فصلنامه
مهندسی مکانیک و ارتعاشات
jvibme.semnaniau.ac.ir

اصلاح خواص مکانیکی مخلوط آسفالت گرم با استفاده از خاکستر بادی

رضا سمیعی فرد [1*]، محمد جعفر استاد احمد قرابی [2]

1- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
2- دانشیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
* سمنان، 35145-179، r_samifard@yahoo.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 12 فروردین 1400
پذیرش: 31 مرداد 1400
ارائه در سایت: 15آبان 1400

کلیدواژگان

قیر اصلاح شده
خاکستر بادی
مخلوط آسفالتی گرم
خواص عملکردی

چکیده

خاکستر بادی محصول جانبی تولید شده در فرایند احتراق بوده و از اجزای ریزی تشکیل شده است که با گاز های حاصل از احتراق منتشر می شود. خاکستر بادی به طور گسترده در ساخت بتن استفاده شده است. هدف این مقاله تعیین عملکرد خاکستر بادی به عنوان پرکننده در مخلوط آسفالتی گرم می‌باشد. در این مطالعه افزودنی خاکستر بادی با مقادیر مختلف (FA-0، FA-2، FA-4، FA-6) نسبت به وزن مصالح سنگی، به عنوان پرکننده (فیلر) مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط های آسفالتی اصلاح شده از نظر پایداری، جریان، سفتی، حساسیت رطوبتی و جدا شدگی مصالح (Cantabro loss) مورد آزمایش قرار گرفتند. یافته ها نشان داد که پایداری مخلوط های آسفالتی حاوی خاکستر بادی بیشتر از مخلوط های معمولی است. علاوه بر این ترکیبات دارای خاکستر بادی مقاومت در برابر رطوبت و دوام را بهبود بخشید. با توجه به نتایج آزمایش های صورت گرفته چنین می توان استنباط کرد که استفاده از خاکستر بادی به عنوان پرکننده (فیلر) می‌تواند اثر مطلوبی بر مخلوط آسفالت گرم داشته باشد.

Modification of mechanical properties of hot mix asphalt using fly ash

Reza Samieifard[1*], Mohammad Jafar Ostad Ahmad Ghorabi [1]

1- Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
* P.O.B. 35145-179 Semnan, Iran, r_samifard@yahoo.com

Article Information

Original Research Paper
Received 1 April 2021
Accepted 22 August 2021
Available Online 6 November 2021

Keywords
Modified bitumen
Fly ash
Hot mix asphalt
Functional properties

ABSTRACT

Fly ash is a by-product of the combustion process and consists of tiny components that are emitted by combustion gases. Fly ash has been widely used in the manufacture of concrete. The purpose of this paper is to determine the performance of fly ash as a filler in hot mix asphalt. In this study, fly ash additive with different amounts (FA-0, FA-2, FA-4, FA-6) according to the weight of stone materials, was used as a filler. Modified asphalt mixtures were tested for stability, flow, stiffness, moisture sensitivity and material loss (Cantabro loss). The results showed that the stability of asphalt mixtures containing fly ash is higher than conventional mixtures. In addition, the compounds contained in fly ash improved moisture resistance and durability. According to the results of the experiments, it can be concluded that the use of fly ash as a filler can have a favorable effect on the hot asphalt mixture.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
Reza Samieifard, Mohammad Jafar Ostad Ahmad Ghorabi, Modification of mechanical properties of hot mix asphalt using fly ash, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 12, No. 3, pp. 31-37, 2021 (In Persian)

1- مقدمه

یکی از نگرانی های کنونی جامعه جهانی در مدیریت پسماند، حجم وسیعی از پسماند است که به صورت روزانه ایجاد می شود. نگرانی در مورد محیط زیست و تعداد محدود سایت های دفع، کشورها را به یافتن راه‌های جدیدی برای بازیافت پسماند ترغیب می کند [1]. استفاده از ضایعات و مواد جایگزین در روسازی‌های بتنی و آسفالتی برای حفظ منابع طبیعی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. خاکستر بادی، محصول جانبی تولید شده در فرایند احتراق بوده و از امیدوارکننده ترین این مواد است. تولید جهانی سالانه خاکستر بادی زغال سنگ تقریباً یک میلیارد تن است [1]. امکان استفاده از آن در مخلوط های آسفالتی در اواسط قرن نوزدهم به عنوان بخشی از تلاش ها برای کمک به مهندسی پایدار، به دست آوردن مخلوط هایی با خواص رضایت بخش، به حداقل رساندن اثرات منفی دفن پسماند و حفظ منابع طبیعی مورد بررسی قرار گرفت [2]. خاکستر بادی برای سالیان متمادی به دلیل فعالیت پوزولانی آن به طور گسترده در مطالعات بتن مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال، تنها تعداد محدودی از کاربردها در روسازی آسفالتی دارد.

