

تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت

ماستیکی درشت دانه

سپهرساعدی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پلی تکنیک کارادینیز، ترکیه

گلنار صادقیان اصل، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه تبریز، ایران

سیدحسین یثربی، استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ایران

E-mail: saedi.sepehr@gmail.com

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۱

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹

چکیده

در این تحقیق به نقش توأم مواد افزودنی استایرن بوتادین استایرن (SBS) و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد مخلوط آسفالت ماستیکی درشت دانه (SMA) در مقابله با پدیده شیارشدگی و ممانعت از ریزش قیر پرداخته شده است. استفاده از SMA می‌تواند نقش بسزایی در مقابله با تغییر شکل های ماندگار و پلاستیک ناشی از شیارشدگی داشته باشد. در جهت نیل به اهداف مورد نظر و انجام مراحل آزمایشهای، ۸ عدد نمونه مارشال و ۸ عدد نمونه به شکل اسلب در ϵ تیپ تهیه گردید. به منظور تعیین درصد قیر بهینه از روش طراحی مارشال استفاده شده و مواد افزودنی با انجام مطالعات در منابع، ۵ درصد وزنی قیر، SBS و ۰/۶ درصد وزنی مخلوط الیاف پروپلاست انتخاب، هر یک به تنهایی و بصورت توأم به SMA افزوده و بر روی مخلوط های حاصله آزمایشات نسبت استقامت مارشال به روانی، فرو ریزش قیر از مخلوط و آزمایش تعیین درصد شیارشدگی به روش فرانسوی انجام گردید. براساس نتایج آزمایشات نمونه های حاوی SBS به تنهایی و (SBS و الیاف) بشکل توأم، دارای استقامت بهتری نسبت به نمونه های فاقد افزودنی می باشند که این افزایش در حدود ۱۰ درصد بوده و همچنین نمونه های حاوی (SBS و الیاف) کمترین درصد شیارشدگی را به خود اختصاص دادند. در حالیکه نمونه های فاقد مواد افزودنی بیشترین درصد شیارشدگی را در بین نمونه ها از خود نشان دادند. با توجه به نتایج آزمایشات، به کار بردن توأم SBS و الیاف منجر به کاهش درصد شیارشدگی تا حدود نصف در مقایسه با نمونه های فاقد افزودنی می گردد. نهایتاً براساس نتایج حاصل از این پژوهش می توان بیان نمود، بکارگیری توأم SBS و الیاف پروپلاست در SMA می تواند علاوه بر بهبود ویژگی های مکانیکی این نوع آسفالت، نقش چشمگیری در مقابله با پدیده شیارشدگی ایفا نموده و گزینه مناسبی برای مناطق گرم دارای ترافیک سنگین بار محسوب گردد.

واژه های کلیدی: آسفالت ماستیکی درشت دانه، اس.بی.اس، الیاف پروپلاست، شیارشدگی

۱. مقدمه

با زمستان‌های سخت و برای ممانعت از سایش ناشی از لاستیک‌های یخ‌شکن و شیارشدگی بود. در سال ۱۹۷۵ استفاده از لاستیک‌های یخ‌شکن در خارج از کشورهای اسکاندیناوی ممنوع گردید و به این ترتیب استفاده از آسفالت‌های ماستیکی در کشور آلمان برای مدت کوتاهی قطع شد. اما با افزایش تعداد و وزن محورهای عبور، عارضه شیارشدگی به صورت یک معضل جدی خودنمایی نمود. آلمانی‌ها متوجه شدند که مخلوط‌های آسفالتی ماستیکی نسبت به سایر انواع مخلوط‌ها، بسیار کمتر دچار تغییر شکل‌های فوق‌الذکر می‌شوند و به همین سبب مجدداً شروع به استفاده از مخلوط‌های ماستیکی نمودند

[Bituminous mix tests, roads R & D department of Turkey, 2013].

SMA ها یکی از مقاوم‌ترین انواع مخلوط‌های آسفالتی شناخته شده تاکنون هستند که فرآیند انتقال و تنزیل بار در آنها از طریق تماس مستقیم سنگ بر روی سنگ صورت می‌گیرد [Baba Goli, 2016].

طی سالهای گذشته مطالعات زیادی در زمینه استفاده از مواد افزودنی در مخلوط‌های آسفالت ماستیکی درشت دانه صورت گرفته است. استایرن بوتادین استایرن (SBS)^۲ از جمله موادی است که مطالعات فراوانی در مورد آن انجام شده و نقش بسیار مهمی در بهبود خواص مختلف و رئولوژی قیر دارد [Liu, 2014].

همچنین مخلوط‌های آسفالتی حاوی SBS در مقابل با رطوبت نیز نتایج خوبی از خود نشان داده اند [Singh, 2013]. استفاده از SBS نقش بسیار موثری در بهبود خواص قیر دارد و مخلوط‌های آسفالتی گرم تهیه شده با استفاده از این نوع قیرها، دارای خواص مقاومتی مناسبی در برابر شیارشدگی هستند که در برخی موارد ترکیب SBS و سولفور نتایج بسیار بهتری از خود نشان داده است [Chen, 2006]. همچنین، SBS می‌تواند نقش مهمی در بهبود خواص ویسکوالاستیک قیر از خود نشان دهد [Vlachovicova, 2007].

جونز و همکارانش طی مطالعه ای به منظور بهبود خواص مقاومتی SMA در مقابل شیارشدگی، به مخلوط حاوی ۷۰ الی ۸۰ درصد سنگدانه درشت، ۶ الی ۷ درصد وزنی، قیر و مقدار کمی مصالح سنگدانه ریز و الیاف، اضافه نمودند. براساس نتایج به دست آمده،

