

ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر پلیمر SBS بر پارامترهای مقاومتی آسفالت متخلخل

حمید بهبهانی^۱، جعفر رحمانی^۲، احسان صادقی^۳
۱- استاد دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- کارشناس آزمایشگاه پلاستیک، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

www.j-civi1982@yahoo.com

خلاصه

با توجه به افزایش روز افزون میزان آمد و شد وسائط نقلیه و تنوع شرایط آب و هوایی، قیرهای موجود قابلیت تأمین رفتارهای مطلوب مخلوطهای آسفالتی همانند انعطافپذیری، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر شیارشدگی و تغییر شکل-های دائمی را ندارد. لذا در سالیان اخیر استفاده از افزودنی‌ها از جمله پلیمر، جهت بهبود خواص قیر و در نتیجه بهبود رفتار مخلوطهای آسفالتی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است اصلاح خواص قیر با پلیمرها، باعث بالا بردن کیفیت مخلوطهای آسفالتی، طولانی‌تر شدن فواصل بین تعمیرات اساسی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی می‌شود. در این مقاله قیر ۶۰/۷۰ با پلیمر SBR و با مقادیر مختلف ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد ترکیب و اثر تغییرات مقدار پلیمر بر روی خصوصیات فنی قیر و همچنین خصوصیات مکانیکی مخلوط آسفالتی همانند مقاومت مارشال، روانی و مقاومت شیار افتادگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: آسفالت متخلخل - پلیمر SBR - استقامت مارشال - مقاومت شیار افتادگی.

مقدمه

پلیمر SBR (لاستیک استایرن - بوتادین) از کوپلیمریزاسیون استایرن و بوتادین تولید می‌شود. تست‌های انجام شده بر روی خصوصیات قیرهای اصلاح شده با این الاستومتر نشان می‌دهد که افزایش این پلیمر باعث کاهش درجه نفوذ، افزایش نرمی و شکل‌پذیری قیر می‌شود. وجود این الاستومتر، خاصیت الاستیکی قیر را در درجه حرارت‌های پایین بدون افزایش سختی، افزایش می‌دهد که این وضعیت در رابطه با رفتار خستگی مخلوط آسفالتی حائز اهمیت است. در یک تقسیم‌بندی انجام شده، SBR در خانواده‌ای از پلیمرها قرار می‌گیرد که در غلظت ۳ درصدی قادر به افزایش ۲۰ تا ۶۰ درصدی بازیابی کشسانی قیرها هستند. در تحقیقات انجام شده بر مخلوطهای آسفالتی دارای SBR، گزارش گردیده است که ترک‌های حاصله در اثر دمایی پایین، در این نوع آسفالت در مقایسه با آسفالت دارای قیر معمولی کمتر می‌باشد. همچنین این مخلوطهای آسفالتی، مقاومت بالایی در برابر ترک‌های انعکاسی خرابی و شیار افتادگی از خود نشان داده‌اند. مقایسه عملکرد این پلیمر با پلیمرهای EVA, SB در آزمون خستگی مشخص کرده است که مخلوطهای ساخته شده با SBR دارای مقاومت بیشتری می‌باشند. در این بررسی، مقدار دورهای لازم جهت تخریب نمونه‌ها تقریباً ۷۰۰۰ دور بوده است که پس از افزایش SBR این تعداد به ۳۰۰۰۰ دور افزایش یافته است [۱].

آسفالت متخلخل یک نوع مخلوط قیری با درصد ریزدانه کم و تخلخل بالای ۱۵ درصد است. این نوع آسفالت به جهت بافت متخلخل و پر حفره خود آب ناشی از بارندگی را به سرعت زهکشی کرده و مانع جمع شدگی آب در سطح جاده می‌شود و با ایجاد مقاومت بالا در برابر لغزندگی، ایمنی جاده را افزایش داده و از بروز تصادفات تا حد زیادی می‌کاهد [۲۳]. مخلوطهای متخلخل به جهت داشتن قابلیت زهکشی سریع آب، خواص اصطکاکی بالا، شرایط ایمنی، کاهش آلودگی صوتی، تأثیر بر ظرفیت راه و سرعت و همچنین مصرف سوخت دارای کاربرد وسیع در کشورهای اروپایی می‌باشد.

