ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از فیلر خاکستر پوسته برنج بر مشخصات مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA)

مقاله پژوهشی

علی عبدی کردانی، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
حبیب سلطانی اقدم، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، تبریز، ایران
محمد زارعی*، دانش آموخته دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول mohammadzarei959@yahoo.com

دریافت: ۹۹/۰۱/۲۹– پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۵
صفحه ۱۲-۱

چکیده

مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای یا آسفالت ماستیکی (SMA) از جمله مخلوط‌های آسفالتی داغ است که در سال‌های اخیر استفاده از آن در کشورهای مختلف به لحاظ ویژگی‌های خاص آن و به منظور افزایش توان باربری روسازی‌ها و افزایش اصطکاک سطح آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده زیاد قیر در این مخلوط‌ها موجب تشکیل غشا نسبتاً ضخیم قیر بر روی مصالح سنگی شده و باعث بوجود آمدن ویژگیهای خاص برای این مخلوطها در مقایسه با مخلوط‌های بتن آسفالتی می‌گردد. روش‌های مختلفی برای تقویت مقاومت مخلوط آسفالتی همانند استفاده از انواع افزودنی بکار گرفته شده است. فیلر خاکستر پوسته برنج یکی از افزودنی‌هایی است که علاوه بر جنبه زیست محیطی جهت بهبود اتصال بین پیوند آسفالت و مصالح بکار پیشنهاد شد. برای این منظور در این مقاله، مجموع نه نوع مخلوط آسفالتی ماستیکی در درصدهای مختلف قیر ۶۰/۷۰ و با درصد جایگزینی فیلر مصالح سنگی با ۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ فیلر پوسته برنج آماده شده، و آزمایش مارشال روی آنها انجام شد. نتایج خواص مکانیکی نشان داد که افزودن فیلر پوسته برنج سبب بهبود چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی شده و با افزایش مقاومت مارشال، مقاومت در برابر شیارشدگی را نیز افزایش داد. افزایش وزن مخصوص و درصد فضای پر شده با قیر به دلیل افزایش ضخامت غشای قیری اطراف مصالح سنگی و به دلیل وجود فیلر پوسته برنج از دیگر نتایج این تحقیق بود. در نهایت نتیجه شده که جایگزین شدن فیلر مصالح سنگی با فیلر خاکستر پوسته برنج در درصدهای مختلف و در درصد قیر ۶٫۵ درصد منجر به نتایج بهتر شد.

واژه‌های کلیدی: فیلر خاکستر پوسته برنج، مقاومت مارشال، شیار شدگی، آسفالت با استخوان‌بندی سنگی (SMA)

۱- مقدمه

آسفالت ماستیک درشت دانه (SMA) بیش از نیم قرن (از اواسط سال ۱۹٦۰) است که در قاره اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرد(Sengul et al. 2013). امروزه از آسفالت با استخوان‌بندی سنگ دانه‌ای در قشر رویه محورهای پر ترافیک، راههای دسترسی معادن، پیست‌های اتومبیلرانی، روسازی بنادر و فرودگاه‌های سراسر جهان استفاده

مـی شـود. مخلوطهـای آسـفالتی، قشـر نهـایی روسـازیهای انعطاف پذیر بوده، که نقش محافظت از جسـم راه و انتقـال تنشهای فشاری از لایه های فوقانی به لایه‌های زیرین را دارا بوده و تحت تأثیر مستقیم آثار مخرب شرایط جوی هسـتند. همچنین، این لایه از روسازی در معرض تـرک‌خـوردگی و شیار افتادگی که در اثر تنش‌های ناشی از بارگذاری ترافیـک وسـایل نقلیـه و تغییـرات دمـایی بـه وجـود می‌آیند، می‌باشد(Korayem et al. 2020) . همچنـین، در روسازیهای آسفالتی، شیار افتادگی، به عنـوان تجمـع تغییـر شکل‌های ماندگار هر یک از لایـه‌هـای سـاختار روسـازی، تحـت بـار ترافیـک، تعریـف مـی‌شـود (Khodaii and Mehrara, 2009) شیار افتادگی در لایـه‌هـای روسـازی، یکی از انواع بسیار مهم خرابی‌های روسازی آسفالتی است و بسته به سطح آن، می‌تواند مانع مهمی در برابر ایمنی ترافیک، راحتی رانندگی و عمر سرویس دهی ساختار روسازی باشـد (Miljković and Radenberg, 2011). از عواملی که شیار افتادگی را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از: افزایش تـنش ناشـی از بارگـذاری، دامنـه هـای طـولانی شـیبدار، کامیونهای با سرعت پایین، خواص مصالح و شـرایط آب و هوایی. با افزایش بارگذاری ناشی از ترافیک و فشار لاستیک، تغییر شکل دائمی لایه‌های بالایی روسازی، افزایش می‌یابـد. مشخصـه اساسـی روسـازی‌هـای آسـفالتی، کـه نقـش تعیین‌کننده ای در دوام و استقامت سازهای دارد، مقاومت در برابـر شـیار افتـادگی اسـت (Shafabakhsh and Ani, 2015). روسازی‌های آسفالتی به منظور ارائه سـرویس بـا کیفیت در عمر سرویس دهـی، بایسـتی دارای خصوصـیات عملکردی و ساختار رضایت بخشی باشند. همواره اقداماتی که موجب افزایش دوام، کیفیت و عمر روسازی و همچنین، جلوگیری از خرابی‌های زودرس در لایـه آسـفالتی گردنـد، مورد توجه قـرار گرفتـه اسـت (Zahedi et al., 2017; Abdi et al., 2020; Zahedi et al., 2020 and Zahedi et al., 2017b). بـه همـین منظـور، امـروزه محققان با استفاده از افزودنی‌های مختلف سعی بـر اصـلاح خواص قیر و مخلوطهای آسفالتی در جهت کاهش خرابی‌ها و هزینه‌های نگهداری رویه‌های آسفالتی دارنـد (Zarei et al., 2020; Zarei et al., 2020b and Zarei et al., 2019).