افزایش ترافیک سنگین و بarmحوری و به تبع آن شروع اضمحلال راهها زودتر از اتمام دوره خدمت‌رسانی آنها محققان را برآن می‌دارد که به فکر بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی باشند. از جمله خرابی‌های ناشی از ترافیک سنگین بارها، تغییرشکل‌های ماندگار می‌باشد که منجر به شیارشدگی می‌گردد. مخلوط‌های آسفالتی به دلیل رفتار ویسکوالاستیک خود می‌توانند تغییرشکل‌های کوچک ناشی از گرمای هوا و بار ترافیکی را تحمل کنند، اما این رفتار ویسکوز در دماهای بالا و بار ناشی از خودروهای سنگین توانایی ممانعت از ایجاد تغییرشکل‌های ماندگار را ندارد [Chemist, 2005]. با توجه به مطالب فوق ضروریست که مخلوط‌های آسفالتی علاوه بر مقاومت در برابر خرابیهای ناشی از افت دما، در برابر تغییرشکل‌های ماندگار ناشی از افزایش دما و بار محورها نیز تقویت گردند. خرابی ایجاد شده در سطح راه ناشی از شیارشدگی علاوه بر از بین بردن لذت و راحتی رانندگی در سطح جاده، ایمنی آن را نیز دچار مخاطره می‌کند. همچنین در روزهای بارانی در اثر جمع شدن آب در قسمت‌هایی از راه که دچار شیارشدگی شده است، سطح جاده به شدت لغزنده می‌گردد. مطالعه بر روی مخلوط‌های آسفالتی دارای استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (آسفالت ماستیکی درشت دانه) به صورت وسیع در اقصی نقاط جهان در حال انجام است. مخلوط‌های آسفالتی ماستیکی درشت دانه (SMA)^۱، در رده مخلوط‌های آسفالتی گرم قرار دارند که به منظور مقابله با پدیده شیارشدگی توسعه یافته‌اند. این نوع مخلوط حاوی مقادیر زیاد سنگدانه درشت بوده و مقدار کمی ریزدانه دارد و به اصطلاح دانه‌بندی آنها دارای یک گپ است [Mokhtari, 2012].

۲. مروری بر منابع

آسفالت درشت دانه ماستیکی (SMA) در سالهای انتهایی دهه ۱۹۶۰ در آلمان به منظور ممانعت از اثر خراشیدگی و فرسایشی ناشی از استفاده از لاستیک‌های یخ‌شکن بکار گرفته شد. هدف اولیه از تهیه این نوع مخلوط‌ها افزایش ایمنی رانندگی در نواحی

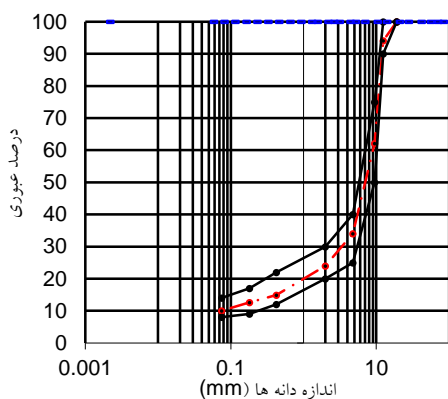
تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت دانه

در تحقیق حاضر با هدف کاهش پتانسیل فرو ریزش قیر، که از مشکلات اساسی حمل و پخش SMA هاست، و همچنین افزایش هرچه بیشتر توان این نوع مخلوطها در برابر شیارشدگی و تغییر شکل های ماندگار، از افزودنی های الیاف و پلیمرها که هر یک به تنهایی نقش مفیدی در موارد ذکر شده داشته اند، به صورت توأم استفاده شده است.

تحقیق حاضر با اهداف بهبود هرچه بیشتر مقاومت مخلوطهای SMA در مقابل شیار شدگی، افزایش کارآیی و اثر تثبیت کنندگی به دلیل ایجاد شبکه سه بعدی متراکم و به تبع آن ممانعت از ریزش قیر در مراحل حمل و پخش و در نهایت کاهش هزینه های نگهداری است.

۳. مواد و مصالح

مصالح مورد استفاده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سنگدانه، الیاف پروپلاست و قیر حاوی SBS هستند. سنگدانه های مورد استفاده در این مطالعه آزمایشگاهی از جنس سیلیکات سیلیم بوده که از معادن اطراف شهرستان مرند واقع در ۷۰ کیلومتری شهر تبریز تهیه شده است. آزمایش دانه بندی بر روی مصالح طبق [ASTM C136] انجام گردید که منحنی دانه بندی حاصل از این آزمایش به همراه حدود دانه بندی بالا و پایین تعیین شده در آیین نامه روسازی ایران در شکل ۱ ارائه گردیده است. سپس آزمایشات مکانیکی بر روی سنگدانه ها انجام گردید که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده

ترکیب حاصل مقاومت بهتری در برابر شیارشدگی از خود نشان داد [Jones, 1997]. SMA ها مقاومت خوبی در برابر تغییرشکلهای ماندگار و شیارشدگی دارند [Goutham, 2016]. در تحقیقی دیگر به منظور کاهش میزان شیارشدگی در SMA، از آهک به عنوان فیلر استفاده شده است. نتایج حاصل نشانگر این است که استفاده از آهک علاوه بر تأثیر عمده در کاهش عارضه شیارشدگی، سایرخواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط را نیز بهبود می بخشد [Jonc, 2004].

استفاده از پلی پروپیلن تأثیر خوبی در بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و افزایش مقاومت مخلوط آسفالت گرم در مقابل شیارشدگی دارد [Serkan, 2013]. عملکرد آسفالت درشت دانه ماستیکی در مقابله با ترک های حرارتی و خستگی ایجاد شده از بالا به پایین و پایین به بالا بهتر از مخلوط آسفالتی گرم (HMA) بوده و طول عمر بیشتری دارد [Shenghua, 2017].

افزایش الیاف پروپیلن و الیاف شیشه ای بصورت همزمان به آسفالت گرم منجر به بهبود استقامت مارشال و کاهش روانی مخلوط گردیده و به تبع آن مانع از تغییر شکل های ماندگار شده و مقاومت مخلوط را در مقابل شیارشدگی افزایش می دهند [Abtahi, 2013]. همچنین نتایج مطالعات اخیر نشان می دهد که میزان ترک های بوجود آمده در آسفالت های درشت دانه ماستیکی کمتر از آسفالت های گرم معمول است [Ratnasamy 2014]. متناسب با افزایش دما، افزایش مقادیر الیاف نیز باعث بهبود خواص مکانیکی آسفالت درشت دانه ماستیکی می گردد [Lavasani, 2015]. استفاده از SBS می تواند سبب بهبود رفتار آسفالت درشت دانه ماستیکی در مقابل رطوبت گردیده و میزان حساسیت آنها در مقابل رطوبت را کاهش دهد [Manosalvas, 2016]. با توجه به اسکلت دانه بندی، SMA های اصلاح شده دارای پتانسیل بازیافتی خوبی هستند که این ویژگی را می توان یکی از امتیازات مهم این نوع آسفالت محسوب نمود [William, 2015].

