Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

تحسين الخواص الجيوتكنيكية للتربة الإنتفاخية بإستعمال الاسمنت

المدرس علاء داود سلمان المرشدي
كلية الهندسة/ جامعة بغداد

Received: 25/ 12 / 2013 **Accepted: 13 / 10 / 2013**

الخلاصة

التربة الإنتفاخية هي نوع من التربة التي لها قابلية الإنتفاخ بسبب تشبعها بالماء ويعود ذلك إلى نوع المعادن الطينية المكونة لها حيث يزداد حجم التربة بشكل كبير مسبباً أضراراً كبيرة للمنشات المستندة فوقها (ظهور العديد من المشاكل المتمثلة بالتصدعات والتشققات في المباني وكذلك حدوث ارتفاعات ونتوءات كبيرة في الأرصفة والطرق المشيدة على هذه الترب) وتنتشر الترب المنتفخة في أنحاء متعددة من العالم, وتنتشر هذه الترب في مناطق عديدة من العراق. ونتيجة لهذه المشاكل والأضرار الكبيرة التي تحدث في المنشآت المقامة عليها لذلك فمن الضروري دراسة خواص هذه التربة وكيفية معالجتها. وفي هذا البحث تم معالجة التربة الانتفاخية بإستخدام الاسمنت (لقد اعتمدنا إسلوب المزج حيث تم مزج المادة المضافة بنسبة 8% مع التربة الانتفاخية). ومن أجل معرفة كون المادة مناسبة في تحسين خواص التربة تم إجراء مجموعة من الفحوص والتي تتمثل بحدود أتربرك (القوام) والوزن النوعي وفحص القص المباشر ونسبة الانتفاخ ومقدار ضغط الانتفاخ . لقد بينت الفحوص التي أجريت على النماذج المأخوذة من تربة أبو غريب إن حدود أتربرك تقل بعد إضافة الاسمنت إلى التربة , عند محتوى الرطوبة الامثل فان الكثافة العظمى تزداد مع زيادة نسبة الاسمنت المضافة للتربة وعند إضافة الاسمنت إلى التربة وإجراء فحص القص المباشر نلاحظ زيادة ملحوظة في مقدار قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة حيث يزداد كل من قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة بزيادة نسبة الاسمنت, أما عن نسبة الانتفاخ فإنها تقل مع زيادة الاسمنت المضاف إلى التربة وضغط الانتفاخ يقل أيضاً إلى النصف تقريباً .

IMPROVEMENT OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF EXPANSIVE SOILS USING CEMENT

Lecture Alaa Dawood Salman
College of Engineering/University of Baghdad
Alaa _Dawood77@yahoo.com

Abstract

Expansive soils are distributed in many regions in world. (including Iraq),particularly in semiarid regions with alternating wet and dry seasons. Therefore, it is necessary to study the geotechnical properties of such soils due to the possible large damage of structures founded and constructed on this soil. The soil used in this research is from Abu-Ghreab site.

This paper reports the outcome of an investigation into the effect of cement on geotechnical properties of expansive soil, to ascertain its suitability for use as a modifier or stabilizer in the treatment of the soil. Classification, consistency indices, specific gravity, compaction, direct shear, and swell percentage and swell pressure tests, were conducted on specimens of expansive soil. Results of tests showed that the soil was a CH soil, according to the USCS classification system.Liquid limit , plastic limit and plasticity index are reduced by adding 8% of cement , at optimum moisture content the maximum dry density value increase with increase the percentage of cement adding to the expensive soil and conducting direct shear test, an obvious increase is noticed in the amounts of cohesion (C) and internal friction angle (Ø) .While swell percentage decreases by adding cement and while the swell pressure decreases to the half of its original values.

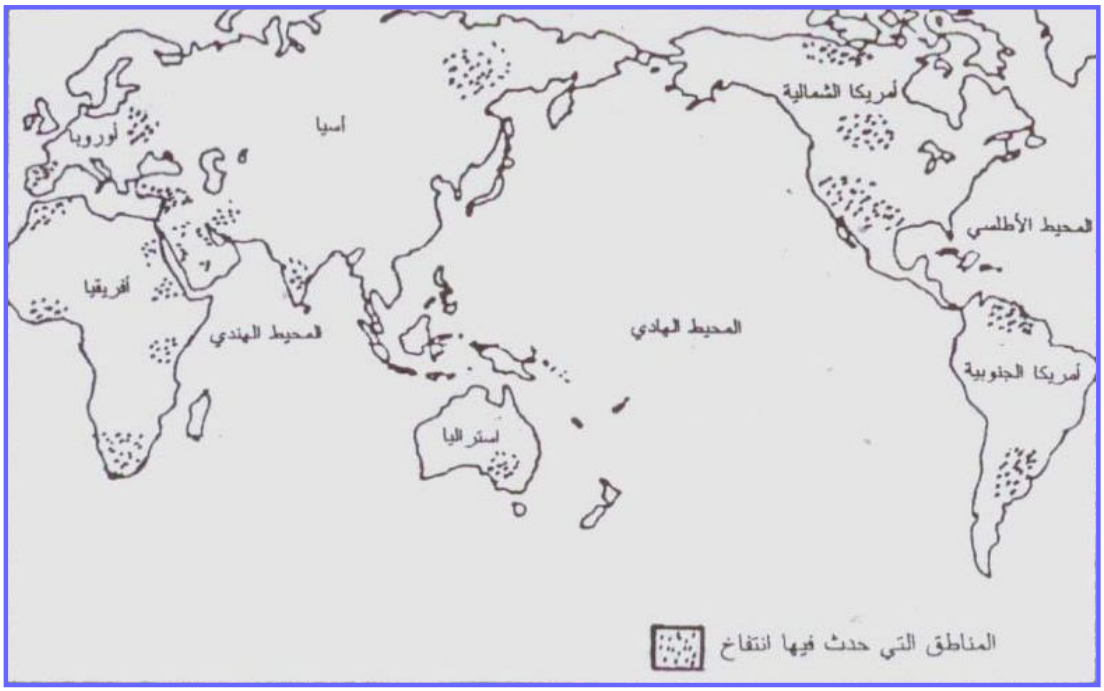
Keywords: Expensive Soil, Cement , Internal Friction Angle , Cohesion

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

المقدمة

التربة القابلة للانتفاخ هي التربة التي يتغير حجمها نتيجة تغير المحتوى المائي لها حيث يزداد حجمها وتنتفخ عندما تمتص الماء وينقص حجمها ويتقلص عندما تجف , إن تغير الحجم يؤدي إلى تشوهات في التربة تكون على شكل هبوط يسبب إنكماش التربة نتيجة جفافها أو على شكل إنتفاخ نتيجة امتصاصها للماء وزيادة رطوبتها وانتفاخ التربة يؤدي إلى تصدعات وانهيارات إنشائية تتضمن انتفاخ في الأرصفة وتشققات في الجدران والجسور الأرضية المسلحة وتشوهات في البلاطات الأرضية وهياكل الأبواب, وقد تكون هذه التشوهات خفيفة أو متوسطة أو كبيرة حسب مقدار الانتفاخ (Das 2004, Lew2010).

