

تحلیل پارامترهای موثر بر طراحی و اجرای روسازی های انعطاف پذیر و صلب و مقایسه آنها با یکدیگر

وحید طاهری^۱

^۱ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

وحید طاهری

taheri77744@yahoo.com

چکیده

در سالهای اخیر تحولات زیادی در عرصه اقتصادی و سیاسی در جهان به وقوع پیوسته است. با توجه به تغییرات و درگیریهایی که در برخی کشورهای منطقه صورت گرفته است نیز بازار عرضه و تقاضای نفت و سیمان هم تحت تاثیر قرار گرفته است. لذا باید تدبیری اندیشید تا پروژه های عمرانی و به ویژه پروژه های راهسازی را به نحو مطلوب از نظر طراحی و اجرا، با صرفه اقتصادی مدیریت نمود. در این مقاله سعی شده است تا پارامترهای موثر در طرح و تحلیل روسازی های بتنی و آسفالتی تشریح شده و نکاتی راجع به انواع روشهای طراحی آنها نظیر آشتو و انجمن سیمان پرتلند ارایه شود. با توجه به میزان تولید و انباشت هر دو ماده اولیه روسازیهایی یعنی سیمان و قیر و همچنین بحث کمبود منابع آبی در کشور ضروری است تا قبل از شروع طراحی و تحلیل روسازی، شناخت کاملی از تجربه جهانی در استفاده از هریک از روشهای طراحی از نظر سطح محافظه کاری و دقت آنها در دست باشد. اگرچه اصولا روسازی صلب یا بتنی نسبت به انعطاف پذیر یا آسفالتی، توانایی توزیع بار در سطح وسیعتری داشته و میتواند از عمر بالاتری هم برخوردار باشد، اما، بهر حال توصیه میشود با انجام مهندسی ارزش، انتخاب نوع روسازی با توجه به مشکلات، موانع، کمبودها و انتظارات ذینفعان به نحو درست به ویژه در شرایط کنونی، صورت پذیرد.

واژگان کلیدی: روسازی صلب، روسازی انعطاف پذیر، انجمن سیمان پرتلند، موسسه آشتو

مقدمه

سیستم های مختلفی برای روسازی راهها قابل انتخاب است. در این مقاله پارامترهایی که برای تحلیل و طراحی روسازی های انعطاف پذیر یا اصطلاحاً روسازی آسفالتی و روسازی صلب یا همان بتنی لازم بوده و مورد استفاده سازمانها و موسسه های با تجربه نظیر انجمن سیمان پرتلند و موسسه آشتو هستند، مورد بررسی قرار میگیرند. همچنین نکاتی هم راجع به تفاوتشان با یکدیگر و میزان دقت و میزان نزدیک شدن آنها به سطح قابل قبولی از محافظه کاری در فرایند تحلیل و ارزیابی مطرح میشود. در بخش پایانی این نوشتار وضعیت مصالح اصلی این روسازیهایی یعنی سیمان و قیر در کشور و لزوم انجام مهندسی ارزش جهت انتخاب سیستماتیک و مقرون به صرفه برای فرایند طراحی و اجرای هریک از دو روسازی گفته شده، مورد بحث قرار میگیرد.

شناخت تنشها و کرنشها در روسازی های آسفالتی

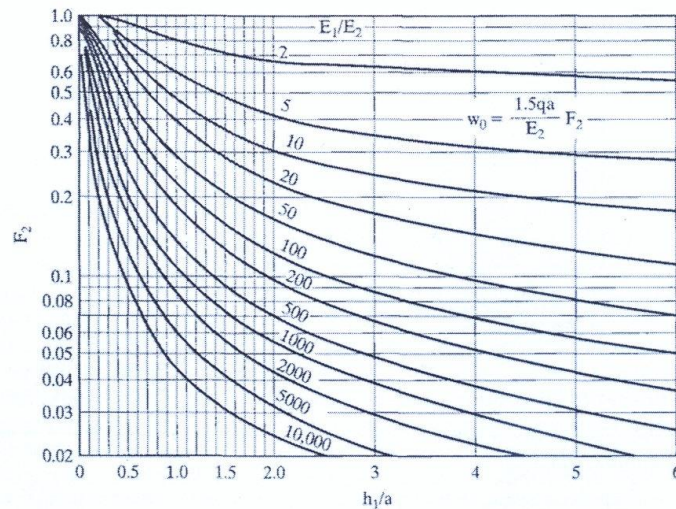
روسازیهایی انعطاف پذیر به روسازیهایی اطلاق میشود که در آن بار ترافیکی در یک سطح محدود توسط لایه هایی که از مصالح آسفالتی، یا سنگریزه ای به خاک بستر متراکم شده منتقل میشود. این روسازیهها به سه دسته قابل تقسیم بندی هستند که عبارتند از روسازی های معمولی (شامل رویه آسفالتی، لایه سنگریزه ای اساس، لایه سنگریزه ای زیر اساس)، روسازی تمام عمق آسفالتی (شامل رویه آسفالتی، لایه اساس قیری) و روسازی درشت دانه با پایه آسفالتی (شامل رویه آسفالتی، لایه اساس با دانه بندی متراکم، لایه اساس با دانه بندی باز، لایه اساس قیری). مطابق نظرات بوسینسک در ۱۸۸۵، آسانترین راه برای شناسایی رفتار این روسازی ها فرض یک نیم فضای همگن و همسان در تمام امتداد های مختصات دکارتی با بعد بینهایت است. نیم فضای بینهایت دارای مشخصه های مدول الاستیک E و ضریب کم اثرپواسون ν میباشد. محققین دیگری همچون برمیستر نیز در این زمینه تحقیقات زیادی انجام داد و با در نظر گرفتن رفتار ویسکو الاستیک مصالح آسفالتی و استفاده از قابلیت رایانه ها و نرم افزاری همچون KENLAYER در اواخر قرن بیستم پیشرفتهای زیادی جهت شناخت رفتار و مدلسازی روسازیهایی آسفالتی بدست آمد. بهر حال آنچه که همگان راجع به آن توافق نظر دارند استفاده از نظریه لایه ای در تحلیل و شناخت روسازی آسفالتی است که در حال حاضر هم در قالب تحقیقات موسسه های انستیتو آسفالت و آشتو در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرد. برای تعیین مشخصات مصالح ویسکو الاستیک دو روش کلی وجود دارد که اولین آن براساس مدلهای مکانیکی همچون مدل کلوین و ماکسول و دیگری بر اساس پارامتری به نام پاسخ خزش (CREEP- COMPLIANCE CURVE) تابعی از زمان، مطابق رابطه ۱، و معکوس مدول یانگ است.

