

جامعة دمشق  
كلية الهندسة المدنية  
قسم الهندسة الجيوتكنيكية

## دراسة انضغاطية التربة الغضارية المشبعة جزئياً

"A study of compressibility of partially saturated clayey soil"

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية باختصاص الهندسة الجيوتكنيكية

إعداد

المهندسة مها أجود أبو سعدى

إشراف

الدكتور المهندس محمد عماد مشلح

## كلمة شكر وتقدير

أنتقدم بالشكر للأستاذ الدكتور محمد عماد مشلح لإشرافه على العمل فكان نعم الناصح والمرشد وصاحب فضل كبير في إخراج هذا البحث بهذه الحلة.

كما أنتقدم بالشكر والامتنان للأستاذ الفاضل رئيس قسم الهندسة الجيوتكنيكية الأستاذ الدكتور إبراهيم حمود الذي منحني من وقته الثمين الكثير لإنجاز هذا البحث فكان نعم الموجه الذي قاد دفة هذا العمل إلى بر الأمان.

ولا يسعني إلا أن أتوجه بخالص الشكر إلى إدارة الكلية لدعمهم للبحث العلمي وحرصهم الدائم على مستوى الأبحاث المقدمة.

والشكر موصول لأعضاء الهيئة التدريسية في قسم الهندسة الجيوتكنيكية لدعمهم ومساندتهم، وأخص بالشكر العاملين في مخبر ميكانيك التربة ومخبر الشركة العامة للدراسات لما قدموه من مساعدة على إنجاز التجارب المخبرية لهذا البحث.

## الإهداء

أهدي هذا العمل:

إلى وطني الجريح راجية من الله تعالى شفائه بالقرب العاجل ليعود كما كان بل أفضل محتضناً  
جميع أبنائه المخلصين الأوفياء.

إلى الوالد الغالي الذي شجعني على خوض مجال الهندسة فكان سنداً لي وداعماً على الدوام.

إلى والدتي الحنونة التي بدعواتها منحتني الأمل وحفزتني على إنجاز عملي، وكانت البديل عني  
أثناء غيابي عن أولادي.

إلى رفيق دربي الذي وقف معي وساندني على الدوام.

إلى الوردتين اللتين يفوح عطرها دوماً في أرجاء بيتنا الدافئ.....ابنتي الغاليتين لونا وجولي.

إلى جميع الأهل والأصدقاء ولكل من ساندني ووقف إلى جانبي.

## فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
16	تغير معامل الزمن مع نسبة الانضغاطية	(1-2)
20	متغيرات الإجهاد باستخدام بعض النماذج التكوينية	(2-2)
42	يبين المواصفات الفيزيائية للعينات المشبعة كلياً	(1-3)
43	يبين نتائج تجربة الانضغاطية للعينات المشبعة كلياً	(2-3)
47	يبين المواصفات الفيزيائية للعينات المشبعة جزئياً	(3-3)
48	يبين نتائج تجربة الانضغاطية للعينات المشبعة جزئياً	(4-3)
66	يبين النسبة بين درجتي الإشباع	(1-4)
79	مقارنة الهبوط لنوعي الترب	(1-5)
80	مقارنة قرينة الانضغاط لنوعي الترب	(2-5)
81	مقارنة معامل المرونة لنوعي الترب	(3-5)

## فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
7	منحني التشوه-الزمن خلال الانضغاط	(1-2)
7	المنحني النموذجي لمعامل المسامية مع لوغاريتم الضغط الفعال	(2-2)
8	منحني معامل المسامية - لوغاريتم الضغط الفعال في مرحلة التحميل-رفع الحمولة-إعادة التحميل	(3-2)
10	مواصفات الانضغاط للغضار المضغوط طبيعياً	(4-2)
11	مواصفات الانضغاطية للغضار مسبق الانضغاط	(5-2)
13	تغير معامل المسامية مع لوغاريتم الزمن تحت تأثير زيادة الحمل المعطى	(6-2)
14	طريقة لوغاريتم الزمن لتحديد معامل الانضغاطية	(7-2)
17	طريقة الجذر التربيعي للزمن	(8-2)
22	التغيرات الحجمية تبعاً للتجفيف	(9-2)
23	العلاقة بين الامتصاص والانتفاخ	(10-2)
24	المنحني النموذجي لاحتباس الماء	(11-2)
26	منحني مواصفات الماء-التربة	(12-2)
26	منحني النقل النموذجي للتربة الغضارية	(13-2)
27	تمثيل العالم الجيوتكنيكي بقطع ناقص مع خط أفقي في وسطه يمثل منسوب المياه الجوفية	(14-2)
28	وسيلة توضيحية للمناطق الرطبة والمعتدلة	(15-2)
28	وسيلة توضيحية للمناطق الجافة	(16-2)
30	التمثيل لميكانيك التربة المشبعة / غير المشبعة	(17-2)

31	تصنيف ميكانيك التربة يرتكز على نوع المشكلة الهندسية	(18-2)
32	زيادة احتمال الانتفاخ والامتصاص مع العم	(19-2)
33	التمثيل لميكانيك التربة	(20-2)
35	أ- عينة مشكلة مخبرياً لجهاز الأودومتر. ب- توضح مجموعة من أجهزة الأودومتر. ج- يبين جهاز الأودومتر. د- يوضح كيفية حساب حدود أتربرغ.	(1-3)
36	أ- العينات الطبيعية. ب- تجربة حدود أتربرغ. ج- تجربة التدرج الحبي. د- تجربة بروكتر. هـ- إنزال العينة المشكلة بتجربة بروكتر بالكريكو.	(2-3)
38	يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة كلياً 1	(3-3)
39	يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للترب المشبعة كلياً 1	(4-3)
41	يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة كلياً 11	(5-3)
41	يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للترب المشبعة كلياً 11	(6-3)
42	يبين تصنيف العينات	(7-3)
44	يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة جزئياً 7	(8-3)
45	يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للترب المشبعة جزئياً 7	(9-3)

46	يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة جزئياً 13	(10-3)
47	يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للترب المشبعة جزئياً 13	(11-3)
50	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً	(1-4)
50	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً	(2-4)
51	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودمترى للترب المشبعة كلياً	(3-4)
51	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودمترى للترب المشبعة كلياً	(4-4)
52	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً	(5-4)
52	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً	(6-4)
53	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً	(7-4)
53	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومترى للترب المشبعة جزئياً	(8-4)
54	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة جزئياً	(9-4)
54	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة جزئياً	(10-4)
55	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(11-4)
55	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(12-4)

55	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(13-4)
56	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(14-4)
56	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(15-4)
56	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(16-4)
57	العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(17-4)
57	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(18-4)
57	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(19-4)
58	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(20-4)
58	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(21-4)
58	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(22-4)
59	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(23-4)
59	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(24-4)
59	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(25-4)
60	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(26-4)



60	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(27-4)
60	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(28-4)
61	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشعبة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(29-4)
61	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(30-4)
61	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(31-4)
62	علاقة حد السيولة مع معامل المرونة الأودومتري للترب المشعبة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(32-4)
62	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(33-4)
62	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(34-4)
63	علاقة حد السيولة مع معامل المرونة للترب المشعبة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(35-4)
63	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(36-4)
63	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(37-4)
64	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشعبة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين	(38-4)
64	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أقل من 60%	(39-4)

64	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%	(40-4)
67	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما	(41-4)
68	يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما	(42-4)
69	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما	(43-4)
70	يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما	(44-4)
71	يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما	(45-4)
72	يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً	(46-4)
73	يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً	(47-4)
73	يبين العلاقة بين درجة الإشباع ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة كلياً	(48-4)
74	يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً	(49-4)
74	يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً	(50-4)
75	يبين العلاقة بين درجة الإشباع ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً	(51-4)
75	يبين العلاقة بين درجة الإشباع ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً	(52-4)

## الملخص باللغة العربية Summary in Arabic

يُهمَل عند دراسة الترب الغضارية حالة الإشباع الجزئي، فتدرس على أنها مشبعة كلياً أو جافة، وهذا بدوره يؤثر سلباً أو إيجاباً على هبوط التربة وسرعة هذا الهبوط. يهدف هذا البحث إلى دراسة الانضغاطية لكل من الترب المشبعة كلياً والترب المشبعة جزئياً، ودراسة الاختلاف في سلوكهما وكذلك دراسة التوافق في الهبوط مع ترزافي. اشتمل البحث على عدد كبير من العينات الطبيعية السليمة، حيث أجريت التجارب الفيزيائية الأساسية وبنتيجة هذه التجارب اختيرت 15 عينة مشبعة بالكامل و15 عينة مشبعة جزئياً. ولقد تم تشكيل العينات اعتماداً على تجربة بروكتر النظامية حسب ASTM، وتم إجراء مجموعة تجارب تتضمن الخواص الفيزيائية والميكانيكية ونُفذت تجارب الانضغاطية على المجموعتين، فأظهرت النتائج قيم لقرينة الانضغاط وقرينة الانتفاخ ومعامل المرونة العادي والأودومتري، وتم التوصل لأن هبوط التربة المشبعة كلياً أكبر من هبوط التربة المشبعة جزئياً.

## **Abstract**

This research talk about Partially saturation that has been ignored during studying clayey soils. That will effect on the settlement and its speed positively or negatively.

The aim of this research is to study the consolidation of saturated and unsaturated soils, differences in their behavior, and its accommodation in settlement with Terzaghi.

The study included a large number of undamaged samples. Physical principles tests had taken place, then unsaturated samples had been choosed consequently.

Samples were prepared according to regular brocter test. Consolidation tests were performed on both group samples. It was concluded that settlement of saturated soil was more than the settlement of unsaturated soil.

## الفهرس

- 1..... الفصل الأول
- 2..... 1-المقدمة:
- 3..... الفصل الثاني
- 4..... 2-الدراسة المرجعية:
- 4..... 1-2: دراسة انضغاطية التربة الغضارية المشبعة كلياً:
- 9..... I: الانضغاط الطبيعي للغضار Normally consolidation:
- 10..... II: الغضار مسبق الانضغاط Over consolidated clay:
- 11..... حساب الهبوط:
- 18..... 2-2: دراسة انضغاطية التربة الغضارية المشبعة جزئياً:
- 19..... 1-2-2: السلوك الميكانيكي:
- 21..... 2-2-2: سلوك تغير الحجم:
- 29..... I: تعاريف لامتصاص التربة:
- 30..... II: تصنيف التربة المشبعة وغير المشبعة:
- 34..... الفصل الثالث
- 35..... 3-الدراسة التجريبية:
- 37..... 1-التجارب على الترب المشبعة كلياً:
- 43..... 2-التجارب على الترب المشبعة جزئياً:
- 49..... الفصل الرابع
- 50..... 4-مناقشة النتائج:
- 50..... 1-4-مخططات:
- 50..... 1-للترب المشبعة كلياً:
- 52..... 2-الترب المشبعة جزئياً:

67	2-4- تحليل النتائج:
72	3-4- علاقة درجة الإشباع مع البارامترات للترب المشبعة كلياً:
74	4-4- علاقة درجة الإشباع مع البارامترات للترب المشبعة جزئياً:
76	الفصل الخامس
77	5- الاستنتاجات:
83	الفصل السادس
84	6- المراجع References:

# الفصل الأول

## المقدمة

## 1- المقدمة:

تعالج نظرية ميكانيك التربة (في مجال تقييم هبوط التربة الغضارية) الحالة المشبعة كلياً للتربة الغضارية (المسامات مملوءة بالماء )، أو الحالة الجافة لهذه التربة (المسامات مملوءة بالهواء) ويتم تجاهل الحالة المشبعة جزئياً، في حين يشمل عدد كبير من المشاكل الجيوتكنيكية وجود مناطق تربتها مشبعة جزئياً حيث الفراغات بين جزيئاتها مملوءة بمزيج من الهواء والماء، وأثبت بأن سلوكها يمكن أن يكون مختلفاً كثيراً عن سلوك الترب المشبعة كلياً أو الجافة تماماً، وهذا بدوره يمكن أن يؤثر سلباً أو إيجاباً على هبوط التربة، وسنتحقق من ذلك من خلال القيام بالتجارب المخبرية، وبالتالي من الضروري إجراء دراسة أكثر واقعية للسلوك الميكانيكي لهذه الترب، حيث كانت سابقاً تبنى المنشآت في معظمها في المناطق غير المشبعة (فوق منسوب المياه الجوفية) إلا أن تصميمها كان يعتبر، بصورة خاطئة، تربة مشبعة كلياً. إذ تم اعتماد صيغاً تجريبية لأن الأسس العلمية المتعلقة بدراسة وسط التربة غير المشبعة كانت ضعيفة، علماً أن الإجهاد الفعال يعد عاملاً أساسياً لفهم سلوك التربة المشبعة كلياً، بينما يتطلب فهم سلوك التربة غير المشبعة البحث عن متغير مشابه لحالة الإجهاد.

ومن خلال ما تقدم فإن بحثنا هذا يهدف إلى:

دراسة الاختلاف بين سلوك التربة المشبعة كلياً والتربة المشبعة جزئياً، وذلك من خلال دراسة انضغاطية هذه الترب من حيث:

قرينة الانضغاط  $CC$  وقرينة الانتفاخ  $CS$  ومعامل المرونة  $E$  ومعامل المرونة الأودومتري  $E_{od}$  والهبوط  $S$ ، حيث يتم تثبيت جميع المتغيرات ويتم تغيير قيمة الرطوبة فقط.



**الفصل الثاني**  
**الدراسة المرجعية**

## 2- الدراسة المرجعية:

### 2-1: دراسة انضغاطية التربة الغضارية المشبعة كلياً:

عندما تكون التربة الغضارية مشبعة بالماء وسلوكها الانضغاطي تحت تأثير حمولات خارجية متوافقة مع فرضيات ترزاكي، فإن الرطوبة الابتدائية تتوافق مع حالة إشباع كامل، أي أن درجة الإشباع 100% وكل الفراغات مملوءة بالماء. وبالتالي فإن تعرض التربة لحمولات خارجية سيؤدي لارتفاع في ضغط الماء المسامي ضمن التربة، مما يسبب جريان الماء خارج منطقة التحميل باتجاه المصارف الممكن تواجدها (مصرف أو مصرفين). كما أن خروج الماء خلال انضغاط التربة يسبب حتماً انخفاضاً في رطوبة التربة الابتدائية  $w_0 = w_w/w_s$ ، لأن  $w_s$  ثابت بينما  $w_w$  تتناقص بسبب خروج الماء. في حين تبقى درجة الإشباع دون تغيير (100%) لأن خروج الماء يتوافق مع تغيير متماثل لكل من حجم الماء الموجود في التربة وحجم الفراغات فكلاهما يتناقص أثناء خروج الماء بنفس المقدار؛ وبالتالي فإن النسبة  $v_w/v_v$  تبقى ثابتة لأن البسط والمقام يتناقصان بنفس المقدار.

إن شروط الاختبار على الانضغاط وفق نظرية ترزاكي، 1936 تحدد كما يلي:

1- أن لا تزيد نسبة ارتفاع العينة لقطرها عن  $1/4$  حتى لا تؤثر قوى الاحتكاك بين التربة والحلقة المعدنية.

2- حساب الرطوبة الانتقالية للعينة (بعد تطبيق كل ضغط) فقط انطلاقاً من مقدار الرطوبة النهائية التي تعين بتجفيف العينة بعد انتهاء التجربة.

3- غمر العينة وإشباعها بالماء في جهاز الأودومتر وعدم السماح لها بالانتفاخ.

وتعتمد نظرية الانضغاط الرشحي (الأولي) الذي يُنقل فيه ضغط الماء المسامي الإضافي بشكل تدريجي إلى الإجهاد الفعال مسبباً خروج الماء؛ على الفرضيات التالية:

1- التربة متجانسة (Homogeneous)

2- التربة مشبعة كلياً

3- تعتبر الجزيئات الصلبة والماء جسمين غير مشوهين

4- لا توجد متانة في بنية التربة، أي أن الضغط المطبق ينتقل فوراً للعناصر المشكلة لها

5- يحدث الرشح والانضغاط في الحالة الخطية باتجاه واحد شاقولي

6- يطبق قانون دارسي على خروج الماء من العينة، حيث يعطى هذا القانون بالمعادلة

(2-1) كالتالي:

$$Q = K.A.i.t$$

معادلة (2-1)

حيث:

$K$ : معامل الرشح ووحدته  $\frac{cm}{sec}$

$A$ : مساحة مقطع العينة

$t$ : الزمن

$i$ : ميل سطح المياه الجوفية (التدرج الهيدروليكي) ، ويوضح بالمعادلة (2-2):

$$i = \frac{h}{l} \quad \text{معادلة (2 - 2)}$$

حيث:

$h$ : فرق الضاغط

$l$ : طول الطبقة الراشحة باتجاه جريان الماء

وبالتالي تتناسب سرعة الرشح طردياً مع التدرج الهيدروليكي.

7- قيمة معامل دارسي ثابتة خلال عملية الانضغاط

8- الضغط المسامي الإضافي في بداية الانضغاط يساوي الصفر

9- العلاقة بين معامل المسامية والضغط الفعال غير متعلقة بالزمن

10- انضغاط التربة يجري في شروط انعدام إمكانية التوسع الجانبي

وذكر (T.william Lambe.Robert V.whitman, 1969) أن ترزكي أظهر بأن الوقت

المطلوب لانضغاط التربة يزداد مع زيادة الانضغاطية ومع زيادة كتلة التربة وينقص مع زيادة النفاذية؛ وبشكل عام يتعلق بتغير الإجهاد المطبق.

في حال كان ضغط الماء المسامي الإضافي  $Exces \ pore \ water \ pressur$  بحالة شد(موجب)، فإن ذلك ينقص من حجم التربة مؤدياً لانضغاطها، أما إذا كان بحالة ضغط (سالبة) فيؤدي لزيادة حجم التربة وبالتالي لانتفاخها.

يحسب معامل الانضغاط بالمعادلة (3-2) كالتالي:

$$C_v = \frac{K(1+e)}{\gamma_w \cdot a_v} = \frac{K}{\gamma_w \cdot m_v} \quad \text{معادلة (3-2)}$$

حيث:

$C_v$ : معامل الانضغاط ووحدته  $cm^2 / sec$

$m_v$ : معامل الانضغاط الحجمي ووحدته  $cm^2 / kg$

$K$ : معامل الرشح ووحدته  $cm / sec$

في حين توصل (Braja M. Das, 2006) بأن انضغاط التربة ناتج عن:

- تشوه الجزيئات الصلبة للتربة
  - انتقال جزيئات التربة وبالتالي تراصها
  - خروج الماء أو الهواء من المسامات الناتج عن التراص والمؤدي لزيادة الكثافة
- عندما تتعرض طبقة التربة المشبعة لزيادة إجهاد فإن ضغط الماء المسامي الإضافي Excess pore water pressure سيزداد وسيحصل فوراً هبوط مرن.
- يؤدي تصريف الماء المسامي للنقص في حجم كتلة التربة مسبباً للهبوط، ويكون الضغط الكلي مساوي للضغط الفعال ولضغط الماء المسامي، ويوضح ذلك بالمعادلة (2-4):

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \quad \text{معادلة (2 - 4)}$$

حيث:

$\Delta\sigma$  : الضغط الكلي

$\Delta\sigma'$  : الزيادة في الضغط الفعال

$\Delta u$  : زيادة ضغط الماء المسامي

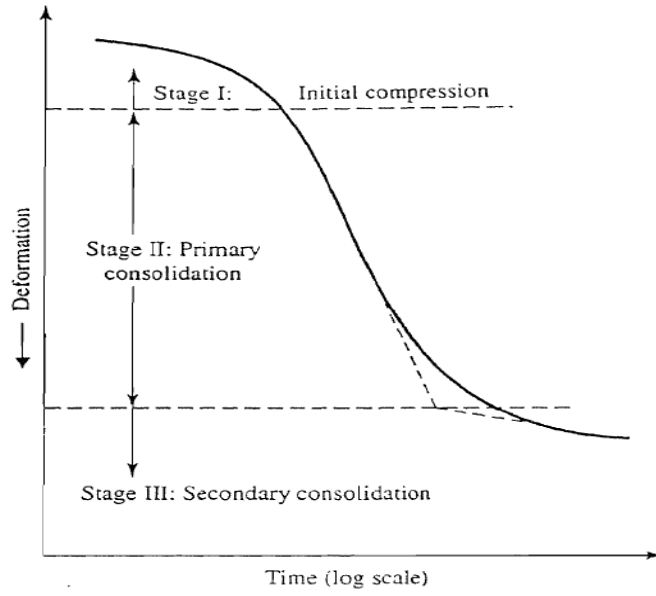
إن اختبار الانضغاطية تم اقتراحه من قبل terzaghi في جهاز الأودومتر مخبرياً وحددت له مراحل كالتالي:

1- الانضغاط الابتدائي Initial compression: ويمثل الضغط الناتج عن وزن الطبقات التي تعلق التربة (الوزن الذاتي) والناتج عن مرحلة ما قبل التحميل preloading ، حيث الشروط الحدية لهذه المرحلة (  $\Delta\sigma = \Delta u$  ،  $\sigma' = 0$  ) ولا علاقة له بالزمن.

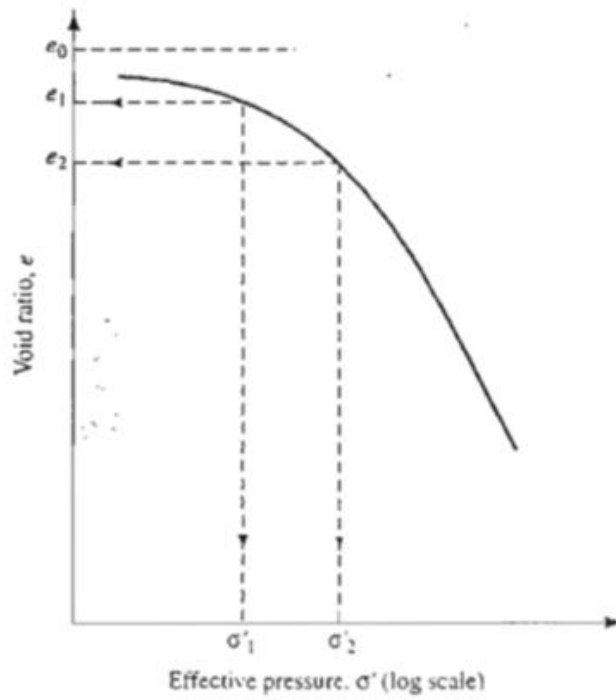
2- الانضغاط الأولي (الرشحي) primary consolidation : يمتد من بداية تناقص ضغط الماء المسامي الإضافي وحتى انعدامه نتيجة خروج الماء أي حتى  $\Delta u = 0$ .

3- الانضغاط الثاني Secondary consolidation : حيث يتحول كل الإجهاد إلى ضغط فعال (بعد خروج الماء من التربة) وهذا يعني الانهيار، حيث الشروط الحدية لهذه المرحلة (  $\Delta\sigma = \sigma'$  ،  $\Delta u = 0$  ).

تبين المراحل السابقة في الشكل (2-1) الذي يوضح العلاقة بين الزمن والتشوه.

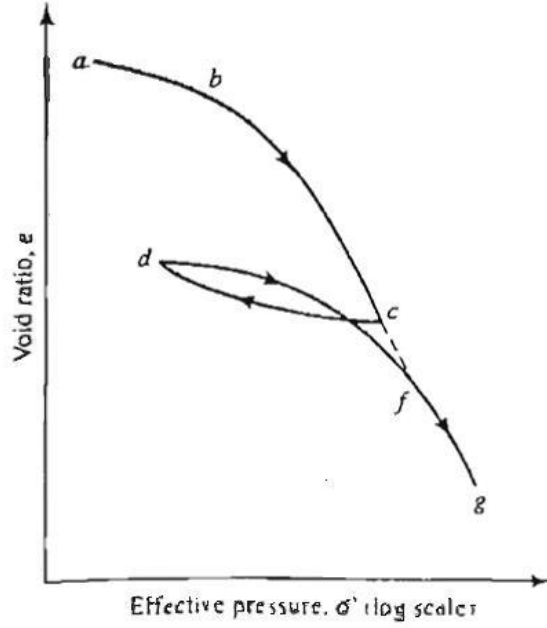


الشكل (1-2) منحنى التشوه-الزمن خلال الانضغاط (Terzaghi)



الشكل (2-2) المنحنى النموذجي لمعامل المسامية مع لوغاريتم الضغط الفعال (Das B M, 2006)

يوضح الشكل (2-2) بأن القسم العلوي من العلاقة بين  $e$  و  $\log \sigma'$  عبارة عن منحنى تقعره نحو الأسفل، والمنحنى له عدة أنصاف أقطار، ليتحول بعد ذلك إلى علاقة خطية ذات ميل ثابت، وفي هذه المرحلة تكون التربة قد وصلت لما يسمى التربة المنضغطة طبيعياً. ويمكننا خلال القيام بتنفيذ تجربة الانضغاطية ان نقوم برسم العلاقة ما بين  $e$  و  $\log \sigma'$  لعدة حالات من التحميل وإزالة الحمولة، ويبين ذلك بالشكل (2-3).



الشكل (2-3) يبين منحنى معامل المسامية - لوغاريتم الضغط الفعال في مرحلة التحميل-رفع الحمولة-إعادة التحميل (Das B M, 2006)

وحسب الحالة الإجهادية للتربة تقسم لنوعين:

1-Normally consolidation: يعتبر بأن الضغط الفعال الناجم عن الوزن الذاتي للتربة effective overburden pressure هو الإجهاد الأعظمي الذي تعرضت له التربة بالماضي والحاضر أيضاً لأنه يتوافق مع شروط التربة الحالية؛ حيث الإجهاد النهائي هو الإجهاد الناتج عن الوزن الذاتي والأحمال.

2 - over consolidate : يعتبر بأن الضغط الفعال الناجم عن الوزن الذاتي للتربة effective overburden pressure أقل مما تعرضت له التربة بالماضي (الحمل الحالي أكبر من الذي كان مطبقاً عبر التاريخ الجيولوجي)، حيث نسمي  $\sigma'_c$  الضغط مسبق الانضغاط (Preconsolidation pressure).

لذا يجب أن نميز حالتين لسلوك الترب الغضارية وفق نظرية ترزافي، وبالتالي فإن قيم الهبوط وطريقة حسابها تختلف بحسب هذا السلوك، وعليه فإننا سنناقش حالتى التربة المنضغطة طبيعياً والتربة المسبقة الانضغاط.

#### أ: الانضغاط الطبيعي للغضار Normally consolidation :

يبين الشكل (2-4) الذي يرسم العلاقة بين لوغاريتم الضغط ومعامل المسامية ما يلي:  
1-التابع 2 هو منحنى الانضغاطية الناتج عن تجربة الانضغاطية بجهاز الأودومتر في المختبر والذي نحدد من خلاله  $\sigma'_o$  ( $\sigma'_o = \sigma'_o$ ) حسب نظرية كازاغراندي، وذلك برسم مماس

للمنحني 2 وكما نرسم خط أفقي من بداية هذا المنحني، ثم نرسم منصف للزاوية الحاصلة ويتقاطع هذا المنصف مع المماس المرسوم من نهاية هذا المنحني نحصل على نقطة ننزل منها خط شاقولي فنحصل على  $e_0$ .

2- نحسب  $e_0$  من المعادلة (5-2) ونرسم الخط أفقياً cd.

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v \cdot A}{H_s \cdot A} = \frac{H_v}{H_s} \quad \text{معادلة (5-2):}$$

حيث:

$e_0$ : معامل المسامية البدائي

$V_v$ : حجم المسامات

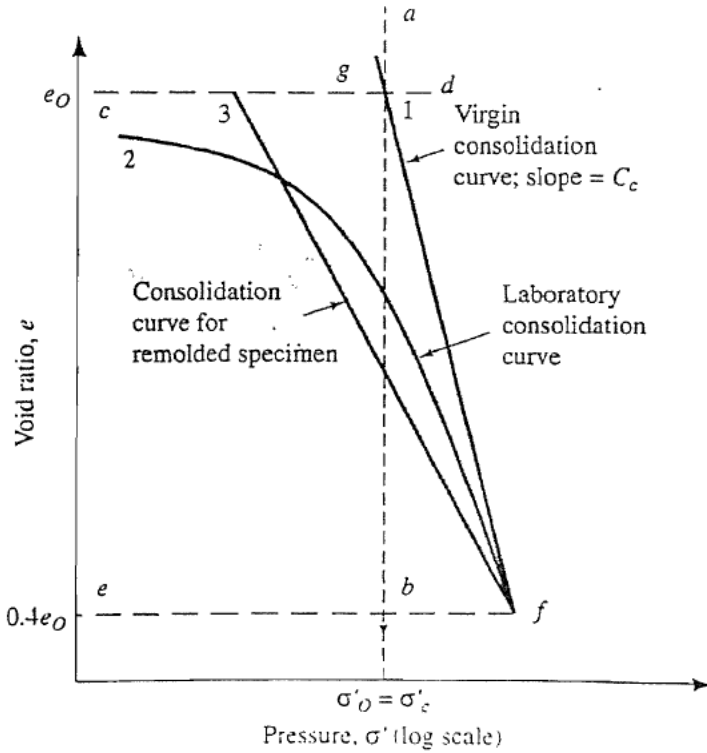
$V_s$ : حجم الجزء الصلب في التربة

$A$ : مساحة العينة

$H_v$ : ارتفاع الجزء المسامي

$H_s$ : ارتفاع الجزء الصلب

- 3- نحسب  $e_0$  0.4 ثم نرسم الخط الأفقي ef (حيث f هي نقطة التقاطع مع المنحني 2)، ثم نرسم الخط الشاقولي ab يتقاطع مع cd بالنقطة g.
- 4- نصل f مع g فنحصل على المنحني I الخطي، وهو منحني الانضغاطية الأصلي (الحقلي).
- 5- منحني 3 خطي يمثل عينة مخربة كلياً.



الشكل (4-2) مواصفات الانضغاط للغضار المضغوط طبيعياً  
والذي يرسم العلاقة بين معامل المسامية والضغط (Terzaghi and Peck, 1967)

## II: الغضار مسبق الانضغاط Over consolidated clay :

يوضح الشكل (5-2) ما يلي:

1- المنحني 2 هو منحنى الانضغاطية الناتج عن تجربة الانضغاطية بجهاز الأودومتر في المختبر، والذي يمثل العلاقة بين معامل المسامية ولوغاريتم الضغط، أما المنحني 3 هو المنحني المخبري غير المحمل، وكما نحدد الإجهاد مسبق الانضغاط  $\sigma_c$  من منحنى الانضغاطية 2 حسب نظرية كازاغراندي (كما ذكرنا عند التحدث عن حالة الغضار المنضغاط طبيعياً)، ثم نرسم الخط الشاقولي ab.

