



الجمهورية العربية السورية  
جامعة دمشق  
كلية الهندسة المدنية  
قسم الهندسة الجيوتكنيكية

" استخراج قيمة الـ CBR للتربة الغضارية بالاعتماد على

قيم مقاومة القص المستنتجة من تجربة البروانة "

" FINDING OUT THE CBR VALUE FOR CLAY SOIL  
DEPENDING ON SHEAR STRENGTH VALUES WHICH  
CONCLUDED FROM VANE TEST"

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

إعداد : المهندس سمير فارس

إشراف : الدكتور المهندس مروان قعقع

المدرس في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق

دمشق - 2015



## الإهداء

إلى أحبتي ونور عيوني ومن من أجلهم أعيش ..... ابنتي وابنني فرح وتيم

إلى من تضيء من أبلنا وتسهر على راحتنا ..... زوجتي

إلى أساس وجودي ..... أمي

إلى أحبائي وأغزائي ..... أختي

إلى كل من أحب العلم و سعى من أجله

وأخيراً إلى نسمات الصفاء تعانق روحي حين أذكرها ..... روح أبي الطاهرة

# كلمة شكر

إن إنجاز هذا البحث ما كان ليتم دون التوجيهات الهامة والمفيدة التي قدمها لي السادة أعضاء الهيئة التدريسية في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق ، وإنني إذ أقدم هذا العمل المتواضع لا يسعني إلا أن أتقدم بالشكر الجزيل و فائق الامتنان لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث على كافة المستويات من فنيين ومهندسين مهما كان حجم تلك المساهمة .

وإنه لمن واجبي وحقه علي أن أخص بالشكر أستاذي المشرف الذي ساندني في عملي هذا وصحح مساره **الدكتور المهندس مروان قعقج** حفظه الله .

كما أنني لا أنسى أن أشكر السادة أعضاء القسم على كل نصيحة أو توجيه قدموه لي في مسيرة عملي للوصول إلى نهايات هذا البحث .

## ملخص البحث :

تلعب تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR) الدور الرئيسي في تصميم الطوابق الترابية للطرق والمطارات . لذلك اتجه العديد من الباحثين نحو دراسة العلاقة المحتملة بين قيمة الـ CBR والبرامترات الجيوتكنيكية المتعلقة بالتربة , والنااتجة من تجارب أخرى مثل مفاومة القص غير المصرف (Undrained shear strength) والنااتجة عن تجربة البروانة (VANE) .

وبناءً على ما سبق فقد تم إجراء هذا البحث باختيار ثلاثة مواقع هي صحنايا- دروشا- غباغب. وتم أخذ عينات من التربة الغضارية من تلك المواقع لإجراء تجارب الـ CBR والقص غير المصرف بالبروانة , بغية الوصول إلى علاقة تجريبية تربط بين القيمتين , مع ملاحظة اختلاف قيم حدود أتريرغ للترب الثلاثة .

وقد تم إجراء كافة التجارب (CBR- البروانة) ضمن مخبر ميكانيك التربة في جامعة دمشق حسب المواصفات القياسية : ASTMD1883-99 -ASTMD2573-01 وذلك مع تغيير قيم الرطوبة لكل نوع من أنواع الترب المدروسة , وتم التحقق من هذه العلاقة حقلياً .

**كلمات مفتاحية :** تربة غضارية , تجربة البروانة , نسبة تحميل كاليفورنيا , متانة القص .



## قائمة الرموز والمصطلحات

الرمز	الاسم
C	تماسك التربة
CBR	نسبة تحميل كاليفورنيا
D	قطر أو عرض البروانة
Gs	الوزن النوعي
H	ارتفاع البروانة
K , K1	معاملات تصحيح
LL	حد السيولة
Pi	قرينة اللدونة
PL	حد اللدونة
St	درجة الإشباع
Su	مقاومة القص غير المصرف
T	عزم القتل
w	رطوبة التربة
$\gamma_d$	الوزن الحجمي الجاف



10	..... تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا CBR	8 - 2 - 2
10	..... لمحة عامة	1-8-2-2
12	..... الأجهزة المستخدمة	2-8-2-2
13	..... خطوات التجربة	3-8-2-2
14	..... الحسابات وتمثيل المعطيات	4-8-2-2
14	..... الدراسات السابقة	3-2
17	..... مناقشة عامة	4-2
18	..... الفصل الثالث (منهج البحث وإجراءاته)	3
18	..... تمهيد	1-3
18	..... مراحل العمل التجريبي	2-3
19	..... جمع العينات	1-2-3
19	..... تحضير العينات	2-2-3
20	..... التجارب الأساسية	3-2-3
20	..... تجربة الوزن النوعي	1-3-2-3
20	..... تجربة حدود أتربغ	2-3-2-3
22	..... تجربة التحليل الحبي المنخلي	3-3-2-3
23	..... تجربة بروكتور	4-3-2-3
25	..... تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا CBR	4-2-3
42	..... تجربة البروانة	5-2-3
46	..... تجربة القص المباشر	6-2-3
52	..... درجة الإشباع	7-2-3
52	..... نتائج العمل المخبري	8-2-3
57	..... الفصل الرابع (تحليل النتائج)	4
57	..... تمهيد	1-4
57	..... دراسة العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR والرطوبة W	2-4
58	..... دراسة العلاقة بين القص غير المصرف بالبروانة Su والرطوبة W	3-4
59	..... دراسة العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR والوزن الحجمي الجاف	4-4
59	..... دراسة العلاقة بين القص غير المصرف بالبروانة Su والوزن الحجمي الجاف	5-4



# الفصل الأول

## المقدمة

### 1-1 تمهيد :

نتناول في هذا الفصل مقدمة البحث التي تحتوي على لمحة عامة عن موضوع البحث , كما نتطرق إلى الحديث عن أهمية وأهداف البحث والغاية الأساسية من إجرائه وكذلك النتائج المرجوة منه .

### 1 - 2 مقدمة :

تعتبر متانة التربة من أهم العوامل التي تلعب دوراً رئيسياً في تصميم الأساسات واختيار شكلها , بما في ذلك القواعد الترابية تحت الطرق والمطارات والسدود ... الخ . وذلك بغية الوصول إلى الطريقة الأسلم لنقل الحمولات المطبقة والمنقولة من المنشأ إلى التربة بشكل آمن.

إن عملية تحديد المتانة وبالتالي قدرة تحمل التربة تتم بواسطة العديد من التجارب المخبرية والحقلية , نذكر منها على سبيل المثال ( تجربة القص المباشر - تجربة الاختراق النظامية SPT - تجربة الاختراق بالمخروط CPT - تجربة البروانة - تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا CBR ..... الخ ( , وذلك تبعاً لنوع التربة المختبرة.

ومن الشائع استخدام اختبار الـ CBR في مجال الطرق بشكل واسع . ويكاد يكون هذا الاختبار هو المعيار الوحيد الذي يعبر عن متانة تربة الطريق وتحديد سماكات طبقات الطابق الترابي. في حين تستخدم تجربة البروانة في تحديد مواصفات القص للترب المتماسكة , وبالتالي قدرة تحمل التربة تحت قواعد المنشآت المختلفة .

ولما كانت قيم كلتا الطريقتين ( البروانة و الـ CBR ) تعكس برامترات لها علاقة بقدرة تحمل التربة , فقد نشأت الفكرة بإجراء مقارنة للنتائج المستخلصة من كلتا الطريقتين , وبالتالي محاولة إيجاد علاقة تربط بين القيمتين بحيث يمكن استنتاج قيمة الـ CBR للتربة حسب القيم الناتجة من متانتها على القص والمستخرجة من تجربة البروانة , وذلك باستخدام عينات غضارية بغية استخدامها في مجال تصميم الطابق الترابي لأعمال الطرق والمطارات.

## 1 - 3 أهداف البحث :

يمكن أن نوجز أهداف هذا البحث بالنقاط التالية :

- محاولة إيجاد علاقة تربط بين قيم الـ CBR ومقاومة القص غير المصرف المقاسة بواسطة البروانة , وذلك من خلال :
- 1 - تحديد قيمة الـ CBR ومقاومة التربة الغضارية للقص عن طريق أخذ عينات غضارية ذات قيم مختلفة لحد السيولة LL و قرينة اللدونة PI .
- 2 - إيجاد العلاقة بين قيمة الـ CBR ومقاومة القص غير المصرف للعينات الغضارية عند محتويات رطوبة مختلفة .

## 1 - 4 أهمية البحث :

تتركز أهمية هذا العمل باعتبار تجربة الـ CBR هي التجربة الأكثر شيوعاً في تصميم الطرق . وحيث أن هذه التجربة تستغرق زمناً أطول مقارنة مع غيرها من التجارب , بالإضافة إلى التكاليف الكبيرة وكذلك الحاجة إلى كمية كبيرة من المواد لإجراء التجربة , الأمر الذي يظهر الحاجة إلى التوجه إلى التجارب الأخرى والتي تعتبر أكثر سهولة من حيث التطبيق والإجراءات واختصار الزمن في تقييم متانة التربة المشكلة للطريق كما في حالة البروانة .

## 1 - 5 تنظيم البحث :

تم تنظيم هذا البحث في خمسة فصول أساسية بالإضافة إلى ملخص البحث , حيث يتضمن الفصل الأول مقدمة عامة عن البحث , وكذلك الأهداف الأساسية المرجوة من إجراءات وأهمية الموضوع من الناحية العملية , فيما يتضمن الفصل الثاني مفردات البحث والتي تتألف من الدراسة النظرية والدراسة المرجعية , ويرد في الفصل الثالث منهج البحث وإجراءاته والتي تشتمل على منهج العمل المخبري وكافة التجارب المنجزة خلال فترة إعداد البحث , كما يحتوي الفصل الرابع على تحليل كافة النتائج المستخرجة من التجارب السابقة الذكر , وأخيراً نختم في الفصل الخامس بالاستنتاجات والتوصيات .

## الفصل الثاني

### مفردات البحث

#### 1-2 تمهيد :

يعتبر هذا الفصل مدخلاً مهماً في فهم موضوع البحث ، ونعرض فيه المبادئ النظرية لمفردات البحث . مثل مقاومة التربة للقص والتجارب التي يتم من خلالها تحديد هذه المقاومة بما فيها البروانة ونسبة تحميل كاليفورنيا ، ونتطرق بعد ذلك إلى الدراسات السابقة التي تهتم بموضوع البحث وآخر ما توصل إليه الباحثون في هذا المجال ونختتم بمناقشة النتائج السابقة.

#### 2-2 الدراسة النظرية :

#### 1-2-2 مقاومة التربة للقص :

تعتبر مقاومة التربة للقص من أهم خواصها الميكانيكية وهي تحدد متانتها ، ويمكن تعريفها كمايلي: هي مقاومة التشوه الناتج من القوى (الإجهادات المماسية ) المؤثرة في كتلة التربة أو على جزيئاتها. ( حنا يني , 1989 ) .

وتظهر أهمية مقاومة التربة للقص عند التطرق إلى حساب قدرة تحمل التربة في القواعد الترابية , وكذلك تقييم توازن المنحدرات وحساب ضغط التربة على الحواجز , وتصميم القواعد الترابية للطرق والمطارات وكذلك السدود الترابية وتصميم قواعد مختلف المنشآت الهندسية . ونميز هنا بين حالتين : مقاومة التربة المفككة للقص , مقاومة التربة المتماسكة للقص .

## 2 - 2 - 2 مقاومة التربة المفككة للقص :

نستطيع أن نوجز بكلمات بسيطة في هذا المجال بأن نقول : إن مقاومة التربة المفككة للقص تعتمد بشكل أساسي على قوى الاحتكاك الداخلي بين جزيئات التربة .

## 2 - 2 - 3 مقاومة التربة المتماسكة للقص :

تختلف مقاومة التربة المتماسكة عن مقاومة التربة المفككة للقص ، فمن المعروف أن خواص التربة المتماسكة - ومنها التربة الغضارية - تتأثر بدرجة كبيرة بنسبة الماء فيها . حيث يتغير قوامها من الصلب إلى اللدن إلى السائل وفقاً لتغير رطوبتها ، لهذا تتأثر مقاومة القص ومواصفاته بنسبة الرطوبة في التربة ، أو بتعبير آخر بقوام التربة .

إن مقاومة التربة الغضارية للقص تتعلق بقوام التربة ، ففي الحالة الصلبة تكون قيم مواصفات القص للتربة عالية وخاصة قوى التماسك ، وبشكل عام فإن مقاومة التربة الصلبة للقص هي مقاومة تماسك واحتكاك ، حيث يقاوم التماسك القوى القاصة في البداية ثم يظهر تأثير الاحتكاك بعد استنفاد التماسك .

أما في الحالة اللدنة للتربة الغضارية - حالة التربة المشبعة - فتعتمد مقاومة القص بالدرجة الأولى على نسبة الرطوبة الموجودة في التربة .

حيث تزداد المقاومة مع نقصان الرطوبة ، وإن العنصر الأكثر تأثراً بتغير الرطوبة في هذه الحالة هو الاحتكاك ، حيث تنخفض قيمته بشكل كبير وتعتمد مقاومة التربة هنا على قوى التماسك.

نستطيع تقسيم مقاومة التربة المتماسكة للقص إلى ثلاث فئات :

### 1 - مقاومة القص غير المصرف ( Undrained Shear Strength ) :

تعتمد هذه المقاومة بشكل رئيسي على تحليل الإجهادات الكلية المطبقة على التربة (Total Stress Analysis). وفي هذه الحالة لا يتغير محتوى رطوبة التربة .

### 2 - مقاومة القص المصرف ( Drained Shear Strength ) :

تعتمد هذه المقاومة بشكل أساسي على تحليل الإجهادات الفعالة المطبقة على التربة Effective ( Stress Analysis ) . وفي هذه الحالة يتغير محتوى الماء في التربة .

### 3 - مقاومة القص المصرف المتبقي ( Drained Residual Shear Strength ) :

تحتاج بعض المشاريع الحيوية إلى تحديد قيمة القص المتبقي للتربة المتماسكة ، والذي يعرف بأنه مقاومة القص المتبقية بعد حدوث تشوه القص في التربة .

وبشكل عام ومن أجل تحديد مقاومة القص للتربة يتم اتباع العديد من الطرق المخبرية , وذلك تبعاً لنوع التربة المختبرة وسنرد على ذكرها بإيجاز .

## 2 - 2 - 4 تجربة القص المباشر المستوى ( Direct shear test ) :

تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في أكثر مخابر ميكانيك التربة، وذلك لبساطتها ولسرعة الحصول على النتائج فيها. وتعطينا هذه التجربة مواصفات القص (  $C$  ,  $\phi$  ) للترب والتي تحدد قدرة تحمل التربة.

هناك أجهزة مختلفة لإجراء تجارب القص المباشر المستوي ، ويمكن أن نفرق بين نوعين أساسيين من أجهزة القص وذلك وفقاً لمبدأ القص فيهما :

- النوع الأول : يحدث القص فيه تحت تأثير قوة قاصة تطبق على العينة بسرعة انتقال أفقي ثابتة , لا تتوقف على نوع العينة المختبرة أو على مقدار الضغط العمودي المطبق عليها ، وتولد القوة القاصة بواسطة محرك.

- النوع الثاني : يحدث القص فيه بتأثير حمولات ميثه تولد قوى أفقية قاصة ، وتتزايد الحمولات الميثه أثناء التجربة حتى يتم قص العينة ، وتتبع درجة تزايد الحمولات الأفقية القاصة نوع التربة وسرعة إجراء التجربة .

ونميز طريقتين لإجراء تجربة القص المباشر المستوي هما :

### 1 - الاختبار بالطريقة المغلقة ( Undrained test ) :

لا تتغير رطوبة العينة أثناء القص , فلا يسمح بخروج الماء منها أثناء التجربة وذلك بوضع أقراص كتيمة فوقها وتحتها.

### 2-الاختبار بالطريقة المفتوحة ( Drained test ) :

يسمح في هذه الطريقة بخروج الماء من العينة أثناء القص ، وذلك بوضع أقراص مسامية فوقها وتحتها.

ويمكن تحقيق الاختبار بالطريقة المغلقة بتطبيق القوة القاصة بسرعة ثابتة ومرتفعة , بحيث لا تتمكن الاجهادات العمودية المطبقة على العينة من تغيير رطوبتها . يسمى هذا النوع من الاختبار السريع ( Qwick test ) , والذي يجري القص بموجبه فوراً بعد تطبيق (  $\sigma_n$  ) دون أي فاصل زمني ، ويحدث القص وفقاً لهذا الاختبار خلال زمن لا يزيد عن 10 دقائق .

أما الاختبار بالطريقة المفتوحة فقد يكون سريعاً ( Consolidated quick test ) , حيث يسمح للعينة بأن تنضغط تحت تأثير (  $\sigma_n$  ) المطبق خلال زمن كافي لثبات التشوه العمودي فيها ، بعد ذلك نقص العينة بسرعة خلال ( 5 - 10 ) دقائق .

ويمكن أن يكون الاختبار بالطريقة المفتوحة بطيئاً ( Consolidated slow test ) ، حيث يسمح في هذا الاختبار لعينة التربة بأن تتضغط كلياً تحت تأثير الحمولة العمودية ، فينقل الاجهاد الخارجي إلى هيكل التربة ولا يبقى ضغط في مسامات التربة .

وتطبق الفقرة الأفقية القاصة ببطء وازدياد قليل ومنتدج ، بحيث لا تزيد القوة القاصة في البداية عن 5 % من قيمة القوة العمودية ثم تزداد بنفس النسبة ( 5 % ) ، ومنتظر بعد تطبيق كل درجة حمولة قاصة حتى ثبات التشوه الأفقي الناتج في العينة ، لذلك يتطلب الاختبار بهذه الطريقة مدة طويلة من الزمن تصل إلى عدة أسابيع .

تحدد طريقة الاختبار انطلاقاً من شروط توضع طبقة التربة في الطبيعة تحت الحمولات المطبقة عليها ، ويراعى أن تكون الشروط الابتدائية (درجة التراص والرطوبة ) واحدة في العينات المختبرة على القص .

إن مواصفات القص (  $C, \emptyset$  ) لتربة غضارية معينة ذات قوام معين ليست ثابتة ، بل تتأثر بطريقة الاختبار وسرعة القص ونوع الجهاز المستخدم . لهذا عند إعطاء هاتين القيمتين للتربة يجب أن نذكر طريقة الحصول عليهما ومبدأ استخراجهما .

## 2 - 2 - 5 تجربة الضغط الحر باتجاه محور واحد ( Unconfined ) : (compression)

تستخدم هذه الطريقة فقط في حالة التربة المتماسكة ، والتي تسمح بأخذ عينات منها بشكل اسطواني أو مكعبى .

يتم الحصول من خلال هذه التجربة على قيمة التماسك في التربة .  
يجري الاختبار على الضغط البسيط بواسطة أجهزة تولد قوة عمودية تطبق على العينة باتجاه محور واحد ، وذلك عن طريق قرصين معدنيين ، حيث تنمو القوة الضاغطة حتى يتم كسر العينة . وتطبق القوة في بعض الأجهزة بسرعة تشوه ثابتة عن طريق محور يتقدم بسرعة ثابتة تقاس بالـ مم / دقيقة ، وتتراوح هذه السرعة بين 0.125 مم /د- 0.8 مم /د . وفي البعض الآخر تطبق القوة الضاغطة بواسطة حمولات ممتدة ، توضع على درجات تضاف كل درجة حمولة بعد ثبات التشوه العمودي الناتج في العينة من الحمولة التي سبقتها . وتعين درجة الحمولة وفقاً لقيمة المقاومة العظمى للضغط البسيط للتربة المختبرة وعادةً تكون  $0.1 \text{ kg/cm}^2 - 0.2 \text{ kg/cm}^2 - 0.3 \text{ kg/cm}^2$  وهكذا حتى يتم الكسر .

## 2 - 2 - 6 تجربة الضغط باتجاه المحاور الثلاثة ( Traixial compression ) :

يمثل هذا الاختبار الوضع الإجهادي الطبيعي الناتج في التربة من تأثير القوى الخارجية عليها أو الداخلية فيها .

يمكن الحصول من خلال هذا الاختبار على جميع المواصفات الميكانيكية في التربة ( حسب نوع الجهاز المستخدم ) وهي : معامل الانضغاط - معامل التشوه - معامل الضغط الجانبي - معامل التوسع الجانبي - التماسك - زاوية الاحتكاك الداخلي ومعامل الرشح الموافق للحالة الإجهادية المطبقة.

## 2 - 2 - 7 تجربة البروانة ( Undrained shear test ) :

تعد تجربة البروانة من أقدم الطرق المستخدمة وبشكل واسع في مجال ميكانيك التربة , وقد تم اعتمادها في أواخر عام 1940 في السويد .

وتعتبر هذه التجربة أحد الطرق التي تستخدم في تحديد متانة القص غير المصرف  $S_u$  ( Undrained Shear Strength ) للتربة المتماسكة ( بما فيها الغضار ) المشبعة , وذلك حسب المواصفة القياسية ( ASTM - D 2573 - 01 ) . وتطبق عادة على العينات غير المخربة والعيّنات المرصوفة والمحضرة حسب مواصفات الرص القياسية .

يمكن أن نميز بين نوعين من جهاز البروانة الأول مخبري والثاني حقلي , حيث نستطيع استخدام الجهاز المخبري لقياس متانة التربة المتماسكة التي لا تتجاوز مقاومتها على القص ( 30 kpa ) , في الوقت الذي يصعب من خلاله استخدام تجارب أخرى مثل الضغط باتجاه محور واحد .

## 2 - 2 - 7 - 1 الأجهزة والمعدات :

يتألف جهاز البروانة من أربع شفرات مستطيلة رفيعة متصلة فيما بينها بواسطة ذراع أسطواني . ويكون ارتفاع الشفرات عادة ضعف عرضها (  $H = 2D$  ) .

وتختلف قياسات الشفرات حسب نوع الجهاز والشركة الصانعة وطاقة البروانة , حيث تتوفر عدة موديلات للبروانة والمنتشرة في الأسواق العالمية ومنها :

:INSPECTION VANE TESTER, SL-840 – 1

وهي مزودة بثلاث شفرات أبعادها على التوالي 16 \* 32 mm – 20 \* 40 mm – 25.4 \* 50.8 mm لقياس القص حسب الترتيب 0 – 200 kpa , 0 – 100 kpa , 0 – 50 kpa . وقد تم استخدامها في هذا البحث باستخدام الشفرة الأصغر الشكل ( 1 – 2 ) .



شكل رقم ( 1 – 2 ) : البروانة SL-840 المستخدمة في البحث .

: INSPECTION VANE TESTER,H60 – 2

وهي نفس البروانة السابقة ومزودة بنفس الشفرات إلا أنها تمتلك طاقة أكبر تقيس حتى 260 kpa .

: GEONOR H 70 – 3

وهي مزودة بشفرتين قياس 60 \* 120 mm , 75.8 \* 151.5 mm والشكل ( 2 – 2 ) وتقيس القص حتى 160 kpa .

وهناك العديد من الأشكال للبروانات متوفرة بطاقات مختلفة .



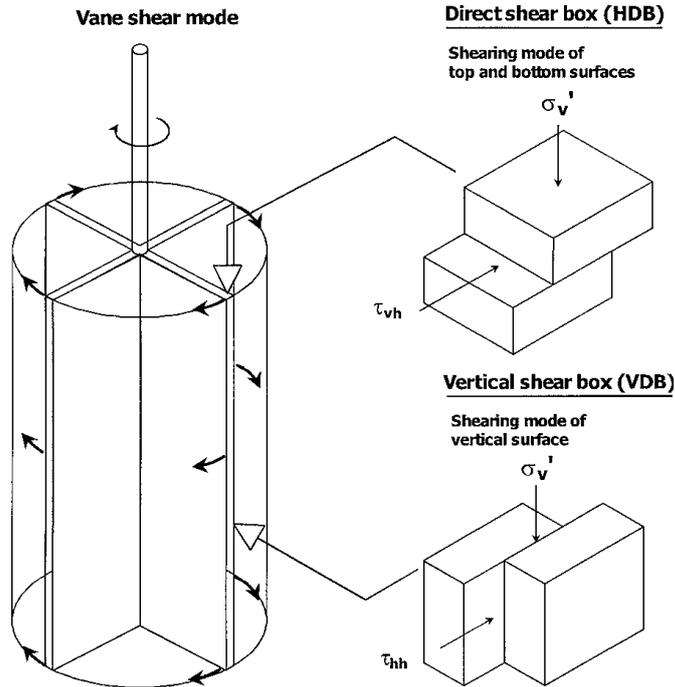
شكل رقم ( 2 – 2 ) : البروانة GEONOR H 70 .

## 2 - 2 - 7 - 2 طريقة الاستخدام :

تعتبر تجربة البروانة من الطرق البسيطة والسهلة الاستخدام , وتمتاز بالسرعة وقلّة التكلفة إذا ما قورنت بتجارب أخرى . ويعتمد مبدأ العمل على غرز الشفرات ضمن التربة لمسافة تتراوح بين ( H - 2H ) , ثم يتم تدوير البروانة ببطء و باتجاه عقارب الساعة بسرعة ثابتة ( 6° - 12° / min ) حتى يحدث القص .

## 2 - 2 - 7 - 3 طريقة الحساب :

يتم حساب مقاومة التربة للقص الناتجة عن تجربة البروانة بالاعتماد على معرفة عزم الفتل الأعظمي اللازم تطبيقه على ذراع الجهاز , والذي ينتقل إلى التربة عبر سطح القص المؤلف من جزئين اسطواني ( محيط البروانة ) , ودائري ( قاعدة البروانة ) , الشكل رقم ( 2 - 3 ) .



شكل رقم ( 2 - 3 ) : تمثيل سطح القص في البروانة .