وتنتشر التربة الإنتفاخية في مختلف أنحاء العالم حيث تنحصر في المناطق شبه القارية (الجافة) وتكثر التربة الإنتفاخية في المناطق التي تزيد كمية التبخر السنوية عن كمية هطول الأمطار .ويبين الشكل 1 توزيع التربة الإنتفاخية في العالم .ولم يتم التعرف على مشاكل التربة الإنتفاخية حتى عام 1930 حيث اعتبرت التربة الإنتفاخية السبب الرئيسي لانهيار أساسات احد المباني في ولاية أوريجون في الولايات المتحدة الأمريكية , ومنذ ذلك الحين كانت التربة الإنتفاخية مثار اهتمام العديد من المختصين حيث عقدت الندوات والمؤتمرات لدراستها كما كتبت العديد من الكتب والتقارير حولها, وتعتبر التربة الإنتفاخية السبب الرئيسي لمعظم الأضرار التي تصيب المنشآت والطرق المقامة عليها والتي قد تصل قيمتها إلى مليارات الدولارات سنوياً .وقد قدرت الخسائر الناجمة عن تصدعات وانهيار المباني والطرق المقامة على التربة الإنتفاخية في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1985 بحوالي (10 مليار دولار) حيث أنفق نصف هذه الأموال على إصلاح وصيانة الطرق وحدها. وتتعرض المباني الخفيفة والجدران والأرصفة للضرر أكثر من المنشآت الضخمة الثقيلة الوزن (Lew2010, McKeen1992).



الشكل 1 يبين توزيع مناطق وجود التربة الإنتفاخية في العالم(Donalson1969) [5]

الدراسات السابقة:

1- قام الباحث حسن (2011) [13] بدراسة تأثير غبار الاسمنت على خواص التربة الانتفاخية. من اجل التحقق من كون المادة مناسبة في التثبيت والمعالجة إجريت التجارب المختبرية من تصنيف التربة ,حدود الدونة ,الوزن النوعي ,تجربة الرص , فحص القص المباشر وكذلك تجربة نسبة الانتفاخ وضغط الانتفاخ .حيث بينت النتائج ان مقدار التماسك يزداد مع زيادة نسبة غبار الاسمنت الى15% وتزداد زاوية الاحتكاك الداخلي مع زيادة نسبة الاسمنت وان نسبة الانتفاخ تقل مع زيادة نسبة غبار

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

الاسمنت من 32% الى48% عندما تكون نسبة غبار الإسمنت 20%.ضغط الانتفاخ يقل مع زيادة نسبة غبار الاسمنت من (620 كن/ م²) الى (370 كن/ م²).

2- قام الباحث علوش (2004) [14] بمعالجة نوعين مختلفين من الترب المنتفخة تم أخذهما من موقعين مختلفين ودراسة تأثير إضافة الكلس على خواص هذه الترب. وقد تم اختيار نوعي التربة بحيث كانت احداهما ذات قدرة ضعيفة على الانتفاخ في حين كانت التربة الثانية تمتاز بقدرتها العالية على الانتفاخ, وقد وجد من خلال الدراسة أنه باستخدام نسبة كلس صغيرة (2%) تم إيقاف الانتفاخ بشكل نهائي لكلا النوعين, كما لوحظ انخفاض في قيم حد السيولة ودليل اللدونة بزيادة نسب الكلس المضافة في حين كانت مقاومة القص والضغط الحر تزداد بزيادة نسبة الكلس المضافة حتى تصل لقيمة أعظمية (عند النسبة 6%) ثم تبدأ بعدها بالانخفاض, وقد وجد أن نسبة الكلس المضافة ترتبط بشكل كبير بمحتوى التربة من الغضار وبالتركيب الكيميائي للتربة (نوع المعدن ,وجود المادة العضوية ,وجود الجبس) وأنه يجب أن يراعى عند تثبيت الترب المنتفخة اختيار النسبة من الكلس التي تحقق مقاومة أعظمية ومعالجة نهائية للانتفاخ بما يضمن الحصول على مادة ترابية جيدة لأغراض الإنشاء.

3- قام الباحث نورية (2003) [15] بطريقة أكثر جدوى في تحضير تربة التأسيس الغضارية المنتفخة من خلال إظهار تأثير خلط التربة الغضارية المنتفخة بالإسمنت على خصائصها, حيث أظهر التأثير الإيجابي لخلط التربة بالإسمنت في تخفيض انتفاخ التربة و التقليل من ضغط الانتفاخ ومن ثمَّ تقليل أو انعدام نهوض الأساس المقام عليها, إضافة لرفع قدرة تحمل التربة من خلال التحسن في مواصفات القص للتربة المعالجة بالإسمنت واقتراح النسبة المثالية من الإسمنت لمعالجة مشكلة الانتفاخ في التربة .

العوامل المؤثرة في مقدار الانتفاخ

1- العوامل الداخلية

ويقصد بها خواص التربة الهندسية وتشمل محتوى الماء الطبيعي والكثافة الجافة ومحتوى الطين ,والتركيب المعدني للتربة, ونوع معادن الطين, وحدود أتربرج (حد السيولة وحد اللدونة) ونفاذية التربة حيث إن التربة الجافة تمتص أكثر من التربة الرطبة وبالتالي تنتفخ أكثر وكلما زادت الكثافة الجافة الأولية للتربة زاد الانتفاخ عند تعرضها للماء, والتربة الحاوية على معدن المونتموريلونايت تنتفخ أكثر من التربة الحاوية على معادن الكالونايت والألايت وذلك لضعف الترابط بين جزيئات معدن المونتموريلونايت حيث يتمكن الماء من الدخول بينها ويتسبب في تباعدها وبالتالي زيادة حجمها وانتفاخها **(Lucian 2006)** .

