تأثير دورات الترطيب والتجفيف على التغيرات الحجمية للترب الإنتفاخية

أ.د.م. نزيه عبود[1]
د. م. محمد عماد مشلح[2]
م. ردينة داود[3]

ملخص

في هذا البحث تم دراسة دورات الترطيب والتجفيف التي تتعرض لها الترب الإنتفاخية سواء نتيجة التغيرات المناخية الموسمية أو تغير منسوب المياه الجوفية أو غيرها، وتأثيرها على التغيرات الحجمية للتربة مع الزمن، وذلك من خلال ظاهرة الانتفاخ والانكماش، كما سيتم مقارنة النتائج مع ترب خضعت لدورة ترطيب واحدة.

المنهج العلمي المتبع في هذا البحث هو المنهج التجريبي، ونتائج البحث بينت نقصان في التشوه المحوري للتربة مع زيادة عدد الدورات وذلك اعتباراً من الدورة الثانية، لكن العلاقة بين التشوه المحوري ولوغاريتم الزمن بينت ازدياد التشوه المحوري مع زيادة عدد الدورات حتى زمن معين، بعدها يتناقص التشوه المحوري مع عدد الدورات، عند هذا الزمن تثبت التشوهات المحورية عند أغلب الدورات أي تتشوه العينة نفس التشوه سواء في الدورة 3،4،5 ،كما تبين تناقص قيمة معامل المسامية المأخوذة في نهاية مراحل الترطيب مع زيادة عدد الدورات وهذا يعني تناقص حجم فراغات العينة في نهاية الترطيب مع عدد الدورات، مما يدل على تعب المادة نتيجة تعرضها للدورات.

الكلمات المفتاحية: الترطيب، التجفيف، الدورات، الغضار الانتفاخي.

[1]أستاذ، قسم الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.
[2]أستاذ مساعد، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق
[3]قائمة بالأعمال، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق

Effect of drying – wetting cycles on the volume change of expansive soils

Nazih Abboud [(1)]
Mohamad Imad Machlah [(2)]
Rodina Daod[(3)]

Abstract

In this research, the wetting and drying cycles that expansive soils are exposed to will be studied, and the results will be compared with soils that underwent a One wetting cycle.

The results showed a decrease in the axial deformation of the soil with an increase in the number of cycles starting from the second cycle, but the relationship between the deformation and the logarithm of time showed the increase in the axial deformation with the increase in the number of cycles until a certain time, at this time the deformations change stops at most of the cycles, and the value of the void ratio taken at the end of wetting cycles is shown to decrease with the increase in the number of cycles, which means decreasing the sample voids volume at the end of wetting with cycles, which indicates the fatigue of the material as a result of exposure to the cycles.

Key words: wetting, drying, Cycles, expansive soils

(1) N. Abboud, Professor Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.
(2) M. Machlah, Associated Professor Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria
(3) R.Daod, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria

المقدمة:

الترب الإنتفاخية هي الترب التي يتغير حجمها نتيجة تغير المحتوى المائي لها، حيث يزداد حجمها وتنتفخ عندما تمتص الماء، وينقص حجمها وتتقلص عندما تجف. ويؤدي هذا التغير في الحجم إلى تشوهات في التربة. تنتشر هذه الترب في جميع أنحاء العالم وهي مصدر قلق مستمر للمهندسين عند تصميم الطرق والمباني وخاصة الصغيرة منها، فالمباني الصغيرة والطرق السريعة التي شيدت على ترب انتفاخيه تتعرض إلى دورات الانتفاخ والانكماش المتكررة (تتضمن ظاهرة الانتفاخ / الانكماش الدوري الغضار الذي ينتفخ عند الترطيب، ثم يجفف ليصبح متقلصًا (جزئيًا أو بالكامل)، ثم يرطب مرة أخرى لينتفخ، ويجفف بعدها وهكذا..) مما يسبب تصدع وتحطم للمنشآت.

