

تأثير الظروف المناخية على ديمومة التربة الطينية المثبتة بالنورة

إبراهيم محمود احمد الكيكي - مدرس
قسم هندسة الموارد المائية-جامعة الموصل

الخلاصة

يعد تثبيت التربة من الأمور المهمة، إلا انه من الأمور الأهم معرفة ديمومة التربة المثبتة. ونظراً لعدم وجود مواصفات خاصة لدراسة ديمومة الترب المثبتة بالنورة، عليه تم اقتراح عدة فحوصات لمعرفة ديمومة تربة طينية مأخوذة من إحدى مناطق مدينة الموصل ومثبتة بنسبة (5%) نورة باعتبارها النسبة المثلى لهذه التربة بأخذ دورات مختلفة ومتعاقبة من (الترطيب أو الغمر، تجفيف أو ذوبان وانجماد).

أظهرت الدراسة أن كل من الغمر أو التجميد يقلل من مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة، في حين بينت نتائج فحص النقش للتربة المعاملة بنسب نورة مختلفة زيادة في مقاومة التربة للنقش مع زيادة نسبة النورة المضافة. كما بينت الدراسة ترددي خصائص التربة الهندسية (قوة تحمل، الفقدان بالوزن والتغير الحجمي) للنماذج المعرضة لثلاثة ظروف بيئية (انجماد، تجفيف وترطيب) أكثر من تلك المعرضة لظرفين فقط، وان الظرف الأول للدورة له التأثير الأكبر في ديمومة التربة بالنسبة للنماذج المعرضة لظرفين إضافة إلى الظرف الذي يليه بالنسبة للنماذج المعرضة لثلاثة ظروف وان لكل ظرف من ظروف الديمومة له تأثير يختلف عن الآخر سلباً أو ايجاباً (نوعاً ومقداراً) وهذا له أهمية كبيرة من الناحية العملية لتحديد توقيت بداية العمل حقلياً لتفادي مشاكل الظروف المناخية.

الكلمات الدالة: التربة الطينية، التثبيت بالنورة، الديمومة، مقاومة القص، الظروف المناخية.

Effect Of Climatic Conditions On Durability Of Clayey Soil Stabilized With Lime

Abstract

Durability is one of the most important subjects in the soil stabilization. Since there is no specifications concerned the durability of lime stabilized soils, several factors were selected to show their effects on the durability, namely: wetting, drying, freezing, thawing and slaking.

The effect of each one of the above factors as well as the combined effect of two or more factors, were studied on the volume change and soil strength and weight loss of soil samples stabilized with optimum lime content except the slaking test at which soil samples stabilized with different lime content.

Tests results showed that the higher the lime content the lower the slaking effect, also its found the soil strength decreased when the period of immersion or freezing increased. The strength of the lime stabilized soils decreased when subjected to the cycles of wetting and drying or to the cycles freezing and thawing. However, the combined effect of wetting, drying, freezing and thawing has a pronounced effect on reduction of the lime stabilized clayey soil. The worst condition recorded when lime stabilized soil undergo to freezing then drying then wetting which should be avoided in the field.

Keywords: Clayey soil, Lime, durability, Shear strength, Climatic conditions.

المقدمة

تعد التربة ركناً مهماً في أعمال الهندسة المدنية، إذ تقوم عليها المنشآت الهندسية، وتستعمل التربة كمادة إنشائية في كثير من الأعمال الهندسية. وعليه فإن التربة وبشكل عام يجب ان تتصف ببعض الخواص الهندسية المطلوبة، وعند افتقار التربة لهذه الخواص يلجأ المهندسون إلى تحسين خواصها وإحدى هذه الطرائق هي تثبيت التربة (Soil Stabilization) باستعمال المضافات. ان احتفاظ التربة بالخواص المكتسبة عند تعرضها للظروف الجوية كذلك التغيرات الداخلية يطلق عليها ديمومة التربة (Durability) [1] وهي من الأمور المهمة والأساسية التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار.

إن استعمال تقنية التثبيت للتربة تم تطبيقه في وقت ليس بالقريب وكان الهدف من التثبيت هو تحسين خواص التربة المتعلقة بقوة التحمل بالدرجة الأولى، إذ كان المهندس يعتمد على قوة التحمل في تنفيذ المنشآت الهندسية المقامة عليها، وفي معظم الأحيان يكون قد تجاهل عاملاً مهماً لا يقل أهمية عن قوة التحمل وهو مدى ديمومة هذا التثبيت مع الزمن أو بعبارة أخرى مدى النقصان الذي قد يحصل على قوة تحمل التربة المثبتة عند تعرضها للظروف الجوية لأن عوامل التجوية تلعب دورها السلبي مع مرور الوقت [2].

بدأ الباحثون في مجال علم ميكانيك التربة يهتمون بأخذ عامل الديمومة بنظر الاعتبار من خلال تمثيل الواقع مختبرياً بدورات الترطيب/التجفيف (Wetting/Drying) بالنسبة للمناخ الذي يتعرض للحرارة والأمطار أما بالنسبة للمناخ الذي يتعرض للانجماد فيتم تمثيله بدورات الانجماد/الذوبان (Freezing/Thawing).

وعليه تم في هذا البحث اقتراح طرائق مختلفة لدراسة ديمومة التربة الطينية المثبتة بالنورة وبما يماثل

حالات الطقس اليومية من تغيرات بدرجة الحرارة والرطوبة (ليلاً ونهاراً) وجميع الظروف المناخية الفصلية (ذوبان وجفاف صيفاً-انجماد ورطوبة شتاءً). تم اختيار أحد أنواع الترب المنتشرة في مدينة الموصل وهي تربة طينية لها خصائص انتفاخية متوسطة وتم معاملة التربة بالنورة بنسب مختلفة (1، 3، 5 و 7)% وزناً من التربة الجافة، وبعد تحديد النسبة المثلى للتثبيت تم إجراء فحوصات الديمومة وبأغلب الحالات والاحتمالات حيث يهدف البحث الى دراسة مدى المقاومة التي تبديها الترب المثبتة بالنورة عند تعرضها لدورات مختلفة و متعاقبة من الظروف المناخية وذلك من خلال حساب :

- 1- التغير في قوة الانضغاط غير المحصور.
- 2- التغير في الحجم.
- 3- الفقدان بالوزن.

