مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

العوامل المؤثرة في مقاومة القص المتبقية في الترب السيلتية

الدكتور منذر عمران *

(تاريخ الإيداع 27 / 2 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/5/18)

□ الملخّص □

تعد مقاومة القص المتبقية معيارا هاما من المعايير المطلوبة التي على أساسها يتم تقييم توازن المنحدرات ومقاومة التربة وسلوكها، وقد ركز هذا البحث على دراسة مجموعة من العوامل التي تؤثر سواء على قيمة مقاومة القص المتبقية أو على زاوية الاحتكاك المتبقية للترب السيلتية القابلة للانزلاق، وذلك اعتمادا على نتائج عدد كبير من التجارب المخبرية التي أجريت على أنواع مختلفة من تربة السيلت بحالات إشباع وتحميل مختلفة .

يمكن الاستنتاج وفقاً لنتائج التجارب والاختبارات التي أجريت على حالات متنوعة من العينات السيلتية أن ثمة كثيراً من المؤثرات والعوامل تؤثر بشكل واضح على قيمة مقاومة القص المتبقية في السيلت منها قيم الحمولات الناظمية ودرجة الإشباع والتحميل المسبق وتشوه القص وخشونة محتوى التربة من الحبيبات الرملية.

كلمات مفتاحية : السيلت – درجة الإشباع – زاوية الاحتكاك المتبقية – مقاومة القص.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

Factors Affecting the Residual Shear Resistance in Silting Soils

Dr. Mounzer Omran*

(Received 27 / 2 / 2008. Accepted 18 / 5 / 2008)

□ ABSTRACT □

The residual shear resistance is usually used as a criterion on which the issues of slope stability, soil resistance and behavior are evaluated. This research concentrates on the study of a group of factors affecting the residual shear force or residual shear angle for silting soils prone to sliding, taking into account the results of a great number of laboratory tests of different types of silt in different situations of saturation and loading. According to the results of tests conducted on samples of silt in different situations, tt can be concluded, that there are many effects and factors that affect the value of the residual shear resistance of silt, such as the value of applied normal pressure, the degree of saturation, pre-loading, shear displacement, and roughness of the soil content of grains of sand.

Keywords: Silt, Degree of Saturation, Residual Shear Angle, Shear Resistance.

*Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن مقاومة القص في التربة الناعمة ولاسيما السيلتية المشبعة جزئياً لاتزال تعتبر من المسائل الصعبة في ميكانيك التربة التي لم تحل بعد بشكل مرض، ورغم أن مانشره TERZAGHI [1] منذ أكثر من نصف قرن حول تزايد وتناقص الضغط المائي المسامي بدلالة الزمن، والتمييز بين مفهومي الإجهاد الكلي والإجهاد الفعال يمثل اختراقا مهما في هذا المجال، إلا أن كثيراً من المسائل المتعلقة بمقاومة القص في التربة السيلتية تحتاج إلى تعميق الدراسة فيها .

تمثل مقاومة القص كما هو معروف بخط انهيار كولومب مع بارامترات القص المعروفة c, φ وقد ثبت عمليا أن زاوية خط الانهيار مع المحور الأفقي لاتمثل بدقة زاوية الاحتكاك الداخلي الحقيقية في التربة الناعمة وفقا لما أثبته Tiedemann من قبل، وبما أن العينة الترابية المشددة تشديدا طبيعيا تكتسب مقاومة ذاتية فان مقاومة القص المتناسبة مع الحمولة تتألف من قسم تماسكي يتعلق بنسبة الفراغ في التربة e وقسم احتكاكي يتعلق بزاوية الاحتكاك الفعلية للتربة وهذا مايمكن تحديده بتجارب القص على عينات من التربة مشددة تشديدا طبيعيا وعلى عينات من نفس نوع التربة ولكنها قوية التشديد أو فوق مشددة .

اتجهت الدراسات فيما بعد إلى إيجاد نقطتي انهيار في مخطط القص لهما نفس نسبة الفراغ e ولكن إحداهما لعينة مشددة تشديدا طبيعا والأخرى لعينة فوق مشددة بحيث يكون المستقيم الواصل بينهما مائلاً على الأفق بزاوية الاحتكاك الداخلي الفعلية للتربة، ولكن العديد من التجارب التي أجريت على أجهزة القص الحلقية بينت محدودية هذه الطريقة .

قام BOROWICKA [2] فيما بعد بإجراء كثير من تجارب القص المباشر البطيء مع الإبقاء على نسبة فراغ ثابتة، وبينت النتائج باستخدام فرضية Tiedeman إن التماسك ينبغي أن يكون معدوما في التربة المشددة تشديدا طبيعيا وبالتالي فان زاوية الاحتكاك الداخلي سوف تكون هي نفس زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المشددة حديثاً .

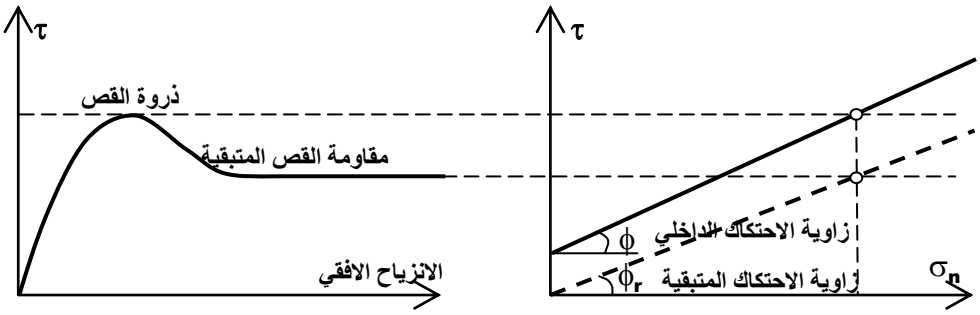
إنَّ تماسك التربة الناعمة ليس قيمة ثابتة تتعلق فقط بنسبة الفراغ، فهو يستثار بفعل قوى التماس في أماكن تلاقي الحبيبات مع بعضها والتي تقل كلما زاد الاقتراب من حالة الانهيار حيث تبدأ الحبيبات بالتحرك والتراكب فوق بعضها البعض، وبالتالي لايمكن اعتباره ثابتا من ثوابت التربة بل قيمة تتعلق بالوضع الراهن للتربة وبالتشوهات المفترضة [3] .

