

Undrained Shear Behavior of Samples Disturbance of Unsaturated Expansive Clay Soils

Nariman Hisham Halalo

Faculty of Civil Engineering || Damascus University || Syria

Abstract: Most Expansive Clay soils are sensitive to the disturbance in their internal structure as a result of the extraction of samples, because of the destruction in the natural soil structure. so a change in the properties of the expansive soil happens. This matter must be more precisely defined in the design of the foundations of engineering facilities. This paper presents a laboratory investigation of the influence of simulated sample disturbance on Shear Strength Parameters i.e. (internal friction angle and soil cohesion) by varying their plasticity and method of remolding samples using the direct shear test. Comparisons between simulations and experimental results showed that the behavior of the partially saturated expansive clay soil influenced by the method of remolding samples and is achieved through the relationship between stress and deformation. The disturbance of soil structure due to low shear strength parameters for soil, as the amount of change of the disturbance samples due to the decrease in values of both soil cohesion and the internal friction angle. In addition to that, the decrease in low plasticity soil PI (6%), is higher than the high plasticity soil (PI = 32%) due to the existence of Montmorillonite and kaolinite minerals in high plasticity soil which have high water absorption and cohesion, that preserving the shape of the soil sample.

Keywords: Expansive soil, Unsaturated soil, Samples disturbance, Direct Shear Test, Friction angle, Soil cohesion.

سلوك القص غير المصرف لاضطراب عينات تربة انتفاخية مشبعة جزئياً بالماء

ناريمان هشام حلالو

كلية الهندسة المدنية || جامعة دمشق || سوريا

الملخص: إن الهيكل الداخلي للتربة الانتفاخية ذو حساسية عالية للاضطراب حيث إن عند استخراج العينات يحدث تدميراً لبنية التربة الطبيعية عند إعادة تشكيلها وبالتالي تغيير في خواص التربة الانتفاخية والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء دراسة تصميم أساسات المنشآت الهندسية. تقدم هذه الورقة بحثاً مخبرياً عن تأثير محاكاة اضطراب العينات على متغيرات مقاومة القص (زاوية الاحتكاك الداخلي، تماسك التربة) عن طريق تغيير اللدونة وطريقة تشكيل العينات. أظهرت المقارنات بين عمليات المحاكاة والنتائج التجريبية أن اضطراب العينات يعكس واقعاً غير دقيقاً حيث يسبب اختلافاً في القيم ضمن تجربة القص المباشر ويتضح ذلك من خلال العلاقة بين الإجهاد والتشوه، حيث أن المواصفات الميكانيكية للعينات المشكلة أكبر من المواصفات الميكانيكية للعينات المخبرية. بالإضافة إن مقدار الانخفاض للتربة المنخفضة اللدونة (PI=6%) أكبر من التربة العالية اللدونة (PI=32%) ويعود ذلك لوجود فلزات المونتموريللونيت والكاولينيت في التربة العالية اللدونة والتي تتميز بقابليتها العالية على امتصاص الماء وقابلية التماسك التي تساعد بالحفاظ على شكل العينة الترابية.

الكلمات المفتاحية: تربة انتفاخية، تربة غير مشبعة، اضطراب العينات، تجربة القص المباشر، زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، تماسك التربة.

1. المقدمة

إن الهيكل الداخلي للتربة الانتفاخية ذو حساسية عالية للاضطراب حيث أن عند استخراج العينات يحدث تدميراً لبنية التربة الطبيعية عند إعادة تشكيلها وبالتالي تغيير في خواص التربة الانتفاخية والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء دراسة تصميم أساسات المنشآت الهندسية^[13].

إن عدم قدرتنا الحصول على عينات سليمة أثناء الحفر كان لابد من إعادة تشكل العينة وفق أحد الكودات العالمية وذلك لإجراء التجارب عليها (كتجربة القص المباشر وهي التجربة الأساسية في البحث) وتحديد متغيراتها لفهم سلوكية التربة الانتفاخية^[12].

الأسس الضحلة عادة ما تبني فوق مستوى الماء الأرضي، في هذه الحالات غالباً ما تعتبر التربة جافة لأغراض التحليل والتصميم بينما هي في الحقيقة تربة غير مشبعة^[15]. التربة غير المشبعة يمكن أن تثير العديد من المشاكل الجيوتكنيكية مسببة انتفاخاً للتربة بزيادة حجم التربة في حالة الترطيب نتيجة لازدياد سماكة الأغشية المائية حول الجزيئة الترابية^[5,17]، واهياراً في حالة التجفيف^[3,9] وذلك بسبب تركيبها الفلزي (كاوولينيت، إيليت، مونتوريللونيت) وبسبب اختلاف البنية الكيميائية لهذه الفلزات (التركيب الذري وبنية الشبكة البلورية)^[11]، وبالتالي تغيير في خصائص مقاومة القص للتربة وبالتالي تغيير في قابلية تحمل الأسس المستندة على هذه التربة الانتفاخية^[4,8]. يرتبط سلوك التربة الانتفاخية بالاضطراب الحاصل للعينة عند نقلها إلى المختبر والتي تكون نتيجة تغييرات في الوضع الإجهادي للتربة، تغييرات في محتوى الرطوبة، نسبة الفراغات وتغييرات كيميائية^[13].

