

## دراسة تغيرات الحالة الاجهادية ومعامل المسامية للترب الانتفاخية المعرضة لدورات الترطيب والتجفيف

ردينة داود<sup>1\*</sup> نزيه عبود<sup>2</sup> محمد عماد مشلح<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> قائمة بالأعمال، مهندسة، قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

[RodinaDaod@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:RodinaDaod@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup> أستاذ، دكتور، مهندس، قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

[NazihAbboud@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:NazihAbboud@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>3</sup> أستاذ مساعد، دكتور، مهندس، قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

[MohamadMachlah@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:MohamadMachlah@Damascusuniversity.edu.sy)

### الملخص:

تضمن البحث دراسة التغيرات التي تطرأ على الترب الانتفاخية نتيجة تعريضها لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف، حيث كانت الدورة الواحدة عبارة عن فترة من الترطيب استمرت لثلاث ايام يليها فترة من التجفيف مناسبة لتحقيق عودة رطوبة العينات إلى الرطوبة الطبيعية انطلاقاً من حالة الترطيب التام، وتم التركيز على التغيرات التي طرأت على التشوهات الحجمية لهذه الترب ومعامل المسامية وعوامل المتانة وكذلك الحالة الاجهادية لها. تم التوصل الى نتائج هامة مفادها أن تكرار أربع دورات من الترطيب التام والتجفيف الجزئي على الترب الانتفاخية يساهم بتخفيض التشوهات الحاصلة في بعض المنشآت الهندسية المشادة على هذه الترب الى قيمة تبلغ على الأقل نصف قيمة التشوهات الحاصلة في حال عدم تعرضها للدورات. لكن ومن جهة أخرى فإن تعريض الترب الانتفاخية لدورات الترطيب التام والتجفيف الجزئي يؤدي لانخفاض عوامل المتانة فيها على المدى الطويل مما يسبب انخفاض قدرة تحملها، لذا يجب الانتباه لهذه الظاهرة عند دراسة هذه الأنواع من الترب. بالنسبة لمعامل المسامية المأخوذ في نهاية الدورات فقد تناقصت قيمه مع ازدياد عدد الدورات المطبقة على التربة، وذلك حتى الوصول الى ثبات القيمة عند الدورة الرابعة أو الخامسة. ثبات تشوهات أغلب الترب حصل بعد ثلاث دورات من الترطيب التام-التجفيف الجزئي، وتبين حاجة الترب الانتفاخية التي تحوي نسب غضار أكبر من 60% الى دورة إضافية لحدوث ثبات تشوّهاتها، كان من الواضح تأثير هذه الدورات على الحالة الاجهادية للتربة، حيث تبين تناقص الاجهاد المماسي للتربة مع عدد الدورات وذلك عند كل من الاجهادات الشاقولية المطبقة. الانخفاض الأكبر في قيم الاجهادات المماسية كان عند الحمل الشاقولي الأقل، ومع ازدياد الاجهاد الشاقولي المطبق ينقص تأثير تعدد الدورات عليها.

**الكلمات المفتاحية:** ترطيب، تجفيف، ترب انتفاخية، عوامل المتانة، الحالة الاجهادية.

تاريخ الایداع: 2023/2/12

تاريخ القبول: 2023/5/16



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

## Study of changes in the stress condition and void ratio of expansive soils subjected to the wetting and drying cycles

Rodina Daod<sup>\*1</sup> Nazih Abboud<sup>2</sup> Mohamad Imad Machlah<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup>. Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University. [RodinaDaod@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:RodinaDaod@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. Professor Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

[NazihAbboud@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:NazihAbboud@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>3</sup>. Associated Professor Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

[MohamadMachlah@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:MohamadMachlah@Damascusuniversity.edu.sy)

### Abstract:

The research included a study of the changes that occur on the expansive soils as a result of multiple cycles of wetting and drying, where one cycle consisted of a period of wetting that lasted for three days, followed by a period of drying, suitable to achieve the return of the moisture of the samples to the natural water content from the state of complete saturation, and the focus was on Changes in the volumetric deformations, porosity coefficient and strength parameters, as well as the stress situation. Significant results have been reached that the repetition of four cycles of complete wetting and partial drying on the expansive soils leads to reducing the deformations that occur to a value of at least half the value of the deformations that occur in the event that they are not subjected to cycles. But on the other hand, exposing the expansive soils to cycles leads to a decrease in the strength factors, which causes a decrease in their bearing capacity, so a special care must be paid to this phenomenon when studying these types of soils. As for the void ratio taken at the end of the cycles, its values decreased with the increase in the number of cycles applied to the soil, until reaching equilibrium at the fourth or fifth cycle. The stability of deformations of most soils occurred after three cycles, and it was found that the expansive soils that contain percentage of clay greater than 60% need an additional cycle for the occurrence of stability of their deformations. of the soil with the number of turns at each of the applied vertical stresses. The greatest decrease in the tangential stresses was at the lowest vertical load, and with the increase in the applied vertical stress, the effect of multi-cycles decreased.

**Key words:** wetting, drying, expansive soils, strength parameters, stress situation.

Received: 12/2/2023

Accepted: 16/5/2023



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

## المقدمة والدراسة المرجعية:

منذ أكثر من نصف قرن كانت التربة الغضارية الانتفاخية محط اهتمام العديد من الباحثين، فقدمت العديد من الدراسات والأبحاث في محاولة فهم سلوك هذه الترب عندما تغمر بالماء. فبدأت أبحاث الترتيب والتجفيف بالظهور في أواخر القرن العشرين واستمرت حتى اليوم، واعتمد الباحثون خلالها عدة طرق لتطبيق وقياس دورات الترتيب والتجفيف. إذ إن التغير الحجمي للترب الانتفاخية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بتغيرات محتوى الرطوبة لها، حيث يزداد حجمها وتتفخ عندما تمتص الماء، وينقص حجمها وتنقلص عندما تجف، وهذا التغير في الحجم يؤدي على تشوهات خطيرة في التربة والمنشآت المقامة عليها، مما يؤدي إلى تصدعات وانهيارات إنشائية تتضمن انتفاخ في الأرصفة وتشققات في الأسوار والجسور الأرضية المسلحة وتشوهات في البلاطات الأرضية وقد تكون هذه التشوهات خفيفة أو متوسطة أو كبيرة حسب مقدار الانتفاخ. (المهيدب، عبد الله. 2002)

عندما تتعرض الترب الانتفاخية للماء فإن جزيئات الماء تدخل في الفراغات الموجودة بين حبات التربة، وعندما يزداد الماء الممتص فإن حبات التربة تبتعد عن بعضها، وهذا يؤدي لزيادة ضغط مسام التربة وعندما يزداد هذا الضغط ويتجاوز ضغط الحمولة، فإن حجم التربة سيزداد، ويمكن أن يتراوح ضغط الانتفاخ (100-200) kPa. (الحسن، نجلا، 2016)

إن انتفاخ التربة بمقدار كبير عند تعرضها لنسبة عالية من الماء لا يؤدي فقط إلى ازدياد الحجم، وإنما أيضاً يؤدي إلى فقدان الترابط بين جزيئاتها وكذلك بين جزيئاتها، وتصبح التربة عند هذه الوضعية ذات مقاومة ضعيفة جداً للقص وللضغط وبكلام آخر تنهار بنية التربة. أما فقدان نسبة من رطوبة التربة فقد يؤدي إلى ازدياد قوى الترابط في التربة بنتيجة انكماشها، وتصبح التربة ذات مقاومة عالية للحمولات الخارجي وذلك عندما يكون انكماشها ضمن حدود معينة يقل

عن الحد الاعظمي، أما الانكماش الكبير فيؤدي إلى تشققها أو تقتتها إلى جمل جزيئات. (د. يني، حنا، 1974)

وقد تم ربط مقدار الضرر الذي يمكن أن تتسبب فيه التربة الانتفاخية بنوع وكمية الفلزات الغضارية الموجودة فيها، فالكاولينيت مثلاً ينتفخ بوجود الماء بشكل قليل جداً مقارنة مع فلز المونتوريلونيت. وبالتالي كان من المهم تحديد سلوك التغير الحجمي للترب الانتفاخية بالإضافة إلى الفهم الجيد لهذا السلوك، وهذا ما دفعنا إلى دراستها بشكل دقيق من خلال اعتماد برنامج مخبري عملي يطبق على عينات من الترب الانتفاخية، يمكننا من تطبيق دورات متكررة على التربة، وكذلك حساب تشوهات ومواصفات القص الميكانيكية لها خلال الدورات، وهذا ما حاول الكثير من الباحثين التوصل إليه وفهمه. فمن أهم الدراسات التي أجريت في مجال الترتيب والتجفيف هي دراسة أعدت في الجامعة الأردنية في أربد، حيث تم اختبار 6 أنواع من الترب الانتفاخية من مواقع مختلفة من أربد شمال الأردن، اختيرت العينات بحيث تغطي أوسع مجال من قرينة اللدونة (38-15)، تُحضر عينات مشكلة وذلك برص التربة مع محتوى الرطوبة الطبيعية والوزن الحجمي الجاف الطبيعي مباشرة في حلقة الأدمتر، دورة الانتفاخ تعني أن عينة التربة سترطب لمدة 48 ساعة على الأقل، ويسمح لها بالانتفاخ ثم يتبعها فترة من التجفيف الجوي حتى الرطوبة الابتدائية في حرارة الغرفة، ثم ترطب ثانية حتى الانتفاخ ويعاد تجفيفها وهكذا، بينت هذه الدراسة نقصان في قيم الانتفاخ وضغط الانتفاخ مع زيادة عدد الدورات، كما بينت أن الانخفاض الأكبر في الانتفاخ وضغط الانتفاخ يُسجل بعد الدورة الأولى. يحدث التوازن بعد حوالي 4-5 دورات لكل الحالات. (Al-Homoud et al. 1995). تم من خلال دراسات عديدة لدورات الترتيب والتجفيف التوصل إلى نتيجتين مختلفتين وذلك من خلال مقارنة نتائج عدة دراسات بحشية مختلفة، كانوا خلالها يخضعون التربة الانتفاخية إلى

