

ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر

محمد خواجه زاده^۱، مرتضی محتشمی^۲

^۱عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد انار

^۲کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد انار

چکیده

هدف این تحقیق ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیری باشد. در تهیه امولسیون قیر مقدار جزئی از یک ترکیب شیمیایی به منظور تسهیل در تشکیل گلوبول های قیر و نیز تعلیق دائمی آنها به قیر اضافه می شود که امولسیون ساز نامیده می شود اصولاً در تهیه هر امولسیون بایستی از امولسیون ساز استفاده شود و الا به محض خاتمه بهم زدن فوراً گلوبول ها به هم پیوسته و خود یک فاز پیوسته را تشکیل می دهند و نتیجه عمل تشکیل دو فاز پیوسته می باشد ولی در حضور امولسیون ساز یک فیلم نازک از ترکیب شیمیایی که به عنوان امولسیون ساز به مخلوط اضافه شده است اطراف گلوبول های قیر را فرا می گیرد، این فیلم نازک به عنوان یک پوشش محافظ عمل کرده و از به هم پیوستن گلوبول ها جلوگیری می کند. ارائه روش هایی جهت افزایش کارایی و عمر مفید قیر محلول و امولسیون روسازی انعطاف پذیر هم از نگاه اقتصادی و فنی امری بجاست و هم ضریب ایمنی حمل و نقل جاده ای را بالا خواهد برد. به منظور تجزیه و تحلیل و بررسی داده ها از روش های آمار توصیفی و آمار استنباطی نظیر آزمون دانکن و جدول تجزیه واریانس (آنوا) استفاده و از نرم افزار SPSS بهره بردیم و در نهایت نتایج نشان داد که قیرهای مورد استفاده در روسازی دارای استحکام و سختی بیشتر هستند و در طولانی مدت در برابر رطوبت نیز عملکرد مناسبی دارند و مقاومت بالاتری را از خود نشان می دهند. استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول همچنین از نظر اقتصادی به دلیل مصرف انرژی بیشتر در قیر پایه زیاد به صرفه نمی باشد ولی در روسازی به دلیل مزایای ذکر شده نسبت به سایر روش ها بسیار به صرفه است.

کلمات کلیدی: قیر، امولسیون، محلول، روسازی، انعطاف پذیر

مقدمه

روسازی راه به دلیل قدمت دیرینه ای که در جهان و نیز در ایران دارد همواره از دیرباز مورد توجه مهندسين بوده است. به تدریج و با شکل گیری قالب استاندارد برای روسازی های انعطاف پذیر و صلب، لزوم تهیه برنامه های کامپوتری و تحلیل عددی روسازی ها جهت صرف زمان کمتر و بررسی دقیق تر کاملاً اجتناب ناپذیر می نمود یکی از متداول ترین انواع روسازی معابر برای تردد وسایل نقلیه روسازی آسفالتی است. آسفالت در طی سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تحقیقات بسیاری در این حیطه در خصوص مکانیزم آن صورت گرفته است، به طور کلی آسفالت که لفظ دقیق تر آن، بتن آسفالتی است از اختلاط مصالح سنگی و قیر به عنوان ماده چسباننده به وجود می آید. نوع قیر بکار گرفته شده در تولید مخلوط آسفالتی، جنس و دانه بندی مصالح سنگی مصرفی نقش مهمی در عملکرد و دوام مخلوط آسفالتی ایفا می کند. نقش عملکردی روسازی به دو بخش سازه ای و وظیفه ای تقسیم می شود. نقش سازه ای هر لایه از روسازی که متشکل از لایه رویه آسفالتی، لایه اساس، و لایه زیراساس است.

مطالعه و بررسی تحقیقات مرتبط با هر موضوع تحقیق از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، در این راستا ما نیز با بررسی پژوهش های مرتبط داخلی و خارجی اهمیت بررسی این موضوع را دریافتیم. همچنین متوجه شدیم که تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه های مختلف مرتبط با موضوع تحقیق ما صورت گرفته است، اما با در نظر گرفتن موضوع تحقیق که ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر می باشد می توان به این نتیجه رسید که تاکنون تحقیق با این عنوان و روش صورت نگرفته است و تحقیق حاضر از نظر موضوعی دارای جنبه های نوآوری فراوانی است. همچنین مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول انجام شده است ولی مطالعه ای که صرفاً به فواید این موضوع بپردازد انجام نشده است.

مبانی نظری

امولسیون قیر:

هر امولسیون از یک سیستم با دو فاز غیر قابل امتزاج تشکیل می شود. یکی از دو فاز به صورت گلبول و یا گلوله های کوچک در داخل فاز دیگر پراکنده است. فازی که به صورت گلوله کوچک می باشد، فاز داخلی نامیده می شود و فازی که اطراف این گلوله های را فرا گرفته بنام فاز خارجی یا فاز پیوسته موسوم است در هر امولسیون به روش های مختلف می توان مشخص نمود که کدام فاز پیوسته و کدام فاز غیر پیوسته است. به عنوان مثال در امولسیون "روغن-در-آب" روغن فاز غیر پیوسته و آب فاز پیوسته را تشکیل می دهد. امولسیون های قیر به طور کلی از نوع امولسیون های روغن-در-آب می باشند که فاز غیر پیوسته را گلوله های کوچک قیر که در آب پراکنده اند تشکیل می دهد [6].

روش های تهیه امولسیون های قیر:

امروزه دو روش تجارتي جهت تهیه امولسیون قیر مورد نیاز راهسازی متداول است که عبارتند از:

الف- روش آسیاب کلئیدی

ب- روش مخلوط کردن سریع

اختلاف اساسی این دو روش در این است که در روش آسیاب کلئیدی امولسیون به طور مداوم تهیه می شود در صورتیکه در روش مخلوط کن سریع امولسیون در تعدادی ظروف مجزا تهیه می شود [9].

روسازی های انعطاف پذیر:

روسازی های انعطاف پذیر را می توان با استفاده از تئوری چند لایه ای بر میستر تحلیل کرد. عمده ترین محدودیت تئوری فوق فرض بی نهایت بودن هر یک از این لایه ها در صفحه افقی است که تئوری فوق را برای استفاده در روسازی های صلبی که داری درز می باشند غیر قابل استفاده می کند. به علاوه تئوری فوق در مورد روسازی های صلبی که بار در اصله ۲ یا ۳ فوتی گوشه ای آنها اعمال می شود نیز نمی تواند به کار رود، زیرا این عدم پیوستگی باعث ایجاد تنش های بزرگ در لبه ها می شود. استفاده از

روسازی‌های انعطاف‌پذیر سبب می‌شود تا پخش بار به صورت متمرکز و تقریباً در نزدیکی نقاط تاثیر بار انجام شود. در صورتیکه فاصله چرخ از لبه رویازی بیش از ۲ فوت باشد، عدم پیوستگی لبه تاثیر بسیار کمی بر روی تنش‌ها و کرنش‌های بحرانی می‌گذارد.

مدل تعیین عمر روسازی:

عمر روسازی بیان کننده تعداد محورهای مجازی است، که در طول زمان پیش‌بینی شده از مسیر عبور می‌کند، ممکن است این تعداد محورها در بازه‌های زمانی متفاوت در طول عمر روسازی عبور نمایند، واحد بیان کننده‌ی عمر روسازی، تعداد محورهای استاندارد مجازی است که از روسازی مورد نظر عبور می‌نماید. تعیین محور استاندارد بر پایه‌ی میزان کرنش‌های فشاری روی خاک‌بستر و کرنش‌های کششی زیر لایه‌ی آسفالتی امکان‌پذیر است. مؤسسات مختلف در این زمینه روابط ارائه نموده‌اند که در مطالعات حاضر از رابطه‌ی مربوط به مؤسسه شل که یکی از معتبرترین این مؤسسات است، استفاده می‌شود [20].

$$N_d = 1/05 \times 10^7 (\epsilon_c) - 4/5 \quad (7)$$

رابطه‌ی (۷) تعداد عبور محورهای استاندارد قبل از ایجاد گودافتادگی مسیر چرخ در لایه‌های آسفالتی نشان می‌دهد که در آن:

N_d : تعداد تکرار مجاز محور استاندارد (۸/۲ تن)،

ϵ_c : کرنش فشاری روی خاک‌بستر است.

تحلیل تأثیر شرایط بین لایه‌ای مختلف بر روی عملکرد عمر روسازی

در بررسی‌ها حالات مختلف تعداد تکرارهای مجاز را برای هر حالت با حالت ایده‌آل که اجراء صحیح صورت گرفته است و اندوذهای تک کت و پریمکت دارای عملکرد مناسبی هستند، مقایسه می‌گردد.

تأثیر اجراء ضعیف اندود تک کت (حالت اجرایی)

در حالتی که لایه‌ی آستر و رویه به یکدیگر نچسبیده‌اند و امکان حرکت آنها روی یکدیگر فراهم است، کاهش عمر روساز به علت افزایش کرنش‌ها کششی و فشاری اتفاق می‌افتد [21].

