

تعیین مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از دستگاه‌های برشی مورب و قائم

محمد دیندار^۱، ابوالفضل حسنی^{۲*}، امیر کاووسی^۳، هومن محسن‌زادگان^۴

- ۱- استاد گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- دانشیار گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- کارشناسی ارشد گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- کارشناسی ارشد گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس

hassani@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۴

چکیده- بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بهبود و افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تنش‌های برشی باعث کاهش و به تاخیر افتادن خرابی‌هایی نظیر شیارافتادگی در روسازی‌ها خواهد شد. هزینه‌هایی که هر ساله در کشور صرف بهبود و مرمت روسازی‌های آسیب‌دیده می‌شود، اهمیت بهبود مقاومت روسازی‌ها را در برابر تنش‌های برشی وارده بخوبی مشخص می‌نماید. هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد دو نوع دستگاه برشی طراحی و ساخته شده در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس بمنظور اندازه‌گیری مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی است. با شناخت و ارزیابی پارامترهای موثر در افزایش مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی می‌توان مخلوط‌های آسفالتی با مقاومت برشی مناسب را طراحی نمود. شکست یا جداسازی در مخلوط‌های آسفالتی می‌تواند در حالت‌های برش خالص، کشش خالص، برش همراه با فشار و برش همراه با کشش صورت گیرد. در این تحقیق برای ارزیابی مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده با دو نوع قیر خالص با درجه نفوذ مختلف، دو نوع دستگاه برشی طراحی و ساخته شد و نمونه‌های مارشال ساخته شده با دو نوع قیر تحت اثر نیروی برش خالص (دستگاه قائم) و فشاری - برشی (دستگاه مورب) گسیخته شدند و حداکثر مقاومت و سختی برشی نمونه‌ها تعیین گردید. آزمایشات نشان دادند که مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر خالص ۶۰/۷۰ در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر خالص ۸۵/۱۰۰ بیشتر است. با استفاده از هر یک از این دو دستگاه می‌توان پارامترهای مختلف تاثیرگذار در مقاومت و سختی برشی نمونه‌ها را بررسی کرد.

واژگان کلیدی: مقاومت برشی، مخلوط آسفالتی، دستگاه برش، نمونه‌ی مارشال

مقاومت برشی کافی در لایه‌ی سطحی و تنش‌های برشی زیاد وارده از طرف چرخ وسیله‌ی نقلیه ایجاد می‌شود [۱]. از پارامترهای مهم دیگر در کاهش شیارافتادگی

۱- مقدمه
شیارافتادگی یکی از خرابی‌های مهم در روسازی‌هاست که یا بر اثر مقاومت کم بستر بوجود می‌آید و یا بدلیل نبود

برشی، کششی، پیچشی، برشی و برخی دیگر از آزمایشات می‌توان استفاده کرد (شکل ۱).

بمنظور ارزیابی مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی در این تحقیق از دو نوع دستگاه ساخته شده استفاده گردید که یکی از آنها تحت نیروی فشاری - برشی (دستگاه مورب) و دیگری تحت برش خالص (دستگاه قائم) عمل می‌نماید. علت استفاده از دو نوع دستگاه مقایسه نتایج بدست آمده با یکدیگر و ارزیابی دستگاه‌ها در تعیین مقاومت برشی بوده است.

نمونه‌های مارشال ساخته شده با دو نوع قیر خالص ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ که اکثراً در جاده‌های ایران استفاده می‌شوند، با استفاده از این دو نوع دستگاه برش خورده و مقاومت برشی آنها محاسبه شد.

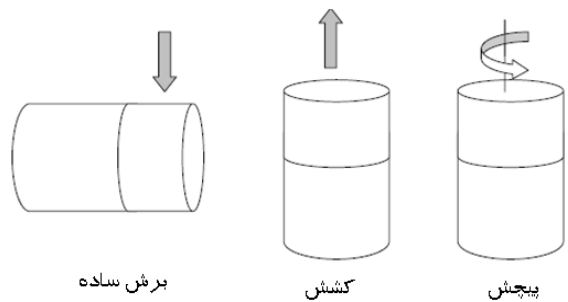
۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی با انجام آزمایش در محل یا آزمایش‌های آزمایشگاهی قابل تعیین است. با بررسی‌های صورت گرفته بنظر می‌رسد که دستگاه جعبه‌ی برش مستقیم (شکل ۲) متداول‌ترین روش آزمایشگاهی بمنظور بررسی ویژگی‌های چسبندگی می‌باشد [۶-۹]. در این دستگاه نیروی قائم همراه با نیروی برشی با نرخ ثابت (یا جابجایی برشی با نرخ ثابت) تا زمان گسیختگی نمونه‌ها به آنها وارد می‌شود. Uzan و همکاران با استفاده از دستگاه برش مستقیم آزمایش‌هایی را بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی و بمنظور بررسی چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی انجام دادند [۹]. آنها دریافتند که مقاومت برشی بصورت قابل توجهی با افزایش دما و کاهش نیروی قائم، کاهش می‌یابد.