حمولة قدرها 6.9 kPa أثناء دورات التجفيف والترطيب. عدد من هذه الدراسات أظهرت انخفاضاً في كل من إمكانية وضغط الانتفاخ مثل: (Al Homoud et al. 1999، Dif and Blumel 1991، Guney et al. 2007) بينما بينت دراسات أخرى زيادة في إمكانية وضغط الانتفاخ مع زيادة عدد الدورات مثل:

(Basma et al. 1996, Day 1994, Doostmahammadi and Moosavi 2009, Mishra et al. 2008, Rao and Revanasiddappa 2006, Sajedi et al. 2008, Tawfiq and Nalbantoglu 2009)

وبهدف التعرف على تأثير عوامل الطقس المتكررة (ترطيب وتجفيف) على سلوك الترب الإنتفاخية، أجريت في جامعة الشرق الأوسط دراسة هامة، تم خلالها أخذ عينات من أحد المناطق المتضررة إنشائياً نتيجة انتفاخ الترب وذلك من أعماق (2-2.5m). تبين أن مقدار الانتفاخ الحاصل في العينات المختبرة بطريقة الانتفاخ التام - الانكماش التام أعلى من الانتفاخ الحاصل في حالة الانتفاخ التام - الانكماش الجزئي (Elarabi, A, Hussein. 2004).

كما نُشر في المجلة الأمريكية للهندسة المدنية بحثاً حول تأثير دورات الترطيب والتجفيف على مقاومة القص للترب الرسوبية يبين البحث نقصان قيم كل من التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي مع زيادة عدد الدورات حتى الوصول إلى حالة توازن عند الدورة الرابعة.

(Sayem Hossain, et al. 2016)

### مواد البحث وطرائقه:

اعتمد البحث المقدم المنهج التجريبي المخبري، المستند إلى تجارب مخبرية تم إجراؤها في مخبر ميكانيك الترب في جامعة دمشق وفي المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا. بداية تم اختبار عدد كبير من عينات الترب المختلفة بحيث تغطي معظم مناطق الجمهورية العربية السورية، وتم تحديد خواصها

### النتائج والمناقشة:

#### 1- خواص الترب وتصنيفها:

الفيزيائية، بهدف التعرف على نوع وتصنيف هذه الترب، وذلك بالاعتماد على مجموعة من التصنيفات العالمية مثل تصنيف الترب من حيث إمكانية الانتفاخ وفق (1990) kay، تصنيف الترب من حيث إمكانية الانتفاخ وفق Terzaghi and Peck (1967) (Brigatti, M. F, et al. 2006)، تصنيف الترب من حيث إمكانية الانتفاخ وفق Skempton (1953) (Rosenbalm, Daniel 2018)، بالإضافة إلى تصنيف

Casagrande و تحليل الاشعة السينية التفريقية XRD.

تبين لنا ان الترب التي تخضع لشروط البحث أي الغضار الانتفاخي هي عدة ترب رمزنا لها من AB1 وحتى AB10 وتم استبعاد باقي الترب من الدراسة.

للترب التي وصفت بأنها غضار انتفاخي، تم احضار عينات سليمة منها وتم اخضاعها الى دورات ترطيب تام وتجفيف جزئي (أي ترطيب العينات حتى الوصول إلى قيمة الانتفاخ الحر الأعظمي ومن ثم تجفيفها حتى الرجوع إلى رطوبتها الطبيعية).

قمنا ايضاً بتحديد الزمن اللازم لحدوث الانتفاخ التام لكل عينة وكذلك الزمن اللازم لحدوث الانكماش الجزئي وتم اعتماد النتائج اثناء تطبيق الدورات.

كما أجريت تجارب الانتفاخ في جهاز الأدمتر لكل من الترب وذلك بعد كل دورة من الدورات، وتم تحديد التشوه المحوري الحاصل، وكذلك أجريت تجارب القص في جهاز القص المباشر لكل من الترب وذلك بعد كل دورة من الدورات، وتم

تحديد مواصفات القص لها والتغيرات التي طرأت عليها.

تم دراسة الترب AB1, AB2, AB3 سابقاً (أ.د. عبود، نزيه. د. مشلح، محمد عماد. داود، ردينه. 2022) وسيتم اضافتها لهذه الدراسة بغرض المقارنة مع النتائج التي تم التوصل اليها حديثاً.

الجدول (1) خواص الترب المدروسة

المرجع	التجربة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
ASTM D2216	الرطوبة %	15	22.6	20	16	27.6	30.2	32.6	31.8	30	31.5
ASTM D854	الوزن الحجمي $kN/m^3$	17.5	20	19.7	17	17.8	18.6	19.3	17.3	18.2	18
ASTM D854	الوزن النوعي النسبي	2.68	2.65	2.65	2.7	2.7	2.7	2.7	2.71	2.69	2.7
ASTM D422	نسبة الرمل %	20	1.76	30	4.5	5	5	5	5	7	12
ASTM D422	نسبة السيلت %	30	35.7	30	38.9	36.4	36	36	10	25	23
ASTM D422	نسبة الغضار %	50	62.55	40	55.4	58.6	59	59	71	68	65
ASTM D4318	حد السيولة %	60	70.2	55	72.5	62	62	62	80	59	72
ASTM D4318	حد اللدونة %	21	35	27	36.9	29	29	29	34	25	30
ASTM D-4943	حد الانكماش %	7	10	10	12	9	9	9	10	7	8
حسابياً	قرينة اللدونة	38	35.2	28	35.2	33	33	33	46	34	42
ASTM D2435	قرينة الانتفاخ	0.075	0.09	0.067	0.093	0.078	0.08	0.078	0.1	0.073	0.093
ASTM D3080	التماسك $kN/m^2$	33.3	20	20	48.2	33.1	32.85	34.6	25.2	60	49.2
ASTM D3080	زاوية الاحتكاك الداخلي ( $^\circ$ )	26.8	10	25	16	18.8	18.77	19.6	15	19.4	10.3
حسابياً	نسبة الانكماش SR	1.98	1.79	1.79	1.72	1.85	1.85	1.85	1.82	2.03	1.89
حسابياً	معامل المسامية الابتدائي	0.73	0.6	0.62	0.8	0.89	0.85	0.89	0.85	0.89	0.92
حسابياً	الوزن الحجمي الجاف $kN/m^3$	15.2	16.3	16	14.65	13.95	14.3	14	14	14	13.8
ASTM D 4546	الانتفاخ الحر %	7.5	19	10.75	6	7	6.5	6.45	10.5	8.75	5.75
BS1377	الانكماش الخطي	22.5	23	22.6	22.7	22.7	22.7	23	25	23.5	24.8
حسابياً	قرينة الانكماش	53	60.2	45	60.5	53	53	53	70	52	64

الجدول (2) تصنيف الترب العشرة المدروسة

التصنيف التربة	kay	Terzaghi and Peck	Skempton	Casagrande
AB1	H	H	VH	CH
AB2	E	H	VH	CH
AB3	H	H	H	CH
AB4	E	H	VH	MH
AB5	H	H	VH	CH
AB6	H	H	VH	CH
AB7	H	H	VH	CH
AB8	E	H	VH	CH
AB9	H	H	VH	CH
AB10	E	H	VH	CH

H (highly expansive) : إمكانية انتفاخ عالية.

E (extremely expansive) : عالية الانتفاخ جداً.

VH (very high) : إمكانية انتفاخ عالية جداً.

CH: غضار عالي اللدونة، MH: سيلت عالي اللدونة.

تستند التصنيف العالمية المعتمدة على كل من حد السيولة وقرينة اللدونة ونسبة الغضار دون الاعتماد على قرينة الانتفاخ.

## 2-تقدير الزمن اللازم لتجفيف العينات:

من خلال تجربة الانتفاخ المجرة على عينة الأدمتر تمكنا من تحديد الزمن اللازم لثبات قراءات مؤشر قياس التشوهات، وبالتالي الزمن اللازم لحدوث الترطيب التام، وتبين أنه يتراوح بين يومين ويومين ونصف لكل أنواع الترب المدروسة، وبالتالي ولضمان حدوث الانتفاخ التام سنعتبر الزمن اللازم لحدوث الترطيب التام لعينات بحجم حلقة الأدمتر هو ثلاثة أيام وسيتم اعتماده عند تطبيق الدورات. ولتحديد الزمن اللازم لحدوث الانكماش الجزئي للتربة انطلاقاً من حالة الترطيب التام لها، فقد قمنا بتحديد قياسات فقد الماء لعينة معيارية رطبة كل نصف ساعة، وذلك نتيجة تجفيفها في فرن درجة حرارته  $40^{\circ}\text{C}$  ومن خلال قياس وزن العينة نتمكن من معرفة رطوبتها. نرسم الشكل المعبر عن الانخفاض في الرطوبة مع الزمن، وبالتالي يظهر وقت التجفيف المطلوب لعودة عينة بحجم حلقة الأدمتر الى محتواها المائي الاولي.