مشخصات مصالح سنگی و دانه‌بندی

در این پژوهش از مصالح سنگی شکسته رودخانه‌ای برای ساخت نمونه‌ها استفاده می‌شود. دانه‌بندی به کار رفته از نوع دانه‌بندی مطابق استاندارد FHWA می‌باشد. جدول (۱)

دانه‌بندی به کار رفته و جدول (۲) نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی (استاندارد FHWA)

اندازه الک	اینچ $\frac{1}{2}$	اینچ $\frac{3}{8}$	شماره ۴	شماره ۸	شماره ۲۰۰
درصد وزنی عبوری	۱۰۰	۹۵	۵۰	۱۴	۲

جدول ۲ خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی در طرح

نوع مصالح سنگی	وزن مخصوص	سایش لس آنجلس	درصد شکستگی مصالح		درصد افت وزنی سولفات سدیم
			یک جبهه	دو جبهه	
درشت دانه	۲/۵۹	۲۴/۵	۹۷	۸۸	۶/۲
ریزدانه	۲/۳۲	-	-	-	۱۰

اختلاط قیر و پلیمر

روش‌های بسیاری برای اختلاط پلیمر با قیر تعریف شده است که از آن میان می‌توان به استفاده از دستگاه‌های پودر کننده، میکسرهای برش بالا، پلاستیسایزر کردن پلیمرها، اکستروژن و امولسیون کاربرد مذاب اشاره کرد. در صنعت، روش اختلاط را متناسب با سایز پلیمر تعیین می‌کنند. اگر ذرات پلیمر به صورت پودر باشد از میکسرهای معمولی هم می‌توان برای اختلاط آن استفاده کرد ولی برای پلیمرهای به شکل گرانول باید از میکسرهای برش بالا با دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه استفاده نمود و دمای اختلاط قیر با پلیمر ۱۸۰-۲۰۰°C انتخاب می‌شود. همچنین به منظور ممانعت از اثرات تخریبی اکسیژن هوا بر روی پلیمرها، از مواد آنتی اکسیدان مقاوم در دمای بالا و یا از تزییق حباب‌های نیتروژن به سیستم اختلاط استفاده می‌شود [۴].

در این بررسی پلیمر SBR با درصدهای مختلف ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه تهران، با استفاده از میکسر برش بالا با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای اختلاط ۱۸۰°C مخلوط می‌شود. جدول (۳) مشخصات قیر پلیمری SBR حاصل از این اختلاط را به ازای درصدهای مختلف این پلیمر نشان می‌دهد.

جدول ۳ مشخصات فنی قیر پلیمری SBR با درصدهای مختلف پلیمر

درصد پلیمر مشخصه قیر	۰	۲	۳	۴	۵
درجه نفوذ $\frac{1}{10}$ (میلیمتر)	۶۳	۶۱	۵۱	۴۹	۴۸
نقطه نرمی (°C)	۴۹	۵۰	۵۴	۵۷	۶۷
شاخص PI ^۱	-۰/۹۲	-۰/۷۳	-۰/۱۶	۰/۳۵	۲/۱۸

طرح مخلوط آسفالتی

به منظور تعیین درصد قیر بهینه، نمونه‌های مارشال مطابق استاندارد ASTM D1559 - ساخته و آزمایش شد. مصالح سنگی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد در آون قرار گرفته و قیر تا دمای ۱۳۷°C گرم شده و پس از اختلاط با ۵۰ ضربه مارشال به هر طرف نمونه متراکم می‌شود. سپس پارامترهای استقامت مارشال، روانی، حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی و درصد فضای خالی مصالح سنگی با استناد به موارد مندرج در نشریه MS-2 محاسبه گردید. همچنین با توجه به نتایج آزمایش کانتابرو و فرونشست قیر، درصد چسبنده بهینه نهایی طی ۴ مرحله زیر مطابق استاندارد اختلاط اسپانیا، انتخاب می‌شود.

مرحله اول: انتخاب کلیه درصدهای چسبنده که فضای خالی مخلوط از ۱۸ درصد بیشتر است.