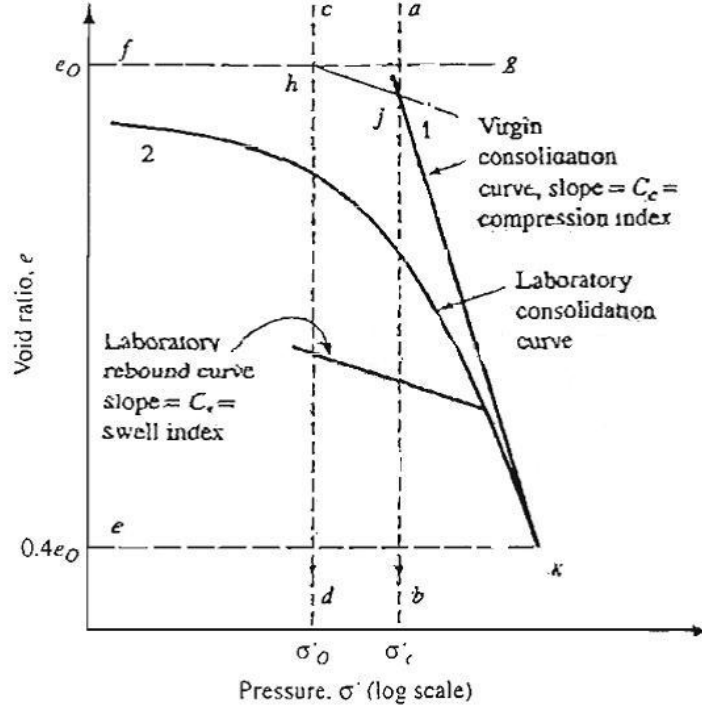
3- نحدد الضغط الفعال الناجم عن الوزن الذاتي للتربة  $\sigma_0$  (وهو الضغط الناتج من وزن الطبقات التي تعلو التربة في مكان أخذ العينة)، حيث نأخذ من النقطة a مقدار معين  $\Delta\sigma'$  بشرط كون  $(\sigma_c > \sigma_0)$ ، ثم نرسم الخط الشاقولي cd.

4- نحسب  $e_0$  من المعادلة (5-2) ونرسم الخط الأفقي fg، فنحصل على النقطة h الناتجة عن تقاطع fg مع cd.

5- نرسم الخط hi الموازي للمنحني الخطي 3، فنحصل على النقطة j الناتجة من تقاطع hi مع ab.



6- نحسب  $0.4 e_0$  ثم نرسم الخط الأفقي ek (حيث k هي نقطة التقاطع مع المنحني 2)، ثم نصل زمع k فنحصل على المنحني 1 الخطي وهو منحني الانضغاطية الأصلي (الحقلي).



الشكل (2-5) مواصفات الانضغاطية للغضار مسبق الانضغاط والذي يرسم العلاقة بين معامل المسامية والضغط (Schmertmann, 1953)

### حساب الهبوط:

1 : حساب الهبوط الموافق للانضغاط الأولي primary consolidation :  
يحسب الهبوط في حالة الغضار المنضغط طبيعياً normally consolidated clays (Das B M, 2006) من المعادلة (6-2) كالتالي:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) \quad \text{معادلة (6-2)}$$

حيث:

$S_c$ : الهبوط

$C_c$ : قرينة الانضغاط وتحسب لاحقاً من المعادلة (9-2)

H: ارتفاع العينة

$e_0$ : معامل المسامية البدائي

$\sigma'_0$ : الضغط الفعال الناجم عن الوزن الذاتي للتربة

$\Delta\sigma'$ : الزيادة في الضغط الفعال

ولأجل over consolidated clay الغضار مسبق الانضغاط فلدينا حالتان:

$$\sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c \quad (1)$$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \quad \text{معادلة (7-2)}$$

حيث:

$\sigma'_o$ : الضغط مسبق الانضغاط

$C_s$ : قرينة الانتفاخ

$$\sigma'_o + \Delta\sigma' > \sigma'_c \quad (2)$$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right) \quad \text{معادلة (8-2)}$$

لحساب قرينة الانضغاط  $C_c$  نستخدم المعادلة (9-2):

$$C_c = (e_1 - e_2) / (\log \sigma'_2 - \log \sigma'_1) \quad \text{معادلة (9-2)}$$

وليس لها وحدة قياس.

أما قرينة الانتفاخ  $C_s$  يتم تحديدها بعلاقات رياضية تجريبية مفترضة من قبل عدد من الباحثين ومن ضمن هذه العلاقات:

$$C_s \approx \frac{1}{5} \text{ to } \frac{1}{10} C_c \quad \text{معادلة (10-2)}$$

وتحدد كذلك من قبل (Nagaraj and Murry, 1985) بالمعادلة (11-3) كالتالي:

$$C_s = 0.0463 \left[ \frac{LL (\%)}{100} \right] G_s \quad \text{معادلة (11-2)}$$

حيث:

LL: حد السيولة

$G_s$ : الوزن النوعي

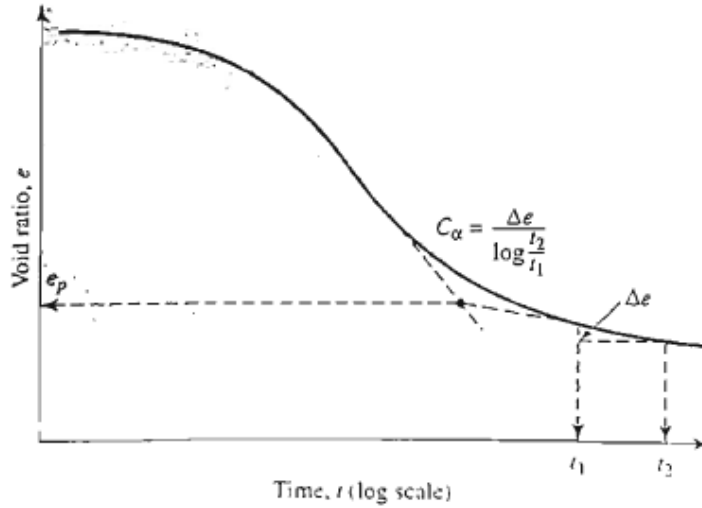
2: هبوط الانضغاط الثاني Secondary consolidation settlement :  
 حيث يظهر في نهاية مرحلة الانضغاط الأولي (بعد إتمام زوال ضغط الماء المسامي الإضافي)  
 ونلاحظ هبوط في التربة يسمى بالهبوط الثاني، ويحسب كما في المعادلة (12-3).

$$S_s = C'_a H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad \text{معادلة (12-2)}$$

حيث:

H: سماكة طبقة الغضار

$t_1, t_2$ : الزمن عند مرحلتين



الشكل (6-2) تغير معامل المسامية مع لوغاريتم الزمن تحت تأثير زيادة الحمل المعطى وكما يُعرّفنا بقرينة الانضغاط

الثاني (Das B M, 2006)

أما  $C'_a$  فيحسب من المعادلة (13-2) كالتالي:

$$C'_a = \frac{C_a}{1+e_p} \quad \text{معادلة (13-2)}$$

$e_p$ : معامل المسامية في نهاية الانضغاط الأولي.

أما  $C_a$  (قرينة الانضغاط الثاني) فيحسب بالمعادلة (14-2):

$$C_a = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \quad \text{معادلة (14-2)}$$

حيث:

$t_2, t_1$ : الزمن عند مرحلتين

$\Delta e$ : التغير في معامل المسامية

وبالتالي يمكننا أن نحدد قيم  $C'\alpha$  حسب نوع الغضار كما يلي:

قيم  $C'\alpha$ :  $0.001 \geq$  للغضار مسبق الانضغاط over consolidated  
 $0.03 \leftarrow 0.005$  للغضار الطبيعي normally consolidate

وبعد حساب  $C\alpha$  (قرينة الانضغاط الثاني) ننتقل لحساب  $Cv$  (قرينة الانضغاطية) كما يلي:

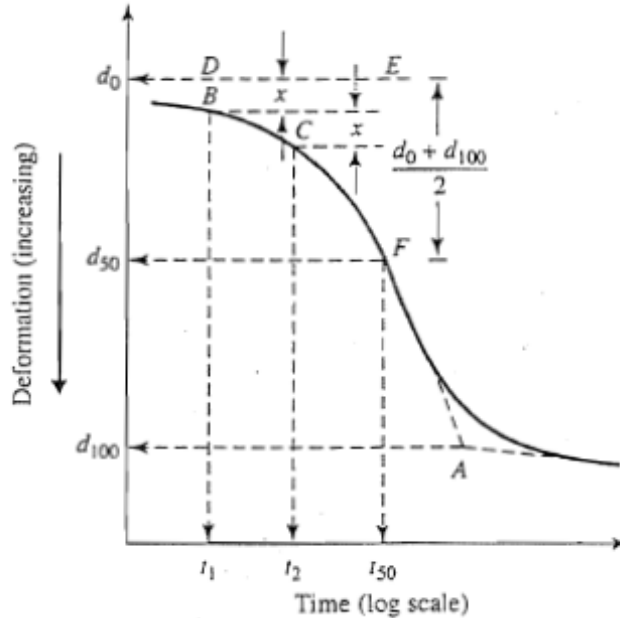
1- طريقة لوغاريتم الزمن من قبل (Gasagrande and Fadum (1940)

2- طريقة الجذر التربيعي للزمن من قبل (Taylor (1942).

أولاً\_ طريقة لوغاريتم الزمن، موضحة بالشكل (7-2):

1- نمدد الجزأين الخطيين المستقيمين للانضغاطية الأولية والثانية (المماسان لجزأي المنحني) حتى يتقاطعان عند A والتي إحداثياتها  $d_{100}$  (والتي هي التشوه عند النهاية المقابلة لانضغاطية أولية 100%).

2- نختار زمنين  $t_1, t_2$  على الجزء المنحني بحيث  $(t_2 = 4 * t_1)$  وليكن الاختلاف في التشوه خلال فرق الزمنين هو X.



الشكل (7-2) طريقة لوغاريتم الزمن لتحديد معامل الانضغاطية  
( Gasagrande and Fadu, 1940)

- 3- نرسم خط أفقي DE بحيث المسافة الشاقولية BD مساوية لـ x، وتقاطع الخط DE مع محور التشوه الشاقولي هو  $d_0$  (والتي هي التشوه عند انضغاطية أولية 0%).
- 4- ونحصل على النقطة F بتقاطع الزمن  $t_{50}$  مع منحنى الانضغاطية، حيث النقطة F تمثل التشوه عند انضغاطية أولية 50% وكما توافق على المحور الآخر  $t_{50}$ .
- 5- عند 50% من معدل درجة الانضغاطية يكون  $T_v = 0.197$  وموضح ذلك بالجدول (1-2).

$$T_{50} = \frac{C_v * t_{50}}{H^2 dr} \quad \text{معادلة (2 - 15)}$$

$$C_v = \frac{0.197 * H^2 dr}{t_{50}} \quad \text{معادلة (2 - 16)}$$

حيث:

$T_{50}$  : معامل الزمن عند نسبة انضغاطية 50% ويؤخذ من الجدول (1-2) و علاقته موضحة بالمعادلة (15-2).

$C_v$  : معامل الانضغاطية يحسب من المعادلة (16-2)

$t_{50}$ : الزمن (مسقط النقطة F على محور الزمن) ويحدد من الشكل (7-2)

$Hdr$ : سماكة طبقة الغضار

بالعلاقة (16-2) هناك برامتر مهم جداً يتعلق بطول مسار التصريف  $Hdr$ ، وهنا وحسب حالة العينة المختبرة أو حالة وجودها في الطبيعة فإننا نميز حالتين:

1- حالة إمكانية تصريف الماء بالنسبة للطبقة المدروسة أو العينة المختبرة من جهتين أعلى وأسفل الطبقة، فإن قيمة  $Hdr = 0.5H$ .

2- حالة إمكانية تصريف الماء بالنسبة للطبقة المدروسة أو العينة المختبرة من جهة واحدة فقط سواء من أعلى الطبقة أو من أسفلها؛ فهنا تصبح قيمة  $Hdr = H$ .

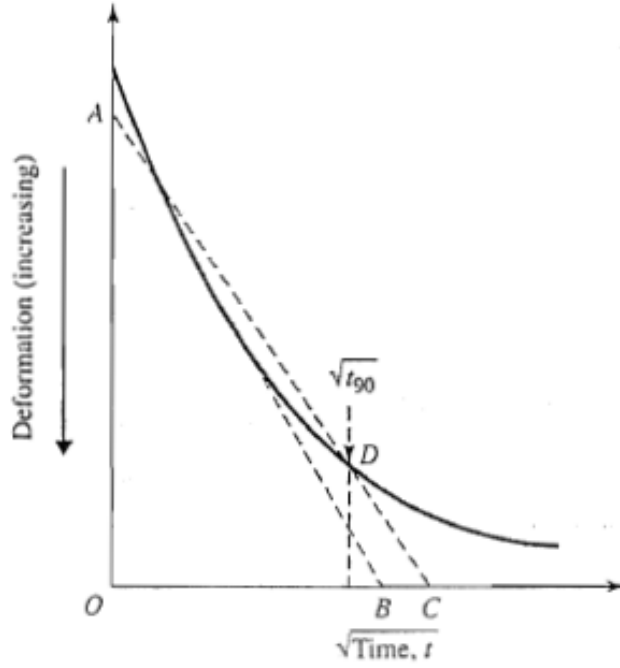
كما ونلاحظ تغير معامل الزمن  $T_v$  مع نسبة الانضغاطية ويوضح ذلك بالجدول التالي:

الجدول (1-2) تغير معامل الزمن  $T_v$  مع نسبة الانضغاطية (Das B M,2006)

$U$ (%)	$T_v$	$U$ (%)	$T_v$	$U$ (%)	$T_v$
0	0	34	0.0907	68	0.377
1	0.00008	35	0.0962	69	0.390
2	0.0003	36	0.102	70	0.403
3	0.00071	37	0.107	71	0.417
4	0.00126	38	0.113	72	0.431
5	0.00196	39	0.119	73	0.446
6	0.00283	40	0.126	74	0.461
7	0.00385	41	0.132	75	0.477
8	0.00502	42	0.138	76	0.493
9	0.00636	43	0.145	77	0.511
10	0.00785	44	0.152	78	0.529
11	0.0095	45	0.159	79	0.547
12	0.0113	46	0.166	80	0.567
13	0.0133	47	0.173	81	0.588
14	0.0154	48	0.181	82	0.610
15	0.0177	49	0.188	83	0.633
16	0.0201	50	0.197	84	0.658
17	0.0227	51	0.204	85	0.684
18	0.0254	52	0.212	86	0.712
19	0.0283	53	0.221	87	0.742
20	0.0314	54	0.230	88	0.774
21	0.0346	55	0.239	89	0.809
22	0.0380	56	0.248	90	0.848
23	0.0415	57	0.257	91	0.891
24	0.0452	58	0.267	92	0.938
25	0.0491	59	0.276	93	0.993
26	0.0531	60	0.286	94	1.055
27	0.0572	61	0.297	95	1.129
28	0.0615	62	0.307	96	1.219
29	0.0660	63	0.318	97	1.336
30	0.0707	64	0.329	98	1.500
31	0.0754	65	0.304	99	1.781
32	0.0803	66	0.352	100	$\infty$
33	0.0855	67	0.364		

ثانياً-طريقة الجذر التربيعي للزمن (موضحة بالشكل (2-8)):

- 1- نرسم الخط  $AB$  المماس للجزء المتقدم من المنحني.
- 2- نرسم الخط  $AC$  بحيث  $\overline{OC}=1.15\overline{OB}$  . النقطة  $D$  ناتجة عن تقاطع  $AC$  مع منحني الانضغاطية وتعطينا الجذر التربيعي للزمن  $\sqrt{t_{90}}$ .



الشكل (8-2) طريقة الجذر التربيعي للزمن (Taylor, 1942)

3- من الجدول (1-2) ولأجل نسبة انضغاطية 90% فإن:

$$T_{90}=0.848$$

$$T_{90} = \frac{C_v \cdot t_{90}}{H^2 d_r} \quad \text{معادلة (17-2)}$$

$$C_v = \frac{0.848 \times H^2 d_r}{t_{90}} \quad \text{معادلة (18-2)}$$

حيث جميع رموز المعادلات موضحة بالطريقة السابقة.

لتسهيل دراسة الانضغاطية يعتمد العمل المخبري حالة الاتجاه الواحد حيث:

- 1- الإجهاد الكلي ثابت مع الزمن وبالتالي مشتقه معدوم.
- 2- ضغط الماء المسامي الإضافي الأولي initial excess pore pressure ثابت مع العمق عند بداية التحميل.
- 3- التصريف من الأعلى والأسفل لطبقة الانضغاط.

## 2-2: دراسة انضغاطية التربة الغضارية المشبعة جزئياً:

في هذه الحالة يختلف سلوك التربة وفقاً لدرجة الإشباع ورطوبة هذه التربة ومقدار الحمل المطبق عليها، لذا سنناقش حالتين للتربة المشبعة جزئياً:

**الأولى:** اختبارها بعد غمرها بالماء والسماح لها بالإشباع، الذي يعني أن رطوبتها وحجم فراغاتها سيزيدان، وأيضاً درجة الإشباع ستزيد حتى تصل لـ 100%، (رطوبة التربة  $w = w_w/w_s$  ترتفع لأن  $w_s$  ثابت بينما  $w_w$  تزداد بسبب امتصاص الماء للانتقال من الإشباع الجزئي للإشباع الكلي، بينما درجة الإشباع إذا حسب بناء على قيمة  $v_{vo}$  الابتدائية فهي سوف تتجاوز الـ 100% لأن عملية الإشباع ستزيد  $v_v$  بسبب الانتفاخ، وكمية الماء وحجمه ستكون أكبر من  $v_{vo}$  ( $v_w > v_{vo}$ )، أما إذا تم حساب درجة الإشباع الـ 100% وفقاً للحجم المنتفخ الذي قيمته أكبر من  $v_{vo}$  الابتدائي، فإن درجة الإشباع لا يمكن أن تكون أكبر من 100%، لأن الجزء لا يمكن أن يكون أكبر من الكل).

**الثانية:** اختبارها دون تغيير في شروط رطوبتها وعند درجة إشباعها الطبيعية الحقلية، فسوف نتوقع أشكال سلوك مختلفة للتربة المنضغطة تحت تأثير حمولات خارجية:

1- إذا كانت رطوبة التربة أقل بكثير من درجة الإشباع، فيمكننا توقع أن قيم الهبوط في التربة ستكون بدون أي خروج للماء منها، أي أن تغير حجم الفراغات بسبب الحمولات الخارجية سيؤدي إلى تشوهها (هبوطها) بدون الحاجة إلى وقت لخروج الماء، وهذا يشابه هبوط التربة الجافة وهو ليس هبوط رشحي مرتبط بالزمن بأية حال، إلا أن وجود رطوبة في التربة سيسبب قوى شد نتيجة ضغط الماء السلبي يعطيها صلابة ومثانة تتزايد مع تزايد مقدار الرطوبة.

2- عندما تكون الرطوبة الطبيعية للتربة قريبة من درجة الإشباع ونختبرها بدون غمر، فإننا نتوقع في المرحلة الأولى وتحت تأثير حمولات صغيرة تشوهاً في التربة بدون أن يترافق بالضرورة مع خروج الماء؛ لأن جزء من الفراغات التي لم يملأها الماء ستختفي بسرعة تحت تأثير الحمولات، وهي مرحلة تشوه غير رشحي وعملياً يمكن ألا يستغرق وقت مهم.

ثم عندما تتلاشى تلك الفراغات تبدأ الحمولات بمحاولة إخراج الماء من التربة من أجل أن تقلص من حجم الفراغات لكي تستقر أخيراً وتنتهي التشوه الموافق للحمولة الخارجية؛ وطبعاً عندما نصل إلى هذه المرحلة تكون التربة قد انتقلت من رطوبة الإشباع الجزئي إلى رطوبة الإشباع الكلي، أي تصبح الفراغات كلها مملوءة بالماء وذلك إذا اعتبرنا أن الحجم النهائي هو المعتمد في حساب درجة الإشباع.



وبالتالي فإن هبوط التربة المشبعة جزئياً يتعلق بدرجة الإشباع الجزئي وبمقدار الحمولة المطبقة والقوى التي تقاوم الحمولات الخارجية؛ ومقدار الهبوط لا يتعلق فقط بتركيب الترب ولكن بقوى الشد المائية الناشئة عن درجة الإشباع الجزئية. وستتم دراسة سلوكية التربة المشبعة جزئياً كما يلي:

## 2-2-1: السلوك الميكانيكي:

-عرض في رسالة الدكتوراه لـ (Konstantinos Georgiadis, 2003) دراسة لسلوكية التربة المشبعة جزئياً من خلال الآراء لعدد من الباحثين:

اقترح Bishop (1959) تعبير الاجهاد الفعال المولد  $\sigma'$  ليشمل الترب المشبعة جزئياً كما هو موضح بالمعادلة (2-19) حيث تزداد المتانة الداخلية وبالتالي مقاومة التربة للقص نتيجة طاقة الامتصاص (suction) التي تقاوم الهبوط، مع العلم أن ضغط الماء السليبي في الترب غير المشبعة هو الذي يزيد من قوى الامتصاص، كما بُرهن على ذلك من قبل (Jennings و Burland 1962) بقيامهما بسلسلة اختبارات بجهاز الأودومتر.

$$\sigma' = \sigma - U_a + \lambda(U_a - U_w) \quad \text{معادلة (2-19)}$$

حيث:

$\lambda$ : تابع لدرجة الإشباع

$U_a$ : ضغط الهواء المسامي

$U_w$ : ضغط الماء المسامي

وقدّم علماء آخرين Burland & Matyas 1965 و Radharkrishna 1968 نقد لطريقة الإجهاد الفعال للترب المشبعة جزئياً، حيث السلوك الانهيازي (فقدان التربة للروابط بين ذراتها تبعاً للزيادة في ضغط الماء المسامي) ليس مقتصر فقط على الترب المشبعة جزئياً بل يشمل كذلك الترب المشبعة كلياً؛ وذلك عندما يساوي ضغط الماء المسامي الإجهاد الكلي (عند زيادة الترطيب)، وبالتالي الإجهاد الفعال يصبح مساوي للصفر.

ستؤدي أي قيمة من الإجهاد الصافي  $(\sigma - U_a)$  ما عدا قيمة الصفر لانتفاخ عينة التربة المشبعة جزئياً والمعرضة للترطيب (زيادة في ضغط الماء المسامي)، حيث  $\sigma$  هو الإجهاد الكلي و  $U_a$  هو ضغط الهواء المسامي.

و كما أظهر Bishop & Blight (1963) بأن متغيري الإجهاد المستقلين هما الإجهاد الصافي  $(\sigma - U_a)$  والامتصاص  $(s = U_a - U_w)$  ( suction )

حيث:

$U_a$ : ضغط الهواء المسامي

$U_w$ : ضغط الماء المسامي السلبي (في المنطقة غير المشبعة)

ولفهم سلوك الترب المشبعة جزئياً اقترح (Fredlund & Morgenstern 1977) بأن أي ثنائية من متغيرات حالة الإجهاد في الحالات التالية:  $(\sigma - U_a)$  و  $(\sigma - U_w)$  و  $(s = U_a - U_w)$  يجب اختيارها عند وصف سلوك التربة المشبعة جزئياً. وأكثر ثنائية استخدامها شائع هي: الإجهاد الكلي الصافي  $(\sigma - U_a)$  والامتصاص  $(U_a - U_w)$ .

إن بعض الأمثلة لمتغيرات الإجهاد موضحة بالجدول (2-2) كالتالي:

الجدول (2-2) متغيرات الإجهاد باستخدام بعض النماذج التكوينية  
(Georgiadis K, 2003)

	Stress variable 1	Stress variable 2
Alonso et al. (1990) Cui et al. (1995) Wheeler & Sivakumar (1995)	$\sigma - u_a$	$u_a - u_w$
Bolzon et al. (1996)	$\sigma - u_a + \chi(u_a - u_w),$ $\chi = S_r$	$u_a - u_w$
Modaressi & Abou-Bekr (1994a & 1994b)	$\sigma - \pi_c,$ $\pi_c = \text{capillary pressure}$	$\pi_c$
Kohgo et al. (1993a & 1993b)	$\sigma - u_{eq},$ $u_{eq} = \text{equivalent pore pressure}$	$u_a - u_w - s_e,$ $s_e = \text{air entry suction}$

حيث:

$(\sigma - U_a)$ : الإجهاد الكلي الصافي

$(U_a - U_w)$ : الامتصاص

وكلاهما يستخدم لبحث السلوك الحجمي للترب المشبعة جزئياً

$U_a$ : ضغط الهواء المسامي

$U_w$ : ضغط الماء المسامي

وحسب (Bolzon 1996) الإجهاد الفعال المولد يعطى بالمعادلة (2-19) حيث افترض  $\lambda = s_r$  درجة الإشباع.

أما (Modaressi & Abu-Bakr 1994) فمتغير الإجهاد عندهما مساوي لـ  $(\sigma - \pi c)$  حيث  $\pi c$  هو الضغط الشعري.

بينما اعتبر (Kohgo 1993) أن متغير الإجهاد 1 مساوي لـ  $(\sigma - u_{eq})$  حيث  $u_{eq}$  هو الضغط المسامي المكافئ.

ومتغير الإجهاد 2 مساوي لـ  $(U_a - U_w - s_e)$  حيث  $s_e$  هو امتصاص الهواء الداخل.

### 2-2-2: سلوك تغير الحجم:

نُوقش السلوك الحجمي للترب المشبعة جزئياً تبعاً للتغير في الامتصاص وبالتالي يمكن أن نوجز هذا السلوك بالنقاط التالية:

- 1- تغير الحجم الكلي تبعاً للتجفيف.
- 2- تغير الحجم الكلي تبعاً للترطيب.
- 3- تغير حجم الماء تبعاً للترطيب والتجفيف.

#### 1-تغير الحجم الكلي تبعاً للتجفيف:

إن النقص في الحجم الكلي عند مرحلة إنقاص الإشباع desaturation الذي أُحدث عند النقطة B أصغر من النقص في حجم الماء المسامي وموضح ذلك بالشكل (2-9)، الذي يظهر تغيرات في حجم الماء الكلي مع زيادة الامتصاص وفقاً لـ Toll (1995).  
وتم التعبير عن تغيرات الحجم الكلي بمصطلح معامل المسامية (void ratio)  $e$ ، وعن تغيرات حجم الماء بمصطلح مساوي لمعامل المسامية (حجم الأجزاء الصلبة / حجم الماء =  $e_w$ ).

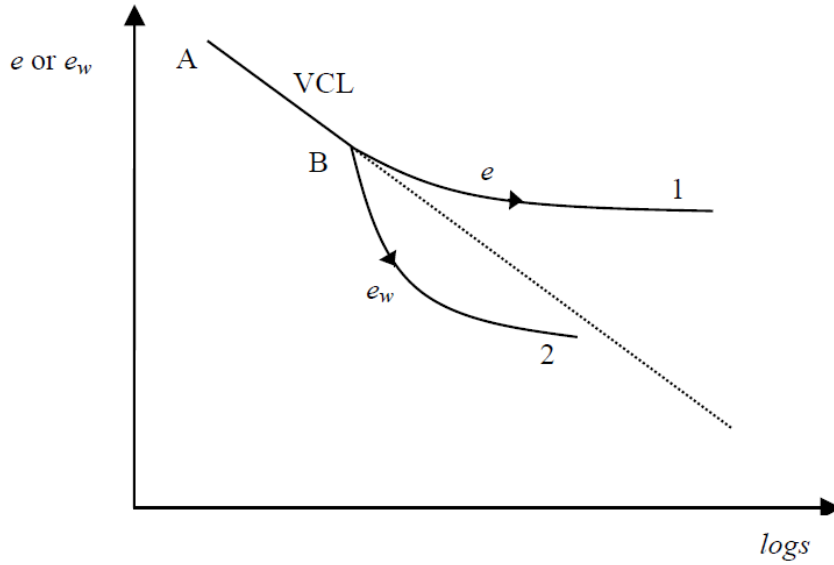
ولوصف التغيرات الحجمية تبعاً لتجفيف العينة كما هو مبين بالشكل (2-9)، نلاحظ أن القسم (A,B) من العلاقة ما بين  $(e, e_w, \log s)$  تعبر عن مرحلة الانضغاط الأولي، أما عن هذه العلاقة وبعد النقطة B فنلاحظ أن التابع يمكن أن يكون بإحدى حالتين:

الحالة الأولى: ويعبر عنها بالمنحني 1  $(e, \log s)$ .

الحالة الثانية: ويعبر عنها بالمنحني 2  $(e_w, \log s)$ .

وهاتين الحالتين توصف آلية نقصان درجة الإشباع.

حيث يظهر الشكل (9-2) العلاقة بين لوغاريتم الامتصاص والمسامية.



الشكل(9-2) التغيرات الحجمية تبعاً للتجفيف ( after Toll, 1995 )

من جهة أخرى ولدراسة الخضوع yielding الذي عبر عنه (Wheeler & Karube 1996) من خلال تغير كمية الماء التي تجعله قابل للانهييار مع عدم تغيرات في الحجم الناتج بسبب الجفاف، وهذا الأمر ممكن فقط بحالة الترب المشبعة جزئياً، والتي تحتوي على رزم من الغضار المشبع.

وتم البرهان على أن قيمة امتصاص الخضوع yield suction تعتمد ليس فقط على تاريخ الترطيب والتجفيف، بل أيضاً على كثافة التربة الأولية (الوزن الحجمي)، ولأجل الترب الانتفاخية عالية اللدونة high plasticity expansive soil يمكن أن تكون التشوهات الحجمية الناتجة عن زيادة الامتصاص كبيرة و غير عكوسة irreversible.

2-تغيرات الحجم الكلي تبعاً للترطيب:

من السمات المميزة (distinctive features) لسلوك التربة المشبعة جزئياً هو احتمال (potential) الانهييار عند الترطيب.

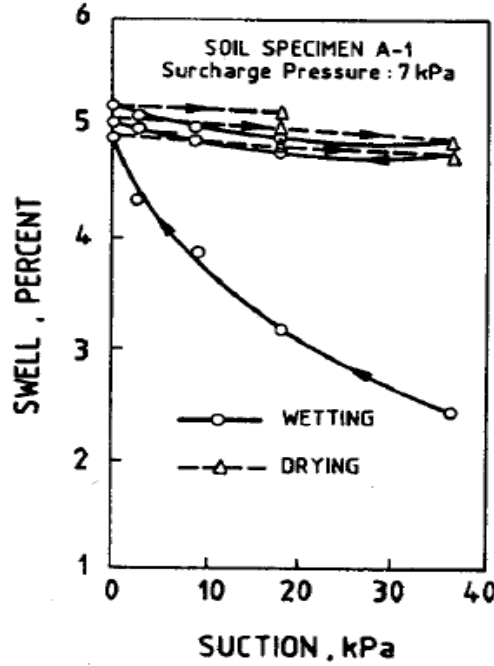
حيث حدد (Alonso 1987) بأن التربة المشبعة جزئياً يمكن أن تتمدد أو تنهار عند الترطيب، ففي حال كان الاجهاد المطبق قليل بشكل كاف يحدث تمدد (expansion)، وفي حال كونه عالي يحدث انهيار (collapse)، ومن المحتمل أن تعاني التربة من انقلاب في سلوكها الحجمي

خلال الترطيب (تمدد أولي يتبع بانهييار) (initial expansion followed by collapse)، وقد أقر هذا السلوك من قبل آخرين مثل (Escario & Saez (1973)، (Josa (1987)، (Burland & Ridley (1996).

