



ارزیابی آزمایشگاهی شیارشدگی در مخلوط های آسفالت شیشه ای

سید محمد میر عبدالعظیمی^۱، مهیار عربانی^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

N

خلاصه

شیارشدگی روسازی های آسفالتی از جمله معزلاتی است که منجر به تحمیل هزینه زیادی به شبکه راهها می گردد. ایجاد تغییر شکل پایدار در لایه های روسازی که به مرور زمان و با افزایش دما رو به فزونی می نهد، محققان را بر آن داشته تا به دنبال راهکارهایی جهت مقابله با این معزل ساختاری روسازی های آسفالتی باشند. در این بین استفاده از مواد ضایعاتی که پتانسیل بهبود خصوصیات دینامیکی روسازی های آسفالتی را دارا می باشند، می تواند راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات مخرب این پدیده دینامیک باشد. بر طبق مطالعات انجام شده قبلی مشخص گردید که شیشه به سبب خصوصیات نظیر سختی بالا، تیز گوشگی همه جانبه و شکستگی صد در صد قادر است تا خصوصیات رفتاری مخلوط های آسفالتی را بهبود بخشد. هدف از این پژوهش ارزیابی آزمایشگاهی رفتار مخلوط های آسفالت شیشه ای در برابر پدیده شیارشدگی است. بدین منظور نمونه های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف، در درصد قیر بهینه خود تحت آزمایش دینامیک بار محوری تکراری قرار گرفتند. در نهایت رفتار خزشی نمونه های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف در برابر زمان برای درصد های مختلف خرده شیشه ضایعاتی ارائه شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد که نمونه های آسفالت شیشه ای عملکرد بسیار بهتری را در مقایسه با نمونه های آسفالت ساده در برابر تغییر شکل وابسته به زمان از خود بروز می دهند.

کلمات کلیدی: شیار شدگی، روسازی آسفالتی، تغییر شکل پایدار، مواد ضایعاتی، آسفالت شیشه ای

۱. مقدمه

۱.۱. آسفالت شیشه ای

در سالیان اخیر، روند صعودی هزینه های مرمت و بازسازی روسازی راهها و فرودگاهها، که در اثر افزایش شدت و تکرار بارهای ترافیکی ایجاد می شود، موجب شده است که تحقیقات جامعی در زمینه استفاده از مواد افزودنی در ساخت مخلوط های آسفالتی به منظور افزایش قابلیت آنها در برابر بارهای دینامیکی صورت پذیرد. مقاومت کم روسازی ها در برابر بارهای دینامیکی و عمر کوتاه سرویس دهی آنها از عمده ترین مشکلات موجود در زمینه حفاظت و نگهداری راهها به شمار می آیند. یکی از مهمترین عوامل مؤثر در افزایش قابلیت تحمل بار در روسازی آسفالتی، افزایش قفل و بست بین دانه های میان سنگدانه هاست [۱]. همه ساله حدود ۱۰ میلیون تن شیشه ضایعاتی در شهرهای بزرگ دنیا تولید می گردد که حدود ۳ تا ۵ درصد وزنی زباله های خانگی است. ۲۰ سال پیش محققین قسمتی از مصالح سنگی مخلوط آسفالتی را به وسیله خرده شیشه های ضایعاتی ظروف شیشه ای جایگزین نمودند. آسفالت شیشه ای از سال ۱۹۶۰ به عنوان راهکاری مناسب جهت کاربرد مواد شیشه ای ضایعاتی مورد توجه قرار گرفت. نخستین کاربرد آسفالت شیشه ای در جاده های آزمایشی ساخته شده با آسفالت شیشه ای جهت آزمایش مقاومت در برابر آب روسازی صورت گرفت [۲]. آسفالت شیشه ای اساساً مشابه مخلوط آسفالتی معمول است. با این تفاوت که ۵ تا ۴۰ درصد مصالح سنگی ریز و یا درشت آن به وسیله خرده شیشه جایگزین شده است. آسفالت شیشه ای در اوایل دهه ۷۰ میلادی مورد آزمایشات بسیاری قرار گرفت و مشخص گردید که برای استفاده در بعضی روسازی ها، قابل قبول می باشد [۳]. شیشه جزء مواد غیر فلزی و غیر آلی است و بنابراین نه سوزانده می شود و نه تجزیه می گردد. مواد شیشه ای که ترد و شکننده بوده و سرشار از سیلیکون اند و در اصطلاح مصالح آبدوست نامیده می شوند، همگرایی کمتری در چسبندگی با قیر از خود نشان می دهند. این چسبندگی با حضور آب از بین رفته و به تدریج در دوره بهره برداری و تحت تأثیر آمد و شد، خرده شیشه عریان شده و از سطوح روسازی آسفالتی جدا می شوند. بنابراین باید حساسیت این مخلوط ها در مقابل آب و رطوبت با آزمایشات مربوطه مورد بررسی قرار گرفته و در صورت لزوم از مواد ضد