وبناءاً على الخبرات الهندسية والدراسات المرجعية المتعددة التي استندت إلى عدد كبير من التحريات بالإضافة إلى الشواهد الحقلية يمكن اعتبار الحالة المناخية، من تجفيف وترطيب، أحد العوامل البيئية الأكثر تدميراً الذي يمكن أن يؤدي إلى تلف البنى التحتية للمنشآت الهندسية السطحية. إذ أكد تقرير أمريكي أن الخسائر تتجاوز (7) سبعة بلايين دولار سنوياً نتيجة للأضرار التي تُلحَق بالأبنية والطرق والسكك الحديدية وخطوط الأنابيب بسبب ظاهرة الانتفاخ في الترب الغضارية. كما قدرت الخسائر الناتجة عن تصدعات وانهيار المباني والطرق المقامة على التربة القابلة للانتفاخ في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٨٥ م بحوالي (10) عشرة مليارات دولار، حيث أُنفق نصف هذه الأموال على إصلاح الطرق وحدها. وهناك تكاليف عالية ترافق إصلاحات البنية التحتية والمنشآت المقامة على الترب الإنتفاخية تصل حسب بعض الاحصاءات إلى ملايين الدولارات.[1]

والخطر الاكبر هو في ظهور أضرار في منشآت شُيدت بعد أخذ جميع اجراءات الوقاية اللازمة لها، كما حدث لبعض السدود في تكساس، حيث حصلت انهيارات في عدد من تلك السدود بعد حوالي (10–30) سنة من إنشائها وتبين أن مقاومة القص للتربة في الحقل كانت أقل من تلك القيم المأخوذة من التجارب المخبرية السابقة على عينات التربة المرصوصة ومن الممكن أن يكون سبب ذلك هو تغير مواصفات الترب نتيجة تغير ظروف الترطيب[2]، كذلك في المملكة العربية السعودية ظهرت التصدعات والانهيارات في العديد من المباني المنشأة على التربة القابلة للانتفاخ، فعلى سبيل المثال: في مدينة الغاط تعرض حوالي ٤٠٠ مبنى مكون من دور واحد(حمولة خفيفة) ومبني من الخرسانة المسلحة للتصدعات والانهيارات ويفترض ازالتها لخطورتها على السكان[1].

أما في سوريا فلا توجد احصائيات دقيقة للخسائر، ولكن من خلال الاطلاع على الواقع نجد ان هناك أضرار كبيرة جداً في المباني وكذلك في الطرق إلا أننا غير قادرين على تحديد التكلفة الناجمة عن ذلك، حيث تكمن مشكلة الترب المحتوية على الغضار الانتفاخي بشراهتها الكبيرة للماء مما يجعلها حساسة لتغيرات الرطوبة الموسمية، وبالتالي فإن مشاكل البنى التحتية في الأقاليم الجافة أو نصف الجافة ستكون أقل مقارنة مع الأقاليم الرطبة التي تكون ظروف الترطيب فيها غير منتظمة على مدار العام، كما هو الحال في سورية. لذلك كان لابد من الاهتمام بدراسة تأثير تعدد دورات الترطيب والتجفيف على مواصفات الترب الإنتفاخية.

تم إجراء عدد كبير من التحريات لفهم آثار دورات التجفيف والترطيب على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية

للتربة. منها الدراسة التي أعدها الباحث Daniel Curtis Rosenbalmفي عام 2013 في جامعة اريزونا وبينت أن التربة تظهر زيادة في امكانية الانتفاخ (Potential Swelling)عند اخضاعها لإجهاد قليل ونقصان في امكانية الانتفاخ عند الإجهاد الأعلى. كما درس تأثير شروط الرص الابتدائية على خصائص الانتفاخ والتي بينت أن الترب المرصوصة حتى أعلى كثافة أظهرت أكبر قابلية انتفاخ.[3] كما أثبتت دراسة هامة أجراها-A. S. AI Homoud, A. A. Basma نقصان الانتفاخ وضغط الانتفاخ مع زيادة عدد الدورات. ووجد أن النقصان الأكبر في الانتفاخ وضغط الانتفاخ يُسجل بعد الدورة الاولى. أما التوازن فيحدث بعد حوالي (4–5) دورات لكل الحالات. هذه الاستنتاجات مشابهة لدراسات سابقة ومختلفة عن دراسات اخرى، من الممكن أن يكون الاختلاف في النتائج ناتج عن كون هذه الدراسة والدراسة الموافقة لها تسمح للتربة بالجفاف حتى رطوبتها الابتدائية (انكماش جزئي)، في الدراسات الاخرى تجفف العينات حتى حدوث انكماش تام (حتى تصل العينة إلى ارتفاع أقل من ارتفاعها الاولي ورطوبة أقل من رطوبة حد الانكماش)[4] . كما أجريت في جامعة الشرق الأوسط دراسة بعنوان:

Swell-shrink behavior of expansive clays

وذلك بهدف التعرف على تأثير عوامل الطقس المتكررة (ترطيب وتجفيف) على سلوك الترب الإنتفاخية، فتبين نقصان مقدار الانتفاخ بطريقة الانكماش الجزئي وزيادته بطريقة الانكماش التام[5]

في دراستنا هذه قمنا بإجراء مجموعة من التجارب المخبرية على عينات ترابية من تربة انتفاخيه مأخوذة من محافظة درعا، تم تعريضها إلى عدة دورات من الترطيب والتجفيف، ثم إيجاد نسبة الانتفاخ للتربة عند كل دورة من الدورات التي عرضت لها.

الدراسة التجريبية:

1) خواص التربة المستخدمة:

تم الحصول على العينات الغضارية من منطقة غباغب في محافظة درعا، وتم إجراء التجارب الفيزيائية للتربة المدروسة، فأعطت القيم التالية:

الجدول (1) الخواص الفيزيائية الأساسية

الرطوبة الطبيعية	الوزن الحجمي الطبيعي	الوزن النوعي
w=31.7%	γ= 18.5 kN/m³	G_s = 2.68

الجدول (2) الخواص الفيزيائية المصنفة للتربة

نسبة الرمل	نسبة الغضار	نسبة السلت	حد السيولة LL	حد اللدونة PL	قرينة اللدونة PI	حد الانكماش SL
20%	50 %	30%	75.7 %	34.5 %	41.2	18%

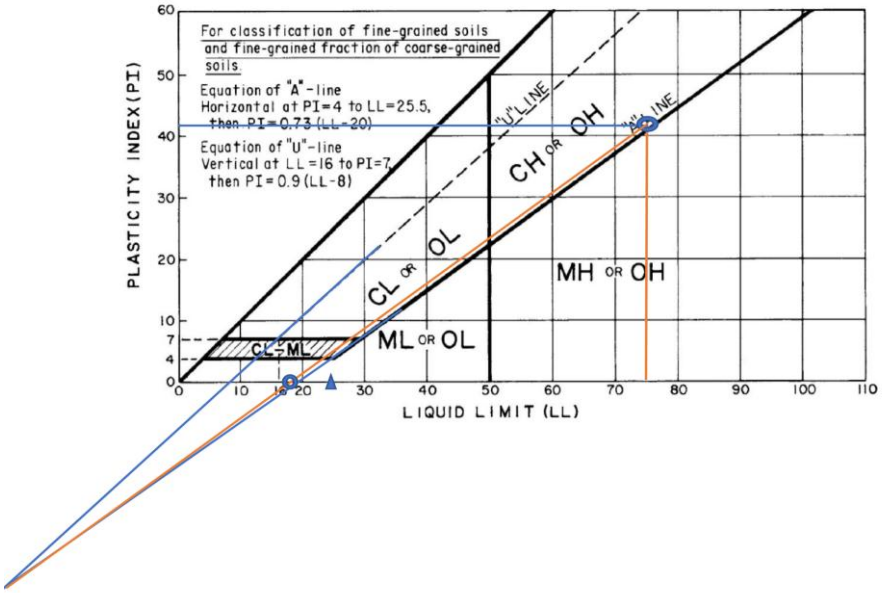
يبين مخطط كزاغراندي الموضح في الشكل (1) أن التربة تصنف كغضار عالي اللدونة (CH)، هذا ويمكن اعتبار هذه الترب انتفاخيه حسب ال USCS وذلك بناءاً على حد السيولة المرتفع (L_L>50%)