ومن هذا المنطلق تكتسب هذه الدراسة أهميتها العلمية والعملية باعتبار إن هذا البحث يمثل خطوة مهمه لإيجاد الطريقة القياسية لدراسة ديمومة التربة الطينية المثبتة بالنورة.

الديمومة (Durability)

عرف (Dempsey & Thompson, 1968) [1] ديمومة التربة بأنها قابلية التربة المثبتة على الاحتفاظ بخواصها على مدى سنين من التعرض للعوامل المناخية المحيطة بها. وان ضعف الخواص المكتسبة أو فقدانها يعتمد على خواص كل من الترب المثبتة وشدة وطبيعة الظروف المناخية التي تتعرض لها.

درس عدد من الباحثين ميكانيكية تأثير فحص الديمومة على التربة مثل (Bhattacharja et al. 2003) [3] حيث ذكروا بان لمسامية التربة والماء الداخل والخارج منها بالإضافة الى التشققات التي تحدث بالتربة نتيجة لقابليتها على الانضغاط/الانكماش/الانتفاخ بسبب

الأولى في أب من عام (1973م) والثانية في كانون الأول عام(1979م).

المواد المستخدمة وطرائق العمل

استخدمت في هذا البحث المواد التالية:

1. **النورة (The Lime)** : النورة المطفأة (Hydrated lime Ca(OH)₂) هي التي استعملت في هذه الدراسة والجدول (2) يبين التركيب الكيماوي لها.

2. **التربة (The Soil)** : التربة المستعملة هي تربة طينية تم جلبها من منطقة الحدياء التي تقع في الجزء الشرقي من مدينة الموصل ومن عمق (1.0) متر.

3. **الماء (The Water)** : تم استعمال ماء الإسالة في جميع التجارب إلا ما نصت عليه طرائق الفحص باستخدام الماء المقطر Distilled water.

مزج التربة والنورة

تحسب النورة كنسبة مئوية من وزن التربة الجافة ، ويتم المزج بإضافة النورة الى التربة الجافة بالنسبة المطلوبة ثم تخلط بشكل جيد إلى أن يتم الحصول على مزيج متجانس ثم يضاف الماء بالكمية المطلوبة ويمزج بشكل جيد الى ان يتجانس، بعدها يوضع المزيج في أكياس بلاستيكية لفترة زمنية محددة (ساعة واحدة) كفترة تجانس [5]، بعدها ترص باستعمال قالب اسطواني بإبعاد (5cm قطر x 10cm ارتفاع) باستخدام طاقة الرص المعدلة modified compactive effort .

إنضاج النماذج

بعد رص النماذج يتم اخراجها من داخل القالب ثم تغلف بعدة طبقات من ورق الألمنيوم وعدة طبقات من الشمع لمنع فقدان الرطوبة ثم توضع النماذج في فرن بحرارة (49°C) لمدة 48 ساعة كفترة إنضاج أولية (Initial Curing).

الدورات المختلفة له الأثر الأكبر في الخصائص الهندسية للتربة مثل المقاومة والتغير الحجمي.... الخ وبالتالي على ديمومتها.

وعند دراسة ديمومة التربة تؤخذ بنظر الاعتبار ثلاثة عوامل هي:

❖ التغير في قوة التحمل (Change in Strength)

❖ التغير في الحجم (Change in Volume).

❖ فقدان الوزن (Loss in Weight).

وفيما يخص ديمومة الترب المثبتة بالنورة لا توجد مواصفات معتمدة من قبل المؤسسات العلمية (AASHTO ,1978 & ASTM ,1989)، إذ أن المواصفات الموجودة للديمومة هي خاصة لنماذج التربة المثبتة بالأسمت ولكلا الطريقتين الطريقة الأولى (الترطيب/التجفيف) الخاصة بالمناخ الذي يتعرض للحرارة والرطوبة (الأمطار) أما الطريقة الثانية (الانجماد/الذوبان) خاصة بالمناخ الذي يتعرض للانجماد في أوقات من السنة وحسب مواصفات الجمعية الأمريكية لفحص المواد (57 - D 560) و (57 - D 559) على التوالي.

بالنسبة لظروف العراق وخاصة المنطقة الشمالية تنطبق عليها كلا الطريقتان بالإضافة الى ظروف أخرى لكون ان هناك تغير في الرطوبة والحرارة بين الليل والنهار والصيف والشتاء مما يؤثر على الخصائص الهندسية للتربة وخاصة التربة السطحية ذات العمق القليل. الجدول (1) يبين أقص 4 درجات الحرارة الصغرى والعظمى وكذلك اقل وأعلى معدل للإمطار الشهرية المتساقطة في مدينة الموصل والمسجلة خلال الأعوام (2000م-2007م) وحسب ما أورده دائرة أنواء الموصل. وتجدر الإشارة إلى أن أعظم واصغر درجة حرارة سجلت في مدينة الموصل هي (50°C، -7°C) على التوالي، حيث سجلت

إيجاد نسبة النورة المثلى

أضيف إلى التربة أربع نسب نورة (1، 3، 5 و 7) % ومنها تم إيجاد النسبة المثلى للتثبيت وذلك حسب طريقة الينويز (Illinois Procedure) والتي تعتمد على نتائج فحص الانضغاط غير المحصور، إذ إن النسبة المثلى هي التي تعطي أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط غير المحصور.

عند نسبة النورة المثلى تمت دراسة تأثير الغمر والظروف المناخية على مقاومة الانضغاط غير المحصور والذي اجري حسب طريقة الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية (ASTMD2166-68) وبسرعة ثابتة تساوي (1.27mm/min.) بعد ان تم رص النماذج في الوضع الساكن عند الكثافة الجافة العظمى والمحتوى الرطوبي الأمثل [6].