عریان شدگی استفاده گردد [۲]. بر طبق مطالعات انجام شده قبلی توسط محققین مشخص گردید که بدلیل شکستگی همه‌جانبه و زاویه اصطکاک داخلی زیاد شیشه‌های خرد شده روند ترمزگیری و یا افزایش سرعت اتومبیل‌ها در روسازی‌های شیشه‌ای بهبود می‌یابد. از طرفی سطح ذرات شیشه از صافی بالایی برخوردار بوده و سیلیکای محتوی آن نیز نسبتاً بالاست و این امر ذرات خرد شده شیشه را به مصالح آب‌دوست تبدیل می‌کند. در این حالت روسازی با آسفالت شیشه‌ای در برابر صدمات ناشی از آب مقاوم می‌گردد. در آسفالت شیشه‌ای به سبب سطح صیقلی ذرات شیشه، وابستگی بین قیر و مصالح سنگی تحت شرایط خاص به راحتی از بین رفته و منجر به عریان شدگی رویه می‌گردد. جهت حل این معضل از مواد افزودنی استفاده می‌شود که بتوانند ضمن حفظ خصوصیات مثبت خرد شده شیشه در رویه آسفالتی، از روند عریان شدگی این نوع آسفالت جلوگیری نمایند. یکی از موادی که می‌تواند از روند عریان شدگی رویه‌های آسفالت شیشه‌ای جلوگیری به عمل آورد، آهک هیدراته است [۴]. بر اساس تحقیقات انجام شده، مخلوط‌های آسفالتی شیشه‌ای عملکرد مناسبی را در برابر پدیده عریان شدگی از خود نشان نمی‌دهند. در تعدادی از پروژه‌های صورت گرفته در نیویورک و بالتیمور، پدیده عریان شدگی روسازی به وقوع پیوست که در مطالعات دیگر مد نظر قرار گرفت [۵]. از طرف دیگر مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط هوجز در سال ۱۹۹۰ نشان داد که پدیده عریان شدگی در آسفالت شیشه‌ای نمی‌تواند مشکل ساز باشد. هرچند که این مطالعات تنها محدود به یک نوع مصالح سنگی بود و تنها آهک هیدراته به عنوان افزودنی ضد عریان شدگی مورد استفاده قرار گرفت. عامل شیمیایی ضد عریان شدگی (معمولاً ۳ تا ۵ درصد آهک هیدراته) به مخلوط جهت حفظ مقاومت در برابر عریان شدگی اضافه گردید [۶]. پژوهشی که در سال ۲۰۰۴ انجام شد، نشان داد که عملکرد رضایت بخش در روسازی‌های آسفالت شیشه‌ای، که شامل ۱۰ تا ۱۵٪ شیشه خرد شده بوده اند، آن هم در مخلوط‌های قشر سطحی به وقوع می‌پیوندد [۷]. مقدار زیاد و اندازه بزرگ شیشه در روسازی آسفالتی، مشکلاتی از جمله ضعف در اصطکاک و مقاومت و قفل و بست غیر کافی بوجود آورده است و بررسی شده که کاربرد شیشه بیشتر، با اندازه بزرگتر در لایه‌های پایین تر روسازی مناسب تر می‌باشد [۸].