تأثیر کاهش اجراء ضعیف اندود پریمکت (حالت ۳ اجرایی)

در حالتی که چسبندگی کافی بین لایه‌ی آستر و لایه‌ی اساس وجود نداشته باشد امکان بین این لایه وجود دارد، کاهش عمر روسازی اتفاق می‌افتد متوسط کاهش عمر روسازی در این حالت برابر ۸۷٪ است که از متوسط حالت ۲ اجرایی که مقدار آن ۷۴٪ است، بیشتر می‌باشد.

پیشینه تحقیق

پیشینه داخلی

[7] در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی با عنوان مقایسه فنی و اقتصادی روسازی مرکب با روسازی انعطاف پذیر رایج در ایران (مطالعه موردی آزاد راه قزوین- زنجان) بیان نمودند که: هرساله هزینه زیادی صرف ساخت راه های جدید و نگهداری راه های موجود می شود. مقدار این هزینه ها ارتباط مستقیمی با نوع روسازی و مصالح به کاررفته در آن دارد. در ایران غالباً از روسازی های انعطاف پذیر متشکل از رویه آسفالتی، لایه اساس و زیراساس سنگدانه ای استفاده می گردد. درحالی که روسازی های صلب و مرکب نیز گزینه هایی می باشند که می توانند موردتوجه قرار گیرند. در این مقاله به طور موردی بر اساس اطلاعات موجود برای آزادراه قزوین- زنجان یک روسازی انعطاف پذیر و یک روسازی مرکب به روش آشتو طراحی گردیده است و هزینه احداث و ترمیم و نگهداری و همچنین مشخصات فنی آن ها مورد مقایسه قرار گرفته اند. نشان داده می شود که هزینه احداث روسازی مرکب متشکل از اساس بتنی، رویه آسفالتی و زیراساس شن و ماسه ای بیشتر از روسازی انعطاف پذیر معمول است اما در کل دوره بهره برداری که ۵۰ سال در نظر گرفته شده است این اختلاف کم شده و حتی هزینه کل روسازی مرکب از روسازی انعطاف پذیر کمتر هم می شود. همچنین روسازی مرکب منافع دیگری همچون سطح بالای خدمت رسانی، مقاومت باربری

بالا و عدم وقوع خستگی را نیز دارد. اگرچه معایبی چون ترک های انعکاسی و شیارشدگی نیز جزو ویژگی های روسازی مرکب می باشد که قابل پیشگیری است.

پیشینه های خارجی:

[30] ژو و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی با عنوان مدل سازی عددی روسازی انعطاف پذیر ژئوت لاستیکی تقویت شده و اعتبار سنجی مربوطه با استفاده از تست مخزن در مقیاس بزرگ بیان نمودند که: این مطالعه با هدف ایجاد یک مدل عنصر محدود برای شبیه سازی ساخت و ساز روسازی انعطاف پذیر ژئوگرید با توجه به اثر محصور جانبی لایه ژئوگرید، تعامل بین ژئوشهر و خاک / خاک و عدم تقارن غیرخطی غیر متقارن ناحیه تقویت شده ژئوگرید مواد گرانول انجام پذیرفت. ابتدا یک مدل تحلیلی برای اندازه گیری اثر محوطه جانبی لایه ژئوگرید بر روی مدول انعطاف پذیر UGM مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج آزمایش های سه گانه آزمایشگاهی، مدل تحلیلی توسعه یافته به درستی پیش بینی کرد که مدول انعطاف پذیر UGM تقویت شده با ژئوگرید باشد. دوم، مدل عنصر interface گودمن برای توصیف رفتار تماس با رابط geogrid- aggregate / soil استفاده شد. به منظور شبیه سازی رفتار غیرخطی UGM تقویت شده با ژئوگرید، یک فرآیند تعریف شده توسط کاربر با استفاده از رویکرد مدول سادگی برنامه ریزی شد. دقت UMAT توسعه یافته با مقایسه نتایج شبیه سازی عددی با راه حل های تحلیلی در آزمون سه گانه مجازی تأیید شد. در این مطالعه دو جفت مدل پیاده رو تقویت شده و بدون تقویت ژئوگرید مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که تقویت ژئوگرید در کاهش آسیب های چرخشی از مسیر پایه و پایه موثر است، اما می تواند عمر خستگی پیاده رو انعطاف پذیر را به طور قابل توجهی گسترش ندهد. ژئوگرید تقویت شده در وسط مسیر پایه بهتر است در کاهش آسیب چرخش از دوره پایه از آنچه که در رابط پایه / زیر پوسته قرار گرفته است، بهتر است. با این حال، تقویت ژئوروشه در کاهش آسیب ناشی از زلزله زمانی که در انتهای مسیر پایه قرار دارد، بسیار موثر است. برنامه تست جامع در مقیاس بزرگ برای ثبت راندمان انتقالی مربوط به روسازی، از جمله انحراف سطح، کشش کششی در پایین بتن آسفالت و تنش های عمودی در دوره پایه و پایه طراحی شده بود. مدل های عنصر محدودی تقویت شده و غیرقابل تقویت ژئوگرید توسعه یافته توسط مقایسه پیش بینی های مدل با آن اندازه گیری ها از آزمون LST مورد تایید قرار گرفت.

[31] عزیز^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی با عنوان یک نظرسنجی در باند های جایگزین برای روسازی انعطاف پذیر بیان نمودند که: قیر (آسفالت) مواد ویسکوالاستیکی، رئولوژیکی و غیر مغناطیسی تشکیل شده از هیدروکربن های سنگین با ثابت دی الکتریک کم (ε_r است). این یک محصول جانبی پالایشگاه روغن نفت است. اگر چه آن را به عنوان یک اتصال دهنده برای پیاده رو انعطاف پذیر در سراسر جهان استفاده می شود، آن را به اثرات شدید زیست محیطی. قیر در دمای اتاق غیر خطرناک است، اما وقتی که در دمای ۱۶۵-۲۰۰ درجه سانتیگراد گرم می شود، سمی می شود. نتیجه گیری، از جمله تخریب محیط زیست، تخریب ذخایر نفتی و افزایش قیمت نفت، محققین را به بررسی منابع جایگزینی برای دستیابی به وسایل نقلیه برای پیاده رو پرداختند. این مقاله یک مرور کلی از مواد احتمالی را ارائه می دهد که می تواند به عنوان یک جایگزین جایگزین استفاده شود. مواد حاصل از منابع مبتنی بر زیستی، مانند روغن زیستی، پلیمر، پلاستیک، لاستیک و روغن زیتون پخت و پز و بازیافت شده از مواد زائد، وعده داده شده و مورد بحث قرار گرفته است. تحقیقات بیشتری برای جایگزینی رقیق قیر در مقیاس صنعتی ضروری است و یک منبع پایدار اتصال دهنده برای پیاده رو انعطاف پذیر باشد.

[32] ساوآرسدوتیر و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۵ در مطالعه ای با عنوان مدل سازی پاسخ ها و مشخصات رولینگ ساختار روسازی انعطاف پذیر در یک آزمون شبیه ساز وسیله نقلیه سنگین آوردند که: تجزیه و تحلیل عددی برای شبیه سازی پاسخ های روسازی با استفاده از دو روش الاستیکی چند لایه دو بعدی و همچنین تجزیه و تحلیل عناصر محدود سه بعدی با خواص مواد بر اساس آزمایشات آزمایشگاهی و آزمایشگاهی انجام شده است. تفاوت کمی بین هر دو روش به طور کلی با اندازه گیری همخوانی یافت. تجمع مشاهدات تغییر شکل دائمی بر روی سطح به عنوان چرخش نشان داده شده با استفاده از دو مدل

¹ Gu et al

² aziz

³ Saevarsdottir et al

سخت کاری ساده کار مدل سازی شد؛ یک مدل مبتنی بر استرس و یک مدل مبتنی بر کرنش است. مدل مبتنی بر استرس بر حساسیت نسبت به تغییرات پاسخ کوتاه تأثیر می گذارد و از مدل وابسته به کشش نزدیک تر است.

روش تحقیق

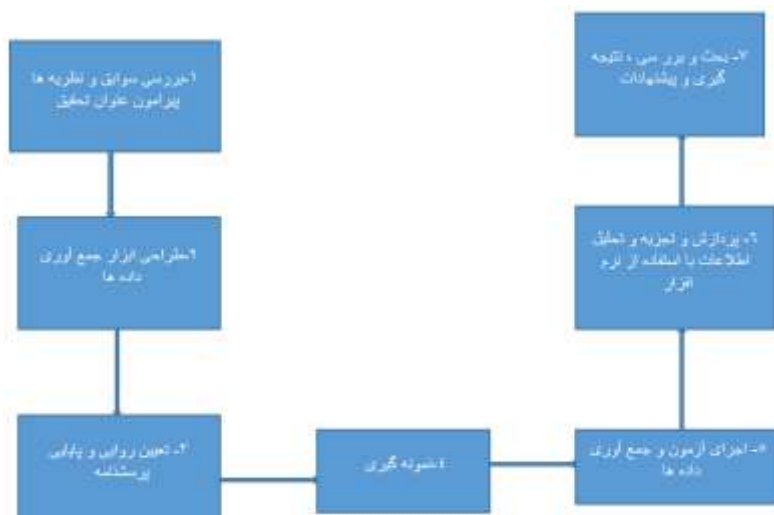
در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل و بررسی داده ها از روش های آمار توصیفی و آماراستنباطی استفاده میگردد. روشهای توصیفی که مورد استفاده خواهند گرفت عبارتند از:

آزمونهای فراوانی مانند میانگین ها، انحراف استانداردها، جداول و نمودارها

روشهایی که در آمار استنباطی مورد استفاده خواهند بود عبارتند از: اعمال آزمون فریدمن برای رتبه بندی متغیرها و استفاده آزمون t تک متغیره، ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل رگرسیون چندگانه در سایر مولفه های مورد نیاز.

