

تأثیر رطوبت، قیر، تراکم و شکستگی مصالح فیلتر شنی بر پارامترهای مقاومت برشی سطح تماس فیلتر با هسته بتن آسفالتی

علی نبی زاده^{۱*}، سعید محمدی جو^۲، ستار بهرامی^۲

۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، لویزان، تهران، ایران
۲- دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۲
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

کلمات کلیدی:

شن
هسته بتن آسفالتی
آزمایش برش مستقیم
قیر
تنش پسماند

خلاصه: در سال‌های اخیر در سدهای خاکی با هسته رسی با توجه به محدودیت‌های اجرایی، استفاده از سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی رونق بیشتری پیدا کرده است. در این نوع سدها مصالح آسفالتی هسته سد را تشکیل می‌دهند و مصالح دانه‌ای به عنوان فیلتر در اطراف هسته آسفالتی استفاده می‌شوند. بنابراین، بررسی رفتار در سطح تماس بین این مصالح از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این مقاله با استفاده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس و اعمال تنش‌های قائم ۱، ۳ و ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در دو حالت خشک و اشباع به بررسی رفتار مکانیکی در سطح تماس مصالح آسفالتی و فیلتر شنی پرداخته شده است و تأثیر پارامترهای تراکم مصالح، شکل دانه‌های شنی و نوع قیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد مقاومت برشی در سطح تماس مصالح با افزایش رطوبت، در مصالح گردگوشه به طور میانگین ۱۸ درصد و در مصالح تیزگوشه به طور میانگین ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. تغییر شکل دانه‌های مصالح فیلتر به تیزگوشه مقاومت برشی سطح تماس را افزایش داد و نسبت تنش حداکثر به تنش پسماند در سطح تماس برای حالت خشک و اشباع با تراکم‌های نسبی متفاوت نشان داد این نسبت در تراکم‌های پایین افزایش بسیار ناچیزی دارد. تغییر نوع قیر مصرفی از B۶۰ به B۸۰ تفاوت ناچیزی در پارامترهای مقاومت برشی ایجاد می‌کند.

۱- مقدمه

بود. از سال ۱۹۸۷ با ورود دستگاه‌های تراکم ماشینی، اجرا و تراکم هسته به همراه فیلتر در اطراف آن پیشرفت بسیار زیادی داشته است. هسته بتن آسفالتی عملاً غیرقابل نفوذ، مقاوم در برابر فرسایش و انعطاف‌پذیر می‌باشد. هسته و مصالح فیلتر در لایه‌های ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر اجرا و متراکم می‌شوند. هسته بتن آسفالتی دیواره غیرقابل نفوذ ایجاد کرده که توسط ناحیه انتقالی محافظت می‌شود [۴].

قانونی و مهین روستا (۲۰۰۲) نتایج آنالیزهای خطی معادل و غیرخطی انجام شده بر روی یک سد با هسته بتن آسفالتی ارائه دادند و نتیجه گرفتند که نواحی انتقالی اطراف هسته در طول زلزله تغییر شکل‌های زیادی را متحمل می‌شوند در حالی که هسته تقریباً الاستیک مانده و نشست چندانی نمی‌کند [۵].

داویدنکوف و خورکوف (۲۰۰۵) به بررسی اندرکنش هسته بتن آسفالتی و فیلتر ماسه‌ای اطراف آن پرداختند. آن‌ها دریافتند که در نمونه تحت یک بارگذاری عمودی ثابت و محدود کردن حرکت افقی بتن آسفالتی، هسته در حالت پایدار می‌ماند. با افزایش مدول الاستیسیته خاک و کاهش ویسکوزیته

از زمان‌های گذشته احداث سدهای خاکی به منظور تنظیم و ذخیره آب معمول بوده است. نوعی از سدها که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند سدهای خاکی هستند [۱]. سدهای خاکی احتیاج به دو جزء اساسی دارند که مورد اول هسته نفوذناپذیر و مورد دوم پوسته تکیه‌گاهی جهت تامین پایداری سد می‌باشد [۲]. به دلیل نفوذپذیری پایین، رس به طور معمول به عنوان مصالح هسته استفاده می‌شود. اما استفاده از رس محدودیت‌هایی دارد. در برخی پروژه‌ها منابع قرضه رس در نزدیکی محل پروژه موجود نمی‌باشند و انتقال مصالح رسی به محل، هزینه‌های زیادی را به پروژه وارد می‌کند. در برخی پروژه‌ها نیز با وجود در دسترس بودن منابع قرضه به دلیل آب و هوای بارانی و میزان رطوبت بالای رس این امر مشکلاتی را در ساخت هسته ایجاد می‌کند [۳]. در این مناطق استفاده از هسته بتن آسفالتی می‌تواند بسیار مناسب باشد.

هسته بتن آسفالتی برای اولین بار ۵۰ سال پیش در آلمان استفاده شده

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ali.nabizadeh@sru.ac.ir



آسفالت، فشار وارد بر خاک از طرف آسفالت افزایش می‌یابد [۶].

سالمی و بازیار (۱۳۸۷) به بررسی رفتار دینامیکی سد میجران پرداختند که از جمله سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی می‌باشد، این کار با استفاده از تحلیل‌های عددی سه بعدی و غیرخطی توسط نرم‌افزار فلک سه بعدی، بر مبنای روش‌های تفاضل محدود انجام گردید. نتایج حاصل از آن تحقیق نشان داد که در بدنه سد میزان تغییر شکل به طور کلی کوچک می‌باشد اما در ارتفاعات بالا نزدیک به تاج سد میزان تغییر شکل و کرنش در مصالح فیلتر و نواحی انتقالی مجاور هسته افزایش قابل توجهی دارد [۷].

خانکندی و همکاران (۲۰۰۹) رفتار لرزه‌ای سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی را بررسی کردند. آزمایش‌های آنان نشان داد که بتن آسفالتی در مقابل تکان‌های زلزله مقاوم است و به دلیل خصوصیات شکل‌پذیری بتن آسفالتی، زلزله باید بسیار شدید باشد تا سبب ایجاد ترک‌های زیان‌آور یا ضعف در مصالح شود. علاوه بر این، نتایج به دست آمده از آنالیزهای عددی و آزمایش‌های مدل، پاسخ مناسب سد را در طول و بعد از تکان‌های زلزله نشان داد [۸].

تاجدینی و همکاران (۲۰۱۲) پارامترهای اندرکنش بین آسفالت و ماسه فیلتر را توسط روش عددی تفاضل محدود مدل‌سازی کردند. آن‌ها با مدل‌سازی آزمایش برش مستقیم کوچک مقیاس بر روی یک ماسه با سطح تنش‌های مختلف، اندرکنش بین آسفالت و فیلتر را بررسی کردند. این محققین با استفاده از آنالیز برگشتی، سختی نرمال سطح مشترک فیلتر و ماسه را محاسبه کردند. همچنین مشاهده کردند که سختی برشی و مقاومت تسلیم سطح مشترک با افزایش تنش قائم افزایش می‌یابد [۹].

صادقی و همکاران (۲۰۱۳) به اثر شکل هندسی هسته در رفتار لرزه‌ای سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این امر بود که هسته با ضخامت متغیر به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع، ضخامت هسته نیز افزایش یابد، می‌تواند رفتار خوبی در مقابل تغییر مکان و تنش‌های برشی از خود نشان دهد. همچنین استفاده از هسته قائم-مایل موجب تمرکز تنش و تغییر مکان در محل تغییر مقطع شده و این مدل تحت اثر بارهای لرزه‌ای دچار ترک‌های کششی می‌شود [۱۰].

تاجدینی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اندرکنش هسته بتن آسفالتی و مصالح فیلتر با استفاده از دستگاه برش مستقیم کوچک مقیاس $10 \times 10 \times 2/5$ سانتی‌متر مکعب پرداخته‌اند. در تحقیق صورت گرفته توسط آن‌ها درصد قیر، تیزگوشه و گردگوشه بودن دانه‌ها و تراکم نسبی مصالح فیلتر بر روی پارامترهای مقاومت برشی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از

تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش وزن مخصوص، مقاومت برشی در فصل مشترک افزایش می‌یابد، همچنین انتخاب مصالح تیزگوشه باعث افزایش قفل شدگی بین مصالح دانه‌ای و بتن آسفالتی شده در نتیجه پارامترهای مقاومت برشی نیز افزایش می‌یابد. همچنین آزمایش‌ها با درصد قیرهای متفاوت در اختلاط بتن آسفالتی نیز انجام شد که تغییرات محسوسی در پارامترهای مقاومت برشی مشاهده نشد [۱۱].