استفاده از الیاف سلولزی همچون پلی پروپیلن، اکریلیک و ویسکوز نقش مهمی در ممانعت از ریزش قیر از مخلوطهای ماستیک سنگدانه ای دارند [Mohammadzade, 2011].

جدول ۱. نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی مصالح مصرفی



شکل ۲. الیاف پروپلاست

جدول ۳. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی الیاف پروپلاست

ویژگی	نتایج
مقدار سلولز	٪۶۶
دمای اشتعال	۵۰۰°C
محدوده انفجار	ندارد
عبوری از الک ۳/۵۵ میلی متر	٪۵

آزمایش	روش آزمایش	واحد	مقادیر
وزن مخصوص درشت دانه (gr/cm ³)	ASTM C-127-15	gr/cm ³	۲/۷۸۰
وزن مخصوص ریزدانه (gr/cm ³)	ASTM C-128-15	gr/cm ³	۲/۷۱۵
وزن مخصوص فیلر (gr/cm ³)	ASTM C-128-15	gr/cm ³	۲/۷۳۵
سایش لس آنجلس	ASTM C-131	درصد	۲۷
درصد جذب آب	ASTM C-127-15	درصد	۱/۹
درصد پولکی	ASTM D-4791	درصد	۹/۷

در این مطالعه از قیر اصلاح شده حاوی ۵ درصد SBS تولیدی شرکت نفت پاسارگاد با درجه نفوذ ۷۰-۶۰ استفاده شده که نتایج آزمایشات انجام گردیده بر روی قیر اصلاح شده به شرح جدول ۲ است.

جدول ۲. آزمایشات انجام گردیده بر روی قیر و نتایج آنها

آزمایش	روش آزمایش	واحد	مقادیر
خاصیت انگمی	ASTM D-113	cm	۱۰۰
نقطه نرمی	ASTM D-36	°C	۵۴
درجه نفوذ	ASTM D-5	mm/10	۶۶
دمای اشتعال	ASTM D-92	°C	۲۴۰
وزن مخصوص	ASTM D-70	gr/cm ³	۱/۰۳

۴. آزمایشها

به منظور تعیین ویژگی ها و مقایسه آنها چهار طرح مخلوط آسفالت ماستیکی به شرح جدول ۴ تهیه گردید و بر روی آنها آزمایشهای استقامت مارشال، روانی، ریزش قیر از آسفالت و افت ناشی از شیارشدگی انجام گردید. با مطالعه در ادبیات فنی مرتبط با موضوع از جمله [Jones, 1997]، [Mokhtari, 2012] و پیشنهاد شرکت تولیدی الیاف مورد استفاده، قیر حاوی ۵ درصد SBS و ۰/۶ درصد وزنی مخلوط الیاف جهت انجام مراحل مطالعات انتخاب گردید.

الیاف پروپلاست مورد استفاده در این مطالعه که در شکل ۲ نشان داده شده، از نوع ویاتوپ ۶۶ ساخت کشور آلمان و از نوع الیاف سلولزی می باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این الیاف در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است.

تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت دانه

۱- طرح اختلاط و مقدار مصرف مصالح درشت دانه و ریزدانه با توجه به دانه بندی و محدودیت های آیین نامه ای به شرح جدول ۵ تعیین گردید.

جدول ۵. درصد وزنی مصالح سنگدانه ای مصرفی در مخلوط

مقدار	نوع مصالح
۶۸	درصد وزنی سنگدانه درشت (مانده روی الک نمره ۴)
۲۲	درصد وزنی سنگدانه ریز (رد شده از الک ۴ مانده روی الک ۲۰۰)
۱۰	درصد وزنی فیلر

۲- نمونه های مارشال با افزایش درصد قیر تهیه و متراکم شده و محدودیت های آیین نامه ای در این خصوص اعمال گردیدند.
 ۳- در مورد نمونه های حاضر گردیده، مقاومت مارشال، روانی و حجم فضا های خالی سنگی (VMA)^۳ و درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA)^۴ محاسبه و نمودارهای مربوط به هر کدام از نمونه ها ترسیم گردید.

۴- میزان بهینه درصد قیر براساس نتایج به دست آمده از تحلیل گراف های حاصل از آزمایشات تعیین گردید.
 محدودیت های آیین نامه ای طراحی مخلوط آسفالت درشت دانه ماستیکی به شرح جدول ۶ می باشد

[Technical Regulations for roads of Turkey, 2013]

جدول ۶. محدودیت های آیین نامه ای مخلوط آسفالت درشت دانه ماستیکی

ویژگی	محدودیت آیین نامه
تعداد ضربات برای تراکم نمونه	۵۰
درصد فضای خالی	۴ - ۲
حداقل درصد فضا های خالی غیر سنگی	۱۷
حداکثر درصد شیارشدگی (آیین نامه فرانسه)	۶
حداکثر درصد ریزش قیر به روش شلنبرگر	۰/۳

جدول ۴. تعداد، نوع و فراوانی نمونه های تهیه شده

نوع مخلوط	فاقد افزودنی	حاوی ۰/۶٪ الیاف	حاوی ۰/۵٪ بی الیاف	حاوی ۰/۵٪ اس
تعداد نمونه	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
طرح اختلاط	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
تعداد نمونه مارشال	۳	۳	۳	۳
تعداد نمونه شیارشدگی (اسلب)	۲	۲	۲	۲

۱-۴ تهیه مخلوط، ساخت نمونه ها و محاسبات انجام شده

به روش طراحی مارشال

در آزمایشات و محاسبات انجام شده در طراحی مخلوط آسفالت درشت دانه ماستیکی، می توان از روش طراحی مارشال که در خصوص طراحی مخلوط های آسفالتی گرم نیز بکار می رود، استفاده نمود.

