

مقاومة الشد للتربة الجبسية المثبتة بالنورة

د. محمد طيب حسين الليلة* و عبدالرحمن هاني طه الزبيدي*

تاريخ الاستلام: 2009/7/8

تاريخ القبول: 2010/3/11

الخلاصة

يهدف هذا البحث إلى دراسة مقاومة الشد لتربة جبسية معاملة بالنورة تحت تأثير المتغيرات الآتية: ظروف الإنضاج التي تشمل درجة الحرارة ($60, 49, 25^0$) وفترة الإنضاج (2, 15, 30, 90, 180) يوم والمحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الجف، الرطب والأمل من منحنى الرص المعمل للتربة المثبتة، إضافة إلى ذلك تمت دراسة تأثير كل من دورات الترطيب والتجفيف على مقاومة شد التربة. تمت إضافة أربعة نسب من النورة هي (2, 3, 4, 6%) إلى التربة، ووجد أن نسبة التثبيت المثلى هي (3%). أظهرت النتائج حصول تحسن كبير في خصائص مقاومة الشد للتربة المثبتة مع زيادة درجة حرارة وفترة الإنضاج. ماعدا النماذج التي تم إنضاجها لفترة (180) يوم وعند درجتي الحرارة ($60^0, 49^0$) ولكل قيم المحتوى الرطوبي، إذ حصل انخفاض في مقاومة هذه النماذج مقارنة مع النماذج التي تم إنضاجها لمدة (90) يوم، في حين استمرت الزيادة في مقاومة الشد بالنسبة للنماذج المنضجة بدرجة الحرارة (25^0) وكافة فترات الإنضاج. بالنسبة لتأثير دورات الترطيب والتجفيف في خصائص مقاومة الشد للتربة المعاملة بالنورة، فقد تم تعويض نماذج التربة إلى (15) دورة من الترطيب والتجفيف. أظهرت النتائج أن مقاومة الشد انخفضت مع الدورك بنسبة تراوحت بين (2-64%).

الكلمات المرشدة: التربة الجبسية، مقاومة الشد، ظروف الإنضاج، الديمومة، دورات الترطيب والتجفيف.

Tensile Strength of Lime Stabilized Gypseous Soil

Abstract

This work aims to study the properties of tensile strength of lime stabilized gypseous soil considering to the following variables: curing conditions which include the temperature and duration of curing and initial water content. In addition, the effect of wetting and drying cycles on the tensile strength was carried out. The soil was stabilized with a (3%) lime as a results of the unconfined compressive strength. The results indicated a significant improvement of the tensile strengths, and increases with the curing temperature and duration. When the curing duration extended to (180) days at ($49, 60^0$), a reduction in the tensile strength occurred as compared with the samples cured for (90) days. The effect of drying and wetting cycles on the tensile strength for the lime treated soil were investigated. The treated samples were subjected to (15) cycles of drying and wetting, the results showed a reduction in the tensile strength varied between (2-64 %).

المقدمة

أعلى من مقاومة الشد للتربة. لذلك بلجأ أحيانا إلى تحسين هذه الخاصية من خلال تثبيتها بمضافات كيميائية مختلفة كالنورة أو السمنت أو أي مواد أخرى [2,3,4]. وبشكل عام فإن قياس خاصية الشد وفي معظم الأحيان لا يتم إجراءه بل تؤخذ كنسبة مئوية من مقاومة الانضغاط غير

تتميز التربة في حالتها الطبيعية بضعف مقاومتها الشدية مقارنة مع المقاومة الانضغاطية [1]. إذ إن اجهادات الشد التي يمكن أن تتولد في المنشآت الترابية خاصة في السدود والسداد الترابية، والطرق متعددة الطبقات، قد تؤدي إلى فشل هذه المنشآت إذا كانت قيم هذه الاجهادات

الديناميكي، باستعمال قالب اسطواني الشكل بأبعاد (50mm قطر x 100mm ارتفاع) ومطرقة بوزن (1652gm) تسقط من ارتفاع (285 mm) ، استخدمت طاقة الرص المعدلة Modified Compactive Effort إذ رصت النماذج بـ (5) طبقات وبواقع (24) ضربة لكل طبقة. بعد إضافة النورة بالنسبة المطلوبة تمزج جيداً مع التربة الجافة داخل كيس بلاستيكي إلى أن يتم الحصول على مزيج ذا لون متجانس تقريباً، بعد ذلك يتم إضافة الماء بالكمية المطلوبة ويمزج الخليط مرة أخرى وبشكل جيد إلى أن يتم التجانس تقريباً، ثم يترك داخل الكيس لمدة ساعة واحدة وهي فترة اللبونة (Mellowing Time) مع مراعاة غلق الكيس بإحكام وتقريبه من الهواء للتقليل من عملية الكربنة (Carbonation) التي يمكن أن تحدث إذا ما تعرض المزيج إلى جو المختبر. بالنسبة للنماذج المعاملة بنسبة النورة (3%) وهي النسبة التي تعطي أعلى قوة انضغاط غير محصور فقد تم تحضيرها عند ثلاث نسب مختلفة من المحتوى الرطوبي هي: المحتوى الرطوبي الأمثل (O.M.C) ، والمحتوى الرطوبي (O.M.C ± 2%) الذي يمثل الجانب الجاف والرطب من منحي الرص، بعد ذلك تم تغليفها وتعريضها لظروف الإنضاج المختلفة.

- إنضاج النماذج المثبتة بنسبة النورة المثلى.
تم تعريض النماذج المهيأة في الفقرة السابقة إلى فترات إنضاج مختلفة (2, 15, 30, 90, 180) يوم وعند درجات حرارة مختلفة (0, 25, 49, 60) درجة مئوية، وذلك بعد تغليفها بعدة طبقات من ورق الألمنيوم وعدة طبقات من شمع البرافين حفاظاً على الرطوبة خلال فترات الإنضاج. بالنسبة للنماذج التي تم إنضاجها عند درجة الحرارة (60⁰)

فقد تم تغليفها بعدة طبقات من ورق الألمنيوم وعدة طبقات من شمع البرافين ، بعدها غُلفت النماذج بطبقات من البلاستيك بقوة وإحكام ثم تلتها طبقات عديدة من لاصق شفاف. إن فائدة اللاصق المستخدم في تغليف النماذج هي الحفاظ على بقاء الشمع حول النموذج خلال فترة الإنضاج بدرجة حرارة (60⁰) والتي تسبب ذوبان للشمع.

