

سلوكية عتبات التربة الجبسية المثبتة بالنورة تحت تأثير الأحمال الساكنة

عبدالرحمن هاني طه الزبيدي

مدرس مساعد

د. محمد طيب حسين الليلة

أستاذ

كلية الهندسة - جامعة الموصل

الخلاصة

يهدف هذا البحث إلى دراسة منحنيات الإجهاد-الانفعال، لتربة جبسية تعرضت إلى إجهادات شد. حيث تم معالجة التربة بنسبة (3%) نورة وهي النسبة المفضلة ثم حضرت نماذج بأبعاد (300×50×50 mm) وبطريقة الرص المعدلة وبمحتوى رطوبي يمثل الجانب الجاف و الأمثل ثم الرطب من منحنى الرص. بعدها تم إنضاج النماذج بدرجة الحرارة (C 25⁰, 49, 60) ولفترة (2, 15, 30, 90, 180) يوم. جرى تحليل النتائج التي تم الحصول عليها من فحص الانثناء وباستعمال ثلاث طرائق للتحليل، هي الطريقة المرنة، الطريقة المباشرة، والطريقة التفاضلية. كانت نتائج مقاومة الشد وحسب الطريقة المرنة والطريقة المباشرة وبصورة عامة متقاربة. في حين كانت مقاومة الشد المحسوبة بالطريقة التفاضلية أقل من الطريقتين السابقتين. كذلك كانت منحنيات الإجهاد-الانفعال التي تم الحصول عليها من الطريقة المرنة منتظمة، في حين كانت المنحنيات غير منتظمة عند حسابها بالطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية، ماعدا منحنيات النماذج التي تم رصها عند المحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الجاف من منحنى الرص فقد كانت منتظمة.

Behavior of Lime Stabilized Gypseous Soil Beams Under static Loads

M. T. Al- Layla
Professor

A. H. Al – Zubaydi
Ass. Lecture

University of Mosul – College of Engineering

Abstract

This work aims to study the stress-strain curves of soil samples subjected to tensile stress. The samples (50*50*300 mm) were prepared from lime stabilized gypseous soil using (3%) lime as stabilization percent. The samples were cured at (25,49 and 60⁰C) for a period of (2,15,30,90 and 180) days. The results obtained from flexural tensile tests were analyzed using three methods of analysis. These methods are, the elastic bending theory, direct, and differential method. The elastic and the direct methods gave, generally similar results of the soil flexural tensile stress while the differential method gave lower values. Also the tensile stress-strain curves obtained by the elastic method were consistent, while the curves from direct and differential methods are in consistent, with the exception of the samples compacted at the dry side of the compaction curve.

1- المقدمة

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

إن الاجهادات المسلطة على طبقات الطريق تؤدي إلى ظهور عيوب على سطح الطريق، تتمثل بانتشار التشققات وربما التموجات وفي بعض الأحيان يحصل هبوط في بعض أجزائه، إذا كانت مقاومة طبقات الطريق (طبقة الأرض الطبيعية Sub grade ، طبقة ماتحت الأساس Sub base وطبقة الأساس Base) غير مناسبة [2]. في حالة تجاوز هذه الاجهادات لقيم اجهادات الشد لطبقات الطريق تبدأ التشققات بالانتشار داخل هذه الطبقات مسببة ضعف في قوة تحملها، مما يؤثر في الطبقة التي تحتها وقد يؤدي هذا إلى حدوث فشل في الطريق [3,4,5]. في هذا البحث تمت دراسة سلوكية منحنيات الإجهاد-الانفعال لتربة جيسية ذات محتوى جيسي (35%) من منطقة المحلية قرب مدينة الموصل، مثبتة بنسبة (3%) نورة وتم إجراء فحص الانثناء (Flexural Tensile Test) وتحليل النتائج باستخدام الطريقة المرنة (Elastic Bending Theory Method) والطريقة المباشرة (Direct Method) والطريقة التفاضلية (Differential Method).

2- المواد وطرائق العمل

1-2 التربة

اختيرت التربة المستخدمة في هذه الدراسة من منطقة المحلية التي تقع في الجزء الجنوبي الغربي من مدينة الموصل، وتحديداً 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).

2-2 النورة

تم في هذا البحث استعمال النورة المطفأة Ca(OH)_2 Hydrated Lime والتي تم الحصول عليها من مجمع المشراق في محافظة نينوى وبين الجدول (2) التركيب الكيماوي للنورة المستعملة، إذ كانت من نوع (Grade B) حسب ماذكر في نظام الإدارة العامة الأمريكية للطرق (AASHTO T - 219 - 72).

2-3 الماء

في هذا البحث تم استعمال ماء الإسالة في جميع التجارب إلا ما نصت عليه المواصفات باستخدام الماء المقطر Distilled water .

- تحضير وإنضاج النماذج المثبتة بالنورة.

تم إيجاد نسبة النورة المثلى (Optimum Lime Percent) وذلك حسب طريقة الينويز (Illinois Procedure) والتي تعتمد على نتائج فحص الانضغاط غير المحصور [6]، وكانت النسبة (3%). تم تحضير نماذج التربة المثبتة بالنسبة المثلى للنورة عند ثلاث نسب مختلفة من المحتوى الرطوبي هي: المحتوى الرطوبي الأمثل (O.M.C) ، والمحتوى الرطوبي ($\pm 2\%$ O.M.C) الذي يمثل الجانب الجاف والرطب من منحي الرص، بعد ذلك تم تغليفها وتعريضها لظروف الإنضاج المختلفة وهي (2,15,30,90,180) يوم وعند درجات حرارة مختلفة (25,49,60) درجة مئوية.

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) (%)
-----	دليل 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 (%)

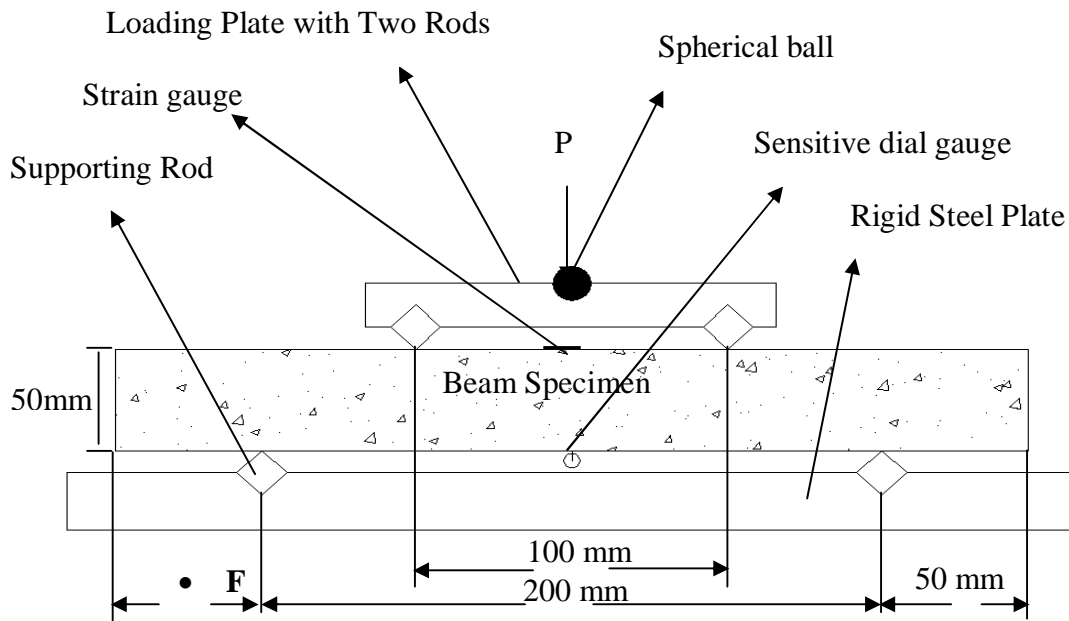
3-فحص الانتشاء

3-1 تحضير النماذج

أستخدم قالب معدني مستطيل الشكل بأبعاد (300*50*50 mm) ذي جوانب منزلفة لتحضير النماذج، إذ تم رص التربة فيه لتعطي 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 بنسبة التثبيت المتلى بالنورة (3%) تم تعريضها لظروف الإنضاج المختلفة وكما ذكر سابقاً.

