توسعه الگوی ارزیابی اقتصادی روسازی آسفالت ماستیکی سنگدانه ای (SMA) در دوره‌های زمانی کوتاه و بلند مدت

میلاد زمانی فر، کارشناس ارشد مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل، مدیر روسازی شرکت دفکو، تهران، ایران
Milad.zamanifar@gmail.com09111139307

چکیده

با توجه به علوم مدیریت روسازی و مدیریت منابع، برای ارزیابی و ارزشیابی طرح‌ها از مهندسی ارزش و اقتصاد مهندسی استفاده می شود. تحلیل هزینه طرح با نگاه مهندسی ارزش و دراز مدت تاثیر بسزایی در حفظ منابع و تخصیص هدفمند بودجه‌های راهسازی دارد. آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای جزو خانواده آسفالت‌های داغ و روکشی باربر است که از خصوصیات مقاومتی مناسبی برخوردار است. در این مقاله آنالیز اقتصادی آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای و بتن آسفالتی در دو ترم زمانی بررسی و برای هرکدام مدل ریاضی ارائه می گردد. ابتدا هزینه تولید و اجرای هر کدام بر اساس تجربه استفاده در ایران فورموله می‌گردد که موارد افزاینده و یا کاهنده هزینه در آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای لحاظ شده است و سپس مدلی ریاضی یرای مقایسه دو آسفالت در هزینه طول عمر طرح بر اساس آنالیز هزینه به ارائه می شوند در این مدل تمام پارامترهای کمی و پارامترهایی که قابلیت کمیت پذیری داشته و در هزینه‌های روسازی آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای دخیل است، نسبت به آسفالت معمولی مورد برسی قرار گرفته است.آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای، روکشی از خانواده آسفالت های داغ رایج است که مقاومت قابل توجه ای در برابر تغییر شکل های دائمی، شیار شدگی، خستگی و ترک های انعکاسی دارد. آسفالت SMA ، هزینه تولید بیشتر، هزینه اجرای برابر و هزینه کمتری در چرخه عمر طرح دارد.

کلمات کلیدی: *آسفالت، ماستیکی سنگدانه ای، آنالیز اقتصادی*

1 - مقدمه

عمر مفید آسفالت در ایران کمتر از یک سوم استانداردهای جهانی است. امروزه در کشورهای پیشرفته در صنعت راهسازی نهاد کارفرما ضمانت نامه‌های اجرایی 30 ساله از پیمانکاران طلب می‌کنند. کیفیت نامطلوب قیر و مصالح، فقدان برنامه‌ریزی هوشمند تعمیر و نگهداری، عدم نظارت مکفی بر پروسه تولید و اجرا و نقص تجهیزات از علل عمر پایین رویه‌های آسفالتی در ایران است، به علاوه نظام حسابرسی نامناسب میان کارفرما و پیمانکار و عدم برآوردن تعهدات مالی بر کاهش کیفیت آسفالت راه‌ها تاثیری منفی دارد و از این طریق سالانه مبالغ زیادی به هزینه‌های عمرانی کشور تحمیل می شود. مقاومت در برابر تغییر، نکته دیگریست که موجب عدم رویکرد به استفاده از تجربیات نوین و موفق جهان پیشرفته می‌گردد. ازین رو، ساختار راهسازی مشتمل بر جامعه کارفرما، دستگاه مجری و مهندسین مشاورین در یک سیستم سنتی متوقف شده که منتج به کاهش بهره‌وری مالی و بهره-برداری فنی می‌گردد.