2- العوامل الخارجية

وتشمل العوامل الحقلية والعوامل المختبرية حيث تشمل العوامل الحقلية الأحوال المناخية (الرطوبة والحرارة) وسمك الطبقة القابلة للانتفاخ , والعمق التي توجد عليه, ونوعية المباني,ومدة تطبيق الأحمال على التربة , وتاريخ التربة وما تعرضت إليه في الماضي من رطوبة وجفاف وأحمال ومنسوب المياه الجوفية . ومن العوامل المؤثرة على مقدار الانتفاخ المقاس في المختبر طريقة الرص ونوعية العينات (مقلقلة أو غير مقلقلة),حجم العينة حيث انه كلما زادت تقلبات المناخ من رطوبة وجفاف كبيرة كلما زادت قابلية التربة للانتفاخ وكلما زاد سمك طبقة التربة القابلة للانتفاخ وقربها من منطقة الأساس للمباني كلما زاد خطر إحتمال الانتفاخ وتعتبر المياه الجوفية مصدراً للرطوبة وامتصاص الماء.وكلما زادت قلقلة عينات التربة زاد مقدار الانتفاخ المقاس في المختبر **(Lucian 2006)** .

تصنيف التربة القابلة للانتفاخ :

هناك العديد من الطرق المستخدمة في تصنيف مدى قابلية التربة للانتفاخ حيث يعتمد التصنيف بشكل أساسي على خواص التربة الجيوتكنيكية (حدود أتربرك,معيار اللدونة, محتوى الطين, محتوى الماء الطبيعي) في معظم طرق التصنيف وتم إضافة قيم ضغط الامتصاص للتربة في الطرق الحديثة كأحد العوامل لتصنيف قابلية التربة للانتفاخ.

1- طريقة (Chen 1988)

تصنف التربة بهذه الطريقة بالاعتماد على مؤشر اللدونة فقط وتصنف قابلية التربة للانتفاخ إلى منخفضة ومتوسطة وعالية وعالية جداً كما موضح في جدول **رقم 1**.

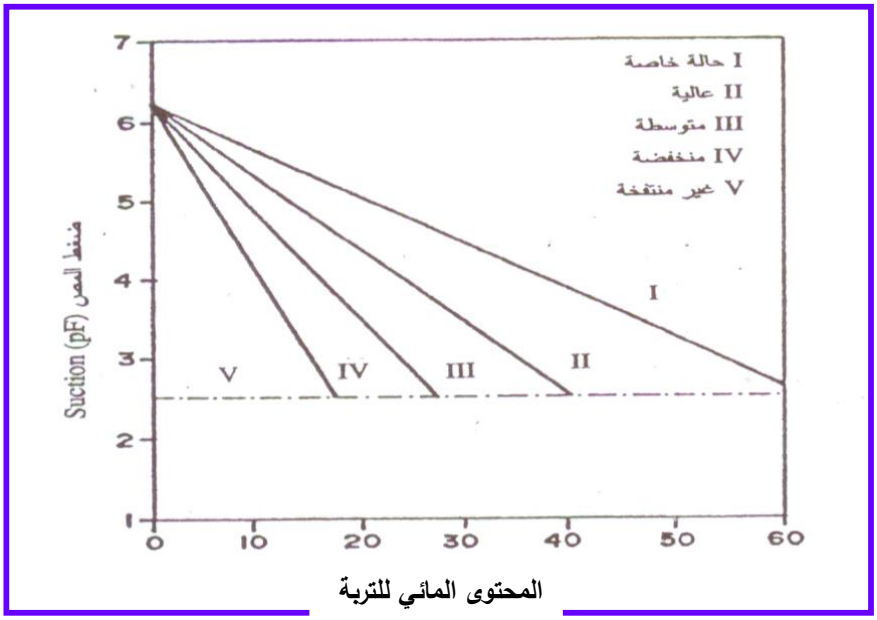
Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

جدول 1 تصنيف التربة الانتفاخية(Chen 1988)[3]

مؤشر اللدونة (PI)	تصنيف قابلية الانتفاخ
10 أو اقل	منخفضة
بين 10 و35	متوسطة
بين 35 و55	عالية
اكبر من 55	عالية جداً

2- طريقة (McKeen 1992)

يتم تصنيف التربة بهذه الطريقة على أساس المحتوى المائي بالإضافة إلى ضغط الامتصاص للتربة كما هو موضح في **الشكل 2**.



الشكل 2 يبين تصنيف التربة الانتفاخية McKeen 1992 [11]

الخصائص الفيزيائية للتربة (Physical Properties of Soil)

1- الخصائص الدالة للتربة والتي تشمل الخصائص الحبيبية وتتعلق بخصائص الحبيبات التي تتشكل منها التربة بشكل منفصل، دون الربط بينها وبين الشكل الذي هي عليه في التركيب الطبيعي للتربة. ولذا فمن السهل دراسة الخصائص الحبيبية لأية عينة من التربة، سليمة كانت أم مخلخلة. وتدرس الخصائص الحبيبية للتربة عادة من خلال التدرج الحبيبي (**Particle size distribution**) باستعمال مناخل قياسية (**Standard sieves**) أو بالتحليل الحجمي بالهيدروميتر

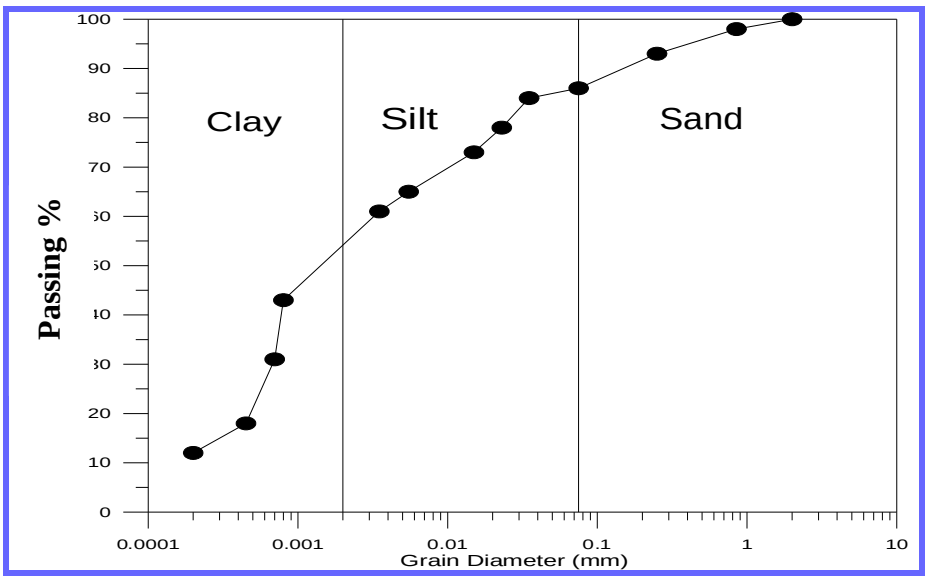
Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

(Hydrometer analysis) للحبيبات ذات القياسات الناعمة من الطمي **(Silt)** والطين **(Clay)**، وهما الطريقتان الأكثر شيوعاً لهذا الغرض.

