

أثر اضطراب التربة على نتائج قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية في منطقة حوران باستخدام تقنيات مخبرية مختلفة

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية
قسم الجيوتكنيك

إعداد:
المهندس وسام فرزان الحناوي

إشراف:
الدكتور المهندس محمد كيال

كلمة شكر

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقل ربي زدني علماً)

صدق الله العظيم

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في هذا المشوار، إلا أن نتوجه بجزيل الشكر والتقدير والامتنان إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة، إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة، إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.

ونخص بالشكر

الدكتور المهندس محمد كيال

الذي تفضل مشكوراً بالإشراف على انجاز هذا العمل، ومهما طالت تلك السطور فستبقى كلماتها عاجزة عن التعبير عن الجهد العظيم والوقت الثمين والعلم الذي منحتنا اياه في سبيل انجاح هذا العمل، كما نتوجه بجزيل الشكر والعرفان إلى جميع الأساتذة في قسم الجيوتكنيك على كل ما قدموه من نصائح وتوجيهات سائلين الله عز وجل أن يقدرنا على سداد ولو جزء بسيط من فضلكم علينا.

الاهداء

إلى العطاء الدائم
إلى من منح روحي الدفء والحنان
إلى من كانوا ملاذي وملجئي
دعائكم ورضاكم سر نجاحي

أبي وأمي

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة
إلى البسمة الدائمة على شفة الحياة
إلى رياحين حياتي

أخوتي

إلى من شاركني أفراحي وقاسمني همومي وأتراحي
إلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات
المشوار لا يحلو إلا بوجودكم قربي

أصدقائي

إلى قدوتي ومثلي الأعلى
إلى من منحني كل العلم والدعم في سبيل انجاح هذا العمل
إلى أستاذي الفاضل

الدكتور المهندس أحمد سرعان

إلى من زرعت الأمل والتفاؤل في دربي
إلى من تطلعت لنجاحي بنظرات الأمل

زوجتي

إلى الشمعة التي أنارت ظلمة قلبي
إلى الروح التي سكنت روحي
إلى الوجه المفعم بالبراءة

يا رب

الفهرس

٦	الفصل الأول
٦	مقدمة
٦	١,١ طبيعة المشكلة
٧	٢,١ الهدف من البحث
٨	٣,١ تنظيم البحث
١٠	الفصل الثاني
١٠	الدراسات المرجعية
١٠	١,٢ مقدمة
٢٠	٢,٢ النتيجة
٢١	الفصل الثالث
٢١	الأعمال الحقلية والتجارب المخبرية
٢١	١,٣ مقدمة
٢٢	٢,٣ برنامج العمل الحقلية
٢٤	٢,٣ برنامج الأعمال المخبرية
٢٩	الفصل الرابع
٢٩	تحليل النتائج
٢٩	١,٤ الخواص الفيزيائية للتربة
٣٣	٢,٤ تحليل النتائج
٣٣	- اختيار العمق والعينات الحقلية الممثلة لنتائج البحث
٣٣	- تحديد قوام طبقة التربة المستهدفة
٣٤	- برنامج ومنهجية قياس ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لطبقة التربة المستهدفة
٣٦	- أثر الإجهاد الحقلية على ضغط انتفاخ التربة
٣٧	- أثر الضغط المطبق على الانتفاخ النسبي
٤٠	- أثر الضغط المطبق على ضغط الانتفاخ
٤٢	- أثر طريقة قياس ضغط الانتفاخ على تغير محتوى الرطوبة
٤٥	٣,٤ ملخص النتائج
٤٧	الفصل الخامس
٤٧	مقارنة النتائج والتحقق منها

٤٧	١,٥	أثر طريقة الاعتيان
٤٩	٢,٥	أثر طريقة الاختبار
٥٠	٣,٥	أثر الحمل المطبق الأولي
٥٢		النتائج والتوصيات
٥٢	١,٦	ملخص النتائج
٥٢	٢,٦	التوصيات
٥٣	٣,٦	مجالات تطبيق نتائج البحث
٥٣	٤,٦	توصيات للأبحاث المستقبلية
٥٥		ملحق نتائج التجارب المخبرية
٥٦		الملحق الأول
٥٦		نتائج تجارب المواصفات الفيزيائية والميكانيكية
٨١		الملحق الثاني
٨١		نتائج تجارب قياس ضغط الانتفاخ
١٠٦		المراجع

الفصل الأول

مقدمة

١,١ طبيعة المشكلة

تنتشرُ التربُ الغضارية الانتفاخية ضمن مساحات واسعة من أراضي الجمهورية العربية السورية، وخاصةً في المنطقة الجنوبية (منطقة حوران). إن الترب الغضارية الانتفاخية بشكل عام هي ترب غير مشبعة تحتوي على ميزات غضارية تبدي تغيرات حجمية كبيرة عند تغير محتوى الرطوبة فيها؛ مما يسبب أضرار كبيرة على المنشآت المقامة عليها وخصوصاً المنشآت ذات الأحمال الخفيفة كالطرق والأرصفة ومهابط الطائرات والأبنية الصغيرة، إذ يؤدي انتفاخ التربة المستندة إليها إلى تصدع تلك المنشآت وتشققها وانهارها أحياناً. لذلك من الضروري معرفة مقدار ضغط الانتفاخ الحقيقي لتلك الترب من أجل التقليل قدر الإمكان من الضرر الممكن أن يصيبها.

تُظهر نتائج التجارب المخبرية في قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية، والمأخوذة بطرائق إعتيان متعددة، وبتقنيات مخبرية مختلفة وجود فروقات كبيرة تصل أحياناً إلى 150% (Brackly, 1975; Ali and alturabi, 1984; sridharan et al.,1986) مما يترك أثراً سلبياً في تقييم ضغط الانتفاخ، الأمر الذي ينعكس سلباً على تصميم أساسات المنشآت المختلفة المشادة على الترب الانتفاخية في ناحيتين:

١. يكون ضغط الانتفاخ المقاس أقل من الضغط الحقيقي، مما يؤدي إلى أضرار جسيمة في المنشآت المختلفة كالأبنية والطرق والجسور وأقنية الري.
٢. يكون ضغط الانتفاخ المقاس أكبر من الضغط الحقيقي، مما يؤدي إلى تكاليف مرتفعة ناجمة عن حلول التأسيس المقترحة مثل (الأوتاد).

بيّنت الدراسة التي قام بها الباحثون (Attom *et al.*, 2006) بأن ضغط الانتفاخ المقاس لعينات التربة الغضارية الانتفاخية معادة التشكيل أقل بشكل ملحوظ من ضغط الانتفاخ لعينات تربة غير مضطربة. بينما بينت الدراسة التي قام بها (Almhaidib, 2002) والدراسة التي أجراها (Erol *et al.*, 1987) أن قيم ضغط الانتفاخ لنفس العينة تختلف باختلاف طريقة الاختبار. والجدير بالذكر أن قياس ضغط الانتفاخ بطريقة الانتفاخ الحر بواسطة جهاز الأودومتر (ASTM-D4546) هي من أكثر الطرق شيوعاً في سورية رغم تأكيد الكثير من الدراسات التي تناولت هذا الموضوع بأنها تعطي قيم لضغط الانتفاخ أعلى من القيم الحقيقية. ومن هنا تكمن أهمية هذا البحث في بيان أثر اضطراب التربة على نتائج قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية في منطقة حوران باستخدام تقنيات مخبرية مختلفة (Lu, 1975; Bracley, 1975; Lu, 1969; Sridharan *et al.*, 1986; Gilchrist, 1963).

٢,١ الهدف من البحث

بناء على ماورد يمكن تلخيص الهدف من هذا البحث بالنقاط التالية:

- تحديد العوامل المؤثرة على ضغط الانتفاخ للترب الغضارية، وبيان ماهو تأثير تلك العوامل.
- تقييم أثر العوامل المؤثرة على ضغط الانتفاخ من خلال إجراء تجارب مخبرية على عينات من التربة الغضارية الانتفاخية.
- التحقق من النتائج التي توصلنا إليها من خلال مقارنتها مع نتائج الدراسات والأبحاث المرجعية على أنواع من الترب الغضارية الانتفاخية المشابهة لعينات التربة المدروسة في بحثنا.

- وضع التوصيات اللازمة من أجل الوصول إلى أفضل طريقة مخبرية تعطي قيم لضغط الانتفاخ المقاس هي الأقرب إلى ضغط الانتفاخ الحقلي، والتي تأخذ بعين الاعتبار تلك العوامل.

٣,١ تنظيم البحث

لتحقيق الهدف المرجو من هذا البحث، نقوم في الفصل الثاني بدراسة مرجعية نستعرض من خلالها طرائق الاعتيان المختلفة للترب المتبعة محلياً وعالمياً وكذلك التقنيات المخبرية المختلفة المستخدمة في تقييم ضغط الانتفاخ للترب الغضارية. كما نبين في هذا الفصل ماورد في دراسات سابقة حول اختلاف قيم ضغط الانتفاخ نتيجة لاضطراب العينات المستخرجة بطرائق مختلفة، ونتيجة لاستخدام تقنيات مخبرية مختلفة، حيث ستكون هذه الدراسات المرجعية هي الأساس الذي سوف نبني عليه برنامج عملنا الحقلي والمخبري. في الفصل الثالث نستعرض برنامج العمل الحقلي الذي تم اعتماده للحصول على عينات بمختلف أنواعها،^١ والأدوات المستخدمة في هذه العمل، كما نشرح برنامج العمل المخبري الذي تم تنفيذه على العينات المأخوذة بأنواعها، بهدف الحصول على المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للتربة لتوضيح أثر نتائج هذه التجارب على قياس ضغط الانتفاخ للتربة المدروسة. في الفصل الرابع نستعرض نتائج التجارب المخبرية التي حصلنا عليها (فيزيائية وميكانيكية)، ونقوم بتحليل هذه النتائج وربطها بالعوامل المختلفة المتعلقة بطريقة الاعتيان من ناحية، وبطريقة الاختبار من ناحية أخرى. في الفصل الخامس نقوم بالتحقق من النتائج التي توصلنا إليها، وذلك من خلال مقارنتها مع الدراسات والأبحاث المرجعية التي تمت على ترب غضارية مشابهة للترب

^١ عينة سليمة وعينة مضطربة وعينة معادة التشكيل

الغضارية المدروسة في بحثنا، لننتهي البحث في الفصل السادس بملخص للنتائج التي توصلنا إليها والتوصيات المقترحة.

الفصل الثاني الدراسات المرجعية

١,٢ مقدمة

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة التأثيرات الناجمة عن استخدام أنواع مختلفة من العينات، وتقنيات مخبرية مختلفة وغير مماثلة لحالة التحميل الحقلية، على نتائج قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية. وعليه نجد أنه من الضروري إجراء استعراض شامل للدراسات التي تتناول موضوع أثر طرائق الاعتيان،^٢ وأثر استخدام تقنيات فحص مخبرية مختلفة^٣ على قياس ضغط الانتفاخ. في هذا الفصل، نقدم ملخص لأهم الأبحاث التي تتناول هذا الموضوع، ونلخص النتائج التي توصلت إليها بهدف بناء برنامج العمل الحقلية والمخبرية آخذين بعين الاعتبار الأبحاث التي تمت على تربة مماثلة للتربة المدروسة في بحثنا، والأبحاث التي تمت على تربة غضارية مختلفة مثل الغضار المتصخر (Shale) أو التربة التي تحتوي على مواد رابطة.

دراسة الباحث (2006) Attom et al.

من أهم الأبحاث ذات العلاقة تلك التي قام بها الباحثون (2006) Attom et al. لثلاثة أنواع من التربة الانتفاخية المأخوذة من منطقة في شمال الأردن، حيث يبين الجدول رقم ١-٢ نسب الغضار والسيلت والرمل لكل عينة من العينات المختبرة، إضافة لحدود أتريرغ والوزن النوعي والرطوبة والكثافة الجافة البدائية. تتراوح قيم حد السيولة للعينات الثلاث من 43% إلى 71%، وقيم قرينة اللدونة من 19% إلى 39%، ونسبة الغضار بين 45% و 75%. قام الباحثون بقياس ضغط الانتفاخ للتربة المذكورة باستخدام عينات سليمة وعينات

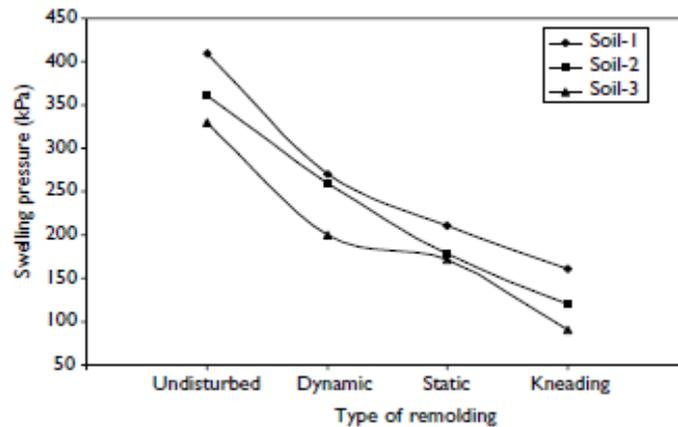
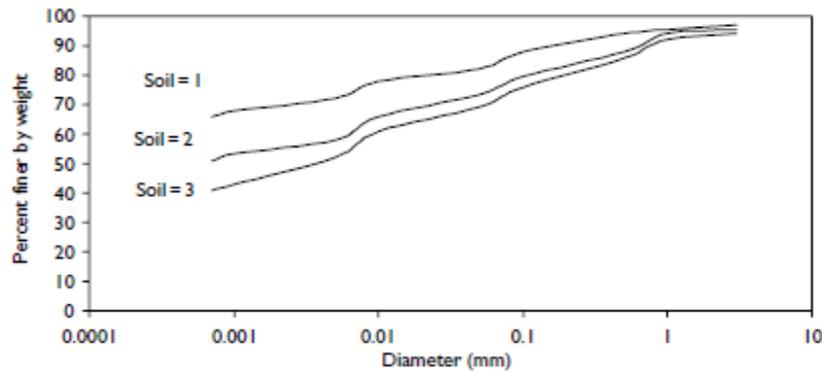
^٢ طريقة العينة الكتلية وطريقة الحفر الدوراني وطريقة إعادة التشكيل

^٣ طريقة الانتفاخ الحر وطريقة الانتفاخ المحمل وطريقة الحجم الثابت

معادة التشكيل بالطريقة الديناميكية وبالطريقة الستاتيكية وبطريقة العجن لها نفس المواصفات البدائية للعينات السليمة. وقد توصل الباحثون في هذا البحث إلى أن متوسط ضغط الانتفاخ لعينات التربة السليمة بلغ 350 كيلوباسكال، وقد انخفضت تلك القيمة إلى 110، 170، 220 كيلوباسكال للترب معادة التشكيل بالطريقة الديناميكية والطريقة الستاتيكية وطريقة العجن على التوالي، وكما هو مبين في الشكل ٢-١.