تجارب الغمر

تم تحضير خمس مجاميع من النماذج (6 نماذج من كل مجموعة) وكما في الفقرات السابقة تبقى إحدى هذه المجاميع بنفس درجة حرارة الإنضاج الأولية ثم يتم إجراء فحص الانضغاط غير المحصور عليها بعد فترات زمنية محددة (2، 5، 10، 15، 30، 60) يوم، أما المجموعة الثانية فتبقى بنفس درجة حرارة الإنضاج الأولية (49°C) إلا إنها تغمر بالماء قبل فحصها بيومين فقط بينما تفحص المجموعة الثالثة بنفس طريقة المجموعة الأولى لكن توضع النماذج بدرجة حرارة (-5°C) بعد فترة الإنضاج الأولية وكذلك هو الحال بالنسبة للمجموعة الرابعة إلا أنها تغمر بالماء قبل فحصها بيومين فقط، أما المجموعة الخامسة فتغمر بالماء مباشرة بعد فترة الإنضاج الأولية وذلك لمعرفة تأثير الحرارة والرطوبة والانجماد على النماذج بشكل منفرد.

فحص الانزلاق/التفشر : (Slaking tests)

تعامل الأطيان المتصلبة ذات الديمومة العالية كاملثيات صخرية (Rock fill) وبما ان التربة المثبتة بالنورة تكسب التربة مقاومة عالية، اقترح (Chapman.1975)^[7] طرائق لمعرفة ديمومة الأطيان المتصلبة ومنها الفحوصات التالية :

1. jar-slake test
2. Slake durability test
3. Slake test
4. Rate of slaking test

وان فحص (Slake durability test) قد اعتمد من قبل الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية (ASTM D4644) كفحص قياسي لمعرفة ديمومة الصخور. وفي هذا البحث تم اجراء هذا الفحص لكافة نسب النورة المضافة وحسب الطريقة المقترحة من قبل (Khattab et. al.2006)^[8].

فحوصات الديمومة : (Durability Tests)

في هذا الفحص تم تحضير عدة مجاميع (6 نماذج من كل مجموعة) ثم يتم رصها وانضاجها وحسب الفقرات السابقة ولكلا درجتي حرارة الإنضاج الأولية بعدها تترك في جو المختبر إلى أن تتجانس حرارتها لمدة ساعة تقريباً. ونظراً لعدم وجود مواصفات قياسية لفحص ديمومة الترب المثبتة بالنورة وكما ذكر انفاً لذلك تم إتباع عدة طرق وأساليب بالإضافة إلى الطريقتين المعتمدين من قبل الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية (D560-60) و (D559-57) والخاصة بالترب المثبتة بالاسمنت وذلك لمعرفة أكثر هذه الطرائق (الظروف) تأثيراً على ديمومة هذه النماذج حيث تم تعريضها للدورات والظروف التالية:-

اولاً- الظروف القياسية:

- 1- الترطيب / تجفيف (المواصفة القياسية) : ترطيب لمدة (5) ساعات ثم تجفيف لمدة (42) ساعة بدرجة حرارة (71°C).

الذوبان) وبالعكس غمر النماذج بالماء أولاً ومن ثم تعريضها لهذه الظروف لأخذ أسوأ حالة لكون النموذج مشبع^[9]. في حين تم اعتماد حالة التجفيف بدل الذوبان في الظروف الثلاثية لكون حالة التجفيف تتضمن الذوبان ضمناً.

النتائج والمناقشة

خصائص التربة الطبيعية:-

يوضح الجدول (3) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الطبيعية والتي من خلالها تم تصنيف هذه التربة على انها تربة طينية غير عضوية تحتوي على قطع صغيرة من كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وذات لدونه عالية (CH) حسب نظام التصنيف الموحد. وان التحليل الحبيبي للتربة يبين ان نسبة المواد الطينية في التربة ($C \leq 0.002mm$) هي بحدود(40%).

خصائص الرص للتربة الطبيعية والمعاملة بنسب

النورة المختلفة:-

يبين الشكل (1) منحنيات الرص المعدلة للتربة الطبيعية والتربة المعاملة بنسب النورة المختلفة (1 ، 3 ، 5 و 7) %، إذ يلاحظ انخفاض في وحدة الوزن الجاف وحصول زيادة في قيم المحتوى الرطوبي الأمثل مع زيادة نسبة النورة المضافة.

مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة الطبيعية

والمعاملة بنسب النورة المختلفة

أظهرت نتائج فحص الانضغاط غير المحصور لنماذج التربة المعاملة بنسب النورة المختلفة والتي تم إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة ($49^\circ C$) ، تحسن كبير في قيم هذه المقاومة وان نسبة النورة المفضلة للتثبيت هي (5%) وذلك حسب طريقة الينويز (Illinois Procedure)، إذ أعطت أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط غير المحصور وكما مبين

2- الانجماد / ذوبان (المواصفة القياسية) : تجميد لمدة (24) ساعات بدرجة حرارة ($-23^\circ C$) ثم ذوبان لمدة (23) ساعة بدرجة حرارة ($21^\circ C$).

ثانياً- الظروف الثلاثية المقترحة:

- 1- ترطيب/تجفيف. 2- تجفيف/ترطيب.
- 3- انجماد/ذوبان. 4- ذوبان/ انجماد.
- 5- ترطيب/انجماد. 6- انجماد/ترطيب.

ثالثاً- الظروف الثلاثية المقترحة:

- 1- تجفيف/ترطيب/انجماد.
- 2- ترطيب/ انجماد/تجفيف.
- 3- انجماد/تجفيف/ترطيب.
- 4- ترطيب/ تجفيف/انجماد.
- 5- تجفيف/انجماد/ترطيب.
- 6- انجماد/ترطيب/تجفيف.

حيث ان:

* الترطيب(W): غمر النماذج بالماء لمدة (2) يوم بدرجة حرارة ($25 \pm 3^\circ C$).

* التجفيف(D): تجفيف النماذج بالفرن لمدة (2) يوم بدرجة حرارة ($60^\circ C$).

* الانجماد(F): تجميد النماذج بحجرة التجميد لمدة (2) يوم بدرجة حرارة ($-5^\circ C$).

* الذوبان(T): وضع النماذج بالمختبر لمدة (2) يوم بدرجة حرارة ($25 \pm 3^\circ C$).

بعد تعرض النماذج الى الدورات أعلاه يتم اخذ نموذج من كل مجموعة بعد ان تجرى عليه الدورة كاملة لكل حالة من الحالات اعلاه ويتم اخذ وزنه وقياس إبعاده ثم يجرى عليه فحص قوة الانضغاط غير المحصور وهكذا تعاد العملية ولمدة (12) دورة.