برای تجزیه و تحلیل یافته های پژوهش از روشهای آمار توصیفی مانند میانگین، انحراف معیار و جدول و نیز از روشهای آمار استنباطی مانند آزمون t تک متغیره، ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده گردید. برای تعیین روایی پرسشنامه ها از روش روایی محتوایی و از دیدگاه صاحب نظران رشته مدیریت استفاده گردید. از نرم افزار Spss برای تجزیه و تحلیل فرضیات استفاده شده است.

فرآیند تحقیق مراحل انجام تحقیق حاضر مطابق شکل زیر است:



شکل ۱ - نمودار فرآیند تحقیق

اهداف مشخص تحقیق:

- ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر.
- تعیین ارائه الگوی صحیح جهت استفاده بهینه از قیر امولسون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر.

سؤالات تحقیق:

- استفاده از قیر امولسون و قیر محلول در روسازی انعطاف پذیر چه فواید و الزاماتی نسبت به سایر روش های روسازی دارد؟
- آیا استفاده از قیر امولسون و قیر محلول در روسازی انعطاف پذیر، نسبت به سایر روش ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد؟
- آیا طول عمر قیر امولسون و قیر محلول در روسازی انعطاف پذیر، نسبت به سایر روش های روسازی بیشتر است؟
- هزینه تعمیر و نگهداری قیر امولسون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر بیشتر است یا کمتر؟

فرضیه های تحقیق:

- استفاده از قیر امولسون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر منجر به بهبود کارایی و کیفیات روسازی می شود.

- استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول باعث کاهش هزینه های روسازی می شود.
- استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول باعث دوام و افزایش طول عمر روسازی می شود.
- استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول باعث کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری می شود.

پروژه ساخت و اجرای روسازی انعطاف پذیر

در این بخش از ابزار مذکور با استفاده داده های چند پروژه ساخت و اجرای آسفالت گرم، ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر مورد بررسی قرار گرفته اند. با توجه به داده های موجود در بخش کنترل کیفیت اجرا آسفالت، کنترل کیفیت درصد تراکم آسفالت مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این مطالعه بر وجود تغییرات در درصد تراکم تمرکز شده است. اطلاعات مشترک مورد استفاده در دو بخش کنترل کیفیت و ارزیابی و پذیرش شامل داده های خام و مشخصه ها و حدود اختلاط کارگاهی و آیین نامه ای می شود. داده های خام مورد استفاده در این تحقیق شامل برگه های آزمایشگاهی است که به درخواست دستگاه نظارت از منابع آزمایشات آسفالت تهیه شده اند این برگه ها دربرگیرنده مشخه های نمونه هایی از آسفالت است که بطور تصادفی از پشت کامیون مل آسفالت یا بصورت نمونه های مغزه گیری شده از آسفالت متراکم شده تهیه شده اند. بدیهی است نمونه هایی که از پشت کامیون حمل تهیه شده اند نشان دهنده خواص مخلوط و مصالح مورد استفاده بوده و نمونه هایی که از مغزه گیری ها تهیه شده اند نشان دهنده ویژگی های آسفالت اجرا شده می باشند.

سری اول- برگه های آزمایشگاهی آسفالت پروژه یک

سری دوم- برگه های آزمایشگاهی آسفالت پروژه چهار خطه دو

سری سوم- برگه های آزمایشگاهی آسفالت سه

برنامه ارزیابی و پذیرش آسفالت با قیر امولسیون و محلول

در بخش های قبل به گام های مختلف برنامه ارزیابی و پذیرش آسفالت با قیر امولسیون و محلول اشاره شده است. در بخش - های قبلی گام اول مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که جهت محاسبه و بررسی، درصد درون محدوده (PWL) در بررسی سایر گام ها مورد نیاز است لذا محاسبات گام دوم به عنوان زیر مجموعه ای در سایر گام ها انجام گرفته است. با توجه به توضیح فوق، محاسبات و مطالعات انجام گرفته جهت جمع آوری اطلاعات مورد نیاز مطابق بخش های زیر است.

آزمون T جهت مقایسه برنامه های خطی پرداخت محاسبه شده

جهت مقایسه دو برنامه پرداخت خطی محاسبه شده ضرایب پرداخت برای PWL های ۷۵، ۸۰، ۸۵، ...، ۱۰۰ توسط دو برنامه پرداخت خطی محاسبه شد و سپس وجود اختلاف میان نتایج برای سطح اهمیت ۵ درصد توسط آزمون T مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج، p-value آزمون بیشتر از ۵ درصد بدست آمده است لذا مقادیر ضرایب پرداخت محاسبه شده توسط دو رابطه با یکدیگر تفاوت ندارند.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت محاسبه وزن پارامترها با استفاده از

در این مرحله جهت تعیین وزن مشخصه های موثر بر کیفیت آسفالت و ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. مراحل انجام این فرآیند بصورت گام به گام بیان شده است. در مرحله اول کلیه مشخصه ها استخراج شدند. سپس با مشورت کارشناسان گروه دلفی، مشخصه هایی که دارای اهمیت چندانی نبودند و همچنین مشخصه هایی که با مشخصه ای دیگر در ارتباط بودند حذف شدند. در انتها ۱۲ مشخصه از میان مشخصه ها انتخاب شدند. در مرحله بعد پرسشنامه هایی بر اساس مقیاسات زوجی و مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی تنظیم شد و طی جلساتی توسط ۳۳ کارشناس تکمیل گردید و سپس تحلیل سلسله مراتبی توسط نرم افزار Expert choice صورت گرفت. لازم بذکر است جهت محاسبه وزن نهایی مشخصه ها نسبت به دسته عوامل از مد توزیعی^۴ نرم افزار استفاده است.

⁴ Distributive mode

در این مد مجموع وزن مشخصه های هر دسته برابر وزن آن دسته است. قدسی پور در کتاب خود شرایط انتخاب این مد را مطابق زیر بیان داشته است [۵۳]:

- اولویت بندی گزینه ها مد نظر باشد نه اینکه انتخاب گزینه ای که حداکثر رتبه را دارد مدنظر باشد.
- انتخاب گزینه هایی که برای هر هدف مقادیر مختلفی را داشته باشد. (به عنوان مثال عاصر مشابه هم نباشند).
- تخصیص منابع مورد نظر باشد.

در ادامه به تشریح مراحل انجام تحلیل پرداخته شده است.

ابتدا پس از شناخت عوامل، ساختار سلسله مراتبی تشکیل گردید. سطوح مختلف این ساختار بترتیب عبارتند از:

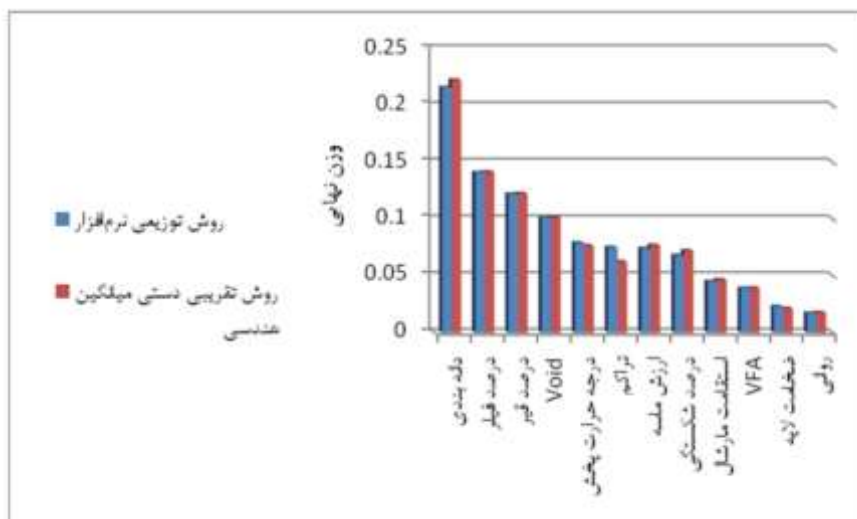
۱. هدف: تعیین وزن مشخصه های موثر بر عذملکرد آسفالت گرم
۲. معیار: کیفیت آسفالت ساخته شده.
۳. دسته عوامل: سه دسته عامل ناشی از مشخصات مصالح، مشخصات مخلوط آسفالتی و مشخصات اجرایی.
۴. عوامل

محاسبه وزن پارامترها به روش تقریبی

جهت کنترل درستی وزن های نهایی مشخصه، مجدداً وزن هر کدام از مشخصه ها توسط روش تقریبی میانگین هندسی محاسبه شد. در این روش میانگین هندسی عناصر هر سطر توسط رابطه (۳-۴) محاسبه شده و سپس بردار حاصل نرمالیزه می شود تا بردار وزن محاسبه شود [۵۲]. جهت محاسبه وزن نهایی مشخصه ها وزن محاسبه شده هر مشخصه در بردار نرمال مربوطه در وزن محاسبه شده دسته هامل ضرب شده است.

$$M = \sqrt[n]{\dots} \quad \text{رابطه ۳-۴}$$

که در رابطه فوق a_i درایه هر سطر و Π تعداد درایه های سطرها می باشد. مقادیر میانگین هندسی و بردارهای نرمال برای سطرهای ماتریس های زوجی دسته عوامل، مشخصه های مصالح، مشخصه های مخلوط و مشخصه های اجرایی نشان داده شده است. با توجه به شکل زیر مشاهده میشود مقادیر وزن محاسبه شده توسط دو روش بسیار به هم نزدیک است لذا مقادیر وزن نهایی محاسبه شده توسط نرم افزار مورد قبول می باشد.