نحوه انجام این آزمایشها در [ASTM D6927] بطور مفصل ارائه شده است. براساس استانداردهای ارائه شده در تهیه مخلوط SMA می بایستی میزان انرژی تراکم کاهش داده شود. به طوری که برای متراکم نمودن، نمونه های مخلوط آسفالتی گرم معمول به ترتیب ۷۵ ضربه چکش مارشال به بالا و ۷۵ ضربه به پایین نمونه می زنند حال آنکه برای متراکم نمودن، SMA ها از ۵۰ ضربه چکش مارشال به ترتیب ذکر شده در بالا استفاده می شود [Technical Regulations for roads of Turkey, 2013]

آزمایش مارشال بر روی نمونه های حاوی سنگدانه های حداکثر تا قطر ۲۵ میلیمتر انجام می گیرد. به منظور تعیین درصد قیر بهینه مراحل زیر طی گردید

[IR, Technical Pavement Regulations, 2010]

است. مطابق این روش بشر ۱۰۰۰ میلی لیتر را در حالت خالی با ترازوی دقت ۰/۰۱ گرم توزین، سپس ۱۰۰۰ گرم آسفالت درشت دانه تهیه شده در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد را درون آن ریخته و توزین نموده، درب بشر حاوی آسفالت را پوشانده و به مدت یک ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد داخل آون قرار می دهیم. در نهایت بشر را تخلیه نموده و بشر حاوی ذرات قیر چسبیده به دیواره آن توزین می گردد. مقدار ریزش قیر بر حسب درصد و با محاسبه اختلاف اوزان بشر همراه با قیر چسبیده به دیواره آن و بشر خالی تعیین می شود. بر اساس آیین نامه مقدار ریزش قیر از نمونه ها حداکثر ۰/۳ درصد می باشد. شکل 4 تصویر آزمایش تعیین میزان ریزش قیر به روش شلنبرگر را نشان می دهد.

[Cubuk, 2004]

تصویر نمونه‌های حاضر گردیده در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. نمونه های تهیه شده



شکل ۴. آزمایش ریزش قیر به روش شلنبرگر

۲-۴ نسبت مقاومت مارشال به روانی

نسبت استقامت مارشال به روانی بیانگر صلیبت و مقاومت آسفالت در برابر تغییر شکل می‌باشد. هرچه میزان این نسبت افزایش یابد مخلوط صلب تر و مقاومت آن در برابر تغییر شکل‌ها بیشتر خواهد بود. به منظور تعیین این نسبت، نمونه‌ها در داخل دستگاه جک مارشال قرار داده شده و تحت فشار قرار می‌گیرند. مقادیر استقامت مارشال و روانی آنها به ترتیب به کیلوگرم و میلی متر تعیین می‌گردد [Little, 1994].

۴-۴ آزمایش شیارشدگی

به منظور انجام آزمایش شیارشدگی به روش فرانسوی مخلوط حاوی درصد قیر بهینه هرکدام از طرح اختلاط‌ها را تهیه و در داخل قالب‌های اسلبی شکل دستگاه متراکم کننده غلتکی قرارداده نمونه‌هایی به طول ۵۰۰ میلی‌متر و عرض ۱۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر آماده گردید، ۱۲ ساعت قبل از شروع آزمایش دمای نمونه‌ها را به ۶۰ درجه سانتیگراد رسانده، دستگاه ال سی پی سی (LCPC) به نحوی تنظیم شد تا هر چرخ نیروی معادل ۵۰۰۰ نیوتن به نمونه‌ها اعمال نماید. میزان فشار باد لاستیک‌های دستگاه را بر روی ۵/۶ مگاپاسکال تنظیم نموده و نمونه‌های حاضر شده به میزان

۳-۴ آزمایشهای ریزش قیر از مخلوط‌های تهیه شده

با توجه به گپ دانه بندی آسفالت درشت دانه ماستیکی، پر واضح است که این آسفالت نسبت به آسفالت گرم عادی درصد قیر بیشتری خواهد داشت. در این نوع مخلوط، اسکلت سنگدانه‌های درشت، مقاومت مخلوط را در مقابل تغییرشکل‌های ماندگار تأمین نموده و از طرفی دیگر درصد بالای قیر، منجر به پایایی و دوام مخلوط می‌گردد. اینجاست که با توجه به فضای خالی زیاد موجود بین سنگدانه‌ها که با قیر پر شده است استفاده از افزودنی‌ها اهمیت ویژه ای پیدا می‌کند. روش شلنبرگر یک روش آلمانی به منظور تعیین میزان ریزش قیر مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه ماستیکی

تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت دانه

۵. نتایج و تحلیل نتایج

۵-۱ نتایج و محاسبات مربوط به روش مارشال

درصد قیر بهینه برای هر چهار طرح اختلاط مدنظر در این مطالعه تعیین و سایر ویژگی‌های نمونه‌های تهیه شده با درصد قیر بهینه محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج آزمایشها و محاسبات انجام یافته بر اساس روش مارشال بر روی مخلوط های تهیه شده

E+SBS	SBS	E	N	ویژگی/ نوع مخلوط
۶/۵۶	۶/۶۷	۶/۳۹	۶/۰۳	درصد قیر بهینه
۱۰۸۰	۱۱۰۰	۹۱۰	۹۷۵	استقامت مارشال (کیلوگرم)
۳/۵۷	۳/۵۱	۳/۵۵	۳/۶۵	درصد فضا های خالی
۳/۵۳	۳/۵۰	۳/۶۵	۳/۴۸	روانی (میلی متر)
۱۷/۶۹	۱۷/۷۲	۱۷/۴۹	۱۷/۱	VMA (درصد)
۷۴/۵	۷۷/۱	۸۲/۹	۸۰	VFA (درصد)

که در این جدول به ترتیب N نماد نمونه های فاقد هرگونه افزودنی، E نماد نمونه های حاوی الیاف سلولزی ویاتوپ ۶۶ به تنهایی، SBS نماد نمونه های حاوی پلیمر استایرن بوتادین استایرن به تنهایی و E+SBS نماد نمونه های حاوی الیاف سلولزی ویاتوپ ۶۶ به همراه پلیمر استایرن بوتادین استایرن هستند.