استفاده از الیـاف در آسـفالت ماسـتیک درشـت دانـه و مخلوط‌های با دانه بندی باز یا متخلخل بـرای جلـوگیری از پدیـده ریـزش قیـر بسـیار معمـول اسـت. همچنـین، در مخلوط‌های با دانـه‌بنـدی پیوسـته، بـرای افـزایش پایـداری (کـاهش شـیار افتـادگی) و بهبـود مقاومـت در برابـر تـرک‌خـوردگی مـورد اسـتفاده قـرار مـی‌گیرنـد. اگرچـه مخلوط‌های آسـفالتی در برابـر نیروهـای فشـاری مقاومـت می‌کنند، ولی در برابر تنشـهای کشـش ضـعیف مـی‌باشـند. بنابراین، اضافه کردن الیاف با استحکام کششی بالا می‌توانـد مقاومت کششی مخلوط های آسفالت را با انتقال استرس بـه الیاف افزایش دهد. چسبندگی خوب بین قیر و الیاف جهـت انتقال مؤثر تنش‌ها به الیاف مورد نیاز است. علاوه بـر ایـن، برای جلـوگیری از تمرکـز تـنش، بایسـتی الیـاف بـه طـور یکنواخـت در مخلـوط پخـش شـوند (National Cooperative Highway Research Program, 2010). در حالـت کلـی، الیـاف مـی‌تواننـد خصوصـیات ویسکوالاستیسیته مخلوط را تغییر داده و موجب بهبود مدول دینامیکی (Abtahi et al., 2010)، بهبود آسیب رطوبتی (Xu and Wang, 2011) و مقاومـت در برابـر شـیار افتادگی (Han et al., 2012) شده و ترکهای خستگی را کاهش دهند. همچنین، افزودن الیاف قیـر را سـفت کـرده و همچنین با ایجاد شبکه سه بعدی موجب پایـداری قیرهـای مخلوط می شود و پدیـده ریـزش قیـر را کـاهش مـی‌دهـد (Kumar et al., 2009). بـا ایـن وجـود گـاهی اوقـات مشکلات مختلفـی در اسـتفاده از الیـاف همچـون گلولـه‌ای شدن و روانی بیش از حد در آن دیده شده است.

یکی از عظیم‌ترین مـواد زائـد تولیـد شـده از سـوزاندن پوسته برنج در ایران، خاکستر پوسته بـرنج (RHA) اسـت. این ماده بـرای تهیـه سـوخت کارخانجـات کارخانـه بـرنج

استفاده می شود. این امر منجر بـه نگرانـی‌هـای بسـیاری از جمله مشکلات زیست محیطی و اقتصـادی شـده اسـت. در سراسر جهـان تقریبـاً ٥٠٠ میلیـون تـن پوسـته بـرنج تولیـد می‌شود کـه تقریبـاً ٢٠٪ از آن بـه RHA تبـدیل مـی‌شـود (Sargın et al., 2013). مطالعات کمی در مورد اسـتفاده از RHA در پیاده روها انجام شده است که بیشـتر محـدود به کـاربرد اسـتفاد از RHA در مخلـوط‌هـای داغ آسـفالتی HMA است. به عنوان مثال در تحقیق انجـام شـده توسـط سـارگین و همکـاران. [٥،٤] امکـان اسـتفاده از RHA بـه عنوان فیلر معدنی در HMA مورد بررسی قرار گرفـت. در این مطالعه از فیلر معدنی سنگ آهک (LS) در نسـبت‌هـای مختلف (٤٪ ، ٥٪ ، ٦٪ و ٧٪) استفاده شـد. نتـایج آزمـون مقاومت مارشال نشان داد که افزودن فیلر به میزان ٥٪ منجر به افزایش مقاومت مخلوط‌هـا شـد. نتـایج نشـان داد کـه از ناخالصـی‌هـایی کـه دارای مقـدار گسـترده ای از ضـایعات RHA هستند، می‌توان از این ماده زاید به جای پودر سنگ آهـک اسـتفاده کـرد (Tahami et al., 2018 and Al-Hdabi 2016).

در پژوهشی که توسط Ameli و همکاران ٢٠٢٠، انجام شد، تأثیر جایگزینی فیلر پوسته برنج در مخلوط SMA بـر روی استقامت و نسبت مارشال مورد بررسی قـرار گرفـت. برای افزودن فیلر در مخلوط‌ها، از روش خشک استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده در این مطالعـه فیلـر پوسـته بـرنج موجب بهبود استقامت مارشال مخلوطهای آسفالتی می شود. همچنین، در این مطالعه فیلر پوسته بـرنج موجـب افـزایش نسبت مارشـال مخلـوط شـد (Ameli et al., 2020). در مخلوطهای آسفالتی SMA با دانه‌بندی پیوسته و دانـه‌بنـدی میان تهی، وجود فضای خالی نسبتاً زیاد بین مصـالح سـنگی درشت دانه و مصرف زیاد قیر عوامل مستعدی جهت جاری شدن و ریزش قیر و قیرزدگی می‌باشند.

