

دراسة تأثير درجة الإشباع على خواص الترب الرملية المتراسة من خلال اختبارات التحميل المخبرية

م.سناء خليل¹ أ.د.م نزيه عبود² د.م فراس مقداد³

1 طالبة دكتوراه- قسم جيوتكنيك- كلية الهندسة المدنية.

2 دكتور- قسم جيوتكنيك- كلية الهندسة المدنية.

3 دكتور- قسم جيوتكنيك- كلية الهندسة المدنية.

الملخص

في هذا البحث تم اعتماد المنهج التجريبي على عينات من التربة الرملية أخذت من محافظة طرطوس (قرية الحميدية)، والهدف من ذلك دراسة تأثير درجة الإشباع على خواص الترب الرملية المتراسة (الضغط الحدي- معامل التشوه الخطي- مواصفات القص- شكل الانهيار) عن طريق عدة نماذج مخبرية.

لتحقيق هدف البحث تم إجراء تجارب الخواص الفيزيائية الأساسية والمصنفة للتربة، وأجريت اختبارات القص المباشر عند درجات مختلفة من الإشباع، وأجريت سلسلة من اختبارات التحميل المخبري لنموذج أساس سطحي على الرمل المرصوص مع الحفاظ على الكثافة الجافة ثابتة لجميع الاختبارات بينما تم تغيير درجة الإشباع ضمن المجال % [0-50]، تم تحليل النتائج ومناقشتها وتبين من نتائج اختبارات التحميل ازدياد الضغط الحدي بشكل غير خطي بازدياد درجة الإشباع ضمن المجال % [0- 50] وتراوحت قيم الزيادة بين [2- 3.4] مرات الضغط الحدي بالحالة الجافة، وتبين أيضاً تغيير معامل التشوه الخطي بشكل غير خطي وفق درجة الإشباع، في البداية ازاد معامل التشوه الخطي بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لأكبر قيمة عند درجة محددة من الإشباع ومع ازدياد درجة الإشباع تناقص معامل التشوه الخطي.

بينت نتائج اختبارات القص المباشر انخفاض زاوية الاحتكاك الداخلي 4.3% بازدياد درجة بشكل طفيف بنسبة الإشباع، بينما لوحظ ازدياد التماسك الظاهري بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لقيمة محددة تكون عندها قيمة التماسك الظاهري أعظمية وبازدياد درجة لإشباع بعد هذه القيمة تناقصت قيم التماسك الظاهري. الكلمات المفتاحية: تربة رملية، درجة الإشباع، أساس سطحي.

تاريخ الإيداع: 2021/12/24

تاريخ القبول: 2022/6/2



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Studying the effect of the saturation degree on the properties of dense sandy soil through laboratory loading tests

Sanaa Khalil¹ Dr. Nazih Abboud² Dr. Firas Moukdad³

¹PhD student - Geotechnical Department - Faculty of Civil Engineering .

²Doctor - Geotechnical Department - Faculty of Civil Engineering.

³Doctor - Geotechnical Department - Faculty of Civil Engineering

Abstract

In this research, the experimental method was adopted on samples of sand soil taken from the city of Tartous (Al-Hamidiya village), and the aim is to study the effect of the degree of saturation on the properties of compacted sand soil (ultimate pressure - coefficient of linear deformation modulus - shear specifications - collapse shape) by means of several Laboratory models. To achieve the aim of the research, experiments were conducted for the basic Physical and classified properties of the soil, the direct shear tests were performed at the different saturation degrees, and a series of Laboratory loading tests were conducted for a model footing atop compacted sand, the dry density was kept constant for all tests while the degree of saturation was changed within the range [0-50]%. The results were analyzed and discussed, and it was found from the results of the loading tests that the ultimate pressure increased non-linearly with the increase in the degree of saturation within the range [0-50]% and the values of the increase ranged between [2-3.4] times the ultimate pressure in the dry state, and it was also shown that the linear deformation modulus changed in a non-linear manner, in the beginning the linear deformation modulus increased with the increase in the degree of saturation until reaching the largest value at a specific degree of saturation and with the increase in the degree of saturation the linear deformation modulus decreased.

The results of direct shear tests showed a slight decrease in the internal friction angle by 4.3% with the increase in the degree of saturation, while it was observed that the apparent cohesion increased with the increase in the degree of saturation until a specific value was reached at which the value of the apparent cohesion is maximum, and with the increase in the degree of saturation after this value the values of the apparent cohesion decreased.