الجدول ٢-١: المواصفات الفيزيائية للترب المختبرة (Attom *et al.* (2006)

رقم عينة التربة	نسبة الرمل %	نسبة السيلت %	نسبة الغضار %	حد السيولة % L_L	حد اللدونة % P_L	قرينة اللدونة % PI	الرطوبة الطبيعية % w_n	الوزن الحجمي الجاف γ_d kN/m^3	الوزن النوعي
1	13	16	70	71	32	39	24	14.1	2.67
2	20	21	56	63	37	26	22	14.6	2.65
3	22	28	45	43	24	19	20	15.1	2.65

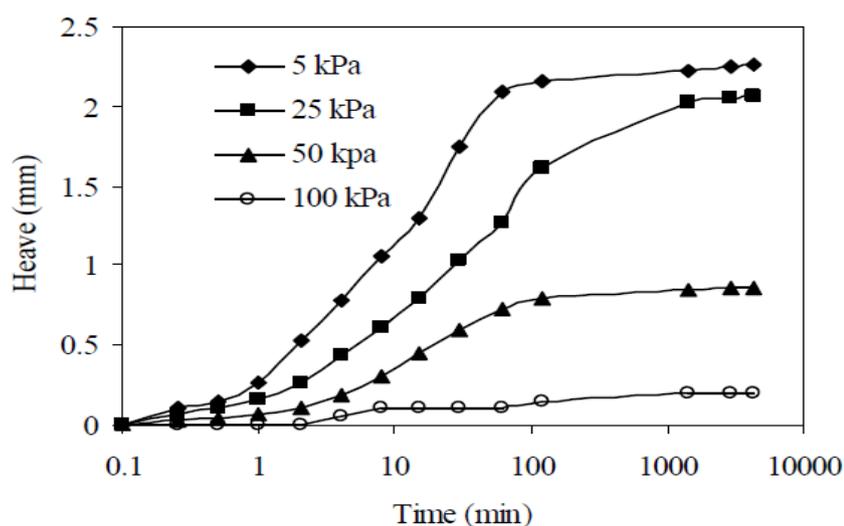


الشكل ٢-١: مقارنة بين ضغط الانتفاخ لعينات تربة سليمة وأخرى معادة التشكيل بطرق مختلفة (Attom *et al.* (2006)

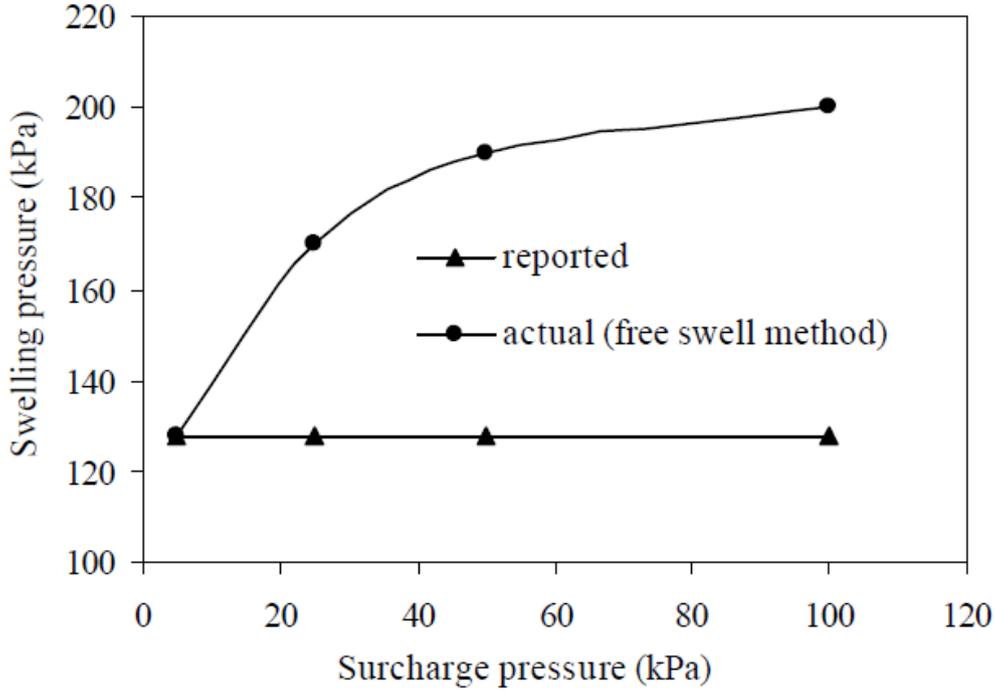
وقد عزى الباحثون هذه النتيجة، إلى أن ترسب التربة ورسها بشكل بطيء خلال تكوينها في الأحقاب الجيولوجية حقلها، يؤدي إلى اقتراب جزيئات الغضار من بعضها البعض بصورة كبيرة، وبالتالي إعطاؤها تراص أكبر من التربة معادة التشكيل مخبرياً.

دراسة الباحث (1997) Phanikumar

قام الباحث (1997) Phanikumar بدراسة أثر الحمولات المطبقة الأولية على ضغط التربة الانتفاخية، وذلك باستخدام تربة عالية الانتفاخية معادة التشكيل مارة على المنخل رقم 4 (4.75 mm)، وذات قرينة انتفاخ حر تساوي 250%، ووزن حجمي جاف يقارب من 12.20 kN/m^3 ورطوبة بدائية تساوي 0%، تم فيما بعد تطبيق حمولات أولية مختلفة تتراوح بين 5 و100 كيلوباسكال على عينات التربة المتماثلة، حيث سمح لها الانتفاخ في جهاز الأدومتر لمدة ثلاثة أيام، تم بعد ذلك قياس مقدار الانتفاخ وضغط الانتفاخ بشكل حر مع لوغاريتم الزمن. ونتيجة البحث أظهرت المنحنيات المبينة بالشكل رقم ٢-٢ أن مقدار الانتفاخ لعينات التربة يتناقص مع زيادة الحمل المطبق الأولي. بينما يبين المنحني بالشكل رقم ٢-٣ بوضوح زيادة مقدار ضغط الانتفاخ مع زيادة مقدار الضغط الأولي المطبق.



الشكل ٢-٢: مقارنة بين مقدار الانتفاخ مع الزمن لعينات محملة بضغطات أولية مختلفة Phanikumar (1997)



الشكل ٢-٢: مقارنة بين قيم ضغط الانتفاخ تحت تأثير ضغوطات أولية مختلفة
Phanikumar (1997)

دراسة (Almhaidib (1998)

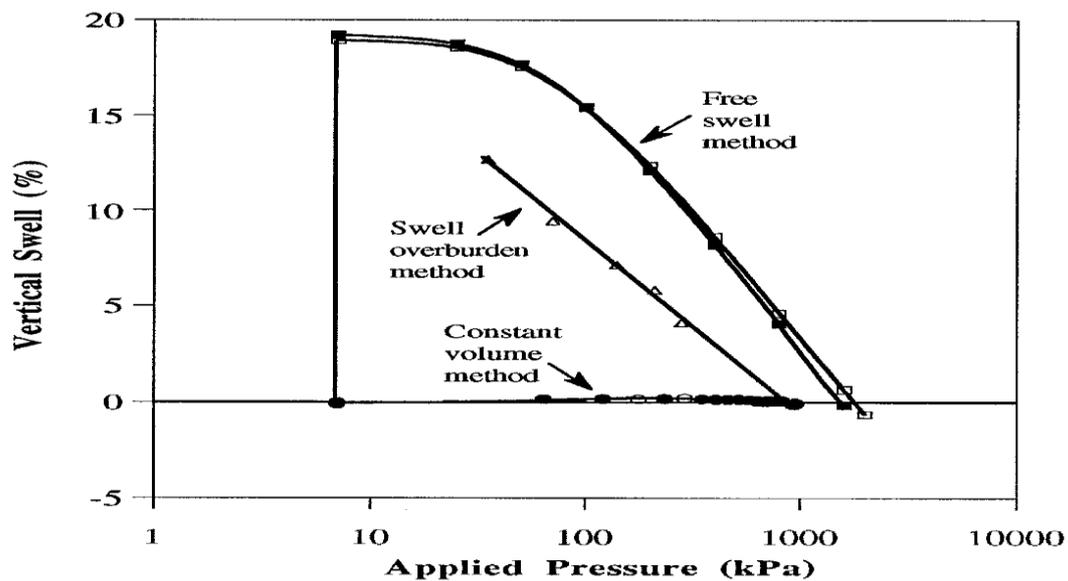
قام الباحث (Almhaidib (1998) بقياس ضغط الانتفاخ لعينات معادة التشكيل من الغضار القاسي الانتفاخي (Shale) المتواجد في المنطقة الوسطى من المملكة العربية السعودية. يبين الجدول رقم ٢-٢ المواصفات الفيزيائية للتربة المدروسة وذلك باستخدام ثلاث تقنيات مختلفة بواسطة جهاز الأدومتر وهي الانتفاخ الحر، والانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي وطريقة الحجم الثابت.

الجدول ٢-٢: المواصفات الفيزيائية للغضار القاسي (Almhaidib (1998)

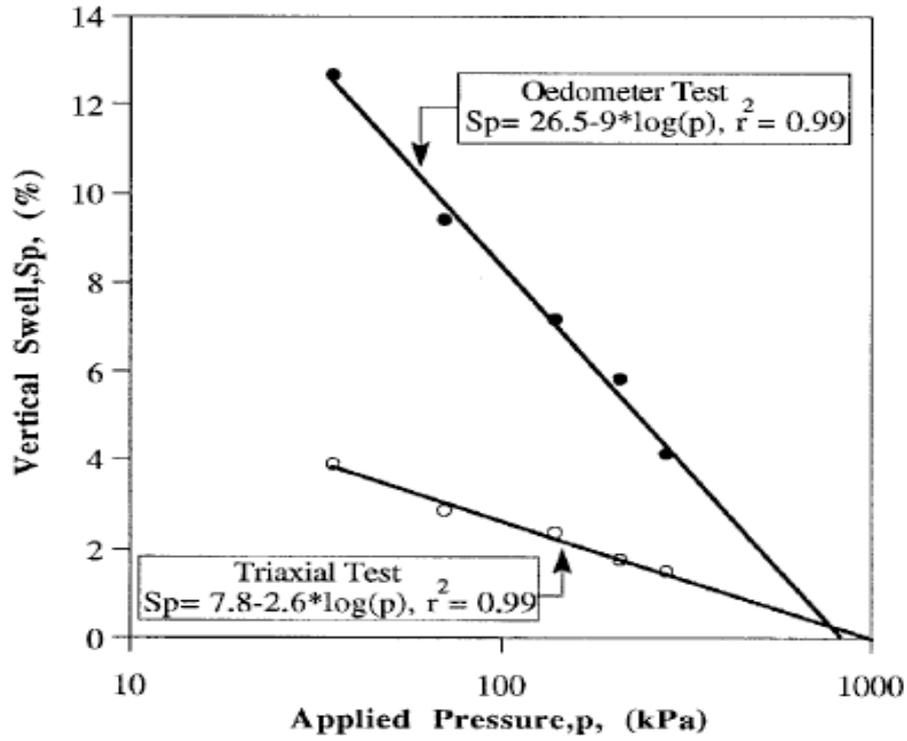
رقم عينة التربة	نسبة الغضار %	حد السيولة % LL	حد اللدونة % PL	قربنة اللدونة % PI	الرطوبة الطبيعية % w_n	الوزن الحجمي الجاف γ_d kN/m^3	الوزن النوعي	التصنيف الموحد للتربة
1	70	60	31	29	22	18	2.8	CH

أظهرت نتيجة الدراسة المبينة في الشكل ٢-٤ بأن قيمة ضغط الانتفاخ المقاسة بواسطة طريقة الانتفاخ الحر قد أعطت أكبر قيمة لضغط الانتفاخ، والبالغة 1700 كيلوباسكال. بينما أعطت قيمة ضغط الانتفاخ بطريقة الضغط المحمل بضغط التربة الحقلي أصغر قيمة والبالغة 880 كيلوباسكال. أما قيمة ضغط الانتفاخ المقاسة بطريقة الحجم الثابت فقد بلغت قيمة وسطى بين القيمتين السابقتين وتساوي 960 كيلوباسكال. أما قيمة ضغط الانتفاخ المقاس بجهاز القص ثلاثي المحاور فقد بلغت 1000 كيلوباسكال. ويُعزى ذلك إلى اختلاف ظروف التحميل والترطيب في كل حالة. وبالنتيجة، وجد الباحث أن طريقة الانتفاخ الحر لا تمثل الحالة الحقلية، حيث أن التربة في الحقل لا تمتص الماء ثم تنتفخ ثم يتم تطبيق حمولات المنشآت عليها. كذلك الأمر بالنسبة لطريقة الحجم الثابت، فهي لا تماثل الحالة الحقلية حيث أن الأحمال في فترة استثمار البناء لا تتغير مع الزمن. أما طريقة الضغط المحمل بضغط التربة الحقلي فإنها تعتبر الأكثر تمثيلاً للحالة الحقلية (El Sayed and Rabbaa (1986) نتيجة لمقارنتها بنتائج تجربة الانتفاخ باستخدام جهاز القص ثلاثي المحاور كما هو مبين في الشكلين ٢-٥ و

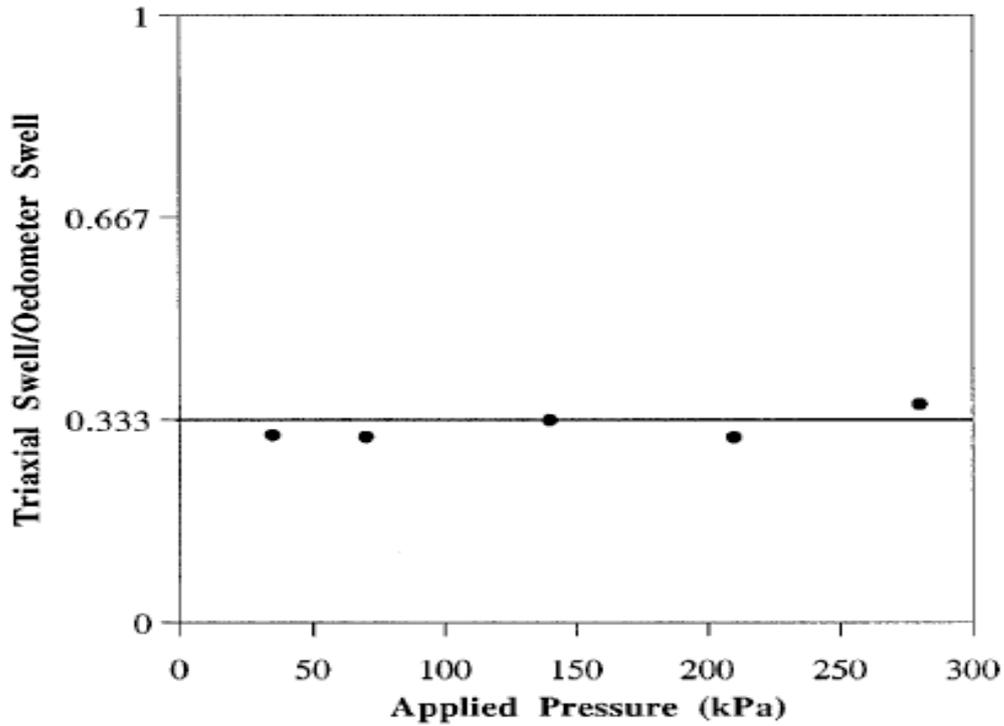
٦-٢.