- فحوصات مقاومة الشد.

1- فحص الشد غير المباشر.

أجري هذا الفحص على التربة الطبيعية والتربة المثبتة بالنورة، إذ تم تحضير النماذج باستخدام قالب ومطرقة فحص المارشال ، إذ تم رص النموذج على شكل طبقة واحدة وبمعدل (75) ضربة من كل جهة. بعد إكمال تحضير نماذج التربة الطبيعية يتم استخراجها من القالب

المحصور وهي بحدود (10%) تقريباً [1]. تتأثر مقاومة الشد (اجهادات الشد) بعوامل عديدة منها المحتوى الرطوبي [5,6,7]، درجة الحرارة وفترة الإنضاج [8,9,10]، دورات الترطيب والتجفيف [11,12] وعوامل أخرى. لذا فإن دراسة تأثير مثل هذه العوامل على هذه الخاصية ذات أهمية بالنسبة للمنشآت الهندسية ذات العلاقة ولترب مختلفة. بما أن الترب الجسبية منتشرة في مناطق كثيرة من العالم ومنها العراق، لذا فإن دراسة خاصية الشد لها مهمة. في هذا البحث تم دراسة خاصية مقاومة الشد لتربة جبسية ذات محتوى جبسي (35%) من منطقة المحلبية قرب مدينة الموصل. تم إجراء فحص الانثناء باستخدام الطريقة المرنة (Flexural Tensile Test) (Elastic Bending Theory Method) كذلك تم إجراء فحص الشد غير المباشر (Indirect Tensile Strength) ودراسة تأثير كل من دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب على خصائص الشد.

2- المواد وطرائق العمل.

التربة

اختيرت التربة المستخدمة في هذه الدراسة من منطقة المحلبية التي تقع في الجزء الجنوبي الغربي من مدينة الموصل، وتحديدًا قرب المركز الصحي من عمق يتراوح بين (2.5-3) متر. الجدول (1) يوضح بعض الخصائص الدليلية والكيميائية لهذه التربة والتي أجريت حسب مواصفات (ASTM).

- النورة.

تم في هذا البحث استعمال النورة المطفأة Hydrated Lime Ca(OH)₂ والتي تم الحصول عليها من مجمع المشراق في محافظة نينوى ويبين الجدول (2) التركيب الكيميائي للنورة المستعملة، إذ كانت من نوع (Grade B) حسب ما ذكر في نظام الإدارة العامة الأمريكية للطرق (AASHTO T – 219 – 72).

الماء

في هذا البحث تم استعمال ماء الإسالة في جميع التجارب إلا ما نصت عليه المواصفات باستخدام

الماء المقطر. Distilled water

- تحضير النماذج المثبتة بالنورة

أضيف إلى التربة أربع نسب من النورة هي (2,3,4,6%) من وزن التربة الجافة، ومنها تم إيجاد نسبة النورة اللازمة للتثبيت (Lime Stabilization Percent) وذلك حسب طريقة الينويوز (Illinois Procedure) والتي تعتمد على نتائج فحص الانضغاط غير المحصور [13] (Little, 1995)، إذ حُضرت نماذج فحص الانضغاط غير المحصور بطريقة الرص

في منطقة التحميل الوسطية والتي كانت بمسافة حوالي (100 mm). تم تسليط الحمل على النماذج وبسرعة تحميل تساوي (0.254 mm/min) وتم اخذ قراءات الأود (Deflection) عند كل (30) ثانية وبعضها كل (60) ثانية اعتماداً على قوة النموذج. تم قياس الأود (Deflection) الحاصل في النموذج خلال فحص الانثناء، إذ لصقت قطعة زجاجية مستطيلة الشكل ذات سمك مناسب في المنطقة الوسطى السفلية للنموذج (أسفل مركز النموذج) وتم استخدام Dial Gauge بحساسية تساوي (0.002 mm/div) للحصول على قراءات دقيقة تستخدم لحساب مقدار الانفعال الحاصل في منطقة الشد وحسب الطريقة المرنة (Elastic Bending Theory Method) المستخدمة في التحليل.

- دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب.

تمت دراسة تأثير كل من دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب على كل من مقاومة شد الانثناء، مقاومة الشد غير المباشر لنماذج التربة المثبتة بنسبة النورة المثلى (3%) والمرصوة عند المحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الرطب من منحني الرص بقيمة تساوي (2% O.M.C.) ، إذ تم إنضاج هذه النماذج بدرجة حرارة (490 C) لمدة (15) يوم. غمرت نماذج كل من فحص الانثناء، فحص الشد غير المباشر في حوض ماء. تركت النماذج داخل حوض الماء لمدة يومين (وهي المدة التي تم تحديدها للترطيب) وبعد انتهاء هذه المدة تستخرج النماذج من داخل الحوض ويتم تجفيف سطحها الخارجي بقطعة من القماش مع مراعاة الحفاظ على سلامة النموذج (أي الحفاظ على عدم تساقط التربة من جوانب النموذج) ، ثم يتم قياس حجم النماذج وأخذ وزنها، بعد ذلك توضع النماذج في الفرن بدرجة حرارة (60⁰ C) لمدة يومين (وهي المدة التي تم تحديدها للتجفيف) وبعد انتهاء هذه المدة تستخرج النماذج من داخل الفرن ثم يتم اخذ الوزن والحجم لها. أتبع هذا الأسلوب لكل من نماذج الترطيب/التجفيف ونماذج التجفيف/الترطيب. تم فحص هذه النماذج بعد تعرضها لـ (3,5,8,10,15) دورة. إن الغاية من هذه الفحوصات هي معرفة ديمومة التربة ومدى تأثرها بالدورات، وكذلك معرفة الدورة التي تسبب اكبر نقصان في قيم المقاومة. بعد انتهاء كل دورة من الدورات المقررة في أعلاه والتي يتم فحص النماذج بعدها، يتم غمر النماذج لمدة (2) يوم قبل إجراء الفحص، الغاية من هذه العملية هي تقليل تأثير المحتوى الرطوبي للنماذج وتهيئة

وتخصص مباشرة، أما بالنسبة للنماذج المثبتة بنسب النورة المختلفة يتم تعريضها لفترة الإنضاج الأولية (إنضاج لمدة يومين بدرجة حرارة 49⁰) ثم بعد ذلك يتم فحصها. تم إجراء هذا الفحص حسب الطريقة المعتمدة من قبل الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية (ASTM(D4123-82) ، وذلك بتسليط قوة انضغاطية على طول قطر النموذج،

وبمعدل (1.27 mm/min) لحين فشل النموذج، ويتم حساب مقاومة الشد غير المباشر من المعادلة أدناه:-

$$S_t = \frac{2P_{max}}{p t d}$$

إذ:

S_t = مقاومة الشد غير المباشر.