وتحسب مقاومة القص بالبروانة من العلاقة ( 2 - 1 ) :

$$T = Su [( D^2 \cdot H )/2 + D^3/6 ] \dots\dots\dots ( 2 - 1 )$$

حيث :

T عزم الفتل المطبق .

D عرض البروانة .

H ارتفاع البروانة .

Su مقاومة القص غير المصرف للتربة .

## California Bearing ) CBR 8 - 2 - 2 تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا

( Ratio :

### 2 - 2 - 1 لمحة عامة :

تطورت فكرة تحديد نسبة تحميل كاليفورنيا في فرع الطرق لكاليفورنيا عام 1929 , وذلك لتصنيف الأتربة الملائمة تحت أساس الطريق . وتم بعد ذلك وخلال الحرب العالمية الثانية اعتمادها في إنشاء المطارات .

تقيس تجربة ( CBR ) مقاومة المتانة على القص في التربة بتأثير الرطوبة والكثافة . ونحصل على هذه القيمة كنسبة واحدة الحمولة اللازمة لاختراق سماكة معينة بواسطة مكبس الآلة في عينة مرصوفة من التربة ذات رطوبة وكثافة محددة , منسوبة إلى واحدة الحمولة النظامية لنفس العمق من الاختراق في عينة نظامية من الحجر المكسر .

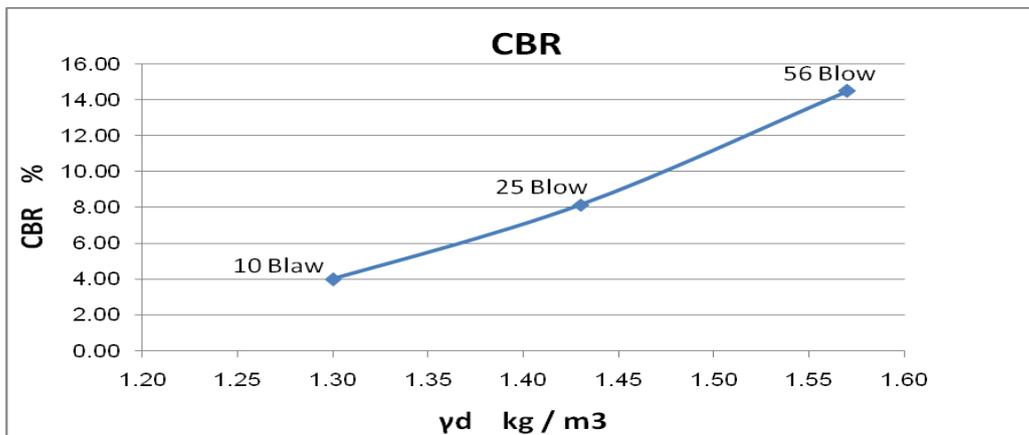
$$CBR = \frac{Test Unit Load}{Standard Unit Load} \times 100 \%$$

وتستخدم وحدات الحمولات النظامية كما في الجدول رقم ( 2 - أ ) .

جدول رقم ( 2 - أ ) : قيم واحدة الحمولة النظامية لحجر مكسر بدلالة الاختراق .

الاختراق ( penetration )		واحدة الحمولة النظامية ( standard ) ( unit load	
mm	inch	Mpa	psi
2.5	0.10	6.9	1.0
5.00	0.20	10.3	1.5
7.5	0.30	13.00	1.9
10.00	0.40	16.00	2.3
12.7	0.50	18.00	2.6

ترتبط عادة قيمة العدد CBR بنسبة الحمولة اللازمة لاختراق 2.5 مم . إلا أنه في بعض الحالات التي نجد فيها أن قيمة الـ CBR عند اختراق 5.0 مم أكبر منها عند 2.5 مم فعلياً إعادة التجربة , وفي حال تكررت الحالة فإنه يتم اعتماد القيمة عند اختراق 5.0 مم .  
تجرى عادة تجربة الـ CBR على عينات بدرجة رطوبة مثلى , ويعتمد في تحضير العينة والقدرة المصروفة على الارتصاص حسب المواصفة ASTM : D698 أو D1557 .  
حسب المواصفة 99 - ASTM D1883 ومن أجل الوصول إلى قيمة الـ CBR عند قيمة محددة للوزن الحجمي الجاف , فإنه يتوجب أخذ ثلاث عينات وإجراء التجربة لكل عينة بعدد ضربات مختلف ( عدد الضربات لكل طبقة 10 - 25 - 56 ) بحيث نحصل على قيم  $\gamma_d$  أكبر وأصغر من الوزن الحجمي الجاف الأعظمي , ونرسم العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف وقيمة الـ CBR حيث يتم استنتاج قيمة الـ CBR المطلوبة والمقابلة للوزن الحجمي الجاف المحدد , شكل رقم ( 2 - 4 ) :



شكل رقم ( 2 - 4 ) : العلاقة بين CBR و  $\gamma_d$  مع تغير عدد الضربات.

و يجب ملاحظة : أن قيمة الوزن الحجمي الجاف العظمى الناتجة من تجربة الرص ضمن قالب قطره  
4" يمكن أن تكون أكبر منها عند استخدام قالب بقطر 6" .

## 2 - 2 - 8 - 2 الأجهزة المستخدمة :

- آلة ضغط مع مكبس قطره 4.953 سم ومساحة سطحه 19.4 سم<sup>2</sup> بمعدل سرعة اختراق 1.27 مم / د وتستخدم في تطبيق القوى على العينة ضمن القالب .
- قالب الـ CBR ويجب أن يكون من المعدن القاسي وهو اسطواني الشكل بقطر داخلي 6"±  
0.026" ( 152.4 mm ± 0.66 mm ) ارتفاع 7" ± 0.018" ( 177.8 ± 0.46 mm )  
الشكل ( 2 - 5 ) . بالإضافة إلى أقراص ضغط قطر 15.1 سم وارتفاع 6.14 سم  
ومطرقة رص 24.5 أو 44.5 نيوتن - جهاز قياس انتفاخ ومؤشر قياس بدرجة 0.01 مم -  
أوزان مع كافة الملحقات اللازمة .



شكل رقم ( 2 - 5 ) : صورة جهاز الـ CBR .

## 2 - 8 - 3 خطوات التجربة :

يتم إجراء التجربة على عينات منقوعة أو غير منقوعة وفق ما يلي :

- 1 - نحضر ما يقارب 4.5 كغ من التربة الناعمة المارة من المنخل رقم N4 أو ما يقارب 5.5 كغ من المادة ذات الأقطار 19 مم بدرجة الرطوبة المثلى من تجربة الارتصاص .
- 2 - يتم أخذ عينة لقياس الرطوبة قبل الرص ( 100 غ ) على الأقل .
- 3 - نزن القالب بدون القاعدة والوزنة .
- 4 - نثبت القالب إلى القاعدة , ونضع عليه وزنة ( 15.1 سم × 5.1 سم وهي قرص دائري معدني ) ونضع عليه ورقة فلتر .
- 5 - يتم وضع التربة ضمن القالب ورصها وفق ما ذكر سابقاً حسب المواصفة ASTM : D698 أو D1557 .
- 6 - نستخرج القالب العلوي ونسوي السطح بمسطرة الجهاز الخاصة , ويتم إغلاق الفجوات التي يمكن أن تتشكل بواسطة التربة الناعمة . ونزن القالب مع التربة المرصوفة لتحديد الوزن الحجمي الرطب .
- 7 - نضع ورقة فلتر على القاعدة ونضع القالب بحيث يصبح هناك بروز فوق سطح التربة حوالي 5.1 سم .
- 8 - نضع الوزنات اللازمة ( ليس أقل من 4.54 كغ ) على العينة , لتمثيل ضغط الطبقات العليا على التربة في الطريق .
- 9 - نضع العينة على آلة الضغط ويتم تصفير مؤشر الحمولة والاختراق .
- 10 - يتم أخذ القراءات كما هو محدد في المواصفة عند قيم الاختراق التالية : 0.64 mm - 1.27 mm - 1.91 mm - 2.54 mm - 3.18 mm - 3.81 mm - 4.45 mm - 5.08 mm - 7.62 mm - 10.16 mm - 12.7 mm ويمكن أخذ قراءات إضافية عند قيم اختراق أخرى .
- 11 - نستخرج العينة وناخذ عينتين لتحديد الرطوبة من الطبقة على عمق 2.5 سم . إن الإجراءات المذكورة أعلاه تعتمد للعينة غير المنقوعة , أما في حالة نقع العينة فيتم إجراء ما يلي :
- 12 - نضع القاعدة ونضع عليها ورقة فلتر ثم القالب مع التربة المرصوفة ووزن إضافي 2.27 كغ وبحيث لاتزيد عن 4.54 كغ مع تدوين الوزن المستخدم .
- 13 - نضع القالب مع الأوزان في حوض ماء لغمره بالماء , وبحيث يبقى مرتفعاً بحدود 3 سم عن أرضية الحوض بواسطة تساميك مناسبة , وذلك حتى يتسنى دخول المياه من خلال القاعدة المثقبة ونضع مؤشر قراءات الانتفاخ .

- 14 - نضع مؤشر الانتفاخ على الصفر ونسجل بداية زمن القراءات التي يتم أخذها خلال الفترات التالية : 0 - 1 سا - 2 سا - 4 سا - 12 سا - 24 سا - 36 سا - 48 سا - 72 سا - 96 سا وذلك بدءاً من بداية تسجيل الزمن . ويمكن إنهاء القياسات بعد 48 ساعة إذا أصبحت ثابتة .
- 15 - نستخرج القالب بعد النقع 96 ساعة وندع العينة تجف لمدة 15 دقيقة , ويمكن استخدام ورقة نشاف لتجفيف سطح العينة .
- 16 - نزن القالب مع العينة المشبعة .
- 17 - نكرر العمليات الواردة في البنود 8 - 11 .

## 2 - 2 - 8 - 4 الحسابات وتمثيل المعطيات :

- 1 - نضع قيم مقاومة الاختراق على المحور الشاقولي بالكيلو باسكال , والموافقة لقيم الاختراق بالميليمتر الممثلة على المحور الأفقي.
- 2 - نحدد قيمة مقاومة الاختراق الموافقة لاختراق 2.5 - 5 مم من المنحني الناتج ثم نحسب قيمة الـ CBR .
- 3 - نحسب رطوبة العينة وكثافتها قبل الغمر وبعد الغمر .
- 4 - نحسب نسبة الانتفاخ النسبي اعتماداً على الارتفاع الفعلي للعينة , ونرسم مخطط الانتفاخ النسبي مع الزمن .
- 5 - يجب أن يتضمن التقرير كافة القيم قبل النقع وبعد النقع , والتغيرات الحاصلة ومناقشة قيم الانتفاخ وإمكانية التقليل منها بالإضافة إلى مواصفات التربة وتصنيفها حسب مواصفات ASTM .

## 2-3 الدراسات السابقة :

تكتسب تجربة الـ CBR أهمية واسعة باعتبارها المعيار الأهم في تحديد متانة طبقات الطابق الترابي , ولذلك فقد اتجه العديد من الباحثين نحو دراسة العلاقة المحتملة بين تجربة CBR وتجارب أخرى . بغية الاستفادة من تلك التجارب في تقييم متانة الطابق الترابي للطرق والمطارات.

فقد اقترح كل من ( Black and Lister 1979 ) استخدام العلاقة رقم ( 2 - 2 ) لحساب قيمة CBR بدلالة مقاومة القص غير المصرف المقاس بالبروانة للغضار متوسط إلى عالي اللدونة , وذلك لعينات من ثلاثة أنواع من التربة :

$$Su = 23 \times CBR \dots\dots\dots (2 - 2)$$

وقد تم إدخال تعديل على تلك العلاقة لتصبح على الشكل التالي في العلاقة ( 2 - 3 )

$$Su = 23 \times ( CBR + 1 ) \dots\dots\dots ( 2 - 3 )$$

كما قام كل من ( brown , Loack and O'Reilly 1987 ) بدراسة العلاقة بين قيمة CBR والقص غير المصرف بالبروانة على التربة الناعمة ( سيلت - غضار رملي ) وتم التوصل إلى العلاقة رقم ( 2-4 )

$$Su = 7.8 \times CBR \dots\dots\dots ( 2 - 4 )$$

في حين تم استخدام العلاقة رقم ( 2-5 ) لعينات محضرة ومرصوصة ضمن قالب الـ CBR , وقد تم قياس القص غير المصرف في هذه المرة بواسطة جهاز الاختراق :

$$Su = 34 \times CBR \dots\dots\dots ( 2 - 5 )$$

ولدى الرجوع إلى التقرير المعد من قبل ( G.Garcia and M.R.Thompson 2003 ) لدراسة متانة الطابق الترابي نجد أن قيمة CBR قد أصبحت كما هو وارد في العلاقة رقم ( 2 - 6 ) :

$$Su = 2.25 CBR \dots\dots\dots ( 2 - 6 )$$

ومن خلال تحضير عينات مختلفة وبقرائن لدونة مختلفة من التربة الغضارية وحرصها ضمن قالب CBR , فقد استطاعت ( Hussin 2008 ) أن تتوصل إلى العلاقة (2-6) بمعامل ترابط قدره  $R^2 = 0.80$  ، والعلاقة (2-7) بمعامل ترابط  $R^2 = 0.76$  ، وكلا العلاقتين تربطان بين قيمة الـ CBR ( غير منقوعة ) ومقاومة القص غير المصرف المستخرج عن طريق البروانة .

$$CBR = 0.0278 Su \dots\dots\dots ( 2 - 6 )$$

$$CBR = 0.1212 Su - 7.0023 \dots\dots\dots ( 2 - 7 )$$

حيث حددت صلاحية استخدام العلاقة رقم ( 2-6 ) ضمن مجال تغير قيم Cu بين القيمتين ( 0- 73kpa ) , والعلاقة ( 2 - 7 ) ضمن مجال تغير قيم Cu بين القيمتين ( 73-146 kpa ) مع ملاحظة أن معامل الترابط للعلاقتين لم يتجاوز 0.8 . ويعود هذا الأمر إلى أن العلاقتين السابقتين قد تم استنتاجهما بالاعتماد على أربعة قيم فقط لكل من Su و CBR , مع تغير قيم الرطوبة والوزن الحجمي الجاف لكل نوع من أنواع الترب المدروسة , والتي شملت ثلاثة مواقع للتربة الغضارية , حيث تراوحت قيم الرطوبة للعينات المحضرة بين ( 20 - 40 % ) حسب نوع كل عينة . علماً أن مجمل الرطوبات كانت أعلى من الرطوبة المثلى W0 .

واختبر كل من ( Danistan and Vipulanandan 2009 ) عينات من الغضار الرملية لإيجاد العلاقة بين القص غير المصرف وقيمة الـ CBR , وكانت النتيجة التوصل إلى علاقة لخطية ممثلة بالمعادلة رقم ( 2 - 8 ) وهي علاقة من الدرجة الثانية :

$$Su = - 0.0426 (CBR)^2 + 2.212 CBR \dots\dots\dots ( 2 - 8 )$$

وكذلك فقد ذكر كل من ( Cuelho and Perkins 2009 ) في تقريرهما : أنه ومن خلال إجراء تجارب الـ CBR وتجارب القص بالبروانة اليدوية على عينات من الغضار الرملية بغية تقدير متانة الطابق الترابي المدروس , فقد تم التوصل إلى علاقة خطية جيدة تربط بين قيم CBR وقيم Su وبمعامل ترابط  $R^2 = 0.80$  , العلاقة رقم ( 2 - 9 ) :

$$Su = 39.418 CBR - 9.5354 \dots\dots\dots ( 2 - 9 )$$

وقد تم إجراء تجارب البروانة ضمن المخبر على العينات المحضرة في قالب الـ CBR , فيما تعذر الوصول ضمن المخبر إلى علاقة مرضية تربط قيم CBR بالرطوبة أو الوزن الحجمي , حيث كان معامل الترابط هنا  $R^2 = 0.11$  .

كما وردت العلاقة رقم ( 2 - 10 ) ضمن مؤتمر شارك فيه كل من Danistan ( and Vipulanandan 2010 ) , لتبين ارتباط قيم CBR بمقاومة القص غير المصرف للتربة الغضارية والمحضرة في المخبر وفقاً للعلاقة الخطية التالية :

$$Su = 1.613 CBR \dots\dots\dots ( 2 - 10 )$$

ورود في التقرير النهائي المعد عن إعادة استصلاح مواد المدرج الاسفلتي لإعادة بناء المدرجات المخربة نتيجة الآليات الثقيلة ( Jie Han, Ph.D., P.E 2012 ) , العلاقة المستنتجة بواسطة )

Pokharel 2010) الذي أجرى اختباراً على عينات من التربة الناعمة , وتمكن من التوصل إلى العلاقة رقم ( 2 – 11 ) التي تربط قيم الـ CBR وقيم مقاومة القص غير المصرف المقاس بالبروانة وفقاً لما يلي :

$$Su = 20.5 \times CBR \dots\dots\dots ( 2 - 11 )$$

وبالإضافة لما ذكر أعلاه فقد تناول العديد من الباحثين موضوع ارتباط قيم الـ CBR فيما بينها , حيث تم إيجاد العلاقة بين عينات منقوعة وأخرى غير منقوعة من التربة الغضارية Sathawara ( Prof 2013 , ) . ومن منطلق الأهمية التي تحظى بها تجربة الـ CBR , فقد حاول آخرون ( Mukesh 2012 ) دراسة العلاقة بين قيم CBR لعينات منقوعة من ترب مختلفة وقيم تجربة الاختراق الديناميكي بالمخروط , وكذلك تم الربط بين تجربة CBR وتجارب أخرى , وبين CBR وبرامترات التربة المختلفة .

ملاحظة : إن وحدة قياس Su هي الكيلو باسكال في جميع العلاقات السابقة , وقد تم التعبير عن هذه الوحدة ضمن الرقم الصحيح الموجود في كل علاقة , وذلك حسب شروط كل تجربة , ونوع الجهاز المستخدم .

## 2 - 4 مناقشة عامة :

نلاحظ من خلال كافة العلاقات الواردة أعلاه أن العلاقة بين مقاومة القص غير المصرف وقيم CBR هي علاقة خطية في أغلب الحالات , وهي من الشكل :

$$CBR = a Su + b$$

حيث تختلف قيم كل من a , b حسب الشروط الحدية لكل حالة , ولكن بشكل عام تراوحت قيمة a بين ( 0.025 – 0.62 ) , وقيمة b بين ( -0.24 – -7 ) , وفي أغلب الحالات كانت قيمة b مساوية للصفر .

نلاحظ أيضاً أنه وفي جميع العلاقات المذكورة لم يكن هناك أي من برامترات التربة الأساسية , والتي يمكن أن تعبر بشكل أفضل عن الترابط بين القيم , وتعطي توصيفاً أكثر دقة لحالة التربة المدروسة . وبناءً على ذلك فقد تم العمل ضمن هذا البحث على إيجاد علاقة تربط قيم Su , CBR مع الأخذ بعين الاعتبار قيم قرينة اللدونة للترب المدروسة وذلك لتعبر العلاقة المستنتجة عن حالة التربة بشكل أدق .

## الفصل الثالث

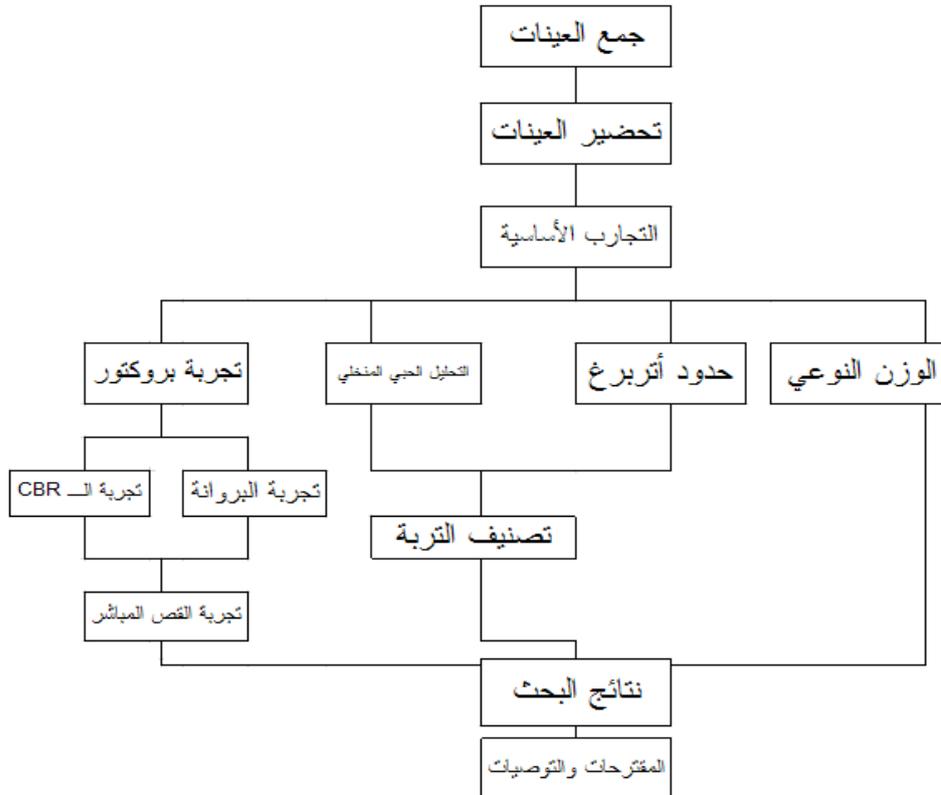
### الدراسة التجريبية

#### 3-1- تمهيد :

إن إنجاز هذا البحث تطلب القيام بالعديد من التجارب المخبرية , من خلال تحضير عدد كبير من العينات , وفق تسلسل منطقي وصولاً إلى النتائج المطلوبة .  
نعرض في هذا الفصل مراحل العمل المخبري الذي تم من خلاله إنجاز البحث , وكافة التجارب التي تم إجراؤها لإتمام العمل .

#### 3 - 2 - مراحل العمل التجريبي :

انطلق العمل المخبري لهذا البحث في منتصف عام 2013 في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق . وتم إجراء كافة التجارب حسب المواصفات القياسية ASTM , وتم استخلاص النتائج وذلك وفق مخطط العمل التالي ( شكل 3 - 1 ) :



الشكل ( 3 - 1 ) : مخطط العمل التجريبي .

### 3 - 2 - 1 - جمع العينات :

تم القيام بأعمال حفريات على عمق 1.2 م من أجل جلب عينات من التربة الغضارية من ثلاثة مواقع مختلفة هي : صحنايا - دروشا - غباغب . وقد كانت كافة العينات مضطربة بسبب صعوبة الحصول على عينات سليمة , وبعد ذلك نقلت العينات إلى المخبر بواسطة أكياس بلاستيكية , وتم تنسيقها ضمن المخبر .

### 3 - 2 - 2 - تحضير العينات :

تم تحضير مختلف العينات لإجراء كافة التجارب اللازمة حسب مايلي :

#### -عينات تجرية الوزن لنوعي :

ثلاثة عينات لكل نوع من أنواع الترب المدروسة , وهي عبارة عن 150g من المارمن المهزة رقم 40 , وذلك بعد تجفيفها في الفرن لمدة 24 ساعة حتى الوصول إلى نسبة الرطوبة  $W = 0\%$  حسب المواصفات القياسية ASTM D854 .

#### -عينات تجرية حدود اتريرغ :

تم تحضير عينة وزن حوالي 250g من المار من المهزة رقم 40 ونقعها ضمن الماء لمدة 24 ساعة , وذلك لكل نوع من أنواع الترب المدروسة . حسب المواصفة القياسية ASTM D4318 .

#### -عينات تجرية التحليل الحبي :

تم تحضير عينة من التربة بعد تجفيفها في الفرن لمدة 24 ساعة على الأقل , للتأكد من نسبة الرطوبة بوزن حوالي 600g وتم نقعها لمدة 24 ساعة , ثم تمت متابعة التجارب حسب المواصفة القياسية ASTM D2487 .

#### -عينات تجرية بروكتور:

تم تجهيز كمية كافية من التربة بحدود حوالي 10 kg من كل نوع , وذلك للمار من المهزة رقم ( 4 ) , الشكل ( 3 - 2 ) , وتم تجفيفها تباعاً لمدة 24 ساعة , وتم بعد ذلك ترطيب كل عينة والتي تبلغ حوالي 1800g بنسبة الرطوبة المطلوبة واستكمال التجربة .

#### -عينات تجريتي الـ CBR والبروانة :

تتعلق التجريتان ( CBR والبروانة ) ضمن هذا البحث بشكل وثيق بتجربة بروكتور , لذلك فقد كانت طريقة تحضير العينات مشابهة لعينات بروكتور , عدا وزن العينة الذي يبلغ حوالي 5kg لكل قالب ( قالب الـ CBR ) .



الشكل رقم ( 3 - 2 ) : صورة فوتوغرافية تبين تجهيز عينات بروكتور .

### -عينات تجربة القص المباشر :

تم إجراء تجربة القص المباشر عن بواسطة عينات التربة المأخوذة من قالب الـ CBR , وذلك بعد الانتهاء مباشرة من تجربة الـ CBR أو البروانة , حيث تم استخدام حلقة جهاز القص لاستخراج عينات بنفس الرطوبة والوزن الحجمي الذين أجريت بموجبهما التجريبتان السابقتان .