2. أهمية البحث وأهدافه

تركز أهمية هذا البحث في تقديم رؤية واضحة لتأثير اضطراب العينات على متغيرات مقاومة القص غير المصرفة (زاوية الاحتكاك الداخلي، تماسك التربة) للتربة الانتفاخية غير المشبعة وذلك لعينات تربة مخربة ومقارنتها مع عينات مشكلة حسب تجربة بروكتور النظامي. تم استخدام نوعين من العينات وهي:

1. عينات مخربة عدد /4/.

2. عينات مشكلة عدد /4/.

3. مواد البحث وطرائقه

3.1. التربة الانتفاخية

تم إحضار عينات التربة من محافظة ريف دمشق ومحافظة السويداء، وتم استخراج العينات بواسطة آلية حفر بسيطة على عمق (60 cm) من أسفل الطبقة الترابية [6]، وأحضرت العينات ضمن أكياس بلاستيكية محكمة الإغلاق ومن ثم درست عينتان لكل موقع وسميت العينات وفق الجدول التالي.

الجدول (1) مواقع عينات التربة

رمز الموقع	رقم الموقع	الموقع	لون التربة
A	1	قرية أم رواق - السويداء	بني داكن
	2		
B	1	قرية دير الحجر - الغزلانية-ريف دمشق	بني فاتح
	2		

2.3. التجارب المخبرية

تستند الطريقة التجريبية في هذا البحث وفي المرحلة الأولى على إجراء تجارب الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للتربة المستخدمة في هذا البحث، أخذين بعين الاعتبار الشروط الواردة في المواصفات الأمريكية (ASTM) ^[1]، وفي المرحلة الثانية تم حساب خصائص مقاومة القص للتربة المدروسة (زاوية الاحتكاك الداخلي، تماسك التربة) ^[10] ضمن تجربة القص المباشر ^[2]، تم إجراء التجارب المخبرية وفق مواصفات الكود الأمريكي (ASTM) ^[1] حيث أجريت كافة التجارب في مخبر ميكانيك التربة- جامعة دمشق، وذلك لعينات تربة مخربة ومقارنتها مع عينات مشكلة حسب تجربة بروكتور النظامي ^[14].

4. الدراسة التجريبية

تستند الطريقة التجريبية في هذا البحث وفي المرحلة الأولى على إجراء كافة تجارب الخواص الفيزيائية الأساسية والمصنفة والحسابية والميكانيكية والكيميائية للتربة المستخدمة في هذا البحث ^[7]، أخذين بعين الاعتبار الشروط الواردة في المواصفات الأمريكية (ASTM)، وفي المرحلة الثانية تم حساب خصائص مقاومة القص للتربة المدروسة (زاوية الاحتكاك الداخلي، تماسك التربة) ^[10]، ضمن تجربة القص المباشر ^[1] وذلك لعينات تربة مخربة ومقارنتها مع عينات تربة مشكلة في المختبر.

- الفحص ضمن تجربة القص المباشر على عينة (غير منضغطة-غير مصرفة).
- تم تعريض العينة داخل خلية جهاز القص المباشر لإجهاد قص بسرعة ثابتة (0.2 mm/min).
- أبعاد علبة القص الداخلية (6.1 cm X 6.1 cm)، ارتفاع علبة القص (2.3 cm).
- طريقة تشكيل العينات:

تم تشكيل العينة المخربة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM D-3080) ^[1] والتي تتطلب المار من التربة على المنخل رقم (#4) وتجفيفها في الفرن عند درجة حرارة (105-110°م)، ويتم تشكيل العينة المماثلة للعينة الأصلية وذلك بدقها ضمن القالب (علبة القص المباشر) ضمن ثلاث طبقات حيث كل طبقة بـ (25 ضربة)، وبذلك نكون حصلنا على العينة المماثلة للعينة المشكلة حسب بروكتور النظامي.

تم تشكيل العينة المشكلة حسب المواصفة الأمريكية (ASTM D-3080) والتي يتم الحصول عليها بواسطة بروكتور النظامي (رطوبة مثلى ووزن حجي جاف أعظمي)، حيث تم قشط أول وآخر (3cm) من عينة قالب بروكتور بحيث يبقى الجزء الوسطي ومنه يتم اخذ عينة لمربع القص المباشر.

مواصفات القالب لتجربة بروكتور النظامي . (D=10.2 cm , h= 11.6 cm)

h : ارتفاع الاسطوانة

D : قطر الاسطوانة

وزن المطرقة: 2.5 Kg

ارتفاع السقوط (12")

- وبذلك فإن المواصفة الأمريكية (ASTM D-3080) تضبط تماماً طريقة تشكيل العينات وبالتالي فإن جميع العينات المخربة والمشكلة لهما نفس الرطوبة المثالية ونفس الوزن الحجي، وبالتالي يمكن أخذهم كمجموعة وروح واحدة للدراسة والأثر واحد على كافة العينات.