وانگ و هوگ (۲۰۱۶) یک مدل رفتاری را برای شبیه‌سازی رفتار مصالح سد خاکی با هسته بتن آسفالتی ارائه کردند. در این بررسی انواع شرایط بارگذاری با انجام یک سری آزمایش خزشی سه محوری مورد مطالعه قرار گرفت. این شرایط بارگذاری جهت شبیه‌سازی فازهای پر و خالی شدن سد و همچنین رفتار خزشی آن بوده است. نتایج آن‌ها نشان داد که در آزمایش بلند مدت سه محوری، کرنش خزشی تجمعی تا رسیدن به یک سطح خزش ثابت، ادامه می‌یابد و پس از آن کرنش خزشی متوقف می‌شود. همچنین بررسی رفتار بار برداری و بارگذاری نشان داد که رفتار مصالح هسته آسفالتی سد خاکی تقریباً خطی است و مدول سکانتی در حالت بار برداری تقریباً ۲۰ تا ۴۰ برابر مدول خزشی است. در نهایت مدل رفتاری ارائه شده و مدول‌های سکانتی به دست آمده نتایج واقع بینانه‌ای در تخمین رفتار سد خاکی ارائه کردند [۱۲].

تشرناتر و کاینرات در (۲۰۱۶) ملاحظات طراحی و رفتار یک سد در اتریش را در زمان ساخت و آنگیبری بررسی کردند. آن‌ها از مدل کلاهدک تسلیم برای شبیه‌سازی رفتار سد خاکی استفاده کردند. نتایج این مطالعه بیانگر آن بود که در زمان ساخت، تنش فشاری زیادی، عمدتاً توسط این پدیده در بدنه سد ایجاد می‌شود. همچنین در زمان آنگیبری، این تنش‌های فشاری در هسته به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۳].

ژانگ (۲۰۱۷) خلاصه‌ای از مطالعات پیشین در زمینه اندرکنش آسفالت با مصالح دانه‌ای را بررسی کرد. او عنوان کرد که بین همه پارامترهای موثر، تاثیر دما، بارگذاری، تنش همه جانبه و نمونه‌سازی در مقاومت سطح مشترک آسفالت و مصالح دانه‌ای از همه بیشتر است. مقاومت قفل و بست با افزایش دما، تنش همه جانبه و بارگذاری، کاهش می‌یابد. همچنین نحوه نمونه‌سازی از اهمیت ویژه‌ای در بررسی این رفتار برخوردار است [۱۴].

وانگ و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه اندرکنش هسته آسفالتی با فیلتر شنی در سدهای خاکی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در طول ساخت سد، هسته آسفالتی و ناحیه انتقالی شنی ماسه‌ای در اطراف هسته تغییر شکل می‌دهند و به دلیل نرمی هسته جایجایی‌های

دارد تا مطالعات بیشتری با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند شکل دانه‌ها و تراکم نسبی در این زمینه صورت پذیرد.

در این تحقیق با بررسی سطح تماس مصالح فیلتر شنی و هسته بتن آسفالتی، تاثیر شکل دانه‌ها (تیز گوشه و گرد گوشه بودن) و تراکم نسبی مصالح فیلتر در حالت خشک و اشباع و نیز تاثیر نوع قیر مصرفی در ساخت بتن آسفالتی مشخص گردید و این کار با استفاده از دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس با ابعاد $۱۵ \times ۳۰ \times ۳۰$ سانتی متر مکعب صورت پذیرفت.

۲- مصالح فیلتر شنی

برای انجام این تحقیق از مصالح شنی تیز و گرد گوشه مطابق با نمودار دانه‌بندی شکل ۱ استفاده شده است. با توجه به ابعاد دستگاه برش مورد استفاده و ضوابط مندرج در استاندارد ASTM D 3080-11، اندازه بزرگ‌ترین سنگدانه مصرفی ۲۵ میلی‌متر انتخاب گردیده است. جهت بررسی بهتر خواص فیزیکی مصالح آزمایش دانه‌بندی، وزن مخصوص حداقل و حداکثر و تعیین شکستگی در دو جبهه انجام شد و چگالی ویژه ذرات جامد نیز تعیین شد. سنگدانه‌ای که حداقل در دو وجه خود، دارای سطوح زبر، گوشه‌دار یا شکسته باشد که در اثر عملیات سنگ شکنی یا به وسیله طبیعت ایجاد شده باشند، سنگدانه با شکستگی دو جبهه تعریف می‌شود. مشخصات فیزیکی مصالح مصرفی در جدول ۱ آورده شده است. مقادیر ضریب یکنواختی و ضریب خمیدگی که به ترتیب بیانگر میزان گستردگی و میزان تقعر منحنی دانه‌بندی می‌باشد نیز تعیین گردید.

۳- مصالح آسفالتی

جهت انتخاب دانه‌بندی مخلوط بتن آسفالتی از روش منحنی فولر در ساخت مخلوط بتن آسفالتی بر اساس رابطه زیر استفاده شده است.

$$P_i = \left(\frac{D_i}{D_{max}}\right)^{0.41} \times 100 \quad (1)$$

که در آن P_i درصد وزنی کوچک تر از دانه‌های با بعد معادل D_i و D_{max} حداکثر اندازه دانه‌های سنگی می‌باشد.

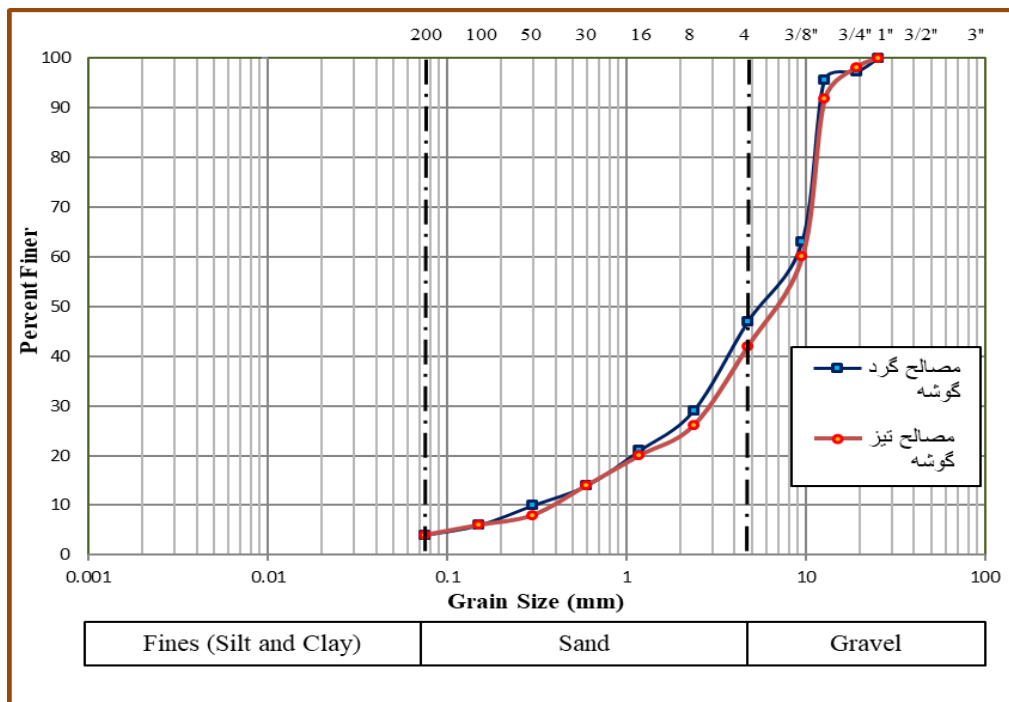
مزیت استفاده از منحنی فولر در ساخت مخلوط بتن آسفالتی مقدار ناچیز حجم حفره‌های هوا (کمتر از ۰.۳٪) می‌باشد که سبب می‌شود مخلوط آسفالتی عملاً نفوذ ناپذیر شود و علاوه بر آن باعث افزایش مقاومت و شکل‌پذیری مناسب آن می‌شود [۴].

قائم برشی در سطح مشترک گسترش می‌یابد. تفاوت جابجایی قائم سبب کرنش برشی در سطح مشترک شده و بیشتر کرنش برشی به دلیل نیروی چسبندگی هسته، در ناحیه انتقالی رخ می‌دهد [۱۵].

وانگ و همکاران (۲۰۱۹) دستگاهی طراحی کردند که شکست هیدرولیکی هسته بتن آسفالتی با تخلخل بیش از ۳ درصد که برگرفته از شکست بزرگ‌ترین سد در جهان بود را مدل‌سازی می‌کرد. این مدل تحت فشار آبی که امکان شکست هیدرولیکی وجود دارد مورد آزمایش قرار گرفت که برابر $0.1/3$ مگاپاسکال بود. نتایج آن‌ها نشان داد که تئوری مکانیزم شکست در هسته آسفالتی با تخلخل $4/3$ تا 4 درصد رخ می‌دهد و مصالح آسفالتی دارای یک رفتار شبه ترد هستند. چون شکست هیدرولیکی می‌تواند در این سدها رخ دهد، می‌بایست یک طرح اختلاط دقیق برای آن‌ها طراحی شود تا از هر گونه برش اتساعی جلوگیری کند [۱۶].

