

٢٠١٠/٥/٢٢

د. محمد علي محمد



٢

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والإنشاءات
فرع الطرق والجسور

قياس الضغط الانتفاخي للتربة بطرق مختلفة

مشروع مقدم إلى الجامعة التكنولوجية

قسم هندسة البناء والإنشاءات – فرع الطرق والجسور –

كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في هندسة البناء والإنشاءات

إعداد

سيف الدين أحمد عبد الله

عمر إبراهيم حسين

إشراف

أ. م. د. محمد مصطفى محمود

2010 – 2009



مرفق ✓

الفصل الأول

المقدمة

تمتلك بعض الترب الطبيعية المشبعة جزئياً بالماء قابلية على تغير حجمها بتغير محتوى رطوبتها فتنتفخ (swell) عند زيادة محتوى الرطوبة وتتكشف (shrinkage) عند انخفاض محتوى الرطوبة، تعرف تلك الترب بالترب الانتفاخية (swelling soils). يمكن تعريف الترب الانتفاخية بأنها تلك الترب البلاستيكية المشبعة جزئياً والتي تحقق تغيير حجمي عالي عند تغيير ظروفها البيئية، وخصائص التغيير الحجمي تتباين مع نوع وكمية المعادن المتواجدة في التربة.

إن التغيير الحجمي لهذه الترب له اثر سلبي على المنشآت المشيدة على هذه النوعية من الترب وقد يصل التأثير السلبي لهذه الترب إلى درجة تتمثل بحصول التشققات في أسس الأبنية تتبعها تشققات في الجدران المشيدة عليها.

لقد ميزت ظاهرة الانتفاخ من قبل مكتب الاستصلاح الأمريكي (U.S. Bureau of Reclamation) في أواخر سنة 1938 بعد أن كان تفسير حركة التربة أسفل اسس المباني مبنياً على أساس حدوث الهطول (settlement) في التربة دون معرفه بالحركة الممكن حدوثها في الترب الطينية نتيجة تغير محتوى رطوبتها .

لذلك منذ عام 1938 بدأ التعامل مع ظاهرة الانتفاخ في الترب الطينية المشبعة جزئياً كمشكلة يمكن أن تسبب حالات فشل القص في التربة.

أضرار الترب الانتفاخية

لا يمكن حصر المشاكل التي تعاني منها المنشآت المشيدة على ترب انتفاخية في بلد دون آخر حيث تعتبر مشكلة الانتفاخ في الترب من المشكلات الهندسية العالمية . تأخذ اضرار المنشآت المشيدة على ترب انتفاخية اشكالا عديدة مثل ظهور التشققات في الابنية ، تشوه الأسس والأرضيات وكذلك الأضرار الناتجة في بطانة الخزانات والقنوات الاروائية مما يؤثر على تصرف المنشآت هندسياً وبالتالي تؤثر اقتصاديا على ديمومة المنشأ ، فقد ذكر (Gromko , 1974) ان تكاليف الأضرار السنوية للمنشآت في الولايات المتحدة الأمريكية نتيجة الانتفاخ يصل إلى 2.3 بليون دولار سنوياً وبما يعادل ضعف التكاليف الناتجة عن الأضرار التي تحدثها مؤثرات أخرى كالهزات الأرضية ، الفيضانات ، الأعاصير وغيرها . كما ذكر (chen , 1975) أمثلة عديدة لحالات أضرار الترب الانتفاخية على منشآت دول عديدة ذكر منها (الأرجنتين ، استراليا ، الهند ، إثيوبيا ، فلسطين ، اسبانيا) كما أشار (sharaed , 1972) ان حالات الانخفاض والارتفاع في بنية السدود المائية يرجع احد اسبابه إلى الانتفاخ الحاصل في منطقة لب السد .

تركيب وتكوين الترب الانتفاخية

تتكون الترب الانتفاخية من مجموعته رئيسيه من المعادن الطينية التي تمتلك حبيبات ذات قطر مؤثر يساوي (2 مايكرون) (0.002 mm) أو اقل وتكون هذه الحبيبات الطينية محاصره بطبقات مائية ويمكن التقليل من الماء بواسطة التجفيف بالهواء والذي يؤدي إلى تقليل بسمك الطبقات .

ان معادن الترب الطينية تتكون من ثلاث مجاميع تختلف في قابليتها على الانتفاخ وهي:

1 - مجموعة المونتموريلونايت (Montmorilonite)

وتكون طبيعة الترابط بين جسيمات هذا النوع ضعيفة جداً وذلك لتشابه الشحنات الكهربائية بين السطوح المتجاورة للمعادن مما يتيح الفرصة أمام الماء للدخول بسهولة بين الجزيئات وهذا ما يؤدي إلى تباعدها عن بعضها ومن هنا تأتي القابلية الكبيرة على الانتفاخ مع تغير كمية الرطوبة حيث يعد الـ (Montmorilonite) من أكثر أنواع الطين انتفاخاً ويملك لزوجه عالية عندما يكون رطب بينما يتقلص إلى درجة كبيرة عند الجفاف وتظهر الشقوق واضحة على سطح التربة.

2- مجموعة الـ (illite)

ان تركيب هذا النوع يشابه تركيب الـ (Montmorillonite) مع اختلاف بسيط هو ان صفائح المعادن المتجاورة ترتبط مع بعضها بأيونات او اكاسيد تقلل من فرصة دخول الماء بينها بعض الشيء وبهذا يعتبر الـ (illite) الحالة الوسط بين الـ (Montmorillonite) و الـ (Kaolinite) من حيث اللزوجة وقابلية الانتفاخ .

3- مجموعة الكاولينايت (Kaolinite)

ان الترابط بين صفائح هذا النوع من المعادن يتم من خلال أواصر كهربائية قوية وتكون ذات هيكل قوي جداً بإمكانه مقاومة الماء الذي يحاول الدخول بين الطبقات لذا فان الـ (Kaolinite) تعتبر تربة طينية غير قابلة للانتفاخ او قليلة الانتفاخ وتمتلك لزوجة متوسطة عندما تكون التربة رطبة .

اما الـ (Bentonite) فهو اسم تجاري يطلق على بعض الاطيان المصنعه والمستخدمه في مجالات عديدة . ويمكن تمييز نوعان من هذه الاطيان:

النوع الأول

يطلق عليه صوديوم بنتونايت (sodium Bentonite) والذي يتميز بقابلية الانتفاخ العاليه

النوع الثاني

يطلق عليه الكالسيوم او البوتاسيوم بنتونايت (Calcium or Potassium Bentonite) والمتميزان بقابلية انتفاخهما الواطنة والمتوسطه على التوالي.

أساليب معالجة التربة الانتفاخية

تقسم التدابير الاحتياطية المتخذة للحد من الآثار السلبية التي تخلفها ظاهرة الانتفاخ في التربة على المنشآت المشيدة عليها إلى قسمين رئيسيين هما :

- 1- إقامة منشآت ذات مواصفات خاصة تقاوم الانتفاخ.
 - 2- معالجة التربة الانتفاخية.
- وسنتطرق إلى ذكر الطرق المتبعة لمعالجة التربة الانتفاخية حيث درس العديد من الباحثين موضوع الحد من الانتفاخ في التربة الانتفاخية من خلال معالجتها بأحد الطرق المذكورة لاحقاً وتندرج هذه الطرق من طرق بسيطة إلى طرق معقدة ، حيث يعتمد نجاح أي طريقه على عدة أمور منها :

- 1- سهولة التنفيذ
- 2- العامل الاقتصادي
- 3- الفعالية مع مرور الزمن
- 4- كفاءة طريقة المعالجة

ومن هذه الطرق:

أولاً : استبدال التربة الانتفاخية

ذكر (Gromko , 1974) و (Chen , 1975) انه يمكن رفع كل التربة المنتفخة او جزء منها واستبدالها بتربة ذات قابلية انتفاخ قليلة او معروفة . حيث ان ثقل التربة يعطي حمل إضافي على ما قد يتبقى من التربة الانتفاخية والذي بدوره يقاوم أي انتفاخ قد يحصل في التربة الانتفاخية المتبقية.

