

## مقایسه تأثیر روش‌های آزمایشگاهی تراکم استاتیکی و دینامیکی بر مقاومت برشی خاکهای

## رسی در شرایط زهکشی نشده

رسول قبادیان<sup>۱</sup> حسن رحیمی<sup>۲</sup>

## چکیده

به منظور ارزیابی صحیح پارامترهای مقاومت برشی خاک برای اهداف طراحی، لازم است این پارامترها در آزمایشگاه با استفاده از نمونه‌های بازسازی شده با روش تراکمی که شباهت بیشتری با تراکم صحرائی دارد، تعیین شوند. در آزمایشگاهها معمولاً بر اساس استانداردهای متعارف نمونه‌های مورد آزمایش توسط روش تراکم دینامیکی (کوبیدن خاک در چند لایه داخل قالب استاندارد و به کمک ضربات چکش) تهیه می‌شوند، در حالی که تراکم در صحرا معمولاً توسط غلتکهای چرخ فلزی صاف و یا غلتکهای پاچه بزی که نوعی تراکم شبه استاتیکی ایجاد می‌کنند، انجام می‌شود. در این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه اثر روش تراکم بر مقدار مقاومت تک محوری و همچنین مقادیر پارامترهای مقاومت برشی ( $c, \phi$ ) خاکهای ریزدانه، سه نوع خاک با بافتهای رسی - سیلتی (CL-ML) رسی با خمیرایی کم (CL) و رسی با خمیرایی زیاد (CH) تهیه و سپس نمونه‌هایی از این خاکها در تراکم‌های نسبی مختلف و رطوبتهای متفاوت با دو روش تراکم استاتیکی و دینامیکی بازسازی و بر روی آنها آزمایشهای تک محوری و سه محوری سریع (UU) انجام گرفت. نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری تک محوری و سه محوری نشان داد که نمونه‌های بازسازی شده به روش تراکم استاتیکی نسبت به نمونه‌های بازسازی شده به روش تراکم دینامیکی مقاومت بیشتری دارند. هر چند که بررسی‌های آماری نتایج آزمایشها نشان داد که روش تراکم اثر معنی داری بر مقاومت برشی خاکهای مورد آزمایش نداشت.

کلید واژه ها: تراکم استاتیکی، تراکم دینامیکی، مقاومت برشی، خاک های رسی

## مقدمه

چنانچه بر روی توده خاک بار اعمال شود در آن تنشهای برشی بوجود می‌آید. زمانی که تنشهای برشی به یک مقدار حدی می‌رسند، تغییر شکل و در نتیجه شکست برشی در توده خاک اتفاق می‌افتد. لذا بر اساس تعاریف موجود مقاومت برشی خاک عبارت است از مقاومت در مقابل تغییر شکل برشی ممتد در توده خاک (۱۲).

در بسیاری از مسائل مربوطه به مکانیک خاک مقاومت برشی به عنوان یکی از مهمترین پارامترها در نظر گرفته می‌شود که بطور کلی از سه جزء زیر ناشی می‌شود.

۱- مقاومت در مقابل لغزش ذرات  
 ۲- چسبندگی و پیوستگی بین ذرات  
 ۳- مقاومت در مقابل تغییر شکل ذرات  
 تأثیر مستقل و دقیق هر یک از اجزاء فوق بر مقاومت برشی خاک معین نیست. تغییرات درصد رطوبت، فشار آب منفذی، بهم خوردگی ساختمان خاک، نوسانات سطح آب زیرزمینی، حرکت آب زیرزمینی، تاریخچه تنش، زمان و حتی واکنشهای شیمیایی و شرایط محیط روی هر یک از این اجزاء تأثیر می‌گذارند (۸). مقاومت برشی خاک در صحرا معمولاً مقدار منحصر به فردی نبوده و از عوامل

تاریخ دریافت: ۸۲/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۸۴/۱۰/۱۹

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب- کشاورزی دانشگاه

رازی کرمانشاه (rsglobal@yahoo.com)

۲- استاد گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

خاک دارد. لمب<sup>۲</sup> (۹) اثر تراکم بر ساختمان و اسکلت خاکهای رسی را مورد مطالعه قرار داد و نشان داد که چنانچه خاک رس با درصد رطوبتی کمتر از رطوبت بهینه متراکم شود ساختمان و اسکلت فلوکوله به خود می‌گیرد و زمانی که درصد رطوبت تراکم بیشتر از رطوبت بهینه باشد ساختمان پراکنده در ذرات خاک دیده می‌شود. موکری و ساتیانارایانا<sup>۳</sup> (۱۰) بیان کردند که بطور کلی تراکم استاتیکی ساختمان فلوکوله‌تری را نسبت به تراکم دینامیکی ایجاد می‌کند. احمد و همکاران<sup>۴</sup> (۲) نشان دادند که روش تراکم روی توزیع اندازه منافذ خاک تأثیر گذار می‌باشد. پراپاهاران و همکاران<sup>۵</sup> (۱۱) بیان کردند که سطوح مختلف انرژی در رطوبتهای مختلف نسبت به رطوبت بهینه آرایشهای متفاوتی در توده خاک ایجاد می‌کند. باسما و همکاران<sup>۶</sup> (۶) نشان دادند که خصوصیات مهندسی خاکهای رسی از قبیل پتانسیل تورم و مقاومت فشاری تک محوری بطور عمده بستگی به روش خشک کردن در آزمایشگاه دارد. آتوم<sup>۷</sup> (۴) تأثیر درجه تراکم را بررسی نمود و نشان داد که اثر قابل ملاحظه‌ای بر تورم، مقاومت برشی تک محوری و نفوذپذیری خاک دارد. رحیمی و باروتکوب (۱) نشان دادند که نمونه‌های بازسازی شده به روش تراکم استاتیکی در مقایسه با نمونه‌های بازسازی شده به روش تراکم دینامیکی میزان تورم و فشار تورمی بیشتری از خود بروز می‌دهند. آتوم و همکاران<sup>۸</sup> (۵) نشان دادند که مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های دست نخورده به ترتیب ۱/۳۵، ۱/۶ و ۲/۵ برابر مقاومت نمونه‌های تهیه شده به

