



## بررسی نتایج آزمایش برش برجا در خاک‌های درشت‌دانه‌ی رسی

شاهین رضوی<sup>۱\*</sup>، علی محبی<sup>۲</sup>، احسان خسروپور<sup>۱</sup>، محمود رجب‌زاده طهماسبی<sup>۱</sup>،  
علی‌رضا رضوانیان<sup>۱</sup>

۱. کارشناس ارشد بخش حفاری مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهر تهران

۲. سرپرست بخش حفاری مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهر تهران

آدرس رایانامه نویسنده رابط (shahin.razavi@srbiau.ac.ir)

### خلاصه

معمولاً برای به‌دست آوردن پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی) خاک‌ها از آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی استفاده می‌شود. مقادیر چسبندگی به‌دست آمده از این آزمایش به‌علت مواردی مانند دست‌خوردگی زیاد نمونه‌ها و همین‌طور لزوم حذف بخشی از درشت‌دانه‌ی خاک‌ها، چندان قابل اعتماد نمی‌باشد. آزمایش‌های برجا به‌واسطه‌ی حفظ شرایط طبیعی نمونه‌ها و دست‌خوردگی کمتر خاک‌ها همواره مورد توجه محققین زیادی بوده است. هدف اصلی این تحقیق بررسی چند آزمایش برش برجا در خاک‌های درشت‌دانه‌ی رسی (SC-GC) می‌باشد. محدودی‌ مورد مطالعه مربوط به پروژه‌ای در منطقه‌ی چهار شهر تهران بوده است. با توجه به نتایج این تحقیق به‌نظر می‌آید آزمایش برش مستقیم می‌تواند مقادیر واقع‌بینانه‌تری را از زاویه‌ی اصطکاک داخلی و به‌ویژه چسبندگی این نوع خاک‌ها ارائه کند.

**کلمات کلیدی:** چسبندگی خاک، آزمایش برش برجا، آزمایش برش مستقیم، خاک درشت‌دانه‌ی رسی.

### ۱. مقدمه

شناخت مناسب از شرایط خاک‌ها قبل از احداث سازه‌ها یک ضرورت است. در عملیات مطالعات ژئوتکنیکی با انجام آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی می‌توان خواص خاک‌ها را تعیین کرد. پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی) از مهم‌ترین پارامترهای خاک‌ها محسوب می‌شوند. برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک‌ها معمولاً از دو روش برش مستقیم آزمایشگاهی و برش مستقیم برجا<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. علی‌رغم دشواری‌ها و هزینه‌های بالای انجام آزمایش برش برجا، نتایج این آزمایش به‌علت حفظ شرایط طبیعی و دست‌خوردگی کم نمونه‌ها از اعتبار بیشتری در مقایسه با آزمایش برش آزمایشگاهی برخوردار است. همچنین دست‌خوردگی زیاد نمونه‌ها، توزیع غیر یکنواخت تنش برشی و تحمیل صفحه برش در جعبه‌ی آزمایش از مهم‌ترین معایب آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی می‌باشد.

تحقیق در مورد آزمایش برش برجا در خاک‌ها از جمله مواردی بوده که کمتر به آن پرداخته شده است. مرادی و قندهار (۱۳۸۰) در قالب یک مقاله علمی نتایج چند آزمایش برش مستقیم انجام شده در ساختگاه سد گتوند را در حالت‌های افقی و زاویه‌دار با هم مقایسه کردند [۱]. پورتنقی آذر و فخاریان (۱۳۸۳) با کمک آزمایش شیمی، نوع سیمان‌تاسیون خاک‌ها را مشخص کردند و در ادامه نشان دادند که سیمان‌تاسیون ناشی از کلسیت باعث افزایش پارامتر چسبندگی در خاک‌های درشت‌دانه‌ی تهران می‌شود [۲]. قزوینیان و همکاران (۱۳۸۶) نتایج آزمایش برش مستقیم برجا را بر روی ناپیوستگی‌های صفحه‌ای تکیه گاه چپ سد کارون تحلیل و تفسیر کردند [۳]. مویدی و همکاران (۱۳۸۸) معایب آزمون برش مستقیم و تأثیر آن‌ها بر روی نتایج پارامترهای مقاومت برشی را بررسی کرده‌اند [۴]. همچنین فاروق<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر درجه‌ی اشباع و وزن مخصوص خاک‌ها را بر نتایج آزمایش برش مستقیم ارزیابی کردند [۵].