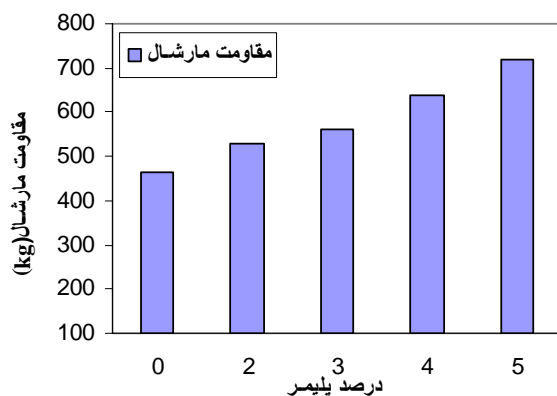
¹ - penetration index

مرحله دوم: مقایسه استقامت مارشال درصدهای چسبنده حاصل از مرحله اول و انتخاب درصدهای چسبنده که استقامت مارشال آن بیشتر از ۴۵۰ کیلوگرم است. مرحله سوم: کنترل بازده درصد چسبنده باقیمانده در دو مرحله اول و دوم با نتایج آزمایش کانتابرو و انتخاب درصدهای با افت وزنی کمتر از ۲۰ درصد. مرحله چهارم: کنترل مقدار فرونشست قیر در بازه باقیمانده از مرحله سوم که محدود به ۰/۳ درصد می‌شود.

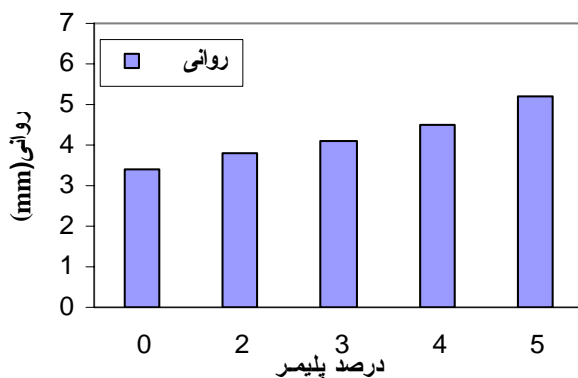
آزمایشهای انجام شده استقامت مارشال

نمونه‌های مارشال ساخته شده، به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با درجه حرارت $60^{\circ}C$ قرار می‌گیرد سپس خارج کرده و بین رکاب‌های وسیله آزمایش مارشال قرار داده و تحت فشار واقع می‌شود تا گسیخته شود و حداکثر نیروی لازم جهت گسیختگی نمونه و تغییر شکل قطری مربوطه ثبت می‌شود. طبق تعریف، حداکثر نیروی لازم جهت گسیخته شدن نمونه بتن آسفالتی بر حسب کیلوگرم، استقامت مارشال و مقدار تغییر شکل قطری در زمان شکست نمونه‌ها، روانی نمونه آسفالتی نامیده می‌شود [۵].

بررسی تغییرات استقامت مارشال و روانی به ازای درصدهای مختلف پلیمر نشان می‌دهد که با افزایش پلیمر SBR مقاومت مارشال و روانی نمونه‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۱) که این افزایش در درصدهای بالا مشهودتر است.



شکل ۱- تغییرات مقاومت مارشال بر حسب درصد پلیمر



شکل ۲- تغییرات مقدار روانی بر حسب درصد پلیمر

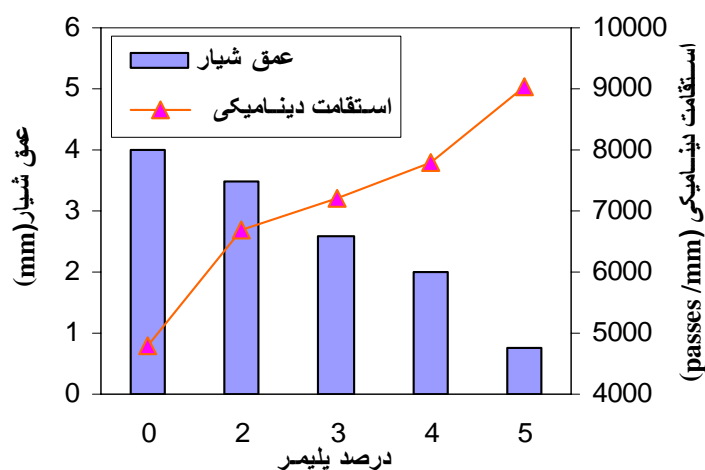
مقاومت شیارشدگی

خرابی شیار شدگی، به تغییر شکل‌های دائمی اطلاق می‌شود که به صورت شیار فرورفته در مسیر حرکت چرخ وسایل نقلیه و به موازات محور طولی راه دیده می‌شود. تکرار بارگذاری ناشی از عبور وسایل نقلیه سنگینی، کیفیت نامناسب مخلوط آسفالتی و نرسیدن به تراکم مورد نیاز منجر به این خرابی می‌شود.