إن تغيرات متانة التربة المتماسكة مع الزمن أكبر مما افترضته حتى الآن فرضيات القص السابقة وان وضع تصور عن تبدل الضغط الداخلي ضمن هيكل الحبيبات بدلالة الزمن والموضع هو أكثر واقعية ودقة .

إن تعليل سبب مقاومة القص الكبيرة للتربة المتماسكة فوق المشددة التي يتم قصها تحت ضغط ثابت يكمن في أن الضغط الداخلي الناجم عن التشديد المسبق في بداية التجربة لايتناقص إلى الصفر عند الوصول إلى مقاومة الاحتكاك لأن قيمة تشوه القص قليلة .

في المرحلة الأولى من قص التربة المتماسكة تتشكل سطوح زلقة يعزى سببها إلى أن صفيحات التربة أو حبيباتها تترتب في اتجاه معين، وفوق هذه السطوح ينخفض معامل الاحتكاك إلى جزء من قيمته الأصلية لذلك توصف هذه التربة عموما بأنها خطرة على الانزلاق .

بعد الوصول إلى ذروة القص يلاحظ حدوث انخفاض في قيمة المقاومة ويستمر الانزياح تحت قيمة ثابتة لإجهاد القص تعرف باسم **مقاومة القص المتبقية** . شكل (1)، وان الخط الواصل بين قيم المقاومات المتبقية يميل عن محور الإجهاد الناظمي بزاوية تسمى زاوية الاحتكاك المتبقية ϕr وتشير أغلب الدراسات المجراة إلى أن هذا الخط يمر بتقريب مقبول من مبدأ الإحداثيات [4] وان زاوية الاحتكاك المتبقية تختلف قيمتها عن قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ .



الشكل 1 : مفهوم مقاومة القص المتبقية وزاوية الاحتكاك المتبقية

أهمية البحث وأهدافه:

يسعى هذا البحث إلى دراسة المؤثرات التي تتحكم في قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية أو مقاومة القص المتبقية في الأتربة السيلتية لما لها من أهمية معروفة في تحليل أسباب الانزلاقات، ودراسة المسائل الجيوتكنيكية المختلفة وعلى الأخص منها توازن المنحدرات، وفي العينات المشددة تشديدا طبيعيا تعتبر قيمتا زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ عند إجراء القص لأول مرة، وزاوية الاحتكاك المتبقية ϕ_r قيمتين مميزتين للترب المتجانسة ويجب التعامل معهما باعتبارهما معيارين يتم الانطلاق منهما، وان معرفة هاتين القيمتين تسمح باستنباط استنتاجات مهمة عن سلوك التربة في الطبيعة .

وقد هدف البحث إلى دراسة المؤثرات التالية على سلوك الترب السيلتية الناعمة :

- **تأثير تغير قيم الحمولات الناظمية المطبقة .**
- **تأثير درجة الإشباع .**
- **تأثير التحميل المسبق على مقاومة القص .**
- **تأثير قيمة تشوه القص .**
- **تأثير إبعاد حبيبات محتوى التربة من الرمل .**

مواد البحث وطرائقه:

من اجل إيجاد قيمتي :

- **زاوية الاحتكاك الداخلي، و**
- **زاوية الاحتكاك المتبقية**

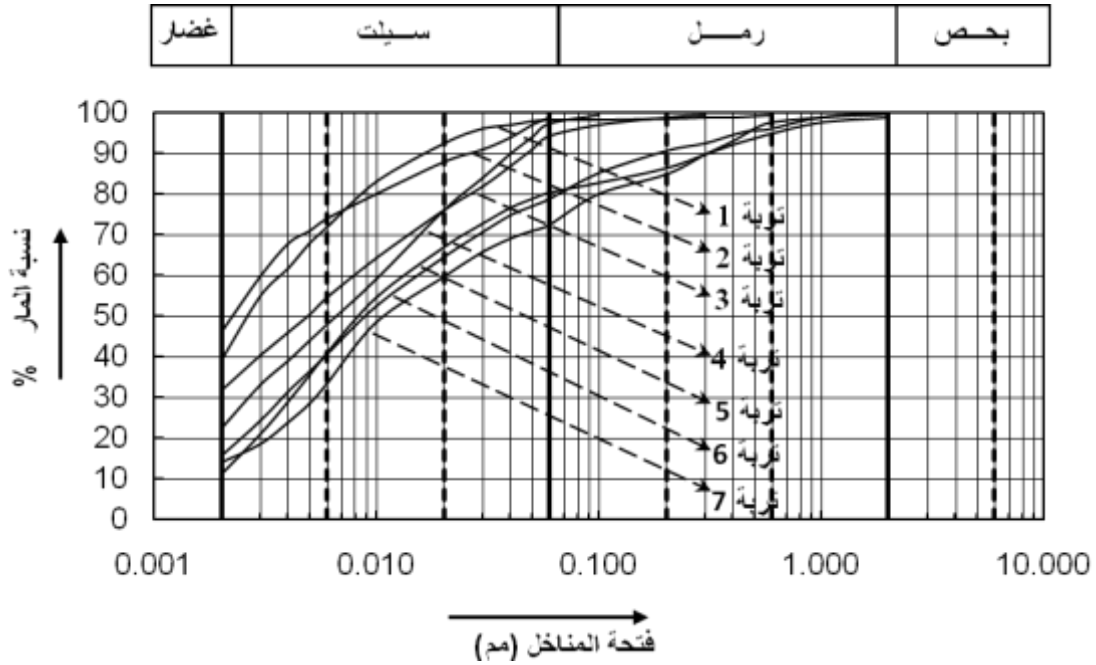
باستخدام تجربة القص المباشر على الترب المجربة، فقد اتبعت الطريقة التالية في الحصول على هاتين القيمتين :