2- خصائص القوام **(Consistency properties)** وتعبر عنها الحدود المعروفة بحدود أتربرك **(Atterberg's limits)**، وهذه الحدود هي :

- حد السيولة **(Liquid Limit - LL)** وهو محتوى الرطوبة الذي تتحول عنده التربة من حالة اللدونة إلى حالة السيولة.
- حد اللدونة **(Plastic Limit - PL)** وهو محتوى الرطوبة الذي تفقد بعده التربة خاصية اللدونة وتكون بحالة جافة نسبياً لا تسمح بتشكيلها إلى خيوط.
- دليل اللدونة **(Plasticity Index - PI)** وهو الفرق العددي بين قيمتي حد السيولة وحد اللدونة للتربة **(Bowles 1981, Head 1984)**.

بالإضافة إلى فحوص الوزن النوعي والكثافة الجافة للتربة المستعملة في البحث ويبين الجدول 2 أهم الفحوص الفيزيائية للتربة ويوضح **الشكل 3** التدرج الحبيبي للتربة المستعملة ويمكننا ان نصنف التربة على انها متوسطة بالنسبة الى قابليتها على الانتفاخ بالاعتماد مؤشر اللدونة (28) حسب **الجدول 1**.



الشكل 3 يبين التدرج الحبيبي للتربة المستعملة.

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

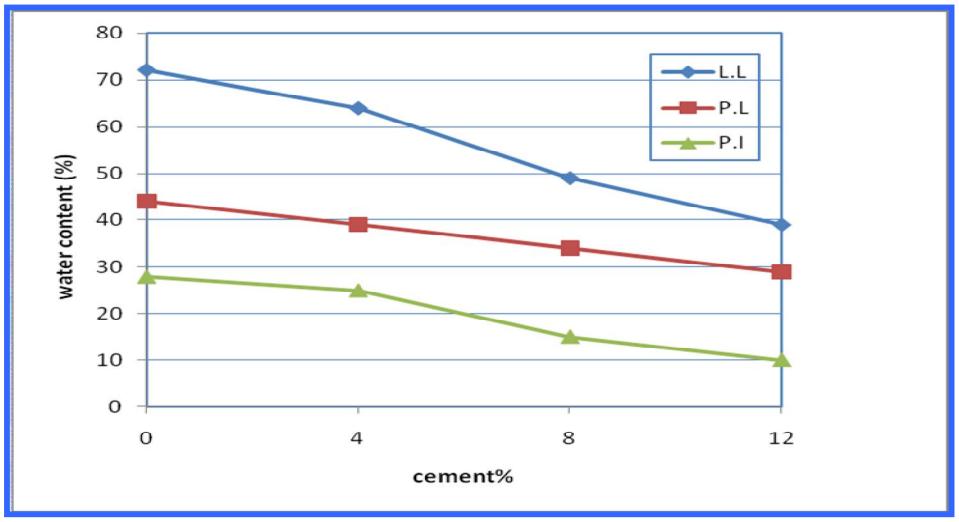
جدول 2 الخواص الفيزيائية للتربة المستعملة

الخاصية	القيمة	المواصفة
الكثافة الجافة (kN/m^3)	16	BS1377:1975 test No.1, A [Head, K.H. 1984]
حد السيولة (L.L %)	72	A BS1377:1975 test No.2, A [Head, K.H. 1984]
حد اللدونة % (P.L)	44	A BS1377:1975 test No.3, A [Head, K.H. 1984]
مؤشر اللدونة (P.I)	28	
نسبة الرمل %	14	USCS A [Head, K.H. 1984]
نسبة الغرين %	32	
نسبة الطين %	54	
التصنيف	CH	
الوزن النوعي	2.66	BS1377:1975 test No.6B A [Head, K.H. 1984]

النتائج والمناقشة

فحص حدود القوام (Consistency Limits Test)

يبين **الشكل 4** العلاقة بين نسبة الاسمنت كمادة مضافة وحدود السيولة واللدونة ومؤشر اللدونة حيث يبين الشكل مقدار الانخفاض في قيم حدود السيولة واللدونة بزيادة نسبة الاسمنت وان قيمة مؤشر اللدونة ستنخفض أيضاً ,ويمكن تفسير ذلك ان مادة الاسمنت هي مادة ناعمة الدقائق وعند إضافتها إلى التربة تشغل الفجوات الموجودة بين جزيئات التربة المنتفخة والتي تكون مشغولة بالماء قبل الإضافة وبذلك تعمل على تقليل نسبة الماء الموجود في التربة .إن إنخفاض حدود القوام للتربة من المؤشرات الجيدة للتربة المستخدمة كطبقة أساس في الطرق و المطارات ,حيث إن مقاومة القص للتربة تزداد عند نقصان حدود القوام .

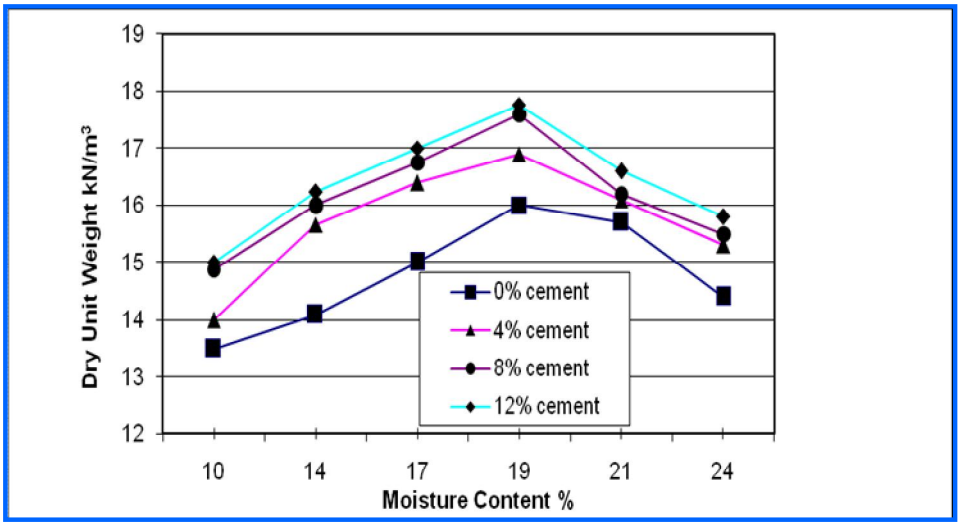


الشكل 4 يبين العلاقة بين نسبة الاسمنت وحدود السيولة واللدونة ومؤشر اللدونة.