كما تم تحديد الزمن اللازم لعينات القص المباشر للوصول الى مرحلة الترطيب التام انطلاقاً من رطوبتها الطبيعية، من نلاحظ من الجدول اختلاف الزمن اللازم للتجفيف بين عينات القص وعينات الأدمتر وذلك بسبب الاختلاف في الحجم بين العينات، وبما أن حجم عينة القص أكبر فهي تتطلب زمن أطول في التجفيف. و بهدف دراسة تغيرات التشوهات الحجمية للترب وكذلك تغيرات قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي (Sayem Hossain, 2016).

لها مع تكرار الدورات المطبقة عليها تم إجراء مجموعة من التجارب المخبرية التي تم فيها تعريض عشرة أنواع مختلفة من الترب الانتفاخية لدورات متكررة من الترطيب التام

خلال إجراء تجارب الانتفاخ عليها ومراقبة الزمن اللازم لثبات قراءات مؤشر قياس تشوهات الانتفاخ المحوري، وتوصلنا الى نتيجة مفادها أن ثلاثة أيام من الترطيب كافية حتى تصل عينات القص للترطيب التام المطلوب لإجراء ودراسة الدورات. بالإضافة الى ذلك فقد تم تحديد الزمن اللازم لحدوث الانكماش الجزئي للترب انطلاقاً من حالة الترطيب التام لها، وذلك عن طريق تحديد قياسات فقد الماء لعينة قص معيارية رطبة نتيجة تجفيفها في فرن درجة حرارته  $40^{\circ}\text{C}$  حيث يتم قياس وزن العينة خلال فترات منتظمة لنتمكن بواسطته من معرفة رطوبتها، نرسم الشكل المعبر عن الانخفاض في الرطوبة مع الزمن، وبالتالي يظهر وقت التجفيف المطلوب لعودة عينة القص الرطبة بشكل تام الى رطوبتها الأولية. (Al-Homoud et al. 1995)

الجدول (3) الزمن اللازم لعودة عينات القص وعينات الانضغاطية المشبعة الى رطوبتها الطبيعية

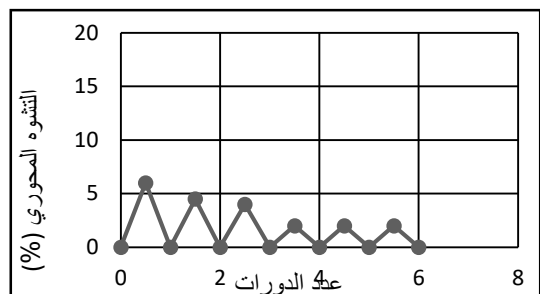
عينات القص (ساعة)	عينات الأدمتر (ساعة)	التربة
18	5	AB1
18	7	AB2
16.8	3.7	AB3
23.5	5	AB4
21.5	5.17	AB5
18.75	2.2	AB6
19.5	2	AB7
19.5	2	AB8
20	3.5	AB9
19	2.5	AB10

والتجفيف الجزئي، حيث قمنا بإجراء 60 تجربة انتفاخ في جهاز الأدمتر، و180 تجربة قص مباشر.

## 3- نتائج تجارب الانتفاخ:

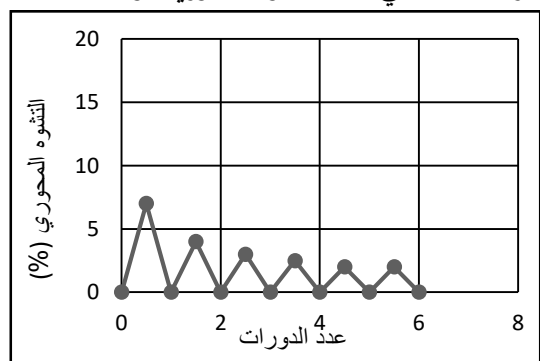
تم تحديد قيم التشوه المحوري الحاصل في الترب قبل وبعد تطبيق الدورات عليها، كانت الدورة عبارة عن مرحلة من الترطيب استمرت لمدة ثلاث أيام تليها مرحلة التجفيف والتي استمرت لفترة زمنية تختلف حسب نوع التربة وقد تم دراستها وتحديدها مسبقاً وهي الفترة الموافقة لحدوث الانكماش الجزئي للعينات وعودة رطوبتها الى الحالة الابتدائية انطلاقاً

نلاحظ وصول التربة إلى وضع التوازن عند الدورة الرابعة، ومقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي 28.4%



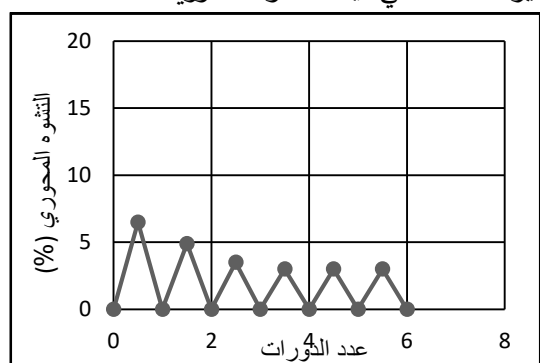
الشكل (4) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB4

تبيّن أنّ الوصول إلى وضع التوازن كان عند الدورة الرابعة والتغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري هو 66.6%



الشكل (5) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB5

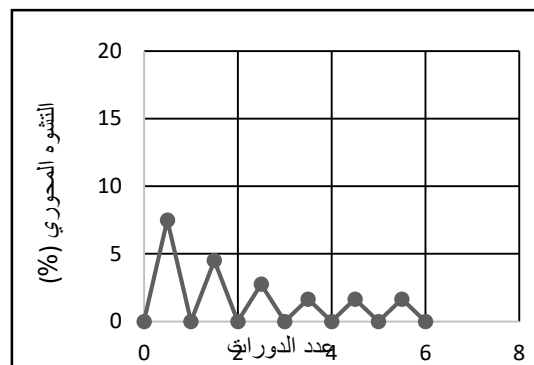
نلاحظ وصول التربة إلى وضع التوازن عند الدورة الخامسة والتغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري 71%



الشكل (6) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB6

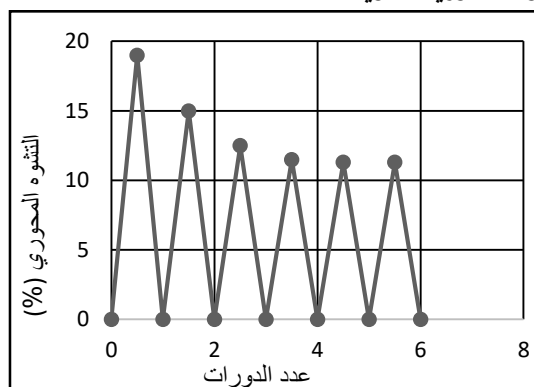
يبين الشكل (6) أنّ وصول التربة إلى وضع التوازن كان عند الدورة الرابعة وأنّ مقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي 54%

من حالة الترتيب التام، وفيما يلي عرض لنتائج تجارب الأدمتر المنفذة على كل من الترب العشرة التي تم تصنيفها سابقاً وفق التصنيف العالمية على أنها ترب انتفاخية.



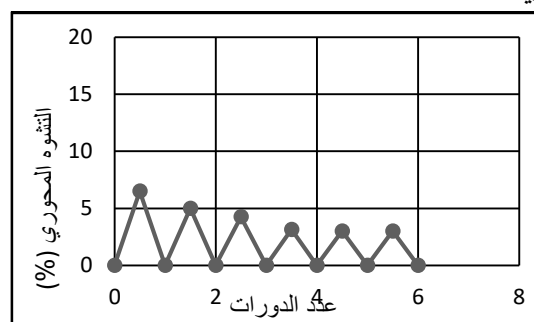
الشكل (1) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB1

يبيّن الشكل (1) أنّ وصول التربة إلى وضع التوازن يكون عند الدورة الرابعة، وأنّ مقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي 78%

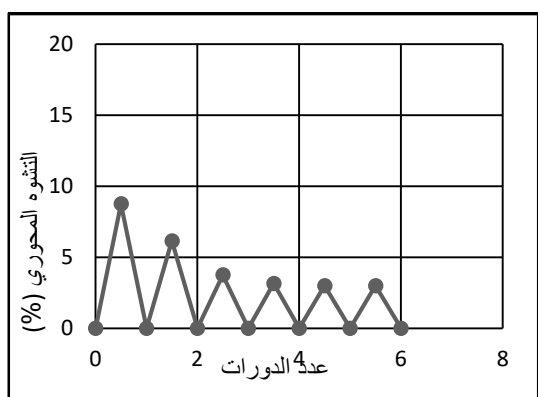


الشكل (2) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB2

يبين الشكل (2) وصول التربة إلى وضع التوازن عند الدورة الرابعة، ومقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي 47.4%