۲.۱. تغییر شکل ماندگار در روسازی آسفالتی

خرابی‌هایی که در طول عمر مفید روسازی رخ می‌دهند، عمدتاً شامل تغییر شکل‌های دائمی در مسیر چرخ و وسایل نقلیه (شیار افتادگی)، ترک‌های ناشی از خستگی و ترک‌های حرارتی می‌باشند [۹]. یکی از مشکلات روسازی‌های آسفالتی، وقوع خزش‌های قابل توجه در آنها است. پدیده خزش، پیدایش تدریجی نشست‌ها و تغییر مکان‌های پایدار و بدون ایجاد ترک در روسازی‌ها تحت اعمال بارهای ثابت است. تغییر شکل‌های پایدار که بطور عینی به صورت شیارشدگی مسیر چرخ‌ها نمایان می‌گردند، معیار اولیه طرح روسازی‌های آسفالتی بشمار می‌روند [۱۰]. کیفیت مخلوط‌های آسفالتی گرم، از فاکتورهای مهمی است که بر روی کارایی روسازی‌های انعطاف پذیر اثر می‌گذارد. شیارشدگی سطحی مسیر چرخ‌ها می‌تواند موجب به خطر افتادن ایمنی راه‌ها گردد. در نتیجه شیارشدگی بیش از اندازه که معمولاً به عنوان عامل اصلی خرابی زودرس و عملیات تعمیر و نگهداری شبکه راه‌ها مطرح است، منجر به کاهش عمر سرویس دهی روسازی خواهد شد [۱۱ و ۱۲]. گودی مسیر چرخ (شیار شدگی) تغییر شکل دائمی لایه‌های روسازی است که می‌تواند با گذشت زمان فزونی یابد [۱۳]. گودی مسیر چرخ حاصل تغییر شکل در یک یا چند لایه از روسازی آسفالتی است. در یک سو تغییر شکلی وجود دارد که محدود به لایه رویی می‌باشد و به آن «شیار شدگی سطحی» گفته می‌شود، در حالی که در سوی دیگر تغییر شکلی قرار دارد که در آن بخش اصلی تغییر شکل در لایه زیر اساس اتفاق می‌افتد و اصطلاحاً شیار شدگی سازه‌ای نام دارد [۱۴]. شیار شدگی بزرگراه‌ها امری رایج است. زیرا در آنها تعداد خطوط حرکت و تکرر عبور و مرور زیاد است. در فرودگاه‌ها شیار شدگی (گودی مسیر چرخ) کمتر دیده می‌شود. زیرا در آنها تعداد تکرر عبور و مرور هواپیما کمتر بوده و خطوط حرکت کمتری وجود دارد. بتن آسفالتی، تحت تأثیر ترافیک وسایل نقلیه در معرض کرنش‌های مختلفی قرار می‌گیرد. گودی مسیر چرخ یکی از انواع اصلی کرنش‌ها است. همچنین آن دسته از خصوصیات روسازی که مربوط به تغییر شکل می‌باشند، عامل حیاتی در تعیین قابلیت آن برای شیار شدگی هستند [۱۵]. دلیل اصلی ایجاد کرنش‌های برشی مربوط به تنش برشی است که در حین بهره‌برداری، در روسازی ساخته شده از بتن آسفالتی اتفاق می‌افتد. وقتی دمای لایه روسازی بالاست احتمال ایجاد تنش‌های برشی در بتن آسفالتی بالاتر است. از این نکته معلوم می‌شود که عمق شیارشدگی بستگی به سختی مخلوط بتن‌های آسفالتی دارد که این نیز به نوبه خود وابسته به سختی قیر می‌باشد. به علت اینکه قیر یک ماده ویسکوالاستیک است، بنابراین خصوصیات ویسکوالاستیک در مخلوط‌های آسفالتی یافت می‌شود. یکی از دلایل وقوع پدیده راتینگ در سطح روسازی، خصوصیات ویسکوالاستیک سازه‌های روسازی است. تحلیل خزشی یکی از روش‌های توضیح خصوصیات ویسکوالاستیک در مخلوط‌های آسفالتی است. خزش شامل تغییر شکل‌های وابسته به زمان تحت تنش فشاری ثابت و میزان دماست. مخلوط آسفالتی تحت تأثیر بارگذاری ثابت قرار می‌گیرد و عکس‌العمل نسبت به تغییر شکل‌های قائم اندازه‌گیری می‌گردد. خصوصیات خزشی مخلوط‌های آسفالتی (قابلیت خزشی) جهت تخمین عمق گودی مسیر چرخ ناشی از بارهای ترافیکی در سازه‌های روسازی انعطاف پذیر به کار می‌رود [۱۶]. توانایی تخمین میزان تغییر شکل و یا شیارشدگی و رشد آن در روسازی‌های انعطاف پذیر از مفاهیم مهم در طرح روسازی‌ها به شمار می‌رود. ارزیابی مخلوط‌های آسفالتی جهت محافظت از آنها در برابر پدیده شیارشدگی مسیر چرخ‌ها، به زمینه تحقیقاتی مهمی در سال‌های اخیر تبدیل



شده است. این نوع از خرابی در نتیجه فشردگی مخلوط آسفالتی پس از ساخت و اعمال تغییر شکل پلاستیک در اثر عبور چرخ وسائط نقلیه در طی زمان به وقوع می پیوندد [۱۷ و ۱۸]. در این پژوهش رفتار مخلوط های آسفالت شیشه ای در برابر پدیده شیارشدگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور نمونه های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف، در درصد قیر بهینه خود تحت آزمایش دینامیک بار محوری تکراری قرار گرفتند. در نهایت رفتار خزشی نمونه های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف در برابر زمان برای درصد های مختلف خرده شیشه ضایعاتی ارائه شده است.

۲. مطالعات آزمایشگاهی

۱،۲. مصالح مورد استفاده

دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در این تحقیق حد وسط دانه بندی پیوسته مخلوط آسفالت گرم مربوط به قشر توپکا و بیندر، مطابق با نشریه ۱۰۱ مشخصات فنی و عمومی راه هاست [۱۹]. در ساخت نمونه ها از قیر ۷۰-۶۰ پالایشگاه اصفهان استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۱ درج گردیده است. خرده شیشه هایی مورد استفاده در این پژوهش از شیشه های ضایعاتی کارخانه تولید مصنوعات شیشه ای تهیه شده است. حداکثر اندازه ذرات شیشه ۴/۷۵ میلیمتر و مطابق با دانه بندی ارائه شده در جدول ۲ می باشد که در پژوهش های پیشین نیز از آن در ساخت مخلوط های آسفالت شیشه ای استفاده شده است [۱۵]. همچنین مشخصات شیمیایی خرده شیشه مصرفی در این پژوهش در جدول ۳ درج گردیده است.