شکل ۲- نمودار مقایسه وزن نهایی محاسبه شده مشخصه ها توسط نرم افزار و روش تقریبی

پس از محاسبه مقادیر ضریب پرداخت و وزن مشخصه ها در این مرحله ضریب پرداخت مرکب برای انباشته آسفالت تولیدی پروژه چهار خطه اول و دوم محاسبه شد. از آنجا که مقادیر PWL برای برخی از مشخصه های این دو انباشته از مقدار حد پذیرش یا ۷۵ کمتر است لذا داده هایی از بین آنها انتخاب شدند که مقادیر PWL آنها حداقل برابر ۷۵ شود.

جدول ۱- محاسبه ضریب پرداخت مرکب برای قشر آستر انباشته آسفالت پروژه چهار خطه اول

ردیف	ویژگی	PWL	PF	W	nw	nwPF	wPF	COMPF
۱	درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالت	۷۵	۷۴	۰/۱۲۲	۰/۱۴۷	۱۰/۸۷	۹۰	
۲	درصد شکستگی مصالح	۸۶/۵	۸۶	۰/۰۶۸	۰/۰۸۲	۷/۰۸	۵/۸۶	
۳	درجه حرارت آسفالت به سانتی گراد	۹۹/۱	۱۰۰	۰/۰۷۹	۰/۰۹۵	۹/۵۲	۷/۸۸	
۴	درصد فضای خالی آسفالت	۷/۸۴	۸۴	۰/۱۰۱	۰/۱۲۲	۱۰/۲۸	۸/۵۱	
۵	استقامت مارشال آسفالت	۴/۹۵	۹۶	۰/۰۴۵	۰/۰۵۴	۲/۱۵	۴/۳۱	
۶	درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت	۷۴/۷۹	۷۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۷	۳/۷۲	۳/۰۸	
۷	روانی مارشال ۰/۲۵ میلی متر	۷۵/۸۰	۸۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۱/۶۴	۱/۳۶	
۸	الک شماره ۴	۸۹/۱	۸۹	۰/۰۷۲	۰/۰۸۷	۷/۷۴	۶/۴۱	
۹	الک شماره ۸	۹۲/۳	۹۲	۰/۰۷۲	۰/۰۸۷	۸/۰۴	۶/۶۶	
۱۰	الک شماره ۵۰	۹۹/۲	۱۰۰	۰/۰۷۲	۰/۰۸۷	۸/۶۹	۷/۱۹	
۱۱	الک شماره ۲۰۰	۱۰۰	۱۰۱	۰/۱۴۱	۰/۰۱۷	۱۷/۱۶	۱۴/۲۱	
مجموع								۹۰

جدول ۲- محاسبه ضریب پرداخت مرکب برای قشر رو به آسفالت پروژه دوم

ردیف	ویژگی	PWL	PF	W	nw	nwPF	wPF	COMPF
۱	درصد قیر محلول نسبت به مخلوط آسفالت	۸۴/۶	۸۴	۰/۱۲۲	۰/۱۴۱	۱۱/۸۸	۱۰/۲۷	
۲	درصد شکستگی مصالح	۷۶	۷۵	۰/۰۶۸	۰/۰۷۹	۵/۸۹	۵/۰۹	
۳	استقامت مارشال آسفالت	۹۹/۱	۱۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲	۵/۲	۴/۴۹	
۴	روانی مارشال ۰/۲۵ میلی متر	۷۸/۸	۸۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲	۱/۷۲	۱/۴۹	
۵	درجه حرارت آسفالت	۹۸/۱	۹۹	۰/۰۷۹	۰/۰۹۱	۹/۰۲	۷/۸	
۶	درصد فضای خالی آسفالت	۸۱/۵	۸۱	۰/۱۰۱	۰/۱۱۷	۹/۴۵	۸/۱۶	
۷	الک شماره ۴	۸۵	۸۵	۰/۱۰۸	۰/۱۲۵	۱۰/۵۷	۹/۱۳	
۸	الک شماره ۵۰	۹۸/۵	۹۹	۰/۱۰۸	۰/۱۲۵	۱۲/۲۹	۱۰/۷۱	
۹	الک شماره ۲۰۰	۹۸/۷	۹۹	۰/۱۴۱	۰/۱۶۳	۲۱/۱۶	۴/۰۱	
۱۰	تراکم نسبی آسفالت با قیر محلول	۷۶	۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۸۷	۶/۵	۵/۶۲	
مجموع								۸۹

که در جداول فوق منظور از w , nw , $compf$ به ترتیب وزن، وزن نرمال شده و ضریب پرداخت مرکب می باشد. از آنجایی که مقادیر pwl برای دو مشخصه درصد رد شده از الک شماره ۸ و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت پروژه اول از حد پذیرش پایین تر بودند در محاسبه ضریب پرداخت مرکب از این دو مشخصه صرف نظر شد.

مشکلات در جمع آوری اطلاعات

اولین مشکل در انجام این مطالعات تهیه برگه های آزمایشگاهی مورد نیاز بود. اکثر برگه ها دارای ترتیب و اطلاعات لازم نبوده و همچنین دقت انجام آزمایش در آنها پایین بود لذا جهت اصلاح برخی از برگه ها جلسات متعددی با مسئولین و ناظران پروژه برگزار شد. تهیه طرح اختلاط کارگاهی از دیگر مشکلات این بخش جمع آوری اطلاعات بود. از آنجا که پس از تهیه ابلاغ طرح اختلاط اولیه در برخی موارد توسط نامه نگاری تغییراتی در طرح اختلاط کارگاهی به وجود آمده بود لذا استخراج طرح اختلاط کارگاهی وقت بسیاری صرف شد. حتی در پاره ای موارد طرح اختلاط کارگاهی با مشاوره از ناظرین طرح و از روش نظارت آنها در برگه های آزمایشگاهی استخراج گردید. از دیگر مشکلات موجود در این تحقیق محدودیت دسترسی به

کارشناسان مجرب بود. با توجه به اظهار نظر کارشناسان، درک و تکمیل پرسشنامه برای برخی از کارشناسان تا حدود زمانبر بود و در بسیاری از موارد وجود گروه تحلیل گر جهت درک صحیح پرسشنامه نیاز بود لذا دریافت پرسشنامه ها زمان قابل توجهی از مطالعات را به خود اختصاص داد. از دیگر مشکلات موجود در این تحقیق عدم وجود مطالب و مدارک کافی مورد نیاز مطالعات اولیه و ادبیات موضوع می باشد.

نتایج کنترل فنی و اقتصادی آسفالت استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول

جهت بررسی نتایج کنترل کیفیت آسفالت با استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول، نتایج مراحل مختلف به شرح زیر با یکدیگر مقایسه شده و مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج آزمون همبستگی و مقایسه آن با نتایج سایر روش ها

در جدول (۶) (آزمون همبستگی) مشخصه هایی که بین آنها همبستگی وجود دارد تعیین شده است. به عنوان مثال مطابق با جدول (۴-۶) مشخصه درصد رد شده از الک شماره ۴ با مشخصه های درصد از الک شماره ۸ درصد رد شده از الک شماره ۵۰ درصد فضای خالی آسفالت با استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول و درصد فضای خالی پر شده با قیر محلول دارای همبستگی می باشند. براساس جدول (۴-۸) مشاهده می شود که تغییرات برای تمامی آن مشخصه ها معنی دار است. این موضوع در نتایج نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که با یکدیگر دارای همبستگی می باشند صادق است. نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد فضای خالی پر شده با قیر امولسیون آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت میباید. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه دارای شکل و عملکرد نسبتاً مشابه می باشند. (به جز بین دسته های ۸ و ۹ و ۱۰) با این تفاوت که شیب خطوط متصل کننده دسته ها برای مشخصه درصد فضای خالی آسفالت دارای علامت مخالف نسبت به شیب نمودار کنترل مشخصه درصد قیر پر شده با قیر می باشد. در سایر مشخصه های همبسته نیز با رفتاری مشابه دیده می شود.

مقایسه نمودارهای کنترل میانگین با نمودار پارتو

براساس نمودار پارتو هشتاد درصد عیوب به ترتیب ناشی از مشخصه های درصد قیر امولسیون نسبت به آسفالت درصد فضای خالی پر شده از قیر محلول آسفالت و دانه بندی درصد رد شده از الک شماره ۴ می باشد. با بررسی نمودارهای کنترل میانگین، مشخصه های دارای دسته های خارج از کنترل و تعداد دسته های خارج از کنترل استخراج شده است که مطابق با جدول (۱-۵) می باشد.