Key Words: Sand Soil, Saturation Degree, Footing

Received: 24/12/2021

Accepted: 2/6/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

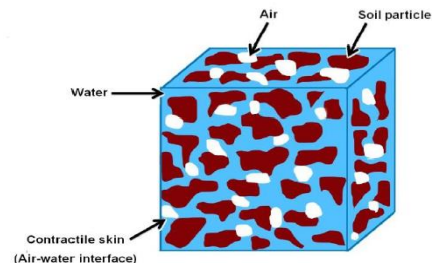
المقدمة

تم اختيار التربة الرملية من مدينة طرطوس من قرية الحميدية والتي تقع على بعد 20 كم جنوب المدينة، تم استخراج العينات بالحفر اليدوي من عمق 2م من سطح الأرض، وهي تربة رمل نظيف وصاف لا يحوي نواعم.

تم اختيار هذه التربة كونها تتواجد دوماً- ضمن أعماق توضع الأساسات السطحية- بحالة الإشباع الجزئي، ومن المهم دراسة تأثير درجة الإشباع على خواص هذه التربة والمتعلقة بالحسابات التصميمية للأساسات بما يسهم في التصميم الاقتصادي للأساسات السطحية.

بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية المهمة بهذا الموضوع تبين أن تجارب التحميل الحقلية والمخبرية تعتبر من أهم التجارب المستخدمة لفهم سلوك الترب المشبعة جزئياً، لذلك تم الاعتماد في هذا البحث على اختبارات التحميل المخبرية لدراسة تأثير درجة الإشباع على خواص التربة الرملية، وفيما يلي ملخص لبعض هذه الدراسات:

تم تعريف الترب المشبعة جزئياً بالترب التي تحتوي على طوري الماء والهواء في مساماتها وتتواجد بشكل طبيعي في المناطق الجافة والاستوائية أو بشكل صناعي مثل الترب المشكلة بالرص، يشار عادةً للترب المشبعة بالترب ذات الطورين (الجزئيات الصلبة- الماء) وتمتلك الترب المشبعة جزئياً طورين آخرين مستقلين هما: الهواء وسطح التماس بين الماء والهواء الذي يعمل كغشاء رقيق مرن ويؤثر بشكل كبير على سلوك التربة الميكانيكي (Li, (Ramirez,2013)(2009).



الشكل رقم (1) عنصر التربة المشبعة جزئياً (Sheikhtaheri,2015)

يتواجد الهواء مع الماء في مسامات التربة المشبعة جزئياً وينتج نوعين من الضغط المسامي هما ضغط الهواء وضغط الماء والذي يكون سالباً بالنسبة لضغط الهواء المسامي بسبب تأثير قوى التوتر السطحي، يسمى الفرق بين ضغط الهواء المسامي وضغط الماء المسامي بـ (matric suction) أو إجهادات السحب ويتعلق بعدة عوامل مثل حجم الحبيبات، شكل المسامات، كثافة التربة، درجة الإشباع ويرتبط بشكل أساسي بدرجة الإشباع وتحسب إجهادات السحب من العلاقة التالية:

$$u_a - u_w = \frac{2T_s}{R}$$

$u_a - u_w$: إجهادات السحب matric suction

T_s : قوة الشد السطحي، R: نصف قطر التقعر

(Shwan,2015) (Al-Khayat,2018)

أجرى Steensen Bach اختبارات تحميل لنموذج أساس سطحي على عدة أنواع من الترب الرملية بحالات الإشباع التام والجزئي، وجد أن قدرة تحمل الترب المشبعة جزئياً أعلى بـ 4-6 مرات من قدرة تحمل الترب ذاتها بحالة الإشباع التام (Sun,2010).

أجرى Costa وآخرون اختبارات صفيحة تحميل حقلية لدراسة تأثير إجهادات السحب (matric suction) على سلوك تربة مشبعة جزئياً، بينت نتائج الاختبارات الحقلية أن ازدياداً صغيراً في إجهادات السحب أدى إلى ازدياد واضح في قدرة التحمل وتبين أن التغيرات في إجهادات السحب أثرت بشكل واضح على قيم الهبوط حيث تناقص معدل الهبوط بشكل غير خطي مع ازدياد إجهادات السحب (Sun,2010).

أجرى Vanapalli وMohamed عدة اختبارات صفيحة تحميل حقلية وتجارب الاختراق النظامية على تربة رمل لتوضيح تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل التربة، بينت نتائج الاختبارات ازدياد واضح في كل من عدد الضربات

بالحالة الجافة، مع التأكيد على أهمية دراسة آليات الانهيار في العمل التجريبي.

يهدف البحث لدراسة تأثير درجة الإشباع على خواص الترب الرملية المتراسة (الضغط الحدي- معامل التشوه الخطي- مواصفات القص- شكل الانهيار) عن طريق عدة نماذج مخبرية.