الشكل ٢-٤: مقارنة بين مقدار ضغط الانتفاخ للغضار القاسي باستخدام تقنيات مختلفة (Almhaidib (1998)



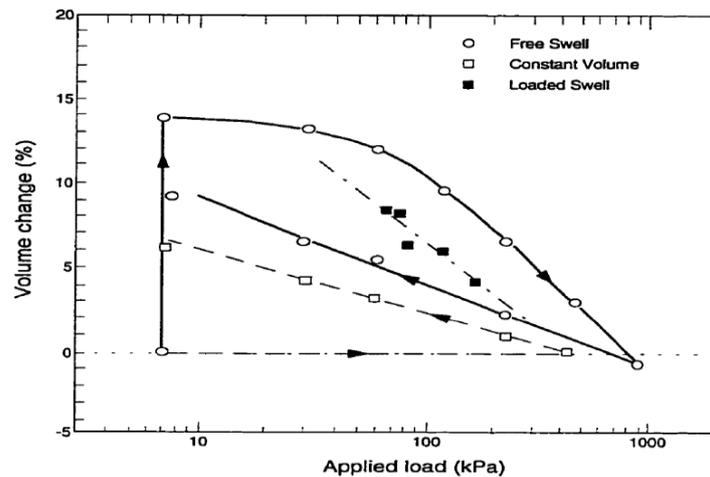
الشكل ٥-٢: مقارنة بين مقدار الانتفاخ الشاقولي المقاس بالانتفاخ المحمل والانتفاخ بواسطة ثلاثي المحاور (Almhaidib (1998)



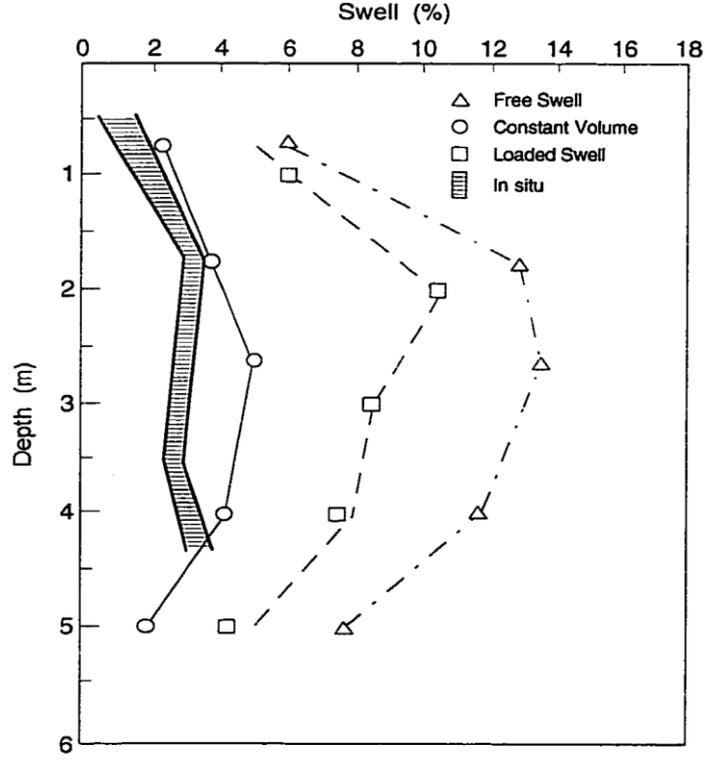
الشكل ٦-٢: نسبة الانتفاخ الشاقولي من ثلاثي المحاور إلى الانتفاخ المحمل بالأدومتر مقابل الضغط المطبق (Almhaidib (1998)

دراسة (Erol et al. 1987)

قام الباحثون (Erol et al. 1987) باختبار عينات غير مضطربة من الغضار الانتفاخي القاسي (Shale)، حيث قاموا بتقييم ومقارنة نتائج قياس ضغط الانتفاخ باستخدام ثلاثة تقنيات مخبرية مختلفة هي الانتفاخ الحر والانتفاخ المحمل والانتفاخ بالحجم الثابت. وقد توصل الباحثون كما هو مبين في الشكل ٧-٢ إلى أن مقدار الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ المقاس بطريقة الانتفاخ الحر قد أعطت قيمة أكبر من القيم المقاسة. بينما أعطت طريقة الانتفاخ المحمل أخفض القيم. أما طريقة الحجم الثابت فقد أعطت قيم تتراوح بين القيم السابقة. كذلك تم قياس الانتفاخ النسبي الحقلي للتربة بعمق 5 متر، حيث تم إشباع التربة بتقنية ترطيب صناعية. وقد أظهرت النتائج أن ضغط الانتفاخ بواسطة طريقة الحجم الثابت قد أعطت أقرب النتائج المقاسة إلى القيم الحقلية، أما طريقة ضغط الانتفاخ الحر فقد أعطت نتائج بعيدة عن النتائج الحقلية، كما هو مبين الشكل ٨-٢. وقد عزى الباحثون هذه النتيجة إلى عامل التقييد الجانبي للانتفاخ حيث أن محتوى الرطوبة النهائي للتربة في الحقل أقل منه في تجربة الانتفاخ الحر بواسطة الأدمتر.



الشكل ٧-٢: مقارنة بين التغيرات الحجمية للتربة الانتفاخية باستخدام ثلاث تقنيات مختلفة (Erol et al., 1987)



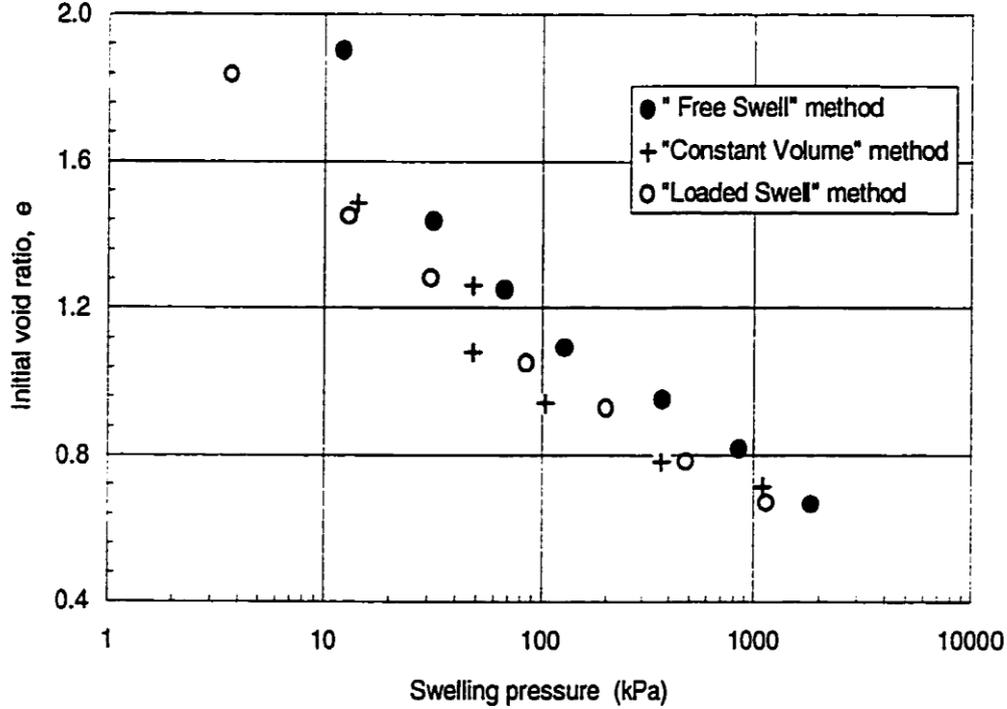
الشكل ٢-٨: مقارنة بين نتائج قياس نسبة الانتفاخ لعينات الغضار القاسي مع العمق باستخدام عدة تقنيات (Erol *et al.*, 1987)

دراسة الباحث (1963) Gilchrist

أجرى الباحث (1963) Gilchrist دراسة السلوك الانتفاخي لغضار ريجينا (Regina Clay) معاد التشكيل (من مقاطعة ألبرتا في كندا)، حيث بلغ متوسط حد السيولة للعينات المدروسة 75% ومتوسط قرينة اللدونة 40%، مما يدل على أن الغضار المدروس في هذا البحث يماثل إلى حد ما غضار منطقة حوران، موضوع بحثنا.

قام الباحث أيضاً بقياس ضغط الانتفاخ لعينات غضار ريجينا باستخدام تقنيات الانتفاخ الحر والانتفاخ المحمل والانتفاخ ثابت الحجم، حيث وجد كما هو مبين بالشكل ٢-٩ أن قيم ضغط الانتفاخ لعينات غضار ريجينا المختبرة بطريقة الانتفاخ الحر أعلى من قيم ضغط

الانتفاخ للعينات المختبرة بطريقة الحجم الثابت، وطريقة الانتفاخ المحمل. كما أن قيم ضغط الانتفاخ تتزايد بشكل عام مع تناقص قيم معامل المسامية الأولي (e).



الشكل ٢-٩: مقارنة بين نتائج قياس نسبة الانتفاخ لغضار ريجينا باستخدام عدة تقنيات (Gilchrist, 1963)

دراسة الباحث (Kassiff et al. (1965)

قام الباحثون (Kassiff et al. (1965) بقياس ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لعينات سليمة وأخرى معادة التشكيل بالطريقة الستاتيكية من التربة الغضارية عالية اللدونة، حيث بلغ حد السيولة 75%، وقرينة اللدونة 45%، وحد الانكماش 10%. أما الرطوبة الطبيعية فقد تراوحت قيمها بين 15% و 32%، والكثافة الجافة بين 7.1 و 8.1 kN/m³.

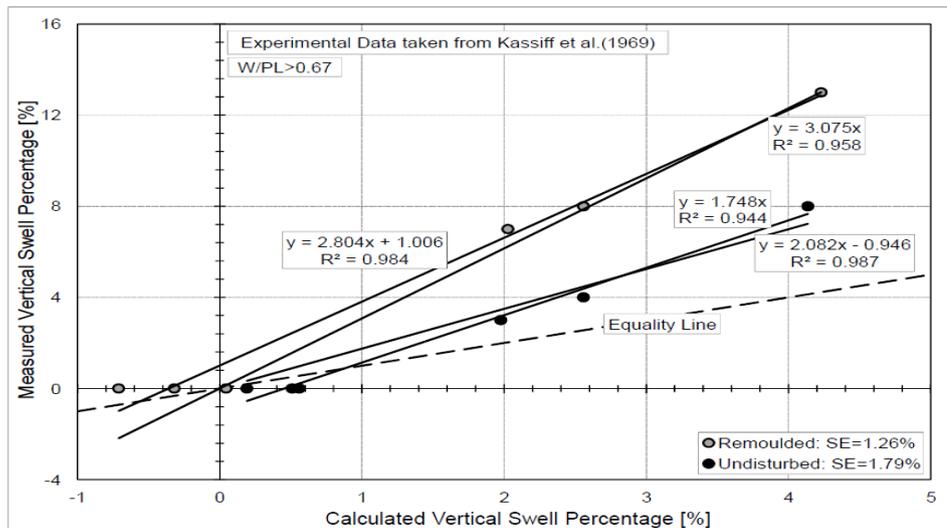
بينت نتائج قياس ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي والمبينة بالجدول ٢-٣ أن ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي للعينات معادة التشكيل أكبر منه للعينات غير المضطربة كما هو مبين في الشكل ٢-١٠. إلا أن هذه النتيجة تعتبر من الحالات النادرة، حيث يعود السبب إلى

وجود مواد رابطة بين جزيئات الغضار تتميز بتأثيرها في ناحيتين: أولها أنها تغلف جزيئات الغضار وتمنعها من امتصاص الماء، وثانيها أنها تربط بين جزيئات الغضار وتمنعها من الانتفاخ. وبالتالي، فإن عملية إعادة تشكيل العينات الغضارية تؤدي إلى تخريب تلك الروابط التي كانت تعيق عملية الانتفاخ للعينات السليمة مما ينجم عنه ضغط انتفاخ أكبر للعينات معادة التشكيل.

الجدول ٢-٣: نتائج قياس الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ Kassiff *et al.* (1969)

Moisture content [%]	Dry density [kN/m ³]	Swelling pressure [kPa]		Vertical swell under zero surcharge* [%]	
		Remolded	Undisturbed	Remolded	Undisturbed
15	15.7	---	764.9	---	33
20	14.5	---	392.3	---	22
20	13.7	313.8	---	18	---
25	13.6	---	137.3	---	8
25	13.7	274.6	---	13	---
30	12.8	156.9	63.7	8	4
30	11.8	88.3	---	7	---
32.5	12.3	---	44.1	---	3

* The applied surcharge is actually not zero, but 1 psi (i.e. 6.9 kPa).



الشكل ٢-١٠: مقارنة بين نتائج قياس نسبة الانتفاخ لعينات غضارية سليمة وأخرى معادة التشكيل Kassiff *et al.* (1969)

٢,٢ النتيجة

نستخلص مما سبق ما يلي:

- إن مقدار ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لعينات التربة الغضارية يتأثر بمقدار الأحمال الأولية المطبقة على العينة قبل البدء بعملية الانتفاخ؛ إذ إن مقدار الانتفاخ النسبي يتناقص بشكل عام مع زيادة مقدار الحمل الأولي المطبق.
- إن مقدار ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي للترب الغضارية يختلف باختلاف الطريقة المستخدمة في الاختبار، حيث أن طريقة الانتفاخ الحر تعطي أعلى القيم من باقي الطرائق المستخدمة، كالانتفاخ المحمل والانتفاخ مع ثبات الحجم.
- إن إعادة تشكيل عينة التربة أو اضطرابها يقلل من قيم ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي للترب الغضارية بشكل عام، إلا في حالة الترب الحاوية على مواد رابطة.
- بناءً على مراجعة الأبحاث السابقة، وجدنا أنه يوجد اختلاف جذري في نتائج قياس ضغط الانتفاخ عندما تتغير التربة من تربة طبيعية إلى تربة تحتوي في تركيبها على مواد رابطة. أو عندما تتغير التربة من غضار متوضع على أعماق قليلة إلى غضار متصخر (Shale) نتيجة لتعرضه لضغوط كبيرة أدت لزيادة كثافته الجافة.

الفصل الثالث

الأعمال الحقلية والتجارب المخبرية

١,٣ مقدمة

نتيجة لما سبق استعراضه من دراسات مرجعية، نستنتج أن قيمة ضغط الانتفاخ

والانتفاخ النسبي للترب الغضارية تتأثر بالعوامل التالية:

• نوع التربة ومواصفاتها

- غضار عادي عالي اللدونة.