- تم تحديد درجة الإشباع بالماء لعينات التربة من تجربة القص المباشر وذلك بمعرفة الوزن النوعي والرطوبة المثلى والوزن الحجمي الجاف حسب تجربة بروكتور لعينة التربة من خلال العلاقة التالية:

$$S_r = \frac{w * G_s}{e} = \frac{w * G_s}{G_s * \gamma_w - 1} \gamma_d$$

S_r : درجة الإشباع بالماء (%)

G_s : الوزن النوعي النسبي

γ_d : الوزن الحجمي الجاف للتربة g/cm^3

γ_w : الوزن الحجمي لوحد الماء g/cm^3

w : الرطوبة المثلى

e : معامل المسامية

الجدول (2) نتائج قيم درجة الإشباع بالماء لعينات التربة ضمن تجربة القص المباشر

المواصفة الأمريكية (ASTM)	A	B	الوحدة
الوزن النوعي للأجسام الصلبة	90.3	72.7	g/cm^3
الرطوبة المثالية	102.5	77.6	%
الكثافة الجافة الأعظمية	84.1	72.2	g/cm^3
درجة الإشباع النهائية	91.8	77.8	%

ومن خلال نتائج التجارب سنقوم بإيجاد مقدار التغير النسبي ما بين المتغيرات التالية:

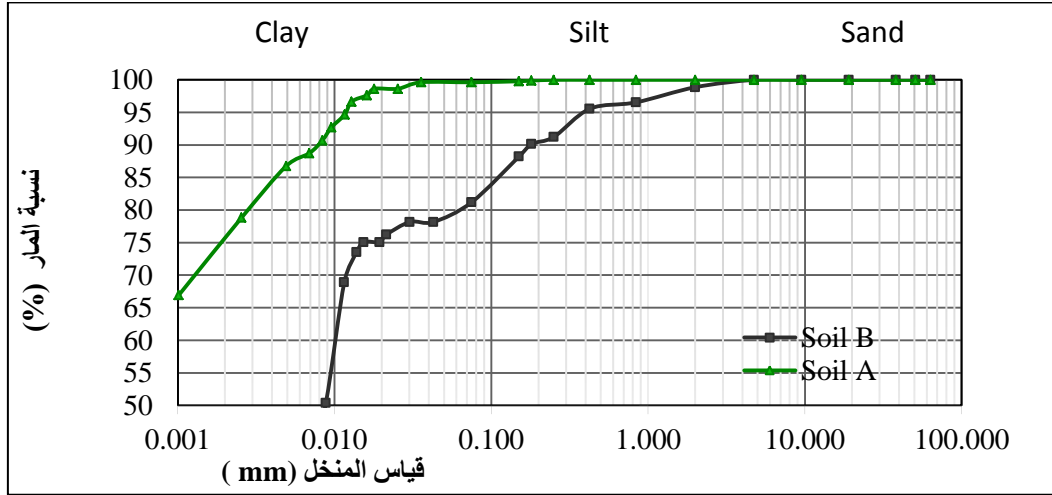
1. دراسة مقدار التغير النسبي في تماسك التربة ($\Delta C/C$) لعينات مخربة وعينات مشكلة في المختبر.
2. دراسة مقدار التغير النسبي في زاوية الاحتكاك للتربة ($\Delta \phi/\phi$) لعينات مخربة وعينات مشكلة في المختبر.

5. النتائج والمناقشة

1.5. نتائج الخواص الفيزيائية

1.1.5 التدرج الحبي

تم تحديد حجم الجزيئات لكل من الترب المدروسة بطريقة التحليل الحبي المنخلي للجزيئات التي أقطارها أكبر من (0.075mm) وذلك وفق، (ASTM-D422) وبطريقة الترسيب (الهيدرومتر) للجزيئات التي أقطارها أقل من (0.075mm) وذلك وفق (ASTM-D1140)، وكانت النتائج كما في الجدول (5).



الشكل (1) منحنى التحليل الحبي بالهيدرومتر

2.1.5 الخصائص الفيزيائية الأساسية

الجدول (3) نتائج تجارب الخصائص الفيزيائية الأساسية للتربة

المواصفة الأمريكية (ASTM)	الموقع		الوحدة
	A	B	
محتوى الرطوبة الطبيعية	37.1	23.57	%
الوزن النوعي النسبي	2.68	2.71	g/cm ³
الوزن الحبي	1.62	1.57	g/cm ³
الوزن الحبي الجاف	1.18	1.27	g/cm ³

3.1.5 الخصائص الفيزيائية الحسابية

الجدول (4) نتائج تجارب الخصائص الفيزيائية الحسابية

المواصفة الأمريكية (ASTM)	الموقع		الوحدة
	A	B	
نسبة الفراغات	1.27	1.13	-
المسامية	0.56	0.53	-

4.1.5 نتائج حدود أتبرغ

الجدول (5) نتائج تجارب الخصائص الفيزيائية المصنفة للتربة

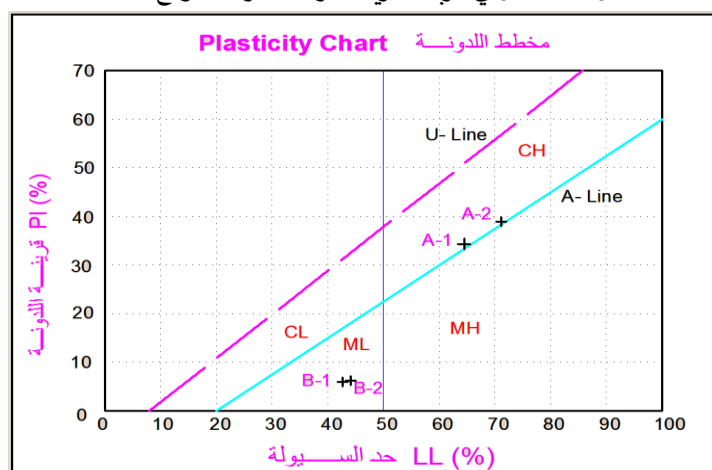
المواصفة الأمريكية (ASTM)	الموقع		الوحدة
	A	B	
حد السيولة	65.92	42.73	%
حد اللدونة	33.33	36.76	%