جدول ۱- مشخصات قیر به کار رفته در ساخت نمونه ها

چگالی در ۲۵° C	درجه نفوذ به ۱۰ mm	نقطه نرمی °C	شکل پذیری به cm	درجه اشتعال به ° C	افت وزنی به %	درجه خلوص به %
۱/۰۲	۶۶	۵۱	۱۱۲	۲۶۲	۰/۷۵	۹۹

جدول ۲- دانه بندی ذرات خرده شیشه مصرفی در این پژوهش

#۲۰۰	#۱۰۰	#۵۰	#۳۰	#۱۶	#۸	#۴	اندازه الک
۲	۹	۱۴	۲۷	۴۲	۶۳	۱۰۰	درصد عبوری

جدول ۳- مشخصات شیمیایی خرده شیشه مصرفی در این پژوهش

اکسید آهن	اکسید پتاسیم	اکسید بور	اکسید آلومینوم	اکسید منیزیم	اکسید کلسیم	اکسید سدیم	اکسید سیلیسیم
۰/۳ درصد	۰/۴ درصد	۰/۴ درصد	۱/۵ درصد	۳/۶ درصد	۵/۵۵ درصد	۱۵ درصد	۷۳ درصد

در این پژوهش بمنظور بهبود مقاومت در برابر عریان شدگی نمونه های آسفالتی از آهک هیدراته با کلسیم بالا به عنوان ماده افزودنی به آسفالت شیشه ای استفاده شده است [۱۶]. آهک هیدراته به سبب دارا بودن خصوصیات نظیر سختی بالا و بهبود مقاومت در برابر عریان شدگی مخلوط های آسفالتی، قادر خواهد بود با ایجاد تغییرات اندکی در مشخصه های قیر مصرفی، مقاومت خستگی روسازی های آسفالتی را نیز به سبب اصلاح قیر بهبود بخشد. از دیگر مشخصه های آهک هیدراته، افزایش مدول سختی، افزایش مقاومت در برابر رطوبت و پیشگیری از انواع ترک ها و افزایش مقاومت در برابر خزش می باشد [۲۰]. آهک هیدراته به روش های مختلف به مخلوط آسفالتی اضافه می شود. در هر مورد لازم است درصد مناسب آهک بوسیله آزمایش و با توجه به شرایط پروژه و مقاومت مطلوب تعیین شود. در این پژوهش، از روش پخش آهک خشک بر روی سنگدانه های مرطوب استفاده شده است [۱۰].

۲،۲. شرایط ساخت نمونه ها

در این پژوهش به منظور تعیین رفتار نمونه های آسفالتی در برابر تغییر شکل ماندگار، از آزمایش بارگذاری محوری تکراری با استفاده از دستگاه آزمایش آسفالت ناتینگهام (NAT) استفاده شده است. پیش از ساخت نمونه ها جهت آزمایش دینامیکی بر روی آنها، ابتدا میزان قیر بهینه



مربوط به هر کدام از درصد های خرد شده شیشه ضایعاتی به وسیله آزمایش مارشال بر طبق استاندارد ASTM-D1559 تعیین گردیده است. از مقادیر صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد خرد شده شیشه ضایعاتی جهت ساخت نمونه های آسفالتی استفاده شده است. میزان درصد بهینه آهک هیدراته نیز توسط آزمایشات مارشال بر روی نمونه های آسفالت شیشه ای در مقدار قیر بهینه حاوی درصد های مختلف خرد شده شیشه تعیین گردیده است [۱۱]. آزمایش بارگذاری محوری تکراری در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد انجام شده است.

۳.۲. آزمونهای آزمایشگاهی

آزمایش بار محوری تکرار شونده، جهت تعیین تأثیر متغیرهای مختلف مخلوط آسفالتی در میزان مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی به کار می رود. در این آزمایش، بار به صورت محوری بر نمونه ها وارد شده و تغییر شکل دائمی به صورت مداوم به وسیله دو حسگر اندازه گیری می گردد. در شکل ۱ نحوه بارگذاری در این آزمایش نشان داده شده است. این آزمایش بر طبق دستورالعمل DD185 استاندارد بریتانیا (BS) انجام میشود [۲۱].



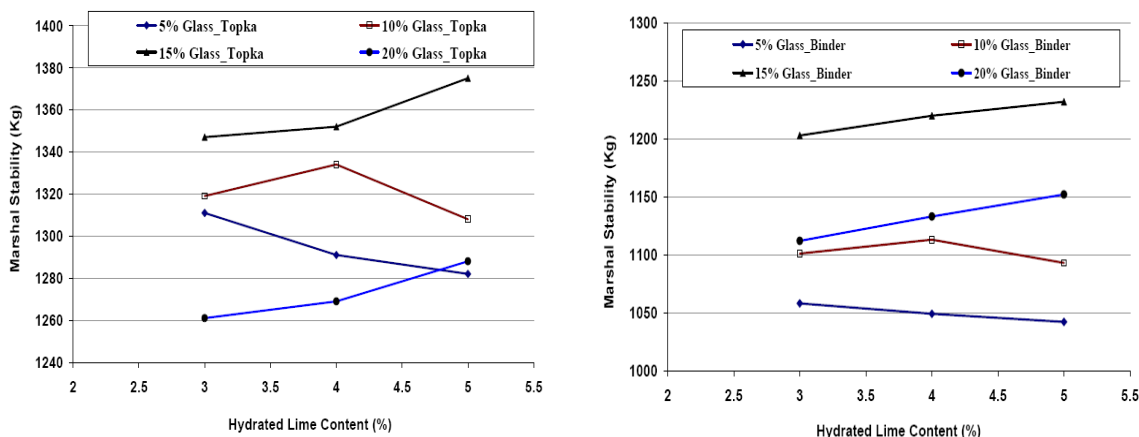
شکل ۱- نحوه بارگذاری در آزمایش تعیین تغییر شکل ماندگار [۲۰]