وقد ذكر (chen , 1975) ان حجم التربة المراد استبدالها يعد الحكم الرئيسي في استخدام هذه الطريقة من عدم استخدامها ، إلا ان كلا من (Jones and Jones, 1987) حددا العمق الاقتصادي الذي يمكن عنده رفع التربة الانتفاخية واستبدالها على شرط توفر مقالع قريبه من الموقع لجعل كلفة الاستبدال اقتصاديه .

ثانياً: التحكم بعملية الرص

تعد عملية السيطرة على مقداري الكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة للترب عند رصها من أكثر الطرق العملية والاقتصادية للحد من الانتفاخ في الترب المرصودة. حيث ذكر كلا من (Holtz and Gibbs, 1956) انه يمكن تقليل الانتفاخ للترب عند رصها بكثافة جافة قليلة ومحتوى رطوبة عال. وذكر كلا من (Gizienski and Lee, 1965) ان التحكم بمقدار محتوى الرطوبة للتربة افضل من التحكم بكثافتها الجافة عند رصها لتقليل الانتفاخ لها وان الانتفاخ يصبح معدوم عن رص التربة بمحتوى رطوبه اعلى من محتوى الرطوبة الامثل بمقدار (4.5 %) حتى في حاله كون الكثافة الجافة بقيمه عاليه وان الترب التي ترص بمحتوى رطوبه اقل من محتوى الرطوبة الامثل بمقدار (3 %) تعاني انتفاخ عالي حتى في حاله كون الكثافة الجافة للتربة بقيمه واطنه

ثالثاً : الترطيب المسبق

تعتبر عمليه الترطيب المسبق لتربه الموقع قبل الإنشاء وسيله تتخذ للتخلص من أي انتفاخ قد يحصل في التربة بعد فتره الإنشاء حيث ذكر (Gromko , 1974) ان الغرض الرئيسي من عمليه الترطيب المسبق للتربة هو السماح للتربة بالانتفاخ بصورة حرة . وذكر كلا من (Jones and Jones , 1987) ان عمليه الترطيب للتربة تتم باللجوء إلى استخدام احد طرق الترطيب الشائعه الاستعمال كعمل بركه ماء تغمر تربه الموقع او استخدام الات الرش الاروائيه والغرض زياده رسوخ سطح التربة للموقع بعد عمليه الترطيب بجعلها رصيف عمل جيد اثناء فتره الانشاء يعالج سطح الموقع بأحد الطريقتين التاليتين :

- 1- بخلط السطح العلوي للتربة مع النوره بنسبه (4 %)
 - 2- عمل طبقه سمك (5 - 10) سم اما من ماده الحصى الخشن او الرمل الناعم او أي تربه حبيبيه .
- من سلايات طريقه المعالجة هذه استغراقها فتره زمنيه طويله قد تصل إلى عده سنوات للوصول بالتربة من حاله التشبع الجزئي إلى حاله التشبع الكلي بالماء نتيجة للنفاذية القليلة للتربة وأشار كلا من (Holtz and Gibbs , 1956) ان التربة المسبقة الترطيب تتعرض لانخفاض في مقاومه القص لها .

رابعاً : المحافظة على محتوى رطوبة ثابت

يعد زياده محتوى الرطوبة للترب الانتفاخية العامل الرئيسي الذي يحفزها على الانتفاخ ولضمان عدم حصول الانتفاخ في هذه الترب يتطلب المحافظة على محتوى رطوبة ثابت مع مرور الزمن ولضمان ذلك تُتخذ إجراءات معينة منها ما ذكرها (Jones and Jones , 1987) من إنشاء حواجز عمودية أو افقيه أو مائلة غير نفاذه للماء مصنوعة من مواد نايلون أو من مواد اسفلتيه وتزود هذه الحواجز بنظام تصريف جيد للماء .

تعتبر هذه الطريقة من الطرق الفعالة في منع حدوث الانتفاخ في الترب الا ان ما يحد من فعالية هذه الحواجز هو عدم التأكد من سلامة هذه الحواجز من الأضرار التي قد تصيبها عند طمرها داخل الترب هاو التغيير الممكن حصوله في محتوى رطوبة التربة مع وجود هذه الحواجز لأسباب معينة كحدوث الكسر في أنابيب نقل المياه الممتدة داخل التربة.

خامساً : المضافات الكيميائية

ذكر الكثير من الباحثين أمثال (Gromko , 1974) و (Chen , 1975) (Jones and Jones , 1987) ان التقليل من الانتفاخ بواسطة إضافة مواد مثل النور هاو الاسمنت او غيرها من المواد إلى الترب الانتفاخية من المحاولات التي حققت درجات نجاح متفاوتة وتكون نسبة إضافتها من (2 - 8) % من حجم التربة المراد معالجتها وكذلك تم استخدام المواد العضوية كمضافات للتربة بهدف تقليل قابلية الانتفاخ لها ومن جملة هذه المواد التي ذكرها (Chen , 1975) مادتي (Argurad 2HT) و (Terf - Butyipy) إلا ان النتائج الغير مشجعه لاستخدام المواد العضوية وكلفتها العالية جعل من استخدامها غير عملي في تقليل الانتفاخ.

سادساً : الطريقة الكهربائية – التناضحية

تعتمد هذه الطريقة على وضع قطبي تيار كهربائي (Cathode) و (Anode) داخل التربة وعند مرور التيار فيها فإن ماء التربة يبدأ بالحركة متجهاً نحو قطب الـ (Cathode) وترافق عملية حركة الماء داخل التربة اعادة ترتيب لجزيئات التربة وقد استعملت هذه الطريقة وبنجاح في تحسين خواص التربة كزيادة مقاومة القص الا انه لم يتطرق احد قبل (Saty Anarayana and Joshi , 1972) في استخدام هذه الطريقة في تقليل قابلية الانتفاخ للترب ، حيث اعتمد الباحثان اعلاه على حركة الماء خلال التربة والمتولدة نتيجة لمرور التيار الكهربائي داخل التربة في تجهيز التربة بماء يحتوي أو لا يحتوي على بعض المضافات الكيماوية مثل (اوكسيد الكالسيوم ، اوكسيد الصوديوم ، كلوريد الصوديوم ، كلوريد البوتاسيوم) عن طريق طرف قطب الـ (Cathode) يبقى محتوى رطوبة التربة ثابت خلال عملية المعالجة وان أي نقصان في ماء التربة نتيجة لخروجه من طرف قطب الـ (Cathode) يعوض عنه بنفس الكمية المفقودة منه عن طريق قطب الـ (Anode).

وقد لاحظ (Saty Anarayana and Joshi , 1972) من خلال فحوص الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ إن مقداري الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ للترب تبدأ بالانخفاض وقد فسرت عملية التحسين بهذه الطريقة إلى أن عملية مرور التيار الكهربائي خلال التربة يؤدي إلى إعادة ترتيب جزيئات التربة بشكل أكثر منتظم ، كما أن دخول المضافات الكيميائية للتربة يؤدي إلى اختلاف في تركيب التربة بعد المعالجة عن تركيبها قبل المعالجة .
وقد علق (Gromko , 1974) على استخدام هذه الطريقة كونها من الطرق الصعبة ذات الكلفة العالية وتحتاج إلى تقنية متطورة .

سابعاً : تسليح التربة

تستعمل تقنية تسليح التربة الطينية لزيادة مقاومة القص لها وتقليل الانتفاخ فيها ولقد درس كل من (Srinivasa and Sridharan , 1987) استخدام هذه التقنية للحد من انتفاخ الترب الطينية حيث اعتبر الباحثان إن ضغط الانتفاخ في الترب الانتفاخية وهي تحت حجم ثابت يتولد بجميع الجهات عند زيادة محتوى رطوبتها ولغرض منع الانتفاخ باتجاه معين يتم وضع تسليح في ذلك الاتجاه فلو فرضنا إن اتجاه وضع التسليح عمودياً والذي يطابق اتجاه معظم حالات انتفاخ الترب في الواقع ، ونتيجة لضغط التربة والانتفاخ الأفقي والمسلطة بصورة عمودية على مادة التسليح تتولد قوة احتكاك بين التسليح والتربة باتجاه موازي لسطح التسليح ومعاكس لقوة الانتفاخ العمودي .