3- مواد البحث وطرقه:

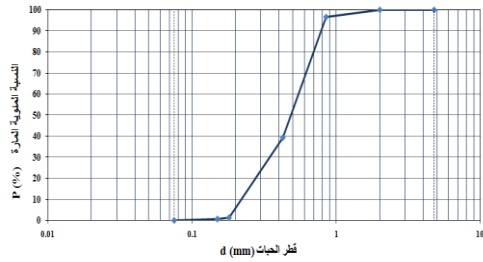
3-1 تحضير التربة وتوصيفها:

تم اختيار تربة رمل من محافظة طرطوس (قرية الحميدية) وهي تربة ذات لون بني تم استخراجها بالحفر اليدوي، تم إجراء تجارب الخواص الفيزيائية الأساسية والمصنفة للتربة:

الوزن النوعي ASTM-D854: $G_s=2.65$

التحليل الحبي ASTM-D422: $D_{10}=0.22$

$D_{60}=0.55$ - $D_{50}=0.49$ mm- $D_{30}=0.347$ -



الشكل رقم (2) منحنى التدرج الحبي

معامل التجانس $C_u=2.5$ ومعامل الانحناء $C_z=1.0$ وصنفت التربة (Sp) رمل فقير التدرج الحبي وفق نظام التصنيف الموحد.

معامل المسامية بحالة التراص الأعظمي والوزن الحجمي

الجاف الأعظمي وفق الكود الياباني JIS-A1224,2000

$$e_{min} = 0.51 \quad \gamma_{d max} = 17.5 \text{KN/m}^3$$

معامل المسامية بحالة التخلخل الأعظمي والوزن الحجمي

الجاف الأصغري ASTM D4254

$$\gamma_{d min} = 14.8 \text{KN/m}^3 \quad e_{max} = 0.79$$

أجريت تجربة بروكتور النظامية ASTM-698:

لتجارب الاختراق النظامية وقدرة التحمل لصفحة التحميل بسبب مساهمة إجهادات السحب

(Mohamed&Vanapalli, 2012).

اعتبر Steensen Bach أن إهمال تأثير إجهادات السحب عند حساب قدرة تحمل الترب المشبعة جزئياً يكافئ إهمال تأثير التسليح في تصميم البيتون المسلح

(Al-Qayssi et al, 2018).

درس Safarzadeh و Aminfar تأثير تخفيض منسوب

المياه على قدرة تحمل أساس سطحي على رمل مرصوص، عن طريق إجراء عدة تجارب تحميل مخبرية عند مناسيب

مختلفة للمياه، بينت النتائج التجريبية أن تخفيض منسوب

المياه أدى إلى ازدياد إجهادات السحب وازدادت قدرة التحمل

الحدية بشكل غير خطي من 2.5 حتى 4 مرات قدرة التحمل

بحالة الإشباع التام (Safarzadeh&Aminfar, 2019).

2- أهمية البحث وأهدافه:

يعتمد حساب جملة الأساسات على عامل مهم هو قدرة تحمل

التربة والتي بدورها تتعلق بالخواص الميكانيكية والفيزيائية

للتربة، وكما أسلفنا سابقاً تتغير هذه الخواص بتغير رطوبات

التربة، نادراً ما تتواجد الترب بحالة الإشباع التام أو الجفاف

التام وإنما في معظم الحالات تكون التربة الطبيعية مشبعة

جزئياً خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يكون

منسوب المياه الجوفية عميقاً، وغالباً يتم التصميم التقليدي

للأساسات بالاعتماد على نظريات ميكانيك التربة التي تفترض

أن التربة في حالة الإشباع التام والتي تعتبر الحالة الميكانيكية

الأسوأ، لكن عند تطبيق هذه النظريات على الترب المشبعة

جزئياً تنتج قيم غير واقعية لقدرة التحمل وللهبوط وبالتالي

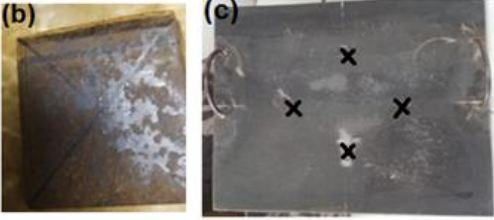
يكون تصميم الأساسات غير اقتصادي، لذلك تبرز أهمية

دراسة تأثير درجة الإشباع على خواص الترب الرملية وتحديد

الفرق بين قدرة التحمل بحالة الإشباع الجزئي وقدرة التحمل



(a) صندوق معدني بأبعاد 400x400x200 mm



(b) صفيحة نموذج الأساس 50x50 mm بسماكة 10 mm

(c) صفيحة معدنية للرص 390x390 mm وسماكة 5 mm

الشكل رقم (3) صورة للنموذج المخبري

3-3 اختبارات تحميل التربة مخبرياً:

تم حساب نسب الماء المضاف من العلاقة التالية:

$$S. e = G_s. \omega \quad (\text{Zainal\&Fadhil, 2018})$$

ثم تم خلط نسب محددة من الرمل الجاف مع الماء بشكل جيد يدوياً ثم تم تغليفها بغلاف عازل محكم الإغلاق وتركت 48 ساعة لتجانس الرطوبة، بعد ذلك تم تشكيل العينات الرطبة في وعاء الاختبار على أربع عن طريق تطبيق 45mm طبقات سماكة كل منها عدة ضربات على صفيحة الرص حتى الوصول إلى ويبين الجدول رقم 17 KN/m³ الوزن الحجمي الجاف عند درجات 45mm (1) نسب الماء لكل طبقة بسماكة للعينات المشكلة % [0-20-25-35-50] الإشباع

17 KN/m³ بالوزن الحجمي الجاف

للوزن $\omega_{opt} = 10.5\%$ للرطوبة، $\gamma_{d max} = 17.4 \text{ KN/m}^3$

الحجمي الجاف الأعظمي

3-2 تحضير النموذج المخبري:

تم تحضير نموذج مخبري من الفولاذ قاعدته مربع (400x400)mm وارتفاعه 200mm بسماكة 5mm، نموذج الأساس السطحي صفيحة معدنية مربعة (50x50)mm بسماكة 10mm، النموذج تصغير بمقياس 20/1 وتم مراعاة أن تقع جدران صندوق الاختبار وقاعدته خارج حدود مناطق القص للتربة عند

الانهيار حسب نظرية الباحث Terzaghi لآلية الانهيار المحتملة للتربة المختبرة.

تم رسم خطوط أفقية متوازية داخل الصندوق للتحكم برص كل طبقة بالكثافة المطلوبة.

تم تفصيل صفيحة معدنية بأبعاد (390x390)mm وسماكة 5mm تستخدم أثناء رص طبقات التربة ومنتقبة بأربع ثقوب متناظرة للسماح بخروج الهواء من المسامات أثناء الرص. ويوضح الشكل رقم (3) صورة للنموذج المستخدم.

4- نتائج الاختبارات:

1-4 نتائج اختبارات القص المباشر:

يلخص الجدول رقم (2) نتائج اختبارات القص عند درجات الإشباع [0-20-25-35-50]%

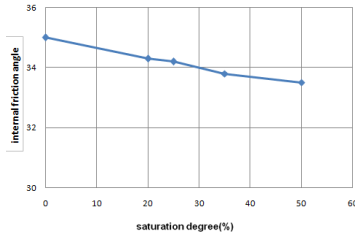
الجدول رقم (2) قيم مواصفات القص وفق درجة الإشباع

S%	ω%	ϕ	C _{app} (Kpa)
0	0	35	0
20	4.2	34.3	5.5
25	5.3	34.2	6.8
35	7.4	33.8	6.3
50	10.5	33.5	4.5

C_{app}: التماسك الظاهري

لوحظ أن قيم التماسك قليلة للتربة المختبرة كون العينة تربة رمل.

يبين الشكل التالي تغير قيم زاوية الاحتكاك الداخلي وفق درجة الإشباع



الشكل رقم (6) تغير زاوية الاحتكاك الداخلي وفق درجة الإشباع

لوحظ انخفاض زاوية الاحتكاك الداخلي بشكل طفيف بنسبة 4.3% بازدياد درجة الإشباع، ويفسر ذلك أنه بازدياد درجة الإشباع تزداد كمية الماء بين الجزيئات والذي يلعب دوراً مهماً في الانزلاق مسبباً انخفاض زاوية الاحتكاك الداخلي، ونظراً لأن حجم جزيئات الرمل أكبر مقارنةً مع جزيئات الغضار ويمتلك قدرة أضعف على الاحتفاظ بالماء لذلك يكون تأثير محتوى الماء قليل على زاوية الاحتكاك الداخلي (Yong&Cho, 2016)

الجدول رقم (1) نسب الماء وفق درجات الإشباع: الرطوبة الموافقة لكل ω% درجة إشباع

S%	0	20	25	35	50
ω%	0	4.2	5.3	7.4	10.5
ω(Kg)	0	0.489	0.617	0.861	1.222

ω45mm: وزن الماء لكل طبقة بسماكة (17KN/m³) (Kg)

والمشكلة بوزن حجمي جاف

أجريت اختبارات التحميل بمعدل 1mm/mim.

