

بررسی اثر ابعاد نمونه و اصلاح دانه‌بندی بر شاخص‌های مقاومت برشی خاک‌ها در آزمون برش مستقیم

علی کمک‌پناه^۱، ابراهیم جنگلی^۲

۱- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران و محیط زیست

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

a_panah@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۸

چکیده - آزمایش برش مستقیم با وجود برخی کاستی‌ها هنوز رایج‌ترین آزمایش برای تعیین شاخص‌های مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای است. بیشتر دستگاه‌های برش مستقیم در کشور با جعبه برش ۶×۶ یا ۱۰×۱۰ سانتی‌متر است که برای آزمایش برروی نمونه‌های خاک‌های رسی، سیلتی و ماسه ریزدانه مناسب است و دستگاه برش مستقیم ۳۰×۳۰ سانتی‌متر به تعداد کم موجود است. برای انجام آزمایش برروی خاک‌های درشت‌دانه، لازم است دانه‌بندی آن‌ها اصلاح و منطبق بر آزمایش برش مستقیم با جعبه کوچک شود. اصلاح دانه‌بندی به‌ویژه باعث افزایش درصد ریزدانه و سپس تغییر شاخص‌های مقاومتی خاک می‌شود. در این تحقیق اثر ابعاد نمونه و اصلاح دانه‌بندی بر روی سه نمونه خاک اصلی با میزان ریزدانه‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد و تراکم‌های نسبی ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد، با استفاده از دو دستگاه برش مستقیم بزرگ و کوچک مقیاس به ترتیب با ابعاد ۳۰×۳۰×۱۵ و ۶×۶×۲/۵ سانتی‌متر روی شاخص‌های مقاومت برشی خاک، مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش نشان داد که اصلاح دانه‌بندی، تأثیر زیادی برروی شاخص‌های مقاومتی خاک‌های درشت‌دانه دارد. همچنین اصلاح دانه‌بندی به روش موازی نسبت به روش حذفی، نتایج دور از واقعیت بدست می‌دهد. در حقیقت با اصلاح دانه‌بندی، رفتار و شاخص‌های مکانیکی نمونه به شدت تحت تأثیر بخش ریزدانه، که طی اصلاح دانه‌بندی افزایش می‌یابد، قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: برش مستقیم، ابعاد نمونه، اصلاح دانه‌بندی، مقاومت برشی خاک

۱- مقدمه

حفره‌ای، هنوز رایج‌ترین آزمایش برای تعیین مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای است. مشکل اصلی برای آزمایش برروی خاک‌های درشت‌دانه، اندازه ذرات است. به خاطر محدودیت دستگاه‌های برش مستقیم از لحاظ ابعاد نمونه و ارتباط آن با اندازه بزرگ‌ترین قطر دانه، به ناچار بخش مهمی از قسمت درشت‌دانه خاک از نمونه حذف می‌شود. بیشینه

آزمایش برش مستقیم، قدیمی‌ترین و آسان‌ترین روش تعیین شاخص‌های مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای است. با وجود برخی از کاستی‌ها مانند مشخص بودن راستای برش و صفحه گسیختگی، کاهش سطح نمونه هنگام آزمایش، ناهمگنی میدان تنش داخل نمونه، نبود امکان کنترل شرایط زهکشی نمونه و اندازه‌گیری فشار آب

۲- تهیه نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه خاک اصلی برای آزمایش از سیمین‌دشت نرسیده به فیروزکوه گرفته شد. پس از تعیین دانه‌بندی خاک (به روش شست‌وشویی) و تعیین درصد ریزدانه (۱۳/۱ درصد)، سه نمونه خاک اصلی با درصدهای ریزدانه ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد به روش تفکیک و ترکیب دوباره ریزدانه تهیه گردید.