۳. نتایج و بحث ها

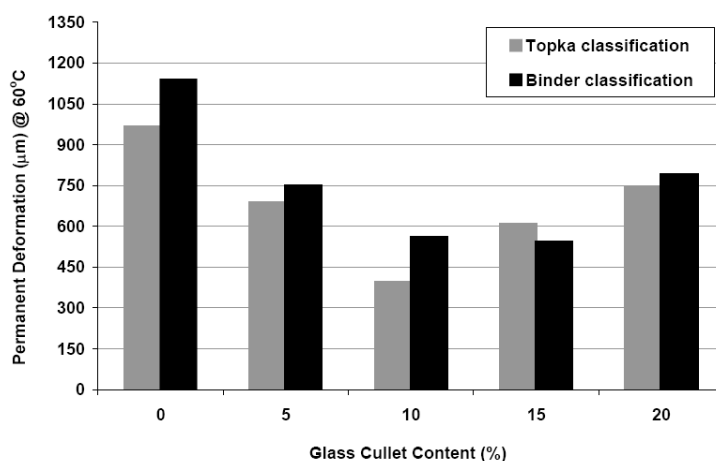
به جهت مقایسه علمی و منطقی نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های آسفالتی ساده و اصلاح شده، درصد قیر بهینه مربوط به هر نوع اختلاط (شامل نوع دانه بندی و درصد مواد افزودنی) به کمک آزمایشات مارشال تعیین گردیده است و سپس نمونه های آسفالتی با درصد قیر بهینه در شرایط مختلف ساخته شده است. میزان قیر بهینه در نمونه های حاوی درصد های بالاتر خرد شده شیشه ضایعاتی به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. به گونه ای که میزان درصد قیر بهینه مصرفی در نمونه های بدون خرد شده شیشه ضایعاتی در مقایسه با نمونه های حاوی ۲۰ درصد خرد شده شیشه حدود یک درصد بیشتر است. نمودارهای استقامت مارشال جهت تعیین درصد بهینه آهک هیدراته در نمونه های آسفالتی حاوی خرد شده شیشه ضایعاتی به ازای دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ مشاهده می شود که افزایش درصد آهک هیدراته تأثیرات متفاوتی بر نمونه های آسفالت شیشه ای با درصد های مختلف خرد شده شیشه ضایعاتی دارد. با افزایش درصد خرد شده شیشه، تأثیر منفی سطح صاف و صیقلی شیشه بر روی مقدار استقامت مارشال افزایش می یابد. از طرفی با توجه به قابلیت عریان شدگی آسفالت شیشه ای و افزایش این مشکل با ازدیاد درصد خرد شده شیشه مصرفی، نیاز به افزایش آهک هیدراته جهت جلوگیری از پدیده عریان شدگی افزایش می یابد. در شکل های ۳ و ۴ تغییر شکل های ماندگار و درصد کرنش محوری بر حسب درصد خرد شده شیشه ضایعاتی به ازای دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر، در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۳ ملاحظه می گردد، با افزایش درصد خرد شده شیشه از میزان تغییر شکل های پایدار در نمونه های آسفالتی کاسته می شود. افزایش مدول سختی خود عاملی جهت کاهش این تغییر شکلهاست. عواملی همچون قفل و بست میاندانه ای بهتر به همراه زبری بیشتر حاصل از تیز گوشگی ذرات خرد شده شیشه باعث می گردد که به تدریج از میزان این تغییر شکلها کاسته شود. اما با افزایش درصد خرد شده شیشه به میزانی بیش از درصد بهینه، لغزش



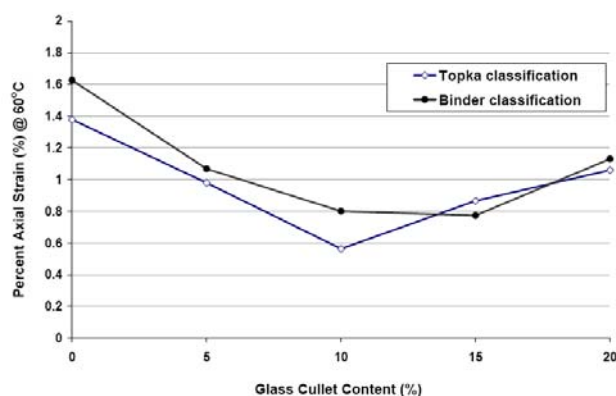
تدریجی ذرات خرد شده شیشه باعث می گردد که بر میزان تغییر شکل‌های پایدار نمونه های آسفالتی حاوی خرد شده شیشه افزوده شود. با افزایش مقادیر خرد شده شیشه به میزان بیش از ۱۰ درصد در نمونه های با دانه بندی توپکا و بیش از ۱۵ درصد در نمونه های با دانه بندی بیندر، به تدریج روند کاهش تغییر شکل پایدار در نمونه های آسفالت شیشه ای از حالت نزولی خارج شده و روبه افزایش می گذارد.