گائو و همکاران (۲۰۱۹) روشی برای کاهش سطح تنش فوق العاده زیاد هسته آسفالتی ارائه کردند. آن‌ها سطح تنش را توسط مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار فلک بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش نسبت گسیختگی، چسبندگی و زاویه اصطکاک، تنش فشاری در هسته سد کاهش می‌یابد. این محققین عنوان کردند با افزایش زاویه اصطکاک بیش از $28/5$ درجه، چسبندگی بیش از $0.3/3$ مگاپاسکال و نسبت گسیختگی بیش از $0.7/5$ ، تنش فشاری، کاهش قابل توجهی می‌یابد [۱۷].

به طور کلی بسیاری از مطالعات به تحقیق بر روی المان هسته بتن آسفالتی و مطالعات عددی جهت رفتار هسته بتن آسفالتی پرداخته است. برخی مطالعات نیز به ساخت مدل‌های فیزیکی و قرار دادن آن بر روی میز لرزه و همچنین بررسی مصالح فیلتر و هسته بتن آسفالتی پرداخته‌اند [۱۲ و ۱۱]. از این رو تاکنون مطالعات آزمایشگاهی محدودی به بررسی تماس مصالح فیلتر و هسته بتن آسفالتی در مقیاس بزرگ و در نظر گرفتن شرایط واقعی اجرای نمونه پرداخته است [۱۶]. با توجه به پخش و تراکم همزمان مصالح فیلتر شنی و آسفالت داغ در اجرای کارگاهی سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی که سبب ایجاد سطح مشترک زبر و خشن و در هم قفل شده می‌گردد [۱۵]، در تحقیق‌های انجام شده تاکنون، کاستی‌هایی همچون: استفاده از مصالح ماسه به جای شن در فیلتر شنی و استفاده از آسفالت سخت شده به جای آسفالت داغ، در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی مشاهده می‌شود، که در این تحقیق سعی گردیده این کاستی‌ها رفع گردد. با توجه به تاثیرگذاری عوامل مختلف بسیار زیاد از جمله شکل دانه‌ها، تراکم نسبی، درصد رطوبت و ... بر روی اندرکنش این دو قسمت سد خاکی، این نیاز وجود



شکل ۱. دانه بندی مصالح فیلتر شنی.

Fig. 1. Gravel filter materials gradation

جدول ۱. مشخصات دانه بندی های مورد آزمایش.

Table 1. Properties of graded grains for test

نوع مصالح	مصالح گرد گوشه	مصالح تیز گوشه
بزرگ ترین اندازه سنگدانه (mm)	۲۵	۲۵
Cc	۲/۴۱	۲/۳۰
Cu	۲۸/۷۰	۲۳/۷۵
γ_{dmax}	۲/۰۳	۲/۱۱
γ_{dmin}	۱/۵۷	۱/۶۶
GS	۲/۶۶	۲/۶۷
شکستگی در دو جبهه	۷	۹۶
نام گذاری خاک	GW	GW

جدول ۲. مشخصات قیر.

Table 2. Bitumen properties

نوع قیر	B 60-70	B 80-100
وزن مخصوص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد kg/cm^2	۱/۰۲۳	۱/۰۱۲
درجه اشتعال $^{\circ}\text{C}$	۳۱۱	۳۲۰
درجه نرمی $^{\circ}\text{C}$	۴۹	۴۶
کشش قیر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	۱۰۰<	۱۰۰<
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	۶۳	۸۹

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی مخلوط بتن آسفالتی.

Table 3. Physical properties of asphalt concrete mix

نوع قیر	B 60-70	B 80-100
درصد قیر	۶	۶
نسبت یواسون [۱۱]	۰/۳۴	۰/۳۴
وزن مخصوص حداکثر مارشال	۲/۴۴	۲/۴۴۲
نسبت مقاومت فشاری خشک / اشباع	۰/۸۶	۰/۸۸
مدول الاستیسیته مخلوط بتن آسفالتی MPa [۱۱]	۱۷۰	۱۸۱

مارشال بر اساس استاندارد ASTM D 6927-06 با درصد قیر ۶ درصد تهیه شد. خصوصیات مخلوط آسفالتی، بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده و سایر منابع، در جدول ۳ آورده شده است.

۵- روش آزمایش

جهت انجام آزمایش از دستگاه برش مستقیم $۱۵ \times ۳۰ \times ۳۰$ سانتی‌متر مکعب استفاده شده است و آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه به روش ASTM D 3080-11 انجام شده است. آزمایش برش مستقیم برای چهار حالت کلی مختلف انجام شد:

- ۱- مصالح شنی در حالت خشک
- ۲- مصالح شنی در حالت اشباع
- ۳- سطح تماس مصالح شنی و آسفالت در حالت خشک
- ۴- سطح تماس مصالح شنی و آسفالت در حالت اشباع

برای انجام آزمایش‌های ردیف ۱ و ۲، نمونه‌های شنی بر اساس حجم

در این تحقیق جهت ساخت مخلوط آسفالتی از سنگدانه‌های تیز گوشه استفاده شده است و دانه‌بندی به گونه‌ای اصلاح گردیده که در محدوده دانه‌بندی حاصل از روش فولر با بزرگ‌ترین اندازه سنگدانه ۱۹ میلی‌متر قرار گیرد.

۴- قیر مصرفی

قیر مصرفی جهت ساخت بتن آسفالتی مورد استفاده در آزمایش‌های این تحقیق از نوع B60-70 بوده است و فقط جهت بررسی اثر درجه نفوذ قیر، نسبت به ساخت بتن آسفالتی با قیر نوع B80-100 اقدام گردید. این دو نوع قیر در رده قیرهای سخت قرار می‌گیرد و مناسب برای طرح مخلوط آسفالت مورد نیاز برای این تحقیق می‌باشد. خصوصیات قیر مصرفی، بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه، در جدول ۲ آورده شده است.

در نهایت از هر نوع قیر، یک نمونه مخلوط آسفالتی جهت آزمایش



شکل ۲. آماده‌سازی مخلوط آسفالت در قسمت پایینی جعبه برش مستقیم.

Fig. 2. Preparation of the asphalt mix at the lower half of direct shear box



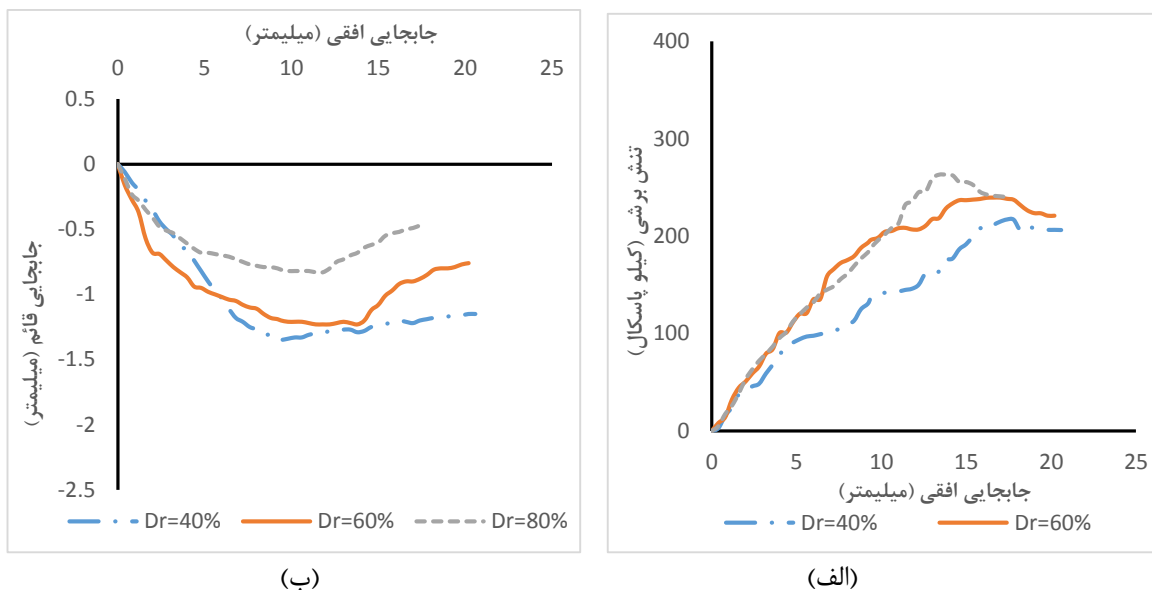
شکل ۳. آماده‌سازی مصالح فیلتر در قسمت فوقانی جعبه برش مستقیم.

Fig. 3. Preparation of the filter materials at the upper half of direct shear box

نیز روش کار به همین صورت می‌باشد با این تفاوت که بلافاصله پس از اختلاط آسفالت، مخلوط داغ آسفالتی بر اساس حجم نیمه پایینی جعبه برش و وزن مخصوص حداکثر به دست آمده در آزمایش مارشال جهت به دست آوردن تراکم ۹۵٪ با استفاده از تخماق کوبی متراکم شد، سپس آماده‌سازی مصالح شنی با تراکم‌های نسبی ذکر شده، در قسمت بالایی جعبه انجام شده

قالب و وزن مخصوص مصالح شنی، با تراکم نسبی ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ در جعبه برش با استفاده از تخماق کوبی متراکم و تحت سربارهای ۱، ۳ و ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع آزمایش شدند.