3-2 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 في منطقة التحميل الوسطية والتي كانت بمسافة (100 mm). تم تسليط الحمل على النماذج وبسرعة تحميل تساوي (0.254 mm/min) وتم اخذ قراءات الأود (Deflection) عند كل (30) ثانية. 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. الصورة (1) توضح الرسم التخطيطي لطريقة فحص الانثناء.



الصورة (1) رسم تخطيطي يوضح طريقة فحص الانثناء (Flexural Test)

4- طرائق تحليل الإجهاد في العتبة.

إن تحليل الإجهاد الحاصل في العتبة خلال فحص الانثناء يمكن أن يتم باستخدام ثلاث طرائق للتحليل [7] هذه

الطرائق هي:-

1. الطريقة المباشرة Direct Method .
2. الطريقة التفاضلية Differential Method .
3. الطريقة المرنة Elastic Bending Theory Method .

استخدمت الطرائق أعلاه لحساب إجهاد الشد (Tensile Stress) الذي يحصل في أسفل العتبة وإجهاد الانضغاط (Compressive Stress) الذي يحصل في أعلى العتبة خلال تسليط عزم الانحناء. بالنسبة لكل من الطريقة الأولى والثانية من طرائق التحليل، تم حساب الإجهاد من خلال العزم المسلط على العتبة ومن خلال الانفعال (Strain)

المقاس في منطقة الشد ومنطقة الانضغاط، والذي تم باستخدام مقاييس الانفعال (Electrical Strain Gauges) وجهاز قياس الانفعال (Strain Meter) وكان الربط بين هذه المقاييس من نوع (Half Bridge). أما بالنسبة للطريقة الثالثة، فقد تم حساب الاجهادات والانفعالات في كل من منطقة الشد ومنطقة الانضغاط من خلال العزم المسلط على العتبة ومن خلال الأود (Deflection) المقاس عند منتصف العتبة.

1-4 الطريقة المباشرة

في هذه الطريقة تم افتراض بقاء المقاطع المستوية (Plane sections) على حالتها حتى بعد تسليط العزم (أي لا يحصل بها انحناء) ، هذا يعني إن الإجهاد يتغير خطياً تبعاً للانفعال، ولكن معامل التشوه (Deformation Modulus) في منطقة الشد يمكن أن يختلف عنه في منطقة الضغط وذلك لان المحور المتعادل (Neutral axis) ليس بالضرورة أن يكون في منتصف ارتفاع العتبة، كذلك تم افتراض عدم حصول زحف (Creep) خلال عملية الانحناء (Bending)

بالنسبة لإجهاد الشد (σ_t) وإجهاد الضغط (σ_c) يمكن حسابهما من المعادلات الآتية [7]:-

$$\sigma_t = \frac{3 M (\varepsilon_c + \varepsilon_t)}{bh^2 \varepsilon_t} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \frac{3 M (\varepsilon_c + \varepsilon_t)}{bh^2 \varepsilon_c} \quad (2)$$

إذ أن

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \text{مقاومة شد الانتواء.} & \sigma_c &= \text{مقاومة الانضغاط} & \varepsilon_t &= \text{انفعال الشد} & \varepsilon_c &= \text{انفعال الضغط.} \\ M &= \text{العزم المسلط.} & b &= \text{عرض النموذج.} & h &= \text{ارتفاع النموذج} \end{aligned}$$

2-4 الطريقة التفاضلية

لحساب مقدار الاجهادات الحاصلة في العتبة باستخدام الطريقة التفاضلية، تم افتراض بقاء المقاطع المستوية (Plane sections) على حالتها حتى بعد تسليط العزم، كذلك تم افتراض عدم حصول أي زحف (Creep) خلال تسليط العزم وحصول انحناء للعتبة. بالنسبة للعلاقة بين الإجهاد والانفعال لم تكن هنالك علاقة خطية بينهما، وان الإجهاد الحاصل في العتبة بسبب العزم المسلط هو دالة للانفعال الخطي (ε) والذي ليس بالضرورة أن يكون نفسه في منطقة الشد ومنطقة الضغط، هذا يعني أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$\sigma = f(\varepsilon) \quad (3)$$

بالنسبة لإجهاد الشد (σ_t) وإجهاد الضغط (σ_c) يمكن حسابهما من المعادلات الآتية [7]:-

$$\sigma_c = \frac{1}{\varepsilon_c + \varepsilon_t} \frac{\partial}{\partial \varepsilon_c} (X) \quad (4)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{\varepsilon_c + \varepsilon_t} \frac{\partial}{\partial \varepsilon_t} (X) \quad (5)$$

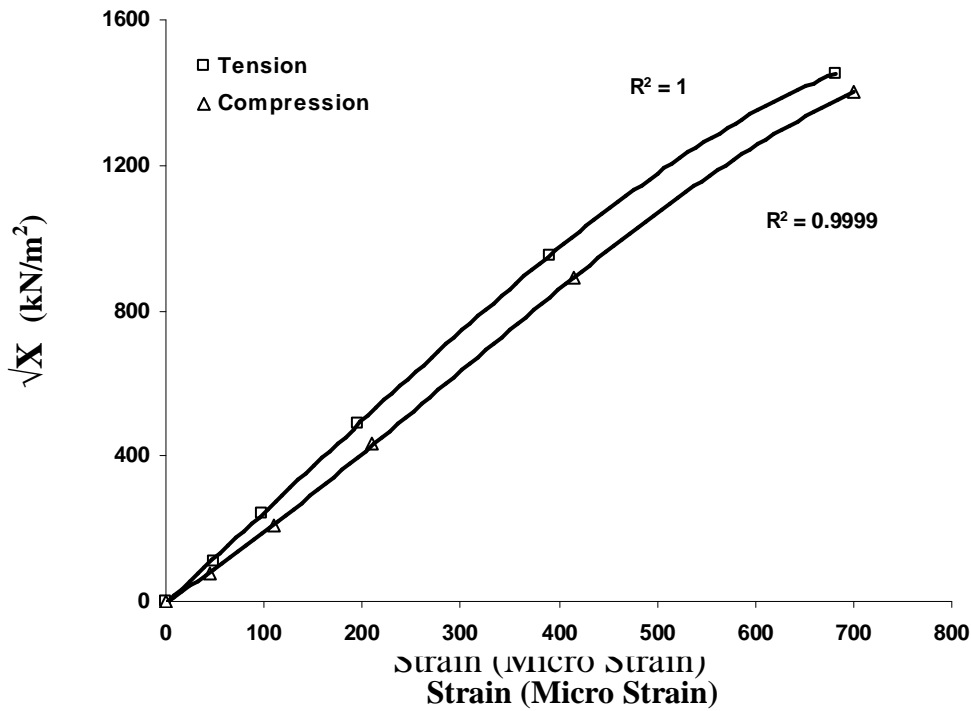
$$X = \frac{M (\varepsilon_c + \varepsilon_t)^2}{b d^2} \quad (6)$$

نلاحظ من خلال المعادلات أعلاه أن الحاجة إلى الاشتقاق يتم لمرة واحدة، لكي يتم حساب كل من إجهاد الشد (σ_t) وإجهاد الضغط (σ_c) من القيم العملية للعزم (M) وقيم كل من انفعال الشد (ε_t) وانفعال الضغط (ε_c)، إذ يمكن ذلك باستعمال الوسائل البيانية (Graphical Means). إن تغاير قيم (X) مع قيم انفعال الشد (ε_t) وانفعال الضغط (ε_c) في هذه المعادلات يعطي قيمة عالية جداً بحيث لا يمكن رسمها على مقياس رسم طبيعي ثم اشتقاقها، لذلك تم رسم كل من انفعال الشد (ε_t) وانفعال الضغط (ε_c) مع قيم الجذر التربيعي لـ (X)، إذ أعطت منحنيات مقبولة وكما مبين في الشكل (1).

