Archive of SID

بررسی و مقایسه خصوصیات بتن آسفالتی حاوی فیلرهای پودر آجر و شیشه

حسن طاهرخانی*، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پست الکترونیکیآدرس ایمیل نویسنده مسئول: taherkhani.hasan@znu.ac.ir

دریافت : ۱۳۹۳/۱۱/۲۰ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۵/۱۷

چکیده

امروزه، اقتصادی بودن و سازگاری با محیط زیست دو ویژگی و معیار مهم در پروژه‌های ساخت و ساز می‌باشند. یکی از کارهایی که در این زمینه می‌توان انجام داد بازیافت و استفاده مجدد از مواد ضایعاتی به جای کل یا بخشی از مصالح ساختمانی است. هر ساله حجم زیادی از مواد ضایعاتی از صنعت، ساخت و تخریب ساختمانها ایجاد می‌شود که انباشت آنها عاملی مهم در آلودگی محیط زیست می‌باشد. از طرف دیگر، هر ساله حجم زیادی از منابع طبیعی به عنوان مصالح برای ساخت پروژه‌های عمرانی مصرف می‌شود. اگر بتوان باحفظ کیفیت یا بهبود آن، به جای مواد طبیعی از مواد بازیافتی استفاده نمود، گامی در جهت اقتصادی کردن و محافظت از محیط زیست خواهد بود. در این تحقیق، استفاده از دو ماده ضایعاتی، یعنی آجر و شیشه، به صورت پودر، به جای فیلر در بتن آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. خصوصیات استقامت مارشال، روانی، مقاومت کششی، آسیب رطوبتی و خصوصیات حجمی بتن آسفالتی، که در آن پودر به دست آمده از آجر و شیشه ضایعاتی در درصدهای مختلف جایگزین فیلر طبیعی شده است مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با جایگزینی فیلر طبیعی با پودر آجر می‌توان به استقامت مارشال بیشتر و روانی کمتری نسبت به بتن آسفالتی رایج دست یافت. اما، با افزایش درصد جایگزینی فیلر طبیعی با پودر شیشه، استقامت مارشال کاهش یافته و روانی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که مقاومت کششی بتن آسفالتی در دمای ۲۵ و ٤۰ درجه سانتیگراد، با افزایش درصد جایگزینی پودر آجر افزایش می‌یابد. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه تا ۲۵٪ مقاومت کششی افزایش و سپس کاهش یافته و در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد هر مقدار جایگزینی فیلر طبیعی با پودر شیشه باعث کاهش مقاومت می‌گردد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که روند تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های عمل آمده تحت شرایط رطوبتی مشابه حالت خشک بوده و مقدار مقاومت کششی حالت مرطوب از خشک کمتر است. بیشترین نسبت مقاومت کششی در بتن آسفالتی حاوی پودر آجر در ۷۵٪ جایگزینی و در بتن آسفالتی حاوی پودر شیشه در ۲۵٪ جایگزینی رخ می‌دهد. آسیب رطوبتی بتن آسفالتی حاوی پودر آجر، در تمامی درصدهای جایگزینی، کمتر از بتن آسفالتی شاهد بوده و برای پودر شیشه، در ۲۵ وو ۵۰٪ جایگزینی، آسیب رطوبتی کمتر از مخلوط شاهد بوده و در بقیه موارد بیشتر از آن است. همچنین، نشان داده می‌شود که درصد جایگزینی فیلر طبیعی با پودر آجر تاثیرچندانی بردرصد فضای خالی مخلوط و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر ندارد، اما این ویژگی‌های بتن آسفالتی، با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه، به ترتیب، افزایش و کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: فیلر، پودر آجر، پودر شیشه، مقاومت کششی، آسیب رطوبتی

۱- مقدمه

امروزه آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مواد ضایعاتی که از ساخت و تخریب ساختمان‌ها به دست می‌آید به یکی از نگرانی‌های متولیان محیط زیست در شهرها تبدیل شده است. موادی مثل بتن، آجر، انواع فلزات، سرامیک‌ها و شیشه از عمده مواد ضایعاتی هستند که در اثر تخریب ساختمان‌ها و یا هنگام ساخت آنها به وجود آمده و این مواد غالبا در زمین‌های حومه شهرها دپو شده و باعث آلودگی می‌شوند. یافتن راه حلی برای استفاده مجدد از این مواد می‌تواند اقدامی مناسب جهت کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی‌های ناشی از آنها باشد. از طرف دیگر، در کشور ما، به علت وجود منابع سرشار نفتی و فراوانی قیر، به جز در موارد خاص، در اکثر روسازی‌ها از آسفالت استفاده می‌گردد. برای ساخت و نگهداری راه‌های آسفالتی هر ساله حجم قابل توجهی آسفالت مصرف می‌شود که برای ساخت آنها از منابع طبیعی، بعد از فرآوری، استفاده می‌گردد، که علاوه بر هزینه قابل توجه، باعث بر هم زدن محیط زیست می‌گردد. بتن آسفالتی گرم از رایج‌ترین مخلوط‌های آسفالتی در دنیا بوده و در ایران نزدیک به ۱۰۰٪ مخلوط‌های آسفالتی مورد استفاده از این نوع می‌باشد. بتن آسفالتی گرم متشکل از قیر و مصالح سنگی بوده که در نسبت‌های معین با هم مخلوط شده و بعد از پخش و تراکم به عنوان یک لایه باربر در ساختار روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مصالح سنگی حدود ۹۰درصد از حجم بتن آسفالتی را تشکیل داده و عملکرد آسفالت به مقدار زیادی به ویژگی‌های آنها بستگی دارد. مصالح سنگی آسفالت متشکل از مصالح درشت دانه، ریزدانه و فیلر است. فیلر ماده معدنی بسیار ریز و نرمی به ابعاد کوچکتر از ۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰) بوده که معمولا متشکل از گرد سنگ، آهک شکفته و سیمان پرتلند و یا مصالح مناسب و مشابه دیگر می‌باشد. فیلر به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده مخلوط‌های آسفالتی، نقش مهمی در مشخصات و رفتار مخلوط ایفا می‌کند. فیلر نقش یک ماده داخلی برای پرکردن فضای خالی بین مصالح درشت‌دانه در مخلوط را دارد. از جهت دیگر، فیلر به خاطر نرمی و مشخصات سطحی خود، می‌تواند اندرکنش شدیدی با قیر داشته باشد و نقش یک ماده فعال را ایفا می‌کند. نتایج تحقیقات انجام گرفته در چند دهه اخیر، نشان می‌دهد که نوع و اندازه فیلر مصرفی تاثیر زیادی بر مشخصات عملکردی بتن آسفالتی ساخته شده دارد. بتن آسفالتی در مدت بهره‌برداری تحت تاثیر عوامل مخرب جوی و ترافیک قرار گرفته و در صورت نامناسب بودن مواد تشکیل دهنده و طرح اختلاط نامناسب آنها دارای عمر کوتاهی خواهد بود. بنابراین، استفاده از مواد جدید به عنوان افزودنی یا جایگزین مواد موجود نیاز به بررسی مشخصات عملکردی آسفالت ساخته شده دارد. مقاومت بتن آسفالتی در مقابل ترک خوردگی، تغییر شکل دائمی، آسیب رطوبتی و دوام از مهمترین ویژگی‌های عملکردی آن می‌باشد، که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته‌اند. تحقیقات نشان داده است که مقاومت بتن آسفالتی در مقابل ترک‌خوردگی به مقاومت کششی آن مرتبط می‌باشد، به طوری که مخلوط آسفالتی با مقاومت کششی بیشتر دارای مقاومت به ترک خوردگی بیشتری می‌باشد. همچنین، نسبت مارشال، که حاصل تقسیم استقامت مارشال به روانی می‌باشد، نیز به عنوان شاخصی برای مقاومت در مقابل تغییر شکل مورد استفاده قرار گرفته است. اثر مخرب رطوبت بر روی آسفالت جدا کردن قیر بر روی سطح سنگدانه‌هاست که منجر به شن زدگی سطح رویه خواهد شد، و برای ارزیابی پتانسیل آسیب رطوبتی، معمولا از نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های عمل آمده در شرایط رطوبتی به مقاومت کششی نمونه‌های عمل نیامده استفاده می‌گردد. همچنین، دوام بتن آسفالتی به مقدار قابل توجهی به ویژگی‌های حجمی آن شامل، درصد فضای خالی مخلوط، درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر بستگی دارد. در این تحقیق، به منظور بررسی قابلیت استفاده از پودر شیشه و آجر ضایعاتی به عنوان فیلر در بتن آسفالتی گرم، ویژگی‌های عملکردی بتن آسفالتی که در آن فیلر پودر سنگ طبیعی با درصدهای مختلفی از این فیلرهای بازیافتی جایگزین گردیده است، با استقاده از مقاومت کششی، نسبت مارشال، نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های عمل آمده به عمل نیامده و ویژگی‌های حجمی، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۲- پیشینه تحقیق