آزمایش‌ها به صورت سریع (CU) انجام شده و نمونه‌ها با سرعت ۱/۰ میلی‌متر بر دقیقه تحت برش قرار گرفته‌اند. در آزمایش ردیف‌های ۳ و ۴



شکل ۴. رفتار مصالح شنی گردگوشه در تراکم‌های نسبی متغیر در حالت خشک تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تنش برشی در مقابل جابجایی افقی و (ب) جابجایی قائم در مقابل جابجایی افقی.

Fig. 4. The behavior of gravel materials at different relative densities, in dry condition under surcharge load of 3 kg/cm² (A)-Shear stress versus horizontal displacement, (B)-Vertical displacement versus horizontal displacement

در تراکم‌های ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ تحت تنش نرمال ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نشان می‌دهند.

نمودارهای شکل ۴ و ۵ نشان می‌دهند تنش برشی در تراکم ۸۰٪ تا رسیدن به مقدار حداکثر افزایش می‌یابد و سپس گسیختگی در نمونه رخ می‌دهد و پس از طی روند کاهشی به مقدار ثابتی می‌رسد. در تراکم نسبی پایین‌تر، تنش برشی مقاوم با تغییر مکان برشی افزایش می‌یابد تا تنش برشی گسیختگی حاصل شود. بعد از آن، مقاومت برشی برای افزایش تغییر مکان برشی تقریباً ثابت می‌ماند.

همان‌طور که در نمودار جابجایی افقی به نشست قائم مشخص است رفتار اتساعی مصالح با دو تراکم نسبی ۸۰٪ و ۶۰٪ بسیار به هم نزدیک‌تر می‌باشند در صورتی که در تراکم نسبی ۴۰٪ زاویه اتساع به مراتب کمتری نسبت به دو تراکم فوق دارد.

همچنین با مقایسه بین نمودارهای رفتار مصالح در حالت اشباع و خشک، می‌توان دریافت در حالت اشباع، مقاومت برشی و رفتار اتساعی نسبت به حالت خشک کاهش یافته و دلیل آن نقش روان‌کنندگی و روغن کاری آب درون مصالح شنی می‌باشد.

است. شکل‌های ۲ و ۳ نمایی از مراحل آماده‌سازی نمونه در جعبه برش را نشان می‌دهند.

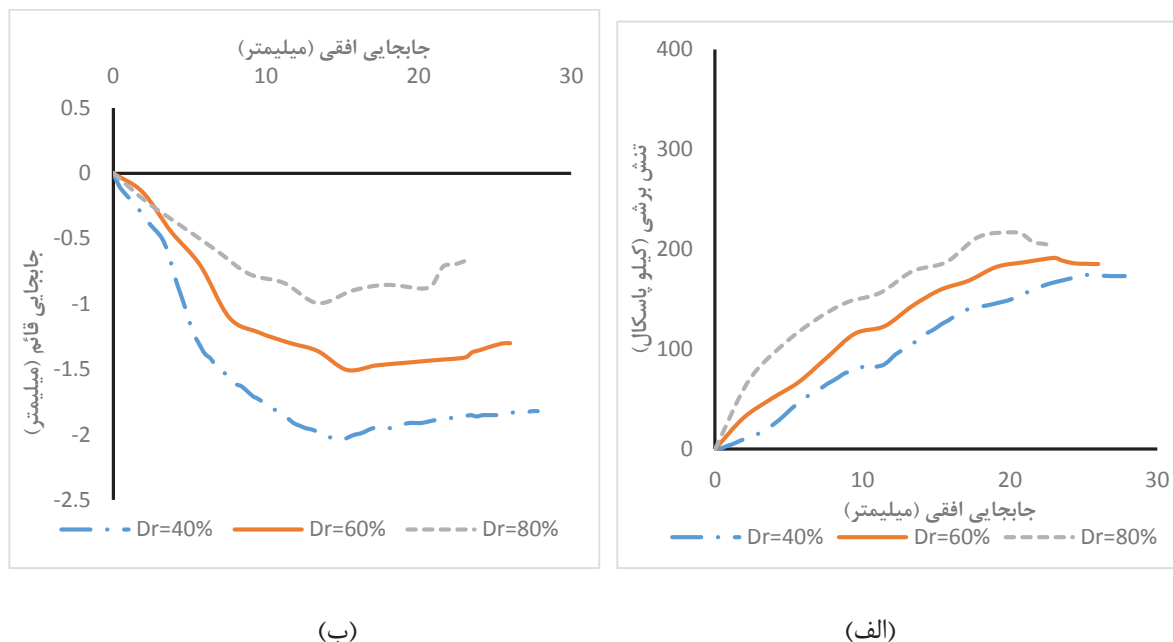
برای انجام آزمایش در ردیف‌های ۲ و ۴، جهت اطمینان از اشباع شدن، کاسه جعبه برش حاوی نمونه‌های آماده‌سازی شده از آب پر شده و پس از مدت ۲۴ ساعت، آزمایش انجام گردیده است.

جهت بررسی اثر درجه نفوذ قیر، دو سری آزمایش برش مستقیم بر روی مصالح سطح تماس شن گردگوشه و آسفالت، در حالت خشک انجام شد، با این تفاوت که در یک سری از آزمایش‌ها در اختلاط بتن آسفالتی از قیر نوع B60 و در سری دوم از قیر نوع B80 استفاده شده است. در این آزمایش‌ها تمامی مصالح مصرفی در اختلاط آسفالت مانند دانه‌بندی، جنس دانه‌ها و درصد قیر مصرفی مشابه آزمایش‌های قبلی می‌باشد و تنها تفاوت، استفاده از قیر نوع B80 می‌باشد.

۶- تحلیل و نتایج آزمایشگاهی

۶-۱- تاثیر تراکم در مصالح شنی

نمودارهای شکل ۴ و ۵ تغییرات تنش برشی نسبت به جابجایی افقی و جابجایی قائم را برای مصالح شنی گردگوشه در حالت‌های خشک و اشباع



شکل ۵. رفتار مصالح شنی گردگوشه در تراکم‌های نسبی متغیر در حالت اشباع تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تنش برشی در مقابل جابجایی افقی و (ب) جابجایی قائم در مقابل جابجایی افقی.

Fig. 5. The behavior of gravel materials at different relative densities, in saturated condition under surcharge load of 3 kg/cm² (A)-Shear stress versus horizontal displacement, (B)-Vertical displacement versus horizontal displacement

مربع در تراکم‌های ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ برای مصالح گردگوشه و تیزگوشه شنی در سطح تماس با بتن آسفالتی در حالت خشک و اشباع به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است. با بررسی نمودارها جهت مقایسه شکل کیفی دانه‌ها می‌توان دریافت حداکثر تنش برشی در تراکم‌های نسبی یکسان با تغییر شکل دانه‌ها از گردگوشه به تیزگوشه در حالت خشک افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است که میزان افزایش مقاومت در تراکم‌های پایین، به طور میانگین ۲۶ درصد افزایش پیدا می‌کند و در تراکم ۶۰٪ و ۸۰٪ این مقدار به ترتیب ۲۲ و ۱۶ درصد می‌باشد، همچنین در حالت اشباع در تراکم ۴۰٪ میزان افزایش مقاومت ۱۸ درصد و در تراکم متوسط و زیاد به ترتیب ۱۱ و ۱۲ درصد می‌باشد.

بررسی فوق نشان می‌دهد مصالح شنی تیزگوشه در تماس با بتن آسفالتی قفل و بست بهتری ایجاد می‌کند و باعث افزایش تنش برشی و افزایش زاویه اصطکاک داخلی بین مصالح می‌شود.