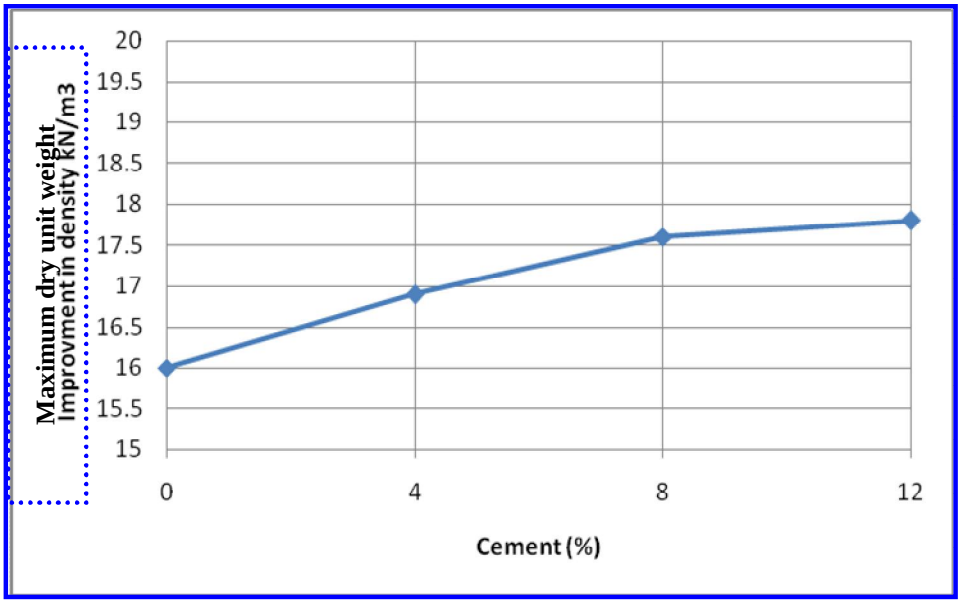
Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

فحص الرص (Compaction Test)

بعد إن تم إجراء فحص رص التربة ومن خلال **الشكل 5** الذي يوضح العلاقة بين المحتوى المائي والكثافة الجافة لتربة بدون إضافة مع التربة المخلوطة بنسب الإضافات المبينة.وبعد إضافة الاسمنت الى التربة وجد أن هناك زيادة في الكثافة الجافة العظمى بزيادة نسبة المادة المضافة ويمكن تعليل سبب الزيادة في قيمة الكثافة الجافة أن الاسمنت سوف يعمل على ملء الفراغات الهوائية الموجودة بين جزيئات التربة وبذلك سوف يعمل على زيادة كثافة الخليط وبنفس الوقت فإن هذه حبيبات التربة سوف تحتاج كمية ماء إضافية لغرض ترطيب سطحها للحصول على رص أفضل .ويبين **الشكل 6** العلاقة بين نسبة الاسمنت وقيمة الكثافة الجافة العظمى والذي يوضح مقدار التحسن الذي طرأ على مقدار الكثافة الجافة العظمى .



الشكل 5 يبين العلاقة بين المحتوى المائي والكثافة الجافة العظمى لنسب إضافات مختلفة.

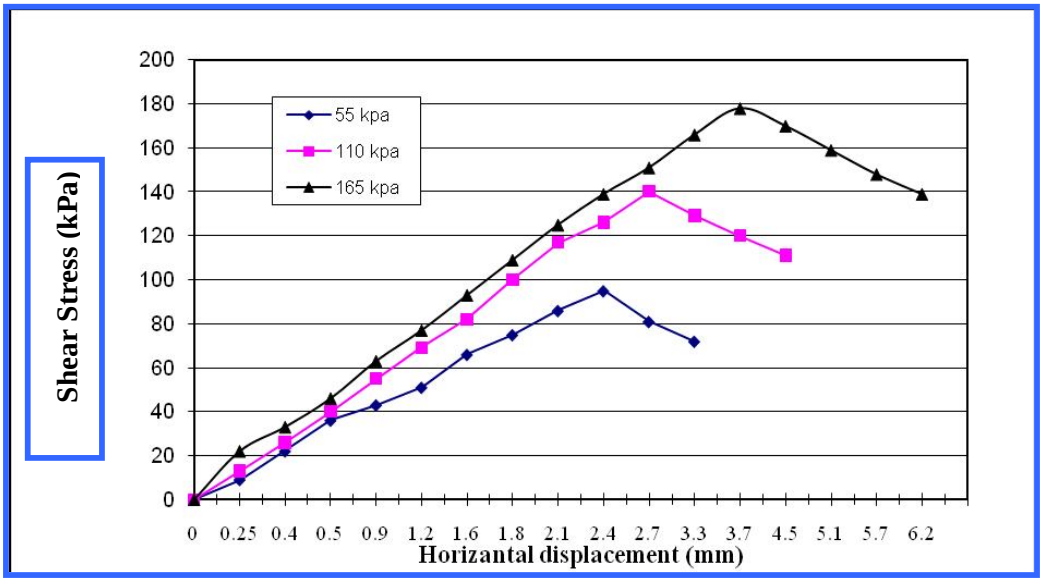


الشكل 6 يبين العلاقة بين نسبة الاسمنت وقيمة الكثافة الجافة العظمى .

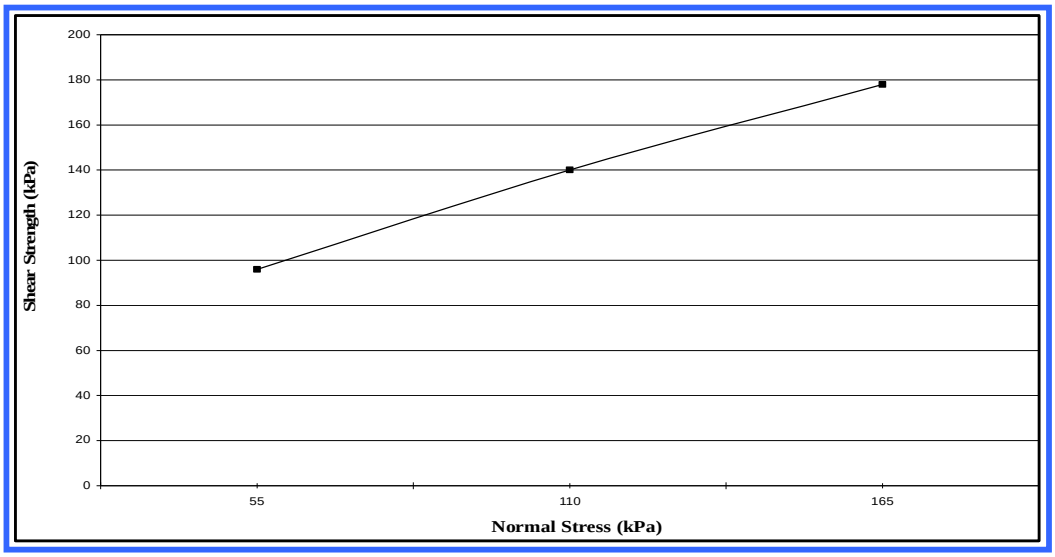
Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