شکل ۲- نمودارهای استقامت مارشال جهت تعیین درصد بهینه آهک هیدراته در نمونه های آسفالت شیشه ای با دانه بندی توپکا و بیندر

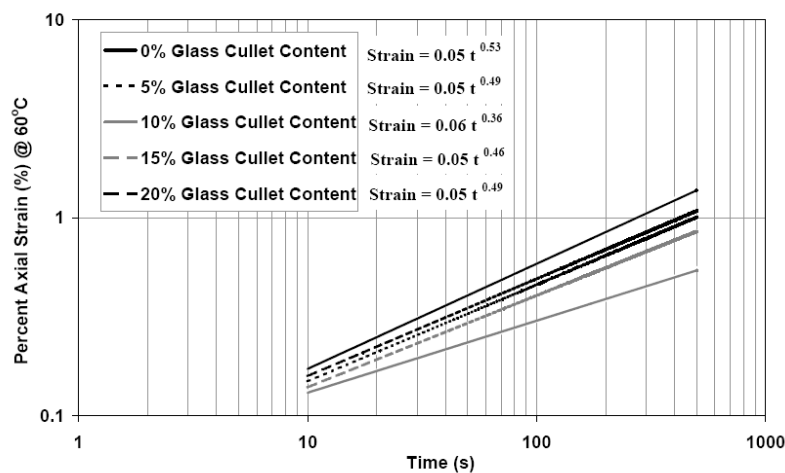


شکل ۳- تغییر شکل ماندگار بر حسب درصد خرد شده شیشه ضایعاتی به ازای دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد

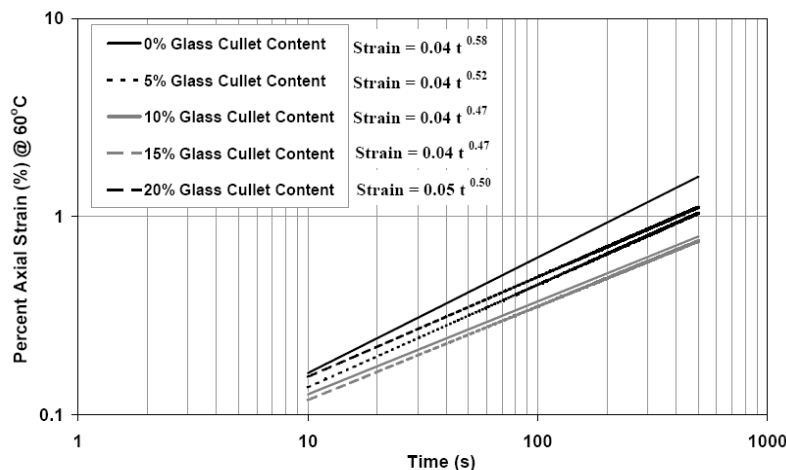


شکل ۴- درصد کرنش محوری بر حسب درصد خرد شده شیشه ضایعاتی به ازای دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد

کاهش مدول برجهندگی به دلیل افزایش شکنندگی و لغزش ذرات خرده شیشه دارای سطوح صیقلی بر روی هم، باعث می‌گردد که در نمونه‌های آسفالتی حاوی درصد‌های بالای خرده شیشه، تغییر شکل‌های بیشتری به وجود آید. با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌گردد که افزایش درصد خرده شیشه روند مشابهی را در کاهش و افزایش درصد کرنش محوری در نمونه‌های آسفالتی با دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر ایجاد کرده است. هرچند که این روند از جنبه میزان درصد افزودنی بهینه در دو نوع دانه بندی استفاده شده، مشابه هم نیست. همانگونه که در شکل ۴ قابل مشاهده است، نمونه‌های آسفالتی با دانه بندی توپکا در میزان خرده شیشه کمتر به مقدار بهینه درصد کرنش محوری رسیده‌اند و تأثیر منفی افزایش درصد خرده شیشه پس از عبور از میزان بهینه از تأثیر مثبت آن فزونی می‌یابد. تغییرات درصد کرنش محوری در برابر زمان در نمونه‌های آسفالتی ساده و نمونه‌های آسفالت شیشه ای با درصد‌های مختلف خرده شیشه ضایعاتی با دو نوع دانه بندی توپکا و بیندر در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که افزودن خرده شیشه ضایعاتی به نمونه‌های آسفالتی تأثیر زیادی بر عملکرد این نمونه‌ها در برابر تغییر شکل وابسته به زمان داشته است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که علاوه بر بیشتر بودن درصد کرنش محوری در نمونه‌های آسفالتی ساده نرخ افزایش کرنش محوری نیز در این نمونه بیشتر از نمونه‌های آسفالت شیشه ای است. جهت مقایسه بهتر رفتار خزشی نمونه‌های آسفالتی ساده و شیشه ای با دانه بندی توپکا مدل تغییر شکل وابسته به زمان هر کدام از نمونه‌های آسفالتی در شکل ۵ ارائه شده است. با توجه به مدل‌های کرنش وابسته به زمان در شکل ۵ مشاهده می‌شود که نرخ افزایش کرنش محوری در نمونه‌های آسفالتی ساده در مقایسه با نمونه‌های آسفالت شیشه ای با دانه بندی توپکا و در درصد بهینه خرده شیشه، حدود ۴۷ درصد رشد داشته است. همچنین با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که نرخ افزایش کرنش محوری در نمونه‌های آسفالتی ساده در برابر نمونه‌های آسفالت شیشه ای با دانه بندی بیندر و در درصد بهینه خرده شیشه حدود ۲۳ درصد رشد را از خود بروز داده است.