♦ توضع في علبة القص عينة **متجانسة مشبعة وتشدد** بحمولة ناظمية يمكن أن تصل غالباً إلى $50,0N/cm^2$، ثم يجري قص العينة ببطء تحت نسبة فراغ ثابتة (حجم ثابت) حتى حدوث الانهيار، ويمكن الحصول من هذه التجربة على زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ.

♦ تزال بعد ذلك حمولة القص الموافقة لنسبة الفراغ الثابتة، ويعاد قص العينة بسرعة تحت الحمولة الناظمية نفسها ويحصل في النهاية على زاوية الاحتكاك المتبقية ϕ_r.

وقد أُجري عدد كبير من تجارب القص المباشر وفق الطريقة المبينة أعلاه من أجل دراسة المؤثرات المذكورة في الفقرة السابقة كلا على حدة وفق ماسوف نوضحه في سياق البحث، كما درست أنواع عديدة من الترب السيلتية والسيلتية الغضارية يمكن حصرها في مجموعتين رئيستين :

أ) **المجموعة الأولى :** (الترب 1,2,3,4) في الشكل (2)، وهي ترب سيلتية فيها نسبة المار عبر المنخل 200 أكبر من 95%، بينما تتراوح نسبة الغضاريات فيها بين 25% و 48%، ونسبة الرمال فيها قليلة أو معدومة وفق مايبينه التوزع الحبي .



الشكل 2 : التحليل الحبي المنخلي وبالمكثاف للترب المجربة

ب) **المجموعة الثانية :** (الترب 5,6,7) في الشكل (2)، وهي ترب سيلتية فيها نسبة الغضاريات بين10−20% ونسبة الرمل تتراوح بين 20 – 30% .

تغير قيم الحمولات الناظمية المطبقة:

حملت عينات من التربة بحمولات ناظمية متنوعة، وأجريت عليها تجربة القص من أجل معرفة :

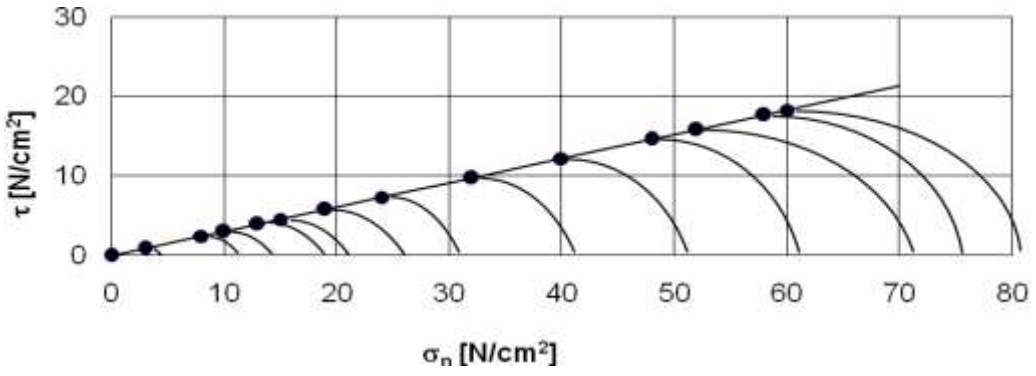
1) – تحت أية حمولة ناظمية يبدأ سطح الانزلاق بالتشكل .

2) – كيف تؤثر قيمة الحمولة الناظمية عند إعادة القص على تحديد القيمة الدنيا لمقاومة القص المتبقية.

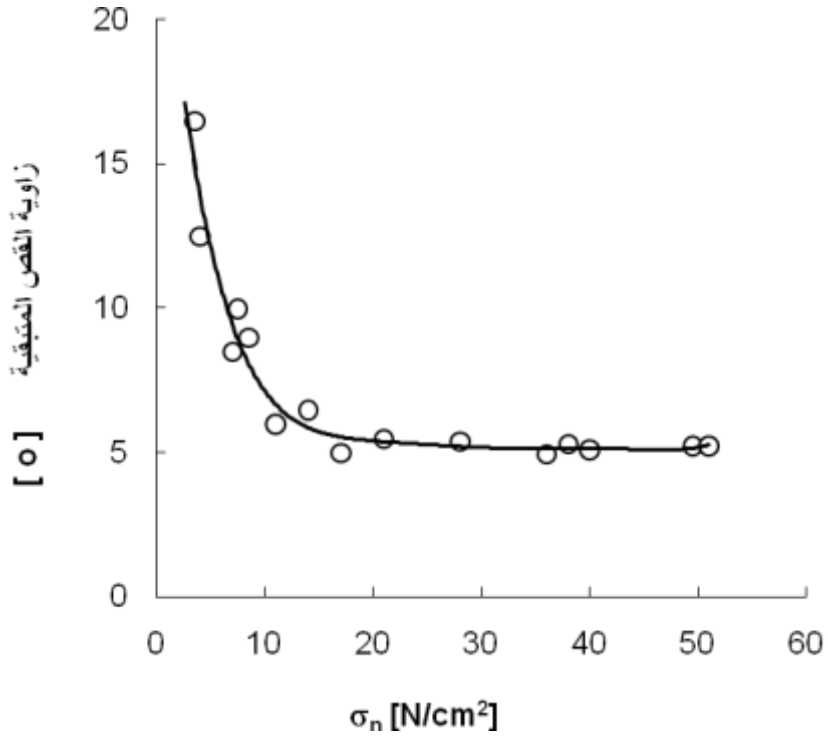
وقد اعتمدنا الأسلوب التالي لإجراء القص :