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma}$$

(۱)

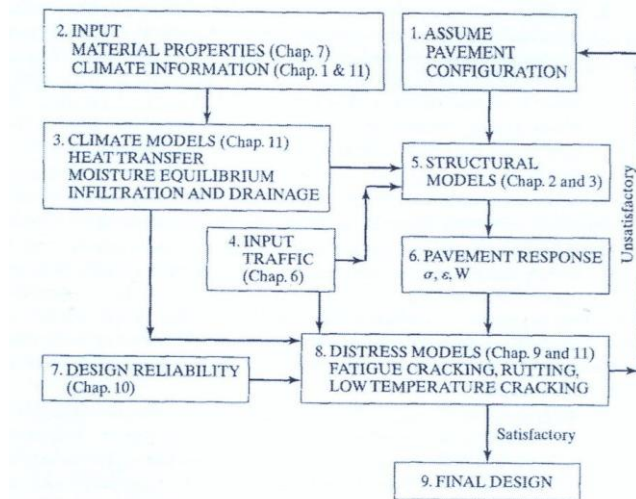
که در آن $\varepsilon(t)$ ، کرنش تابع زمان تحت تنش ثابت و σ تنش است.

باید توجه داشت که هر دو روش یاد شده با استفاده از توابع انتقالی لاپلاس قابل تبدیل به یکدیگر میباشند. از مزایای روش مدلهای مکانیکی آن است که روابط تنش - کرنش را به صورت فیزیکی برای حل معادلات دیفرانسیل قابل مشاهده میکند. از مزایای روش پاسخ خزش هم آن است که در آزمایشگاه با انجام آزمایش خزش قابل تجربه است. همانطور که گفته شد از نظریه لایه ای روسازی آسفالتی ارایه شده توسط برمیستر برای تحلیل روسازی بسیار استفاده شده است که در اواسط قرن بیستم مطرح شده است. برمیستر برای روسازی انعطاف پذیر سیستم دو لایه ای پیشنهاد کرد که ضخامت لایه دوم بینهایت فرض میشود. این روش برای روسازی های تمام عمق مناسب است. بعدها برمیستر سیستم سه لایه ای را نیز بر اساس تجربیات قبلی ارائه نمود. با پیشرفت علم ریاضی و رایانه ها بعد ها سیستم چند لایه ای نیز مورد توجه قرار گرفت. در پایان این بخش به عنوان نمونه میتوان گفت که براساس نظریه دولایه ای برمیستر تغییر مکان قائم سطح روسازی، ω ، در حالتی که ضخامت لایه اول h_1 ، سطح تماس بارگذاری دایره ای به شعاع a ، و فشار تماسی q و مدول الاستیک لایه دوم E_2 باشد، پس از استخراج فاکتور تغییر مکان F_2 از شکل ۱، قابل محاسبه است:



شکل ۱- تغییر مکان قائم در سیستم دو لایه ای (برمیستر ۱۹۴۳)

در خصوص طراحی روسازی آسفالتی باید گفت که معادلات طراحی ارایه شده در راهنمای طراحی آشتو که در سال ۱۹۸۶ منتشر شد ، به صورت تجربی از نتایج آزمایشهای جاده ای آشو حاصل شده است. به منظور توسعه یک روش تحلیل و طراحی مکانیستیک که برای ویرایش های بعدی راهنمای آشتو مناسب باشد یک پروژه تحقیقاتی در دانشگاه ایلینویز زیر نظر برنامه تحقیقات ملی مشترک راه (NCHRP) در خصوص روسازی های آسفالتی و بتنی انجام شد که در سال ۱۹۹۰ با عنوان روش مکانیستیک کالیبره شده منتشر گردید. این روش که در شکل ۲ نشان داده شده است، شامل مدل‌های خرابی است که توسط موسسه انسیتو آسفالت هم استفاده شده است.