وعند اختبار الانتفاخية للترب عديمة التمدد ومنخفضة اللدونة ستكون التشوهات الحجمية صغيرة وعكوسه reversible.

من جهة أخرى يمكن أن يعاني الغضار المتمدد عالي اللدونة من تشوهات حجمية غير عكوسه وكبيرة.

وقد شكّل (Chu & Mou (1973) مناوبات من الترطيب والتجفيف على الترب التمددية والتي أظهرت تشوهات انتفاخية كبيرة عند الترطيب الأول حيث لا تستردها عند التجفيف اللاحق كما في الشكل (10-2).



الشكل (10-2) العلاقة بين الامتصاص والانتفاخ (after Chu & Mou , 1973)

3-تغيرات حجم الماء وفقاً للترطيب والتجفيف:

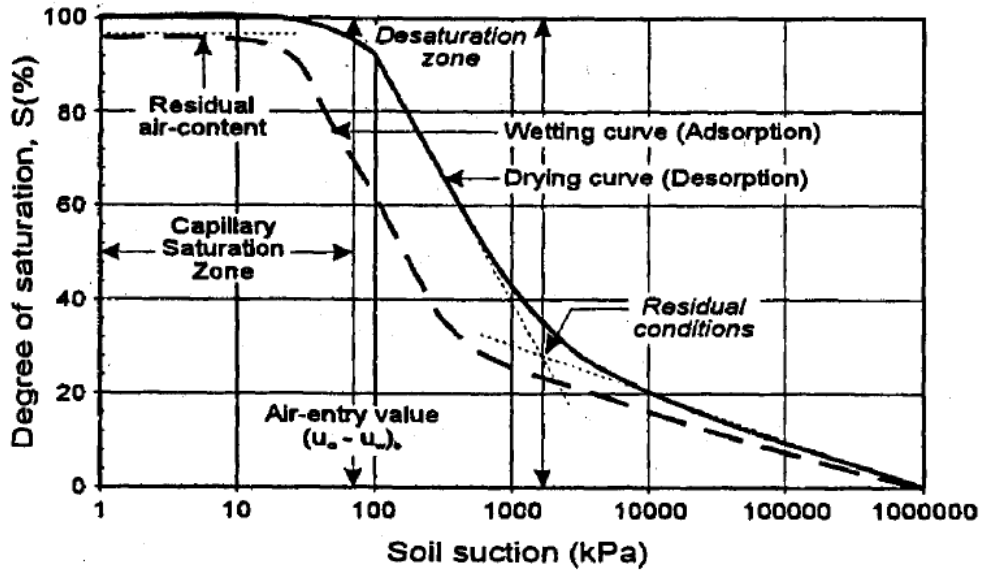
إن تغير الحجم الكلي للترب المشبعة كلياً (الناجم عن التحميل الخارجي) مساوي للتغيرات في حجم الماء من أجل مجالات الإجهاد المناسبة للتطبيقات الهندسية، مع العلم أن حالي الماء والجزء الصلب هما تقريباً غير قابلين للانضغاط، لذا فإن التغيرات الحجمية تنتج من دخول الماء أو خروجه من التربة، أما في حالة التربة المشبعة جزئياً يعني وجود الحالة الثالثة (الهواء) في التربة، فإن تغيرات حجم الماء لا تساوي لتغير الحجم الكلي overall.

وتمت دراسة تغيرات حجم الماء الناتجة عن الترطيب والتجفيف لأجل الشروط غير المحدودة، وتم تمثيلها بشكل علاقات بين محتوى الماء الحجمي ( $\theta$ )، ودرجة الإشباع ( $S_r$ ) أو محتوى الرطوبة Gravimetric moisture content ( $w$ ) والامتصاص، وسميت هذه العلاقات بمنحنيات احتباس الماء (water retention curves).

ويظهر منحنى احتباس الماء النموذجي التجفيف والترطيب لعينة التربة، ويوضح ذلك بالشكل (11-2)، حيث أخذ بالحسبان ثلاث مراحل خلال التجفيف:

مرحلة الإشباع الشعري capillary saturation أو مرحلة التأثير الحدي boundary effect stage حيث تبقى التربة مشبعة كلياً (أي المياه ممتصة بالخاصة الشعرية فوق منسوب المياه وليس غمر)، ومرحلة إنقاص الإشباع desaturation أو مرحلة الانتقال، transition stage وأخيراً المرحلة المتبقية residual stage.

وهناك ميزة هامة لمنحنى احتباس الماء وهي الحلقات المتكررة hysteresis observed لسلك التجفيف والترطيب.



الشكل (11-2) المنحنى النموذجي لاحتباس الماء (after Fredlund , 1998)

وهذا يتأثر بعوامل متعددة مثل تركيب السائل المسامي pore fluid composition والبنية المسامية Pore structure وحركة جبهات الترطيب والتجفيف movement of wetting and drying fronts (Dineen, 1997).

تعتبر hysteresis عن وصف العلاقة بين الإجهاد والتشوه بتأثير حمولات دورية (تحميل-إزالة حمولة).

ولقد وجد مؤخراً بأن الزيادة في التماسك الظاهري متعلقة بشكل منحني احتباس الماء. وفيما يتعلق بهبوط التربة وجد (Md.Noor M.J, Mat.Jidin R., Hafez M.A, 2008) أنه ينتج عن زيادة في الإجهاد الفعال الذي يزيد في قيمته انخفاض ضغط الماء المسامي، كما يقل الإجهاد الفعال عندما تتغير الشروط من المشبعة جزئياً إلى المشبعة كلياً، وتوصلوا كذلك لأهمية متانة القص بالإضافة للإجهاد الفعال في معالجة الهبوط حيث متانة القص خاصة حقيقية للتربة تقاوم انضغاطية التربة.

وكذلك توصل (Murray D. Fredlund, 1999) إلى أن السلوك الميكانيكي للتربة غير المشبعة يتعلق بمقدرتنا في التنبؤ عن التوابع الخاصة للاختطية بالتربة غير المشبعة وهي:

منحني الماء-التربة الشكل (2-12)، منحني التقلص (shrinkage) الشكل (2-13)، أما توابع تغير الحجم للتربة غير المشبعة لم يستطع التعرف عليها.

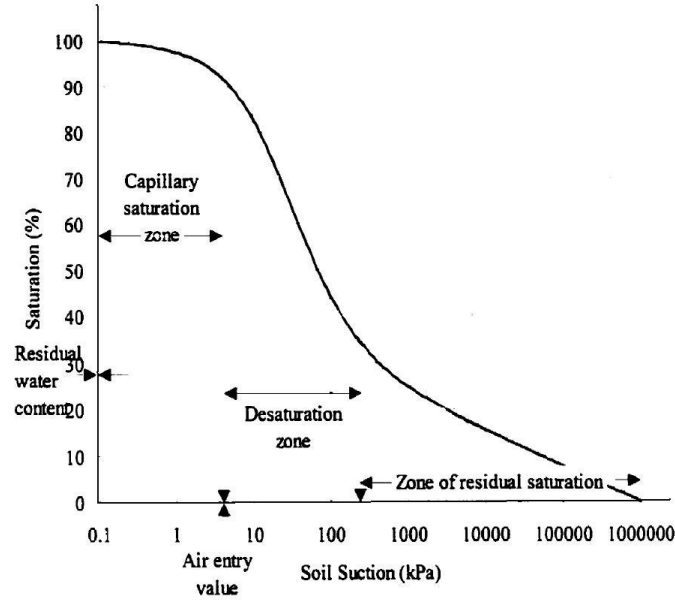
فبالنسبة لمنحني مواصفات الماء-التربة (SWCC) (soil water characteristic curve) الذي يمثل العلاقة بين محتوى الماء الحجمي وامتصاص التربة ( $s=U_a-U_w$ )، والذي يعتبر بأنه الأساس في وصف سلوك الترب المشبعة جزئياً (Fredlund, 1993) وكذلك في تقييم توابع التربة المشبعة جزئياً (Fredlund, 1997).

وكما نلاحظ في الشكل (2-12) بأن المنحني يمر بثلاثة مراحل:

1-منطقة الإشباع الشعري capillary saturation zon حيث الماء المسامي في حالة توتر (tension) مع بقاء التربة مشبعة، وتنتهي هذه المرحلة عند قيمة دخول الهواء Air entry value.

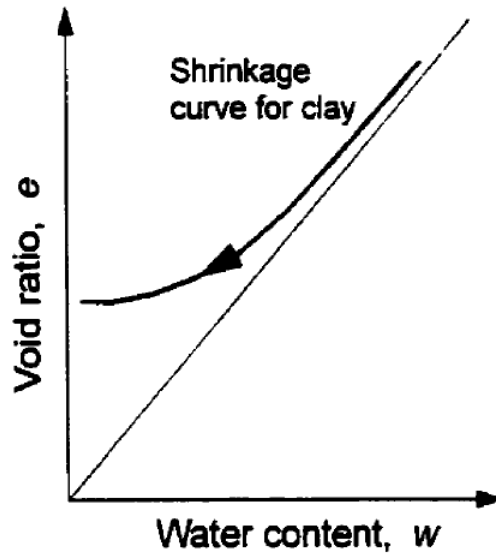
2-المنطقة غير المشبعة Desaturation zone حيث يحل الهواء مكان الماء ضمن الفراغات، وذلك بتصريف الماء المسامي من المسامات وتنتهي هذه المرحلة عند محتوى الماء المتبقي ويصبح الماء المسامي غير مستمر.

3-منطقة الإشباع المتبقية Residual saturation zone حيث يحصل التدفق على شكل غازي، تنتهي هذه المرحلة بالتجفيف بالفرن، عندما تصل حرارة التربة لـ  $105^{\circ}C$  يصبح محتوى الماء في التربة صفر وامتصاص التربة مساوي لـ  $10^6$  كيلو باسكال Fredlund and Rahardjo, 1994.



الشكل (12-2) منحنى مواصفات الماء-التربة (Sillers, 1997)

يظهر منحنى التقلص في الشكل (13-2) الذي يمثل العلاقة بين معامل المسامية ومحتوى الرطوبة، حيث يعطي هذا المنحنى نسبة حجم الماء للحجم الكلي عند التغير في امتصاص التربة.

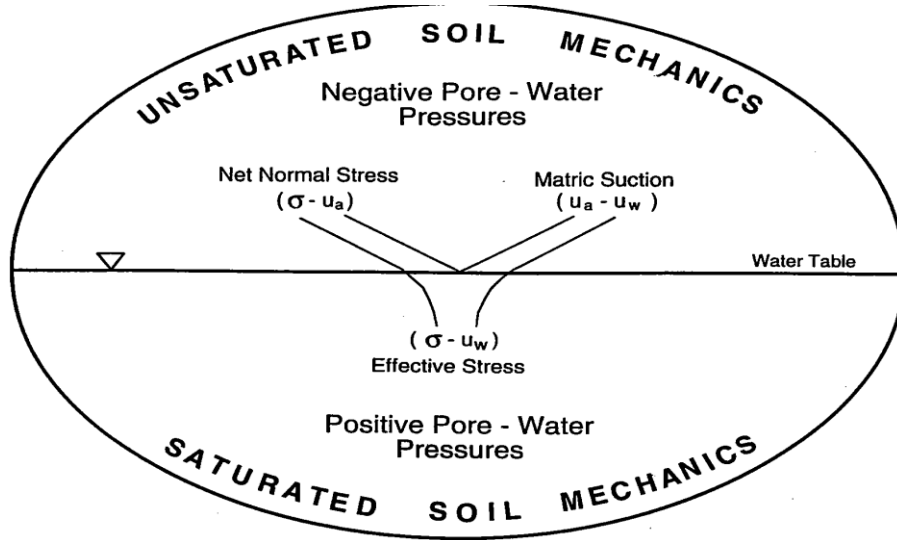


الشكل (13-2) منحنى التقلص النموذجي للتربة الغضارية (Fredlund M D, 1999)



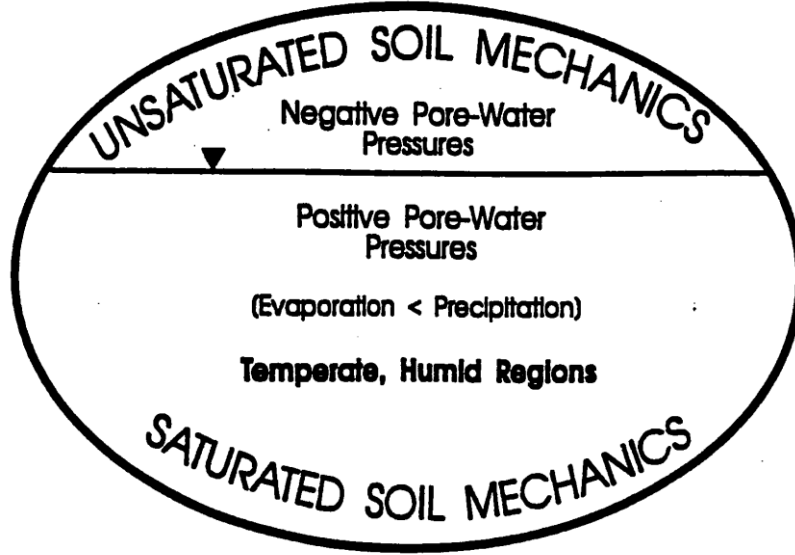
- وكما ورد في بحث (D.G.FREDLUND, 1996) فإن الحالات المؤدية لظهور ميكانيك التربة غير المشبعة هي:

- 1- مشاكل المناطق الجافة حول العالم المتعلقة بالتغير الحجمي للترب غير المشبعة، كنتيجة لتغير محتوى الماء في التربة والمتراق مع الأضرار على المنازل الفردية.
  - 2- هناك هم متزايد تجاه البيئة في الدول المتطورة، وبالتالي مطلوب اليوم من المهندس الجيوتكنيكي التنبؤ بتراكيز التلوث الكيميائي بالتربة نسبة للزمن والفرغ، ويعتبر معامل المسامية للتربة من أصعب الخصائص القابلة للتقييم، حيث تعتبر العنصر الأساسي لعدة تحاليل، وذلك لكون ضغط الماء المسامي في المنطقة الرطبة سلبياً.
  - 3- التطور السريع في صناعة الحاسوب والذي زوّد المهندس بوسائل للتعامل مع المشاكل الجيوتكنيكية المعقدة المرتبطة بسلوك الترب غير المشبعة، حيث أصبحت تطبيقات البرمجيات soft ware تستعمل بشكل كبير في العمل الروتيني بالمكاتب الهندسية.
- وقد تم تمثيل العالم الجيوتكنيكي بقطع ناقص مع خط أفقي في وسطه يمثل منسوب المياه الجوفية الشكل (2-14)، حيث في التربة المشبعة جزئياً يكون ضغط الماء المسامي سلبياً والإجهادات المؤثرة هي: الامتصاص ( $s = U_a - U_w$ ) و الإجهاد الصافي ( $\sigma - U_a$ ). أما بالنسبة للتربة المشبعة كلياً يكون ضغط الماء المسامي إيجابياً والإجهاد المؤثر هو الإجهاد الفعال ( $\sigma - U_w$ ) فقط.



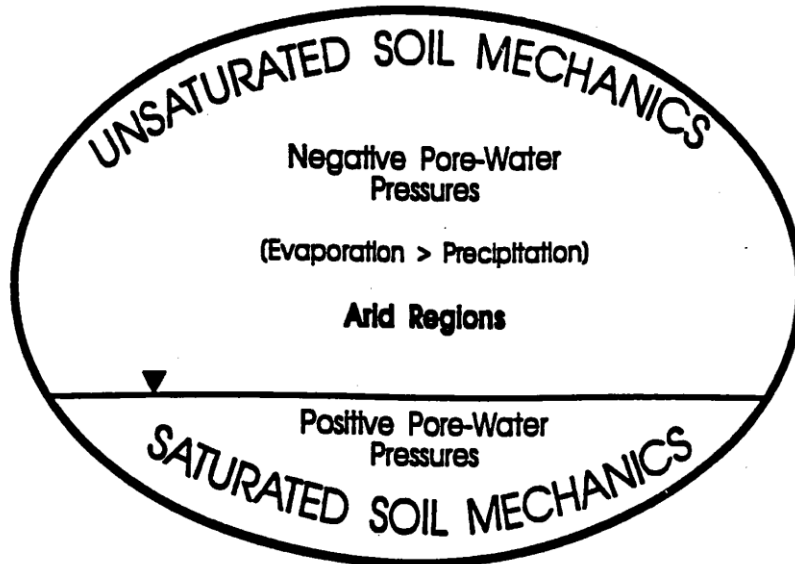
الشكل (2-14) تمثيل العالم الجيوتكنيكي بقطع ناقص مع خط أفقي في وسطه يمثل منسوب المياه الجوفية (FREDLUND D G, 1996)

ونوضح المناطق الرطبة والمعتدلة مناخياً وكذلك المناطق الجافة في العالم بالشكلين (15-2) و(16-2)، حيث يكون منسوب المياه الجوفية في المناطق الرطبة والمعتدلة مناخياً قريباً من سطح الأرض، وذلك لكون سقوط المطر أكبر من تبخيره، ويظهر ذلك في الشكل (15-2).



الشكل (15-2) توضيح للمناطق الرطبة و المعتدلة (FREDLUND D G, 1996)

إن منسوب المياه الجوفية في المناطق الجافة عميق جداً، لكون الحرارة العالية تساهم في تبخير الماء بشكل أسرع من سقوطه، كما في الشكل (16-2).



الشكل (16-2) وسيلة توضيحية للمناطق الجافة (D.G.FREDLUND, 1996)

حيث يكون ضغط الماء المسامي pore water pressures إيجابي تحت منسوب المياه الجوفية وتكون التربة بالغالب مشبعة، بينما يكون ضغط الماء المسامي سلبى فوق منسوب المياه الجوفية.

يوجد بالضبط فوق منسوب المياه الجوفية منطقة تسمى المنطقة الشعرية capillary fringe حيث درجة الاشباع قد تصل 100%، وهذه المنطقة تتراوح سماكتها بين أقل من 1م إلى 10 أمتار تقريباً ويعتمد ذلك على نوع التربة.

يتعلق ضغط الماء المسامي السلبي فوق منسوب المياه بضغط الهواء المسامي، أما الاختلاف بين ضغط الهواء المسامي وضغط الماء المسامي يسمى طاقة الامتصاص matric suction  $(U_a - U_w)$ .

ووجد هذا المصطلح في علم التربة مؤخراً ليكون واحد من متغيرين لحالة الاجهاد، وجوده ضروري لوصف سلوك التربة غير المشبعة.

#### ا: تعاريف لامتصاص التربة:

يتكون الامتصاص في التربة غير المشبعة من مكونين اثنين:  
طاقة الامتصاص matric suction، الطاقة التناضحية (الرشح) osmotic suction  
ومجموعهم يسمى امتصاص كلي.

Matric suction هو الاختلاف بين ضغط الهواء المسامي  $U_a$  وضغط الماء المسامي  $U_w$   
$$\text{Matric suction} = (U_a - U_w)$$

Osmotic suction هو تابع لكمية الرمل المنحل في التدفق المسامي ويكتب كمصطلح للضغط وينتج عن التأثير الكيميائي.

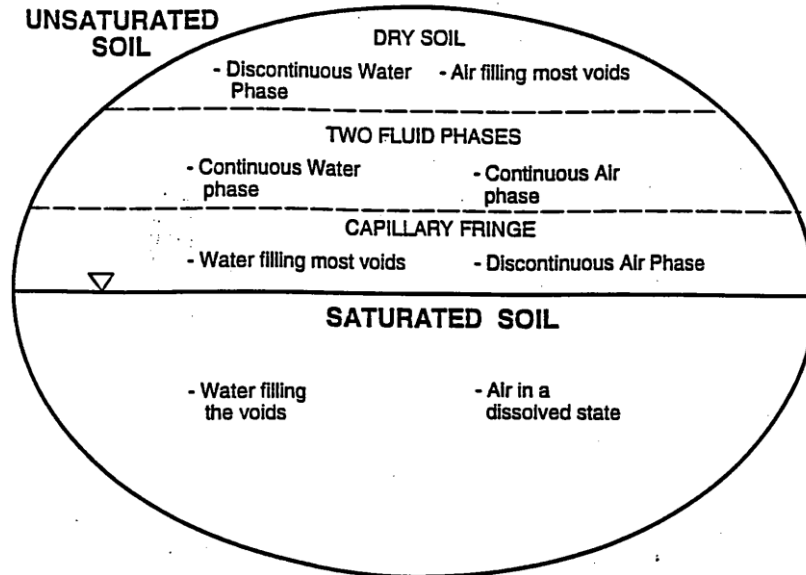
Matric suction يكتسب أهميته بالدرجة الأولى لكونه متغير لحالة الاجهاد، وبدوره يتأثر بقوة بالتغيرات البيئية.

حيث الاختلاف بين الجاف تماماً والمشبع تماماً متعلق بالانضغاط مع الزمن للسائل المسامي، ولا ينضغط الماء في التربة المشبعة بصورة أساسية حيث يبدأ الماء بالانضغاط مع وجود فقاعات الهواء في الماء.

يبين الشكل (2-17) بأن التربة غير المشبعة المتوسطة فوق منسوب المياه الجوفية مقسمة لثلاثة أنواع:

- 1- التربة الجافة: حيث الهواء يملأ معظم الفراغات والماء يكون بحالة غير مستمرة.
- 2- حالتين من السيولة: حالة الهواء والماء المستمرين.
- 3- المنطقة الشعرية: حيث الماء يملأ معظم الفراغات أما الهواء بحالة غير مستمرة.

أما بالنسبة للتربة المشبعة تحت منسوب المياه الجوفية فنلاحظ بأن الماء يملأ الفراغات والهواء بحالة ذائبة.



الشكل (2-17) التمثيل لميكانيك التربة المشبعة / غير المشبعة ترتكز على طبيعة حالات السيولة (FREDLUND D G, 1996)

## II: تصنيف التربة المشبعة وغير المشبعة:

هناك ثلاثة تصنيفات أساسية:

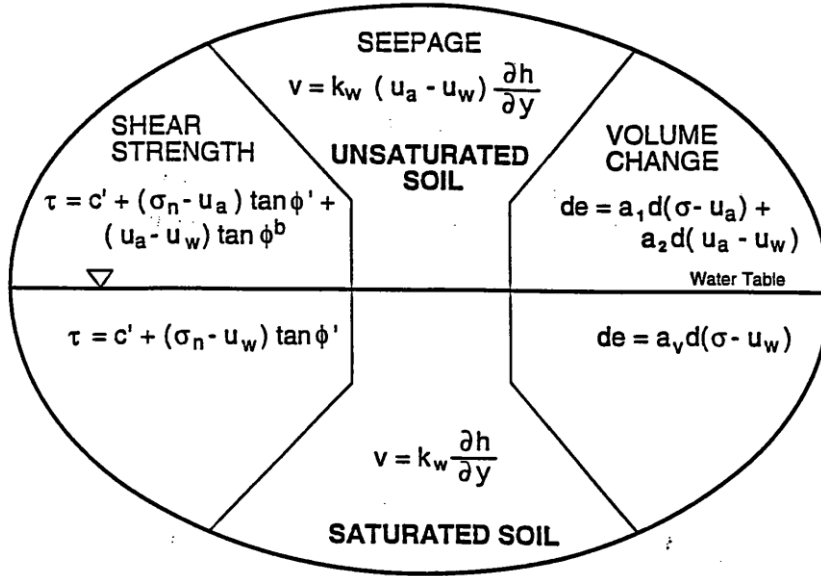
1- الرشح seepage.

2- مقاومة القص shear strength.

3- تغير الحجم volume change.

هذه التقسيمات منسجمة مع كل تصنيف وموضحة بالشكل (2-18)، ويظهر دائماً بأن سلوك الترب غير المشبعة تابع لحالات الاجهاد، حيث يمكن لحجم التربة غير المشبعة أن يزداد أو ينقص عندما تتعرض للترطيب (نقص طاقة الامتصاص matric suction).

في حال زاد الحجم عند الترطيب تصبح التربة في حالة انتفاخ، أما إذا نقص الحجم عند الترطيب تصبح التربة في حالة انهيار (فقدان تماسك)، كما أن الاختلاف في السلوك منسجم مع بنية التربة حيث تعتبر التربة الانتفاخية بنية مستقرة أما التربة المنهارة فتعتبر بنية غير مستقرة، وتستعمل غالباً هذه التصنيفات لكلا الترب الطبيعية natural والمشكلة مخبرياً remolded.



الشكل (18-2) تصنيف ميكانيك التربة يرتكز على نوع المشكلة الهندسية  
(FREDLUND D G, 1996)

والمعادلات الموضحة بالشكل (18-2) تصف حالتى الإشباع الكلى والجزئى، حيث يصبح مصطلح طاقة الامتصاص matric suction مساوي للصفر.

فيما يتعلق بالشكل (18-2) فإن معادلات التربة غير المشبعة تعطى كالتالى:

$$d_e = a_1 \cdot d(\sigma - u_a) + a_2 d(u_a - u_w) \quad \text{1- تغيير الحجم:}$$

$$V = K_w (U_a - U_w) \frac{\partial h}{\partial y} \quad \text{2- الرشح:}$$

$$T = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad \text{3- مقاومة القص:}$$

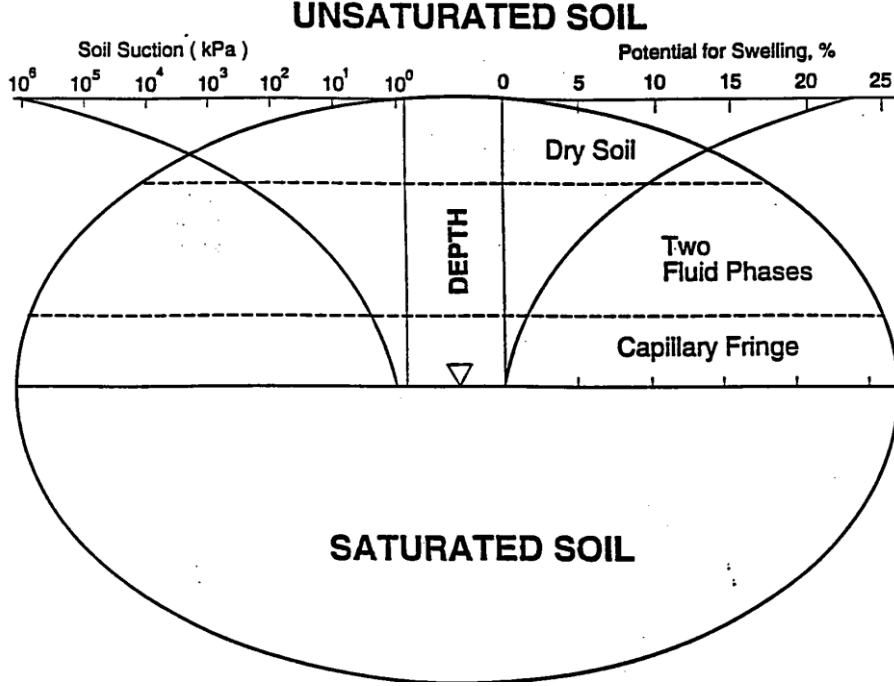
أما معادلات التربة المشبعة:

$$d_e = a_v d(\sigma - u_w) \quad \text{1- تغيير الحجم:}$$

$$V = k_w \frac{\partial h}{\partial y} \quad \text{2- الرشح:}$$

$$t = c' + (\sigma_n - u_w) \tan \phi' \quad \text{3- مقاومة القص:}$$

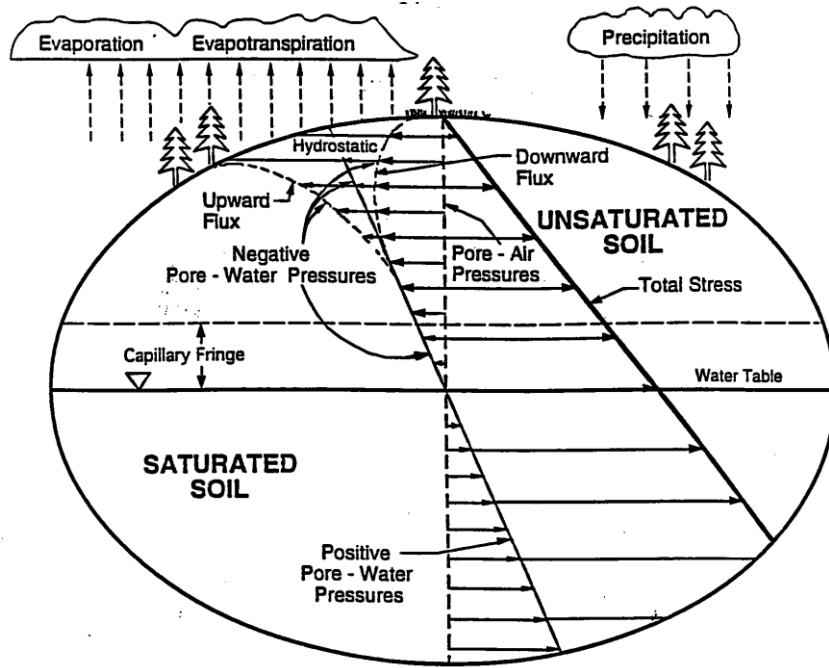
حالة الانتفاخ للتربة موضحة بالشكل (19-2) حيث يظهر الامتصاص soil suction في التربة بأنه يزداد عندما تقترب من سطح الأرض، وأيضاً يزداد احتمال الانتفاخ potential for swelling وهذا صحيح للتربة ذات اللدونة العالية.



الشكل (2-19) زيادة احتمال الانتفاخ والامتصاص مع العمق

(FREDLUND D G, 1996)

الذي يحدد موقع منسوب المياه الجوفية ground water table هو الفرق بين سقوط المطر وتبخيره شكل (2-20)، يسمى الجزء من التربة فوق منسوب المياه الجوفية بالمنطقة الرطبة vadoze zone حيث يمكن بسهولة تقسيمه لجزأين، بينما يسمى الجزء فوق سطح الماء فوراً بحافة الشد الشعري capillary fringe حيث تبقى مشبعة حتى ولو كان ضغط الماء المسامي سلبياً؛ أما الجزء فوق الشعري capillary fringe يمكن أن يكون غير مشبع. يرسم ضغط الماء المسامي ليسار ضغط الهواء المسامي إذا الرطوبة خرجت من سطح الأرض (تبخير) وبالتالي نعتبر ضغط الماء المسامي سالب. وكما يرسم ضغط الماء المسامي ليمين ضغط الهواء المسامي إذا دخلت الرطوبة لسطح الأرض عن طريق سقوط المطر (تسريب) وبالتالي نعتبر ضغط الماء المسامي موجب. إحدى صفات الجزء العلوي من المنطقة الرطبة هي المقدرة على التحرير البطيء لبخار الماء للغلاف الجوي atmosphere بمعدل يعتمد على النفاذية للجزء السليم من التربة، وكذلك يحصل تسريب للماء من خلال الصدوع، وكذلك عدم وجود معوقات لتدفق الماء نحو الداخل إلى حين انتفاخ التربة أو ملاء الصدوع والشقوق بالماء.