جدول ۳- تعداد دسته های خارج از کنترل

ردیف	مشخصه	تعداد دسته های خارج از کنترل
۱	درصد قیر محلول نسبت به آسفالت	۳
۲	درصد فضای خالی آسفالت (void)	۳
۳	درصد فضای خالی پر شده با آسفالت	۳
۴	دانه بندی - درصد رد شده از الک ۴	۳
۵	دانه بندی - درصد رد شده از الک ۸	۳
۶	دانه بندی - درصد رد شده از الک ۵۰	۱

مطابق با توضیحات فوق مشاهده می شود دو روش فوق دارای نتایج نسبتاً مشابهی می باشند.

تحلیل تغییرات مشخصه ها توسط آزمون آنوا

توسط آزمون آنوا وجود تغییرات میان دسته ها مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از آزمون دانکن دسته های همگن مشخص شدند. بررسی نتایج آزمون آنوا و نمودار کنترل میانگین نشان داده که در مشخصه های درجه حرارت قیر محلول و امولسیون در آسفالت، روانی و درصد رد شده از الک شماره ۲۰۰ تغییرات معنی داری نبوده و هیچ دسته ای خارج از کنترل در نمودار

کنترل مشاهده نمی شود حال آنکه دسته های مشخصه های روانی و درصد رد شده از الک شماره ۲۰۰ همگی در یک گروه همگن قرار نگرفته اند و تفاوت معنی دار میان دو دسته از دو مشخصه قابل مشاهده است. از آنجا که از سه روش مورد بررسی دو روش دارای جواب مشابه می باشند، لذا نتیجه حاصل از این دو روش نسبت به نتایج آزمون دانکن قابل قبول است. با توجه به این موضوع نتایج آزمون دانکن و نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که تغییرات بین دسته های آنها معنی دار میباشد با یکدیگر مقایسه شده اند که به شرح زیر است.

الف- درصد قیر محلول در آسفالت: براساس نتایج آزمون دانکن در جدول (۹-۴) تفاوت معنی دار در میان دسته های زیر قابل مشاهده است:

- دسته هشتم با دسته های پنجم، چهارم و هفتم

- دسته نهم با دسته های چهارم و هفتم

در نمودارهای کنترل میانگین این مشخصه دسته های چهارم و پنجم خارج از حد بالای مشخصه طرح اختلاط بوده و دسته هشتم نزدیک به حد پایین کنترل می باشد. همانطور که نمودار کنترل نشان می دهد تا دسته هشتم اکثر مقادیر مشاهدات درصد قیر محلول در بازه ۵/۲ تا ۵/۴ قرار گرفته است. بررسی هیستوگرام و خلاصه های آماری نظیر مسانگسن کل نما و میانه مشاهدات دال بر این موضوع دارد. (عدم تنظیم مناسب فشار پمپ قیر امولسیون یا عملکرد نامناسب دریچه های سیلویهای مصالح دانه ای) باشد.

بعلت عدم وجود تغییرات قابل توجه در دسته های هشتم می توان گفت که بازرسی ها و عملکرد مسئولین جهت تنظیم کارخانه مناسب بوده است. اما از آنجا که مجدداً این روند صعودی در دسته های نهم و دهم تکرار شده است. احتمال خروج از حدود مشخصات برای این مشخصه دور از انتظار نبوده و عملکرد کارخانه نیاز به بازرسی و کنترل بیشتری دارد.

ب- دانه بندی- درصد رد شده از الک شماره ۴: مطابق با نتایج آزمون دانکن وجود تفاوت معنی داری در بسیاری از دسته ها قابل مشاهده است و به علاوه مقدار کم p-value آزمون انوا و نمودار فراوانی مشاهدات (هیستوگرام) حاکی از تغییرات قابل توجه مشاهدات باشد.

با بررسی نمودار کنترل میانگین این مشخصه ها مشاهده میشود که مقادیر میانگین دسته های اول و سوم و هفتم از کنترل خارج شده است و در دسته های بسیار نزدیک به حدود کنترل می باشد. این موضوع در نتایج نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که با یکدیگر دارای همبستگی می باشند صادق است. نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت میباشد. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه دارای شکل و عملکرد نسبتاً مشابه می باشند. از آنجا که مقادیر میانگین میانه و نمای مشاهدات به عدد حد وسط مشخصه (۵۰ درصد) نزدیک است لذا علت خروج از کنترل برای دسته های مذکور بیشتر ناشی از تغییرات بوجود آمده در فرایند تولید می باشد تا کالیبراسیون اولیه کارخانه.

ج- دانه بندی - درصد رد شده از الک شماره ۸: براساس مطالعات انجام گرفته نتایج مشابهی میان دو نتایج کنترل کیفیت مشخصه درصد رد شده از الک شماره های ۸ و ۴ برقرار است. البته با توجه به بستگی قابل توجه میان مشاهدات این دو مشخصه تشابه نتایج دور از انتظار نیست. همانطور که در نمودار کنترل کیفیت نیز مشاهده می شود میانگین های دسته اول و هفتم و دهم از حدود کنترل خارج بوده و دسته سوم بسیار نزدیک به حد کنترل میباشد. در این مورد مشخصه نیز میتوان با توجه به مقادیر میانگین، میانه و نمای داده ها علت ایجاد خروج از کیفیت را ناشی از تغییرات بوجود آمده در فرایند تولید دانست.

د - دانه بندی درصد رد شده از الک شماره ۵۰: وجود همبستگی میان نتایج مشاهدات این الک با الک شماره ۴ و ۸ نشان دهنده رفتار مشابه این مشخصه براساس روش های مورد استفاده میباشد. مقدار کم p-value آزمون انوا برای این تعداد قابل توجه گروه های همگن برای این تغییرات دانست. این موضوع در نتایج نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که با یکدیگر دارای همبستگی میباشد صادق است. نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد

فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه دارای شکل و حدود کنترل محاسبه شده قابل قبول می باشند.

ه - درصد فضای خالی آسفالت و درصد فضای خالی پر شده با قیر: مطابق با توضیحات مذکور به علت وجود عدم همبستگی میان این دو مشخصه و هر کدام از این مشخصه ها با این موضوع در نتایج نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که با یکدیگر دارای همبستگی می باشند صادق است. نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه دارای شکل و عملکرد نسبتاً مشابه می باشند. لذا با تحت کنترل قرار دادن مشخصه های درصد رد شده از الک های شماره های ۴ و ۸ و ۵۰ میتوان این دو مشخصه را نیز تحت کنترل در آورد.

عوامل کاهنده کیفیت آسفالت با قیر محلول

توسط برنامه کنترل کیفیت، دو عامل کاهنده کیفیت آسفالت قیر محلول تولیدی قابل شناسایی است. علل خروج از کنترل مشخصه درصد قیر محلول در انباشته مورد مطالعات به عنوان مثال ممکن است به دو دلیل زیر باشد:

- تنظیم نبودن فشار قیر
 - تنظیم نبودن درپچه های سیلوهای مصالح سنگدانه ای
- با توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی مقادیر دانه بندی مشخص شد که برای کل داده ها، مشاهدات مربوط این موضوع در نتایج نمودارهای کنترل برای مشخصه هایی که با یکدیگر دارای همبستگی می باشند صادق است. نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه کنترل و بازرسی مکرر فشار پمپاژ قیر بسیار ضروری می باشد. بررسی دانه بندی حاکی از وجود تغییرات معنی دار حین فرآیند تولید می باشد. این تغییرات با کاهش اندازه اندازه الک ها کاهش یافته است. با توجه به این موضوع، بازرسی و کنترل خط تولید (به عنوان مثال تنظیم بودن بودن درپچه های سیلوهای مصالح دانه ای به خصوص درشت دانه، کنترل سرندها و الک ها و همچنین درستی و میزان لرزش سیستم تسمه نقاله) امری ضروری است.

مقایسه نتایج روش های برنامه کنترل فنی قیر با شاخص ارزیابی pwl

- شاخص ارزیابی pwl و درصد اقلام معیوب دارای همبستگی منفی می باشند. بنابراین با افزایش درصد اقلام معیوب برای هر کدام از مشخصه ها، مقدار pwl ان کاهش یافته است. جهت بررسی نتایج نمودار کنترل و شاخص pwl مقادیر pwl برای دسته های شامل دو مشخصه "درصد رد شده از الک شماره ۴" و "درصد قیر امولسیون" محاسبه شد.
- با مقایسه دو نمودار فوق با نمودارهای کنترل این دو مشخصه را میتوان نتیجه می گرفت.
- Pwl برای دسته هایی که خارج از حدود کنترل قرار دارد تفاوت قابل توجهی داشته است.
 - PWL دسته هایی که در حدود کنترل قرار گرفته اند حدوداً از ۸۰ درصد کمتر نشده است (بیشتر از مقدار حد پذیرش می باشد)

بررسی اطلاعات کنترل کیفیت قیر محلول و امولسیون

اطلاعات بدست آمده از مشخصه درصد تراکم از دو جنبه تحلیل شده اند که به شرح زیر است.