ولابد من الإشارة إلى ان النماذج قبل فحصها تترك لمدة (24) ساعة إضافية في حوض الماء (ترطيب إضافي لمدة 24 ساعة) كي تتعرض إلى ظروف جوية قاسية وتوفير ظروف فحص مشابه لجميع النماذج. كما تم في حالة (الانجماد /

كما ان الغمر له تأثير آخر على المقاومة إذ نلاحظ ان النماذج غير المغمورة أعطت زيادة في المقاومة اكبر من تلك المغمورة قبل الفحص واكبر من تلك المغمورة بعد فترة الإنضاج الأولية مباشرةً وعلى طول فترة الإنضاج وهذا ما توصل إليه (عطا الله، 2005) [2]. في حين أدى الغمر إلى نقصان في مقاومة النماذج الموضوعة بدرجة حرارة (5°C) فقط ولعل السبب في ذلك يعود إلى تحطم المادة الرابطة الناتجة عن إضافة المثبت بين جزيئات التربة نتيجة الانكماش والانتفاخ الذي يصاحب عمليتي الانجماد والغمر على التوالي.

فحص التقشر

يعتبر هذا الفحص احد طرائق قياس ديمومة الصخور والأطيان المتصلبة بحالة الترطيب والتجفيف من خلال قياس الفقدان بالوزن. يتضح من الشكل (4) أن زيادة نسبة الفقدان بالوزن مع زيادة عدد دورات الترطيب والتجفيف ولجميع نسبة النورة المضافة كما يلاحظ وجود تناسباً عكسياً بين نسبة النورة المضافة ونسبة الفقدان بالوزن، وإن التربة المعاملة بالنسبة (7%) استمرت إلى الدورة (10) وفقدت (50%) من وزنها عند الدورة (3) ، وهي الأفضل من بقية النسب وربما يعود السبب إلى أن النسبة الأعلى وتوفر الماء يساعد على استمرار التفاعلات (الطائي، 2005) [15]. وعند مقارنة النتائج مع التصنيف المستخدم من قبل (Gamble، 1980) [16] يتبين بأنه يمكن تصنيف التربة بأنها ذات مقاومة واطئة أو واطئة جداً للتقشر (Low or Very low durability) ولجميع النسب المضافة باستثناء التربة المعاملة بنسبة نورة (7%) فكان تصنيفها بأنها ذات مقاومة متوسطة للتقشر (Medium durability).

تأثير دورات الديمومة على بعض خصائص التربة

المثبتة بالنورة

بالشكل (2). كما يلاحظ أن مقاومة الانضغاط غير المحصور تقل مع زيادة نسب النورة المضافة لما بعد النسبة المثلى، بسبب كون النورة مادة غير متماسكة (Cohesion less Material) تعمل على تقليل مقاومة الانضغاط غير المحصور عند عدم تفاعلها مع التربة [12].

تأثير درجة الحرارة ، فترة الإنضاج ، الغمر وفترة الغمر على مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة المعاملة بالنورة

يتضح من الشكل (3) زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور لنماذج التربة المعاملة بنسبة النورة المثلى مع الزمن باستثناء النماذج الموضوعة بدرجة حرارة (5°C) بعد فترة الإنضاج الأولية. ان سبب زيادة المقاومة مع زيادة درجة الحرارة خصوصاً وفترة الإنضاج عموماً، يعود إلى أن رفع درجة حرارة يؤثر على التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين التربة والنورة مسبباً تعجيل في التفاعلات البوزولانية، وهذا بدوره أكسب النماذج زيادة في مقاومة الانضغاط. وقد توصل كل من (الداوود، 2006) [6] و (Al-Obydi ، 1992) [10] إلى نتائج مشابهة.

كما ان لدرجة الحرارة بعد درجة حرارة الإنضاج الأولية له تأثير أيضاً على المقاومة حيث يلاحظ من وضع النماذج بدرجة حرارة (5°C) زيادة قليلة في المقاومة مقارنة بتلك الموضوعة بنفس درجة حرارة الإنضاج الأولية (49°C) والسبب في ذلك يعود إلى عدم اكتمال تبلور أماده الهلامية (Gel) بسبب قلة درجة الحرارة وفترة الإنضاج [13]، [14] ثم تبدأ هذه الزيادة بالانخفاض ثم الاستقرار تقريباً بسبب توقف التفاعلات وتكسر بعض المواد الرابطة نتيجة الانجماد والتغير الحجمي الذي يصاحب عملية الانجماد مع الزمن.

كما لوحظ ان النماذج التي بدأت بالترطيب أعطت مقاومة أعلى من تلك التي بدأت بالتجفيف (وهذا بخلاف ما توصل إليه (الزبيدي.2007) [12] : الذي درس مقاومة الشد والانضغاط غير المحصور لتربة جيسية مثبتة بالنورة) وذلك لكون التجفيف يؤدي إلى تباطيء التفاعلات البوزولونية ان لم يكن ليوقفها في حين يساعد الماء على إنتاج مواد رابطة مثل (Calcium-Silicate-Hydrate) و (Calcium-Aluminat-Hydrate) التي تكون على شكل مادة هلامية (Gel) نتيجة لذوبان السليكا والالومينا بسبب رفع قيمة الأس الهيدروجيني (pH) للتربة وتحويل المحيط إلى محيط قاعدي [17] نتيجة لإضافة النورة (إذ بمرور الوقت وبتأثير درجات الحرارة تتبلور هذه المواد لتعطي مقاومة أعلى للتربة [14]، [18]). كذلك الحال للنماذج التي بدأت بالترطيب قبل التجميد لما لدرجة الحرارة (حرارة الماء) من عامل محفز على التفاعلات في حين ان عملية التجميد تعمل على إيقاف جميع التفاعلات التي من الممكن ان تحدث لزيادة قوة تحمل النماذج. وهذا الأمر يكون أكثر وضوحاً في النماذج المشبعة (المغمورة بالماء) عند تعرضها لدورات التجميد/الذوبان حيث أعطت اقل مقاومة واقل عدد دورات مقارنة مع جميع الحالات الأخرى والسبب يعود في ذلك إلى تفتت وتكسر المواد الرابطة نتيجة للحصر والضغط الذي تتعرض له أثناء انجماد الماء [19].