المواصفة الأمريكية (ASTM)	الموقع		الوحدة
	A	B	cm
مؤشر السيولة	0.12	0.48	-
مؤشر اللدونة	32.59	5.97	%
نسبة النواعم (المار من المنخل رقم #200)	97.54	78.18	%
محتوى الغضار	74.56	33.88	%
محتوى السيلت	25.44	47.12	%
محتوى الرمل	2.46	19	%

5.1.5 تصنيف الترب المدروسة

تم تصنيف التربة للعينات المدروسة حسب التصنيف الموحد للتربة وفقاً للنظم الأمريكية (USCS) باستخدام مخطط اللدونة لكازاغراندي^[15] كما يلي:

1. تربة غضارية عالية اللدونة (CH) وهي تربة (قرية أم رواق)، الموقع (A).
2. تربة سيلتية منخفضة اللدونة (ML) وهي تربة (قرية دير الحجر)، الموقع (B).



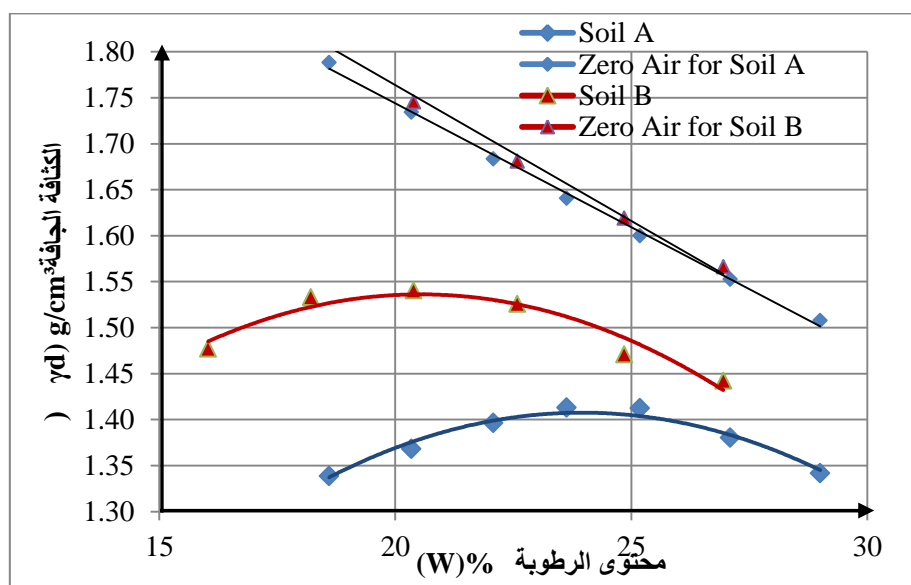
الشكل (2) مخطط تصنيف التربة حسب مخطط اللدونة

2.5. نتائج تجربة بروكتور النظامي

الهدف من إجراء تجربة الرص هو تحديد الكثافة الجافة العظمى والرطوبة المثالية للعينات المدروسة من أجل تشكيل العينات حسب المواصفة الأمريكية (ASTM D-3080).

الجدول (6) نتائج تجربة بروكتور النظامي

المواصفة الأمريكية (ASTM-D698)	A	B	الوحدة
الرطوبة المثالية	24.3	20.0	%
الكثافة الجافة الأعظمية	1.42	1.55	g/cm ³
رطوبة الإشباع	33.4	27.8	%



الشكل (3) منحنيات الرص لتربة الموقعين (A-B)