با وجود گستردگی استفاده از آزمایش جعبه‌ی برش مستقیم، این آزمایش چندین محدودیت عمده دارد. مثلاً اینکه در این آزمایش‌ها توزیع تنش بر روی نمونه‌ها

روسازی‌های آسفالتی افزایش سختی خزشی این مخلوط هاست. آزمایش‌های زیادی برای تعیین مشخصات خزش و سختی خزشی مخلوط‌های آسفالتی انجام گرفته است که در میان آنها آزمایش ناتینگهام از نظر قابلیت اطمینان و بنیادی بودن بسیار مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. مخلوط‌های آسفالتی خنثی کردن تنش‌های برشی و افزایش مقاومت برشی مصالح روسازی باعث کم کردن و از بین بردن شیارها در سطح راه خواهد گردید. برای حل این مشکل تلاش‌های زیادی صورت پذیرفته که اساسی‌ترین آنها در جهت بهبود خواص مخلوط‌های آسفالتی است.

بررسی‌های متعددی نشان دادند که افزایش مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی تحت تاثیر افزایش دو پارامتر عمده زاویه‌ی اصطکاک داخلی مصالح روسازی و چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی است [۳]. اندازه‌ی مصالح و مقدار قیر مصرفی نیز تاثیر بسیار مهمی در خواص فیزیکی و مکانیکی روسازی‌های آسفالتی دارد این تاثیر روی افزایش مقاومت برشی و کاهش شیارافتادگی نیز بخوبی خود را نشان می‌دهد مقدار بهینه‌ی قیر مصرفی و دانه‌بندی بهینه‌ی مصالح نیز باعث بهبود مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی خواهد گردید [۴].



شکل (۱) آزمایشات سنجش چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی

چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از مقاومت و سختی برشی آنها تعریف می‌شود [۵] که برای اندازه‌گیری آن از تنش‌های بوجود آمده در آزمایشات تعیین مقاومت

دستگاه‌های دیگری نیز بمنظور اندازه‌گیری چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی ابداع شدند بمانند دستگاه برش دوپل که عمده محدودیت آن پیچیدگی ساخت و کار با آن است.

۳- پارامترهای برشی مخلوط‌های آسفالتی

پارامترهایی که میزان مقاومت مخلوط‌های آسفالتی را در برابر تنش‌های برشی وارده نشان می‌دهد، مقاومت و سختی برشی است. مقاومت برشی، مقدار تنش برشی است که نمونه‌های آسفالتی تا قبل از گسیختگی تحمل می‌کنند و سختی برشی نیز نسبت مدول مماسی منحنی نیرو - جابجایی به مساحت سطح برش خورده است. در این تحقیق مقادیر این پارامترها با استفاده از دستگاه‌های برش نشان داده شده در اشکال ۴ و ۸ اندازه‌گیری شده است. مشخصات و طرز کارکرد این دستگاه‌ها در زیر شرح داده شده است.

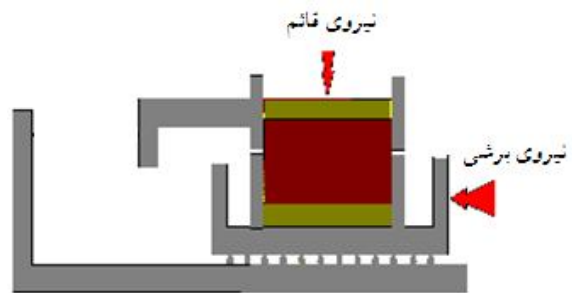
۴- دستگاه برش مورب

برای تعیین مقاومت برشی نمونه‌های آسفالتی از دستگاه برش ساخته شده استفاده شده است. به کمک این دستگاه نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده و یا مغزه‌گیری شده تحت نیروی فشاری - برشی گسیخته می‌شوند و حداکثر نیروی برشی قابل تحمل نمونه‌ها محاسبه می‌گردد. شکل شماتیک دستگاه برشی در شکل ۴ نشان داده شده است. نمونه‌هایی که با این دستگاه می‌توانند تحت آزمایش قرار بگیرند نمونه‌هایی به ابعاد نمونه‌های ساخته شده در آزمایش مارشال هستند. لذا با توجه به این نکته، مشکلات موجود برای ساخت نمونه‌های تحت آزمایش با دستگاه‌هایی که در بخش مرور ادبیات عنوان گردید، برای آزمایش با این دستگاه وجود ندارد.

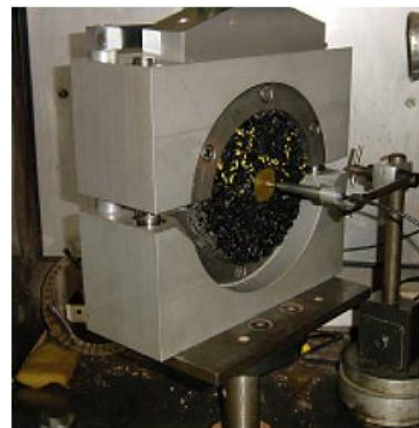
حداکثر نیروی برشی با استفاده از فرمول (۱) و با توجه

غیریکنواخت است [۷ و ۱۰]. محدودیت دیگر آن پیچیدگی آزمایشگاهی بکارگیری نیروی قائم به همراه نیروی برشی است. آزمایش Leutner (شکل ۳) در حوالی سال ۱۹۷۰ و در آلمان بصورت یک روش ساده برای انجام آزمایش برش مستقیم ابداع شد [۱۱]. این آزمایش برروی نمونه‌های مغزه‌گیری شده و یا ساخته شده در آزمایشگاه و بطول mm ۱۵۰ انجام می‌گیرد که در آن از نرخ جابجایی ثابت برشی تا گسیختگی نمونه‌ها استفاده می‌شود. نرخ بارگذاری برشی در این آزمایش ۵۰ mm/min، برابر با نرخ بارگذاری دستگاه‌های مارشال و CBR است.