شکل ۲- روش شناسی فرایند مکانیستیک طرح روسازی انعطاف پذیر

همانطور که در شکل ۲ مشاهده میشود با ورود مشخصات مصالح (ضریب برجهندگی (MR)، پیکربندی روسازی (تعداد لایه ها و...))، اطلاعات آب و هوا، ترافیک فرایند مدلسازی و پاسخ های روسازی انجام شده و با توجه به قابلیت اطمینان و مدل های خرابی، طرح نهایی با تامین سطح مورد انتظار اطمینان استخراج میشود. چنانچه قابلیت اطمینان برای نوع خاصی از خرابی کمتر از کمینه سطح مورد نیاز باشد باید پیکربندی روسازی را تغییر داد و گام های ۵ و ۶ و ۸ را مجددا انجام داد. در گام هشتم برای مدل های خرابی هم میتوان از نسبت صدمه تجمعی ماینر که در سال ۱۹۴۵ مطرح شد استفاده کرد. لازم به توضیح است که مدل های سازه ای با استفاده از نرم افزارهای ویژه سیستم لایه ای (KEMPA، ELSYM5، DAMA یا VESYS) و نرم افزار اجزای محدود (ILLI-PAVE) یا (MICH-PAVE)، ساخته میشوند.

روشهای طراحی روسازی انعطاف پذیر

یکی از روشهای تجربی برای طراحی، توسط موسسه انستیتو آسفالت (AI) در اواسط قرن بیستم بر پایه نتایج تحقیقات موسسه آشو منتشر شد. در سال ۱۹۹۱ با استفاده از نرم افزار DAMA موسسه انستیتو آسفالت اقدام به انتشار یک سری چارت های طراحی با فرض سه رژیم دمایی در سطح ایالات متحده آمریکا نمود که بعدها با نرم افزار HWY آن را توسعه داد. در روش AI، کرنش کششی زیر لایه آسفالت که سبب بروز ترک خستگی میشود به همراه کرنش فشاری روی سابگرد در امتداد قائم که سبب خرابی شیار طولی مسیر چرخ یا تغییر شکل دائم میگردد، به عنوان معیار های طراحی در نظر گرفته شدند. یکی از پارامترهای روش AI عبارت است از ترافیک هم ارز بار محور تک معادل در عمر طرح (ESAL)، که حاصل ضرب ضریب رشد سالانه، ضریب کامیون و تعداد عبور محورهای مختلف است. پارامتر دیگر مربوط به مشخصات مصالح (ضریب برجهندگی و ضریب پواسون) است که باید برای مصالح سابگرد و لایه های سنگریزه ای و لایه آسفالت محاسبه شود. در روش AI ضریب برجهندگی را با در نظر گرفتن شرایط جوی و محیطی که تغییرات دما و موارد ذوب و یخبندان را شامل میشود محاسبه میکنند چراکه در طول سال مقدار مدول برجهندگی به خاطر ذوب و یخبندان تغییر کرده و از حد نرمال پس از یخبندان، افزایش و پس از ذوب کاهش میابد. در روش AI، ۳ نوع روسازی شامل روسازی تمام عمق (FULL DEPTH ASPHALT)، نوع دوم روسازی متشکل از آسفالت گرم روی اساس حاوی قیر امولسیون و نوع سوم شامل لایه آسفالت گرم بر روی اساس امولسیونی و لایه اساس سنگدانه ای اصلاح نشده، با استفاده از دو پارامتریعی تعداد محور تک معادل و مدول برجهندگی خاک بستر قابل طراحی است. در انستیتو آسفالت روش ساخت مرحله ای نیز پیشنهاد شده که بر اساس آن مرحله دوم باید قبل از اینکه روسازی مرحله قبل دچار خرابیهای جدی شود، اجرا گردد. ساخت مرحله ای در حالتی که پیش بینی دقیق ترافیک مقدر نبوده یا مشکلات بودجه ای وجود داشته باشد میتواند مفید باشد.

روش دیگر برای طرح روسازی انعطاف پذیر روش آشتو (AASHTO) مربوط به انجمن کارکنان راه و ترابری ایالتی آمریکاست. این روش از نتایج آزمایشهای جاده ای آشتو در ایلینویز و اوتاوا در دهه پنجاه و شصت میلادی استفاده نموده است. راهنمای طراحی آشتو زیر نظر NCHRP در سال ۱۹۸۶ بعد از سالها بررسی و ویرایش منتشر شد و سپس با اصلاحاتی جزئی در سال ۱۹۹۳ ارایه گردید. از نکات مهم در روش آشتو آن است که بهتر است دوره طرح برابر یا بیشتر از دوره عملکرد باشد. پارامتر دیگر در روش آشتو تعداد ترافیک بار محوری معادل تجمعی در تمام دوره عمر طرح راه بر اساس محور تک ۸،۲ تن است. در روش آشتو برای عدم قطعیت هایی که ممکن است پروژه را تحت تاثیر قرار دهد پارامتری بنام قابلیت اطمینان (RELIABILITY) تعریف شده است که در جدول ۱ برای راههای مختلف مشاهده میشود:

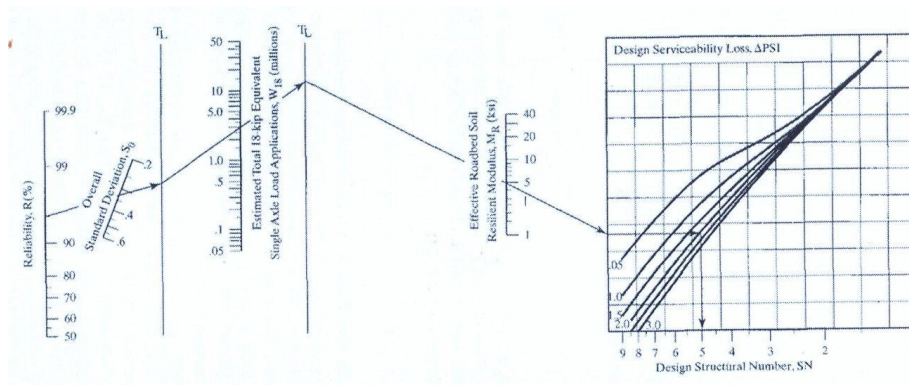
جدول ۱: سطوح پیشنهادی قابلیت اطمینان برای کاربریهای مختلف (آشتو ۱۹۸۶)

طبقه بندی کاربری	درون شهری (R) %	برون شهری (R) %
راههای بین ایالتی و بزرگراهها	۹۹٫۹-۸۵	۹۹٫۹-۸۰
راههای شریانی	۹۹-۸۰	۹۵-۷۵
راههای توزیع کننده	۹۵-۸۰	۹۵-۷۵
راههای محلی	۸۰-۵۰	۸۰-۵۰

بطور کلی مطابق جدول ۱ هرچه عدم قطعیت های ترافیکی، انتظارات عمومی اجتماعی، ناهمگنی مصالح، روشهای اجرایی بیشتر باشد و روسازی هم با اهمیت تر باشد، باید قابلیت اطمینان بزرگتری انتخاب کرد تا خطای طراحی کاهش یابد. در وضعیت ساخت مرحله ای قابلیت اطمینان از فرمول ۲ بدست میاید:

$$(R_{overall})^{\frac{1}{n}} = R_{stage} \quad (2)$$

که در آن n تعداد مراحل ساخت است. به عنوان مثال اگر قابلیت اطمینان کلی ۹۵ درصد باشد قابلیت اطمینان هر مرحله باید ۹۷٫۵ درصد منظور شود. طبق روش آشتو همچنین باید شرایط محیطی و آب و هوایی را نیز که بر تورم خاک بسترناسی از رطوبت و یخبندان موثر است مورد توجه قرار داد. این تغییرات همچنین کاهش سرویس دهی راه یعنی شاخص سرویس دهی زمان حال روسازی (PSI) را سبب میشود که در روش آشتو به عنوان یکی از پارامترهای مهم در طرح ضخامت های روسازی آسفالتی استفاده میشود. روابط تجربی که از آزمایشهای آشتو بدست آمد در مراحل مختلف با ورود پارامترهایی همچون ضریب باربری خاک بستر، کیفیت زهکشی مصالح سنگدانه ای، تکمیل گردید که با استفاده از ضرایب بار هم ارز محور معادل ۸۲۰۰ کیلوگرمی به صورت شکل ۳ ارائه شد. آنچه از این شکل استخراج میشود پارامتری است بنام عدد ضخامت (SN) که عددی است تجربی و وابسته به جنس و ضخامت هریک از لایه های آسفالت، اساس و زیر اساس است.



شکل ۳- چارت طراحی روسازی انعطاف پذیر (آشتو ۱۹۸۶)

لازم به ذکر است که برای دقت در انتخاب مدول برجهندگی باید ضریب برجهندگی در ماههای مختلف سال را بدست آورد و با محاسبه نسبت خرابی ناشی از تغییرات مقاومت خاک در ماههای مختلف اقدام به محاسبه مدول برجهندگی موثر خاک بستر نمود.