a) أجريت حزمة من تجارب القص المباشر على تربة المجموعة الأولى تحت حمولات ناظمية متنوعة، ويبين الشكل (3) تغير دوائر مور مع تغير الحمولات الناظمية، ثم حددت في كل مرة قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية، وقد تبين أن تغير زاوية الاحتكاك المتبقية مع الإجهادات الناظمية المطبقة يأخذ المنحى المبين على الشكل (4) حيث تنخفض قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية بشكل حاد في البداية ثم تثبت تقريبا عند قيمتها الدنيا ابتداء من إجهاد ناظمي بقيمة $20,0\ N/cm^2$.

b) شددت عينات التربة تحت إجهادات ناظمية مختلفة، ثم تم قطعها في مستوى القص وحددت مقاومة القص المتبقية بعد متابعة القص السريع تحت نفس الإجهادات الناظمية .



الشكل 3 : دوائر مور مع تغير الإجهادات الناظمية المطبقة



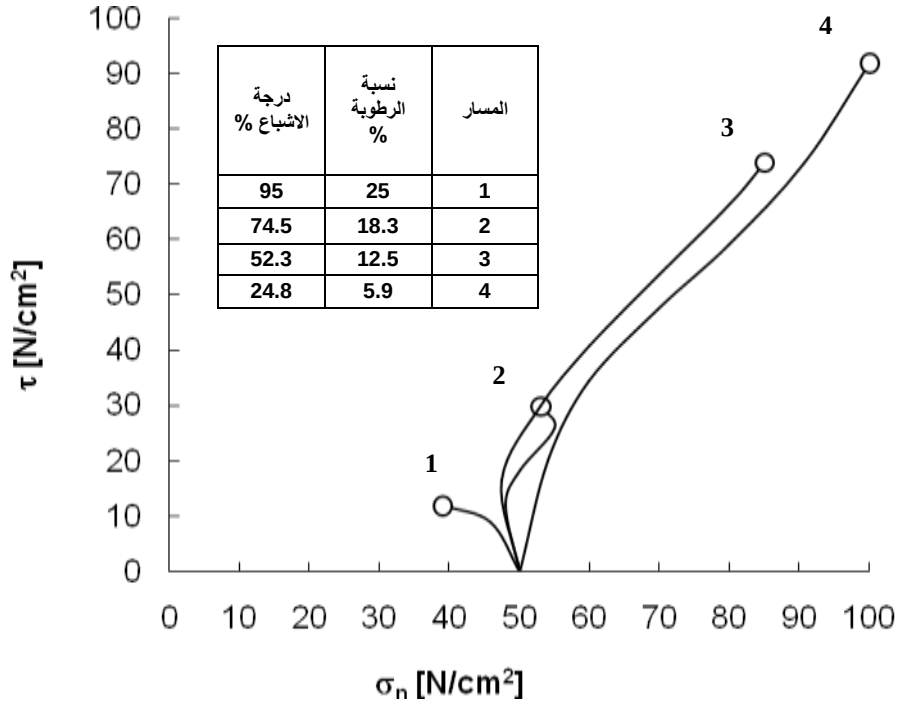
الشكل 4 : زاوية الاحتكاك المتبقية بدلالة الاجهادات الناظمية المطبقة

وتم اعتماد الأسلوب السابق في التجارب لتحديد زاوية الاحتكاك المتبقية، وقد تبين لنا من نتائج كلا سلسلتي التجارب وفق ما هو مبين على (الشكل 4) مايلي :

- عند قيم الاجهادات الناظمية الأقل من $\sigma_n \le 5{,}0\ N/cm^2$ لم يحدث أي انخفاض في مقاومة القص أي لاتوجد زاوية قص متبقية، ولذلك اعتبرنا القيمة $\sigma_n \le 5{,}0\ N/cm^2$ هي القيمة التي ينطلق منها .
- يلاحظ تشكل سطح الانزلاق ابتداء من إجهادات ناظمية مساوية إلى $\sigma_n = 10{,}0\ N/cm^2$ وبدءاً من هذه القيمة تبدأ زاوية الاحتكاك المتبقية بالتناقص إلى قيمتها الصغرى .
- عند تشكل سطح الانزلاق لوحظ وجود تعرجات عليه وعدم استواءات أكثر وضوحاً منها في حالة القص الأولي للعينة، وظهر ذلك في سلسلة التجارب الثانية عندما زيادة قيم الاجهادات الناظمية، وتدل هذه التعرجات أن جزيئات التربة في مستوي القص القسري لم تكن كلها في اتجاه القص، وان هذه التعرجات قد سببت زيادة طفيفة في قيم ϕ_r .