Sholar و همکاران نیز دستگاه برش مستقیم مشابه دستگاه Leutner و بدون بارگذاری قائم ابداع کردند [۱۲]. آن‌ها آزمایش‌ها را با نرخ بارگذاری ۵۰ mm/min و در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام دادند.

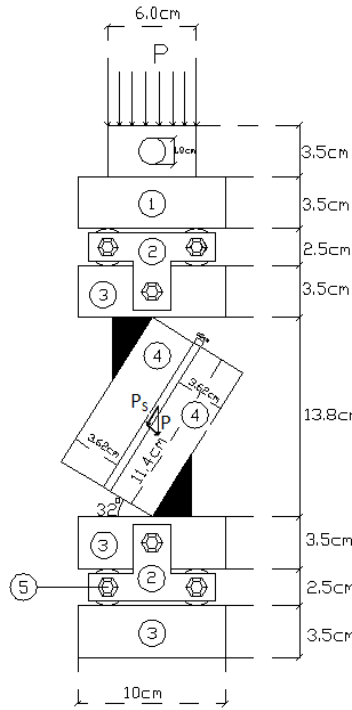


شکل (۲) دستگاه جعبه‌ی برش مستقیم [۹]



شکل (۳) دستگاه برش Leutner [۱۱]

ساخته شده و یا مغزه‌گیری شده
۵. غلتک که امکان حرکت جانبی نمونه‌ها را تحت بار
اعمالی فراهم می‌آورد.



شکل (۴) نمای شماتیک از دستگاه برش مورب

۴-۱- نحوه انجام آزمایش

در این آزمایشات از دستگاه INSTRON بمنظور وارد آوردن بار قائم استفاده می‌شود. ابتدا قسمت فوقانی و کفی دستگاه برش روی دستگاه INSTRON نصب می‌شوند و سپس نمونه‌های آسفالتی ساخته شده در آزمایشگاه در داخل دستگاه برش قرار داده شده و کل سیستم بر روی دستگاه INSTRON سوار می‌شود. بعد از اطمینان از قرار گیری مناسب دستگاه برش، بار قائم وارد می‌آید و نمونه‌ها گسیخته می‌شوند. شکل ۵ نحوه اعمال بار و شکست نمونه را نشان می‌دهد.

شکل ۶ مرحله بعد از اعمال بار را نشان می‌دهد. دستگاه اعمال نیرو مجهز به نرم‌افزار بوده و حداکثر نیروی

به زاویه‌ای که نمونه‌های برش خورده با افق می‌سازند (۳۲)، محاسبه شده و مقاومت برشی نیز توسط فرمول (۲) محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از مدول مماسی T (kN/m) که از نمودار جابجایی-نیرو بدست می‌آید و با استفاده از فرمول (۳) سختی برشی محاسبه می‌شود [۵].

$$P_s = P \cos 32^\circ = 0.85 P \quad (1)$$

$$F / P_s R_s = \quad (2)$$

$$S_s = T/F \quad (3)$$

که در روابط بالا:

$$P_s = \text{نیروی برشی وارد بر نمونه آسفالتی (N)}$$

$$P = \text{بار قائم وارد بر نمونه آسفالتی (N)}$$

$$R_s = \text{سختی برشی نمونه‌ی آسفالتی (N/m}^2\text{)}$$

$$F = \text{مساحت ناحیه برش خورده (} \pi r^2 \text{) (m}^2\text{)}$$

$$S_s = \text{سختی برشی (N/mm/m}^2\text{)}$$

$$T = \text{مدول مماسی (N/mm)}$$

انتخاب نوع و نحوه بارگذاری نمونه‌ها بستگی به ضخامت نمونه‌های آسفالتی دارد. در این آزمایشات از نیروی با بزرگی ثابت استفاده شده و این نوع بارگذاری برای نمونه‌های آسفالتی ضخیم پیشنهاد شده است [۱۳]، در این آزمایش‌ها از نرخ اعمال بار استاندارد ۵۰ mm/min (برابر با نرخ بارگذاری دستگاه‌های مارشال و CBR) استفاده شده است.

اجزا مختلف دستگاه برش مورب ساخته شده عبارتند از:

۱. قسمت فوقانی دستگاه که بمنظور وارد آوردن بار استفاده می‌شود.

۲. متصل‌کننده‌های غلتک به سری و کفی دستگاه

۳. کفی دستگاه

۴. نصف قالب تراکم مارشال برای نگهداری نمونه‌های

با اعمال بار قائم (با نرخ ثابت ۵۰ mm/min) به نمونه‌ی تحت آزمایش (که با افق زاویه‌ی ۳۲° می‌سازد)، نمونه تحت نیروی فشاری و برشی قرار گرفته و تحت نیروی برشی شروع به برش خوردن می‌کند تا اینکه در یک جابجایی مشخص، حداکثر نیروی برشی قابل تحمل نمونه بدست می‌آید و از آنجا به بعد جابجایی با سرعت بیشتری (بدلیل از بین رفتن چسبندگی بین مصالح) تا جداسازی کامل نمونه ادامه می‌یابد (شکل ۷).