3.5. نتائج التجارب الكيميائية

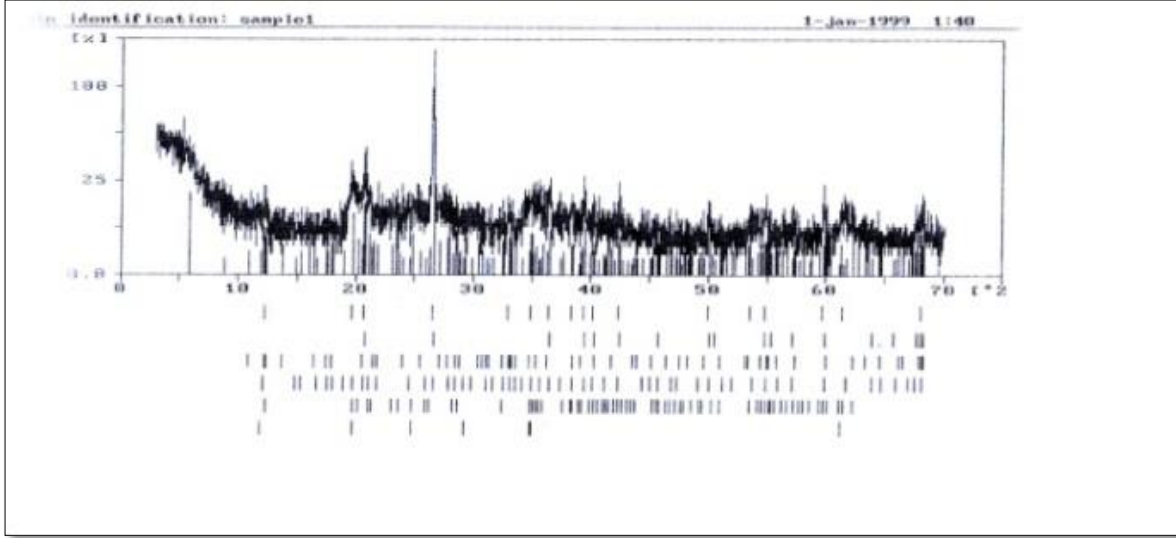
يبين الجدول (7) نتائج الخصائص الكيميائية للتربة المستخدمة في البحث من خلال تحديد محتوى المواد العضوية وتحديد الرقم الهيدروجيني لأنواع التربة المستخدمة في هذا البحث.

الجدول (7) نتائج الخصائص الكيميائية للتربة المستخدمة في البحث

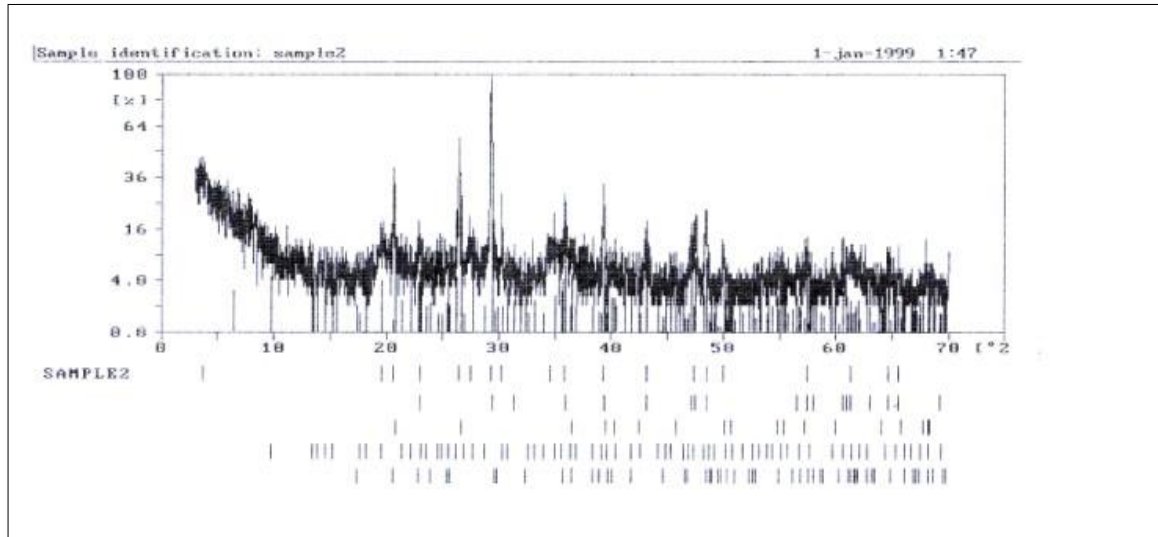
المواصفة الأمريكية (ASTM)	رمز الموقع		الوحدة	ملاحظات
	A	B		
محتوى المواد العضوية	6.8	4.6	%	أكبر من (2%) والتربة غنية بالمادة العضوية
تحديد الرقم الهيدروجيني	5.5	6	-	التربة حامضية معتدلة

تمثل الأشكال (4)، (5) التحليل الفلزي للعينات باستخدام الأشعة السينية (X-ray diffraction)، والتي أجريت في المؤسسة العامة للجيولوجيا^[2].

أن الفلزات الغضارية الأكثر وجودًا لكلا الموقعين هو فلز الكوارتز وهي فلزات علاقتها مع الماء ضعيفة، حيث أن وجود الكوارتز بنسب عالية في نوعي التربة يفسر انخفاض قيم اللدونة وخصوصاً أن الكوارتز معروف بكونه مانع تلبد لحبيبات التربة وبالتالي يعطي لدونة منخفضة^[16] كما في تربة الموقع (B). أن عينات تربة الموقع (A) تحتوي الفلزات الغضارية الانتفاخية مثل المونتموريللونيت والكاولينيت ولكن بنسب منخفضة.