از آن‌جا که برای قطر بزرگ‌ترین دانه خاک آزمایش با توجه به ضخامت و عرض نمونه، محدودیت وجود دارد، در هر آزمون، بسته به ابعاد جعبه برش باید دانه‌بندی نمونه خاک اصلی، درست شود. از آن‌جا که در این پژوهش آزمایش‌های برش با دو نوع دستگاه با ابعاد جعبه برش ۱۵×۳۰×۳۰ و ۵/۲×۶×۶ سانتی‌متر انجام می‌شود، برای انجام آزمایش برش با جعبه کوچک (۵/۲×۶×۶ سانتی‌متر)، منحنی دانه‌بندی نمونه‌های اصلی با دو روش حذفی و موازی اصلاح شد. بیشینه قطر دانه با توجه به محدودیت‌های گفته‌شده در جعبه برش بزرگ‌مقیاس به ۴/۷۵ میلی‌متر و در جعبه برش کوچک‌مقیاس به ۴/۷۵ میلی‌متر محدود شد.

در جدول ۱، نام‌گذاری نمونه‌ها و در جدول ۲، خلاصه ارزیابی دانه‌بندی نمونه‌های آزمایش‌شده نشان داده شده است.

۳- برنامه انجام آزمایش‌ها

برای رسیدن به نتایج و اهداف پژوهش که اثر ابعاد نمونه و اصلاح دانه‌بندی بر شاخص‌های مقاومت برشی خاک دانه‌ای است، آزمایش‌ها با دستگاه برش کوچک و بزرگ به ترتیب زیر انجام شد:

۱- انجام آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ‌مقیاس بر روی نمونه‌های خاک اصلی با درصدهای ریزدانه ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد و تراکم‌های نسبی ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد و

سربارهای قائم $1 \frac{Kg}{cm^2}$ ، $2 \frac{Kg}{cm^2}$ و $3 \frac{Kg}{cm^2}$

اندازه دانه‌ها در یک نمونه آزمایشگاهی مصالح سنگ‌ریزه‌ای d ، معمولاً از روی کوچک‌ترین بعد نمونه آزمایش D تعیین می‌شود. بنابراین براساس نسبت $\frac{D}{d}$ ، پن من (۱۹۷۱) حد پایین ۴ را برای یک دانه‌بندی عریض و ۶ را برای یک دانه‌بندی باریک، تعیین کرد [6]. براساس تحقیقات ماراچی و همکاران (۱۹۶۹) انتخاب نسبت $\frac{D}{d} = 6$ تأیید و ثابت شده که کمتر از ۳۰ درصد دانه‌ها در بازه‌ی اندازه بیشینه است [۲].

بعد از تعیین بیشینه اندازه مجاز d ، ترکیب دانه‌بندی نمونه مورد آزمایش را می‌توان بر پایه‌ی یکی از دو روش زیر تعیین کرد [۴]:

۱- روش مقیاس موازی

۲- روش حذفی

در روش اصلاح دانه‌بندی به روش موازی، اندازه ذرات نمونه به گونه‌ای کاهش می‌یابد که منحنی دانه‌بندی نمونه پس از اصلاح، موازی منحنی دانه‌بندی اولیه آن خواهد بود؛ در حالی که در روش اصلاح حذفی، قسمت مشخص‌شده از بخش درشت‌دانه از نمونه حذف می‌شود. انتخاب روش تبدیل منحنی دانه‌بندی، بستگی به نوع سنگ و دانه‌بندی آن در محل دارد. برای سنگ‌های سخت و دانه‌های باریک مثل بازالت‌های خردشده، ماراچی و همکاران روش مقیاس موازی را انتخاب کردند. برای دانه‌بندی‌های پهن‌تر با مقدار بیشتر ریزدانه، روش سرندکردن ممکن است برای پیشگیری از مشکل ریزدانه مناسب‌تر باشد. برای سنگ‌های نرم که دانه‌های آن هنگام تراکم خرد می‌شود، روش مقیاس موازی ممکن است اهمیت کمتر داشته باشد [۲].

در این پژوهش برای بررسی نتایج آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ، آزمایش‌های کوچک‌مقیاس با هر دو روش اصلاح دانه‌بندی (حذفی و موازی) انجام شد.