بدین سـبب جهـت جلـوگیری از ایـن پدیـده و تثبیـت اینگونه مخلوطهای آسفالتی از تثبیـت کننـده‌هـای مختلـف استفاده می‌گردد. تمهیداتی که به منظور جلوگیری از ریـزش و جاری شدن قیر و قیرزدگی در مخلوطهای آسفالتی SMA بکار می‌رود، عبارتند از (Schmiedlin 1998):

١- افزایش مقدار فیلر و ریزدانه‌ها
٢- افزودن الیافهای معدنی و یا الیاف‌های آلی
٣- استفاده از اصلاح‌کننده‌های پلیمری در قیر
٤- ترکیبی از موارد فوق

بر اساس تحقیقـات گذشـته، مطالعـات بـر روی SMA معمولا به استفاده از الیاف محدود شده است. با ایـن حـال، در این پژوهش اثر افزودنی فیلـر خاکسـتر پوسـته بـرنج بـه عنوان نسبت جایگزینی روی مخلوط‌هـای آسـفالتی SMA بررسی شد.

٢- مصالح

٢-١- مصالح سنگی

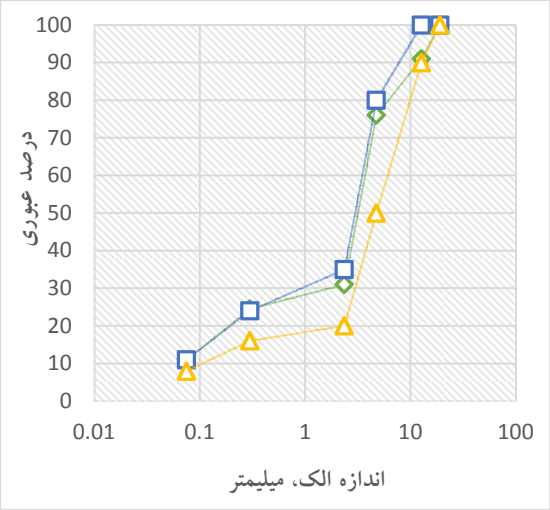
نوع سـنگدانه‌هـا، خصوصـیات فیزیکـی و شـیمیایی آن و دانه‌بندی از جمله عواملی اسـت کـه بـر خـواص مکـانیکی مخلوطهای آسفالتی SMA تأثیر می‌گذارد (Vamegh et al., 2020). مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق کـه از مصالح شهر تبریز تهیه شد. آزمایش‌های مختلف بـر روی مصالح سنگی ارسالی انجام پذیرفت که نتـایج در جـداول ١ درج آورده شده است. همچنین، شکل ١ منحنی دانـه بنـدی بکار گرفته شده جهت ساخت و طرح اخـتلاط نمونـه‌هـای آسفالتی را نشان می‌دهد.

٢-٢- قیر

قیر به کار گرفته شده در این آزمایش قیـر از نـوع ٦٠/٧٠ بوده که خصوصیات آن در جدول ٢ آرایه شده است.

جدول ١. ویژگی‌های مصالح

مشخصه	استاندارد	نتایج
سایش لس آنجلس	AASHTO T96	١٩/٥
درصد ذرات پولکی	BS 812	٥/٤
درصد شکستگی در یک جبهه	ASTM D5821	١٠٠
درصد شکستگی در دو جبهه	ASTM D5821	٩٠
وزن مخصوص	ASTM C1252	٢/٤٧٥
درصد ارزش ماسه‌ای	AASHTOT176	٧٢
درصد افت وزنی در مقابل سولفات منیزیم	AASHTOT104	٠/٦٧
درصد افت وزنی در مقابل سولفات منیزیم	AASHTOT104	٠/٣٧



شکل ١. نمودار دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی به همراه حداقل و حداکثرهای درصد مجاز

جدول ٢. ویژگی‌های قیر ٦٠/٧٠

آزمایشات	استانداردها	نتایج
وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ASTM D70	١,٠١٥
نقطه نرمی (درجه سانتیگراد)	ASTM D36	٥١
درجه نفوذ (یک دهم میلی‌متر)	ASTM D5	٦٤
شکل پذیری در ٢٥ درجه سانتیگراد (سانتی‌متر)	ASTM D113	١٠٠>
نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)	ASTM D92	٣١٤
ویسکوزیته کینماتیک در دمای ١٣٥ درجه سانتیگراد (سانتی استوکس)	ASTM D2170	٣٤٧
حلالیت در تتراکلرور برحسب درصد	ASTM D2042	٩٩,٨
قشر نازک قیر در ١٦٣ درجه سانتی‌گراد	ASTM D1754	٠,٠٨

٢-٣- خاکستر پوسته برنج

با توجه به نقش اهمیت فیلر در مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، پوسته برنج به عنوان فیلر در ساخت نمونه‌های آسفالتی استفاده گردیده است. همه ذرات فیلر مصرفی در آزمایش دانه بندی به روش شستشو (ASTM : C 117) از الک شماره ٢٠٠ عبور کرده است. آزمایشهای بررسی کیفی لازم بر روی فیلر مصرفی انجام گرفته و نتایج آن در جدول ٣ ارائه گردیده است.

جدول ٣. ترکیب شیمیایی پوسته برنج

ترکیب شیمیایی	ترکیبات در الیاف پوسته برنج
SiO_2	٩١/٨٠
Al_2O_3	٠/٠٦
Fe_2O_3	٠/٠٩
Cao	١/٠٢
MgO	٠/٤٢
Na_2O	٠/٠٦
K_2O	١/٧٣
I.O.L	٢/٨٦

٣- اختلاط و روش آزمایش نمونه ها

٣-١- اختلاط قیر، فیلر پوسته برنج و مصالح سنگی

جهت اختلاط مخلوط آسفالتی با قیر از روش مارشال و منطبق با استاندارد ASTM D1559 استفاده شد. جدول ٤ میزان جایگزینی فیلر مصالح سنگی با فیلر خاکستر پوسته برنج و استفاده از آن در مراحل مختلف آزمایشات را نشان میدهد. لازم به ذکر است با توجه تاثیرات زیست محیطی جایگزینی فیلر مصالح سنگی با فیلر خاکستر پوسته برنج، نسبت به قیر مصرف شده استفاده از آن توجیه پذیر خواهد بود. برای هر یک از پنج مخلوط، نمونه ها در ٩ درصد قیر مختلف ٤/٥٪ و ٥٪. ٥/٥٪ و ٦٪ و ٧٪ و ٧/٥٪ و ٨٪ و ٨/٥٪ با سه نمومه برای هر یک تهیه گشتند.