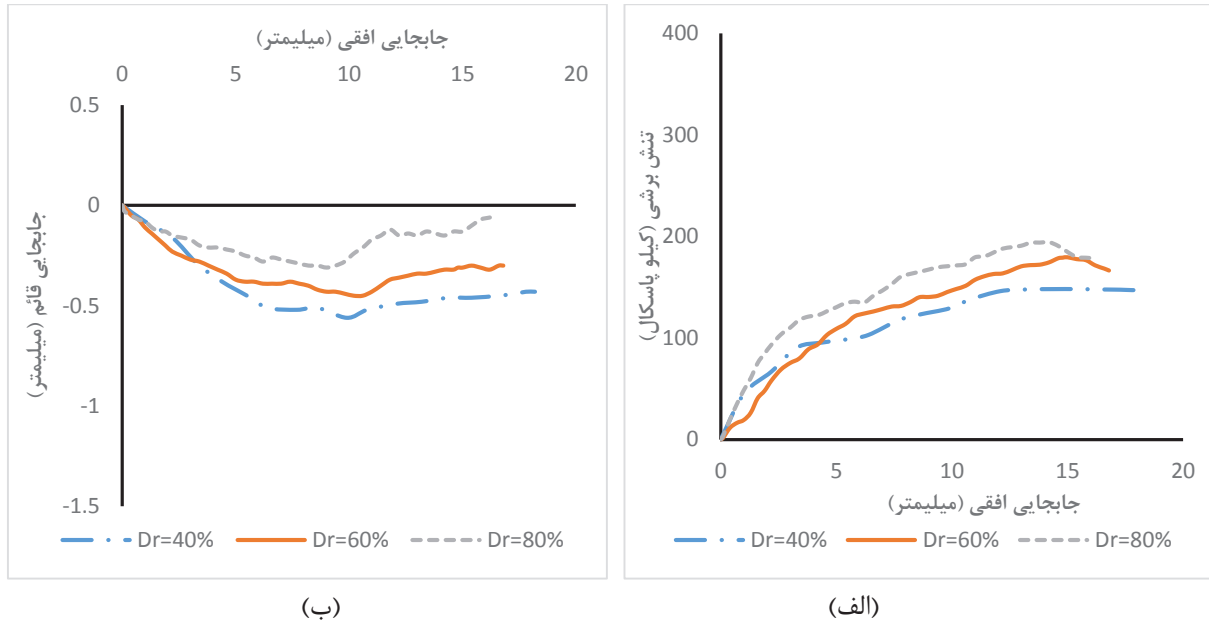
نتایج فوق نشان می‌دهد نرخ رشد مقاومت برشی با افزایش تراکم روند نزولی دارد که دلیل آن خرد شدن مصالح تیزگوشه در برخورد با بتن آسفالتی در هنگام برش می‌باشد.

۶-۲- تاثیر تراکم در سطح تماس مصالح شن و بتن آسفالتی

رفتار مصالح در سطح تماس بتن آسفالتی نسبت به مصالح شنی گردگوشه، همانطور که در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است، به علت قفل و بست بین دانه‌ای کمتر، در سطح تنش پایین‌تری گسیخته می‌شوند و نشست و اتساع کمتری، به دلیل افزایش حجم بسیار ناچیز بتن آسفالتی نسبت به مصالح شنی، نیز دارند. با توجه به این که با افزایش تراکم، مقاومت برشی افزایش محسوسی دارد، این موضوع نشان می‌دهد که با تراکم مصالح شنی می‌توان قفل بست دانه‌ها در مصالح آسفالتی را بیشتر کرد و در نتیجه مقاومت برشی را بهبود بخشید.

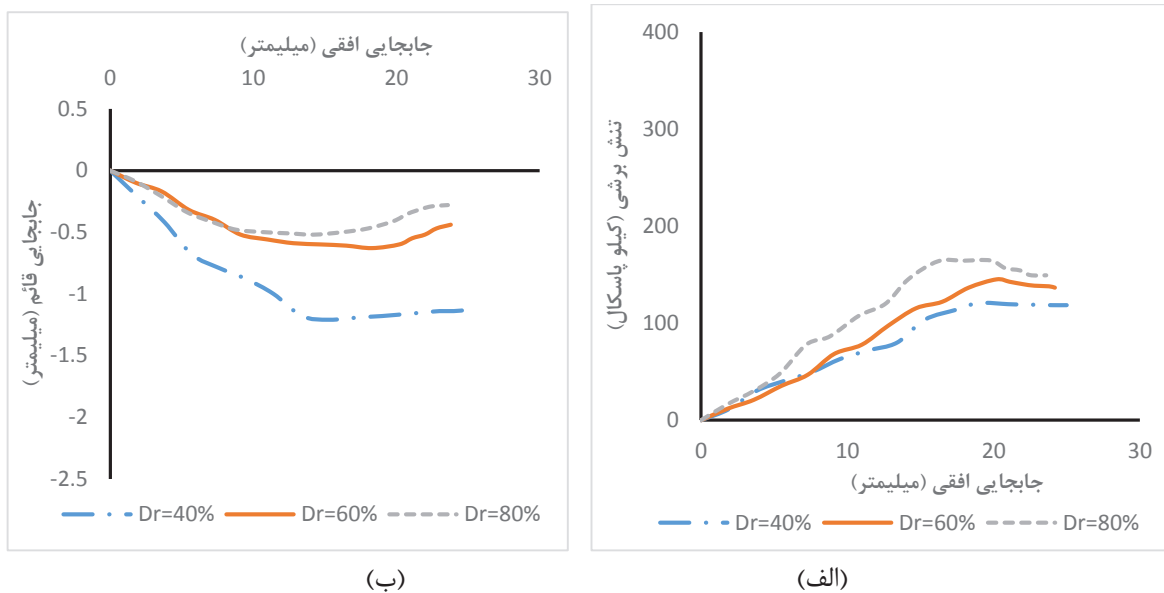
۷- اثر شکل ظاهری دانه‌ها در سطح تماس شن و مصالح آسفالتی

سطح تماس دانه‌ها بر عملکرد مقاومتی تاثیر بسزایی دارد. کریستوفرسن بیان کرد شکل دانه‌ها در سطح تماس آن‌ها بر تنش میانگین وارد بر آن‌ها موثر بوده و سبب تغییرات انرژی در سطح تماس آن‌ها می‌شود [۱۸]. نمودار مقادیر تنش برشی به جابجایی در تنش نرمال ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر



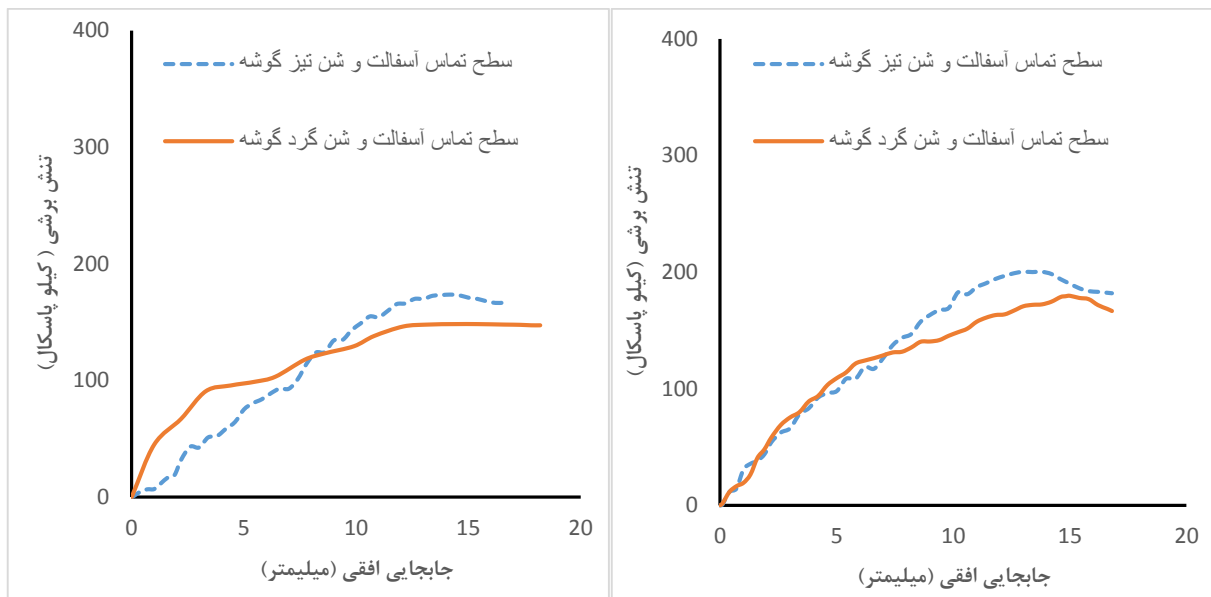
شکل ۶. رفتار سطح تماس مصالح گردگوشه در تراکم‌های نسبی متغیر در حالت خشک تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تنش برشی در مقابل جابجایی افقی و (ب) جابجایی قائم در مقابل جابجایی افقی.

Fig. 6. The behavior of interface materials at different relative densities, in dry condition under surcharge load of 3 kg/cm² (A)-Shear stress versus horizontal displacement, (B)-Vertical displacement versus horizontal displacement



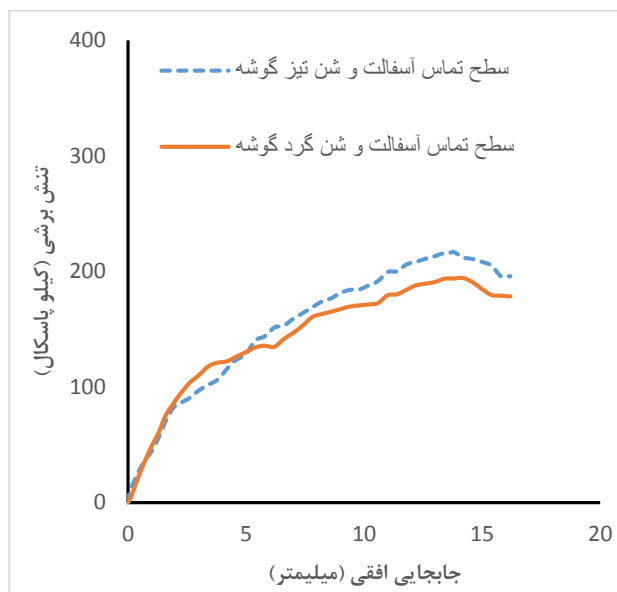
شکل ۷. رفتار سطح تماس مصالح گردگوشه در تراکم‌های نسبی متغیر در حالت اشباع تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تنش برشی در مقابل جابجایی افقی و (ب) جابجایی قائم در مقابل جابجایی افقی.