جدول (۱) نام‌گذاری نمونه‌های آزمایش شده

مشخصات	نمونه خاک
نمونه خاک اصلی با ۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰	A
نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰	B
نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰	C
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی از نمونه خاک اصلی با ۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۶/۳۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	A-1
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی از نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۲۱/۸۱ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	B-1
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی از نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۳۱/۷۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	C-1
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش موازی از نمونه خاک اصلی با ۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۱۳/۷ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	A-11
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش موازی از نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۲۷ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	B-11
نمونه خاک با اصلاح دانه‌بندی به روش موازی از نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰ (۳۵/۶ درصد شسته از الک نمبر ۲۰۰)	C-11

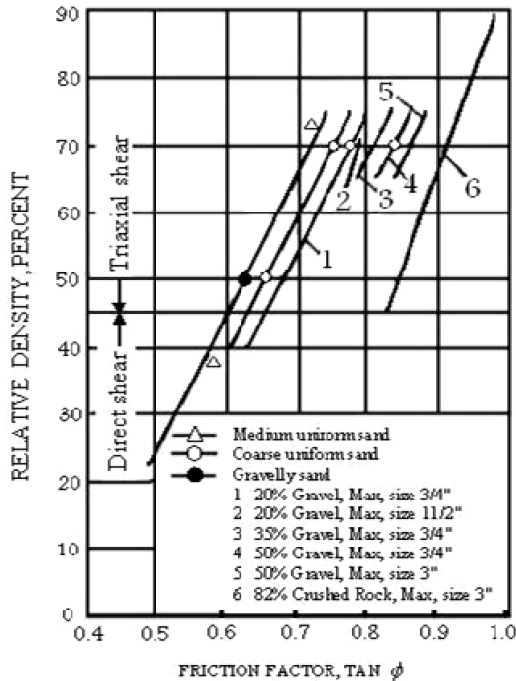
جدول (۲) خلاصه ارزیابی دانه‌بندی نمونه‌های آزمایش شده

C_u	C_c	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	درصد عبور کرده از الک ۲۰۰ (درصد)	طبقه‌بندی	d_{max} (mm)	مشخصات
								نمونه‌ها
۳۷/۲۵	۳/۵۵	۷/۴۵	۲/۳۰	۰/۲	۵	GP-GC	۲۵/۴	A
۹۳/۰۳	۴/۰۷	۵/۲۱	۱/۰۹	۰/۰۵۶	۱۵	SC	۲۵/۴	B
۴۳۷	۱/۵۱	۳/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۰۷	۲۵	SC	۲۵/۴	C
۱۷/۱۸	۱/۷۳	۱/۸۹	۰/۶۰	۰/۱۱	۶/۳۵	SW-SC	۴/۷۵	A-1
۳۸/۱۸	۰/۹۴	۱/۲۶	۰/۱۹۸	۰/۰۳۳	۲۱/۸۱	SC	۴/۷۵	B-1
۸۳/۹۲	۰/۶۳	۱/۰۰۷	۰/۰۸۷	۰/۰۱۲	۳۱/۷۵	SC	۴/۷۵	C-1
۱۶	۱/۴۹	۱/۴۴	۰/۴۴	۰/۰۹	۱۳/۷	SC	۴/۷۵	A-11
۱۱/۲۲	۱/۰۷	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۰۴۹	۲۷	SC	۴/۷۵	B-11
۲۰/۰۵	۱/۴۸	۰/۴۰۱	۰/۱۰۹	۰/۰۲	۳۵/۶	SC	۴/۷۵	C-11

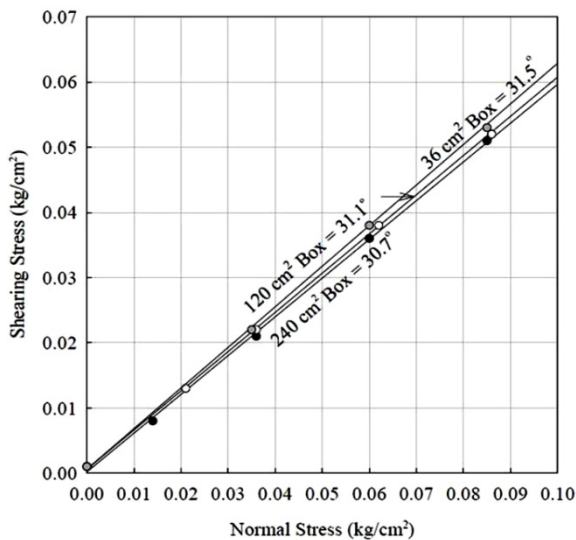
و ۱۰۰ درصد و سرباره‌های قائم $\frac{Kg}{cm^2}$ ، ۱، $\frac{Kg}{cm^2}$ و ۲ $\frac{Kg}{cm^2}$ ، ۳. همه‌ی آزمایش‌ها با رطوبت بهینه و در شرایط خشک و سرعت جابه‌جایی افقی $\frac{mm}{min}$ ۰/۲ انجام شد. میزان ریزدانه در سه نمونه خاک اصلی، پس از اصلاح