فحص القص المباشر (Direct Shear Test)

إن تأثير إضافة الاسمنت إلى التربة الإنتفاخية في هذا الفحص موضح في **الشكل 8** الذي يبين العلاقة بين نسبة الاسمنت كمادة مضافة ومقاومة القص حيث نلاحظ أن هناك زيادة كبيرة في مقاومة القص بزيادة نسبة الاسمنت ويوضح **الشكل 9** **والشكل 10** الزيادة في قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة على التوالي .إن مادة الاسمنت عند إضافتها إلى التربة تعمل على زيادة قوى الاحتكاك أو قوة التلاصق أو القوتين معاً بينها وبين حبيبات التربة.



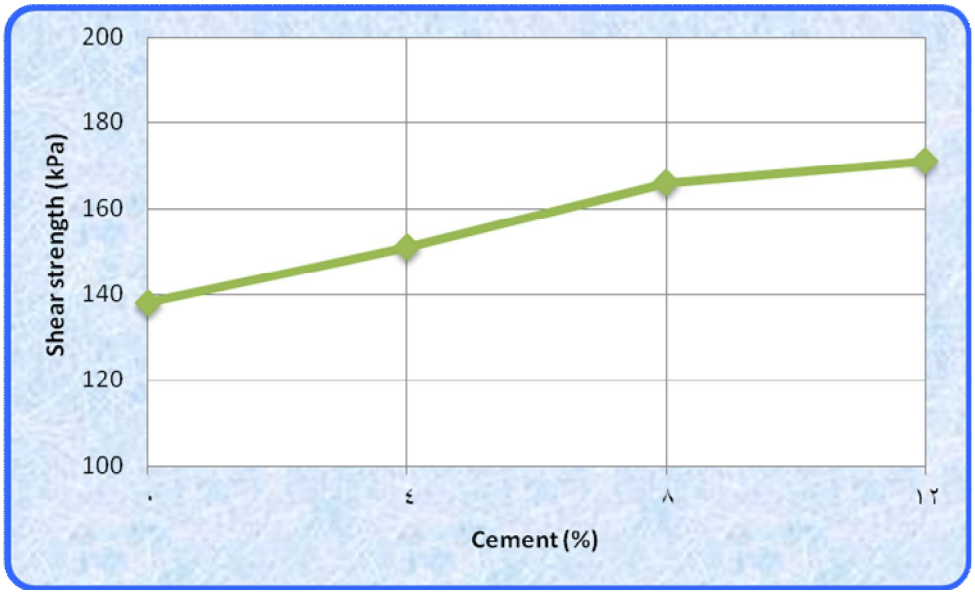
أ- العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص



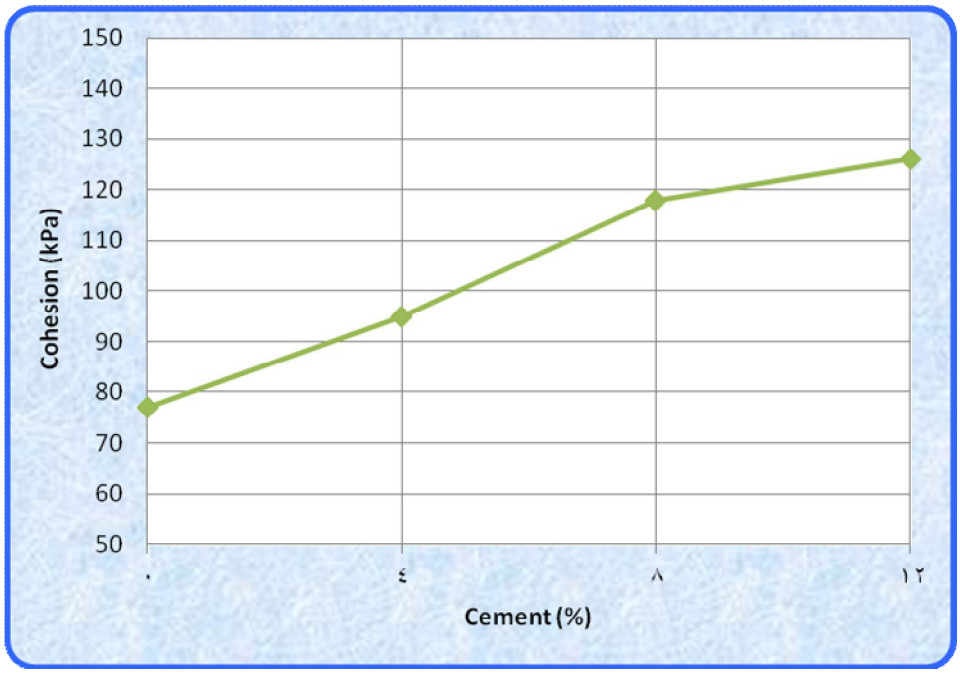
ب- العلاقة بين الإجهاد الطبيعي وإجهاد القص

الشكل 7 يوضح فحص القص المباشر لتربة إنتفاخية غير معالجة .

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

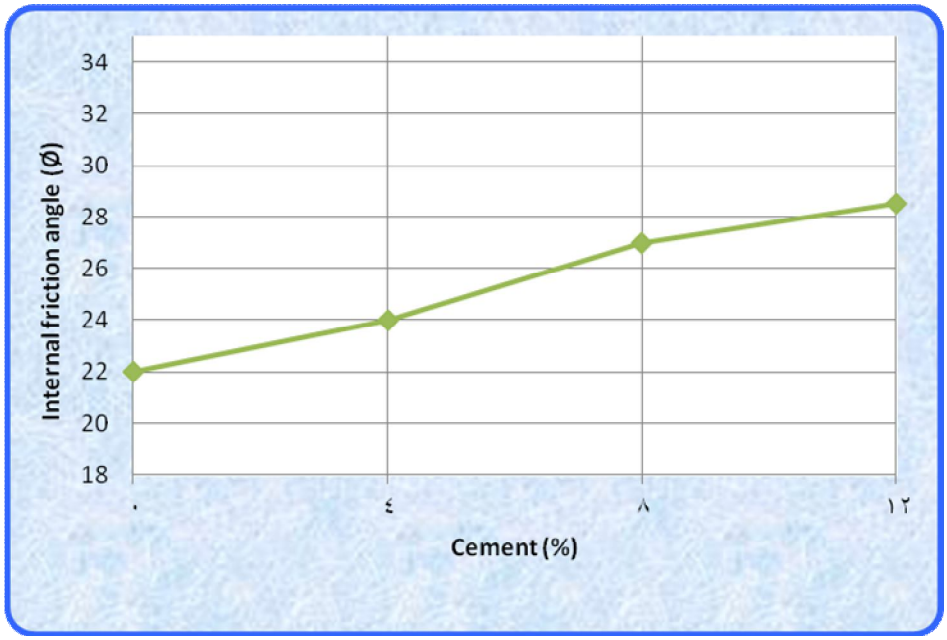


الشكل 8 يبين العلاقة بين نسبة الاسمنت ومقاومة القص.