شبيه سازي مقاومت شيار افتادگي مخلوط تحت تاثير آب و هوا و بار ترافيكی با استفاده از دستگاه ويل تراك انجام مي‌شود. براي انجام آزمايش، چرخ لاستيكي به قطر ۲۰ سانتي متر و ضخامت ۵ سانتي متر با بار ثابت از روي سطح نمونه‌اي به ابعاد ۳۰×۳۰×۵۰ سانتي متر عبور داده مي‌شود و ميزان شيار اندازه گيري مي‌شود [۶]. در اين بررسي، پس از استقرار نمونه داخل دستگاه ويل تراك، فشار چرخ بارگذاري برابر $5/5 \text{ kg/m}^2$ و سرعت حرکت چرخ برابر با ۲۷ رفت و برگشت در دقيقه تنظيم مي‌شود. اين آزمايش در دماي 60°C انجام و تعداد سيكل بارگذاري ۳۰۰۰ در روي نمونه‌ها اعمال شد.

همچنين در اين بررسي، تعداد عبور چرخ جهت ايجاد تغيير شكل يك ميلي‌متری، بعنوان شاخص استقامت ديناميكي (DS)^۲ تعريف مي‌شود كه مقدار اين شاخص براي نمونه‌هاي متخلخل بايد بزرگتر از $\frac{3000 \text{ passes}}{\text{mm}}$ باشد.

نتايج آزمايش، نشان مي‌دهد كه افزايش پليمر SBR به قير باعث کاهش عمق شيار و افزايش مقاومت شيار افتادگي مي‌شود همچنين بررسي تغييرات شاخص استقامت ديناميكي بيانگر آن است كه مقادير اين شاخص يك روند صعودي را طی مي‌کند.



شکل ۳- تغييرات عمق شيار و استقامت ديناميكي بر حسب درصد پليمر

نتيجه گيري

- اضافه کردن پليمر به قير ۷۰/۶۰ درجه نفوذ را کاهش و نقطه نرمی را افزايش می‌دهد از لحاظ تئوري افزايش نقطه نرمی به اين جهت است كه با اضافه کردن پليمر SBR زنجيره های بلند پليمری در محيط قير تشكيل شبكه سه بعدی داده و باعث افزايش الاستيته و سياليت قير در دماهای بالا می‌شود. اين حالت منجر به كارايی بهتر قير در دماهای بالا می‌شود.
- با افزايش پليمر شاخص نفوذ پذيری قير افزايش می‌يابد كه نشان دهنده کاهش حساسيت حرارتي قير و عملکرد مطلوب آن در مناطق با اختلاف حرارتي زياد است.
- مخلوط های آسفالتي كه با قير پليمری SBR ساخته می‌شود دارای مقاومت مارشال و روانی بیشتری است كه در درصدهای بالای پليمر، اين افزايش مشهودتر است.
- با توجه به نتايج بدست آمده نمونه های ساخته شده با قير پليمری، مقاومت شيار افتادگي قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. همچنين شاخص استقامت ديناميكي نمونه ها با افزايش درصد پليمر يك روند صعودي را طی می‌کند.

مراجع

۱. محمدرضا صدرالدینی و علی اکبر يوسفی و امير كاوسی "بهبود خواص قير با مواد پليمری" مجله علوم و تكنولوژی پليمر و سال ۱۵ و شماره ۲ و ص ۱۰۳ و ۱۳۸۱.
۲. كوروش جايروند "بررسي و مقايسه مشخصات فني آسفالت متخلخل با بتن آسفالتي" پايان نامه كارشناسي ارشد دانشگاه علم و صنعت ايران ۱۳۸۰
3. "Ten years experience of porous asphalt in Belgium" by:C.Moraux.TRR .NO.1265,1990

² - dynamic stability

4. Yetkin, Yildim, "polymer modified asphalt binders" Resources, Construction and Building Material, vol. 21. Elsevier, 2007-p.p.66-72
۵. حسن زیاری "راهنمای کاربردی آزمایشگاه قیر و آسفالت" و انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران و ۱۳۸۰.
6. "Methods to Achieve Rut-Resistance Durable Pavement" NCHRP synthesis, 274