۲- انجام آزمایش‌ها برش مستقیم کوچک مقیاس با هر دو روش اصلاح دانه‌بندی (حذفی و موازی) بر روی نمونه‌های خاک اصلی با درصدهای ریزدانه ۵ درصد، ۱۵ درصد و ۲۵ درصد و تراکم‌های نسبی ۸۰ درصد، ۹۰ درصد

استفاده کرد (۱۵۴/۹ و ۱۰۹/۵ و ۵۹/۹ میلی‌متر). هر دو نوع خاک در حالت شل آماده شده بود. نتایج مربوط به هر دو نوع خاک بیانگر کاهش زاویه اصطکاک داخلی با افزایش اندازه‌ی جعبه بود. نتایج در شکل ۲ دیده می‌شود [۵].



شکل (۱) تغییرات $\tan \phi$ برحسب چگالی نسبی



شکل (۲) تأثیر اندازه نمونه بر زاویه اصطکاک داخلی کوارتز خردشده (پارسونس ۱۹۳۶)

دانه‌بندی به دو روش حذفی و موازی، افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که درصد ریزدانه نمونه خاک اصلی با ۵ درصد ریزدانه پس از اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی و موازی به ترتیب ۶۷/۳۵ درصد و ۱۳/۷۰ درصد، نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد ریزدانه پس از اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی و موازی به ترتیب ۲۱/۸۱ و ۲۷ درصد و سرانجام نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد ریزدانه پس از اصلاح دانه‌بندی به روش حذفی و موازی به ترتیب ۳۱/۷۵ و ۳۵/۶۰ درصد خواهد شد.

۴- بررسی و کاوش نتایج

در بررسی اثر ابعاد نمونه و اصلاح دانه‌بندی، سه عامل زیر اهمیت دارد:

۱- حذف درشت‌دانه‌ها از خاک

کاهش قطر بیشینه‌ی دانه‌ها - بدون تغییر در میزان ریزدانه- در یک دستگاه برش ثابت، سبب کاهش زاویه اصطکاک داخلی می‌شود. با توجه به شکل ۱، در یک چگالی نسبی ثابت، با افزایش اندازه ذرات شن با درصد شن مساوی، زاویه اصطکاک داخلی زیادتر می‌شود و برای دو نمونه با شن ۲۰ درصد ولی با بیشینه قطرهای ۱۹ میلی‌متر و ۳۸ میلی‌متر، زاویه اصطکاک داخلی حدود ۱/۳ درجه افزایش یافته است [۳].

۲- افزایش میزان ریزدانه با حذف درشت‌دانه‌ها
افزایش میزان ریزدانه اثر کاهنده‌ای بر زاویه اصطکاک داخلی دارد.

۳- کاهش ابعاد دستگاه برای خاک یکسان
برای یک خاک مشخص، دستگاه کوچک‌تر، زاویه اصطکاک بزرگ‌تری نسبت به یک دستگاه بزرگ‌تر نشان می‌دهد. پارسونس (۱۹۳۶) نتایج آزمایش‌های برش مستقیم بر روی کوارتز خردشده و یک ماسه یکنواخت تمیز را بررسی کرد و نشان داد که با بزرگ‌تر شدن جعبه برش، زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته است. او از سه اندازه مختلف جعبه برش

نتایج آزمایش‌ها مربوط به اثر ابعاد نمونه و اصلاح دانه‌بندی در جدول ۳ و نمودارهای مربوط به آن در شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است.

۴-۱- مقایسه نتایج دو دستگاه برای دو روش حذفی و موازی اصلاح دانه‌بندی

۱- افزایش زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس در یک تراکم نسبی یکسان:

در روش حذفی:

- برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۲/۱۷ درجه؛
- برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۲/۱۳ درجه و
- برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۲/۷۶ درجه داشت.

در روش موازی:

- برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۴/۸۳ درجه؛
- برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۵/۲ درجه و
- برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، افزایش برابر ۶/۳ درجه داشت.