ولابد من الإشارة إلى ان دورات التجفيف/الترطيب أعطت اقل مقاومة مقارنة مع دورات التجميد/الذوبان أو دورات التجميد/الترطيب. كما ان نوع الفشل في النوع الأول من الدورات كان غالباً فشل حاد وسريع بينما بطيء ولدن في النوع الثاني وخاصة مع زيادة عدد الدورات وذلك لحصول

تم اقتراح عدة طرائق لقياس ديمومة التربة المثبتة بالإضافة إلى الطريقتين القياسيتين الخاصة بالنترية المثبتة بالاسمنت وذلك لدراسة هذه الدورات وما تتضمنه من تغيرات مناخية مختلفة في كل من مقاومة الانضغاط غير المحصور والفقدان بالوزن إضافة إلى التغير الحجمي للتربة.

تأثير دورات الديمومة على مقاومة التربة:

في هذه الدراسة تم اقتراح ثلاث طرائق وهي:

1- المواصفة القياسية الخاصة بالاسمنت :

يتضح من الشكل (5) ان كل من دورات الترتيب/التجفيف ودورات التجميد/الذوبان أدت إلى انخفاض في مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة باستثناء الدورة الأولى والثانية من دورات لتجميد/الذوبان فقد ازدادت المقاومة بنسب قليلة. كما نلاحظ ان مقدار الفقدان بالمقاومة لدور 8 الترتيب/التجفيف كان اكبر مما هو عليه لدورات التجميد/الذوبان ولعل السبب في ذلك يعود إلى التذني في خواص التربة نتيجة لتأثير الدورات وخاصة لدورات الترتيب/التجفيف لما للماء والحرارة من دور سلبي في عملية التشققات التي تصاحب الترتيب والتجفيف حيث تتعرض النماذج إلى اجهادات نتيجة لتكون ضغط سالب يضغط على التربة في عم 8 التجفيف ويختفي عند التشبع وإن تكرار هذه الظاهرة يسبب ضعفاً في الأواصر بين جزيئات التربة وربما سببت بعض السطوح الضعيفة داخل النموذج [2]، [13].

2- الطرائق المقترحة بظروف ثنائية:

تم هنا اقتراح طرفين أو حالتين من الظروف البيئية في كل دورة وكما بينا سابقاً في طرائق العمل، يتضح من الشكل (6) ان نتائج الطريقة المقترحة لدورات الترتيب/ التجفيف تختلف نسبياً عن نتائج الطريقة القياسية وهذا سببه الفرق في عدد ساعات الترتيب والتجفيف ودرجة حرارة التجفيف.

الترطيب فقط) والنتائج مبينة في الشكل (8). يلاحظ إن أكبر نسبة فقدان بالوزن حصلت للنماذج المعرضة لدورات التجفيف/الترطيب بسبب توقف التفاعلات في مرحلة التجفيف بالإضافة إلى التشققات التي تصاحبها، وإن أقل نسبة فقدان بالوزن حصلت للنماذج المعرضة لدورات الترطيب/التجميد لعدم مرور هذه النماذج بمرحلة التجفيف وما تخلفه من تشققات وتكسر للأواصر المتكونة نتيجة لإضافة المثبت. كما يمكن ملاحظة أن النماذج التي تعرضت لدورات الترطيب/التجميد (القياسية منها أو المقترحة) أو الترطيب/التجميد أعطت أقل فقدان بالوزن من تلك التي تعرضت لدورات التجفيف/الترطيب أو التجميد/الترطيب على التوالي ولنفس السبب الذي ذكر في الفقرة (4-6-1-2).

هذا ما يخص الطريقة القياسية والطريقة المقترحة ثنائية الظروف إما ما يخص الطرق المقترحة ثلاثية الطور فنلاحظ من الشكل (9) إن أعلى نسبة فقدان بالوزن حصلت للنماذج المعرضة لدورات (الترطيب/التجميد/التجفيف) للدورات الخمسة الأولى ثم النماذج المعرضة لدورات (التجميد/التجفيف/الترطيب) لما بعد الدورة الخامسة، وإن أقل فقدان بالوزن حصل للنماذج المعرضة لدورات (التجميد/الترطيب/التجفيف) ثم للنماذج المعرضة لدورات (التجفيف/التجميد/الترطيب) وهذا يدل على أن للتجميد تأثير قليل أو معدوم على النماذج عند ما يأتي بعد مرحلة التجفيف بينما يكون له الأثر الأكبر بعد مرحلة الترطيب وليس لبداية الدورة الأثر الأكبر.

التغير في الحجم

يعد التغير في الحجم من الطرائق التي يتم من خلالها دراسة ديمومة التربة أمثلة إذ تم قياس التغير في الحجم للنماذج من خلال أخذ إبعاده (القطر x

ظاهرة التشقق (Fissuring) عند تعرض النماذج للتجميد بشكل متعاقب ومستمر (دوري).

3- الطرائق المقترحة بظروف ثلاثية

تم هنا اقتراح ثلاثة ظروف أو حالات في كل دورة وكما مبين في الشكل (7). حيث نلاحظ بصورة عامة عدم وجود علاقة واضحة بين الطرائق وربما السبب يعود في ذلك إلى تداخل الظروف البيئية الثلاثة (الانجماد، التجفيف، الترطيب) في الدورة الواحدة من حيث الأسبقية في الطرف وترتيب الطرف (الظرف الذي قبله والذي يليه). إلا أنه بصورة عامة نلاحظ انخفاض في المقاومة ولجميع الطرائق كما نلاحظ فقدان التربة لمقاومتها بعد الدورة التاسعة أو الحادية عشر باستثناء النماذج المعرضة لدورات (التجميد/الترطيب/التجفيف) فقد استمرت إلى ما بعد الدورة الثانية عشر وربما يعود السبب إلى عدم تأثير الانجماد على التربة ما بعد الدورة الأولى لكونه يلي التجفيف. كذلك أعطت النماذج المعرضة لدورات (التجميد/التجفيف/الترطيب) أقل مقاومة مقارنة مع الطرائق الأخرى والسبب لما لدرجة حرارة الطرف الأول (-5°C) من تأثير كما إن الانجماد يلي الترطيب لما بعد الدورة الأولى. في حين أعطت النماذج المعرضة لدورات (الترطيب/التجفيف/التجميد) أو (التجفيف/التجميد/الترطيب) أعلى مقاومة مقارنة مع الطرائق الأخرى ولعل سبب ذلك هو أن التجميد يأتي بعد التجفيف وكأنه قد تعرضت النماذج لظرفين بدلاً عن ثلاثة ظروف حيث لا أهمية كبيرة لتجميد التربة بعد تجفيفها وإنما الضرر الأكبر للتجميد عندما يسبقه ترطيب.