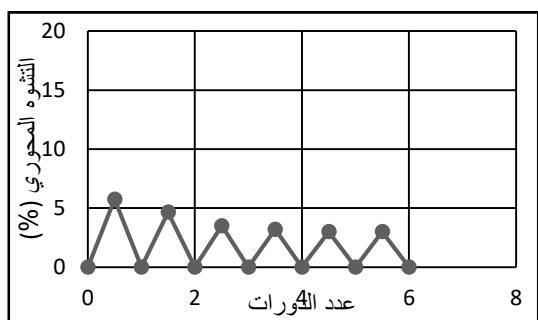


الشكل (3) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB3



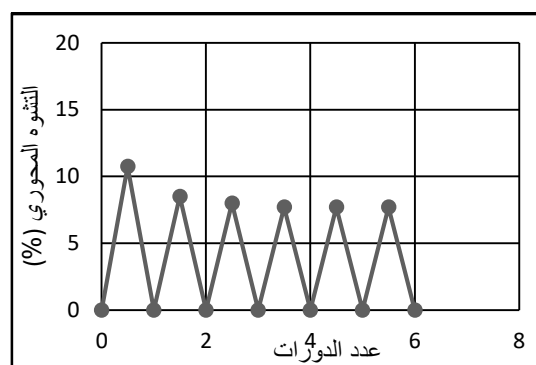
الشكل (9) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB9

نلاحظ وصول التربة إلى وضع التوازن عند الدورة الخامسة، ومقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي %65



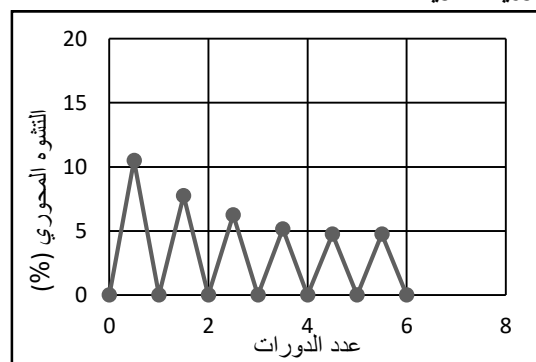
الشكل (10) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB10

نلاحظ وصول التربة إلى وضع التوازن عند الدورة الخامسة، ومقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري هو %48



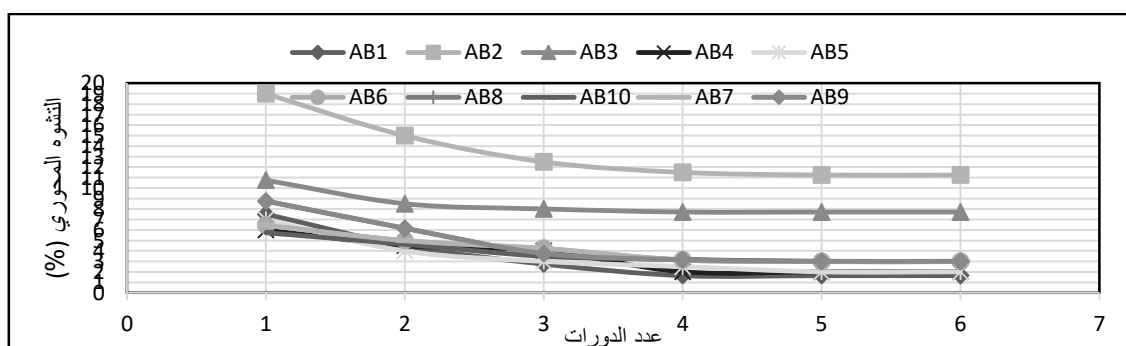
الشكل (7) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB7

يبين الشكل (7) أنَّ وصول التربة إلى وضع التوازن كان عند الدورة الرابعة وأنَّ مقدار التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري يساوي %54



الشكل (8) التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة AB8

من الشكل (8) تبين أنَّ التربة AB8 تصل إلى وضع التوازن عند الدورة الخامسة وأنَّ التغير الحاصل في قيمة التشوه المحوري %55.



الشكل (11) تغيرات التشوه المحوري مع عدد الدورات للتربة العشرة



الجدول (4) تغيرات التشوه المحوري بين كل دورة والدورة التي تليها

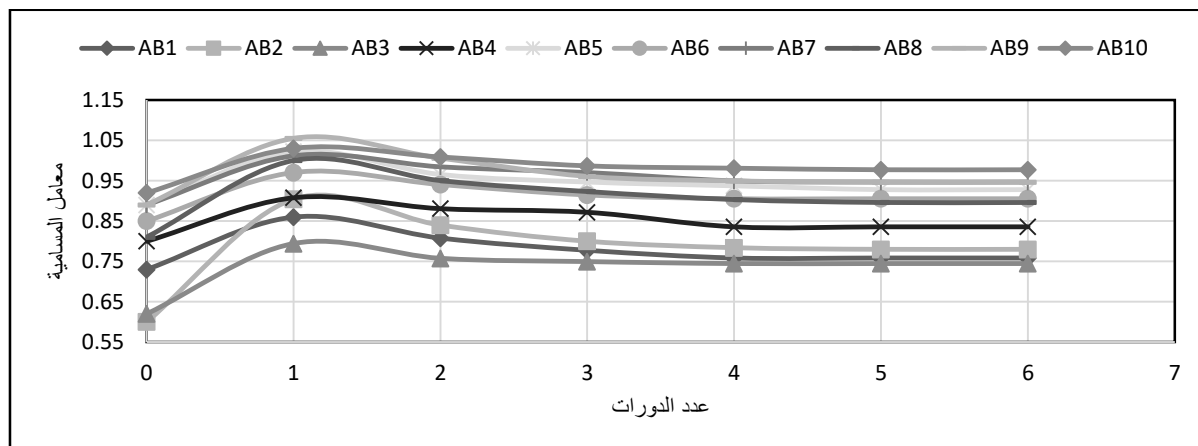
التربة رقم الدورة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
1	3	4	2.25	1.5	3	1.6	1.45	2.75	2.6	1.1
2	1.75	2.5	0.5	0.5	1	1.4	0.75	1.5	2.4	1.15
3	1.1	1	0.3	2	0.5	0.5	1.1	1.1	0.6	0.3
4	0	0.25	0	0	0.5	0	0.15	0.4	0.15	0.2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

الجدول (5) الانخفاض الكلي في قيمة التشوه المحوري (%)

التربة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
انخفاض التشوه المحوري (%)	78	40.8	28.4	66.7	71.4	53.8	53.5	54.8	65.7	47.8
نسبة الرمل	20	1.76	30	4.5	5	5	5	19	7	12
نسبة السيلت	30	35.7	30	38.9	36.4	36	36	10	25	23
نسبة الغضار	50	62.55	40	55.4	58.6	59	59	71	68	65

لدراسة (Al-Homoud et al. 1995) حيث انخفض تشوه التربة F من 21% إلى 10% والتربة D من 20% إلى 8%. بالنسبة لتغيرات معامل مسامية التربة فقد تم حسابها وذلك لكل تربة من الترب العشر المدروسة، باستخدام العلاقة  $e = w_{sat}.G$  كون التربة في حالة الاشباع. وبين الشكل (12) قيم معامل المسامية الابتدائي وقيم معامل المسامية في نهاية كل دورة ترطيب وتجفيف، توضح المخططات البيانية أن قيم معامل المسامية المأخوذ في نهاية الدورات تتناقص وذلك مع ازدياد عدد الدورات المطبقة على التربة، حتى تصل الى التوازن عند الدورة الرابعة أو الخامسة. مما يثبت أهمية اعتبار الدورات عند دراسة سلوك التغير الحجمي للترب الانتفاخية وعدم الاكتفاء بدورة واحدة.

وبتحليل نتائج التشوه المحوري نلاحظ انخفاض في قيم التشوه المحوري للتربة مع ازدياد عدد الدورات المطبقة عليها، واستمر هذا النقصان حتى الوصول الى وضع التوازن. كما نلاحظ أن أعلى قيم للتشوه المحوري كانت للتربة AB2 التي تحوي أكبر نسبة من المواد الناعمة وأقل نسبة من الرمل، كما يبين الشكل (11) أن الانخفاض الأكبر في قيم التشوهات حدث عند الدورة الأولى، وهذا ما يثبت الجدول (3) الذي يبين التغير النسبي بين كل دورة والدورة التي تليها، أو يمكن التعبير عنه بتغير سرعة التشوه أو ميل مخطط التشوهات عند كل دورة. يوضح الجدول (5) أن معظم الترب حققت وبسبب تكرار الدورات تخفيضاً في قيم التشوهات الحاصلة الى قيمة تبلغ حوالي نصف قيمة التشوهات الحاصلة في حال عدم تعرضها للدورات. وهذا مشابه



الشكل (12) تغير معامل التماسك مع الدورات للتربة العشرة

#### 4- نتائج تجارب القص المباشر:

ونستنتج ان تغيرات التماسك أكبر بكثير من تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلي لها. كما نلاحظ أن اقل تغير بزاوية الاحتكاك الداخلي كان للتربة التي تحوي اعلى نسبة من الرمل، وتقريباً أقل تغير في قيم التماسك كان للتربة التي لها أكبر نسبة من المواد الناعمة.