نمودار استقامت مارشال در شکل ۷ ارائه شده است. باتوجه به شکل مشاهده می‌گردد نمونه‌های حاوی SBS به تنهایی بیشترین میزان استقامت مارشال را از خود نشان می‌دهد و نمونه‌های حاوی الیاف به تنهایی کمترین میزان استقامت را دارند.

نتایج تحقیقات مانوسالوا وهمکاران در این زمینه نشان می‌دهد افزودن SBS به SMA منجر به بهبود استقامت مارشال مخلوط می‌گردد [Manosalvas, 2016]. همچنین نتایج مطالعات ورال

۹۸ درصد متراکم گردیدند. سپس اندازه‌گیری‌ها را در ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ دور انجام و در نهایت مقدار نشست ناشی از شیارشدگی با استفاده از رابطه زیر تعیین شد.

$$Y=A\left[\frac{N}{1000}\right]^B \quad (1)$$

که در آن

Y: میزان نشست ناشی از N دور

A: نسبت ناشی از ۱۰۰۰ دور

B: منحنی اصلاح در مختصات لگاریتمی

شایان ذکر است معمولاً شیارشدگی با عبور ۳۰۰۰۰ دور براساس استاندارد تعریف شده برای دستگاه توسط لابراتوار راه‌های فرانسه، مدنظر قرار می‌گیرد [Majidzadeh, 1969].

شکل ۵ دستگاه ال سی پی سی و شکل ۶ نمونه‌های اسلبی شکل را پس از انجام آزمون شیارشدگی بر روی آنها نشان می‌دهد.

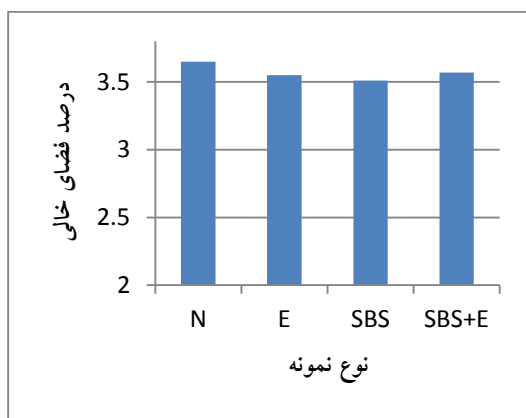


شکل ۵. دستگاه LCPC

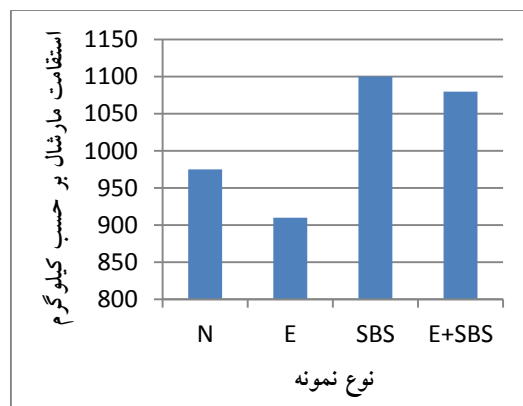


شکل ۶. نمونه های اسلبی شکل پس از آزمایش شیارشدگی

کوک و همکار نیز حکایت از افزایش استقامت مارشال مخلوط آسفالتی گرم حاوی SBS دارد [Vural Kok, 2009].



شکل ۹. درصد فضای خالی مخلوط های تهیه شده



شکل ۷. استقامت مارشال مخلوط ها بر حسب کیلوگرم

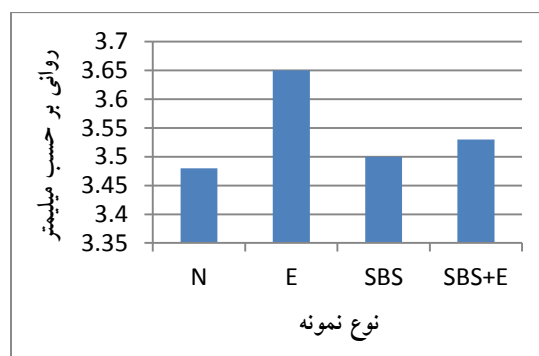
۲-۵ نتایج آزمایش نسبت استقامت مارشال به روانی

نسبت استقامت مارشال به روانی برای هر کدام از طرح اختلاط های تهیه شده، در شکل ۱۰ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان به وضوح دریافت نمونه‌های حاوی SBS به تنهایی و نمونه‌های حاوی SBS و الیاف بیشترین صلیبت و نمونه‌های حاوی الیاف به تنهایی کمترین میزان صلیبت را دارند.

میزان روانی به صورت نمودار در شکل ۸ ارائه گردیده است. با توجه به این نتایج می‌توان دریافت نمونه‌های حاوی الیاف بیشترین میزان روانی، در حدود ۳/۶۵ میلیمتر از خود نشان می‌دهند و نمونه‌های فاقد افزودنی با ۳/۴۸ میلیمتر حداقل میزان روانی را دارا هستند.



شکل ۱۰. نتایج آزمایش نسبت استقامت مارشال به روانی

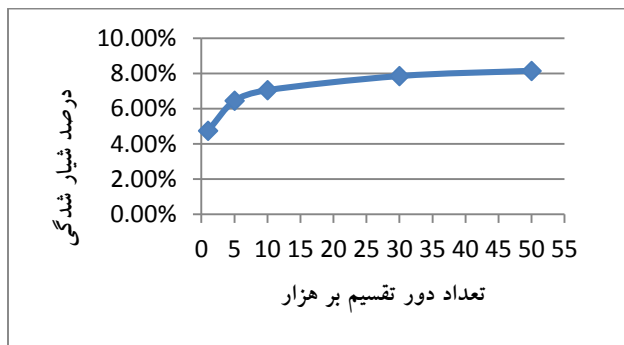


شکل ۸. میزان روانی مخلوط ها به میلیمتر

۳-۵ نتایج آزمایشهای ریزش قیر از مخلوط‌های تهیه شده نتایج آزمایش ریزش قیر از آسفالت به روش شلنبرگر در جدول شماره ۸ ارائه شده است. همانطور که از جدول برمی‌آید نمونه‌های فاقد افزودنی، بیشترین میزان ریزش قیر را نشان می‌دهند، در حالی که نمونه‌های حاوی SBS و الیاف توأم و پس از آنها