علی و همکاران در سال 1996، به بررسی اثر خاکستر بادی بر مشخصات مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی پرداختند [3]. آن‌ها به دنبال ارزیابی اثر خاکستر بادی در کاهش خرابی‌های روسازی و بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی بودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که می‌توان از خاکستر بادی به عنوان یک فیلر معدنی در جهت بهبود مدول برجهندگی و مقاومت در برابر عریان شدگی، استفاده کرد .افزودن خاکستر بادی اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش عملکرد مخلوط آسفالتی در زمینه‌ی عمق شیار شدگی و شاخص سرویس‌دهی نداشت ولی باعث افزایش ترک‌های سطح روسازی شده بود.

چرچیل و امیرخانیان در سال 1999، از دو نوع خاکستر بادی در مخلوط‌های آسفالتی استفاده کردند و نتایج بیانگر این مساله بود که جایگزین کردن جزئی خاکستر بادی با مصالح ریزدانه اثر تخریبی کمی بر مقاومت کششی مخلوط دارد [4]. اگرچه ترکیب خاکستر بادی و آهک حداقل‌های مورد نیاز براساس دستورالعمل دپارتمان حمل و نقل کارولینا را ارضاء می‌نمود.

رامی و همکاران در سال 2005، از خاکستر بادی در مخلوط آسفالتی استفاده کردند. فعالیت آنها بیانگر این مساله بود که می-توان ازخاکستر بادی در جهت صرفه جویی اقتصادی و کم کردن نیاز به برداشت از منابع جدید و گران استفاده کرد [5].

مطالعات میستری نشان داده است که خاکستر بادی به عنوان پرکننده می تواند تغییر شکل کمتر و استحکام را در مقایسه با آهک هیدراته به عنوان جایگزین پرکننده در مخلوط آسفالت گرم ایجاد کند [6].

بنابراین باتوجه به بررسی و تحقیق در ادبیات فنی و موضوعی مشخص شد که تاکنون در کشور مطالعات اندکی در خصوص اصلاح خواص مکانیکی مخلوط آسفالت گرم با استفاده از خاکستر بادی انجام گرفته و در این پژوهش سعی شده است تا حد امکان اطلاعاتی جدیدتر در این زمینه بدست آید.

2- مصالح مورد استفاده و روش تحقیق

2-1- مصالح مورد استفاده

قیر مورد استفاده در این پژوهش از نوع قیر خالص 70-60 بود که مشخصات آن در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول 1 مشخصات قیر مورد استفاده در این پژوهش

قیر	دانسیته	درجه نفوذ در 25 درجه سانتیگراد	نقطه نرمی	شکل پذیری در 25 درجه سانتیگراد	قابلیت انحلال
استاندارد	ASTM D70	ASTM D5	ASTM D36	ASTM D113	ASTM D4
60-70	1/02) gr/cm (^{3}	65 میلی متر	52 درجه سانتیگراد	118 سانتیمتر	99/5

جدول 2 مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول 2 مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در این پژوهش

آزمایش	استاندارد	مقدار	واحد
سایش لس آنجلس	AASHTO T96	17/3	%
وزن مخصوص (درشت دانه)	AASHTO T85	2/85	(gr/cm^3)
وزن مخصوص (ریز دانه)	AASHTO T84	2/67	(gr/cm^3)

در این پژوهش به منظور تهیه مخلوط آسفالت گرم، مصالح سنگی با استفاده از الک دانه بندی گردید که جدول 3 دانه بندی مورد استفاده در مخلوط آسفالتی گرم را نشان می دهد.

جدول 3 دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده در تهیه مخلوط آسفالت گرم

الک (میلی متر)	درصد عبوری (%)
20	100
14	95
10	81
5	56
3/35	47
1/18	26
0/425	18
0/150	10
0/075	6
Pan	0

اجزا خاکستر بادی مورد استفاده در این پژوهش به عنوان پرکننده توسط فلوئورسانس اشعه ایکسX-Ray Fluorescence (XRF) مشخص شد که دارای خصوصیاتی به شرح جدول زیر می باشد.

جدول 4 اجزا تشکیل دهنده خاکستر بادی مورد استفاده در این پژوهش از XRF

اجزا	مقدار موجود در خاکستر بادی (%)
Al_2O_3	19/6
SiO_2	64/9
Fe_2O_3	6/82
TiO_2	1/31
Na_2O	1/28
MgO	0/958
SO_3	0/322
K2O	1/52
Cao	3/29

مصالح سنگی که به عنوان پر کننده در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند، آهک هیدراته، مصالح ریز دانه و خاکستر بادی بودند که جهت استفاده در مخلوط گرم آسفالتی پیش گرمایش شدند و از الک 0/075 میلی متر عبور داده شدند. سپس مصالح عبوری از الک 0/075 میلی متر برای استفاده در مخلوط انتخاب گردید. مقادیر مواد پر کننده در نمونه های مخلوط آسفالت گرم به شرح جدول زیر می باشد.