الشكل 9 يبين العلاقة بين قيم التماسك للتربة ونسب الاسمنت.

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq



الشكل 10 يبين العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ونسب الاسمنت.

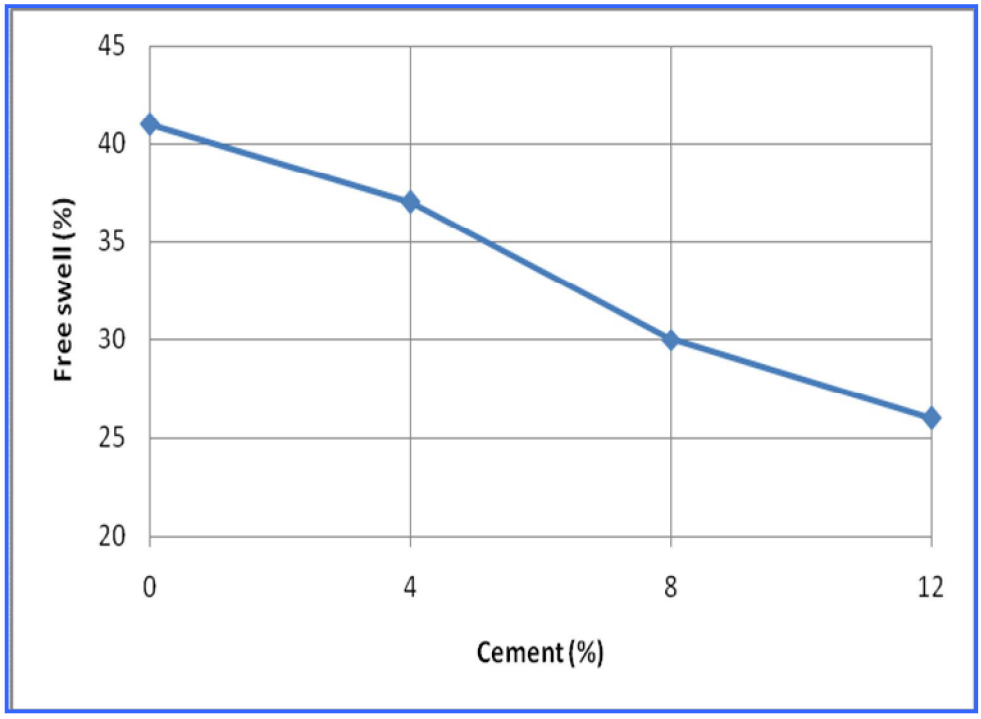
فحص الانتفاخ الحر (Free Swelling Test) :

في هذا الاختبار يتم وضع العينة في جهاز الاودوميتر ويتم السماح لها بالانتفاخ بحرية تامة تحت حمل(7 كيلو باسكال) وذلك بترطيبها بالماء ويتم حساب مقدار الانتفاخ بعد انتفاخ العينة كنسبة مئوية :

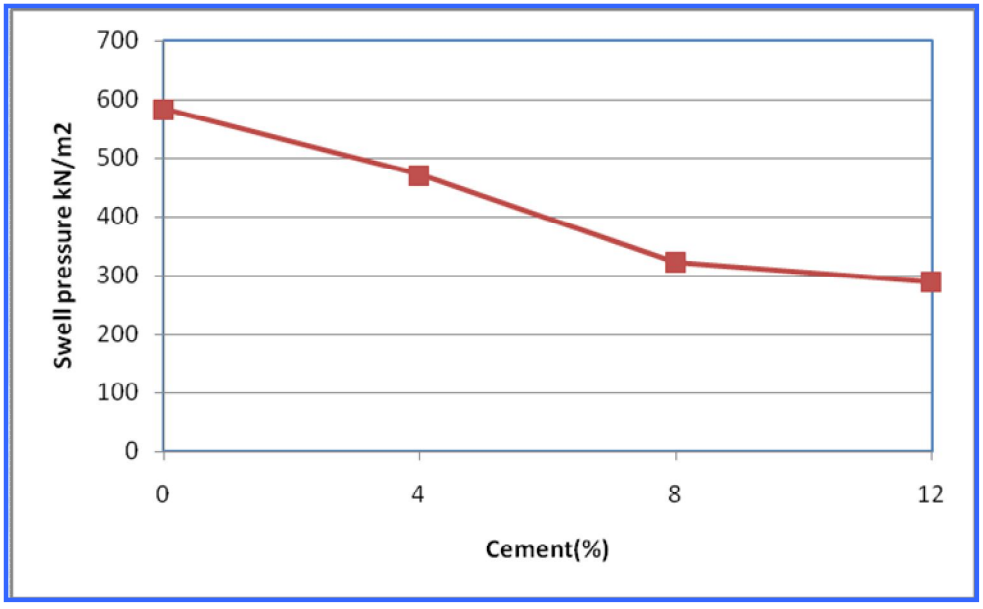
مقدار الانتفاخ = (التغيير الحاصل في إرتفاع العينة / الارتفاع الأصلي) X 100%.

وبعد ذلك يتم إضافة أحمال للعينة لإرجاعها إلى إرتفاعها الأصلي ويتم حساب ضغط الانتفاخ بقسمة مجموع الأحمال على مساحة العينة **(Al-Zoubi,M.S. 2008, Krohn et al. 1980)**. و**الشكل 11** يوضح العلاقة بين نسبة الاسمنت ونسبة الانتفاخ الحر حيث يقل الانتفاخ بزيادة الاسمنت المضاف إلى التربة و **الشكل 12** يبين الانخفاض الحاصل في ضغط الانتفاخ بزيادة نسبة الاسمنت,واننا قد نلاحظ ان نسبة الانتفاخ تكون مرتفعة وبالتالي فان قيم ضغط الانتفاخ ستزداد ايضاً وسبب ذلك ربما يعود الى التركيب الكيميائي للتربة (نوع المعدن , وجود المادة العضوية , وجود الاملاح) . بالاضافة الى ان (60 < L.L) وفعالية الطين = (نسبة الطين في التربة / مؤشر اللدونة) = 1,9 وهذا مؤشر على زيادة الانتفاخية للتربة اذ ان فعالية الطين أكبر من 1,25.