الف- تحلیل تغییرات دسته ها: جدول (۲۱-۴) نشان دهنده وجود تغییرات معنی دار میان دسته ها می باشد. توضیح آنکه علت این امر معنی داری تغییرات ناشی از تغییرات بین دست ها است که بزرگی مقدار مربع میانگین بین دست ها نسبت به مقدار میانگین مربع درون دسته ها نشان دهنده این موضوع است.

ب- ارزیابی میانگین دسته ها با شاخص PWL: تاثیر مقادیر میانگین دسته ها، تعداد اقلام معیوب هر دسته و شاخص PWL دسته ها با یکدیگر از جدول (۲-۵) قابل مقایسه است. در این جدول دسته ها در دو حالت رتبه بندی شده است. در حالت اول رتبه بندی براساس کمترین مقدار PWL و حالت دوم براساس کمتری میانگین دسته میباشد. همانطور که در جدول (۲-۵) دیده میشود دسته پنجم دارای کمترین میانگین بیشترین تعداد اقلام معیوب و کمترین PWL است. بدیهی است تعداد بالای درصد اقلام معیوب در این دسته کاهش میانگین این دسته شده است. تغییرات این دسته چندان زیاد نیست. کمتر بودن ضریب تغییرات (CV) این دسته نسبت به دسته های نظیر ۳، ۱ و ۷ نشان دهنده حساسیت بیشتر شاخص PWL به میانگین دسته می باشد.

جدول ۴- مقادیر تعداد اقلام معیوب و PWL آنها

حالت دوم						حالت اول			
Cv	رتبه	تعداد اقلام معیوب	انحراف معیار	میانگین	دسته	Cv	رتبه	PWL	دسته
0/0072	1	5	0/69	96/14	5	0/0072	1	8/7	5
0/0072	2	3	1/11	96/71	3	0/0115	2	41/3	3
0/0093	3	1	0/9	96/86	1	0/0093	3	44/7	1
0/0093	4	1	0/9	96/86	7	0/0093	4	44/7	7
0/0113	5	3	1/29	97	2	0/0113	5	50	2
0/0197	6	3	1/91	97	4	0/1197	6	50	4
0/0055	7	0	0/53	97/57	6	0/0128	7	84/8	8
0/005	8	0	0/49	97/71	13	0/0055	8	85/8	6
0/0128	9	0	1/03	98/29	8	0/0097	9	92	11
0/0077	10	0	0/76	98/29	9	0/0099	10	94/5	10
0/0097	11	0	0/95	98/29	11	0/005	11	94/5	13
0/0099	12	0	0/98	98/43	10	0/0077	12	95/3	9
0/0089	13	0	0/88	98/56	14	0/0117	13	95/7	12
0/0117	14	0	1/15	99	12	0/0089	14	98	15

نتایج آزمون همبستگی نشان از وجود همبستگی منفی میان مشخصه های درصد فضای خالی پر شده با قیر محلول در آسفالت می باشد. با بررسی نمودار کنترل کیفیت میان مشخصه های درصد فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت میباشد. با بررسی نمودار کنترل میان مشخصه های مذکور مشاهده شد که نمودارهای کنترل این دو مشخصه دارای شکل و عملکرد دسته نسبت به انحراف معیار می باشد. با توجه به اهمیت زیاد میانگین مشاهدات بهتر است پیمانکار با در نظر گرفتن مشاهدات گذشته روش اجرا را طوری تنظیم نماید تا میانگین مشاهدات حداکثر مقدار خود را کسب نماید. جهت تثبیت مقدار میانگین میتوان از رابطه اطمینان استفاده کرد. بدین صورت که براساس مشاهدات پیشین برای احجام نمونه مختلف حدود اطمینان تغییرات میانگین تعیین شود. بازه اطمینان توسط رابطه (۱-۵) محاسبه می شود.

در رابطه فوق α ، S و n به ترتیب سطح اهمیت، انحراف معیار و حجم نمونه میباشد. جهت تعیین انحراف معیار مورد استفاده در رابطه (۱-۵) برای داده های درصد تراکم مقدار حداقل و حداکثر انحراف معیار دسته ها استخراج شده اند ($S_{min} = 0.49$ ، $S_{max} = 1.91$) سپس میانگین این مقادیر محاسبه شده برابر با $S_{ave} = 1.2$ برای انحراف معیار بازه مورد اطمینان مورد استفاده قرار گرفت. براساس حجم نمونه مقدار ۰/۸۹ بدست آمده است. از آنجاییکه تفاوت دسته دهم از نهم از بازه اطمینان کمتر است لذا میتوان نتیجه گرفت که دسته دهم در بازه اطمینان دسته نهم قرار دارد. جهت بررسی وجود تغییرات میان این دو دسته از آزمون T استفاده شد. $P\text{-value} = 0.952$ از آنجا که $p\text{-value}$ از سطح انتخابی $\alpha = 0.05$ بیشتر بدست آمده است لذا میتوان نتیجه گرفت که برای این دو دسته تغییرات معنی دار نیست.

بررسی برنامه ارزیابی و پذیرش

در این بند برنامه ارزیابی و پذیرش پیشنهادی با سیستم های جاری ارزیابی مقایسه شده است. مراحل ارزیابی انجام شده به شرح زیر است:

- (۱) مقایسه مشخصه های قابل ارزیابی برنامه ارزیابی و پذیرش پیشنهادی با دستورالعمل های تعیین کسورات عملیات راهسازی و دستورالعمل جرائم تولید آسفالت
- (۲) ارزیابی آسفالت دوم
- مقایسه ضریب پرداخت مرکب با میزان جریمه توسط دستورالعمل کسورات عملیات راهسازی وزارت راه
- مقایسه ضریب پرداخت محاسبه شده توسط برنامه پرداخت خطی با ضریب پرداخت محاسبه شده با برنامه پرداخت خطی آشتو
- پروژه چهار خطه اول
- مقایسه ضریب پرداخت مرکب با میزان جریمه توسط دستورالعمل تعیین کسورات عملیات راهسازی وزارت راه
- مقایسه ضریب پرداخت محاسبه شده توسط برنامه پرداخت خطی با ضریب پرداخت محاسبه شده با برنامه پرداخت خطی آشتو
- مقایسه ضریب پرداخت مرکب با میزان جریمه توسط دستورالعمل تعیین جرایم تولید آسفالت

مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل های وزارت راه و ترابری

مشخصه های آسفالت قابل ارزیابی توسط برنامه ارزیابی و پذیرش و دستورالعمل های وزارت راه و ترابری با یکدیگر مقایسه شده اند. در جدول (۵) مشخصه های قابل تامل ارزیابی آسفالت وزارت راه توسط این دو سیستم نشان داده شده است.

جدول ۵- بررسی امکان پذیری مقایسه مشخصه های برنامه ارزیابی و دستورالعمل وزارت راه

ردیف	ویژگی	برنامه ارزیابی و پذیرش	دستورالعمل وزارت راه
۱	درصد قیر نسبت به آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۲	دانسیته مارشال	غیر قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۳	درصد شکستگی مصالح	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۴	استقامت مارشال	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۵	روانی مارشال	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۶	درجه حرارت آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۷	درصد فضا خالی آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۸	درصد حجمی فضای خالی مصالح	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۹	درصد فضای خالی پر شده با قیر آسفالت	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۱۰	وزن مخصوص حقیقی مصالح	غیر قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۱۱	دانه بندی	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۱۲	ضخامت لایه آسفالتی	غیر قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۱۳	تراکم نسبی آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی

۳		
---	--	--

مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل تعیین جریمه تولید آسفالت

جهت مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل های راهسازی مقادیر جریمه برای انباشته پروژه چهار خطه اول و آسفالت دوم محاسبه شد که در جداول (۶) و (۷) نشان داده شده است. در جداول مذکور مقدار α نشان دهنده ضریب کسر بها براساس میزان خروج مقادیر موجود در جداول "دستورالعمل کسر بهای عملیات راهسازی" تعیین می شوند. همچنین مقادیر R و N ، n به ترتیب نشان دهنده فراوانی اقلام معیوب، تعداد نمونه ها و درصد جریمه نسبت به تناژ محصول تولید شده می باشند.

جدول ۶- مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل تعیین جریمه تولید آسفالت پروژه چهار اول

ردیف	ویژگی	مقدار	a	n	N	R
1	درصد قیر محلول	۵/۵	۰/۱۲	۳	۳۱	۰/۰۱۱۶۱
2	نسبت به آسفالت	۵/۶	۰/۲۳	۲	۳۱	۰/۰۱۴۸۴
3	درصد شکستگی مصالح	۷۵	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰۶۵
4		۷۸	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰۶۵
5		۷۹	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰۶۵
6	درصد فضای خالی آسفالت	۶/۴	۰/۰۲	۲	۲۴	۰/۰۰۱۶۷
7	پایداری آسفالت	-	۰	۰	۳۱	۰
8	الک شماره ۴	۴۰	۰/۰۳	۱	۳۱	۰/۰۰۰۹۷
9		۴۱	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
10		۴۲	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
11		۵۸	۰/۰۱	۲	۳۱	۰/۰۰۰۶۵
12	الک شماره ۸	۲۶	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
13		۲۶/۵	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
14	الک شماره ۵۰	-	۰	۰	۳۱	۰
15	الک شماره ۲۰۰	-	۰.۳	۰	۳۱	۰
	مجموع جرائم ۲					۰/۰۳

میزان جریمه محاسبه شده برای انباشته ماه های مرداد و شهریور پروژه چهار خطه اول با دستورالعمل تعیین جریمه تولید وزارت راه و ترابری در جدول (۶) نشان داده شده است. با مقایسه مقادیر جریمه محاسبه شده با ضرایب پرداخت مرکب برای پروژه های مورد مطالعه مشاهده می شود که برنامه ارزیابی و پذیرش بسیار دقیق تر از دستورالعمل های وزارت راه و ترابری باشد.