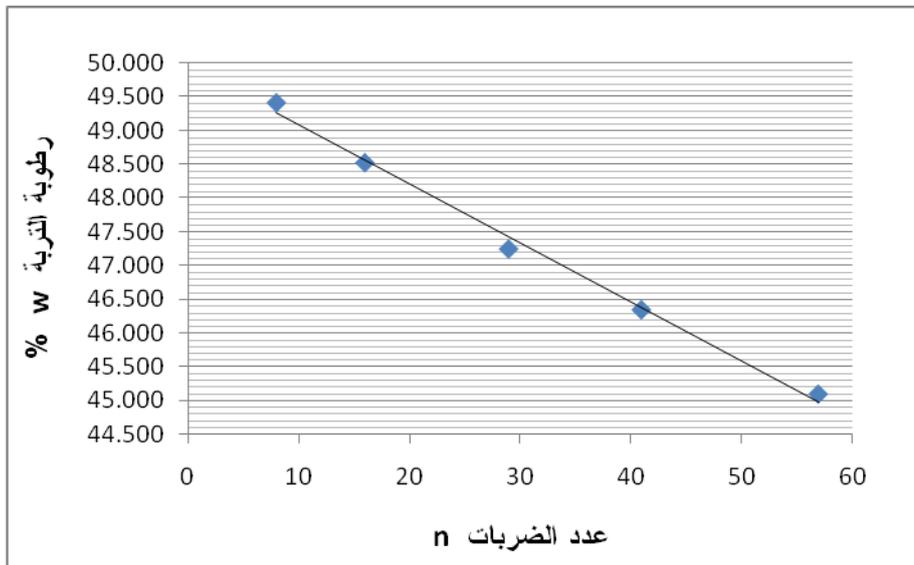
### 3 - 2 - 3 - التجارب الأساسية :

#### 3 - 2 - 3 - 1 - تجربة الوزن النوعي :

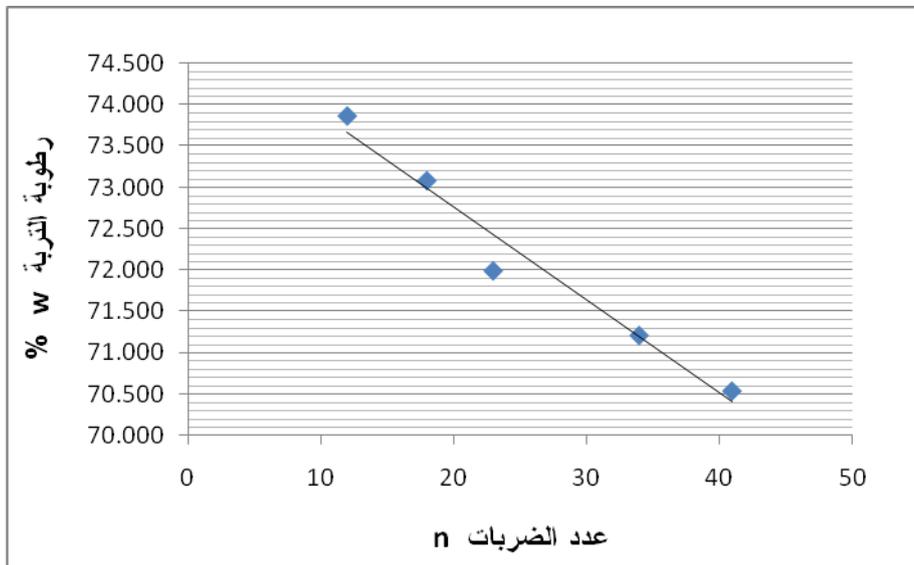
تم إجراء تجارب الوزن النوعي بعد تحضير العينات اللازمة حسب المواصفات القياسية , بواسطة البكنومتر والمخلية والميزان الالكتروني , وتم تحديد الوزن النوعي لكل نوع من أنواع التربة وذلك بأخذ ثلاث عينات من كل تربة , وكانت القيم كما هو وارد في الجدول رقم ( 3 - أ ) .

#### 3 - 2 - 3 - 2 - تجربة حدود اتربرغ :

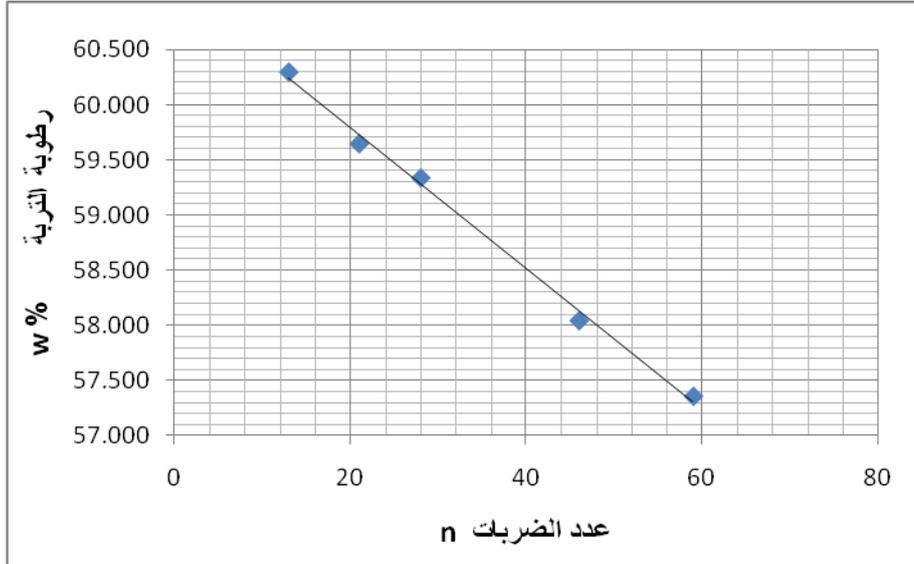
تم إجراء تجربة حد السيولة لكل تربة بواسطة جهاز غازارندي حسب المواصفة القياسية , وذلك بأخذ خمس نقاط ورسم الخط البياني الذي يبين العلاقة بين قيمة الرطوبة للتربة وعدد الضربات , وكذلك تم إجراء تجربة حد اللدونة بصنع فتائل من التربة , وأخذ قيم الرطوبة عند تشقق الفتائل ذات القطر 3 مم , وتم بعد ذلك تحديد قرينة اللدونة لكل نوع من أنواع التربة , كما هو موضح في الأشكال ( 3 - 3 , 3 - 4 , 3 - 5 ) .



الشكل ( 3 - 3 ) : تجربة حد السيولة للتربة رقم 1 .



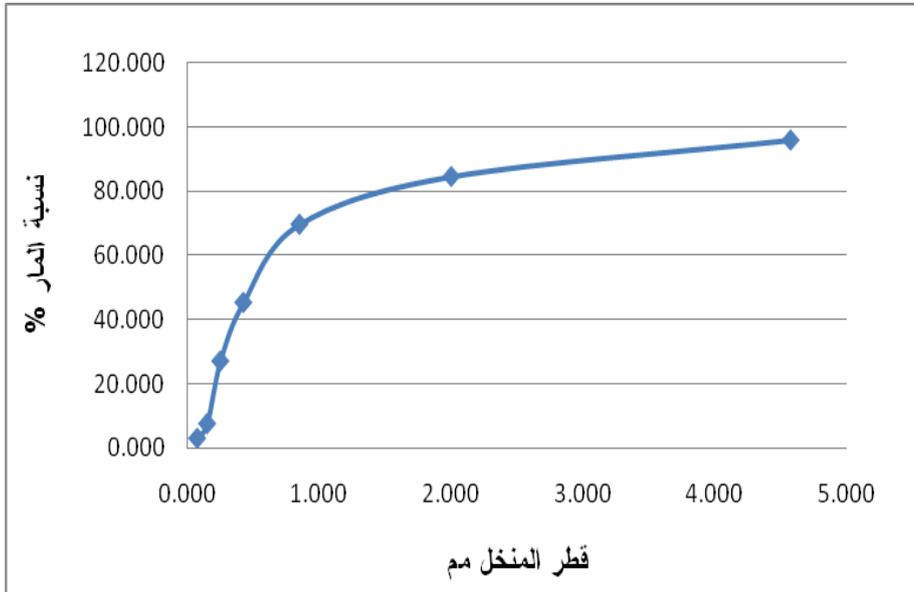
الشكل ( 4 - 3 ) : تجربة حد السيولة للتربة رقم 2 .



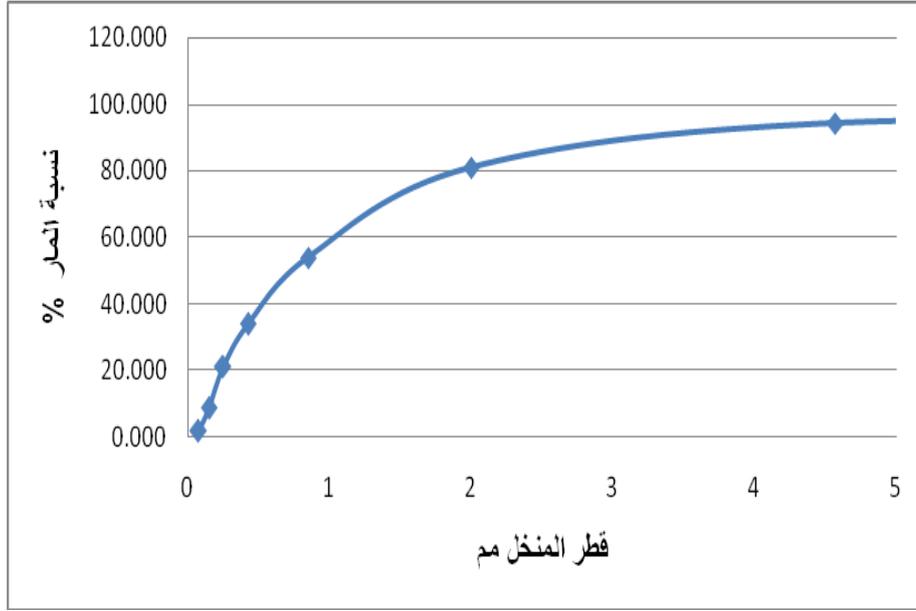
الشكل ( 3 - 5 ) : تجربة حد السيولة للتربة رقم 3 .

### 3 - 2 - 3 تجربة التحليل الحبي المنخلي :

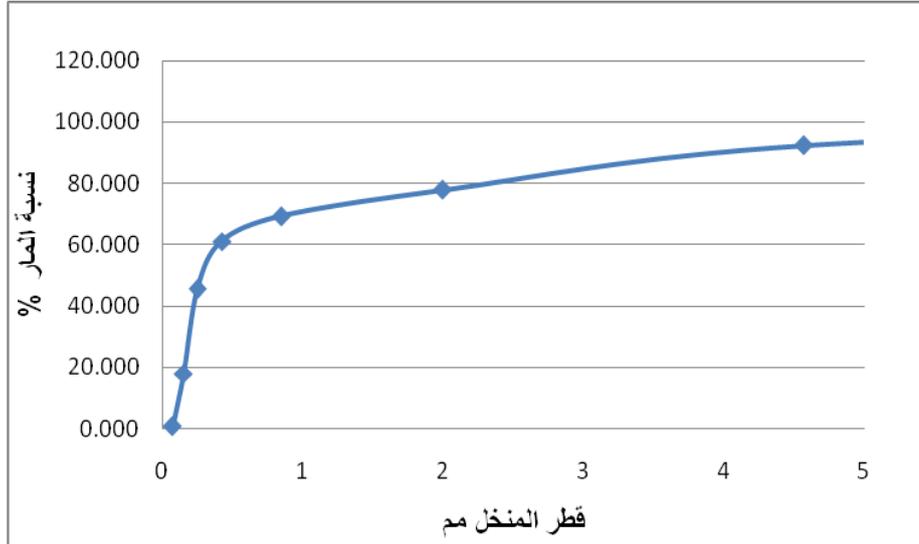
تم إجراء تجارب التحليل الحبي المنخلي لتحديد نسبة المار من المهزة رقم 200 حسب المواصفات القياسية ASTM , باستخدام مجموعة المناخل , الأشكال ( 3 - 6 , 3 - 7 , 3 - 8 ) , وبعد ذلك تم تصنيف الترب الثلاثة حسب التصنيف الموحد ( جدول 3 - أ ) .



الشكل ( 3 - 6 ) : تجربة التحليل الحبي المنخلي للتربة رقم 1 .



الشكل ( 3 - 7 ) : تجربة التحليل الحبي المنخلي للتربة رقم 2 .

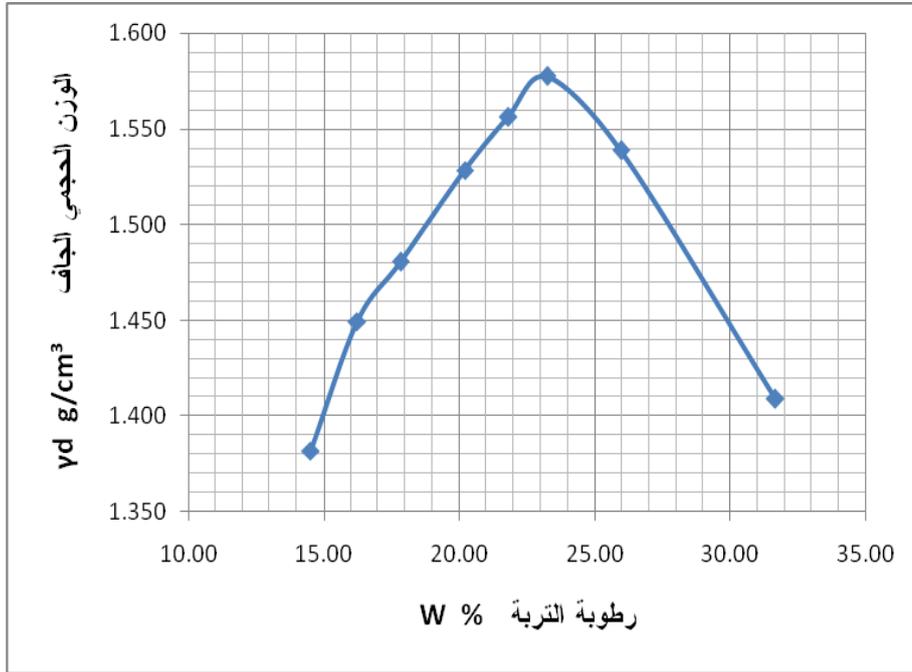


الشكل ( 3 - 8 ) : تجربة التحليل الحبي المنخلي للتربة رقم 3 .

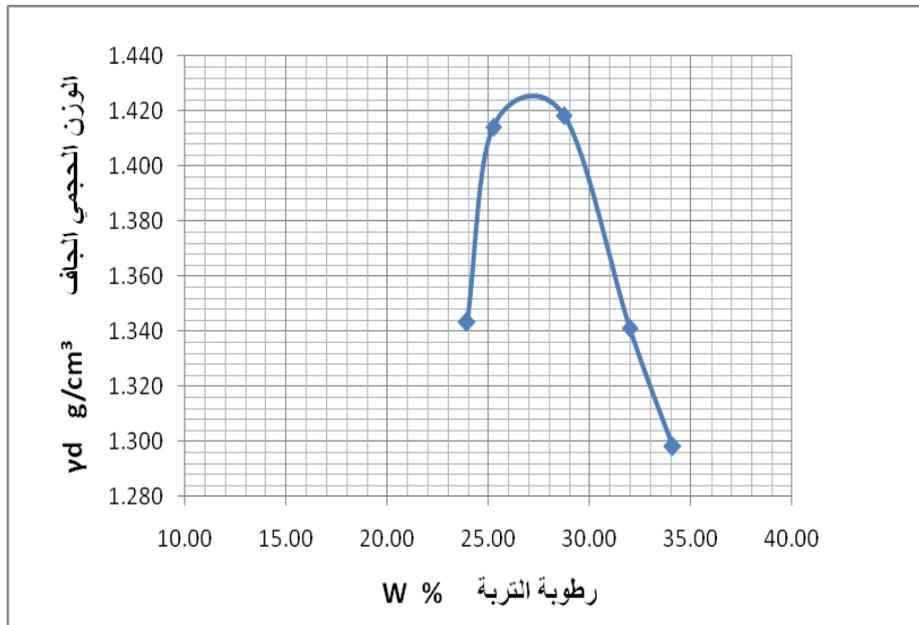
### 3 - 2 - 3 - 4 تجربة بروكتور :

يعد تحديد الرطوبة المثلى للتربة  $W_0$  , وكذلك الوزن الحجمي الجاف الأعظمي  $\gamma_{dmax}$  أمراً مهماً في هذا البحث , وذلك نظراً لشرط استخدام البروانة في الترب الغضارية المشبعة , وبالتالي تحديد مجال الرطوبة المقترح في تجربة البروانة , وبناء عليه فقد تم إجراء تجربة بروكتور النظامي حسب المواصفات القياسية ASTM باستخدام قالب بروكتور قياس ( قطر 4" - ارتفاع 5" ) ومطرقة (

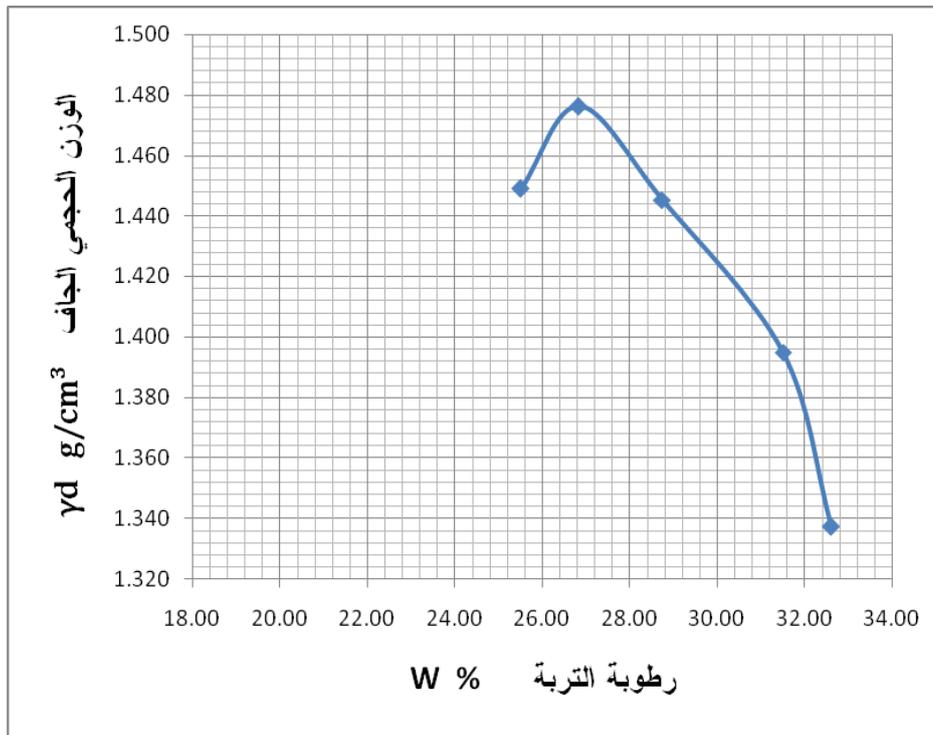
وزن 25 نيوتن ) الشكل رقم , وتم رص التربة على ثلاث طبقات بمعدل 25 ضربة لكل طبقة وعليه تم تحديد القيم المطلوبة . الأشكال ( 3 - 9 , 3 - 10 , 3 - 11 ) .



الشكل رقم ( 3 - 9 ) : تجربة بروكتور النظامي للتربة رقم 1 .



الشكل رقم ( 3 - 10 ) : تجربة بروكتور النظامي للتربة رقم 2 .



الشكل رقم ( 3 - 11 ) : تجربة بروكتور النظامي للتربة رقم 3 .

الجدول رقم ( 3 - أ ) : مواصفات الترب المدروسة .

رقم التربة	الموقع	الوزن النوعي Gs g/cm³	حد السيولة LL %	حد اللدونة PL %	قربنة اللدونة PI %	المر من المهزة 200 %	تصنيف التربة	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي γd g/cm³	الرطوبة المثلى ω0 %
1	صحنايا	2.71	47.79	27.48	20.31	96.29	CL	1.58	24
2	دروشا	2.70	72.27	38.15	34.12	97.99	MH	1.43	28
3	غباغب	2.68	59.50	30.62	28.88	96.20	CH	1.48	27

### 3 - 2 - 4 تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR) :

تم إجراء تجربة الـ CBR حسب المواصفة القياسية ASTM D1883-99 , وذلك بعد تحضير

العينات وفق ما ذكر في فقرة تحضير العينات , حيث تم إجراء التجارب وفق الأسس التالية :

- تجهيز العينة المحضرة برطوبة معينة ضمن قالب الـ CBR حسب المواصفة القياسية ASTM D692 ( ثلاث طبقات بمعدل 56 ضربة لكل طبقة ) .
- عدد العينات المجهزة ( 2 ) عند كل قيمة رطوبة ووزن حجمي معين .

- قيمة الـ CBR المحتسبة هي قيمة الوسطي للعينتين المختبرتين عند قيمتي رطوبة ووزن حجمي معينين .
- اختيار ثمان نقاط لكل نوع تربة , وتحديد قيم الـ CBR لها من أجل تشكيل العلاقة المفترضة في بداية البحث .
- إجراء التجربة بعد تحضير القالب وفق ماورد ذكره في الفصل الثاني من هذا البحث , باستخدام جهاز الـ CBR المتوفر في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق الشكل ( 3 - 12 ) .

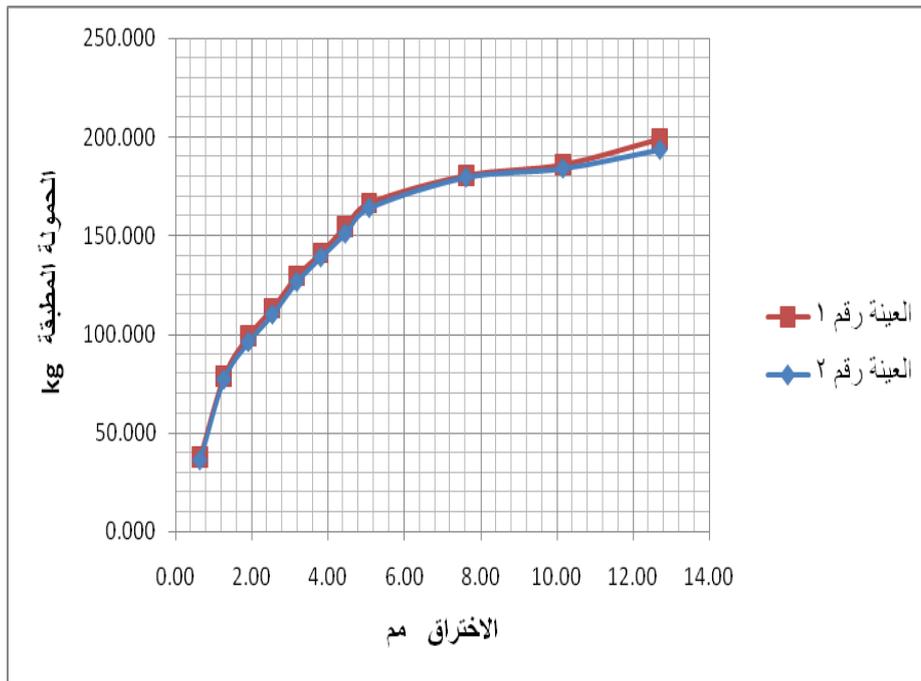


الشكل رقم ( 3 - 12 ) : صورة تبين جهاز الـ CBR المستخدم .

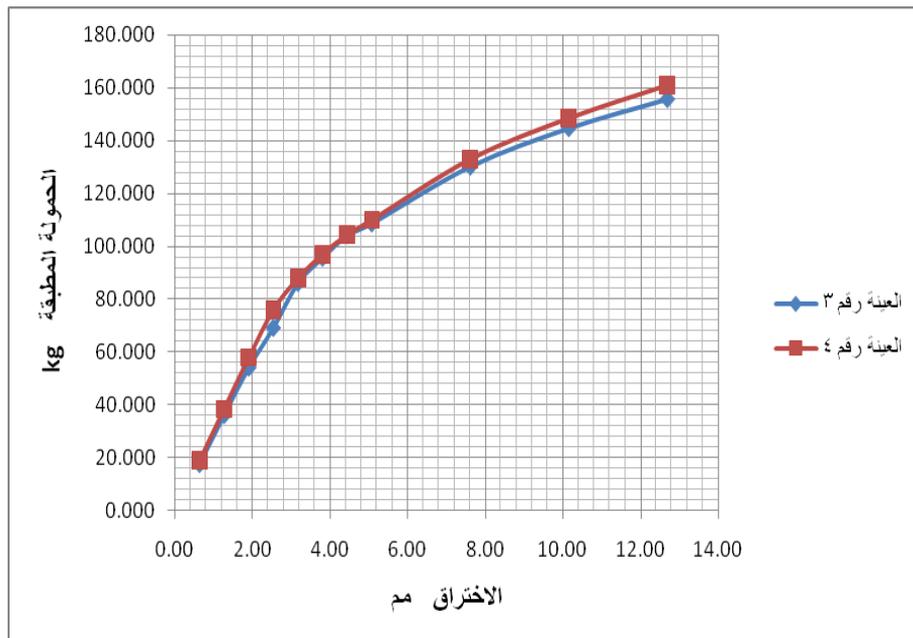
- مراعاة اختيار قيم الرطوبة , بحيث تكون أعلى من الرطوبة المثلى لضرورة تحقيق شرط استخدام البروانة في الترب الغضارية المشبعة .
- استخدام برنامج الإكسل في رسم الخطوط البيانية لكافة التجارب والعلاقات المستنتجة .
- يبين الجدول ( 3 - ب ) قيم الـ CBR المقاسة للتربة رقم ( 1 ) عند قيمة اختراق 2.5 مم , مع المخططات البيانية ( الأشكال 3 - 13 وحتى 3 - 20 ) , والتي تبين العلاقة بين الاختراق والحمولة عند كل قيمة للرطوبة والوزن الحجمي الجاف .

