطح آن مورد پرداخت قرار نمی گرفت. [۹]
- عدم تراکم کافی و مناسب لایه ها که در روسازی های با ضخامت لایه زیاد، بیشتر دیده میشود. تراکم نامناسب و عدم چسبندگی بین لایه ها سبب کاهش کارایی و ایجاد خرابیهای اساسی در سطح روسازی می گردد. ترکها گاهی در سطح روسازی بتن غلتکی به وجود می آیند و در صورتی که این ترکها بزرگ باشند باعث ایجاد مشکلاتی در بدنه راه و مقاومت روسازی بتن غلتکی می شود. بیشترین خرابی در نواحی اتفاق می افتد که تراکم به خوبی صورت نگرفته باشد [۹]
- در صورتی که پیوستگی مناسب در هنگام ساخت به وجود نیامده باشد، فرسایش کمی در حد کمتر از ۶ میلیمتر در سطح روسازی اتفاق می افتد، اگرچه تجربه و آزمایشات نشان داده است که این فرسایش بعد از مدتی متوقف می شود [۹]

#### ۹. مزایای روسازی بتن غلتکی نسبت به سایر روسازیهای بتنی

در هنگام عمل آوری بتن به دلیل انقباض طبیعی که در بتن رخ می دهد، ترکهایی در سطح روسازی ایجاد می شود. این ترکها معمولاً به طور تصادفی در فواصل ۳ الی ۱۵ متری رخ می دهد. به دلیل خشک بودن بتن در روسازی بتن غلتکی، ترکهای انقباضی کمتری

نسبت به سایر روسازیهای بتنی در آن به وجود می آید ترکهای انقباضی که در روسازی بتن غلتکی به وجود می آید معمولا کوچک و کمتر از ۹ میلیمتر است و انتقال بار خیلی خوبی به واسطه ارتباط بین سنگدانه ها به وجود می آید. این ارتباط بین سنگدانه ها از طریق استفاده از سنگدانه های با قابلیت تراکم زیاد که برای طرح اختلاط روسازی بتن غلتکی تعریف می شود، افزایش می یابد. تاکنون به دلیل جدید بودن این نوع روسازی، عملکرد بلند مدت آن و همچنین نحوه گسترش ترکها به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است و به دنبال آن نحوه عملکرد ترکها به عنوان نقاط انتقال بار در روسازی مبهم می باشد [۹]

روسازی بتن غلتکی در مقابل اثرات محیطی و در مقابل اثرات و آسیبهای فیزیکی که به سطح آن وارد می شود، مقاومت و دوام خوبی از خود نشان داده است. [۹]

#### ۱۰. بررسی امکان ساخت انواع روسازی های بتنی در ایران

از آنجا که روش روسازی بتنی مسلح پیوسته CRCP با حداکثر ۵ سانتیمتر ضخامت و مقدار فولاد قابل توجه و روشها و ماشین آلات پیشرفته اجرا می گردد و در امریکا هم استفاده از آن به دلایل اجرایی و عملکردی کاهش یافته است برای ایران توصیه نمی گردد. همچنین در روش روسازی بتنی مسلح درز دار JRCP در صورت نیاز به اجرای پیوسته بوسیله فینیشرهای بتن که به طور پیوسته در حال حرکت هستند به علت شلوغی جبهه کار خواهد انجامید وجود قالب، داو، آرماتور سنجاقی، شبکه مش، اسپیسرها، عوامل اجرایی، ویره ها و دیگر فولادهای اتصال دهنده نیاز به ماشین آلات تغذیه بتن خاص دارد که نه تنها مزاحم موارد فوق الذکر نگردند بلکه مانع حرکت پیوسته فینیشر نگردند. این دستگاهها و طرح اختلاط بتن باید به شکلی باشد که برای این شرایط بهینه شده باشند تا از جداسدگی سنگدانه و تیخیر آب اختلاط و دیگر مشکلات اجرایی جلوگیری به عمل آید لذا با توجه به توان تجهیزاتی شرکتهای ایرانی این روش در ایران به آسانی و درستی قابل اجرا نمی باشد بنابراین در ایران برای ساخت روسازی های بتنی سه روش و نحوه اجرا مناسب می باشد که به ترتیب: روسازی بتنی مسلح درز دار JRCP قالب بندی از چهار سو و ریختن یک مربع بتنی و اجرای کار بصورت شطرنجی، رویه بتن غلتکی RCCP با پخش با فینیشر آسفالت و تراکم با غلطک آسفالت و در نهایت روسازی بتنی ساده درزدار JPCP با فینیشر مخصوص بتن و اجرای پیوسته توصیه می گردد. [۱۰] و [۱۱]