الشكل (2-20) التمثيل لميكانيك التربة يظهر لنا القاعدة لشرط التدفق الحدي السطحي  
(FREDLUND, D G 1996)

وبهذا نكون قد تحدثنا بهذا الفصل عن السلوك الميكانيكي للتربة المشبعة كلياً والتربة المشبعة جزئياً من خلال الدراسة المرجعية؛ وسنقوم بالفصل اللاحق بإجراء مجموعة من التجارب المخبرية لكل من التربة المشبعة كلياً والتربة المشبعة جزئياً وإظهار نتائج هذه التجارب.

**الفصل الثالث**  
**الدراسة التجريبية**



### 3- الدراسة التجريبية:

سيتم تنفيذ مجموعة من التجارب المخبرية للترب الغضارية لتحديد خواصها الفيزيائية وتدرجها الحبي وبالتالي تصنيفها وتنظيم النتائج بصورة مناسبة؛ وكذلك سيتم إجراء تجارب الأودومتر على الترب الغضارية المشبعة كلياً والمشبعة جزئياً، باختيار درجات إشباع متدرجة أدنى من حالة الإشباع الكلي من نفس الترب، وسيتم معالجة ذلك بحسب ما تتطلبه المواصفات العالمية المحددة لهذا الاختبار.

لقد تم الحصول على عدد كبير من العينات الطبيعية السليمة، المأخوذة من محطة معالجة التبع في اللاذقية، وأجريت التجارب الفيزيائية الأساسية ونتيجة هذه التجارب اختيرت 15 عينة مشبعة بالكامل.



-ج-



-ب-



-أ-



-د-

الشكل (3-1): أ- عينة مشكلة مخبرياً لجهاز الأودومتر.

ب- توضيح مجموعة من أجهزة الأودومتر.

ج- يبين جهاز الأودومتر.

د- يوضح كيفية حساب حدود أتربغ.



-ج-



-ب-



-أ-



-هـ-



-د-

الشكل (2-3):

- أ- العينات الطبيعية.
- ب- تجربة حدود أتربرغ.
- ج- تجربة التدرج الحبي.
- د- تجربة بروكتر.
- هـ- إنزال العينة المشكلة بتجربة بروكتر بالكريكو.

لكي نتمكن من المقارنة قمنا بتنفيذ مجموعة من التجارب المخبرية على عينات مشبعة كلياً وأخرى على عينات مشبعة جزئياً، وفيما يلي نتائج هذه التجارب.

### 1-التجارب على الترب المشبعة كلياً:

لدراسة الترب المشبعة كلياً تم اختيار العينات من موقعين مختلفين في منطقة اللاذقية، وهي محطة معالجة 1 ومحطة معالجة 11، وتم إجراء مجموعة تجارب على هذه العينات تتضمن الخواص الفيزيائية والميكانيكية، وخاصة فيما يتعلق بتجربة الانضغاطية. لذا سنعرض فيما يلي التجارب المخبرية الخاصة بهذه العينات وفق ما يلي:

#### محطة معالجة التبغ-اللاذقية 1

H0mm	20	$\gamma_o$ g/cm3	1.937	$\gamma_f$ g/cm3	2.08
Hf	18.760	$\gamma_{do}$ g/cm3	1.551	$\gamma_{df}$ g/cm3	1.65
A Cm2	31.17	e0	0.734	ef	0.63
W1 g	120.770	Wo %	24.891%	wf	25.79%
W2 g	121.640	Wmaxo%	27.293	Wmaxf%	24.26
W3 g	96.700	So %	91.20%	Sf %	1.11
Gs g/cm3	2.69				

SIR	DH	$\epsilon\%$	e	$\sigma$ t/f2	M t/m2	W max %
1	0.00	0.00	0.73	0.00	-0.36	27.29
2	-0.55	-2.75	0.78	0.01	-4.55	29.07
3	-0.77	-3.85	0.80	0.06	12.73	29.77
4	-0.66	-3.30	0.79	0.13	21.82	29.42
5	-0.55	-2.75	0.78	0.25	71.43	29.07
6	-0.48	-2.40	0.78	0.50	17.24	28.84
7	0.10	0.50	0.73	1.00	35.40	26.97
8	0.67	3.33	0.68	2.00	61.07	25.15
9	1.32	6.60	0.62	4.00	400.00	23.04
10	1.22	6.10	0.63	2.00	333.33	23.36
11	1.16	5.80	0.63	1.00	111.11	23.55
12	1.07	5.35	0.64	0.50	125.00	23.84
13	1.03	5.15	0.64	0.25	26.67	23.97
14	0.94	4.70	0.65	0.13	35.00	24.26
15	0.90	4.50	0.66	0.06	33.33	24.39
16	0.87	4.35	0.66	0.01	0.23	24.49

			$\mu$					
			0.376					
e	$\sigma$ t/m2	Cc		$\epsilon\%$	$\sigma$ t/m2	M t/m2	E.t/m2	
0.726	1.0	0.1627		0.50	1.000	35	19	
0.677	2.0			3.33	2.000			
av(cm2/Kg)			mv(cm2/Kg)					
0.049			0.028					

customer

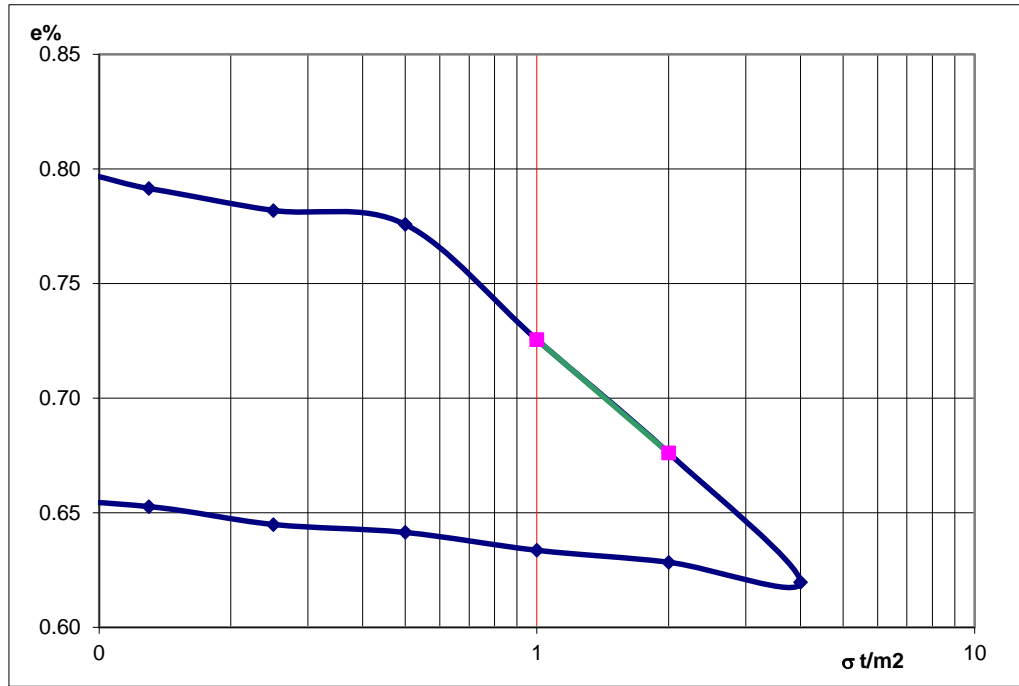
### محطة معالجة التبغ-اللاذقية 1

قرينة  
الانضغاط

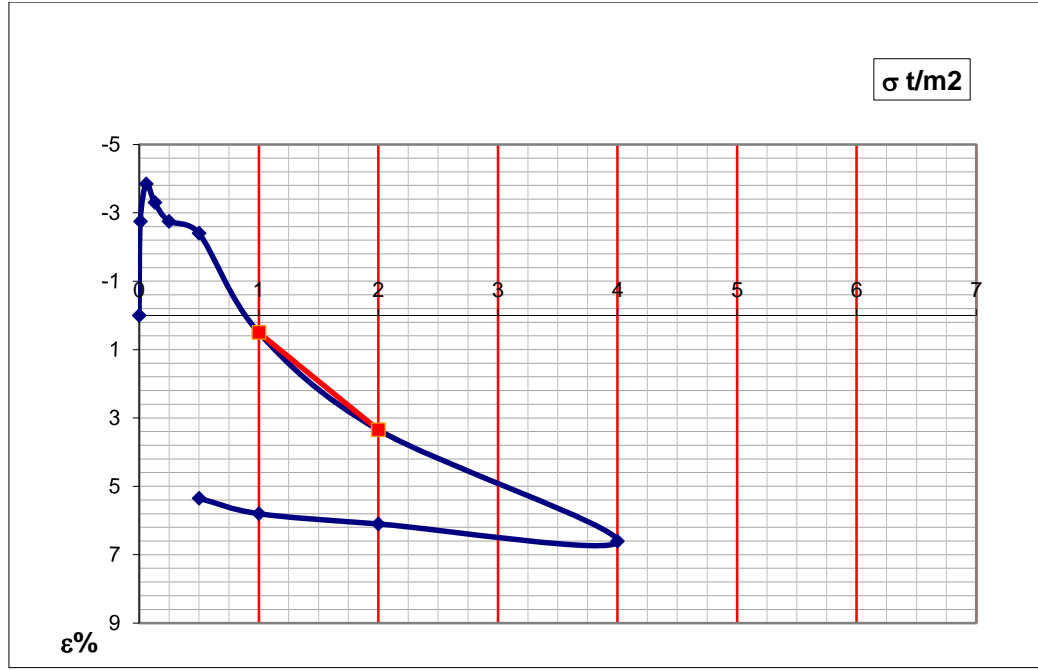
Cc=	0.1627
-----	--------

E.t/m2
19

معامل  
المرونة



الشكل (3-3) يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للتربة المشبعة كلياً 1



الشكل (3-4) يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للتربة المشبعة كلياً 1  
ونلاحظ مما سبق أن قرينة الانضغاط تساوي 0.1627، أما معامل المرونة فيساوي 19.

أما بالنسبة للعينة المشبعة الثانية نختارها رقم 11 وفيما يلي نتائج هذه التجربة:

customer

محطة معالجة التبغ-اللاذقية 11

BORING

No: 11

H0mm	20.00
Hf	18.76
A Cm2	31.17
W1 g	120.000
W2 g	121.11
W3 g	93.00
Gs g/cm3	2.70

$\gamma_o$ g/cm3	1.92
$\gamma_{do}$ g/cm3	1.49
e0	0.81
Wo %	29.03%
Wmaxo%	30.00
So %	96.79%

$\gamma_f$ g/cm3	2.07
$\gamma_{df}$ g/cm3	1.59
ef	0.70
wf	30.23%
Wmaxf%	26.95
Sf %	1.17

SIR	DH	$\epsilon\%$	e	$\sigma$ t/f2	M t/m2	W max %
1	0.00	0.00	0.81	0.00	-0.34	30.00
2	-0.59	-2.95	0.86	0.01	-6.67	31.97
3	-0.74	-3.70	0.88	0.06	28.00	32.48
4	-0.69	-3.45	0.87	0.13	21.82	32.31
5	-0.58	-2.90	0.86	0.25	13.89	31.94
6	-0.22	-1.10	0.83	0.50	17.39	30.73
7	0.36	1.78	0.78	1.00	53.33	28.81
8	0.73	3.65	0.74	2.00	47.06	27.55
9	1.58	7.90	0.67	4.00	333.33	24.70
10	1.46	7.30	0.68	2.00	111.11	25.10
11	1.28	6.40	0.69	1.00	52.63	25.71
12	1.09	5.45	0.71	0.50	83.33	26.34
13	1.03	5.15	0.72	0.25	20.00	26.54
14	0.91	4.55	0.73	0.13	70.00	26.95
15	0.89	4.45	0.73	0.06	11.11	27.01
16	0.80	4.00	0.74	0.01	0.25	27.31

			$\mu$				
			0.386				
e	$\sigma$ t/m2	Cc		$\epsilon\%$	$\sigma$ t/m2	M t/m2	E.t/m2
0.778	1	0.1127			1.78	1.000	53
0.744	2			3.65	2.000		
av(cm <sup>2</sup> /kg)		mv(cm <sup>2</sup> /Kg)					
0.034		0.019					

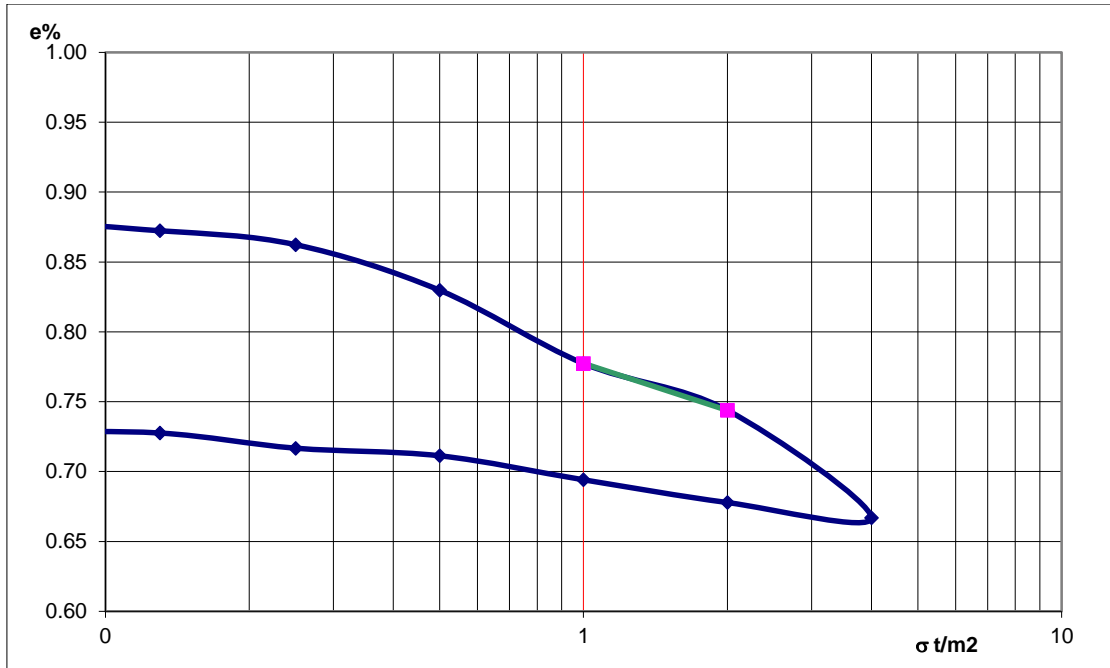
### محطة معالجة التبغ-اللاذقية 11

11

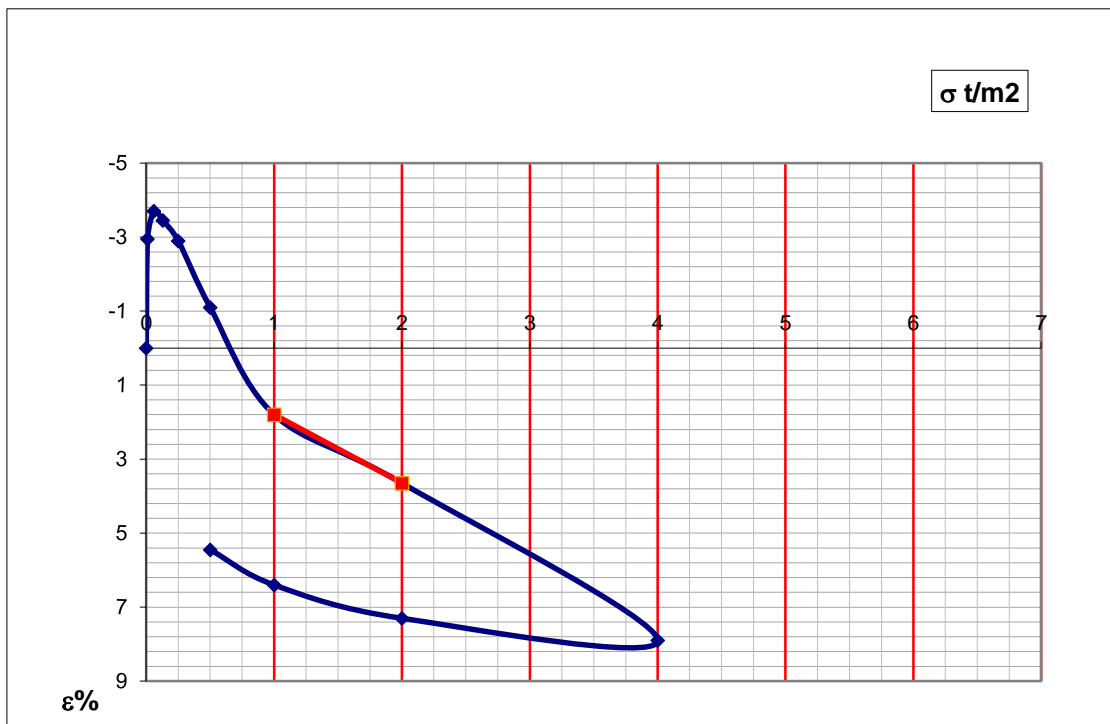
Cc=	0.1127
-----	--------

E.t/m2
27

ونلاحظ مما سبق أن قرينة الانضغاط تساوي 0.1127، أما معامل المرونة فيساوي 27.



الشكل (3-5) يبين لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للتربة المشبعة كلياً 11



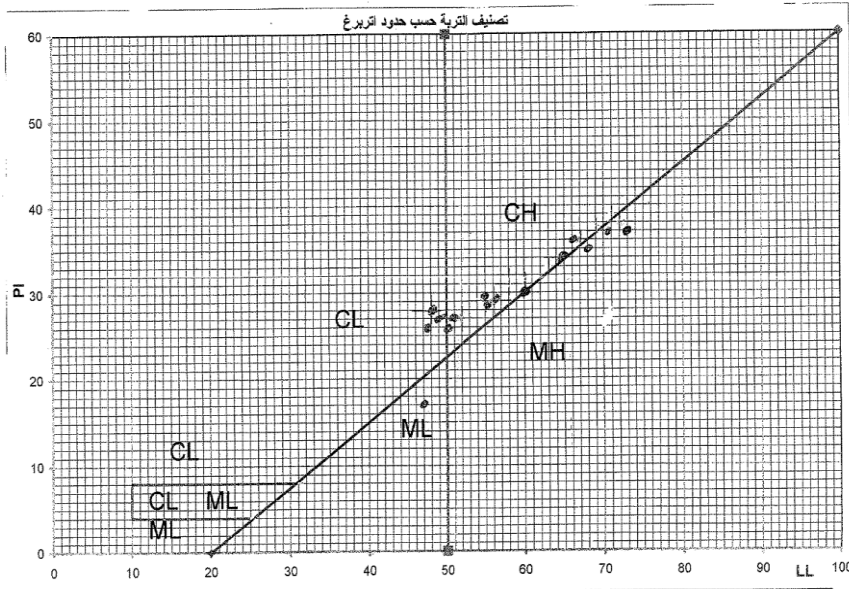
الشكل (3-6) يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للتربة المشبعة كلياً 11

الجدول (1-3) يبين المواصفات الفيزيائية للعينات المشبعة كلياً

الجدول (1-3) المواصفات الفيزيائية للعينات المشبعة كلياً

الرتوية الطبيعية w	الوزن الحجمي الرتب (g/cm <sup>3</sup> )	الوزن النوعي Gs	معامل المسامية	درجة الإشباع	حد السيولة	حد اللدونة	قرينة اللدونة PI
%24.89	1.937	2.69	0.734	%91.20	%54.14	%24.36	%29.78
%22.33	2.02	2.67	0.618	%92.16	%48.12	%20.22	%27.90
%25.81	1.958	2.7	0.735	%94.78	%55.57	%26.59	%28.98
%34.12	1.881	2.7	0.92	%99.58	%73.26	%35.66	%37.60
%26.03	1.94	2.71	0.76	%92.85	%56.67	%27.38	%29.29
%21.25	2.018	2.68	0.634	%93.27	%47.64	%21.43	%26.21
%28.26	1.89	2.72	0.843	%91.18	%60.49	%29.57	%30.92
%32.87	1.897	2.69	0.884	%100.0	%70.88	%33.47	%37.41
%29.62	1.87	2.69	0.86	%92.30	%66.33	%29.94	%36.39
%22.98	1.993	2.67	0.648	%94.76	%49.00	%21.65	%27.35
%29.03	1.92	2.7	0.81	%96.79	%47.17	%30.11	%17.06
%23.44	1.982	2.68	0.67	%93.87	%50.68	%22.86	%27.82
%31.94	1.86	2.71	0.92	%94.12	%68.11	%32.26	%35.85
%23.87	1.956	2.69	0.704	%91.21	%50.30	%23.98	%26.32
%30.11	1.94	2.72	0.823	%99.47	%66.25	%31.88	%34.37

يبين الشكل (7-3) تصنيف هذه العينات:



الشكل (7-3) تصنيف العينات



ولدى إجراء تجارب الانضغاطية ظهرت النتائج في الجدول (2-3) كالتالي:

الجدول (2-3) يبين نتائج تجربة الانضغاطية للترب المشبعة كلياً

الهبوط S(mm)	معامل المرونة E(kg/cm <sup>2</sup> )	معامل المرونة الأودومتري	قريئة الانتفاخ Cs	قريئة الانضغاط Cc	الرطوبة w
0.5298	19	35	0.01627	0.1627	%24.89
0.469	31	56	0.0144	0.1344	%22.33
0.626	23	41	0.0222	0.1925	%25.81
1.098	11	20	0.0498	0.3735	%34.12
0.624	23	41	0.0243	0.1945	%26.03
0.51	31	56	0.0148	0.1476	%21.25
0.618	18	32	0.0252	0.2016	%28.26
1.076	13	23	0.0478	0.3589	%32.87
0.775	16	28	0.0319	0.2554	%29.62
0.566	31	55	0.0165	0.1653	%22.98
0.352	27	53	0.0113	0.1127	%29.03
0.597	29.6	52	0.0176	0.1764	%23.44
0.957	14.8	26	0.0434	0.3255	%31.94
0.561	28	49	0.0179	0.1694	%23.87
0.915	15	27	0.0369	0.2954	%30.11

## 2-التجارب على الترب المشبعة جزئياً:

لدراسة الترب المشبعة جزئياً تم اختيار العينات من موقعين مختلفين في منطقة اللاذقية، وهي محطة معالجة رقم 7 ومحطة معالجة رقم 13. ولقد تم إجراء مجموعة من التجارب على هذه العينات تتضمن الخواص الفيزيائية والميكانيكية وخاصة فيما يتعلق بتجربة الانضغاطية، ولتوحيد الشروط البدائية لجميع العينات المدروسة تم تشكيل العينات اعتماداً على تجربة بروكتر النظامية حسب ASTM، وسنعرض فيما يلي التجارب المخبرية الخاصة بهذه العينات كالتالي:

customer

محطة معالجة التبغ-اللاذقية 7

H0mm	20.00
Hf	19.14
A Cm2	31.17
W1 g	119
W2 g	122
W3 g	99
Gs g/cm3	2.72

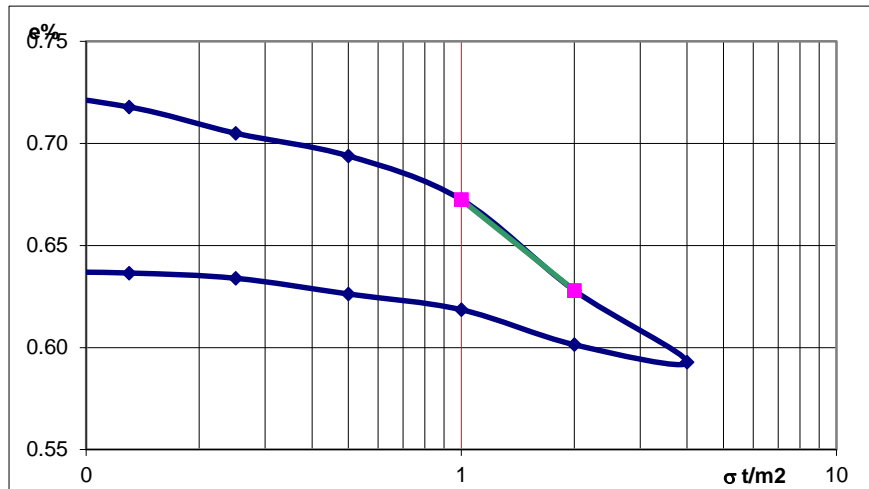
$\gamma_o$ g/cm <sup>3</sup>	1.91
$\gamma_{do}$ g/cm <sup>3</sup>	1.59
e0	0.71
Wo %	20.20%
Wmaxo%	26.20
So %	77.09%

$\gamma_f$ g/cm <sup>3</sup>	2.04
$\gamma_{df}$ g/cm <sup>3</sup>	1.66
ef	0.64
wf	23.23%
Wmaxf%	23.40
Sf %	0.99

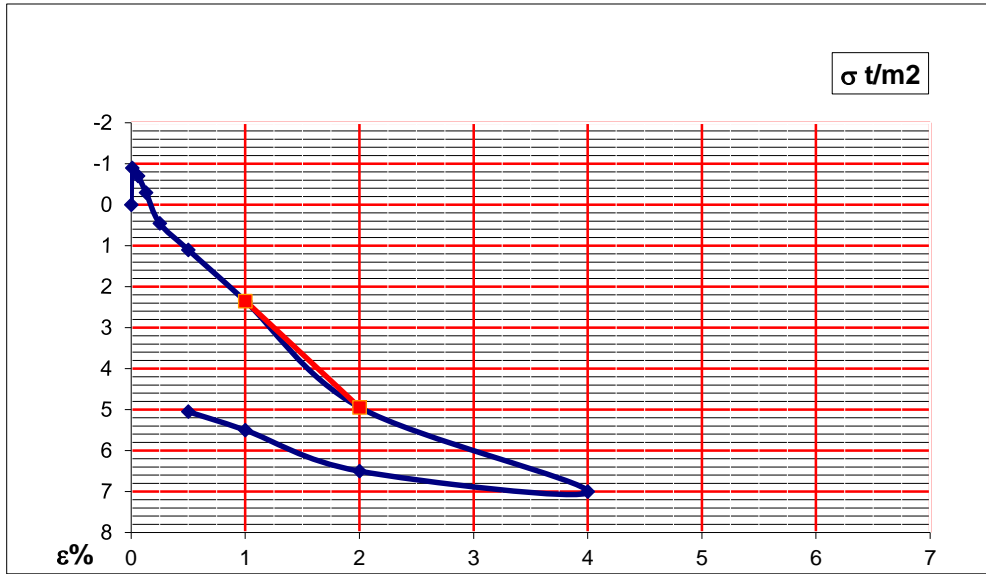
SIR	DH	$\epsilon\%$	e	$\sigma$ t/f2	M t/m2	W max %
1	0.00	0.00	0.71	0.00	-1.11	26.20
2	-0.18	-0.90	0.73	0.01	25.00	26.77
3	-0.14	-0.70	0.72	0.06	17.50	26.65
4	-0.06	-0.30	0.72	0.13	16.00	26.39
5	0.09	0.45	0.71	0.25	38.46	25.92
6	0.22	1.10	0.69	0.50	40.00	25.51
7	0.47	2.35	0.67	1.00	38.54	24.73
8	0.99	4.95	0.63	2.00	97.32	23.09
9	1.40	7.00	0.59	4.00	400.00	21.80
10	1.30	6.50	0.60	2.00	100.00	22.11
11	1.10	5.50	0.62	1.00	111.11	22.74
12	1.01	5.05	0.63	0.50	55.56	23.03
13	0.92	4.60	0.63	0.25	80.00	23.31
14	0.89	4.45	0.64	0.13	140.00	23.40
15	0.88	4.40	0.64	0.06	50.00	23.43
16	0.86	4.30	0.64	0.01	0.23	23.50

		$\mu$					
		0.368					
e	$\sigma$	Cc		$\epsilon\%$	$\sigma$ t/m2	M t/m2	E.t/m2
0.673	1	0.1476		2.35	1.000	39	22
0.628	2			4.95	2.000		
		av(cm <sup>2</sup> /Kg)	mv(cm <sup>2</sup> /Kg)				
		0.044	0.026				

وبالتالي قرينة الانضغاط  $C_c=0.147$ ، أماعن معامل المرونة  $E=22$  (t/m<sup>2</sup>)



الشكل (3-8) يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة جزئياً 7



الشكل (3-9) يبين علاقة الإجهاد مع التشوهات للترب المشبعة جزئياً 7

أما بالنسبة للعينة المشبعة الثانية نختارها رقم 13 وفيما يلي نتائج هذه التجربة:

محطة معالجة التبغ-اللائقية 13

H0mm	20	$\gamma_o$ g/cm3	1.90
Hf	19.45	$\gamma_{do}$ g/cm3	1.56
A Cm2	31.17	e0	0.74
W1 g	118.33	Wo %	21.71%
W2 g	122.00	Wmaxo%	27.22
W3 g	97.22	So %	79.76%
Gs g/cm3	2.71		

$\gamma_f$ g/cm3	2.01
$\gamma_{df}$ g/cm3	1.60
ef	0.69
wf	25.49%
Wmaxf%	25.30
Sf %	1.00

SIR	DH	$\epsilon\%$	e	$\sigma$ t/f2	M t/m2	W max %
1	0.00	0.00	0.74	0.00	-0.71	27.22
2	-0.28	-1.40	0.76	0.01	25.00	28.12
3	-0.24	-1.20	0.76	0.06	23.33	27.99
4	-0.18	-0.90	0.75	0.13	24.00	27.80
5	-0.08	-0.40	0.74	0.25	55.56	27.48
6	0.01	0.05	0.74	0.50	47.62	27.19
7	0.22	1.10	0.72	1.00	36.36	26.52
8	0.77	3.85	0.67	2.00	95.24	24.75
9	1.19	5.95	0.63	4.00	444.44	23.41
10	1.10	5.50	0.64	2.00	181.82	23.70
11	0.99	4.95	0.65	1.00	45.45	24.05
12	0.77	3.85	0.67	0.50	41.67	24.75
13	0.65	3.25	0.68	0.25	48.00	25.14
14	0.60	3.00	0.69	0.13	14.00	25.30
15	0.50	2.50	0.69	0.06	9.09	25.62
16	0.39	1.95	0.70	0.01	0.51	25.97