تأثير درجة الإشباع:

من أجل تحديد علاقة ثوابت القص في التربة بدرجة الإشباع أخذت عينات متجانسة مشبعة من ترب **المجموعة الأولى**، وطبق عليها حمولة ناظمية متصاعدة إلى قيمة $\sigma_n = 50{,}0\ N/cm^2$ ، وبعد حصول التشديد تركت العينات تحت الحمولات الناظمية مكشوفة دون إضافة مياه إليها فترات زمنية متفاوتة حتى أصبحت على درجات إشباع مختلفة، ومن ثم تمت متابعة القص في علبة القص، ورسمت **مسارات** الإجهادات ونقاط الانهيار لعينات كل نوع من أنواع التربة بحسب رطوبتها ودرجة إشباعها كما هو مبين على الشكل (5)، وأعطت بقية أنواع التربة نتائج مشابهة .

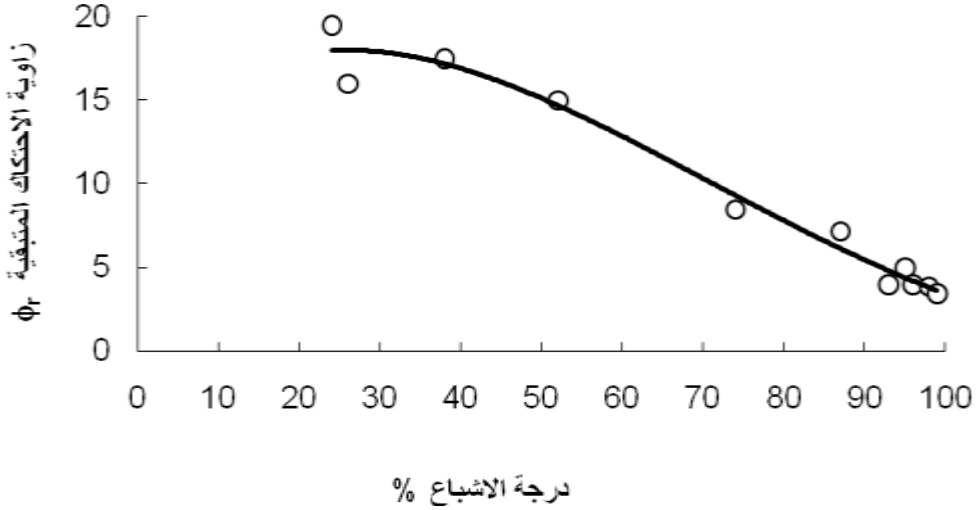


المسار	نسبة الرطوبة %	درجة الاشباع %
1	25	95
2	18.3	74.5
3	12.5	52.3
4	5.9	24.8

الشكل 5 : مسارات الإجهاد ونقطة الانهيار بحسب درجة الإشباع

تتبين من الشكل (5) زيادة واضحة مقاومة القص بسبب تناقص نسبة الرطوبة (أي عند درجات إشباع اقل)، وقد تشكلت في جميع العينات المجربة سطوح انزلاق، ويعزى هذا التصاعد في مقاومة القص إلى تولد إجهادات شعرية بعد انتقال التربة من حالة الإشباع إلى حالة الإشباع الجزئي .

وقد رسمت قيم زوايا الاحتكاك المتبقية بدلالة درجة الإشباع، وقد لوحظ وفق النتائج أن قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية عندما تكون درجة الإشباع صغيرة تقترب من زاوية الاحتكاك الداخلي لعينة مشبعة تماما بالمياه مشددة تشديدا طبيعيا، ولكن قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية عند درجات إشباع ابتداء من 50% فما فوق تقل بشكل واضح أما في قيم الإشباع بين 90–100% فان زاوية الاحتكاك المتبقية كانت ضمن المجال بين 4–5 درجات. شكل (6).



الشكل 6 : علاقة زاوية الاحتكاك المتبقية بدرجة الإشباع

من أجل الحصول على استنتاجات أخرى حول تأثير درجة الإشباع على مقاومة القص المتبقية قصت عينات **مشبعة** من تربة المجموعة الأولى في علبة القص تحت إجهاد ناظمي مبدئي يساوي $50{,}0\ N/cm^2$ فكانت زوايا الاحتكاك المتبقية بين 4 و 5 درجات، وتركت العينات عدة أيام لتجف، وأدى مثلا انخفاض نسبة الرطوبة لعينة من القيمة 23,6% إلى القيمة 6,7% ولعينة أخرى من القيمة 30,10% إلى القيمة 5,0% إلى زيادة زوايا الاحتكاك المتبقية من $16{,}0^o$ إلى 24^o أما عند إعادة إشباع العينات بالمياه من جديد ورفع نسبة الرطوبة مثلا من 21,0% إلى 28,0% فان زاوية الاحتكاك المتبقية عادت وانخفضت إلى القيمة المبدئية الدنيا 4 أو 5 درجات .

وتبين جميع هذه التجارب أن تشكل سطح الانزلاق يجعل مقاومة القص في التربة تنخفض إلى قيمتها الدنيا بحيث أن العامل الحاسم الذي يؤدي إلى أقل قيمة ممكنة لمقاومة القص المتبقية هو **الإشباع الكامل** في مستوي القص، أما العينات المشبعة **جزئياً** فيمكن أن تتشكل فيها سطوح انزلاق بتأثير تشوهات القص لكن زاوية الاحتكاك الداخلي التي يحصل عليها من القص الأولي للتربة تحت حجم ثابت لاتقل بالضرورة إلى القيمة الدنيا لزاوية الاحتكاك المتبقية.