2 - سابقه تحقیق

در چرخه آنالیز راه مطالعات بسیار زیادی انجام شده است، قسمتی از این مطالعات به ارائه روش‌های نرم‌افزارهای متعددی برای آنالیز هزینه روسازی در چرخه عمر طرح اختصاص یافته است که با تکنیک‌های اقتصاد مهندسی آمیخته است. برای نمونه ازین گونه مطالعات می‌توان به اقدامات سازمان FHWA[1] در سال 1998 در قالب گزارشی کامل جهت بررسی هزینه‌های آسفالت انجام داده است، اشاره نمود[1]. متعاقبا همین سازمان در سال 2005 با همکاری دانشگاه پورد آمریکا اقدام به انتشار گزارش جامعی در بررسی هزینه‌های روسازی در ترم زمانی بلند مدت طرح کرده است. و یا می توان به کار لابی[2] در سال 2003 به عنوان عمده‌ترین مطالعات این بحث اشاره کرد[2]. در جدیدترین مطالعات نیز پارتیکو[3] در سال 2011 که به بررسی آنالیز عمر طرح منطبق بر کیفیت و کمیت قیر می‌پردازد [3] و سبالی و حاجی[4] 2011 با لحاظ نمودن افزودنی ضد عریان شدگی به مقایسه هرینه عمر طرح پرداخته است[4]. در مقایسه آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای و بتن آسفالتی نیز غالبا ارگان-های کارفرما در کشورهایی که به طور گسترده ازین فرایند تولید استقاده می‌کنند در کنارگزارشات فنی بخشی از نتایج را به برداشت‌های اقتصادی اختصاص داده اند. به طور ویژه FHWA در گزارش سال 2004 افزایش هزینه در تولید آسفالت را 10 درصد و نفع بلند مدت را با توجه به مناطق و

[1] Federal Highway Administration
[2] Labi
[3] Praticò
[4] Sabaaly & Hajj

ایالات مورد اجرا تا 40 درصد گزارش نموده اند[5]. از مهمترین تحقیقات مرتبط به مقایسه این دو تیپ آسفالت نیز میتوان از کار آقای حسین و همکاران[1] در سال 2005 نیز یاد نمود که با کمک روش فایده به هزینه تعدیل یافته میزان هزینه تولید و بهراه برداری آسفالت ماستیکی سنگندانه‌ای را با بتن آسفالتی مقایسه کرده است[6].

3 - آسفالت‌های ماستیکی سنگدانه‌ای

آسفالت‌های ماستیکی سنگدانه‌ای، در دهه 60 میلادی در آلمان ابداع و در سال 1984 اولین دستورالعمل فنی برای آن منتشر شد. از سال 1990 در اروپا و آمریکا و 1994 در روسیه به مصرف فراگیر دست یافت و هم‌اکنون در رده آسفالت داغ پر مصرف در تمامی اقلیم و شرایط فنی کاربرد دارد. SMA، آسفالتی با استخوان‌بندی درشت دانه، شامل سنگدانه، قیر، فیلر، و الیاف است. این ترکیب روسازی دارای درصد درشت‌دانه بالا و فضای‌های خالی کمتر و قیر بیشتری نسبت به آسفالت سنتی است. این فرم ویژه آسفالت با سابقه 50 ساله در اروپا تحت چند ویژگی ساختاری منتج به خواص قابل توجه‌ای می‌شود[7].

3 - 1 - ویژگی‌های ساختاری آسفالت‌های ماستیکی سنگدانه‌ای

1-تماس سنگدانه به سنگدانه و قفل و بست دانه‌های سنگی در نتیجه ایجاد یک ساختار یکپارچهء سنگی

2- استفاده بیشتر از مصالح سنگی درشت‌دانه با کیفیت مرغوب

3- استفاده از قیر بیشتر

4-کاهش درصد فضای خالی و افزایش فیلر

5-استفاده از نگهدارنده سلولزی، جهت جلوگیری از ریزش قیر، روزدگی و کاهش فضای خالی مخلوط.

6- بافت سطحی زبر و عمق زیاد بافت رویه

این فرایند تولید آسفالت، با استخوان بندی سنگدانه‌ای، میانتهی و اتصال سنگدانه بر سنگدانه است. ماستیک این آسفالت به وسیله قیر، فیلر و الیاف تامین می‌گردد و فضای خالی نیز بوسیله ملات غنی پر شده و نهایتا، مخلوط آسفالتی دارای فضای خالی اندکی خواهد بود. آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای به علت مصرف درصد بالاتری از قیر و سهم بالای درشت دانه به یک نگهدارنده در مخلوط نیازمند است. الیاف عامل تثبیت قیر و پخش همگن مخلوط و همچنین جلوگیری از ریزش قیر و در مخلوط‌های آسفالت‌های ماستیکی سنگدانه‌ای می‌باشد. الیاف مستقیما به میکسر اضافه شده و پس از