تأثير الديمومة على مقدار فقدان الوزن

يعد فقدان الوزن نتيجة لتعرض التربة لدورات الترطيب/التجفيف أحد طرائق دراسة ديمومة التربة. تم حساب فقدان الوزن من خلال حساب وزن التربة المتساقطة عند وضع النماذج في الماء (بعد مرحلة

(التجميد/التجفيف/الترطيب) ثم (الترطيب/التجميد/التجفيف) ثم (التجفيف/الترطيب/التجميد) ولأسباب التي ذكرت سابقاً.

الاستنتاجات

- من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى:
1. حصول زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور مع زيادة درجة الحرارة وفترة الإنضاج.
 2. غمر التربة أو وضعها بدرجة حرارة اقل من درجة حرارة الإنضاج الأولية يؤدي إلى نقصان في المقاومة مقارنةً مع تلك غير المغمورة.
 3. كمية التربة المتساقطة من النماذج عند تعرضها لدورات التقشر اكبر بكثير مما هو عليه عند تعرضها لمختلف دورات الديمومة.
 4. تدني خواص التربة من حيث (المقاومة، الفقدان بالوزن والتغير الحجمي) عند تعرضها لثلاثة ظروف بيئية (ترطيب، تجفيف وتجميد) يكون اكثر بكثير عند تعرضها لظرفين من الظروف السابقة.
 5. يكون للظرف الأول تأثيراً كبيراً في خواص التربة عند تعرض النماذج لدورات الديمومة ثنائية الظروف بينما يلعب الظرف الذي قبله والذي بعده دوراً كبيراً في خواص التربة المعرضة لدورات الديمومة ثلاثية الظروف. فمثلاً كانت أعلى نسبة نقصان بالمقاومة وفقدان بالوزن واكبر تغير بالحجم للنماذج التي بدأت بالتجفيف أو الترطيب من تلك التي بدأت بالترطيب أو التجميد على التوالي (بالنسبة للنماذج المعرضة لظروف ثنائية)، كما كان تأثير الانجماد كبيراً عندما يسبقه ترطيب ويليه تجفيف وليس العكس (بالنسبة للنماذج المعرضة لظروف ثلاثية). وهذا له أهمية كبيرة في تحديد وقت وبداية العمل حقلياً في أي فصل من فصول أسننه.
 6. بشكل عام الظرف الأكبر تأثيراً في خواص التربة هو ظرف التجفيف ثم الترطيب ثم الانجماد. بينما تكون التربة المثبتة في أسوأ حالاتها (خاصية

الارتفاع) بعد كل مرحله من مراحل الدورات المختلفة. والنتائج مبينه بالجدول (4) والشكل (10&11).

يلاحظ من هذه الأشكال إن التغير الحجمي للنماذج المعرضة لدورات التجميد/الذوبان قليل جداً أو معدوم مقارنةً مع بقية الدورات وأن الحجم يكون اكبر بقليل من الحجم الأصلي عند تعرض النماذج لهذه الدورات ولحد الدورة السادسة تقريباً ثم يحصل العكس ربما يعود السبب في ذلك إلى فقدان النماذج رطوبتها بشكل مستمر وتدرجي مع زيادة عدد الدورات لكونها غير مغلفه أو يعود السبب إلى التربة المتساقطة^[18].

كما تميز التغير الحجمي للنماذج المعرضة لتأثير دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب بالنقصان المستمر وبشكل عام كانت أعلى نسبة للتغير الحجمي تحصل للنماذج التي بدأت بالتجفيف وهذا ما توصل إليه (الزبيدي. 2007)^[12].

كما يلاحظ بأن التغير الحجمي للنماذج المعرضة لدورات الترطيب/التجميد هو أقل من التغير الحجمي للنماذج المعرضة لدورات التجميد/الترطيب. علماً أن هذين النوعين من الدورات أعطى حجم 10 من الحجم الأصلي وذلك بسبب تأثير الرطوبة والانجماد على التربة وما يصاحبهما من زيادة في الحجم وخاصة حجم الماء عند الانجماد، إلا أن هذا التغير بالحجم يقل مع زيادة عدد الدورات أو يستقر بسبب التربة المتساقطة أو التغير بالرطوبة يكون متساوي تقريباً.

أما بالنسبة للطرق المقترحة ثلاثية الطور فيلاحظ بأن العلاقات متداخلة لمختلف الطرائق لاختلاف الظروف المعرضة لها من حيث البداية والظرف الذي قبله والذي بعده كما تبين بأن التغير الحجمي للنماذج في مرحلة التجميد/الترطيب تكون قليلة جداً أو معدومة عندما تأتي هذه المرحلة بعد مرحلة التجفيف. ألا أنه بصورة عامة حصل أكبر تغير حجمي للنماذج المعرضة لدورات