تصادف هذه الظاهرة كثيرا في الطبيعة عند حدوث الانزلاقات بعد الأمطار الغزيرة، ويحدث الانزلاق عندما يبدأ التشبع الكامل لسطح الانزلاق وتقل قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة إلى قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية الدنيا [5]، ويلاحظ دوما لدى بعض العينات الترابية غير المخربة المأخوذة من المناطق المنزلقة وجود سطوح انزلاق صغيرة نسبيا

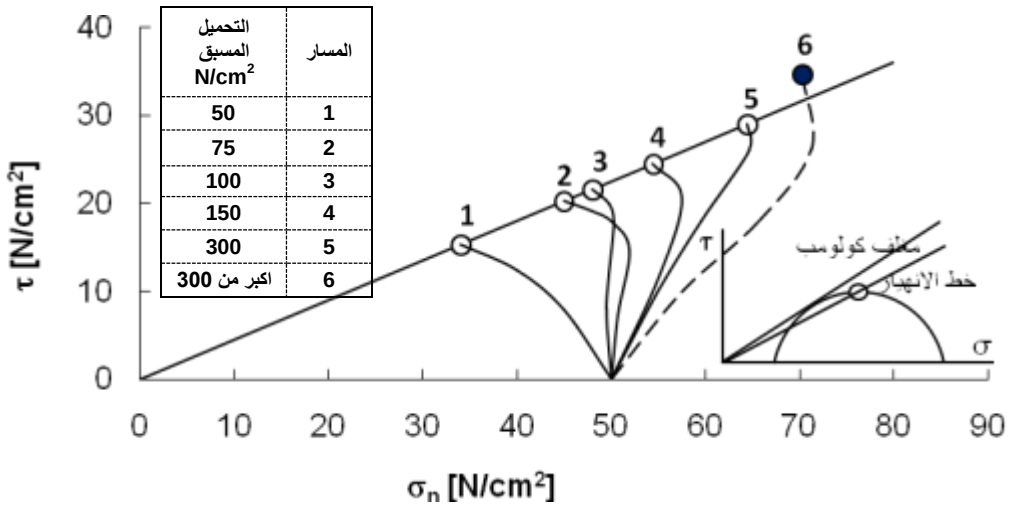
دون أن يعني ذلك حدوث تشوهات ظاهرة للعيان أو انزياحات كبيرة، ولكن عند الإشباع الكامل للتربة بالمياه بعد موسم أمطار غزيرة أو تغير في ظروف الترطيب تتفعل سطوح الانزلاق الموجودة وتحدث الانزلاقات[6] .

تأثير التحميل المسبق على مقاومة القص:

من أجل دراسة تأثير التحميل المسبق على قيمة متحولات القص أجريت تجربة القص على عينات فوق مشددة من ترب المجموعة الأولى حيث حملت في البدء العينات المشددة تشديدا أوليا بحمولات شاقولية متنوعة تراوحت بين $50,0\ N/cm^2$ و $500\ N/cm^2$ وتركت لتتشدد ثم خففت عنها الحمولات وخفضت إلى $50,0\ N/cm^2$.

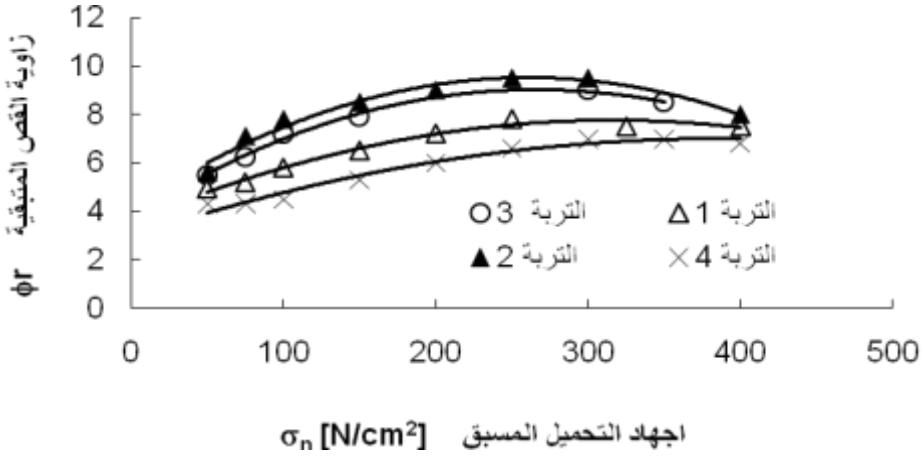
بعد تخفيف الحمولات تركت العينات وقتا كافيا حتى تأخذ التشوهات المعاكسة وقتها وتستقر وأجريت عليها بعد ذلك تجربة القص الأولي تحت نسبة فراغ ثابتة (ثبات الحجم)، وتبين نتائج التجارب ومسارات الإجهاد في الشكل (7) أن نقاط الانهيار **تقع كلها على خط انهيار مار من مبدأ الإحداثيات** مهما كانت قيمة التحميل المسبق وهذا يبرهن أن العينات المختبرة عندما تصل إلى حالة الانهيار تنعدم مقاومتها الداخلية التماسكية .

وقد لوحظ هذا الأمر في حالة القيم الصغيرة لإجهاد التحميل المسبق حتى $300N/cm^2$ أما في حالة القيم الأكبر لإجهاد التحميل المسبق فقد أبدت التربة زيادة في التماسك وهذا ما جعل نقاط الانهيار فوق مستوى خط الانهيار العادي (المسار 6) وهذا يعني أن التربة تبدأ بتفعيل التماسك لديها .