الجدول رقم ( 3 - ب ) : قيم الـ CBR الناتجة للتربة رقم 1 .

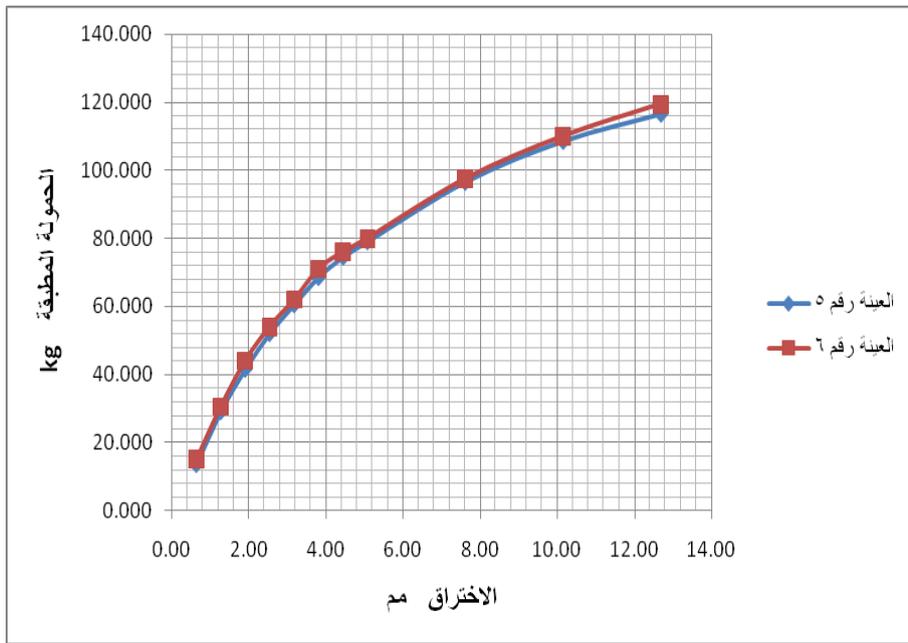
1			رقم التربة	
صحنايا			الموقع	
رقم العينة	رطوبة العينة W %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g /cm <sup>3</sup>	قيمة الـ CBR ) المحسوبة ( %	قيمة الـ CBR ) الوسطي ( %
1	25.96	1.542	8.37	8.25
2	25.93	1.546	8.14	
3	27.79	1.513	5.12	5.38
4	27.81	1.509	5.64	
5	29.86	1.473	3.85	3.91
6	29.70	1.48	3.96	
7	31.45	1.446	3.14	3.58
8	31.33	1.451	4.03	
9	33.34	1.411	2.11	2.43
10	33.23	1.418	2.71	
11	35.62	1.374	1.05	1.16
12	35.51	1.378	1.27	
13	36.52	1.36	1.05	1.01
14	36.65	1.36	0.97	
15	38.54	1.329	0.90	0.96
16	38.32	1.333	1.01	



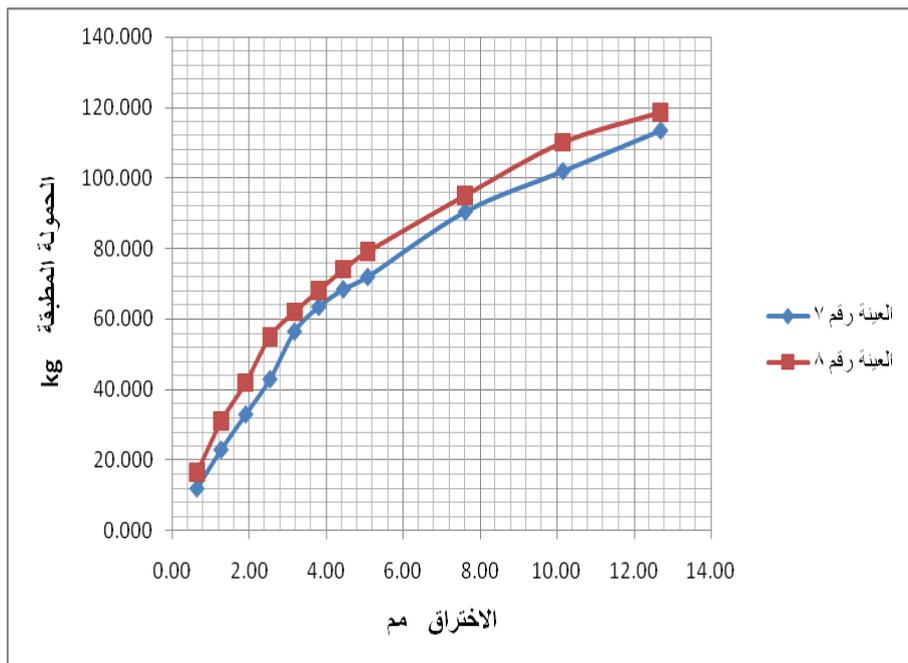
الشكل ( 3 - 13 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 25.96 % - % .



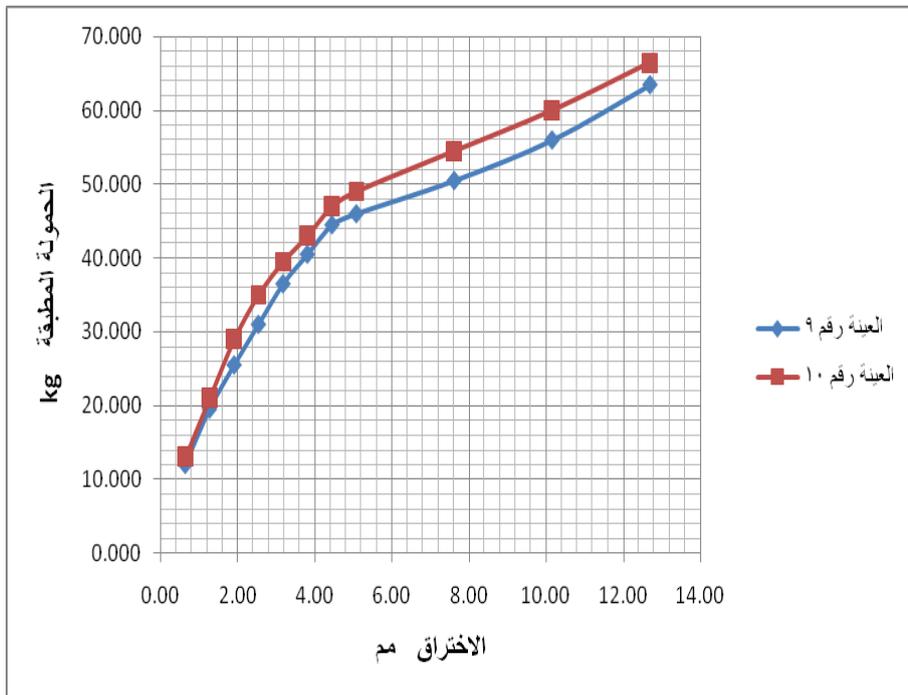
الشكل ( 3 - 14 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 27.79 % - % .



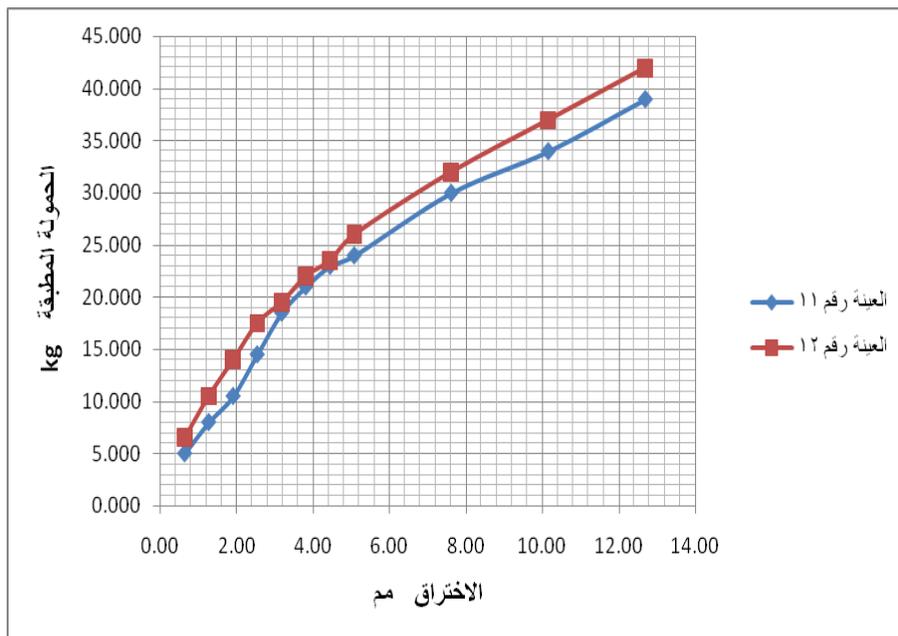
الشكل ( 3 - 15 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 29.86 % - % 29.70 .



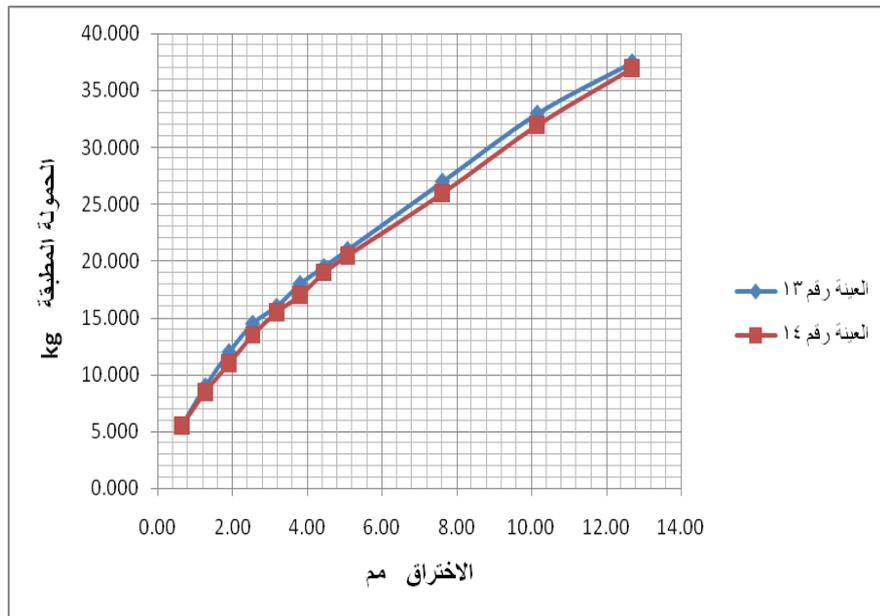
الشكل ( 3 - 16 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 31.45 % - % 31.33 .



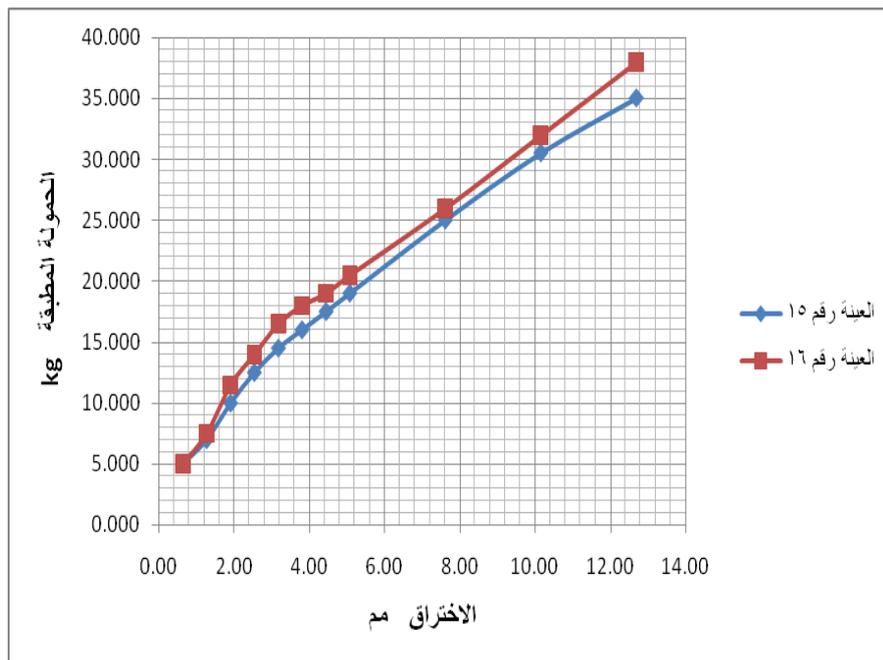
الشكل ( 3 - 17 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 33.34 % - 33.23 % .



الشكل ( 3 - 18 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 35.62 % - 35.51 % .



الشكل ( 3 - 19 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 36.52 % - % .

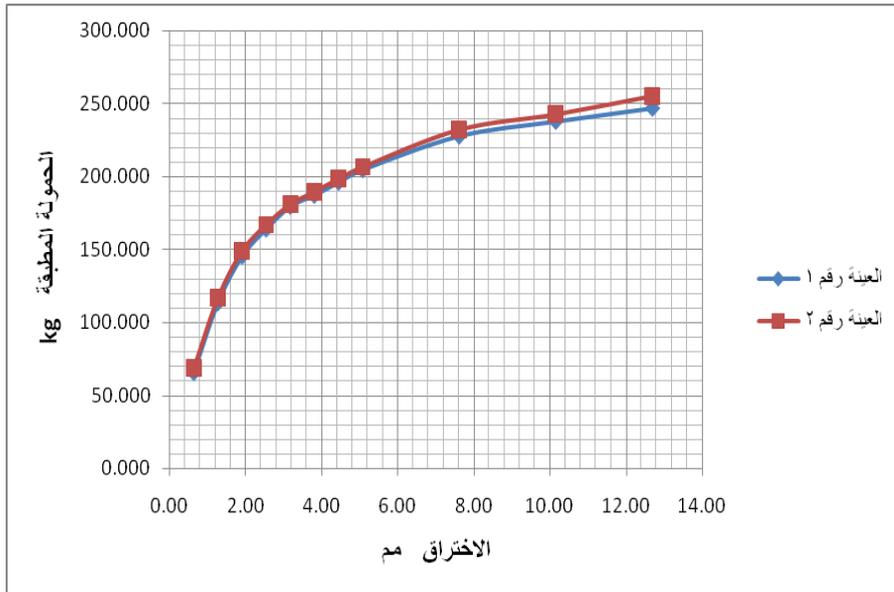


الشكل ( 3 - 20 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 1 عند محتويات رطوبة 38.54 % - % .

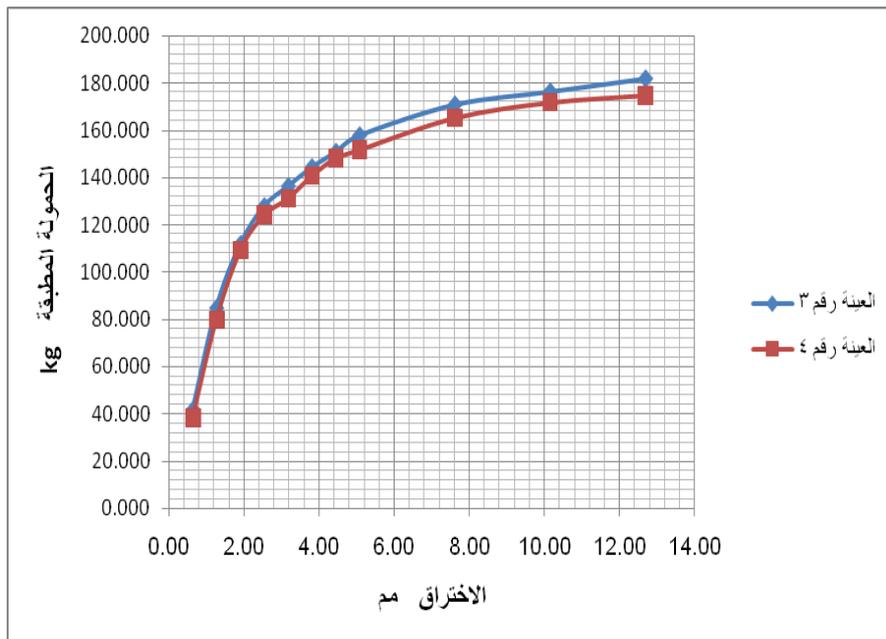
يبين الجدول ( 3 - ج ) قيم الـ CBR المقاسة للتربة رقم ( 2 ) عند قيمة اختراق 2.5 مم , مع المخططات البيانية ( الأشكال 3 - 21 وحتى 3 - 28 ) , والتي تبين العلاقة بين الاختراق والحمولة عند كل قيمة للرطوبة والوزن الحجمي الجاف .

الجدول رقم ( 3 - ج ) : قيم الـ CBR الناتجة للتربة رقم 2 .

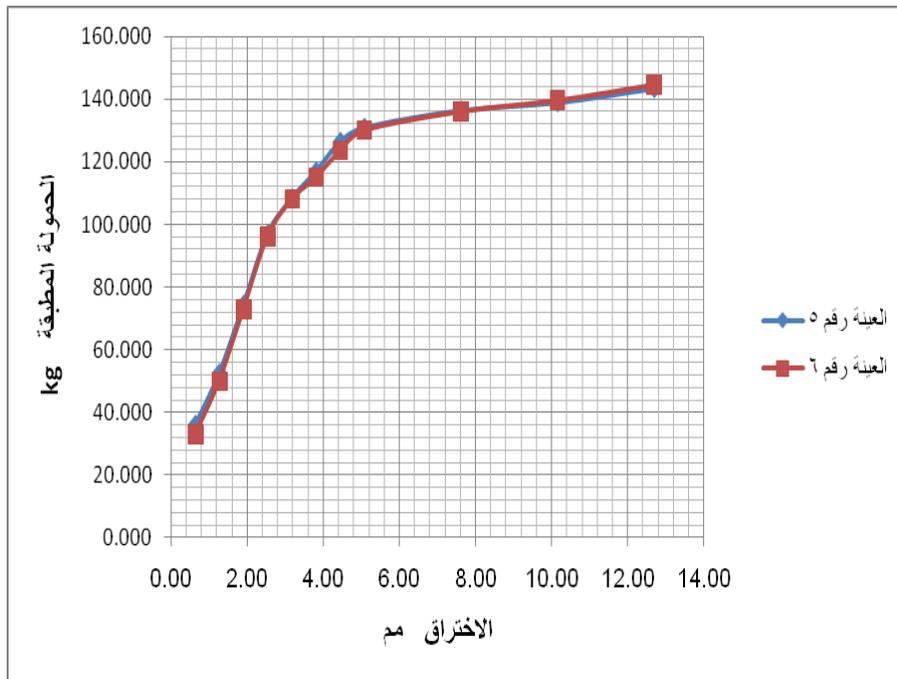
2			رقم التربة	
دروشا			الموقع	
رقم العينة	رطوبة العينة W %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g /cm <sup>3</sup>	قيمة الـ CBR ) المحسوبة ( %	قيمة الـ CBR ) الوسطي ( %
1	29.90	1.377	12.18	12.29
2	29.56	1.380	12.4	
3	32.46	1.331	9.49	9.34
4	32.74	1.326	9.19	
5	34.53	1.295	7.21	7.17
6	34.70	1.293	7.13	
7	37.37	1.286	6.46	6.42
8	37.52	1.282	6.39	
9	39.02	1.263	5.83	5.71
10	39.45	1.259	5.6	
11	41.26	1.229	4.56	4.52
12	41.63	1.223	4.48	
13	43.37	1.219	3.66	3.62
14	43.53	1.214	3.59	
15	45.05	1.212	3.10	3.06
16	45.32	1.205	3.03	



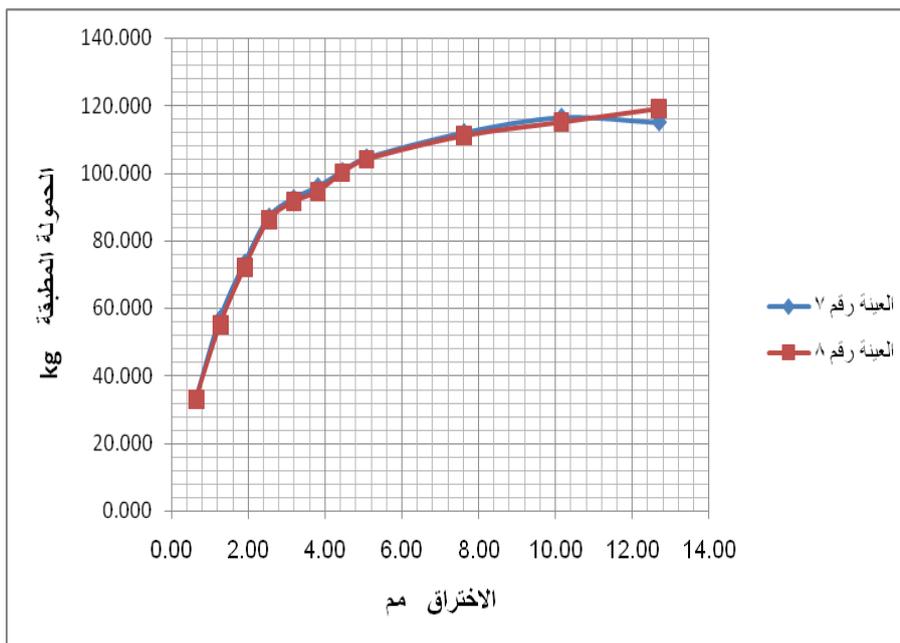
الشكل ( 3 - 21 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 29.90 % - 29.56 % .



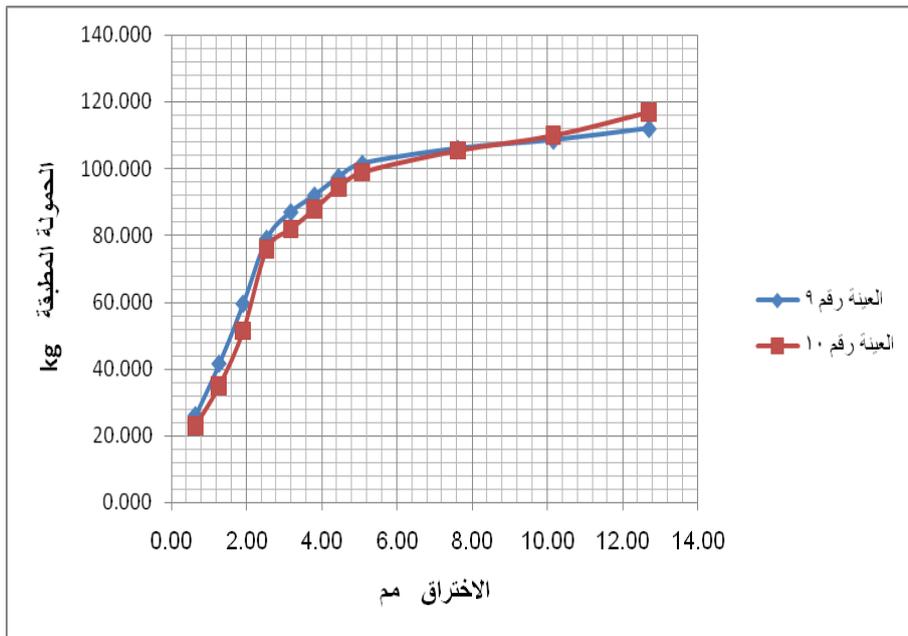
الشكل ( 3 - 22 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 32.46 % - 32.74 % .



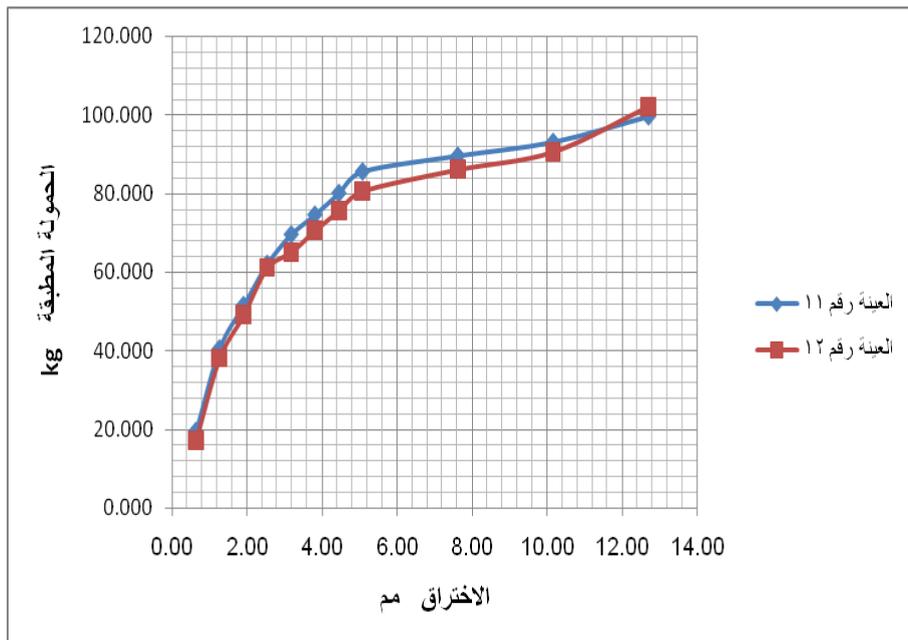
الشكل ( 3 - 23 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 34.53 % - % .



