مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 126-139

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 126-139

دراسة تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل أساس سطحي على تربة رملية مشبعة جزئياً

سناء خليل[*1] نزيه عبود[2] فراس مقداد[3]

[1]*. طالبة دكتوراه، مهندسة، كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق، الهندسة الجيوتكنيكية.
sanaa.khalil@damascusuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ، مهندس، دكتور في قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق، جيولوجيا هندسية. nazihabbud026@damascusuniversity.edu.sy

[3]. دكتور، مهندس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.
Dr.f-Moukdad@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

في هذا البحث تم اعتماد المنهج التجريبي على عينات من التربة الرملية أخذت من محافظة طرطوس (قرية الحميدية)، والهدف من ذلك دراسة تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل أساس سطحي يتوضع على تربة رملية مشبعة جزئياً.

لتحقيق هدف البحث أجريت تجارب الخواص الفيزيائية الأساسية للتربة، وتم إجراء سلسلة من اختبارات التحميل المخبرية لنموذج أساس سطحي على التربة الرملية من أجل قيم مختلفة لإجهادات السحب، تم قياس إجهادات السحب وإيجاد منحني خصائص التربة–الماء باستخدام تقنية ورق الترشيح، تم تحليل النتائج ومناقشتها وأثبتت نتائج الاختبارات أن لإجهادات السحب تأثيرواضح على قدرة التحمل الحدية وتراوحت قيم الزيادة بين [2.3–9] مرات قدرة التحمل بحالة الإشباع التام، وبينت نتائج الاختبارات أن لإجهادات السحب تأثير واضح على آلية انهيار التربة المختبرة.

الكلمات المفتاحية: إجهادات السحب، تربة رملية، أساس سطحي

تاريخ الإيداع: 2023/4/4
تاريخ القبول: 2023/6/20

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

ISSN (online): 2789-6854
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

Studying the effect of matric suction on the bearing capacity of footing on partially saturated sandy soil

Sanaa Khalil*[1] Nazih Abboud[2] Firas Moukdad[3]

*[1]. Doctorate student, Engineering, Civil Engineering Damascus university, Geotechnical
sanaa.khalil@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Professor at Department of Geotechnical Engineering, Faclty of Civil Engineering Damascus university, nazihabbud026@damascusuniversity.edu.sy

[3]. Doctor at Department of Geotechnical Engineering, Faclty of Civil Engineering, Damascus university
Dr.f-Moukdad@damascusuniversity.edu.sy

Received: 4/4/2023
Accepted: 20/6/2023

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

Abstract:

In this research the experimental method was adopted on samples of sandy soil taken from the city of Tartous (Al-Hamidiya village), and the aim is to study the effect of matric suction on the bearing capacity of footing on partially saturated sandy soil. To achieve the aim of the research, experiments were conducted for the basic Physical properties of the soil, and a series of Laboratory loading tests were conducted for a model footing atop sandy soil for different values of matric suction, matric suction were measured and soil water characteristics curve (SWCC) was determined using filter paper technique. The results were analyzed and discussed, and The results of experimental work demonstrate that matric suction have a clear effect on the bearing capacity, and the values of the increase ranged between [3.2-9] times bearing capacity in the saturation state. The results showed that matric suction have a clear effect on the failure mechanism of the tested soil.

Keywords: Matric suction, Sandy soil, Footing

المقدمة (Introduction):

يعتمد تصميم الأساسات على عامل مهم هو قدرة تحمل التربة، غالباً يتم التصميم التقليدي للأساسات بالاعتماد على نظريات ميكانيك التربة التي تفترض أن التربة في حالة الإشباع التام والتي تعتبر الحالة الميكانيكية الأسوأ ونادراً ما يتم الوصول لهذه الحالة، وإنما في معظم الحالات تكون التربة الطبيعية مشبعة جزئياً خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يكون منسوب المياه الجوفية عميقاً، أيضاً التربة المشكلة بالرص والمستخدمة في العديد من المنشآت الهندسية هي ترب رملية مشبعة جزئياً.

عند تطبيق النظريات التي تفترض أن التربة بحالة الإشباع التام على التربة المشبعة جزئياً؛ تنتج قيم غير واقعية لقدرة التحمل وللهبوط وبالتالي يكون تصميم الأساسات غير اقتصادي، لذلك تبرز أهمية دراسة تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل التربة الرملية المشبعة جزئياً.

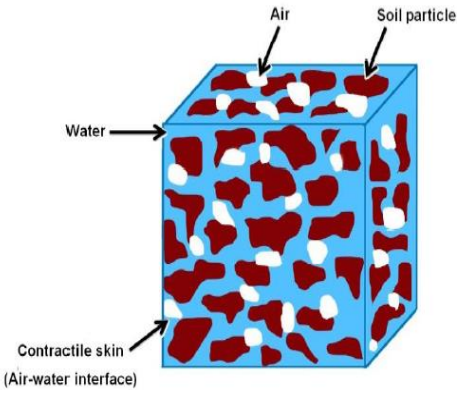
تم اختيار التربة الرملية من مدينة طرطوس من قرية الحميدية والتي تقع على بعد 20كم جنوب المدينة، تم استخراج العينات بالحفر اليدوي من عمق 2م من سطح الأرض، وهي تربة رمل نظيف ونقي لا يحوي نواعم، تم اختيار هذه التربة كونها تتواجد دوماً- ضمن أعماق توضع الأساسات السطحية- بحالة الإشباع الجزئي، ومن المهم دراسة تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل الأساسات السطحية؛ بما يسهم في التصميم الاقتصادي للأساسات السطحية على الترب الرملية.

