

تأثير سرعة القص على مقاومة الذروة و المقاومة

المتبقية للتربة الغضارية

الدكتورة: نجلا الحسن

قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

ملخص البحث

لدراسة توازن المنحدرات والعوامل المختلفة التي تؤثر عليها ، تم بحث التغيير في مقاومة القص (مقاومة الذروة و مقاومة القص المتبقية) لتربة سطح الانزلاق تبعاً للتغير في سرعة القص.

في هذا البحث تم دراسة تأثير سرعة القص على مقاومة القص المتبقية لتربة غضارية متوسطة اللدونة ، وتبين أنه بزيادة السرعة تقل مقاومة القص المتبقية للترب الغضارية المشبعة.

كما تم دراسة تأثير لدونة التربة الغضارية و رطوبة التربة على مقاومة الذروة و مقاومة القص المتبقية ، وتوصلنا إلى أن مقاومة الذروة والمقاومة المتبقية تتناقص بزيادة الرطوبة ولدونة التربة و أن الفرق بين مقاومة الذروة و المقاومة المتبقية يكون أكبر كلما كانت رطوبة التربة منخفضة و لدونة التربة أقل.

تم دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على مقاومة القص المتبقية و تبين نقصان مقاومة القص المتبقية بانخفاض الوزن الحجمي الجاف للتربة .

الكلمات المفتاحية : سرعة القص ، مقاومة الذروة ، المقاومة المتبقية ، رطوبة التربة ، لدونة التربة.

shear velocity effect on peak strength and residual strength of clay soil

Abstract

To study the stability of slopes and the various factors affecting on it , the change in shear strength (peak strength and residual shear strength) of the slip surface soil according to the change in shear velocity was investigated .In this paper ,effect of shear velocity on the residual shear strength of medium-plastic clay soils was studied, and it was found that with increasing speed, the residual shear strength of saturated clay soils decreases .The effect of moisture and plasticity of clay soil on peak and residual shear strength were also studied .We found that peak and residual strength decrease with increasing moisture and soil plasticity .We also found that difference between peak and residual shear strength is greater when the plasticity and moisture of soil are lower. The effect of dry unit weight on the residual shear strength was studied, and it was found that residual shear strength decreased with a decreasing the dry unit weight of the soil.

Key words: shear velocity, peak strength, residual strength, soil moisture, soil plasticity.

1 - مقدمة

يتم وصف مقاومة القص للتربة عن طريق مصطلحين مقاومة الذروة و المقاومة المتبقية . عندما يتم قص عينة من التربة ، يصل إجهاد القص عادةً إلى قيمة الذروة عند إزاحة قص صغيرة يُدعى هذا الإجهاد بمقاومة الذروة ، وعندما تزداد إزاحة القص إلى قيمة كبيرة ، فإن مقاومة ما بعد الذروة تنخفض حتى تصل إلى قيمة أصغرية ثابتة تُدعى بالمقاومة المتبقية.

تُعرّف مقاومة القص المتبقية بأنها المقاومة الأعظمية التي تبديها التربة لإزاحة القص تحت إجهادات ناظرية فعالة معينة. وهي المقاومة المتاحة للانهيارات الأرضية التي خضعت لإزاحات كبيرة عند سطوح الانزلاق .

لا تعتمد مؤشرات مقاومة القص المتبقية على الخصائص الفيزيائية لجزيئات التربة (التركيب المنبرالي ، حجم وشكل الجزيئات ، خصائص اللدونة) فقط ، ولكن أيضاً على كيميائية سوائل المسام (النوع وتركيز الأيونات) ، وكذلك شروط الاختبار (معدل إزاحة القص ، الإجهاد الرأسي الفعال) أي كل من الهيكل الصلب وماء المسام و شروط الاختبار. على الرغم من أن هذه العوامل قد تم البحث فيها بشكل كامل ، إلا أن تأثير معدلات القص على المقاومة المتبقية لاتزال مثيرة للجدل.

يستخدم جهاز القص المباشر لقياس مقاومة القص المتبقية رغم وجود بعض التحفظات عليه ، ومنها إمكانية قص العينة في الاتجاه الأمامي والخلفي فقط ، و تكون الإزاحة الأفقية لعربة القص عادةً أقل من 0.5cm . نتيجة لذلك لا تخضع العينة لقص مستمر حتى حصول تشوه كبير في اتجاه واحد ، وبالتالي قد لا يتم الحصول على اتجاه كامل لجزيئات الغضار يكون موازي لاتجاه القص. مؤخراً تم استخدام جهاز القص الحلقي على نطاق واسع للحصول على مقاومة القص المتبقية للتربة ، والميزة الأساسية لجهاز القص الحلقي هي قدرته على قص العينة بشكل مستمر في اتجاه واحد حتى إزاحة كبيرة تسمح بتوجيه جزيئات الغضار بشكل موازي لاتجاه القص من أجل إنتاج حالة مقاومة القص المتبقية الحقيقية.

أثناء الزلازل أو الأنشطة البركانية تتغير مقاومة التربة الموجود عند مستويات الانزلاق ، ولتحليل استقرار المنحدرات أو الانهيارات الأرضية ينبغي أن يؤخذ هذا الأمر بعين الاعتبار إذ تعتبر المقاومة المتبقية للتربة واحدة من أهم مؤشرات المقاومة لتقييم استقرار منحدر أرضي تم إعادة تنشيطه ، ويعد التقييم الموثوق لقيمتها أمراً ضرورياً في مشاكل الاستقرار والتنبؤ بسلوك الانهيارات الأرضية . وبالتالي ، فإن دراسة تأثير معدل القص على المقاومة المتبقية للتربة يعتبر أمراً مهماً للغاية من وجهة نظر الهندسة الجيوتكنيكية، ويجب بحث تأثير معدل القص لمحاكاة عملية تطوير منطقة الانزلاق بشكل واقعي.