مختلفی همچون خصوصیات خاک، نسبت تخلخل، اندازه و شکل ذرات، بافت خاک، درصد رطوبت، سرعت و نوع بارگذاری و همگنی یا غیرهمگنی توده خاک، تأثیر پذیر می‌باشد (۷).

برآورد خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک خصوصاً پارامترهای مقاومت برشی خاک یک قدم اساسی در مهندسی عمران است. با انجام آزمایش بر روی نمونه‌های دست خورده و دست نخورده داده‌هایی بدست می‌آید که در طراحی پروژه‌های مهندسی از قبیل طراحی پی‌ها، مسائل پایداری سطوح شیبدار، ساختمانهای حائل و بزرگراهها استفاده می‌شوند. هر چند که کاربرد نتایج آزمایشگاهی برای شرایط محل، سؤال برانگیز است و نتایج بدست آمده در آزمایشگاه از نمونه‌های دست خورده و دست نخورده تغییرات بالایی دارند و ممکن است خصوصیات واقعی خاک در شرایط محل را بیان نکنند ولی بدلیل شرایط نمونه‌گیری، انتقال و برش نمونه‌ها تغییرات عمده‌ای در ساختمان نمونه‌های خاک ایجاد می‌شود. این امر باعث می‌گردد نمونه‌ها رفتاری مشابه نمونه‌های بازسازی شده یا دست خورده از خود نشان دهند. نمونه‌های خاک در آزمایشگاه به وسیله روشهای تراکمی مختلفی همچون دینامیکی، استاتیکی و تراکم از نوع خمیر کردن تهیه می‌شوند. خیلی از محققین بیان کرده‌اند که نحوه بازسازی نمونه‌ها و همچنین دست خوردگی آنها اثر قابل ملاحظه‌ای روی خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک در آزمایشگاه دارد. سید و چان<sup>۱</sup> (۱۳) نشان دادند که ساختمان خاکهای متراکم شده در رطوبت کمتر از رطوبت بهینه ضرورتاً به روش تراکم وابسته نیست در حالیکه در رطوبت های بیشتر از رطوبت بهینه روش تراکم اثر قابل ملاحظه‌ای بر ساختمان

2-Lamb

3 -Mukeree and Satyanarayana

4 -Ahmed *et al*5 -Prapaharan *et al*6 -Basma *et al*

7 -Attom

8 -Attom *et al*

1 -Seed and Chan

(CH) به ترتیب از منطقه مهر ویلای کرج، کمال آباد کرج و مزرعه مرکز تحقیقات دشت مغان تهیه شد. بر روی هر یک از نمونه‌ها آزمایش‌های شناسایی به منظور تعیین وزن مخصوص ذرات جامد، دانه‌بندی و حدود آتربرگ انجام گردید. پس از انجام آزمایش‌های شناسایی، منحنی تراکم که بیان کننده رابطه بین رطوبت خاک و وزن واحد حجم خشک است برای هر یک از سه نوع خاک مذکور با استفاده از روش تراکم دینامیکی استاندارد پراکتور ترسیم گردید. نتایج آزمایش‌های شناسایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و منحنی‌های دانه‌بندی و تراکم آنها به ترتیب در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است.

با استفاده از منحنی‌های تراکم ترسیم شده، برای هر یک از خاکها در رطوبت بهینه نمونه‌هایی در سه تکرار با تراکم‌های نسبی ۹۰، ۹۵، ۱۰۰، ۱۰۵

#### جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاکهای مورد مطالعه

نمونه خاک			واحد	خاصیت
CH	CL-ML	CL		
۲/۶۶	۲/۶۹	۲/۶۷	-	چگالی ذرات جامد (Gs) دانه‌بندی
۵۰	۱۵	۳۵	درصد	رس
۴۴	۵۸	۵۵	درصد	سیلت
۶	۲۷	۱۰	درصد	ماسه
حدود آتربرگ				
۶۳	۲۴	۴۳	درصد	حدروانی (LL)
۲۸	۱۹/۳۸	۲۳/۱۲	درصد	حد خمیری (PL)
۳۵	۴/۶۲	۱۹/۸۸	درصد	نمایه خمیری (PI)
۱۸/۵	۱۶/۱۵	۱۷/۱	درصد	حد انقباض (SL)
پراکتور استاندارد				
۲۵	۱۳/۹	۲۲	درصد	رطوبت بهینه
۱/۵۱	۱/۸۷۵	۱/۶۰۴	gr/cm <sup>3</sup>	حداکثر وزن واحد حجم خشک