لازم جهت شکست نمونه‌ها را محاسبه می‌کند. شکل ۷ نمونه‌ای از نمودارهای حداکثر نیروی اعمال شده برای برش نمونه را نشان می‌دهد.

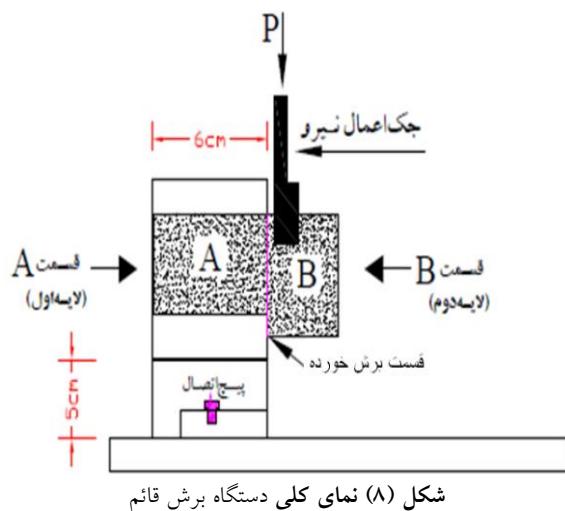
بعد از اتمام آزمایش‌ها، محاسبات مطابق روابط فوق‌الذکر انجام می‌گیرد.



شکل (۵) دستگاه برش مورب

۵- دستگاه برش قائم

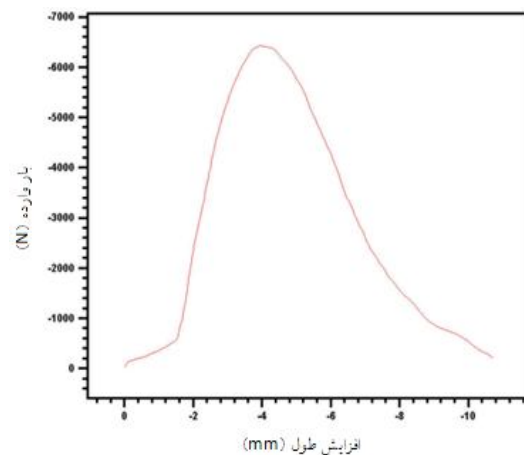
جهت انجام این پژوهش دستگاه برش قائم برای انجام آزمایش برش و بررسی میزان چسبندگی نمونه‌های آزمایشگاهی استوانه‌ای شکل با قطر ۱۰۰mm (۴ اینچ) ساخته شد (شکل ۸).



این دستگاه بر روی دستگاه اعمال نیروی INSTRON نصب شده و نمونه‌های مورد نظر از سمت A در محل خود قرار گرفته و محکم می‌گردد. شکل ۹ دستگاه را در حالت آماده‌ی انجام آزمایش برش نشان می‌دهد.



شکل (۶) نمونه‌ی برش خورده



شکل (۷) نمونه‌ای از نمودار خروجی دستگاه برش مورب

قرار داده شده و در محل خود توسط پیچ‌های تعبیه شده محکم و ثابت می‌شوند. بعد از اطمینان از ثابت شدن صحیح نمونه از طرف بازو و فک سوم به سمت پائین به نمونه نیرو اعمال می‌شود. شکل ۱۰ نحوه‌ی اعمال بار و شکست نمونه را نشان می‌دهد.

مقدار نیروی اعمال شده بصورت نیروی عمودی و با سرعت ۵۰ میلی‌متر در دقیقه می‌باشد. شکل ۱۱ مرحله بعد از اعمال نیرو را نشان می‌دهد. دستگاه اعمال نیرو مجهز به نرم‌افزار بوده و حداکثر نیروی لازم جهت شکست نمونه‌ها را محاسبه می‌کند. شکل ۱۲ نمونه‌ای از نمودارهای حداکثر نیروی اعمال شده برای شکست نمونه را نشان می‌دهد. بعد از اتمام آزمایش‌ها و ثبت تنش‌های وارده و کرنش ایجاد شده مطابق رابطه‌های ۴ و ۵ تنش و سختی برشی مخلوط آسفالتی تعیین می‌شود.

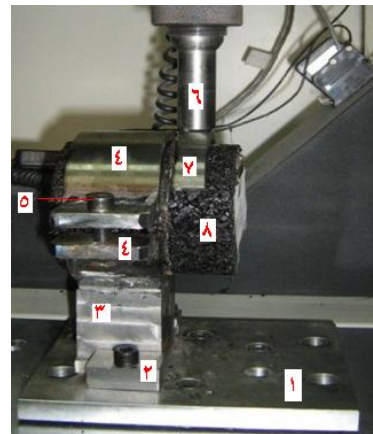
$$R_s = P_s / F \quad (4)$$

$$S_s = T/F \quad (5)$$

تمامی پارامترهای بالا قبلاً تعریف شده‌اند.