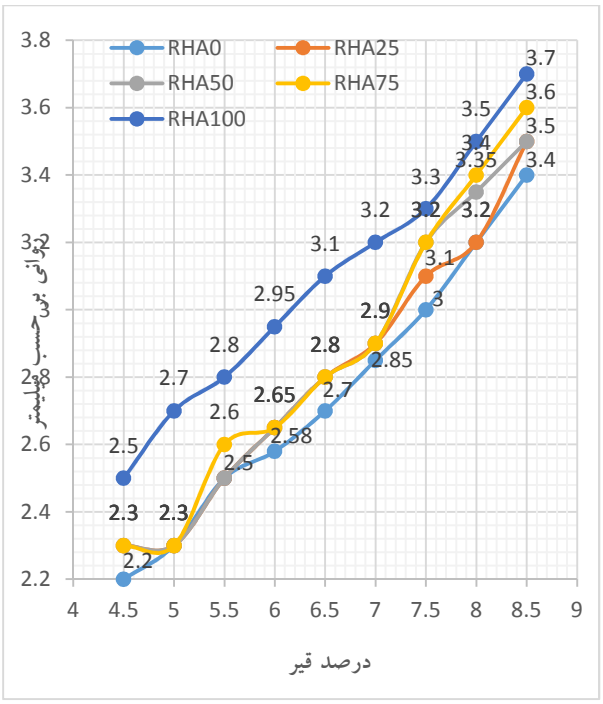
جدول ٤. درصد حضور فیلر خاکستر پوسته برنج

نام ترکیب	توضیحات
١٠٠-٠	مخلوط حاوی ١٠٠ درصد فیلر مصالح سنگی و ٠ درصد فیلر خاکستر پوسته برنج
٧٥-٢٥	مخلوط حاوی ٧٥ درصد فیلر مصالح سنگی و ٢٥ درصد فیلر خاکستر پوسته برنج
٥٠-٥٠	مخلوط حاوی ٥٠ درصد فیلر مصالح سنگی و ٥٠ درصد فیلر خاکستر پوسته برنج
٢٥-٧٥	مخلوط حاوی ٢٥ درصد فیلر مصالح سنگی و ٧٥ درصد فیلر خاکستر پوسته برنج
٠-١٠٠	مخلوط حاوی ٠ درصد فیلر مصالح سنگی و ٧٥ درصد فیلر خاکستر پوسته برنج

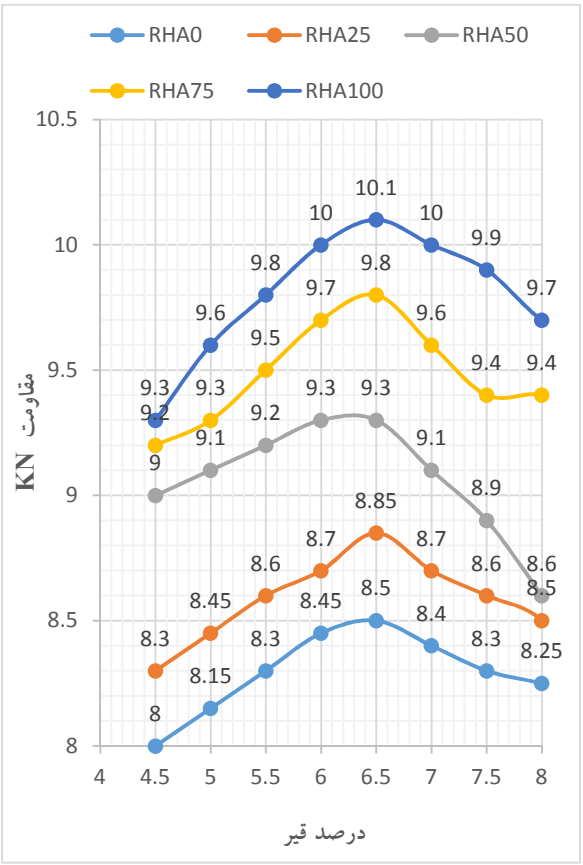
٤- بحث

شکل ٢ مقاومت مارشال را در برابر مقدار مختلف قیر در مخلوط نشان می‌دهد. در تحلیل اول، مقاومت مارشال با افزایش مقدار قیر ابتدا افزایش یافته تا به ماکزیمم مقدار برسد سپس یا افزایش مقدار قیر، مقاومت مخلوط کاهش یافت. علت افزایش مقاومت تا حدود ٦,٥ درصد قیر نزدیک شدن قیر مصرفی به مقدار قیر بهینه بود. علت کاهش مقاومت هم افزایش قیر مصرفی (بیش از قیر بهینه) بود. در تحلیل دوم، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت جایگزینی فیلر مصالح سنگی به جای فیلر پوسته برنج، مقاومت مارشال افزایش یافت. علت این امر می‌تواند این باشد که اصلاح کننده به تقویت پیوندهای بین ذرات قیر کمک کرده، که در نتیجه به توانایی چسبندگی در بین مصالح موجود در مخلوط‌های آسفالتی منجر خواهد شد (Jaya et al., 2018 and Hamedi and Tahami 2018). یکی از دلایل افزایش چسبندگی سنگدانه‌ها در مخلوط اصلاح شده این است که فیلر پوسته برنج با سازه