إن الاشتقاق البياني تم برسم مماس عند النقاط المعنية، وتم حساب قيم كل من $\left[\frac{\partial}{\partial \varepsilon_t} \right] \sqrt{X}$ وقيم $\left[\frac{\partial}{\partial \varepsilon_c} \right] \sqrt{X}$ ثم ضربها في القيمة ($2\sqrt{X}$). بعد ذلك نقوم بتعويض هذه القيم في المعادلات لحساب إجهاد الشد وإجهاد الضغط.

3-4 الطريقة المرنة

هذه الطريقة مبنية على فرضيات عدة منها: المقاطع المستوية في العتبة تبقى مستوية حتى بعد حصول الانحناء، وان معامل المرونة له نفس القيمة في الشد والضغط، هذا يعني إن الإجهاد يتغير خطياً تبعاً لانفعال. كذلك يفترض بأنه لا يحدث أي انفعال ما لم تزداد قيم الإجهاد المسلط على العتبة، بصورة أخرى لا يحدث أي زحف (Creep) خلال تسليط عزم الانحناء. بالنسبة لإجهادات الشد والضغط وما يقابلها من انفعالات يمكن أن تحسب من خلال المعادلات الآتية [7]:-



الشكل (1) العلاقة بين الانفعال والجذر التربيعي لـ (X)

$$\sigma_{t,c} = \frac{6 M}{b d^2} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{t,c} = \frac{48 * \delta * M C}{P b (3 L^2 - 4 b^2)} \quad (8)$$

إذ:-

M = العزم المسلط على العتبة. مقدار الأود (Deflection) المقاس أسفل المنطقة الوسطى للعتبة. δ
C = نصف مقدار ارتفاع العتبة (d/2). P = الحمل المسلط على العتبة. L = المسافة بين نقطتي الإسناد.