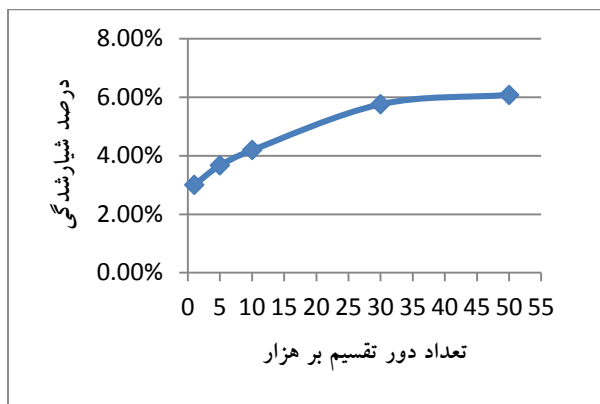
نمودار درصد فضاهای خالی در شکل ۹ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد نمونه‌های فاقد هر نوع افزودنی دارای حداکثر میزان درصد فضاهای خالی حدود ۳/۶۵ درصد و نمونه‌های حاوی SBS کمترین میزان درصد فضاهای خالی را با ۳/۳۴ درصد به خود اختصاص داده‌اند.

تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت دانه



شکل ۱۱. منحنی درصد شیارشدگی در نمونه های فاقد افزودنی

همانطور که در منحنی شکل ۱۱ ملاحظه می‌گردد، نمونه‌های فاقد افزودنی با ۷/۸۵ درصد شیارشدگی در ۳۰۰۰۰ دور از حدود تعیین شده برای دستگاه ال سی پی سی توسط لابراتوار راههای کشور فرانسه عبور کرده و فاقد نتایج لازم هستند. شکل ۱۲ نتایج حاصل از آزمایش شیارشدگی بر روی نمونه‌های حاوی الیاف پروپلاست را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. منحنی درصد شیارشدگی در نمونه های حاوی الیاف

باتوجه به منحنی شکل ۱۲ ملاحظه می‌گردد نمونه حاوی الیاف به تنهایی با ۵/۷۶ درصد شیارشدگی در ۳۰۰۰۰ دور دارای شرایط بهتری بوده و میزان شیارشدگی در آنها کمتر از میزان تعیین شده در استاندارد مربوطه می‌باشد. شکل ۱۳ نتایج حاصل از آزمایش بر روی نمونه‌های حاوی SBS به تنهایی را نشان می‌دهد.

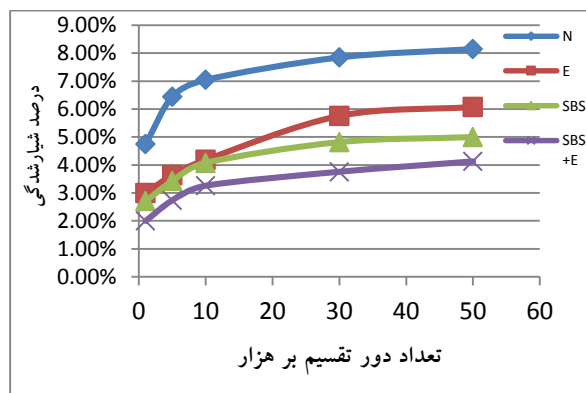
نمونه‌های حاوی الیاف به تنهایی به ترتیب کمترین مقدار ریزش را به خود اختصاص داده اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نمونه‌های فاقد افزودنی در این خصوص نتایج ناامیدکننده و برعکس آنها نمونه‌های حاوی SBS بعلاوه الیاف، نتایج امیدوار کننده‌ای را از خود نشان داده‌اند. بر اساس نتایج این آزمون می‌توان بیان نمود الیاف ویاتوپ تأثیر بسیار خوبی در ممانعت از ریزش قیر داشته و این عملکرد مناسب در نمونه های حاوی SBS بعلاوه الیاف مشهود تر است.

جدول ۸. نتایج آزمایش ریزش قیر از مخلوط ها به روش شلبرگر

درصد	نوع مخلوط SMA
ریزش قیر	
۰/۳۸	فاقد افزودنی
۰/۱۴	مخلوط حاوی ۰/۶ درصد الیاف ویاتوپ
۰/۲۸	مخلوط حاوی ۵ درصد SBS
۰/۱	مخلوط حاوی ۰/۶ درصد ویاتوپ و ۵ درصد SBS

۴-۵ نتایج آزمایشهای شیارشدگی ناشی از حرکت چرخ‌ها

آزمایش شیارشدگی بر روی ۸ نمونه اسلبی حاضر شده انجام گردید. قبل از شروع آزمایش به منظور احراز شرایط آزمایش، نمونه‌ها تحت تراکم اولیه با ۱۰۰۰ دور قرار گرفته و سپس دمای نمونه‌ها به ۶۰ درجه سانتیگراد رسانده، اندازه‌گیری‌ها در ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ دور انجام گردید. براساس استاندارد ارائه شده توسط لابراتوار راههای کشور فرانسه برای دستگاه ال سی پی سی، شیارشدگی ناشی از حرکت چرخ‌ها در ۳۰۰۰۰ دور، حداکثر ۶ درصد می‌تواند باشد. شکل ۱۱ نتایج حاصل از آزمایش فوق بر روی نمونه‌های فاقد هر نوع افزودنی را نشان می‌دهد.

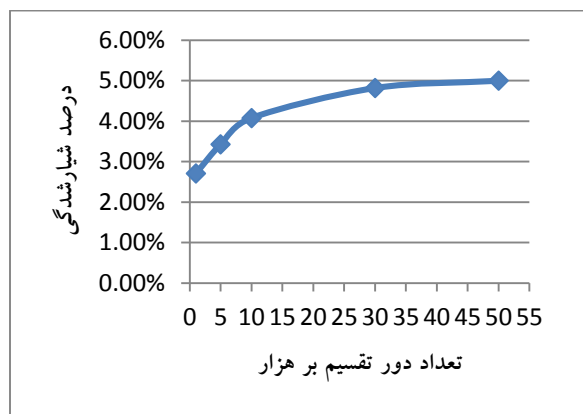


شکل ۱۵. منحنی مقایسه ای میزان درصد شیارشدگی در مخلوط های تهیه شده

با توجه به منحنی مقایسه ای درصد شیارشدگی به وضوح می توان دریافت که به کار بردن توام SBS و الیاف درصد شیارشدگی را تا حدود یک دوم در مقایسه با نمونه های فاقد افزودنی کاهش می دهد که این موضوع علی الخصوص در مناطق گرمسیر و دارای بار محور سنگین می تواند حائز اهمیت تلقی گردد.