\* مشخصات نویسنده رابط: شاهین رضوی، دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

<sup>۱</sup> Insitu Direct Shear Test

<sup>۲</sup> Farooq

در این پژوهش نتایج چند آزمایش برش برجا در خاک های درشت دانه ی رسی (SC-GC) تحلیل و در ادامه چسبندگی و زاویه ی اصطکاک داخلی به دست آمده از این آزمایش ها با آزمایش های برش مستقیم آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می آید با استفاده از آزمایش برش برجا می توان مقادیر واقع بینانه تری را از پارامترهای مقاومت برشی خاک ها تعیین کرد.

## ۲. معرفی مورد مطالعاتی

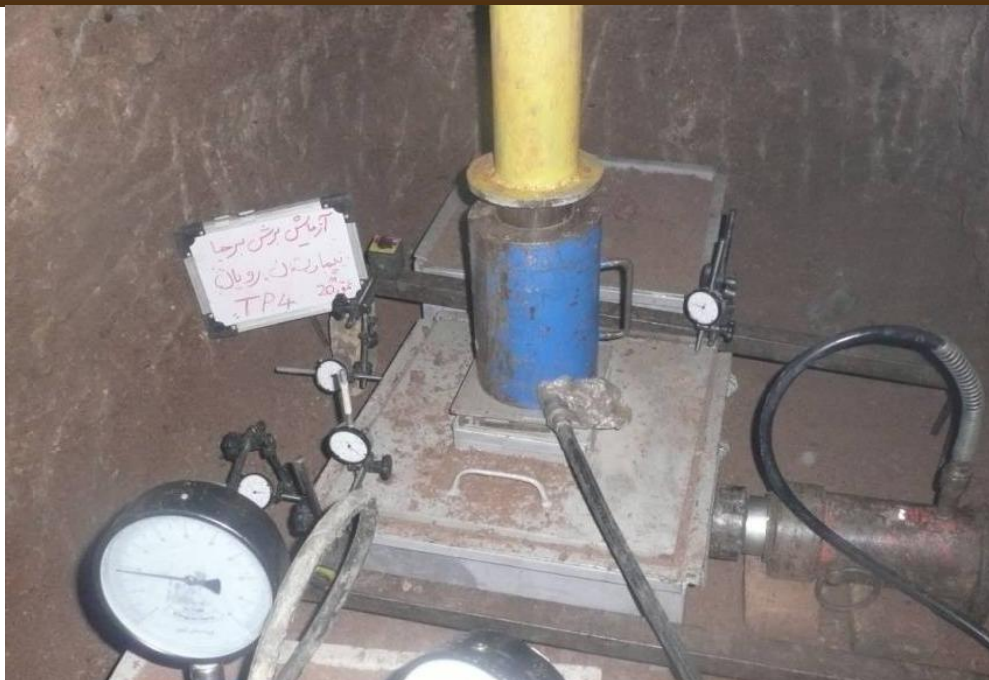
این تحقیق مربوط به مطالعات ژئوتکنیک یک بیمارستان در منطقه چهار شهر تهران، بزرگراه شهید باقری، بین خیابان های ۲۰۲ و ۲۰۶ غربی می باشد (شکل ۱). جنس خاک پروژه بیشتر از نوع درشت دانه با سیمان رسی<sup>۱</sup> (SC-GC) بوده است. براساس بررسی نمونه های اخذ شده از حفاری ها و همچنین تطابق محدوده ی مورد نظر بر روی نقشه های سازمان زمین شناسی و نقشه ی جایکا<sup>۲</sup>، سازند زمین شناسی پروژه C می باشد [۶]. با توجه حساس بودن پروژه و همین طور نیاز به گودبرداری ۲۰ متری، سعی شد تا در کنار آزمایش های معمول، چند آزمایش برش برجا نیز به منظور ارزیابی بهتر پارامترهای مقاومت برشی خاک نیز انجام شود (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت تقریبی پروژه در نقشه شهر تهران