Fig.7. The behavior of interface materials at different relative densities, in saturated condition under surcharge load of 3 kg/cm² (A)-Shear stress versus horizontal displacement, (B)-Vertical displacement versus horizontal displacement



(ب)

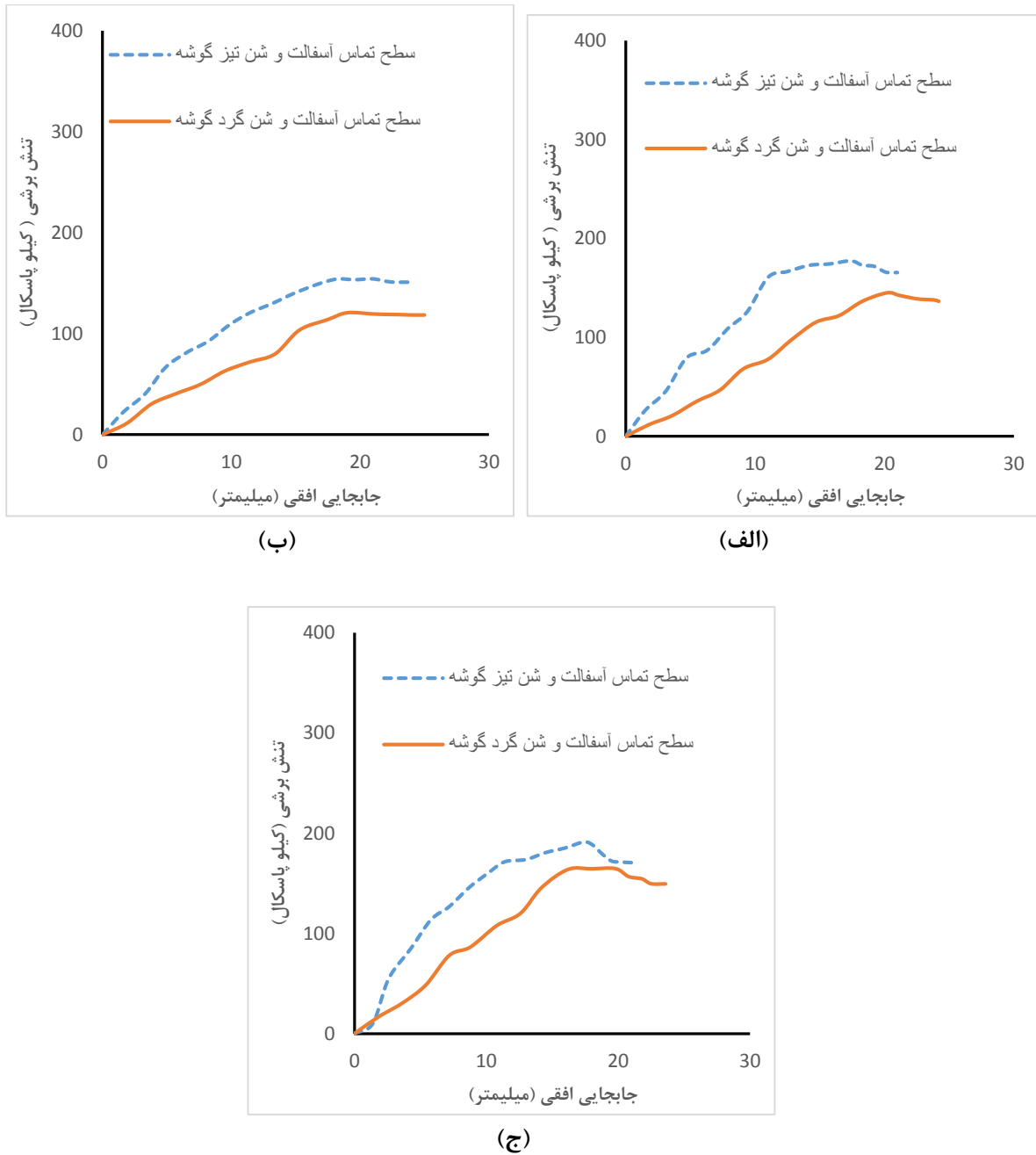
(الف)



(ج)

شکل ۸. رفتار مصالح سطح تماس با شکل دانه‌های متفاوت در حالت خشک تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تراکم نسبی ۴۰٪، (ب) تراکم نسبی ۶۰٪، (ج) تراکم نسبی ۸۰٪.

Fig.8. The behavior of interface materials with different grain shapes in dry condition under sur-charge load of 3kg/cm2 (A)-40% relative density, (B)-60% relative density, (C)-80% relative density



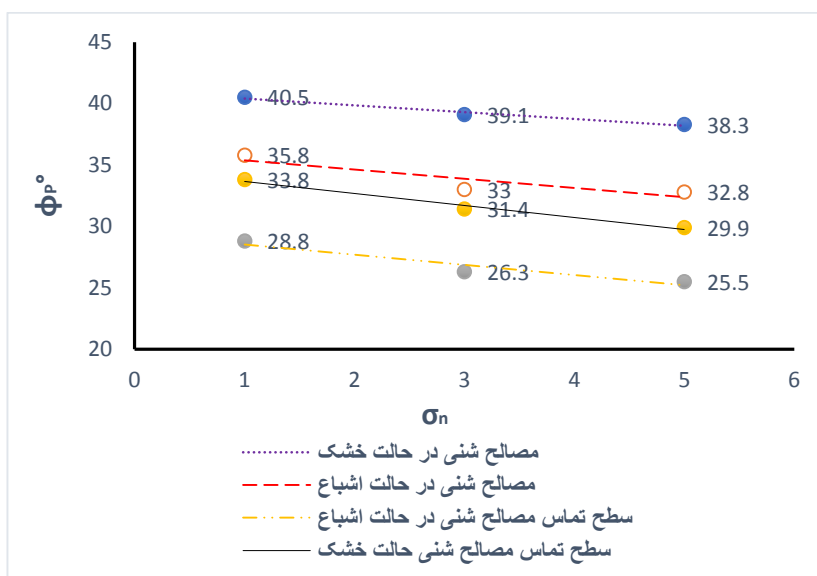
شکل ۹. رفتار مصالح سطح تماس با شکل دانه‌های متفاوت در حالت اشباع تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (الف) تراکم نسبی ۴۰٪، (ب) تراکم نسبی ۶۰٪، (ج) تراکم نسبی ۸۰٪.

Fig.9. The behavior of interface materials with different grain shapes in saturated condition under surcharge load of 3kg/cm² (A)-40% relative density, (B)-60% relative density, (C)-80% relative density

جدول ۴. پارامترهای زاویه اصطکاک حداکثر در شن گردگوشه.

Table 4. Parameters of maximum friction angle

نوع آزمایش	α	$\varphi_0(^{\circ})$
مصالح شنی گردگوشه در حالت خشک	-۰/۵۵	۴۰/۹
مصالح شنی گردگوشه در حالت اشباع	-۰/۷۵	۳۶/۱
سطح تماس مصالح شن گردگوشه و آسفالت در حالت خشک	-۰/۹۷	۳۴
سطح تماس مصالح شن گردگوشه و آسفالت در حالت اشباع	-۰/۸۲	۲۹/۳



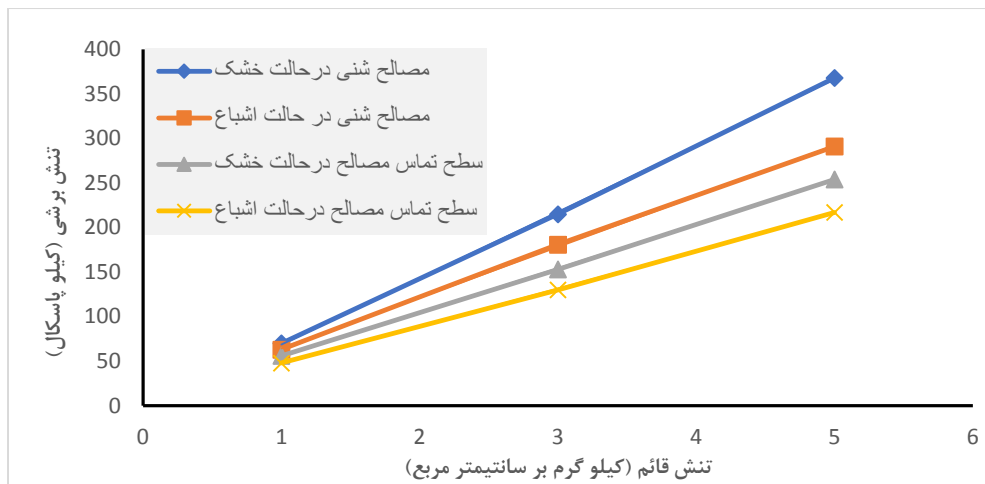
شکل ۱۰. تغییرات زاویه اصطکاک حداکثر در مقابل تنش قائم برای شن گردگوشه در تراکم نسبی ۶۰٪.