[1] Hussein et al

حل شدن پوشش روی فیبرها در دمای اختلاط، یک شبکه درهم پیچیده را تشکیل می دهند که عامل جلوگیری از خروج قیر می‌باشد. در ادامه الیاف، با افزایش ضخامت فیلم قیر بر روی سنگدانه‌ها، موجب تاخیر در پیرشدگی و خستگی آسفالت می‌شود[7] ,[8].

3 - 2 - مشخصات مخلوط آسفالتی

در آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای، درصد بالای درشت دانه و ایجاد بافت یکپارچه سنگی حائز اهمیت است که به واسطه کاهش میان‌دانه و بوجود آمدن یک گپ در منحنی دانه بندی مخلوط، عملا ترکیبی میان تهی حاصل خواهد شد. لذا به این وسیله درگیری سنگدانه به سنگدانه و ایجاد بافت یکپارچه سنگی تامین می‌شود در جدول(1) دانه بندی آسفالت SMA آمده است و ملاحظه می‌گردد که حدود 70 درصد وزنی مصالح سنگی بر روی الک شماره 4 مانده است.

جدول (1) : *طرح اختلاط آزمایشگاهی آسفالت ماستیک سنگی [6]*

شماره الک	درصد گذرنده
¾ inch	100
½inch	95
3/8inch	60
No.4 (4.75 mm)	25
No.10 (2mm)	18
No.200 (0.075mm)	10

بطور کلی ارائه یک تحلیل مقایسه‌ای میان هزینه‌های سالیانهء هر کیلومتر آسفالت برای یک راه با زیرسازی یکسان تحت دو تیپ مخلوط آسفالتی، و برآورد میزان تقریبی سود روسازیِ مرغوبتر علیرغم هزینهء اولیهء بالا، نیازمند در نظرگرفتن کلیه تاثیرات اقتصادی استفاده یا عدم استفاده از آن است. لذا لازم است تا تمامی پارامترهایی با بیانِ کمی، بررسی شوند.

4 - هزینه های روسازی[9]

هزینه‌های مختلف مربوط به روسازی در طول عمر مفید معمولا برای هر کیلومتر راه در هر سال به دو بخش تقسیم می‌شود :

4 - 1 - هزینه‌های مستقیم

1- مخارج اولیه ساخت هر کیلومتر روسازی

2- مخارج تعمیر و مرمت های موضعی از قبیل: پر کردن چاله‌ها ،لکه گیری، مرمت ابنیه زهکشی ....

3- مخارج نگهداری راه از قبیل :برف روبی ،خط کشی ،علامت گذاری،نگهداری شانه راه و ....

4- مخارج روکش مجدد

5- مخارج طرح و اداره از قبیل :نقشه برداری ، تنظیم اسناد ،بازدید و بررسی وضعیت راه در طول عمر مفید

4 - 2 - هزینه‌های غیر مستقیم:

1- مخارج ناشی از بستن راه برای انجام مرمت و بهسازی و تاخیر تحمیلی به کاربران سیستم

2- مخارج غیرمستقیمی که استفاده کنندگان از راه به علت بدی و خرابی راه متحمل می‌شوند

3- تاثیرات اقتصادی بر محیط زیست و فضای پیرامون پروژه

4- هزینه احداث و یا نصب موانع صوتی در جاده‌های شریانی،اتوبان و بزرگراه‌ها

5- مخارج مرتبط با حوادث و تلفات واقع شده حسب نوع روسازی.