<sup>۱</sup> Clayey Sand with Gravel - Clayey Gravel with Sand

<sup>۲</sup> JICA



شکل ۲. تصویر یکی از آزمایش های برش برجا انجام شده در گالری یکی از چاه های دستی

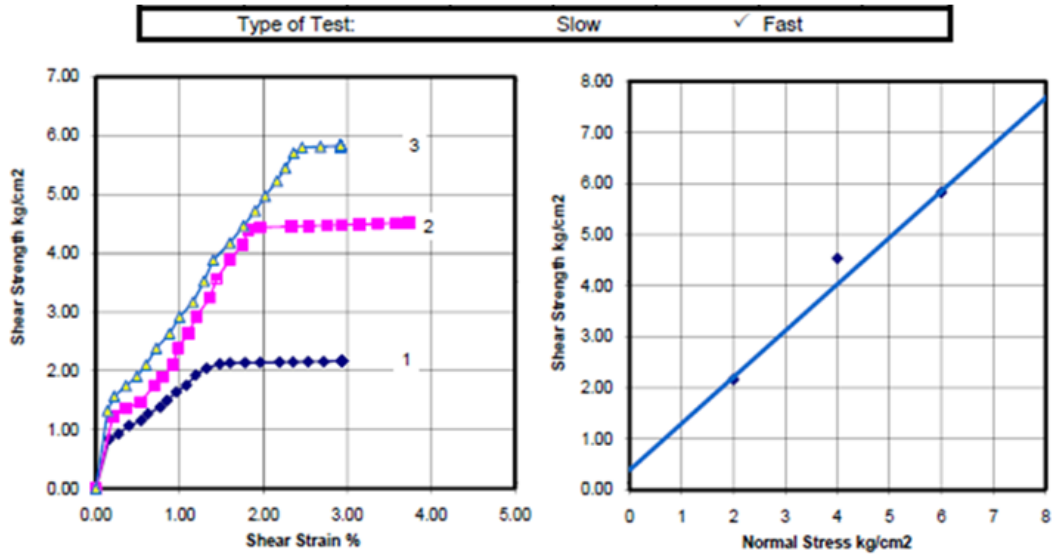
### ۳. نتایج آزمایش های برش مستقیم

در این پروژه هفت عدد آزمایش برش مستقیم برجا انجام شده است. هر کدام از این آزمایش ها بر روی سه بلوک خاکی مربع شکل با سطح مقطع ۲۵۰۰ سانتی متر مربع و تا رسیدن خاک به نقطه ی برش ادامه یافته است. پارامترهای چسبندگی و زاویه ی اصطکاک داخلی به دست آمده از این آزمایش ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین به عنوان نمونه و صرفاً برای یکی از این آزمایش ها، نمودارهای مربوط معیار موهر-کولمب<sup>۱</sup> و تنش برشی - کرنش برشی در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. ریز نتایج آزمایش های برش برجا

نام چاه دستی	عمق (متر)	چسبندگی (kg/cm <sup>2</sup> )	زاویه ی اصطکاک داخلی (درجه)
TP-۱	۶/۵	۰/۳	۴۴
TP-۱	۱۱/۵	۰/۲	۴۰/۲
TP-۱	۱۶/۵	۰/۲۵	۴۰/۴
TP-۱	۲۱/۵	۰/۴	۴۲/۵
TP-۴	۵	۰/۲۵	۴۱/۸
TP-۴	۱۰	۰/۲۴	۴۵/۹
TP-۴	۲۰	۰/۳۹	۴۲/۳