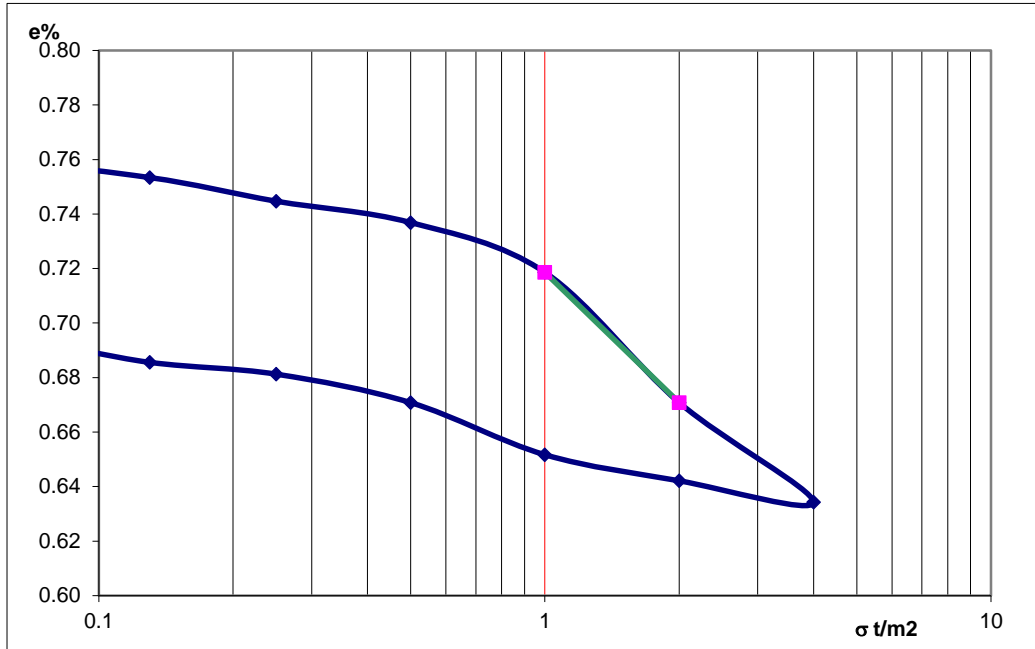
			$\mu$				
			0.368				
e	$\sigma$ t/m <sup>2</sup>	Cc		$\varepsilon$ %	$\sigma$ t/m <sup>2</sup>	M t/m <sup>2</sup>	E.t/m <sup>2</sup>
0.719	1	0.1587		1.10	1	36	21
0.671	2			3.85	2		
av(cm <sup>2</sup> /kg)			mv(cm <sup>2</sup> /Kg)				
0.048			0.028				

محطة معالجة التبغ-اللاذقية 13

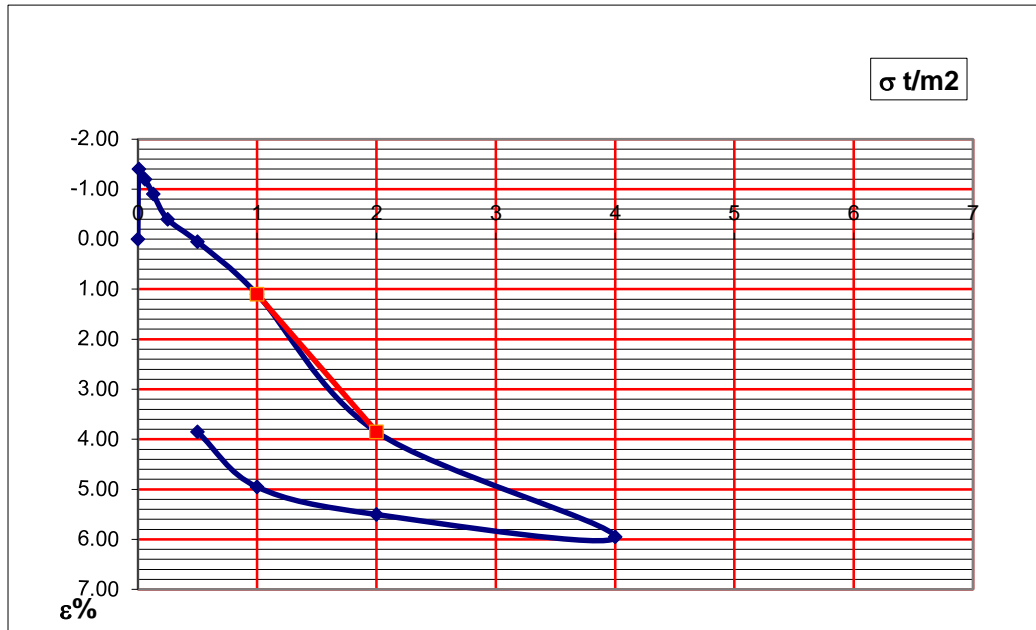
address

Cc= 0.1587

E.t/m <sup>2</sup>
21



الشكل (3-10) يبين علاقة لوغاريتم الإجهاد مع معامل المسامية للترب المشبعة جزئياً 13



الشكل (3-11) يبين علاقة الإجهاد مع التشوه للترب المشبعة جزئياً 13

ويعطي الجدول (3-3) المواصفات الفيزيائية للعينات غير المشبعة حيث أن نتائج الوزن النوعي وحدود أتريغ كونها تتعلق بالتركيب المينرالي فقط للعينات لم تتغير بينما نتائج الرطوبة والوزن الحجمي تغيرت.

الجدول (3-3) المواصفات الفيزيائية للعينات المشبعة جزئياً

قرينة اللدونة PI	حد اللدونة	حد السيولة	درجة الإشباع	معامل المسامية	الوزن النوعي Gs	الوزن الحجمي الرطب (g/cm <sup>3</sup> )	الرطوبة الطبيعية w
%29.78	%24.36	%54.14	%73.68	0.688	2.69	1.886	%18.34
%27.90	%20.22	%48.12	%79.43	0.622	2.67	1.942	%18.00
%28.98	%26.59	%55.57	%74.43	0.7	2.7	1.893	%19.21
%37.60	%35.66	%73.26	%70.69	0.635	2.7	2.049	%24.12
%29.29	%27.38	%56.67	%76.76	0.682	2.71	1.933	%19.98
%26.21	%21.43	%47.64	%78.47	0.627	2.68	1.945	%18.11
%30.92	%29.57	%60.49	%77.09	0.71	2.72	1.91	%20.20
%37.41	%33.47	%70.88	%72.62	0.638	2.69	2.034	%23.87
%36.39	%29.94	%66.33	%72.99	0.651	2.69	1.981	%21.62
%27.35	%21.65	%49.00	%79.20	0.692	2.67	1.865	%18.20
%17.06	%30.11	%47.17	%63.04	0.715	2.7	1.862	%18.30
%27.82	%22.86	%50.68	%77.86	0.697	2.68	1.867	%18.25
%35.85	%32.26	%68.11	%79.76	0.74	2.71	1.9	%21.71
%26.32	%23.98	%50.30	%79.05	0.665	2.69	1.921	%18.87
%34.37	%31.88	%66.25	%71.17	0.674	2.72	1.973	%21.43

ولدى إجراء تجارب الانضغاطية ظهرت النتائج موضحة بالجدول (3-4) كالتالي:

الجدول (3-4) يبين نتائج تجربة الانضغاطية للترب المشبعة جزئياً

الهبوط S(mm)	معامل المرونة E(kg/cm <sup>2</sup> )	معامل المرونة الأودومتري	قرينة الانتفاخ Cs	قرينة الانضغاط Cc	الرطوبة w
0.4	62.7	110	0.013	0.1197	%18.34
0.346	99.75	175	0.0114	0.0995	%18.00
0.406	57	100	0.0153	0.1224	%19.21
0.56	18.9	33	0.0203	0.1621	%24.12
0.442	51.3	90	0.0146	0.1317	%19.98
0.343	91.2	160	0.0123	0.0988	%18.11
0.497	22	39	0.0165	0.1476	%20.20
0.543	19.4	34	0.0197	0.1574	%23.87
0.512	28.6	50	0.0187	0.1498	%21.62
0.331	84.36	148	0.0124	0.0992	%18.20
0.355	85.5	150	0.0102	0.1077	%18.30
0.378	86.4	120	0.0139	0.1136	%18.25
0.534	21	36	0.0198	0.1586	%22.94
0.42	79.8	140	0.0135	0.1237	%18.87
0.51	31.4	55	0.0189	0.1511	%21.43

وبالتالي حصلنا في هذا البحث على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لكل من الترب المشبعة كلياً والترب المشبعة جزئياً، ونظمت هذه النتائج في جداول، وسنورد بالفصل اللاحق مخططات بيانية تربط النتائج مع بعضها البعض.

## الفصل الرابع

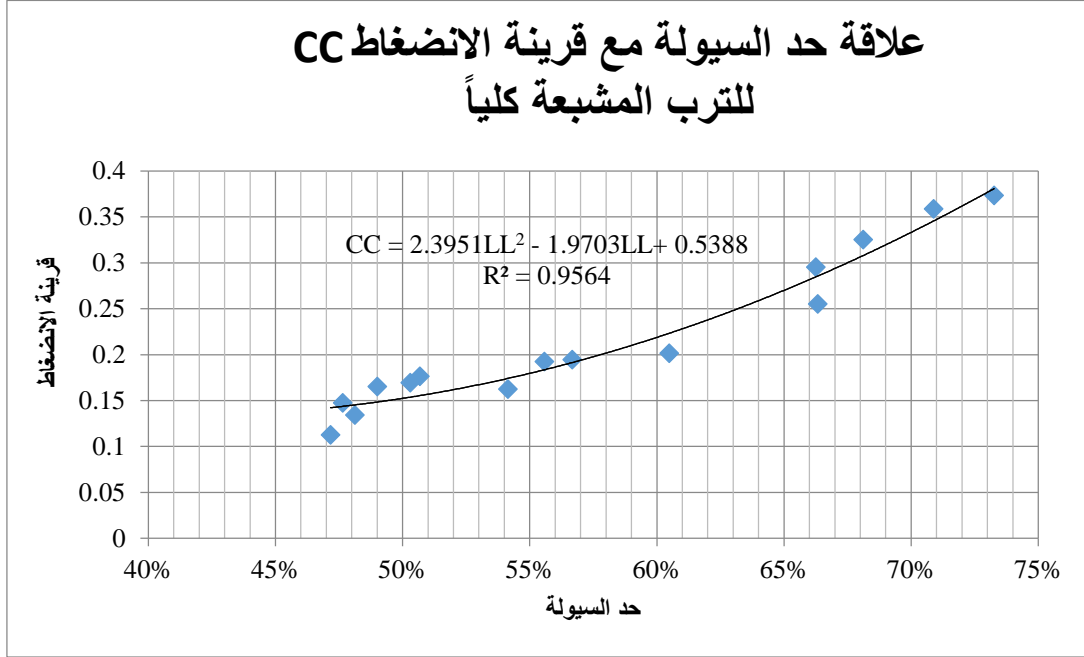
### مناقشة النتائج

#### 4-مناقشة النتائج:

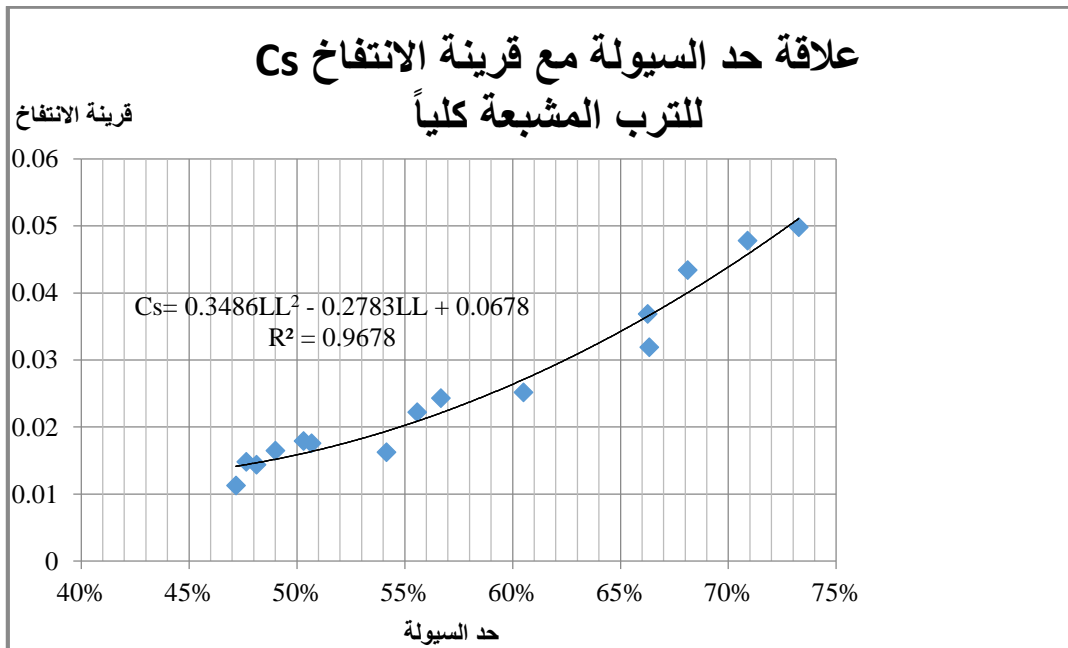
#### 1-4-مخططات:

نعتبر أن كامل العينات هي لتربة متجانسة وبالتالي ستكون المخططات البيانية كالتالي:

#### 1-للترب المشبعة كلياً:

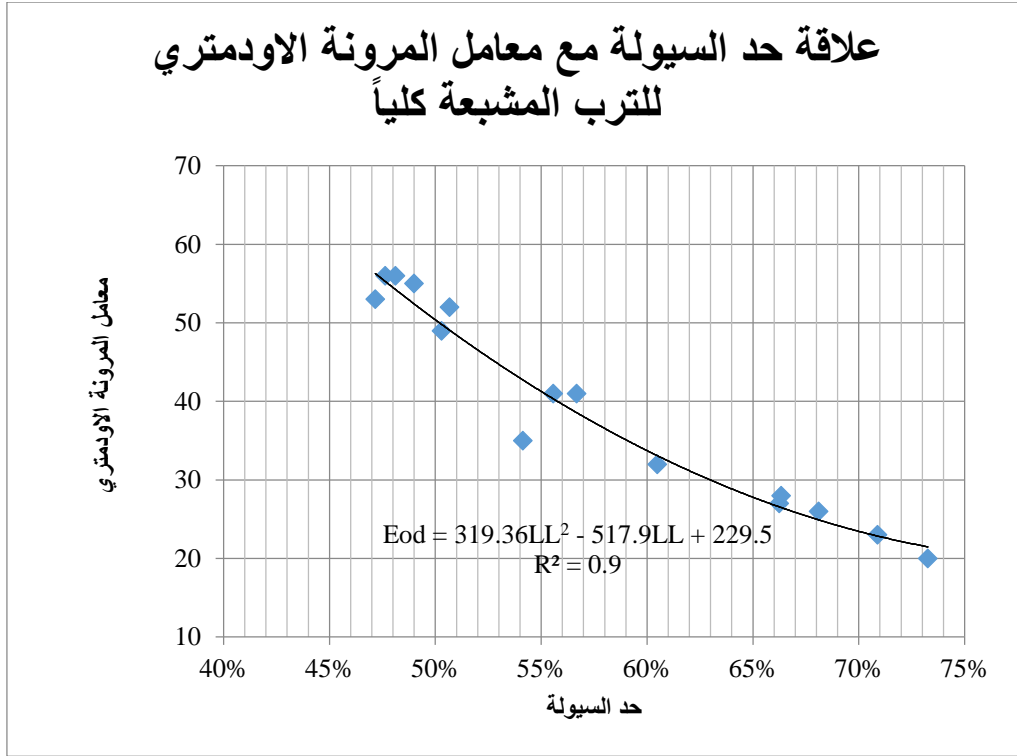


الشكل (1- 4) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً

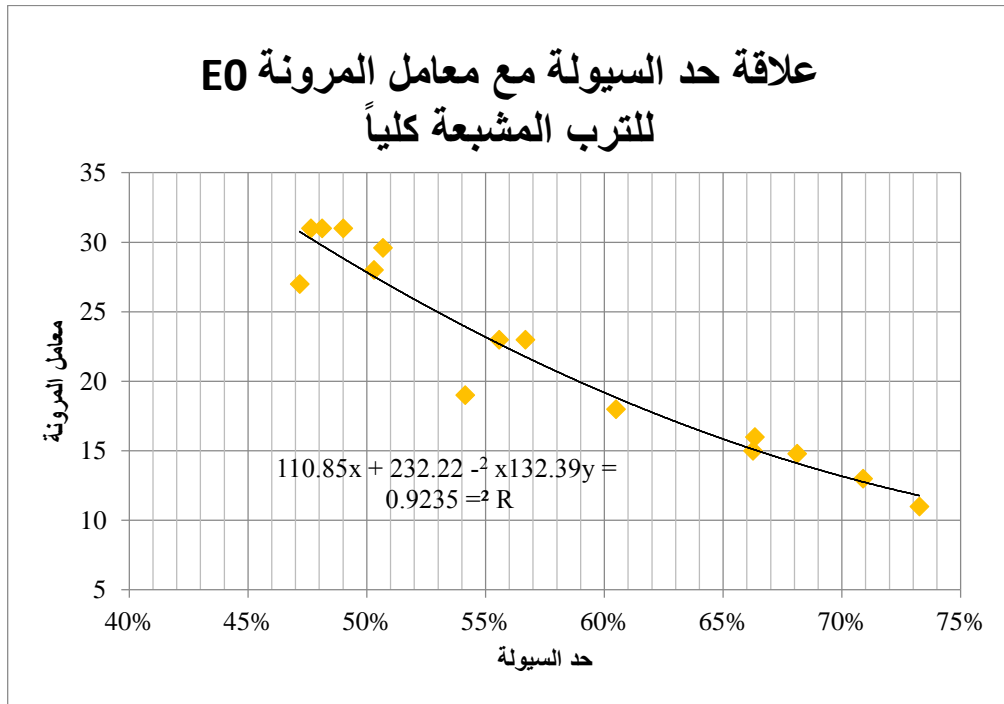


الشكل (2-4) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً

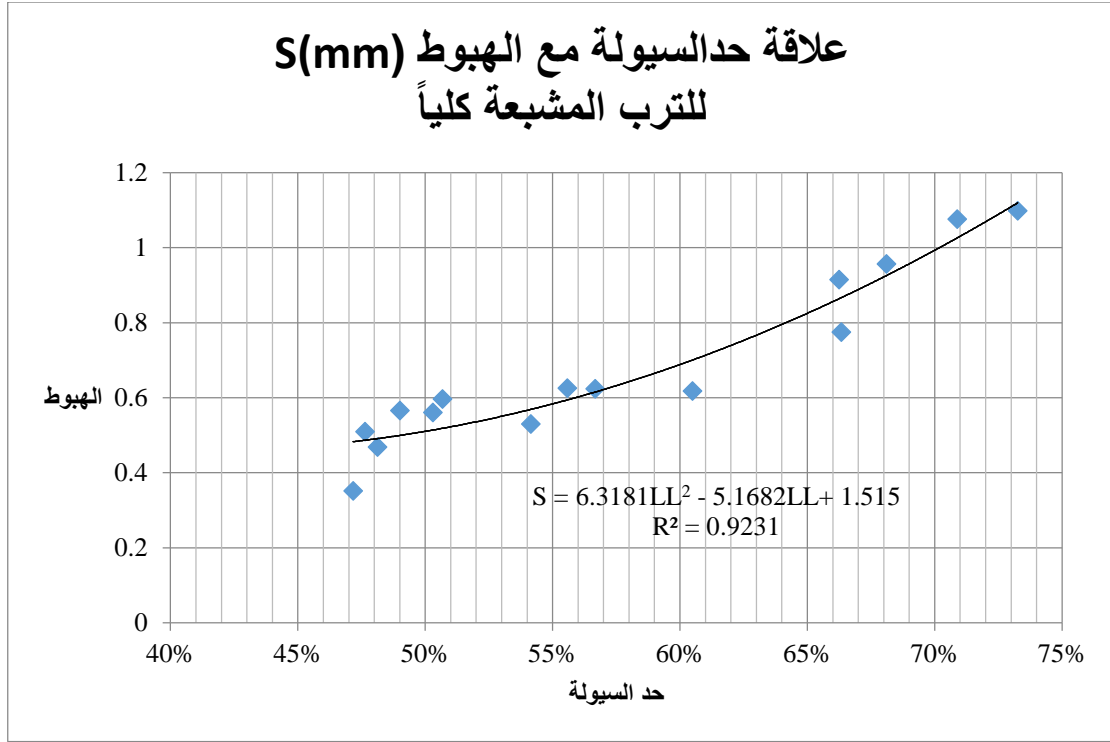




الشكل (3-4) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودمترى للترب المشبعة كلياً

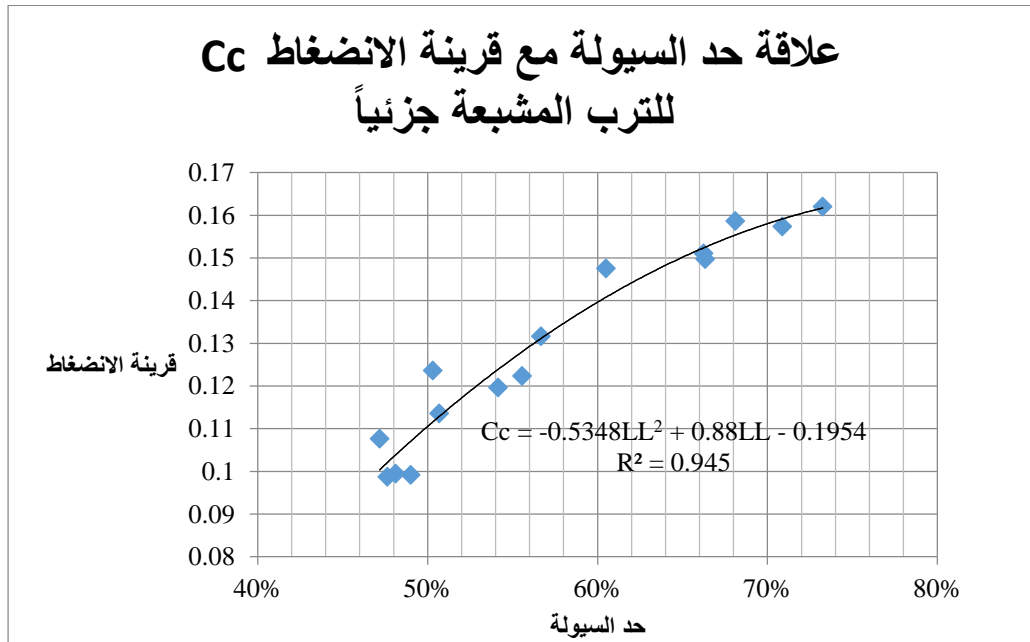


الشكل (4-4) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة كلياً



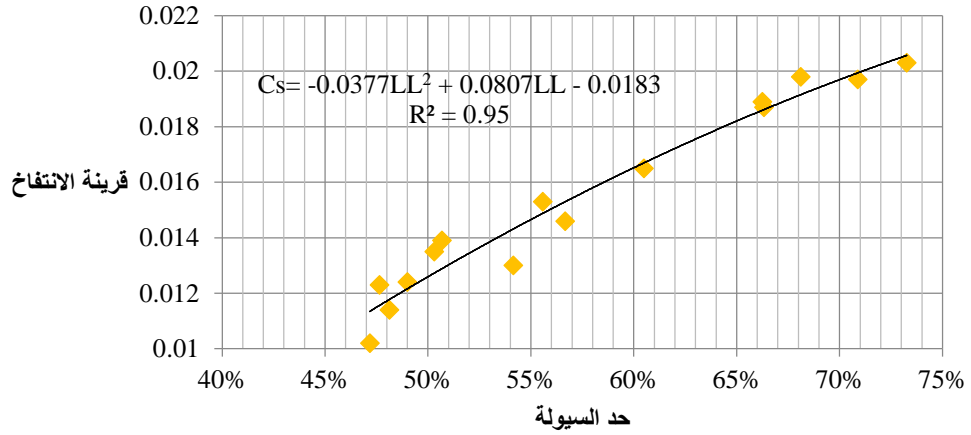
الشكل (4-5) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً

### 2- الترب المشبعة جزئياً:



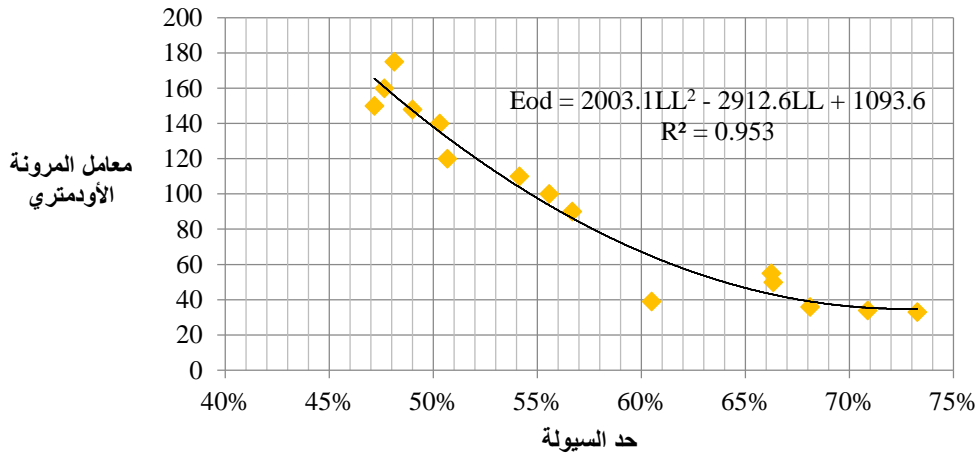
الشكل (4-6) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً

### علاقة حد السيولة مع قرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً

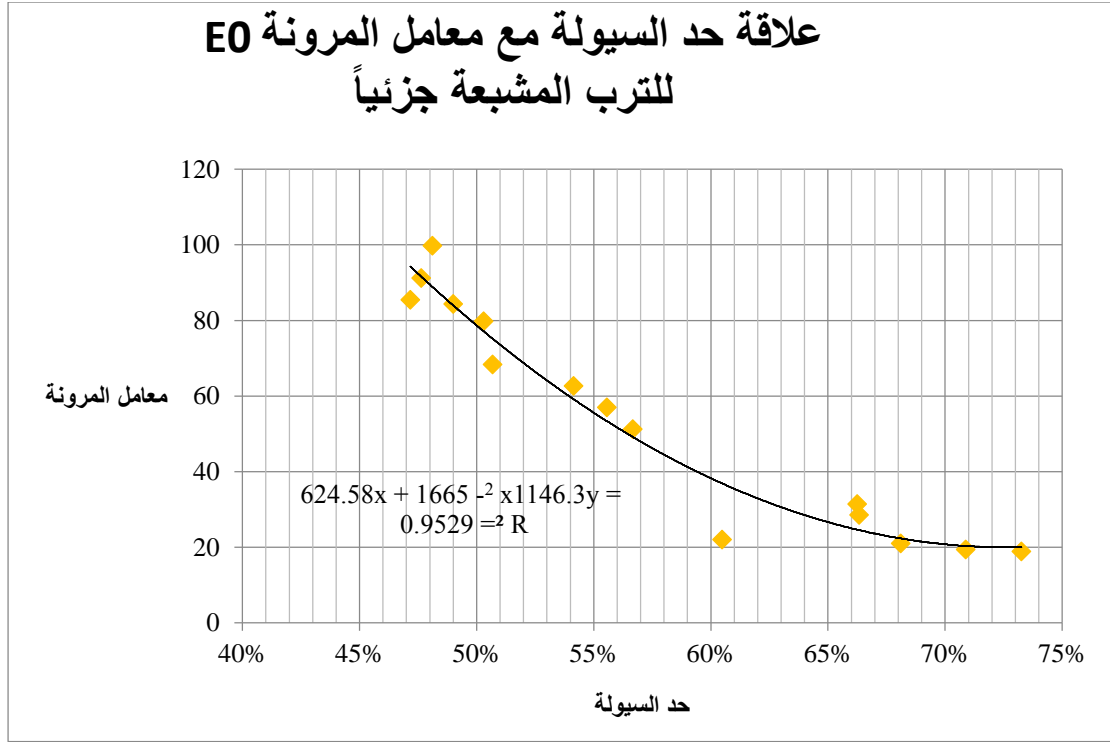


الشكل (7-4) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً

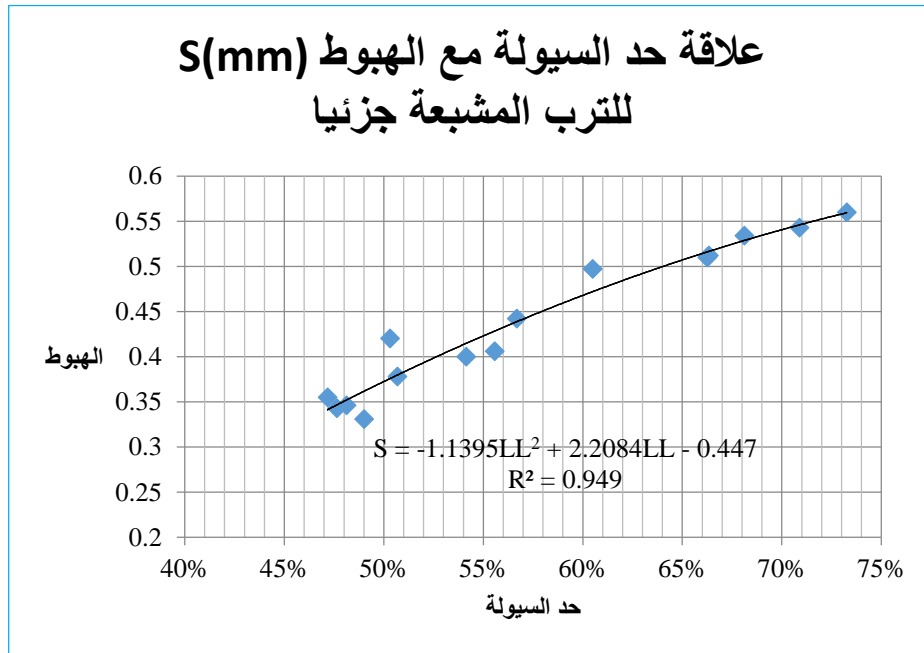
### علاقة حد السيولة مع معامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً Eod



الشكل (8-4) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً

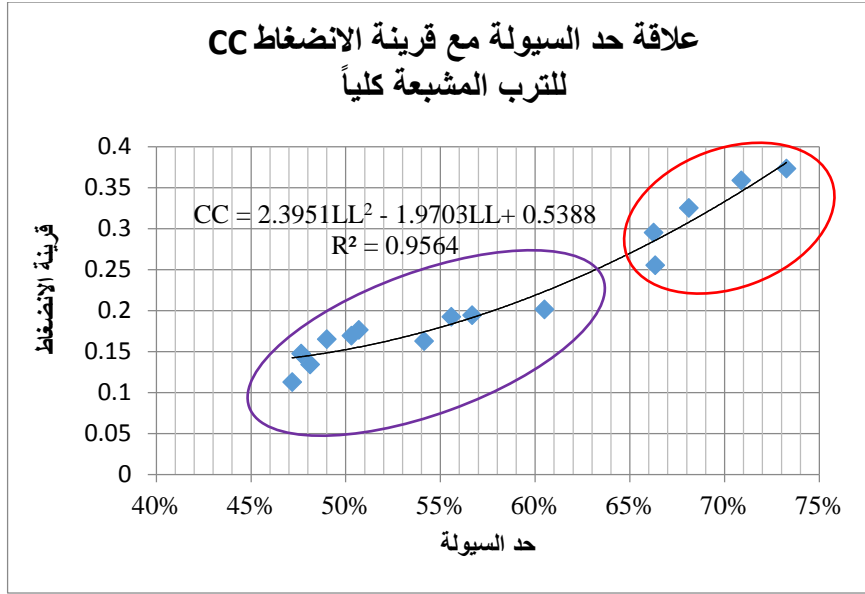


الشكل (9-4) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة جزئياً

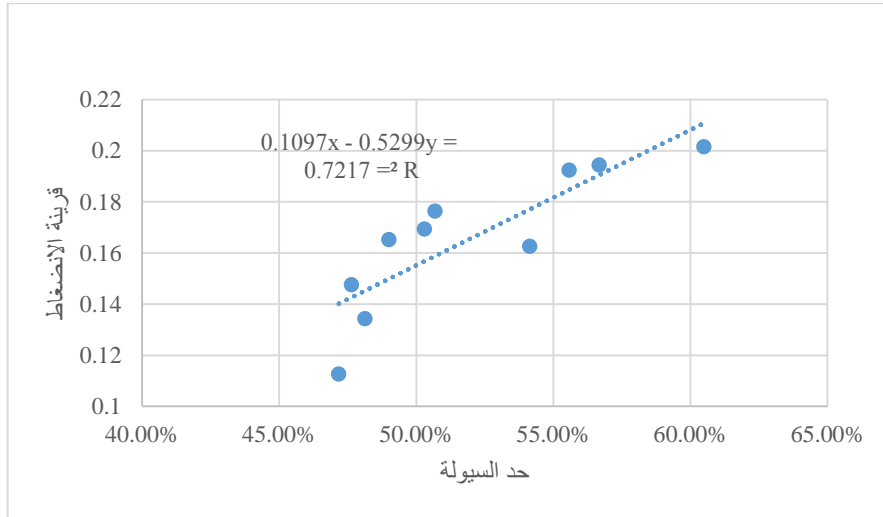


الشكل (10-4) يبين العلاقة حد السيولة والهبوط للترب المشبعة جزئياً

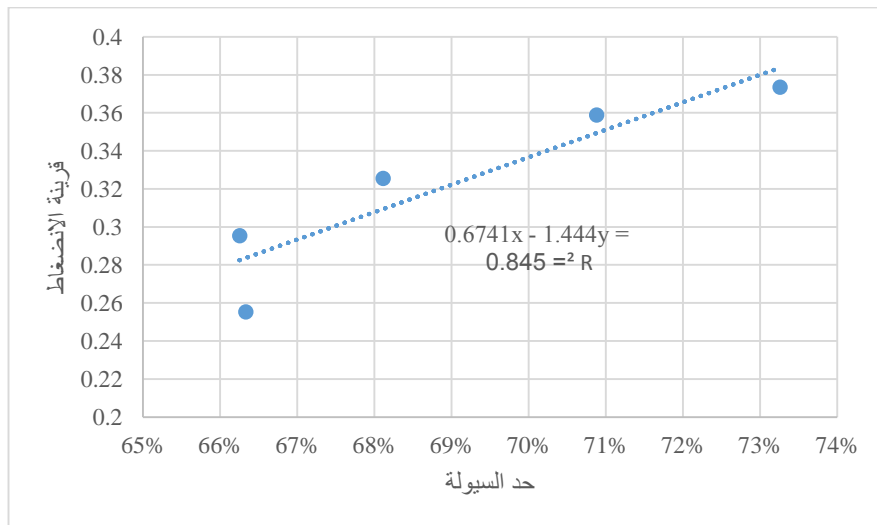
ولكن من خلال المنحنيات يمكننا أن نلاحظ بأن توزيع الترب مختلف، وبالتالي يمكن أن نفصل هذه المخططات إلى نوعين من الترب بحسب قيم حد السيولة LL.