روش‌های تراکم دینامیکی، استاتیکی و تراکم از نوع خمیر کردن تحت شرایط مشابه می‌باشد. علاوه بر این فشار تورمی نمونه‌های دست نخورده به ترتیب ۱/۵، ۲ و ۳ برابر نمونه‌های بازسازی شده به روش‌های تراکم دینامیکی، استاتیکی و تراکم از نوع خمیر کردن می‌باشد. مطالعات یودر<sup>۱</sup> (۱۵) روی مقاومت خاک‌های چسبنده که از آزمایش<sup>۲</sup> CBR بدست آمده نشان داد که نمونه‌های اشباع نشده چنانچه در سمت خشک رطوبت بهینه متراکم شوند، مقاومت بالاتری دارند اما نمونه‌های اشباع شده (CBR خیس) زمانی که در رطوبت بهینه متراکم شوند مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند. تورن بول و فستر<sup>۳</sup> (۱۴) نشان دادند که با افزایش تراکم نسبی مقاومت (CBR خیس) نمونه‌های متراکم شده در ناحیه خشک رطوبت بهینه افزایش می‌یابد ولی چنانچه نمونه‌ها در ناحیه تر رطوبت بهینه متراکم شوند با افزایش تراکم نسبی، ابتدا مقاومت نمونه افزایش و سپس بطور ناگهانی کاهش می‌یابد.

هدف اصلی این تحقیق، مطالعه تأثیر دو روش تراکم آزمایشگاهی (تراکم دینامیکی و تراکم استاتیکی) بر روی پارامترهای مقاومت برشی سه نوع خاک رسی مختلف تحت شرایط زهکشی نشده ( $C_u, \phi_u$ ) و همچنین مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های بازسازی شده از این خاکها می‌باشد.

#### مواد و روشها

به منظور ارزیابی اثر روش تراکم بر مقدار مقاومت برشی خاک‌های رسی متراکم شده سه نوع خاک با بافتهای رسی - سیلتی (CL-ML)، رسی با خمیرایی کم (CL) و رسی با خمیرایی زیاد

1- Yoder

2- California Bearing Ratio

3- Turnboul and Foster

مختلف ( کمتر و بیشتر از رطوبت بهینه مربوط به هر خاک) با استفاده از دو روش تراکم مذکور تهیه شدند. در تراکم استاتیکی از روش کمیته تخصصی خاکهای تورم زا (TC6) انجمن بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی استفاده شد. بدین صورت که برای تراکم نسبی مورد نظر در رطوبت معین وزن نمونه خاک مشخص و سپس در داخل قالب با فشار جک هیدرولیکی متراکم گردید. در روش تراکم دینامیکی خاک در داخل قالب با استفاده از ضربات چکش و بر اساس اعمال انرژی تراکمی استاندارد متراکم شده و برای انجام آزمایشهای مقاومت برشی بازسازی گردید. به منظور رساندن رطوبت نمونه‌ها به رطوبت مورد نظر پس از تعیین رطوبت اولیه توده خاک مقدار مشخص شده‌ای آب به توده خاک اضافه گردید به عبارتی نحوه رساندن رطوبت خاک به رطوبت مورد نظر از حالت خشک به تر است. در این تحقیق به منظور تعیین مقاومت برشی خاک دو سری آزمایش بر روی نمونه‌های بازسازی شده انجام شد که در ذیل شرح داده می‌شوند.

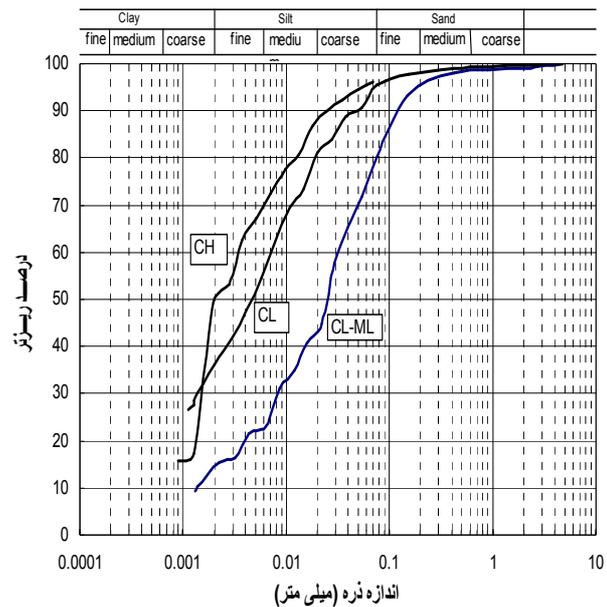
### آزمایش سه محوری (UU):

هدف از انجام آزمایش سه محوری تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک ( $c$ ,  $\phi$ ) بر حسب تنش کل (یا در شرایط غیر زهکشی) می‌باشد. بدین منظور خاکهای مورد مطالعه در رطوبتهای مختلف و تراکم‌های نسبی متفاوت با دو روش تراکم استاتیکی و دینامیکی متراکم شدند و سپس بر اساس روش کرنش کنترل شده مطابق با استاندارد ASTM - D2850 در فشارهای جانبی ( $\sigma_3$ ) ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع مورد آزمایش قرار گرفتند.