Fig.10. Changes in maximum friction angle versus vertical stress at 60% relative density

برشی پایین تری به گسیختگی می‌رسند و با بالا رفتن تنش عمودی اولیه، اختلاف میان پوش گسیختگی مصالح در حالت‌های خشک و اشباع بیشتر شده است، این مسئله سبب افزایش شیب خط پوش گسیختگی می‌شود و بیانگر آن است که زاویه اصطکاک داخلی مصالح شنی در وضعیت خشک از اشباع بیشتر است. در نمونه‌های اشباع به دلیل اثر روان کنندگی آب در نقاط تماس بین دانه‌ای، اصطکاک بین ذرات در زمان برش و تماس آن‌ها کاهش می‌یابد و دانه‌ها آسان‌تر بر روی هم حرکت می‌کنند. در این تحقیقات با توجه به این که مخلوط آسفالت به صورت داغ در داخل قسمت پایین جعبه برش قرار داده شده و سپس مصالح شنی در تراکم‌های نسبی ذکر شده در قسمت فوقانی جعبه برش قرار گرفته و قفل و بست بین سطح تماس آسفالت و فیلتر ایجاد شده است، پارامترهای

۸- پارامترهای مقاومت برشی

نمودار تغییرات زاویه اصطکاک حداکثر نسبت به تنش نرمال برای مصالح شنی و سطح تماس مصالح شن و بتن آسفالتی در حالت خشک و اشباع برای مصالح شنی گردگوشه و سطح تماس مصالح شنی گردگوشه با بتن آسفالتی در تراکم نسبی ۶۰٪ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. خطوط پوش گسیختگی برای حالت‌های مختلف رسم شده و مشاهده می‌شود در هر حالت پوش گسیختگی خطی است و معیار خطی موهر-کلمب $(\tau_p = \sigma \tan(\varphi_n) + c)$ برای تعریف این مصالح مناسب می‌باشد. در رابطه فوق، τ_p مقاومت برشی حداکثر، σ تنش نرمال، φ_n زاویه اصطکاک داخلی و c مولفه چسبندگی می‌باشد. نمونه شن و سطح تماس شن و آسفالت در حالت اشباع تحت تنش



شکل ۱۱. تغییرات تنش برشی پسماند در مقابل تنش قائم، برای شن گردگوشه، در تراکم نسبی ۶۰٪.

Fig.11. Changes in residual shear stress versus vertical stress at 60% relative density

در این رابطه φ_0 زاویه اصطکاک در حالتی که تنش صفر می‌باشد و a عددی ثابت برای هر نوع از مصالح در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۴ آورده شده است.

۹- مقاومت برشی پسماند

مقاومت برشی پسماند خاک‌های غیرپلاستیک به طور کلی از همبستگی بین مقاومت برشی پسماند آزمون‌های آزمایشگاهی و یا از آنالیز برگشتی هندسه پس از خرابی تحت بارگذاری استاتیکی یا لرزه‌ای به دست می‌آید. شکل ۱۱ نمودار پوش گسیختگی پسماند را برای حالت‌های مختلف شن گردگوشه در تراکم ۶۰٪ نشان می‌دهد. معمولاً برای خاک‌های رسی پوش گسیختگی پسماند به صورت غیرخطی می‌باشد اما برای خاک‌هایی با درصد پایین رس و دانه‌های نسبتاً کروی رفتار برشی خطی غالب می‌باشد [۱۹]. شکل ۱۱ رابطه خطی پوش گسیختگی پسماند را نشان می‌دهد و مطالعات قبلی در این زمینه را تایید می‌نماید. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش سربار، اختلاف مقادیر تنش برشی پسماند نیز در حالت‌های مختلف افزایش می‌یابد.

نسبت تنش برشی حداکثر به تنش برشی پسماند $\frac{\tau_p}{\tau_r}$ برای مصالح شنی در جدول ۵ آورده شده است. با مقایسه این نسبت‌ها می‌توان مشاهده کرد با افزایش تراکم نسبی، نسبت تنش برشی به تنش پسماند روندی

مقاومت برشی از دقت خوبی برخوردار می‌باشند. همچنین با توجه به این که مقدار دانه‌های کوچک‌تر از الک ۲۰۰ در مصالح فیلتر کمتر از ۵ درصد می‌باشد، چسبندگی نقش مهمی در مقاومت برشی ایفا نمی‌نماید و می‌توان از چسبندگی ظاهری مصالح نیز صرف نظر کرد.

با تفاسیر فوق جهت در نظرگیری زاویه اصطکاک حداکثر با فرض چسبندگی صفر می‌توان از معادله زیر استفاده نمود:

$$\varphi_p = \tan^{-1}\left(\frac{\tau_p}{\sigma_n}\right) \quad (2)$$

در این رابطه φ_p زاویه اصطکاک حداکثر می‌باشد.

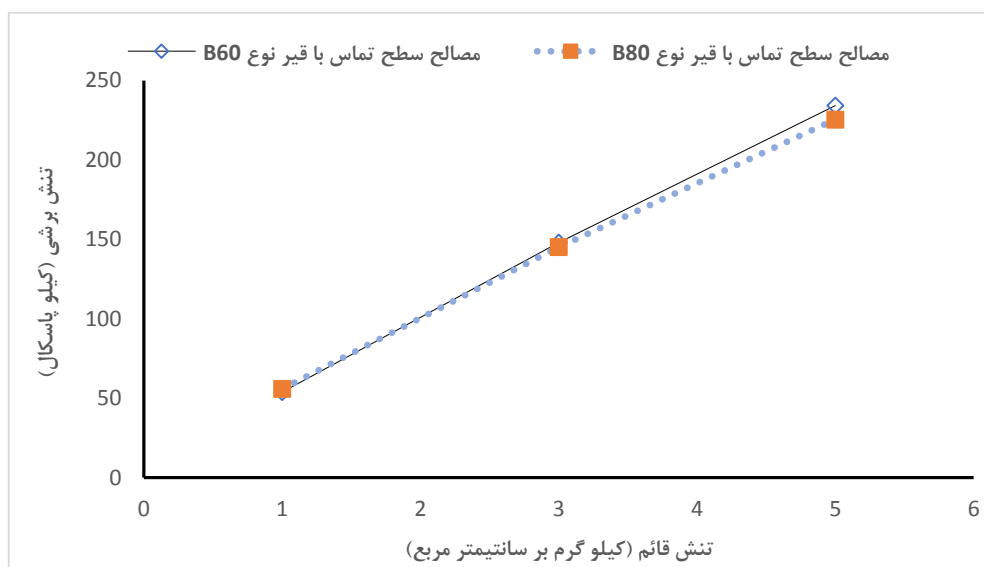
شکل ۱۰ نشان می‌دهد مقادیر زاویه اصطکاک حداکثر برای مصالح شن گردگوشه و سطح تماس شن گردگوشه با بتن آسفالتی در حالت خشک و اشباع با افزایش تنش قائم متغیر می‌باشد و افزایش تنش نرمال منجر به کاهش حداکثر زاویه داخلی می‌شود، حداکثر زاویه اصطکاک در حالت اشباع کمتر از حالت خشک می‌باشد. معادله رابطه بین حداکثر زاویه اصطکاک و تنش نرمال را می‌توان این گونه بیان کرد:

$$\varphi_p = a\sigma_n + \sigma_0 \quad (3)$$

جدول ۵. مقادیر نسبت تنش پسماند سطح تماس تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع.

Table 5. Residual stress ratios along the interface materials under surcharge load of 3 kg/cm²

D_r	(حالت خشک)	(حالت اشباع)
	τ_p/τ_r	τ_p/τ_r
۴۰٪	۱/۰۰۶	۱/۰۰۸
۶۰٪	۱/۰۸۲	۱/۰۶۲
۸۰٪	۱/۱	۱/۱



شکل ۱۲. نمودار تغییرات حداکثر تنش برشی برحسب تنش قائم برای مصالح سطح مشترک با قیر از نوع B80 و B60.