ويوضح الشكل رقم(4) بعض مراحل تحضير التربة في النموذج المخبري



الشكل رقم (4) بعض مراحل تحضير التربة في النموذج المخبري

3-4 اختبارات القص المباشر:

تم رسم مخطط توزع الإجهادات الناتجة عن التحميل في النموذج المخبري وتم تحديد المناطق غير المتأثرة بالإجهادات الناتجة عن التحميل، بنهاية كل اختبار تحميل تم غرز أخذات القص في المناطق السطحية غير المتأثرة بالإجهادات الناتجة عن التحميل لاستخراج عينات واختبارها بجهاز القص المباشر وفق المواصفةASTMD3080.

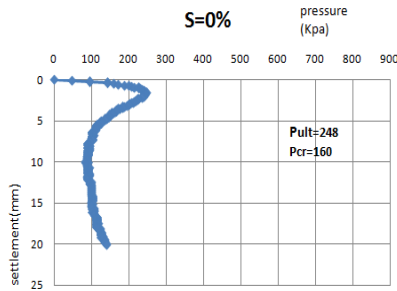
ويوضح الشكل رقم (5) طريقة استخراج العينات.



الشكل رقم (5) استخراج عينات لاختبارها بجهاز القص المباشر

4-2 نتائج اختبارات التحميل:

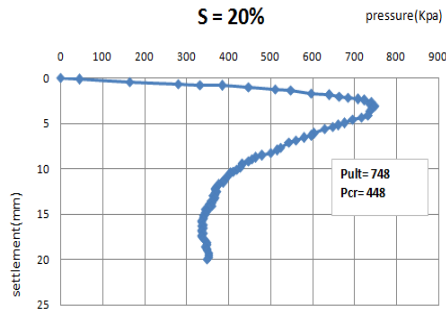
توضح الأشكال التالية نتائج اختبارات التحميل للعينات المشكلة بوزن حجمي جاف 17kN/m^3 عند درجات الإشباع: [0-20-25-35-50]، وتم إيجاد قيم كل من P_{ult} من منحنيات التحميل حيث P_{ult} : الضغط الأعظمي المطبق و P_{cr} : الضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي، وتم تصوير العينة بنهاية كل اختبار وتم قياس قطر المنطقة السطحية المنهارة.



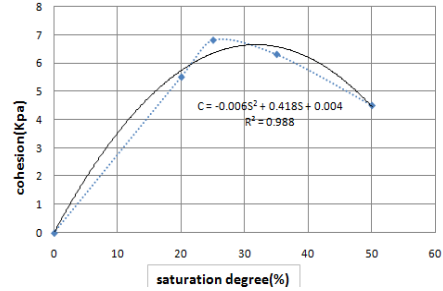
الشكل رقم (9) منحنى التحميل $S=f(P)$ للعينة الجافة $S=0\%$



الشكل رقم (10) اختبار التحميل للعينة الجافة $S=0\%$



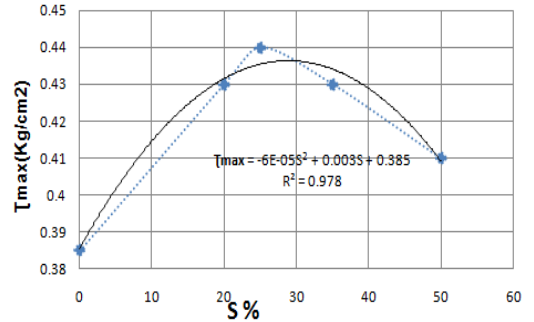
الشكل رقم (11) منحنى التحميل $S=f(P)$ للعينة المشكلة بدرجة إشباع $S=20\%$



الشكل رقم (7) تغير التماسك الظاهري وفق درجة الإشباع

لوحظ ازدياد التماسك الظاهري بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لقيمة محددة ($S=25\%$) تكون عندها قيمة التماسك الظاهري أعظمية وبازدياد درجة الإشباع بعد هذه القيمة تناقصت قيم التماسك الظاهري، ويفسر ذلك أنه بحالة الإشباع الجزئي يكون الماء بين الجزيئات معرضاً لضغط أقل من ضغط الهواء ويساهم هذا الضغط بتقريب الجزيئات من بعضها عند نقاط تماس الجزيئات، وتتناقص قيمة هذا الضغط مع الاقتراب من حالة الجفاف التام أو الإشباع التام. (Li

Pei & Gao, 2016)



الشكل رقم (8) تغير مقاومة القص وفق درجة الإشباع $\sigma_n =$

$$0.55\text{Kg/cm}^2$$

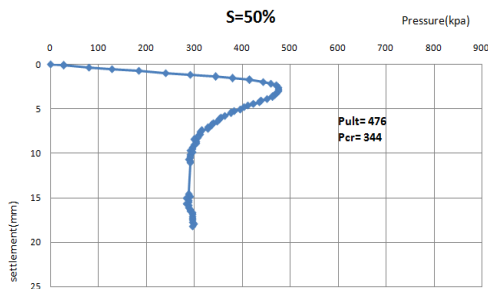
تبين ازدياد مقاومة القص بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لقيمة معينة تكون عندها قيمة مقاومة القص أعظمية، وباستمرار ازدياد درجة الإشباع تناقصت مقاومة القص، يتعلق ذلك بالتأثير الإيجابي لإجهادات السحب التي تزداد بازدياد درجة الإشباع حتى قيمة محددة، ومع استمرار ازدياد درجة الإشباع تتناقص إجهادات السحب وتقل مساهمتها في زيادة مقاومة القص.