كما تصنف التربة حسب قرينة اللدونة تربة عالية اللدونة وحسب قرينة السيولة كتربة صلبة

أما نتائج تجربة بروكتور المجراة على التربة وفق المواصفة ASTM-D-698 فكانت:

Wopt=28 % (Optimum water content)الرطوبة المثالية

γdmax=14.5 kN/m³ (Maximum Dry unit weight) الوزن الحجمي الجاف الأعظمي



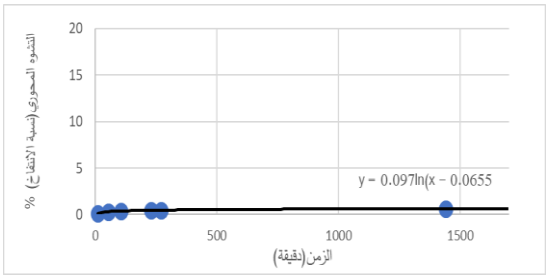
الشكل (1) مخطط كزاغراندي

البرنامج المخبري:

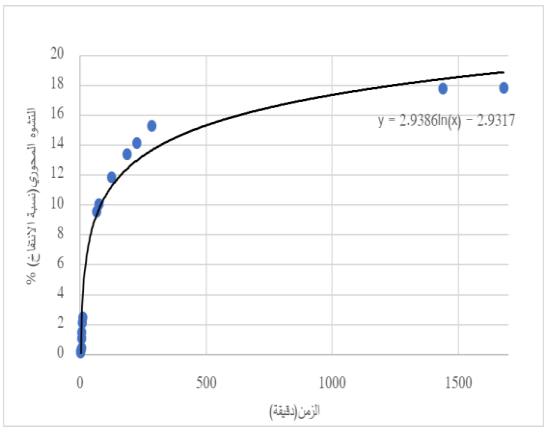
تم تحضير العينات من أجل اختبارات الانتفاخ عن طريق نخل التربة على المنخل رقم200، لاختبار الحبات الناعمة فقط، ثم إعادة تشكيلها بالرطوبة المثالية والوزن الحجمي الموافق لنتائج بروكتور، حيث رُصت التربة الغضارية الرطبة مباشرة في حلقات قطرها 50mm ملم وارتفاعه 20mm وُضع ورق ترشيح وأقراص مسامية في أعلى وأسفل العينة ثم تم تطبيق ضغط شاقولي بقيمة 7kPa(setting load) ووضع مؤشر قياس الانتفاخ. ثم غُمرت العينة بالكامل بالماء وسُمح لها بالانتفاخ مع أخذ قراءات التشوه وذلك لمدة أربعة أيام (أربعة أيام هو الزمن اللازم لثبات تشوه العينة الغضارية، تم تحديده بناءاً على تجارب الانتفاخ المجراة على هذا النوع من الغضار). خلال الدورة الأولى يتم ترطيب العينة اعتباراً من رطوبة بروكتور المثالية، أما باقي الدورات فتم ترطيب العينة فيها اعتباراً من رطوبة حد الانكماش أو أقل، بعد الانتهاء من اختبارات امكانية الانتفاخ يزال الماء الموجود حول العينة ويتم تفكيك قالب الانضغاطية. لتبدأ بعدها دورة التجفيف حيث تجفف العينة في فرن درجة حرارته 40^{o}(أعلى درجة حرارة في الظروف الطبيعية في سوريا). وتستمر عملية التجفيف لفترة زمنية كافية لحدوث تقلص تام للعينة وصولا لرطوبة حد الانكماش أو أقل منها. (بينت التجارب المخبرية أن الزمن اللازم لحدوث الانكماش التام لهذا النوع من الغضار هو ثلاثة أيام، وهو الزمن اللازم لثبات وزن العينة المجففة في الفرن) وبهذا تنتهي دورة واحدة من الترطيب والتجفيف. يتم تكرار دورات الترطيب والتجفيف على العينة الغضارية حتى الوصول إلى وضع التوازن أي حتى يتلاشى الاختلاف في الانتفاخ بين الدورات المتتالية.