كان تأثير معدلات الإزاحة المتفاوتة على المقاومة المتبقية للترب محوراً للعديد من الأبحاث السابقة التي ركزت بشكل أساسي على تحديد نطاق معدلات الإزاحة التي تظل فيها المقاومة المتبقية غير متأثرة.

تبعاً لـ Skempton [11] تأثير معدل القص الذي يتراوح بين 0.002-0.1 mm/min على المقاومة المتبقية كان لا يذكر في التربة الغضارية ، كذلك وجد Petley [7] أن مقاومة القص المتبقية تزداد بشكل طفيف يمكن تجاهله عند معدل قص يتراوح من 4×10^{-5} إلى 10mm/min وذلك من أجل عينات غضارية تم الحصول عليها من لندن. بين Tika [14] نتيجة سلسلة من التجارب التي أجراها على ترب غضارية لفهم تأثير معدل الإزاحة على سلوك القص أن مقاومة القص تزداد عندما يكون معدل القص عالياً، غير أن مقاومة القص في تجربة القص السريع تنخفض إلى مقاومة قص متبقية يمكن أن تكون أكبر أو تساوي أو أقل من مقاومة القص المتبقية عند القص البطيء ، واقترح Tika ثلاثة أنماط للانهييار (انهيار انزلاقي ، انقالي و مضطرب) و ذلك لشرح السلوك المتباين الذي لوحظ لتأثير معدل الإزاحة.

افترض Tika و Hutchison [14] أن الانهيارات الكارثية التي حدثت في سد Vaiont في إيطاليا كان سببها التأثير السلبي للسرعة ، وأظهرت نتائج الاختبارات التي قاما بها وجود علاقة عكسية بين المقاومة المتبقية ومعدل إزاحة القص ، حيث انخفضت المقاومة المتبقية السريعة إلى حوالي 60% من المقاومة المتبقية البطيئة عندما تجاوز معدل إزاحة القص 100mm/min.

وجد Sassa [9] أن المقاومة تكون مستقلة عن معدل القص من أجل الترب الخشنة . تشير العديد من نتائج الأبحاث [7] [1] إلى ارتباط مقاومة القص المتبقية بمعدل الإزاحة ، مما يدل على أن مقاومة القص المتبقية يمكن أن تزيد (تأثير إيجابي) ، أو تنقص (تأثير سلبي) أو تظل ثابتة (تأثير محايد) مع زيادة معدل إزاحة القص [14] [4] ، إلا أن Skempton [11] أكد أن التغير في المقاومة المتبقية يمكن إهماله عندما يكون معدل إزاحة القص بين 0.002-0.01 mm/min .

أشار Wang [16] إلى أن تأثير السرعة الإيجابي يمكن أن يمنع الانهيارات الأرضية الكارثية ، حتى عندما يكون قد حدث إزاحة قص كبيرة في فترة قصيرة من الزمن ، وهذا لأن تأثير السرعة الإيجابي يزيد من المقاومة المتبقية مع زيادة معدل إزاحة القص ، مما يؤدي إلى زيادة الاستقرار.

ونظراً للدور المهم الذي يلعبه تغير معدل إزاحة القص في تطبيق طرق التجارب المخبرية ونتائج الاختبارات ، فقد تم بحث العلاقة بين معدل إزاحة القص و المقاومة المتبقية للترب على نطاق واسع [14] [4] [12] .

بيّن كل من Lupini [6] ، Skempton [11] و Tika [14] أنه بشكل عام يمكن أن تُظهر مقاومة القص المتبقية ثلاثة تأثيرات محتملة إيجابية ، محايدة ، وسلبية. حيث يؤدي الاختلاف في المحتوى الغضاري وشكل الحبيبات إلى طرق قص مختلفة الأمر الذي يُنتج تأثيرات سرعة مختلفة .

تم افتراض بعض الأسباب لتأثير معدل القص من أجل شرح و تفسير علاقة معدل القص بالمقاومة المتبقية ، إذ يمكن أن يُعزى تأثير معدل القص الإيجابي إلى التغير من وضع الانزلاق إلى وضع القص المضطرب ، تأثير لزوجة القص ، وتحطيم الحبات المدورة Skempton [11] ، Tika [14] ، Lemos [4] ، Carrubba و Colonna [1] . وعلى النقيض يمكن أن يحدث انخفاض في المقاومة المتبقية السريعة نتيجة تأخر تبديد ضغط ماء المسام المتزايد Skempton [11] . مع ذلك ، قد لا يؤثر الضغط المائي المسامي الزائد على مقاومة القص المتبقية عندما يحدث القص بسرعة بطيئة أو في الرمل والرمل السيلتي حسب Wang [16] ، و Saito [8].

أظهرت معظم الدراسات حول تأثير معدل القص أن ضغط الماء المسامي الزائد الذي نشأ في مرحلة القص يؤثر على مقاومة القص غير المصرفة للتراب الغضارية [3] [2]. افترض Casacrande و Wilson [2] أن ضغط ماء المسام المتولد في العينة بمعدل قص منخفض أعلى منه عند معدل قص أعلى . وفقاً لذلك ، التغير في ضغط الماء المسامي المتولد أثناء مرحلة القص يكون مرتبطاً بمقاومة القص غير المصرفة.

فحص Wang [16] و آخرون منطقة القص لعينات تربة الانهيارات اليابانية عن طريق مجهر الليزر والميكروسكوب الإلكتروني الماسح . وكشف فحص البنية المجهرية لمنطقة القص أن التغير من وضع الانزلاق إلى وضع القص المضطرب (من وضع القص الصفائحي إلى الدوراني) يمكن أن يكون سبب الزيادة الملحوظة في مقاومة القص.

أيضاً افترض Lupini [6] أن تأثير السرعة يرجع إلى التغيرات في وضع القص والذي يكون حسب افتراضه صفائحي أو دوراني أو انتقالي وذلك تبعاً للتحليل الحبي واللدونة.