- غضار متصخر عالي اللدونة.

- غضار اسمنتي عالي اللدونة.

• طريقة اعتيان التربة

- طريقة الحفر الدوراني حقلياً.

- طريقة اعادة التشكيل مخبرياً.

• طريقة قياس ضغط الانتفاخ

- الانتفاخ الحر.

- الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي.

- الانتفاخ المحمل بأحمال إنشائية.

- الحجم الثابت.

بناءً على ذلك، تم وضع برنامج العمل الحقلي بهدف الحصول على أنواع مختلفة من

العينات المحفورة دورانياً وعينات معادة التشكيل من الغضار العادي عالي اللدونة. كذلك تم

وضع برنامج العمل المخبري المتضمن تحديد المواصفات الفيزيائية والميكانيكية لعينات التربة المختبرة، ومن ثم قياس ضغط الانتفاخ لتلك العينات باستخدام التقنيات المخبرية التالية:

- الانتفاخ الحر.

- الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي.

- الانتفاخ المحمل بأحمال انشائية.

- الحجم الثابت.

٢,٣ برنامج العمل الحقلي

يشمل برنامج العمل الحقلي الحصول على عينات محفورة دورانياً من أعماق مختلفة. من أجل ذلك تم المباشرة بتنفيذ الأعمال الحقلية بتاريخ ٢٠١٢/١٢/١٦، وذلك في الجهة الغربية الواقعة خلف مبنى الورشات، ضمن حرم موقع الجامعة الدولية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا على الطريق الدولي دمشق درعا في منطقة غباغب، والتي تبعد حوالي ٣٥ كلم جنوب مدينة دمشق، وكما هو موضح في الموقع العام للجامعة في الشكل ١-٣.



الشكل ١-٣ موقع السبر في الجامعة الدولية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا

تم حفر سبر دوراني واحد بقطر ١٠ سم، وبعمق ٧ متر أسفل منسوب الأرض الطبيعية بواسطة آلة حفر ميكانيكية ذات رأس دوراني مفرد (single core)، باستخدام الماء المضغوط من أجل المساعدة في عملية الحفر كما هو مبين في الشكل ٣-٢، حيث تم الحصول على عينات تربة مضطربة (يعتبرها البعض عينات سليمة) بهدف تحديد المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للتربة.

تم استخراج عينات التربة المحفورة كاملة من اسطوانة الحفر كما هو مبين في الشكل ٣-٣، حيث بوشر بعدها بتغليف العينات بشمع البرافين وتخزينها بعيد عن أشعة الشمس المباشرة بهدف الحفاظ على المواصفات البدائية للتربة لتكون ممثلة لطبقة التربة المستخرجة منها. كما تم إرفاق كل عينة ببطاقة تعريف بالعينة تتضمن مكان أخذ العينة والعمق والتاريخ وطريقة الاعتيان ليصار إلى نقل العينات إلى مخبر ميكانيك التربة.



الشكل ٣-٢: آلة الحفر الدورانية المستخدمة في عملية اعتيان التربة



الشكل ٣-٣ عينة تربة غضارية مستخرجة من آلة الحفر

٢,٣ برنامج الأعمال المخبرية

بعد إحضار عينات التربة المستخرجة إلى المخبر، تم البدء بإجراء التجارب المخبرية

اعتباراً من تاريخ ٢٠١٢/١٢/١٦ والتي شملت:

الرطوبة الطبيعية (ASTM-D2216) Moisture content

تم تقشير عينات التربة بسماكة حوالي 10 مم بهدف إزالة القسم الذي قد يكون تغيرت رطوبته بفعل ماء الحفر أو سخونة اسطوانة الحفر، حيث تم أخذ عينة ومن ثم تم وزنها رطبة ووضعها بالفرن بدرجة حرارة 105 درجة مئوية بعد التأكد من عدم وجود رطوبة زائدة، مما يؤثر على عملية التجفيف. وبعد مضي 24 ساعة، تم وزن العينات جافة ومن ثم تم حساب نسبة الرطوبة للعينات البالغ عددها 14 عينة.

الوزن الحجمي الكلي (ASTM-D7263) Total Unit Weight

تم أخذ عينة تربة سليمة بعد إزالة طبقة بسماكة 10 ملم من العينة الأساسية كما ورد سابقاً. تم وزن العينة في الهواء مباشرة، ومن ثم تغليف العينة بواسطة شمع البرافين بشكل يؤمن

كتامة العينة بهدف منع وصول الماء إليها أثناء وزنها بالماء. من ثم تم حساب الوزن الحجمي الطبيعي لسبع عينات من التربة.

حدود أتيرغ (ASTM-D4318) Atterberg Limits

تهدف هذه التجربة إلى تحديد حد السيولة وحد اللدونة وبالتالي تصنيف التربة حسب تصنيف التربة الموحد (Unified Soil Classification System)، والحصول على قيمة قرينة اللدونة التي تعطي مؤشر على قابلية تلك الترب للانتفاخ. تم التأكد من معايرة جهاز تحديد حد السيولة، ومن دقة الميزان المستخدم في التجربة بحيث لا تقل دقة القياس عن 1% من الغرام حسب ماورد في خطوات التجربة حسب ASTM-D4318 حيث بلغ عدد العينات المختبرة سبع عينات.

التحليل الحبي للتربة (ASTM- D422) Sieve Analysis

تهدف هذه التجربة إلى تحديد نسبة توزع الحبيبات ذات القطر الأكبر من 75 ميكرون (المحجوزة على المنخل رقم 200)، حيث تم تجفيف العينة في الفرن بدرجة حرارة 105 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة، ومن ثم تمت عملية غسل العينة على المنخل رقم 200 والتجفيف مرة أخرى حتى ثبات الوزن ليتم حساب نسبة المحجوز والمار بالغسيل. بلغ عدد العينات المختبرة في هذه التجربة سبع عينات. كما يمكن تحديد نسب توزع أقطار الحبيبات ذات القطر الأصغر من 75 (المارة من المنخل رقم 200) ميكرون بواسطة الترسيب باستخدام الهايدرومتر. تم اجراء تجربة الترسيب بواسطة الهايدرومتر لثلاث عينات.

الوزن النوعي النسبي (ASTM- D854) Specific Gravity

تهدف هذه التجربة لتحديد الوزن النوعي النسبي للتربة باستخدام البيكنومتر. تم أولاً معايرة البيكنومتر، حيث ملأ بماء مقطر بدرجة حرارة 20 مئوية حتى الإشارة، وتم وزنه بدقة

1% من الغرام. بعد ذلك تم أخذ عينة تربة مجففة بدرجة حرارة 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة ووضعت في البيكنومتر، وتم غمرها بالماء حتى الثلث، ليصار إلى تخلية العينة من الفقاعات الهوائية بواسطة المخلية الهوائية. بعد ذلك تم ملأ البيكنومتر بالماء المقطر حتى الإشارة، وقياس درجة حرارته، ثم تم وزن البيكنومتر مع التربة والماء المقطر بنفس الدقة السابقة ليتم حساب الوزن النوعي.

الضغط غير المحصور (ASTM-D2166-98) Unconfined Compression Test

تم إجراء تجربة الضغط غير المحصور على عينات التربة الغضارية المتماسكة والمضطربة المحفورة دورانياً بواسطة جهاز الضغط غير المحصور المبين في الشكل ٣-٤. وهو جهاز يولد قوة عمودية تطبق على العينة باتجاه محور واحد، وذلك عن طريق قرصين معدنيين، حيث تتزايد القوة الضاغطة حتى يتم انهيار العينة. تم تطبيق القوة في سرعة انزياح ثابتة مقدارها 1 ملم/دقيقة. تم قياس القوة المطبقة بواسطة حلقة معدنية معايرة ليتم تحديد العلاقة بين الضغط والتشوه النسبي والذي نستنتج منه متانة التربة على الضغط



الشكل ٣-٤: جهاز قياس الضغط غير المحصور المستخدم

تجربة الانتفاخ بواسطة جهاز الأودومتر (ASTM-D4546)

في هذا الاختبار يتم وضع عينة التربة في حلقة جهاز الأودومتر المبين في الشكل ٣-٥ بعد قطعها بواسطة حلقة القطع الخاصة بالجهاز. تغمر العينة بالماء تحت أحمال أولية مختلفة من أجل السماح لها بالانتفاخ بحرية تامة. يتم بعد ذلك حساب مقدار الانتفاخ كنسبة مئوية من الارتفاع الأصلي للعينة بعد انتهاء الانتفاخ، وبعد ذلك يتم إضافة الأحمال على سطح العينة بشكل تدريجي متزايد من أجل إرجاع العينة إلى ارتفاعها الأصلي. يتم بعد ذلك حساب ضغط الانتفاخ بقسمة مجموع الأحمال على مساحة العينة السطحية. يُعرّف ضغط الانتفاخ في هذه التجربة بأنه الضغط اللازم لإرجاع العينة إلى ارتفاعها الأصلي بعد الانتفاخ. تقسم هذه التجربة إلى ثلاثة أنواع حسب مقدار الحمل الأولي المطبق على العينة قبل الاختبار:

١. الانتفاخ الحر: **Free Swell Odometer Test Method**

حيث يتم تطبيق حمل أولي على العينة المختبرة مقداره 10 كيلوباسكال.

٢. الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي **Swell Overburden Test**

في هذه التجربة تغمر العينة بالماء تحت حمل مساوٍ لضغط طبقات التربة المتوضعة فوق منسوب العينة المدروسة.

٣. تجربة الانتفاخ المحمل بضغط مساوٍ لقدرة تحمل التربة **Swell Loaded Test**

في هذه التجربة تُغمر العينة بالماء تحت حمل مساوٍ لقدرة تحمل التربة المسموحة.

تجربة الانتفاخ ثابت الحجم **Constant Volume Test**

يتم وضع العينة في جهاز الأودومتر في هذا الاختبار، ويتم ترطيبها بالماء ولكن لا يسمح لها بالانتفاخ حيث يبقى حجمها ثابت (أي يبقى ارتفاع العينة ثابت) وذلك بإضافة أحمال لمنعها من الانتفاخ. إن مجموع هذه الأحمال يمثل ضغط الانتفاخ بعد قسمتها على مساحة العينة السطحية.

يعرف ضغط الانتفاخ في هذه التجربة بأنه الضغط المطلوب للحفاظ على حجم العينة ثابت دون أي تغيير سواء كان انتفاخ أو هبوط.



الشكل ٣-٥: جهاز الأدمتر المستخدم في قياس ضغط الانتفاخ

الفصل الرابع

تحليل النتائج

نقوم في هذا الفصل باستعراض وتحليل نتائج جميع التجارب المخبرية التي قمنا بها، بهدف بيان مدى تأثير اضرار العينات المختبرة، وطريقة الاختبار المستخدمة على نتائج قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية المدروسة.

٤, ١ الخواص الفيزيائية للتربة

يتم قياس المواصفات الفيزيائية للتربة بهدف التعرف على تركيبها الحبي وتصنيفها وقوامها، حيث يتم تحديد نتائج المواصفات الفيزيائية للتربة من خلال تجارب الرطوبة النسبية وحدود أتبرغ والوزن الحجمي الطبيعي والوزن النوعي، التحليل الحبي للتربة.

يمكن تلخيص نتائج قياس المواصفات الفيزيائية للتربة في الجدول رقم ٤-١، علماً أن

نتائج جميع التجارب المخبرية مبينة في الملحق الأول، حيث يتبين من هذا الجدول ما يلي:

- تتراوح نسب محتوى الرطوبة الطبيعية لعينات التربة بين 23% و 27% حيث نلاحظ أن رطوبة طبقات التربة تزداد بشكل عام مع العمق حتى تصبح شبه ثابتة بدءاً من العمق 4.5 متر حتى نهاية السبر.
- إن نسبة المواد الناعمة المتمثلة بالغضار والسيلت تتراوح بين 92% و 96%.
- إن حد السيولة لطبقات التربة في الموقع تتراوح بين 69% و 81%، باستثناء الطبقة السطحية على عمق 0.5 م والبالغة 51%.
- إن قرينة اللدونة لطبقات التربة في الموقع المدروس تتراوح بين 39% و 52% باستثناء الطبقة السطحية على عمق 0.5 م والبالغة 25%.

الجدول رقم ٤-١: ملخص نتائج المواصفات الفيزيائية لعينات التربة المستخرجة من الموقع

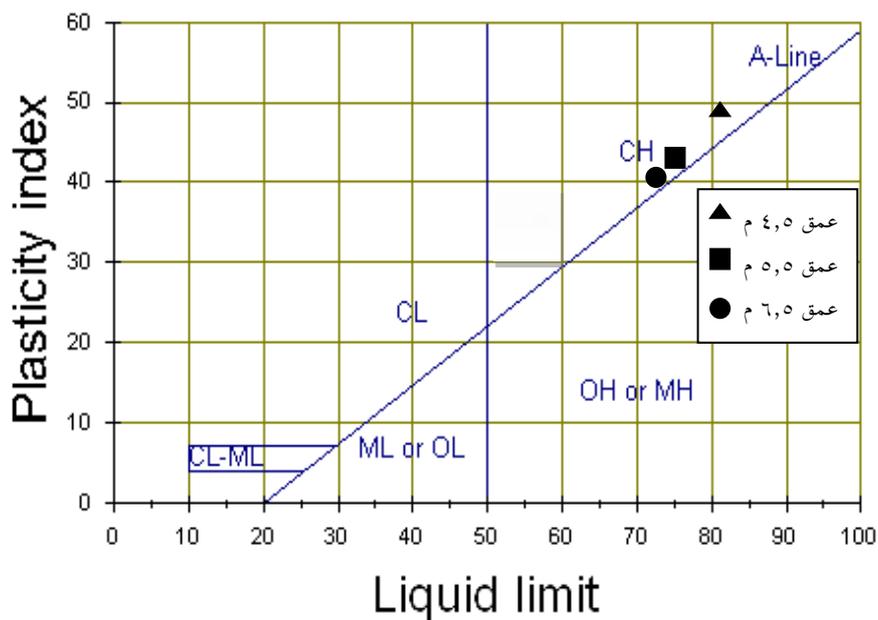
العمق (متر)	الرطوبة النسبية % w_c	الوزن الحجمي الطبيعي γ_w kN/m^3	الوزن الحجمي الجاف γ_d kN/m^3	حد السيولة LL%	حد اللدونة PL%	قرينة اللدونة PI	الوزن النوعي	نسبة الرمل %	نسبة السيلت %	نسبة الغضار %	الإجهاد الحثلي kN/m^3
0.5	22.15	19.80	16.21	51	26	25				95.7	
1	23.25										
1.5	23.28	19.80	16.06	80	28	52				93.9	
2	20.99										
2.5	23.77	18.90	15.27	77	28	49				95.7	
3	25.68										
3.5	23.80	17.90	14.46	69	30	39				92.5	
4	24.74										
4.5	25.09	17.80	14.23	81	33	48	2.75	4.7	47.3	48	85.4
5	26.17										
5.5	26.18	18.80	14.90	74	32	42	2.73	3.9	52.1	44	103.1
6	26.10										
6.5	26.75	19.20	15.15	73	31	42	2.73	5.2	48.8	46	122.4
7	26.90										

بناء على ماسبق نتوصل إلى النتائج التالية:

- تصنف طبقات التربة في الموقع وفق تصنيف التربة الموحد المبين في الشكل ٤-١ (Unified Soil Classification System) بأنها غضار عالي اللدونة CH.
- تنخفض حدود أتريغ لعينة التربة الواقعة على عمق 3.5 متر، والمبينة في الشكل ٤-٢ حيث لوحظ وجود نسبة كبيرة من الكلس فيها.
- بالاستعانة بنتائج التحليل المينيرالوجي المتوفرة في المنطقة تبين أن الغضار يحتوي على منتموريلونيت بنسبة تتراوح بين 10% إلى 5%، وإيليت بنسبة تتراوح بين 20% إلى

28% أما الكاوولينييت فلم يظهر بأي نسبة. كما أظهرت تلك النتائج وجود مينيرالات أخرى كالكوارتز، الكالسيت الفلبيسيت والإنستاتيت بنسب تتراوح بين 62% إلى 75%.