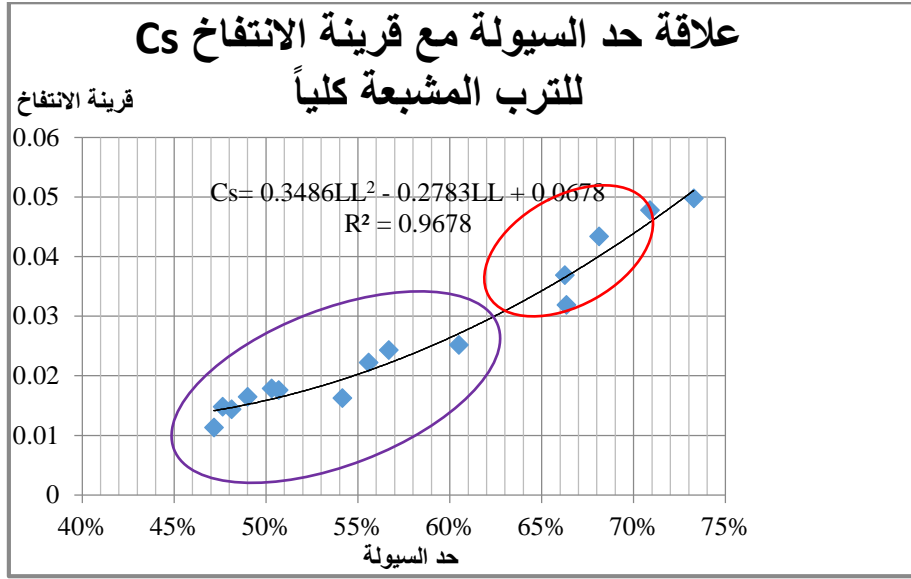
الشكل (4- 11) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين



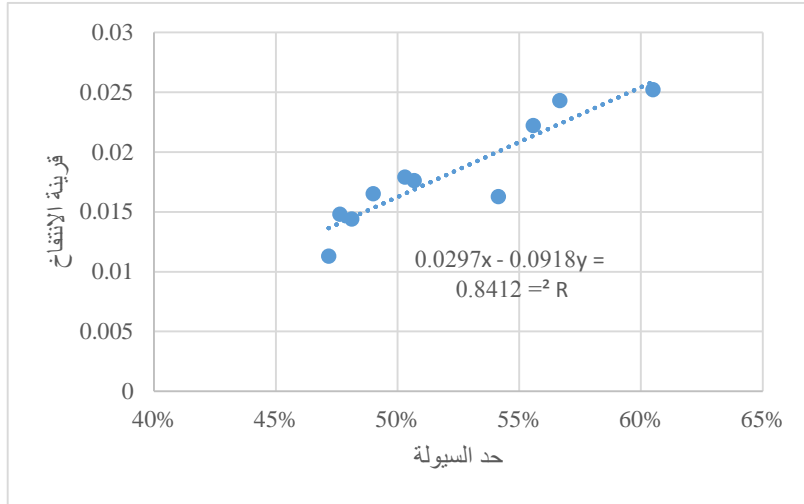
الشكل (4- 12) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أقل من 60%



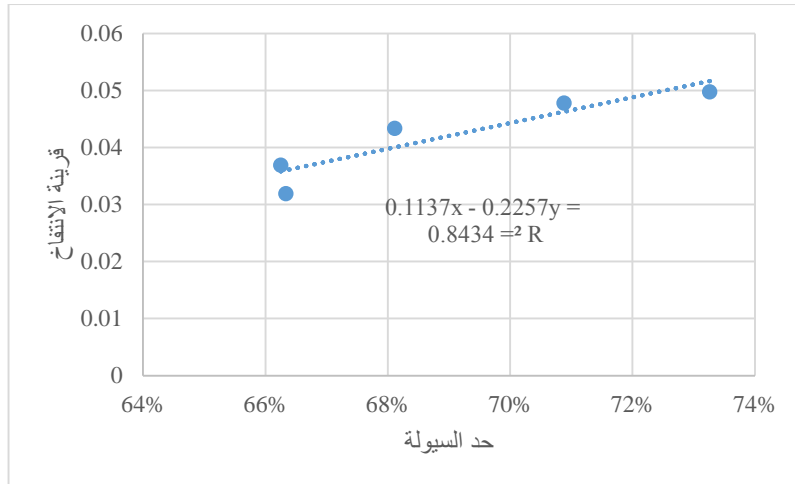
الشكل (4- 13) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



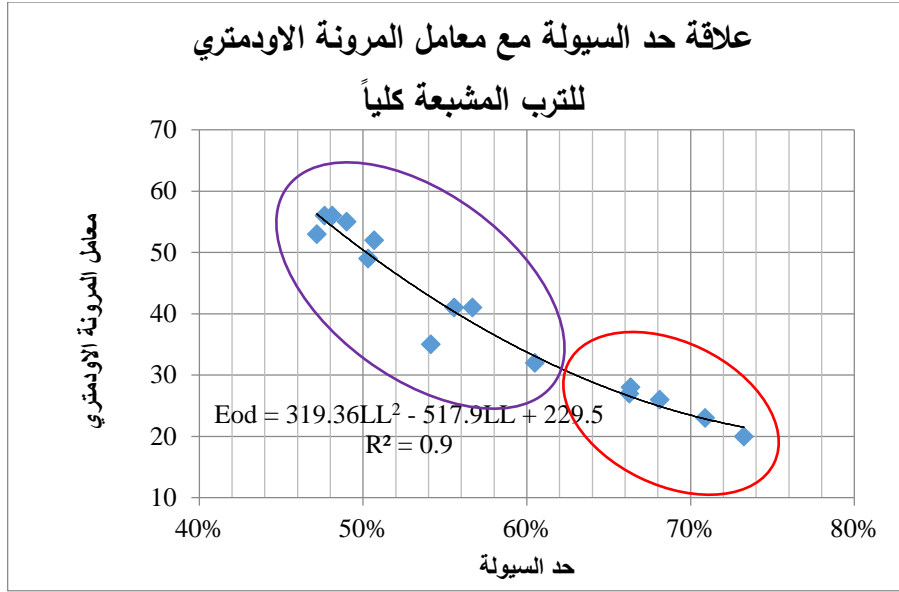
الشكل (4- 14) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين



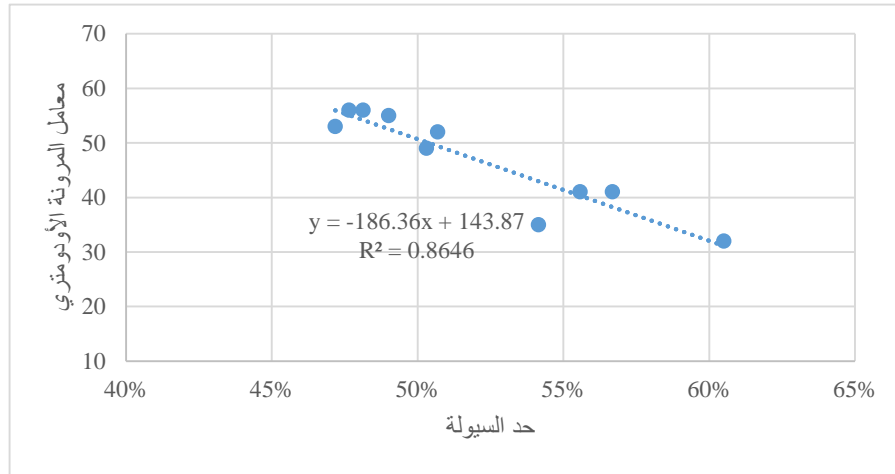
الشكل (4- 15) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أقل من 60%



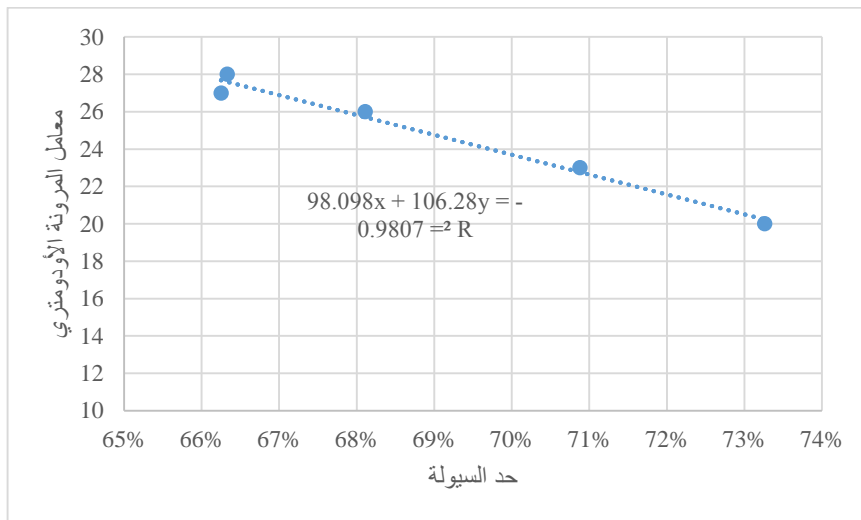
الشكل (4- 16) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



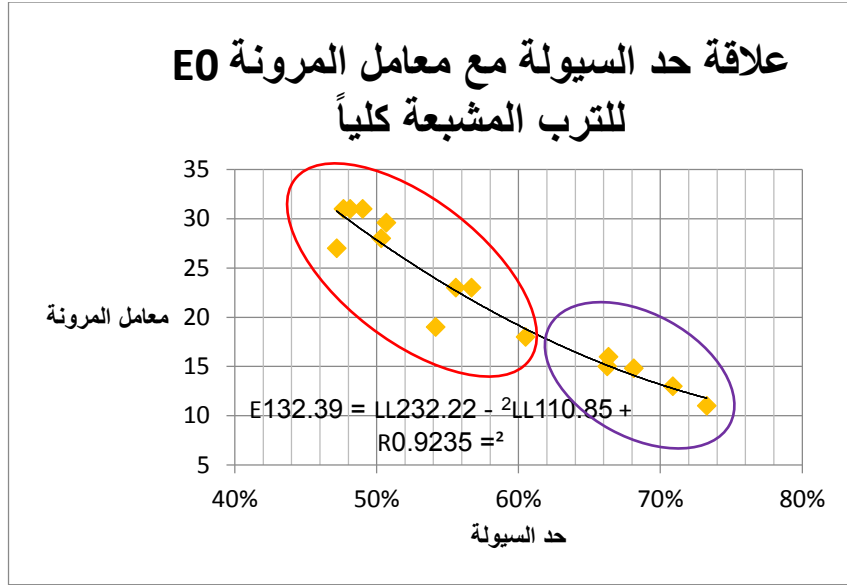
الشكل (4- 17) العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين



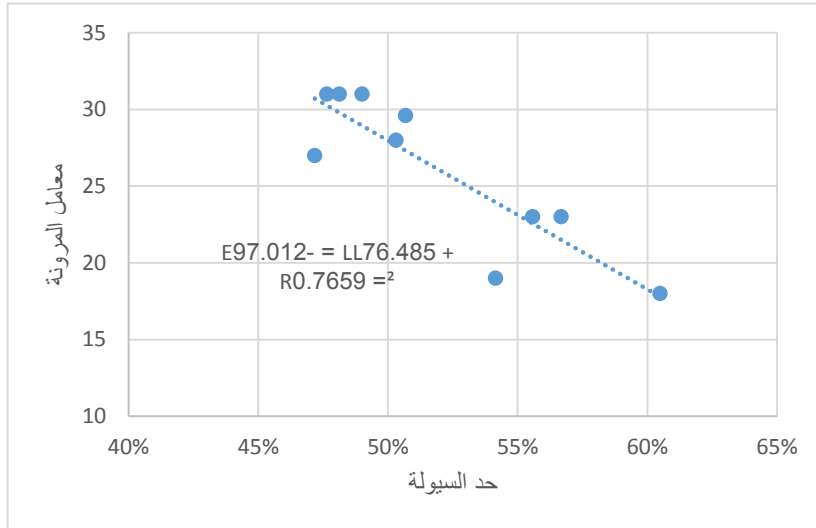
الشكل (4- 18) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أقل من 60%



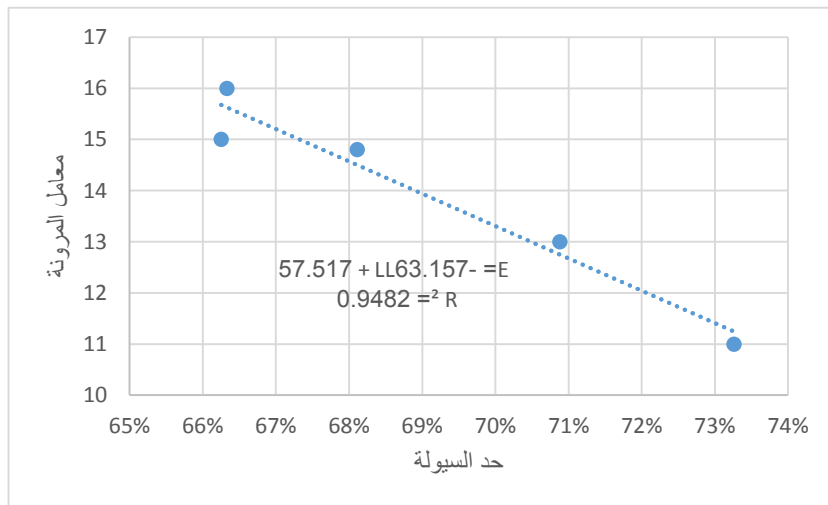
الشكل (4- 19) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



الشكل (4- 20) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين

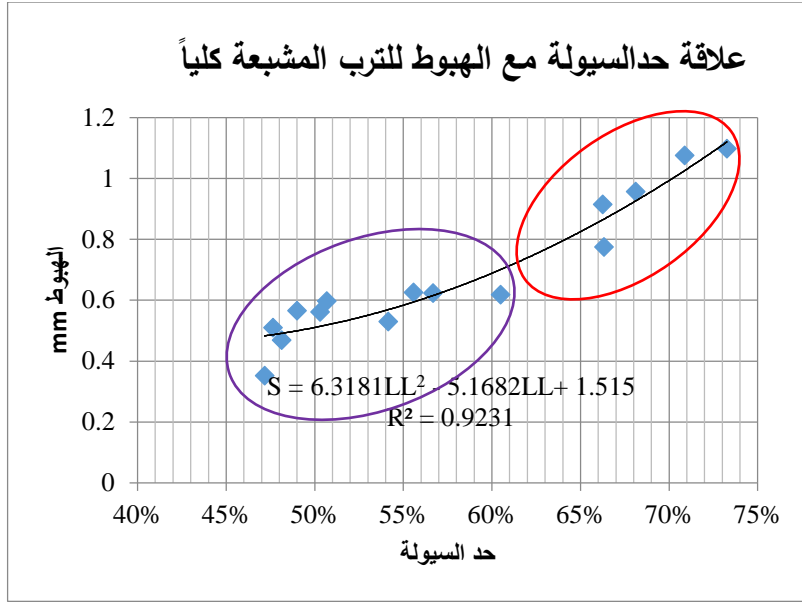


الشكل (4- 21) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أقل من 60%

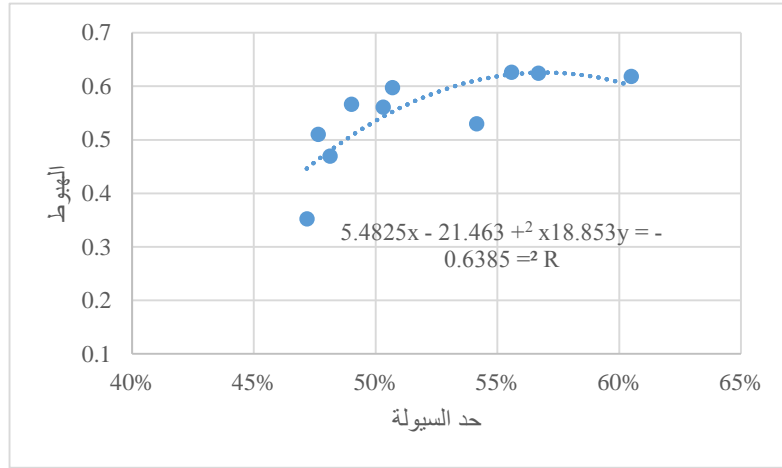


الشكل (4- 22) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أكبر من 60%

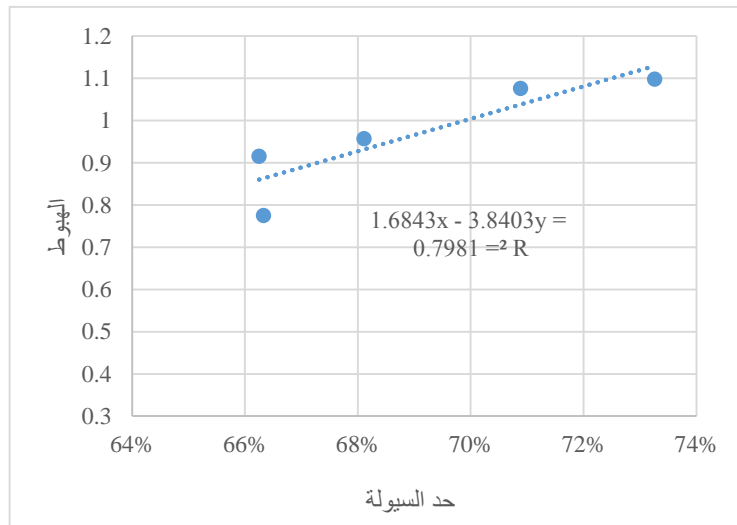




الشكل (4- 23) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً حيث قسمنا العينات لقسمين

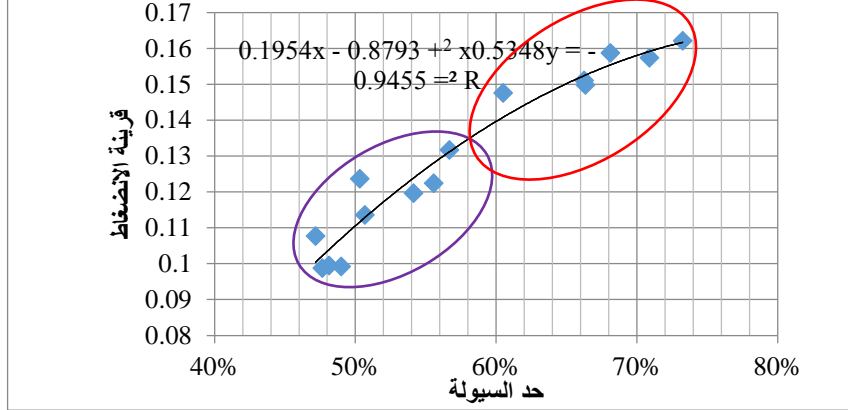


الشكل (4- 24) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أقل من 60%

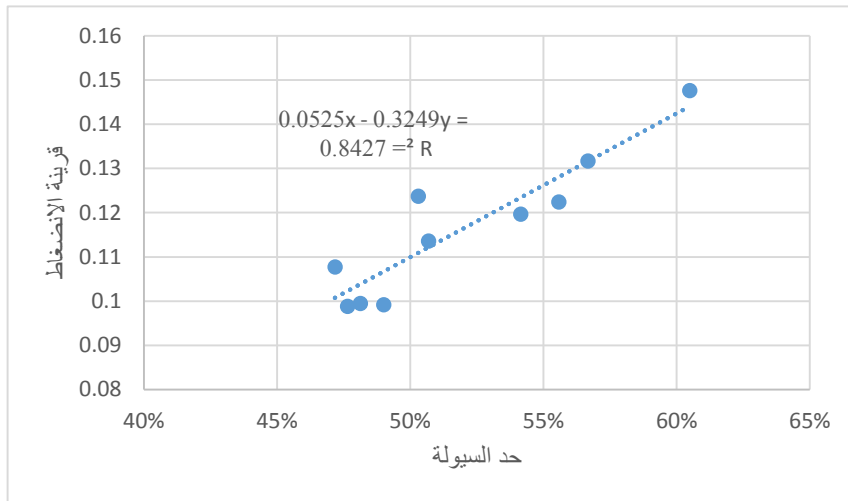


الشكل (4- 25) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%

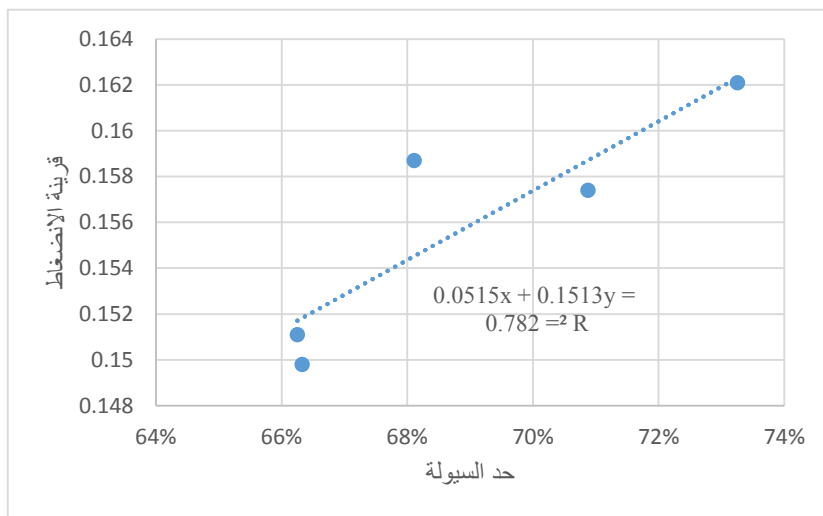
### علاقة حد السيولة مع قرينة الانضغاط Cc للترب المشبعة جزئياً



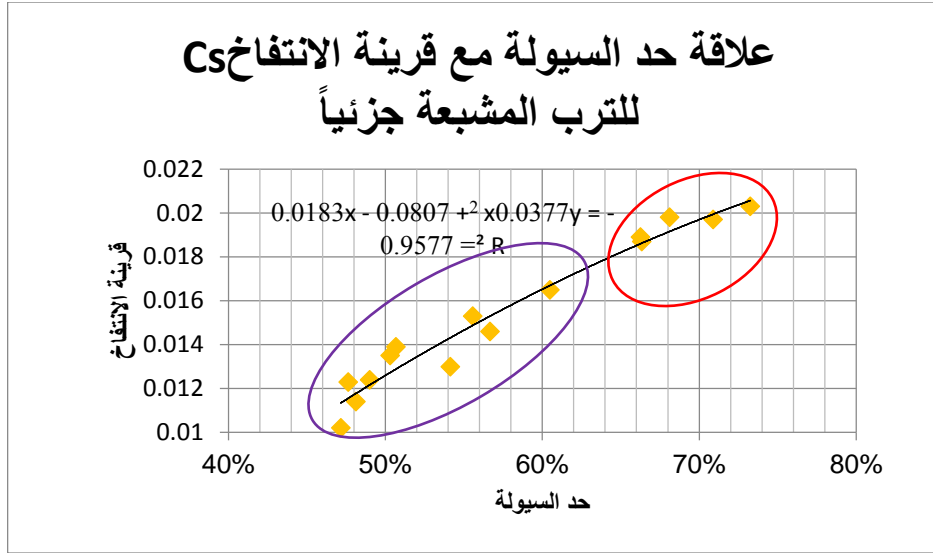
الشكل (4- 26) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين



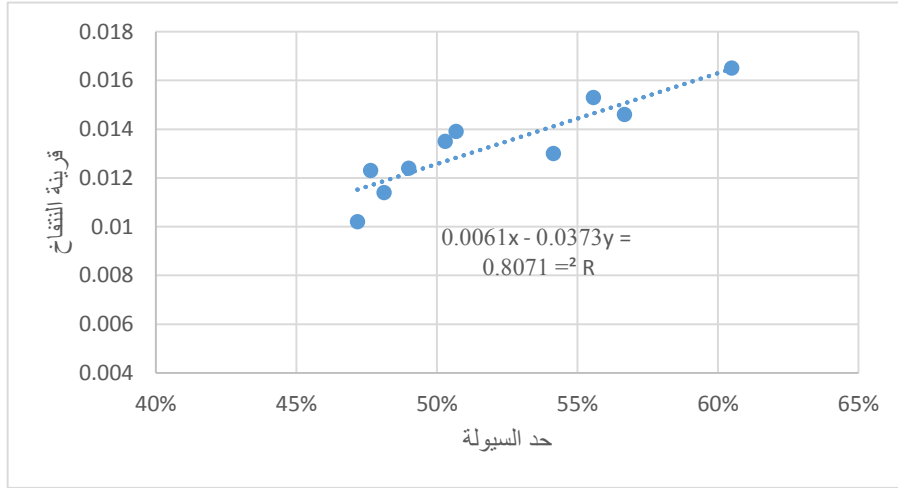
الشكل (4- 27) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أقل من 60%



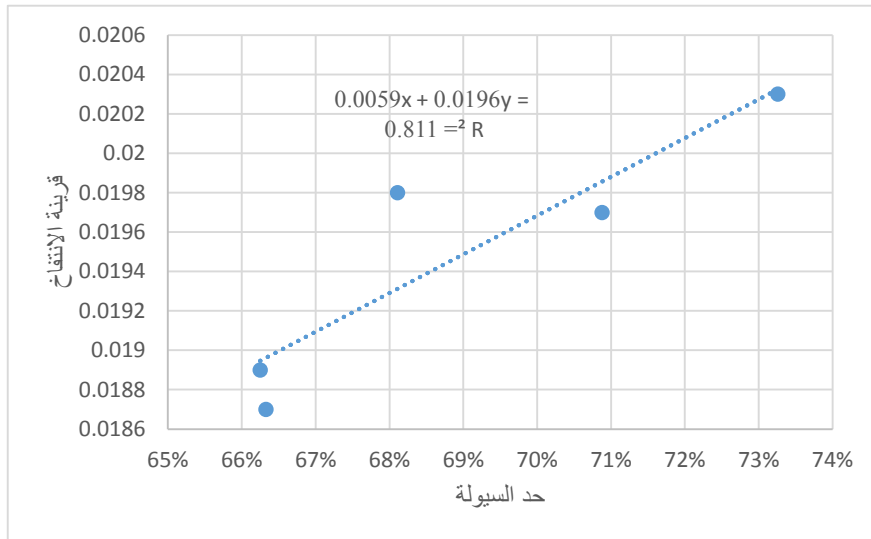
الشكل (4- 28) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانضغاط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