#### ۱۱. مقایسه روسازی های بتنی JPCP و RCCP در ایران

در مقایسه روسازی بتنی غیر مسلح درزدار JPCP استاندارد و روسازی بتن غلتکی RCCP جدا از ضعفهای عملکردی روسازی بتن غلتکی مانند سرعت طرح کم و دیگر موارد ذکر شده در بالا، به علت پیچیده تر بودن روند تولید و حفظ مصالح بتن در یک بازه رطوبت اپتیمم به همراه حفظ شرایط آب هیدراسیون و در عین حال حفظ اسلامپ صفر و وی بی ۳۰ تا ۴۰ و حفظ کارایی با توجه به سطح متوسط تجهیزات تولید و آزمایش و نیروی انسانی موجود در ایران کاری دشوار می باشد. همچنین بطور مثال در روشهای کنترل کیفیت و آزمایش تراکم بین استفاده از روش پروکتور و یا روش جدید گیج اتمی در محل توافق کامل وجود نداشته و یا نحوه شبیه سازی انرژی تراکم در قالبهای آزمایشگاهی هنوز در استاندارد کشورهای مختلف مورد تشکیک بوده و کم استفاده بودن روسازی بتن غلتکی نسبت به روسازی بتنی در کشورهای مختلف باعث شده تا حصول یک توافق کامل فنی و علمی به کندی پیش برود. بطور کلی با وجودی که از عمر ایده بتن غلتکی در سد ها و سازه های حجیم حدود ۴۰ سال می گذرد اما استفاده صنعتی از بتن غلتکی در روسازی در کشورهای جهان حدود ۲۰ سال (و محدود به مناطق سرد سیر خلیج و نکور و بار اندازه های بنادر بزرگ) می باشد و بنابراین در مقایسه رویه بتنی استاندارد عادی هنوز یک فن آوری نو پا به شمار می رود. و لذا من حیث المجموع جدا از رویکرد کلی مناسب به

سمت روسازی های بتنی استفاده از روسازی بتن غلتکی در کشور می بایست در در رده دوم اهمیت نسبت به روسازی های بتنی استاندارد عادی قرار گیرد.

## ۱۲. نتیجه گیری

چنانکه توضیح داده شد جدا از رویکرد کلی مناسب وزارتخانه های دولتی و مجریان امور عمرانی کشور به سمت روسازی های بتنی که باعث مصرف بهینه سیمان تولیدی در درون کشور عدم صادرات سیمان (به منزله صادرات رایانه پرداخت شده به صنعت سیمان و حفظ الودگی کارخانجات سیمان در کشور) می گردد. استفاده از روسازی بتن غلتکی در کشور با توجه به مسائل فوق الذکر در این پژوهش می بایست در در رده دوم اهمیت نسبت به روسازی های بتنی استاندارد عادی قرار گیرد. در پایان علی رغم کلیه مسائل فنی ذکر شده لازم به ذکر است که هر دو روش روسازی بتنی غیر مسلح درزدار JPCP و روسازی بتن غلتکی RCCP با توجه به امکانات موجود در ایران قابل اجرا بوده و هر یک نیز در چندین پروژه در ایران اجرا گردیده اند. درسهای حاصل از این پروژه ها به ما این امکان را می دهد تا در آینده رویه هایی با کیفیت تر مورد اجرا و بهره برداری قرار دهیم. در اینجا آنچه از تجربیات نگارندگان مقاله و نوشته های مستند سازان و پژوهشگران در مورد اجرای روسازی بتنی بطور کلی در ایران بر می آید بطور عمومی عدم توجه پیمانکار به مسائل کنترل کیفی، آزمایشات، نفرات، نظرات کارشناسی و مسائل معطوف به دوام و به جای آن تمرکز بر مسائل اقتصادی پروژه و کیفیت کوتاه مدت آن تا زمان تحویل موقت (در نظام قرارداد فهرستی) و دوره تضمین (در نظام قرارداد EPC) می باشد. این مسئله هنگامی اهمیت بیشتری پیدا می کند که حساسیت مصالح مورد استفاده نسبت به کنترل کیفیت و آزمایشات استاندارد زیاد بوده و کوچکترین انحراف از معیارها باعث خرابی آنی و یا کاهش دوام می گردد. بطور مثال این مسئله در مورد آسفالت و بتن اهمیتی دو چندان دارد و عدم رعایت موارد فوق الذکر به همراه بی توجهی فنی، باعث کاهش عمر انواع رویه ها در ایران به یک چندم عمر متوسط جهانی آنها می گردد. [۱۱] [۱۲]