جدول 5 مقادیر مصالح پر کننده در نمونه ها

نام نمونه	آهک هیدراته (گرم)	مصالح ریز دانه (گرم)	خاکستر بادی (گرم)
FA-0	25	50	-
FA-2	25	25	25
FA-4	25	-	50
FA-6	-	-	75

2-2- آماده سازی نمونه ها

جهت تهیه مخلوط آسفالتی گرم از طرح اختلاط مارشال استفاده شد. مصالح سنگی و خاکستر بادی قبل از اختلاط با قیر در فر تا دمای 150 درجه سانتی گراد حرارت دیدند. قیر مصرفی، قبل از مخلوط شدن با سنگدانه در فر در دمای 110 درجه سانتیگراد نگهداری می شد. نمونه ها در قالبی که از قبل گرم شده بود قرار داده شدند و با اعمال 75 ضربه بر روی هر وجه (بر اساس ASTM: D6926) با پنج محتوای قیر مختلف بین 4 تا 6 درصد وزن کل سنگدانه ها با افزایش 0,5 درصد در مقایسه با مخلوط کنترل فشرده شدند[7].

2-3- آزمایشات

آزمایش‌های جریان و پایداری مارشال بر روی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده و کنترل مطابق با ASTM D6927 انجام شد. سپس مقدار سفتی با استفاده از رابطه بین جریان و پایداری مارشال محاسبه شد. سپس با استفاده از ASTM D4867 مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS) و نسبت مقاومت کششی (TSR) مورد ارزیابی قرار گرفت [8]. در نهایت، آزمایش جدا شدگی مصالح (Cantabro loss) به منظور تعیین مقاومت مخلوط در برابر فروپاشی ناشی از بار ترافیکی انجام شد.

3- بحث و بررسی

3-1- خواص مارشال

جدول 6 نتایج خواص مارشال را برای مخلوط های کنترل و اصلاح شده نشان می دهد. مطابق جدول 6، با افزایش محتوای FA، مقدار پایداری به صورت خطی افزایش می یابد و میزان جریان کاهش می یابد. شکل منظم ذرات FA (معمولاً کروی) می تواند به صورت غلتک عمل کند و اصطکاک کمتری را در مخلوط در طول تراکم ایجاد کند و سبب انسجام مخلوط شود [9]. علاوه بر این، فضای خالی مخلوط (VTM) در نمونه کنترل 3/6 % بود که با افزایش محتوای FA کاهش می یافت. دلیل این موضوع را می‌توان افزایش سطح و در نتیجه کاهش فضای خالی مخلوط با اضافه نمودن FA توضیح داد. با توجه به مطالعات لیکیتلرسانگ و چومپورات، هر چه سطح بزرگتر باشد، آسفالت بیشتری برای پوشش سنگدانه ها مورد نیاز است [10]. بنابراین، باعث افزایش فضای خالی پر شده با آسفالت (VFA) و کاهش فضای خالی در کل مخلوط (VTM) می شود.

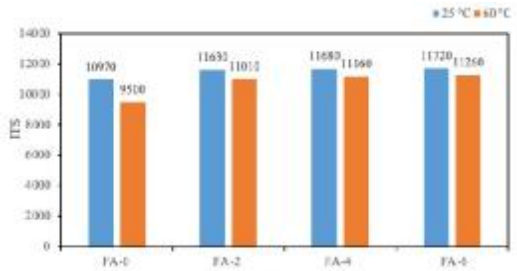
جدول 6 مشخصات مارشال نمونه ها

خواص مارشال	نوع مخلوط				مقدار مجاز
	FA %0	FA %2	FA %4	FA%6	
پایداری (N)	15221	16842	17143	18241	بزرگتر از 8000
جریان (mm)	3/20	3/11	2/78	2/35	4-2
سفتی (N/mm)	4725	5401	6120	7695	بزرگتر از 2000
% VFA	75/4	76/1	76/8	78/1	80-70
% VTM	3/61	3/53	3/22	3/11	5-3

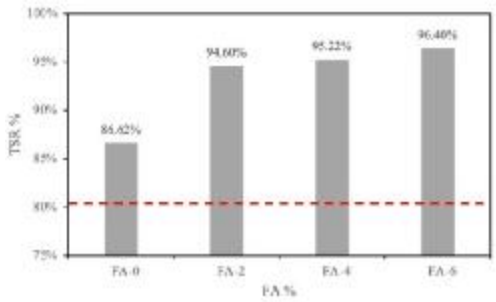
3-2- مقاومت در برابر آسیب رطوبتی

یافته های مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS) برای تمامی مخلوط های آزمایش شده در دماهای 25 درجه سانتی گراد و 60 درجه سانتی گراد در شکل 1 نشان داده شده است. به طور کلی، مقادیر ITS در نمونه های کنترل و اصلاح شده در حالت بدون رطوبت بالاتر از حالت مرطوب می باشد. در حالت مرطوب،