ثامناً : تحميل التربة

للسيطرة على ظاهرة الانتفاخ ومسبباتها يتم تحميل التربة بإجهاد خارجي يساوي مقدار ضغط الانتفاخ المتولد في التربة وهذا يعني أن وزن المنشأ يجب أن يكون كافي للتغلب على ضغط الانتفاخ.
إن لهذه الطريقة صعوبات منها صعوبة الحصول على المواد الكافية للتحميل المطلوب وكيفية جلبها وأسلوب إزالتها بعد الهبوط.

الفصل الثاني

أساليب التعرف على الترب المنتفخة Expansive soil and predicting methods

أولاً: طريقة التمييز المعدني (mineralogical methods)

إن المعادن الطينية المكونة لترب المنتفخة تمتلك قابلية انتفاخ كامن كما إن الشحنات السالبة على سطح المعادن الطينية والمقاومة التي تبديها الطبقات الداخلية المترابطة وقابلية التبادل للشحنات الموجبة كلها تؤثر على قابلية انتفاخ التربة وهناك خمس تقنيات تستعمل في هذه الطريقة وهي:

1- التحليل بالمجهر الإلكتروني (microscopic examination)

إن الفحوصات المجهرية للمعادن الطينية تعطي تحليلاً مباشراً للمواد الداخلة في تركيبها وإن الغرض الرئيسي للفحوصات المجهرية هو تحديد التركيب المعدني والملمس والبنية الداخلية للمعادن الطينية وقد أوضحت طريقته المسح المجهرية للالكترونات إن الترب التي لها القابلية للانتفاخ تظهر سطوحها متجعدة ومتصلبة ومن خلال هذه الطريقة أيضاً يمكن معرفته وتحديد درجه التجعد والترابط الداخلي للحبيبات.

2- حيود أشعة X (X-ray diffraction)

تعمل هذه التقنية في تحديد النسبة بين المعادن المختلفة التي تظهر في التربة الطينية الغرينية الناتجة من مقارنه نسب شدة خطوط الانعطاف لمعادن مختلفة مع شدة الخطوط من بدائل قياسية.

3- التحليلات الكيماوية (Chemical analysis)

تعد طريقته التحليل الكيماوي كوسيلة لتحليل طبيعة التماثل أو التشابه البلوري وفي بيان اصل وموقع الشحنات نسبه إلى نسيج شبكه المعادن.

4- تحليلات التفاضل الحراري (Differential thermal analysis)

وتستعمل هذه التقنية سويه مع تقنيه حيود أشعة X وتقنيه التحليل الكيماوي وهي تتمكن من تمييز المعادن صعبه التحليل وقد اثبت انها تعتبر جيده في السيطرة على المواد التي تتغير خصائصها بالحرارة.

5- امتصاص الصبغة (Dye adsorption)

تستعمل هذه الاصباغ وغيرها من الكواشف التي تظهر خصائص لونية عند امتصاصها للتمييز بين انواع الطين ومعادنه ويمكن كشف معادن المونتور يلونايت (Montmorillonite) إذا كانت نسبته أكبر من 5%.

ثانياً : الطرق الغير مباشره لقياس نسبة الانتفاخ (Indirect method)
لقد تم اقتراح العديد من الطرق المختلفة من مناطق مختلفة لمعرفة الخواص الانتفاخية للتربة تدعى هذه الطرق بالطرق الغير مباشره لتخمين الانتفاخ وهي عبارة عن علاقات تجريبية لمعرفة الانتفاخ الكامن لظروف معينه.
ولغرض استخدام هذه الطرق لابد من توفر بعض المعلومات التصنيفية و الفيزيائية للتربة مثل حدود اتربةك ومحتوى الطين والمحتوى الرطوبي الابتدائي ومقدار الكثافة الابتدائية الجافة للتربة.
تمتاز هذه الطرق بكونها سريعة واقتصادية وسهلة العمل في أي مختبر تربيه ، ومن هذه الطرق :

1- طريقة الفعالية (Activity method)
اعتمد الباحثان (Seed et al. , 1962) في صياغة هذه الطريقة على نتائج فحوص حقلية لمعرفة العلاقة بين نسبة وحجم المواد الطينية المتواجدة في التربة ونسبة الانتفاخ تحت تسليط حمل اضافي مقداره (6.9 kn/m^2) لنموذج تربيه محمول .
ومن خلال هذه الطريقة يمكن معرفة نتائج الانتفاخ الحر لعدد من نماذج تم تحضيرها من مزج ترب البنتونايت (Bentonite) ، الكاولينايت (Kaolinite) ، اللايت (Illite) مع الرمل حيث ان هذه المعادن لها تأثير كبير على ضغط الانتفاخ.
وتحدد هذه الطريقة إيجاد معامل يعرف بفعالية التربة (Activity) والمعرف من خلال المعادلة :

$$S = K \cdot ACT^{2.44} \cdot C^{3.44}$$

Where

S = Swell potential

K = constant = 3.6×10^{-5}

ACT = the activity = $(p. I) / (c - n)$

C = the percentage of clay size

P. I = plasticity index

n = the percentage of clay size for zero plasticity index

n = 5 للترب الطبيعية

n = 10 للترب الاصطناعية

2- طريقة حد السيولة (Liquid Limit method)

من خلال معرفة حد السيولة يمكن معرف نسبة الانتفاخ في التربة وكما مبين في المعادلة

$$S = 3.75 * 10^{-4} * L.L^{2.658}$$

Where:

L. L = Liquid Limit

S = Swell potential

كما قام الباحثان (Seed et al. , 1962) بتصنيف التربة من خلال العلاقة بين درجة الانتفاخ والانتفاخ الكامن في التربة وكما مبين في الجدول التالي:

جدول رقم (1 - 2)

Degree of expansion	Swell potential
0 – 1.5	Low
1.5 – 5	Medium
5 – 25	High
> 25	Very high

3- معادلة هيئة الاستصلاح الأمريكية (USBR method)

وضع (Holtz and Gibbs, 1954) طريقه ربطا من خلالها قابلية الانتفاخ المتوقعة في التربة مع ثلاث معاملات (محتوى المواد الغرينيه ، مؤشر اللدونه ، حد الانكماش) ويوضح الجدول المبين ادناه الحدود لهذه الطريقة كما بينها الباحثين أعلاه وبالاتماد على نتائج فحوص الانتفاخ الحر العائده إلى 38 نموذج مخلخل (disturbed sample)

جدول رقم (2 - 2)

نسبة المواد الغرينيه قطر 0.001 mm	مؤشر اللدونه %	حد الانكماش %	النسبة المئوية للتغير الحجمي الكلي
> 28	> 35	< 11	> 30
13 – 20	24 – 41	7 – 12	20 – 30
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30
> 15	< 18	> 15	< 10

*البيانات معتمده على حمل عمودي قدره (1.0 psi)

4- طريقة مؤشر اللدونة (Plasticity index method)

يمكن الاعتماد على مؤشر لدونة التربة في توقع درجة انتفاخها من خلال المعادلة المبينه ادناه والتي أعدت بالاعتماد على نتائج فحوص الانتفاخ الحر لنماذج تربة مختلفة

$$S = 60 * k * (P.I)^{2.44}$$

Where:

S = Swell potential

P. I = plasticity index

K = constant = $3.6 * 10^{-5}$

وان مجال تطبيق هذه المعادلة محدود بالتربة ذات نسب الأطياف تتراوح بين (8 – 65) % واعتماداً على هذه المعادلة والمعتمدة على نتائج فحوص الانتفاخ الحر يمكن تقسيم قابلية التربة على الانتفاخ إلى أربع درجات وكما موضح في الجدول:

جدول رقم (2 - 3)

Plasticity index	Swell potential
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
20 – 55	High
35 and above	Very high

5- طريقة جن (Chen method)

اعتمد (Chen) في تقسيم درجات انتفاخ الترب على حد السيولة ونتائج فحص الاختراق القياسي ونسبة المواد الطينية العابرة من منخل رقم 200 والجدول أدناه يوضح درجات الانتفاخ المحتملة في الترب:

جدول رقم (2 - 4)

Laboratory and field test			Probable expansion percent total volume change	Swelling pressure kn/m ²	Degree of expansion
% passing # 200	L. L	N Blows / ft			
> 95	> 60	> 30	> 10	> 957.6	Very high
60 – 95	40 – 60	20 – 30	3 – 10	239.4 – 957.6	High
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	143.6 – 239.4	Medium
< 30	< 30	< 10	< 1	47.88	Low

كما قام (Chen) بوضع معادله بالاعتماد على نتائج فحص الانتفاخ الحر لآلاف النماذج من الترب المختلفة وعلى مدى 15 عام وكما مبين أدناه:

$$S = B \cdot e^{A(P.I)}$$

Where:

S = Swell potential

A = 0.0838

B = 0.2558

6- طريقة التغير الحجمي الكامن (P. V. C)

قدم (Lamp, 1960) هذه الطريقة التي تعتمد على تقويم قابلية التربة للانتفاخ بالاستناد الى قيم التغير الحجمي الكامن (p.v.c) الذي يحدد من خلال الفحص الموضح كالتالي :

يرص نموذج التربة في حلقة جهاز الودوميتر وتحت تأثير إجهاد رص 5500 رطل/قدم3 باستخدام ماكينة تسليط الضغط على ان توضع حلقة لقياس القوة (proving ring) على النموذج لمنع من الحركة بالاتجاه الشاقولي بصوره جزئيه عندها يبدأ غمر النموذج بالماء وبعد مرور ساعتين من عملية الغمر تؤخذ قراءه لحلقة قياس القوة ويحول إلى ما يعادله من الاجهاد الذي يعرف بأنه مؤشر الانتفاخ (swelling index) ويتم تصنيف قابلية انتفاخ التربة من خلال الجدول التالي:

جدول رقم (2 - 5)

P. V. C	Category
< 2	Non – critical
2 – 4	Marginal
4 – 6	Critical
> 6	Very critical

7- طريقة هولتز (Holtz method)

في عام 1955 اقترح هولتز معادله تجريبية لمعرفة الانتفاخ الكامن للتربة وذلك باستخدام مؤشر الانكماش (SI) وكما يلي:

$$SP = B * (SI)^P$$

حيث ان :

SP: نسبة الانتفاخ

B: ثابت = 116.3

SI: مؤشر الانكماش

P: ثابت مقداره 1.17

لقد اعتقد هولتز بأن مؤشر الانكماش يمكن ان يستخدم كدليل لمعرفة درجة التمدد بالتربة .

8- طريقة سالاس وسيراتوسا (Salas and Serratosa method)

اقترح هذان العالمان عام (1957) استخدام جهاز الانضمام لقياس انتفاخ نموذج التربة تحت أحمال مختلفة.

إن الطريقة تتطلب وضع نموذج التربة في الجهاز ومن ثم تضاف كميات وافره من الماء ومن ثم يتم وضع أحمال بشكل متدرج وذلك لمنع التربة من الانتفاخ وعندما يتوقف الانتفاخ يتم السماح للنموذج بالانتفاخ بتناقص اجهادات مختلفة.

يتم تمثيل العلاقة بين لوغاريتم الضغط المسلط ومقدار الانتفاخ بصيغة معادله للتربة المفحوصة ولغرض إيجاد مقدار الانتفاخ الذي يحصل في الحقل يتم حساب ضغط التربة ومقدار الزيادة في الإجهاد الناتج من المنشأ عند نقطة معينة من التربة ومن ثم يتم استخدام العلاقة المستحصلة لمعرفة مقدار الانتفاخ الحاصل نتيجة لوجود الإجهاد الكلي المحسوب.

9- طريقة رانكاناثام وساتيانارايان (Ranganatham and satyanarayan method)

لقد عمل هذان العالمان عام (1965) على فحص اربع ترب طبيعيه وبينوا ان بالامكان استخدام مؤشر الانكماش (SI) لمعرفة الانتفاخ الكامن من خلال المعادله التاليه

$$SP = 41.13 * 10^{-5} (SI)^{2.67}$$

حيث ان

SI = مؤشر الانكماش (نسبه مئوية)

10- طريقة ناياك وكريستنسن (Nayak and Christensen method)

اقترحا عام (1971) معادله عامه تعتمد على مؤشر اللدونه والمحتوى الطيني والمحتوى الرطوبي الابتدائي لتربه مرصوصه وكما يلي

$$SP = 2.29 * 10^{-2} (PI)^{1.45} C/mi + 6.38$$

حيث ان

PI :- مؤشر اللدونه

C :- المحتوى الطيني

mi :- المحتوى الرطوبي الابتدائي كنسبه مئويه

الفصل الثالث

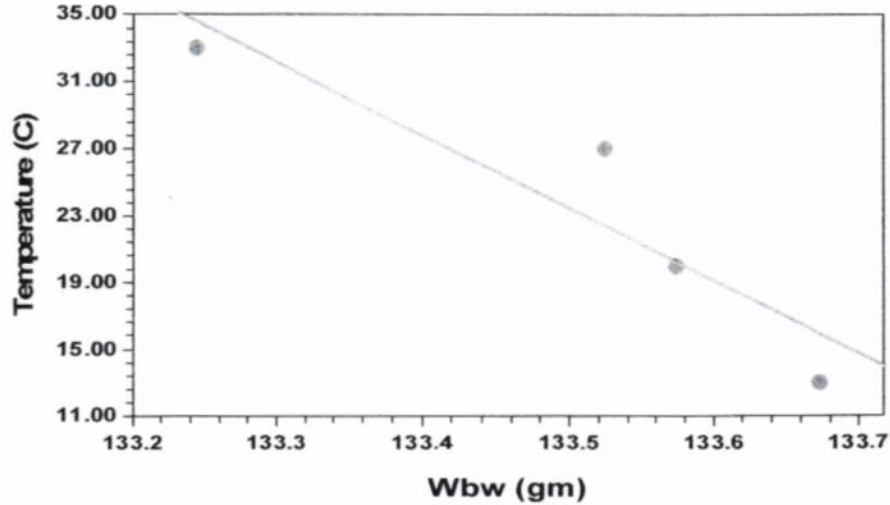
فحوصات التربة الطبيعيه

تم اخذ نموذج لتربة طينية من منطقة (سبع ايكار) من عمق (7) متر وتم اجراء الفحوصات المختبريه عليها وكانت النتائج كالتالي :

Specific gravity جلول رقم (3 - 1)

Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	133.29	133.57	133.62	133.72
Temperature (c)	33	27	20	13

G.S.



شكل رقم (3 - 1)

جدول رقم (3 - 2)

Specimen number	w	T
Pycnometer bottle number	654	
WS = Mass of dry soil (grams)	10	
Wbws = Mass of pycnometer + dry soil + water (grams)	139.78	23
Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	133.56	23
GT	0.9976	23
Specific gravity (GS)	2.64	

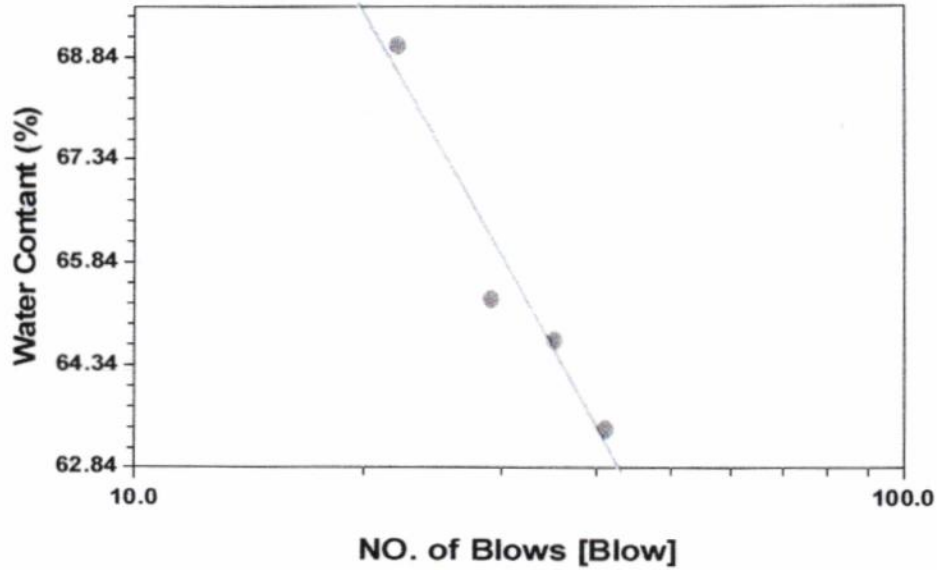
ATTERBERG LIMITS DETERMINATION

1- Liquid limit determination

جدول رقم (3 - 3)