۲- کاهش چسبندگی به دست آمده از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس در یک تراکم نسبی یکسان:

در روش حذفی:

- برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، کاهش برابر ۰/۱ $\frac{kgf}{cm^2}$ ؛
- برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد ریزدانه، به طور

میانگین، کاهش برابر ۰/۱۴ $\frac{kgf}{cm^2}$ و

- برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، کاهش برابر ۰/۲۸ $\frac{kgf}{cm^2}$ داشت.

در روش موازی:

- برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، کاهش برابر ۰/۲۲ $\frac{kgf}{cm^2}$ ؛
- برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، کاهش برابر ۰/۲۶ $\frac{kgf}{cm^2}$ و
- برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد ریزدانه، به طور میانگین، کاهش برابر ۰/۳۵ $\frac{kgf}{cm^2}$ داشت.

۳- روند کاهش چسبندگی نسبت به افزایش میزان ریزدانه نمونه خاک اصلی در یک تراکم نسبی یکسان از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس

در روش حذفی:

- مقدار کاهش چسبندگی برای نمونه‌های اصلی با مقدار ریزدانه ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۱۴ و ۰/۲۸ $\frac{kg}{cm^2}$ و

در روش موازی:

- مقدار کاهش چسبندگی برای نمونه‌های اصلی با مقدار ریزدانه ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد به ترتیب برابر ۰/۲۲، ۰/۲۶ و ۰/۳۵ $\frac{kg}{cm^2}$ بود.

۴- افزایش زاویه اصطکاک داخلی از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس

در روش حذفی:

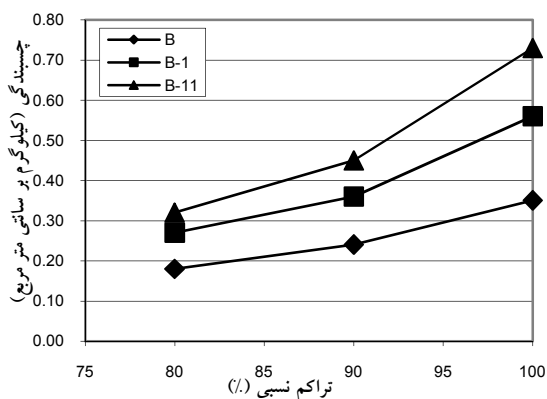
تقریباً ۲/۵ درجه و مستقل از درصد ریزدانه

در روش موازی:

تقریباً ۶-۴/۵ درجه و اختلاف بیشتر با افزایش درصد ریزدانه داشت.

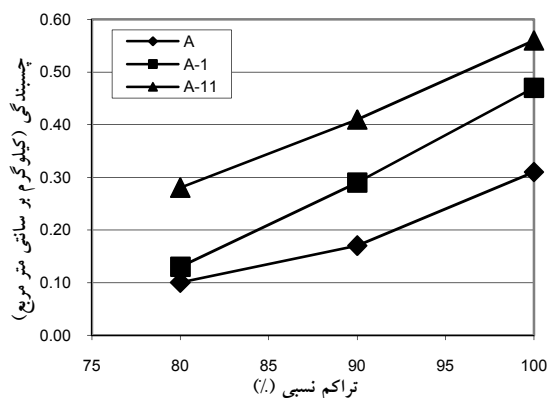
جدول (۳) مقادیر C_{peak} و ϕ_{peak} برای مقایسه آزمایش با جعبه بزرگ و کوچک