2) **نتائج الاختبارات:** تبين الاشكال من(2-6) نتائج دورات الترطيب الخمسة المجراة على العينة، وفي نهاية كل دورة ترطيب تم تجفيف العينة لمدة ثلاثة أيام وصولاً إلى انكماش تام ، فتبين حدوث تناقص في

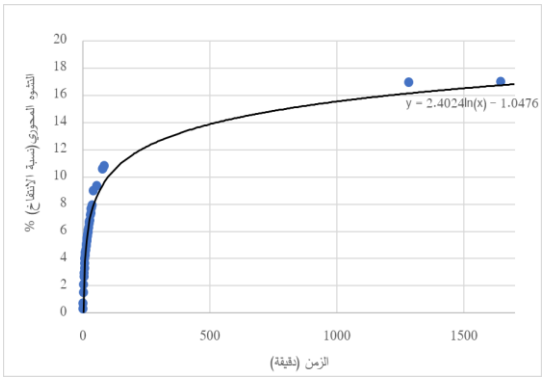
ارتفاع العينة في نهاية كل دورة تجفيف بمقدار 7.5 mmوبالتالي كان التشوه المحوري الحاصل $\xi_z=\frac{\Delta H}{H}=0.375$ حيث H ارتفاع العينة الابتدائي كما تبين حدوث تناقص في القطر بمقدار 6mm وبالتالي التشوه القطري الحاصل $\xi_D=\frac{\Delta r}{r}=0.12$ حيث r نصف قطر العينة الابتدائي.