P_{max} = الحمل الأقصى المسلط على النموذج.

t = معدل ارتفاع النموذج.

d = قطر النموذج.

-2 فحص الانثناء.

- تحضير النماذج.

أستخدم قالب معدني مستطيل الشكل بأبعاد (mm 300*50*50) ذي جوانب منزلقية لتحضير النماذج، إذ تم رص التربة فيه على شكل أربع طبقات وبعدد ضربات يساوي (110) ضربة لكل طبقة باستخدام مطرقة تزن (1652 gm) تسقط من مسافة (285 mm) على قاعدة مربعة الشكل بأبعاد (40*40mm) لكي تعطي طاقة الرص المعدلة (Modified Compacted Effort). بعد إكمال عملية الرص يستخرج النموذج من داخل القالب ويغلف بكيس بلاستيكي إلى أن يتم فحصه لمنع فقدان الرطوبة، هذا بالنسبة لنماذج التربة الطبيعية. أما بالنسبة للنماذج المثبتة بنسب النورة المختلفة يتم تعريضها لفترة إنضاج لمدة يومين بدرجة حرارة 49⁰ ثم بعد ذلك يتم فحصها كذلك بالنسبة للنماذج المثبتة بنسبة التثبيت المثلى بالنورة (3%) تم تعريضها لظروف الإنضاج المختلفة وكما ذكر سابقاً ، وتم إتباع نفس الأسلوب المذكور في تحضير النماذج عند محتوى رطوبي مختلف.

- إجراء فحص الانثناء.

تم فحص النماذج التي هي على شكل عتبة (Beam) حسب الطريقة المذكورة في المواصفات البريطانية (B.S. 1881 Part 118) ، وذلك باستخدام نقطتي تحميل (Two Point Loading) للحصول على عزم ذي مقدار ثابت

ظروف فحص مشابهة لجميع النماذج التي تعرضت للدورات.

- النتائج والمناقشة

- خصائص الرص

يبين الشكل (1) منحنيات الرص المعدلة للتربة الطبيعية والتربة المعاملة بنسب النورة المختلفة (2, 3, 4, 6 %). إذ يلاحظ انخفاض في وحدة الوزن الجاف وحصول زيادة في قيم المحتوى الرطوبي الأمثل مع زيادة نسبة النورة المضافة. إن الانخفاض الحاصل في وحدة الوزن الجاف نتيجة إضافة النورة إلى التربة، يعود إلى ظاهري التليد-التزغيب التي تصاحب التفاعلات الأينية في حالة مزج النورة مع التربة، والزيادة في قيم المحتوى الرطوبي الأمثل تعود إلى ميل النورة للاتحاد بالماء لغرض إكمال التميؤ. نلاحظ أيضاً أن نسب النورة المضافة إلى التربة كانت ذات تأثير قليل على خصائص الرص، إذ كان معدل النقصان في وحدة الوزن الجاف ومعدل الزيادة في قيم المحتوى الرطوبي الأمثل قليلاً، فنلاحظ تقارب شديد بين هذه القيم. إن سبب هذا التأثير القليل للنورة على وحدة الوزن الجاف والمحتوى الرطوبي الأمثل ربما يعود للنسبة القليلة للمواد الطينية الموجودة في التربة ونسبة الأملاح العالية.

- مقاومة الانضغاط غير المحصور

تم احتساب مقاومة الانضغاط غير المحصور (UCS) للتربة الطبيعية والتربة المعاملة بنسب النورة المختلفة والتي تم إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة (49⁰C) عند قيم محتوى رطوبي مختلف من منحنى الرص المعدل للتربة. أظهرت نتائج فحص الانضغاط غير المحصور تحسن كبير في قيم هذه المقاومة. يبين الشكل (2) أعلى مقاومة انضغاط غير المحصور حدثت عند نسبة نورة (3%)، كذلك نلاحظ أن مقاومة الانضغاط غير المحصور تقل مع زيادة نسب النورة المضافة، بسبب كون النورة مادة غير متماسكة (Cohesionless Material) تعمل على تقليل مقاومة الانضغاط غير المحصور عند عدم تفاعلها مع التربة.

لأختيار القيمة المثلى للتثبيت بالنورة، أعمدت طريقة الينويز (Illinois Procedure) التي تعتمد على نتائج فحص الانضغاط غير المحصور لنماذج التربة المضاف لها نسب مختلفة من النورة ومنضجة بدرجة حرارة (49⁰) ولمدة يومين. إذ تعتبر نسبة النورة التي تعطي أعلى مقاومة انضغاط غير محصور هي النسبة المثلى للتثبيت، وكانت هذه النسبة هي (3%). كذلك أعطت هذه النسبة أعلى مقاومة شد غير مباشر كما سيذكر لاحقاً وأعلى مقاومة شد الانتشاء، من خلال

- مقاومة الشد غير المباشر

يبين الشكل (3) مقاومة الشد غير المباشر (I.T.S) نماذج التربة الطبيعية والتربة المضاف إليها نسب النورة المختلفة. إذ تم فحص النماذج المثبتة بعد إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة (49⁰) وكانت أعلى مقاومة شد غير مباشر تحدث عند نسبة النورة (3%)، إذ ازدادت مقاومة الشد غير المباشر من (78 kN/m²) للتربة الطبيعية إلى (430 kN/m²) للتربة المعاملة بالنورة. كذلك يلاحظ أن أعلى مقاومة شد غير مباشر والتي حدثت عند نسب النورة (6 %) (4) كانت عند محتوى رطوبي عالي نسبياً.