استفاده از فیلرهای جایگزین توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است، که در آنها اثرات این فیلرها بر روی ویژگی‌های مختلف بتن آسفالتی بررسی گردیده است. جهرمی و خدایی به منظور بررسی تاثیر خصوصیات هندسی، فیزیکی و شیمیایی نوع فیلر بر مشخصات حجمی مخلوط‌های آسفالتی از چهار نوع فیلر سیمان پرتلند و پودر سنگ سیلیسی، به عنوان فیلرهای متداول، و نانورس و کربنات کلسین رسوبی به عنوان فیلرهای نوین استفاده کردند (Jahromi and Khodaii, 2012). نشان داده شد که در بین فیلرهای مختلف مطالعه شده، فیلر نانورس، علاوه بر تغییر مشخصات حجمی مخلوط، به عنوان یک فیلر فعال با اندرکنش شیمیایی خود باعث بهبود چسبندگی و عملکرد بهتر مخلوط آسفالتی گردید. به طوری که، نمونه‌های ساخته شده با این فیلر دارای استقامت مارشال بیشتری از فیلر سیمان و کربنات کلسیم رسوبی بودند. تن و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران[i] در سال ۱۹۸۳ به بررسی استفاده از خاکستر بادی، که محصول ضایعاتی نیروگاه‌های تولید برق ذغال سنگی می‌باشد، به عنوان یک افزودنی در آسفالت پرداختند (Tons et al., 1983). آزمایش‌هایی برای ارزیابی مقاومت در برابر آسیب رطوبتی، ترک خودگی حرارتی، شیارافتادگی، عمر خستگی و سخت شدگی آسفالت، بر روی نمونه‌های آسفالتی انجام شد. اثرات مفید قابل توجه در سخت شدگی آسفالت، آسیب رطوبتی و عمر خستگی، وزن مخصوص و مقاومت کششی دیده شد. با افزایش نسبت خاکستر بادی، حجم هوا در نمونه آسفالتی کاهش یافت. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ توسط تاپکین انجام شد، او به بررسی اثر استفاده از فیلر خاکستر بادی به منظور جایگزینی با پودر سنگ آهک پرداخت (Topkin, 2008). در این مطالعه، مشاهده شد که با جایگزینی انواع مختلف فیلر خاکستر بادی با فیلر سنگ آهک، استقامت مارشال و مقدار روانی به شکل مشخصی، به ترتیب، افزایش و کاهش یافت. نمونه‌های حاوی خاکستر بادی دارای عمر خستگی بیشتری بودند. بر اساس این نتیجه، مشخص شد که خاکستر بادی می‌تواند به طور موثر به عنوان فیلر برای مخلوط‌های آسفالتی گرم جایگزین فیلرهای متداول گردند. در فرآیند تصفیه سیمان در کوره‌های کارخانه‌های تولید سیمان پرتلند ضایعات پودر سیمان حاصل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد استفاده از این فیلر به جای فیلر متداول سنگ آهک، استقامت مارشال و وزن مخصوص آسفالت افزایش می یابد و، در عوض، روانی، درصد فضای خالی و درصد فضای خالی مصالح سنگی کاهش می‌یابد. مقاومت کششی غیرمستقیم و مقاومت فشاری محدود نشده نیز با افزایش نسبت استفاده از فیلر ضایعات سیمانی افزایش یافته است. مقدار بهینه درصد پودر سیمان در مطالعه احمد و همکارانش ۱۰۰٪ جایگزینی با فیلر متداول تعیین شد (Ahmed and Othman, 2006).

نصرالله پور و همکارانش، به منظور بررسی دوام و شناخت راه‌های افزایش دوام مخلوط‌های آسفالتی از فیلرهای میکرونیزه تالک و کائولن استفاده نمودند و نشان دادند که، به طور کلی، استفاده از مخلوط‌های آسفالتی حاوی فیلرهای میکرونیزه، شامل تالک و کائولن، مقاومت بسیار خوبی در برابر آسیب رطوبتی را دارا می‌باشند. همچنین، مخلوط فیلرهای تالک و کائولن با پودر سنگ به نسبت مساوی در نمونه‌های آسفالتی نیز مقاومت فشاری و دوام بالاتری را نتیجه دادند (نصراله پور و همکاران، ۱۳۹۰). در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای توسط چن و همکارانش (Chen et al., 2011)

به منظور ارزیابی استفاده از پودر آجر در مخلوط آسفالتی صورت گرفت. مدول کششی غیر مستقیم بزرگ‌تر در مخلوط آسفالتی با فیلر آجری در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد مشخص کرد که فیلرهای بازیافتی آجری می‌تواند مدول سختی قیر را افزایش دهد، که منجر به افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل دائمی می‌شود. همچنین، نشان داده شد که مخلوط آسفالتی حاوی پودر آجر مقاومت بهتری نسبت به مخلوط شاهد در برابر آسیب‌های رطوبتی دارد. به منظور ارزیابی عمر خستگی بتن آسفالتی با استفاده از فیلر آجر بازیافتی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد از آزمایش تیر خمشی استفاده شد و نتایج نشان داد که نمونه‌ی آسفالتی با فیلر آجر ضایعاتی دارای عمر خستگی بیشتری نسبت به مخلوط آهکی می‌باشند.

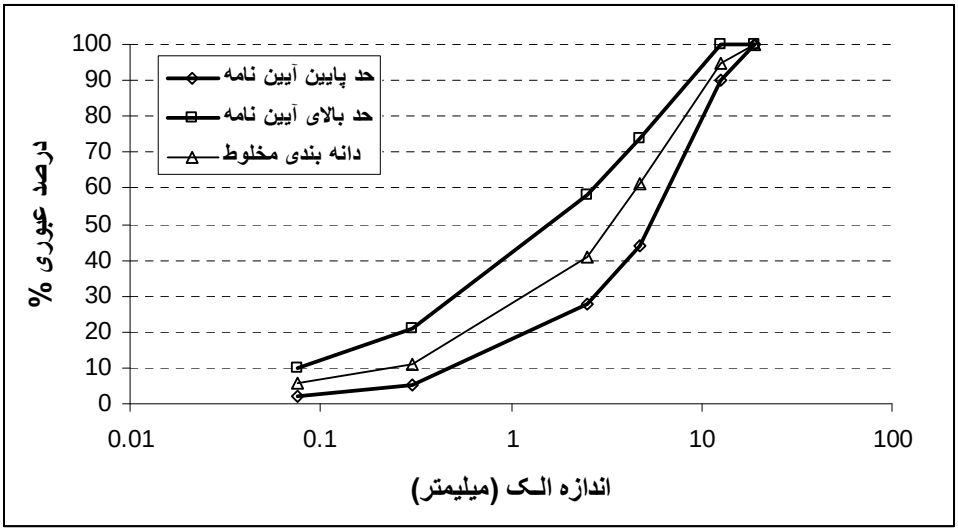
۳- مواد و مصالح مصرفی

مواد مصرفی در این تحقیق شامل قیر خالص، مصالح سنگی، پودر حاصل از خرد کردن آجر و شیشه می‌باشند. قیر مورد استفاده در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آسفالتی از نوع قیر خالص۷۰-٦۰ تولید پالایشگاه تبریز می‌باشد که مشخصات فنی آن در محدوده مجاز آیین نامه بود. درجه نفوذ و نقطه نرمی این قیر به ترتیب ٦٤ و ۵۰/٦ تعیین گردید. این نوع قیر در مناطق سردسیر ایران برای ساخت آسفالت استفاده می‌گردد.

مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی از نوع سنگ سیلیس بوده و در ٤ اندازه، ۱۹-۱۲ میلیمتر، ۱۲-٦ میلیمتر، ٦-۰ میلیمتر و فیلر از کارخانه آسفالت زنجان رەساز تهیه شد. با انجام آزمایش دانه بندی بر روی هر کدام، و انتخاب محدوده دانه‌بندی استاندارد که دانه‌بندی شماره ٤ آیین نامه روسازی آسفالتی ایران (۱۳۹۰). می‌باشد، درصد هر کدام از این مصالح برای ساخت نمونه‌ها محاسبه گردید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. دانه بندی مصالح سنگی مخلوط مورد استفاده در این تحقیق

فیلرهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل پودر آجر بازیافتی و پودر شیشه می‌باشند. پودر آجر بازیافتی از ضایعات آجر به دست آمده از تخریب ساختمانها تهیه گردید. بدین منظور، آجرهای رسی فشاری به دست آمده از نخاله‌های ساختمانی با آب شسته شده و سپس تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت خشک شدند. در نهایت، آجر بازیافتی توسط سنگ شکن فکی آزمایشگاهی خرد شده و توسط آسیاب ساچمه‌ای برای مدت ۱۵ دقیقه به پودر آجر تبدیل شده‌اند. سپس، آن را از الک شماره ۲۰۰ عبور داده و فیلر آجر بازیافتی بدست آمد. پودر شیشه استفاده شده در این مطالعه از شرکت دانه‌های شیشه‌ای به صورت آماده تهیه شده و پس از عبور از الک ۲۰۰ در ساخت نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ فیلرهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

٤- کارهای آزمایشگاهی

٤-١ برنامه آزمایش‌ها

به منظور بررسی اثر میزان جایگزینی فیلر پودر سنگ طبیعی با فیلرهای بازیافتی مورد استفاده در این تحقیق، برای هر نوع فیلر از ٤ ترکیب مختلف استفاده شد. به طوری که، بر اساس طرح اختلاط به دست آمده، با ثابت نگاه داشتن مقادیر وزنی سایر مصالح و قیر، فیلر متداول در چهار درصد وزنی (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) با فیلرهای جدید جایگزین گردید و آزمایش‌های استقامت مارشال و مقاومت کششی، در حالت خشک و عمل آمده تحت شرایط رطوبتی، بر روی تمامی ترکیبات انجام گرفت. همچنین، به منظور بررسی ویژگی‌های حجمی، وزن مخصوص واقعی و حداکثر نظری ترکیبات مختلف اندازه‌گیری شدند. ابتدا، به منظور یافتن قیر بهینه

شکل ۲. فیلرهای استفاده شده در مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

مصالح شاهد، روش طرح اختلاط مارشال مورد استفاده قرار گرفت. مقدار قیر بهینه برای مصالح سنگی و فیلر پودر سنگ تهیه شده از کارخانه آسفالت بدست آمده و این مقدار قیر برای ساخت سایر ترکیب‌های نمونه‌های آسفالتی مورد استفاده قرار گرفت.

٤-٢- ساخت نمونه‌ها

نمونه‌های مورد استفاده درآزمایشات این تحقیق، استوانه‌ای با قطر ١٠٠ میلی‌متر و ارتفاع حدود ٦٥ میلی‌متر بوده که با روش مارشال و مطابق استاندارد ASTM D1559 ساخته شدند. با انجام طرح اختلاط به روش مارشال، قیر بهینه با فیلر پودر سنگ طبیعی ٥/٢ درصد تعیین گردید، که برای سایر ترکیبات نیز از همان مقدار استفاده گردید. برای ساخت نمونه‌ها، با توزین اجزا مختلف مصالح سنگی و فیلر به مقدار مورد نیاز برای هر نمونه، برای رسیدن به دمای لازم، آنها را در گرمخانه قرار داده و سپس با قیر مورد نیاز که در گرمخانه در دمای مورد نیاز حرارت داده شده بود، درداخل مخزن اختلاط آزمایشگاهی با هم مخلوط و سپس داخل قالب مارشال ریخته شده و با چکش مارشال با اعمال ٧٥ ضربه به هر طرف متراکم گردیدند. نمونه‌ها ٢٤ ساعت بعد از تراکم با جکهای مخصوص از داخل قالب بیرون آورده شده و برای استفاده در آزمایشات آماده گردیدند.

٤-٣ - آزمایش استقامت مارشال

آزمایش مارشال بر روی نمونه‌های آماده شده مطابق با استاندارد ASTM D1559انجام شد. نمونه‌ها به مدت ٣٠دقیقه در آب ٦٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس با خشک کردن سطح آنها، بلافاصله بین دو فک دستگاه مارشال قرار گرفته و بارگذاری شدند. بارگذاری نمونه‌ها با سرعت دو اینچ در دقیقه انجام گرفت و در لحظه‌ای که نمونه آسفالتی شروع به حالت وارفتگی کرد حداکثر عدد از روی گیج خوانده شده و ثبت گردید. در این وضعیت عدد روانی‌سنج نیز ثبت شد. با در نظر گرفتن ضریب رینگ دستگاه، حداکثر اعداد قرائت شده توسط گیج دستگاه مارشال تصحیح گردیدند. در هر حالت آزمایش سه بار تکرار شده و از مقادیر میانگین استفاده گردید.

قبل از انجام آزمایش مارشال، با اندازه گیری وزن نمونه‌ها در آب و در هوا وزن مخصوص متراکم شده و حداکثر وزن مخصوص نظری نمونه‌ها، به ترتیب، مطابق استانداردهای ASTM- D 2726 و ASTM- D 2041 تعیین شده و با استفاده از آنها و سایر اطلاعات موجود برای ترکیبات مختلف، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم، درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی (VMA) و درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA) با استناد به روابط موجود در نشریه MS-2 مؤسسه آسفالت محاسبه گردیدند.

٤-٤- آزمایش‌های مقاومت کششی

روش استاندارد ASTM-D6931 برای ارزیابی مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط‌های آسفالتی در دو دمای ٢٥ و ٤٠ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم، ابتدا نمونه‌ها به مدت ٢٠ دقیقه در حمام آبی، که دمای آن در ٤٠ دمای مورد نظر تنظیم شده بود، قرار گرفتند. نمونه‌ها، بلافاصله بعد از بیرون آوردن از داخل حمام آب، در جهت قطری در داخل قاب آزمایش کشش غیرمستقیم (شکل ٣) قرار گرفته و با دستگاه بارگذاری مارشال با سرعت ٥٠/٨ میلیمتر بر دقیقه است بارگذاری شده تا شکسته شوند. نیروی لازم برای شکست نمونه‌ها اندازه گیری شده و با استفاده از رابطه ١ مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌ها در دمای‌های مورد نظر اندازه گیری گردید.

$$S_t = \frac{2000\,P}{\pi t D} \qquad (١)$$

که در آن، S_t: مقاومت کششی (کیلوپاسکال)، P: حداکثر بار (نیوتون)، t: ارتفاع نمونه بلافاصله قبل از آزمایش (میلی‌متر) و D: قطر نمونه بلافاصله قبل از آزمایش (میلی‌متر) است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳ . قاب آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