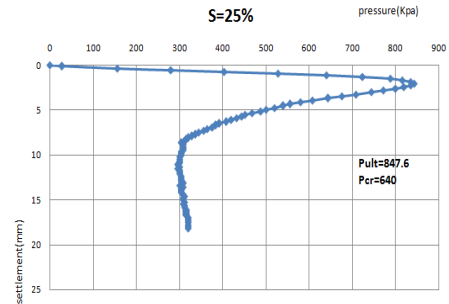
الشكل رقم (16) اختبار التحميل للعيونة بدرجة إشباع S=35%



الشكل رقم (12) اختبار التحميل للعيونة بدرجة إشباع S=20%



الشكل رقم (17) منحنى التحميل S=f(P) للعيونة المشككة بدرجة إشباع S=50%



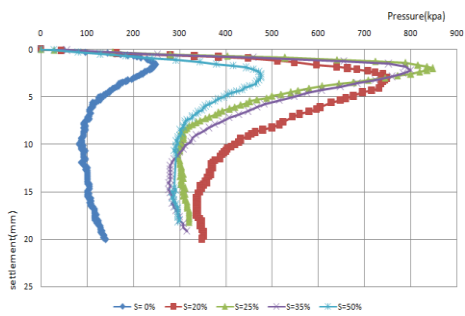
الشكل رقم (13) منحنى التحميل S=f(P) للعيونة المشككة بدرجة إشباع S=25%



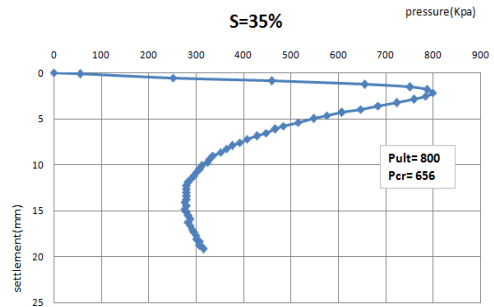
الشكل رقم (18) اختبار التحميل للعيونة بدرجة إشباع S=50%



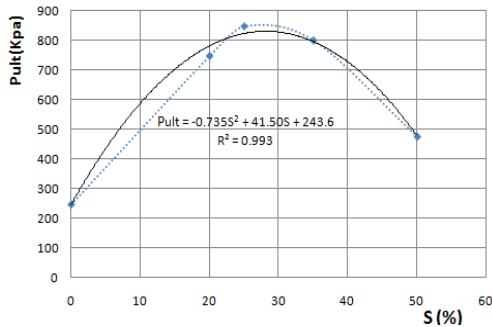
الشكل رقم (14) اختبار التحميل للعيونة بدرجة إشباع S=25%



الشكل رقم (19) منحنيات التحميل S=f(P) عند درجات مختلفة من الإشباع



الشكل رقم (15) منحنى التحميل S=f(P) للعيونة المشككة بدرجة إشباع S=35%



الشكل رقم (20) العلاقة بين الضغط الحدي ودرجة الإشباع

تم حساب معامل التشوه الخطي من منحنيات التحميل من العلاقة التالية:

$$E = \frac{(1 - \mu^2)BPI_w}{S}$$

μ : معامل التوسع الجانبي (تم فرض قيمته 0.3)

B: عرض صفيحة نموذج الأساس

P: الضغط الموافق لنهاية مرحلة التشوه الخطي (P_{cr})

I_w : معامل التأثير يتعلق بشكل الأساس (0.88 للمربع)

S: الهبوط الموافق للضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي.