Wt. of tin (gm)	26.8	23.5	22.6	26.7
Wt. of wet soil + tin (gm)	50	53.8	46.4	53.4
Wt. of dry soil + tin (gm)	41	41.9	37	42.5
No. of blows	41	35	29	22
Wt. of water (gm)	9	11.9	9.4	10.9
Wt. of dry soil (gm)	14.2	18.4	14.4	15.8
Water content %	63.4	64.7	65.3	69

L.L.



شكل رقم (2 - 3)

2- Plastic limit determination (4 - 3) جدول رقم

Wt. of tin (gm)	27.1
Wt. of wet soil + tin (gm)	70.3
Wt. of dry soil + tin (gm)	61.2
Wt. of water (gm)	9.1
Wt. of dry soil (gm)	34.1
Water content %	26.7

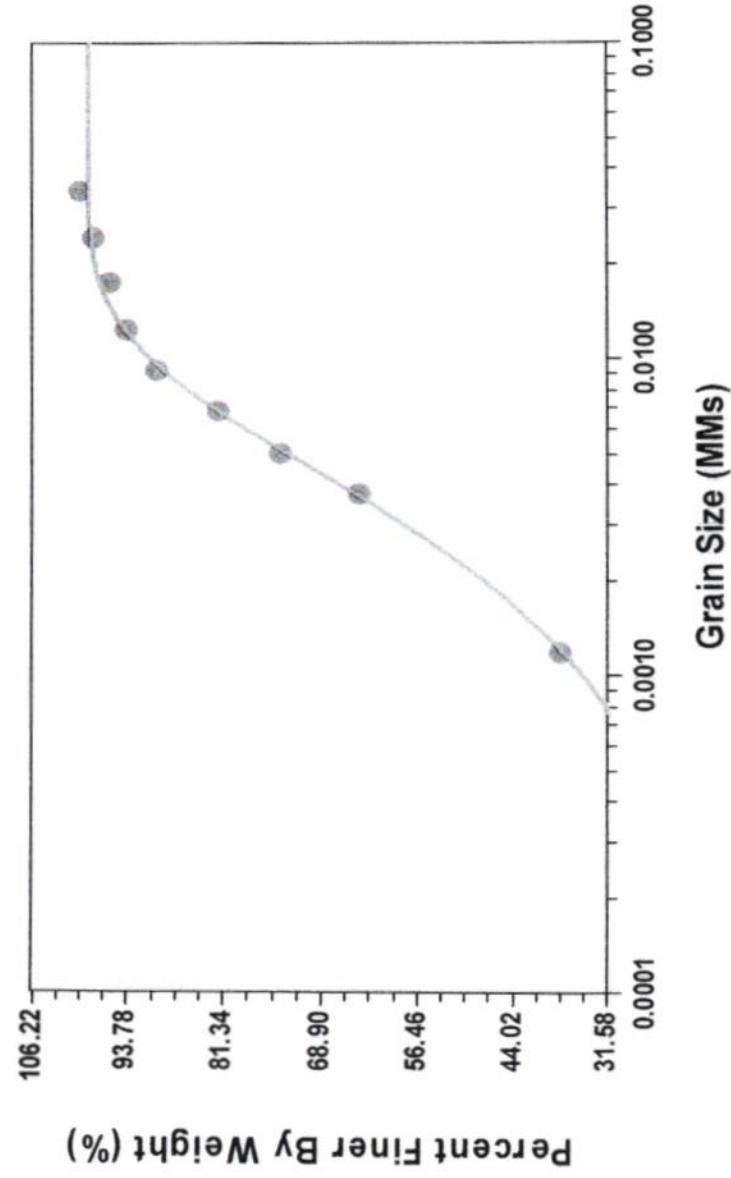
Liquid limit = 67.5 %

Plastic limit = 26.7 %

فحص الكثاف (Hydrometer Test)

Wt. of dry sample (gm)	500
Specific gravity (GS)	2.64
Correction (GS) (a)	1
Wt . retained # 200 (gm)	1.6
Wt. passing # 200 (gm)	498.4

Grain size (mm)	Percent finer by wt.
0.0342	100
0.0245	98
0.0176	96.01
0.0125	94.02
0.0093	90.03
0.0069	82.05
0.0051	74.08
0.0038	64.11
0.0012	37.8

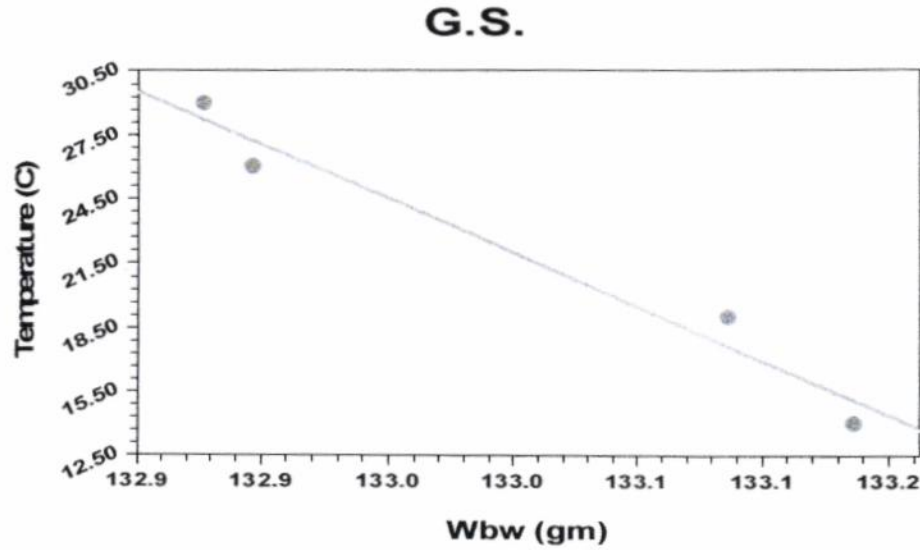


فحوصات التربة المصنعه والتي تحتوي على (10% Bentonite by wt.)

تم تصنيع نموذج من التربة الطينية الطبيعيه يحتوي على نسبة (10% Bentonite) من اجل دراسة ضغط الانتفاخ وقد تم اجراء الفحوصات المختبريه عليها وكانت النتائج كالتالي :

Specific gravity جدول رقم (3 - 5)

Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	132.92	132.94	133.13	133.18
Temperature (c)	29	26	19	14



شكل رقم (3 - 3)

جدول رقم (3 - 6)

Specimen number	w	T
Pycnometer bottle number	371	
WS = Mass of dry soil (grams)	10	
Wbws = Mass of pycnometer + dry soil + water (grams)	139.29	22
Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	133.05	22
GT	0.9978	22
Specific gravity (GS)	2.65	