٤-٥- آزمایش حساسیت رطوبتی

این آزمایش به منظور بررسی آسیب رطوبتی مطابق استاندارد ASTM-D4867 انجام شد. برای این منظور، دو گروه نمونه ساخته شد. یک گروه از نمونه‌ها ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شده و سپس تحت آزمایش کشش غیر مستقیم قرار گرفتند و گروه دیگر، قبل از انجام آزمایش، تحت عمل‌آوری رطوبتی قرار گرفتند، که بدین منظور، نمونه‌ها در معرض اشباع شدگی تحت خلا با اعمال خلا نسبی ۵۲۵ میلی‌متر جیوه برای مدت ۵ دقیقه، و غوطه‌وری در آب گرم ٦۰ درجه برای مدت ٢٤ ساعت قرار گرفتند. درجه اشباع شدگی این نمونه‌ها بایستی بین ۵۵ تا ۸۰ درصد باشد. در انتها نیز این گروه از نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس تحت آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم به وسیله جک مارشال و فک شکست ITS قرار گرفتند. شاخص کمی مقاومت مخلوط آسفالتی گرم در برابر اثر مخرب آب، به صورت نسبت مقاومت کششی پس از عمل‌آوری رطوبتی به مقاومت کششی اولیه و دست نخورده، از رابطه۲ محاسبه گردید.

$$TSR = \left(\frac{S_{tm}}{S_{td}}\right) 100 \qquad (۲)$$

که در آن، TSR: نسبت مقاومت کششی (٪)، S_{tm}: میانگین مقاومت کششی نمونه‌های عمل آوری شده تحت شرایط رطوبت (کیلوپاسکال) و S_{td}: میانگین مقاومت کششی نمونه‌های تحت شرایط خشک (کیلوپاسکال) می‌باشد.

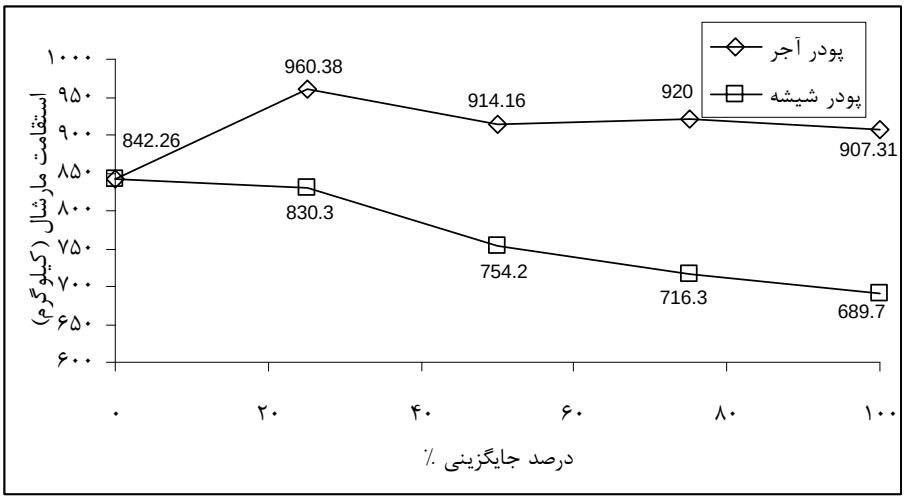
۵- نتایج آزمایشات

۵-۱- نتایج آزمایشات مارشال

شکل ٤ نتایج استقامت مارشال ترکیبات حاوی مقادیر مختلف از دو نوع فیلر را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، مخلوط‌های حاوی پودر آجر دارای استقامت مارشالی بیشتر از نمونه کنترل و مخلوط‌های حاوی فیلر پودر شیشه می‌باشند. همچنین، این نتایج بیانگر این است که ترکیبی که در آن ۲۵٪ از فیلر طبیعی با پودر آجر جایگزین شده است دارای بیشترین استقامت مارشال است و بعد از آن تغییر چندانی در استقامت دیده نمی‌شود. اما، نتایج مربوط به ترکیبات حاوی پودر شیشه نشان می‌هند که استقامت مارشال با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه کاهش می‌یابد. با این حال، مشخصات فنی حداقل استقامت مارشال ۸۰۰ را برای ترافیک سنگین، ۵۵۰ برای ترافیک متوسط و ۳۵۰ را برای راه‌های با ترافیک سبک الزام می‌کند، که بر این اساس می‌توان مخلوط‌هایی که در آن از فیلر پودر شیشه استفاده گردیده است را در راه‌های با ترافیک متوسط و سبک استفاده نمود و ترکیبی که در آن ۲۵٪ از فیلر طبیعی با پودر شیشه جایگزین شده است را می‌توان در رویه راههای با ترافیک سنگین به کار برد.

www.SID.ir

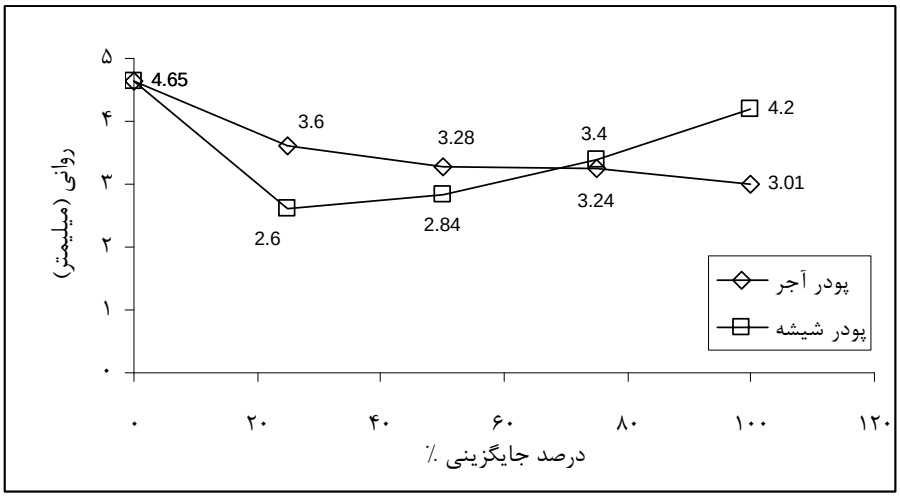
Archive of SID



شکل ٤. استقامت مارشال نمونه‌های مختلف

شکل ۵ تغییرات روانی بتن آسفالتی را برحسب درصد جایگزینی دو نوع فیلر نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، روانی بتن آسفالتی با افزایش درصد جایگزینی فیلر با پودر آجر کاهش می‌یابد که نشان دهنده افزایش سختی مخلوط می‌باشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که کمترین روانی مربط به حالتی است که ۲۵٪ از فیلر طبیعی با پودر شیشه جایگزین گردیده است. اما، با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه به بیش از ۲۵٪ روانی افزایش می‌یابد، هر چند مقدار آن همواره از نمونه کنترل کمتر است.