- مقاومة شد الانتشاء

يوضح الشكل (4) مقاومة شد الانتشاء (F.T.S) للتربة الطبيعية والتربة المعاملة بنسب مختلفة من النورة والمحسوبة بالطريقة المرنة. يلاحظ من الشكل أن مقاومة شد الانتشاء ازدادت من (86 kN/m²) للتربة الطبيعية إلى (870 kN/m²) للتربة المعاملة بنسبة (3%) نورة عند إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة (49⁰C)، وهي أعلى مقاومة شد حصلت مقارنة مع نسب النورة الأخرى. كما يلاحظ أن المحتوى الرطوبي الذي حدثت به أعلى مقاومة شد كان عالياً نسبياً لنسبة النورة (4, 6 %).

- تأثير ظروف الإنضاج على خصائص مقاومة الشد

توضح الأشكال (5,6) قيم مقاومة شد الانتشاء المحسوبة بالطريقة المرنة، ومقاومة الشد غير المباشر تحت تأثير درجات الحرارة ولفترات إنضاج مختلفة، ومحتوى رطوبي مختلف. تشير النتائج إلى أن قوة الشد بنوعها تزداد مع زيادة درجة الحرارة وكذلك مع زيادة فترة الإنضاج، ماعدا النماذج التي تم إنضاجها لفترة (180) يوم وبدرجة حرارة (49⁰, 60) فإن قوة الشد قلت عن قوة النماذج التي أنضجت لفترة (90) يوم إن سبب زيادة قوة الشد مع زيادة فترة الإنضاج ودرجة الحرارة، يعود إلى أن رفع درجة حرارة الإنضاج يؤثر على التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين التربة والنورة مسبباً تعجيل في التفاعلات البوزولانية، وهذا بدوره أكسب النماذج زيادة في مقاومة الشد. وقد توصل كل من [15, 14] إلى نتائج مشابهة. إن اختلاف قيم درجات حرارة الإنضاج سبب مراحل متفاوتة في مقادير زيادة المقاومة التي اكتسبتها النماذج لكل فترة إنضاج، إذ كانت درجة حرارة الإنضاج (60⁰) وهي أعلى درجة أنضجت النماذج فيها، ذات تأثير كبير مقارنة مع بقية الدرجات الأخرى.

من خلال النتائج المبينة في الشكل (8)، يلاحظ بصورة عامة حصول انخفاض في مقاومة شد الانتشاء والشد غير المباشر للتربة المعاملة بالنورة نتيجة التعرض لكل من دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب. كذلك يلاحظ أن مقدار الانخفاض في مقاومة الشد للنماذج التي بدأت بالتجفيف كان أقل من الانخفاض في مقاومة الشد للنماذج التي بدأت بالترطيب. السبب يعود لتأثير عملية التجفيف التي حدثت بالدورة الأولى والتي ساعدت على زيادة التفاعلات البوزولانية في المراحل الأولى، أكثر مما حدث في الدورة الأولى من عملية الترطيب إذ كانت تجري بدرجة حرارة الماء والتي كانت بحدود (3 ± 25^0) . كذلك يلاحظ أن مقاومة الشد للنماذج المعرضة لخمسة دورات ازدادت عن مقاومة النماذج التي تعرضت لثلاثة دورات ثم بعدها انخفضت المقاومة مع زيادة عدد الدورات، والسبب لهذه الظاهرة هو تداخل تأثير الدورات والتي تقلل من المقاومة مع التفاعلات البوزولانية والتي تساعد على زيادة المقاومة. يبين الجدول السابق أن نسبة النقصان في مقاومة الشد غير المباشر كانت أقل من نسبة النقصان في مقاومة شد الانتشاء، وأن مقاومة هذه النماذج عند الدورة الخامسة وفي حالة النماذج التي بدأت بعملية التجفيف كانت أعلى من مقاومة النماذج قبل التعرض لمثل هذه الدورات، إذ قد يرجع السبب في هذه الزيادة إلى التفاعلات البوزولانية التي حدثت خلال الدورات.

- التغير في الحجم.

يوضح الشكل (9) مقدار التغير الحاصل في الحجم مع كل من دورات الترطيب/التجفيف ودورات التجفيف/الترطيب لنماذج فحص الانتشاء، وفحص الشد غير المباشر. يلاحظ من هذه الأشكال وبصورة عامة حصول زيادة في حجم النماذج التي بدأت بالتجفيف خلال الدورات الأولى من التجفيف والترطيب، وذلك بسبب ضغط بخار الماء المتولد خلال عملية التجفيف إذ ينتقل هذا الضغط من الداخل إلى الخارج مسبباً زيادة في الحجم، كذلك يُلاحظ حصول نقصان مستمر في حجم هذه النماذج مع ازدياد عدد الدورات التي تعرضت لها. سجلت نماذج فحص الانتشاء خاصة النماذج التي بدأت بالتجفيف ثم الترطيب أعلى نسبة تغير (نقصان) في الحجم، تليها نماذج فحص الشد غير المباشر.

- التغير في المحتوى الجبسي.

تم قياس نسبة الجبس في نماذج التربة المعرضة لتأثير الدورات بدءاً بدورات الترطيب وكذلك بدورات التجفيف وللدورات (3، 5، 8، 10، 15) دورة. كذلك تم قياس نسبة الجبس في نماذج التربة

إن إمكانية استمرار التفاعلات البوزولانية يعتمد على بقاء الظروف الملائمة لاستمرار التفاعل كنسبة النورة المتوفرة، كمية المعادن الطينية المتبقية، بالإضافة إلى المحتوى الرطوبي لذلك فإن استنفاد أي عنصر من هذه العناصر يسبب توقف هذا التفاعل. إن انخفاض مقاومة الشد للنماذج عند فترة الإنضاج (180) يوم وتحت درجة حرارة $(49^0, 60)$ ، ربما كان سبب توقف التفاعلات البوزولانية. لذلك توقفت الزيادة في قوة الشد للنماذج ومع الوقت بدأت القوة بالانخفاض بسبب تكون مادة الاترنكايت (Ettringite)، التي تتكون في حالة توفر الظروف المناسبة لها، مثل وجود النورة، الكبريتات، درجة الحرارة، المحتوى الرطوبي، إضافة إلى المعادن الطينية [16, 17]. إذ تتميز هذه المادة بزيادة حجمها مع الوقت مقارنة مع حجم المواد الداخلة في التفاعل، لذا فإن تكونها داخل هيكل التربة القوي ومع مرور الوقت يكبر حجمها وهذا يؤدي إلى إضعاف التربة بسبب تكوين شبكة من التشققات داخل هيكل التربة، التي تعمل على تكسر بعض الأواصر المتكونة بين جزيئات التربة بذلك تضعف المقاومة.