مقایسه روشهای آشتو و انستیتو آسفالت

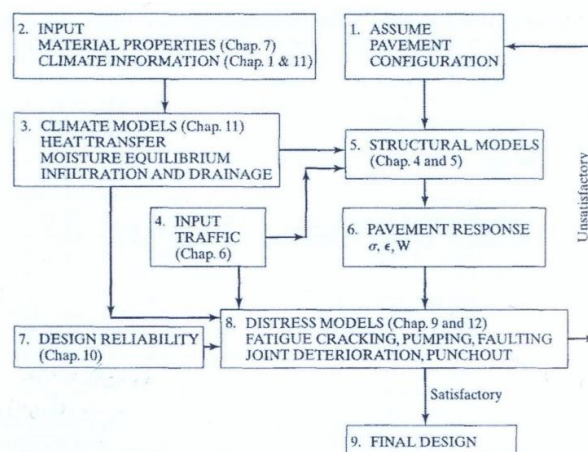
با توجه به نوع پارامترهای موجود در هر دو روش مقایسه آنها اندکی در ظاهر مشکل است اما بطور کلی میتوان گفت که روش آشتو پارامتر قابلیت اطمینان را در نظر گرفته است که خطاهای ناشی از عدم قطعیت ها را پوشش میدهد. همچنین روش آشتو بر خلاف روش انستیتو آسفالت (که مدول نرمال برجهندگی را ارایه کرده)، مدول برجهندگی موثر را تعریف نموده است و مقادیر میانگین پارامترها را به چرخه طراحی وارد کرده است. با توجه به موارد فوق میتوان گفت که روش آشتو محافظه کارانه تر از روش انستیتو آسفالت است و به همین دلیل هم در بیشتر بزرگراههای اصلی آمریکا از روش آشتو استفاده شده است.

شناخت تنشها و کرنشها در روسازی های بتنی

روسازی بتنی برخلاف روسازی آسفالتی انعطاف پذیر قادر است بارهای وارده را در یک سطح وسیع تر نسبت به روسازی انعطاف پذیر توزیع کند. روسازی بتنی بدلیل ماهیت بتن چنانچه به طور مناسب طرح و اجرا شود از طول عمر بیشتر و مقاومت بالاتری در مقابل تغییر شکلهای ماندگار در مقایسه با روسازی آسفالتی برخوردار است. در این بخش به طور مختصر راجع به انواع تنشها و کرنشها و روشهای طرح ضخامت و شبکه فولادی بکار رفته در آن اشاره میشود. در ابتدا باید متذکر شد که در روسازی بتنی از نظریه صفحه ای استفاده میشود که تفاوتهای اساسی با نظریه لایه ای روسازی آسفالتی دارد. تنشهایی که در تحلیل رفتار روسازی بتنی در نظر میگیرند شامل تنشهای تابیدگی (CURLING) ناشی از تغییر دمای سطوح فوقانی و تحتانی بتن در روز و شب، تنشها و تغییر مکان ناشی از بارگذاری ترافیکی، تنشهای ناشی از اصطکاک بتن و لایه زیرین. در محاسبه تنشهای تابیدگی از نتایج تحقیقات افرادی نظیر Winkler و Westergaard استفاده میشود. برای محاسبه تنشهای ناشی از بارگذاری ترافیکی سه روش پیشنهاد شده است که عبارتند از: روش فرمولهای بسته (CLOSED-FORM FORMULA)(محققینی نظیر Gold beck , Ioannides)، روش چارت های تاثیر (INFLUENCE CHARTS)(محققینی نظیر Pickett, Ray)، و روش سوم که نرم افزارهای المان محدود (Finite-element) نظیر نرم افزار KENSLAB میباشد.

روشهای طراحی روسازی بتنی

همانطور که قبلاً گفته شد مفهوم طرح مکانیستیک کالیبره شده هم برای روسازی آسفالتی و هم روسازی بتنی راهگشای موسسه های تحقیقاتی مطابق شکل ۲، میباشد. در این روش با استفاده از مدل های سازه ای پاسخ های روسازی محاسبه میشود و با توسعه مدلهای خرابی، پیش بینی خرابی روسازی از پاسخ های بدست آمده مقدر میشود. با انطباق خرابی پیش بینی شده با خرابی مشاهده شده در واقعیت، طراحی صورت گرفته از نظر کفایت سازه ای و عملکردی مورد قضاوت قرار میگیرد. در روسازی بتنی مدل سازه ای به دلیل بهره مندی از نرم افزارهای متعدد نسبت به مدل خرابی از پیشرفت های بیشتری برخوردار بوده است. خرابی هایی که در طرح روسازی بتنی به عنوان معیار استفاده میشوند عبارتند از ترک خستگی، پمپ شدگی، نشست، خرابی درزها و سوراخ شدگی (PUNCHOUT) که ویژه روسازی بتنی ممتد مسلح (CRCP). در شکل ۴ چارت روش طراحی مکانیستیک کالیبره شده روسازی بتنی مشاهده میشود.



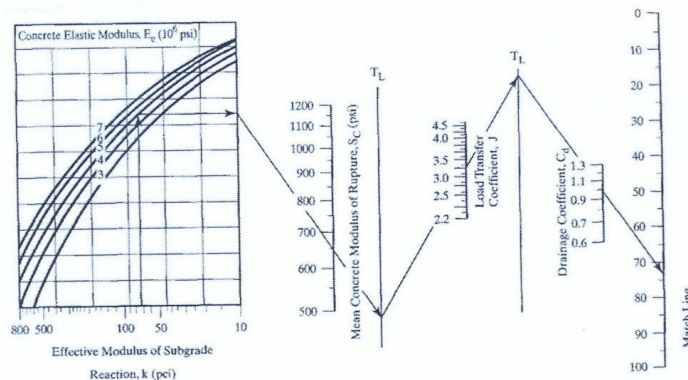
شکل ۴- روش شناسی مکانیستیک کالیبره شده برای طرح روسازی بتنی