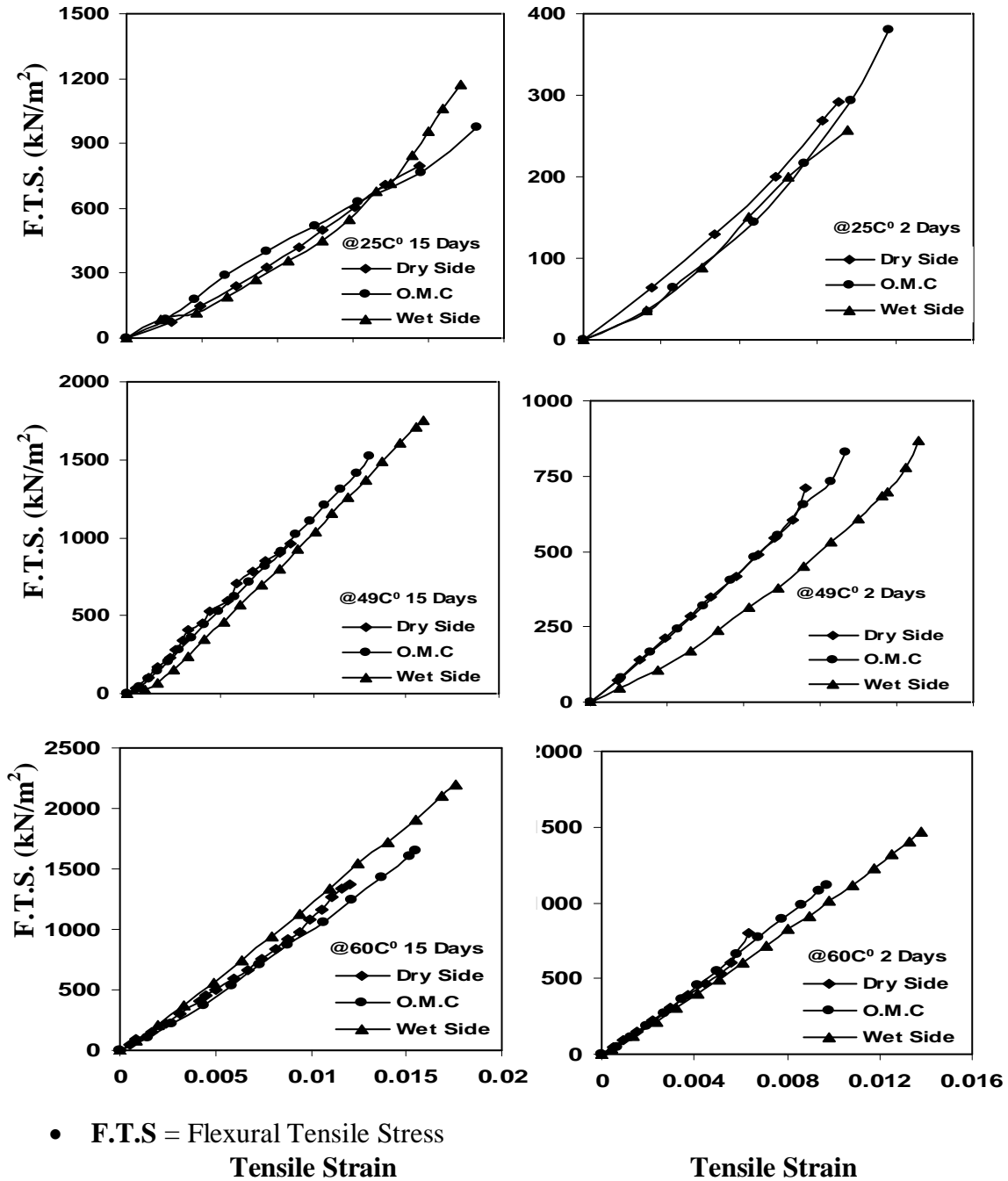
5- النتائج ومناقشتها

5-1 مقاومة الشد ومنحنيات الإجهاد-الانفعال

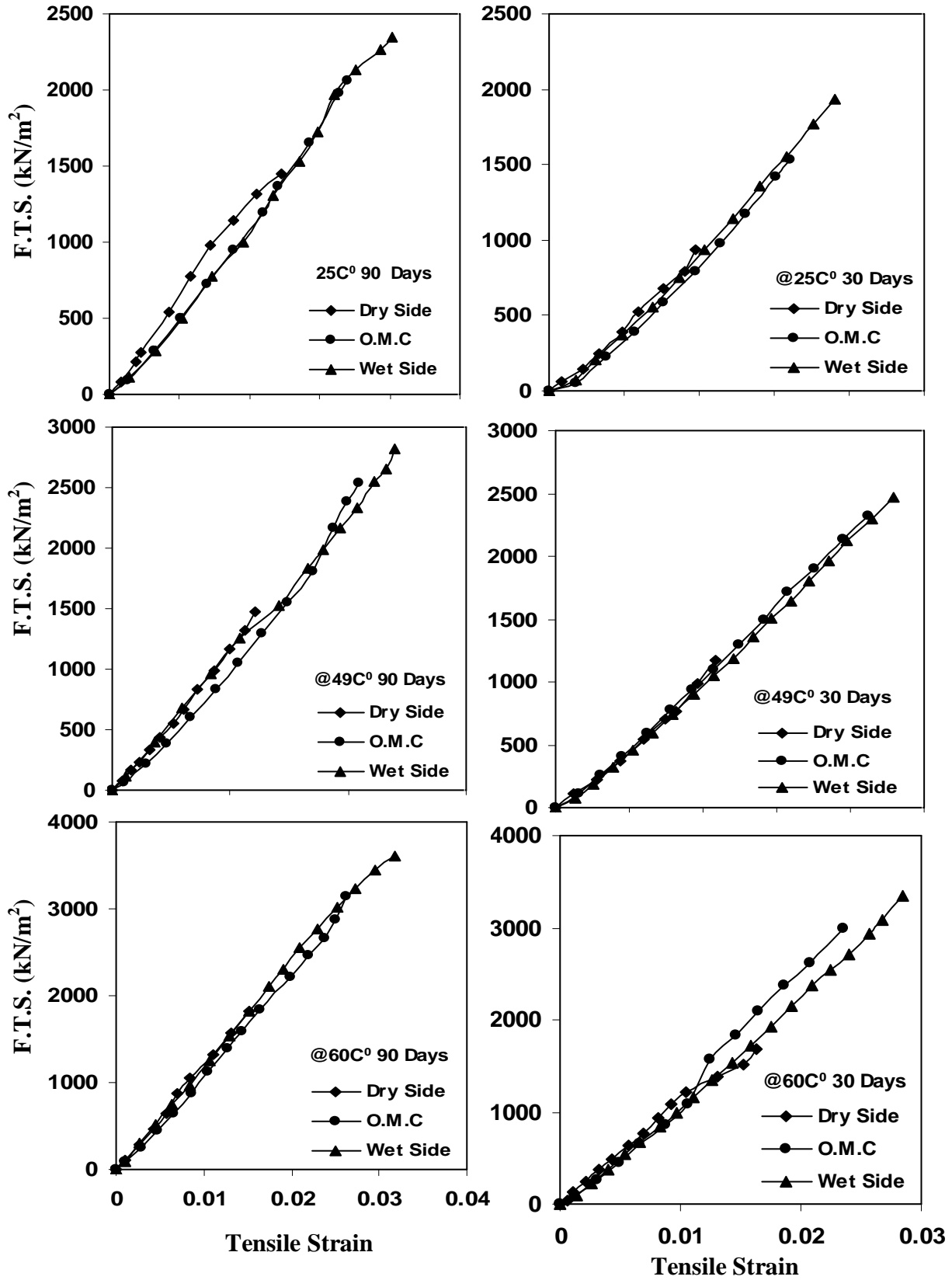
تم حساب مقاومة شد الانتشاء للتربة المعاملة بنسبة النورة المثلثي (3%) وفي ظروف إنضاج مختلفة وكذلك لقيم محتوى رطوبي مختلف, باستخدام ثلاث طرائق هي: الطريقة المباشرة (Direct Method), الطريقة التفاضلية (Differential Method), والطريقة المرنة (Elastic Bending Theory Method). أعطت كل طريقة من هذه الطرائق قيم مختلفة لمقاومة شد الانتشاء, وذلك لان كل طريقة لها فرضياتها في هذه الحسابات. بالنسبة للطريقة المرنة, توضح الأشكال (2-4) علاقة خطية تقريباً بين كل من الإجهاد والانفعال ولكافة ظروف الإنضاج, تبين الأشكال أن العلاقة تقترب من كونها خطية كلما زادت درجة حرارة أو فترة الإنضاج. الأشكال (5-7) (8-9) تبين العلاقة بين الإجهاد-الانفعال بالطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية على التوالي, إن العلاقة بين الإجهاد والانفعال ولكلا الطريقتين تميزت بكونها علاقة غير منتظمة, هذا بسبب قيم إجهاد الشد المحسوب والذي يعتمد بصورة أساسية على قيم الانفعال المقاس في كل من منطقة الشد والضغط, كذلك الفرضيات المبنية عليها هذه الطرائق والتي لا تشترط كون العلاقة بين الإجهاد والانفعال هي علاقة خطية. أظهرت الأشكال أن منحنى الإجهاد-الانفعال للنماذج المرصوفة عند المحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الجاف من منحنى الرص والمحسوب بالطريقتين كان أكثر انتظاماً من منحنيات الإجهاد-الانفعال للنماذج المرصوفة عند قيم الرطوبة الأخرى, ربما السبب هو أن النماذج ذات الرطوبة العالية نسبياً يحدث فيها إعادة ترتيب لجزيئاتها أثناء تسليط الحمل وذلك لسهولة انزلاق الجزيئات, وهذا بدوره يعطي شكل منحنى الإجهاد-الانفعال شكل غير منتظم.

لمقارنة طرائق التحليل فيما بينها, يلاحظ أن منحنيات الإجهاد-الانفعال التي تم الحصول عليها من الطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية, كانت منحنيات غير منتظمة (Irregular Shapes of Stress-Strain Curves) وهذه المنحنيات ليست مشابهة للمنحنيات التي تم الحصول عليها من الطريقة المرنة, والتي تميزت بكونها منحنيات منتظمة (Regular Stress-Strain Curves) أو بعبارة أخرى منحنيات خطية (Linear Stress-Strain Curves). إن سبب عدم انتظام منحنيات الإجهاد-الانفعال في كل من الطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية, هو حصول بعض التغيرات العشوائية في قراءات الانفعال, فضلاً عن ذلك ساعدت عملية الاشتقاق اللازمة لحساب إجهاد الشد في الطريقة التفاضلية على زيادة عدم الانتظام الحاصل في هذه المنحنيات, توصل إلى نتائج مشابهة كل من [9,8]. كذلك بينت النتائج السابقة وبصورة عامة أن الطريقة المرنة (Elastic Bending Theory Method) والطريقة المباشرة (Direct Method), أعطت قيم متقاربة فيما بينها لمقاومة شد الانتشاء وبغض النظر عن ظروف الإنضاج وقيم الرطوبة المختلفة, في حين أعطت الطريقة التفاضلية (Differential Method) قيم أقل لمقاومة الشد, هذا لأن هذه الطريقة تسمح بإعادة توزيع بعض الاجهادات (Redistribution of Stresses) [4]. وجد التمثيل