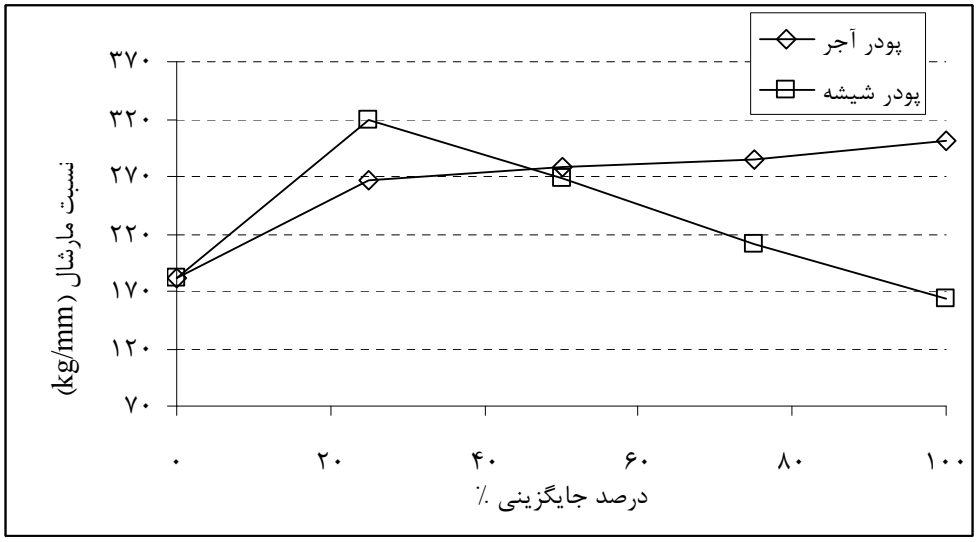
نسبت مارشال به صورت نسبت استقامت مارشال به روانی تعریف شده و نشان دهنده مقاومت به تغییر شکل مخلوط می‌باشد. شکل ٦ نشان دهنده تغییرات نسبت مارشال با درصد جایگزینی فیلرهای پودر آجر و شیشه با فیلر طبیعی می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، با افزایش درصد جایگزینی فیلر با پودر آجر افزایش نسبت مارشال افزایش می‌یابد و همواره از مقدار آن برای مخلوط شاهد بیشتر است. اما، نسبت مارشال بتن آسفالتی تا ۲۵٪ از جایگزینی پودر شیشه با فیلر طبیعی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد و ترکیبی که در آن ۲۵٪ از فیلر طبیعی با پودر شیشه جایگزین شده است دارای بیشترین نسبت مارشال می‌باشد.



شکل۵. مقادیر روانی، برحسب نوع مخلوط

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٦. نسبت مارشال نمونه‌های مختلف بر حسب درصد جایگزینی و نوع فیلر

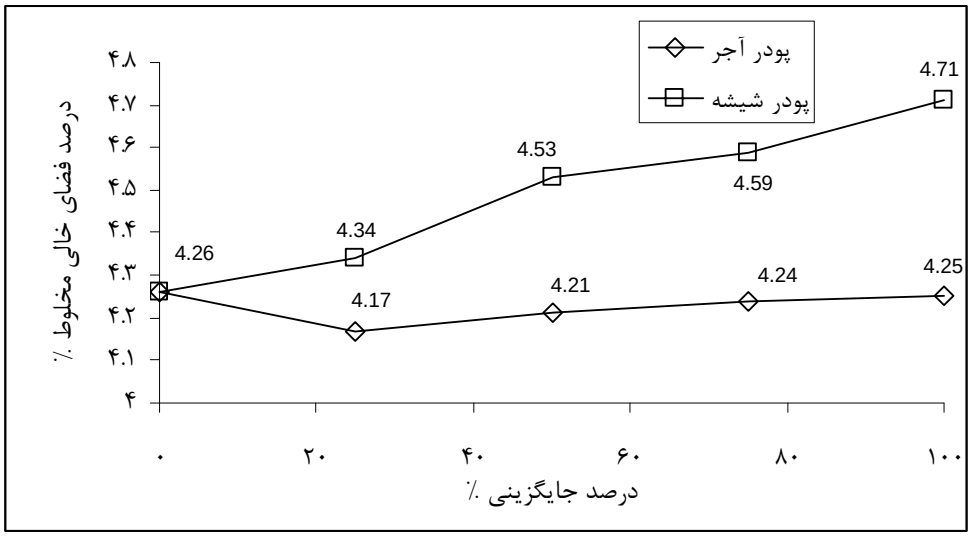
۵-۲- نتایج خصوصیات حجمی

سه ویژگی مهم از بتن آسفالتی که بر عملکرد آن تاثیر زیادی دارند، درصد فضای مخلوط بتن آسفالتی، فضای خالی مصالح سنگی (VMA) و فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA) می‌باشند. مشخصات فنی محدودیت‌هایی را در مقادیر این ویژگی‌ها الزام می‌کنند که مخلوط‌های طرح شده ملزم به رعایت آنها می‌باشند. شکل‌های۷ ، ۸ و۹ به ترتیب، تغییرات درصد فضای خالی، فضای خالی مصالح سنگی و فضای خالی پر شده با قیر را بر حسب درصد جایگزینی فیلر طبیعی با دو نوع فیلر مورد استفاده در این تحقیق نشان می‌دهند. همانگونه که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد، افزودن پودر آجر تغییر چندانی را در درصد فضای خالی ایجاد نمی‌کند، اما افزایش درصد جایگزینی با پودر شیشه باعث افزایش درصد فضای خالی مخلوط می‌گردد. با اینحال، مقدار افزایش در درصد فضای خالی به حدی نیست که الزامات مشخصات فنی را جوابگو نباشد، زیرا، مطابق مشخصات فنی، حداکثر درصد فضای خالی مصالح مخلوط آسفالتی در هیچ حالت از ٦٪ کمتر نیست. همچنین، نتایج شکل ۸ نشان می‌دهد که درصد فضای خالی مصالح سنگی با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه افزایش می‌یابد، اما، با افزایش درصد جایگزینی پودر آجر تا ۲۵٪ کاهش و سپس افزایش می‌یابد، ولی مقدار آن همواره از ترکیب شاهد کمتر است. از آنجایی که آئین‌نامه‌ها حداقل مقداری را برای درصد فضای خالی مصالح سنگی مخلوط الزام می‌کنند، در مورد افزایش درصد فضای خالس مصالح سنگی با افزایش جایگزینی پودر شیشه نگرانی وجود ندارد، و حداقل مقدار به دست آمده با پودر آجر(١٤/٩) از حداقل مقدار الزام شده در آیین‌نامه برای مخلوط آسفالتی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر که در این تحقیق استفاده شده است (١٤٪) بیشتر می‌باشد. نتایج ارایه شده برای درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر در شکل ۹ نشان می‌دهد که افزایش درصد جایگزینی با پودر شیشه باعث کاهش درصد فضای خالی پر شده با قیر می‌گردد. از آنجایی که حداقل مقدار فضای خالی پر شده با قیر بتن آسفالتی توسط آیین‌نامه‌ها محدود می‌شود، باید اطمینان حاصل گردد که مقدار آن همواره از حداقل مقدار الزام شده بیشتر شود. در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران حداقل درصد فضای خالی پر شده با قیر برای راه‌های با ترافیک سنگین، متوسط و سبک، به

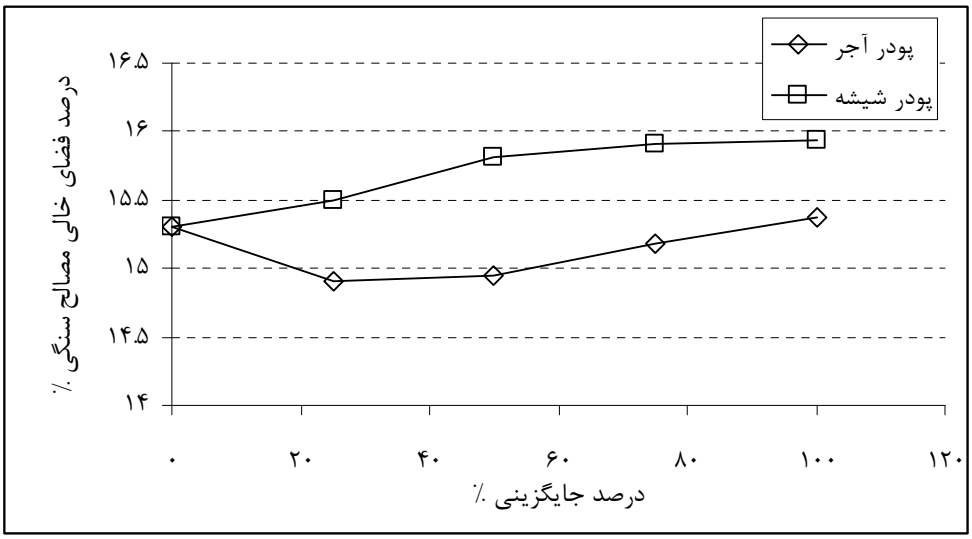
www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب، ٦٠ ، ٦٥ و٧٠٪ است که همگی از کمترین درصد فضای خالی به دست آمده برای مخلوط‌های حاوی پودر شیشه (٧٠/٤٤) بیشتر بوده و مشکلی نخواهد بود. همچنین، در شکل ١١ ملاحظه می‌گردد که جایگزینی فیلر طبیعی با پودر آجر تغییر چندانی را در درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر ایجاد نمی‌کند.