يهدف البحث لدراسة تأثير إجهادات السحب على قدرة تحمل التربة الرملية، والمقارنة بين قدرة التحمل بحالة الإشباع الجزئي وقدرة التحمل بحالة الإشباع التام عن طريق اختبارات التحميل المخبرية.

2. الدراسات المرجعية:

بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية المهتمة 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 إجهادات السحب على قدرة تحمل الأساسات السطحية، وفيما يلي ملخص لبعض هذه الدراسات وتعريف لإجهادات السحب:

تعرف الترب المشبعة جزئياً بالترب التي تحتوي على طوري الماء والهواء في مساماتها، وتتواجد بشكل طبيعي في المناطق الجافة والاستوائية أو بشكل صناعي كالترب المشكلة بالرص، يشار عادةً للترب المشبعة بالترب ذات الطورين (الجزيئات 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 (Ramirez, 2013) (Li, 2009) .



الشكل رقم (1) عنصر التربة المشبعة جزئياً(Sheikhtaheri,2014)

تبين أن توزيع جزيئات الماء عبر سطح التماس بين الماء والهواء يأخذ شكل تابع مماسي زائدي، وتختلف خصائص سطح التماس بين الماء والهواء عن خصائص الماء العادي وله بنية جزيئية مماثلة للبنية الجزيئية في الجليد (Matsumoto&Kataoka, 1988).

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) أو إجهادات (matric suction وضغط الماء المسامي بـ السحب، يوجد مكون آخر لإجهادات السحب هو السحب التناضحي ويتعلق بكمية الأملاح المنحلة (osmotic suction) في الماء المسامي ويرتبط بالتفاعلات بين مينرالات التربة والماء المسامي، أثبتت دراسة وتحليل القوى المؤثرة في جزيئات الترب المشبعة جزئياً أن المكون الوحيد لإجهادات السحب في الترب الرملية هو الناتج عن ضغط الماء السالب، أما القوى الكيميائية والفيزيائية الأخرى غير موجودة أساساً (Vahedifard&Robinson, 2016).

تتعلق إجهادات السحب بعدة عوامل مثل حجم الحبيبات، شكل المسامات، كثافة التربة، درجة الإشباع وترتبط بشكل أساسي بدرجة الإشباع وتحسب إجهادات السحب من العلاقة التالية:

$$u_a - u_w = (2T_s)/R$$

إجهادات السحب، matric suction

$u_a - u_w$:

: ضغط الهواء المسامي، u_a: ضغط الماء المسامي، u_w

: نصف قطر التقعر.

T_s: قوة الشد السطحي،: R

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

تتغير قيم إجهادات السحب في الترب المشبعة جزئياً وفق تغير درجة إشباعها، وينتج عن هذه التغيرات مناطق مميزة من الإشباع يمكن تحديدها مخبرياً أو حقلياً من خلال استخدام، (Vanapalliet al, 1999) منحني خصائص التربة والماء وسيلة مهمة لإيجاد خواص الترب SWCC ويعتبر منحني المشبعة جزئياً (مقاومة القص– معامل النفاذية) حيث أن تحديد هذه الخواص تجريبياً مكلف ويتطلب الكثير من الوقت. (Sheikhtaheri, 2014)

SWCC تستخدم العديد من التقنيات لقياس منحني للتربة وتتنوع هذه التقنيات بشكل كبير من حيث مجال القياس ومبدأ العمل ووقت التوازن والتعقيد، لاحقاً تم تعديل أجهزة الآدومتر وثلاثي المحاور التي تمكن من إنشاء المنحني الأقرب للشروط الحقيقية للتربة حيث تأخذ بعين الاعتبار تأثير كل من التغيرات الحجمية والإجهادات الصافية المطبقة، يتأثر شكل المنحني بعدة عوامل منها: نوع التربة– بنيتها – تركيبها المينرالي– الضغط المطبق– الإجهادات التي تعرضت لها سابقاً– شروط الرص. (Khyat, 2018) الابتدائي– طريقة الاختبار.

تلعب إجهادات السحب دوراً مهماً في مقاومة القص، أوجد العلاقة بين مقاومة القص وإجهادات (Abd et al, 2020) السحب بالاعتماد على نظرية مور كولومب مع إدخال بعض التعديلات.

سلسلة من الاختبارات لنموذج (Nyuin et al, 2016) أجرى أساس سطحي مربع الشكل بقياسين مختلفين على تربة رملية مشبعة جزئياً مع تطبيق قيم مختلفة لإجهادات السحب، أثبتت نتائج الاختبارات ازدياد قدرة التحمل بازدياد إجهادات السحب.