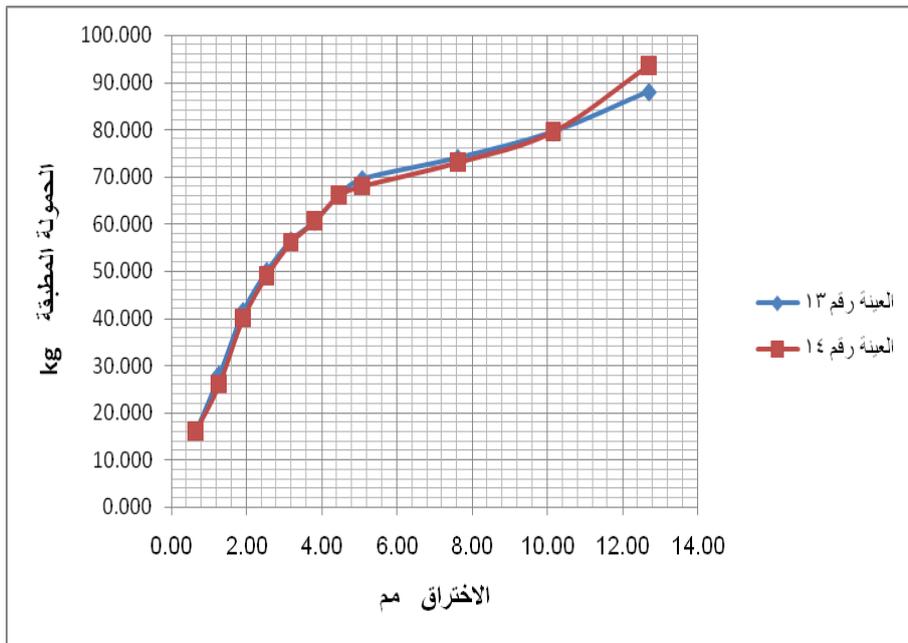
الشكل ( 3 - 24 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 37.37 % - % .



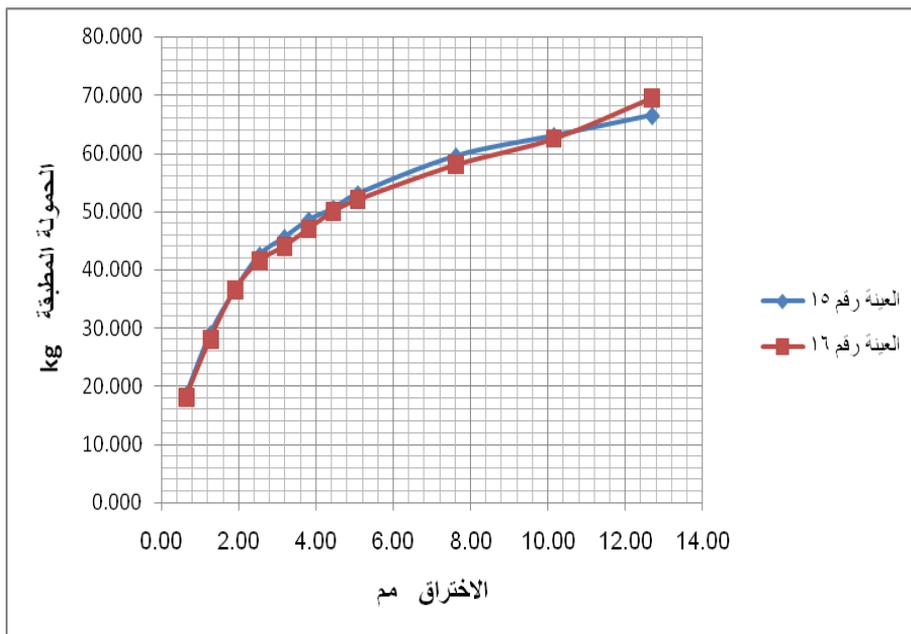
الشكل ( 3 - 25 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 39.02 % - 39.45 % .



الشكل ( 3 - 26 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 41.26 % - 41.63 % .



الشكل ( 3 - 27 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 43.37 % - % .

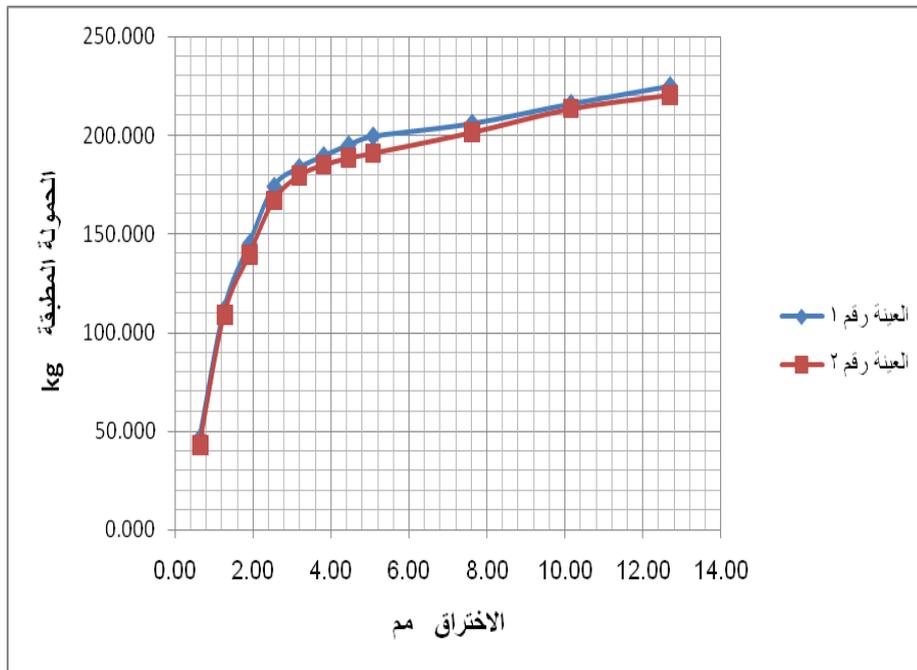


الشكل ( 3 - 28 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 2 عند محتويات رطوبة 45.05 % - % .

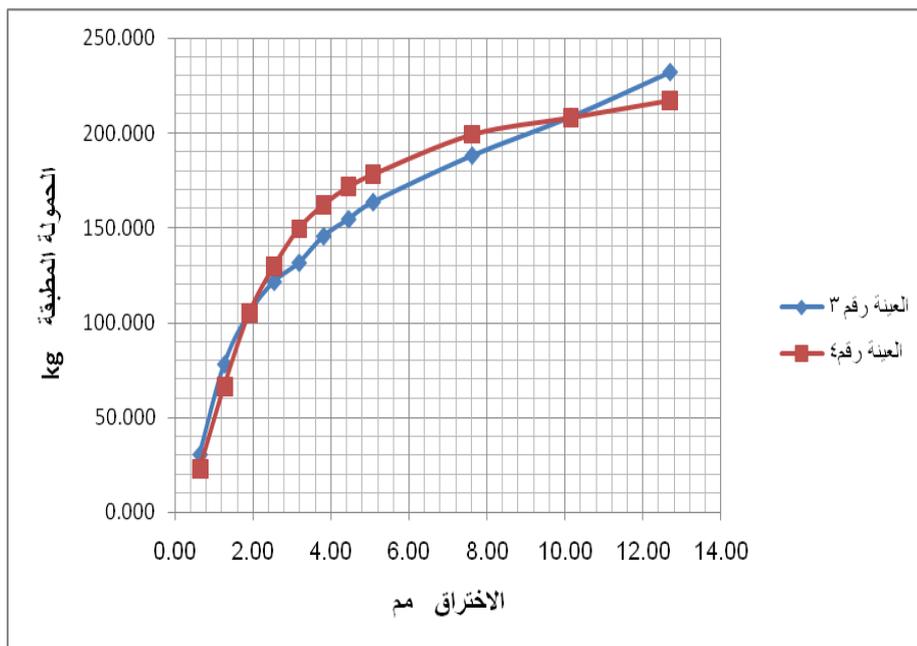
يبين الجدول ( 3 - د ) قيم الـ CBR المقاسة للتربة رقم ( 3 ) عند قيمة اختراق 2.5 مم , مع المخططات البيانية ( الأشكال 3 - 29 وحتى 3 - 36 ) , والتي تبين العلاقة بين الاختراق والحمولة عند كل قيمة للرطوبة والوزن الحجمي الجاف .

الجدول رقم ( 3 - د ) : قيم الـ CBR الناتجة للتربة رقم 3 .

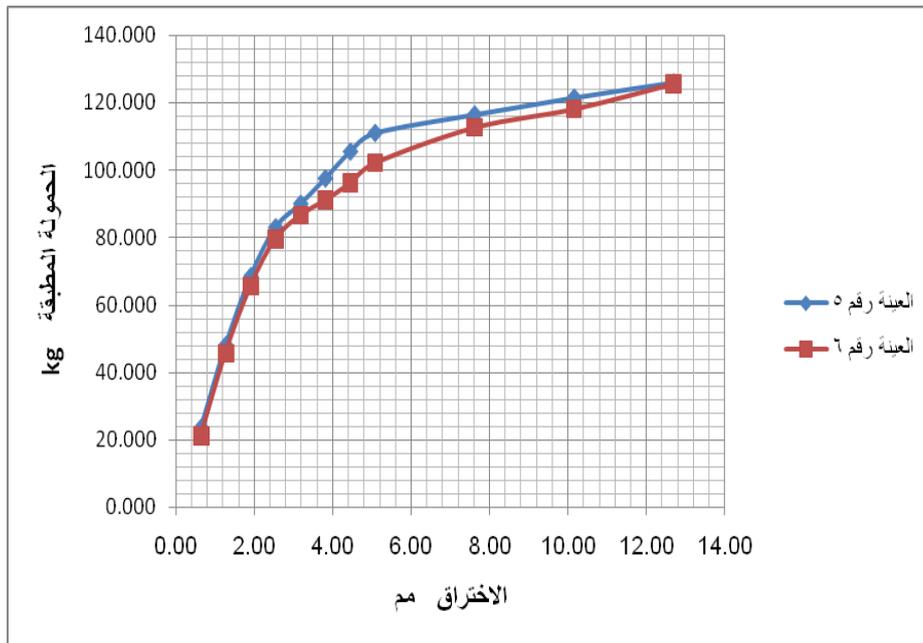
3			رقم التربة	
غباغب			الموقع	
رقم العينة	رطوبة العينة W %	الوزن الحجمي الجاف γd g /cm <sup>3</sup>	قيمة الـ CBR ) المحسوبة ( %	قيمة الـ CBR ) الوسطي ( %
1	27.62	1.474	12.92	12.66
2	27.76	1.468	12.40	
3	30.58	1.429	9.0	9.28
4	30.34	1.435	9.57	
5	31.24	1.425	6.13	6.0
6	31.40	1.417	5.86	
7	33.21	1.39	5.01	4.93
8	33.53	1.383	4.86	
9	34.30	1.372	4.41	4.37
10	34.49	1.365	4.33	
11	36.35	1.341	3.88	3.81
12	36.49	1.340	3.74	
13	37.57	1.322	3.21	3.14
14	37.90	1.316	3.06	
15	41.27	1.266	1.08	1.03
16	41.55	1.263	0.97	



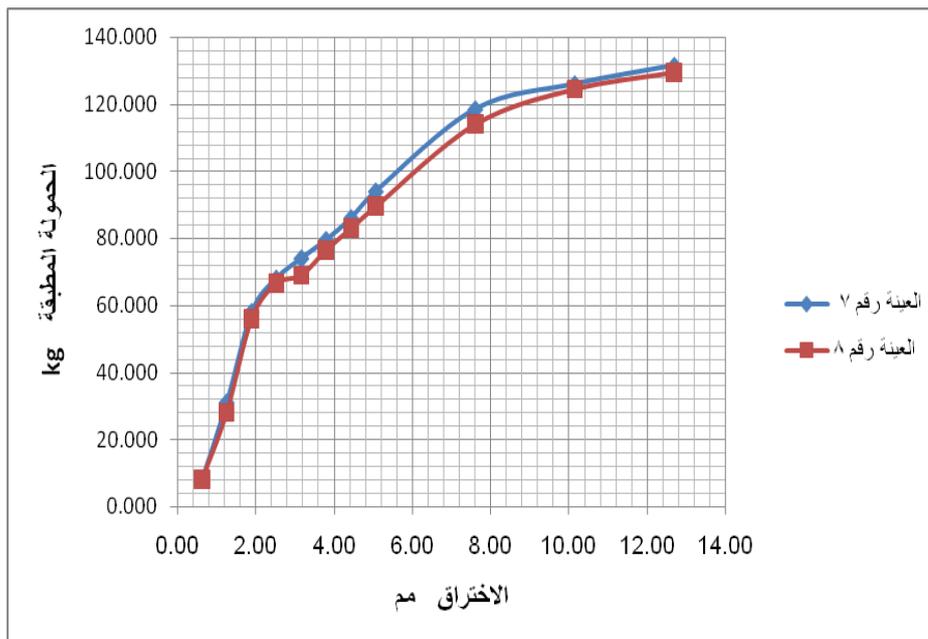
شكل ( 3 - 29 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 27.62 - 27.76 % .



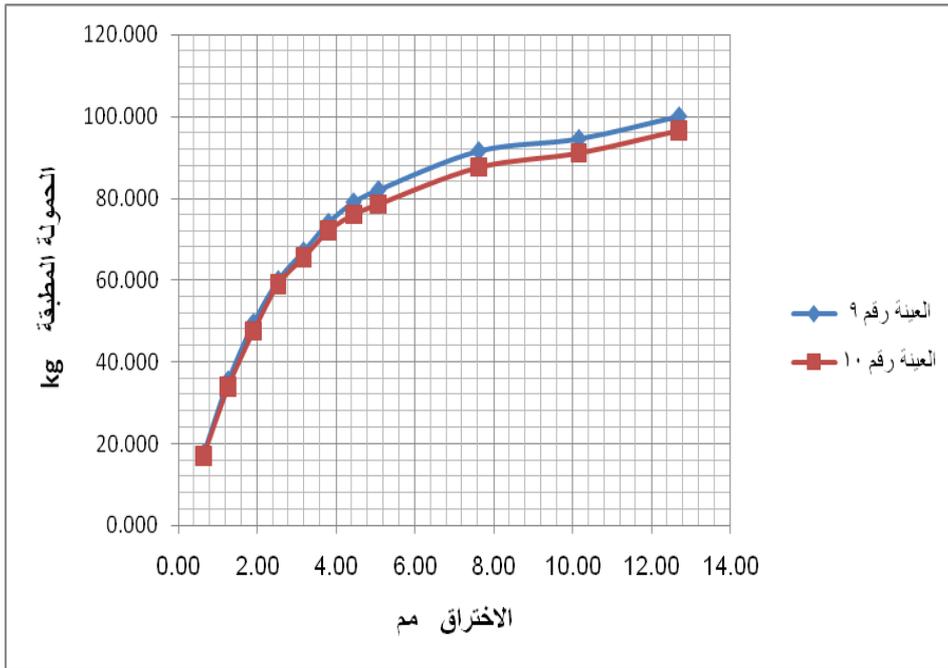
شكل ( 3 - 30 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 30.58 - 30.34 % .



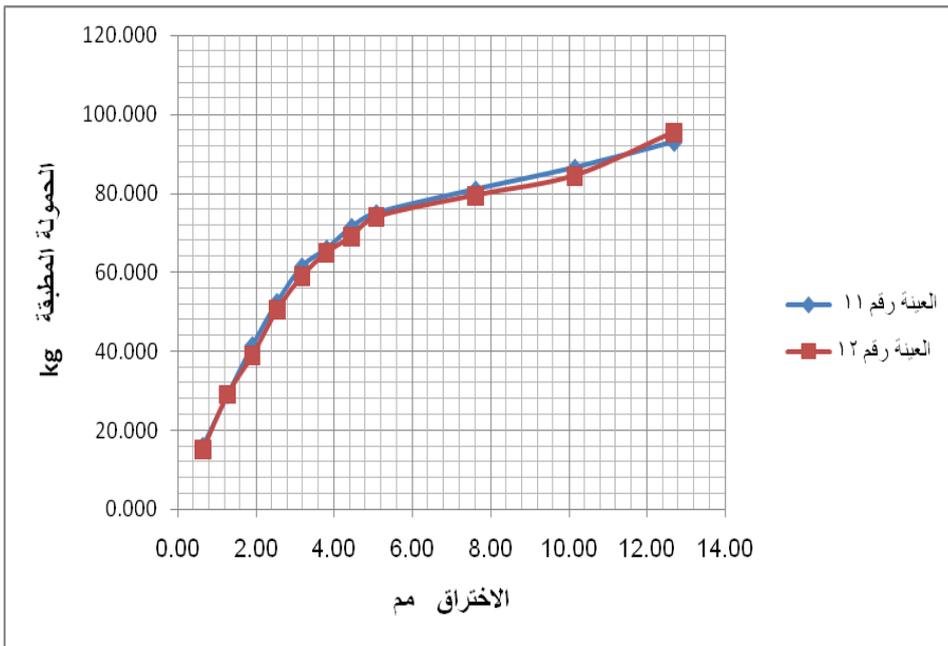
شكل ( 3 - 31 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 31.24  
 - 31.40 % .



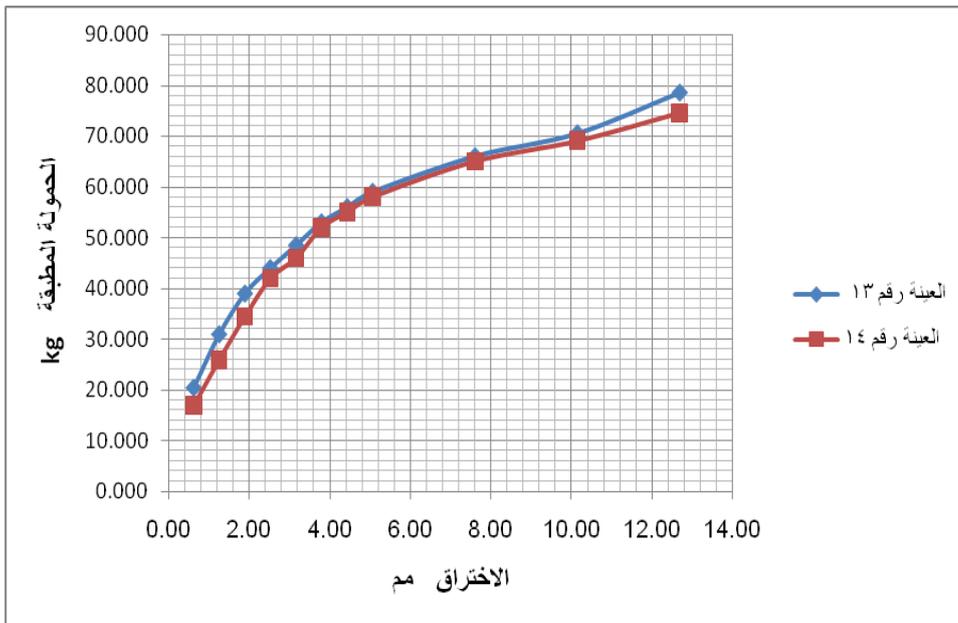
شكل ( 3 - 32 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 33.21  
 - 33.53 % .



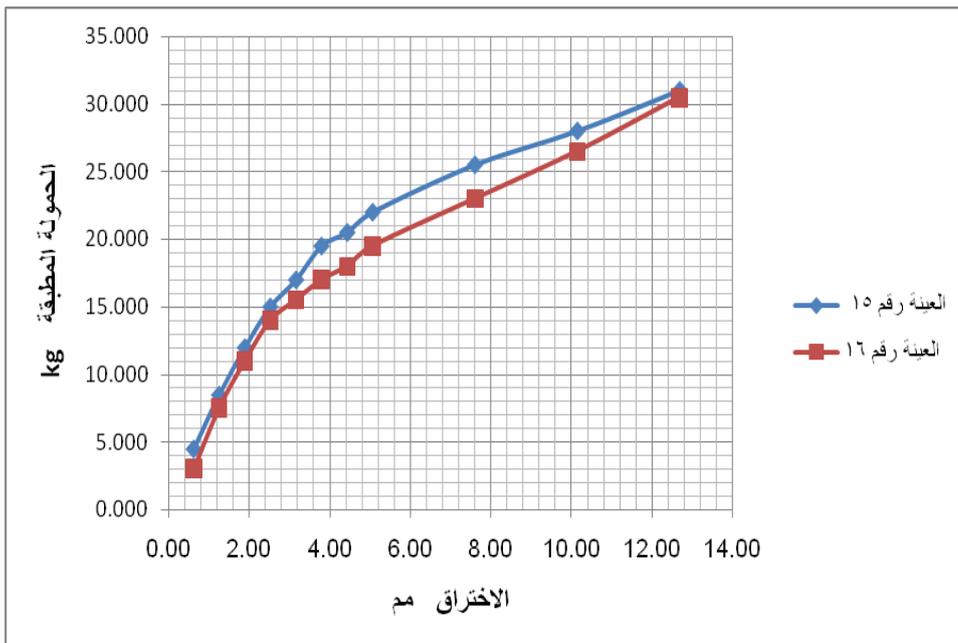
شكل ( 3 - 33 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 34.30 - 34.49 % .



شكل ( 3 - 34 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة الـ CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 36.35 - 36.49 % .



شكل ( 3 - 35 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 37.57  
 - 37.90 % .



شكل ( 3 - 36 ) : العلاقة بين الاختراق والحمولة المطبقة في تجربة CBR للتربة رقم 3 عند محتويات رطوبة % 41.27  
 - 41.55 % .

### 3 - 2 - 5 تجربة البروانة :

- تم إجراء تجربة البروانة حسب المواصفة القياسية 01 - ASTMD2573, وذلك بعد تحضير العينات وفق ما ذكر في فقرة تحضير العينات , حيث تم إجراء التجارب وفق الأسس التالية :
- تجهيز العينة المحضرة برطوبة معينة ضمن قالب الـ CBR حسب المواصفة القياسية ASTMD692 , ( ثلاث طبقات بمعدل 56 ضربة لكل طبقة ) .
  - عدد العينات المجهزة ( 1 ) عند كل قيمة رطوبة ووزن حتمي معين .
  - تم إجراء التجارب باستخدام جهاز البروانة اليدوية المتوفرة في مخبر ميكانيك التربة , الشكل ( 3 - 37 ) , قياس شفرات البروانة  $3.2 \times 1.6$  cm والتي يمكن أن نقيس بواسطتها مقاومة القص غير المصرف حتى 200 kpa . وذلك حسب البروشور الخاص بمواصفات وطريقة استخدام الجهاز وفق الخطوات اللاحقة الذكر .
  - تم اعتماد عمق غرز موحد حسب المواصفة , والذي يتراوح بين (  $H - 2H$  ) حيث H هو ارتفاع شفرات البروانة , وقد تم الغرز لكافة العينات حتى عمق 3.5 CM.



شكل ( 3 - 37 ) : صورة جهاز البروانة المستخدم في البحث .

- أخذ ثلاث قراءات ضمن القالب , الشكل ( 3 - 38 ) , وتم اعتماد القيمة الدنيا في تحديد مقاومة التربة للقص غير المصرف .



شكل ( 3 - 38 ) : صورة تبين تجربة البروانة ضمن قالب الـ CBR .

- بعد غرز البروانة ضمن العينة حتى العمق المطلوب , يتم وضع القرص المدرج على القيمة صفر .
  - يتم التدوير ببطء وبثبات باتجاه عقارب الساعة بمعدل  $6^\circ / \text{min}$  .
  - عندما يدور الجزء السفلي من البروانة ملتحقاً بالجزء العلوي تكون عملية القص قد حدثت , وفي هذه الأثناء يتم ترك ذراع البروانة ليعود إلى الحالة الأولى , مع الانتباه إلى عدم إجراء العملية بسرعة يمكن أن تغير قراءة المؤشر .
  - تؤخذ قراءة البروانة من القرص المدرج , وتدون كقيمة القص غير المعدل بعد ضربها بالعامل المناسب لحجم البروانة المستخدمة .
  - تتم إعادة التجربة باستخدام الإزميل بدلاً من الشفرات , لتحديد التصحيح اللازم والنتائج عن الاحتكاك بين التربة وجسم البروانة .
  - تكون قيمة القص النهائية مساوية لقيمة القص غير المعدلة مطروحاً منها قيمة التصحيح بواسطة الإزميل .
- تبين الجداول ( 3 - هـ , 3 - و , 3 - ن ) نتائج تجارب البروانة للتربة الثلاثة عند كل قيمة للرطوبة , والقيمة المقابلة للوزن الحجمي الجاف .

الجدول رقم ( 3 - هـ ) : نتائج تجربة البروانة للتربة رقم 1 .

تجربة البروانة											
3.2 × 1.6 cm			قياس البروانة			1			رقم التربة		
2			معامل البروانة			3.5 cm			عمق الغرز		
رقم العينة	وزن القالب فارغ g	حجم القالب cm <sup>3</sup>	وزن القالب مع العينة الرطبة g	وزن العينة g	رطوبة العينة %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	قياسات القص غير المصرّف بالبروانة kpa Su			التصحيح kpa	القيمة النهائية Su kpa
1	4175	2278.22	8605	4430	25.94	1.544	128	124	124	12	112
2	4175	2278.22	8590	4415	27.78	1.517	104	100	104	9	91
3	4175	2278.22	8530	4355	29.87	1.472	88	90	88	8	80
4	4175	2278.22	8500	4325	31.44	1.444	67	67	68	4	63
5	4175	2278.22	8466	4291	33.42	1.412	58	60	60	3.5	54.5
6	4175	2278.22	8408	4233	35.71	1.369	34	36	34	3	31
7	4175	2278.22	8400	4225	36.55	1.358	24	24	24	2.5	21.5
8	4175	2278.22	8359	4184	38.58	1.325	16	14	16	1	13

الجدول رقم ( 3 - و ) : نتائج تجربة البروانة للتربة رقم 2 .