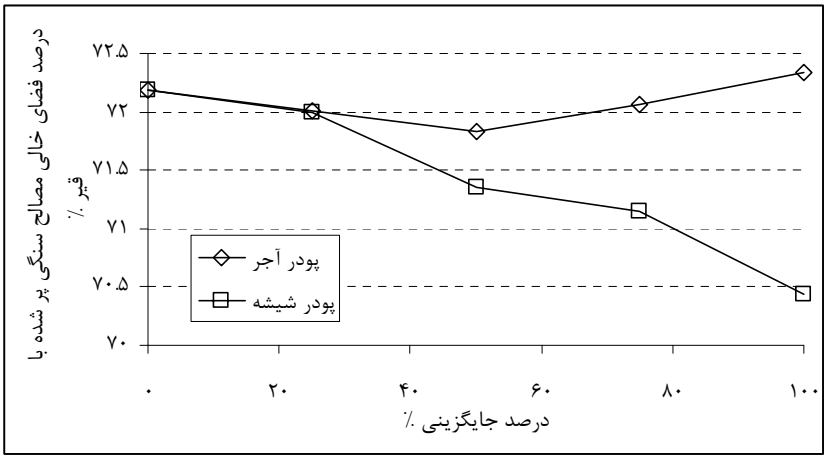
شکل٧. فضای خالی مخلوط‌آسفالتی بر حسب درصد جایگزینی فیلر و نوع آن



شکل ٨ . فضای خالی مصالح سنگی بر حسب درصد جایگزینی فیلر و نوع آن

www.SID.ir

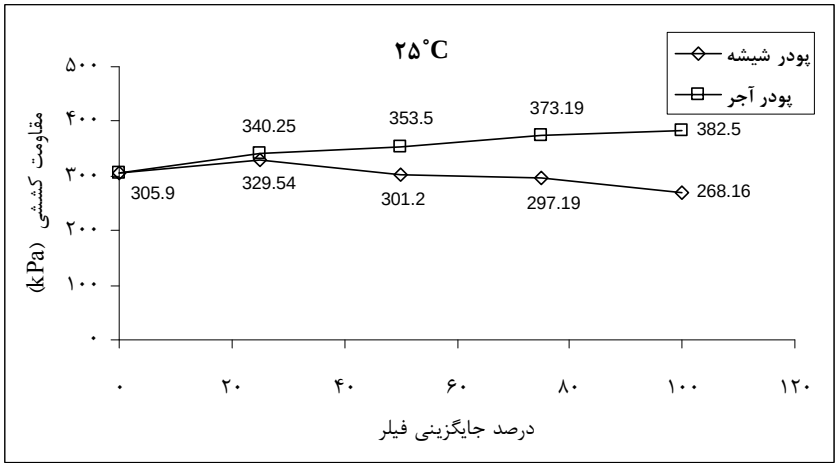
Archive of SID



شکل۹. درصد فضای خالی پر شده با قیر بر حسب درصد جایگزینی فیلر و نوع آن

۵-۳- نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی

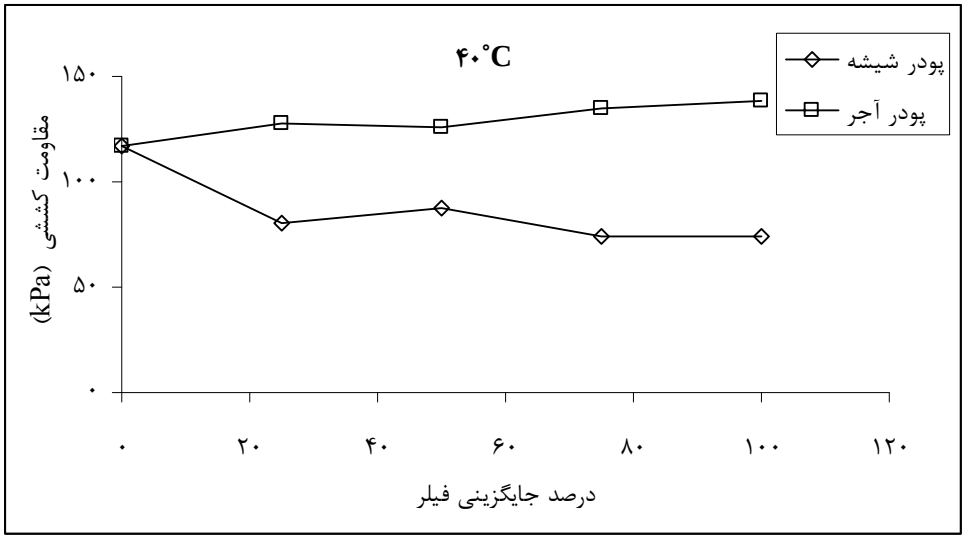
شکل ۱۰ و ۱۱، به ترتیب، نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی غیر مستقیم را برای درصدهای مختلف جایگزینی پودر آجر و شیشه در دمای ۲۵ و ٤٠ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، در هر دو دما، در مخلوط‌های حاوی پودر آجر بازیافتی، مقاومت کششی با افزایش پودر آجر افزایش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان به وزن مخصوص کمتر آجر نسبت داد. به طوری که، با درصد وزنی برابر فیلر در مخلوط، حجم فیلر آجری بیشتر از حجم فیلر پودر سنگ است. در نتیجه حجم بیشتر فیلر در یک محدوده مناسب باعث جذب بیشتر به قیر می‌شود. اما، در مخلوط‌های حاوی پودر شیشه ضایعاتی، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنها نمونه‌های حاوی ۲۵٪ پودر شیشه دارای مقاومت کششی غیرمستقیم بیشتری نسبت به مخلوط شاهد می‌باشد، و در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد، هر گونه جایگزینی فیلر طبیعی با پودر شیشه باعث کاهش مقاومت کششی گردیده است. دلیل مشخصی برای این موضوع یافت نشد، اما به نظر می‌رسد که دلیل آن ترکیب شیمیایی و بافت سطحی پودر شیشه باشد. مطابق نتایج ارایه شده در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ استفاده از پودر آجر به عنوان فیلر همواره مقاومت کششی بیشتری را از مخلوط شاهد و یا مخلوط حاوی پودر شیشه نتیجه خواهد داد.