6- برآورد هزینه تمام شده هر تن آسفالت SMA بر اساس هزینه آسفالت معمولی

با توجه به چندین اجرای پایلوت آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای در ایران و تجربه سی ساله مدون استفاده از این آسفالت در جهان، عوامل تاثیر گذار در هزینه با بررسی موردی اجراهای انجام گرفته در کشور بررسی گردیده است. افزایش درصد قیر، افزایش میزان فیلر و اضافه شدن الیاف سلولزی در مرحله تولید به عنوان پارامترهای افزایش هزینه در نظر گرفته شده است. میزان افزایش مواد و مصالح در آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای با بررسی و مقایسه طرح‌های اختلاط مشابه بتن آسفالتی صورت گرفته است. میزان کاهش هزینه نظر به کاهش ضخامت در آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای را می‌توان تا 30 درصد در نظر گرفت. با توجه به وارداتی بودن الیاف این درصد به شدت متاثر از بازار نا بسامان ارز کشور است. نگارنده متذکر می‌گردد کاهش ضخامت رویه، کاملا تحت تاثیر گرید دانه‌بندی طرح اختلاط و طراحی آزمایشگاهی است اما به طور کل با استناد به آیین‌نامه دین[1] آلمان ضخامت لایه توپکا در آسفالت SMA می‌تواند تا 1 سانتیمتر کمتر از بتن آسفالتی باشد. در توضیح بحث کاهش ضخامت در آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای (SMA)، از آنجایی که ضخامت لایه توپکا بر اساس عدد

[1] DIN

روسازی کل لایه‌های آسفالتی محاسبه می‌گردد، ادعای کاهش ضخامت صرفا در یک لایه از این آسفالت منطقی نمی‌باشد، اما با استناد به آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف در جهان و سابقه اجرای این آسفالت، ضمن در نظرگیری اندازه بزرگترین سنگدانه، می‌توان در گرید 0 تا 12 این آسفالت را با ضخامتی 3/5- 4 سانتیمتر، با ظرفیت باربری مناسب اجرا نمود. نهایتا کاهش ضخامت در آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای صرفا وابسته به نظر طراح است و تنها مستند بر محاسبات و نتایج آزمایشات قابل قبول می‌باشد. این کاهش ضخامت فارغ از کاهش تناژ مصرفی در میزان هزینه حمل، کاهش هزینه سوخت و نفر-روز-کار نیز موثر اما در این رابطه به واسطه موارد جزیی دیگری نظیر احتمال نیاز به واحد اضافه جهت افزودن فیلر مورد نیاز مازاد بر پودر سنگ، شکستگی بالای مصالح، تغییر احجام بین های گرم کارخانه،کاهش نرخ تولید کارخانه به واسطه افزایش زمان اختلاط که در اجرا باعث افزایش هزینه می‌شود، در نظر گرفته نشده است.

لازم به ذکر است که هزینه تولید آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای درکارخانه به طور قابل توجه‌ای متاثر از طرح اختلاط و انتخاب گرید دانه‌بندی می‌باشد. تجربه نشان می‌دهد در ایران تغییر اقلیم تاثیر متعاقبی در طرح اختلاط آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای دارد لذا با تغییر درصد قیر مصرفی در مخلوط در طرح‌های اختلاط متفاوت این رابطه اصلاح می‌گردد. رابطه 1 میزان هزینه تمام شده هر تن آسفالت SMA بر اساس هزینه آسفالت معمولی نشان می‌دهد. برای نمونه هر تن آسفالت SMA با هزینه ای بالغ بر 6500 تومان (عطف به فهرست بها سال 88) بیشتر از آسفالت معمولی تولید می-گردد. این میزان افزایش هزینه، در صورتی که کاهش ضخامت آسفالت برای آسفالت SMA اعمال گردد تا 350 تومان به ازای هر تن کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر علیرغم افزایش هزینه اولیه تولید، این هزینه در اجرا سرشکن می‌گردد. هزینه اعمال شده برای فیبر ساده به صورت ارزی حدود 1یورو برای هر کیلو می باشد و میزان کاهش ضخامت نیم سانتیمتر برای لایه توپکا در نظر گرفته شده است ضرایب تخصیص یافته جهت محاسبه افزایش قیمت، تخمینی ماکس بوده و بدیهی است قیمت نهایی تمام شده هر متر مربع آسفالت بر اساس طرح اختلاط کارگاهی قطعی خواهد شد.