جدول ۷- مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل تعیین جریمه تولید آسفالت

ردیف	ویژگی	مقدار	A	n	N	R
۱	درصد قیر نسبت به آسفالت	۴/۴۸	۰/۱۸	۱	۱۶	۰/۰۱۱۲۵
۲	درصد شکستگی مصالح	۸۷	۰/۰۲	۱	۱۶	۰/۰۱۱۲۵
۳	استقامت مارشال	-	۰	۰	۱۶	۰
۴	درصد فضای خالی آسفالت	۲/۷	۰/۰۳	۱	۱۶	۰/۰۰۱۸۸
۵		۵/۲	۰/۰۳	۱	۱۶	۰/۰۰۱۸۸

۶	الک شماره ۴	۷۰	۰/۰۶	۱	۱۶	۰/۰۰۳۷۵
۷	الک شماره ۵۰	-	۰	۰	۱۶	۰
۸	الک شماره ۲۰۰	-	۰	۰	۱۶	۰
۹	تراکم نسبی آسفالت	۹۶	۰/۰۶	۲	۲۴	۰/۰۰۵
۱۰		۹۵	۰/۱۲	۱	۲۴	۰/۰۰۵
مجموع جرائم ۰/۰۳						

اعتبارسنجی مطالعات استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول

در مطالعات مربوط به کنترل کیفیت نتایج بخش های مختلف این برنامه با یکدیگر مقایسه شده است که مشاهده می شود، نتایج آنها به یکدیگر مشابه می باشد. به علاوه تشابه نتایج شاخص PWL و روش های مورد استفاده در برنامه کنترل کیفیت آسفالت نشان دهنده معتبر بودن این روش ها و شاخص PWL می باشد. در برنامه ارزیابی و پرداخت از داده های دو پروژه مختلف استفاده شد و نتایج این سیستم با دو روش مختلف مقایسه شد که نتایج حاصل برای دو پروژه تقریباً مشابه بود که این موضوع نشان دهنده معتبر بودن محاسبات برنامه ارزیابی و پرداخت می باشد.

بحث و نتیجه گیری

براساس حجم نمونه مقدار ۰/۸۹ بدست آمده است. از انجایی که تفاوت دسته دهم از نهم از بازه اطمینان کمتر است لذا میتوان نتیجه گرفت که دسته دهم در بازه اطمینان دسته نهم قرار دارد.

جهت بررسی وجود تغییرات میان این دو دسته از آزمون T استفاده شد. $P\text{-value} = 0.952$ از آنجا که $p\text{-value}$ از آزمون از سطح انتخابی $\alpha = 0.05$ بیشتر بدست آمده است لذا میتوان نتیجه گرفت که برای این دو دسته تغییرات معنی دار نیست. به علاوه تشابه نتایج شاخص PWL و روش های مورد استفاده در برنامه کنترل کیفیت آسفالت نشان دهنده معتبر بودن این روش ها و شاخص PWL می باشد. در برنامه ارزیابی و پرداخت از داده های دو پروژه مختلف استفاده شد و نتایج این سیستم با دو روش مختلف مقایسه شد که نتایج حاصل برای دو پروژه تقریباً مشابه بود که این موضوع نشان دهنده معتبر بودن محاسبات برنامه ارزیابی و پرداخت می باشد.

می توان گفت قیرهای مورد استفاده دارای استحکام و سختی بیشتر هستند و در طولانی مدت در برابر رطوبت نیز عملکرد مناسبی دارند و مقاومت بالاتری را از خود نشان می دهند. همچنین قیرهای پایه رفتاری کاملاً ویسکوز در دماهای بالا داشته و از الاستیسیته مناسبی بهره مند نبوده اند. در حالی که در قیرهای محلول و امولسیون رفتار الاستیک غالب می باشد و عملکرد قیرها در دمای بالا مناسبتر از قیرهای پایه است.

در نهایت به عنوان نتیجه گیری همانطور که پیشتر عنوان شد می توان گفت که بررسی خواص رئولوژیکی نشان می دهد که قیرهای پایه رفتاری کاملاً ویسکوز در دماهای بالا داشته و از الاستیسیته مناسبی بهره مند نبوده اند. در حالی که در قیرهای محلول و امولسیون رفتار الاستیک غالب می باشد و عملکرد قیرها در دمای بالا مناسبتر از قیرهای پایه است. همچنین قیرهای مورد استفاده دارای استحکام و سختی بیشتر هستند و در طولانی مدت در برابر رطوبت نیز عملکرد مناسبی دارند و مقاومت بالاتری را از خود نشان می دهند. صرفه است، در این راستا در ادامه نیز به عنوان مقایسه نتایج کار به ارزیابی های مرتبط می پردازیم.

خلاصه نتایج تحقیق نشان می دهد که بررسی خواص رئولوژیکی قیرهای پایه رفتاری کاملاً ویسکوز در دماهای بالا داشته و از الاستیسیته مناسبی بهره مند نبوده اند. در حالی که در قیرهای محلول و امولسیون رفتار الاستیک غالب می باشد و عملکرد قیرها در دمای بالا مناسبتر از قیرهای پایه است. همچنین قیرهای مورد استفاده دارای استحکام و سختی بیشتر هستند و در طولانی مدت در برابر رطوبت نیز عملکرد مناسبی دارند و مقاومت بالاتری را از خود نشان می دهند.

با توجه به موضوع تحقیق که به ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از قیر امولسیون و قیر محلول در روسازی های انعطاف پذیر می پردازد باید گفت از نظر فنی و اقتصادی به دلیل مصرف انرژی بیشتر در قیر پایه زیاد به صرفه نمی باشد ولی در روسازی به دلیل مزایای ذکر شده نسبت به سایر روش ها بسیار به صرفه است. در این روش با توجه به هزینه بالای استفاده از قیر در روسازی با مترای بالا هزینه کار بسیار بالا خواهد رفت و از نظر اقتصادی به صرفه نیست اما بعد از آزمایش و استفاده از روش جدید و با توجه به استفاده کمتر در قیر پایه می توان دریافت که هزینه کمتری در این روش نسبت به روش قبلی صرف می شود.

مقایسه و ارزیابی نتایج:

با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق و روند کاری ما در ادامه در راستای درک صحیح تر کار برخی از روش ها و تحقیقات مشابه را با تحقیق حاضر مقایسه می نماییم. به عنوان مثال در تحقیقی با عنوان مقایسه عوامل درونی و بیرونی پیدایش پدیده شیارشدگی در روسازی های انعطاف پذیر بیان آورده اند که در سال های اخیر با افزایش حجم ترافیک سنگین درجاده ها شیارافتادگی در سطح بی رویه های آسفالتی به عنوان یکی از مهمترین خرابی ها بالاحص در مناطق گرمسیر مورد توجه قرار گرفته است تغییر شکلهای دائم ماندگار و یا به عبارت دیگر شیارشدگی فرورفتگی های طولی هستند که در مسیر عبور چرخ وسایل نقلیه ایجاد میشوند براساس تحقیقات انجام شده پدیده شیارشدگی به عنوان جدیدترین مکانیزم خرابی در روسازی های انعطاف پذیر شناخته شده است این خرابی ضمن تحمیل هزینه های سنگین مرمت و بهسازی سبب بروز مشکلات شدیدی می باشد برای استفاده کنندگان آزاره شده و از این طریق خسارتهای زیادی را وارد می آورد لذا بررسی جامع این رخداد امری ضروری است عوامل متعددی نظیر درصد قیر درصد فضای خالی آسفالت دانه بندی جنس و نوع مصالح سنگی روش طرح اختلاط و غیره بر میزان و شدت شیارشدگی تاثیر گذارند هر یک از این پارامترها به نوبه خود و بسته به اینکه عامل درونی و یا بیرونی و تاثیرات بیشتر در پدیده شیارشدگی مورد مطالعه قرار گرفته اند که به تاثیر بیشتر عوامل درونی که به ساختار فیزیکی آسفالت مرتبط می باشد پی می بریم، همانطور که ملاحظه شد تحقیق ارائه شده هم راستا با تحقیق حاضر می باشد.