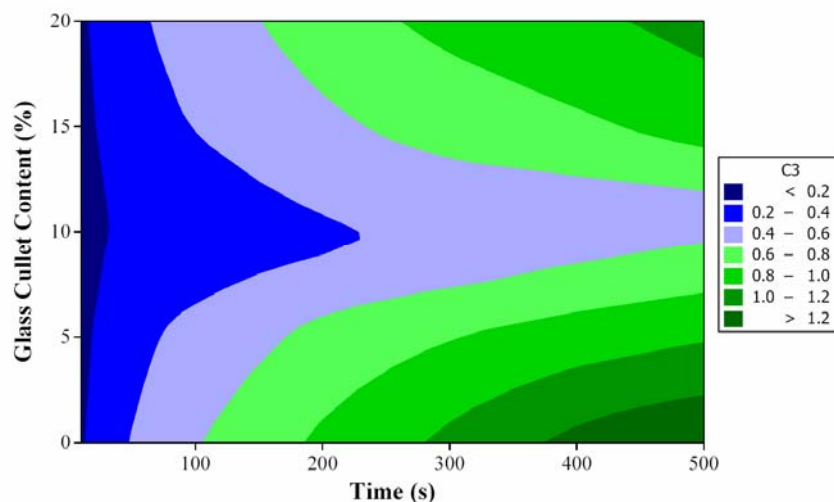
شکل ۵- تغییرات درصد کرنش محوری بر حسب زمان در نمونه‌های آسفالت شیشه ای با دانه بندی توپکا



شکل ۶- تغییرات درصد کرنش محوری بر حسب زمان در نمونه‌های آسفالت شیشه ای با دانه بندی بیندر



با توجه به نتایج آزمونهای آزمایشگاهی و تحلیل نتایج به کمک نرم افزار Minitab 15، مدل‌های رفتاری به منظور پیش‌بینی رفتار نمونه‌های آسفالتی ساده و اصلاح شده در برابر تغییر شکل وابسته به زمان ارائه گردیده است. رفتار تغییر شکل ماندگار بر حسب زمان در نمونه‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف خرده شیشه در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷ ملاحظه می‌شود که افزودن خرده شیشه ضایعاتی به سبب تیزگوشگی همه جانبه، سختی بالا و شکستگی صد درصدی موجب مقاومت بیشتری در برابر بروز تغییر شکل پایدار و شیارشدگی می‌گردد. همچنین میزان درصد افزودنی بهینه نیز با توجه به شکل قابل مشاهده می‌باشد. با رسیدن مقدار درصد خرده شیشه ضایعاتی به میزان بهینه خود تغییر شکل ماندگار به سبب قفل و بست بهتر و بافت توپرتر نمونه‌های آسفالت شیشه‌ای، کاهش زیادی از خود بروز داده است.



شکل ۷- مدل رفتاری تغییر شکل ماندگار بر حسب زمان در نمونه‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف خرده شیشه

۴. جمع بندی

هدف از این پژوهش ارزیابی آزمایشگاهی رفتار مخلوط‌های آسفالت شیشه‌ای در برابر پدیده شیارشدگی بوده است. بدین منظور نمونه‌های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف، در درصد قیر بهینه خود تحت آزمایش دینامیک بار محوری تکراری قرار گرفتند. در نهایت رفتار خزشی نمونه‌های آسفالتی با دو نوع دانه بندی مختلف در برابر زمان برای درصد‌های مختلف خرده شیشه ضایعاتی ارائه شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که:

۰ نمونه‌های آسفالت شیشه‌ای عملکرد بسیار بهتری را در مقایسه با نمونه‌های آسفالت ساده در برابر تغییر شکل وابسته به زمان از خود بروز می‌دهند. استفاده از مواد افزودنی ضایعاتی به صورت قابل ملاحظه‌ای مقادیر قیر بهینه در نمونه‌های آسفالتی اصلاح شده را تقلیل داده‌اند.