تجربة البروانة											
3.2 × 1.6 cm			قياس البروانة			2			رقم التربة		
2			معامل البروانة			3.5 cm			عمق الغرز		
رقم العينة	وزن القالب فارغ g	حجم القالب cm <sup>3</sup>	وزن القالب مع العينة الرطبة g	وزن العينة g	رطوبة العينة %	الوزن الحجمي الجاف γ <sub>d</sub> g/cm <sup>3</sup>	قياسات القص غير المصرف بالبروانة kpa Su			التصحيح kpa	القيمة النهائية Su kpa
1	4175	2278.22	8255	4080	29.81	1.38	150	156	150	10	140
2	4175	2278.22	8189	4014	32.54	1.329	112	108	108	6	102
3	4175	2278.22	8145	3970	34.53	1.295	100	100	105	6	94
4	4175	2278.22	8200	4025	37.46	1.285	90	82	86	5	77
5	4175	2278.22	8171	3996	39.28	1.259	78	74	74	3	71
6	4175	2278.22	8125	3950	41.42	1.226	76	70	72	3	67
7	4175	2278.22	8150	3975	43.42	1.217	52	48	48	2	46
8	4175	2278.22	8171	3996	45.21	1.208	36	36	34	1	33

الجدول رقم ( 3 - ن ) : نتائج تجربة البروانة للتربة رقم 3 .

تجربة البروانة											
3.2 × 1.6 cm			قياس البروانة			3			رقم التربة		
2			معامل البروانة			3.5 cm			عمق الغرز		
رقم العينة	وزن القالب فارغ g	حجم القالب cm <sup>3</sup>	وزن القالب مع العينة الرطبة g	وزن العينة g	رطوبة العينة %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	قياسات القص غير المصرف بالبروانة kpa Su			التصحيح kpa	القيمة النهائية Su kpa
1	4175	2278.22	8458	4283	27.65	1.473	148	148	148	12	136
2	4175	2278.22	8430	4255	30.38	1.432	116	118	116	10	106
3	4175	2278.22	8428	4253	31.30	1.422	96	96	94	7	87
4	4175	2278.22	8388	4213	33.33	1.387	78	76	76	6	70
5	4175	2278.22	8365	4190	34.35	1.369	66	66	66	5	61
6	4175	2278.22	8345	4170	36.42	1.342	62	54	54	5	49
7	4175	2278.22	8315	4140	37.63	1.320	52	47	49	4	43
8	4175	2278.22	8262	4087	41.36	1.269	20	18	18	2.5	15.5

### 3 - 2 - 6 تجربة القص المباشر :

يتعلق موضوع البحث بشكل عام بمتانة التربة على القص المستنتجة من تجربة البروانة , ونظراً لإمكانية استخراج مواصفات القص بطريقة أخرى ( القص المباشر ) مما يوثق برامترات التربة المتعلقة بالقص في الحالة المدروسة , وبغية إجراء مقارنة بين نتائج القص المباشر والقص بالبروانة , فقد تم إجراء تجربة القص المباشر على العينات المدروسة , وذلك حسب المواصفة القياسية ( ASTM D 6528 - 07 ) وباستخدام جهاز القص المباشر المتوفر في مخبر التربة في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق , الشكل ( 3 - 39 ) , وفق الأسس التالية :



شكل رقم ( 3 - 39 ) : صورة جهاز القص المباشر المستخدم .

- يتم أخذ ثلاث عينات عند نفس محتوى الرطوبة ونفس الوزن الحجمي من قالب الـ CBR الذي أجريت عليه إحدى تجربتي البروانة أو الـ CBR , وذلك بواسطة حلقة جهاز القص , الشكل ( 3 - 30 ) .



شكل ( 3 - 40 ) : صورة عينة من التربة رقم 3 ضمن حلقة جهاز القص .

- إجراء تجربة القص المباشر بحيث تتوافق مع الشروط الحدية المطبقة في تجربة البروانة ( قص سريع مغلق بدون غمر بالماء ) .
- إجراء التجربة على العينات المأخوذة من قالب الـ CBR , باعتماد الحمولات الشاقولية ( 4 kg - 8 kg - 12 kg ) .
- أخذ كافة القراءات المتعلقة بالتشوهات والقوى القاصة واستنتاج إجهادات القص الناتجة .

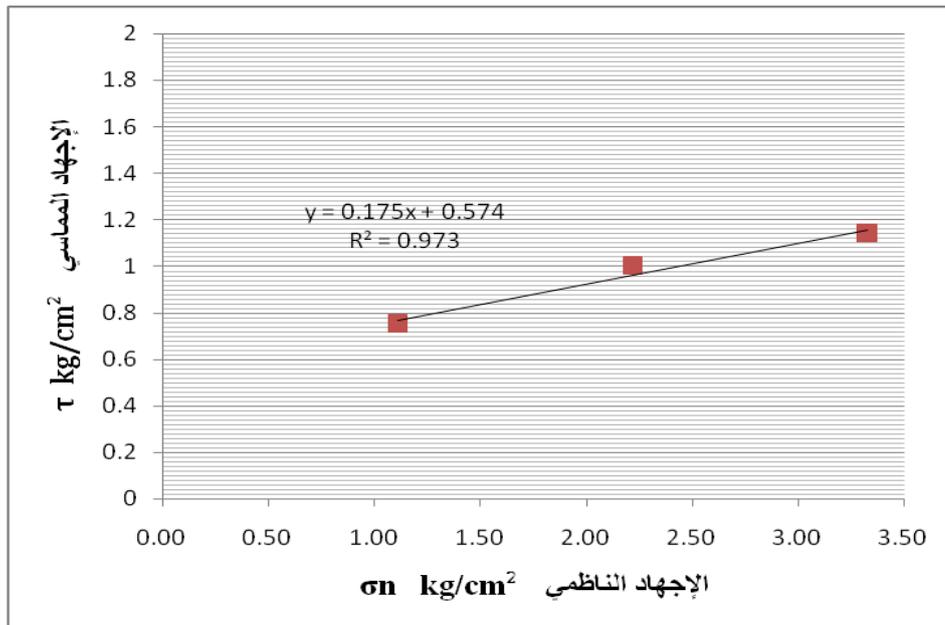
• تحديد مواصفات القص ( التماسك c - زاوية احتكاك داخلي  $\phi$  ) عند كل قيمة رطوبة ووزن حجمي مقابل .

تبين الجداول ( 3 - ف , 3 - ق , 3 - ك ) نتائج تجارب القص المباشر للترب الثلاثة عند كل قيمة للرطوبة والوزن الحجمي الجاف المقابل .

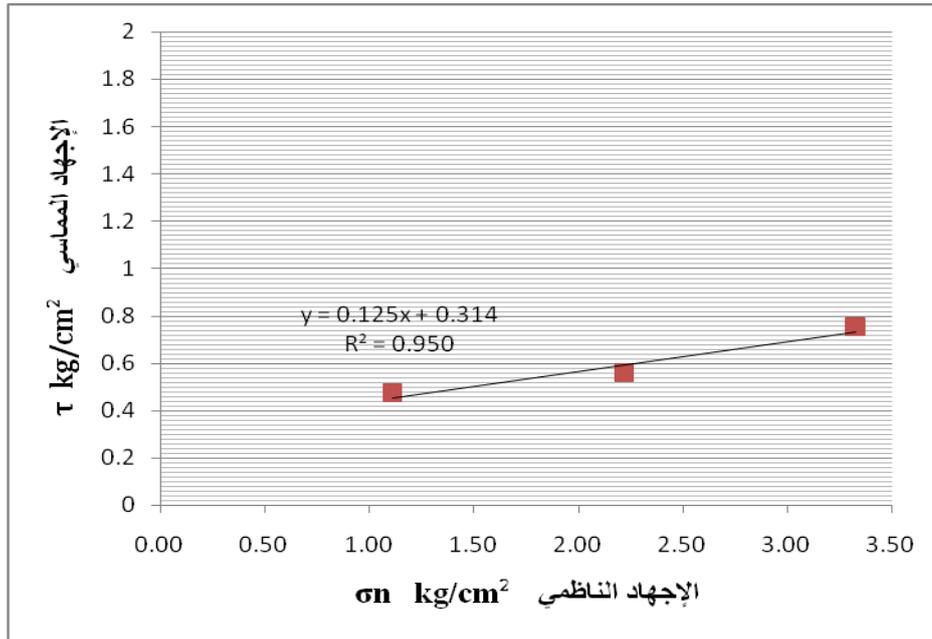
الجدول رقم ( 3 - ف ) : نتائج تجربة القص المباشر للتربة رقم 1 .

التربة رقم 1				
رقم العينة	رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g / cm <sup>3</sup>	التماسك Cu kpa	زاوية الاحتكاك $\phi$ degree
1	25.93	1.546	57.40	9.63
2	27.79	1.513	52.70	8.7
3	29.86	1.473	43.60	7.86
4	31.44	1.444	36.00	7.8
5	33.34	1.411	31.40	7.12
6	35.62	1.374	25.90	6.33
7	36.55	1.358	17.60	5.54
8	38.58	1.325	9.20	5.14

كما تبين الأشكال رقم ( 3 - 31 وحتى 3 - 36 ) نماذج عن المخططات البيانية لبعض تجارب القص المباشر للترب الثلاثة عند كل قيمة للرطوبة والوزن الحجمي الجاف المقابل .



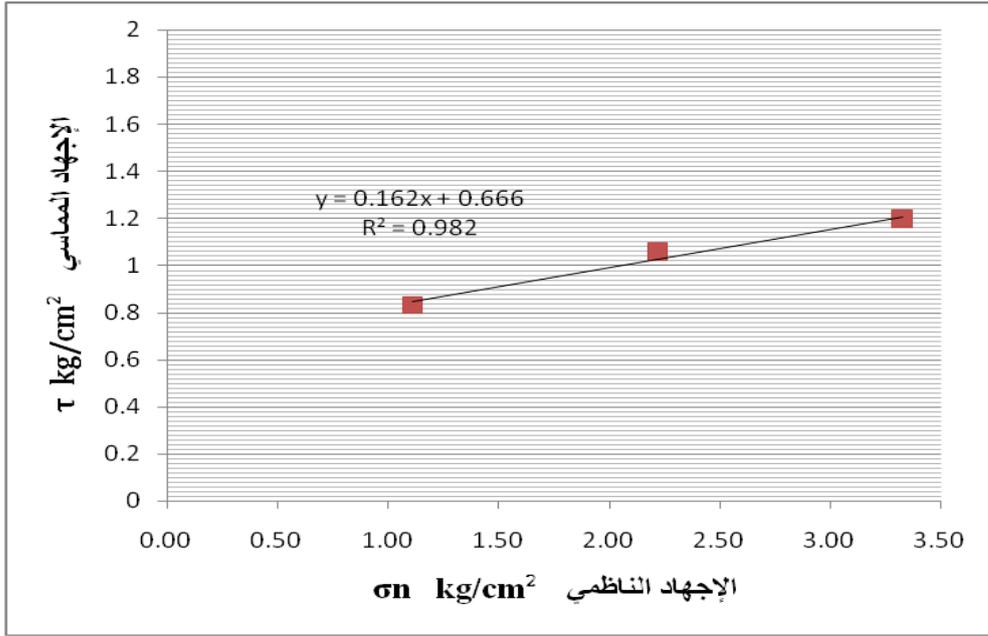
شكل ( 3 - 41 ) : مخطط بياني لتجربة القص المباشر للتربة رقم 1 عند محتوى رطوبة 25.93 %



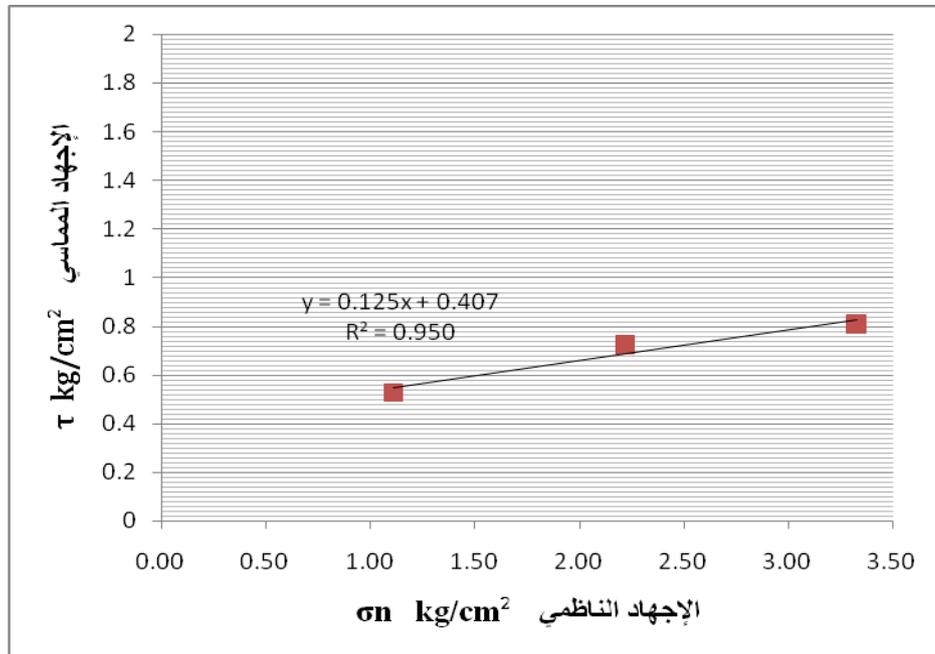
شكل ( 3 - 42 ) : مخطط بياني لتجربة القص المباشر للتربة رقم 1 عند محتوى رطوبة % 33.34

الجدول رقم ( 3 - ق ) : نتائج تجربة القص المباشر للتربة رقم 2 .

التربة رقم 2				
رقم العينة	رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي الجاف γd g / cm³	التماسك Cu kpa	زاوية الاحتكاك Ø degree
1	29.9	1.377	73.30	10.92
2	32.46	1.331	66.60	10.2
3	34.7	1.293	59.20	9.42
4	37.37	1.286	49.60	7.91
5	39.45	1.259	43.20	7.07
6	41.42	1.226	40.70	7.07
7	43.42	1.217	27.70	4.97
8	45.21	1.208	15.40	4.23



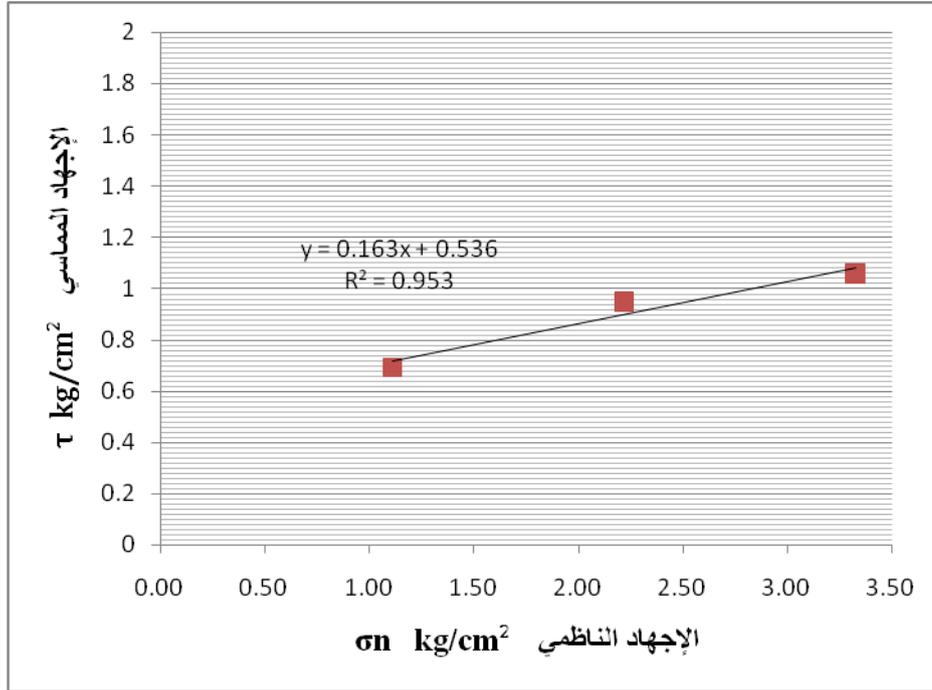
شكل ( 3 - 43 ) : مخطط بياني تجربة القص المباشر للتربة رقم 2 عند محتوى رطوبة % 32.46



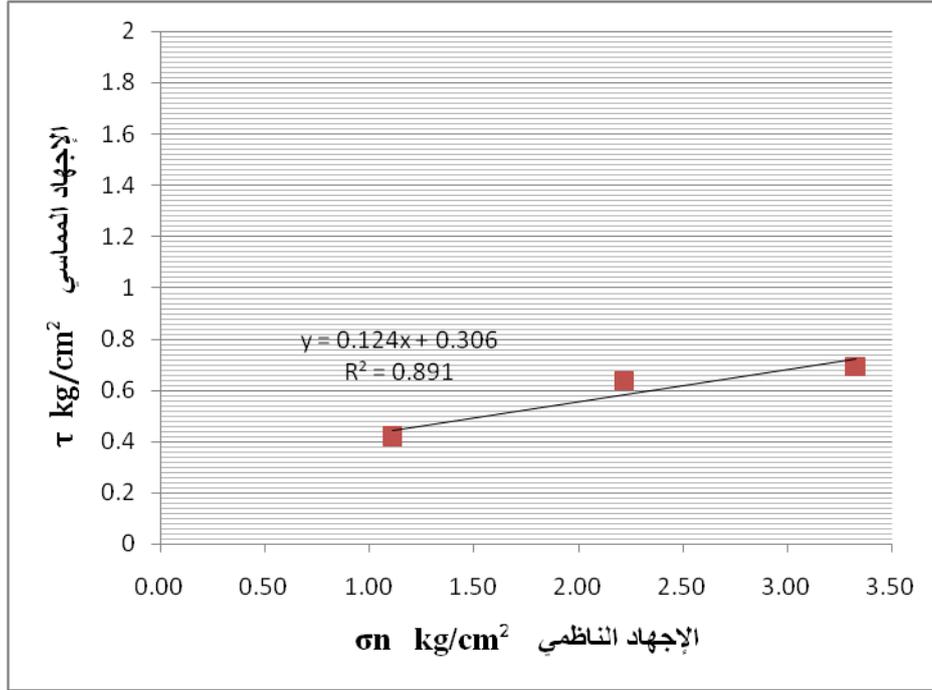
شكل ( 3 - 44 ) : مخطط بياني تجربة القص المباشر للتربة رقم 2 عند محتوى رطوبة % 41.42

الجدول رقم ( 3 - ك ) : نتائج تجربة القص المباشر للتربة رقم 3 .

التربة رقم 3				
رقم العينة	رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g / cm <sup>3</sup>	التماسك Cu kpa	زاوية الاحتكاك $\phi$ degree
1	27.65	1.473	80.5	12.68
2	30.38	1.432	63.80	10.98
3	31.30	1.422	53.60	10.26
4	33.33	1.387	48.10	9.42
5	34.35	1.369	41.60	8.7
6	36.42	1.342	39.70	7.91
7	37.63	1.320	30.60	7.86
8	41.36	1.269	14.80	7.46



شكل ( 3 - 45 ) : مخطط بياني تجربة القص المباشر للتربة رقم 3 عند محتوى رطوبة % 31.30



شكل ( 3 - 46 ) : مخطط بياني تجربة القص المباشر للتربة رقم 3 عند محتوى رطوبة % 37.63

### 3 - 2 - 7 درجة الإشباع St :

تم تحديد قيمة درجة الإشباع لكل تربة عند كل محتوى للرطوبة ووزن حجمي جاف مقابل ، وذلك لمناقشة العلاقة بين درجة الإشباع ومقاومة القص غير المصرف بالبروانة ، ومعرفة مدى صلاحية استخدام البروانة لكل تربة .

### 3 - 2 - 8 نتائج العمل المخبري :

نورد فيما يلي النتائج النهائية التي تم الحصول عليها من خلال إجراء تجارب القص المباشر والقص بالبروانة وتجربة الـ CBR ، و الوارد ذكرها ضمن هذا الفصل ، الجداول ( 3 - ص ، 3 - ط ، 3 - ع ) ، وذلك بغية جمعها و إيجاد العلاقات التي تربط بينها من خلال البرنامج المكتبي EXCEL ، و من ثم تحليل هذه العلاقات واستخلاص النتائج ، كما سيرد لاحقاً في الفصلين الرابع والخامس :

الجدول رقم ( 3 - ص ) : النتائج النهائية للتربة رقم 1 .

رقم العينة	رطوبة العينة w %	قرينة اللدونة Pi %		نسبة تحميل كاليفورنيا	القصر بالبروانة	رقم التربة	
		الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	درجة الإشباع St %			القصر المباشر	
				CBR %	Su kpa	Cu kpa	Ø degree
1	25.94	1.544	92.30	8.25	112	57.40	9.63
2	27.79	1.513	94.40	5.38	91	52.70	8.7
3	29.81	1.475	95.71	3.91	80	43.60	7.86
4	31.41	1.447	96.76	3.58	63	36.00	7.8
5	33.33	1.414	97.79	2.43	54.5	31.40	7.12
6	35.61	1.374	98.51	1.16	31	25.90	6.33
7	36.57	1.359	98.96	1.01	21.5	17.60	5.54
8	38.48	1.329	99.59	0.96	13	9.20	5.14

نلاحظ من الجدول ( 3 - ص ) : أن تغير قيمة الرطوبة للتربة رقم 1 يقع ضمن المجال ( 25.94 % - 38.48 % ) ، في حين تراوحت قيم الوزن الحجمي الجاف بين القيمتين  $g/cm^3$  ( 1.329 - 1.544 ) ، وكانت درجة الإشباع بين ( 92.3 - 99.59 ) % ، كما تراوحت قيم CBR بين ( 0.96 - 8.25 ) % ، وقيم Su بين ( 13 - 112 ) kpa .

الجدول رقم ( 3 - ط ) : النتائج النهائية للتربة رقم 2 .

رقم العينة	قرينة اللدونة % Pi			2	رقم التربة		
	رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	درجة الإشباع St %		نسبة تحميل كاليفورنيا	القص بالبروانة	القص المباشر
				CBR %	Su kpa	Cu kpa	Ø degree
1	29.76	1.379	83.94	12.29	140	73.30	10.92
2	32.58	1.329	85.27	9.34	102	66.60	10.2
3	34.59	1.294	85.95	7.17	94	59.20	9.42
4	37.45	1.284	91.69	6.42	77	49.60	7.91
5	39.25	1.260	92.73	5.71	71	43.20	7.07
6	41.44	1.226	93.06	4.52	67	40.70	7.07
7	43.44	1.217	96.25	3.62	46	27.70	4.97
8	45.19	1.208	98.79	3.06	33	15.40	4.23

نلاحظ من الجدول ( 3 - ط ) : أن تغير قيمة الرطوبة للتربة رقم 2 يقع ضمن المجال ( 29.76 % - 45.19 % ) ، في حين تراوحت قيم الوزن الحجمي الجاف بين القيمتين  $g/cm^3$  ( 1.208 - 1.379 ) ، وكانت درجة الإشباع بين ( 83.94 - 98.79 ) % ، كما تراوحت قيم CBR بين ( 3.06 - 12.29 ) % ، وقيم Su بين ( 33 - 140 ) kpa .

الجدول رقم ( 3 - ع ) : النتائج النهائية للتربة رقم 3 .

رقم العينة	قرينة اللدونة % Pi			3	رقم التربة		
	رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	درجة الإشباع St %		النسبة تحميل كاليفورنيا CBR %	القص بالبروانة Su kpa	القص المباشر Cu kpa
1	27.68	1.472	90.45	12.66	136	80.5	12.68
2	30.43	1.432	93.58	9.28	106	63.80	10.98
3	31.33	1.421	94.77	6.0	87	53.60	10.26
4	33.36	1.387	95.9	4.93	70	48.10	9.42
5	34.38	1.369	96.25	4.37	61	41.60	8.7
6	36.42	1.341	97.82	3.81	49	39.70	7.91
7	37.70	1.319	97.92	3.14	43	30.60	7.86
8	41.39	1.266	99.32	1.03	15.5	14.80	7.46

نلاحظ من الجدول ( 3 - ع ) : أن تغير قيمة الرطوبة للتربة رقم 3 يقع ضمن المجال ( 27.68 % - 41.39 % ) ، في حين تراوحت قيم الوزن الحجمي الجاف بين القيمتين  $g/cm^3$  ( 1.266 - 1.472 ) ، وكانت درجة الإشباع بين ( 90.45 - 99.32 ) ، كما تراوحت قيم CBR بين ( 1.03 - 12.66 ) ، وقيم Su بين ( 15.5 - 136 ) .

إن النتائج الواردة في الجداول الثلاثة السابقة هي القيم التي تم الاعتماد عليها في تشكيل العلاقات بين مختلف البرامترات المتعلقة بالترب الغضارية المدروسة في هذا البحث ، والجدير بالذكر أنه تم اعتماد قيم الرطوبة والوزن الحجمي الجاف كقيم وسطية للقيم الناتجة من تجارب الـ CBR والبروانة ، علماً أن تلك القيم كانت متقاربة نظراً لتحضير العينات بنفس الشروط .

سوف نجد كافة العلاقات المستنتجة ضمن الفصل الرابع , والذي سيتم من خلاله تحليل ومناقشة كافة البيانات المستنتجة في هذا الفصل .