### آزمایش مقاومت فشاری محصورنشده (تک

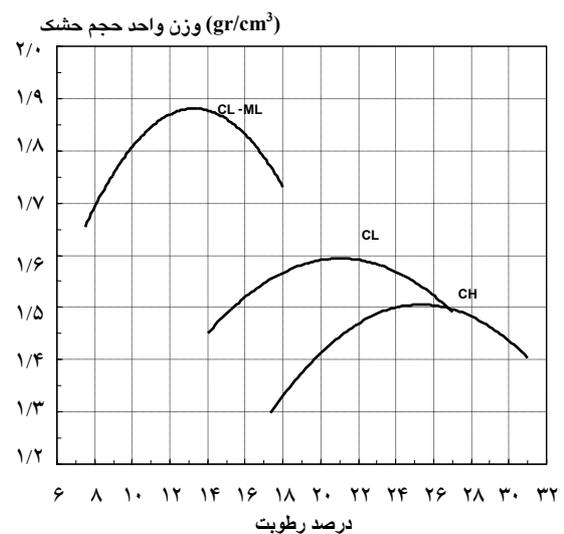
محوری):

این آزمایش حالت خاص آزمایش سه محوری زهکشی نشده تحکیم نیافته است که معمولاً بر



شکل ۱- منحنی‌های دانه‌بندی خاکهای مورد

مطالعه



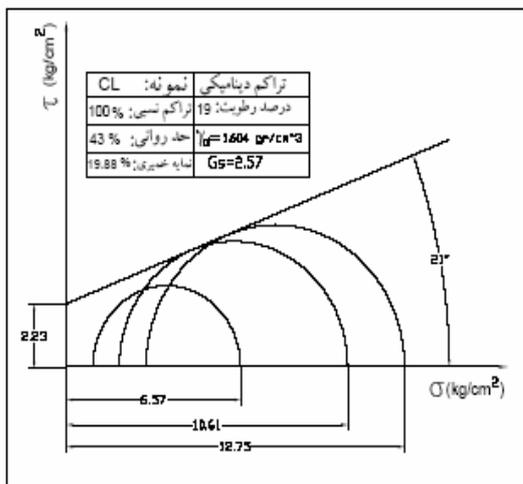
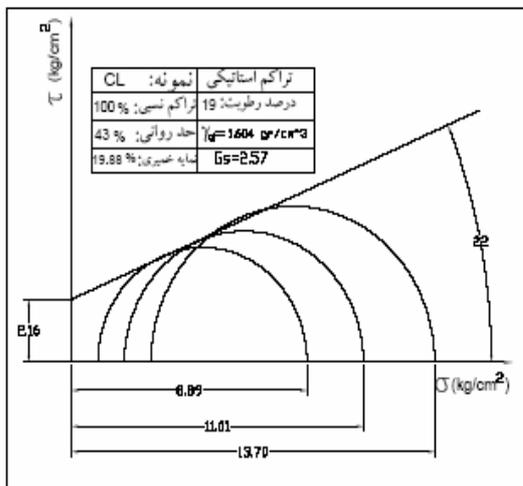
شکل ۲- منحنی‌های تراکم خاکهای مورد

مطالعه

درصد نسبت به تراکم حداکثر آزمایشگاهی پراکتور با دو روش تراکم استاتیکی و دینامیکی در قالبهای با ارتفاع ۷۶ میلی‌متر و قطر ۳۷/۷ میلی‌متر تهیه گردید.

همچنین نمونه‌هایی در تراکم نسبی ثابت معادل با حداکثر تراکم آزمایشگاهی پراکتور و رطوبتهای

یکدیگر کسب زاویه اصطکاک داخلی بیشتر مورد انتظار است. با افزایش درصد رطوبت نمونه ضخامت لایه آب دوگانه اطراف ذرات خاک افزایش می‌یابد این امر موجب کاهش اصطکاک بین ذرات و کاهش زاویه  $(\phi)$  می‌گردد. افت ناگهانی زاویه اصطکاک داخلی در رطوبت های بیشتر از حد بهینه که در آن اتصال ذرات به حداقل مقدار خود می‌رسد، قابل ملاحظه است. آزمون  $t$  مستقل دوطرفه نشان داد که تغییرات ناشی از روش تراکم در مقدار زاویه  $(\phi)$  حتی در سطح 5 درصد معنی‌دار نیست.