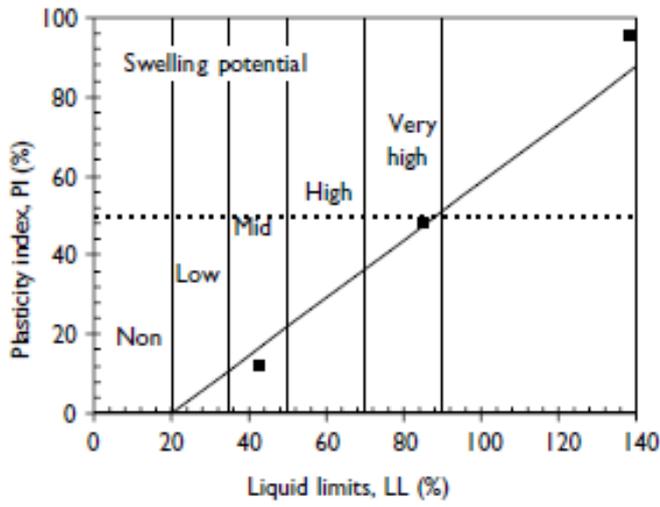
بالاستعانة بالجدول المصنفة لقابلية التربة للانتفاخ وفق قيم قرينة اللدونة ونسب المار من المهزة رقم 200 (75 ميكرون)، نجد أن عينات التربة المدروسة تصنف على أنها ترب عالية طاقة الانتفاخ (Peck *et al.* (1974)، حيث أن قرينة اللدونة فيها أكبر من 35%. كما تصنف التربة على أنها ذات طاقة انتفاخ عالية جداً وفق Dakasanamurthy and Raman (1973) كما هو مبين بالشكل ٤-٣ اعتماداً على حد السيولة وقرينة اللدونة، كذلك الأمر تصنف التربة من حيث طاقة الانتفاخ أنها ذات طاقة انتفاخ عالية جداً حسب Williams (1957) كما هو مبين بالشكل ٤-٤ اعتماداً على محتوى الغضار وقرينة الدونة.



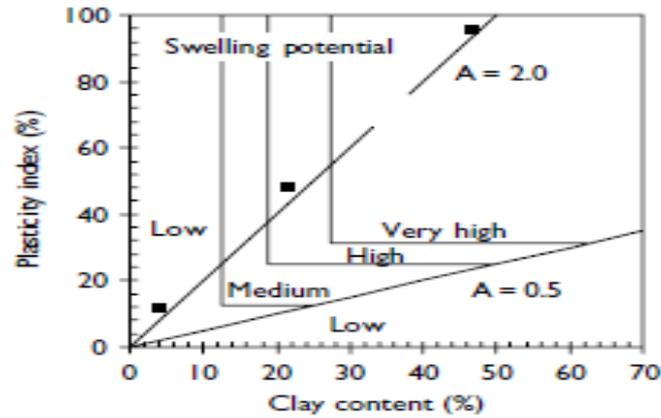
الشكل ٤-١: تصنيف عينات التربة وفق مخطط A-line (التصنيف الموحد للتربة)



الشكل ٤-٢: عينة التربة الغضارية المستخرجة من العمق ٣,٥ م



الشكل ٤-٣: تصنيف عينات التربة وفق Dakasanamurthy and Raman (1973)



الشكل ٤-٤: تصنيف عينات التربة وفق Williams (1957)

اختيار العمق والعينات الحقلية الممثلة لنتائج البحث

نركز دراستنا في هذا البحث على عينات التربة الغضارية الواقعة على الأعماق التي تتراوح ما بين 4.5 إلى 6.5 متر نظراً لثبات رطوبتها بين 26% و 27%. تدل هذه الرطوبات على عدم تأثر التربة تحت عمق 4.5 متر بالتغيرات المناخية الموسمية، وعليه يُشار إليها بطبقة التأسيس الأمر الذي يتطلب تحديد خواصها الفيزيائية والميكانيكية لتحديد عمق ونوع الأساس المقترح. بناءً على ذلك، يمكننا تلخيص الخواص الفيزيائية للطبقة الغضارية المستهدفة بالدراسة على النحو التالي:

- الرطوبة النسبية: 26.17% إلى 26.90%
- الكثافة الجافة: 14.2 إلى 15.15 kN/m³
- قيم حد السيولة: 73% إلى 81%
- قيم قرينة اللدونة: 42% إلى 48%
- الوزن النوعي النسبي: 2.73 إلى 2.75
- نسبة المار من المنخل رقم 200: 95% إلى 96%
- نسبة الغضار 44% إلى 48%.
- نسبة السيلت 47.3% إلى 52.1%.
- معامل المسامية (e): 0.80 إلى 0.93.
- درجة الاشباع (Sr): 74% إلى 91%.

تحديد قوام طبقة التربة المستهدفة

تم تحديد قوام التربة اعتماداً على تجربة الضغط غير المحصور (Unconfined Compression Test) تراوحت قيم الضغط غير المحصور للعينات

المضطربة المحفورة دورانياً (q_u) بين 820 و 872 كيلوباسكال، كما هو مبين بالجدول ٤-٢. ويمكن الاطلاع على تفاصيل نتائج تلك التجارب في الملحق الأول، وعليه يكون مقدار التماسك غير المصرف c_u أكبر من 200 كيلوباسكال للعينات الثلاث، وبالتالي يمكن تصنيف التربة بأنها غضار قاسي القوام. ويبين الشكل ٤-٥ شكل الانهيار في إحدى العينات المختبرة.

الجدول رقم ٤-٢: ملخص نتائج تجربة الضغط غير المحصور لعينات التربة الغضارية.

c_u kN/m ²	q_u kN/m ²	العمق q_u m
431	862	4.5
436	872	5.5
410	820	6.5



الشكل ٤-٥: عينة مختبرة بواسطة جهاز الضغط غير المحصور

برنامج ومنهجية قياس ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لطبقة التربة المستهدفة

تم قياس ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لنوعين مختلفين من عينات التربة الغضارية: الأولى مضطربة ومأخوذة بطريقة الحفر الدوراني ومغلفة بشكل جيد من أجل الحفاظ على

مواصفاتها الحقلية، والثانية معادة التشكيل مخبرياً بنفس الرطوبة والوزن الحجمي الطبيعي الحقلي. وقد تم إعادة تشكيل العينات مخبرياً بالطريقة الستاتيكية كما هو مبين في الشكل ٤-٦، وبالمحافظة على نفس الرطوبة البدائية والوزن الحجمي الطبيعي للتربة بهدف تحديد أثر العوامل المؤثرة على ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي.



الشكل ٤-٦: تحضير عينة تربة معادة التشكيل .

وقد تم الاعتماد على عينات مأخوذة من ثلاثة أعماق 4.5 و 5.5 و 6.5 متر، وباستخدام أربعة تقنيات مخبرية مختلفة وهي:

- تجربة الانتفاخ الحر.
- تجربة الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي.
- تجربة الانتفاخ المحمل بأحمال إنشائية.
- تجربة الحجم الثابت.

يمكن تلخيص برنامج العمل كما هو مبين في الجدول ٤-٣، حيث تم إجراء 24 تجربة

ضغط الانتفاخ من ثلاثة أعماق (4.5، 5.5، 6.5 م).

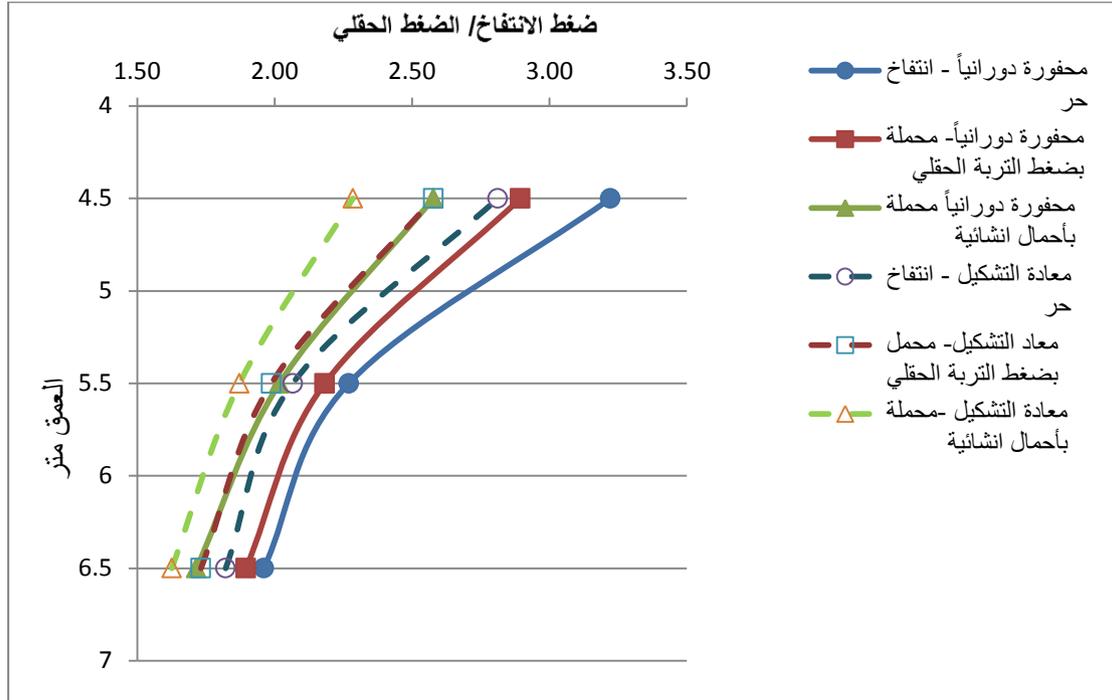
الجدول رقم ٤-٣: أنواع تجارب قياس ضغط الانتفاخ وبياناتها.

مجموع عدد التجارب	أنواع العينات المختبرة		الأعماق التقريبية للعينات المختبرة متر			أنواع التجارب
	معادة التشكيل مخبرياً	محفورة دورانياً	4.5	5.5	6.5	
6	3	3	4.5	5.5	6.5	الانتفاخ الحر
6	3	3	4.5	5.5	6.5	الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي
6	3	3	4.5	5.5	6.5	الانتفاخ المحمل بأحمال إنشائية
6	3	3	4.5	5.5	6.5	الحجم الثابت
24						المجموع

أثر الإجهاد الحقلي على ضغط انتفاخ التربة

في هذه الفقرة نبحث في تأثير الاجهادات الحقلية الشاقولية على ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية، وذلك بتحديد أثر تلك الاجهادات بواسطة تقسيم قيم ضغط انتفاخ التربة لكل عمق على الاجهاد الشاقولي الحقلي في نفس العمق (Normalization). تم تمثيل تلك النتائج في الشكل ٤-٤ والذي يبين تغير نسبة ضغط الانتفاخ إلى ضغط التربة الحقلي مع تغير العمق، وذلك من أجل نوعين من عينات التربة المحفورة دورانياً ومعادة التشكيل، والمختبرة بتقنيات الانتفاخ الحر، والانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي، والانتفاخ المحمل بأحمال إنشائية يتبن من الشكل ٤-٤ وجود تغير للمنحني مع تغير العمق، مما يدل على أنه فيما لو كان ضغط التربة الحقلي هو العامل الوحيد المؤثر على ضغط الانتفاخ، لما ظهر هذا التغير للمنحني مع العمق بعد إلغاء أثر ضغط التربة الحقلي. بالتالي هناك وجود لعوامل أخرى تؤثر في ضغط الانتفاخ كتغير حدود أتربرغ، أو الوزن الحجمي الجاف. لذلك قررنا أن نأخذ معدل قيم ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي لعينات التربة الغضارية المتوضعة على 4.5 إلى 6.5 متر من

أجل رسم منحنى واحد يمثل تلك القيم لبيان تأثير باقي العوامل على قيم ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي.



الشكل ٤-٧: تغير نسبة ضغط الانتفاخ/ضغط التربة الحقلي لعينات محفورة دورانياً وأخرى معادة التشكيل مع العمق باستخدام ثلاثة تقنيات مختلفة

أثر الضغط المطبق على الانتفاخ النسبي

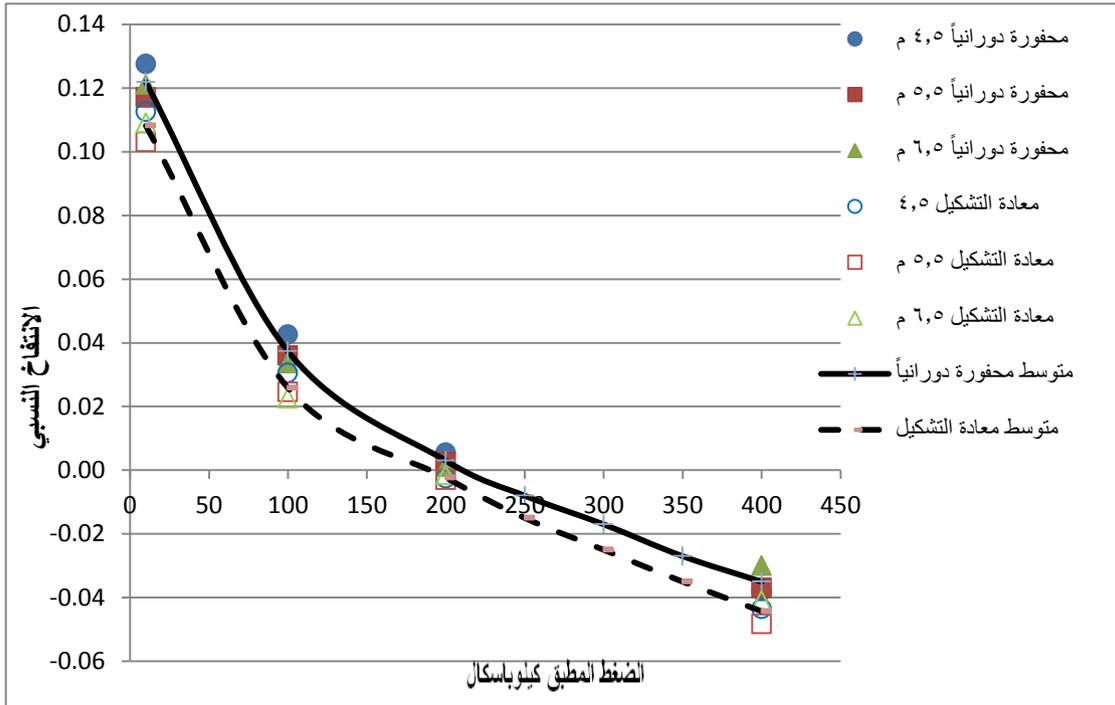
تم تحديد أثر الضغط المطبق على الانتفاخ النسبي لثلاث عينات مأخوذة من الأعماق 4.5 و 5.5 و 6.5 متر. تم تلخيص نتائج هذه التجارب في الجدول رقم ٤-٤ مبيناً نتائج التجارب لعينات الحفر الدوراني والجدول ٤-٥ من أجل العينات معادة التشكيل بالطريقة الستاتيكية. يوضح الشكل ٤-٥ النتائج التي تم الحصول عليها. كما يمكن الاطلاع على تفاصيل نتائج التجارب المخبرية في الملحق الثاني.