متخلخل تمایل شدیدی به جذب قیر دارد که می‌تواند باعث شود غشای قیری را روی سنگدانه‌ها ضخیم‌تر کرده و در نتیجه میزان قیر آزاد شده کاهش می‌یابد. این نیروی چسبندگی بین قیر و سنگدانه‌ها تقویت شده و توانایی کلی مخلوط آسفالت را برای تحمل بارها (مقاومت و شیارشدگی) بهبود می‌بخشد (Arabani and Tahami 2017). شکل ٣ میزان روانی را در برابر مقدار قیر نشان می‌دهد. از نتایج می‌توان چنین بیان نمود که افزایش مقدار قیر منجر به افزایش خطی روانی می‌شود. نقاط شکل برای میزان الیاف ٢٥٪ تا ٧٥٪ مقادیر روانی مشابهی دارد به هر حال، برای طرح اختلاط با فیلر پوسته برنج ١٠٠٪، مقدار روانی بیشترین مقدار می باشد. برای همه ٥ طرح، و همه مقادیر قیر، روانی در حد استاندارد محدوده ٢-٤ میلی‌متر نتیجه شد.



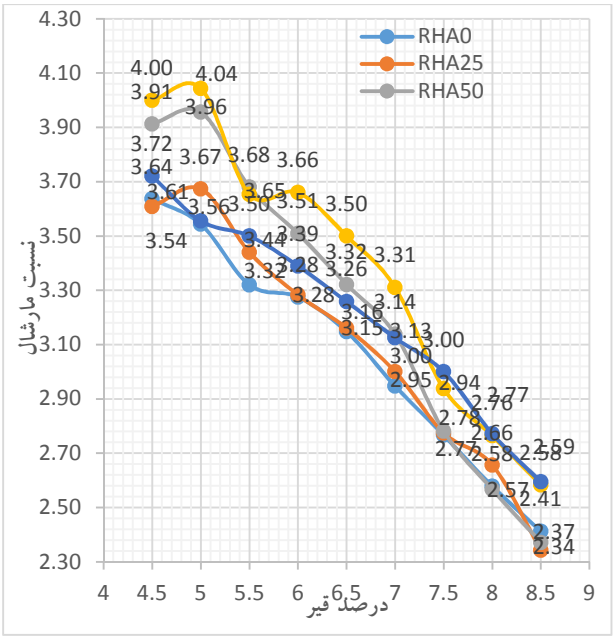
شکل ٣. نتایج روانی



شکل ٢. نتایج استحکام مارشال

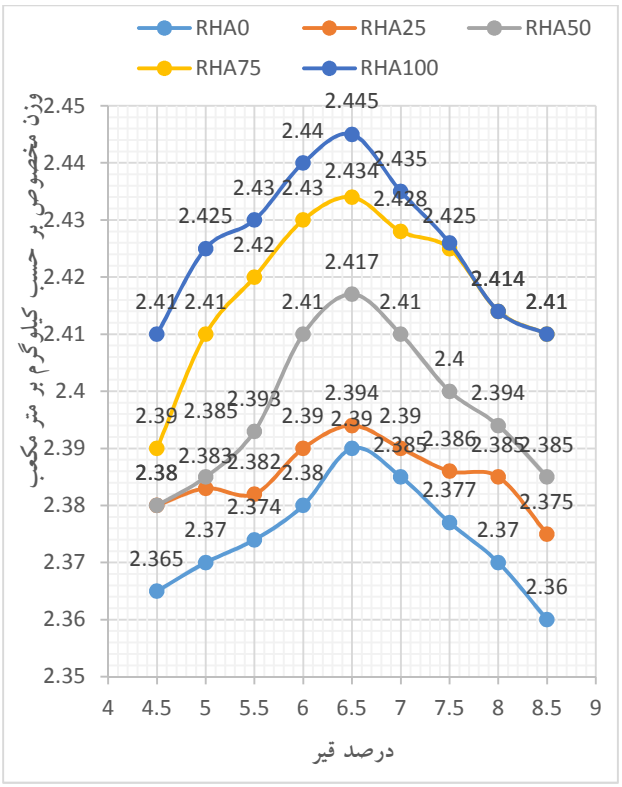
جهت‌تعیین پارامتر شیار شدگی آسفالت از روش مارشال استفاده شد. نسبت مارشال به عنوان یکی از خروجیهای آزمایش مارشال یک پارامتر تجربی است که برخی از ادارات جاده ای ، مانند TRRL انگلستان آن را ملاک پدیده روتینگ rutting می دانند. نسبت مارشال، نسبت مقاومت مارشال برحسب کیلوگرم به روانی مارشال برحسب میلی‌متر است. بر این اساس، هرچه نسبت مارشال بالاتر باشد، مقاومت مخلوط آسفالت در برابر شیارشدگی بیشتر است. مطابق شکل ٤، با افزودن فیلر پوسته برنج به مخلوط آسفالتی، نسبت مارشال مخلوط افزایش پیدا کرده است. بنابراین افزودن این افزودنی در درصدهای مختلف سبب بهبود عملکرد شیار شدگی شد. تحلیل علت این موضوع در بخش مقاومت مارشال بررسی شد. با مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق آملی و همکاران ٢٠٢٠، نتیجه شد که جایگزینی فیلر مصالح سنگی با فیلر پوسته برنج منجر به بهبود نسبت مارشال مخلوط آسفالتی خواهد شد (Ameli et al., 2020). با توجه به این که هدف ساخت

مخلوطهای آسفالتی ماستیکی بهبود مقاومت شیار شیادگی نسبت به مخلوطهای دیگر بود؛ بنابراین، این تحقیق نوعی افزودنی را پیشنهاد می‌دهد که علاوه بر بهبود مقاومت شیارشدگی از لحاظ زیست محیطی نیز توجیه پذیر بود.