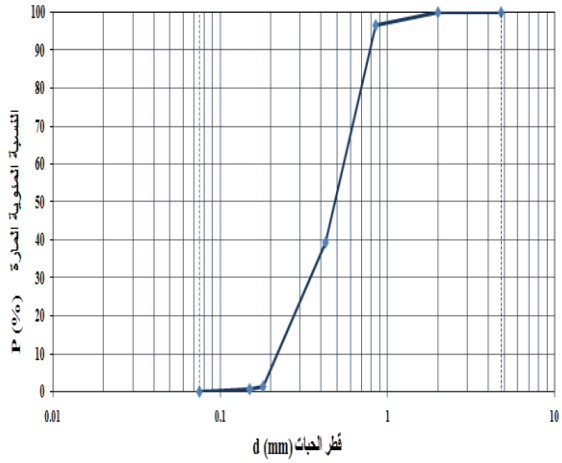
أن إهمال تأثير إجهادات السحب Steensen Bach اعتبر عند حساب قدرة تحمل الترب المشبعة جزئياً يكافئ إهمال تأثير (Al-Qayssiet al, 2018)التسليح في تصميم البيتون المسلح، (تأثير تخفيض منسوب المياه Safarzadeh& Aminfar درس على قدرة تحمل أساس سطحي على رمل مرصوص، عن طريق إجراء عدة تجارب تحميل مخبرية عند مناسيب مختلفة 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 طريقة تعتمد على تقنية discretization) اقترح في التحليل (Duetal, 2021) (technique المنفصلة المحدود، لإيجاد قدرة تحمل الأساسات السطحية على الترب المشبعة جزئياً، تعتمد هذه الطريقة على مبدأ أن تبدد الطاقة الداخلية يجب ألا يكون أقل من عمل القوى الخارجية، تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار تغيرات بارامترات التربة المشبعة جزئياً (Du et al, 2021)مع العمق والمتعلقة بإجهادات السحب.

3. مواد البحث وطرائقه (Materials and Methods):

3-1 تحضير التربة وتوصيفها: تم اختيار تربة رمل من محافظة طرطوس (قرية الحميدية) وهي تربة ذات لون بني تم استخراجها بالحفر اليدوي من عمق 2م من سطح الأرض، تم إجراء تجارب الخواص الفيزيائية الأساسية للتربة ونتائجها كما يلي:

الوزن النوعي Gs=2.65:ASTM-D854

التحليل الحبي7: D60=0.55- D50=0.49mm- D30=0.34



الشكل رقم (2) منحني التدرج الحبي

وصنفت Cc=1.0 ومعامل الانحناء Cu=2.5 معامل التجانس وفق نظام التصنيف الموحد (Sp) التربة رمل فقير التدرج الحبي (USCS).

معامل المسامية بحالة التراص الأعظمي والوزن الحجمي الجاف الأعظميJIS-A1224, 2000

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

معامل المسامية بحالة التخلخل الأعظمي والوزن الحجمي الجاف الأصغري ASTMD4254

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

تجربة بروكتور النظامية :ASTMD698

الرطوبة المثالية

$$\omega_{opt} = 10.5$$

$$\gamma_{d\,max} = 17.4KN/m^3$$

الوزن الحجمي الجاف الأعظمي

3- 2 تحضير النموذج المخبري

تم الاطلاع على نماذج مخبرية لدراسات سابقة للباحثين : نموذج الأساس صفيحة :(Vanapalli et al, 2013) كنموذج ووعاء الاختبار أسطوانة$50x50mm^2$ معدنية مربعة الشكل بعد ، 300mmوارتفاعها300mm من البلاستيك المقوى قطرها ذلك تم تحضير نموذج مخبري يلبي هدف البحث:

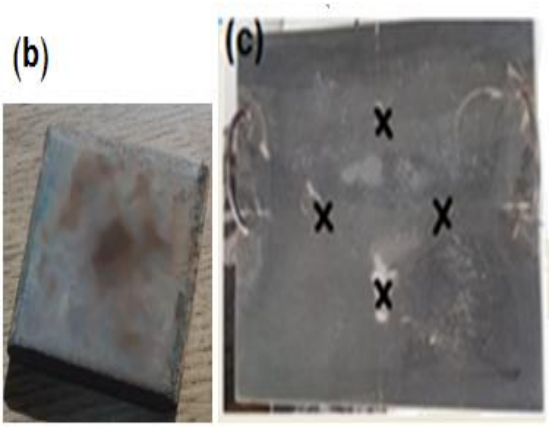
نموذج بسماكة(50x50)mm الأساس صفيحة معدنية مربعة الشكل، وعاء الاختبار صندوق من الفولاذ قاعدته مربع 10mm، وتم 200m وارتفاعه5mm بسماكة(400x400)mm مراعاة أن تقع جدران صندوق الاختبار وقاعدته خارج حدود مناطق القص للتربة عند الانهيار حسب نظرية الباحث لآلية الانهيار المحتملة للتربة المختبرة. Terzaghi

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

وسماكة(390x390)mm تم تفصيل صفيحة معدنية بأبعاد تستخدم أثناء رص طبقات التربة، الصفيحة مثقبة بأربع 5mmثقوب متناظرة للسماح بخروج الهواء من المسامات أثناء الرص.

ويوضح الشكل رقم (3) صورة للنموذج المستخدم.

(400x400x200) mm صندوق معدني بأبعاد(a)

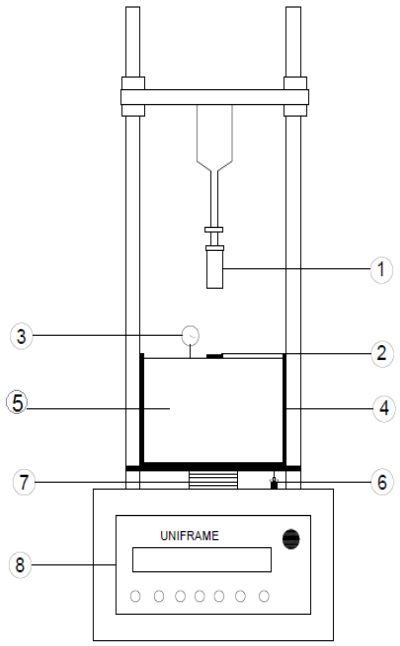


10mmبسماكة(50x50)mm صفيحة نموذج الأساس(b)