در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی دیگر با عنوان مدل سازی عددی روسازی انعطاف پذیر ژئوت لاستیکی تقویت شده و اعتبار سنجی مربوطه با استفاده از تست مخزن در مقیاس بزرگ بیان نمودند که: این مطالعه با هدف ایجاد یک مدل عنصر محدود برای شبیه سازی ساخت و ساز روسازی انعطاف پذیر ژئوگرید با توجه به اثر محصور جانبی لایه ژئوگرید، تعامل بین ژئوشهر و خاک / خاک و عدم تقارن غیرخطی غیر متقارن ناحیه تقویت شده ژئوگرید مواد گرانول انجام پذیرفت. ابتدا یک مدل تحلیلی برای اندازه گیری اثر محوطه جانبی لایه ژئوگرید بر روی مدول انعطاف پذیر UGM مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج آزمایش های سه گانه آزمایشگاهی، مدل تحلیلی توسعه یافته به درستی پیش بینی کرد که مدول انعطاف پذیر UGM تقویت شده با ژئوگرید باشد. دوم، مدل عنصر interface گودمن برای توصیف رفتار تماس با رابط / geogrid-aggregate soil استفاده شد. به منظور شبیه سازی رفتار غیرخطی UGM تقویت شده با ژئوگرید، یک فرآیند تعریف شده توسط کاربر با استفاده از رویکرد مدول سادگی برنامه ریزی شد. دقت UMAT توسعه یافته با مقایسه نتایج شبیه سازی عددی با راه حل های تحلیلی در آزمون سه گانه مجازی تأیید شد. در این مطالعه دو جفت مدل پیاده رو تقویت شده و بدون تقویت ژئوگرید مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که تقویت ژئوگرید در کاهش آسیب های چرخشی از مسیر پایه و پایه موثر است، اما می تواند عمر خستگی پیاده رو انعطاف پذیر را به طور قابل توجهی گسترش ندهد. ژئوگرید تقویت شده در وسط مسیر پایه بهتر است در کاهش آسیب چرخش از دوره پایه از آنچه که در رابط پایه / زیر پوسته قرار گرفته است، بهتر است. با این حال، تقویت ژئوروشه در کاهش آسیب ناشی از زلزله زمانی که در انتهای مسیر پایه قرار دارد، بسیار موثر است. برنامه تست جامع در مقیاس بزرگ برای ثبت راندمان انتقالی مربوط به روسازی، از جمله انحراف سطح، کشش کششی در پایین بتن آسفالت و تنش های عمودی در دوره پایه و پایه طراحی شده بود. مدل های عنصر محدودی تقویت شده و غیرقابل تقویت ژئوگرید توسعه یافته توسط مقایسه پیش بینی های مدل با آن اندازه گیری ها از آزمون LST مورد تایید قرار گرفت، در این تحقیق نیز متوجه شدیم که تحقیق انجام شده از نظر روند کار مشابه با تحقیق حاضر است.

در تحقیقی دیگر با عنوان یک نظرسنجی در باند های جایگزین برای روسازی انعطاف پذیر بیان نمودند که: قیر مواد ویسکوالاستیکی، رئولوژیکی و غیر مغناطیسی تشکیل شده از هیدروکربن های سنگین با ثابت دی الکتریک کم (ϵ') است. این یک محصول جانبی پالایشگاه روغن نفت است. اگر چه آن را به عنوان یک اتصال دهنده برای پیاده رو انعطاف پذیر در سراسر جهان استفاده می شود، آن را به اثرات شدید زیست محیطی. قیر در دمای اتاق غیر خطرناک است، اما وقتی که در دمای ۱۶۵-۲۰۰ درجه سانتیگراد گرم می شود، سمی می شود. نتیجه گیری، از جمله تخریب محیط زیست، تخریب ذخایر نفتی و افزایش قیمت نفت، محققین را به بررسی منابع جایگزینی برای دستیابی به وسایل نقلیه برای پیاده رو پرداختند. این مقاله یک مرور کلی از مواد احتمالی را ارائه می دهد که می تواند به عنوان یک جایگزین جایگزین استفاده شود. مواد حاصل از منابع مبتنی بر زیستی، مانند روغن زیستی، پلیمر، پلاستیک، لاستیک و روغن زیتون پخت و پز و بازیافت شده از مواد زائد، وعده داده شده و مورد بحث قرار گرفته است. تحقیقات بیشتری برای جایگزینی رقیق قیر در مقیاس صنعتی ضروری است و یک منبع پایدار اتصال دهنده برای پیاده رو انعطاف پذیر باشد، این تحقیق نیز با تحقیق حاضر روندی مشابه دارد و در نهایت به نتیجه گیری پرداخته اند.

پیشنهادهات:

نتایج حاصل از هر پژوهشی به امید ادامه یافتن راه تحقیق و پژوهش در خصوص آن موضوع و بهره برداری از نتایج آن به جامعه پژوهشگران و مسئولین ذی صلاح آن موضوع ارائه می گردد. از این رو ارائه هر نوع پیشنهادی در این گزارشات می تواند راه را برای مطالعات بعدی و نیز تصمیم گیری های اجرایی در آن خصوص هموار سازد. در این پژوهش نیز پیشنهادهاتی در قالب پیشنهادهات پژوهشی جهت کارهای مطالعاتی بعدی برای تصمیم گیری های اجرایی و توجه مسئولین ذی ربط به آن حوزه ارائه شده است. پیشنهاد می شود در مطالعات آتی موضوعات زیر نیز پرداخته شود:

- با توجه به اهمیت بحث روسازی استفاده از سایر متریکال ها پیشنهاد می شود.
- استفاده از قیرهای متفاوت در شرایط آب و هوایی متفاوت به عنوان تحقیق پیشنهاد می شود.
- پیشنهاد می شود استفاده از قیر محلول به عنوان قیر پایه ارزیابی و مورد تحقیق واقع گردد.

فهرست منابع

- ۱- کاووسی، مقدس نژاد، ف، بامداد، آ، ۱۳۳۱، ارایه مدل پیش بینی عدد ساز های موثر روسازی (SNeff) در سطح شبکه با استفاده از پارامترهای کاسه انحناء افت و خیز دستگاه FWD، پژوهشنامه حمل و نقل.
- ۲- غنی زاده، علیرضا، (۱۳۹۳)، تحلیل روسازی های انعطاف پذیر با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، ششمین همایش ملی قیر و آسفالت ایران.
- 3- Zhang, R., Zhang, Z., Zhang, H., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Influence of emulsifier type on gastrointestinal fate of oil-in-water emulsions containing anionic dietary fiber (pectin). Food Hydrocolloids, 45, 175-185.
- ۴- بهروزی خواه، ع، ۱۳۳۳، بررسی تأثیر افزودنی های آسفالت نیمه گرم و پودر لاستیک بر خستگی نمونه های آسفالت بازآفتی، تهران، دانشگاه تهران.
- 5- Ronald, M., & Luis, F. P. (2016). Asphalt emulsions formulation: state-of-the-art and dependency of formulation on emulsions properties. Construction and Building Materials, 123, 162-173.
- 6- Das, B. J., Hazarika, A., Pathak, B. C., Borah, K., Hussain, S., & Deka, D. (2017). Suitability of Bamboo as a Reinforcing Material in Flexible Pavement Design. International Journal of Geological and Geotechnical Engineering, 2(1), 47-69.
- ۷- زبیری، حسن، منیری، علی، میرزابابایی، پیمان، (۱۳۹۵)، مقایسه فنی و اقتصادی روسازی مرکب با روسازی انعطاف پذیر رایج در ایران (مطالعه موردی آزاد راه قزوین- زنجان). پژوهشنامه حمل و نقل. ۲۱۷.

۸- افتخاری، حمیدرضا، یازرلو، سحر، (۱۳۹۴)، کاربرد قیر امولسیون‌ی در پروژه های راهسازی. سومین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری

9- Von Quintus, H., Mallela, J., & Buncher, M. (2007). Quantification of effect of polymer-modified asphalt on flexible pavement performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2001), 141-154.

10- Prasad, D. S. V., & Kumar, M. A. (2009). Utilization of industrial waste in flexible pavement construction.

۱۱- اکرامی، علی اکبر؛ ۱۳۹۰، کتاب خواص مکانیکی مواد جلد ۱، انتشارات دانشگاه شری. خطیبی طالقانی، مروری بر خواص و کارکرد های رویاه باتن در ایران، چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران. RCCP فشرده غلطکی

12- Behnood, A., Gharehveran, M. M., Asl, F. G., & Ameri, M. (2015). Effects of copper slag and recycled concrete aggregate on the properties of CIR mixes with bitumen emulsion, rice husk ash, Portland cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 96, 172-180.

13- HAO, P. W., CHENG, L., & LIN, L. (2003). Pavement performance of semi-flexible pavement in laboratory [J]. *Journal of Xi'an Highway University*, 2, 000.

14- Kwon, J., Tutumluer, E., & Konietzky, H. (2008). Aggregate base residual stresses affecting geogrid reinforced flexible pavement response. *International Journal of Pavement Engineering*, 9(4), 275-285.

15- Ronald, M., & Luis, F. P. (2016). Asphalt emulsions formulation: state-of-the-art and dependency of formulation on emulsions properties. *Construction and Building Materials*, 123, 162-173.

16- Labi, S., & Sinha, K. C. (2005). Life-cycle evaluation of flexible pavement preventive maintenance. *Journal of Transportation Engineering*, 131(10), 744-751.

17- Das, B. J., Hazarika, A., Pathak, B. C., Borah, K., Hussain, S., & Deka, D. (2017). Suitability of Bamboo as a Reinforcing Material in Flexible Pavement Design. *International Journal of Geological and Geotechnical Engineering*, 2(1), 47-69.