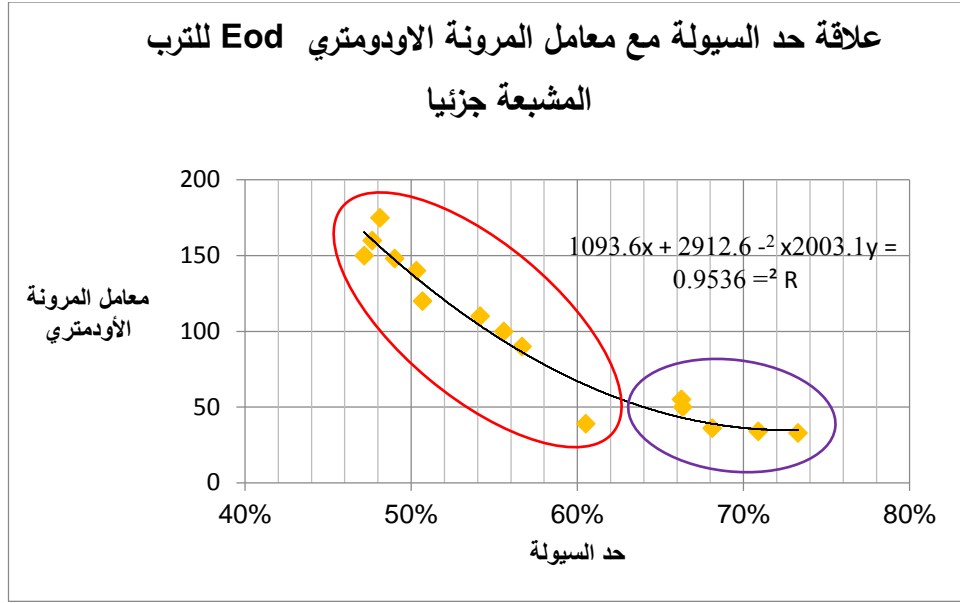
الشكل (4- 29) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين



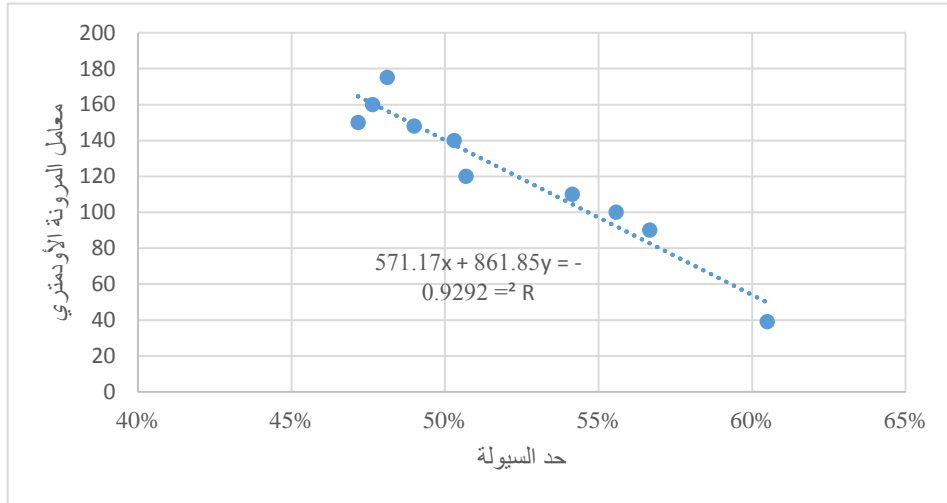
الشكل (4- 30) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أقل من 60%



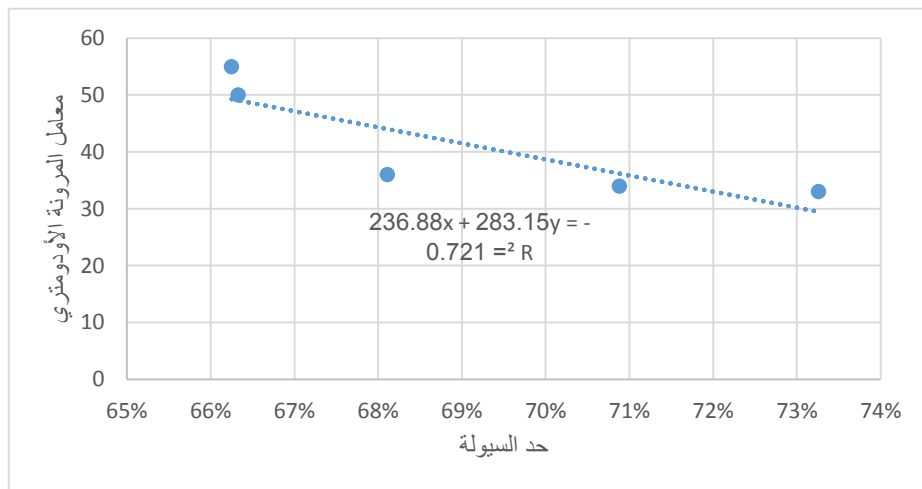
الشكل (4- 31) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



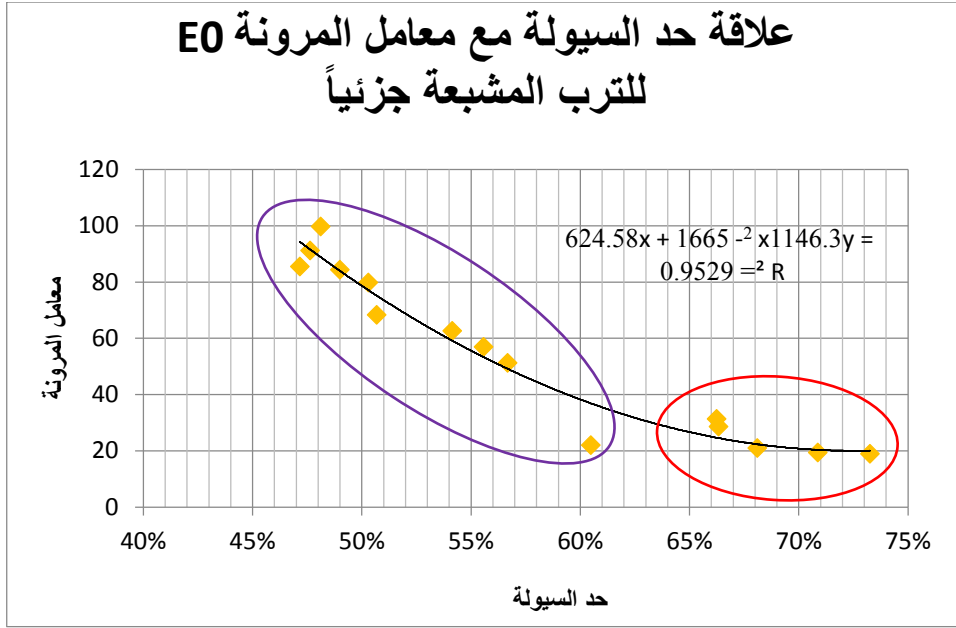
الشكل (4- 32) علاقة حد السيولة مع معامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين



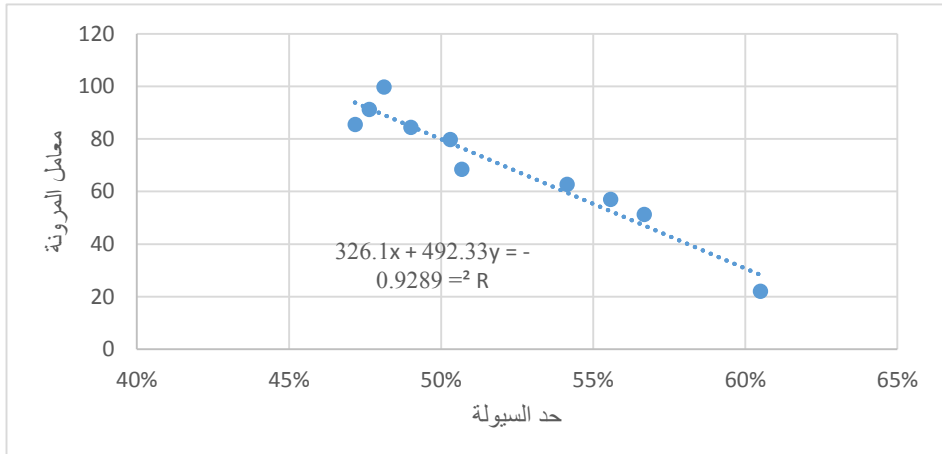
الشكل (4- 33) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أقل من 60%



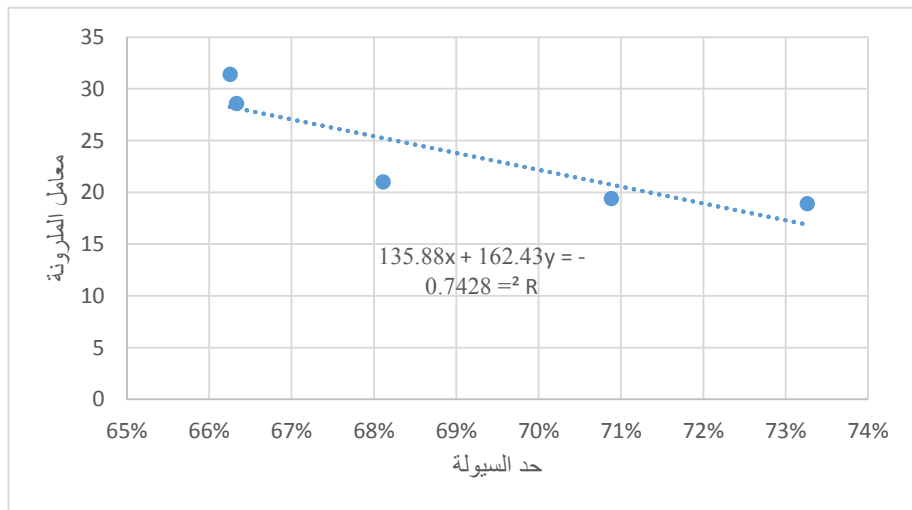
الشكل (4- 34) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



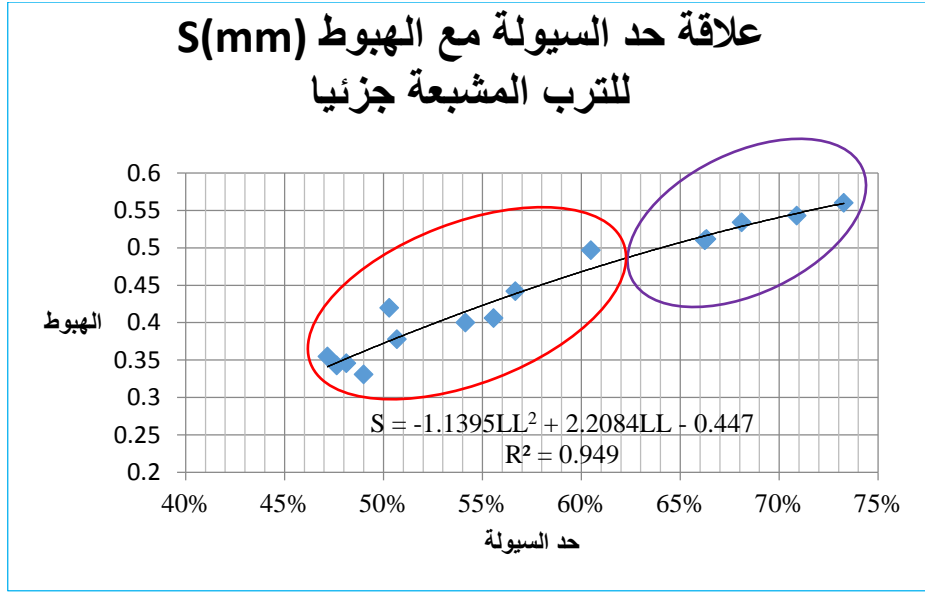
الشكل (4-35) علاقة حد السيولة مع معامل المرونة للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين



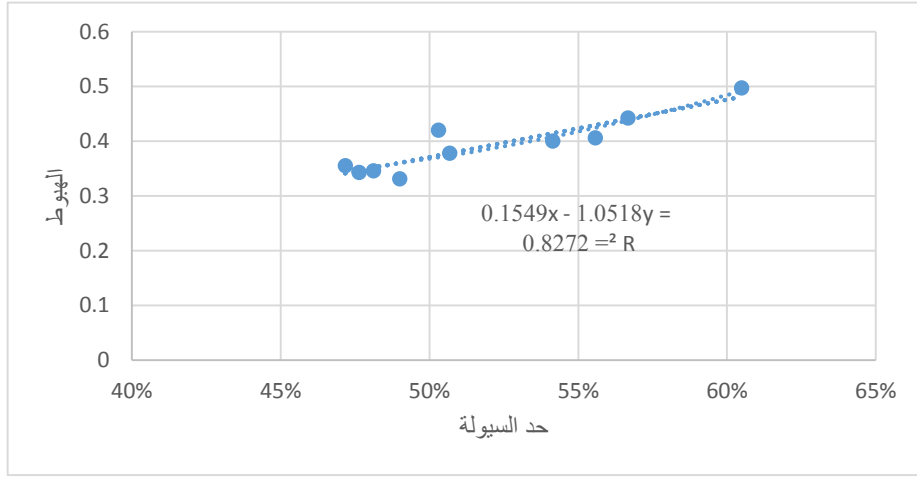
الشكل (4-36) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أقل من 60%



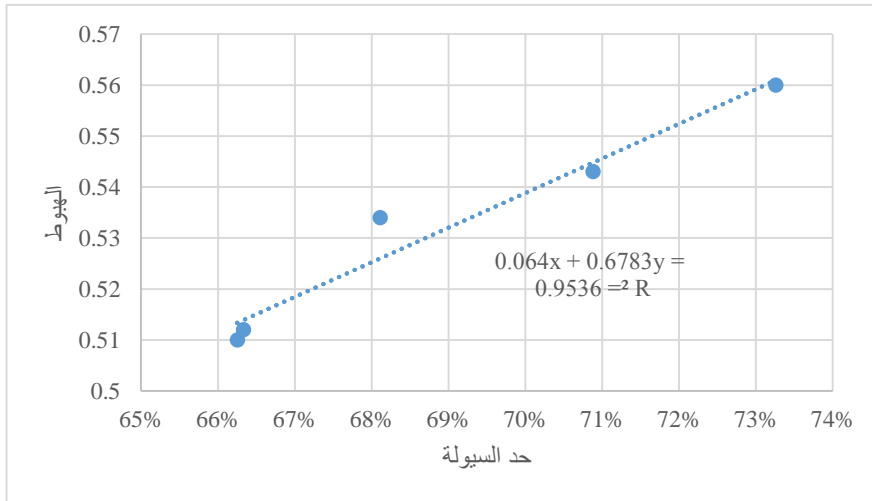
الشكل (4-37) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة من أجل حدود سيولة أكبر من 60%



الشكل (4-38) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة جزئياً حيث قسمنا العينات لقسمين



الشكل (4-39) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أقل من 60%



الشكل (4-40) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط من أجل حدود سيولة أكبر من 60%

بالمقارنة مع العلاقات التجريبية من الدراسات السابقة:

$$Cc = 0.40(e_0 - 0.25) \quad \text{Azzouze et al.,1976} \quad -(1)$$

$$Cc = 0.01(w - 5) \quad \text{Azzouze et al.,1976} \quad -(2)$$

$$Cc = 0.37(e + 0.00373LL - 0.34) \quad \text{Azzouze et al.,197} \quad -(3)$$

حيث: W : محتوى الرطوبة الطبيعية

LL: حد السيولة

e<sub>0</sub> : معامل المسامية البدائي

ولقد حصلنا على الجدول التالي الذي يظهر قيم قرينة الانضغاط:

LL	e	W	Cc مخبري قبل الفصل	Cc مخبري بعد الفصل	Cc1	Cc2	Cc3
%47.17	0.81	%29.03	0.1424	0.14025	0.224	0.24	0.23
%50.68	0.67	%23.44	0.1554	0.1588	0.168	0.1844	0.192
%54.14	0.734	%24.89	0.1741	0.2869	0.194	0.199	0.206
%66.33	0.86	%29.62	0.2856	0.2837	0.224	0.2462	0.284
%70.88	0.884	%32.87	0.3455	0.3494	0.254	0.279	0.28
%73.26	0.92	%34.12	0.3808	0.3838	0.268	0.2912	0.316

وبالتالي سنعمد بعد هذا الجدول المخططات الكاملة دون فصل لتقارب القيم التجريبية مع القيم المرجعية، والقيم نتجت منطقية لقيم حد السيولة بين ال 50 إلى 66 تقريباً.

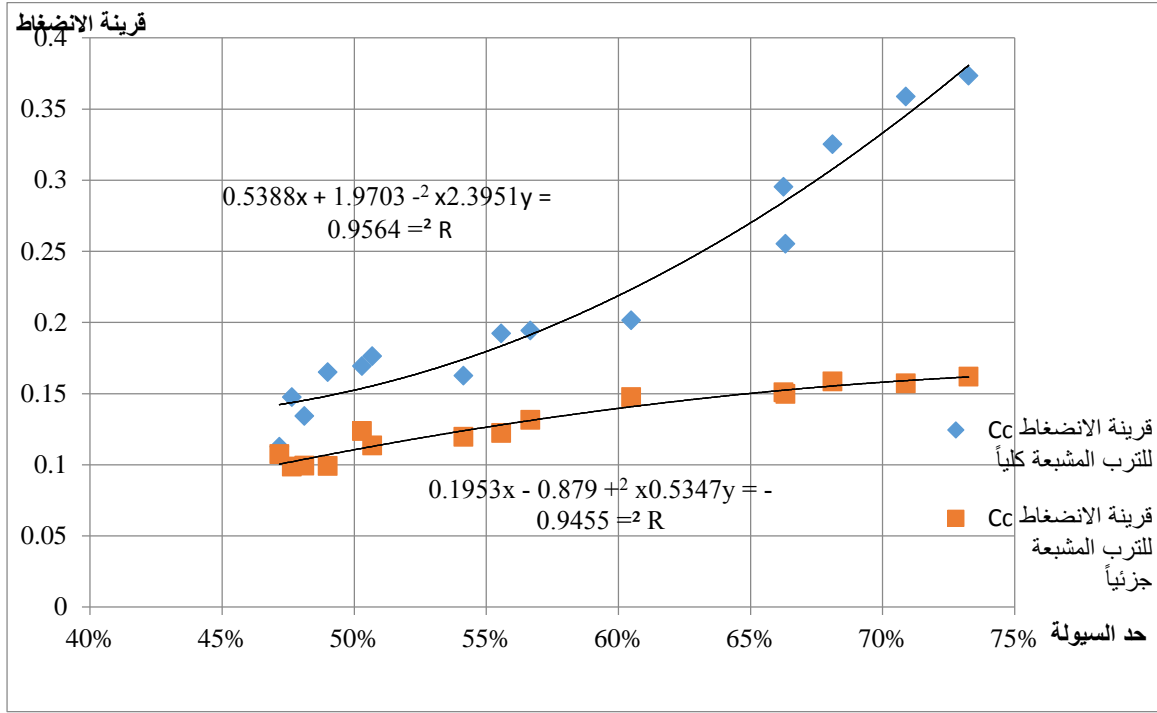
بمقارنة درجتي الإشباع لحالة الإشباع الكلي والإشباع الجزئي وجدنا الخلاف موضح بالجدول  
(1-4) كالتالي:

الجدول (1-4) يبين النسبة بين درجتي الإشباع

النسبة بين درجتي الإشباع	درجة الاشباع الجزئي	درجة الاشباع الكلي
82.98	75.68%	91.20%
76.81	71.43%	92.99%
77.32	75.43%	97.56%
79.99	79.99%	100.00%
78.78	76.76%	97.44%
75.64	70.47%	93.17%
78.67	77.09%	97.99%
79.05	78.62%	99.45%
79.05	77.99%	98.65%
77.30	71.20%	92.11%
74.43	72.04%	96.79%
78.45	75.45%	96.17%
80.47	79.76%	99.12%
76.70	74.05%	96.55%
78.97	78.17%	98.99%



## 4-2- تحليل النتائج:



الشكل (41-4) يبين العلاقة حد السيولة وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما

من هذا المخطط نلاحظ العلاقة التي تربط قرينة الانضغاط مع حد السيولة، وهذا المخطط يبين أن التابع الرياضي الذي يعبر عن هذه العلاقة في الترب المشبعة كلياً هو تابع متزايد، أي أن قرينة الانضغاط تزداد كلما زادت قيم حد السيولة، الأمر الذي يؤكد الخاصية الفيزيائية التي تمتلكها التربة وهذا يتعلق أيضاً بدرجة إشباع التربة، وعليه فإن قرينة الانضغاط هي بارامتر من البارامترات الذي يدخل في حساب قيم الهبوط لمثل هذا النوع من الترب.

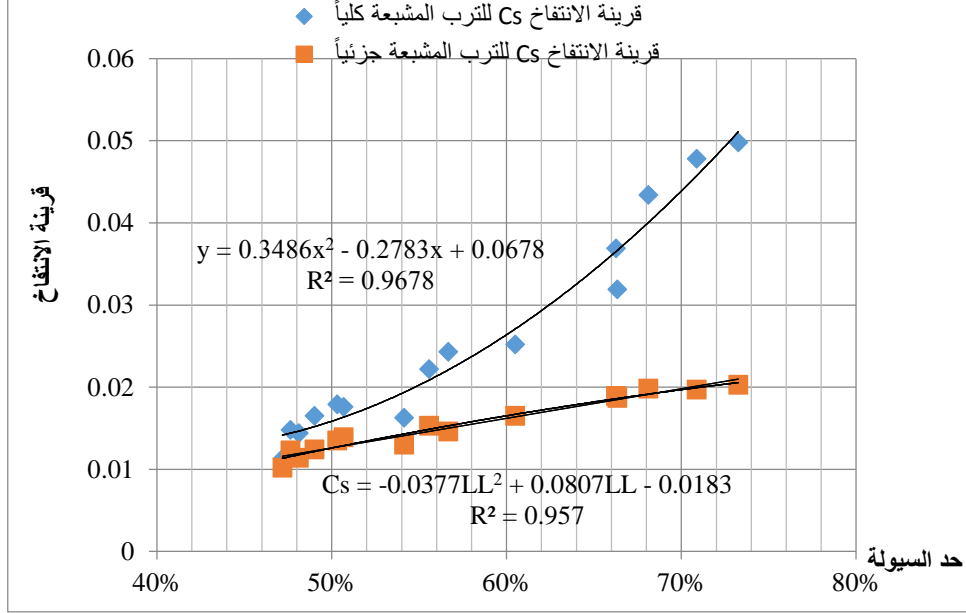
وهذا يعني أن قيم الهبوط ستزداد وهي نتيجة طبيعية للخاصة الفيزيائية، ونلاحظ أن قيم الزيادة لهذا المخطط هي ما بين 0.15 إلى 0.35 بمعنى أن قيم الزيادة هي بحدود 0.2.

أما لو نظرنا إلى قيم قرينة الانضغاط في حالة الترب غير المشبعة (المشبعة جزئياً)، فنجد أن التابع الرياضي الذي يمثل هذه الزيادة يختلف من حيث جهة التقعر، هذا من جهة ومن جهة

أخرى نلاحظ أن قيم الزيادة الخاصة بقرينة الانضغاط مع تزايد حد السيولة نجدها ما بين 0.1 إلى 0.16؛ بمعنى أن قيم الزيادة هي بحدود 0.06.

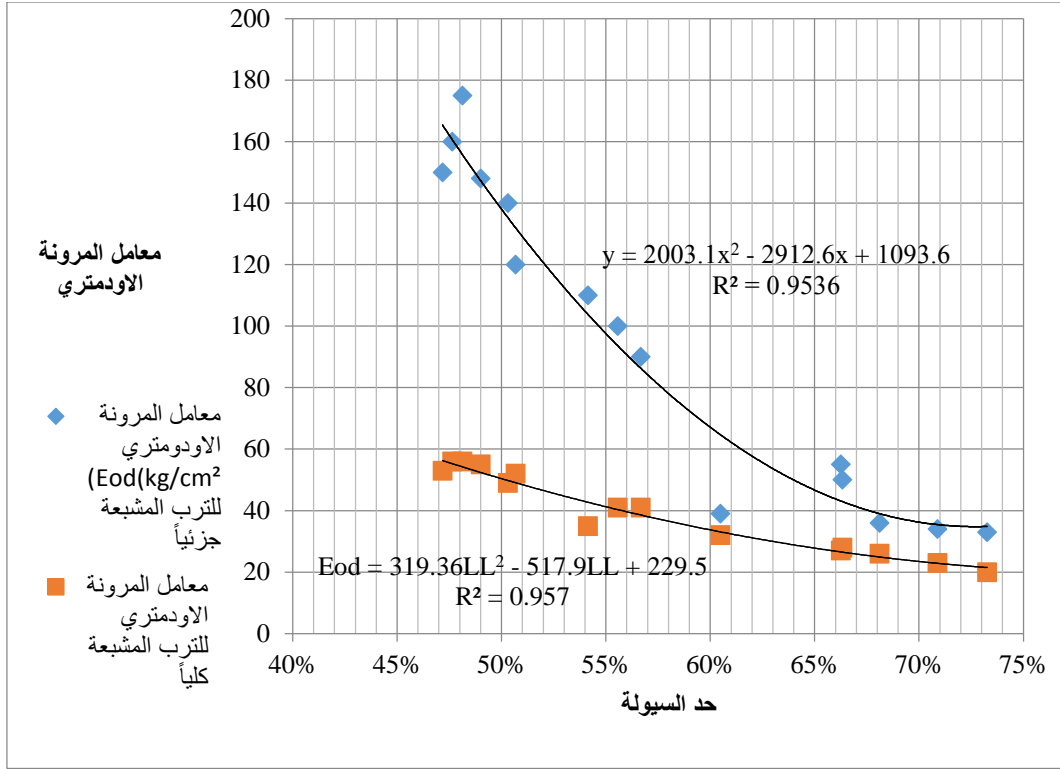
هذا يعطي أن قرينة الانضغاط بحال الترب المشبعة جزئياً وتزايدها مع تزايد حد السيولة هي أقل من حال الترب المشبعة كلياً، هذا من جهة ومن جهة أخرى انعكاسه على سلوك التربة فنجد أن قيم الانضغاط بحال الترب المشبعة ستكون أكبر من حال الترب المشبعة جزئياً.

هذا الأمر يفودنا إلى أنه في حال بناء المنشآت يجب الاهتمام بدراسة وضع المياه في التربة، والمحافظة على عدم إشباع التربة لكي تكون قيم الهبوط التي تستخدم في حساب وتصميم الأساسات تنتج حلاً اقتصادياً، ولكن هذا الأمر يحتاج إلى مراقبة دورية ووضع نظام تصريف يحقق هذا الشرط.



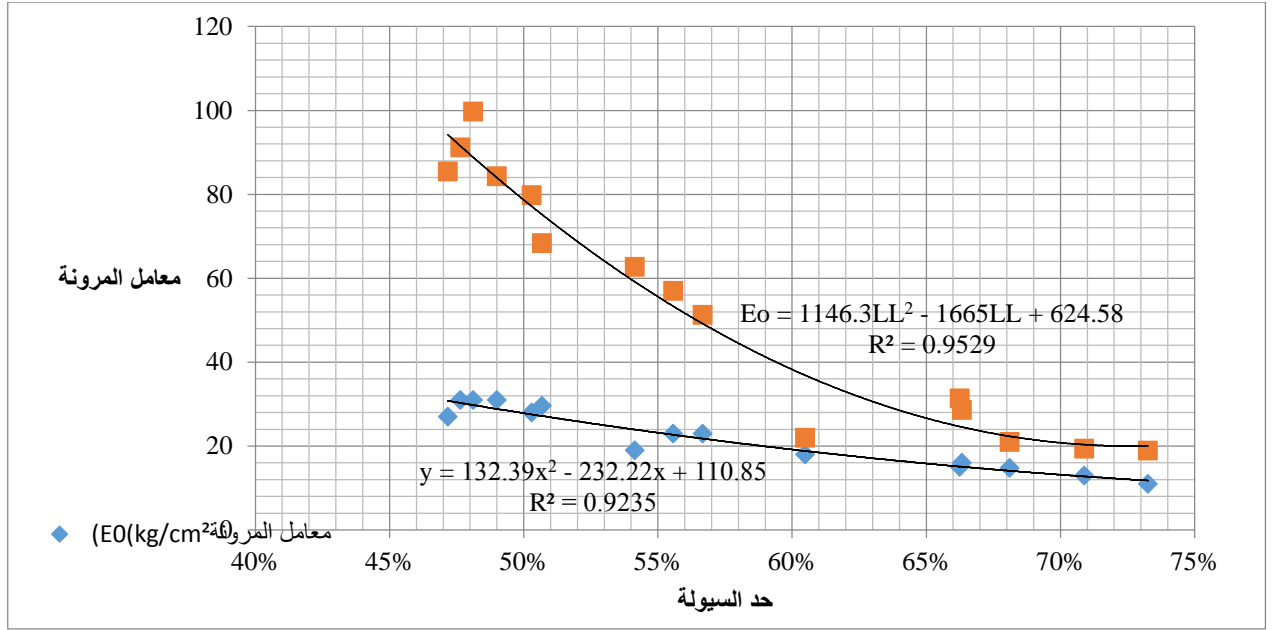
الشكل (4-42) يبين العلاقة بين حد السيولة وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما

يبين المخطط (4-42) العلاقة بين قرينة الانتفاخ وحد السيولة لكل من الترب المشبعة كلياً وجزئياً، حيث نجد أن قرينة الانتفاخ للترب المشبعة كلياً أعلى منها للترب المشبعة جزئياً، كما نلاحظ أن قرينة الانتفاخ متقاربة ما بين الترب المشبعة كلياً والترب المشبعة جزئياً بحدود سيولة صغيرة نسبياً، ويزداد الفرق بقيم قرينة الانتفاخ كلما ازداد حد السيولة، حيث في الترب المشبعة كلياً قيم الزيادة لهذا المخطط ما بين 0.015 إلى 0.05 بمعنى أن قيم الزيادة هي بحدود 0.035 أما في الترب المشبعة جزئياً قيم الزيادة لهذا المخطط ما بين 0.012 إلى 0.02 بمعنى أن قيم الزيادة هي بحدود 0.008. يعود تفسير ذلك بأن تأثير حد السيولة في الترب المشبعة كلياً في تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية كبير جداً، الذي يؤثر بدوره على عوامل المتانة المتمثلة بقرينة الانتفاخ. أما في الترب المشبعة جزئياً فنلاحظ أن زيادة حد السيولة ليس له التأثير الكبير، بسبب احتواء التربة بالأصل على فراغات غير مملوءة بالماء، لذلك فإن العوامل التي تؤثر على المتانة المتمثلة بقرينة الانتفاخ صغيرة نسبياً.