الشكل (4) التحليل الفلزي لعينة التربة /A/



الشكل (5) التحليل الفلزي لعينة التربة /B/

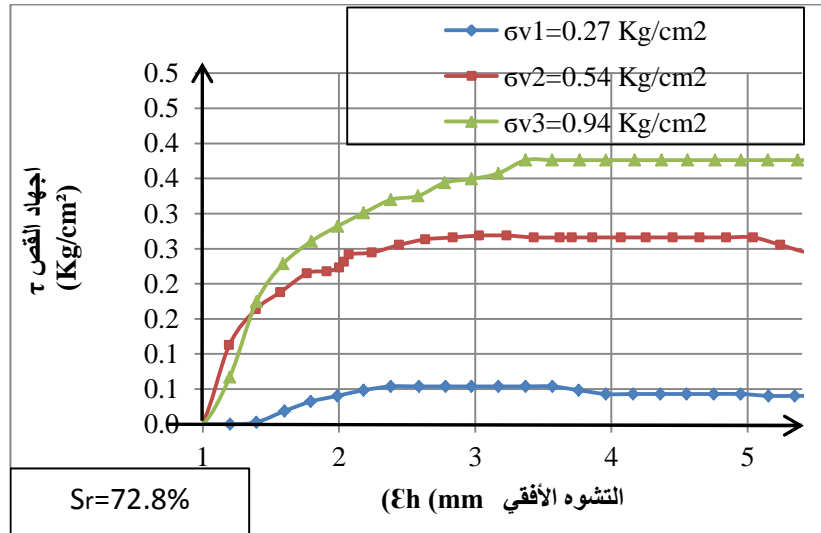
الجدول (8) أنواع الفلزات الموجودة في العينات المستخدمة في البحث

العينة	أنواع الفلزات الموجودة في التربة
A	Quartz - Phillipsite - Gismodine -Kaolinite-Montmorillonite
B	Calcite- Quartz- Mordenite - Forsterite

4.5. نتائج تجارب القص المباشر

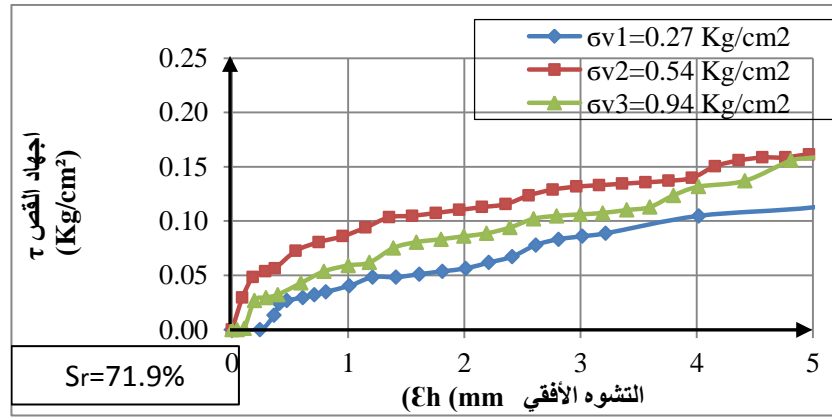
توضح الأشكال التشوهات الأفقية المسجلة للعينات المدروسة مع إجهاد القص مرسومة بإحداثيات طبيعية.

- التربة عالية اللدونة (تربة مخربة-A):



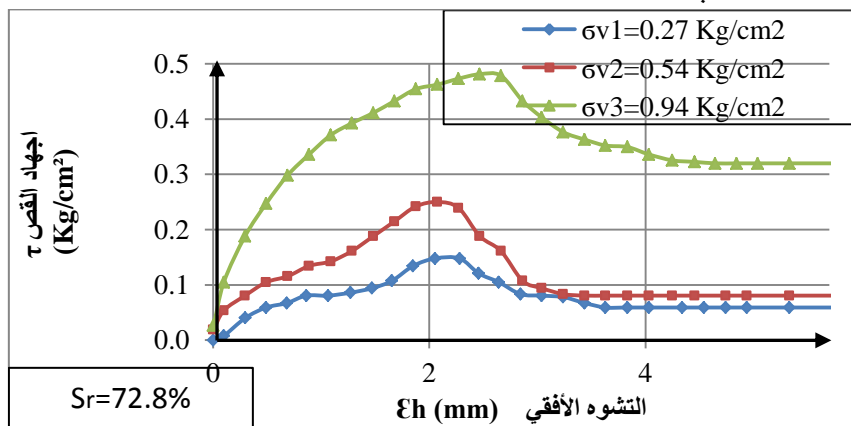
الشكل (6) منحنى العلاقة بين (التشوه الأفقي- الإجهاد) لعينات مخربة- (A)

- التربة منخفضة اللدونة (تربة مخربة-B):



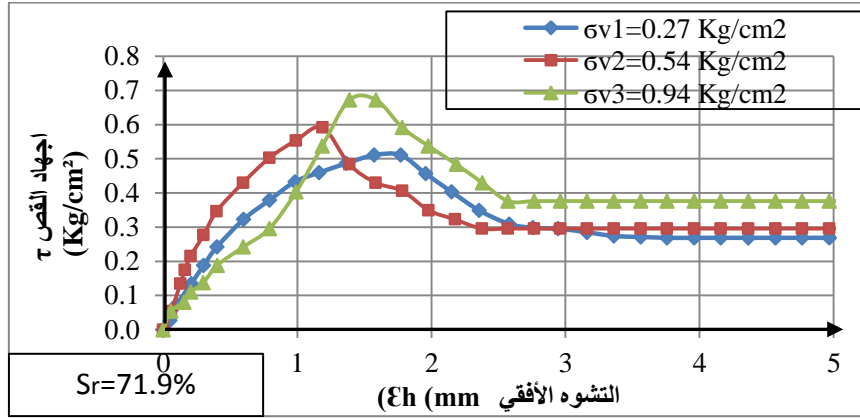
الشكل (7) منحنى العلاقة بين (التشوه الأفقي- الإجهاد) لعينات مخربة- (B)