$$C_{SMA} = C_{Ac} - 0.1\ C_{Ac} + (12.3\ E_{Bit} + 15\ E_{FiLer} + 3\ E_{Fiber}) \quad (1)$$

C_{SMA}: هزینه تمام شده هر تن آسفالت SMA بر اساس هزینه آسفالت معمولی

E_{bit} : قیمت هر کیلو قیر

E_{FiLer}= قیمت هر کیلو فیلر مازاد

E_{fiber}= قیمت هر کیلو فیبر

C_{Ac}= هزینه اجرای هر تن آسفالت معمولی (بتن آسفالتی)

- ضرایب تخصیص یافته با توجه به اقلیم، بارگذاری و طرح اختلاط قابل اصلاح می‌باشد.

- هزینه‌های دستمزدی و بکارگیری تجهیزات و ماشین آلات برای دو تیپ آسفالت یکسان در نظر گرفته شده است.(اسفالت SMA برای اجرا به دو غلتک پشت هر فینیشر نیاز دارد، فیبر به صورت دستی قابل تزریق به پروسه اختلاط بوده و مابقی تجهیزات بدون تغییر استفاده می گردد)
- کاهش عزم حمل و هزینه سوخت به واسطه کاهش تناژ مصرفی در واحد سطح، در کاهش هزینه تمام شده آسفالت SMA موثر است، فلذا به جهت تعدیل هزینه‌های پیشبینی نشده(افزایش زمان اختلاط و تاثیر در نرخ تولید، شکستگی بیشتر مصالح) در رابطه اعمال نگردید.

5 - تحلیل هزینه - فایده چرخه عمر راه

بررسی هزینهء مازاد ایجاد شده از اجرای SMA نسبت به آسفالت معمولی با احتساب مخارج علاوه شده به جهت اجرای SMA و تفریق این هزینه‌ها از سود های حاصله به نحویست که کلیه فاکتورهای موجود که باعث کاهش هزینه‌های متعارف در آسفالت سنتی می‌شود، برای SMA به عنوان سود تعریف شده اند. لذا با اضافه شدن این منافع به سودهای ناشی از کاربرد آسفالت SMA و مقایسه کمی فاکتورهای سود و هزینه، خروجی، میزان سود کلی حاصله از انتخاب آسفالت مذکور خواهد بود. در آنالیز فاکتورهای هزینه و سود کلیهء ردیف‌های هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم در نظر گرفته شده است.

5 - 1 - فاکتورهای هزینه

الف) هزینه اولیه ساخت هر کیلومتر روسازی با رویه SMA از آسفالت سنتی گران‌تر است. گرچه میزان این افزایش تابع شرایط گوناگونی است، اما پیشبینی می‌شود حدود 20% به جهت افزایش قیر و فیلر و لزوم استفادهء از مصالح با کیفیت به هزینه آسفالت علاوه می‌شود. این هزینه با در نظر گرفتن عمر روسازی برای هر کدام از آسفالت‌های داغ رایج یا SMA با تقسیم بر دورهء بهره‌برداری به صورت هزینه سالیانه در می‌آید. مع الوصف تعداد دفعات تجدید روکش در عمر درنظرگرفته شدهء طرح با تجمیع کسرهای بدست آمده(عمر روکش/ هزینه هر روکش) به تعداد روسازی مجدد پیشبینی شده در رابطه لحاظ می‌شود. در ادامه مقادیر مشخص شده به کل سال بهره‌برداری تقسیم شده تا هزینه ساخت سالیانه هر کیلومتر راه به ازای عمرطرح شده برای هر دو فرم آسفالت(میزانی یکسان) به دست آید.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{C_i\ (SMA)}{a_i\ (SMA)}}{\sum a\ (SMA)} - \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{C_i\ (AC)}{a_i\ (AC)}}{\sum a\ (Ac)} \qquad (2)$$

K : اختلاف هزینه اولیه 2 اسفالت بر اساس طول عمر

C_i : هزینه اولیه انجام روسازی در سال i ام.

a_i : عمر روسازی لایه i ام

m : تعداد دفعات روکش در طول عمر طرح

5 - 2 - فاکتورهای سود

الف) بارزترین سود حاصله از کاربرد آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای (SMA) عمر و استحکام بالای این روکش است. مزیتی که برای کارفرما، پیمانکار و کاربر قابل توجه است. امروزه نهادهای کارفرما در اروپا بویژه کشور آلمان آسفالت SMA را با گارانتی 30 ساله از پیمانکاران تحویل می‌گیرند اما به طور متوسط عمری تا 20 سال برای این نوع رویه تخمین زده می شود.