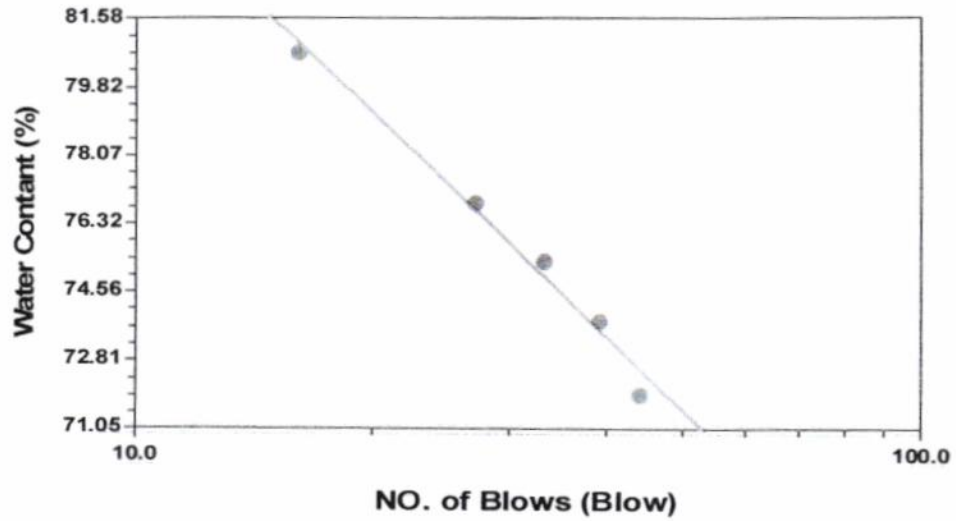
ATTERBERG LIMITS DETERMINATION

1- Liquid limit determination

جدول رقم (3 - 7)

Wt. of tin (gm)	25.9	26.7	24.6	25.9	29.3
Wt. of wet soil + tin (gm)	45.5	44.6	50.9	50.3	56.4
Wt. of dry soil + tin (gm)	37.3	37	39.6	39.7	44.3
No. of blows	44	39	33	27	16
Wt. of water (gm)	8.2	7.6	11.3	10.6	12.1
Wt. of dry soil (gm)	11.4	10.3	15	13.8	15
Water content %	71.93	73.79	75.33	76.81	80.7

L.L.



شكل رقم (3 - 4)

2- Plastic limit determination (3 - 8) جدول رقم

Wt. of tin (gm)	28.6
Wt. of wet soil + tin (gm)	58.6
Wt. of dry soil + tin (gm)	52
Wt. of water (gm)	6.6
Wt. of dry soil (gm)	23.4
Water content %	28.2

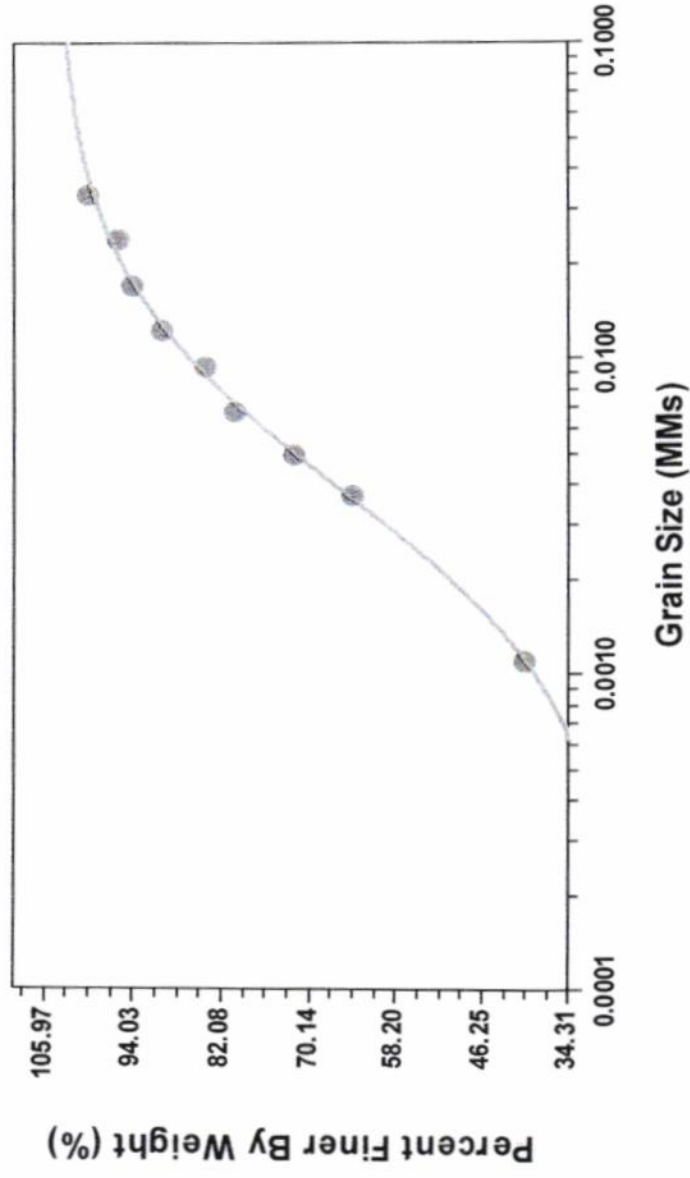
Liquid limit = 77.4 %

Plastic limit = 28.2 %

فحص المكثاف (Hydrometer Test)

Wt. of dry sample (gm)	500
Specific gravity (GS)	2.65
Correction (GS) (a)	1
Wt. retained # 200 (gm)	2.06
Wt. passing # 200 (gm)	497.94

Grain size (mm)	Percent finer by wt.
0.0332	100
0.0241	96.02
0.0172	94.03
0.0124	90.04
0.0094	84.07
0.0068	80.08
0.0050	72.11
0.0037	64.15
0.0011	40.28



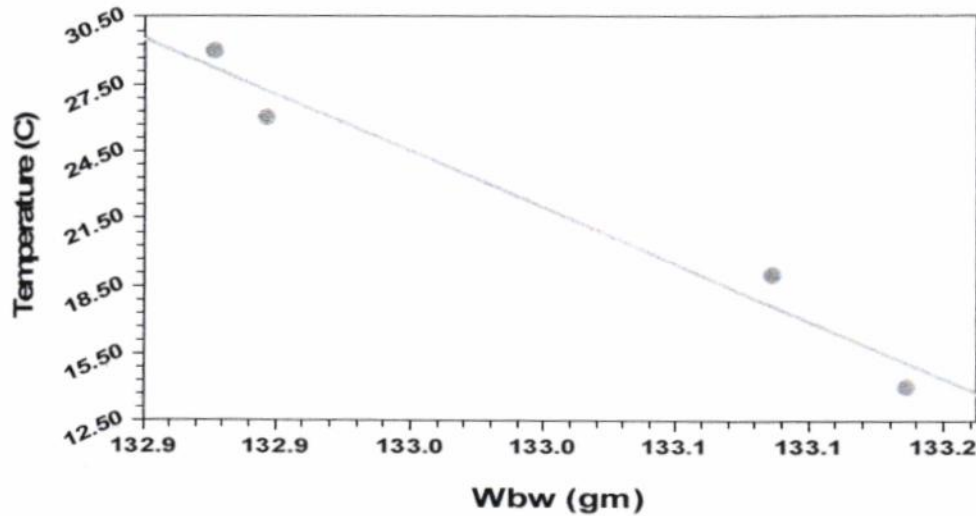
فحوصات التربه المصنعه والتي تحتوي على (20% Bentonite by wt.)

تم تصنيع نموذج من التربه الطينيه الطبيعيه يحتوي على نسبة (20% Bentonite) من اجل دراسة ضغط الانتفاخ وقد تم اجراء الفحوصات المختبريه عليها وكانت النتائج كالتالي :

Specific gravity جدول رقم (3 - 9)

Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	132.92	132.94	133.13	133.18
Temperature (c)	29	26	19	14

G.S.