شکل (۱۰) دستگاه برش قائم



شکل (۹) دستگاه برش قائم

تشریح اجزاء دستگاه برش قائم

۱. صفحه پائینی متصل به دستگاه اعمال نیرو که توسط چهار پیچ در جای خود محکم می‌شود.
۲. بازوهای گیرنده پایه فک‌ها که بصورت کشویی عمل کرده و توسط دو پیچ که روی آن تعبیه شده، پایه فک‌ها را در محل مورد نظر ثابت نگه می‌دارد.
۳. پایه فک‌ها
۴. فک‌های گیرنده نمونه‌ها (فک بالایی و فک پائینی) بطول ۶۳/۵mm و قطر تقریباً ۱۰۰mm (۴ اینچ)
۵. پیچ محکم کردن فک بالایی به فک پائینی بعد از جایگذاری نمونه بین دو فک جهت جلوگیری از جابجایی نمونه آسفالتی
۶. بازوی متصل شده به دستگاه اعمال نیرو که رو به پائین برش ساده و مستقیم ایجاد می‌کند.
۷. فک سوم برای اعمال نیروی برشی بطول ۳۰mm و به شکل قطایی از یک دایره.
۸. نمونه استوانه‌ای شکل با قطر ۱۰۰mm (۴ اینچ) و طول تقریبی ۶۳/۵mm

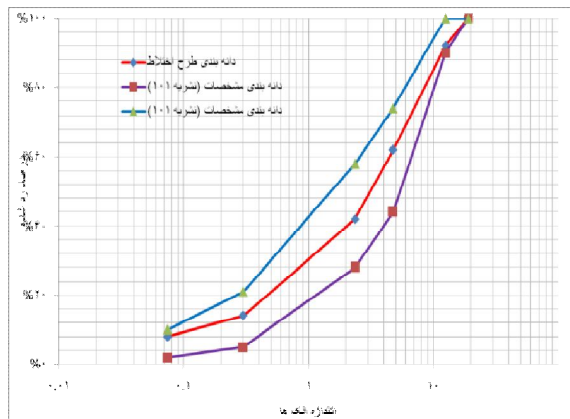
۵-۱- نحوه انجام آزمایش

نمونه‌های آسفالتی ساخته شده در آزمایشگاه مابین دو فک

درجه نفوذ متفاوت ساخته شدند. موارد و مشخصاتی که در تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی مد نظر قرار گرفتند عبارتند از:

- مشخصات و دانه‌بندی مصالح سنگی
- طرح اختلاط
- نوع و مقدار قیر مصرفی
- نحوه تهیه و شکل هندسی نمونه‌ها
- مشخصات و دانه‌بندی مصالح سنگی

مصالح سنگی از معادن شن و ماسه غرب تهران، مورد تأیید مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح سازمان مشاور فنی و مهندسی شهرداری تهران انتخاب شد. نمونه‌های آزمایشگاهی از دانه‌بندی شماره ۴ و جدول ۲۰-۱ مشخصات فنی و عمومی راه (نشریه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) استفاده گردید. این دانه بندی در نمودار شکل ۱۳ آورده شده است.



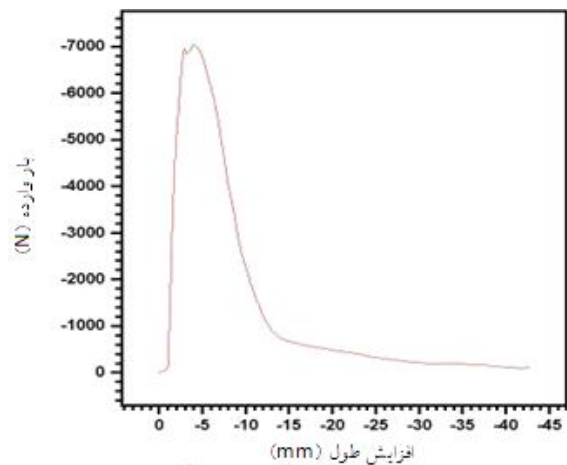
شکل (۱۳) منحنی دانه‌بندی مخلوط آسفالتی [۱۳]

۶-۱- طرح اختلاط نمونه‌ها

برای نمونه‌های آزمایشگاهی از طرح اختلاط آسفالت گرم بر اساس مشخصات فنی نشریه ۱۰۱ و آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) استفاده شد. با توجه به آزمایش‌های متعدد انجام شده و مشخصات



شکل (۱۱) شرایط نمونه پس از اعمال نیرو و ایجاد شکست



شکل (۱۲) نمونه‌ای از نمودار خروجی دستگاه برش قائم

با اعمال بار قائم (با نرخ ثابت ۵۰ mm/min) به نمونه‌ی تحت آزمایش با دستگاه برش قائم، نمونه تحت نیروی برشی شروع به برش خوردن می‌کند تا اینکه در یک جایجایی مشخص و تحت یک نیروی مشخص، نمونه برش می‌خورد و از آنجا به بعد جایجایی با سرعت بیشتری (بدلیل از بین رفتن چسبندگی بین مصالح) تا جداسازی کامل نمونه ادامه می‌یابد (شکل ۸).

۶-۲- طریقه ساخت نمونه‌ها

نمونه‌های آزمایشگاهی برای تعیین و مقایسه میزان چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از دو نوع قیر با

فنی آسفالت نشریه "۱۰۱" درصد قیر بهینه طرح معادل ۵/۹ درصد نسبت به وزن کل آسفالت انتخاب گردید.