ب) مخارج تعمیر و نگهداری راه از قبیل: برف روبی، خط کشی، علامت گذاری، نگهداری شانه راه و تعمیر و مرمت‌های موضعی از قبیل: پر کردن چاله‌ها، لکه گیری، مرمت ابنیه زهکشی .... که با M نشان داده می‌شود.

در آسفالت SMA با توجه به نتایج مناسب در آزمایش‌های کشش غیر مستقیم و ویل‌تراک و به دلیل مقاومت بالای کششی و استحکام بالا در برابر ترک‌های انعکاسی و لغزشی میزان شیار شدگی و ترک-های سطحی به کمترین مقدار می‌رسد و لذا در مدت سرویس‌دهی راه دفعات مرمت کاهش پیدا کرده و هزینهء کمتری متوجه سیستم کنترل و نگهداری می‌شود. وانگهی به علت درصد فضای خالی پایین خطوط و توصیه به استفاده از لایه زیرین جاذب تنش (SAMI)، آسفالت ماستیکی سنگدانه‌ای از عملکرد مناسب‌تری نسبت به بتن آسفالتی در سیکل یخبندان دارد.

با توجه به اینکه 6 تا 8 درصد ارزش راه سالیانه به مخارج تعمیر و نگهداری اختصاص می‌یابد[10] عطف به مسائل نگهداری در جوامع پیشرفته سهم بسزایی در طراحی‌ها ، واریانت‌ها و سیاست گذاری-ها دارد. اما با توجه به ساده انگاری و اهمال در این حوزه، آنچه در قبال مخارج نت هزینه شده است چیزی بیشتر از 1% نیست لذا استفاده از آسفالتی با استحکام بالا و کمترین نیاز به توجهات پس از بهره‌برداری.(با اینکه لزوم این رسیدگی‌ها قابل چشم پوشی نیست) قابل تامل است. پیداست که این فاکتور سود به صورت اختلاف میان هزینه نگهداری آسفالت SMA و آسفالت معمولی بیان می‌گردد.

ج) کاهش صدا به واسطه بافت زبر سطحی و عمق بافت رویه با کاهشی در حدود 2 تا 4 دسی بل به جهت جذب صوت در خلل و منافذ و تکثر شکست صدا در زبری رویه راه است. نفع حاصله ازین ویژگی SMA در مباحث اقتصادی به جهت عدم نیاز به ساخت حائل‌های صوتی در اتوبان‌ها بزرگراه‌ها قابل تامل است. این فاکتور سود با w نشان داده شده و با تقسیم بر عمر مفید موانع صوتی (مدت زمان بهره برداری) به هزینه سالیانه تبدیل می‌شود.

د) استفاده از آسفالت SMA یقینا در ابعاد ایمنی و راحتی راننده موثر است. این مزیت از حذف مسئله پاشش آب، درگیری بیشتر تایر خودرو با سطح جاده و عدم سرخوردگی به دلیل زهکش شدن آب‌های سطح راه حاصل می‌شود. البته مقوله "راحتی راننده" ابدا به عنوان کمیت در آنالیز سود_هزینه بیان نمی‌گردد لذا آنچه مورد توجه است میزان کاهش وقوع تصادفات و متعاقبا تلفات و خسارات جاده‌ای است. میزان خطر افزایش تصادفات در هوای بارانی حدود 2 تا 3 برابر ذکر شده است[11] و نظر به نوع عملکرد SMA به لحاظ زهکشی آبمانده‌های سطحی و کاهش پاشش آب، (به واسطه عمق زیاد بافت رویه) طبیعتا کاهش درصد احتمال تصادف به دلیل کارکرد ایمن تر سطح خیسِ آسفالت SMA، منطقی است. این میزان کاهش درصد احتمال تصادف P و هزینه هر تصادف در سال حادث شده B در نظر گرفته شده است. ضمنا در آسفالت SMA به علت بافت سنگدانه‌ای رویه و عمق آن در نتیجه عدم رفلکس نور به مثابه بازخورد با آب مانده روی سطح، افزایش حوزه دید رانندگان تامین می‌شود. بیشتر، ماندگاری و وضوح خطوط و نشانه‌های ترافیکی سطح با توجه به نفوذ ناپذیر بودن SMA و زهکش نشدن رنگ‌های ترافیکی به تسهیل هدایت ترافیکی کمک کرده که خود در کاهش احتمال تصادفات ناشی از انحراف موثر است[6,7,12] .