الجدول رقم ٤-٤: نتائج الانتفاخ النسبي مقابل الضغط المطبق على عينات التربة المحفورة دورانياً

الإجهاد المطبق kN/m ²	متوسط الانتفاخ النسبي للأعماق الثلاثة	الانتفاخ النسبي	الانتفاخ النسبي	الانتفاخ النسبي
		6-7 متر	5-6 متر	4-5 متر
0	0	0	0	0
10	0.1218	0.1210	0.1170	0.1275
100	0.0373	0.0335	0.0360	0.0425
200	0.0030	0.0010	0.0025	0.0055
400	-0.0350	-0.0300	-0.0370	-0.0380

الجدول رقم ٤-٥: نتائج الانتفاخ النسبي مقابل الضغط المطبق على عينات معادة التشكيل

الإجهاد المطبق kN/m ²	متوسط الانتفاخ النسبي للأعماق الثلاثة	الانتفاخ النسبي	الانتفاخ النسبي	الانتفاخ النسبي
		6-7 متر	5-6 متر	4-5 متر
0	0	0	0	0
10	0.1082	0.1090	0.1030	0.1125
100	0.0258	0.0225	0.0245	0.0305
200	-0.0023	-0.0015	-0.0030	-0.0025
400	-0.0443	-0.0410	-0.0483	-0.0435



الشكل ٤-٨: العلاقة بين مقدار الانتفاخ النسبي والضغط المطبق على عينات تربة محفورة دورانياً، وأخرى معادة التشكيل مأخوذة من أعماق مختلفة، باستخدام التقنيات الثلاث^٤.

^٤ طريقة الانتفاخ الحر، وطريقة الانتفاخ الحمل بضغط التربة الحقلي، وطريقة الانتفاخ الحمل بأحمال انشائية.

يتبين من الشكل ٤-٨ ما يلي:

- إن الانتفاخ النسبي لجميع العينات المضطربة المأخوذة بطريقة الحفر الدوراني، والتي تراوحت قيمها بين 11.7% و 12.7% أكبر من الانتفاخ النسبي للعينات معادة التشكيل بالطريقة الستاتيكية، والمأخوذة من نفس العمق، والتي تراوحت قيمها بين 10.3% و 11.2%.
- إن قيم الانتفاخ النسبي للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ الحر قد أعطت أعلى القيم، بالمقارنة مع القيم المأخوذة من باقي التقنيات، وذلك من أجل جميع الأعماق.
- إن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية قد تسببت في انخفاض الانتفاخ النسبي بنسب تتراوح بين 10% إلى 12% بالنسبة للعينات مختلفة الأعماق المختبرة بطريقة الانتفاخ الحر (Free Swelling).
- إن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية قد تسببت في انخفاض الانتفاخ النسبي بنسب تتراوح بين 28% إلى 33%، بالنسبة للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي (Overburden Pressure).
- إن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية قد تسببت في انخفاض الانتفاخ النسبي بنسب تتراوح بين 14.5% إلى 25%، بالنسبة للعينات المختبرة، بطريقة الانتفاخ المحمل بأحمال انشائية.
- يمكن حساب ضغط الانتفاخ من أجل التقنيات المختلفة من خلال المنحنيات السابقة والموافقة لانتفاخ نسبي يساوي الصفر، حيث تتراوح تلك القيم بين 200 و 215 كيلوباسكال.

أثر الضغط المطبق على ضغط الانتفاخ

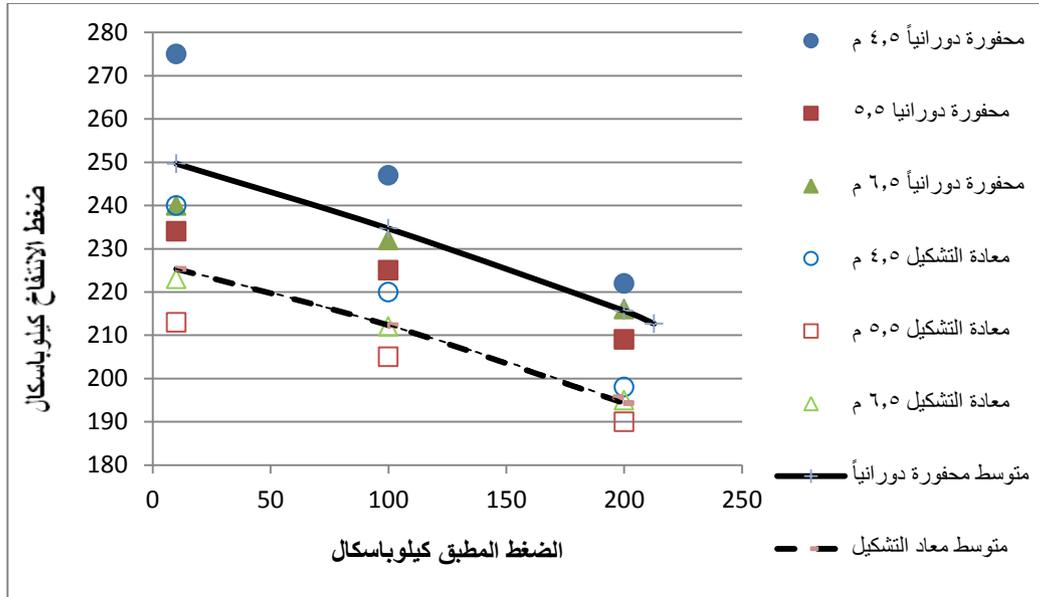
تم تحديد أثر الضغط المطبق على ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية من خلال التجارب المبينة أعلاه، وقد تم تلخيص النتائج في الجدول رقم ٤-٦ وذلك من أجل ثلاث عينات مأخوذة بطريقة الحفر الدوراني من الأعماق 4.5 و 5.5 و 6.5 متر، والجدول ٤-٧ من أجل ثلاث عينات معادة التشكيل مأخوذة من نفس الأعماق السابقة. كما تم تلخيص متوسط تلك النتائج على الشكل رقم ٤-٩، علماً أن تفاصيل نتائج تجارب قياس ضغط الانتفاخ موضحة في الملحق الثاني.

الجدول رقم ٤-٦: نتائج ضغط الانتفاخ مقابل ضغوطات مطبقة مختلفة على عينات التربة المحفورة دورانياً

الإجهاد المطبق kN/m ²	متوسط ضغط الانتفاخ للأعماق الثلاثة	ضغط الانتفاخ kN/m ²	ضغط الانتفاخ kN/m ²	ضغط الانتفاخ kN/m ²
		6-7 متر	5-6 متر	4-5 متر
10	250	240	234	275
100	235	232	225	247
200	216	216	209	222
constant volume	213	210	208	220

الجدول رقم ٤-٧: نتائج ضغط الانتفاخ مقابل ضغوطات مطبقة مختلفة على عينات التربة معادة التشكيل

الإجهاد المطبق kN/m ²	متوسط ضغط الانتفاخ للأعماق الثلاثة	ضغط الانتفاخ kN/m ²	ضغط الانتفاخ kN/m ²	ضغط الانتفاخ kN/m ²
		6-7 متر	5-6 متر	4-5 متر
10	225	223	213	240
100	212	212	205	220
200	194	198	190	195
constant volume	196	199	193	195



الشكل ٤-٩: العلاقة بين الضغط المطبق وضغط الانتفاخ لعينات تربة محفورة دورانياً، وأخرى معادة التشكيل مأخوذة من أعماق مختلفة باستخدام التقنيات الثلاث

يتبين من خلال الرسم البياني في الشكل ٤-٩ ما يلي:

- إن ضغط الانتفاخ لجميع العينات المأخوذة بطريقة الحفر الدوراني، أكبر من قيم ضغط الانتفاخ للعينات معادة التشكيل بالطريقة الستاتيكية المأخوذة من نفس العمق.
- إن قيم ضغط الانتفاخ للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ الحر قد أعطت أعلى القيم، بالمقارنة مع القيم المأخوذة من باقي التقنيات، وذلك من أجل جميع الأعماق.
- نلاحظ أن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية قد تسببت في انخفاض مقدار ضغط الانتفاخ بنسبة تتراوح قيمتها 7% و 13% بالنسبة للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ الحر (Free Swelling).
- إن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية قد تسببت في انخفاض مقدار ضغط الانتفاخ بنسبة تتراوح بين 9% و 11% بالنسبة للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي (Overburden pressure).

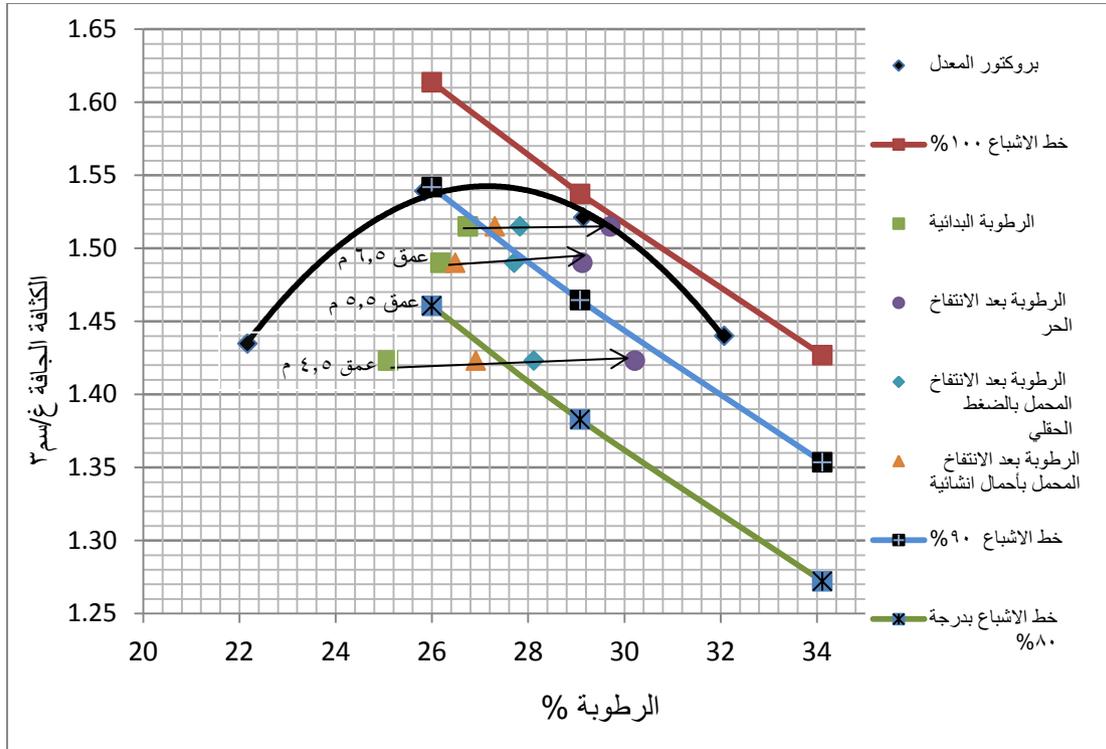
- إن عملية إعادة تشكيل العينة بالطريقة الستاتيكية، قد تسببت في انخفاض مقدار ضغط الانتفاخ بنسبة تتراوح بين 9% و 11%، بالنسبة للعينات المختبرة بطريقة الانتفاخ المحمل بأحمال انشائية.

- إن مقدار ضغط الانتفاخ للتربة المقاسة بطريقة الحجم الثابت، قريبة جداً من نتائج قياس ضغط الانتفاخ للتربة المقاسة بطريقة الضغط المحمل بأحمال إنشائية، وذلك من أجل العينات المحفورة دورانياً والعينات معادة التشكيل.

أثر طريقة قياس ضغط الانتفاخ على تغير محتوى الرطوبة

تم تحديد محتوى الرطوبة النهائية لعينات التربة الغضارية المأخوذة بطريقة الحفر الدوراني بعد الانتهاء من تجارب قياس ضغط الانتفاخ، وقد تم تلخيص النتائج في الشكل ٤-١٠ الذي يبين العلاقة بين تغير محتوى الرطوبة لعينات التربة الغضارية المحفورة دورانياً مع اختلاف طريقة قياس ضغط الانتفاخ.

تم تحديد الكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة المثالية للتربة الغضارية المأخوذة من أعماق تتراوح بين 4.5 إلى 6.5 م وفق تجربة تحديد العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف والرطوبة للتربة (بروكتور المعدلة ASTM D1557). كما تم رسم خطوط الاشباع للتربة من أجل المقارنة مع تغير محتوى الرطوبة لعينات التربة الغضارية المأخوذة بطريقة الحفر الدوراني من الأعماق ٤,٥، ٥,٥، ٦,٥ متر والمختبرة بالطرق المختلفة.