بار ۵۰ میلی‌متر در دقیقه و در دمای ثابت (۲۵ درجه‌ی سانتیگراد) مورد آزمایش قرار گرفتند. دستگاه INSTRON که نیرو توسط آن به نمونه‌ها اعمال می‌شود، شامل نرم افزاری است که مقدار نیروی اعمال شده بر حسب جابجایی با فرکانس ثابت را بصورت نمودار ترسیم می‌کند. بدین ترتیب نتایج انجام آزمایش‌ها بر اساس نیروی وارده بصورت منحنی نیرو-جابجایی برای هر آزمایش بدست آمد. از روی داده‌های هر آزمایش نیروی شکست مشخص گردید.

نتایج حاصل از خروجی نرم افزار بیانگر حداکثر بار وارده به نمونه‌ها است و در جداول ۱ و ۲ درج شده است. با استفاده از روابط ذکر شده، مقاومت برشی، مدول مماسی و سختی برشی بر اساس حداکثر نیروی برشی وارده به نمونه‌های مورد آزمایش و جابجایی آن‌ها محاسبه گردید.

۶-۲- قیر مصرفی مورد استفاده

روسازی‌های آسفالتی در اغلب مناطق معتدل و گرمسیر کشور با استفاده از قیر خالص ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ ساخته و اجراء می‌شوند. به همین دلیل (به منظور شبیه‌سازی شرایط آزمایشگاهی با شرایط صحرائی) قیر خالص ۶۰/۷۰ پالایشگاه تهران و ۸۵/۱۰۰ پالایشگاه تبریز برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی انتخاب شد.

۷- نتایج حاصل از آزمایشات

کلیه نمونه‌ها تحت بارگذاری ثابت عمودی با شدت اعمال

جدول (۱) نتایج حاصل از آزمایش تعیین مقاومت و سختی برشی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه برش قائم

شماره نمونه‌ها	قیر مصرفی قیر خالص	حداکثر بار وارده kN	سطح مقطع نمونه‌ها $m^2 \times 10^{-3}$	مقاومت برشی kN/m ²	مدول مماسی kN/mm	سختی برشی kN/mm/m ²
۱	۶۰/۷۰	۸/۶۹۲	۸	۱۰۸۶/۵	۱	۱۲۵
۲	۶۰/۷۰	۷/۳۸۹	۸	۹۲۳/۶	۱/۴۳	۱۷۸/۷۵
۳	۶۰/۷۰	۷/۸۳۵	۸	۹۷۹/۳	۱/۱۷	۱۴۶/۲۵
۴	۶۰/۷۰	۷/۲	۸	۹۰۰	۱/۱	۱۳۷
۵	۶۰/۷۰	۸/۱	۸	۱۰۱۲/۵	۱/۲۵	۱۵۶
میانگین						
انحراف معیار						
خطای استاندارد						
ضریب همبستگی						
۱	۸۵/۱۰۰	۷/۳۴۷	۸	۹۱۸/۴	۰/۶۵	۸۱/۲۵
۲	۸۵/۱۰۰	۶/۶۷۵	۸	۸۳۴/۴	۰/۷۷	۹۶/۲۵
۳	۸۵/۱۰۰	۷/۰۳۳	۸	۸۷۹/۱	۰/۷۶	۹۵
۴	۸۵/۱۰۰	۷/۵۱	۸	۹۳۸	۰/۷۲	۹۰
۵	۸۵/۱۰۰	۷/۱	۸	۸۸۷	۰/۸۱	۱۰۱
میانگین						
انحراف معیار						
خطای استاندارد						
ضریب همبستگی						

جدول (۲) نتایج حاصل از آزمایش تعیین مقاومت و سختی برشی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه برش مورب

شماره نمونه‌ها	قیر مصرفی قیر خالص	حداکثر بار وارده kN	سطح مقطع نمونه‌ها $m^2 \times 10^{-3}$	مقاومت برشی kN/m ²	مدول مماسی kN/mm	سختی برشی kN/mm/m ²
۱	۶۰/۷۰	۱۲/۸۲۹	۸	۱۶۰۳/۶	۴/۱۶	۵۲۰
۲	۶۰/۷۰	۱۱/۸۰۵	۸	۱۴۷۵/۶	۳/۹	۴۸۷/۵
۳	۶۰/۷۰	۱۱/۹۰۳	۸	۱۴۸۷/۵	۳/۸۴	۴۸۰
۴	۶۰/۷۰	۱۱/۷	۸	۱۴۶۲۵	۳/۷۵	۴۸۶
۵	۶۰/۷۰	۱۱/۶۳	۸	۱۴۵/۳۷	۴/۱۸	۵۲۲
میانگین						
		۱۱/۹۳	۸	۱۴۹/۶۶	۳/۹۷	۴۹۶
انحراف معیار						
		-	-	۷۰/۷	-	۲۱/۲۶
خطای استاندارد						
		-	-	۴۰/۸	-	۱۲/۲۸
ضریب همبستگی						
۰/۹۶۵۹						
۱	۸۵/۱۰۰	۹/۹۴۶	۸	۱۲۴۳/۲	۲/۴۷	۳۰۸/۷۵
۲	۸۵/۱۰۰	۷/۸۱۷	۸	۹۷۷/۱۳	۲/۵۵	۳۱۸/۷۵
۳	۸۵/۱۰۰	۸/۳۱۸	۸	۱۰۳۹/۷۵	۲/۳۶	۲۹۵
۴	۸۵/۱۰۰	۷/۴	۸	۹۲۵	۲/۴۱	۳۰۱
۵	۸۵/۱۰۰	۷/۹	۸	۹۸۷	۲/۵۸	۳۲۲
میانگین						
		۸/۶۹۳	۸	۱۰۳۴/۳	۲/۴۶	۳۰۹/۲۵
انحراف معیار						
		-	-	۱۳۹/۱	-	۱۱/۹۲
خطای استاندارد						
		-	-	۸۰/۳	-	۶/۸
ضریب همبستگی						
-۰/۱۳۵						