شکل 3- دواير موهر تنش و نحوه محاسبه پارامترهای مقاومت برشی

روی خاکهای رسی انجام می‌شود. در این آزمایش فشار همه جانبه صفر است و با اعمال سریع بار قائم نمونه گسیخته می‌شود در هنگام گسیختگی، تنش اصلی کوچکتر برابر صفر و تنش اصلی بزرگتر برابر با  $q_u$  می‌باشد در این آزمایش مقاومت زهکشی نشده مستقل از فشار همه جانبه است لذا:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u$$

که در آن  $q_u$  مقاومت فشاری محصور نشده و  $c_u$  چسبندگی خاک در این آزمایش می‌باشد. در این تحقیق آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده مطابق با استاندارد ASTM-D2166 بر روی کلیه نمونه‌های بازسازی شده انجام گردید.

### نتایج و بحث

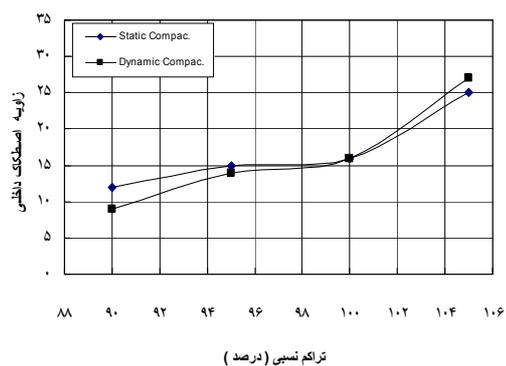
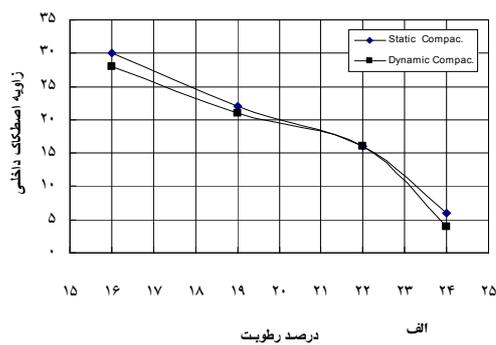
#### الف - نتایج آزمایشهای سه محوری

پارامترهای مقاومت برشی  $(c, \phi)$  برای نمونه‌های بازسازی شده تحت تراکم‌های نسبی متفاوت و رطوبتهای مختلف به دو روش تراکم استاتیکی و دینامیکی پس از ترسیم دواير موهر تنش و خط مماس بر آنها تعیین گردید. شکل (3) دواير موهر مربوط به یکی از نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. ذیلاً تغییرات هر یک از پارامترهای مقاومت برشی بطور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

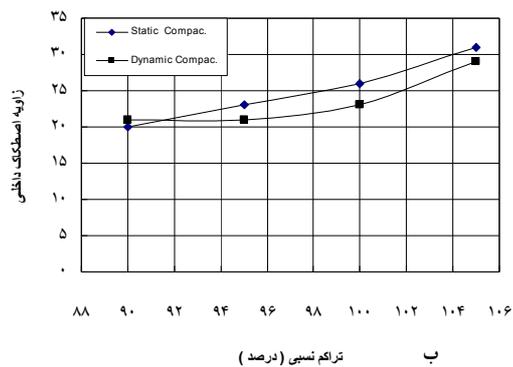
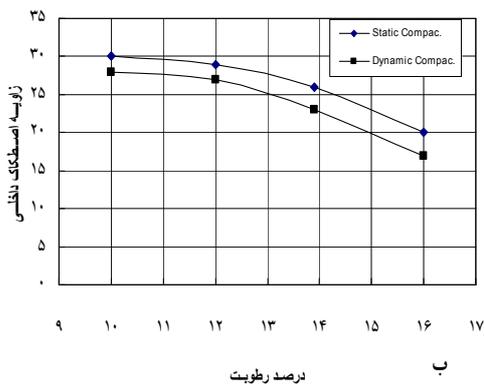
#### زاویه اصطکاک داخلی $(\phi)$

تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در مقابل تغییرات تراکم نسبی و تغییرات رطوبت اولیه نمونه‌های بازسازی شده به ترتیب در اشکال 4 و 5 نشان داده شده است.

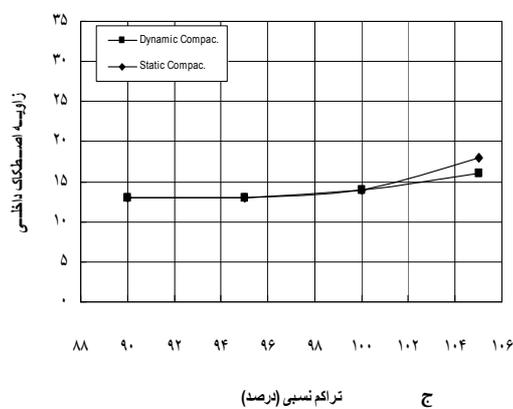
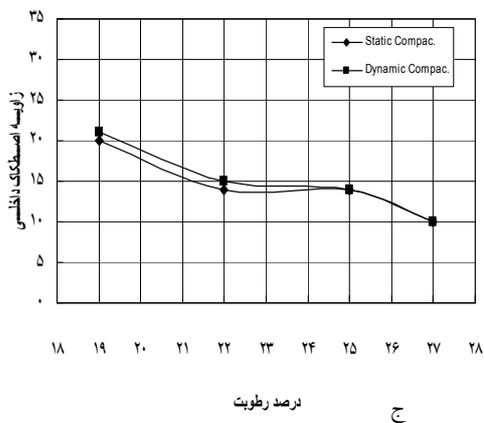
همانگونه که ملاحظه می‌شود با افزایش تراکم نسبی نمونه‌های بازسازی شده، مقدار زاویه  $(\phi)$  افزایش می‌یابد. این افزایش در تراکم‌های نسبی بالاتر از 100 درصد قابل ملاحظه‌تر است. با افزایش تراکم نسبی، به علت درگیری بیشتر ذرات با