<sup>۱</sup> Mohr - Colomb



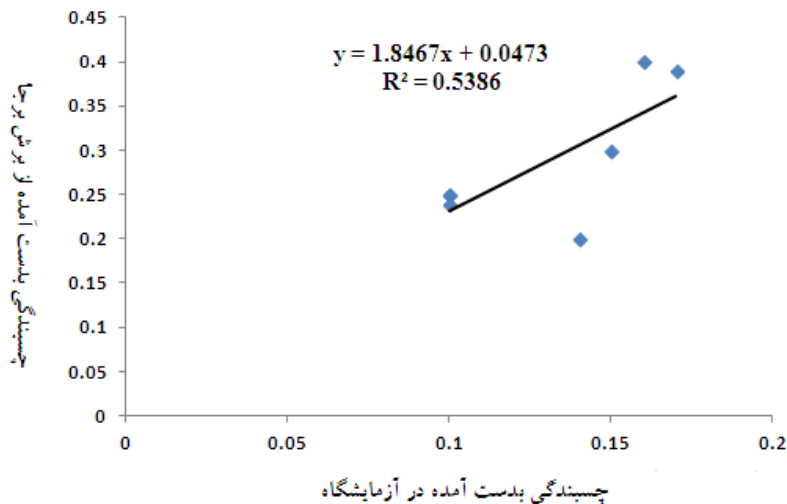
ب - نمودار تنش برشی در مقابل کرنش برشی

الف - نمودار تنش برشی در مقابل تنش نرمال

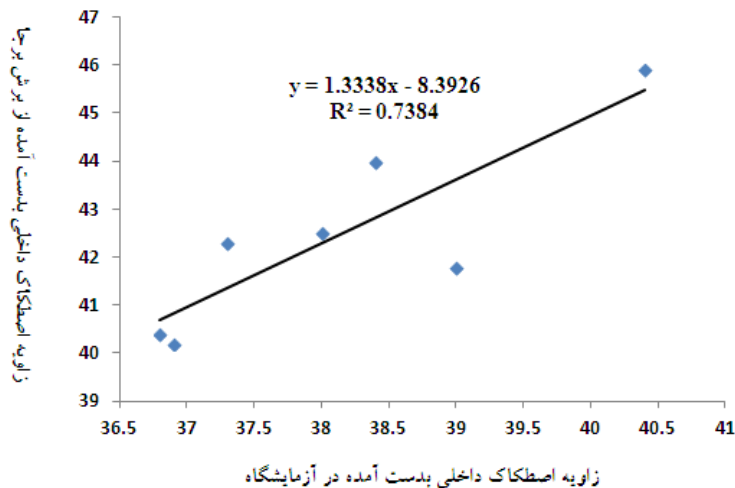
شکل ۳. نمودارهای مربوط به معیار موهر کولمب برای یکی از آزمایش ها در عمق ۲۰ متر

#### ۴. مقایسه نتایج برش مستقیم آزمایشگاهی و برجا

با توجه به سخت و پرهزینه بودن انجام آزمایش برش برجا و البته مزایای این آزمایش در مقایسه با آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی (به ویژه دست خوردگی بسیار کمتر نمونه ها)، در این بخش از تحقیق سعی شده است تا رابطه‌ی بین نتایج این دو آزمایش برای داده‌های این پروژه مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور با استفاده از روش رگرسیون خطی، رابطه‌ی خطی بین چسبندگی‌ها و زاویه‌های اصطکاک داخلی حاصل از هر دو آزمایش بررسی شد. لازم به یادآوری است، مقادیر آزمایشگاهی استفاده شده مربوط به همان عمق‌ها و جنس خاکی بوده‌اند که در آن‌ها آزمایش برش برجا نیز انجام شده بود. همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، پارامترهای مقاومت برشی به دست آمده از آزمایش برش برجا بیشتر از مقادیر معادل آزمایشگاهی بوده‌اند.