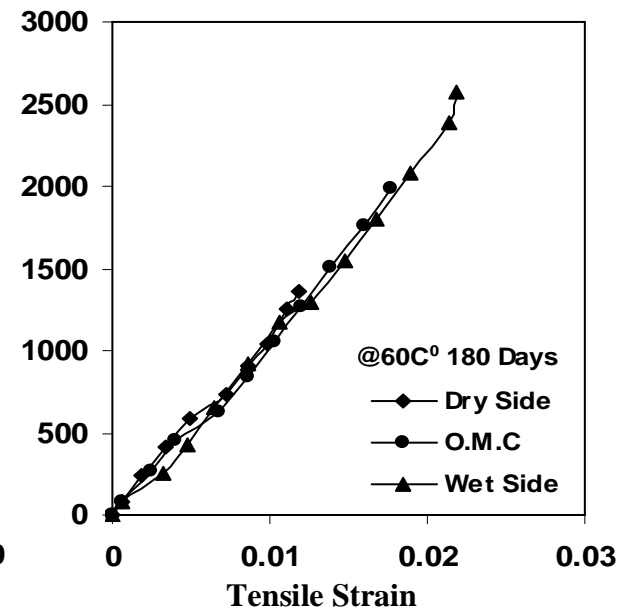
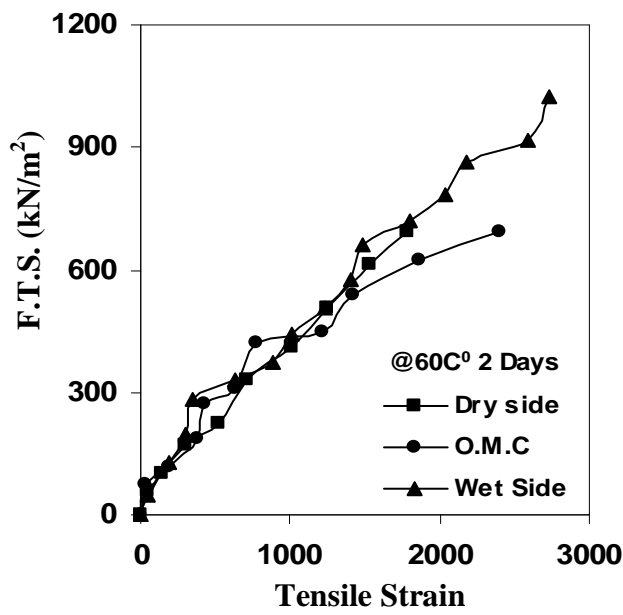
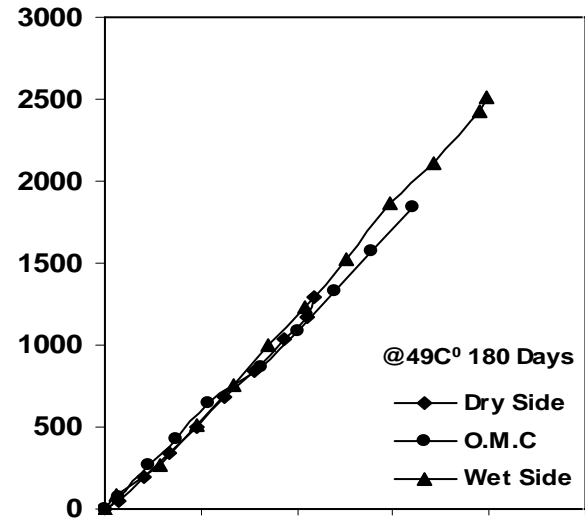
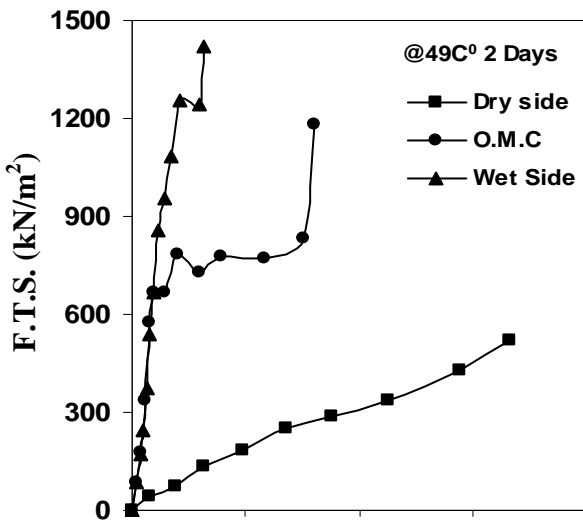
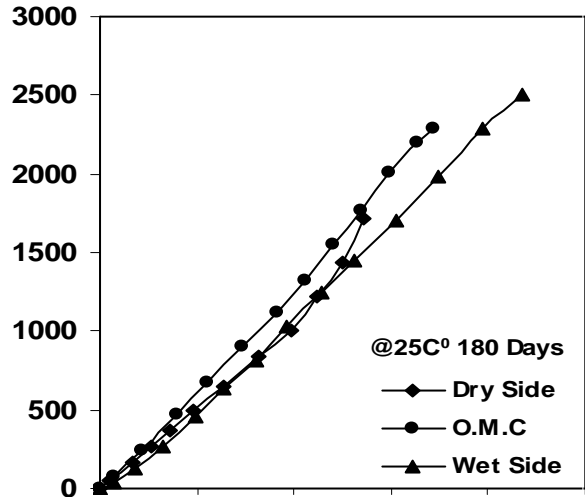
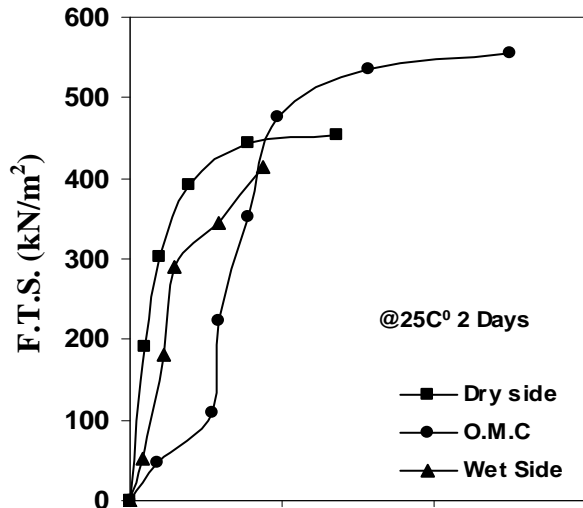
الرياضي لقيم الإجهاد المحسوب بالطرائق الثلاث أعلاه، وللنماذج المرصوصة عند الجانب الجاف من منحنى الرص الذي يعطي علاقة منتظمة بين الإجهاد-الانفعال مقارنة مع قيم الرطوبة الأخرى، وعند ظروف الإنضاج المختلفة. يبين الجدول (3) معادلات هذه العلاقات، إذ كانت معادلة العلاقة لمقاومة شد الانتشاء للنماذج المنضجة بدرجة حرارة (60C⁰) والمحسوبة بالطرائق الثلاث من نوع دالة متعددة الحدود، في حين كانت من نوع دالة لوغاريتمية للنماذج المنضجة بدرجة حرارة (49C⁰) ومن نوع دالة أسية للنماذج المنضجة بدرجة حرارة (25C⁰) محسوبة بالطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية، كذلك كان معامل الارتباط لهذه المعادلات يتراوح بين (81.59-99.99%).



الشكل (2) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة المرنة)

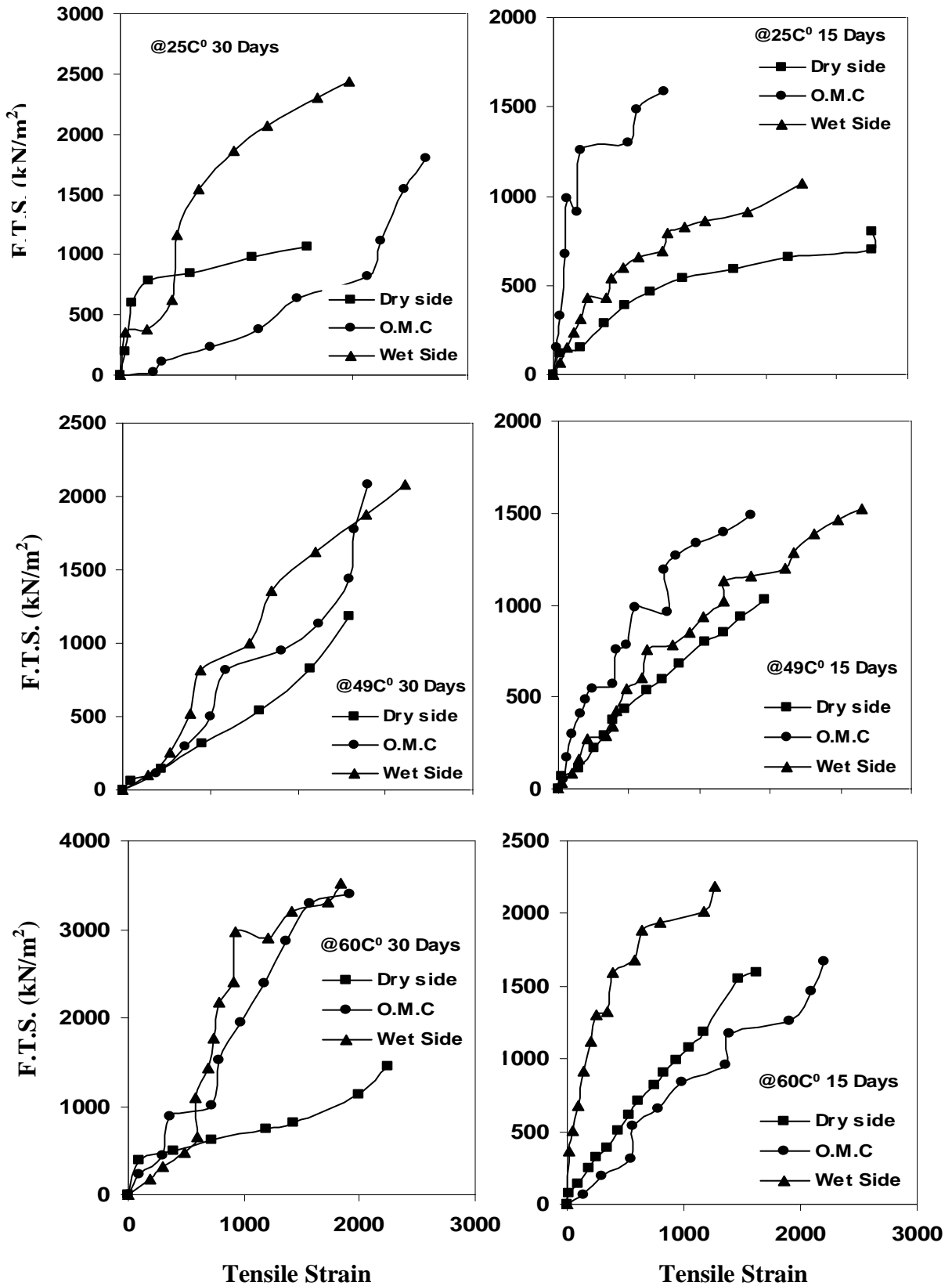


الشكل (3) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة المرنة)