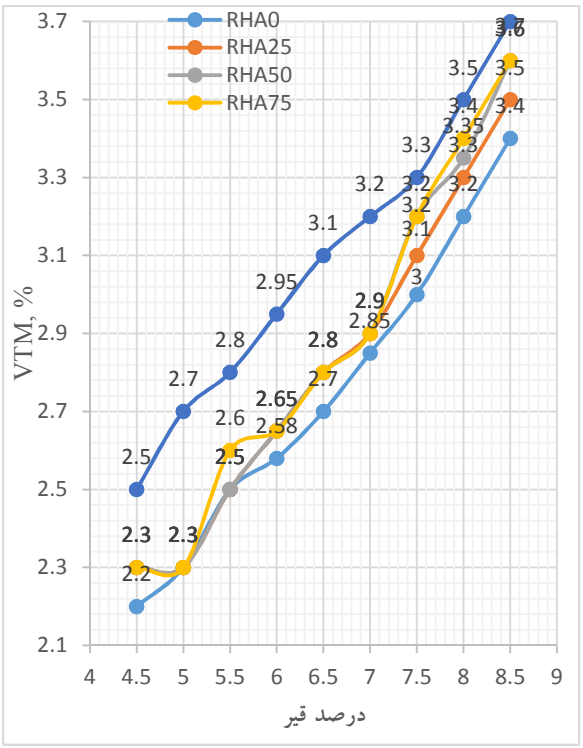


شکل ٤. نتایج نسبت مارشال جهت تعیین میزان شیارشدگی

رابطه بین وزن مخصوص و مقدار قیر در شکل ۵ نشان داده شده است. با افزایش درصد حضور فیلر پوسته برنج به جای قیر مصرفی، وزن مخصوص ابتدا افزایش یافت. این امر می تواند به دلیل حضور فیلر پوسته برنج و افزایش قفل و بست مصالح و قیر و همگن شدن مخلوط آسفالتی مربوط باشد. از طرف دیگر، با افزایش میزان قیر مصرفی به بیشتر از ٦,٥ درصد، وزن مخصوص نمونه ها به دلیل افزایش درصد فضای خالی کل (شکل ٦) مخلوط کاهش یافت.

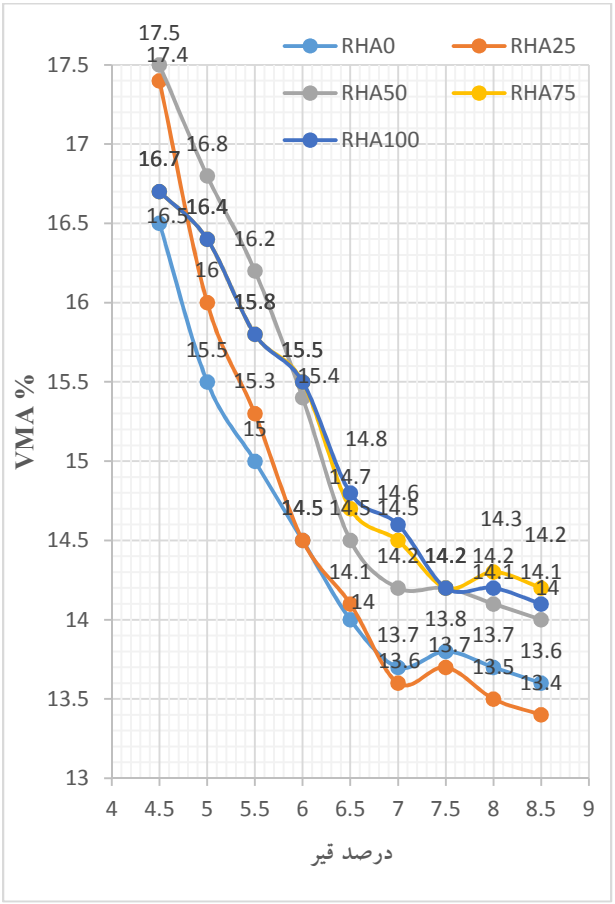


شکل ۵. نتایج وزن مخصوص

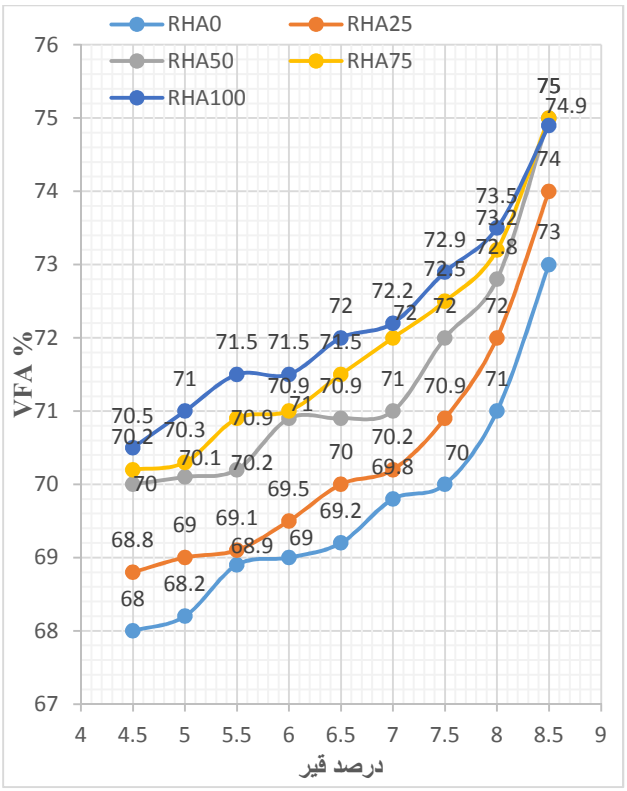


شکل ٦. نتایج درصد فضای خالی کل مخلوط آسفالتی

شکل ۷ و ۸ فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی پر شده با قیر را نشان می دهد. بر اساس نتایج، افزودن درصدهای فیلر پوسته برنج سبب افزایش جزئی VMA شد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش نسبت فیلر پوسته برنج در مخلوط، VFA افزایش یافت. از دلایل افزایش چسبندگی سنگدانه ها در مخلوط اصلاح شده این بود که فیلر پوسته برنج با سازه متخلخل تمایل شدیدی به جذب قیر دارد که می تواند باعث شود غشای قیری را روی سنگدانه ها ضخیم تر کرده و در نتیجه میزان قیر آزاد شده کاهش می یابد.