شكل رقم (3 - 5)

جدول رقم (3 - 10)

Specimen number	w	T
Pycnometer bottle number	371	
WS = Mass of dry soil (grams)	10	
Wbws = Mass of pycnometer + dry soil + water (grams)	139.45	21
Wbw = Mass of pycnometer + water (grams)	133.06	21
GT	0.9980	21
Specific gravity (GS)	2.76	

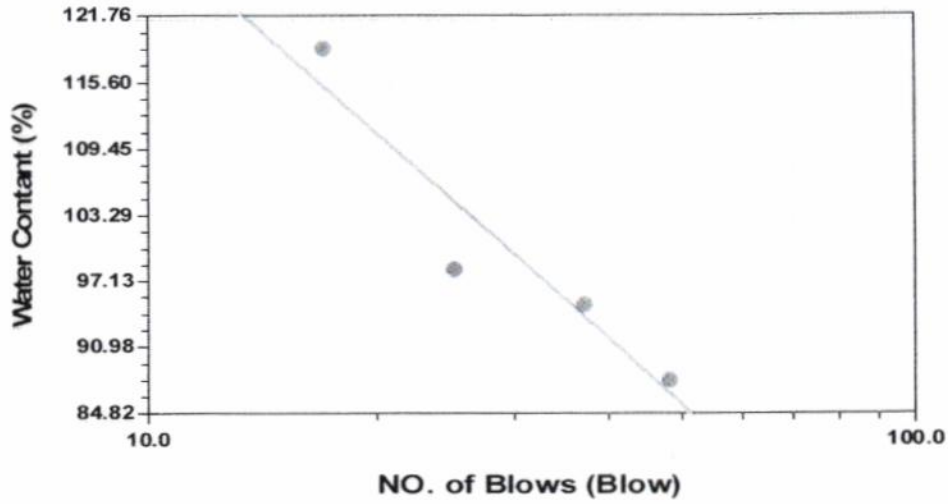
ATTERBERG LIMITS DETERMINATION

1- Liquid limit determination

جدول رقم (3 - 11)

Wt. of tin (gm)	26.7	25.9	28.9	29.2
Wt. of wet soil + tin (gm)	50	45.2	51.9	49.1
Wt. of dry soil + tin (gm)	39.1	35.8	40.5	38.3
No. of blows	48	37	25	17
Wt. of water (gm)	10.9	9.4	11.4	10.8
Wt. of dry soil (gm)	12.4	9.9	11.6	9.1
Water content %	87.9	94.95	98.28	118.68

L.L.



شكل رقم (3 - 6)

2- Plastic limit determination (3 - 12)

Wt. of tin (gm)	29.5
Wt. of wet soil + tin (gm)	72
Wt. of dry soil + tin (gm)	63
Wt. of water (gm)	9
Wt. of dry soil (gm)	33.5
Water content %	26.9

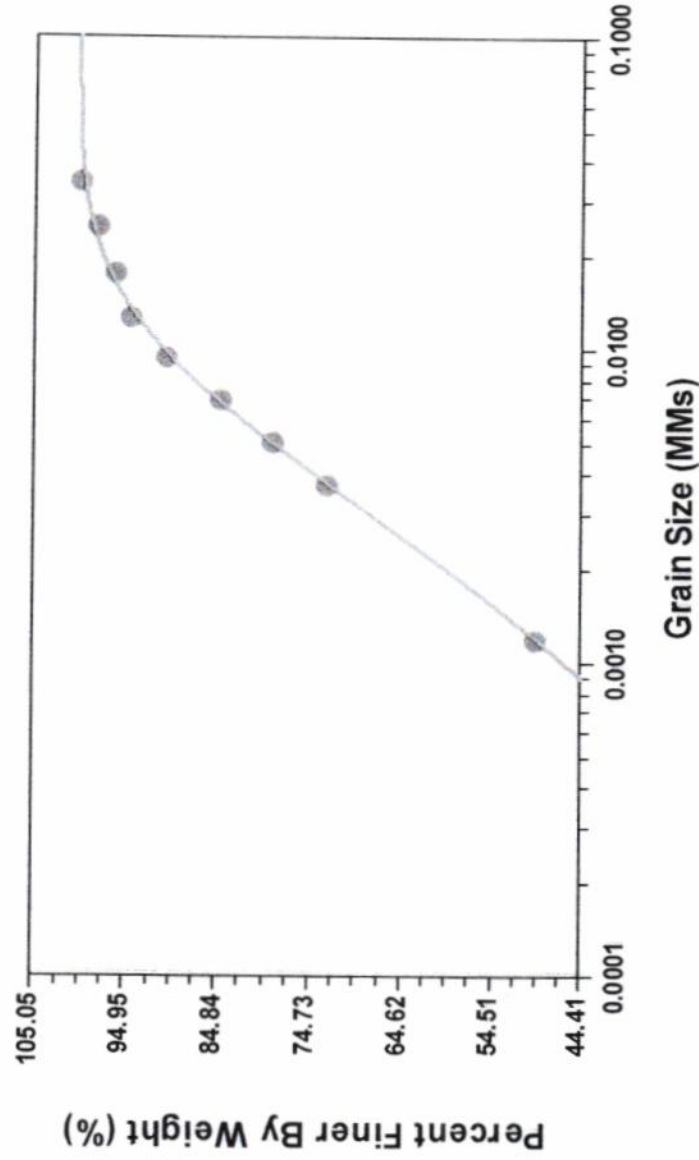
Liquid limit = 104.8 %

Plastic limit = 26.9 %

فحص الكثاف (Hydrometer Test)

Wt. of dry sample (gm)	500
Specific gravity (GS)	2.76
Correction (GS) (a)	0.98
Wt. retained # 200 (gm)	4.2
Wt. passing # 200 (gm)	495.8

Grain size (mm)	Percent finer by wt.
0.0347	100
0.0247	98.05
0.0177	96.11
0.0127	94.17
0.0095	90.28
0.0069	84.45
0.0051	78.62
0.0037	72.79
0.0012	49.46



قياس الضغط الانتفاخي للتربة بطرق مختلفة

يمكن تعريف ضغط الانتفاخ للتربة المنتفخة بأنه الضغط اللازم لعكس مقدار الانتفاخ الحاصل في التربة نتيجة لوصول الماء إليها. ويمكن لهذا التعريف ان يأخذ اساليب اخرى اعتماداً على طريقة قياس ضغط الانتفاخ.. وسيتم قياس الضغط الانتفاخي للترب الطبيعيه والمصنعه (لكل منها) بثلاث طرق وهي :

١- طريقة الانتفاخ الحر (Free swell method)

في هذه الطريقة نموذج التربة يكون بتماس مع الماء ويسمح له بالانتفاخ تحت تأثير قوه خفيفه مسلطه على النموذج وبعد ذلك فان النموذج سوف يتم اعادته تدريجياً لحجمه الاصلي عن طريق اضافة الأحمال ، ضغط الانتفاخ في هذه الطريقة يعرف بأنه الضغط الذي سوف يرجع النموذج إلى حجمه الأصلي .

٢- طريقة الحجم الثابت (Constant volume method)

في هذه الطريقة حجم النموذج سوف يبقى ثابتاً بواسطة تغيير الحمل على النموذج كلما اقتضت الحاجه والضغط المتزن الاخير على النموذج هو الضغط الانتفاخي .

٣- طريقة الانتفاخ المحمل (Loaded swell method)

لقياس الضغط الانتفاخي في هذه التربة نستخدم ثلاث نماذج بثلاث ضغوط مختلفه ويسمح لها بالانتفاخ تحت تأثير هذه الاحمال ويتم رسم القيمه النهائيه للانتفاخ النسبي إلى الضغط العمودي المسلط بعدها يحسب الضغط عند الانتفاخ بقيمة الصفر الذي يمثل الضغط الانتفاخي.

تحضير نموذج الفحص

- يتم استخدام حلقه معدنيه (Ring) في تحضير نموذج الفحص حيث ان ابعاد هذه الحلقه:

$$\text{Diameter} = 7.5 \text{ (cm)}$$

$$\text{Height} = 1.9 \text{ (cm)}$$

$$\text{Area} = 44.18 \text{ cm}^2$$

الارتفاع المستخدم = 1.5 cm وذلك لكي نترك مجال للتربة كي تنتفخ داخل الحلقه المعدنيه

- يتم حساب وزن التربه الجافه المستخدمه في تحضير النموذج كي نحصل على كثافه

$$\text{رطبها مقدارها } (1.6 \text{ gm/cm}^3) \text{ وكما يلي :}$$

$$\text{حجم القالب} = 4 \times \pi \times 1.5 \times 7.5^2 = 66.268 \text{ cm}^3$$

$$\text{وزن التربه المستخدم} = 66.268 \times 1.6 = 106 \text{ gm}$$

- يتم وضع 106 gm من التربه داخل الحلقه المعدنيه ثم يتم رصها بواسطة جهاز

ضغط وذلك من اجل تحديد استوائيه السطح والحصول على ارتفاع مقداره 1.5 cm

وبالتالي الحصول على كثافه رطبها مقدارها (1.6 gm/cm³) ثم يتم وضع النموذج داخل خليه الفحص .