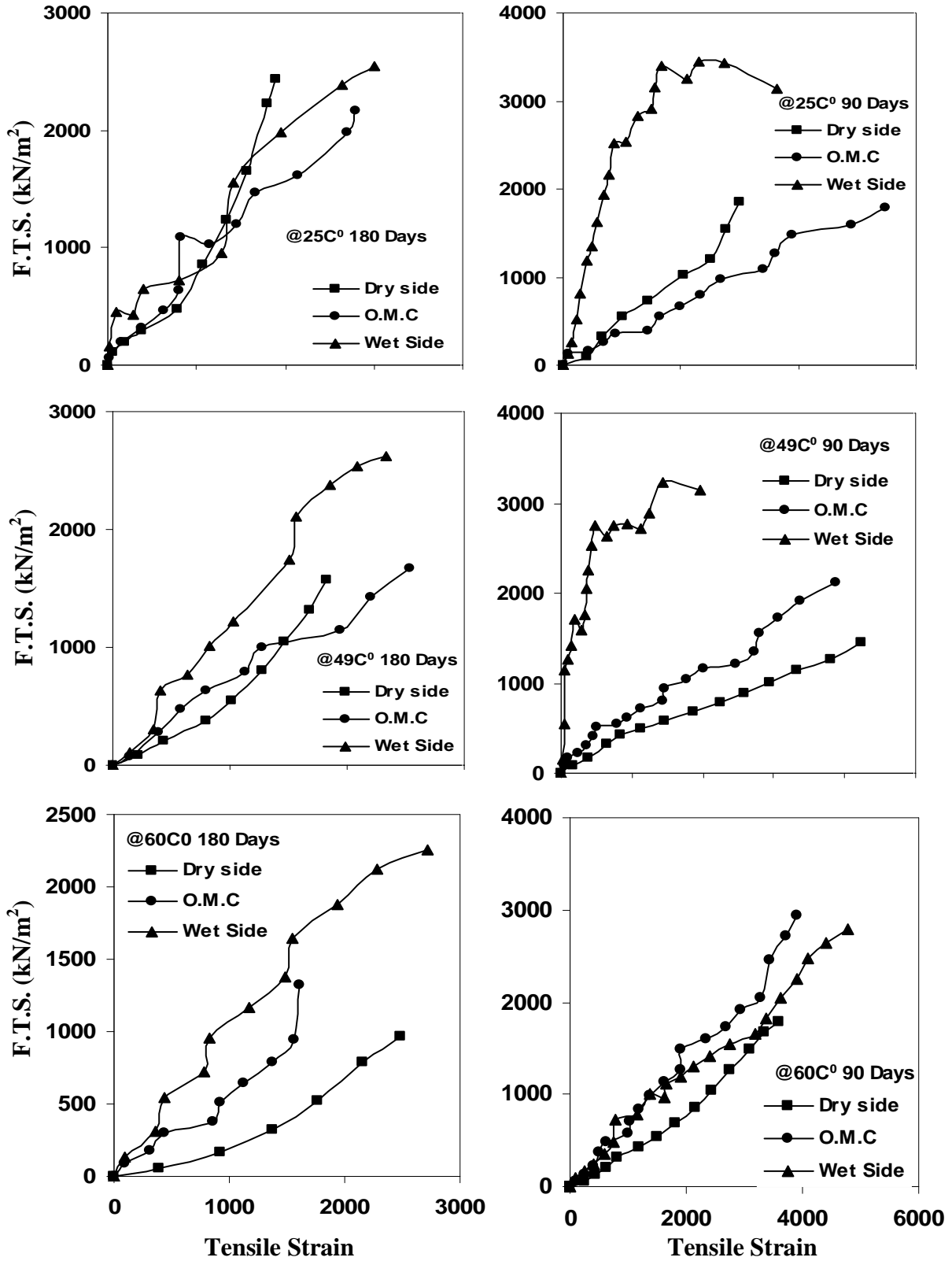


الشكل (5) منحنيات الإجهاد-الانفعال
(حسب الطريقة المباشرة)

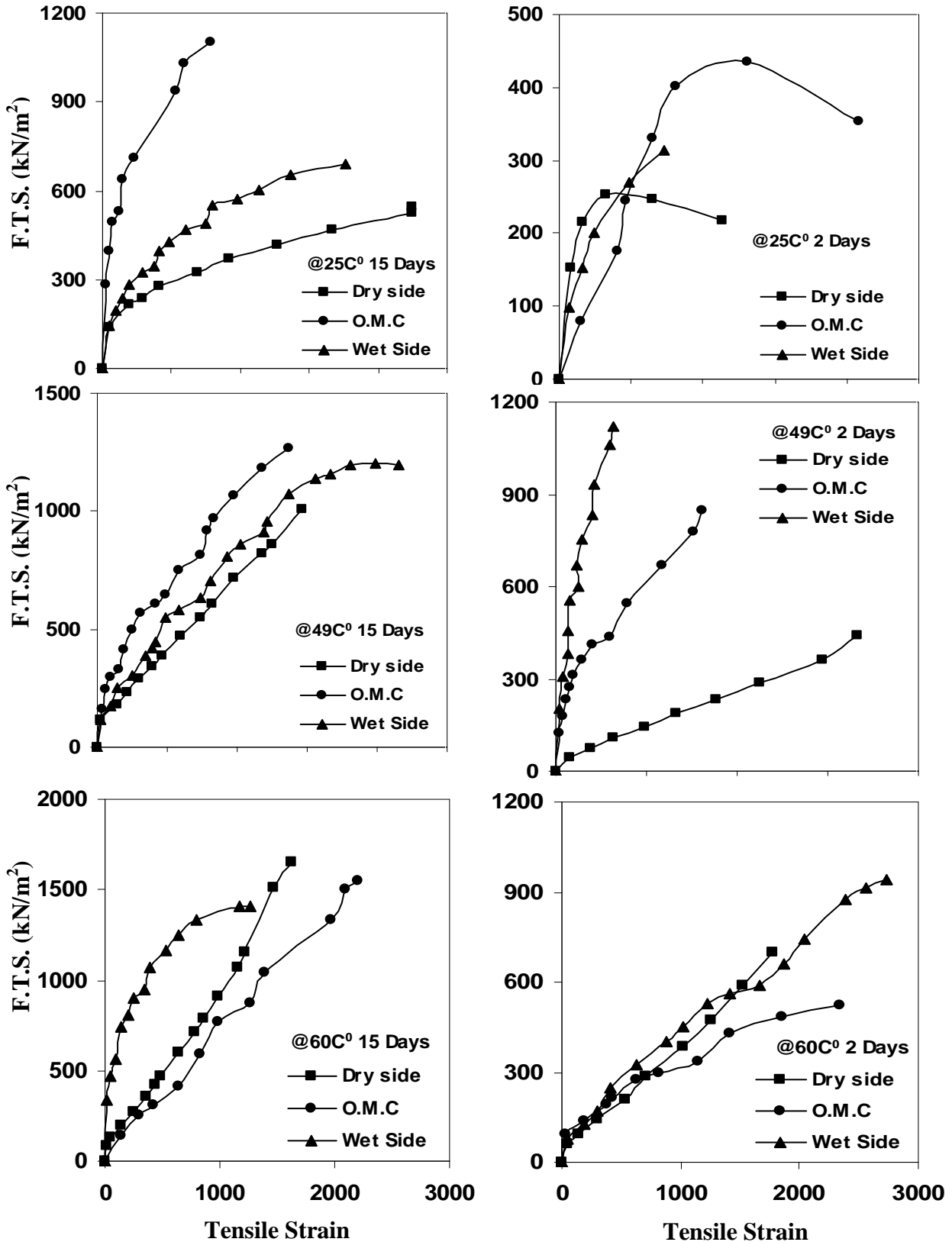
الشكل (4) منحنيات الإجهاد-الانفعال
(حسب الطريقة المرنة)