الف



ب



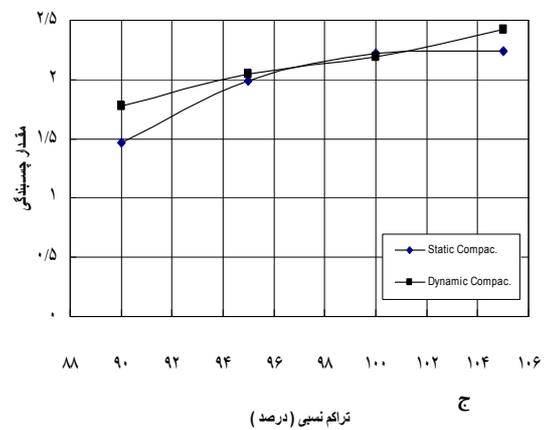
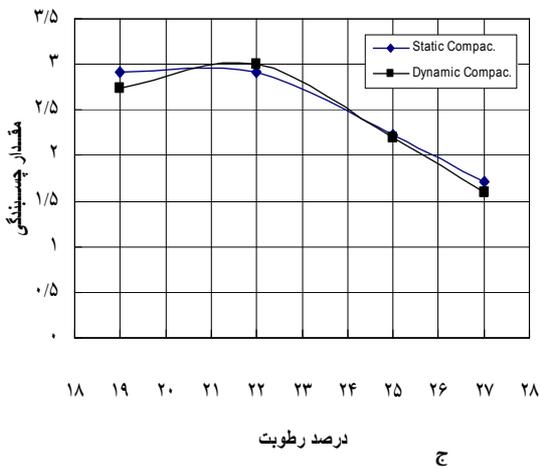
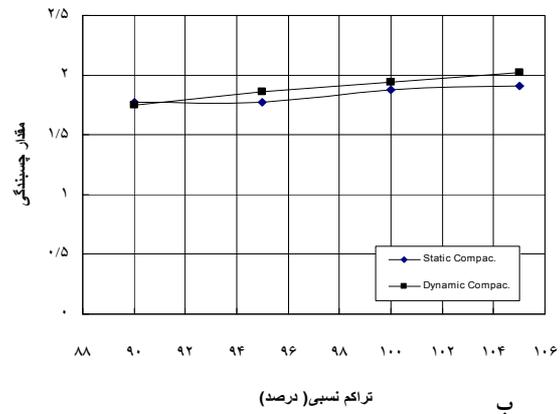
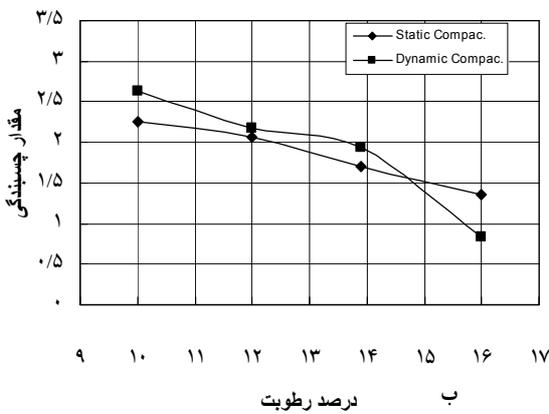
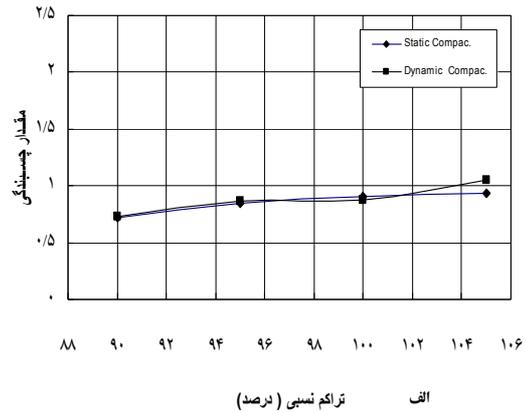
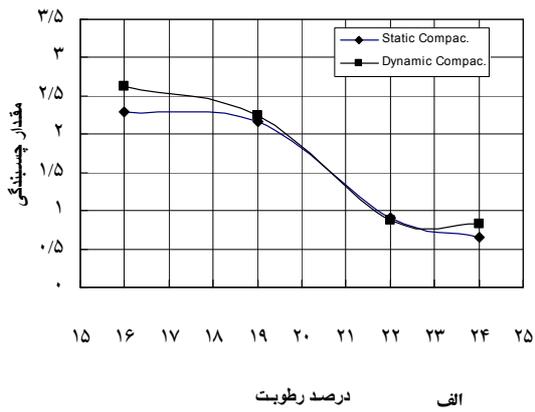
ج