ه) کاهش سرعت محتمل به واسطه خرابی‌های رویه راه، قطع جریان به سبب مسدود شدن راه جهت عملیات ترمیم و مرمت از دیگر مواردی است که قابلیت کمیت‌پذیری داشته و در عنوان هزینه زمان تاخیر قابل تعریف است. طبیعی است که آسفالت با کیفیت و دوام بالاتر به عملیات نگهداری کمتری نیاز داشته و فاصله زمانی بین مرمت‌ها بیشتر است. بنابراین آنچه از تفریق زمان تاخیر در روسازی SMA به روسازی سنتی به دست می‌آید به واقع نفع حاصله از اجرایSMA در بحث کاهش زمان تاخیر کاربران خواهد بود. این فاکتور با D نشان داده خواهد شد.

پس از تشریح پارامترها انتخاب شده و تفکیک فاکتورهای سود و هزینه رابطهء ریاضی برای بدست آوردن سود حاصله از اجرای روکش SMA بجای AC برای هر کیلومتر راه، در هر سال و در طول عمر طرح ارائه می‌شود.

$$F=\left|\frac{\sum_{i=1}^{m}\frac{C_i\ (SMA)}{a_i\ (SMA)}}{\sum a\ (SMA)}-\frac{\sum_{i=1}^{m}\frac{C_i\ (AC)}{a_i\ (AC)}}{\sum a\ (Ac)}\right|+\frac{W}{O}+(P\times B)+\left|M_{SMA}-M_{AC}\right|+\left|D_{SMA}-D_{AC}\right|$$

در این رابطه:

$C_i\ (SMA)$: هزینه هر کیلومتر روکش i ام از آسفالت SMA

$a_i\ (SMA)$: عمر لایه i ام از آسفالت SMA

$C_i\ (AC)$: هزینه هر کیلومتر روکش i ام از آسفالت AC

a_i (AC): عمر لایه i ام از آسفالت AC

M : هزینه سالیانه نگهداری راه در هر کیلومتر (مجموع هزینه های وصله، آسفالت‌های حفاظتی، مرمت ترک‌ها ،چاله‌ها، لکه گیری‌ها، نگهداری علائم، خط کشی‌ها و شانه راه)