بطور کلی مدل‌های سازه ای راه‌های بتنی باید قابلیت تحلیل روسازی بتنی بدون محدودیت ابعاد را داشته باشند. همچنین قادر باشند لایه های زیر اساس و انواع خاک‌های بستر با رفتارهای مایع گونه و صلب را نیز به همراه دال بتنی تحلیل کنند. علاوه بر آن مدل‌های سازه ای باید توانایی تحلیل انواع ترک با انواع بارگذاری اعم از بار ترافیکی و حرارتی را در نقاط مختلف نظیر وسط، گوشه، لبه درز داشته باشند. یک روش طراحی روسازی بتنی توسط انجمن سیمان پرتلند (PCA) در سال ۱۹۸۴ پیشنهاد شد. این روش برای روسازی بتنی درز دار غیر مسلح و مسلح و روسازی ممتد مسلح قابل استفاده بود. یک برنامه رایانه ای بنام JSLAB هم برای محاسبه تنش و تغییر شکل نیز ارائه گردید. معیارهای طراحی در روش PCA، معیار خستگی و فرسایش می‌باشد. خستگی ناشی از بارگذاری نزدیک لبه و با فاصله قابل ملاحظه از درزها است و فرسایش ناشی از بارگذاری نزدیک درز و گوشه دال بتنی می‌باشد. در تحلیل فرسایش باید توجه داشت که روسازی در اثر پمپ شدگی، فرسایش تکیه گاه و نشست در گره تخریب می‌شود. در تحلیل خستگی مفهوم صدمه تجمعی مطرح است که در رابطه ۳ با نسبت تعداد بارگذاری پیش بینی شده به تعداد بارگذاری مجاز بیان می‌شود:

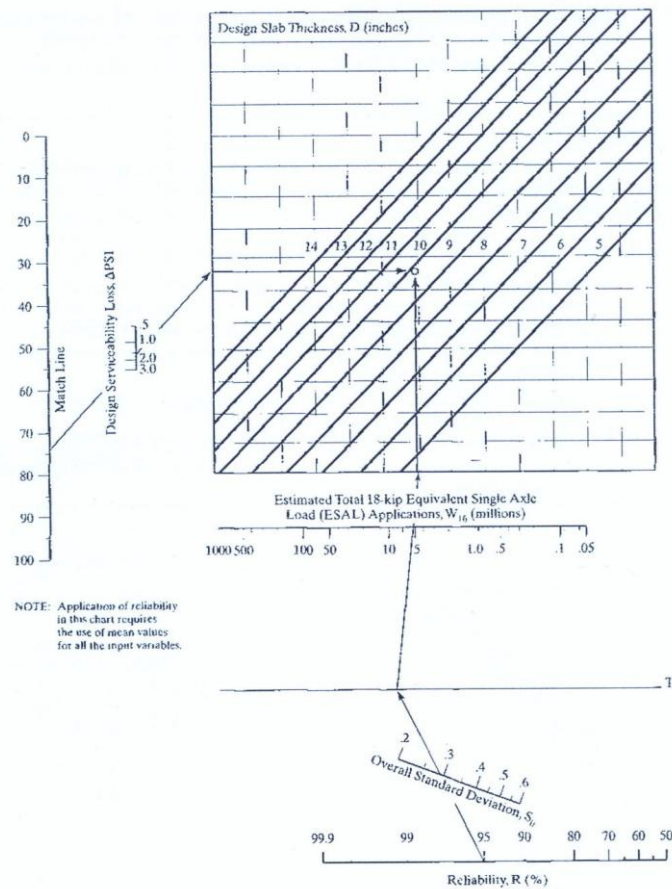
$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = D_r \quad (3)$$

در آنالیز خستگی مدول عکس العمل سابگرد بصورت میانگین منظور می‌شود و از تنش های تابیدگی صرف نظر می‌شود. پس از اینکه راجع به استفاده از میل مهار در درزها و ساخت شانه بتنی تصمیم گیری شد فرایند طراحی با ۴ فاکتور در روش PCA انجام می‌شود که عبارتند از مدول گسیختگی بتن، مقاومت خاک بستر یا زیر اساس، دوره طرح و ترافیک متوسط روزانه کامیونهای دارای حداقل ۶ چرخ.

روش دیگر طراحی روسازیهای بتنی که در این نوشتار به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد روش آشتو است. همزمان با ابداع روش طراحی روسازی آسفالتی، روشی هم برای طرح روسازی بتنی بر مبنای معادلات تجربی آزمایشهای آشو، با اصلاحات و برنامه های آزمایشگاهی معرفی شد. بر اساس یک بررسی که در سالهای ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ انجام شد مشخص گردید که حدود ۸۴ درصد ایالت‌های آمریکا ترجیح میدهند از روش آشتو استفاده کنند. در شکل‌های ۵ و ۶ چارتهای طراحی مورد استفاده در روش آشتو مشاهده می‌شود:



شکل ۵- چارت طراحی روسازی بتنی بر اساس آشتو ۱۹۸۶



شکل ۶- ادامه شکل ۵، چارت طراحی روسازی بتنی مطابق آشتو ۱۹۸۶

برای تعیین ضخامت دال بتنی ابتدا در شکل ۵، مدول عکس العمل خاک بستر (K)، و مدول الاستیک بتن (E_c) در سمت چپ علامت گذاری شده و با استفاده از پارامتر مدول گسیختگی بتن (S_c)، ضریب انتقال بار (J)، ضریب زهکشی (C_d) عددی روی محور عمودی (خط انطباق) یافته میشود. در ادامه به شکل ۶ مراجعه میکنیم. در این شکل با داشتن عدد یافته شده در خط انطباق و مقدار کاهش عدد خدمت دهی (ΔPSI)، قابلیت اطمینان (R)، انحراف معیار (S_0)، و تعداد محور ساده ۸۲۰۰ کیلوگرمی هم ارز در عمر مفید راه، ضخامت دال بتنی محاسبه میشود. برای تعیین اندازه شبکه فولادی در روسازی بتنی هم به اختصار باید گفت که شبکه گسترده فولادی فقط برای کنترل ترکهای حرارتی و افزایش فاصله درزها استفاده میشود و تاثیری در افزایش ظرفیت باربری دال ندارند. برای محاسبه سطح مقطع مورد نیاز شبکه فولادی وزن مخصوص بتن، ضخامت، تنش مجاز فولاد، ضریب اصطکاک بین دال و لایه زیرین و طول دال مورد نیاز میباشد. برای اتصال بهتر دالها در درزهای طولی و انتقال بهتر بار و یکپارچگی دالهای مجاور از میل دوخت ($tie bar$) که امتداد آنها موازی عرض مسیر است استفاده میشود. برای انتقال بار در امتداد طولی مسیردر محل درزهای عرضی و همچنین کاهش نشست و کاهش اثر پمپ شدگی (مورد نظر در روش طراحی PCA)، در محل درز از میل مهار ($dowel bar$) که امتداد آنها موازی طول مسیر است استفاده میشود [۱]. در انتهای این بخش به اختصار روشی که برای طراحی روسازی بتنی باندهای فرودگاهی مورد استفاده است بیان میشود. برای این منظور ابتدا با توجه به مشخصات خاک بستر از نظر دانه بندی، استعداد یخبندان و قابلیت زهکشی، مدول عکس العمل بستر مشخص میشود و در صورت استفاده هواپیماهای با وزن بیش از ۴۵ تن نیز باید لایه زیر اساس تثبیت شده در زیر دال بتنی اجرا نمود. در گام های بعدی با در دست داشتن آمار تعداد عملیات سالانه و وزن محور اصلی هواپیمای طرح و مدول گسیختگی بتن و البته با تعیین مدول عکس العمل لایه زیر دال بتنی، میتوان ضخامت آن را بدست آورد [۲]