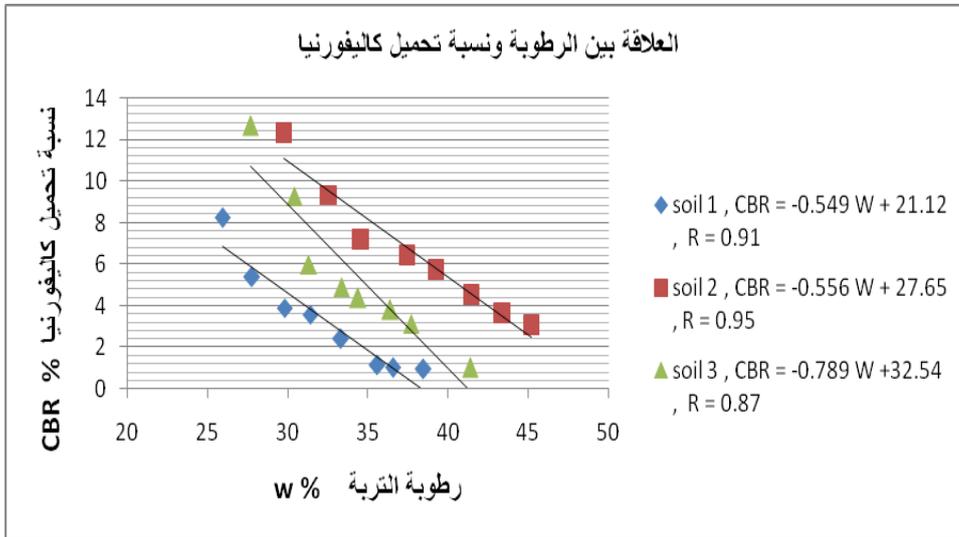
## الفصل الرابع تحليل النتائج

### 4-1- تمهيد :

يهتم هذا الفصل بتحليل كافة النتائج المستخرجة من التجارب المذكورة في الفصل السابق , وتشكيل العلاقات الرياضية اللازمة ودراستها وتحليلها بغية استخلاص استنتاجات البحث .

### 4 - 2 - دراسة العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR والرطوبة W :

تم استخدام القيم الواردة في الجداول ( 3 - ص , 3 - ط , 3 - ع ) من أجل تشكيل العلاقات بين مختلف البرامترات . وباعتبار أن التربة الغضارية تتأثر إلى حد كبير بمحتوى الرطوبة فيها , فقد تم استخراج العلاقات التي تربط بين محتوى الرطوبة w وباقي قيم التجارب المجراة ضمن هذا البحث .  
يبين الشكل رقم ( 4 - 1 ) مخطط العلاقة بين رطوبة التربة وقيم الـ CBR للترب الثلاثة .



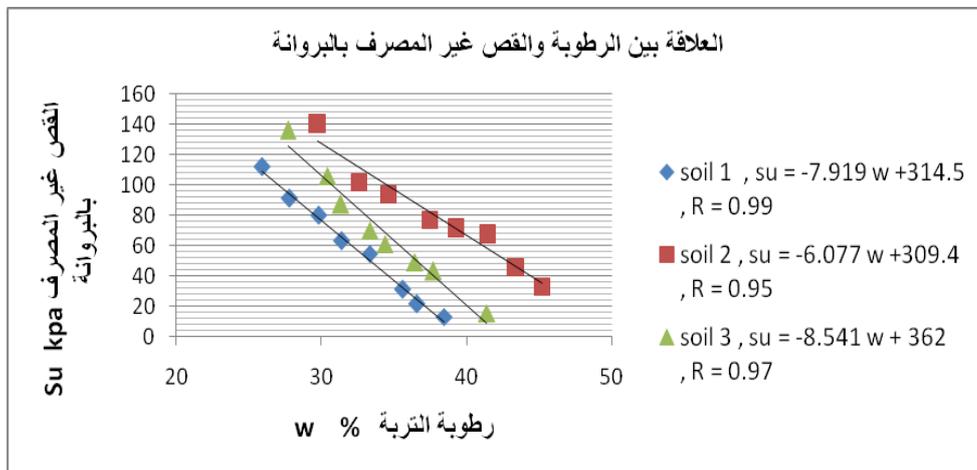
شكل رقم ( 4 - 1 ) : مخطط العلاقة بين رطوبة التربة وقيمة الـ CBR .

نلاحظ من الشكل رقم ( 4 - 1 ) : وجود علاقة خطية عكسية بين قيمة الـ CBR ورطوبة التربة مع اختلاف معامل الترابط من تربة إلى أخرى .

وقد تراوحت قيم الرطوبة بين % 25.94 و % 38.48 للتربة رقم ( 1 ) , بينما تراوحت بين 29.76 % و % 45.19 للتربة رقم ( 2 ) , وبين % 27.68 و % 41.39 للتربة رقم 3 .  
 وإن وجود مثل هذه العلاقة الخطية مبرر علمياً ومثبت سابقاً , حيث أنه كلما زادت رطوبة التربة الغضارية قلت المتانة المتمثلة في قيمة الـ CBR .  
 إن قيم الرطوبة المستخدمة في استخراج هذه العلاقة هي قيم وسطية مقاسة من تجارب الـ CBR والبروانة ( وسطي ثلاثة قيم ) , وبالتالي فإن عملية إيجاد علاقة شاملة بين قيمة الـ CBR ورطوبة التربة تحتاج إلى بحث موسع , بحيث تؤخذ قيمة الـ CBR عند قيم رطوبة محددة ومكررة عدداً من المرات للوصول إلى نتائج مرضية .

#### 4 - 3 - دراسة العلاقة بين القص غير المصرف بالبروانة Su والرطوبة W :

نستطيع القول إنه وبنفس المناقشة السابقة التي تمت في الفقرة ( 4 - 2 ) : توجد علاقة خطية عكسية بين قيمة القص غير المصرف ( Su ) الناتج عن تجربة البروانة , وبين قيمة الرطوبة ( w ) , الشكل ( 4 - 2 ) , وبنفس المقارنة نجد أن زيادة الرطوبة تؤدي إلى نقصان Su التي تعبر عن متانة التربة في هذه الحالة .

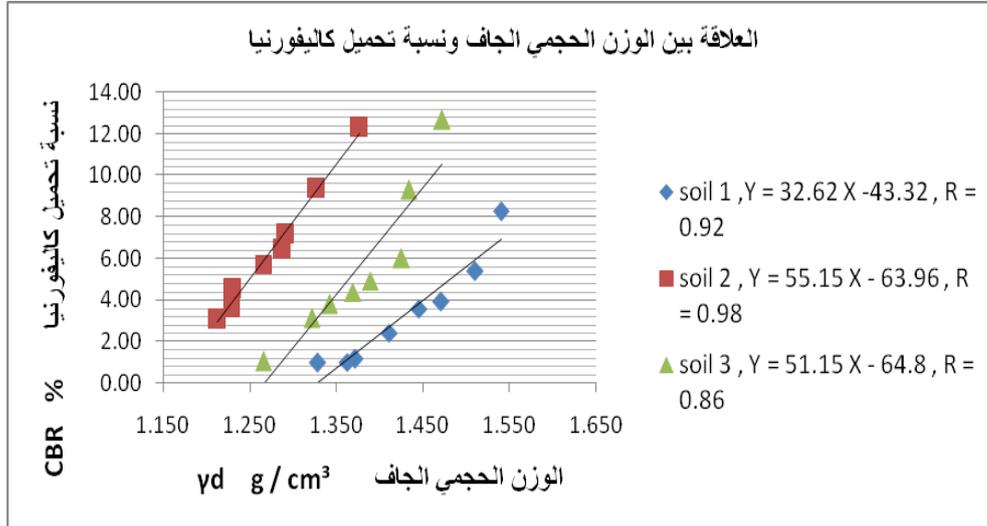


شكل رقم ( 4 - 2 ) : مخطط العلاقة بين رطوبة التربة ومقاومة القص Su .

#### 4 - 4 - دراسة العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR

والوزن الحجمي الجاف  $\gamma_d$  :

يبين الشكل رقم ( 4 - 3 ) مخطط العلاقة بين قيمة الـ CBR والوزن الحجمي الجاف للترب الثلاثة موضوع البحث :

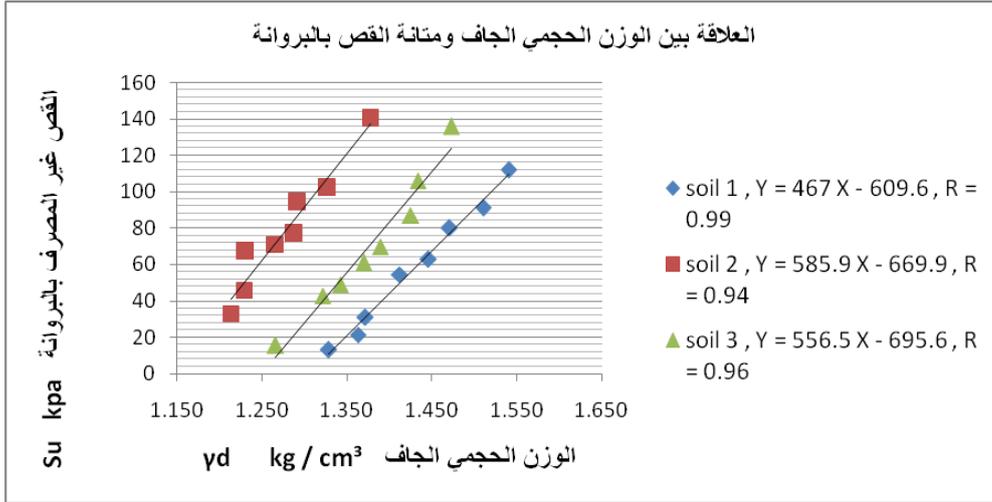


شكل رقم ( 4 - 3 ) : مخطط العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف وقيمة الـ CBR .

نلاحظ من الشكل أعلاه أنه كلما ازدادت قيمة الوزن الحجمي الجاف ازدادت متانة التربة المتمثلة في قيمة الـ CBR هنا وبالعكس ، ويختلف معامل الترابط من تربة إلى أخرى ، علماً أن قيم الوزن الحجمي الجاف المستخدمة في استخراج هذه العلاقات هي قيم وسطية مقاسة من تجارب الـ CBR والبروانة ( وسطي ثلاثة قيم ) ، وتراوح بين (  $1.208 \text{ g/cm}^3 - 1.544 \text{ g/cm}^3$  ) للترب الثلاثة ، ويمكن إيجاد علاقة عامة تربط بين القيمتين ، ولكن يتطلب الأمر التوسع في البحث ، واختيار نقاط مختلفة عن النقاط المدروسة تمكن من الوصول إلى علاقة أكثر تحديداً ودقة.

#### 4 - 5 - دراسة العلاقة بين مقاومة القص غير المصروف بالبروانة $S_u$ والوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ :

يبين الشكل رقم ( 4 - 4 ) مخطط العلاقة بين قيمة  $S_u$  والوزن الحجمي الجاف للترب الثلاثة موضوع البحث :

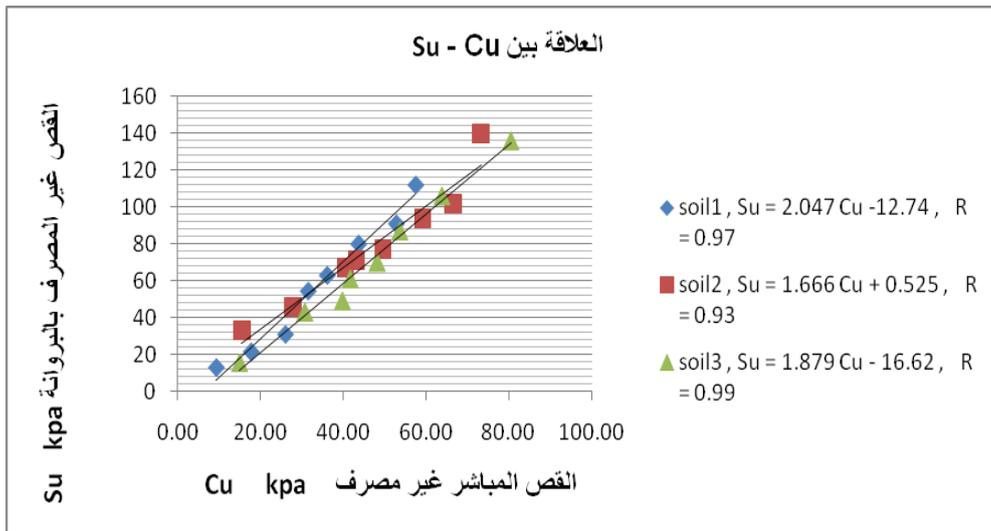


شكل رقم ( 4 - 4 ) : مخطط العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف وقيمة  $S_u$  .

نستطيع القول إنه وبنفس المناقشة السابقة التي تمت في الفقرة ( 4 - 4 ) : توجد علاقة خطية طردية بين قيمة القص غير المصرف (  $S_u$  ) الناتج عن تجربة البروانة , وبين قيمة الوزن الحجمي الجاف  $\gamma_d$  , الشكل ( 4 - 4 ) , وبنفس المقارنة نجد أن زيادة الوزن الحجمي الجاف تؤدي إلى زيادة  $S_u$  التي تعبر عن متانة التربة في هذه الحالة .

#### 4 - 6 - دراسة العلاقة بين مقاومة القص غير المصرف بالبروانة $S_u$ والقص المباشر $C_u$ :

يبين الشكل رقم ( 4 - 5 ) مخطط العلاقة بين قيمة  $S_u$  و  $C_u$  والتي تعبر عن قيمة التماسك الناتج عن تجربة القص المباشر , حيث تم إهمال قيمة الاحتكاك الداخلي لصغر أثره واقترابه من قيمة الصفر للترب الثلاثة موضوع البحث :



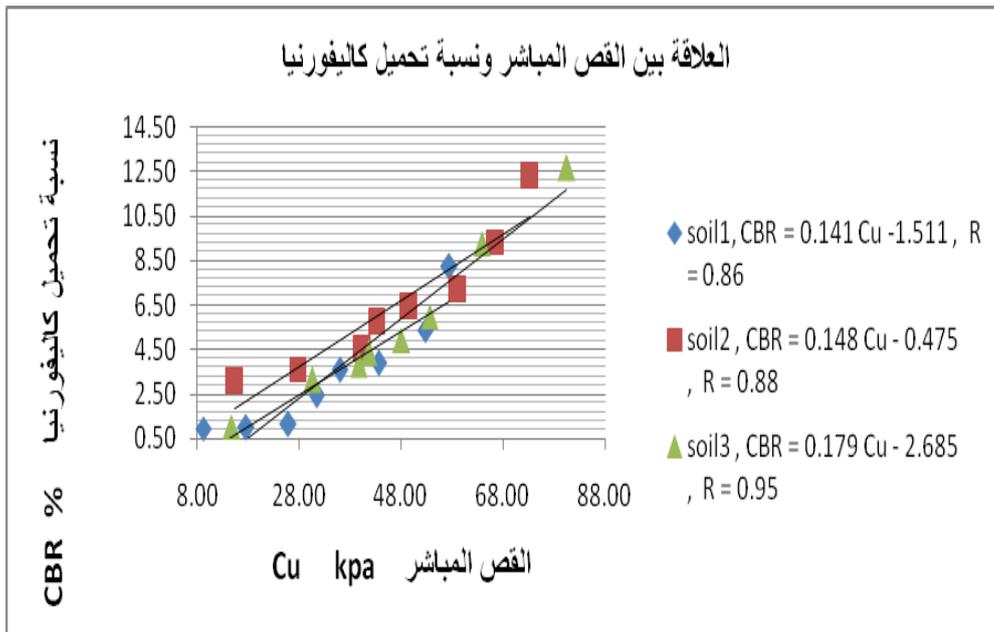
شكل رقم ( 4 - 5 ) : مخطط العلاقة بين التماسك Cu وقيمة Su .

يشير الشكل ( 4 - 5 ) إلى وجود علاقة طردية جيدة الترابط بين قيمتي Cu و Su , وهو أمر منطقي علمياً حيث تقيس كلتا القيمتين نفس البراميتز المتعلق بالتربة , ولاسيما بإهمال زاوية الاحتكاك الداخلي .

ونترك للأبحاث المستقبلية تحديد العلاقة الدقيقة بين المتغيرين , كونه لا مجال هنا للتوسع والبحث في تلك العلاقة , مع ملاحظة إمكانية التوصل إلى علاقة عامة تصلح لمختلف أنواع الترب الغضارية .

#### 4 - 7 - دراسة العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR والقص المباشر Cu :

يبين الشكل رقم ( 4 - 6 ) مخطط العلاقة بين قيمة CBR و Cu , والتي تعبر عن قيمة التماسك الناتج عن تجربة القص المباشر للترب الثلاثة , حيث تراوحت قيمة Cu بين 9 kpa و 80 kpa , في حين تراوحت قيم CBR بين 0.96 % و 12.66 % :



شكل رقم ( 4 - 6 ) : مخطط العلاقة بين التماسك Cu وقيمة CBR .

يشير الشكل ( 4 - 6 ) إلى وجود علاقة طردية بين قيمتي Cu و CBR وهو أمر منطقي علمياً ، ونلاحظ من خلال الشكل تقارب بين كافة النقاط للتربة المدروسة مما يوحي بإمكانية إيجاد علاقة موحدة مغلقة للعلاقات الثلاثة ، وباعتبار أن موضوع البحث هو إيجاد العلاقة بين قيمة الـ CBR ومقاومة القص غير المصرف الناتج عن البروانة ، وبما أن قيمة مقاومة القص الناتجة عن تجربة القص المباشر والمتمثلة في قيمة Cu تعبر عن نفس مضمون البحث ، فقد تم العمل من أجل استنتاج علاقة شاملة تعبر عن العلاقة بين قيمة Cu وقيمة CBR للتربة الغضارية ، مع مراعاة قرينة اللدونة للتربة المدروسة ، وبناءً على ذلك فقد تم التوصل إلى العلاقة رقم ( 1 ) المبينة أدناه:

$$CBR = \frac{0.552}{\ln Pi} Cu - 2.685 - K_1 \dots\dots\dots 1$$

حيث Pi قرينة اللدونة للتربة المدروسة .

Cu قيمة مقاومة القص غير المصرف ( التماسك ) الناتج عن القص المباشر .

CBR قيمة نسبة تحميل كاليفورنيا .

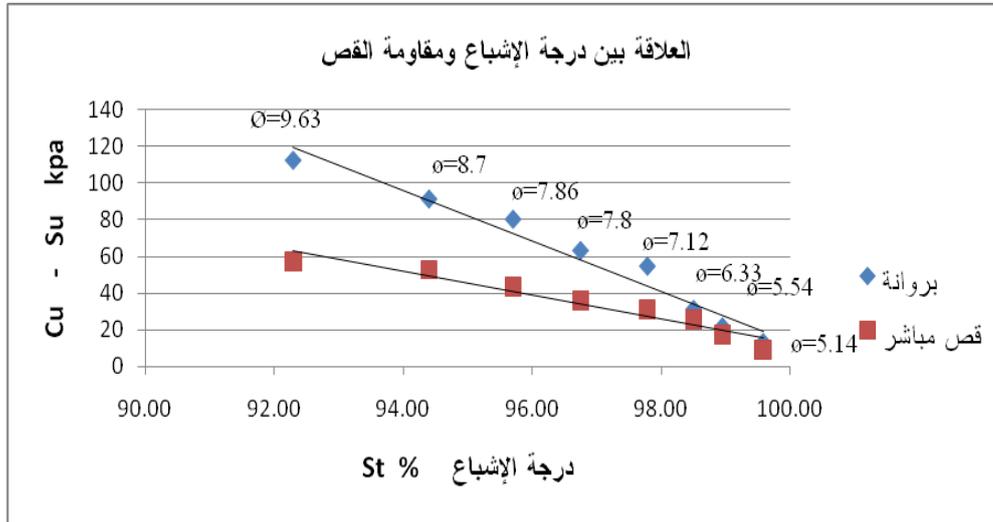
$K_1$  ثابت يؤخذ من الجدول رقم ( 4 - أ ) .

الجدول رقم ( 4 - أ ) : قيم المعامل  $k_1$  للترب الغضارية بدلالة  $LL - pi$  .

$LL > 50\%$	$K_1 = 0$					
	Cu	0 - 25	25 - 33	33 - 38	38 - 45	45 - 53
	$K_1$	$-0.15 \ln pi$	$0.08 \ln pi$	$0.1 \ln pi$	$0.2 \ln pi$	$0.3 \ln pi$
$LL < 50\%$	Cu	53 - 60	60 - 67	67 - 74	74 - 80	$80 <$
	$K_1$	$0.4 \ln pi$	$0.5 \ln pi$	$0.6 \ln pi$	$0.7 \ln pi$	$0.8 \ln pi$

#### 4 - 8 - دراسة العلاقة بين درجة الإشباع $St$ ومقاومة القص $Su$ , $Cu$ :

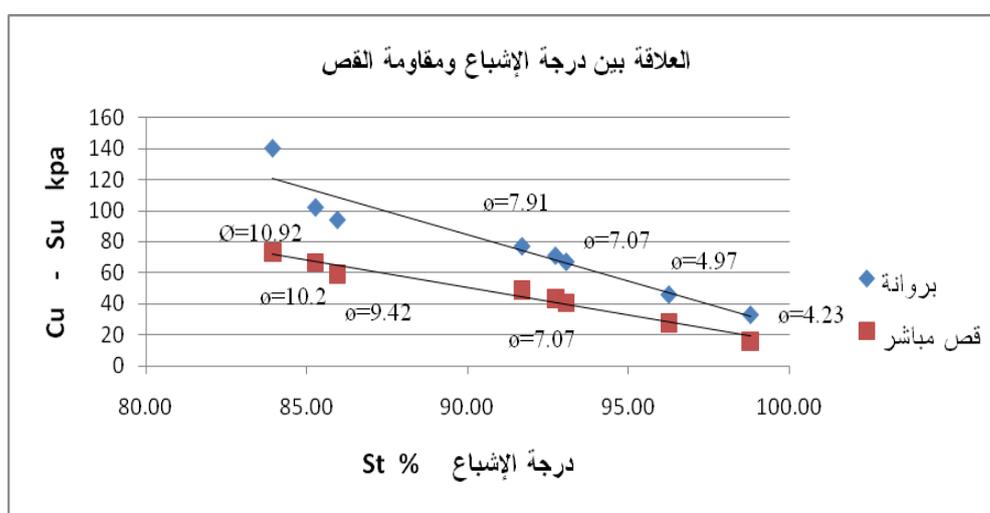
تبين الأشكال ( 4 - 7 , 4 - 8 , 4 - 9 ) مخططات العلاقة بين درجة الإشباع للترب الثلاثة موضوع البحث , وبين كلٍ من  $Su$  و  $Cu$  , وذلك عند كل محتوى للرطوبة و كل قيمة وزن حتمي مقابل لها .



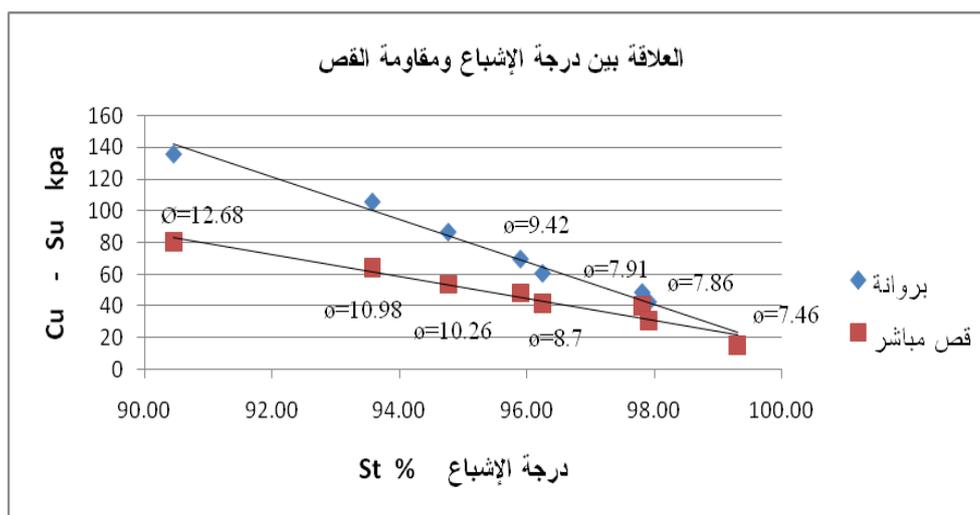
شكل رقم ( 4 - 7 ) : مخطط العلاقة بين درجة الإشباع و  $Su$  ,  $Cu$  للتربة رقم 1.

نلاحظ من الأشكال الثلاثة تأثير درجة إشباع التربة على قيمة مقاومة القص غير المصرف للتربة الغضارية , حيث تزداد مقاومة القص في التربة كلما قلت درجة الإشباع.

تتراوح قيمة درجة الإشباع للتربة رقم 1 بين ( 92.3 – 99.6 % ) , مع تغير الرطوبة ضمن المجال ( 25.94 – 38.48 % ) , ونلاحظ في المقابل تغير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المقابلة لدرجة الإشباع ضمن المجال ( 5.14° – 9.63° ) , في حين كانت قيمة درجة الإشباع للتربة رقم 2 بين ( 83.94 – 98.79 % ) , مع تغير الرطوبة ضمن المجال ( 29.76 – 45.19 % ) , و تغير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ضمن المجال ( 4.23° – 10.92° ) , وكذلك كانت القيم بالنسبة للتربة رقم 3 لدرجة الإشباع ( 90.45 – 99.32 % ) , و رطوبة التربة ( 27.68 – 41.39 % ) , وزاوية الاحتكاك الداخلي ( 7.46 – 12.68 % ) . فكلما ازدادت درجة الإشباع تناقصت قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي في التربة.



شكل رقم ( 4 - 8 ) : مخطط العلاقة بين درجة الإشباع و Su , Cu للتربة رقم 2 .