شکل ۵- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی (درجه) در مقابل تغییرات رطوبت الف - نمونه CL، ب - نمونه CL-ML، ج - نمونه CH

شکل ۴- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی (درجه) در مقابل تغییرات تراکم نسبی الف - نمونه CL، ب - نمونه CL-ML، ج - نمونه CH

چسبندگی خاک (c)

اشکال ۶ و ۷ مقدار چسبندگی خاکهای مورد مطالعه را در مقابل تغییرات تراکم نسبی و رطوبت اولیه نمونه‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۷- تغییرات مقدار چسبندگی (kg/cm<sup>2</sup>) خاک در مقابل تغییرات رطوبت، الف - نمونه CL، ب - نمونه CL-ML، ج - نمونه CH

شکل ۶- تغییرات مقدار چسبندگی (kg/cm<sup>2</sup>) خاک در مقابل تغییرات تراکم نسبی الف - نمونه CL، ب - نمونه L-ML، ج - نمونه CH

نمونه‌هایی که در ناحیه خشک رطوبت بهینه متراکم می‌شوند دلیل اینکه دارای ساختمان فلوکوله‌تر نسبت به نمونه‌های متراکم شده در ناحیه‌تر می‌باشند، از خود مقاومت تک محوری بیشتری را نشان می‌دهند. نتایج این تحقیق در این خصوص با نتایج ارائه شده توسط آتوم و همکاران (۵) مطابقت دارد.

اشکال ۸ و ۹ نشان می‌دهند که نمونه‌های بازسازی شده به روش تراکم استاتیکی به دلیل داشتن ساختمان فلوکوله‌تر از آنهایی که به روش تراکم دینامیکی بازسازی شده‌اند همواره مقاومت تک محوری بالاتر دارند هر چند که آزمون  $t$  مستقل دو طرفه هیچ گونه اختلاف معنی‌داری را حتی در سطح ۵ درصد بین دو روش نشان نمی‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر دو روش تراکم آزمایشگاهی دینامیکی و استاتیکی بر روی پارامترهای مقاومت برشی در حالت زهکشی نشده ( $c, \phi$ ) و همچنین مقاومت فشاری تک محوری سه نوع خاک ریزدانه رسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها و مقایسه آماری نتایج نشان داد که روش‌های تراکم مذکور اثر معنی‌داری روی پارامترهای مقاومت برشی و مقاومت فشاری تک محوری ندارند. در حالیکه رطوبت اولیه و درصد تراکم نسبی نمونه‌های بازسازی شده روی مقاومت فشاری تک محوری و پارامترهای مقاومت برشی مؤثر هستند.

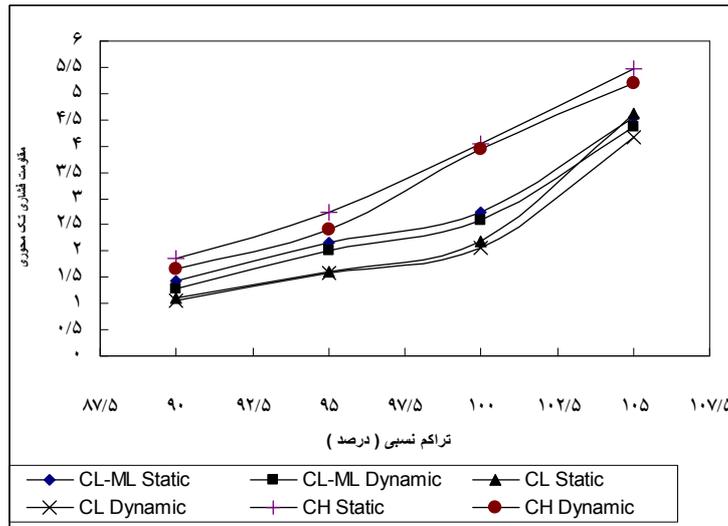
### سیاسگزاری

این مقاله نتیجه بخشی از یک طرح تحقیقاتی است که امکانات اجرایی و اعتبارات مالی آن توسط مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی و معاونت پژوهشی دانشگاه تهران تأمین شده که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی از دو مؤسسه نامبرده اعلام می‌گردد.