- تأثير المحتوى الرطوبي على خصائص مقاومة الشد.

إن المحتوى الرطوبي يؤثر على مقاومة الشد بنوعيتها، ويلاحظ من الشكل (7) وبشكل عام، أن مقاومة شد الانتشاء للنماذج التي رصت عند محتوى رطوبي يمثل الجانب الرطب من منحنى الرص، أعلى من مقاومة النماذج التي رصت بمحتوى رطوبي أقل منه، أما تأثير المحتوى الرطوبي في مقاومة الشد غير المباشر كان مشابهاً في تأثيره على مقاومة شد الانتشاء. إن السبب في زيادة قوة الشد يعود إلى المحتوى الرطوبي العالي ودوره في استمرار التفاعلات البوزولانية بشكل أفضل من المحتوى الرطوبي القليل، خاصة في حالة وجود كمية إضافية من النورة والمعادن الطينية.

- تأثير كل من دورات الترطيب/التجفيف والتجفيف/الترطيب في خصائص مقاومة الشد.

تمت دراسة تأثير كل من دورات الترطيب/التجفيف والتجفيف/الترطيب في مقاومة الشد بنوعيتها لنماذج التربة التي رصت عند المحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الرطب من منحنى الرص وتم إنضاجها لمدة (15) يوم بدرجة حرارة (49^0) ، لإعطائها أعلى قوة شد مقارنة بالنماذج المرصوة عند قيم الرطوبة الأخرى. كذلك سُجلت خلالها التغيرات الحاصلة في الحجم، والتغير في نسبة الجبس.

- التغير في مقاومة الشد.

نسبة للتغير الحجمي تحصل للنماذج التي بدأت بالتجفيف.
6. حدث نقصان مستمر في نسبة الجبس الموجودة في التربة مع ازدياد دورات الترطيب والتجفيف.

المصادر.

- [1]Ingles O. G. and Metcalf J. B. (1972) "Soil Stabilization Principles and Practice" Sydney, Butterworth.
- [2]Al-Omar, A. J. A. (1983) "Tensile Strength of Lime-Stabilized Cohesive Soil", M.Sc. Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Texas.
- [3]Al-Bayati, A. H. Nuri, T. M. and Salih, S.M. (1997), "Flexural Strength of Reinforced Soil Beams", Journal of Al-Rafidain Engg., Vol.5, No.2, PP.24-33.
- [4]Jaro, M. N. (2000) "Effect of Fine Material on the Tensile Strength Properties of Unstabilized and Cement-Stabilized Granular Soil", M. Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul.
- Ajaz, A. and Parry, R. H. G.[5] (1975) "Stress-Strain Behavior of Two Compacted Clays in Tension and Compression", Journal of Geotechnical
- [6]Baghdadi, Z. A. Fatani, M. N. and Sabban, N. A. (1995) "Soil Modification by Cement Kiln Dust", Journal of materials in civil Engg., Vol.7, No.4, PP.218-222.
- [7]Consoli, N. C. Prietto, P. D. M. Carraro, J. A. H. and Heineck, K. S. (2001) "Behavior of Compacted Soil-Fly Ash Carbide Lime Mixture", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engg., ASCE, Vol.127, No.9, PP.774-782.
- [8]Ghosh, A. and Subbarao, C. (2006) "Tensile Strength Bearing Ratio and Slake Durability of Class F Fly Ash Stabilized with Lime and Gypsum", Journal of Materials in

المعاملة بالنورة والمرصوصة عند الجانب الرطب من منحي الرص والمنضجة بدرجة حرارة (49⁰) قبل تعرضها للدورات أعلاه. يوضح الشكل (10) مقدار التغير في المحتوى الجبسي مع عدد الدورات، إذ يقل المحتوى الجبسي في التربة مع زيادة عدد دورات الترطيب والتجفيف. كذلك يلاحظ أن نسبة النقصان في المحتوى الجبسي للنماذج التي بدأت بالتجفيف أعلى قليلاً من نسبة النقصان للنماذج التي بدأت بالترطيب، وذلك بسبب فترة الغمر الإضافية اللازمة لإجراء الفحص والتي كانت لمدة (2) يوم، إذ كانت النماذج التي تبدأ بالتجفيف تنتهي عند فترة الترطيب والتي كانت لمدة (2) يوم أيضاً، بذلك تكون هذه النماذج معرضة إلى (4) أيام غمر قبل فحصها الأمر الذي زاد من نسبة الجبس المذاب من داخل تلك النماذج. أما بالنسبة لتأثير النورة المضافة على المحتوى الجبسي، يلاحظ أن نسبة الجبس بعد إضافة النورة قلت من (35%) للتربة الطبيعية إلى (32%) للتربة المعاملة بنسبة النورة المثلى، ذلك لأن جزء من الجبس استهلك خلال التفاعلات البوزولانية والتي استمرت لمدة (15) يوم، أو أن النورة قد غلفت بعض جزيئاته فقلت نسبته.

الاستنتاجات

1. أن نسبة النورة التي أعطت أعلى مقاومة انضغاط غير محصور هي (3%)، ونفس النسبة أعطت أعلى مقاومة شد.
2. بالنسبة لتأثير ظروف الإنضاج (درجة الحرارة وفترة الإنضاج)، حصلت زيادة في مقاومة الشد مع زيادة درجة الحرارة وفترة الإنضاج. عدا فترة (180) يوم وعند درجة الحرارة (49⁰، 60) فقد انخفضت المقاومة عن التي قبلها.
3. بالنسبة لتأثير المحتوى الرطوبي، أعطت النماذج التي رصت عند الجانب الرطب من منحي الرص وبشكل عام، أعلى مقاومة شد، من النماذج التي تم رصها بالمحتوى الرطوبي الأمثل والمحتوى الرطوبي الأقل منه.
4. بالنسبة لتأثير دورات الترطيب والتجفيف ودورات التجفيف والترطيب، عموماً حصل انخفاض في مقاومة الشد مع زيادة عدد الدورات وبنسبة تراوحت بين (70 - %) (2)، كذلك كانت مقاومة النماذج التي بدأت بالتجفيف أعلى من مقاومة النماذج التي بدأت بالترطيب.
5. تميز التغير الحجمي للنماذج المعرضة لتأثير دورات الترطيب ودورات التجفيف بالنقصان المستمر وبشكل عام، فكانت أعلى