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq



الشكل11 يوضح العلاقة بين نسبة الانتفاخ الحر ونسبة الاسمنت .



الشكل 12 يوضح العلاقة بين ضغط الانتفاخ ونسبة الاسمنت.

Kufa Journal of Engineering (K.J.E)
ISSN 2207-5528
Vol. 5, Issue 2, June, 2014
Printed in Iraq

معالجة التربة المنتفخة

يوجد العديد من الخيارات لمعالجة التربة المنتفخة وتخفيف آثارها على المنشآت المقامة عليها, ومن هذه الخيارات معالجة التربة بالطرق الآتية:

1- إستبدال التربة الانتفاخية بتربة جيدة عندما تكون التربة قريبة من سطح الأرض وذات سمك قليل يمكن استبدالها بتربة أفضل منها ويتم حدل ورص التربة الجديدة جيداً .

2- تغيير طبيعة التربة الانتفاخية وخواصها الهندسية ويتم ذلك بعدة طرق منها :

أ- الحدل المنتظم لطبقات التربة .

ب- الترطيب المسبق وذلك بإشباع التربة بالماء والسماح لها بالانتفاخ قبل بدء الإنشاء ومن عيوب هذه الطريقة إنها تستغرق وقتاً طويلاً قد يصل الى عدة شهور .

ج- معالجة التربة الانتفاخية كيميائياً وذلك بضخ المثبتات الكيميائية مثل الجير أو الاسمنت أو النورة بين فراغات التربة حيث تساعد على تقليل حدود السيولة ومعيار اللدونة وبالتالي تقليل الانتفاخ .

د- منع تسرب المياه للتربة المنتفخة المقام عليها المنشأ وذلك باستخدام عوازل للرطوبة مثل بعض الألواح المعدنية لتقليل تسرب الماء للتربة وبالتالي تقليل مقدار الانتفاخ وقد تكون هذه العوازل أفقية لمنع تسرب المياه من سطح الأرض أو عمودية تحيط بالمنشأ لمنع تسرب الماء بشكل أفقي **(Donalson 1969, Hunt 2005)**.

3- تقوية المنشآت وذلك بتصميم عناصر المنشأ من بلاطات وجدران وأعمدة وأساسات لتتحمل الانتفاخ والضغط الناتج عليها.

4- استعمال الركائز كأساسات للمبنى بحيث تنقل الأحمال خلال التربة الانتفاخية إلى التربة غير الانتفاخية التي ترتكز عليها هذه الركائز.

5- عمل نظام تصريف للمياه في الموقع بعيد عن المنشآت بحيث يمنع تجمع المياه وتسربها للتربة القابلة للانتفاخ.

ويمكن إستعمال أكثر من طريقة من الطرق السابقة وذلك بالاعتماد على خصائص تربة الموقع الانتفاخية وكذلك طبيعة المنشآت في الموقع وبالتالي لا توجد طريقة معالجة واحدة يمكن ان تكون فعالة وعملية لكل الحالات **(Steinberg1985)**.

الإستنتاجات

من خلال الفحوص التي تم إجراؤها والنتائج المبينة في البحث يمكن إعتبار نسبة (8%) من الاسمنت المضاف إلى التربة هي أفضل النسب التي يمكن تطبيقها عملياً وذلك للأسباب التالية :

1- لإعطائها حدود قوام قليلة للتربة .

2- الحصول على قيم عليا لمقاومة القص عند هذه النسبة .

3- زيادة في قيم الكثافة الجافة العظمى .

4- زيادة ملحوظة في قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة وهذا مؤشر جيد لزيادة قابلية تحمل التربة .

5- إنخفاض في نسبة الانتفاخ وكذلك ضغط الانتفاخ يقل وبذلك تقل قابلية التربة على الانتفاخ.

المصادر الاجنبية

1. **Al-Zoubi,M.S. (2008)**, " Swell Characteristics of Natural and Treated Compacted Clays ", EJGE, Journal of Geotechnical Engineering,Vol.13,Bund.D.

2. **Bowles,J.E. (1981),** " Engineering Properties of Soils &Their Measurement", Mc. Graw-Hill, Inc.

3. **Chen,F.H. (1988),** "Foundations on Expansive Soils ", Amsterdam Elsevier Scientific Publishing Company.

4. **Das, B.M. (2004)**, " Principle of Geotechnical Engineering", 5th edition: Thomson Learning, USA.

5. **Donalson, G.W. (1969),** " The Occurrence of Problem of Heave and Factor Affecting its Nature" Second International Research and Engineering Conference on Expansive clay Soils", Texas A&M Press.

6. **Head, K.H. (1984)**, " Manual of Soil Laboratory Testing", Pentech Press, London , Vol.1, 2 &3.

7. **Hunt, R.E. (2005),** " Geotechnical Engineering Investigation Hand Book", Taylor& Francis. New York.

8. **Krohn, J. P. and Slosson, J.E. (1980)**, " Assessment of Expansive Soils in the United States" Proceedings of Forth International Conference on Expansive Soils, Denver, Colorado, U.S.A.

9. **Lew, B. (2010)** ," Structure Damage Due to Expansive Soils a Case Study ", the Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.15, Bund.M.

10. **Lucian,C.(2006)** ,"Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania: Preliminary Study", Licentiate Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.

11. **McKeen, R.G. (1992),** " A Model for Predicting Expansive soil Behavior ", Proceeding of the Seventh International Conference on Expansive Soils, Dallas, Texas, U.S.A.

12. **Steinberg, M. L. (1985)**, "Controlling Expansive Soil Destructiveness by Deep Vertical Geomembranes on Four Highways" Transportation Research Record No. 1032, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A.

المصادر العربية

13- **حسن ,حيدر (2011)**, " تأثير إضافة غبار الاسمنت على الخواص الجيوتكنيكية للترب المنتفخة " مجلة الهندسة الجامعة المستنصرية عدد 14 مجلد 31.

14- **علوش (2004)**, "معالجة التربة المنتفخة بالكلس" رسالة ماجستير جامعة الموصل - العراق .

15- **نورية , رنا (2009)**, " تحديد عمق منطقة الانتفاخ و نهوض الأساسات المقامة على تربة منتفخة مخلوطة بالإسمنت "مجلة البعث للعلوم الهندسية عدد 14 مجلد 31 .