شکل ۳. رابطه‌ی خطی بین چسبندگی آزمایشگاهی و برجا



شکل ۴. رابطه‌ی خطی بین زاویه اصطکاک داخلی آزمایشگاهی و برجا

## ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا ضمن تحلیل چند آزمایش برش برجا بر روی خاک‌های درشت‌دانه‌ی رسی، یک مقایسه‌ی ساده نیز بین نتایج این آزمایش با آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی انجام شود. در ادامه به صورت موردی به مهم‌ترین نتایج این پژوهش اشاره شده است:

- ✓ با توجه به ایرادهای ساختاری آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی برای خاک‌های درشت‌دانه و همین‌طور ویژگی‌ها و مزایای آزمایش‌های برجا، به نظر می‌آید آزمایش برش مستقیم برجا روش مناسب‌تری برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های درشت‌دانه‌ی رسی می‌باشد.
- ✓ به علت دست‌خوردگی بسیار کم نمونه‌ها در آزمایش برش برجا، چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی به دست آمده از این آزمایش بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی بوده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد.
- ✓ در مقایسه‌ی انجام شده بین پارامترهای مقاومت برشی برجا و آزمایشگاهی، ضریب همبستگی برای چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی به ترتیب حدود ۰/۵۴ و ۰/۷۴ بوده است.
- ✓ از آنجایی که تعداد کم آزمایش‌های بررسی شده حتماً بر نتایج اخذ شده موثر بوده، پیشنهاد می‌شود روند ارائه شده در این تحقیق با داده‌هایی بیشتر انجام شود تا بتوان روابط تجربی دقیق‌تر و با قابلیت اعتماد بیشتری ارائه کرد.
- ✓ بررسی تأثیر عواملی مانند نوع دانه‌بندی، درصد ریزدانه و رطوبت بر نتایج آزمایش برش برجا نیز می‌تواند از جمله موارد دیگری باشد که پیشنهاد می‌شود مورد توجه قرار بگیرد.

## ۶. قدردانی

بدین وسیله از مساعدت و راهنمایی همکارانمان در بخش‌های ژئوتکنیک و مکانیک خاک مرکز مطالعات، آقایان مهندس میهن‌نژاد، تقوی، پرهیزکار و قدرتی و همچنین مدیر فنی مرکز، جناب آقای مهندس فرهنگ، تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۷. مراجع

۱. مرادی، م. قندهار، م. (۱۳۸۰)، "مقایسه نتایج آزمایش برش مستقیم در حالت افقی و زاویه دار انجام شده در ساختگاه سد و نیروگاه گتوند علیا"، اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.



۲. پورتنقی آذر، م. فخاریان، ک. (۱۳۸۳)، "مطالعه تاثیر سیمان تاسیون بر پارامتر چسبندگی در خاک های درشت دانه تهران"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران.
۳. قزوینیان، ع. خاکباز، م. بهنیا، م. (۱۳۸۶)، "تفسیر و تحلیل نتایج آزمایش برش مستقیم برجا بر روی ناپیوستگی های صفحه ای با نگرشی بر ناپیوستگی MJ28 تکیه گاه چپ سد کارون"، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۴. مویدی، ح. عبادی، م. حیدریان، ه. زمردیان، م. (۱۳۸۸)، "بررسی معایب آزمون برش مستقیم و تاثیر آن ها بر روی نتایج پارامترهای مقاومت برشی"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز.
۵. Farooq, Kh. Rogers, A. Farooq, A. (۲۰۱۵), "Effect of Densification on the Shear Strength of Landslide Material: A Case Study from Salt Range", Earth Science Research, Pakistan, ISSN ۱۹۲۷-۰۵۴, Vol ۴, No ۱.
۶. گزارش مطالعات ژئوتکنیک پروژه بیمارستان رویان، (۱۳۹۴)، مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، تهران.