نمونه‌ها	نوع دستگاه	روش اصلاح دانه‌بندی	تراکم نسبی (درصد)	درصد ریزدانه	C_{peak}	ϕ_{peak}
A	بزرگ	-	۸۰	۵	۰/۱۰	۴۲/۹
A	بزرگ	-	۹۰	۵	۰/۱۷	۴۹/۳
A	بزرگ	-	۱۰۰	۵	۰/۳۱	۵۰/۵
B	بزرگ	-	۸۰	۱۵	۰/۱۸	۴۲/۲
B	بزرگ	-	۹۰	۱۵	۰/۲۴	۴۵/۵
B	بزرگ	-	۱۰۰	۱۵	۰/۳۵	۴۸/۸
C	بزرگ	-	۸۰	۲۵	۰/۳۱	۳۹/۱
C	بزرگ	-	۹۰	۲۵	۰/۴۳	۴۲/۳
C	بزرگ	-	۱۰۰	۲۵	۰/۵۲	۴۵/۷
A-1	کوچک	حذفی	۸۰	۶/۳۵	۰/۱۳	۴۰/۶
A-1	کوچک	حذفی	۹۰	۶/۳۵	۰/۲۹	۴۷/۴
A-1	کوچک	حذفی	۱۰۰	۶/۳۵	۰/۴۷	۴۸/۲
B-1	کوچک	حذفی	۸۰	۲۱/۸۱	۰/۲۷	۴۰/۱
B-1	کوچک	حذفی	۹۰	۲۱/۸۱	۰/۳۶	۴۴/۱
B-1	کوچک	حذفی	۱۰۰	۲۱/۸۱	۰/۵۶	۴۵/۹
C-1	کوچک	حذفی	۸۰	۳۱/۷۵	۰/۴۸	۳۶/۳
C-1	کوچک	حذفی	۹۰	۳۱/۷۵	۰/۶۸	۳۹/۷
C-1	کوچک	حذفی	۱۰۰	۳۱/۷۵	۰/۹۵	۴۲/۸
A-11	کوچک	موازی	۸۰	۱۳/۷	۰/۲۸	۳۸/۱
A-11	کوچک	موازی	۹۰	۱۳/۷	۰/۴۱	۴۴/۱
A-11	کوچک	موازی	۱۰۰	۱۳/۷	۰/۵۶	۴۶
B-11	کوچک	موازی	۸۰	۲۷	۰/۳۲	۳۵/۱
B-11	کوچک	موازی	۹۰	۲۷	۰/۴۵	۴۲/۳
B-11	کوچک	موازی	۱۰۰	۲۷	۰/۷۳	۴۴/۴
C-11	کوچک	موازی	۸۰	۳۵/۶	۰/۴۹	۳۳/۳
C-11	کوچک	موازی	۹۰	۳۵/۶	۰/۷۴	۳۶/۷
C-11	کوچک	موازی	۱۰۰	۳۵/۶	۱/۰۹	۳۸/۲



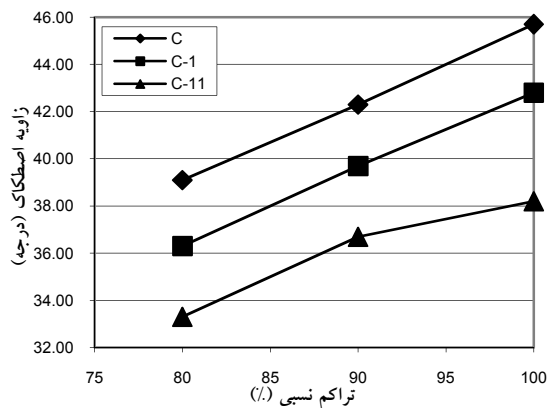
شکل (۴) مقایسه چسبندگی - تراکم نسبی دو دستگاه برش کوچک و

بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد شسته از الک ۲۰۰

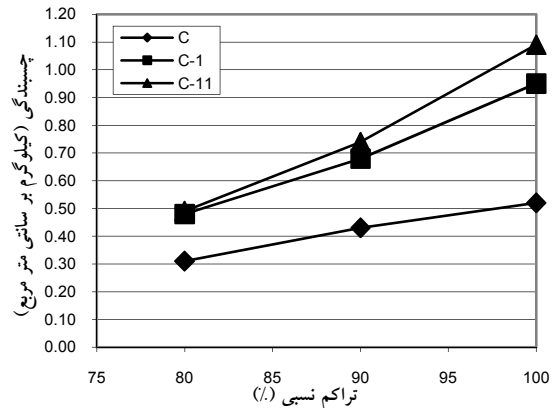


شکل (۳) مقایسه چسبندگی - تراکم نسبی دو دستگاه برش کوچک و

بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد شسته از الک ۲۰۰



شکل (۸) مقایسه زاویه اصطکاک بیشینه- تراکم نسبی در هر دو دستگاه برش کوچک و بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد شسته از الک ۲۰۰