أظهر Tika [14] و آخرون أيضاً أن تأثير معدل القص يتبع وضع القص ، ولاحظوا ثلاثة أنواع من تأثيرات معدل القص ، وهي: المقاومة المتبقية السريعة أعلى من المقاومة المتبقية البطيئة ، المقاومة المتبقية السريعة أقل من المقاومة المتبقية البطيئة والمقاومة المتبقية الثابتة ، و سميت بالتأثير الإيجابي والسلبي والمحايد على التوالي.

تؤدي الزيادة في المسامية (نسبة الفراغات) ، و الزيادة في الحبيبات الناعمة ، والمحتوى المائي في منطقة القص إلى تقليل المقاومة المتبقية السريعة Tika [14] ، Li [5] ، حيث يتم دفع الحبيبات الأكبر خارج منطقة القص Li [5] ، أو يتم سحق الحبيبات ذات الزوايا الحادة.

بيّن Li [5] تبعاً للتجارب التي أجراها على عينات تم جمعها من سطوح انزلاق لانهيارات أرضية وبتطبيق ثلاثة معدلات قص (0.1,1,10 mm/s) أن حدود أتربرخ وحجم الحبات إضافة إلى نسب المواد الناعمة والخشنة جميعها عوامل تؤثر على مقاومة القص المتبقية ، و بيّن أن مقاومة القص المتبقية للترب المدروسة كانت على علاقة عكسية مع دليل اللدونة ونعومة الحبات الأمر الذي يعني أن المقاومة المتبقية تنخفض مع زيادة هذه البارامترات، من ناحية أخرى ، فإن تناسق الحبيبات المحدد باستطالة جزيئات التربة له تأثير إيجابي على المقاومة المتبقية للتربة المدروسة .

يمكن أن يُعزى تأثير السرعة السليبي إلى ظروف الاختبار حيث لاحظ Tika [14] أن تغلغل الماء الحر إلى منطقة القص يمكن أن يسرع من انخفاض مقاومة القص المتبقية.

درس Sassa و Gratchev [3] مقاومة القص لثلاثة أنواع مختلفة من الغضار وبمعدلات إزاحة قص مختلفة و توصلوا إلى أن معدل الإزاحة كان له تأثير كبير على جميع أنواع الغضار المدروسة وبناءً على الاختبارات المنفذة تزداد مقاومة القص قليلاً عندما ينخفض معدل القص وأن زيادة مقاومة القص تعتمد على ضغط التطويق وتكون هذه الزيادة في مقاومة القص مهمة من أجل ضغوط تطويق أكبر من 100 kPa .

أجرى Scaringi و Di Maio [10] سلسلة من اختبارات القص على عدة خلانط من البنتونايت والكاولينيت والرمل تراوح فيها معدل القص بين 0.0001 و 100mm/min و استنتجا أن هناك علاقة إيجابية بين معدل إزاحة القص و المقاومة المتبقية للتربة الغضارية عندما يكون الجزء الغضاري أعلى من 5% ، ومعدل الإزاحة أكبر من 1mm/min ، في حين لم يكن لمعدل الإزاحة تأثير على النتائج عندما تراوح ضمن المجال 0.0001-1mm/min .

أجرى Saito [8] باستخدام جهاز القص الحلقي تجارب مخبرية على الرمل و خلانط الرمل مع الإيليت و خلانط الرمل مع المونتمورلونيت التي تحتوي على ما يصل إلى (c.f=20%) من نسبة الغضار (c.f clay fraction) مع قياس ضغط المسام. وأظهرت النتائج أن مقاومة القص المتبقية للرمل الذي تم استخدامه كانت مستقلة عن سرعة القص ، بما يتوافق مع المعطيات التي قدمها Tika [13] ، في حين أن الخلانط ترتبط بسرعة القص .

أظهر Carrubba و Colonna [1] أن تأثيرات معدل القص تعتمد أيضاً على الإجهاد الناظمي المطبق . و أوضحوا أنه حتى نوع التأثير (إيجابي ، محايد أو سليبي) يمكن أن يعتمد على الإجهاد الناظمي ، و أظهرت العينات التي قاموا بدراستها وهي غضار سيلتي منخفض اللدونة (50% كوارتز ، 30% إيليت ، لا يوجد مونتمورلونيت) أنواع التأثيرات الثلاثة (إيجابية ، محايدة ، سلبية) تحت إجهادات ناظمية مختلفة. في حين

أظهرت العينات اللدنة (25% كوارتز ، 60% إيليت ، 1-2% مونتمولونيت) كلاً من تأثير المعدل الإيجابي والمحايد ، بدون التأثير السلبي.

لاحظ Sassa و Gratchev [3] أيضاً أن تأثير السرعة السلبي يتناقص مع زيادة الإجهاد الناظمي .

من أجل انزلاق موجود مسبقاً ، لا تكون سرعة أو معدل إزاحة القص لكتلة التربة المنزلة ثابتة دائماً حيث يمكن أن يكون معدل إزاحة القص الأولي لكتلة التربة المنهارة بطيء جداً . إلا أنه ، يمكن أن يزيد تدريجياً بعد انهيار المنحدر الأولي تحت إجهاد ناظمي فعال ثابت ، تُعرف هذه الحركة بزحف الحالة المتبقية (زحف ما بعد الذروة) .

أوضح Wang وآخرون [16] ، على أساس نتائج الاختبارات المخبرية ، أن تأثير المعدل الإيجابي الكبير كان من شأنه أن يمنع التسارع الكارثي لنظام الانهيارات الأرضية ، و ربط كل من Hutter و Vuillet [15] تأثير معدل الإزاحة لمختلف الانهيارات الأرضية بإجهادات القص النشطة.

بيّن Suzuki [12] أن المقاومة المتبقية للغضار تزداد خطياً مع زيادة لوغاريتم سرعة إزاحة القص في ظل شروط التصريف الكامل. ولتوضيح تأثير معدل إزاحة القص على المقاومة المتبقية للتربة.