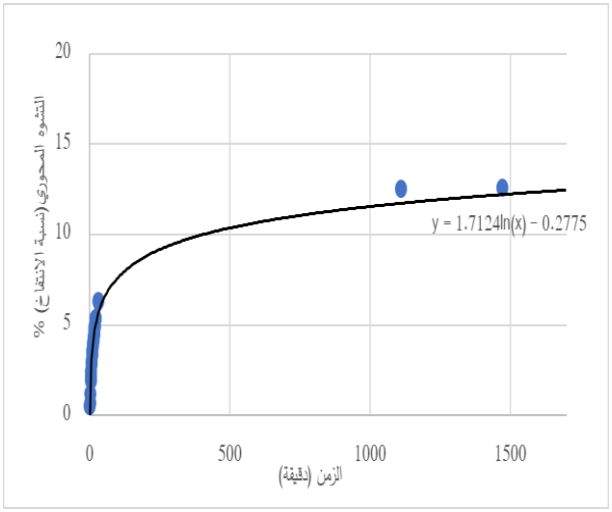
الشكل (2) دورة الترطيب الأولى



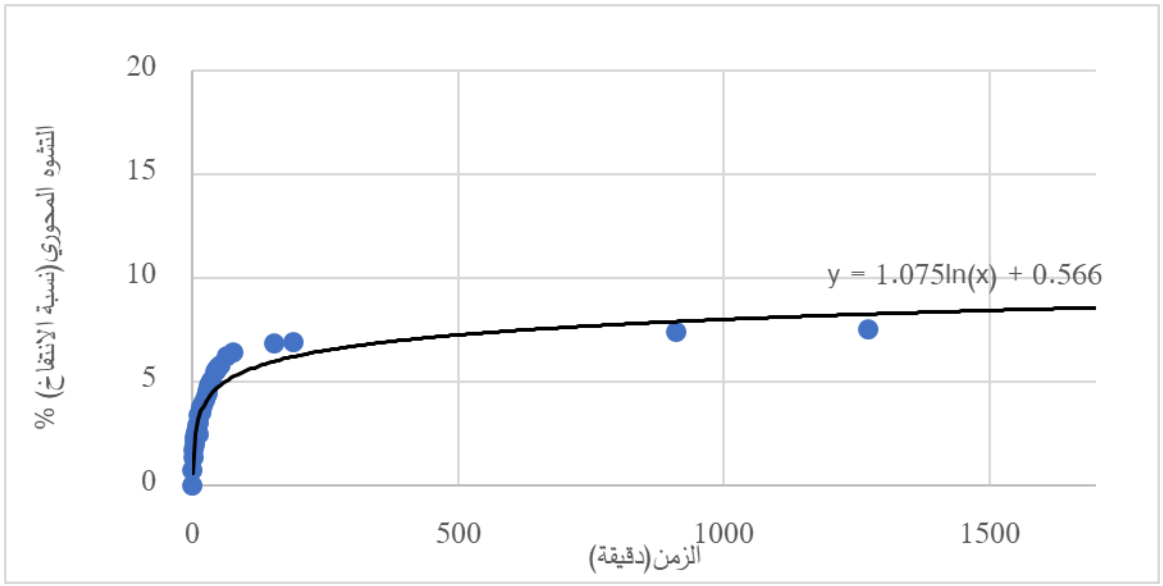
الشكل (3) دورة الترطيب الثانية



الشكل (4) دورة الترطيب الثالثة

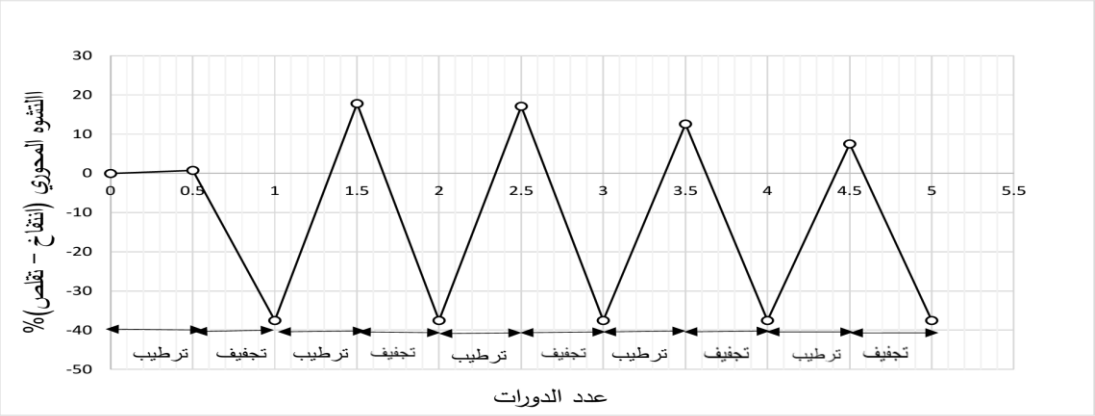


الشكل (5) دورة الترطيب الرابعة



الشكل (6) دورة الترطيب الخامسة

من الممكن قياس التشوهات القطرية أثناء الانكماش لكن من غير ممكن قياسها أثناء الانتفاخ حيث أن العينة تنتفخ حتى الوصول إلى حدود حلقة الحصر فقط وبالتالي لا يمكن تحديد قيمة التشوهات القطرية خلالها. لذلك سيتم اعتماد قيم التشوهات المحورية للتعبير عن التشوه الحجمي. عند مقارنة نتائج الدورات الخمس تبين نقصان في قيمة التشوه المحوري مع زيادة عدد الدورات وذلك اعتباراً من الدورة الثانية، كما هو موضح في الشكل (8) مما يدل على انخفاض قدرة التربة على امتصاص الماء كلما ازداد عدد الدورات المعرضة له.



الشكل (7) تغير التشوه المحوري مع عدد الدورات

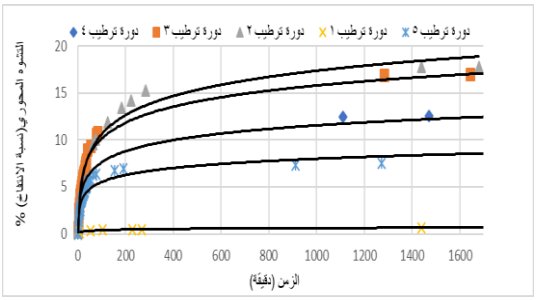
يمكن أن تُعزى هذه الظاهرة إلى قوى الشد السطحي (surface tension forces) التي تنشأ بين ذرات التربة. هذه القوى ترتبط بحجم الذرات والمسافة بينها. وهنا يولد التباعد الصغير بين الذرات ضغطًا شعريًا كبيرًا أثناء التجفيف يجذب الذرات بشكل وثيق ويتيح تطوير قوى فاندرفالس (Vander Waals bonds)، التي ليس من السهل تحطيمها[4]