بينت نتائج تجارب القص المباشر المنفذة تناقص مقاومة القص في التربة مع تكرار دورات الترتيب التام- التجفيف الجزئي المطبقة عليها، وهذا موضح ضمن الجدولين (6,7) حيث تظهر قيم كل من التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي في نهاية كل دورة من الدورات، ويبين الجدول (8) نسب التناقص الذي طرأ على كل من التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة

الجدول (6) تغيرات قيم التماسك تحت تأثير دورات الترتيب والتجفيف  $C \text{ (kN/m}^2\text{)}$

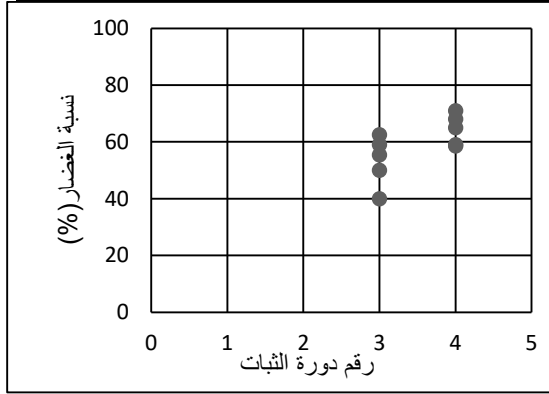
رقم الدورة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
الدورة الأولى	33.3	20	20	48.2	33.1	32.85	34.6	25.2	60	49.2
الدورة الثانية	29.6	18.5	16.48	40.3	25.4	27.42	29.6	21.24	48.17	36.5
الدورة الثالثة	28.16	16	15.3	34.6	22.23	26.9	28.1	18.28	40.7	31.9
الدورة الرابعة	27.42	15.81	14.82	28.4	20.5	25.4	26.9	17.3	36.6	27.2
الدورة الخامسة	26.18	15.56	14.57	25	19.7	24.2	26.68	17.3	35.5	23.2
الدورة السادسة	25.94	15.56	14.57	25	19.7	24.2	26.68	17.3	35.5	22.7

الجدول (7) تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلي تحت تأثير دورات الترتيب والتجفيف  $(\phi^\circ)$

رقم الدورة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
الدورة الأولى	26.8	10	25	16	18.8	18.77	19.6	15	19.4	10.3
الدورة الثانية	26	9.9	24.23	14.8	18.2	18.38	18.6	13.9	17	9.8
الدورة الثالثة	25.23	9.9	24	14.25	17.9	17.9	18.28	13.5	14.7	8.5
الدورة الرابعة	25	9.8	23.94	14	16.8	17.7	17.85	13.4	13.1	8.3
الدورة الخامسة	25	9.6	23.75	13.8	16.3	17.63	17.7	13.2	12.9	7.95
الدورة السادسة	25	9.4	23.75	13.7	16.1	17.6	17.68	13.3	12.5	7.9

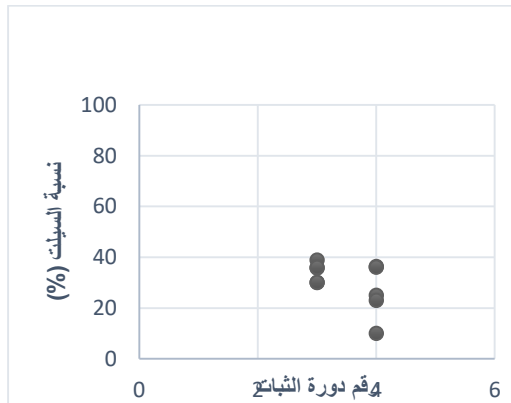
الجدول (8) التغير النسبي الكلي (%) لكل من التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة العشرة

التربة	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10
التغير في قيم التماسك	22.2	22	27	48	40.5	26	23	31	41	54
التغير في قيم زاوية الاحتكاك الداخلي	6.7	6	5	14	14	6	10	11	36	23
نسب الرمل (%)	20	1.76	30	4.5	5	5	5	19	7	12
نسب السيلت (%)	30	35.7	30	38.9	36.4	36	36	10	25	23
نسب الغضار (%)	50	62.55	40	55.4	58.6	59	59	71	68	65



الشكل (13) تغير رقم دورة ثبات التشوهات مع نسبة الغضار

كما أن نسبة السيلت تلعب دوراً في تحديد دورة الثبات، لكن كون حباته أكثر خشونة من حبات الغضار أصبح يلعب دور معاكس، فزيادة نسبته تخفض عدد الدورات المطلوبة لثبات التشوهات، وهذا ما يوضحه الشكل (14).



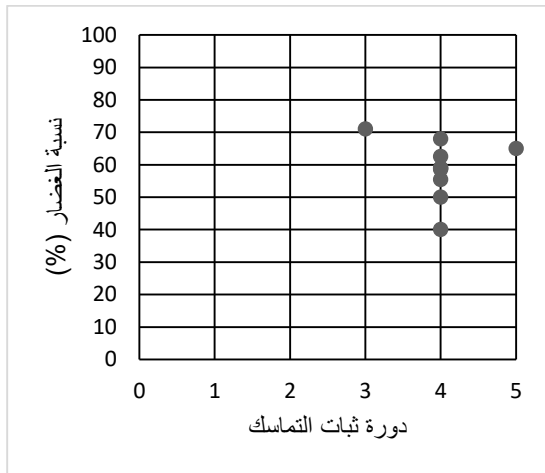
الشكل (14) تغير رقم دورة ثبات التشوهات مع نسبة السيلت

وقد تم حساب نسب التغير من خلال طرح القيمة عند الدورة الخامسة من القيمة عند الدورة الأولى وقسمة الناتج على القيمة البدائية عند الدورة الأولى وضرب الناتج بـ 100 للحصول على النسبة المئوية.

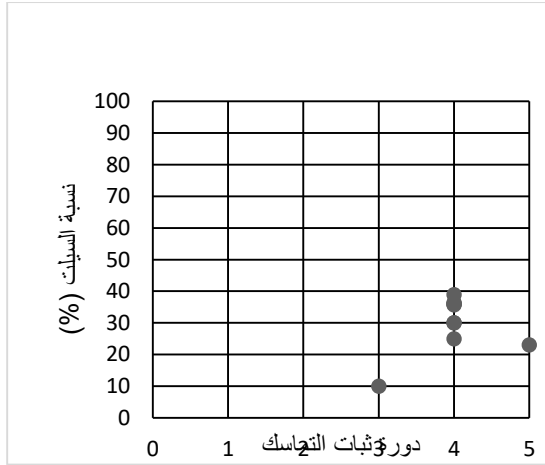
### 5- الوصول الى وضع التوازن:

من المعروف أن التغير الحجمي غير القابل للاسترداد irrecoverable يعرف بالتشوه اللدن أما التغير الحجمي القابل للاسترداد recoverability يعرف بالتشوه المرن، والتغير الحجمي اللدن يرجع إلى تغيرات دائمة في استقرار بنية التربة. عندما تجفف التربة ثم يعاد ترطيبها، فهي إما أن تسترد كامل التشوه، أو بعضاً منه، وعند الوصول إلى مرحلة تسترد العينة فيها كامل التشوه ولا يحدث انتفاخ إضافي، نكون قد وصلنا إلى وضع التوازن، وبهذا نكون قد عرفنا وضع التوازن الذي ستتم دراسته في الفقرة التالية.

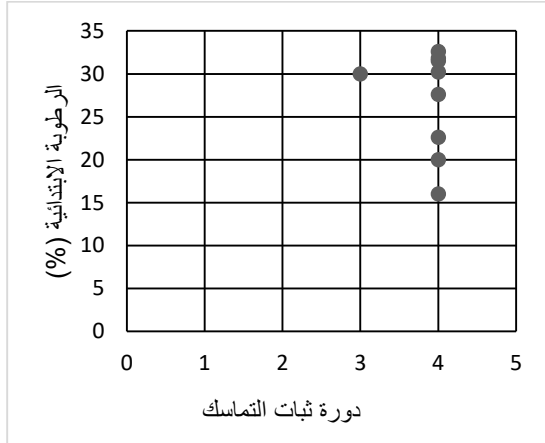
فمن خلال قراءة وتحليل نتائج التجارب المخبرية المجراة على التربة العشرة تبين أن ثبات تشوهات أغلب التربة تم بعد ثلاث دورات من الترطيب التام-التجفيف الجزئي، وتبين حاجة التربة الانتفاخية التي تحوي نسب غضار أكبر من 60% إلى دورة إضافية لحدوث ثبات تشوّهاتها. كما يبين الشكل (13)



الشكل (17) تغير رقم دورة ثبات التماسك مع نسبة الغضار

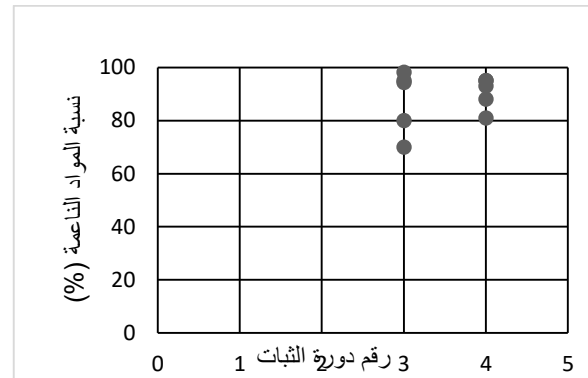


الشكل (18) تغير رقم دورة ثبات التماسك مع نسبة السيلت



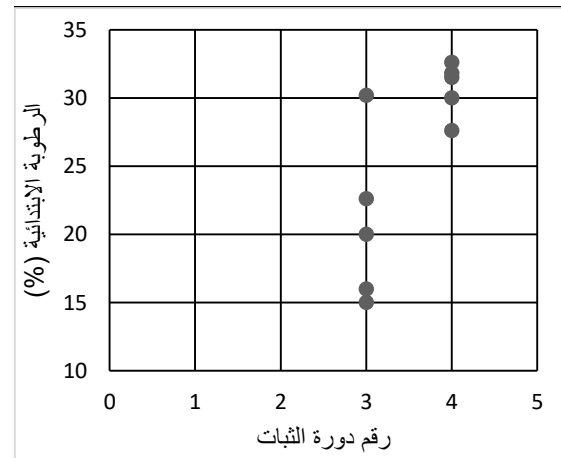
الشكل (19) تغير رقم دورة ثبات التماسك مع الرطوبة الابتدائية