۰ با افزایش درصد خرده شیشه از میزان تغییر شکل‌های پایدار در نمونه‌های آسفالتی کاسته می‌شود. افزایش مدول سختی خود عاملی جهت کاهش این تغییر شکل‌هاست. عواملی همچون قفل و بست میان‌دانه‌ای بهتر به همراه زبری بیشتر حاصل از تیزگوشگی ذرات خرده شیشه باعث می‌گردد که به تدریج از میزان این تغییر شکل‌ها کاسته شود. اما با افزایش درصد خرده شیشه به میزانی بیش از درصد بهینه، لغزش تدریجی ذرات خرده شیشه باعث می‌گردد که بر میزان تغییر شکل‌های پایدار نمونه‌های آسفالتی حاوی خرده شیشه افزوده شود.

با کاربرد خرده شیشه ضایعاتی در روسازی راه‌ها، علاوه بر افزایش کارایی روسازی‌های آسفالتی و کاهش ضخامت آن‌ها، از انباشت بیش از پیش این ماده تجزیه‌ناپذیر در طبیعت نیز جلوگیری به عمل خواهد آمد. علاوه بر آن با صرفه‌جویی در مصرف مصالح سنگی و قیر، از هدر رفت بیش از پیش منابع ملی نیز جلوگیری خواهد شد.



۵. مراجع

۱. عربانی، م.، میرعبدالعظیمی، س. م.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی تأثیر کاربری خرده شیشه ضایعاتی در افزایش عمر مفید مخلوط‌های آسفالتی گرم"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۸.
2. Wu, S., Yang, W., & Xue, Y., (2004), "*Preparation and Properties of Glass-Asphalt Concrete*". Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education. Wuham University of Technology, Wuham, China.
3. Malisch, W.R., Day, D.E. & Wixson, B.G., (1975), "*Use of Domestic Waste Glass as Aggregate in Bituminous Concrete*", Highway Research Record, Highway Research Board. Washington, D.C, USA.
4. Day, D.E., and Schaffer, R., (1990), "*Glasphalt Paving Handbook*", University of Missouri-Rolla.
5. Flynn, L., (1993), "*Glasphalt utilization dependent on availability*", Roads and Bridges, pp. 59-61.
6. Hughes, C. S., (1990), "*Feasibility of using recycled glass in asphalt*", Report No. VTRC 90-R3. Charlottesville. Virginia Transportation Research Council.
7. Noureldin, A. Sam, and McDaniel, Rebecca S., (1990), "*Evaluation of Surfaces Mixtures of Steel Slag and Asphalt*", Transportation Research Record 1296.
8. Su N, Chen JS., (2002), "*Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass*", Resource Conserv Recycl 35:259-74.
۹. میرعبدالعظیمی، س. م.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی بهبود خصوصیات دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی مواد افزودنی ضایعاتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
10. Brown, E. R. & Foo, K. Y., (2004), "*Comparison of unconfined and confined creep tests for hot mix asphalt*", Materials in Civil Engineering Journal, Vol. 6, No 2.
11. Button, J. W., Perdomo, D. & Lytton, R. L., (1999), "*Influence of aggregate on rutting in asphalt concrete pavement*", Transportation Research Record, 1259, p. 141-152.
12. Brock, J. D., Collins, R. & Lynn, C., (2003), "*Performance Related Testing with the Asphalt Pavement Analyzer*", Pavement Technologies, Inc., Technical Paper T-137, Conyers, GA, USA.
13. Wensel, M., Shalaby, A., Thiessen, M., MahB, V., (2002), "*investigation of asphalt pavement rutting at two Canadian airfields*", 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec, Canada 5-8.
14. Wasage, T.L.J., Ong, G. P., Fwa, T. F. and Tan, S. A., (2004), "*laboratory evaluation of rutting resistance of geo synthetics reinforced asphalt pavement*", Journal of The Institution of Engineers, Singapore, Vol. 44 Issue 2.
۱۵. عربانی، م.، میرعبدالعظیمی، س. م.، (۱۳۸۷)، "بررسی پارامترهای مؤثر در رفتار خستگی روسازی‌های آسفالتی حاوی خرده شیشه ضایعاتی"، مجموعه مقالات نخستین همایش تخصصی کاربردی مخلوط آسفالتی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
16. Tjan, A. & Adrian, Y., (2003), "*Analysis of Creep Properties of Bituminous Mixture With constant rate of Load Increment Method*", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4.
17. Button, J. W., Perdomo, D. & Lytton, R. L., (1999), "*Influence of Aggregate on Rutting in Asphalt Concrete Pavements*", Transportation Research Record, 1259, p. 141-152.
18. Hughes, Charles S., (2004), "*Experimental Mixes to Minimize Rutting*", ASCE. Boston Society of Civil Engineers Section Journal, Boston, p. 931-942.
19. WWW.MPORG.IR, (2003), "*Road General Technical Specification*", Management and Planning Organization Office of the Deputy for Technical Affairs Bureau of Technical Criteria and Specification.
20. Arabani, M., Mirabdolazimi, S.M, (2009), "*Evaluation of Creep Compliance of Rubberized Asphalt in Compare with Conventional Hot Mix Asphalt*", Advanced Testing and characterization of bituminous materials, Taylor and Francis Group.
21. British Standard Institution, (1995), "*Test Method for Determining the creep Compliance of Asphalt Material Using the Indirect Tensile Test Device*", DD185.