- التربة عالية اللدونة (تربة مشكلة-A):



الشكل (8) منحنى العلاقة بين (التشوه الأفقي- الإجهاد) لعينات مشكلة- (A)

- التربة منخفضة اللدونة (تربة مشكلة B):



الشكل (9) منحنى العلاقة بين (التشوه الأفقي- الإجهاد) لعينات مشكلة- (B)

6.5. المناقشة

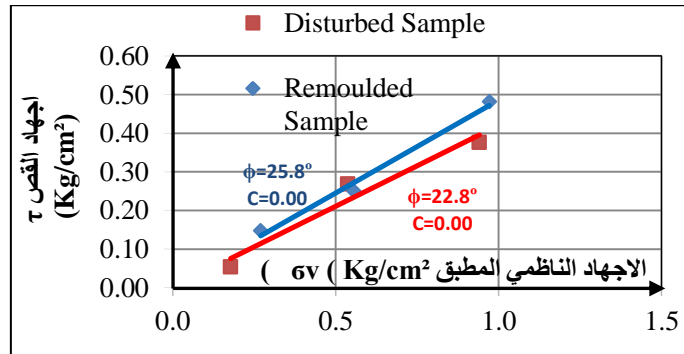
لما كان تحديد سلوك التربة الانتفاخية يعتمد بشكل أساسي على التحليل الفلزي للعينات، ومن خلال مقارنة المنحنيات العلاقة بين (التشوه الأفقي- إجهاد القص) لوحظ أن تأثير اضطراب العينات على التربة المنخفضة اللدونة أكبر مقارنة بالتربة العالية اللدونة، حيث أظهرت نتائج التحليل الفلزي للعينات باستخدام الأشعة السينية (X-ray diffraction) أنواع الفلزات الموجودة في عينات التربة المستخدمة في هذا البحث وهي فلزات المونتموريللونيت والكاولينيت المسيطرة من حيث تأثيرها في السلوكية الانتفاخية في تربة الموقع (A) (التربة العالية اللدونة) والتي تتميز بقابليتها العالية على امتصاص الماء [11]، وبمزية التماسك والتي تساعد على الحفاظ على شكل العينة الغضارية المخربة أو المشكلة مخبرياً وبالتالي تقليل مقدار الاضطراب الحاصل للعينة.

6. النتائج

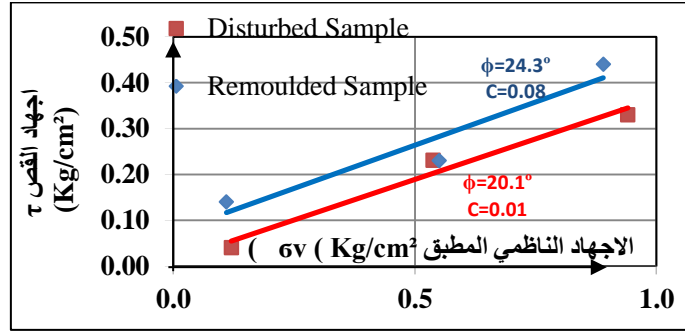
من خلال المنحنيات السابقة تم تحليل النتائج لإيجاد مقدار التغير النسبي ما بين المتغيرات التالية:

- أ- مقدار التغير النسبي لتماسك التربة ($\Delta C/C$) لعينات مخربة وعينات مشكلة في المختبر.
- ب- مقدار التغير النسبي لزوايا الاحتكاك الداخلي للتربة ($\Delta \phi/\phi$) لعينات تربة مخربة وعينات تربة مشكلة في المختبر.

- التربة عالية اللدونة:

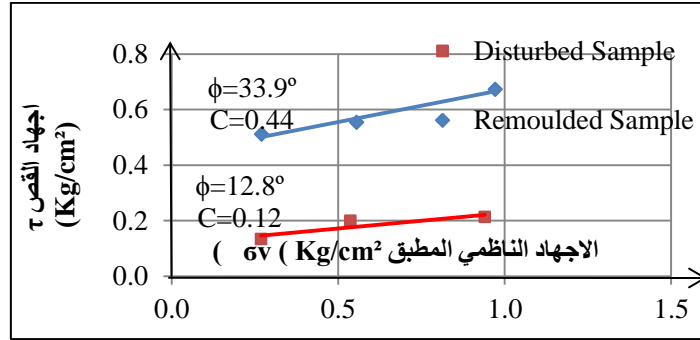


الشكل (10) مستقيم كولومب للعينات المخربة مع العينات المشكلة (A-1)

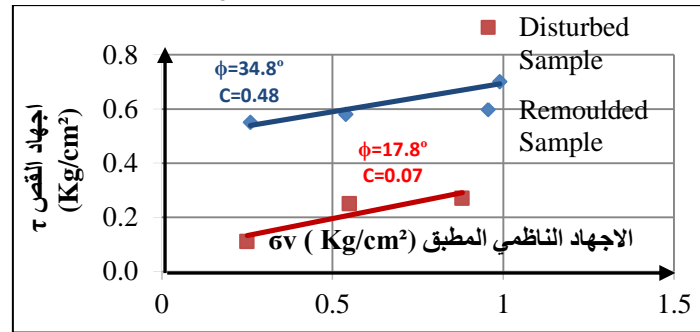


الشكل (11) مستقيم كولومب للعينات المخربة مع العينات المشكلة (A-2)