أجرى Suzuki اختبارات قص حلقي بإجهاد تشديد ثابت على عينات من غضار الكاولينيت و أفاد بأن معدل إزاحة القص المتراوح ضمن المجال 0.02-2.0 mm/min أثر بشكل كبير على المقاومة المتبقية.

على الرغم من أن العوامل المتعلقة بتأثير معدل الإزاحة على المقاومة المتبقية قد تم دراستها على نطاق واسع ، إلا أنه لا توجد حتى الآن نظرية ثابتة تصف تأثير معدل الإزاحة على المقاومة المتبقية. قد يكون هذا نتيجة للاختلافات في ظروف الاختبار ، والإجراءات ، وأنواع التربة المستخدمة في الدراسات المختلفة.

2 - هدف البحث

دراسة تأثير لدونة التربة الغضارية ورطوبتها وسرعة القص على مقاومة القص للتربة (مقاومة الذروة والمقاومة المتبقية). حيث تم رصد هذا السلوك عن طريق إجراء تجارب القص المباشر للتربة .

3 - طريقة البحث والنتائج :

تم دراسة أربع أنواع من الترب الغضارية المأخوذة من عدة مواقع (عقرب ، غرب طريق الشام ، معمل إسمنت حماه ، محرده) ، و روعي عند اختيار هذه الترب اختلافها من حيث خواص اللدونة. تم تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة وفق نظام (ASTM) ، و يبين الجدول (1) موقع الترب المدروسة وخصائص هذه الترب .

الجدول (1) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب المدروسة وفق نظام (ASTM)

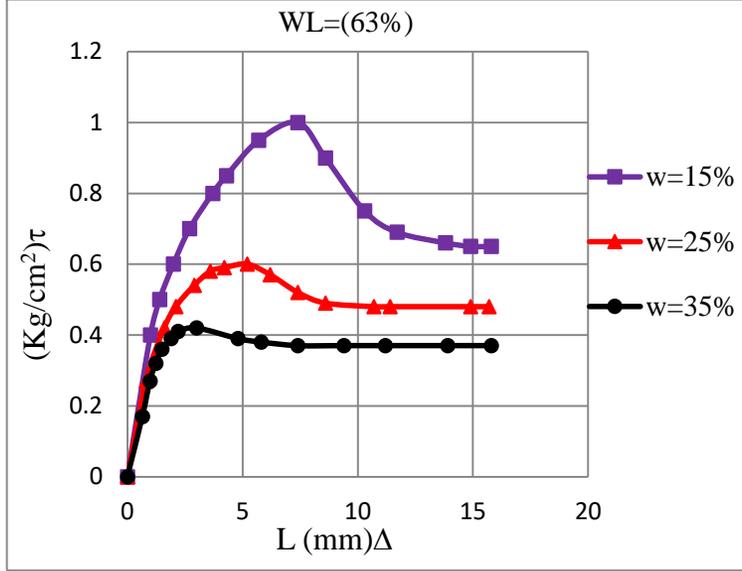
تأثير سرعة القص على مقاومة الذروة و المقاومة المتبقية للتربة الغضارية

| محددة | معمل اسمنت حمام | غرب طريق دمشق | عقرب | موقع أخذ العينة |
|-------|--------------------|---------------------|------|---|
| 27.2 | 22.6 | 17.8 | 13.5 | محتوى الرطوبة $\omega\%$ |
| 1.98 | 1.92 | 1.84 | 1.76 | الوزن الحجمي الرطب γ_b gr/cm ³ |
| 1.55 | 1.56 | 1.56 | 1.55 | الوزن الحجمي الجاف γ_d gr/cm ³ |
| 2.80 | 2.76 | 2.72 | 2.65 | الوزن النوعي G |
| 96 | 82 | 63 | 41 | حد السيولة WL% |
| 45 | 40 | 39 | 25 | حد اللدونة WP% |
| 51 | 42 | 24 | 16 | دليل اللدونة IP % |
| CH | CH | CL | CL | التصنيف حسب (ASTM) |

4 - تحليل النتائج

4 - 1 - دراسة تأثير الرطوبة على مقاومة القص المتبقية و مقاومة الذروة

لدراسة تأثير رطوبة التربة على مقاومة القص المتبقية τ_r و مقاومة الذروة τ_p ، أجريت تجارب القص المباشر على التربة الغضارية المأخوذة من غرب طريق دمشق والتي حد سيولتها ($WL=63\%$) ، وتم إجراء تجارب القص على عينات سليمة و من أجل رطوبات مختلفة ($\omega=15,25,35\%$) ، و تحت إجهاد ناظمي ثابت ($\sigma_n=2Kg/cm^2$) وكانت النتائج كما هو مبين في الشكل (1).