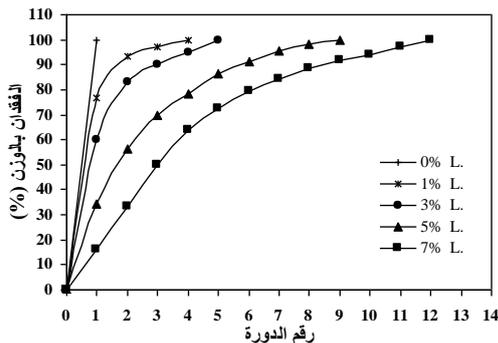
- 7- Chapman, D. R. "Shale classification test and systems: a comparative study" Journal Highway Research Project. JHRP-75-11, Purdue Universit,1975.
- 8- Khattab. S. A. A., Al-KiKi, I. M. A, and Al-Juari, K. A. K. " Strength, Durability and Hydraulic Properties of Clayey Soil Stabilized with Lime and Industrial Waste Lime" Journal of Al-Rafidain Engg., Vol. 16, No. 1, PP. 102-116, 2006.
- 9- محمد، ربيع أياذ " تأثير الديمومة في مقاومة الشد " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2008.
- 10- Al-Obydi, M. A. "Lime Stabilization of Gypseous Soils", M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, 1992.
- 11- ايشو ، باسل كوركيس " تثبيت التربة الجبسية باستخدام النورة والمستحلب الإسفلتي " ، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2004.
- 12- الزبيدي، عبد الرحمن هاني طه " دراسة مقاومة الشد للتربة الجبسية الحاوية على نسبة عالية من الأملاح الذائبة والمثبتة بالنورة " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2007.
- 13-Rao, S. M. and Shivananda, P. "Swelling behaviour of lime-stabilized specimens after multi-wetting and drying cycles" Workshop in clay Behaviour Chemo-Mechanical Coupling from Nano-Structure to Engineering Application, Vol.2, Italy,2001.
- 14- حسين، يوسف عبدالله " ديمومة التربة الجبسية المثبتة بالنورة " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2005.
- المقاومة) عند تعرضها لدورات الانجماد/الذوبان وهي مشبعه (مغمورة بالماء).
7. التربة الطبيعية لا تتحمل دورات ترطيب وتجفيف، حيث أنها انهارت من أول ترطيب لذا فان النورة لها كفاءة عالية في زيادة ديمومة التربة الطينية.
8. في فحص الديمومة يمكن الاعتماد على المقاومة أكثر من فقدان بالوزن والتغير الحجمي.
- المصادر
- 1- Dempsey, B. J & Thompson, M. R "Durability Properties of Lime-Soil Mixtures", Highway Research Record, No. 235, pp. 61-75,1968.
- 2- عطا الله، موفق عيو عواد " فحص الديمومة للتربة الجبسية المثبتة بالنورة تحت الأحمال " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2005.
- 3- Bhattacharja, S. ; Bhattya, J.I & Todres, H.A. "Stabilization of Clay Soils by Portland Cement or Lime A critical Review of Literature", Portland Cement Association, PCA.R&D Serial No. 2066.PP (1-38).2003.
- 4- Kodikara, J. ; Barbour, S.L & Fredlund, D.G. "Changes in Clay Structure and Behaviour due to Wetting and Drying", Proceeding of the 8th Australian-Newzland Conference on Geomechanics,Hobart.Tasania,pp.17 9-186,1999.
- 5- Little, D.N. "Handbook for Stabilization of Pavement Sub Grade and Base Courses with Lime", Kendall Hunt Publishing Company, Iowa, USA, by National Lime Association,1995.
- 6- الداوود، أسماء أحمد علي " تأثير ظروف الإنضاج على بعض الخواص الهندسية لتربة طينية معاملة بالنورة "، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل،2006.

Ekiti,Nigeria”, American Journal of Applied Sciences, Vol.5, No.1, PP. 192-194,2005.

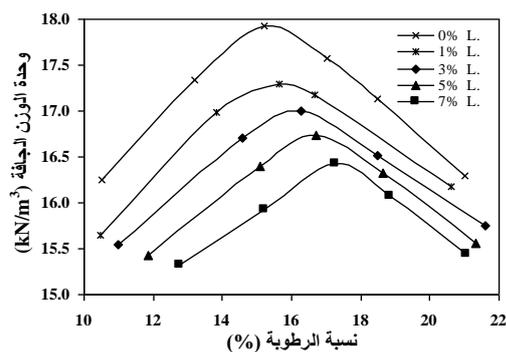
- 18- Little, D. N. “Evaluation of Structural Properties of Stabilized Soils and Aggregates” Vol. 1, Summary of findings, Prepared for the national lime association.1999.
- 19- Packard R. G. and Chapman G. A. “developments in durability testing of soil-cement mixtures” Highway Research Record No.36, pp. 97-117,1963.

15- الطائي، ليث خليل إبراهيم " العلاقة بين اجهادات المص وبعض الخصائص الهندسية لتربة طينية انتفاخية مثبتة بالنورة من مدينة الموصل " رسالة ماجستير، كلية الهندسة ، جامعة الموصل،2005.

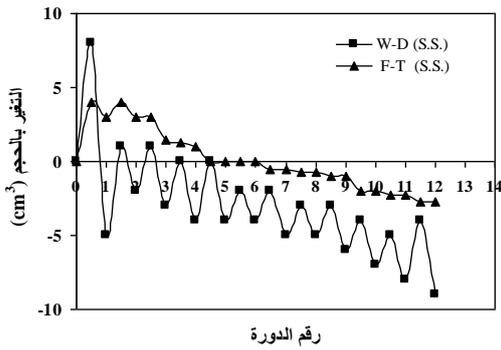
- 16- Goodman, Richard E. “Introduction to rock mechanics” John willy, New York, Xii, 478p.illus.1980.
- 17- Faluyi, S. O. and Amu, O. O “Effects of Lime Stabilization on the PH Values of Lateritic Soils in Ado-



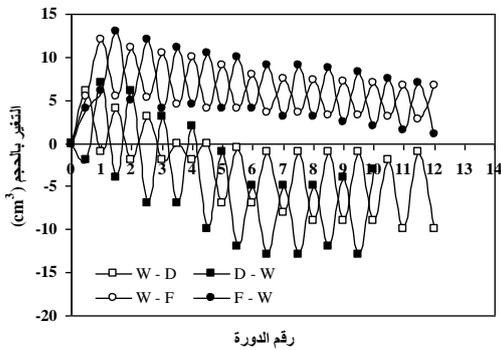
الشكل (4) تأثير دورات الترطيب والتجفيف لفحص التقشر على نسبة الفقدان بالوزن لتربة معاملة بالنسب مختلفة من النورة



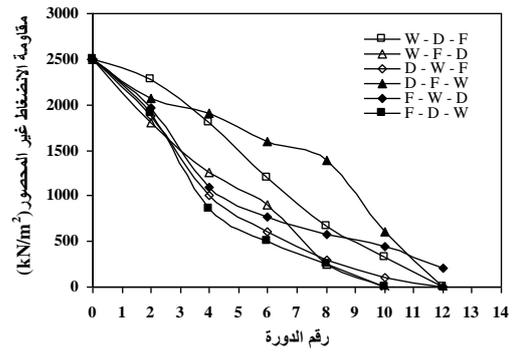
الشكل (1) منحنيات الرص المعدلة للتربة الطبيعية والتربة المعاملة بنسب مختلفة من النورة