يقلل تراكم وتجمع الذرات الناتج السطح المتاح للتفاعل مع الماء وبالتالي يسبب نقصان في قيمة الانتفاخ الحاصل مع زيادة عدد الدورات كما يوضح الشكل (9) حتى

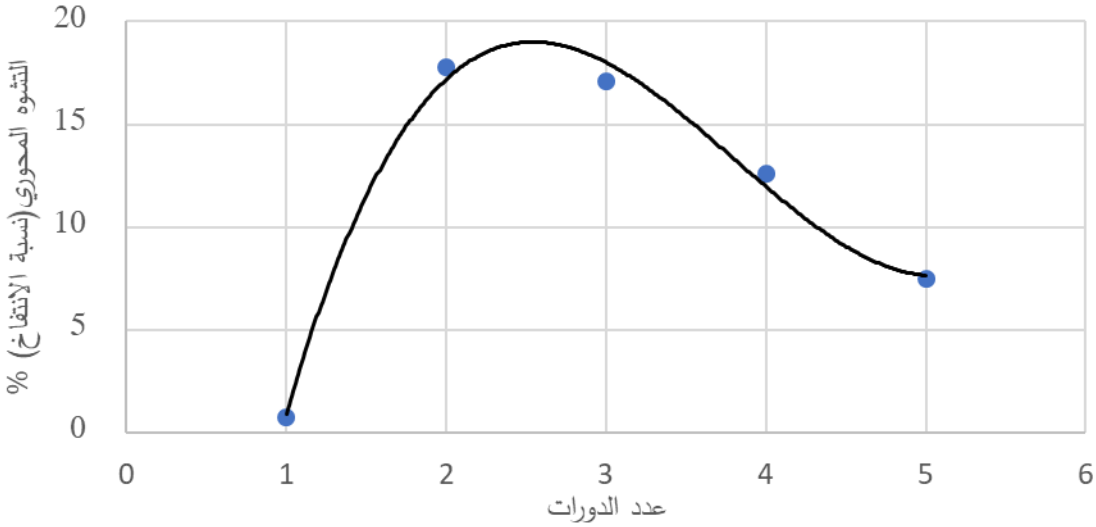
المرحلة التي يتم فيها الوصول إلى حالة الاستقرار أو التوازن

. **الجدول(3) تغير حجم العينة وحجم الفراغات وحجم الجزء الصلب مع عدد الدورات**

الدورة الاولى			الدورة الثانية			الدورة الثالثة			الدورة الرابعة			الدورة الخامسة.		
V	Vs	Vv	V	Vs	Vv	V	Vs	Vv	V	Vs	Vv	V	Vs	Vv
38.3	20.6	17.7	29.6	20.6	9	29.4	20.6	8.8	28.3	20.6	7.7	27	20.6	6.4