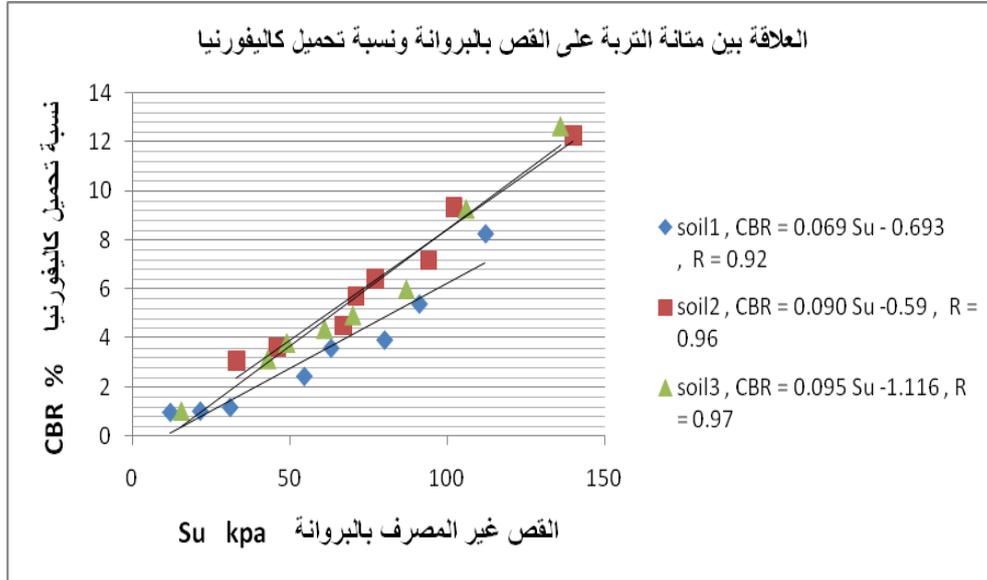


شكل رقم ( 4 - 9 ) : مخطط العلاقة بين درجة الإشباع و Su , Cu للتربة رقم 3 .

وبمقارنة قيم مقاومة القص الناتجة عن البروانة و الناتجة عن القص المباشر مع تغير درجة الإشباع , نلاحظ أن قيم كلتا التجريبتين تتقاربان كلما ازدادت درجة الإشباع , وتتباعدان في الحالة المعاكسة , وإن تفسير هذا الأمر يعود إلى الأساس في استخدام البروانة , حيث أن أهم شروط استخدامها هو حالات التربة الغضارية المشبعة , مع الأخذ بعين الاعتبار أن كافة العلاقات المستنتجة في هذا البحث افترضت قيمة زاوية الاحتكاك مساوية للصفر , الأمر الذي يصعب تحقيقه على الواقع , مما يستدعي التفكير في دراسة أثر الاحتكاك الداخلي على نتائج تجربة البروانة .

#### 4 - 9 - دراسة العلاقة بين مقاومة القص غير المصرف بالبروانة $S_u$ ونسبة تحميل كاليفورنيا CBR :

تمت دراسة العلاقة بين قيم مقاومة القص الناتج عن البروانة وقيم نسبة تحميل كاليفورنيا المقابلة لها من خلال ماتم إجراؤه من تجارب ضمن مراحل البحث , والشكل رقم ( 4 - 10 ) يبين مخطط العلاقة بين  $S_u$  و CBR للترب الثلاثة , حيث تبين وجود علاقة خطية تربط القيمتين وبمعامل ترابط جيد جداً يتجاوز 90 % :



شكل رقم ( 4 - 10 ) : مخطط العلاقة بين نسبة تحميل كاليفورنيا CBR و  $S_u$  .

يتبين من الشكل رقم ( 4 - 10 ) ومن خلال المخططات البيانية للعلاقة بين القيمتين للترب الثلاثة أن المستقيمات الثلاثة الناتجة متقاربة إلى درجة كبيرة , خاصة الترب التي حد سيولتها أكبر من 50

% , وإن معامل الترابط للعلاقة هو بحدود % 96 , وبشكل عام نلاحظ أن العلاقة الممثلة لكل أنواع الترب الغضارية هي من الشكل :

$$\text{CBR} = a \text{ Su} - b \quad \dots\dots\dots 2$$

ونتيجة التحليل للعلاقات الثلاث المبينة في الشكل , ومحاولة الربط فيما بينها , فقد تم التوصل إلى قيم كل من ( a , b ) حيث تصبح العلاقة رقم ( 2 ) مناسبة للاستخدام في حالة التربة الغضارية التي يكون حد سيولتها ( LL > 50 % ) , وبمعامل ترابط مقداره  $R^2 = 0.96 \%$  , تلعب فيها قرينة اللدونة دوراً مهماً , الأمر الذي لم نجده من خلال مراجعة مختلف الدراسات السابقة , حيث لاحظنا أنه لم تتم مشاركة أي من برامترات التربة في العلاقات المستنتجة .

$$a = \frac{0.283}{Pi^{0.325}} \quad b = \frac{430.971 \times 10^3}{Pi^{3.825}}$$

أما في حالة التربة الغضارية التي يكون حد سيولتها ( LL < 50 % ) , يمكن استخدام العلاقة السابقة ( 2 ) , ولكن مع إضافة معامل تصحيح K يؤخذ من الجدول رقم ( 4 - ب ) , وذلك بدلالة حد السيولة وقرينة اللدونة .

حيث Pi قرينة اللدونة للتربة المدروسة .

Su قيمة مقاومة القص غير المصرف الناتج عن البروانة .

CBR قيمة نسبة تحميل كاليفورنيا .

الجدول رقم ( 4 - ب ) : قيم المعامل k للترب الغضارية بدلالة Pi - LL .

LL > 50 %	K = 0						
LL < 50 %	Su	12 - 16	16.5 - 27.5	28 - 37	37.5 - 46	46.5 - 55.5	56 - 65
	K	0.35 Pi	0.32Pi	0.30Pi	0.28Pi	0.26Pi	0.24Pi
	Su	65.5 - 72	72.5 - 79	79.5 - 88	88.5 - 98.5	99 - 112	_____
	K	0.22Pi	0.21Pi	0.19Pi	0.17Pi	0.15Pi	_____

#### 4 - 10 - حدود استخدام العلاقات المستنتجة :

يرتبط استخدام العلاقات المستنتجة في هذا البحث بحدود القيم الناتجة عن التجارب لكل نوع من أنواع التربة الغضارية .

يمكن استخدام العلاقة رقم ( 1 ) لاستخراج قيمة الـ CBR بدلالة التماسك Cu في التربة الغضارية , وذلك ضمن مجال تغير قيم Cu بين القيمتين ( 9 kpa – 57 kpa ) للترب التي يكون حد سيولتها  $LL < 50\%$  .

بينما تستخدم العلاقة ذاتها للترب التي يكون حد سيولتها  $LL > 50\%$  ضمن مجال تغير قيم Cu بين القيمتين ( 15 kpa – 80 kpa ) .

تستخدم العلاقة رقم ( 2 ) لاستخراج قيمة الـ CBR بدلالة القص غير المصرف المقاس بالبروانة Su في التربة الغضارية , وذلك ضمن مجال تغير قيم Su بين القيمتين ( 13 kpa– 112 kpa ) للترب التي يكون حد سيولتها  $LL < 50\%$  .

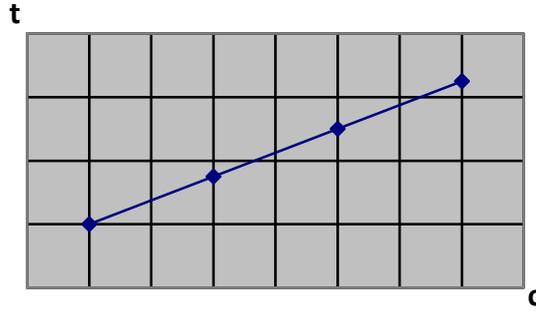
بينما تستخدم العلاقة ذاتها للترب التي يكون حد سيولتها  $LL > 50\%$  ضمن مجال تغير قيم Su بين القيمتين ( 15 kpa – 140 kpa ) .

#### 4 - 11 - معيار الانهيار :

نعلم أن انهيار التربة يتم وفق معيار انهيار معين , وذلك تبعاً لحالة التربة .  
ونورد فيما يلي معايير الانهيار الأكثر تداولاً , بغية تحديد المعيار المناسب لحالة الترب المدروسة ضمن البحث .

1 - معيار موهر - كولومب ( MOHR - COLOMB ) :

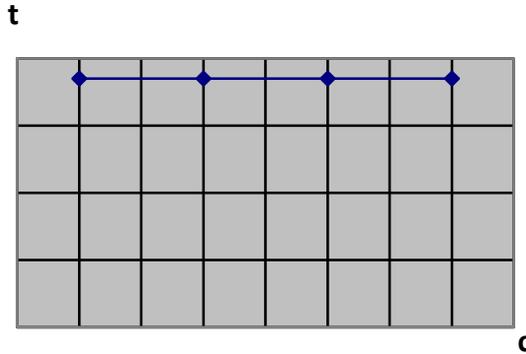
يبين الشكل رقم ( 4 - 11 ) العلاقة بين الاجهاد الناظمي  $\sigma$  والاجهاد الأفقي  $\tau$  , حيث تسلك التربة سلوكاً مرناً خطياً :



الشكل ( 4 - 11 ) : معيار انهيار موهر - كولومب

2 - معيار تريسكا ( TRESCA ) :

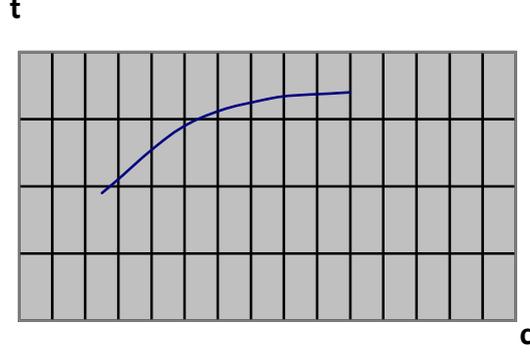
تسلك التربة في هذه الحالة نفس السلوك المرن الخطي الوارد في معيار موهر - كولومب , ولكن الاختلاف هنا أن زاوية الاحتكاك الداخلي مساوية للصفر ( حالة ترب مشبعة ) , كما في الشكل رقم ( 4 - 12 ) :



الشكل ( 4 - 12 ) : معيار انهيار تريسكا

3 - معيار هوك - براون ( Hoek - Brown ) :

يبين الشكل رقم ( 4 - 13 ) العلاقة بين الاجهاد الناظمي  $\sigma$  والىجهاد الأفقي  $\tau$  , حيث تسلك التربة سلوكاً لذنأ خطياً :



الشكل ( 4 - 13 ) : معيار انهيار هوك - براون

نلاحظ أن معيار الانهيار المناسب في حالة الترب المدروسة ضمن البحث هو معيار تريسكا , وذلك كون الترب المدروسة مشبعة .

#### 4 - 12 - التحقق من النتائج حقلياً :

استناداً إلى العلاقة رقم ( 2 ) , و بغية التأكد من صحة هذه العلاقة , فقد تم القيام بعمل حقلي في منطقة جديدة ضاحية يوسف العظمة , صورة رقم ( 4 - 14 ) , وذلك من أجل قياس قيمة CBR بواسطة البروانة , والتأكد من صحة العلاقة المستنتجة . حيث تم أخذ قياسات القص بالبروانة في الحقل , وتم جلب عينات من الموقع إلى المخبر , وتم إجراء كافة التجارب المخبرية عليها وتحديد رطوبتها ووزنها الحجمي وحدود التبرغ , وكذلك تم إجراء تجربة CBR , شكل ( 4 - 15 ) , وتمت مقارنة قيمتها مع القيمة المحسوبة من العلاقة رقم ( 2 ) وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول رقم ( 4 - ج ) .

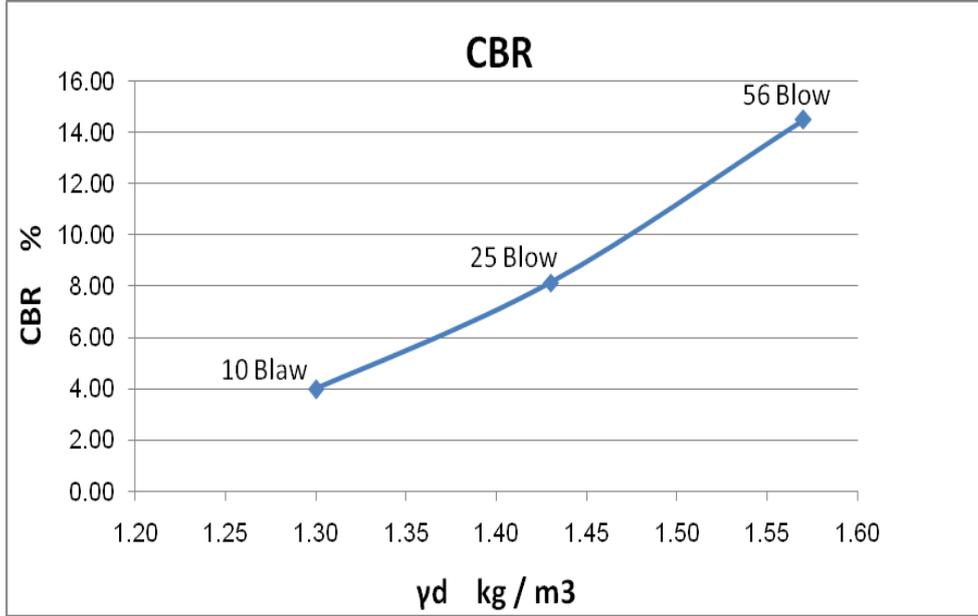


شكل رقم ( 4 - 14 ) : إجراء تجربة البروانة في جديدة .

الجدول رقم ( 4 - ج ) : مواصفات وقياسات التربة الغضارية في جديدة .

مواصفات التربة المدروسة ( موقع جديدة )					القياسات الحقلية والمخبرية والحسابية			
رطوبة العينة w %	الوزن الحجمي $\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	حد السيولة LL %	قرينة اللدونة Pi %	قيمة Su المقاسة في الحقل kpa	قيمة المعامل k من الجدول 4 - ب	قيمة CBR مخبرياً	قيمة CBR المحسوبة من العلاقة 2
16.96	1.63	1.39	43.75	17.15	106	2.57	<b>6.9</b>	<b>6.29</b>

نلاحظ من خلال القيم الواردة في الجدول ( 4 - ج ) أن حد السيولة للتربة المدروسة أقل من 50 % وبالتالي تم احتساب قيمة k من الجدول ( 4 - ب ) , وبمقارنة قيمة CBR المحتسبة من العلاقة رقم ( 2 ) وقيمة CBR المستنتجة من التجربة شكل ( 4 - 15 ) , نجد أن القيم متقاربة بنسبة 90 % مما يعطي مؤشراً عن وثوقية العلاقة المستنتجة , وهذا هو الهدف الأساسي من البحث .



شكل رقم ( 4 - 15 ) : نتائج تجربة CBR للتربة الغضارية في جديدة .

#### 4 - 13 - مناقشة عامة :

إن ما تم إنجازه ضمن هذا الفصل هو تحليل البيانات المستنتجة من التجارب المخبرية الواردة في الفصل الثالث , وإيجاد العلاقات الرياضية التجريبية التي تمثل هدف البحث , بالإضافة إلى التحقق منها , مما يمهد الطريق من أجل التوصل إلى النتائج والتوصيات التي سترد في الفصل الخامس .

## الفصل الخامس

### الاستنتاجات والتوصيات

#### 5-1- تمهيد :

يهتم هذا الفصل باستخلاص النتائج مما ورد من بيانات ومناقشة ضمن الفصل السابق , وكذلك الاستعانة بتلك المناقشة من أجل وضع أهم التوصيات التي يمكن أن تساعد في تطوير العمل وإضافة الجديد له من خلال الأبحاث القادمة .

#### 5-2- الاستنتاجات :

- 1 - تم استنتاج علاقة خطية عكسية تربط بين قيم الـ CBR ومحتوى الرطوبة المقابل لكل نوع من أنواع الترب الغضارية المدروسة , يمكن استخدامها ضمن الشروط الحدية الموضحة .
- 2 - تم استنتاج علاقة خطية عكسية تربط بين قيم الـ Su ومحتوى الرطوبة المقابل لكل نوع من أنواع الترب الغضارية المدروسة , يمكن استخدامها ضمن الشروط الحدية الموضحة .
- 3 - تم استنتاج علاقة خطية طردية تربط بين قيم الـ CBR والوزن الحجمي الجاف المقابل لكل نوع من أنواع الترب الغضارية المدروسة , يمكن استخدامها ضمن الشروط الحدية الموضحة .
- 4 - تم استنتاج علاقة خطية طردية تربط بين قيم الـ Su والوزن الحجمي الجاف المقابل لكل نوع من أنواع الترب الغضارية المدروسة , يمكن استخدامها ضمن الشروط الحدية الموضحة .
- 5 - توجد علاقة خطية طردية تربط بين قيم الـ CBR وقيم مقاومة القص غير المصرف الناتجة عن تجربة القص المباشر لكل نوع من أنواع الترب الغضارية المدروسة , يمكن استخدامها ضمن الشروط الحدية الموضحة .
- 6 - تم التوصل إلى علاقة عامة ( علاقة رقم 1 ) تربط بين قيم الـ CBR وقيم مقاومة القص غير المصرف الناتجة عن تجربة القص المباشر للترب الغضارية , تصلح لجميع الترب المدروسة بعد الأخذ بعين الاعتبار قرينة اللدونة للتربة .
- 7 - تم استنتاج معامل تصحيح K1 يستخدم لتصحيح العلاقة رقم 1 في حالة الترب التي يقل حد سيولتها عن 50 % .

- 8 - تمت ملاحظة أثر درجة إشباع التربة على نتائج القياس , حيث تبين اتساع الفارق بين قيم مقاومة القص المقاسة بالبروانة , ومقاومة القص المقاسة عن طريق القص المباشر , مع نقصان درجة إشباع التربة . مما يؤكد على ضرورة استخدام البروانة في الترب المشبعة .
- 9 - تم التوصل إلى علاقة عامة ( علاقة رقم 2 ) تربط بين قيم الـ CBR وقيم مقاومة القص غير المصرف الناتجة عن تجربة البروانة للترب الغضارية , تصلح لجميع الترب المدروسة ضمن حدود تغير قيم  $S_u$  بين 13 kpa – 140 kpa .
- 10 - تم استنتاج معامل تصحيح K , يستخدم لتصحيح العلاقة رقم 2 في حالة الترب التي يقل حد سيولتها عن 50 % .

### 5-3- التوصيات :

- 1 - التوسع في دراسة العلاقة بين محتوى الرطوبة وقيم الـ CBR لمختلف أنواع الترب الناعمة , وذلك من خلال إجراء أبحاث جديدة تشمل أنواعاً أخرى من التربة الغضارية , بحيث يمكن التوصل إلى علاقة عامة مبسطة تأخذ بعين الاعتبار أحد برامترات التربة الأساسية.
- 2 - القيام بأبحاث مستقبلية يمكن من خلالها تحديد العلاقة بين قيم مقاومة القص بالبروانة Su لأنواع مختلفة من الترب الناعمة , ومحتوى الرطوبة فيها , ومحاولة استنتاج علاقة شاملة تصلح لجميع أنواع الترب الناعمة , مع الأخذ بعين الاعتبار برامترات التربة الأساسية .
- 3 - دراسة أوسع للعلاقة بين قيم CBR والوزن الحجمي الجاف , وبين قيم Su والوزن الحجمي الجاف من جهة أخرى , بغية إيجاد علاقات أكثر شمولية مما تم في هذا البحث .
- 4 - محاولة توسيع الأبحاث في المستقبل من أجل تبسيط العلاقات المستنتجة في هذا البحث , والتي تربط بين قيم الـ CBR وقيم مقاومة القص غير المصرف الناتجة عن تجارب القص المباشر والبروانة , بحيث يمكننا الاستغناء عن معاملي التصحيح  $k_1$  ,  $k$  الواردين ضمن البحث , وذلك من خلال أخذ عينات جديدة لترب يكون حد سيولتها أقل من 50 % ومن مواقع مختلفة .
- 5 - محاولة تبسيط العلاقات المستنتجة من خلال إدخال برامترات أخرى تتعلق بالتربة المدوسة .
- 6 - دراسة العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلي ومقاومة القص بالبروانة , من أجل تحديد أثر زاوية الاحتكاك على نتائج البروانة , وذلك من خلال استخدام موديلات أخرى من أجهزة البروانة المتوفرة , والتي تملك طاقة أكبر من المستخدمة في هذا البحث .
- 7 - نظراً لما تكتسبه تجربة الـ CBR من أهمية واسعة في تحديد متانة الطوابق الترابية , فإنه من المفيد دراسة العلاقات بين تجربة الـ CBR و تجارب أخرى مثل : الضغط باتجاه محور واحد أو CPT ... الخ , بحيث تتلاءم مع التربة المدروسة .
- 8 - نوصي باستخدام العلاقتين التجريبيتين ( 1 , 2 ) والمستنتجتين من خلال هذا البحث , في تحديد قيم الـ CBR للترب الغضارية ضمن الشروط الحدية الموضحة.

## الفصل السادس

### مراجع البحث

- ASTM Designation: D 4318 ( 2007 ) . Standard Test Method For Liquid Limit, Plastic Limit , and Plasticity Index of soils .
- ASTM Designation: D 854 ( 2007 ) . Standard Test Method For Specific gravity of solids by water pycnometer .
- ASTM Designation: D 2487 ( 2011 ) . Standard practice for classification of soils for engineering purpose.
- Lindh , p , 2004 . Compaction and strength properties of stabilised and unstabilised fine grained tills .
- Han, J , Acharya , B , Thakur , J and Parsons , R . ( 2011 ) , onsite use of recycled asphalt pavement materials and geocells to reconstruct pavements damaged by heavy trucks .
- Hendri , A , Nugroho , S and Ningsih , S . 2012 , Correlation Between Index Properties and California Bearing Ratio Test of Pekanbaru Soils with and without Soaked . < [www.ghutdc.com/.../correlation-between-index-properties-and-california-bearing](http://www.ghutdc.com/.../correlation-between-index-properties-and-california-bearing) >.
- Sathawara Jigar K., and Prof. A.K.Patel .2013 , Comparison Between Soaked and Unsoaked CBR . < <http://www.technicaljournalonline.com/ijaers/VOL%20II/IJAERS%20VOL%20II%20ISSUE%20III%20APRIL%20JUNE%202013/315> >
- Leliso , Y . 2013 , correlation of CBR value with soils index properties for ADIS ABABA subgrade soils . < <http://etd.aau.edu.et/dspace/bitstream/123456789/4933/1/yard%20leliso> > .
- ASTM Designation: D 698 - 07 ( 2007 ) . Standard Test Method For Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400ft- lbf / ft<sup>3</sup> ( 600 KN – m / m<sup>3</sup> ) ) .
- ASTM Designation: D 1883 - 99 ( 1999 ) . Standard Test Method For CBR ( California Bearing Ratio ) of Laboratory – Compacted Soils .
- ASTM Designation: D 2573 - 01 ( 2002 ) . Standard Test Method For Field Vane Shear Test in Cohesive Soil .

- Impact test equipment Ltd Hand held vane tester 0 to 200 kpa SL840 .  
< [www.impact-test.com.uk&impact-test.com](http://www.impact-test.com.uk&impact-test.com) >
- ASTM Designation: D 6528 - 07 ( 2007 ) . Standard Test Method For Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils.
- Hussin,N.A, April.2008, correlation between CBR value and undrained shear strength from Vane shear test .  
<[www.efka.utm.my/thesis/images/3psm/2008/.../noorasmahaa040175tt.pdf](http://www.efka.utm.my/thesis/images/3psm/2008/.../noorasmahaa040175tt.pdf)>
- Garcia,G and Thompson,M, April.2003, Transportation Research Laboratory<[www.ceat.illinois.edu/.../TN6%20subgrade%20strength.pdf](http://www.ceat.illinois.edu/.../TN6%20subgrade%20strength.pdf)>
- Cuelhu,E and Steve,P, July.2009, Field Investigation of Geosynthetics used for Subgrade Stabilization .  
<[www.mdt.gov/other/research/external/docs/research.../final](http://www.mdt.gov/other/research/external/docs/research.../final) report .

- د . حنا يني , 1989 , منشورات جامعة دمشق , ميكانيك التربة .

- د . وليد كنعان , 1992 منشورات جامعة دمشق , العملي في ميكانيك التربة .

**Abstact :**

The test of California Bearing Ratio (CBR) has main turn in desighning subgrades of roads and airplanes. So many auothers tend to study the probable correlation between (CBR) value and geotechnical parameters concerning soil which obtained from other tests as undrained shear strength by vane test . Depending on that , three sites were choosed to achieve this research (Sahnaia-Drousha-Gabageb) , and samples of clay soils were taked to perform CBR and undrained shear strength tests to access experemental correlation attachs tow values .

Where the Atterberg limits values vary among three soils .

All the tests were obtained in laboratory by using CBR mold depending of standared ASTMD1883-99- ASTMD2573-01 by changing valus of water content of evry type of three soils to conclude experemental correlation and realization was occurred in site .

**Key words :** clay soil , vane test , california bearing ratio , shear strength.

**Damascus University**  
**Faculty of Civil Engineering**  
**Dep – of Geotechnical Engineering**



**“ FINDING OUT THE CBR VALUE FOR CLAY SOIL  
DEPENDING ON SHEAR STRENGTH VALUES WHICH  
CONCLUDED FROM VANE TEST “**

**Thesis Submitted in Fulfillment of The Requirements For  
Degree of Master of Science in Geotechnical Engineering**

**Prepared By  
Eng . Samir Fares**

**Supervised By  
Dr . Marwan Kaakaa**

**Damascus - 2015**