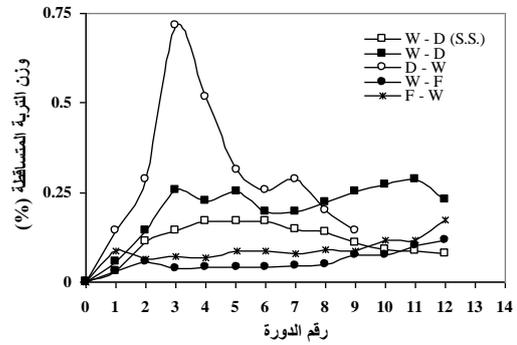
الشكل (10) تأثير دورات الديمومة بالطريقة القياسية على التغير الحجمي لتربة معاملة بالنسبة المثلى من النورة



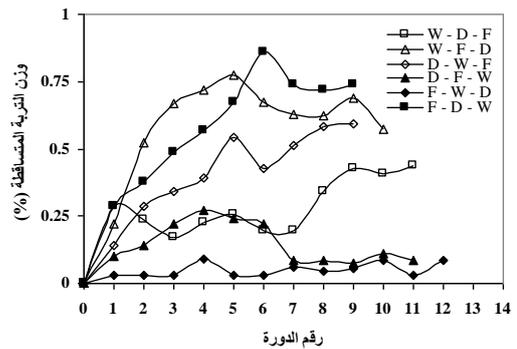
الشكل (11) تغير الحجم لتربة معاملة بالنسبة المثلى من النورة مع دورات الديمومة بالطرق المقترحة ثنائية الطور



الشكل (7) علاقة مقاومة الانضغاط غير المحصور لتربة معاملة بالنسبة المثلى من النورة مع دورات الديمومة بالطرق المقترحة ثلاثية الطور



الشكل (8) تغير نسبة فقدان بالوزن لتربة معاملة بالنسبة المثلى من النورة مع دورات الديمومة بالطرق المقترحة ثنائية الطور



الشكل (9) تغير نسبة فقدان بالوزن لتربة معاملة بالنسبة المثلى من النورة مع دورات الديمومة بالطرق المقترحة ثلاثية الطور

الجدول (1) يبين درجات الحرارة الصغرى والعظمى ومعدل الإمطار الشهرية المتساقطة في مدينة الموصل والمسجلة خلال الأعوام (2000م-2007م) وحسب ما أورده دائرة أنواع الموصل

كانون الثاني	كانون الثاني	كانون الثاني	ايلول	اب	تموز	حزيران	ايار	نيسان	اذار	شباط	كانون الثاني	الاشهر
0	5	13	19	24	24	21	15	11	4	2	1	درجة الحرارة الصغرى (س°)
19	24	33	40	45	47	41	35	29	23	18	15	درجة الحرارة العظمى (س°)
5	0	0	0	0	0	0	1	7	4	17	25	اقل معدل للإمطار المتساقطة (ملم)
105	93	34	1	1	0	4	21	93	126	135	144	اعلى معدل للإمطار المتساقطة (ملم)

الجدول (2) التركيب الكيماوي للنورة المستخدمة في البحث

H ₂ O	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	CaO	Ca(OH) ₂	المكونات
0.1	3.6	10.0	0.4	0.9	8.7	6.5	68.8	النسبة (%)

الجدول (3) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الطبيعية المستخدمة في البحث

52	حد السيولة (LL) %	حدود أتريك
25	حد اللدونة (PL) %	
27	دليل اللدونة (PI) %	
14.37	الانكماش الخطي (L.S) %	تصنيف التربة
2.72	الوزن النوعي (G _s)	
CH	حسب نظام التصنيف الموحد (U.S.C.S)	التحليل الحبيبي
A-7-6	حسب نظام التصنيف الجمعية الأمريكية للطرق (AASHTO C.S)	
1	الحصى % < 4.76 ملم	
10	0.074 ملم > الرمل % ≥ 4.76 ملم	
49	0.002 ملم > الغرين % ≥ 0.074 ملم	الفعالية (Activity)
40	الطين % ≥ 0.002 ملم	
0.675	نسبة الجبس %	الفحوصات الكيميائية
1.45	نسبة المواد العضوية %	
1.91	أملاح الكبريتات (SO ₃) %	
0.26	الأملاح الذاتية الكلية (T.S.S) %	
1.85	الرقم الهيدروجيني (pH- value)	
8.45		

الجدول (4) تأثير دورات الديمومة بالطرق المقترحة ثلاثية الطور على التغير الحجمي (سم3)
لترتبة معاملة بالنسبة المثلى من النورة

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	رقم الدورة	
	2	3.7	3.5	3.5	3	2	2	1	2	2.7	6	W	ظروف الدورة
	4-	3-	2.5-	2.5-	2-	1.5-	1-	1-	1-	1-	1	D	
	7-	5-	4-	1.5-	1-	1-	0	0	1-	3-	1-	F	
			3	3	4	5	5	6	6	7	6	W	ظروف الدورة
			10	10	11	13	12	14	13	14	12	F	
			5-	4-	4-	3-	3-	2-	1-	0	0	D	
			4-	5-	5-	4-	4-	3-	3-	3-	2-	D	ظروف الدورة
			3	4	4	5	4	5	5	6	7	W	
			9	8	8	9	10	11	9	10	10	F	
	9-	8-	8-	7-	7-	7-	7-	6-	5-	4-	6-	D	ظروف الدورة
	2-	1.5-	1.5-	2-	3-	3-	4-	4-	4.5-	5-	5.5-	F	
	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0	0	1-	1-	2-	W	
2.5	2	2.5	2	2	1	1	2	1	0	2	3.5	F	ظروف الدورة
12	10	9	8	9	11	10	10	8	6	7.5	8.5	W	
5	4	4	5	4	3	3	3	3	3	1	1	D	
			8	10	11	12	13	12	11	12	3	F	ظروف الدورة
			7-	5-	4-	4-	3-	2-	2-	2-	4-	D	
			0	2	3	4	3	4	4	3	4	W	