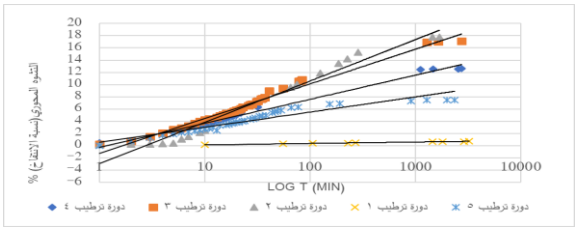


الشكل (8) تغير التشوه مع الزمن

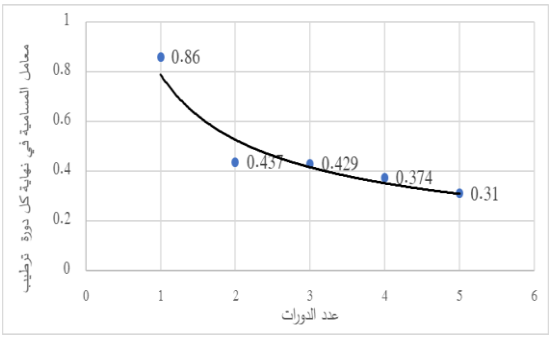


الشكل (9) تغير التشوه المحوري مع عدد الدورات

يبين الشكل (10) أنه عند زمن معين (تقريباً 4 دقائق) يتوقف تغير التشوهات عند أغلب الدورات أي تتشوه العينة نفس التشوه المحوري سواء في الدورة 3،4،5 بينما هناك سلوك مختلف بين المرحلة التي تسبق هذا الزمن والمرحلة التي تليه، إذ نلاحظ ازدياد التشوه المحوري مع زيادة عدد الدورات حتى الوصول الى هذه النقطة، ليعود ويتناقص التشوه مع زيادة عدد الدورات بعد هذه النقطة. يبين الشكل (11) تناقص قيمة معامل المسامية المأخوذة في نهاية مراحل الترطيب مع زيادة عدد الدورات وهذا يعني تناقص حجم فراغات العينة في نهاية الترطيب مع زيادة عدد الدورات، يمكن أن يكون ذلك بسبب تعب التربة (fatigue to structures) نتيجة تعرضها للدورات، أما في نهاية مراحل التجفيف فقيمة معامل المسامية ثابتة.



الشكل (10) تغير التشوه المحوري مع لوغاريتم الزمن



الشكل (11) تغير معامل المسامية مع عدد الدورات

الاستنتاجات:

بناءاً على تحليل النتائج التجريبية المقدمة في هذه الدراسة، يتم استنتاج ما يلي:

- عند الترطيب والتجفيف المتكرر تظهر علامات التعب على التربة بعد كل دورة وهذا يتجلى في تناقص قدرة التربة على الانتفاخ مع زيادة عدد الدورات.
- لوحظ تناقص في قيم الانتفاخ اعتبارا من الدورة الثانية حتى الوصول إلى وضع التوازن عند الدورة الخامسة.
- كما تبين تناقص قيم معامل المسامية مع زيادة عدد الدورات.
- إن الطرق الحالية المستخدمة لحساب قيم الانتفاخ في التربة لا تأخذ بعين الاعتبار تأثير دورات الترطيب والتجفيف، وقد بينت نتائج التجارب التغيرات التي تحدث على التربة نتيجة دورات الترطيب والتجفيف المتعاقبة، مما يدل على أنه يجب أن يتم أخذ تأثير هذه الدورات عند دراسة هذه الأنواع من الترب.

المواصفات القياسية المستخدمة لإجراء التجارب:

اختبار الرطوبة الطبيعية(ASTM-D 2216- 71)

اختبار الوزن النوعي(ASTM D - 854- 92)

التدرج الحبي باستخدام المناخل (ASTM-D 422-63)

التدرج الحبي بالترسيب(ASTM-D 422-63)

تجربة تعيين حد السيولة للتربة (ASTM- 93- D 431)

تعيين حد اللدونة وقرينة اللدونة للتربة (ASTM- D 4318 -93)

اختبار تحديد الكثافة الجافة العظمى (بروكتور) (ASTM- D 698- 91)

المراجع References

[1] عبد الله بن إبراهيم المهيدب (2002) ،"خواص التربة القابلة للانتفاخ في المملكة العربية السعودية" جامعة الملك سعود، الرياض ١١٤٢١

- [2] Laura E. Rogers, Stephen G. Wright (1986)" The effects of wetting and drying on the long – term shear strength parameters for compacted Beaumont clay" Austin, Texas 78763-5051
- [3] D.Rosenbalm ,(2013),″ Volume Change Behavior of Expansive Soils due to Wetting and Drying Cycles ″ ,Arizona State University, August 2013

[4] A. S. AI-Homoud, A. A. Basma, (1995), ″ Cyclic swelling behavior of clays″. Geotech. Eng. 121 (7), 562–565.

- [5] Salma Tawfiq and Zalihe Nalbantoglu (2009), ″ Swell-shrink behavior of expansive clays ″2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 28-30 May 2009, Near East University, Nicosia, North Cyprus.

إيداع البحث	2021/4/5	Received
قبول البحث للنشر	2021/8/24	Accepted for Publ.