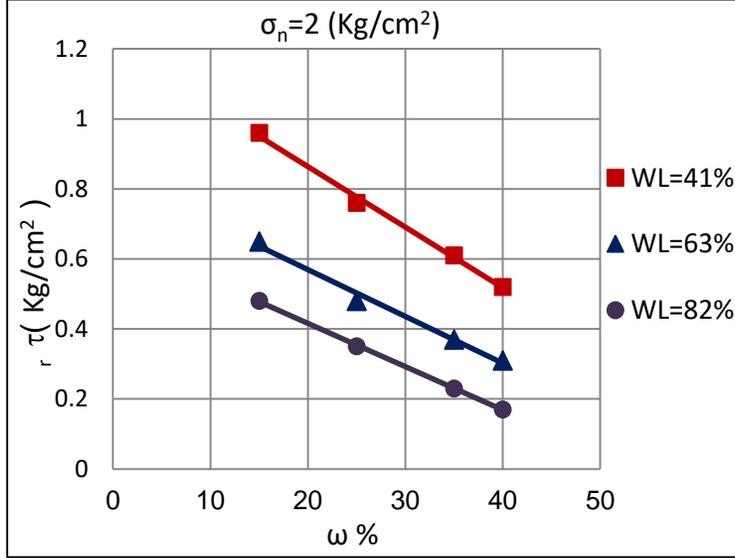
الشكل (1) تأثير الرطوبة على مقاومة القص

تم دراسة تغير مقاومة القص المتبقية τ_r على ثلاث أنواع من التربة و التي حد سيولتها (WL = 41 , 63 , 82%) ، حيث تم تحضير أربع عينات سليمة من كل تربة ، كل عينة توافق رطوبة معينة من الرطوبات ($\omega = 15 , 25 , 35 , 40\%$) ، و وسطي الوزن الحجمي الجاف مقداره تقريباً ($\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$) ، وكانت قيم مقاومات القص المتبقية τ_r للعينات المجربة كما هو مبين في الجدول (2).

الجدول (2) مقاومات القص المتبقية

| 40 | 35 | 25 | 15 | ω/WL |
|------|------|------|------|-------------|
| 0.52 | 0.61 | 0.76 | 0.96 | 41 |
| 0.31 | 0.37 | 0.48 | 0.65 | 63 |
| 0.17 | 0.23 | 0.35 | 0.48 | 82 |

و تجدر الإشارة إلى أن جميع العينات تم قصها تحت تأثير إجهاد ناظمي ثابت مقداره ($\sigma_n = 2 \text{ Kg/cm}^2$) ، وبسرعة قص ثابتة مقدارها ($V = 0.5 \text{ mm/min}$) ، والشكل (2) يبين النتائج التي حصلنا عليها.

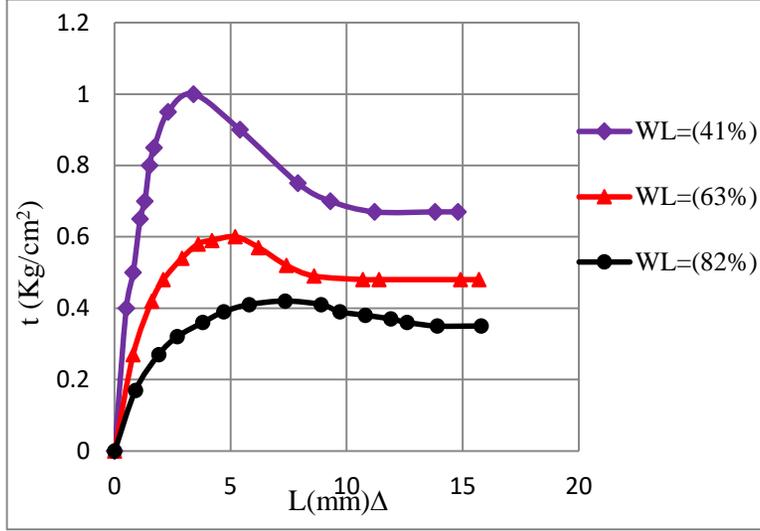


الشكل (2) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً للرطوبة

يلاحظ من الشكل (1) تناقص كل من مقاومة الذروة τ_p ومقاومة القص المتبقية τ_r كلما ازدادت رطوبة التربة ، كما يلاحظ زيادة الفارق بين مقاومة الذروة τ_p ومقاومة القص المتبقية τ_r كلما قلت رطوبة التربة . كما يوضح الشكل (2) تناقص مقاومة القص المتبقية τ_r للترب الثلاثة مع زيادة رطوبة التربة ، ويعزى انخفاض مقاومة القص الأعظمية والمتبقية بزيادة الرطوبة ، لانخفاض مقاومة القص للزج C_v حيث تزداد قيمة التماسك اللزج بانخفاض الرطوبة و كلما كانت القشرة المائية الغروية أرق كانت الروابط (الغروية - المائية) أقوى ، إذ بنقصان سماكة القشرة المائية يزداد الجذب الذري للماء المتصل وتزداد قدرة العناصر على التلاصق.

4 - 2 - دراسة تأثير لدونة التربة على مقاومة القص المتبقية و مقاومة الذروة

لمعرفة تأثير لدونة التربة على مقاومة القص للتربة تم إجراء تجارب القص المباشر على ثلاث أنواع من الترب الغضارية المتباينة في درجة لدونتها ، و روعي أن تكون رطوبة عينات التربة ثابتة $\omega=25\%$. تم قص العينات تحت إجهاد ناظمي ($\sigma_n= 0.5\text{Kg/cm}^2$) وبسرعة قص ($V=0.5 \text{ mm/min}$) وكانت النتائج كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) تأثير لدونة التربة على مقاومة القص

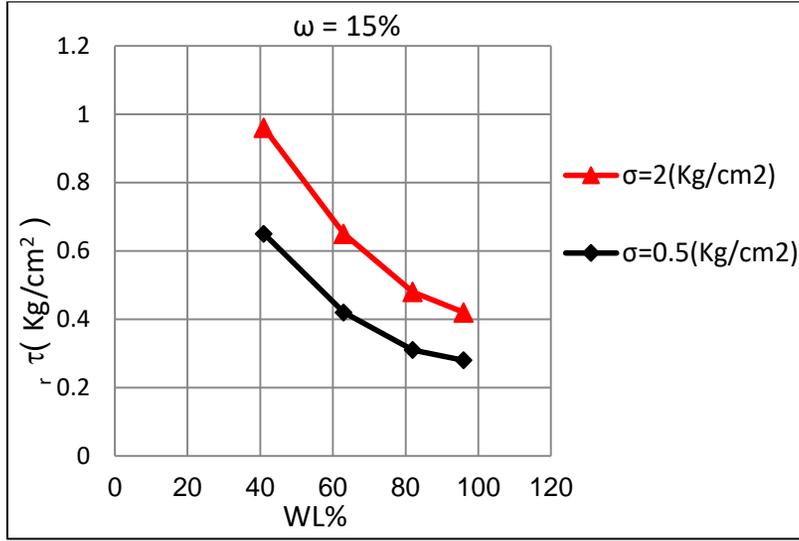
ويتضح من النتائج نقصان كل من مقاومة القص المتبقية τ_r ومقاومة الذروة τ_p مع زيادة لدونة التربة ، و زيادة الفارق بين مقاومة القص المتبقية τ_r ومقاومة الذروة τ_p مع نقصان لدونة التربة.