مقایسه با نمونه‌های حاوی قیرهای ۸۵/۱۰۰ کمتر است (تحت آزمایش با هر دو دستگاه) و این نشان می‌دهد که پراکندگی نتایج در این نمونه‌ها کمتر است. مقاومت و سختی برشی نمونه‌های آزمایش شده با دستگاه برش قائم دارای ضریب همبستگی مناسب (نزدیک به یک) است ولی ضریب همبستگی بدست آمده برای نمونه‌های آزمایش شده با دستگاه مورب معنی‌داری خاصی ندارد و این شاید به دلیل پیچیدگی آزمایش با این دستگاه بوده است که موجب ایجاد خطا در نتایج شده است.

۸- نتیجه گیری

با اندازه‌گیری مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی و شناسایی پارامترهای موثر در افزایش مقاومت برشی آن‌ها

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی (جدول ۱ و ۲)، تاثیر نوع قیر مصرفی در افزایش مقاومت و سختی برشی نمونه‌های آسفالتی به‌خوبی قابل مشاهده است. به گونه‌ای که هرچه قیر مورد استفاده درجه نفوذ پایین‌تری داشته باشد، چسبندگی بین مصالح و قیر مخلوط ساخته شده با آن بیشتر خواهد شد. از طرف دیگر نمونه‌هایی که با دستگاه برش مورب گسیخته شدند دارای مقاومت و سختی برشی بیشتری (بصورت قابل ملاحظه) در مقایسه با نمونه‌های گسیخته شده با دستگاه برش قائم می‌باشند. پارامترهای آماری استفاده شده برای تفسیر نتایج در این جداول (انحراف معیار، خطای استاندارد و ضریب همبستگی) نشان می‌دهند که انحراف معیار و خطای استاندارد نتایج حاصل از نمونه‌های حاوی قیر ۶۰/۷۰ در

برشی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر ۶۰/۷۰ در آزمایش برش قائم و آزمایش مورب به ترتیب حدود ۱۱ و ۲۸ درصد بیشتر از مقاومت برشی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر ۸۵/۱۰۰ است (جداول ۱ و ۲).

۳. سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر ۶۰/۷۰ در آزمایش برش قائم و آزمایش مورب به ترتیب حدود ۳۹ و ۳۸ درصد بیشتر از سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر ۸۵/۱۰۰ است (جداول ۱ و ۲).

۴. با توجه به پارامترهای آماری محاسبه شده، نتایج حاصل از آزمایش با دستگاه برشی قائم دارای معنی‌داری بیشتری نسبت به نتایج حاصل از آزمایش با دستگاه برشی مورب است.

۹- منابع و مراجع

- [1] Uzan, J. Permanent Deformation in Flexible Pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 130(1), 2004, p. 6-13.
- [2] Topal, A. and Sengoz, B. Determination of Fine Aggregate Angularity in Relation with the Resistance to Rutting of Hot-mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 19(2), 2005, p. 155-163.
- [۳] عربانی، مهیار و خدابخشی صیقلانی، معصومه، "ارزیابی پارامترهای مقاومتی خزش در مخلوط‌های آسفالتی لاستیکی روغن دار در دماهای مختلف"، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۶
- [4] Grabowski, W. and Wilanowicz, J. Influence of Structural Parameters of Mineral Fillers on their Functional Features- Research and Mathematical Modelling. *Archives of Civil Engineering*, 50(1), 2004, p. 161-173.
- [5] P.Zieliński., Fatigue investigations of asphalt concrete beams reinforced with geosynthetics interlayer, Institute of Road and Railway Engineering, Cracow University of Technology, Poland, 2008
- [6] Carr AG. The behaviour of layered pavement

ساخت مخلوط‌های آسفالتی مقاومتر در برابر خرابی‌های ناشی از ضعف مقاومت برشی میسر می‌گردد. بدیهی است که دستیابی به این هدف، مستلزم طراحی و ساخت دستگاه(هایی) است که بتواند مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی را به صورت مناسبی اندازه‌گیری نماید. در این تحقیق و به منظور نیل به این هدف از دو نوع دستگاه برشی که در آزمایشگاه روسازی دانشگاه تربیت مدرس طراحی و ساخته شد استفاده گردید که هر یک قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای برشی مخلوط‌های آسفالتی را دارند استفاده گردید. با در نظر گرفتن کاربردهای این دو دستگاه می‌توان پارامترهای موثر دیگر در افزایش مقاومت و سختی برشی مخلوط‌های آسفالتی را نیز بررسی کرد. در ضمن از این دستگاه‌ها می‌توان برای بررسی خصوصیات بین لایه‌ای به مانند بررسی چسبندگی میان لایه‌هایی مانند مواد ژئوستنتیک با مخلوط‌های آسفالتی نیز استفاده کرد.