شکل ۷. نتایج درصد فضای خالی مصالح سنگی



شکل ۸. درصد فضای خالی پر شده با قیر

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش گردید تا به ارزیابی تاثیر فیلر پوسته برنج بر مشخصات مارشال آسفالت سنگدانه‌ای پرداخته شود. بدین منظور مجموع ۹ طرح اختلاط با دصدهای مختلف قیر و همچنین با نسبت جایگزینی فیلر مصالح سنگی با فیلر پوسته برنج ساخته شد. نتایج به شکل زیر قابل ارائه است:

- آسفالت سنگدانه ای ساخته شده از فیلر پوسته برنج بجای فیلر مصالح سنگی منجر به طرح اختلاط خوبی شد. نتایج نشان داد که فیلر پوسته برنج با افزایش چسبندگی قیر منجر به افزایش قفل و بست مصالح شده و نهایتاً افزایش مقاومت مارشال نتیجه شد. همچنین، مقادیر مقاومت مارشال با افزایش مقدار قیر، افزایش یافته تا به ماکزیمم مقدار برسد سپس با افزایش مقدار قیر (بیشتر از درصد قیر بهینه)، مقاومت مارشال کاهش یافت.

-افزایش مقدار قیر منجر به افزایش خطی روانی شد. نتایج برای میزان رونی مخلوط حاوی فیلر ٢٥٪ تا ٧٥٪ مشابه بود. برای طرح اختلاط حاوی ١٠٠ درصد فیلر پوسته برنج بیشترین مقدار روانی نتیجه شد.

-نتایج نشان داد که افزودن درصدهای مختلف فیلر پوسته برنج سبب افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط SMA شد. بر اساس نتایج، جایگزین شدن ٧٥ درصد فیلر مصالح سنگی با فیلر پوسته برنج سبب بهترین نتیجه شد. بعد از آن، جایگزین شدن ٥٠، ١٠٠، و ٢٥ درصد فیلر مصالح سنگی با فیلر پوسته برنج بهترین مقاومت شیارشدگی را نتیجه داد.

-با افزایش میزان فیلر پوسته برنج مقدار وزن مخصوص افزایش یافت.

-افزایش مقدار فیلر پوسته برنج باعث افزایش درصد فضای خالی کل مخلوط آسفالتی شد. همچنین درصدهای بیشتر از درصد قیر بهینه تاثیر بیشتری روی افزایش VTM گذاشت.

-با افزایش درصد قیر، مقدار VMA به دلیل حضور فیلر پوسته برنج و جذب کردن قیر، کاهش یافت.

-در نهایت میزات قیر بهینه برای این طرح اختلاط برابر با ٦/٥٪ حاصل شد. در این درصد، جایگزین شدن ١٠٠ درصد فیلر مصالح سنگی با فیلر پوسته برنج منجر به بیشترین مقاومت، نسبت مقاومت و وزن مخصوص شده و با رعایت سایر استانداردها، می توان از این نسبت در مخلوط آسفالتی ماستیکی SMA استفاده نمود.

٦-مراجع

-Abdi, A., Zarei, M., Mahdinazar, M., Akbarinia, F., (2020), "Economic Analysis Based on the Unit Weight of Hot Mix Asphalt". Engineering Solid mechanics, Vol.9. No. 1. pp. 1-10.

-Abtahi, S. M., Sheikhzadeh, M., & Hejazi, S. M., (2010), "Fiber-reinforced asphalt-concrete–a review". Construction and Building Materials, Vol. 24. No. 6. pp. 871-877.

-Al-Hdabi, A. (2016). "Laboratory investigation on the properties of asphalt concrete mixture with Rice Husk Ash as filler". Construction and Building Materials. Vol. 126. pp. 544-551.

-Ameli, A., Babagoli, R., Norouzi, N., Jalali, F., & Mamaghani, F. P. (2020). "Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture". Construction and Building Materials, Vol. 23. No. 7. pp. 117557.

-Arabani, M., & Tahami, S. A. (2017). "Assessment of mechanical properties of rice husk ash modified asphalt mixture". Construction and Building Materials Vol. 149. pp. 350-358.

-Hamedi, G. H., & Tahami, S. A. (2018). "The effect of using anti-stripping additives on moisture damage of hot mix asphalt". International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 81. pp. 90-97.

-Han, J. H., Guo, J. J., & Liu, Z., (2012), "Experimental Investigation on Performance of Fiber Asphalt Mixture". In Advanced Materials Research. Vol. 374, pp. 1396-1399.

-Jaya, R. P., Hainin, M. R., Hassan, N. A., Yaacob, H., Satar, M. K. I. M., Warid, M. N. M., ... & Ramli, N. I. (2018), "Marshall Stability properties of asphalt mixture incorporating black rice husk ash". Materials

concrete". Construction and Building Materials. Vol. 48. pp. 390-397.

-Schmiedlin, R. B., (1998),"Stone matrix asphalt: The Wisconsin experience". Transportation research record, Vol. 1616. No. 1. pp. 34-41.

-Sengul, C. E., Oruc, S., Iskender, E., & Aksoy, A., (2013), "Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance". Construction and Building Materials, Vol. 41. pp. 777-783.