لمعرفة تأثير خصائص اللدونة على مقاومة القص المتبقية تم إجراء تجارب القص المباشر على عينات سليمة أخذت من الترب الأربعة (WL= 41 , 63 , 82 , 96%) من كل نوع من أنواع الترب تم قص أربع عينات ، عينتين برطوبة (ω=15%) وعينتين برطوبة (ω=25%) ، وتم قص العينات تحت إجهادين ثابتين (σ_n= 0.5Kg/cm²) و(σ_n= 2Kg/cm²) وسرعة قص ثابتة (V=0.5mm/min) ، وكانت قيم مقاومة القص المتبقية لهذه العينات كما في الجدول (3).

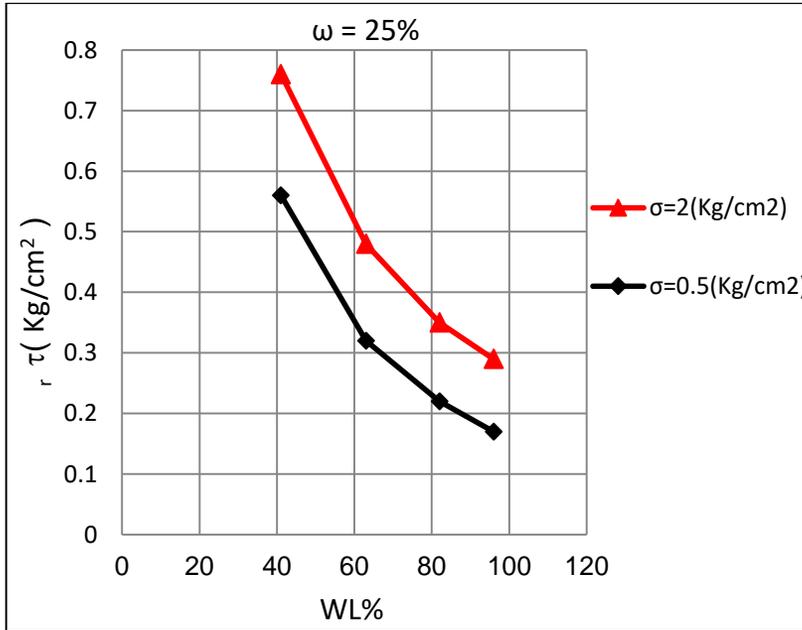
الجدول (3) قيم مقاومة القص المتبقية للعينات

| 96 | 82 | 63 | 41 | WL/σ _n | |
|------|------|------|------|-------------------|-------|
| | | | | 0.5 | ω=15% |
| 0.28 | 0.31 | 0.42 | 0.65 | 2 | ω=25% |
| 0.42 | 0.48 | 0.65 | 0.95 | 0.5 | |
| 0.17 | 0.22 | 0.32 | 0.56 | 2 | ω=25% |
| 0.29 | 0.35 | 0.48 | 0.76 | 0.5 | |

و يوضح الشكلان (4) و(5) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً لللدونة التربة و يظهر من النتائج أن مقاومة القص المتبقية تنخفض كلما زادت لدونة التربة .



الشكل (4) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً للدونة التربة من أجل رطوبة ($\omega=15\%$)



الشكل (5) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً للدونة التربة من أجل رطوبة ($\omega=25\%$)

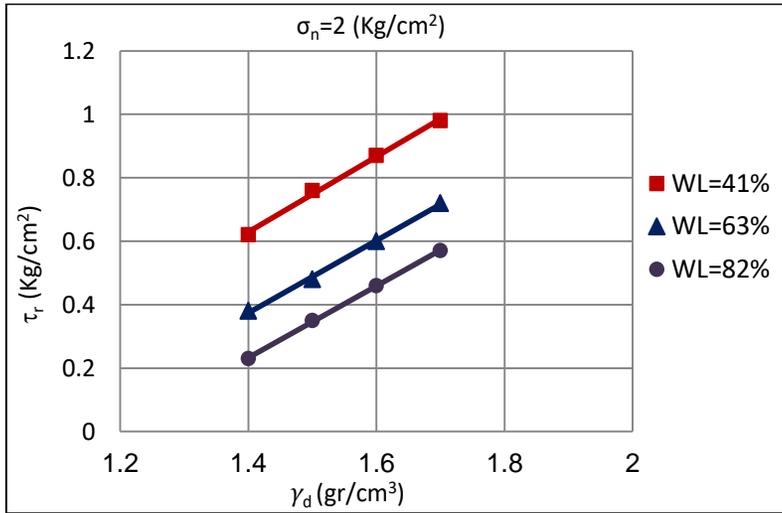
4 - 3 - دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف للتربة على مقاومة القص المتبقية

لتوضيح تأثير الوزن الحجمي الجاف للتربة على مقاومة القص المتبقية تم تشكيل أربع عينات من كل نوع من أنواع الترب ذات حد السيولة ($WL=41,63,82\%$) ، برطوبة توافق ($\omega=25\%$) لكل العينات ، و بوزن حجمي جاف ($\gamma_d=1.4, 1.5, 1.6, 1.7$) ، وتم قص جميع العينات تحت إجهاد ناظمي ($\sigma_n=2\text{Kg/cm}^2$) وبسرعة (gr/cm^3) ،