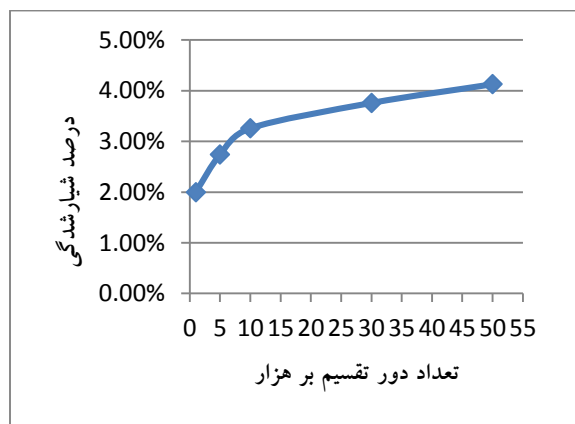
۶. نتیجه گیری و بحث

چنان که بیان گردید، هدف از این مطالعه افزایش عملکرد SMA ها در مقابل شیارشدگی، افزایش کارایی، ممانعت از ریزش قیر در مراحل ذخیره، حمل و پخش و به تبع آنها کاهش هزینه های نگهداری است. به این منظور از مواد افزودنی شیمیایی و الیاف سلولزی استفاده گردید. در جهت نیل به اهداف مورد نظر ۴ طرح متفاوت SMA تهیه، بر روی آنها آزمایشهای نسبت استقامت مارشال به روانی، فرو ریزش قیر از مخلوط و آزمایش تعیین میزان نشست ناشی از شیارشدگی انجام و نتایج زیر حاصل گردید. استفاده از SMA ها می تواند نقش بسزایی در مقابله با تغییر شکل های ماندگار و پلاستیک ناشی از شیارشدگی داشته باشند. نتایج حاصل از طراحی به روش مارشال و آزمایشهای استقامت مارشال نشان می دهند که میزان قیر بهینه برای نمونه های فاقد افزودنی ۶/۰۳ درصد، برای نمونه های حاوی الیاف ۶/۳۹ درصد، برای نمونه های حاوی SBS ۶/۶۷ درصد و نمونه های حاوی SBS بعلاوه الیاف ۶/۵۶ درصد می باشد براساس نتایج آزمایش استقامت مارشال نمونه های حاوی SBS به تنهایی با ۱۱۰۰ کیلوگرم



شکل ۱۳. منحنی درصد شیارشدگی در نمونه های حاوی الیاف SBS

باتوجه به منحنی شکل ۱۳ مشاهده می گردد میزان شیارشدگی در این نمونه ها ۴/۸۲ درصد در ۳۰۰۰۰ دور بوده که علاوه بر احراز شرایط استاندارد تعیین شده، کاهش خوبی در میزان شیارشدگی نمونه ها از خود نشان می دهند. شکل ۱۴ نتایج حاصل از آزمایش را بر روی نمونه حاوی SBS و الیاف نشان می دهد.



شکل ۱۴. منحنی درصد شیارشدگی در نمونه های حاوی اس بی و الیاف

با دقت در منحنی شکل ۱۴ می توان دریافت این نمونه ها با ۳/۸۱ درصد شیارشدگی در ۳۰۰۰۰ دور بهترین نتیجه را در بین نمونه های تهیه شده به خود اختصاص می دهند. شکل ۱۵ منحنی های مقایسه ای درصد شیارشدگی در مخلوط های تهیه شده را نشان می دهد.

تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و الیاف پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت دانه

-سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۹۵) "دستور العمل طراحی و اجرای مخلوط های آسفالتی درشت دانه" ضابطه شماره ۷۰۶، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، پژوهشکده حمل و نقل.

-باباگلی، رضوان (۱۳۹۵) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر پودر معدنی گلیسونات بر خصوصیات عملکردی مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای" فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره هشتم، شماره ۱، ص. ۱-۱۲.

-محمدزاده مقدم، ابوالفضل (۱۳۸۹) "بررسی تأثیر انواع الیاف تثبیت کننده بر خواص خستگی مخلوط های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هفتم، شماره ۳، ص. ۲۷۵-۲۸۹.

-Abtahil, S. M., Esfandiarpour, S., Kunt, M., Hejazi, S. M. and Ebrahimi, M.G. (2013) "Hybrid reinforcement of asphalt-concrete mixtures using glass and polypropylene fibers", Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol. 8, Issue 2, pp.25-35.

-ASTM D6927 (2006) "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures", USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM C136 (2001) "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM C131, M-14 (2003) "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine", USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM C127 - 04 (2004) "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate", USA: American Society for Testing and Materials.

بیشترین میزان استقامت و نمونه های حاوی SBS و الیاف توأم با ۱۰۸۰ کیلوگرم، بهترین نتایج را از خود نشان دادند. نمونه های حاوی الیاف به تنهایی با ۹۱۰ کیلوگرم، کمترین میزان استقامت را به خود اختصاص دادند همچنین نمونه های حاوی SBS و الیاف کمترین میزان فضا های خالی و نمونه های فاقد افزودنی بیشترین میزان فضا های خالی را دارند. براساس نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد شیارشدگی در ۳۰۰۰۰ دور، کمترین مقدار مربوط به نمونه های حاوی SBS بعلاوه الیاف پروپلاست به مقدار ۳/۷۶ درصد بوده و بیشترین مقدار با ۷/۸۵ درصد مربوط به نمونه های فاقد هرگونه افزودنی می باشد و بدین ترتیب افزودن توأم SBS و الیاف پروپلاست درصد شیارشدگی را نسبت به نمونه های فاقد افزودنی به نصف کاهش می دهد. در نهایت با در نظر گرفتن کلیه آیت های مطرح گردیده، نمونه های حاوی ۵ درصد وزنی قیر SBS و ۰/۶ درصد وزنی مخلوط بصورت توأم بهترین نتیجه را از لحاظ مقاومت در مقابل شیارشدگی از خود نشان داده و نتایج مقبول و خوبی را نیز در سایر آزمایشها کسب نموده اند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش می توان گفت افزودن توأم SBS و الیاف پروپلاست مطابق مقادیر مذکور به SMA ها منجر به بهبود ویژگی های مکانیکی این نوع آسفالت می گردد و می تواند نقش بسیار مفیدی در افزایش مقاومت آنها در مقابله با پدیده شیارشدگی و کاهش ریزش قیر این نوع مخلوط ها ایفا نماید.