-Shafabakhsh, G. H., & Ani, O. J., (2015), "Experimental investigation of effect of Nano TiO2/SiO2 modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates". Construction and Building Materials. Vol. 98. pp. 692-702.

-Tahami, S. A., Arabani, M., & Mirhosseini, A. F., (2018), "Usage of two biomass ashes as filler in hot mix asphalt". Construction and Building Materials. Vol. 170. pp. 547-556.

-Vamegh, M., Ameri, M., & Naeni, S. F. C., (2020), "Experimental investigation of effect of PP/SBR polymer blends on the moisture resistance and rutting performance of asphalt mixtures". Construction and Building Materials, Vol. 253. pp., 119197.

-Xu, W., & Wang, X. C., (2011), "Study on performance for fiber asphalt mixture resistance to water damage". In Advanced Materials Research. Vol. 204, pp. 1789-1792.

-Zahedi, M., Barati, M., & Zarei, M. (2017). "Evaluation the effect of carbon nanotube on the rheological and mechanical properties of bitumen and Hot Mix Asphalt (HMA)". Today: Proceedings. Vol. 5. No. 10. pp. 22056-22062.

-Khodaii, A. and Mehrara, A., (2009), "Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test". Construction and Building Materials, Vol. 23. No. 7. pp. 2586-2592.

-Korayem, A. H., Ziari, H., Hajiloo, M., Abarghooie, M., & Karimi, P., (2020), "Laboratory evaluation of stone mastic asphalt containing amorphous carbon powder as filler material". Construction and Building Materials, Vol. 243. pp. 118280.

- Kumar, P., Mehndiratta, H. C., & Immadi, S. (2009), "Investigation of fiber-modified bituminous mixes". Transportation research record, Vol. 2126. No. 1. pp. 91-99.

-Miljković, M. and Radenberg, M. (2011), "Rutting mechanisms and advanced laboratory testing of asphalt mixtures resistance against permanent deformation". Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering, Vol. 9. No. 3. pp. 407-417.

-National Cooperative Highway Research Program, (2004), "Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures", NCHRP, Appendix RR: Finite Element Procedures for Flexible Pavement Analysis.

-Sargın, Ş., Saltan, M., Morova, N., Serin, S., & Terzi, S., (2013), "Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt

powder and carbon fiber". Electron. J. Struct. Eng, Vol. 20. No. 1. pp. 53-62.

-Zarei, M., Rahmani, Z., Zahedi, M., & Nasrollahi, M., (2020b), "Technical, Economic, and Environmental Investigation of the Effects of Rubber Powder Additive on Asphalt Mixtures". Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, Vol. 146. No. 1. 04019039.

-Zarei, A., Zarei, M., & Janmohammadi, O., (2019), "Evaluation of the effect of lignin and glass fiber on the technical properties of asphalt mixtures". Arabian journal for Science and engineering, Vol. 44. No. 5. pp. 4085-4094.

Electron. J. Struct. Eng, Vol.17. No. 1. pp. 76-84.

-Zahedi, M., Zarei, M., Manesh, H. A., Kalam, A. S., & Ghadiri, M. (2017b), "Technical-Economic Studies about Polyester Fibers with High Strength on Asphalt Mixtures with Solid Granulation". Journal of Civil Engineering and Urbanism, Vol. 2. No. 2. pp. 1-11.

-Zahedi, M., Zarei, A., Zarei, M., & Janmohammadi, O., (2020), "Experimental determination of the optimum percentage of asphalt mixtures reinforced with Lignin". SN Applied Sciences. Vol. 2. No. 2. pp. 258.

-Zarei, M., Mirbaha, B., Akbarinia, F., Rahmani, Z., Zahedi, M. & Zarei, A. (2020), "Application of concordance analysis method, (CA) for optimal selection of asphalt mixtures reinforced with rubber

Laboratory Evaluation of the Effect of using Rice Husk Ash (RHA) Filler on the Mechanical Characteristics of Stone Matrix Asphalt (SMA)

Ali Abdi, Associate professor, Department of Transportation Engineering and Planning, Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
Habib Soltani Aghdam, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Ahar, Science and Research Branch, Faculty of Highway and Transportation, Tabriz, Iran.
Mohammad Zarei, Ph.D. Student, Department of Transportation Engineering and Planning, Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
E-mail:mohammadzarei959@yahoo.com

Received: June 2020-Accepted: November 2020

ABSTRACT
Asphalt mixtures with aggregate or stone mastic asphalt (SMA) are among the hot asphalt mixtures that have been used in different countries due to their special characteristics and in order to increase the load-bearing capacity of pavements and increase their surface friction. Excessive use of bitumen in these mixtures forms a relatively thick membrane of bitumen on aggregates, and creates special properties for these mixtures compared to asphalt concrete mixtures. Various methods have been used to strengthen of the asphalt mixture, such as the use of various additives. Rice Husk Ash (RHA) filler is one of the additives that has been proposed to improve the connection between asphalt bonding and materials used in addition to the environmental aspect. For this purpose, in this paper, a total of nine types of SMA in different percentages of bitumen 60/70 and with the percentage of replacement of filler stone materials with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% filler of RHA, and experiment Marshall were done on them. The results of mechanical properties showed that the addition of rice husk filler improved the adhesion between bitumen and aggregates and increased the rutting resistance of SMA by increasing the Marshall Ratio. Increased unit weight and percentage of space filled with bitumen due to the increase in the thickness of the bituminous membrane around the aggregates and due to the presence of rice husk filler were other results of this study. Finally, it was concluded that the replacement of aggregates filler with RHA filler in different percentages and 6.5% bitumen resulted in better result.

Keywords: Rice Husk Ash Filler, Marshall Stability, Rutting, Stone Matrix Asphalt (SMA)