شکل ۱۰. مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط‌های حاوی پودر شیشه و آجر در دمای ۲۵˚C

www.SID.ir

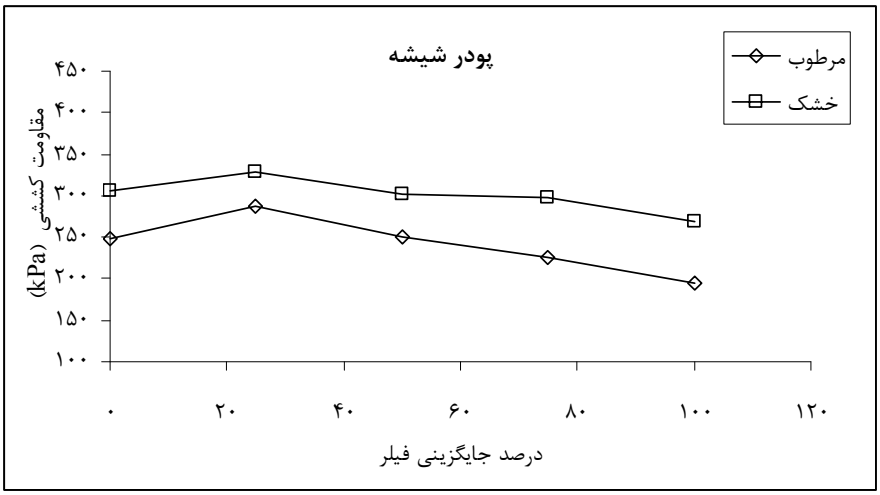
Archive of SID



شکل ۱۱. مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط‌های حاوی پودر شیشه و آجر در دمای ۴۰ °C

۵-٤- نتایج آزمایش‌های حساسیت رطوبتی

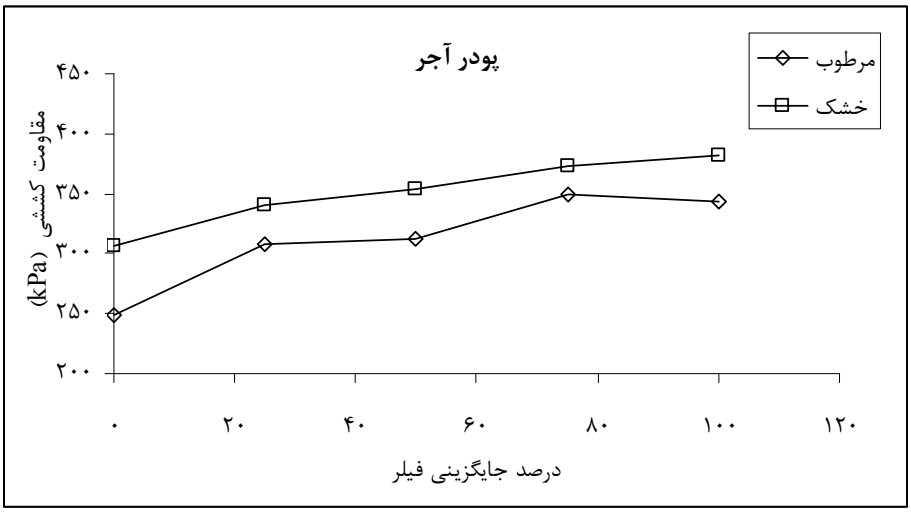
شکل‌های ۱۲و۱۳، به ترتیب، تغییرات مقاومت کششی در حالت خشک و عمل اوری شده در شرایط رطوبتی را با درصد جایگزینی فیلر طبیعی با فیلرهای بازیافتی، برای مخلوط‌های حاوی فیلر پودر شیشه و پودر آجر نشان می‌دهند. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، برای هر دو نوع فیلر بازیافتی و فیلر شاهد، مقادیر مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های عمل‌آوری شده از مقادیر مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های عمل‌آوری نشده کمتر می‌باشد. علت این امر، کاهش چسبندگی قیر با مصالح سنگی در حضور آب و همچنین، نرم شدن و امولوسیونی شدن قیر در اثر نفوذ آب می‌باشد. همچنین، نتایج ارایه شده در این دو شکل نشان می‌دهند که روند تغییرات مقاومت کششی با درصد جایگزینی فیلر در هر دو حالت عمل آمده و خشک با هم یکسان است، که در آن، مقاومت کششی با افزایش پودر آجر افزایش یافته، و با افزایش پودر شیشه تا ۲۵٪، مقاومت افزایش و سپس کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند ناشی از بیشتر بودن تعداد ذرات آجر بازیافتی نسبت به پودر سنگ باشد. در نتیجه فضای خالی در مخلوط آسفالتی بهتر پرشده و مانع از نفوذ آب به درون نمونه‌ها می‌شود.



شکل ۱۲. تغییرات مقاومت کششی غیر مستقیم خشک و مرطوب با درصد جایگزینی فیلر پودر شیشه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳. تغییرات مقاومت کششی غیر مستقیم خشک و مرطوب با درصد جایگزینی فیلر پودر آجر

شکل ١٤ نتایج نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های عمل آمده در شرایط رطوبت را به مقاومت کششی نمونه‌های عمل آوری نشده نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، این نسبت برای مخلوط‌های حاوی پودر آجر بیش از مخلوطهای حاوی پودر شیشه و مخلوط شاهد می‌باشد که نشان دهنده مقاومت بهتر در مقابل اثرات مخرب رطوبت می‌باشد. بیشترین نسبت مقاومت کششی برای مخلوطی که ۷۵٪ از وزن فیلر طبیعی با پودر آجر جایگزین گردیده به دست آمده است. به نظر می‌رسد بیشتر بودن ذرات آجر بازیافتی، باعث کمبود قیر در ۱۰۰٪ جایگزینی شده است که در نتیجه آن فضای خالی بیشتر شده و اثر مخرب رطوبت بیشتر می‌گردد. بنابراین، درصد فیلر بهینه برای مخلوط‌های آسفالتی با پودر آجر بازیافتی، ۷۵٪ جایگزینی می‌باشد. در مورد نمونه‌های حاوی پودر شیشه بازیافتی، ۲۵٪ جایگزینی پودر شیشه دارای بیشترین نسبت TSR می‌باشد. با افزایش درصد جایگزینی، این نسبت کاهش می‌یابد. با این حال، نسبت TSR در نمونه‌های حاوی ۲۵٪ و ۵۰٪ بیشتر از نمونه شاهد و حداقل مقدار مشخص شده توسط آیین نامه (۸۰٪) است. بنابراین، این دو درصد جایگزینی می‌تواند مقاومت بهتری در برابر آسیب رطوبتی از خود نشان دهد. این امر می‌تواند ناشی از خاصیت آب دوستی کمتر پودر شیشه نسبت به پودر سنگ سیلیسی طبیعی باشد. افزایش بیشتر درصد جایگزینی، باعث کمبود پوشش قیر در سطح سنگدانه‌ها شده، و در نتیجه، در مخلوط‌های با ۷۵٪ و ۱۰۰٪ جایگزینی با پودر شیشه مقاومت مناسبی در برابر آسیب رطوبتی مشاهده نمی‌گردد. به نظر می‌رسد علت آن کمبود قیر در نمونه‌ها باشد.

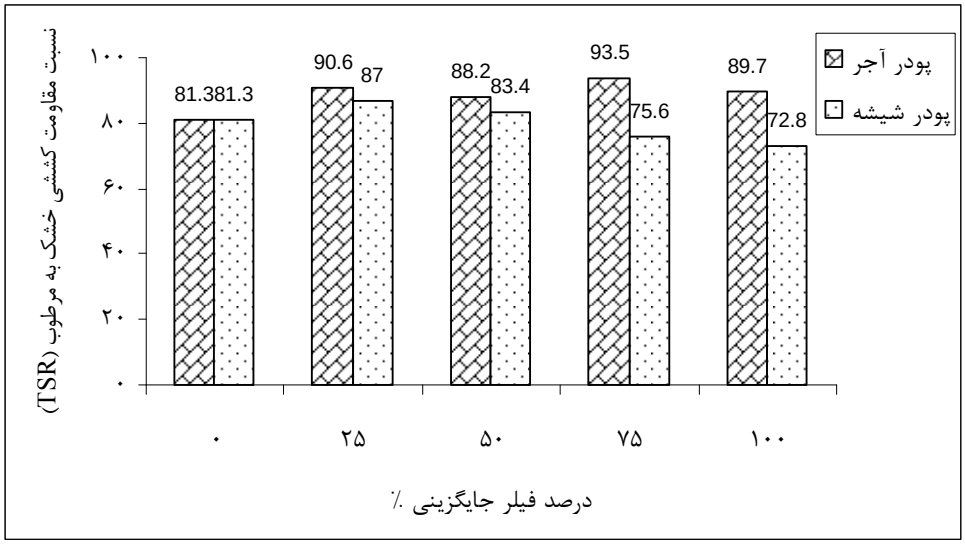
٦- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، درصدهای مختلف وزنی از فیلر پودر سنگ طبیعی از جنس سیلیس با دو نوع پودر بازیافتی به دست آمده از آجر فشاری رسی و شیشه جایگزین گردید و خصوصیات استقامت مارشال، روانی، ویژگی‌های حجمی، مقاومت کششی غیر مستقیم در دو دمای ۲۵ و ٤٠ درجه سانتی‌گراد و آسیب رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج به شرح زیر ارایه می‌گردند.