- التربة منخفضة اللدونة:



الشكل (12) مستقيم كولومب للعينات المخربة مع العينات المشكلة (B-1)



الشكل (13) مستقيم كولومب للعينات المخربة مع العينات المشكلة (B-2)

أن النتائج السابقة تطابق ما تم التوصل إليه في دراسات مماثلة حيث وجد أن الاضطراب الحاصل للعينات المخربة يؤدي إلى انخفاض قيم كل من تماسك التربة وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة الانتفاخية، ولكن كان مقدار الانخفاض للتربة المنخفضة اللدونة أكبر من التربة العالية اللدونة كما هو موضح بالجدول التالي:

الجدول (9) نتائج مقدار التغير النسبي للمواصفات الميكانيكية لعينات الترب المدروسة

رمز الموقع	العيبة المخربة		العيبة المشكلة		ΔC / C (%)	(Δφ / φ) (%)
	φ (°)	C (Kg/cm²)	φ (°)	C (Kg/cm²)		
A-1	32	0.00	62	0.00	75.0	10.7
A-2	20	0.01	24	0.07	60.0	12.6
B-1	31	0.12	43	0.44	60	62.2
B-2	81	0.07	53	0.48	85.7	48.8

7. الاستنتاجات والتوصيات

بعد تحليل النتائج التي توصلنا لها في الفقرات السابقة نخلص في هذا البحث إلى الاستنتاجات النهائية والتوصيات التالية:

- يعتمد سلوك التربة الانتفاخية إلى تغييرات أثناء تشكيل العينات، وبالتالي اضطراب في بنية التربة مما يسبب انخفاض متغيرات مقاومة القص للتربة (زاوية الاحتكاك الداخلي، تماسك التربة)، ولكن كان مقدار الانخفاض للتربة المنخفضة اللدونة أكبر من التربة العالية اللدونة.
- مقدار التغير النسبي في تماسك التربة بين العينة المخربة والعينة المشكلة تراوح بين $(\Delta C/C=60-85\%)$.
- مقدار التغير النسبي في زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة بين العينة المخربة والعينة المشكلة تراوح بين $(\Delta \phi/\phi) = 11-62\%$.
- تم استعراض الدراسة الحالية لترب المنطقة المدروسة وهي من نوع (CH) و (ML) لذلك نوصي بمتابعة الأبحاث على ترب من نوع آخر تتطلب نفس الشروط التي تم تطبيقها على الترب المختبرة.

8. قائمة المراجع

1.8. المراجع الأجنبية

- [1] ASTM -D3080 (1989)- Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions1.
- [2] B. Warren, X-Ray Diffraction. New York: Dover Publications, Inc., 1990.
- [3] Budhu, M. 2000- Soil Mechanics & Foundations, Wiley, New York, NY, USA.
- [4] Caruso, A., and Tarantino, A. 2004- A shear box for testing unsaturated soils from medium to high degree of saturation. Geotechnique, 54(4), 281-284.
- [5] Chaminda G., and Taro, U. 2010- Direct shear testing on unsaturated silty soils to investigate the effects of drying and wetting on shear strength parameters at low suction. soils and Foundations, 50 (1). pp. 161-172.
- [6] Clayton, C. R. I., M. C. Matthews and N. E. Simons 1999- Site Investigation. Inst. Civ. Eng., Gotech. Eng.
- [7] Das, B.M. (1998)- Principles of Geotechnical Engineering. 4th Ed. PWS Publishing Company, Boston, MA, USA.
- [8] Escario, S., and Saez, J.1986- The shear strength of partly saturated soils. Geotechnique, 36(4), 453-456.
- [9] Fredlund, D. G., and Rahardjo, H.1993- Soil mechanics for unsaturated soils. John Wiley & Sons, New York.
- [10] Gan, J. K. M., Fredlund, D. G., and Rahardjo, H.1988- Determination of the shear strength parameters of an unsaturated soil using the direct shear test. Can. Geotech. J., 25(8), 500-510.
- [11] Gillot, 1968. Clay in Engineering Geology. Elsevier Publishing Company, pp-234.

- [12] Ladd, C. C. (1971)- Settlement analysis of cohesive soils. Research Report R71-2. Cambridge, MA: MIT.
- [13] Lambe, T.W. and R.V. Whitman 1969- Soil Mechanics. Wiley, New York, NY, USA.
- [14] Tanaka, H.2000- Sample quality of cohesive soils: Lessons from three sites, Ariake, Bothkennar and Drammen. Soils and foundations 20(4), 57-74.
- [15] Terzaghi, K., R. B. Peck and G. Mesri 1996- Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons Inc.

2.8. المراجع بالعربية

- [16] ملحم، مياسة (2017)- تحسين بعض الغضاربات السورية بإضافة الكاولين لاستخدامها في الصناعة. مجلة جامعة البعث. 39 (33):16-23.
- [17] يني، حنا. (1982) " ميكانيك التربة". منشورات جامعة دمشق.