(390x390)mm صفيحة معدنية للرص (c)

الشكل رقم (3) صورة للنموذج المخبري

يوضح الشكل رقم (4) رسم تخطيطي للجهاز المستخدم في اختبارات التحميل



الشكل رقم (4) رسم تخطيطي للجهاز المستخدم في اختبارات التحميل

1- خلية تحميل الكترونية 2- نموذج الأساس

3- مؤشر التشوه الشاقولي 4- صندوق الاختبار

5-تربة رملية مشبعة جزئياً 6- مقياس الانتقال الشاقولي

7- مجموعة الدفع الميكانيكي 8- لوحة التحكم

3-3اختبارات تحميل التربة مخبرياً:

أجريت اختبارات التحميل مع المحافظة على الوزن الحجمي الجاف ثابت (γ_d=16 KN/m^3) لجميع الاختبارت بينما تم تغيير درجة الإشباع، من أجل كل اختبار تم خلط نسب محددة من الرمل الجاف مع الماء بشكل جيد يدوياً، تم حساب نسب الماء المضاف من العلاقة التالية: $\boldsymbol{S.e = G_s.\omega}$ (Zainal&Fadhil, 2018) بعد خلط النسب تم تغليفها بغلاف عازل محكم الإغلاق وتركت 48 ساعة حتى تتجانس الرطوبة، بعد ذلك تم تشكيل العينات الرطبة في وعاء الاختبار على أربع طبقات سماكة كل منها 45 مم عن طريق تطبيق عدة ضربات على صفيحة الرص حتى الوصول إلى الوزن الحجمي المطلوب. يبين الجدول رقم (1) نسب الماء المضاف لكل طبقة عند درجات مختلفة من الإشباع:

جدول رقم (1) نسب الماء وفق درجات الإشباع

S%	20	25	35	50	70	90
ω%	4.95	6.2	8.6	12.4	17.3	22.3
ω (Kg)	0.54	80.6	0.94	1.36	1.89	2.44

ω%: الرطوبة الموافقة لكل درجة إشباع

ω(Kg): وزن الماء لكل طبقة بسماكة 45mm

أجريت اختبارات التحميل بمعدل 1mm/mim

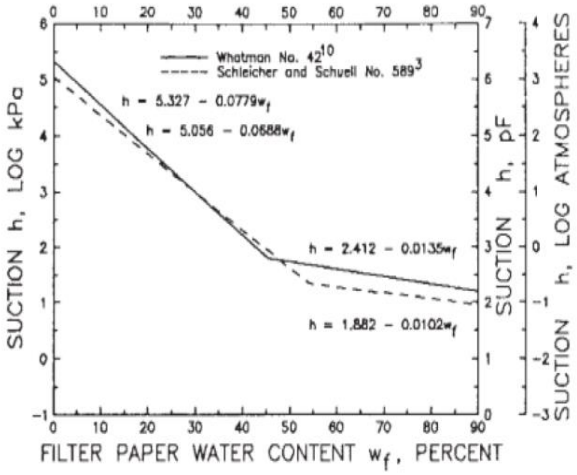
4-قياس إجهادات السحب:

تم قياس إجهادات السحب وإيجاد منحنيات خصائص التربة – الماء، (SWCC) باستخدام تقنية ورق الترشيح وفق المواصفة ASTM D5298 وهي طريقة بسيطة واقتصادية وتمكّن من قياس مجال واسع لإجهادات السحب (Fondjo,2020) (Bulolo,2021).

مبدأ هذه الطريقة أنه عندما يتم وضع عينة رطبة على تماس مع ورقة الترشيح الجافة ضمن وعاء معزول ومحكم الإغلاق، ستمتص ورقة الترشيح الماء من التربة حتى الوصول للتوازن بإجهادات السحب. أجريت الاختبارات عند درجات مختلفة من الإشباع: 10- 20- 25- 35- 50- 60- 70- 80 -90)%(حيث تم خلط نسب محددة من التربة الجافة مع الماء، ثم تم تغليفها بغلاف عازل محكم الإغلاق وتركت 48 ساعة حتى تتجانس الرطوبة، بعد ذلك تم تشكيل العينات الرطبة في وعاء زجاجي بالوزن الحجمي المطلوب، وشكلت العينات على قسمين متساويين بحيث توضع ورقة الترشيح بمنتصف العينة وعلى تماس معها، تم استخدام ورق الترشيح من النوع **Schleicher & Schuell No. 589)(بقطر 5.5cm بعد** لحمايتها، بعد ذلك تم 7cm وضعها بين ورقتي ترشيح قطر إغلاق الوعاء الزجاجي بإحكام وختمه ووضعه ضمن وعاء عزل لمدة أسبوع حتى تتوازن إجهادات السحب، يوضح الشكل رقم (5) الأدوات المستخدمة في تجربة ورق الترشيح:

الشكل رقم (5) الأدوات المستخدمة في تجربة ورق الترشيح

بعد الوصول لتوازن إجهادات السحب تم حساب الرطوبات لكل من ورقة الترشيح وعينة التربة، بعد تحديد رطوبة ورق الترشيح بنهاية التجربة لجميع العينات تم حساب إجهادات السحب الموافقة بالاعتماد على منحني المعايرة الخاص بورق الترشيح حيث تم (Schleicher & Schuell No. 589) استخدام المنحني المبين بالشكل رقم (6).