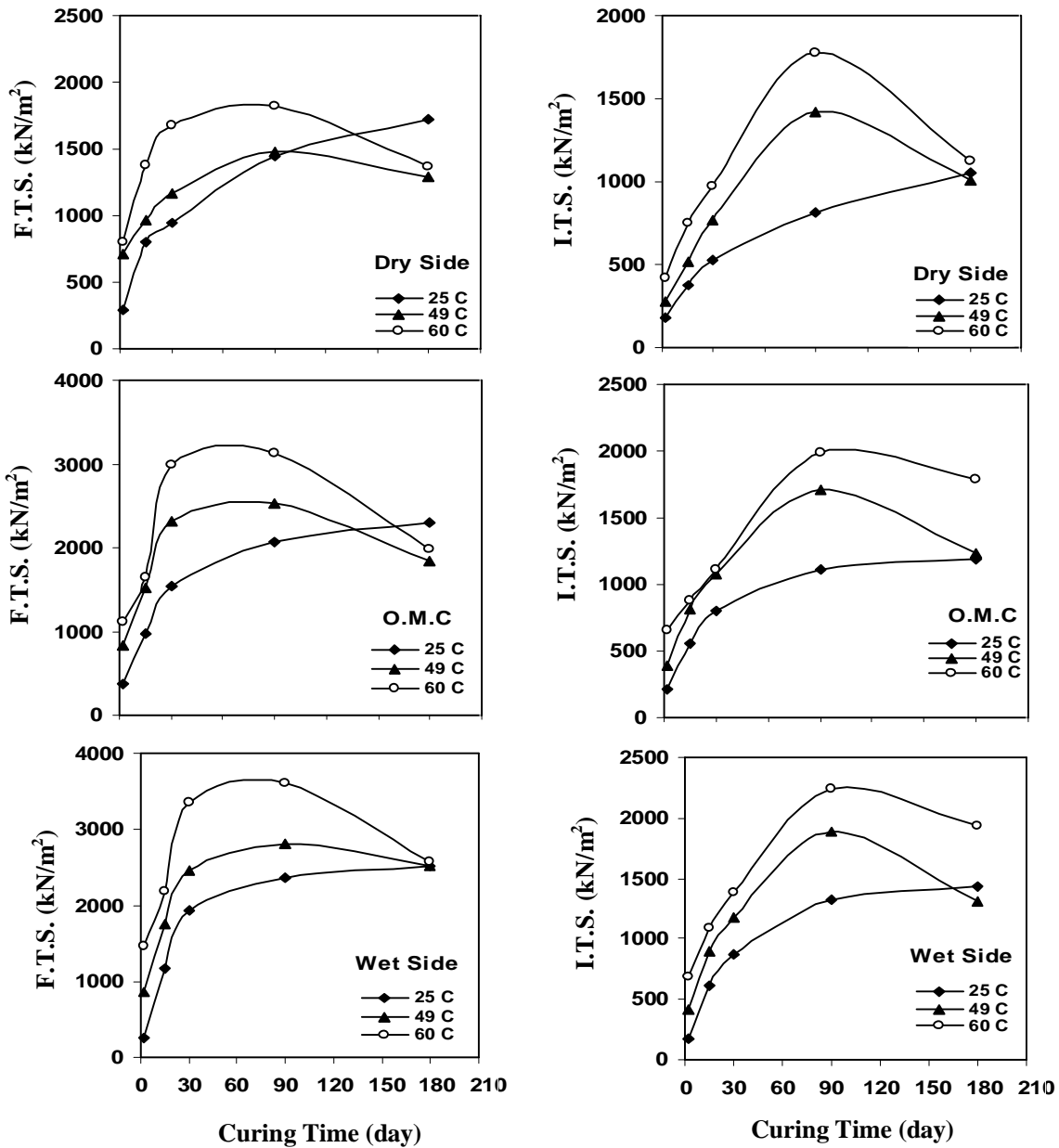
- (2007) "Tensile Strength of Natural and Lime Stabilized Mosul Clay", Accepted for Publishing in Journal of Al-Rafidain Engg
- 11 الزبيدي، عبدالرحمن هاني طه (2007) "مقاومة الشد للتربة الجسسية الحاوية على نسبة من الأملاح المذابة والمثبتة بالنورة"، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل
- 12 محمد، ربيع أياد (2008) "تأثير الديمومة على مقاومة الشد للترب المثبتة"، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل
- [13] Little, D.N. (1995) "Handbook for Stabilization of Pavement Sub Grade and Base Courses with Lime", Kendall Hunt Publishing Company, Iowa, USA, by National Lime Association.
- [14] Al-Obydi, M. A. (1992) "Lime Stabilization of Gypseous Soils", M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul.
- 15 الداود، أسماء أحمد علي (2006) "تأثير ظروف الإنضاج على بعض الخواص Civil Engg., ASCE, Vol.18, No.1, PP.18-27.
- الهندسية لتربة طينية معاملة بالنورة"، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل
- [16] Hunter, D. (1988) "Lime-Induced Heave in Sulfate-Bearing Clay Soils", Journal of Geotechnical Engg., ASCE, Vol.114, No.2, PP.150-167.
- [17] Jahanshahi, M. (2005) "An Improvement Method for Swell Problem in Sulfate Soils that Stabilized by Lime", American Journal of Applied Sciences, Vol.2, No.7, PP.1121-1128.
- [9] Ismaiel, H. A. H. (2006) "Treatment and Improvement of the Geotechnical Properties of Different Soft Fine-Grained Soils Using Chemical Stabilization", Ph.D. Thesis, Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät, University of Halle-Wittenberg.
- [10] Al-Layla, M.T. Al-Dabbagh, A.W. and Jaro, M.N.