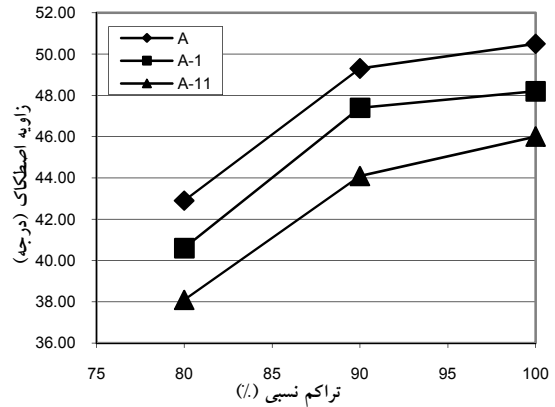
شکل (۵) مقایسه چسبندگی- تراکم نسبی دو دستگاه برش کوچک و بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۲۵ درصد شسته از الک ۲۰۰

۵- نتیجه گیری

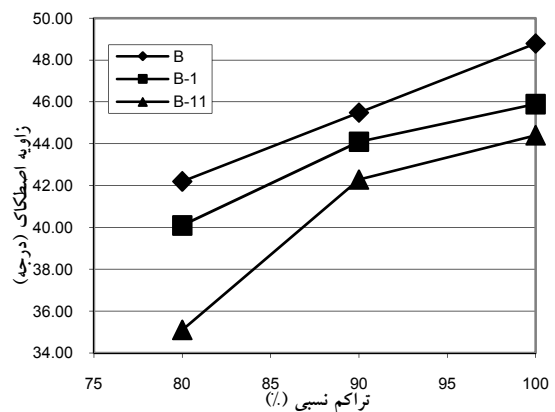
۱- با اصلاح دانه بندی نمونه ها به دو روش متداول (حذفی و موازی)، درصد ریزدانه نمونه های خاک اصلی افزایش پیدا کرد به گونه ای که میزان افزایش درصد ریزدانه در اصلاح دانه بندی به روش موازی بیشتر از روش حذفی گردید.

۲- زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس در یک تراکم نسبی یکسان، افزایش می یابد. مقدار افزایش در حالت اصلاح دانه بندی به روش حذفی تقریباً ۲/۵ درجه و مستقل از درصد ریزدانه و در حالت اصلاح دانه بندی به روش موازی تقریباً ۶-۴/۵ درجه است و با افزایش درصد ریزدانه، این اختلاف بیشتر می شود.

۳- چسبندگی به دست آمده از دستگاه بزرگ مقیاس نسبت به دستگاه کوچک مقیاس در یک تراکم نسبی یکسان، کاهش می یابد. مقدار کاهش در حالت اصلاح دانه بندی به روش حذفی برای نمونه های خاک اصلی با درصدهای ریزدانه ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۱۴ و ۰/۲۸ و در حالت اصلاح دانه بندی به روش موازی به



شکل (۶) مقایسه زاویه اصطکاک بیشینه- تراکم نسبی در هر دو دستگاه برش کوچک و بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۵ درصد شسته از الک ۲۰۰



شکل (۷) مقایسه زاویه اصطکاک بیشینه- تراکم نسبی دو دستگاه برش کوچک و بزرگ برای نمونه خاک اصلی با ۱۵ درصد شسته از الک ۲۰۰

[3] Maslov N.N, (1987), "Basic engineering geology and soil mechanics", Translated from the russian by V. V. Kuznetsov first published 1987 revised from the 1982 russian edition.

ترتیب برابر ۰/۲۲، ۰/۲۶ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به‌دست آمد.

[4] Parkin, A.K., (1991), "Rockfill modeling", Advances in rockfill structures, NATO ASI series, p.p. 35-51.

۶- مراجع

[5] Parsons, J.D. (1936). Progress Report on an Investigation of the Shearing Resistance of Cohesionless Soils. Proceedings of the 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 2, pp. 133-138.

[۱] جنگلی، ابراهیم، "مطالعه آزمایشگاهی اثر ابعاد نمونه بر مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

[6] Penman, A.D.M., (1971), "Rock fill", Building Research Station, paper 15/71, BRE, Garston, Watford.

[2] Marvachi, N.D., Seed, H.B. and chan, C.K., (1969), "Strength characteristics of rockfill Foundation engineering", mexico, No.13, pp. 217-227.