الشكل رقم(6) منحنيات معايرة اجهادات السحب– الرطوبة من أجل ترطيب (ASTM D5298)ورقة الترشيح

SWCC بالاعتماد على النتائج التجريبية تم إنشاء منحني (Fredlu& Xing, 1994) باستخدام معادلة

$$\theta = C(\psi)\left(\theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\{\ln[e+(\frac{\psi}{a})^n]\}^m}\right)$$

$\psi = u_a - u_\omega$ إجهادات السحب :

θ: محتوى الرطوبة الحجمي عند القيمة المتبقية θ_r

θ: محتوى الرطوبة الحجمي عند الإشباع التام θ_s

بارامتر يتعلق بمعدل n، AEV: بارامتر يتعلق بالقيمة a

S_r: بارامتر يتعلق بالقيمة m تجفاف التربة،

$C(\psi)$: معامل التصحيح ويحسب من المعادلة التالية:

$$C(\psi) = 1 - \frac{ln\left[1+\left(\frac{\psi}{\psi_r}\right)\right]}{ln\left[1+\left(\frac{10^6}{\psi_r}\right)\right]}$$

ψ_r : معامل تناسب

4- النتائج والمناقشة (Results and Discussion):

4-1-إجهادات السحب:

يلخص الجدول رقم (2) نتائج الاختبارات عند درجات مختلفة من الإشباع:

الجدول (2) إجهادات السحب من تجربة ورق الترشيح

S%	Θ%	u_a-u_w(Kpa)
10	3.96	13.51
20	7.92	8.33
25	9.9	7.3
35	13.86	5.03
50	19.8	3.62
65	25.74	2.896
07	27.72	1.97
08	31.68	1.85
90	35.64	1.35

S: درجة الإشباع، Θ: محتوى الرطوبة الحجمي

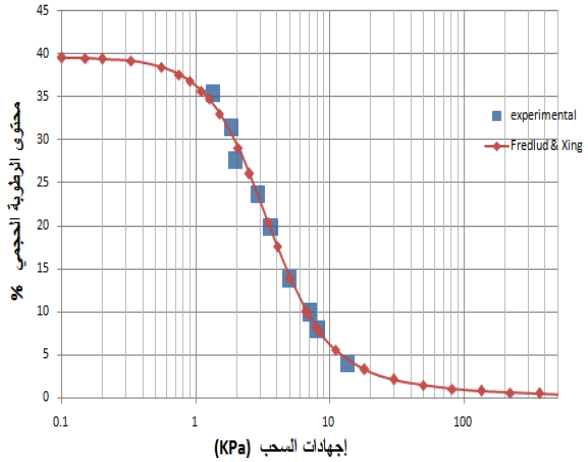
u_a-u_w :إجهادات السحب

بالاعتماد على النتائج التجريبية وباستخدام برنامج الإكسل في التحليل تم إيجاد قيم بارامترات معادلة Fredlund & Xing ويبين الجدول رقم (3) قيم هذه البارامترات والمستخدمة لإنشاء منحني SWCC

الجدول (3) قيم بارامترات معادلةFredlund & Xing

a	2.942
n	1.913
m	1.954
ψ_r	1500

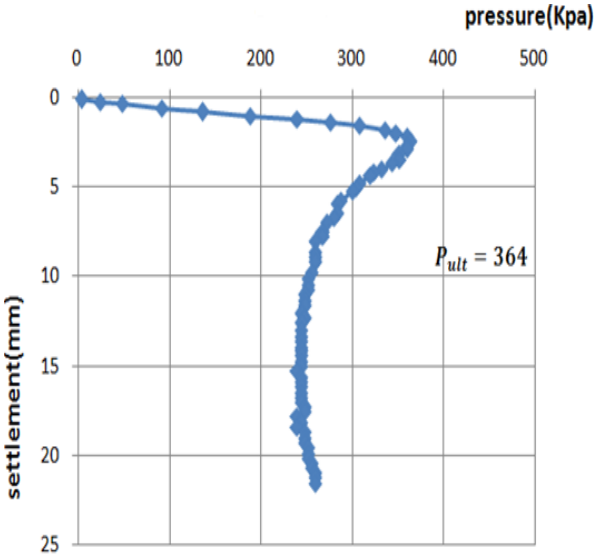
ويبين الشكل رقم (7) منحني SWCC للتربة المدروسة



الشكل (7) منحنيSWCCللتربة المختبرة

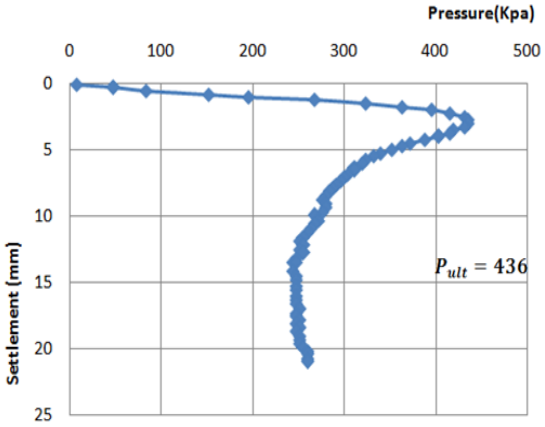
2-4 اختبارات التحميل:

توضح الأشكال التالية نتائج اختبارات التحميل للعينات المشكلة: ، وتم إيجاد %[90-70-50-35-25-20] عند درجات الإشباع : : قدرة التحمل الحدية، P_{ult} من منحنيات التحميل حيث P_{ult} وتم قياس التشوهات الشاقولية أثناء الاختبار عند أبعاد مختلفة من حافة نموذج الأساس (50- 80 مم) وتم قياس قطر المنطقة السطحية المنهارة بنهاية كل اختبار.