الجدول (1) خواص التربة الطبيعية

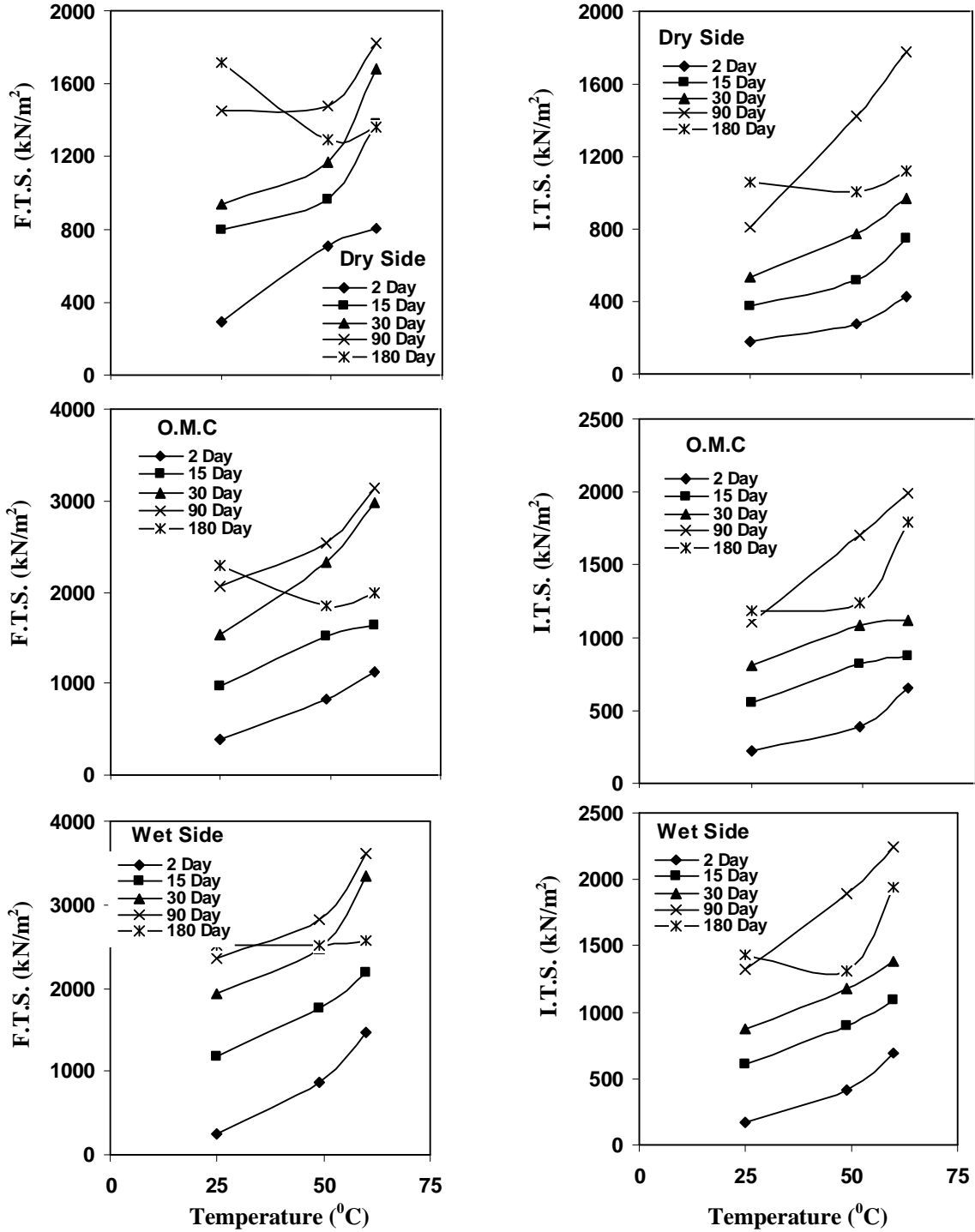
القيمة (Value)	الخاصية (Property)
35	نسبة الجبس (%)
1.32	نسبة أملاح الكبريتات (SO ₃) (%)
0.284	محتوى المواد العضوية (%)
2.41	الوزن النوعي (Gs)
NP	حد السيولة (L.L) (%)
NP	حد اللدونة (P.L) (%)
-----	لدليل اللدونة (P.I) (%)
7.28	الرقم الهيدروجيني (pH)
74	نسبة الرمل (%)
11	نسبة الغرين (%)
15	نسبة الطين (%)
74	نسبة الرمل (%)
16	نسبة الغرين (%)
10	نسبة الطين (%)
SC-SM	نظام التصنيف الموحد
A -3 (0)	نظام الإدارة العامة الأمريكية للطرق

الجدول (2) التركيب الكيماوي للنورة

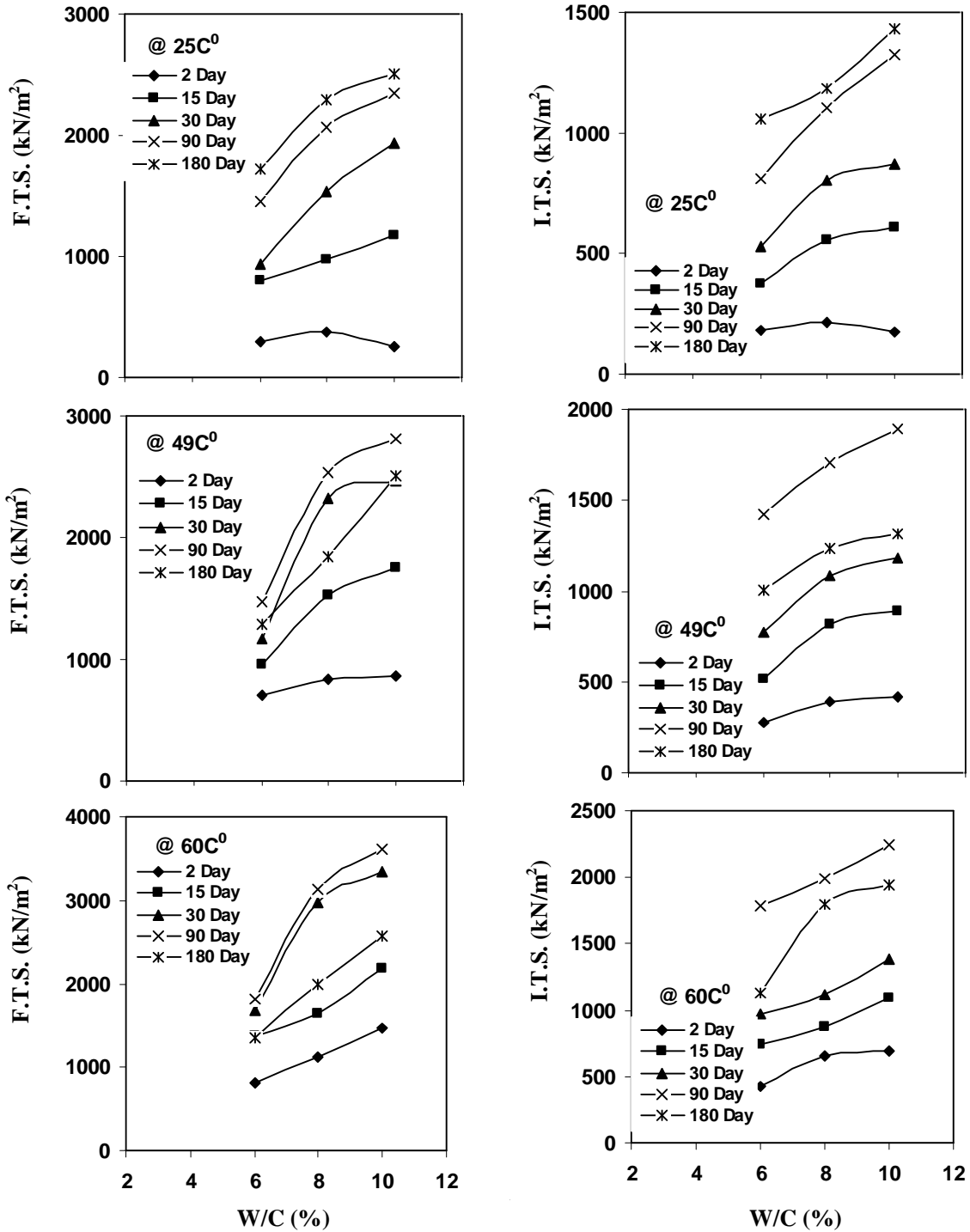
H ₂ O	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	CaO	Ca(OH) ₂	المكونات
0.08	3.89	11.36	0.05	0.16	5.53	6.43	72.5	النسبة (%)