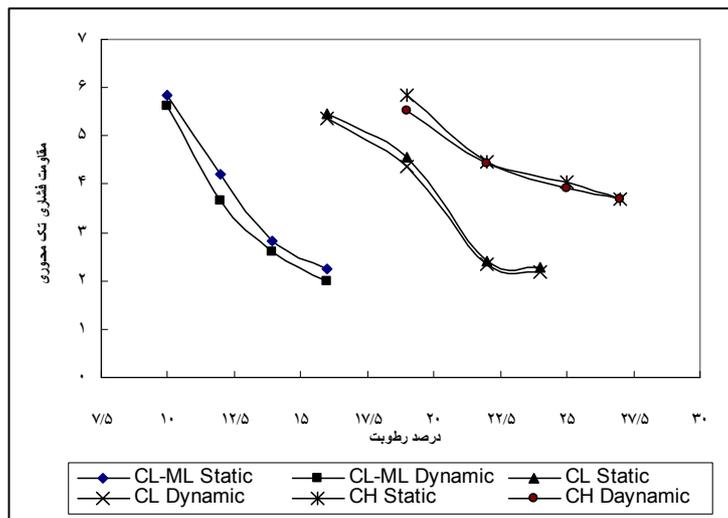
همانگونه که اشکال مذکور نشان می‌دهند، با افزایش تراکم نسبی نمونه‌ها به علت این که تماس ذرات با یکدیگر بیشتر می‌شود چسبندگی خاک افزایش می‌یابد و با افزایش درصد رطوبت نمونه‌ها، مقدار چسبندگی خاک کاهش پیدا می‌کند. کاهش چسبندگی در محدوده رطوبت بهینه مشهودتر است. نتایج آزمون  $t$  مستقل دو طرفه نشان داد که روش تراکم اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر مقدار چسبندگی خاک در تراکم‌های نسبی و رطوبت‌های مختلف ندارد. بنابراین علیرغم اثر روش تراکم بر ساختمان خاک این امر اثر قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای مقاومت برشی ( $c, \phi$ ) ندارد.

### ب- نتایج آزمایش‌های تک محوری

نتایج آزمایش‌های تک محوری بر روی نمونه‌های بازسازی شده با دو روش تراکم و در تراکم‌های نسبی مختلف در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود، برای هر سه نوع خاک صرف‌نظر از خصوصیات فیزیکی آنها با افزایش تراکم نسبی نمونه‌ها، مقاومت تک محوری افزایش می‌یابد. با افزایش تراکم نسبی فضای بین ذرات کاهش یافته و ذرات بیشتر با یکدیگر درگیر می‌شوند بنابراین مقاومت بیشتری قابل انتظار است. از نظر مقایسه نمونه CH نسبت به نمونه CL-ML و این نمونه نسبت به نمونه CL مقاومت بیشتری را نشان می‌دهد. علت این امر آنست که مقاومت برشی خاک در آزمایش تک محوری عمدتاً ناشی از چسبندگی است و لذا خاک‌های با چسبندگی بیشتر مقاومت برشی بیشتری را از خود نشان می‌دهند. شکل (۹) نتایج آزمایش‌های تک محوری انجام شده بر روی نمونه‌های بازسازی شده در رطوبت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود با افزایش رطوبت نمونه‌ها، مقدار مقاومت تک محوری به سرعت کاهش می‌یابد.



شکل ۸- تغییرات مقاومت فشاری تک محوری (kg/cm<sup>2</sup>) در مقابل تراکم نسبی نمونه‌های بازسازی شده با دو روش تراکم



شکل ۹- تغییرات مقاومت فشاری تک محوری (kg/cm<sup>2</sup>) در مقابل رطوبت اولیه نمونه‌های بازسازی شده با دو روش تراکم

### منابع

۱. رحیمی، ح. و باروتکوب، ش. ۱۳۷۴. بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانالهای آبیاری در استان خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران. ۱۷۲ ص.

2. Ahmed, S. L., Lovell, C. W. and Diamond, S. 1974. Pore size and strength of compacted clay. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, 100(GT4): 407-425.
3. American Standard of Testing Material, Standards. 1993. Annual Books, 408. 1486p.
4. Attom, M. F. 1997. The effect of compaction energy level on some engineering properties of soil. Applied Clay Science.12: 61-72.
5. Attom, M. F, Abu – zreig, M. M. and Obaidat, M. T. 2001. Changes in clay swelling and Shear strength properties with different sample preparation techniques. Geotechnical Testing Journal, 24:157–163.
6. Basma, A. A., AL- Homoud, A. S. and AL-Tabari, E. Y.1994. Effects of methods of drying on engineering behavior of clay. Applied Clay Science.9:151 – 164.
7. Bowles, J. E. 1979 .Physical and geotechnical properties of soils. Mac Graw Hill, INC, USA, 478. pp.
8. Holts, R. D., and Kovacs, W. D. 1981. An introduction to geotechnical engineering. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
9. Lambe, T. W. 1958 a .The structure of compacted clay. Journal of the soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 85 (SM2): 1 to 35.
10. Mukeree, S. and satyanarayana. B. 1989. Effect of anisotropy on swelling and swelling pressure. Proceedings 6 th International Conference on Expansive soils, New Delhi, 1-4 December 1987, 1: 445 – 450
11. Prapaharan, S., White. D. and Altsch- acffl, A. 1991. Fabric of fields and laboratory compaction. American Society for Civil Engineering , Journal of the Geotechnical Engineering Division, 117(12): 1934-1940.
12. Punmia, B. C. 1994. Soil mechanics and foundations. Laxmi Publications, New Delhi. 970 p.
13. Seed, H. B., and Chan, C. K. 1959. Structure and strength characteristics of compacted clays. Journal of the soil Mechanics Found action Division ASCE, 85 (SM5): 87-128.
14. Turnbull, W. Y. and Foster, C. R. 1958. Stabilization of material by compaction. Transaction ASCE, 123:1-26.
15. Yoder, E. J. 1959. Principles of pavement design, John Wiley and Sons. New York, 175 p.