رسمت الاشكال السابقة استناداً الى الجداول (6 و7) وهي عبارة عن نتائج تجارب القص المباشر مع الدورات وبينت وصول تماسك أغلب الترب الى وضع التوازن بعد الدورة الرابعة، ولم



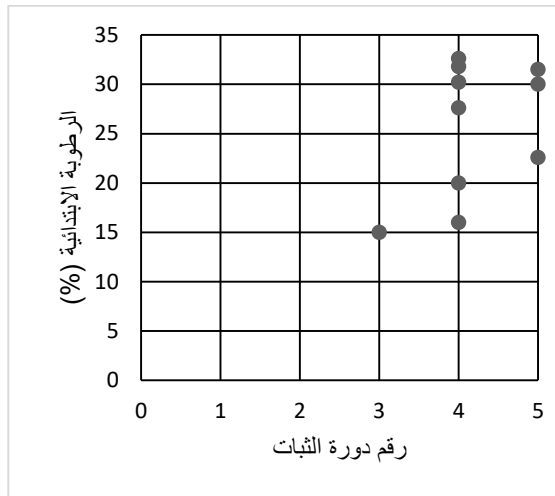
الشكل (15) تغير رقم دورة ثبات التشوهات مع نسبة المواد الناعمة

يبين الشكل (15) أن الترب التي تحوي نسبة من المواد الناعمة % (80-95) تحتاج لدورة رابعة حتى تصل الى وضع التوازن. الترب التي تمتعت برطوبة ابتدائية منخفضة ظهر تأثير التعب عليها بشكل أسرع من الترب ذات الرطوبة الابتدائية الأعلى. ويوضح الشكل (16) تغير رقم دورة الثبات مع الرطوبة الابتدائية لكل تربة. وبالتالي ومن خلال تجارب بسيطة (رطوبة وتحليل حبي) يمكن تحديد دورة ثبات التشوهات للتربة.



الشكل (16) تغير رقم دورة ثبات التشوهات مع الرطوبة الابتدائية

أما بالنسبة لوصول قيم التماسك لوضع التوازن والذي لا يحدث بعده تغيرات هامة في قيم التماسك مع زيادة عدد الدورات، وعلاقته مع كل من نسب الغضار ونسب السيلت والرطوبة الطبيعية فهو موضح في الاشكال التالية:

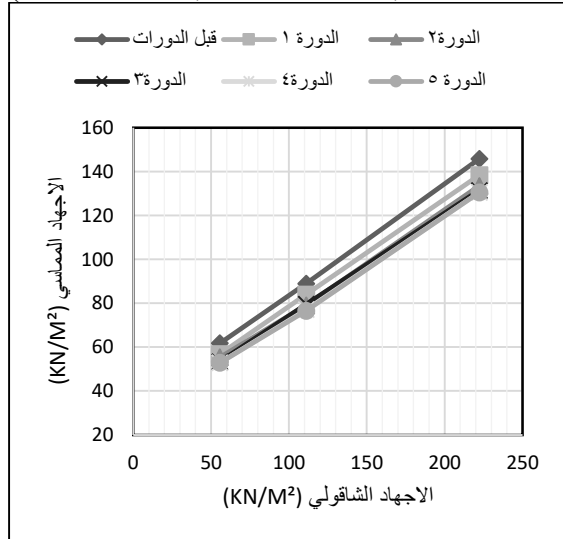


الشكل (22) تغير رقم دورة ثبات زاوية الاحتكاك الداخلي مع الرطوبة الطبيعية

## 6-تغير الحالة الاجهادية للترب مع الدورات:

نتيجة للقراءات الدقيقة والتحليل المعمق لنتائج تجارب دورات الترطيب التام - التجفيف الجزئي المنفذة على عدة أنواع من الترب الانتفاخية، كان من الواضح تأثير هذه الدورات على الحالة الاجهادية للتربة، حيث تبين تناقص الاجهاد المماسي للتربة مع عدد الدورات وذلك عند كل من الاجهادات الشاقولية الثلاث المطبقة.

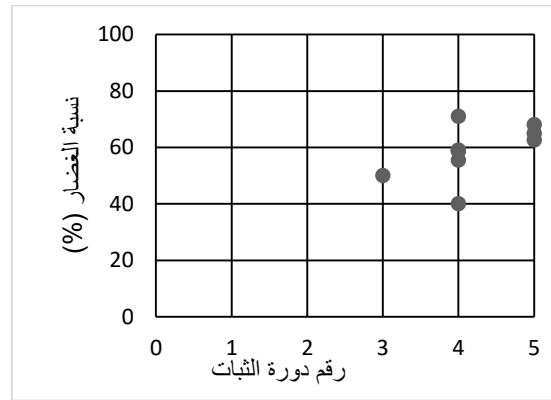
$$(\sigma_1=55.5 \text{ kN/m}^2, \sigma_2 = 111 \text{ kN/m}^2, \sigma_3 = 222 \text{ kN/m}^2)$$



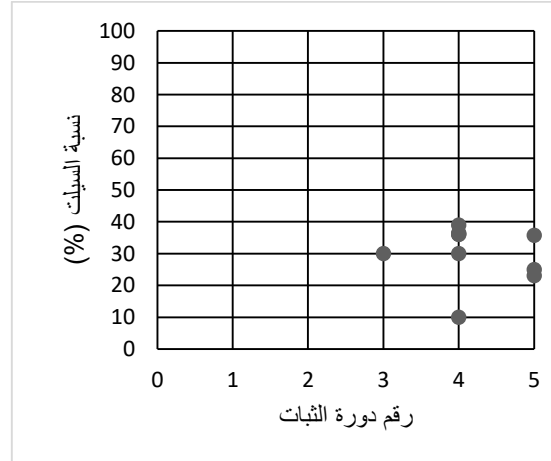
الشكل (23) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB1 مع الدورات

يظهر تأثير واضح لنسب حبيبات التربة او رطوبتها الطبيعية على ذلك.

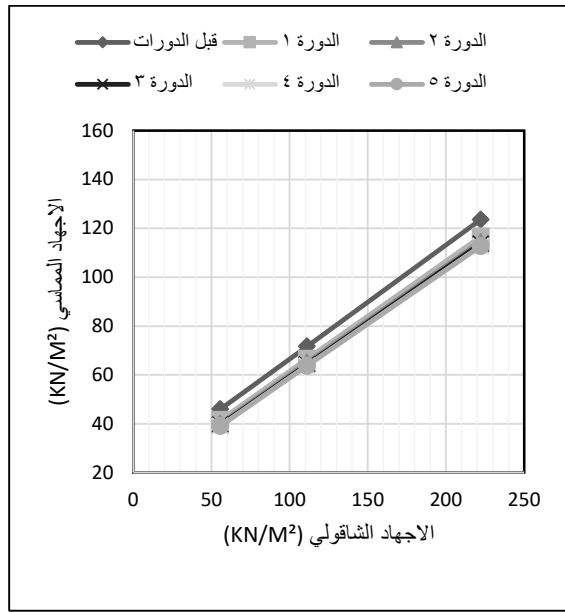
بتحليل مماثل لرقم دورة ثبات زاوية الاحتكاك الداخلي، نلاحظ أن ثبات أغلب الترب كان بعد الدورة الرابعة، لكن الترب التي تحوي نسبة من الغضار تتراوح بين % (60-70) تحتاج الى دورة إضافية لتصل الى وضع التوازن، ولم تظهر علاقة واضحة بين رقم دورة ثبات زاوية الاحتكاك الداخلي وبين نسبة السيلت في التربة او الرطوبة الطبيعية لها، وهذا ما توضحه الأشكال التالية:



الشكل (20) تغير رقم دورة ثبات زاوية الاحتكاك الداخلي مع نسبة الغضار



الشكل (21) تغير رقم دورة ثبات زاوية الاحتكاك الداخلي مع نسبة السيلت



الشكل (25) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB3 مع الدورات

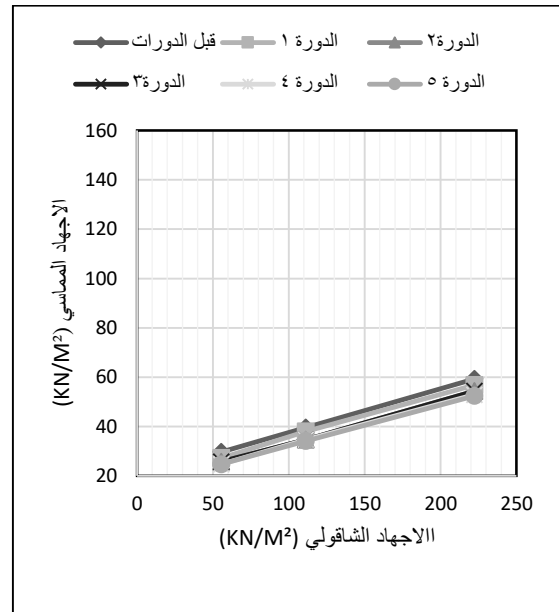
للتربة AB3 تبين أن نسبة التناقص عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 15%، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 11% أما عند الحمل الثالث فكانت 8.8%، وبالتالي وبشكل مماثل للتربة السابقة يتبين أن الانخفاض الأكبر كان عند الحمل الشاقولي الأقل.