m: تعداد دفعات روکش

W: هزینه نصب موانع صوتی به ازای هر کیلومتر از راه

O: عمر موانع صوتی در قالب سال

P: کاهش درصد احتمال تصادفات و تلفات جاده‌ای

B: هزینه هر تصادف در سال وقوع

D : تاخیر وارده به کاربر به لحاظ بسته شدن راه جهت ترمیم و یا روکش مجدد

F: سود حاصله از اجرای هر کیلومتر آسفالت SMA بجای بتن آسفالتی در یک سال

6 - نتیجه گیری

آسفالت SMA به واسطه میزان قیر بیشتر، عدم هماهنگی سیستم تولید کارخانه با تغییر احجام سنگدانه‌ها و هزینه‌های ارزی الیاف، در هزینه اولیه تولید گران‌تر می نمایاند. این مقدار افزایش هزینه تولید در حدود 25 تا 30 درصد برآورد می‌شود. که در صورت نیل به تولید داخلی الیاف این درصد افزایش هزینه به طور قابل ملاحظه ای تقلیل می‌یابد. در پروسه اجرا تحمیل هزینه معناداری به سبب اجرای آسفالت SMA ایجاد نمی‌گردد، ضمن اینکه در صورت بررسی کلیه جوانب طراحی به ویژه آزمایشات خستگی و توان اجرایی موجود، اجرای آسفالت SMA با کاهش ضخامت امری قابل بررسی است، لذا در هزینه اولیه تولید و اجرا با آسفالت معمولی برابری خواهد داشت. در نگاه بلند مدت نیز، در آسفالت SMA هزینه سرشکن شده بر روی سال های بهره‌برداری نسبت به تیپ‌های دیگر آسفالت به طور قابل ملاحظه ای کمتر است. حتی اگر نتوان قائل به کاهش ضخامت در آسفالت SMA بود، افزایش عمر و کیفیت این آسفالت، استفاده از این روکش مقاوم را با درنظر گیری مهندسی ارزش با توجه به افزایش سرویس‌دهی روسازی و استحکام و دوام بالا توجیه می‌نماید.

7 - منابع و ماخذ

1- FHWA, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, Publication No. FHWA-SA-98-079, 1998
2- Samuel Labi, LIFE-CYCLE EVALUATION OF HIGHWAY PAVEMENT PREVENTIVE MAINTENANCE, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM
3- F. G. Praticò[1], A. Casciano[2], and D. Tramontana[3] Pavement Life-Cycle Cost and Asphalt Binder Quality: Theoretical and Experimental Investigation 137, 99 (2011); doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000264 (9 pages http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000264?journalCode=jcemd4
4- Peter E. Sebaaly, Elie Y. Hajj, Comparative Life Cycle Cost Analyses of Asphalt Pavements Treated with Anti-Stripping Additives (2011) of the 2011 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Edmonton, Alberta
5- Watson, Donald and Jared, David Stone Mastic Asphalt: Georgia's Experience. Georgia Department of Transportation, 1995
6- Salihudin Hassim, Rohimah Khoiriyah Harahap, Ratnasamy Muniandy, Mohd. Razali Abd. Kadir and Ahmad Rodzi Mahmud, Cost Comparison between Stone Mastic Asphalt and Asphalt Concrete Wearing Course, American Journal of Applied Sciences 2 (9): 1350-1355, 2005
7- زمانی فر ، م، مقایسه عمق بافت آسفالت ماستیکی سنگدانه ای(SMA) با بتن آسفالتی به عنوان پارامتر اصلی در ایمنی روسازی، سومین کنفرانس بین المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، دانشکده فنی دانشگاه تهران، 1391.
8- Asphalt Guide, Stone Mastic Asphalt, Asphalt association of Germany, Unit road construction, 2005
9- Rob Harrison, Steve Waalkes, and William James Wilde A, Life Cycle Cost Analysis of Rigid Pavements, September 1999
10- -Rob Harrison, Steve Waalkes, and William James Wilde Highway pavement preventive maintenance 2003
11- زایرزاده ،ع، تشکیل بانک جامع اطلاعات تصادفات گامی مؤثر به سوی کاهش حوادث رانندگی،چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت 1387
12- Richard Higgs، Skid Resistance strategy, Development services Department, July2008

Development of Short and long term cost evaluation model for Stone Mastic Asphalt

Milad Zamanifar, Master of science in Transportation Engineering, Technical manager of DAF.Co , Tehran , Iran

Abstract

According to pavement management and source management references, projects evaluating is based on value engineering and economic engineering. Project analysis for long term makes appropriate cost effective effects especially in road paving projects. Stone mastic asphalt as known as hot mix asphalt for heavy duty and high traffic volume. This paper is going to compare stone mastic asphalt with asphalt concrete in tow time term formulated by mathematical model. The short term comparing done by experience of SMA doing in Iran included with all aspect and parameters which play role in increasing or reducing the cost of product transport and pave. Also, should not left behind the cost save parameter for this asphalt as, high resistance against reflective cracks, rutting, creep and permanent deformations. Stone mastic asphalt has more production cost similar paving cost and lower long time cost comparing asphalt concrete.

Key words: ***asphalt, SMA, economic analysis,***