مقایسه روسازی بتنی و آسفالتی در ایران

در این بخش به اختصار به مقایسه روسازی بتنی و آسفالتی پرداخته و به نمونه ای از پروژه های مهندسی ارزش که با هدف انتخاب نوع روسازی سطوح پروازی فرودگاه بین المللی امام خمینی در سال ۱۳۹۰ صورت پذیرفت اشاره میشود. روسازی بتنی نسبت به روسازی آسفالتی از مقاومت بهتری در مقابل تغییر شکلهای ماندگار برخوردار است و قادر است بارهای وارده را در سطح وسیع تری نیز توزیع کند. در مقابل با توجه به شرایط اجرایی کشور اجرای روسازی آسفالتی آسان تر از روسازی بتنی است زیرا برای ایجاد یک روسازی بتنی منطبق با اصول استانداردهای بین المللی نیاز به نیروی انسانی ماهر و تجهیزاتی است که فعلا در کشور به طور مناسب فراگیر نشده اند. در مقایسه ای دیگر روسازی بتنی علاوه بر دوام بهتر تقریباً مستقل از خصوصیات مقاومتی قشر زیرین است و این یک مزیت به شمار می آید. آمار تولید سیمان هم در ایران به عنوان چهارمین تولید کننده سیمان در جهان، حاکی از آن است که در سال ۱۳۹۴، با کاهشی نسبت به سال قبل حدود ۶۰ میلیون تن سیمان و کلینکر در کشور تولید شده است و در شرایط مناسب اقتصادی حداکثر ۳۵ میلیون تن آن در داخل مصرف میشود لذا بطور طبیعی باید حدود ۲۵ میلیون تن آن را صادر نمود اما میزان صادرات آن با توجه به شرایط نامناسب کشورهای منطقه از نظر ایمنی با ۲۰ درصد کاهش حدود ۱۵ میلیون تن است. بنابراین مزاد تولید سیمان حدود ۱۰ میلیون تن است که بدون مصرف انبار شده است. (به طور تقریبی با این مقدار سیمان میتوان حدود ۱۵۰۰۰ کیلومتر راه دو خطه با عرض حدود ۸ متر و ضخامت بیست سانتیمتر احداث کرد). پیش بینی شده که در افق ۱۴۰۴ میزان تولید سیمان به رقم ۱۲۰ میلیون تن برسد. [۳]. از نظر قیمت قیر در کشورمان به عنوان سومین صادر کننده قیر در جهان، آمارها نشان میدهد هر تن قیر در آبان سال ۹۵ حدود ۹ میلیون ریال است که نسبت به یک ماه گذشته حدود ۲۸ درصد رشد داشته است [۴]. بهر حال با توجه به احتمال فریز نفتی اعضا اوپک و کاهش تولید قیر در آفریقا، احتمال افزایش بیشتر قیمت قیر وجود دارد [۵]. در ایران سالانه حدود ۵ میلیون تن قیر تولید میشود و در سال (۲۰۱۵) حدود سه میلیون تن آن صادر شده است [۶]. با عنایت به مطالب گفته شده علی الظاهر باید روسازی بتنی را به عنوان رقیبی برای روسازی آسفالتی قلمداد کرد و امکان استفاده از مزاد تولید سیمان را در جاده های بتنی بیشتر مورد توجه قرار داد. به دلایل گفته شده توصیه اکید میشود تا قبل از هرگونه طراحی روسازی فرایند مهندسی ارزش توسط تیم مجرب صورت بگیرد. مهندسی ارزش فرایندی است که با استفاده از فاکتور خلاقیت و کار گروهی کارکرد اصلی یک پروژه، بر اساس معیارهایی که ذینفعان برای پاسخگو بودن پروژه تعریف میکنند، تعیین میشود و سپس با توجه به هزینه پروژه که ترجیحاً هزینه دوره عمر آن به همراه هزینه های تعمیر و نگهداری است و نسبت کارکرد به هزینه، شاخصی بنام شاخص ارزش محاسبه و گزینه ای که بیشترین شاخص ارزش را داشته باشد به عنوان گزینه با ارزش معرفی میشود. یکی از پروژه های مهندسی ارزش کشور در سال ۱۳۹۰ راجع به انتخاب روسازی بتنی یا آسفالتی سطوح عوامل پروازی باند جنوبی فرودگاه بین المللی امام خمینی بود. مهمترین معیارهایی که بدین منظور در تیم مهندسی ارزش متشکل از متخصصان بخش دولتی، خصوصی و دانشگاهی انتخاب شدند عبارت بودند از سهولت تامین تکنولوژی ساخت، سهولت مرمت و بازسازی، بالا بودن عمر و دوام، سازگاری با شرایط اقلیمی و محیط زیست و سهولت اجرای سیستم روشنایی. عدد کارکرد روسازی آسفالتی و بتنی که مجموع حاصلضرب وزن معیار و امتیاز وزنی هر کدام از آنها برای هر نوع روسازی بود، به ترتیب برای باند فرودگاه از نوع آسفالتی برابر ۴۶۷ و برای روسازی بتنی ۴۱۳ بود. هزینه های دوره عمر برای روسازی آسفالتی به ازای هر متر مربع حدود ۵۱۷۰۰۰ ریال و برای روسازی بتنی ۶۲۸۰۰۰ ریال محاسبه شد. هزینه کل طول عمر هم برای روسازی آسفالتی حدود ۱۰ و برای بتنی ۱۲ میلیارد تومان محاسبه گردید. شاخص ارزش روسازی آسفالتی که حاصل تقسیم عدد کارکرد به هزینه است حدود ۴۵ و برای روسازی بتنی حدود ۳۳ به دست آمد. یعنی از دیدگاه مهندسی ارزش روسازی آسفالتی مقرون بصرفه تر از روسازی بتنی است [۷].

نتیجه گیری

از مهمترین نتایجی که از بحث ارایه شده میتوان گرفت آن است که جهت انجام یک تحلیل و طراحی مناسب باید ابتدا اقدام به مهندسی ارزش نمود. لازمه این امر شناخت متغیرها، شرایط و میزان تاثیر آنها بر طرح روسازی است. همچنین با توجه به شرایط اقتصادی کشور سعی نمود تا ریسکهای مربوطه از جمله در خصوص تجهیزات ویژه ساخت روسازی که ممکن است تکنولوژی آن در کشور موجود نباشد، حتی المقدور کنترل شود. یکی دیگر از مواردی که باید در تحلیل و طراحی روسازی ها توجه نمود تجربه دیگر کشورها در انتخاب روشی خاص در طراحی است تا بدینوسیله از سعی و خطاهای بیهوده ممانعت بعمل آید

منابع و مراجع

- [1] Yang h. Huang, "Pavement Analysis and Design", chapter2 11,12,2004
- [۲] راهنمای طراحی روسازی فرودگاه، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه ۳۵۳
- [۳] سایت اینترنتی MINEWS.ir، پایگاه خبری تحلیلی صنعت سیمان
- [۴] سایت اینترنتی، خبری ERANICO.com
- [۵] سایت اینترنتی PASARGADOILCO.com
- [۶] سایت اینترنتی OPEX.ir
- [۷] طاهری، و، "فرایند مهندسی ارزش در پروژه های عمرانی، مطالعه موردی باند جنوبی فرودگاه بین المللی امام خمینی"، اولین کنگره ملی ساخت و ارزیابی پروژه های عمرانی، ۱۳۹۳