قص ثابتة ($V=0.5 \text{ mm/min}$) ، وكانت قيم مقاومة القص المتبقية لهذه العينات كما هي موضحة في الجدول (4) و الشكل (6). و يبدو من النتائج أن مقاومة القص المتبقية تزداد مع زيادة الوزن الحجمي للتربة وذلك من أجل كل أنواع الترب الغضارية المدروسة ، و يُعزى السبب في ارتفاع مقاومة القص المتبقية لزيادة سطح تماس الذرات بزيادة الوزن الحجمي مما يؤدي لزيادة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

الجدول (4) قيم مقاومة القص المتبقية تبعاً للوزن الحجمي الجاف للترب

| γ_d / WL | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 |
|------------------------|------|------|------|------|
| 41 | 0.62 | 0.76 | 0.87 | 0.98 |
| 63 | 0.38 | 0.48 | 0.60 | 0.72 |
| 82 | 0.23 | 0.35 | 0.46 | 0.57 |



الشكل (6) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً للوزن الحجمي الجاف للتربة

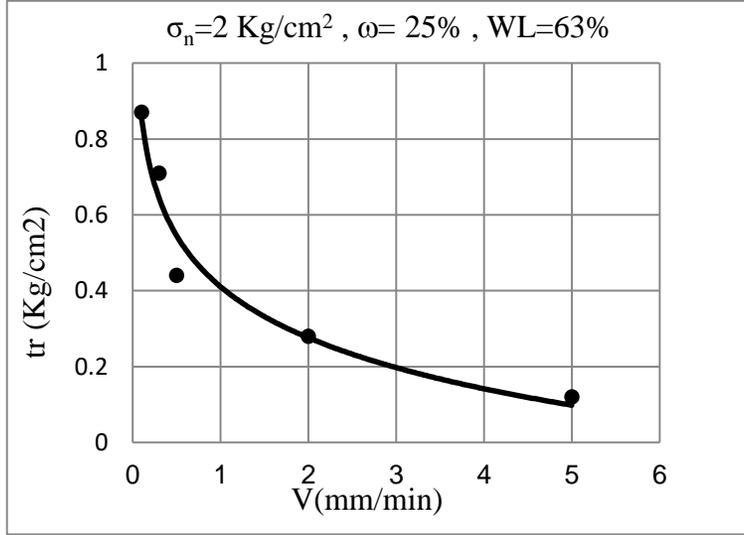
4 - 4 - دراسة تأثير سرعة القص على المقاومة المتبقية

لتوضيح تأثير سرعة القص على المقاومة المتبقية تم تحضير أربع عينات سليمة من التربة المأخوذة من غرب طريق دمشق ($WL= 63\%$) وتم اشباع التربة بالماء ومن ثم قصت العينات بسرعات قص مختلفة قيمها ($V= 0.1 , 0.3 , 0.5 , 2 , 5 \text{ mm/min}$) وتحت إجهاد ناظمي ثابت ($\sigma_n= 2\text{Kg/cm}^2$) وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول (5) و الشكل (7) . حيث يبدو بوضوح أن مقاومة القص المتبقية تنخفض مع زيادة سرعة القص .

تأثير سرعة القص على مقاومة الذروة و المقاومة المتبقية للتربة الغضارية

الجدول (5) قيم مقاومة القص المتبقية من أجل سرع قص مختلفة

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|-----------|
| 5 | 2 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | V(mm/min) |
| 0.12 | 0.28 | 0.44 | 0.71 | 0.87 | τ_r |



الشكل (7) تغير مقاومة القص المتبقية تبعاً لسرعة القص

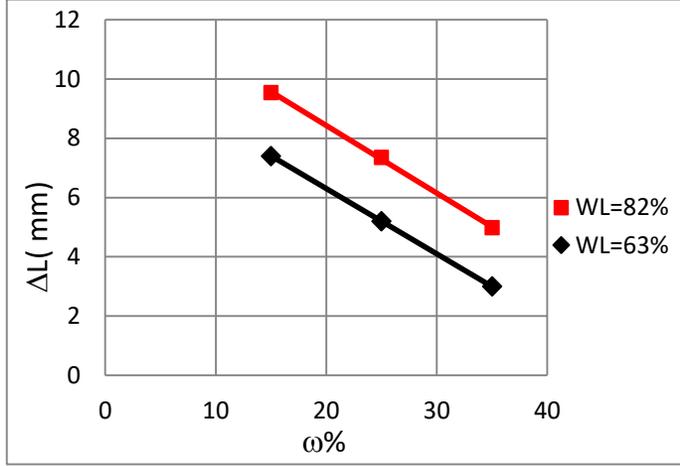
ويفسر انخفاض مقاومة القص المتبقية بسبب زيادة ضغط ماء المسام داخل منطقة قص العينات قرب سطح القص .

4-5-دراسة تأثير رطوبة التربة على قيمة الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية

تم إجراء تجارب دراسة تأثير رطوبة التربة على مقدار الإزاحة ΔL الموافقة لمقاومة القص الأعظمية (مقاومة الذروة) على عينات من نوعين من الترب الغضارية ذات حد السيولة (82% , 63 WL) برطوبات أولية مختلفة قيمها (15 , 25 , 35% ω) ، وتم قص العينات تحت إجهاد ناظمي ثابت مقداره ($\sigma_n = 2 \text{Kg/cm}^2$) وبسرعة قص ثابتة قيمتها ($V = 0.5 \text{mm/min}$) . وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (6) و الشكل (8) . ويلاحظ من النتائج أن الإزاحة ΔL تتناقص مع زيادة الرطوبة .