با توجه به آزمایشات انجام گرفته و بررسی و تحلیل

نتایج حاصل از آن‌ها، نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱. همان‌گونه که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است، مقاومت و سختی برشی نمونه‌های آزمایش شده با دستگاه برش مورب بیشتر از مقاومت و سختی برشی نمونه‌های آزمایش شده با دستگاه برش قائم است. وجود نیروی فشاری باعث افزایش اصطکاک و در نتیجه افزایش مقاومت برشی (۳۴ درصد افزایش در مخلوط‌های حاوی قیر ۶۰/۷۰ و ۱۸ درصد افزایش در مخلوط‌های حاوی قیر ۸۵/۱۰۰) و سختی برشی (۷۰ درصد افزایش برای هر دو مخلوط) نمونه‌های آسفالتی است.

۲. با کاهش درجه نفوذ قیر خالص بکار رفته در مخلوط‌های آسفالتی، مقاومت برشی مخلوط نیز بالا خواهد رفت. این موضوع می‌تواند بدلیل افزایش سختی خود قیر که باعث افزایش سختی مخلوط می‌شود، باشد. مقاومت

- [11] Leutner R. Untersuchung des schichtenverbundes beim bituminösen oberbau. Hamburg, Germany: Bitumen, Heft 3, ARBIT; 1979.
- [12] Sholar GA, Page GC, Musselman JA, Upshaw PB, Moseley HL. Preliminary investigation of a test method to evaluate bond strength of bituminous tack coats. Asphalt Paving Technol 2004.
- [13] Judycki, J., Fatigue of asphalt mixes, University of Oulu, Finland 1991.
- [۱۴] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، "مشخصات فنی عمومی راه نشریه شماره ۱۰۱"، تجدید نظر اول، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، چاپ اول ۱۳۸۲
- structures: the dynamic shear box. Project report. School of Civil Engineering, University of Nottingham; 2001.
- [7] Kruntcheva MR, Collop AC, Thom NH. Shear box test: finite element modelling. Project report PGR01-05. School of Civil Engineering, University of Nottingham; 2001.
- [8] Mohammad LN, Raqib MA, Wu Z, Huang B. Measurement of interlayer bond strength through direct shear tests. In: 3rd International conference of bituminous mixtures and pavements, 21-22 November. Thessaloniki, Greece; 2002.
- [9] Uzan J, Livneh M, Eshed Y. Investigation of adhesion properties between asphalt concrete layers. J Assoc Asphalt Paving Technol 1978;47:495-521.
- [10] de Bondt A. Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphalt overlays. PhD thesis. Delft University of Technology, The Netherlands; 1999.

Measured Shear Strength and Hardness of Asphalt Mixtures Using Shear Devices Designed and Built

M. Dindar¹, A. Hasani^{2*}, A. Kavooosi³, H. Mohsenzadegan⁴

1- Professor, TarbiatModares University

2- Associated Professor, TarbiatModares University

3- Graduated Student, TarbiatModares University

4- Graduated Student, TarbiatModares University

hassani@modares.ac.ir

Abstract:

From examining the pavement failures and itscauses, these results are obtained, improving and increasing resistance of asphalt mixtures against incoming stresses (vertical, shear and torsion stresses), causing delay and reduce failures created on pavement and thus their productivity and life will be increased.Costs that each year spent in the country to improve and repair of pavements withfailures, illustrate theImportance of improving the resistance of pavements against the incoming stresses.This study introduced two types of shear device has been developed in order to measure shear strength and shear stiffness of asphalt mixtures.Sheer strength and shear stiffness of asphalt mixtures has a close relationship with the adhesion (c) and friction angle between the materials of asphalt aggregate mixtures. Increasing each of these parameters, the shear strength of asphalt mixtures will be increased. Identifying and evaluating effective parameters that increased asphalt mixtures resistance, including gradated aggregate materials used or the effect of compaction, type and amount of binder, asphalt mixtures with the appropriate shear resistance can be produced. This requires the evaluating of effective factors in shear strength of the constructed samples.The failure or destruction in asphalt mixtures in states of pure shear, pure tension, shear with pressure, and shear with traction can occur.In this study, to evaluate the shear resistance of asphalt mixtures made with two different penetration grade bitumen, two types of shear device was designed and built and Marshall samples made with two types of bitumen, under force of pressure - shear and pure shear were disjointed and the maximum shear strength and shear stiffness of them were calculated.Using any one of these two units, different parameters in the effective shear strength and hardness of the samples can be investigated and asphalt more shear resistance against shear forces produced. Testing and evaluation, this result is achieved that Because the effect of consumption of bitumen type on asphalt mixtures properties (increasing adhesion coefficient), shear strength and shear stiffness of asphalt mixtures containing bitumen 60/70 in comparison with asphalt mixtures containing bitumen 85/100 is more

Keywords: Shear strength, Mix asphalt, Shear device, Marshall Sample