- استفاده از پودر آجر به عنوان فیلر در بتن آسفالتی باعث افزایش استقامت مارشال، کاهش روانی و افزایش سختی نسبت به بتن آسفالتی که دارای فیلر پودر سنگ است می‌شود.
- در مخلوط‌های حاوی پودر آجر، روانی و نسبت مارشال با افزایش درصد جایگزینی پودر آجر افزایش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ١٤. تغییرات نسبت مقاومت کششی مرطوب به خشک TSRبا درصد جایگزینی فیلر

یافته، ولی استقامت مارشال، تا ۲۵٪ جایگزینی افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

- با افزایش درصد جایگزینی فیلر پودر سنگ با پودر شیشه، استقامت مارشال کاهش، روانی ابتدا کاهش و سپس افزایش، ونسبت مارشال ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد و بیشترین سختی با جایگزینی ۲۵٪ از فیلر با پودر شیشه به دست می‌آید.
- برای رویه آسفالتی راه‌های با ترافیک سنگین، می‌توان از بتن آسفالتی که در آن تا ۲۵٪ از حجم فیلر را پودر شیشه تشکیل دلده استفاده نمود و با درصدهای بالاتر فقط در راه های با آمد و شد متوسط و کم قابل استفاده است.
- جایگزینی فیلر طبیعی با پودر آجر تاثیرچندانی بر درصد فضای خالی مخلوط و فضای خالی پر شده با قیر ندارد، اما با افزایش درصد جایگزینی، درصد فضای خالی مصالح سنگی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.
- افزایش درصد جایگزینی فیلر پودر سنگ با پودر شیشه باعث افزایش درصد فضای خالی مخلوط، فضای خالی مصالح سنگی و کاهش فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر می‌شود، ولی در همه درصدهای جایگزینی الزامات آیین‌نامه‌ای برآورده می‌گردد.
- در هر دو دمای مورد مطالعه در این تحقیق، مقاومت کششی غیر مستقیم بتن اسفالتی با افزایش درصد جایگزینی پودر فیلر طبیعی با پودر آجر افزایش می‌یابد.
- در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با افزایش درصد جایگزینی پودر شیشه تا ۲۵٪، مقاومت کششی افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد، مقاومت کششی با افزایش درصد جایگزینی کاهش می‌یابد.
- با روند تغییراتی مشابه با نمونه‌های عمل نیامده برای مقاومت کششی بر حسب درصد جایگزینی فیلر طبیعی با فیلر بازیافتی، مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های عمل آمده در شرایط استاندارد رطوبت کمتر از آن در حالت خشک برای تمامی ترکیبات مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد.
- نسبت TSR همه ترکیباتی که فیلر پودر اجر جایگزین فیلر طبیعی شده است، بیش از آن برای مخلوط شاهد می‌باشد و بیشترین مقدار آن برای ترکیبی با جایگزینی ۷۵٪ می‌باشد.
- نسبت TSR مخلوط‌های حاوی پودر شیشه، فقط در درصدهای جایگزینی ۲۵ تا ۵۰٪ بیش از مخلوط شاهد بوده و در ترکیب با ۱۰۰٪ جایگزینی این نسبت از حد مجاز آیین‌نامه‌ای ۷۵٪ هم کمتر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

- پودر آجر و شیشه را می‌توان در یک نسبت معین جایگزین فیلر طبیعی نمود تا مقاومت کششی آن را افزایش و پتانسیل رطوبتی آن را کاهش داد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Tons et al.
2. Serkan Tapkin
3. Chen, et al.

۸- منابع

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۹۱ "آیین‌نامه طراحی روسازی آسفالتی" تهران، ایران.
- غفارپور جهرمی، س. و خدایی، ع. ، ۱۳۸۸ "تاثیر خصوصیات فیزیکی ـ هندسی فیلرهای نوین. سنتی بر مشخصات مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی" پژوهشنامه حمل ونقل، سال ششم، شماره اول، بهار ۱۳۸۸.
- نصرالله پور، ذوقی، خلیل پاشا و خلیل زاده، ۱۳۹۰ " تاثیر انواع فیلرهای میکرونیزه بر دوام بتن آسفالتی" اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران، ۱۳۹۰.
- Ahmed, H.Y., Othman, A.M., 2006 "The effect of using waste cement dust as filler on the mechanical properties of hot mix asphalt", Ass. Univ. Bull. Environ. Res. Volume 9, Number 1, March 2006.
- Chen, M., Lin, J., Wu, S., Liu, C., 2011 *"Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture*" Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 4, Pages 1532–1536, April 2011.
- Goh, S.W., Akin, M., You, Z. and Shi, X. (2011), "Effect of deicing solutions on the tensile strength of micro- or nano-modified asphalt mixture", Construction and Building Materials, 25: 195-200.
- Tapkin, S., 2008 "Using Fly Ash as a Filler Replacing Agent and the Mechanical Evaluation of Dense Bituminous Mixtures by Repeated Load Indirect Tensile Test", 1st International Bitumen Conference, Tehran, Iran, October 2008
- Tons, E., Goetz, R. O., Razi, . 1983, "Fly ash as an asphalt reducer in bituminous base courses" Report prepared by the University of Michigan, The Board of Water and Light. Consumer Power Co., and Detroit Edison Co., Detroit, Michigan.1983
- Zoorob, S.E. and Suparma, L.B. (2000), "Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt)", Cement and Concrete Composites, 22: 233–242.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation and Comparison of the Properties of Asphalt Concrete Containing Recycled Brick and Glass Powder as Filler

H. Taherkhani, Assistant professor, Civil Engineering Department, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Email: taherkhani.hasa@znu.ac.ir

ABSTRACT

In recent years, the economy and sustainability are considered together in construction projects. One measure that can be done in this regard is partial or full replacement of construction materials by recycled waste materials. A large volume of waste materials are produced annually from construction and demolition of civil projects. On the other hand, the construction projects consume a large amount of natural resources. Replacing the virgin materials by recycled materials, while the properties is maintained or improved, is an eco-sustainable measure. In this research, the viability of using two types of recycled construction and demolition waste materials, namely glass and brick, as powder in asphalt concrete has been evaluated. The natural filler, as control, has been replaced in different percentages (25, 50, 75 and 100%), with the recycled materials, and the mixtures have been evaluated in terms of, marshal stability, flow, indirect tensile strength, moisture damage and volumetric characteristics. The results show that, the marshal stability increases, and the flow decreases by replacing the natural filler with brick powder. However, except for 100% of replacement, replacing the natural filler with glass powder, results in a higher Marshal quotient, indicating a better strength against deformation. Also, the results show that, at both 25 and 40˚C, the indirect tensile strength of asphalt concrete increases with increasing the replacement by brick powder. However, although the indirect tensile strength is improved at 25˚C, by 25% of replacing the natural filler with the glass powder; however, at 40˚C, the indirect tensile strength decreases with increasing the replacement with glass powder. The tensile strength ratio, which is an indicator for moisture damage, is increased with increasing the brick powder content, and increased until 50% of replacement with glass powder, beyond which starts to decrease. It is also found that, the brick powder does not influence the air voids in mixture, and the voids in mineral aggregates. However, the air voids content increases, and the voids in mineral aggregates decreases with increasing glass powder content.

Keywords: Filler, Glass Powder, Brick Powder, Asphalt Concrete, Tensile Strength, Moisture Damage

www.SID.ir

Archive of SID

[1] Tons et al.

www.SID.ir