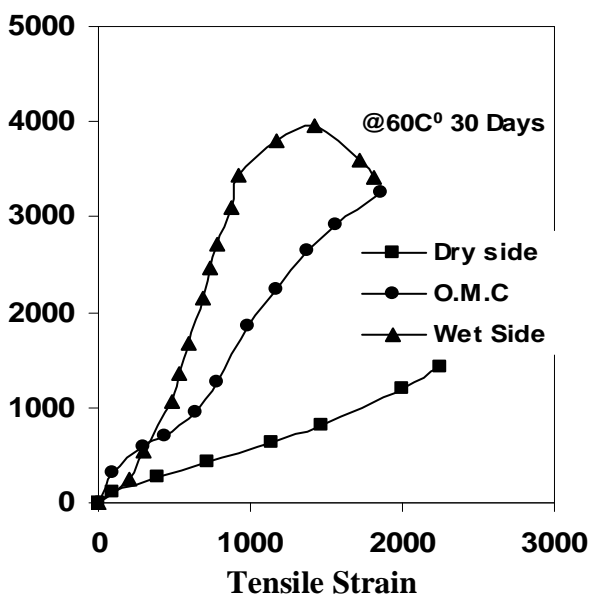
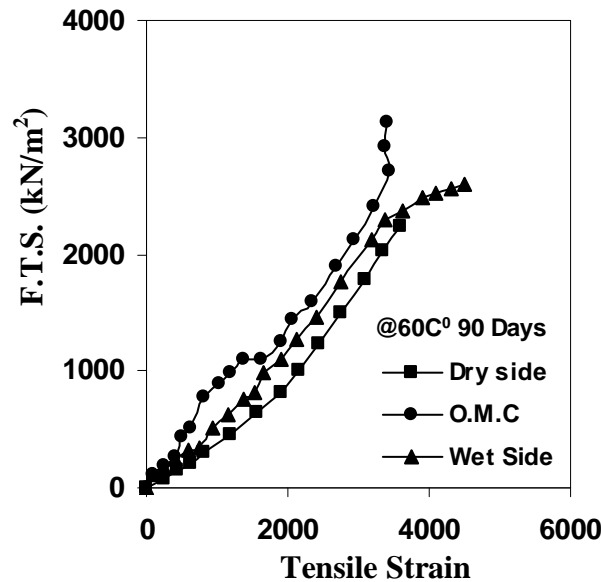
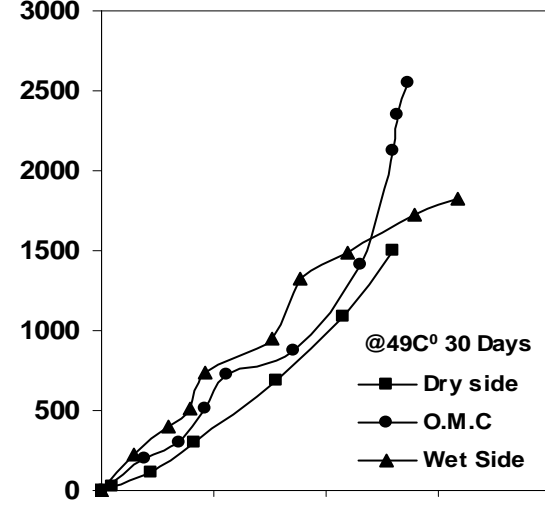
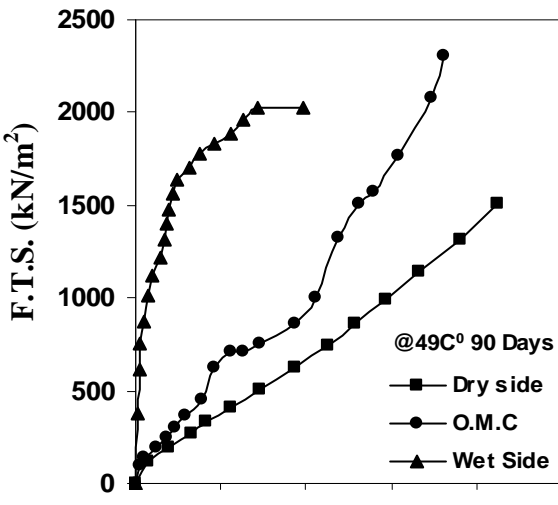
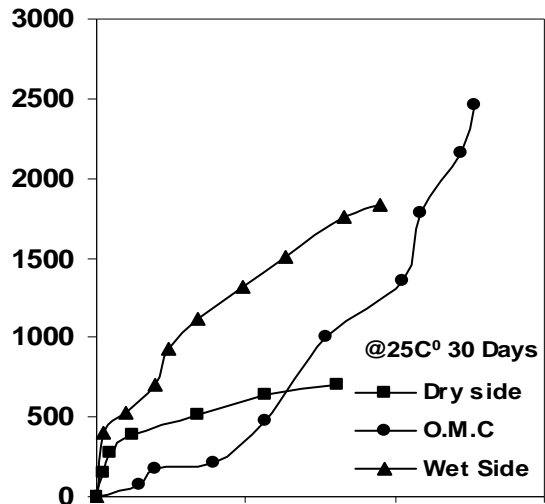
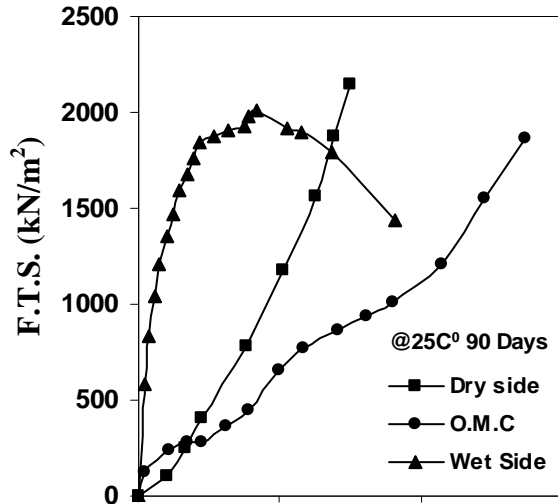
الشكل (6) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة المباشرة)