الشكل 7 : مسارات الإجهاد وعلاقتها مع قيمة التحميل المسبق للتربة

وقد تشكل سطح انزلاق في الحالة الحدية لدى جميع العينات المختبرة أما العلاقة بين قيم زوايا الاحتكاك المتبقية وقيم التحميل المسبق المبينة على شكل (8) فتدل على أن التحميل المسبق لا يرفع قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية بأكثر من 2–3 درجات عنها في حالة العينات ذات التشديد الطبيعي الأولي مهما كانت قيمته.

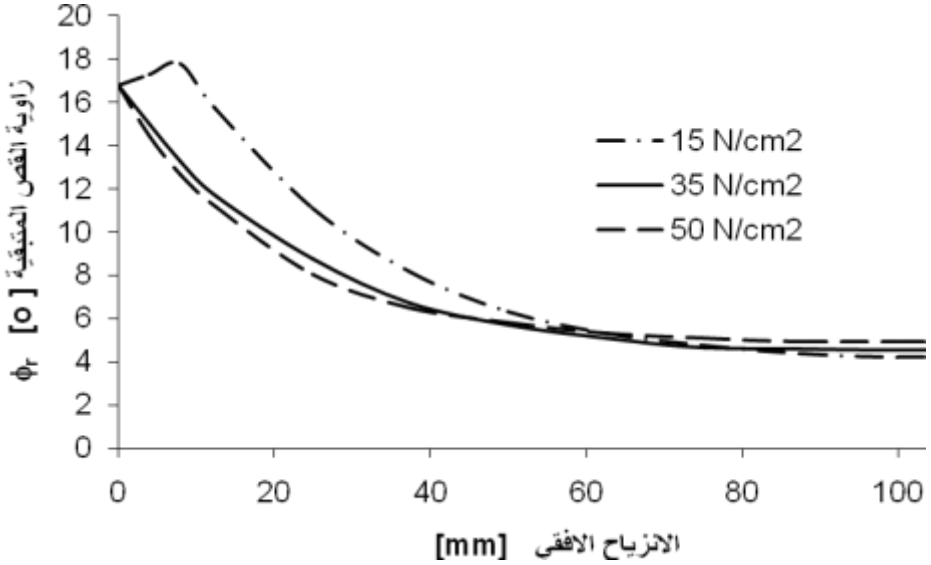


الشكل 8 : تغير زاوية الاحتكاك المتبقية بدلالة قيمة التحميل المسبق

وتشير الاختبارات أن إجهاد التحميل المسبق إذا كان كبيراً إلى حد كاف قد يصل مسار الإجهاد في بعض الحالات إلى نقطة تقع فوق خط الانهيار ولكن ذلك عموما لا يؤثر على قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية وعلى النتيجة المبينة في الشكل (8) .

تأثير الانزياح الأفقي (تشوه القص):

إن الخاصية المميزة للسيلت المنزلق هي قدرته على الاستمرار في إبداء مظاهر الانزلاق [7]، وتؤثر هذه الخاصة في أن معامل الأمان على الانزلاق يستمر في الانخفاض مع استمرار تزايد تشوهات القص في التربة، وان الانزلاق الذي يبدأ يستمر دون توقف .



الشكل 9 : علاقة زاوية الاحتكاك المتبقية مع الانزياح الأفقي بدلالة الإجهاد الناظمي المطبق

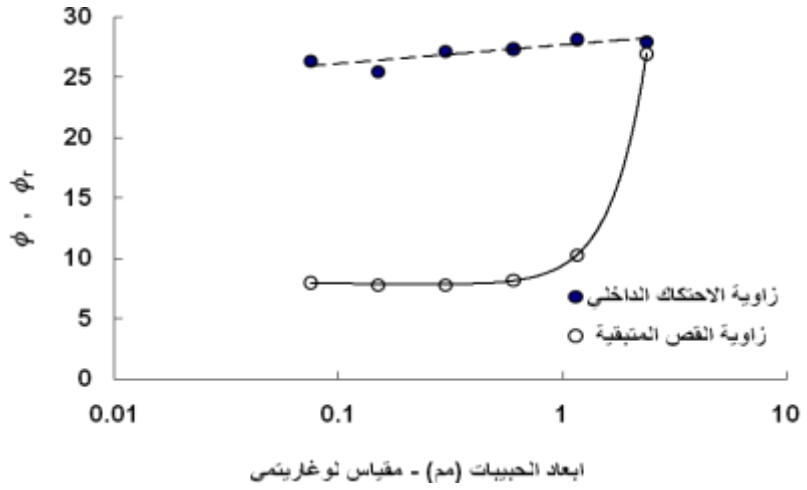
يبين الشكل (9) العلاقة بين انخفاض قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية وبين قيمة الانزياح الأفقي (تشوه القص) بدلالة الإجهاد الناظمي المطبق، وتدل الاختبارات أن زاوية الاحتكاك المتبقية في **حالة الاجهادات الناظمية القليلة** تزداد زيادة طفيفة في بداية الانزياح ثم تتناقص باضطراد وبسرعة مع استمرار تزايد الانزياح الأفقي، أما في حالة **الإجهادات الناظمية الكبيرة** فإنها تتناقص مباشرة وبسرعة مع زيادة الانزياح الأفقي، وفي جميع الحالات تتقارب القيم مع بعضها البعض عند انزياح 60مم وتثبت عند أدنى قيمة لها تقارب 4–5 درجات تقريبا مهما كانت قيمة الإجهادات الناظمية .