## ۱۳. منابع و مراجع

- ۱- بررسی روشهای محاسبه رویه های بتنی فرودگاهی - علی طالبی، محمد علی ارجمندی نژاد، رامین دولتشاه - اولین کنفرانس ملی رویه های بتنی - دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- تحلیل نسبت مقاومت خمشی و فشاری رویه های بتنی فرودگاهی مطالعه موردی اپرون و تاکسیوی فرودگاه مهرآباد - علی طالبی، محمد علی ارجمندی نژاد، احسان شیرازی نیا - اولین کنفرانس رویه های بتنی - دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- بررسی توجیه فنی و اقتصادی و شرایط اقلیمی در کاربرد رویه های بتنی در کشور - علی طالبی، محمد علی ارجمندی نژاد - اولین کنفرانس رویه های بتنی - دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- معرفی روش Fast - Track در احداث رویه های بتنی و بررسی روش احداث باند، اپرون و تاکسیوی بتنی از دیدگاه تکنولوژی ساخت - محمد علی ارجمندی نژاد، محمد صادق چیت فروش، علی طالبی - اولین کنفرانس رویه های بتنی
- ۵- بررسی پنجره برش در درزه های رویه های بتنی - محمد علی ارجمندی نژاد، علی طالبی، احسان شیرازی نیا - اولین کنفرانس رویه های بتنی
- ۶- تاثیر فوق روان کننده و روان کننده بر کارآیی و میزان آب مصرفی مخلوط بتن غلتکی - شادی آزاد، بهار بیهقی، رضا مهرعلیزاده، مجتبی کهندل نیا، مهدی چینی، مهدی نعمتی چاری، محمد شکرچی زاده - ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران
- ۷- بررسی آزمایشگاهی اثر الیاف پلی پروپیلن بر دوام یخ زدن و آب شدن روسازی بتن غلتکی حسن ذوقی، علی منصورخاکی، کیانوش سیامردی - ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران



"هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران - تهران - ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵"

- ۸- مقایسه فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی - اسماعیل رجایی نجف آبادی، بهروز توسلی کله بستی، مرتضی حسین صباغیان - ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران
- ۹- مقایسه فنی، اجرایی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی و آسفالتی در پروژه‌های آزادراهی - علیرضا حیدری، حسنعلی تواضع - پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران
- ۱۰- مطالعات، طراحی و دفترچه مشخصات خصوصی پروژه روسازی بتنی باند فرودگاه تبریز (۱۳۹۳-۱۳۹۱) مهندسان مشاور بانیان دیماس
- ۱۱- یادداشتها و تصاویر دفتر فنی پروژه روسازی بتنی اپرون فرودگاه زاهدان (۱۳۹۴-۱۳۹۳) مهندسان مشاور بانیان دیماس
- ۱۲- گزارشات و تصاویر پروژه روسازی بتن غلتکی محوطه گمرک تهران - شرکت زرین کوه