الشكل (4-43) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة الأودومتري للتراب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما

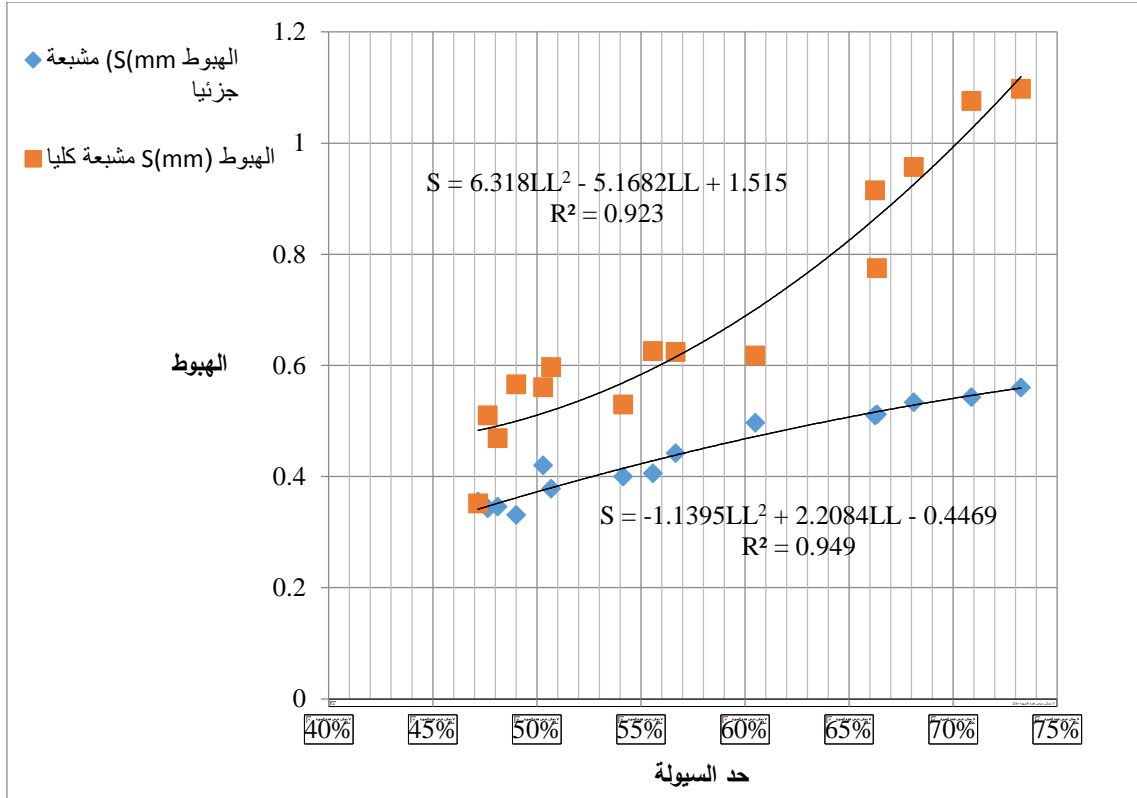
يوضح المخطط (4-43) أن قيم معامل المرونة الأودومتري للتراب المشبعة جزئياً أعلى من قيمه في حالة التراب المشبعة كلياً، كما نلاحظ أن معامل المرونة الأودومتري يكون متباعد ما بين التراب المشبعة كلياً والتراب المشبعة جزئياً بحدود سيولة صغيرة نسبياً؛ ويقل الفرق بقيم معامل المرونة الأودومتري ليصبح المنحنيان متقاربين كلما ازداد حد السيولة، حيث في التراب المشبعة كلياً قيم النقصان لهذا المخطط ما بين 55 إلى 20 بمعنى أن قيم النقصان هي بحدود 35، أما في التراب المشبعة جزئياً قيم النقصان لهذا المخطط ما بين 160 إلى 40 بمعنى أن قيم النقصان هي بحدود 120. يعود تفسير ذلك بأن تأثير حد السيولة في التراب المشبعة كلياً على تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية كبير جداً، الأمر المؤثر على عوامل المتانة، كما يزداد التشوه وبالتالي تقل قيم معاملي المرونة والمرونة الأودومتري، ذلك لأن معامل المرونة الأودومتري كعلاقة رياضية يتناسب عكسياً مع التشوه. أما في التراب المشبعة جزئياً فنلاحظ أن زيادة حد السيولة ليس له التأثير الكبير، بسبب احتواء التربة بالأصل على فراغات غير مملوءة بالماء وبالتالي فإن العوامل التي تؤثر على المتانة صغيرة نسبياً، لذلك يكون التشوه أقل من تشوه التراب المشبعة كلياً، بالتالي معاملي المرونة للتراب المشبعة جزئياً أكبر منه للتراب المشبعة كلياً كنتيجة رياضية.



الشكل (44-4) يبين العلاقة بين حد السيولة ومعامل المرونة للتربة المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما

يوضح المخطط (44-4) أن قيم معامل المرونة للتربة المشبعة جزئياً أعلى من قيمه في حالة التربة المشبعة كلياً، كما نلاحظ أن معامل المرونة يكون متباعد ما بين التربة المشبعة كلياً والتربة المشبعة جزئياً بحدود سيولة صغيرة نسبياً؛ ويقبل الفرق بقيم معامل المرونة ليصبح المنحنيان متقاربان كلما ازداد حد السيولة، حيث في التربة المشبعة كلياً قيم النقصان لهذا المخطط ما بين 30 إلى 10 بمعنى أن قيم النقصان هي بحدود 20، أما في التربة المشبعة جزئياً قيم النقصان لهذا المخطط ما بين 100 إلى 20 بمعنى أن قيم النقصان هي بحدود 80.

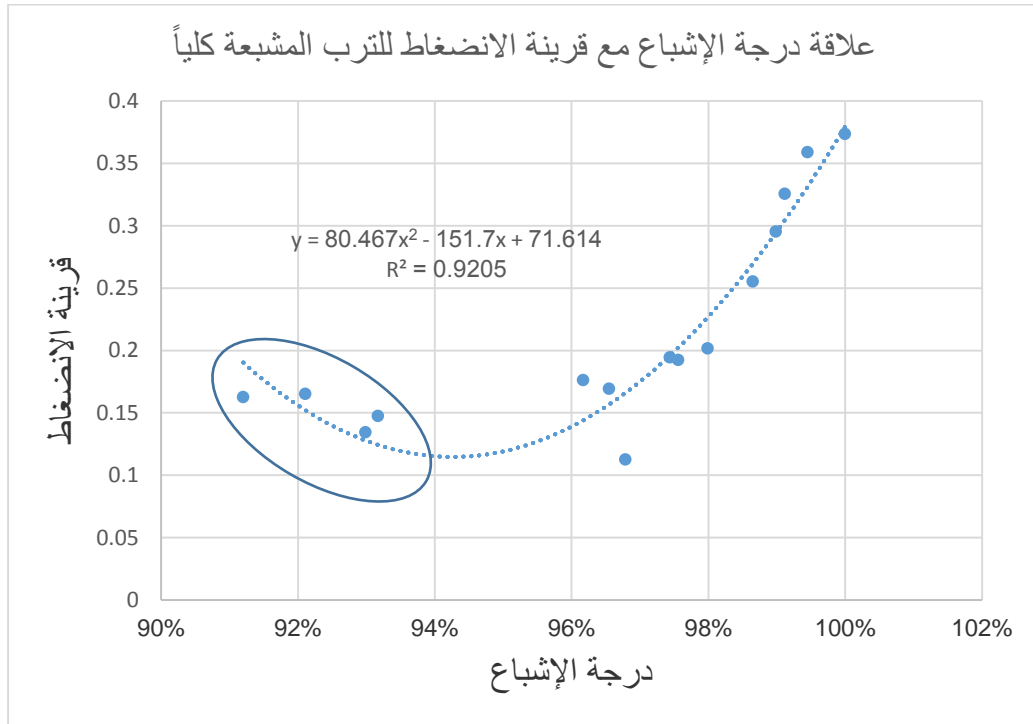
وكنتيجة للمخططين السابقين متانة التربة المشبعة جزئياً كبيرة مقارنة مع التربة المشبعة كلياً بسبب نقصان قيم معامل المرونة، حيث في التربة المشبعة جزئياً تكون القيم أكبر بكثير من القيم بحالة التربة المشبعة كلياً، ونلاحظ أن هذا الفرق يزيد بحدود أربع مرات بالنسبة لمعامل المرونة، وكذلك الفرق يزيد بحدود أربع مرات بالنسبة لمعامل المرونة الأودومتري.



شكل (4-4) يبين العلاقة بين حد السيولة والهبوط للترب المشبعة كلياً وجزئياً والمقارنة بينهما

بالنتيجة نلاحظ أن التعامل مع الترب غير المشبعة يتطلب إجراءات مراقبة وإجراءات لتأمين المحافظة على الرطوبة بحيث لا تصل إلى درجة الإشباع. إن هذا الأمر يمكن السيطرة عليه من المياه الخارجية أما تأثير المياه الجوفية فيصعب مراقبته، وبالتالي فإن المحافظة على تربة غير مشبعة في هذه الحالة يصبح أمراً مستحيلاً أو أنه مكلف اقتصادياً.

#### 4-3- علاقة درجة الإشباع مع البارامترات للترب المشبعة كلياً:



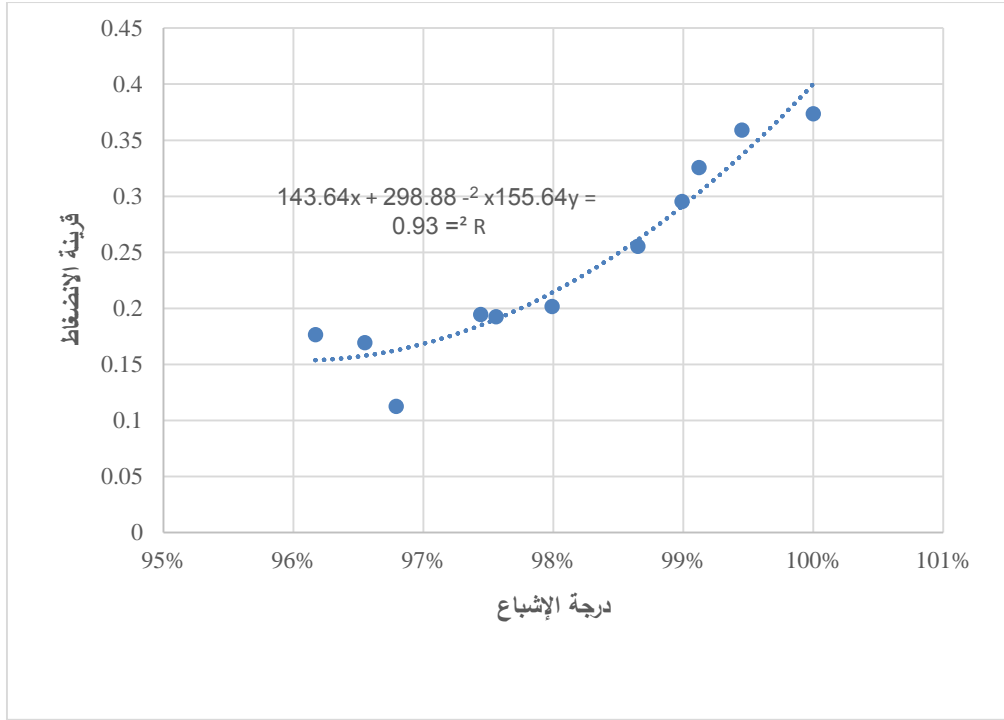
الشكل (4-4) يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانضغاط للترب المشبعة كلياً

من خلال المخطط الذي يوضح العلاقة بين قرينة الانضغاط ودرجة الإشباع نلاحظ أن المنحني يمر بثلاثة مراحل:

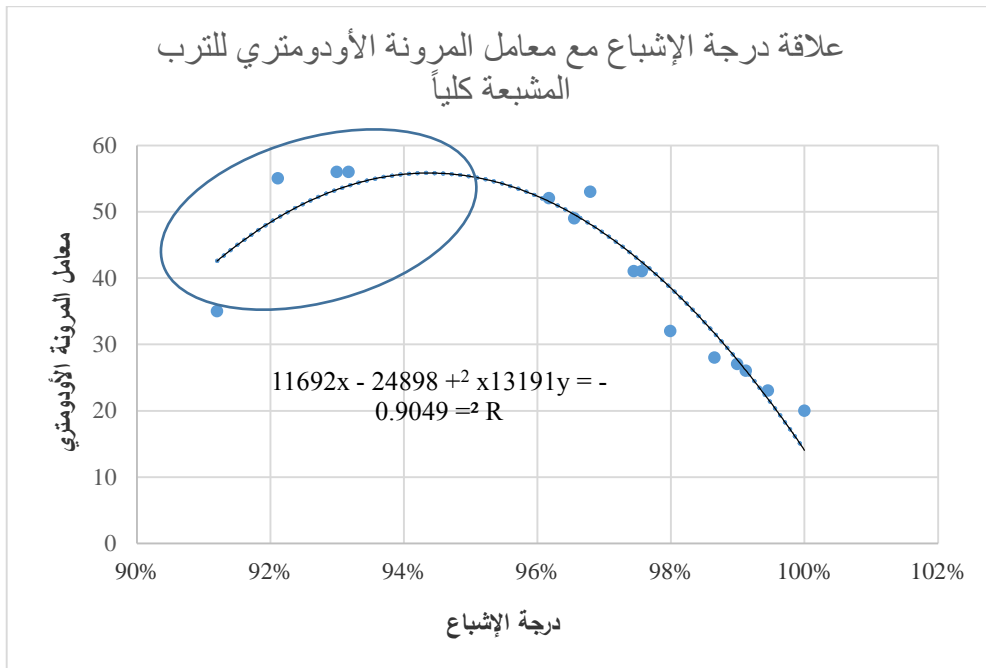
المرحلة الأولى: تتمثل بانخفاض قيم قرينة الانضغاط مع تزايد درجة الإشباع.

المرحلة الثانية: هي مرحلة الثبات وهي مرحلة صغيرة.

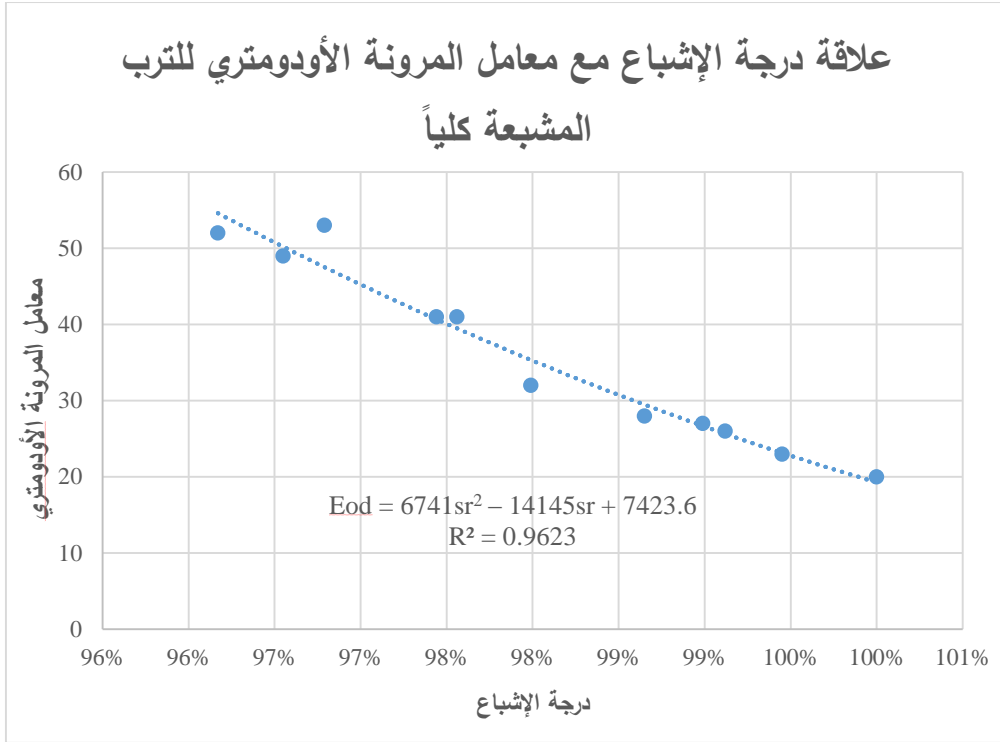
المرحلة الثالثة: تتضمن زيادة قرينة الانضغاط مع تزايد درجة الإشباع، وهذا الأمر يذكرنا بحادثة الهبوط الأولي والهبوط الثاني مع الزمن للترب الغضارية، أي أن العلاقة تعطينا نصف قطر انحناء صغير جداً يحدد لنا قيم درجة الإشباع العظمى التي توافق قرينة الانضغاط الصغرى، والتي يجب المحافظة عليها لكي يكون سلوك التربة ومنانتها مقبولتين من الناحية التصميمية.



الشكل (47-4) علاقة درجة الإشباع مع قربنة الانضغاط بعد إزالة درجات الإشباع الأقل من 95%

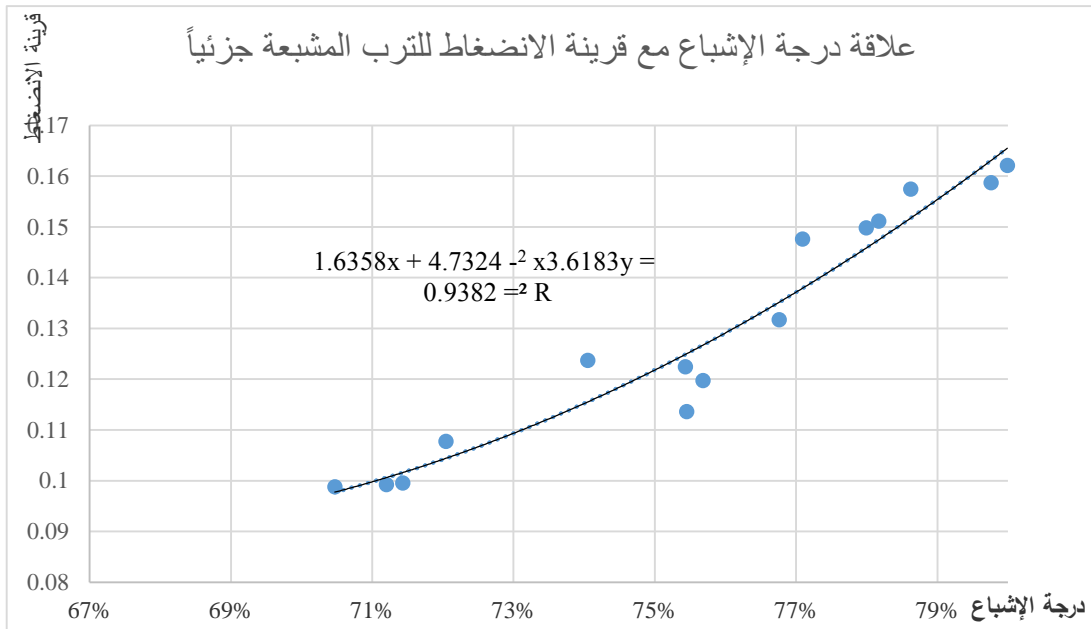


الشكل (48-4) يبين العلاقة بين درجة الإشباع ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة كلياً



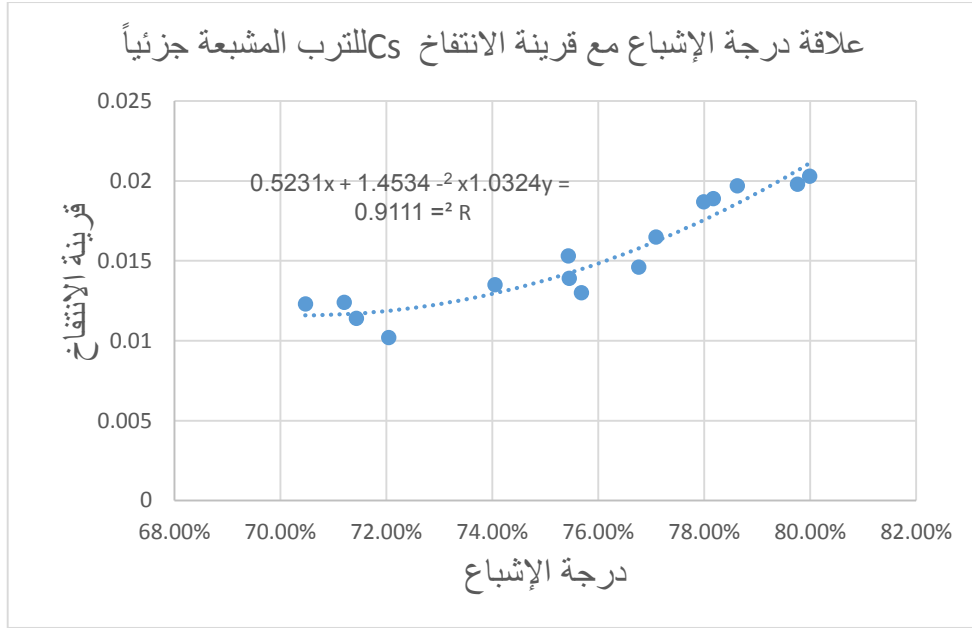
الشكل (49-4) علاقة درجة الإشباع مع معامل المرونة الأودومتري بعد إزالة درجات الإشباع الأقل من 95%

#### 4-4-4- علاقة درجة الإشباع مع البارامترات للترب المشبعة جزئياً:

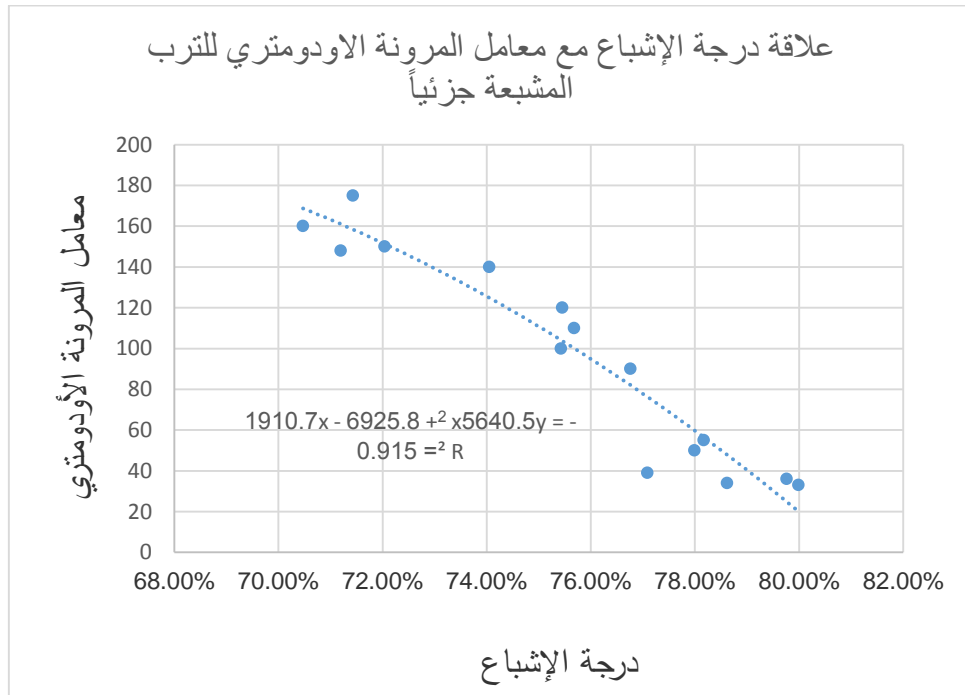


الشكل (50-4) يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانضغاط للترب المشبعة جزئياً





الشكل (4-51) يبين العلاقة بين درجة الإشباع وقرينة الانتفاخ للترب المشبعة جزئياً



الشكل (4-52) يبين العلاقة بين درجة الإشباع ومعامل المرونة الأودومتري للترب المشبعة جزئياً

وبالتالي رسمنا في هذا الفصل المخططات البيانية، وحصلنا منها على العلاقات الرياضية اللازمة، وسيوضح ذلك بالفصل اللاحق الذي يبين القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث.

## الفصل الخامس الاستنتاجات

## 5-الإستنتاجات:

1-أكدت نتائج التجارب أن Cc تزداد مع زيادة LL وذلك للترب المشبعة وغير المشبعة وتكون القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث كالتالي:

المشبعة كلياً:

$$Cc=2.3965LL^2 -1.972LL+0.5393$$
$$R^2=0.9564$$

المشبعة جزئياً:

$$Cc=-0.5347LL^2+0.879LL-0.1953$$
$$R^2=0.9455$$

2-وبشكل عام وجدنا أن Cc للترب المشبعة كلياً أكبر منها للترب المشبعة جزئياً.  
3-أكدت نتائج التجارب أن Cs تزداد مع زيادة LL وذلك للترب المشبعة وغير المشبعة، وتكون القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث كالتالي:

المشبعة كلياً:

$$Cs=0.3486LL^2 -0.2783LL+0.0678$$
$$R^2=0.9678$$

المشبعة جزئياً:

$$Cs=-0.0377LL^2+0.0807LL-0.0183$$
$$R^2=0.9577$$

4-وبشكل عام وجدنا أن Cs للترب المشبعة كلياً أكبر منها للترب المشبعة جزئياً.  
5-أكدت نتائج التجارب أن Eod تتناقص مع زيادة LL وذلك للترب المشبعة وغير المشبعة، وتكون القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث كالتالي:

المشبعة كلياً:

$$Eod=319.36LL^2 -517.9LL+229.5$$
$$R^2=0.9572$$

المشبعة جزئياً:

$$Eod=2003.1LL^2 -2912.6LL+1093.6$$
$$R^2=0.9536$$

6-وبشكل عام وجدنا أن Eod للترب المشبعة كلياً أقل منها للترب المشبعة جزئياً.

7- أكدت نتائج التجارب أن E0 تتناقص مع زيادة LL وذلك للترب المشبعة وغير المشبعة، وتكون القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث كالتالي:

المشبعة كلياً:

$$E0=132.39LL^2 -232.22LL+110.85$$
$$R^2=0.9235$$

المشبعة جزئياً:

$$E0=1146.3LL^2 -1665LL+624.58$$
$$R^2=0.9529$$

8- وبشكل عام وجدنا أن E0 للترب المشبعة كلياً أقل منها للترب المشبعة جزئياً.

9- أكدت نتائج التجارب أن الهبوط يزداد مع زيادة LL وذلك للترب المشبعة وغير المشبعة وتكون القوانين وفق الموديلات الرياضية التي تم استنتاجها من المنحنيات في هذا البحث كالتالي:

المشبعة كلياً:

$$S=6.318LL^2 -5.1682LL+1.515$$
$$R^2=0.9231$$

المشبعة جزئياً:

$$S=-1.1395LL^2 +2.2084LL-0.4469$$
$$R^2=0.9498$$

10- وبشكل عام وجدنا أن الهبوط للترب المشبعة كلياً أكبر منها للترب المشبعة جزئياً.

وسنقوم بعرض جداول لمقارنة نتائج الترب المشبعة كلياً مع الترب المشبعة جزئياً كالتالي:

الجدول (1-5) مقارنة الهبوط لنوعي الترب

الهبوط للترب المشبعة جزئياً	الهبوط للترب المشبعة كلياً	حد السيولة
0.4	0.5298	%54.14
0.346	0.469	%48.12
0.406	0.626	%55.57
0.56	1.098	%73.26
0.442	0.624	%56.67
0.343	0.51	%47.64
0.497	0.618	%60.49
0.543	1.076	%70.88
0.512	0.775	%66.33
0.331	0.566	%49.00
0.355	0.352	%47.17
0.378	0.597	%50.68
0.534	0.957	%68.11
0.42	0.561	%50.30
0.51	0.915	%66.25

الجدول (2-5) مقارنة قرينة الانضغاط لنوعي الترب

حد السيولة	Cc للترب المشبعة كلياً	Cc للترب المشبعة جزئياً
%54.14	0.1627	0.1197
%48.12	0.1344	0.0995
%55.57	0.1925	0.1224
%73.26	0.3735	0.1621
%56.67	0.1945	0.1317
%47.64	0.1476	0.0988
%60.49	0.2016	0.1476
%70.88	0.3589	0.1574
%66.33	0.2554	0.1498
%49.00	0.1653	0.0992
%47.17	0.1127	0.1077
%50.68	0.1764	0.1136
%68.11	0.3255	0.1586
%50.30	0.1694	0.1237
%66.25	0.2954	0.1511

الجدول (3-5) مقارنة معامل المرونة لنوعي الترب

حد السيولة	E للترب المشبعة كلياً	E للترب المشبعة جزئياً
%54.14	19	62.7
%48.12	31	99.75
%55.57	23	57
%73.26	11	18.94
%56.67	23	51.3
%47.64	31	91.2
%60.49	18	22
%70.88	13	19.4
%66.33	16	28.6
%49.00	31	84.36
%47.17	27	85.5
%50.68	29.6	68.4
%68.11	14.8	21
%50.30	28	79.8
%66.25	15	31.4

## النتيجة العامة:

في الترب المشبعة كلياً تؤثر حد السيولة بشكل كبير جداً في تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية، الأمر الذي يؤثر بدوره على عوامل المتانة. أما في الترب المشبعة جزئياً فزيادة حد السيولة ليس له التأثير الكبير بسبب احتواء التربة بالأصل على فراغات غير مملوءة بالماء.

متانة التربة المشبعة جزئياً كبيرة مقارنة مع الترب المشبعة كلياً بسبب نقصان قيم معامل المرونة. من خلال ما سبق يمكن استخدام هذه العلاقات ضمن حدود التربة المدروسة وذلك بهدف معرفة البارامترات التالية:

قرينة الانضغاط  $C_c$ ، قرينة الانتفاخ  $C_s$ ، معامل المرونة  $E$ ، معامل المرونة الأودومتري  $E_{od}$  والهبوط  $S$ .

وكما نلاحظ أن التعامل مع الترب غير المشبعة يتطلب إجراءات مراقبة، وإجراءات لتأمين المحافظة على الرطوبة بحيث لا تصل إلى درجة الإشباع. إن هذا الأمر يمكن السيطرة عليه من المياه الخارجية أما تأثير المياه الجوفية فيصعب مراقبته، وبالتالي فإن المحافظة على تربة غير مشبعة في هذه الحالة يصبح أمراً مستحيلاً أو أنه مكلف اقتصادياً.

لا بد من القيام بتجارب أخرى من مناطق أخرى للتأكد من هذه التجارب ومقارنتها.



## الفصل السادس

### المراجع

## 6-المراجع References:

### أولاً-المراجع العربية:

- 1-ميكانيك التربة- د. حنا يني، 1989- منشورات جامعة دمشق.
- 2-ميكانيك التربة- د. ابراهيم حمود، 2015 - محاضرات السنة الثالثة.
- 3-العملي في ميكانيك التربة-د. وليد كنعان، 1992 - منشورات جامعة دمشق.

### ثانياً-المراجع الأجنبية:

- 1- Das B M (2006).Principles of geotechnical engineering. 5<sup>th</sup> edition, THOMSON, Australia, chapter 10, pp.259, 269-293.
- 2- Fredlund D G (1996). The Emergence of Unsaturated Soil Mechanics. Forth Spenser J Buchanan Lecture, Texas A & M, College Station, Texas, November 8, pp.8-14.
- 3- Fredlund M D (1999). The Role of Unsaturated soil property Functions in the Practice of Unsaturated Soil Mechanics. PhD Thesis, Chapter 3, pp.29-30.
- 4- Georgiadis K (2003). Develoment Implementation and Application of Partially Saturated Soil Models in Finite Element Analysis. PhD Thesis, Chapter 2 , pp. 21-33, pp. 70.
- 5-Lambe T W, Whitman R V (1969). Soil mechanics. Joein Wiley & Sons, New York, chapter 27, pp 404.
- 6- Noor Md., MJ. , Jidin R. Mat., Hafes M.A. (2008) .Effective stress and complex soil settlement behavior. EJGE, volume 13, pp. 1-4.
- 7-American for Testing and Materials.
- 8-Soil Mechanics T.H.WW 1966.