Fig.12. Changes in maximum shear stress versus vertical stress for interface materials with bitumen type B60 and B80

است. پوش گسیختگی موهر کلمب جهت مقایسه دو نوع قیر B60 و B80 در شکل ۱۲ رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هیچ تفاوت آشکاری بین این نتایج وجود ندارد. جدول ۶ نشان می‌دهد زاویه اصطکاک داخلی سطح تماس مصالح با قیر B80-100 در مقایسه با قیر B60-70، کمی پایین‌تر می‌باشد و مقاومت چسبندگی افزایش یافته است. مقاومت چسبندگی بالاتر را می‌توان به نفوذ بیشتر شن در قیر نرم‌تر نسبت داد.

۱۱- نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس ۱۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر، بر روی مصالح شنی در دو حالت خشک و اشباع و همچنین همین

افزایشی دارد اما در تراکم نسبی ۴۰٪ این نسبت تقریباً نزدیک به ۱ می‌باشد و تغییرات محسوسی در حالت خشک و اشباع مشاهده نمی‌گردد.

۱۰- تاثیر درجه نفوذ قیر بر مقاومت برشی

در این تحقیق جهت بررسی اثر درجه نفوذ قیر، یک سری آزمایش برش مستقیم با قیر نوع B80-100 که قیر نرم‌تری می‌باشد در تراکم نسبی ۴۰٪ با اعمال سربار ۱، ۳ و ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بر روی مصالح سطح تماس شن گردگوشه و آسفالت در حالت خشک انجام شده است و نتایج حاصله با نتایج آزمایش مشابه از نظر رطوبت، تراکم نسبی، سربار و گردگوشه بودن که در آن فقط نوع قیر به B60-70 تغییر یافته مقایسه شده

جدول ۶. مقادیر پارامترهای مقاومت برشی در مصالح سطح تماس با نوع قیر B60 و B80.

Table 6. Parameters of shear stress for interface materials with bitumen type B60 and B80

Dr	نوع قیر	ϕ	C
۴۰٪	B60	۲۴/۱	۰/۱
۴۰٪	B80	۲۳/۴	۰/۱۵

اتساعی خواهد شد. بررسی مقدار نسبت اندرکنش δ/ϕ نشان می‌دهد که در مصالح تیزگوشه این نسبت با اندکی تفاوت بیشتر می‌باشد و در هر دو نوع مصالح حد آن از $\frac{2}{3}$ بزرگ‌تر بوده که این مقدار از اندرکنش خاک با بتن و فولاد بیشتر می‌باشد.

-بررسی نسبت تنش حداکثر به تنش پسماند در نمونه‌های سطح تماس برای حالت خشک و اشباع با تراکم‌های نسبی متفاوت نشان داد که این نسبت در تراکم‌های پایین، افزایش بسیار ناچیزی دارد اما در تراکم‌های متوسط و زیاد به ترتیب ۸ تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه در تراکم‌های یکسان برای حالت خشک و اشباع نشان داد این نسبت تغییرات ناچیزی داشته است.

منابع

- [1] A. Ghanbari, Principle of embankment Dam Engineering, Kharazmi University Publishing, tehran, 2014.
- [2] B.M. Das, Principle of Geotechnical Engineering, PWS Publishing Company, 1994.
- [3] S. Litkouhi, N.D. Street, Asphalt concrete core of the Meijaran dam in brief, Dam Engineering, 20(3) (2010) 235.
- [4] K. Höeg, Asphaltic concrete cores for embankment dams, Norwegian Geotechnical Institute Publicatie, (1993).
- [5] S.G. Mahabadi, R.M. Roosta, Seismic analysis and design of asphaltic concrete core embankment dams, International Journal on Hydropower and Dams, 9(6) (2002) 75-78.
- [6] V. Davidenko, V. Khorkov, Design and construction of earthquake-proof soil dams with asphalt concrete cores in the northern constructional-climatic zone, Power

مصالح در سطح تماس با بتن آسفالتی در دو حالت خشک و اشباع صورت پذیرفت و پارامترهای تراکم مصالح شنی و شکل دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برخی از نتایج این تحقیق عبارت است از:

-با افزایش تراکم نسبی در هر دو مصالح فیلتر شنی و سطح تماس با آسفالت (خشک و اشباع)، زاویه اصطکاک داخلی افزایش یافته است، به طوری که مقادیر زاویه اصطکاک داخلی حداکثر برای سطح تماس شن گردگوشه و بتن آسفالتی تحت سربار ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در تراکم‌های نسبی ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ در حالت خشک به ترتیب ۳۶/۴، ۳۹/۱ و ۴۱/۸ درجه و در حالت اشباع به ترتیب ۲۶/۷، ۳۱/۴ و ۳۳/۴ درجه می‌باشد که نشان دهنده تاثیر تراکم بر افزایش مقاومت و کاهش تخلخل می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج بین حالت خشک و اشباع حاکی از کاهش حدوداً ۲۸٪ به طور میانگین برای زاویه اصطکاک داخلی حداکثر می‌باشد که دلیل اصلی آن نقش روان کنندگی آب است.

-در دو حالت خشک و اشباع تمامی پارامترهای مکانیکی از مقادیر آن در مصالح سطح تماس بیشتر می‌باشد، در نتیجه اگر تراکم و بارگذاری نمونه‌های بازسازی شده یکسان در نظر گرفته شود پارامترهای مقاومت برشی به جز مولفه چسبندگی در سطح تماس از مقادیر نظیر در مصالح شنی کمتر می‌باشد.

-با تغییر شکل دانه‌های فیلتر از گردگوشه به تیزگوشه در هر دو حالت خشک و اشباع، مقادیر حداکثر تنش برشی در تراکم پایین حدود ۱۸-۲۶٪، تراکم متوسط ۱۲-۲۲٪ و تراکم زیاد ۱۱-۱۶٪ درصد افزایش می‌یابد، همچنین با افزایش تراکم نمونه تحت برش، نمونه‌ها اتساع بیشتری از خود نشان می‌دهند و دلیل آن قفل و بست بهتر دانه‌های تیزگوشه با مصالح بتن آسفالتی است. با جایگزینی دانه‌ها از شکل گردگوشه به تیزگوشه، تراکم و قفل و بست توده خاک در زمان قرارگیری در جعبه برش مستقیم بهتر انجام شده و درگیری مصالح با یکدیگر سبب افزایش پارامترهای مقاومتی و

- Building Materials, 124 (2016) 199-207.
- [13] P. Tschernutter, A. Kainrath, Design considerations and behavior of reinforced concrete core dams during construction and impounding, *Water Science and Engineering*, 9(3) (2016) 212-218.
- [14] W. Zhang, Effect of tack coat application on interlayer shear strength of asphalt pavement: A state-of-the-art review based on application in the United States, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(5) (2017)
- [15] W. Wang, S. Feng, Y. Zhang, Investigation of interface between asphalt core and gravel transition zone in embankment dams, *Construction and Building Materials*, 185 (2018) 148-155.
- [16] W. Wang, S. Feng, Y. Zhang, Investigation of asphalt core-plinth connection in embankment dams, *Case studies in construction materials*, 7 (2017) 305-316.
- [17] J. Gao, F. Dang, Z. Ma, Investigation for the key technologies of ultra-high asphalt concrete core rockfill dams, *Soils and Foundations*, 59(6) (2019) 1740-1757.
- [18] J. Christoffersen, M.M. Mehrabadi, S. Nemat-Nasser, A micromechanical description of granular material behavior, (1981).
- [19] R. Singh, D. Roy, Residual Shear Strengths of Cohesionless Soils from Energy Approach, (2010).
- Technology and Engineering, 39(3) (2005) 125-130.
- [7] M. Baziar, S. Salemi, C. Merrifield, Dynamic centrifuge model tests on asphalt-concrete core dams, *Geotechnique*, 59(9) (2009) 763-771.
- [8] S. Feizi-Khankandi, A. Ghalandarzadeh, A.A. Mirghasemi, K. Hoeg, Seismic analysis of the Garmrood embankment dam with asphaltic concrete core, *Soils and Foundations*, 49(2) (2009) 153-166.
- [9] M. Tajdini, A. Rostami, M.M. Karimi, H. Taherkhani, Evaluation of the geo-mechanical parameters of the interface between asphalt concrete and sand with applying direct shear test and numerical modeling, in: *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publ, 2012, pp. 116-121.
- [10] S. Sadeghi, M. Ghazavi, S. and Yazdi, Investigating the effect of core geometry on the seismic behavior of embankment dams with asphalt concrete core, in: *The First Iranian Conference on Geotechnical Engineering*, Ardabil, 2013.
- [11] M. Tajdini, R. Mahinroosta, H. Taherkhani, An investigation on the mechanical properties of granular materials in interface with asphaltic concrete, *Construction and Building Materials*, 62 (2014) 85-95.
- [12] W. Wang, K. Höeg, Simplified material model for analysis of asphalt core in embankment dams, *Construction and*

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Nabizadeh, S. Mohammadjou, S. Bahrami, *Effect of Moisture Content, Bitumen, Gravel Grain Shape and Density on Shear Strength Parameters of Well-Graded Gravel Materials in Contact with Asphalt Concrete Core*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 54(10) (2023) 3743-3758.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20378.7407