تظهر التربة السابقة انخفاض صغير نسبياً في قيم الإجهادات المماسية نتيجة الدورات ويمكن أن يفسر ذلك بانخفاض التغيرات التي طرأت على قيم تماسكها وقيم زاوية الاحتكاك الداخلي لها عند اخضاعها للدورات.

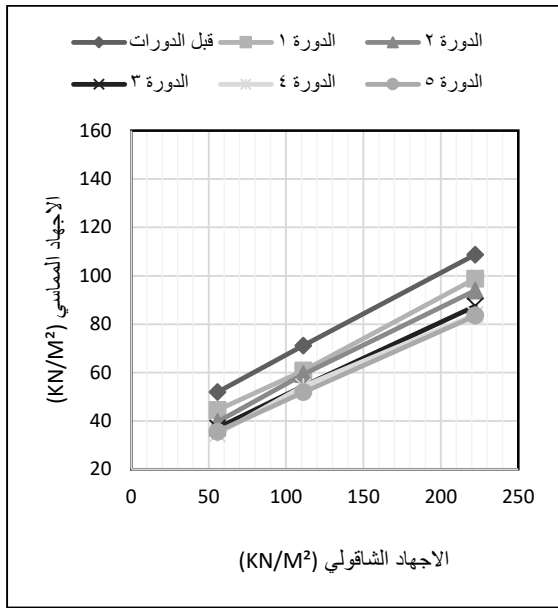
للتربة AB1 نسبة التناقص في الإجهادات المماسية عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 14.4%، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 13.9% أما عند الحمل الثالث فكانت 10.5%، وبالتالي نصل لنتيجة هامة مفادها أن الانخفاض الأكبر في الإجهادات المماسية كان عند الحمل الشاقولي الأقل، ومع ازدياد الاجهاد الشاقولي المطبق ينقص تأثير تعدد الدورات عليها. كما نلاحظ ان التغير في الإجهادات المماسية بين كل دورتين متتاليتين لم يكن بقيمة ثابتة، كما أنه ليس بالضرورة أن يتناقص مع زيادة عدد الدورات.

وبمحاكمة مماثلة تطبق على باقي التربة، نجد سلوك مشابه لما سبق، فنسبة التناقص في الاجهادات المماسية للتربة AB2 عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 16.7 %، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 13.7% أما عند الحمل الثالث فكانت 11.7%، وبالتالي وبشكل مماثل للتربة AB1 يتبين أن الانخفاض الأكبر كان عند الحمل الشاقولي الأقل.

وهذا ما يوضحه الشكل (24)

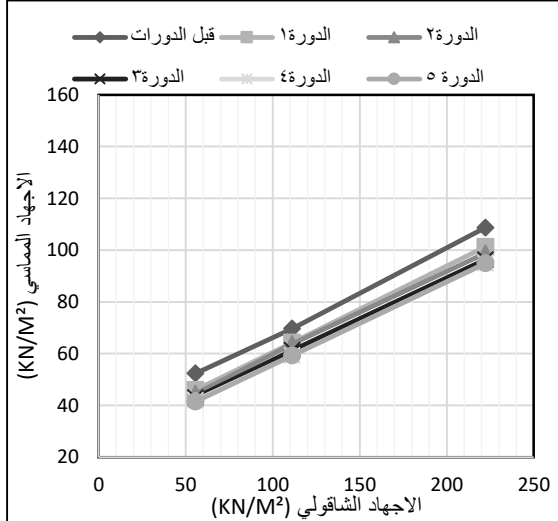


الشكل (24) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB2 مع الدورات



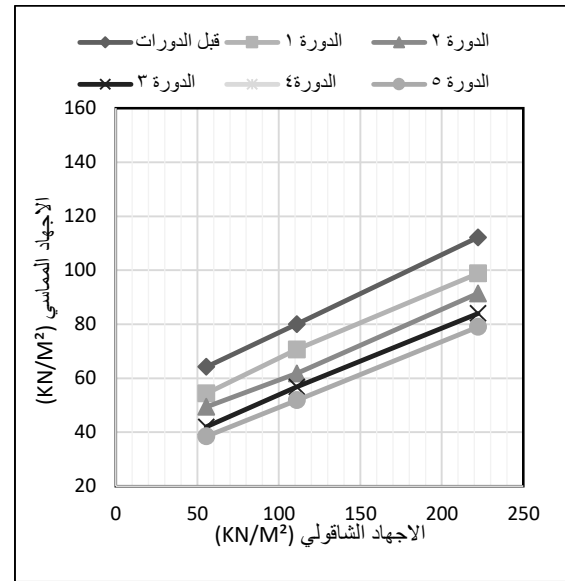
الشكل (27) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB5 مع الدورات

بلغت نسبة التناقص في قيم الاجهادات المماسية للتربة AB5 عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات % 31.4، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت % 27 أما عند الحمل الثالث فكانت 23.2%.



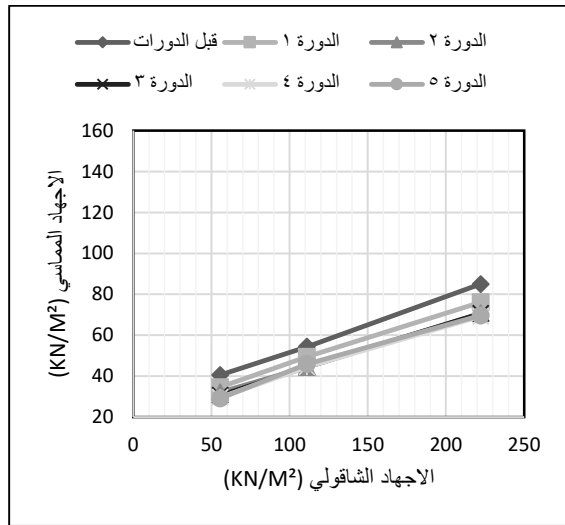
الشكل (28) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB6 مع الدورات

كانت نسبة التناقص في الاجهادات المماسية للتربة AB6 عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات % 20.75، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت % 14.88 أما عند الحمل



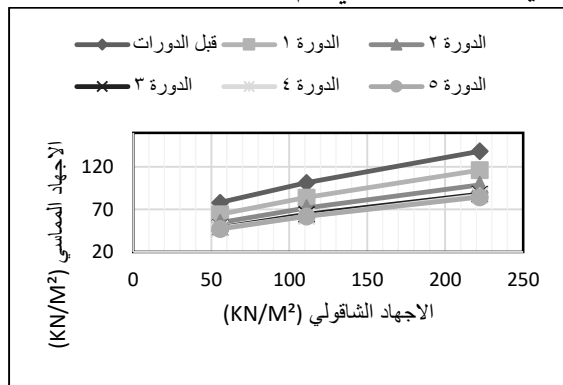
الشكل (26) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB4 مع الدورات

للتربة AB4 بلغت نسبة التناقص في قيم الاجهاد المماسي عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات % 40، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 35.2% أما عند الحمل الثالث فكانت 29.5%، وبالتالي يتبين أن الانخفاض الأكبر كان عند الحمل الشاقولي الأقل، لكن التغير النسبي لها كان أكبر من التغير الذي طرأ على الترب السابقة، فكانت من أكثر الترب تأثراً بتكرار الدورات، يمكن أن يعزى ذلك لكون زاوية احتكاكها الداخلي منخفضة وهي معرضة للانخفاض أكثر نتيجة الدورات وهذا ما يجعلها أكثر عرضة للتأثر بتكرار الدورات. بالإضافة الى التغير الكبير الذي طرأ على تماسكها نتيجة الدورات كما بين الجدول (8)



الشكل (30) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB8 مع الدورات

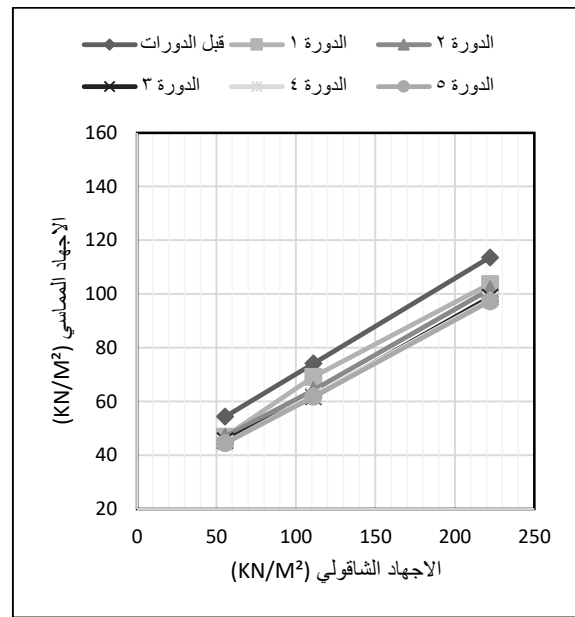
بالنسبة للتربة AB9 فيبين الشكل (31) تغير الحالة الاجهادية لها مع تكرار الدورات ونستنتج أن نسبة التناقص في الاجهادات المماسية عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 39.8 %، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 39 % أما عند الحمل الثالث فكانت 38.9 %، نلاحظ أن التناقص الأكبر طراً على العينات المعرضة للحمل الشاقولي الأقل، لكن قيم التناقص متقاربة جداً وذلك عند الاجهادات الشاقولية الثلاث، وكأن زيادة الاجهادات الشاقولية لا يؤثر على تغير الاجهادات المماسية مع الدورات، وبالعودة الى خواص هذه التربة تبين انها اعلى الترب تماسكاً على الاطلاق، حيث تبلغ قيمة التماسك فيها  $60 \text{ kN/m}^2$ ، وهذا يجعل الترابط بين الذرات كبير ويحد من التناقص في قيم الاجهادات المماسية.