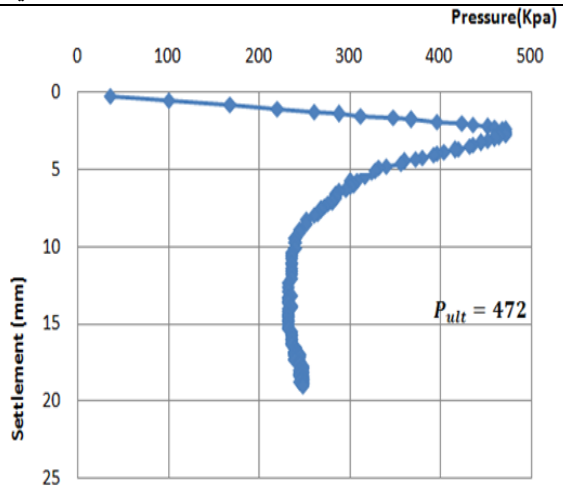
الشكل (8) منحني التحميل S=f(P) للعينة بدرجة إشباع S=20%

الشكل (9) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباعS=20%



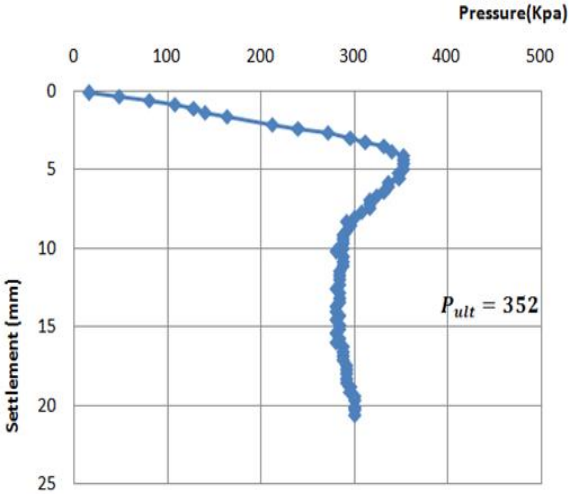
الشكل(10) منحني التحميل S=f(P)للعينة بدرجة إشباع S=25%

الشكل (11) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباعS=25%



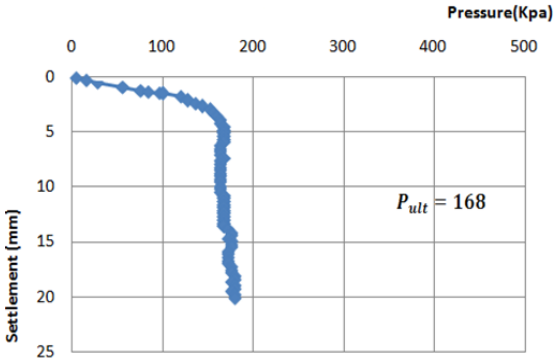
الشكل (12) منحني التحميل S=f(P) إشباع للعينة بدرجة S=35%

الشكل (13) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباع S=35%



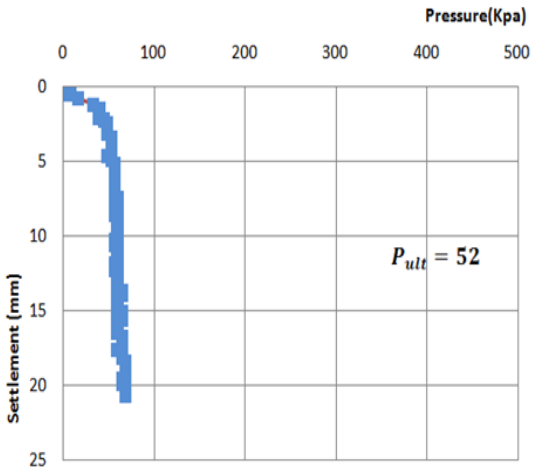
الشكل (14) منحني التحميل S=f(P) للعينة المشكلة بدرجة إشباع S=50%

الشكل (15) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباع S=50%



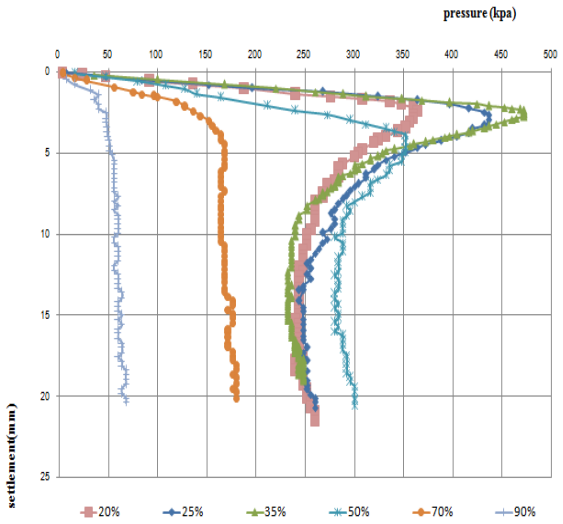
الشكل (16) منحني التحميل S=f(P) للعينة بدرجة إشباع S=70%