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الطبيعيه بطريقة (Free swell method)

جدول رقم (3 - 13)

water content %		4.83
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.53
wt. applied on specimen	(gm)	17336
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	392
Swell pressure	(KN/ m ²)	39.2

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعيه والتي تحتوي على (10% Bentonite)

بطريقة (Free swell method)

جدول رقم (3 - 14)

water content %		4.35
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.53
wt. applied on specimen	(gm)	41250
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	933.7
Swell pressure	(KN/ m ²)	93.37

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعيه والتي تحتوي على (20% Bentonite)

بطريقة (Free swell method)

جدول رقم (3 - 15)

water content %		4
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.54
wt. applied on specimen	(gm)	100650
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	2278
Swell pressure	(KN/ m ²)	227.8

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الطبيعيه بطريقة (Constant volume method)

جدول رقم (3 - 16)

water content %		4.72
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.53
wt. applied on specimen	(gm)	16390
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	371
Swell pressure	(KN/ m ²)	37.1

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعيه والتي تحتوي على (10% Bentonite)

بطريقة (Constant volume method)

جدول رقم (3 - 17)

water content %		4.37
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.53
wt. applied on specimen	(gm)	40260
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	911.3
Swell pressure	(KN/ m ²)	91.13

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعيه والتي تحتوي على (20% Bentonite)

بطريقة (Constant volume method)

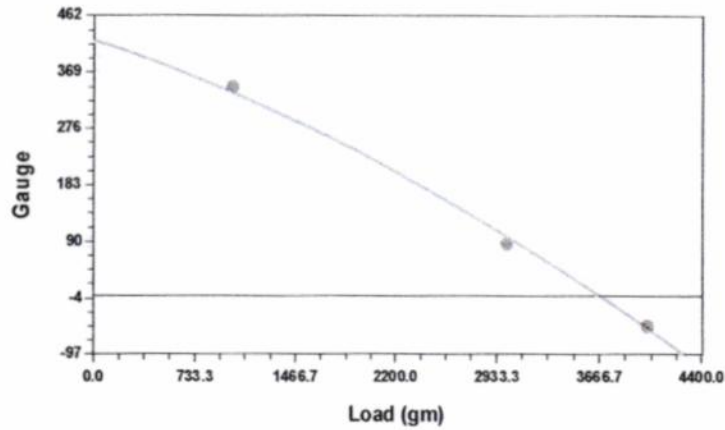
جدول رقم (3 - 18)

water content %		4.1
wet density	gm/ cm ³	1.6
dry density	gm/ cm ³	1.54
wt. applied on specimen	(gm)	29040
area of specimen	cm ²	44.18
Swell pressure	gm/ cm ²	657.3
Swell pressure	(KN/ m ²)	65.73

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الطبيعيه بطريقة (Loaded swell method)

جدول رقم (3 - 19)

gauge	415	344	85	-50
Load (gm)	0	1000	3000	4000



جدول رقم (3 - 20)

Load (gm)	36960
Area (cm ²)	44.18
Swell pressure (gm/ cm ²)	836.6
Swell pressure (KN/ m ²)	83.66

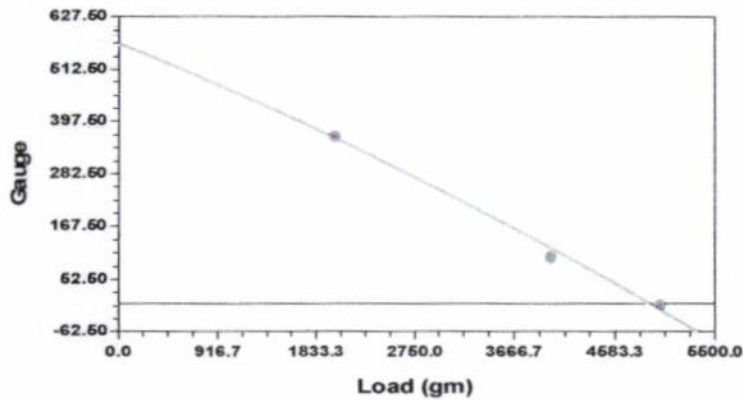
شكل رقم (3 - 7)

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعيه والتي تحتوي على (10% Bentonite)

بطريقة (Loaded swell method)

جدول رقم (3 - 21)

gauge	570	362	100	-5
Load (gm)	0	2000	4000	5000



جدول رقم (3 - 22)

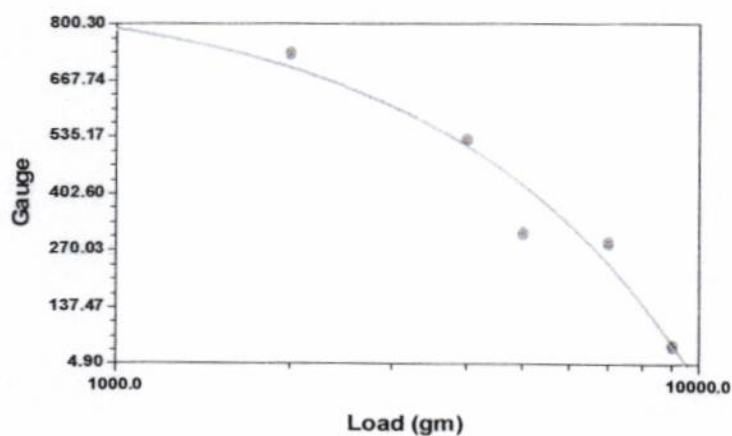
Load (gm)	50413
Area (cm ²)	44.18
Swell pressure (gm/ cm ²)	1141
Swell pressure (KN/ m ²)	114.1

شكل رقم (3 - 8)

قياس الضغط الانتفاخي للتربة الاصطناعية والتي تحتوي على (20% Bentonite)
بطريقة (Loaded swell method)

جدول رقم (3 - 23)

gauge	732	526	309	289	49
Load (gm)	2000	4000	5000	7000	9000



شكل رقم (3 - 9)

جدول رقم (3 - 24)

Load (gm)	101368
Area (cm ²)	44.18
Swell pressure (gm/ cm ²)	2294.4
Swell pressure (KN/ m ²)	229.44

الفصل الرابع

الاستنتاجات والتوصيات

من خلال مقارنة نتائج فحوصات ضغط الانتفاخ بالطرق الثلاثة لكل نموذج من نماذج الترب الطبيعيه والمصنعه نستنتج مايلي :

1- زيادة نسبة البنتونايت في التربه تؤدي إلى زيادة الضغط المسبب للأنفاخ (ان مادة البنتونايت تزيد من قابلية التربه الانتفاخيه) .

2- ان قياس ضغط الانتفاخ بطريقة (Free swell method) وطريقة (Constant volume method) تعطي نتائج متقاربه بينما قياس ضغط الانتفاخ بطريقة (Loaded swell method) تعطي نتائج مرتفعه نسبيا مقارنة بالطريقتين السابقتين .

3- بما ان طريقة (Free swell method) و (Constant volume method) تعطي نتائج متقاربه ، يفضل استخدام طريقة (Free swell method) لكونها الاسهل والاسرع في العمل .

4- من خلال مقارنة نتائج فحص حد السيوله (Liquid limit) نلاحظ بأن الترب ذات حد السيوله العالي تنتفخ بمقدار اكبر .

المصادر

1 – Chen F.H. 1975 Foundation on Expansive Soils
Amsterdam .

2 – بعض معالجات وطرق قياس التربة الانتفاخيه ، مشروع تخرج الطالبه
(شيما عبد العزيز زين)

3 – التربة الانتفاخيه ، مشروع تخرج الطالب (عادل هاني جاسم)

4 – الترب المنتفخه في العراق وبعض طرق معالجتها ، مشروع تخرج
الطالبه (ريم غانم عبد اللطيف)