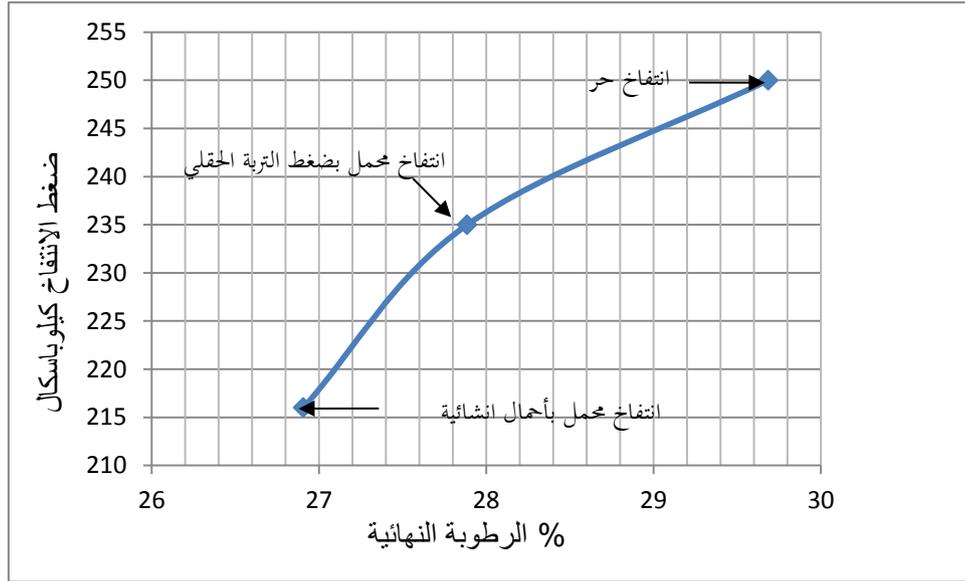


الشكل ٤-١٠: تغير محتوى الرطوبة لعينات التربة الغضارية المحفورة دورانياً مع اختلاف طريقة قياس ضغط الانتفاخ

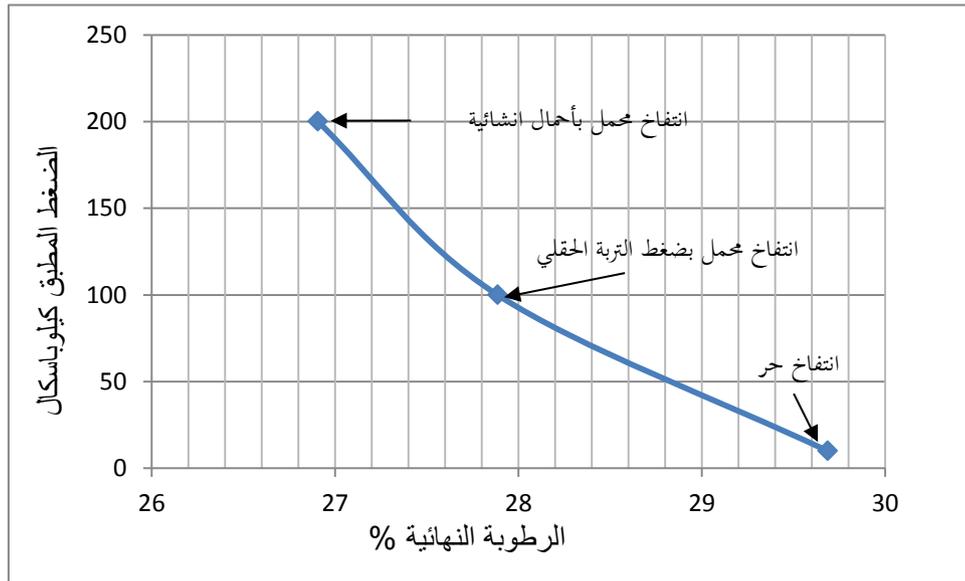
يتبين من الشكل ٤-١٠ ما يلي:

- على الرغم من أن جميع العينات لها نفس الرطوبة البدائية، إلا أن محتوى الرطوبة النهائية لعينات التربة الغضارية قد اختلف بشكل متفاوت حسب طريقة قياس ضغط الانتفاخ.
- إن أعلى قيم للرطوبة النهائية تم الحصول عليه هو لعينات التربة الغضارية المضطربة المحفورة دورانياً والمختبرة وفق طريقة الانتفاخ الحر، تليها طريقة الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي، ومن ثم الانتفاخ المحمل بأحمال انشائية. يعزى ذلك إلى أن زيادة الضغط المطبق على التربة تعيق عملية التغير الحجمي للتربة، وبالتالي تمنعها من امتصاص الماء.

كما يمكن توضيح العلاقة بين الرطوبة النهائية لعينات الغضار المختبرة وضغط الانتفاخ كما هو مبين بالشكل ٤-١١، والعلاقة بين الرطوبة النهائية والضغط المطبق على العينة المختبرة قبل الانتفاخ كما هو مبين في الشكل ٤-١٢.



الشكل ٤-١١: العلاقة بين محتوى الرطوبة النهائية لعينات التربة الغضارية مع ضغط الانتفاخ.



الشكل ٤-١٢: العلاقة بين محتوى الرطوبة النهائية لعينات التربة الغضارية مع الضغط المطبق.

يتبين بوضوح من الشكل ٤-١١ والشكل ٤-١٢ أن زيادة مقدار الضغط المطبق تؤدي إلى تناقص في الرطوبة النهائية لعينات التربة المختبرة، كما أن زيادة الرطوبة النهائية لعينات التربة المختبرة يتناسب طردياً مع ضغط الانتفاخ المقاس.

٣,٤ ملخص النتائج

بناءً على ما تم استعراضه من نتائج لعينات التربة المدروسة، يمكن استخلاص ما يلي:

إن نتائج قياس الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ المقاسة بجميع التقنيات، ولجميع عينات التربة المضطربة والمستخرجة بطريقة الحفر الدوراني، كانت أكبر من نتائج العينات معادة التشكيل المأخوذة من نفس العمق. ويمكن تفسير ذلك إلى أن ترسب التربة ورسبها بشكل بطيء خلال تكوينها في الأحقاب الجيولوجية حقلها، يؤدي إلى اقتراب جزيئات الغضار من بعضها البعض بصورة كبيرة، وبالتالي إعطاؤها تراص أكبر من الترب معادة التشكيل مخبرياً. كما أن اختفاء جزيئات الماء المدمص (Adsorbed water) بين السطوح الجديدة المتشكلة نتيجة إعادة تشكيل العينة، تؤدي إلى التقليل من قوى الجذب الكهربائية لجزيئات الماء، وبالتالي التقليل من سماكة الغشاء المائي المتشكل حول جزيئات الغضار، وبالتالي التقليل من الانتفاخ الناتج عن تباعد جزيئات الغضار عن بعضها البعض.

- إن مقدار الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ لعينات التربة الغضارية المقاسة بطريقة الانتفاخ الحر، قد أعطت أعلى القيم، بالمقارنة مع نتائج العينات المختبرة بطريقة الضغط المحمل وطريقة الحجم الثابت.

- إن مقدار الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ، يتناقص مع زيادة مقدار الحمل المطبق الأولي.

- لم يظهر أي تأثير ملحوظ لقيم ضغط الانتفاخ مع تغير عمق توضع عينة الغضار المدروس.
- إن قيم ضغط الانتفاخ لعينات التربة المقاسة بطريقة الحجم الثابت، متقاربة مع نتائج ضغط الانتفاخ لعينات التربة المختبرة بطريقة الانتفاخ المحمل بأحمال انشائية، وذلك من أجل العينات المحفورة دورانياً، والعينات معادة التشكيل.
- إن محتوى الرطوبة النهائية للتربة يختلف باختلاف طريقة قياس ضغط الانتفاخ، حيث أعطت طريقة الانتفاخ الحر أعلى رطوبة نهائية لعينات التربة الغضارية بالمقارنة مع باقي الطرق المستخدمة، وبمعنى آخر، إن محتوى الرطوبة النهائية لعينات التربة الغضارية يتناقص مع زيادة الحمل الأولي المطبق على العينة.

الفصل الخامس

مقارنة النتائج والتحقق منها

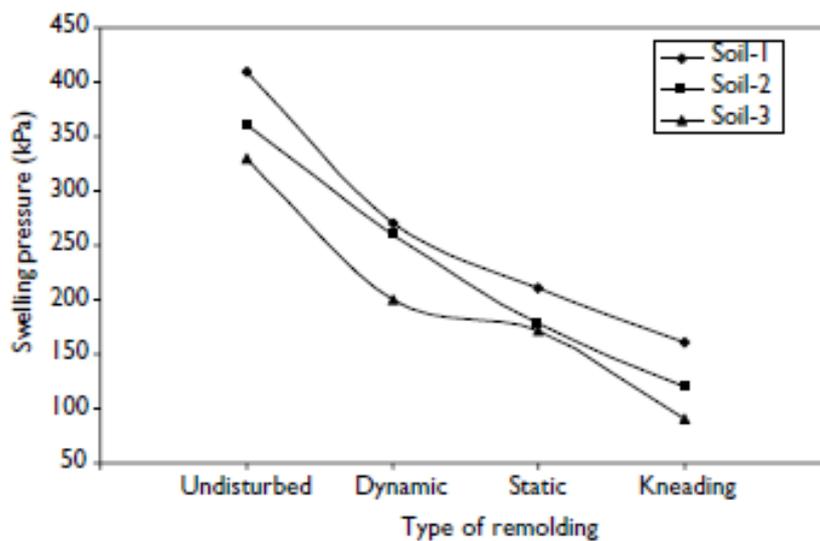
بناءً على ما تم استعراضه من دراسات مرجعية، ونتائج العمل الحقلية والمخبرية المنفذ على عينات التربة المدروسة، نتحقق في هذا الفصل من أثر طريقة الاعتيان وأثر طريقة الاختبار وأثر الحمل المطبق الأولي على مقدار الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ.

١,٥ أثر طريقة الاعتيان

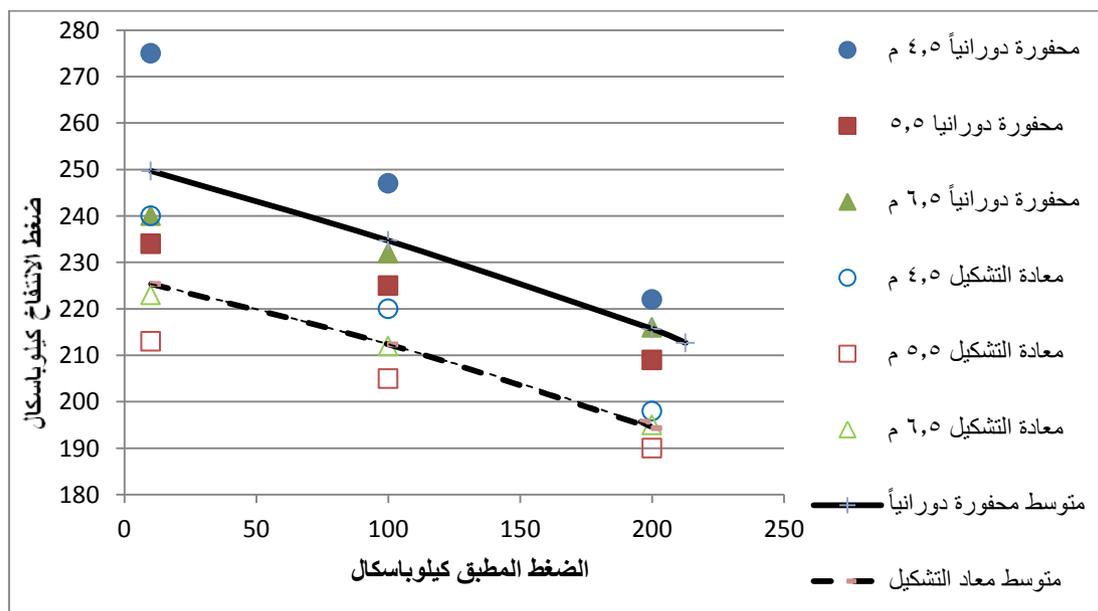
بالعودة إلى نتائج الدراسات المرجعية لترت ماثلة لطبقة التربة المستهدفة في بحثنا، ومقارنتها مع النتائج المخبرية التي تم التوصل إليها، نجد أن هناك توافق بين نتائج بحثنا والنتائج التي توصل إليها الباحثون (Attom et al (2006)، حيث تبين أن إعادة تشكيل عينات التربة الغضارية يؤدي إلى انخفاض في ضغط الانتفاخ بمقدار 53% كما هو موضح في الشكل ١-٥. بينما أدت عملية إعادة تشكيل عينات التربة الغضارية المدروسة في بحثنا إلى انخفاض ضغط الانتفاخ بنسبة تتراوح بين 7% و 13% كما هو مبين في الشكل ٥-٢. تختلف هذه النتيجة كلياً عند اختلاف طبيعة التربة، كحالة الترب التي تحتوي على مواد رابطة، حيث إن عملية إعادة تشكيل العينة تتسبب في زيادة ضغط الانتفاخ نتيجة لتخريب تلك الروابط بين جزيئات الغضار، والتي تعيق عملية الانتفاخ وتمنعها من امتصاص الماء.

نستنتج أن سبب اختلاف في نسب قيم ضغط الانتفاخ لعينات التربة الغضارية المدروسة في دراسة الباحث (Attom et al. (2006) وعينات التربة الغضارية المدروسة في بحثنا يعود إلى الاضطراب الموجود في عينات التربة المدروسة والناجم عن عملية الحفر الدوراني بوجود الماء الغزير والمترافق مع الاهتزاز الكبير لآلة الحفر. وبالتالي نوصي بالتقليل

من اضطراب العينات المختبرة قدر الامكان عند قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية بما يتناسب مع أهمية المنشأ المدروس، واستخدام عينات التربة الكتلية (Block sample) إذا اقتضى الأمر في المنشآت ذات الحساسية العالية، حيث أن اضطراب عينات التربة له أثر مباشر على نتائج ضغط الانتفاخ، إذ يتناقص ضغط الانتفاخ كلما زاد اضطراب العينة المختبرة وهو ليس في صالح الأمان.