رطوبت تأثیر جزئی بر استحکام کششی مخلوط‌های دارای FA داشته است. مقدار نسبت مقاومت کششی (TSR) بالاتر نشان می دهد که مخلوط های آسفالتی در برابر آسیب رطوبتی مقاوم تر هستند [11]. مطابق شکل 2، تمامی نمونه های مورد آزمایش، از حداقل معیار TSR استاندارد AASHTO (TSR بزرگتر از 80 %) بیشتر می باشند و این موضوع نشان دهنده آن است که اضافه نمودن خاکستر بادی به نمونه ها، آسیب پذیری رطوبتی نمونه ها را کاهش می دهد.



شکل 1 مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS)



شکل 2 نسبت مقاومت کششی (TSR) نمونه ها

3-3- آزمایش کانتابرو (Cantabro)

کاهش جرم نمونه ها در شکل 3 نشان داده شده است. مطابق شکل 3، کاهش جرم نمونه ها با افزایش مقدار FA کاهش می یابد و در نتیجه، مخلوط مقاومت بیشتری در برابر جداشدگی ذرات از خود نشان داد. این بهبود در اثر افزایش خواص چسبندگی مخلوط با افزودن FA ناشی شد [12]. شایان ذکر است که نسبت فضای خالی در نمونه با کاهش جرم کانتابرو مرتبط است. همچنین، FA می‌تواند تا حدودی به عنوان جایگزینی جزئی برای قیر در نظر گرفته شود و فضای خالی موجود در نمونه را کاهش دهد. بنابراین افزودن FA، درصد فضاهای خالی در نمونه ها را کاهش داده و سبب تقلیل جداشدگی ذرات می گردد [13].

شکل 3 نتایج آزمایش کانتابرو (Cantabro) برروی نمونه ها

4- نتیجه گیری

یافته های اصلی این پژوهش عبارتند از:

-استفاده از FA در مخلوط آسفالتی گرم، سبب افزایش خواص نمونه ها گردید. همچنین اضافه نمودن FA به نمونه ها با افزایش سفتی سبب افزایش پایداری و کاهش جریان گردید.

-مقادیر ITS و TSR مخلوط های اصلاح شده با FA به طور چشمگیری افزایش یافت. همچنین مخلوط های اصلاح شده با FA در مقایسه با مخلوط های معمولی در برابر رطوبت مقاوم تر می باشند.

-استفاده از FA در مخلوط آسفالتی گرم، کاهش Cantabro را نشان داد که بیانگر بهبود در دوام مخلوط است.

5- مراجع

[1] Woszuk A, Bandura L and Franus W 2019 Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt, J. Clean. Prod 235 493–502.

[2] Mirkovi K, To˘ N and Mladenovi G 2019 Effect of Different Types of Fly Ash on Properties of Asphalt Mixtures, Advances in Civil Engineering 2019.

[3] Ali N, Chan JS, Simms S, Bushman R, Bergan AT. "Mechanistic Evaluation of Fly Ash Asphalt Concrete Mixtures". J Mater Civil Eng 1996; 8(1): pp.19–25.

[4] Churchill EV, Amirkhanian SN. "Coal Ash Utilization in Asphalt Concretemixtures". J Mater Civil Eng 1999; 11(4):pp.295–301.

[5] Ramme, B. W., Wen, H., Naik, T. R., and Kraus, R. (2005), "The Use of Fly Ash for in Situ Recycling of AC Pavements into Base Courses". Geotechnical Applications for Transportation Infrastructure featuring the Marquette Interchange Project in Milwaukee, Wisconsin 181:10.
[6] Mistry R and Roy T K 2016 Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt, Perspect. Sci. 8 307–309.
[7] ASTM D6926-10, "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall," (ASTM International) pp 1–6.
[8] ASTM D4867/D4867M-9, "Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures 1," (ASTM International) pp 1–5.
[9] Mistry R and Kumar R T 2020 Predicting Marshall stability and flow of bituminous mix containing waste fillers by fuzzy logic Revista De La Construccion 19 209-219.
[10] Likitlersuang S and Chompoorat T 2016 Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures, Int. J. Pavement Res. Technol. 9 337–344.
[11] Likitlersuang S and Chompoorat T 2016 Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures, Int. J. Pavement Res. Technol. 9 337–344.
[12] Tian Y 2021 Laboratory investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture, Constr. Build. Mater. 279 122436.
[13] Sobolev K, Flores V I, Saha R, Wasiuddin (Wasi) N M and Saltibus N E 2014 The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials, Fuel 116 471– 477.