ويبين الجدول التالي قيم معامل التشوه الخطي وفق درجات الإشباع % [0-20-25-35-50]:

الجدول (4) قيم معامل التشوه الخطي وفق درجة الإشباع P_{cr} :
الضغط الموافق لنهاية مرحلة التشوه الخطي

S (%)	P_{cr} (Kpa)	S (mm)	E (Kpa)
0	160	0.46	13927
20	448	0.965	18589
25	640	1.09	23510
35	656	1.25	21013
50	344	1.37	10054

ويوضح الشكل رقم (21) تغير قيم معامل التشوه الخطي وفق درجة الإشباع

بينت نتائج الاختبارات أن زيادة بسيطة في رطوبة العينة أدت إلى ازدياد واضح في قيم الضغط الحدي، فعند الرطوبة 4.2% والتي توافق درجة الإشباع 20% ازداد الضغط الحدي ليصبح ثلاثة أضعاف الضغط الحدي للعينة الجافة، وبازدياد درجة الإشباع ازدادت قيم الضغط الحدي ليصل لأعظم قيمة عند درجة الإشباع 25% (أصبح الضغط الحدي 3.4 من قيمة الضغط الحدي للعينة الجافة) ومع استمرار ازدياد درجة الإشباع بدأ معدل ازدياد قيم الضغط الحدي بالتناقص ليصبح عند درجة الإشباع 50% ضعفي الضغط الحدي للعينة الجافة.

أيضاً تبين ازدياد قيم الضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي (P_{cr}) بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لدرجة الإشباع 35% ومع استمرار ازدياد درجة الإشباع بدأ معدل ازدياد الضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي بالتناقص.

يتعلق سلوك كل من الضغط الحدي والضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي وفق درجة الإشباع بمساهمة إجهادات السحب المتشكلة في العينات المشبعة جزئياً،

يفسر التزايد الابتدائي لكل من الضغط الحدي والضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي بازدياد درجة الإشباع أنه بازدياد رطوبة العينة تزداد مساحة الماء المقعر بين الجزيئات مسببةً ازدياد إجهادات السحب، ويفسر التناقص اللاحق لكل من الضغط الحدي والضغط نهاية مرحلة التشوه الخطي بازدياد درجة الإشباع أنه مع استمرار زيادة رطوبة العينة يزداد نصف قطر التقعر للماء بين الجزيئات مسبباً تناقص إجهادات السحب.

ويبين الشكل رقم 20 تغير قيم الضغط الحدي وفق درجة الإشباع
الجدول (3) قيم الضغط الحدي وفق درجة الإشباع P_{ult} : الضغط الحدي

S%	P_{ult} (kpa)
0	248
20	748
25	847.6
35	800
50	476

المخبري المقترح؛ أي أن الطريقة التحليلية للباحث Terzaghi أعطت عامل أمان كبير للتربة المختبرة.

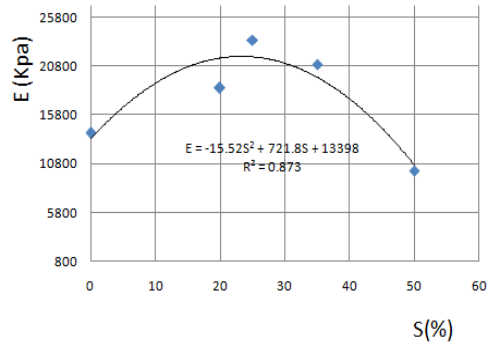
6- الاستنتاجات:

1- بينت نتائج اختبارات التحميل ازدياد الضغط الحدي بشكل غير خطي بازدياد درجة الإشباع ضمن المجال % [0- 50] وتراوحت قيم الزيادة بين [2- 3.4] مرات الضغط الحدي بالحالة الجافة، حيث ازدادت قدرة التحمل بازدياد درجة الإشباع لتصل لأكبر قيمة عند درجة الإشباع 25% وبزيادة درجة الإشباع بعد هذه القيمة بدأ معدل ازدياد الضغط الحدي بالتناقص.

2- بينت نتائج اختبارات التحميل تغير معامل التشوه الخطي بشكل غير خطي وفق درجة الإشباع، في البداية ازداد معامل التشوه الخطي بازدياد درجة الإشباع 25% حتى الوصول لأكبر قيمة عند درجة الإشباع ومع ازدياد درجة الإشباع تناقص معامل التشوه الخطي.

3- بينت نتائج اختبارات القص المباشر انخفاض زاوية بازدياد 4.3 الاحتكاك الداخلي بشكل طفيف بنسبة % درجة الإشباع، ولوحظ ازدياد التماسك الظاهري بازدياد درجة الإشباع حتى الوصول لقيمة محددة تكون عندها قيمة التماسك الظاهري أعظمية وبازدياد درجة الإشباع بعد هذه القيمة تناقصت قيم التماسك الظاهري.

4- عند تصميم نموذج مخبري يلبي هدف البحث يمكن استخدام أبعاد أقل من الأبعاد المحسوبة وفق طريقة ترزاكي التحليلية بنسبة 30%، حيث أعطت طريقة ترزاكي عامل أمان كبير عند حساب قطر المنطقة السطحية المنهارة للتربة المختبرة.