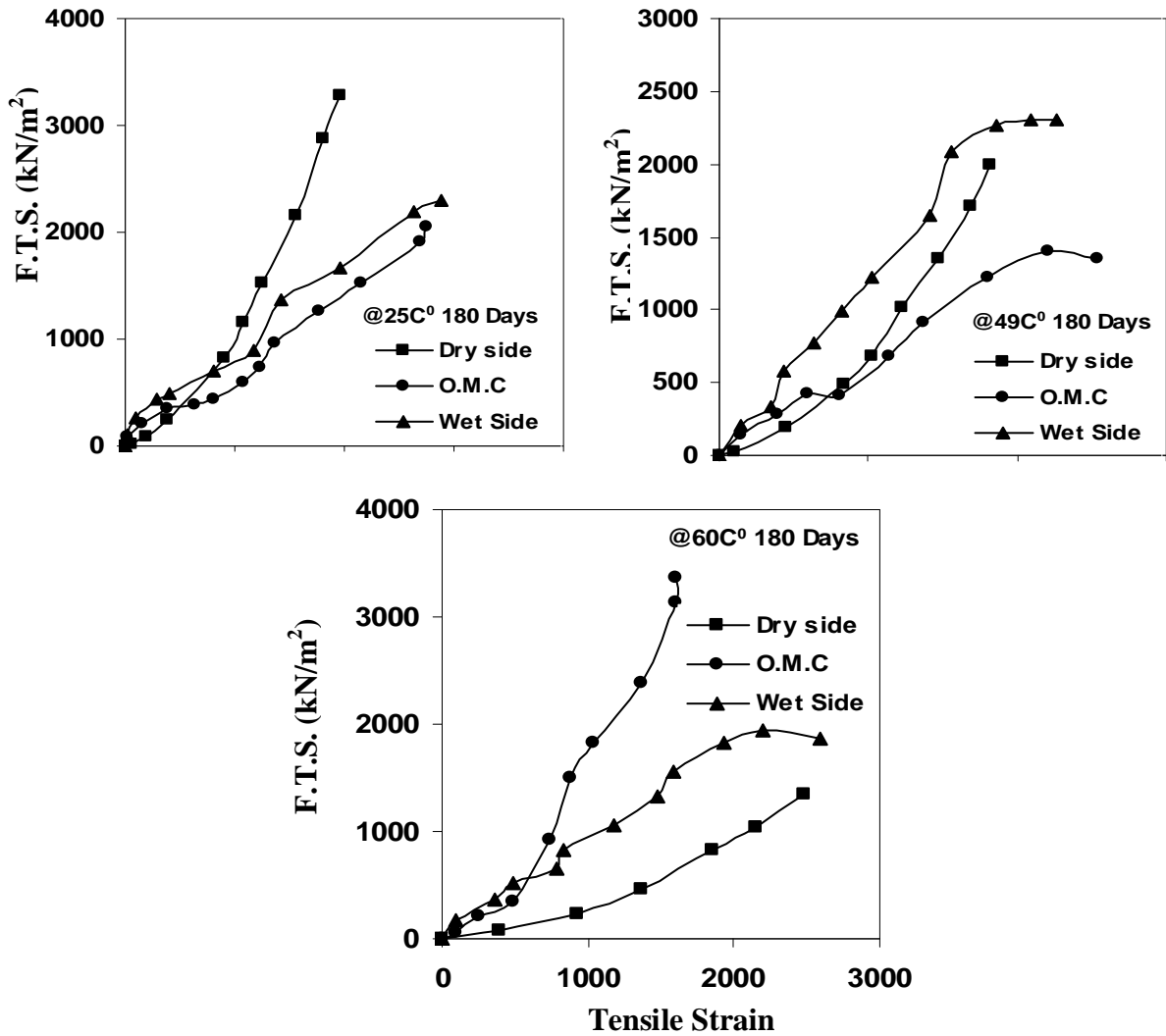
الشكل (7) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة المباشرة)



الشكل (8) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة التفاضلية)



الشكل (9) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة التفاضلية)



الشكل (10) منحنيات الإجهاد-الانفعال (حسب الطريقة التفاضلية)

الجدول (3) التمثيل الرياضي لمقاومة شد الانثناء للنماذج المرصوفة عند الجانب الجاف من منحنى الرص

Elastic Bending Theory Method	Temp. (C ⁰)	Type of Equation	Order	R ² (%)
$\sigma_t = 317.37 \ln(T) - 7.9211$	25	Logarithm	-----	97.29
$\sigma_t = 0.0005(T)^3 - 0.1859(T)^2 + 21.979(T) + 668.46$	49	Polynomial	3 rd	99.99
$\sigma_t = 0.0016(T)^3 - 0.540(T)^2 + 47.326(T) + 732$	60	Polynomial	3 rd	99.33
Direct Method				
$\sigma_t = 318.99(T)^{0.3799}$	25	Power	-----	98.16
$\sigma_t = 237.42 \ln(T) + 369.61$	49	Logarithm	-----	99.72
$\sigma_t = 0.0013(T)^3 - 0.4711(T)^2 + 43.169(T) + 739.21$	60	Polynomial	3 rd	81.59
Differential Method				
$\sigma_t = 118.68(T)^{0.6136}$	25	Power	-----	96.18
$\sigma_t = 328.26 \ln(T) + 208.5$	49	Logarithm	-----	94.49
$\sigma_t = -0.1424(T)^2 + 28.262(T) + 864.91$	60	Polynomial	2 nd	81.14

T = فترة الإنضاج (يوم)

σ_t = مقاومة شد الانثناء (kN/m²)

6- الاستنتاجات

1. أن نسبة النورة التي أعطت أعلى مقاومة انضغاط غير محصور هي (3%) ، ونفس النسبة أعطت أعلى مقاومة شد.
2. أعطت الطريقة المرنة والطريقة المباشرة وبصورة عامة قيم متقاربة لمقاومة شد الانتشاء، في حين أعطت الطريقة التفاضلية قيم أقل، إذ كانت مقاومة شد الانتشاء للنماذج المرصوفة بالمحتوى الرطوبي الأمثل ومنضجة بدرجة حرارة (60 C⁰) لمدة (15) يوم هي (1552, 1672, 1646) kN/m² حسب الطريقة المرنة، المباشرة والتفاضلية على التوالي. كذلك كانت منحنيات الإجهاد-الانفعال المحسوبة بالطريقة المرنة منتظمة، أما المنحنيات المحسوبة بالطريقة المباشرة والطريقة التفاضلية فقد كانت غير منتظمة، ماعدا النماذج التي تم رصها بالمحتوى الرطوبي الذي يمثل الجانب الجاف من منحنى الرص.
3. تعتبر الطريقة المباشرة طريقة مناسبة لإيجاد العلاقة بين الإجهاد-الانفعال وإيجاد قيم مقاومة شد الانتشاء مع ظروف الإنضاج وقيم الرطوبة المختلفة.

- المصادر

- 1 Ingles O. G. and Metcalf J. B. "Soil Stabilization Principles and Practice" Sydney, Butterworth, (1972).
- 2 Sobhan, K. and Mashnad, M. "Fatigue Durability of Stabilized Recycled Aggregate Base Course Containing Fly Ash and Waste-Plastic Strip Reinforcement", Final Report, Recycled Materials Resource Center, University of New Hampshire, (2000).
- 3 Fossbery, P. E. Mitchell, J. K. and Mouismith, C. L. "Cracking and Edge-Loading Effects on Stresses and Deflections in a Soil Cement Pavement", HRR, No.379, (1972).
- 4 Ajaz, A. and Parry, R. H. G. "Stress-Strain Behaviour of Two Compacted Clays in Tension and Compression", Journal of Geotechnical Engg., ASCE, Vol.25, No.3, (1975 a), pp.495-512.
- 5 Consoli, N. C. Prietto, P. D. M. Carraro, J. A. H. and Heineck, K. S. "Behavior of Compacted Soil-Fly Ash Carbide Lime Mixture", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engg., ASCE, Vol.127, No.9, (2001), PP.774-782.
- 6 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).
- 7 Ajaz, A. and Parry, R. H. G. "Analysis of Bending Stresses in soil Beams", Journal of Geotechnical Engg., ASCE, Vol.25, No.3, (1975 b), pp.286-291.
- 8 Ajaz, A. and Parry, R. H. G. "Bending Tests for Compacted Clays", Journal of Geotechnical Engg., ASCE, Vol.102, No.GT9, (1976), pp.929.
- 9 Jaro, M. N. "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, (2000).

تم اجراء البحث في كلية الهندسة - جامعة الموصل