الشكل ١-٥: نتائج تجارب ضغط الانتفاخ الباحث (Attom et.al (2006)

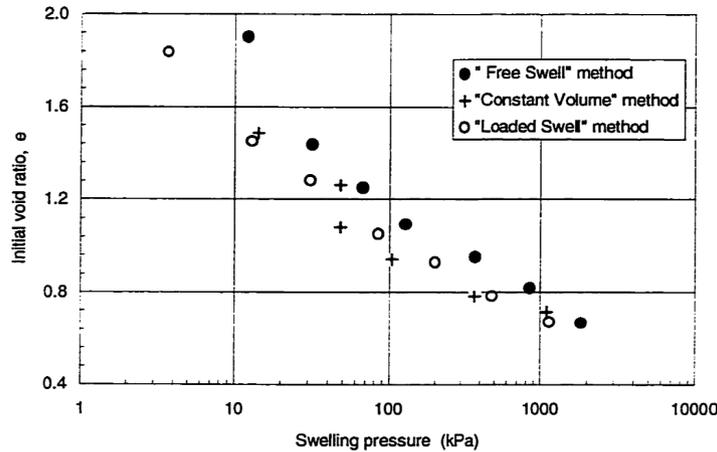


الشكل ٢-٥: نتائج تجارب ضغط الانتفاخ على عينات التربة المدروسة

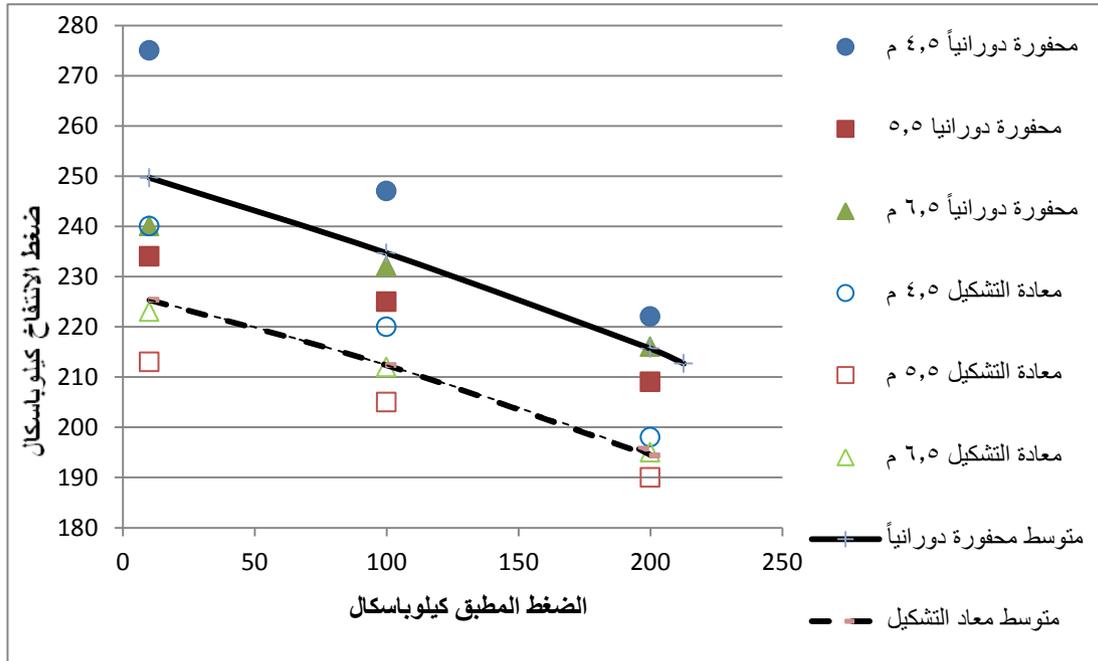
٢,٥ أثر طريقة الاختبار

بالمقارنة بين نتائج الأبحاث والدراسات المرجعية للترب المماثلة لعينات التربة المدروسة Gilchrist (1963) والمبينة في الشكل ٣-٥ ونتائج قياس ضغط الانتفاخ في بحثنا والمبينة في الشكل ٤-٥، وعينات التربة المختلفة في طبيعتها كالغضار المتصخر (Shale) والغضار المحتوي في تركيبه على مواد رابطة، نجد أن طريقة الانتفاخ الحر تعطي في جميع الدراسات قيم أكبر لضغط الانتفاخ بالمقارنة مع الطرق الأخرى كالانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي أو الضغط المحمل بأحمال انشائية أو الانتفاخ مع ثبات الحجم. نستنتج أن سبب ذلك الاختلاف يعود إلى أن تجربة الانتفاخ الحر لا تمثل الحالة الحقلية من حيث ظروف التحميل والترطيب، أما طريقة الضغط المحمل بضغط التربة الحقلي فهي تعطي قيم لضغط الانتفاخ قريبة من القيم الحقلية. وقد أثبتت هذه النتيجة دراسة الباحث (1998) Al-Mhaidib عند مقارنته نتائج تجارب الانتفاخ بواسطة القص ثلاثي المحاور.

بناءً على ذلك نوصي بأن يتم قياس ضغط الانتفاخ بتقنية الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي، كون هذه التجربة تعطي قيم لضغط الانتفاخ قريبة من القيم الحقلية، ونظراً لسهولة تحديد ذلك الضغط.



الشكل ٣-٥: نتائج تجارب ضغط الانتفاخ الباحث Gilchrist (1963)

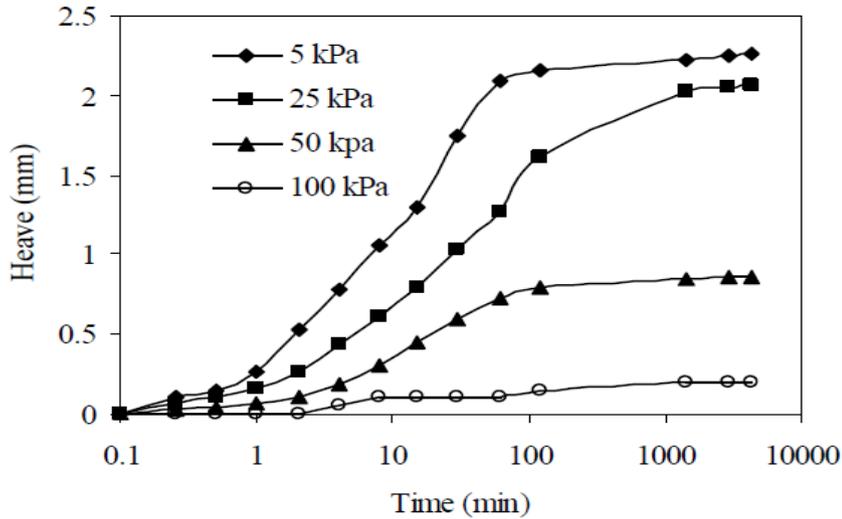


الشكل ٥-٤: نتائج تجارب ضغط الانتفاخ على عينات التربة المدروسة

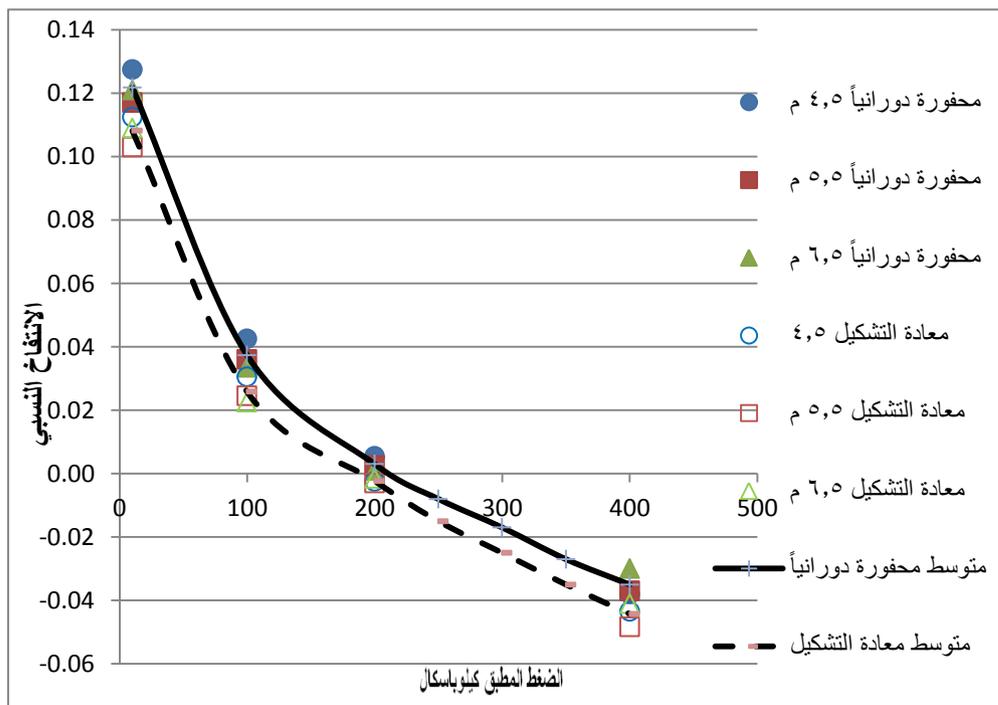
٣,٥ أثر الحمل المطبق الأولي

بالرجوع إلى نتائج التجارب المخبرية، نجد بوضوح تناقص مقدار الانتفاخ النسبي لجميع أنواع عينات التربة المضطربة المأخوذة بطريقة الحفر الدوراني، وعينات التربة معادة التشكيل مع زيادة مقدار الضغط المطبق الأولي للعينة قبل الانتفاخ. كما هو مبين في الشكل ٥-٦، وهذا ما يتوافق مع نتائج التجارب لعينات التربة المدروسة من قبل الباحث Phanikumar (1997) كما هو مبين في الشكل ٥-٥. كذلك الأمر بالنسبة لقيم ضغط الانتفاخ، فهي تتناقص مع زيادة الحمل المطبق الأولي بالنسبة لعينات التربة المحفورة دورانياً وعينات التربة معادة التشكيل. وهذا يخالف ما توصل إليها الباحث Phanikumar (1997). ويعود السبب في ذلك إلى اختلاف نوع العينة المستخدمة من حيث المواصفات.

نستنتج مما سبق أن مقدار الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ يتناقص بشكل غير خطي مع زيادة الضغط المطبق الأولي على عينات التربة الغضارية. وبالتالي نوصي بأن يتم تطبيق حمل أولي على عينة التربة الغضارية المختبرة بضغط مساوٍ لضغط التربة الحقلي.



الشكل 5-5: نتائج تجارب الانتفاخ النسبي الباحث (Phanikumar 1997)



الشكل 6-5: نتائج تجارب قياس الانتفاخ النسبي على عينات التربة المدروسة

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

١,٦ ملخص النتائج

تبين من خلال تحليل النتائج التي حصلنا عليها، ومقارنتها مع نتائج الدراسات المرجعية أن إعادة تشكيل عينات التربة الغضارية يؤدي إلى التقليل من ضغط الانتفاخ، كما أن أي اضطراب يصيب عينات التربة الغضارية أثناء عملية الاعتيان يقلل من قيمة ضغط الانتفاخ، باستثناء حالات خاصة كالترب الحاوية على مواد رابطة.

بالنسبة لأثر طريقة الاختبار، فقد تبين من خلال تحليل النتائج ومقارنتها مع الدراسات المرجعية أن قياس الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ بطريقة الانتفاخ الحر تعطي أعلى القيم بالمقارنة مع الطرق الأخرى، كالانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي والانتفاخ المحمل بأحمال انشائية وطريقة الحجم الثابت.

أما بالنسبة لأثر الحمل المطبق الأولي، فقد بينت النتائج المخبرية أن الانتفاخ النسبي وضغط الانتفاخ يتناقص بشكل واضح مع زيادة الحمل المطبق الأولي على عينات التربة الغضارية.

٢,٦ التوصيات

بناء على ماسبق، يمكن التوصل إلى التوصيات التالية:

- يجب التقليل من اضطراب العينات المختبرة قدر الامكان عند قياس ضغط الانتفاخ للتربة الغضارية بما يتناسب مع أهمية المنشأ المدروس، واستخدام عينات مأخوذة

بالطريقة الكتلية (Block Sample) إذا لزم الأمر في المنشآت ذات الحساسية العالية، حيث أن اضطراب عينات التربة له أثر مباشر على نتائج ضغط الانتفاخ، إذ يتناقص ضغط الانتفاخ كلما زاد اضطراب العينة المختبرة، وهذا ليس في صالح الأمان.

- يجب قياس ضغط الانتفاخ بتقنية الانتفاخ المحمل بضغط التربة الحقلي، كونها تعطي قيم ضغط الانتفاخ قريبة من القيم الحقلية، ونظراً لسهولة تحديد ذلك الضغط.

٣,٦ مجالات تطبيق نتائج البحث

عند تطبيق نتائج بحثنا على حالات دراسية أخرى، يجب التنبيه إلى أن هذه النتائج تم الحصول عليها عند دراسة عينات تربة تتصف بما يلي، وبالتالي لا يمكن تعميم نتائجنا إلا على حالات مماثلة:

- غضار عالي اللدونة قرينة اللدونة لا تقل عن 35%.
- تصنيف التربة: غضار عالي اللدونة CH.
- طبقة التربة الغضارية المدروسة متوضعة على أعماق قليلة نسبياً مما يضمن أنها لم تتعرض خلال فترة تكوينها الجيولوجي إلى إجهادات عالية أدت إلى تصخرها مثل Shale.

- لا يحتوي الغضار على أي مواد رابطة.

٤,٦ توصيات للأبحاث المستقبلية

بناءً على ماورد في الدراسات والأبحاث المرجعية، وعلى ماتوصلنا إليه في بحثنا من نتائج، نوصي من أجل إجراء أبحاث مستقبلية متعلقة بموضوعنا بما يلي:

- إجراء تجارب قياس ضغط الانتفاخ على عينات تربة غير مضطربة ومأخوذة بطريقة العينة الكتلية (Block sample)، ومقارنتها مع نتائج ضغط الانتفاخ لعينات التربة المضطربة والعينات معادة التشكيل.
- دراسة أثر اضطراب التربة على نتائج ضغط الانتفاخ لعينات تربة ذات مواصفات مختلفة، كالغضار المتصخر (Shale) والغضار الحاوي على مواد رابطة.

ملحق نتائج التجارب المخبرية

الملحق الأول
نتائج تجارب المواصفات الفيزيائية والميكانيكية

الملحق الثاني
نتائج تجارب قياس ضغط الانتفاخ

المراجع

1. ASTM D2166-98a Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. Current edition approved May 10 and Sept. 10, 1998. Published January 1999. Originally published as D 2166 – 63T. Last previous edition D 2166 – 91.
2. ASTM D4546-96 Standard Test Methods for One Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils. Current edition approved May 10, 1996. Published December 1996. Originally published as D 45466 – 85. Last previous edition D 4546 – 90.
3. ASTM D 1557–98 Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))
4. ASTM D 422 – 63 (Reapproved 1998) Standard Test Method for particle –size Analysis of soil
5. Erol, A. O., Dhowian, A. and Youssef, A. 1987. Assessment of oedometer methods for heave prediction, Proceedings of the International Conference on Expansive Soils (New Delhi, India), pp. 99-103.
6. G. Kassif, G., Komornik, A., Wiseman, G. and Zeitlen, J G. 1965. Studies and design criteria for structures on Expansive clays, International Research and Engineering Conference on Expansive Clays, College Station, Texas.

7. Phanikumar, B.R. 1997. A study of swelling characteristics of and granular pile-anchor foundation system in expansive soils, Ph.D. Thesis submitted to JN Technological University, Hyderabad, India.
8. Mousa F. Attom, Majed M. Abu-Zreig, and Mohammed Taleb Obaidat 2006. Effect of remolding techniques on soil swelling and shear strength properties.
9. Gilchrist, H. F. 1963. A study of volume change of highly plastic clay, M.Sc. Thesis Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saakatoon. 215 pp.
10. Al-Mhaidib, A. I. 1998 Swelling Behaviour of Expansive Shales from the Middle Region of Saudi Arabia, Geotechnical and Geological Engineering, 16, No. 4, (1998), 291-307.
11. Peck R. B., Hanson W. E., Thornburn, T. H. (1974). Foundation Engineering. John Wiley, New York.

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Department of Geotechnical Engineering

Effect of soil disturbance on measured swelling pressure of Houran clay using different laboratory techniques

Thesis Submitted In Fulfillment for the Requirement of
Master Degree in Geotechnical Engineering

Prepared by:
Wessam Alhinnawy

Supervised by
Mohamad Kayyal

2014