تأثير إبعاد الحبيبات الرملية على مقاومة القص المتبقية:

أجريت اختبارات القص على مجموعة من عينات ترب المجموعة الثانية (الترب 5,6,7) من السيلت الحاوي على نسبة من الرمل بين 10% و 30%، وذلك بعد استبعاد الحبيبات الأكبر من 2,36مم، وأجريت هذه الاختبارات على كل نوع من التربة وفق التسلسل التالي :

1. استبعاد الحبيبات الأكبر من 2,36مم .
2. استبعاد الحبيبات الأكبر من 1,16مم .
3. استبعاد الحبيبات الأكبر من 0,6مم .
4. استبعاد الحبيبات الأكبر من 0,3مم .
5. استبعاد الحبيبات الأكبر من 0,15مم .
6. استبعاد الحبيبات الأكبر من 0,075مم .

أمكن بإجراء الاختبارات بهذه الطريقة معرفة تأثير إبعاد الحبيبات الرملية على زاوية الاحتكاك المتبقية في الأتربة السيلتية الحاوية على الرمال، وقد دلت اختبارات القص المجراة كما يبين الشكل (10) على ان زاوية الاحتكاك الداخلي تتأثر خطيا وبتدرج بزيادة خشونة المحتوى الرملي للسيلت أما زاوية الاحتكاك المتبقية فلا تشهد تأثرا يذكر إلا بعد أن تكون الحبيبات الرملية بقطر 1,16مم فما فوق وتبدأ من عند هذه النقطة بالانعطاف بشكل حاد مما يدفع إلى الاستنتاج أن المحتوى الرملي في التربة السيلتية لن يكون له تأثير على زاوية الاحتكاك المتبقية إلا إذا كانت الحبيبات أخشن من 1,16مم .



الشكل 10 : تغير زاوية الاحتكاك الداخلي وزاوية الاحتكاك المتبقية بالعلاقة مع خشونة الحبيبات الرملية

الاستنتاجات والتوصيات:

مما سبق واستنادا إلى النتائج التي حصلنا عليها من الاختبارات التي أجريت على عدد كبير من العينات وبحالات مختلفة يمكن الاستنتاج أن ثمة مؤثرات كثيرة تؤثر على قيمة مقاومة القص المتبقية في السيلت منها قيمة الحمولات الناظمية ودرجة الإشباع والتحميل المسبق وتشوه القص وخشونة الحبيبات الرملية إذا احتوت التربة على رمل وتبين أن :

- يتشكل سطح الانزلاق ابتداء من إجهادات ناظمية أكبر أو تساوي $\sigma_n = 10,0\ N/cm^2$ وبدءاً من هذه القيمة تبدأ زاوية الاحتكاك المتبقية بالتناقص إلى قيمتها الصغرى .
- أقل قيمة لزاوية الاحتكاك المتبقية للسيلت تكون بين 4 –5 درجات تقريبا ويحصل ذلك في حالة الإشباع الكامل في مستوي القص .
- عندما تكون إجهادات التحميل المسبق $300N/cm^2$ فما دون فان نقاط الانهيار بالقص تقع جميعها على خط مار من مبدأ الإحداثيات أي ان التماسك لايلعب دورا كبيرا في المقاومة أما في حالة الإجهادات الأكبر من $300N/cm^2$ فان التربة تبدأ بتفعيل مقاومتها الداخلية الإضافية .
- إن التحميل المسبق مهما كانت قيمته لايرفع قيمة زاوية الاحتكاك المتبقية بأكثر من 2–3 درجات عنها في حالة العينات ذات التشديد الطبيعي الأولي .
- تتناقص زاوية الاحتكاك المتبقية في بداية الانزياح الأفقي بشكل حاد ومع استمرار الانزياح تثبت الزاوية عند قيمتها الصغرى .
- تتأثر زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة السيلت بزيادة إبعاد حبيبات المحتوى الرملي للسيلت وتزداد بشكل خطي متدرج أما زاوية الاحتكاك المتبقية فلا تتأثر بشكل واضح إلا بعد أن تكون الحبيبات الرملية بقطر 1,16مم فما فوق وتبدأ من عند هذه النقطة بالتزايد الحاد .

يمكن الاستفادة من النتائج السابقة في تقييم حالة التربة في مناطق الانهيارات والانزلاقات، وكذلك تعليل أسباب الانهيارات الحاصلة، كما يمكن تطبيق النتائج على تقييم استقرار التربة بشكل عام، ومدى قربها أو بعدها من حالة الانهيار، وفقا للمؤشرات التي تعطيها قيم درجة الإشباع أو خشونة محتوى التربة من الرمل أو مقدار إجهاد التحميل المسبق، أو الإجهاد الناظمي.

المراجع:

1- TERZAGHI, K. : "*The Shearing Resistance of Saturated Soils and the Angle between the Planes of Shear*". Proceeding of the international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Massachussetts, 1963, 54-56.

2- BOROWICKA, H. : "*The mechanical Properties of Soil*". Proceeding of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1/6 ,Paris, 1961, 39 .

3- LANG,H.J. ; HUDER, J. ; AMANN, P. : "*Bodenmechanik und Grundbau*". 7.Auflage, Springer Verlag, 2003, 317.

4- BISHOP, A. : "*The Strength of Soil as Engineering Material*". Sixth Rankine Lecture, Geotechnoque 16, 1966, 89-130.

5- JANBU,N. : "*Shear Strength and Stability of Soils*". NGI, Oslo ,1973, .

6- FRANKE, D. : "*Bodenmechanik*" – Unterlagen zur Vorlesung. TU-Dresden 1999, 280.

7- VON SOOS, P. "*Eigenschaften von Boden und Fels*" - Grundbautaschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 6. Auflage, Ernst & Sohn, 2001, K. 1-4.