الشكل (21) تغير معامل التشوه الخطي وفق درجة الإشباع

بينت نتائج اختبارات التحميل تغير معامل التشوه الخطي بشكل غير خطي وفق درجة الإشباع، في البداية ازدادت قيم معامل التشوه الخطي بازدياد درجة الإشباع لتصل لأكبر قيمة عند درجة الإشباع 25% ومع ازدياد درجة الإشباع بعد هذه القيمة تناقصت قيم معامل التشوه الخطي، ويتعلق ذلك بقيم الهبوط المرن حيث يزداد معامل التشوه الخطي بتناقص الهبوط المرن، فعند المقارنة بين قيم الهبوط المرن عند الضغط المطبق 160Kpa- حيث تسلك جميع العينات عند هذا الضغط سلوكاً مرناً- تبين انخفاض قيم الهبوط بازدياد درجة الإشباع لتصل لأدنى قيمة عند درجة الإشباع 25% ومع استمرار زيادة درجة الإشباع ازدادت قيم الهبوط.

بينت نتائج الاختبارات أن الانهيار حدث بالقص العام لجميع درجات الإشباع ولم تؤثر درجة الإشباع على الشكل العام لعلاقة الاجهاد - التشوه، وبنهاية كل اختبار تحميل تم قياس قطر المساحة السطحية المنهارة وتبين أن أكبر قطر بلغ 23سم وذلك للعينه المشكله بدرجة إشباع 25%، وتم قياس التشوهات على بعد 9 سم من حافة نموذج الأساس وتبين أن قيمها مهملة تقريباً (لا تتجاوز 0.22 من المم) لجميع الاختبارات، وبالتالي بالإمكان استخدام أبعاد أصغر للنموذج

Reference

- 1- Li, Xudong. (2009), Laboratory studies on the bearing capacity of unsaturated sands. Masters Thesis. Department of civil engineering. Faculty of graduate and postdoctoral studies. Univ. of Ottawa.Ottawa: Canada.137.
- 2-Ramirez, Eddy. (2013), Introducing Unsaturated Soil Mechanics to Undergraduate Students through the Net Stress Concepts.Masters Thesis. Arizona State University, 219
- 3-Sheikhtaheeri, Mohamadjavah. (2015), Experimental and Numerical Modeling Studies for Interpreting and Estimating the p - δ Behavior of Single Model Piles in Unsaturated Sands. Masters Thesis.Department of civil engineering.Faculty of Graduate and Post Graduate Studies.University of Ottawa.Ottawa: Canada.143.
- 4-Shwan, BestunJumaa. (2015), Experimental and Numerical Study of the Shear Strength of Unsaturated Sand.Doctor Thesis. Department of Civil and Structural Engineering. Faculty of Engineering. 281.
- 5- Al-Khayat, Sahar. (2018), An experimental investigation of the collapse behaviour of an unsaturated compacted soil along the static compaction curves. Doctor Thesis. Cardiff university.UK.
- 6- Sun, Rui. (2010), Bearing capacity and settlement behavior of unsaturated soils from model footing tests. Masters Thesis. Department of civil engineering. Faculty of graduate and postdoctoral studies. Univ. of Ottawa.Ottawa: Canada.153
- 7- Mohamed, Fathi and Vanapalli, Saik (2012). Estimation of Bearing Capacity of Saturated and Unsaturated Sands from the SPT and CPT Correlations. Korea. Advances in civil Enviromental andMaterials Research.
- 8-Al Qayssi, M, Wakel,S and Kando, A. (2018) .Experimental study of model piled raft foundation embedded with partially saturated cohesionless soils,Journal of engineering and sustainable development, Vol.22 No.03.
- 9-Safarzadeh, Zolfaghar and Aminfar, Mohammad (2019). Experimental and Numerical Modeling of the Effect of Groundwater Table Lowering on Bearing Capacity of Shallow Square Footings,Int. J. Eng., vol. 32.
- 10- ASTM (American Society for Testing and Materials),(2012). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM D854-07.
- 11- ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM D422-07.
- 12-JIS A 1224, (2000).Test method for minimum and maximum densities of sands, Japanese Geotechnical Society, Soil Testing Standards, pp. 136-138.
- 13-ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012).Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density. ASTM D4254-07
- 14- ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012).Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.ASTM D698-07.
- 15- Zainal, Esmatand and Fadhil, Amjad (2018). Effectof Relative Densityonthe Matric Suction and its Contribution to Shear Strength of Unsaturated Sandy Soil, Applied Research Journal, vol. 2. pp. 134-142.
- 16- ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012). Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM D3080.
- 17- Pei-yong, L and Chao,G (2016). Shear Strength of Unsaturated Sands, Electron. J. Geotech. Eng., vol. 21(10), pp. 3857–3864c.