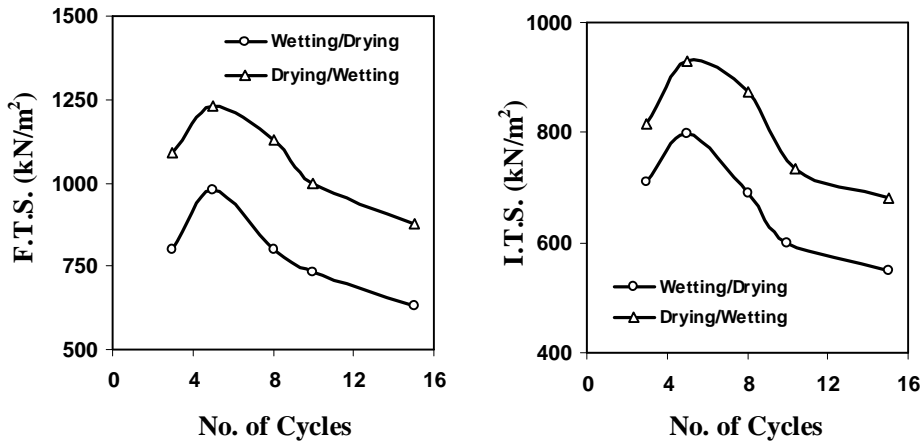
الشكل (5) تأثير فترة الإنضاج على مقاومة الشد



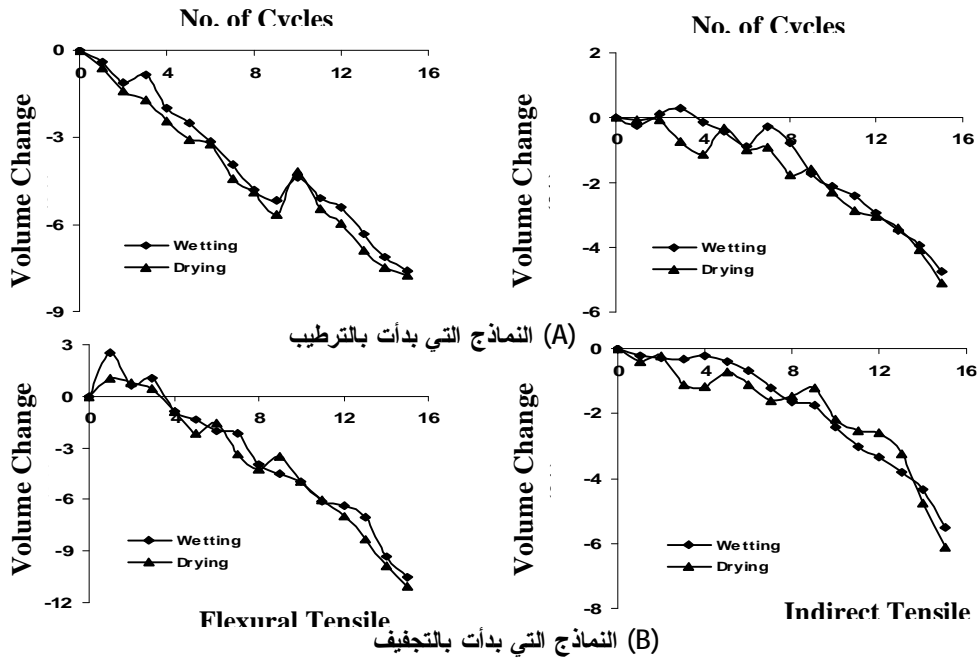
الشكل (6) تأثير درجة حرارة الإضاج على مقاومة الشد



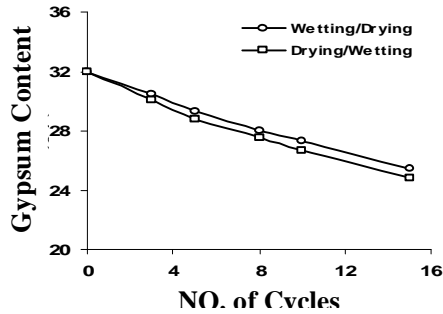
الشكل (7) العلاقة بين المحتوى الرطوبي ومقاومة الشد



الشكل (8) تغير مقاومة الشد مع كل من دورات الترطيب ودورات التجفيف



الشكا، (9) التغد بالحدد لنماذج فحص الشد مع الدهرات



الشكا، (10) تأثدا كل من دورات الترطيب ودورات التجفيف على نسبة المحتة من الحسار