۷. پی نوشت ها

- 1- Stone Mastic Asphalt
- 2- Styrene Butadiene Styrene
- 3- Voids in the Mineral Aggregate
- 4- Voids Filled with Asphalt

۸. مراجع

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۹۰) "آیین نامه روسازی راه ایران" نشریه شماره ۲۳۴، تجدید نظر اول، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، موسسه قیرو آسفالت ایران، پژوهشکده حمل و نقل.

Matrix Asphalt mixtures with polymer-modified bitumen and shredded waste plastics”, Journal of Road Materials and pavement Design vol. 17, Issue 4, pp.. 933-945.

-Jones, G. M. (1997) “The Effect of Hydrated Lime on Asphalt in Bituminous Pavements”, NLA Meeting, Utah DOT.

-Little, D. N. (1994) ”Laboratory testing asphalt mixture incorporating crushed river gravel stockpile treated with lime slurry”, prepared for Chemical Lime Corporation, TexasTransportation Institute.

- Liu, G. , Nielsen, E., Komacka, J., Greet, L., van de Ven, M. (2014) “Rheological and chemical evaluation on the ageing properties of SBS polymer modified bitumen: From the laboratory to the field”, Construction and Building Materials Vol. 51, pp. 244–248.

-Majidzadeh, K. and Stadler, R. R. (1969) “Effect of water on behavior of sand-asphalt mixtures under repeated loading”, Highway Research Rec. No. 273.

-Mokhtari, A. (2012) “Mechanistic approach for fiber and polymer modified SMA mixtures”, Construction and Building Materials, No. 36 , pp. 381–390.

- Manosalvas-Paredes, M. Gallego , J. Saiz, L. and Jose, M. (2016) “Rubber modified binders as an alternative to cellulose fiber – SBS polymers in stone matrix asphalt”, Construction and Building Materials, Volume 121, pp. 727–732.

- Lavasani, M., Latifi Namin , M. and Fartash, H. (2015) “Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels”, Construction and Building Materials, Volume 95, pp. 232–242.

-Ratnasamy, M., Nor Azurah, B., Salihudin, H. and Danial, M. (2014) “Laboratory fatigue evaluation of modified and unmodified asphalt

-ASTM D4791 (2005) “Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate”, USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D 113 - 99 (1999) “Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials”, USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D5 – 05a (2005) “Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials”, USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D92 – 05 (2002) “Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester ”, USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D36 – 95 (1995) “Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)”, USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D70 – 03, (2003) “Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)”. USA: American Society for Testing and Materials.

-ASTM D70 – 03 (2003) “Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)”. USA: American Society for Testing and Materials.

-Chemist, Ch. (2005) “Polymer-modified hot mix asphalt design”, Construction and Materials Illinois Department of Transportation.

-Çubuk, K. M. (2004) “Effects of diatomite on physical properties of asphalt cement and stability and modulus of elasticity of hot-mix bituminous laboratory specimens”, 3rd Europhalt & Eurobitume Congress Vienna , Paper 181.

-Goutham, S., Lekha, B.M., Krishna, G. and Ravi Shankar, A.U. (2016) “Comparison of Stone

- Vlachovicova, Z., Wekumbura, Ch., Stastna, J. and Zanzotto, L. (2007) “Creep characteristics of asphalt modified by radialstyrene–butadiene–styrene copolymer”, *Construction and Building Materials*, No. 21, pp. 567–577.
- Vural Kok, B. and Yilmaz, M. (2009) “The effect of using lime and styrene- butadiene-styrene on moisture sensivity resistance of hot mix asphalt”, *Construction and Building Materials*, No. 23, pp. 1999–2006
- Buttlar, William G. and Brain, C. (2017) “Performance space diagram for the evaluation of high- and low-temperature asphalt mixture performance” *Road Materials and Pavement Design*, Volume 18, pp. 336–358.
- binders in Stone Mastic Asphalt mixtures using a newly developed crack meander technique” , *International Journal of Fatigue*, Volume 59, pp. 1–8.
- Shenghua Wu, S. M. and Wen, H. (2017) “Evaluation of long-term performance of stone matrix asphalt in Washington State”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 31, Issue 1, pp. 741-748.
- Singh, M., Kumara, P. and Maurya, M. R. (2013) “Strength characteristics of SBS modified asphalt mixes with various aggregates”, *Construction and Building Materials* 41, pp. 815–823.
- Technical Regulations for Roads, Turkey (2013) pp. 314-408.

سپهرساعدی، گلنار صادقیان اصل، سیدحسین یثربی

سپهرساعدی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته های مهندسی عمران گرایش سازه های هیدرولیکی و مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک را در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ از دانشگاه تبریز اخذ نمود. هم اکنون در مقطع دکترای تخصصی مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری دانشگاه پلی تکنیک کارادیز کشور ترکیه مشغول تحصیل است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی انعطاف پذیر و صلب است.



گلنار صادقیان اصل، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک زیست محیطی در سال ۱۳۹۰ را از دانشگاه علم و صنعت تهران اخذ نمود. هم اکنون در مقطع دکترای تخصصی مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک دانشگاه تبریز مشغول تحصیل است زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی راه، ژئوتکنیک زیست محیطی تأثیر آلودگی های راه بر محیط زیست است.



سید حسین یثربی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۶۳ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازه در سال ۱۳۶۷ را از دانشگاه تبریز اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مصالح ساختمانی، ماشین آلات راهسازی و مدیریت پروژه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه مربی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است.