الجدول (6) قيم الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية

| | | | |
|------|------|------|----------------------|
| 35 | 25 | 15 | ω / WL |
| 3 | 5.2 | 7.4 | 63 |
| 4.98 | 7.35 | 9.54 | 82 |



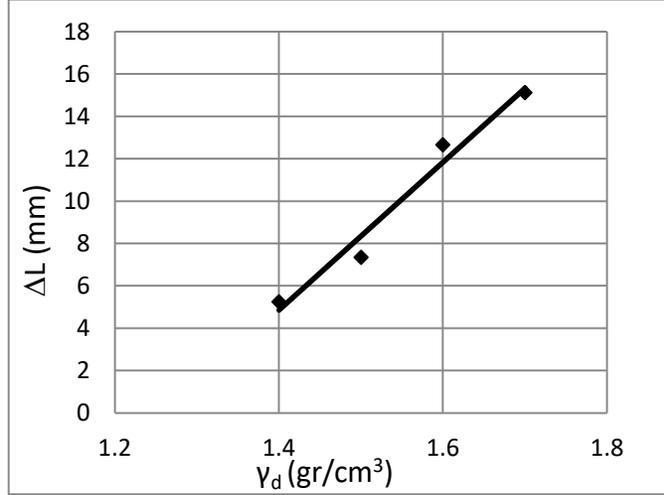
الشكل (8) تغير قيم الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية مع تغير الرطوبة
4-6- دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية

تم إجراء تجارب القص على التربة الغضارية ذات حد السيولة ($WL=82\%$) ، حيث تم تشكيل أربع عينات من التربة بأوزان حجمية جافة مختلفة قيمها كالتالي (، $\gamma_d= 1.4$ ، 1.5 ، 1.6 ، 1.7 gr/cm^3) و برطوبة أولية ثابتة لجميع العينات ($\omega=25\%$) ، وتم قص العينات تحت إجهاد ناظمي ثابت مقداره ($\sigma_n= 2\text{Kg/cm}^2$) وبسرعة قص ثابتة قيمتها ($V= 0.5\text{mm/min}$) ، وتم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول (7) والشكل (9) .

ويلاحظ من النتائج أن مقدار الإزاحة ΔL يزداد مع ازدياد الوزن الحجمي الجاف للتربة

الجدول (7) قيم الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية (مقاومة قص الذروة)

| γ_d (gr/cm^3) | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 |
|---------------------------------|------|------|-------|-------|
| ΔL (mm) | 5.24 | 7.35 | 12.65 | 15.12 |



الشكل (9) تغير قيم الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية مع تغير الوزن الحجمي الجاف

5 - نتائج البحث

- 1 - زيادة رطوبة التربة تؤثر سلباً على مقاومة الذروة ومقاومة القص المتبقية حيث تنقص مقاومة الذروة ومقاومة القص المتبقية بزيادة رطوبة التربة.
- 2 - زيادة سرعة القص تؤدي إلى انخفاض في مقاومة القص المتبقية للتربة الغضارية المشبعة.
- 3 - تنخفض مقاومة القص الأعظمية و المتبقية للتربة بزيادة لدونة التربة.
- 4 - كلما ازدادت قيمة الوزن الحجمي الجاف للتربة تزداد قيمة مقاومة القص المتبقية وتزداد قيمة الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية.
- 5 - تؤثر رطوبة التربة على قيمة الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية ، وكلما ازدادت رطوبة التربة قلت قيمة الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية.

References

- [1] Carrubba P, Colonna P. Monotonic fast residual strength of clay soils. Ital Geotech J 2006;40(3):32-51.
- [2] Casacrande , A . & Wilson,S.(1951). Effct of rate of loading on the strength of clays and shales at constant water content. Géotechnique, 2(3), 251–263.
- [3] Gratchev I, Sassa K. Shear strength of clay at different shear rates. J Geotech Geoenviron Eng 2015;141(5):06015002-1-3.
- [4] Lemos,L.J.L.,2003.Shear behavior of pre-existing shear zones under fast loading – insights on the landslide motion. Proceedings International Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flow-like Landslides in Natural Slopes and Earth Fills, pp. 229–236.

- [5] Li, D. Yin, K., Glade, T., Leo, C., 2017. Effect of over-consolidation and shear rate on the residual strength of soils of silty sand in the Three Gorges Reservoir. Sci. Rep. 7, 1–11.
- [6] Lupini, J.F., Skinner, A.E., Vaughan, P.G., 1981. The drained residual strength of cohesive soils. Geotechnique 31 (2), 181–213.
- [7] Petley, D.J. The shear strength of soils at large strains. PhD thesis, University of London, 1966.
- [8] Saito, R., Fukuoka, H., Sassa, K., 2006. Experimental study on the rate effect on the shear strength. Disaster Mitigat. Debris Flows Slope Fail. Landslides, 421–427.
- [9] Sassa, K. (1985) “The mechanism of debris flow”, Proc. 11th I.C.S.M.F.E., San Francisco, Vol. 3, 1173-1176.
- [10] Scaringi, G., & Di Maio, C. (2016). Influence of displacement rate on residual shear strength of clays. Procedia Earth and Planetary Science, 16, 137–145.
- [11] Skempton AW. Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. Géotechnique, Vol.35(1), pp.3-18, 1985.
- [12] Suzuki, M., Umezaki, T., Kawakami, H. and Yamamoto, T. (2000): Residual strength of soil by direct shear test, Journal of Geotechnical Engineering, Japan Society of Civil Engineers, No. 645/III-50, pp.37-50 (in Japanese).
- [13] Tika TE, Vaughan PR, Lemos LJJ. Fast shearing of pre-existing shear zones in soil. Géotechnique, Vol 46(2), pp. 197-233, 1966
- [14] Tika, T.E., Hutchison, J.N., 1999. Ring shear tests on soil from the Vaiont landslide slip surface. Geotechnique 49 (1), 59–74.
- [15] Vuillet L, Hutter K. Viscous - type sliding laws for landslides. Can Geotech J 1988; 25(3):467-477.
- [16] Wang, G., Suemine, A., Schulz, W.H., 2010. Shear rate displacement strength control on the dynamics of rainfall-triggered landslides, Tokushima Prefecture, Japan. Earth Surf. Process Landforms 35 (4), 407–416.