الشكل (17) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباع 70%



الشكل (18) منحني التحميل S=f(P) للعينة بدرجة إشباع S=90%

الشكل (19) اختبار التحميل للعينة بدرجة إشباع S=90%



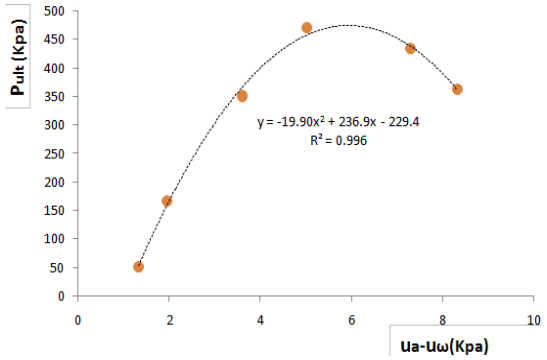
الشكل (20) منحنيات التحميل S=f(P) من عند درجات مختلفة الإشباع

بينت نتائج الاختبارات أن لإجهادات السحب تأثير واضح على قدرة تحمل التربة: في البداية ازدادت قدرة التحمل الحدية بازدياد إجهادات السحب حتى الوصول لقيمة محددة الإشباع 35%؛ حيث والموافقة لدرجةu_a-u_w=5.03Kpa بلغت قدرة التحمل عند هذه القيمة 9 مرات قدرة التحمل الحدية للعينة المشبعة تماماً، مع استمرار ازدياد إجهادات السحب تناقص معدل ازدياد قدرة التحمل الحدية ليصبح 7 مرات قدرة التحمل الحدية للعينة المشبعة تماماً عند القيمة ، يلخص الجدول التالي قيم قدرة التحمل وفق u_a- u_w=8.33Kpa إجهادات السحب عند درجات مختلفة من الإشباع.

الجدول (4) قيم قدرة التحمل الحدية وفق إجهادات السحب

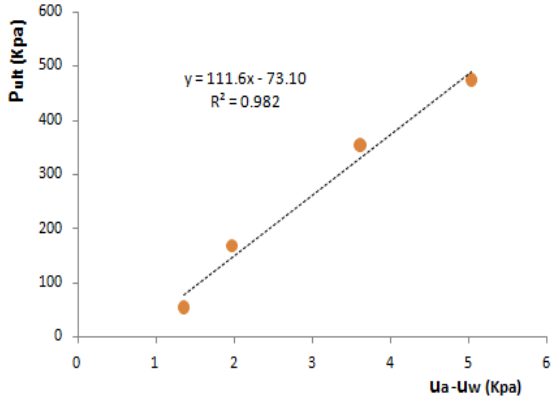
S%	P_{ult}(Kpa)	u_a-u_w(Kpa)
20	364	8.33
25	436	7.3
35	472	5.03
50	352	3.62
70	168	1.97
90	52	1.35

ويوضح الشكل رقم(25) تغير قدرة التحمل الحدية وفق إجهادات السحب

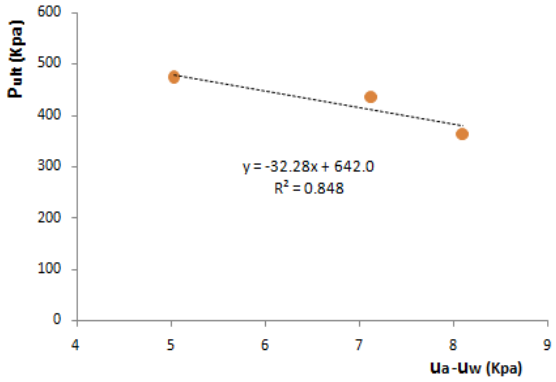


الشكل (21) تغير مقاومة التربة الحدية وفق إجهادات السحب

لوحظ ازدياد قدرة التحمل الحدية بشكل خطي بازدياد إجهادات وتراوحت قيم الزيادة u_a-$u_w \leq$ 5.03 Kpa ضمن المجال مرات قدرة التحمل بحالة الإشباع التام، [3.2-9] ضمن المجال بينما لوحظ تناقص قدرة التحمل الحدية أيضاً بشكل خطي بازدياد إجهادات السحب u_a-$u_w \geq$ 5.03Kpa ضمن المجال كما هو مبين بالشكلين (22-23):



الشكل (22) تغير مقاومة التربة الحدية وفق إجهادات السحب ضمن المجال $u_a-u_w \leq 5.03Kpa$



الشكل (23) تغير مقاومة التربة الحدية وفق إجهادات السحب ضمن المجال $u_a-u_w \geq 5.03Kpa$

يفسر التزايد الابتدائي لقدرة التحمل الحدية بازدياد اجهادات السحب؛ بسبب ازدياد مساحة سطح التماس بين الماء والهواء ومساهمتها في ازدياد الاجهاد الفعال وبالتالي ازدياد لقدرة التحمل الحدية، ويفسر التناقص اللاحق لقدرة التحمل الحدية بازدياد اجهادات السحب؛ بسبب تناقص مساحة سطح التماس بين الماء والهواء مع الاقتراب من الحالة الجافة وتناقص مساهمتها في ازدياد الاجهاد الفعال وبالتالي تناقص لقدرة التحمل الحدية. بينت نتائج الاختبارات أن قيم التشوهات الشاقولية (الانتفاخ) للعينات المشكلة بدرجات الإشباع (20-25-35)% أكبر مقارنةً بالعينات المشكلة بدرجات الإشباع (50-70-90)%، كما أن قطر المنطقة السطحية المنهارة للعينات المشكلة بدرجات الإشباع (20-25-35)% أكبر وامتدت مناطق القص إلى السطح بشكل أوضح مما يثبت حدوث الانهيار بالقص العام عند هذه الدرجات من الإشباع، أي أن نموذج الانهيار الخاص بالترب عالية التراص يمكن ملاحظته في الترب متوسطة، Kpa(5.03-7.3-8.33)السحب عند قيم محددة لإجهادات وبالتالي لإجهادات السحب تأثير واضح على آلية انهيار التربة.