الشكل (31) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB9 مع الدورات

الثالث فكانت 12.7 %، نلاحظ أن الانخفاض الأكبر كان عند الحمل الشاقولي الأقل.

نسبة التناقص عند الحمل الشاقولي الأول للتربة AB7 نتيجة الدورات كانت 18.2 %، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 16.6 % أما عند الحمل الثالث فكانت 14.3 %، كما يوضح الشكل (29).



الشكل (29) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB7 مع الدورات

بالنسبة للتربة AB8 فقد تبين أن نسبة التناقص في الاجهادات المماسية عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 28 %، ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 15.5 % أما عند الحمل الثالث فكانت 18 %، نستنتج أن التناقص الأكبر طراً على العينات المعرضة للحمل الشاقولي الأقل، لكن سلوكها مختلف عن باقي الترب في كون التناقص تحت تأثير الاجهاد الشاقولي الثاني أقل من التناقص تحت تأثير الاجهاد الشاقولي الثالث على الرغم من أن الاجهاد الشاقولي الثالث أكبر من الثاني.

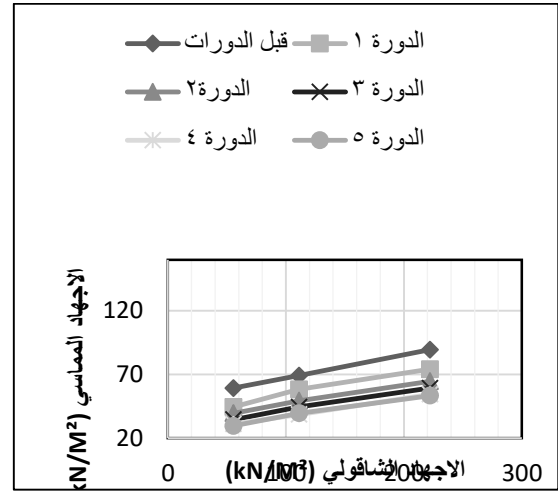


- إن قدرة الترب المدروسة على امتصاص الماء عند الترطيب تقل مع زيادة عدد دورات الترطيب التام والتجفيف الجزئي، وهذا ما أدى إلى انخفاض في إمكانية الانتفاخ الحر (التشوه المحوري) للترب بقيم تتراوح بين (28.4-78) %، والانخفاض الأكبر في قيم التشوهات حدث عند الدورة الأولى.

بالنسبة لمعامل المسامية المأخوذ في نهاية الدورات فقد تناقصت قيمه مع ازداد عدد الدورات المطبقة على التربة، وذلك حتى الوصول الى التوازن عند الدورة الرابعة أو الخامسة. بلغت تغيرات قيم زاوية الاحتكاك الداخلي (36-6) % فقط، في حين أن التماسك تناقصت قيمه على الأقل بمقدار الخمس وبالتالي نستنتج أن التعب قد أصاب الترابط بين الذرات. لوحظ ثبات قيم التشوهات لأغلب الترب بعد ثلاث دورات من الترطيب التام-التجفيف الجزئي هذا بشكل عام، أما الترب الانتفاخية التي تحوي على نسب غضار أكبر من 60% تحتاج الى دورة إضافية لحدوث ثبات تشوهراتها.

إن تأثير هذه الدورات على الحالة الاجهادية للتربة، واضحاً من خلال تناقص الاجهاد المماسي للتربة مع عدد الدورات وذلك عند كل من الاجهادات الشاقولية المطبقة. ف سجل الانخفاض الأكبر في قيم الاجهادات المماسية عند الحمل الشاقولي الأقل، ومع ازدياد الاجهاد الشاقولي المطبق ينقص تأثير تعدد الدورات عليها.

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



الشكل (32) تغير الحالة الاجهادية للتربة AB10 مع الدورات

نسبة التناقص في الاجهادات المماسية للتربة AB10 عند الحمل الشاقولي الأول نتيجة الدورات كانت 50 ونسبة التناقص عند الحمل الثاني بلغت 42.8 % أما عند الحمل الثالث فكانت 40.3%، نلاحظ أن التناقص الأكبر طرأ على العينات المعرضة للحمل الشاقولي الأقل. تظهر هذه التربة اعلى قيم في تغيرات الإجهادات المماسية نتيجة الدورات ويمكن أن يفسر ذلك بالعودة الى الجدول (8) الذي يبين ان التربة AB10 تعرضت لأكثر انخفاض في قيم تماسكها عند اخضاعها للدورات وكذلك لانخفاض كبير في قيم زاوية الاحتكاك الداخلي لها.

### النتائج:

- إن تكرار أربع دورات من الترطيب التام والتجفيف الجزئي على الترب الانتفاخية يساهم بتخفيض التشوهات الحاصلة الى قيمة تصل إلى نصف قيمة التشوهات الحاصلة في حال عدم تعرضها للدورات. لكن ومن جهة أخرى فإن تعريض الترب الانتفاخية لدورات الترطيب التام والتجفيف الجزئي يؤدي لانخفاض عوامل المتانة فيها على المدى الطويل مما يسبب انخفاض قدرة تحملها، لذا يجب الانتباه لهذه الظاهرة عند دراسة هذه الأنواع من الترب.

of an expansive soil. The Japanese Geotechnical Society. Elsevier. 55(2):304–314.

[11] Tawfiq, Salma & Nalbantoglu, Zalihe. (2009), Swell-shrink behavior of expansive clays. International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2nd. Near East University, Nicosia, North Cyprus. 336-341

[12] Abed. A, (2008). Numerical modeling of expansive soil behavior. PhD.Thesis. Stuttgart, Germany: Universität Stuttgart.

[13] Matuella, Matheus. Nunez, Washington. Gehling, Wai Ying Yuk. Weber&Lucas Delongui. (2016). the influence of wetting and drying paths on the shear strength of a silty clayey compacted soil.

[14] Al-Swaidani,A. Hammoud,I. &Meziab,A.(2016). Effect of adding natural pozzolana on geotechnical properties of lime-stabilized clayey soil. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Vol 5 pp 714-725

[15] Mitchell, James K. Soga, Kenichi. (1967). Fundamental of Soil Behavior. New York.

[16] Hussein, A, Elarabi. (2004). Factors influencing swelling Behavior of expansive soils. BRR Journal. Vol.6. pp21

[17] Bilsel, H. & Tuncer, E. R. (2017). Cyclic swell-shrink behavior of Cyprus clays. Eastern Mediterranean University. North Cyprus.

[18] Medjnoun, Amal. & Bahar, Ramdane. (2016). Shrinking–swelling of clay under the effect of hydric cycles. Springer International Publishing Switzerland. 46.

[19] Abdulrahman H. & Al Zubaydi, T, (2011). Effect of Wetting and Drying Cycles on Swell/Collapse Behavior and Cracks of Fine – Grained Soils. Tikrit Journal of Engineering. Sciences. Vol.18. No.4.p (71-79).

[20] 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 78763-505.

## References:

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

[2] الحسن، نجلا. (2016) تأثير الرطوبة الأولية على خصائص المقاومة والانتفاخ في التربة الغضارية المنقخة، جامعة البعث، العدد 26، المجلد 38.

[3] بني، حنا. (1974) ميكانيك التربة. جامعة دمشق. كلية الهندسة المدنية.

[4] عبود، نزيه. مشلح، محمد عماد. داود، ردينه. (2022) تغيرات الخواص الميكانيكية للترب الإنتفاخية تحت تأثير دورات الترطيب التام –التجفيف الجزئي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، مجلد 38، العدد 5

[5] Al-Homoud A.S. et al. (1995). Cyclic swelling behavior of clays J. Geotech. ASCE. 121: 562-56.

[6] Elarabi, A, Hussein. (2004). Factors influencing swelling Behavior of expansive soils. Brrj. Vol.6. pp21.

[7] Sayem Hossain, Kong Ling - wei, Yin Song, Effect of drying – wetting cycles on saturated shear strength of undisturbed residual soils, American Journal of Civil Engineering. Vol.4. 2016, pp.156-166.

[8] Brigatti, M. F. Galan, E. & Theng, B. K. G. (2006). Hand Book of Clay Science. Structures and Mineralogy of Clay Minerals, Elsevier, Vol 1, pp 19-86

[9] Rosenbalm, Daniel 2018 “Volume Change Behavior of Expansive Soils due to Wetting and Drying Cycles” pp5, 6

[10] Estabragh, A.R. Parsaei, n, & B, Javadi. A.A. (2015). Laboratory investigation of the effect of cyclic wetting and drying on the behaviour