6- الاستنتاجات (Conclusion):

1- بينت نتائج الاختبارات ازدياد قيم قدرة التحمل الحدية بشكل خطي مع ازدياد إجهادات السحب ضمن المجال مرات [3.2-9] وتراوحت قيم الزيادة بين $u_a-u_w \leq 5.03Kpa$ قدرة التحمل بحالة الإشباع التام.

2- تناقصت قيم قدرة التحمل الحدية بشكل خطي مع ازدياد إجهادات السحب ضمن المجال $u_a-u_w \geq 5.03Kpa$

3- بينت نتائج الاختبارات أن لإجهادات السحب تأثير على آلية انهيار التربة، حيث أن نموذج الانهيار الخاص بالترب عالية التراص يمكن ملاحظته في الترب متوسطة التراص عند قيم التراص للتربة(5.03-7.3-8.33Kpa) محددة لإجهادات السحب المختبرة.

التوصيات:

إجراء أبحاث على أنواع أخرى من الترب الرملية لدراسة تأثير شكل الجزيئات على قدرة تحمل الترب الرملية المشبعة جزئياً.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

1- Al-Khayat, S. (2018), An experimental investigation of the collapse behaviour of an unsaturated compacted soil along the static compaction curves, Doctor Thesis. Cardiff university.UK.

2- Abd, I, Fattah, M and Mekkiyah, H. (2020), Relationship between the matric suction and the shear strength in unsaturated soil, Case Stud. Constr. Mater, vol. 13, p. e00441.

3-Al Qayssi, M, Wakel,S and Kando, A. (2018), Experimental study of model piled raft foundation embedded with partially saturated cohesionlesssoils, Journal of engineering and sustainable development, Vol.22 No.03.

4 - ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM D854-07.

5- ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM D422-07.

6- 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

7- ASTM (American Society for Testing and Materials), (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM D698-07.

8- ASTMD5298, (1994). Standard test method for measurement of soil potential (suction) using filter paper. Annual Book of ASTM Standards, 4(08), ASTM International, Philadelphia, PA.

9- Bulolo, S, Leong, E. C. and Abuel-Naga, H. (2021), Filter paper method for suction measurement using electrical resistivity, Géotechnique Lett, vol. 11, no. 3, pp. 195–201.

10- Du, D, Zhuang, Y, Sun, Q, Yang, X and Dias, D. (2021), Bearing capacity evaluation for shallow foundations on unsaturated soils using discretization technique, Comput. Geotech, vol. 137, p. 104309.

11- Fondjo, S.A, Theron, E and Ray, R. (2020), Assessment of Various Methods to Measure the Soil Suction, Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng., vol. 9, pp. 171–184.

12- Fredlund, D.G., Xing, A., (1994), Equation for the Soil Water Characteristic Curve, Canadian Geotechnical Journal Vol. 31, No. 3, pp. 521 – 532

13- JIS A 1224, (2000). Test method for minimum and maximum densities of sands, Japanese Geotechnical Society, Soil Testing Standards, pp. 136-138.

14- Li, X. (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.

15- Matsumoto, M and Kataoka, Y.(1988), Study on liquid–vapor interface of water. I. Simulational results of thermodynamic properties and orientational structure, J. Chem. Phys., vol. 88, no. 5, pp. 3233–3245

16- Nyuin, J.D, Md Noor, M.J, Ashaari,Y, Petrus, C and Albar, A.(2016), LABORATORY FOOTING TEST ON PARTIALLY SATURATED SANDY SOIL, J. Teknol, vol. 78, no. 5–5.

17- Oh, w and Vanapalli, S, (2013). Interpretation of the Bearing Capacity of Unsaturated Fine-Grained Soil Using the Modified Effective and the Modified Total Stress Approaches, Int. J. Geomech., vol. 13, no. 6, pp. 769–778.

18- Ramirez, E. (2013), Introducing Unsaturated Soil Mechanics to Undergraduate Students through the Net Stress Concepts. Masters Thesis. Arizona State University, 219

19- Safarzadeh, Z and Aminfar, M. (2019), Experimental and Numerical Modeling of the Effect of Groundwater Table Lowering on Bearing Capacity of Shallow Square Footings, Int. J. Eng., vol. 32.

20- Sheikhtaheri, M. (2015), Experimentaland 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.

21- Shwan, B. (2015), Experimental and Numerical Study of the Shear Strength of Unsaturated Sand. DoctorThesis. Department of Civil and Structural Engineering. Faculty of Engineering. 281

22- Vahedifard, F and Robinson, J.D. (2016), Unified Method for Estimating the Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations in Variably Saturated Soils under Steady Flow, J. Geotech. Geoenvironmental Eng., vol. 142, no. 4, p. 04015095.

23- Vanapalli, S , Fredlund, D and Pufahl, D. (1999). The influence of soil structure and stress history on the soil–water characteristics of a compacted till. Géotechnique, vol. 49, no. 2, pp. 143–159.

24- Zainal, E and Fadhil, A. (2018), Effectof Relative Density on the Matric Suction and its Contribution to Shear Strength of Unsaturated Sandy Soil, Applied Research Journal, vol. 2. pp. 134-142.