مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

تأثير تقوية الجيزان البيتونية المسلحة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية في ضبط عرض الشقوق

الدكتور محمد غريب*
ديانا وردة**

(تاريخ الإيداع 2 / 4 / 2015. قُبِل للنشر في 21/ 4 / 2015)

□ ملخّص □

تطرح هذه الورقة دراسة تجريبية وتحليلية لتعيين عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية تحت تأثير الحمولات الدائمة وبسويات تحميل مختلفة و بنسب تقوية مختلفة.

بما أن العلاقات المتوفرة لحساب عرض الشق الآني في حالة الجيزان البيتونية لا تلائم حالة الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية [8]. تم اعتماد التحليل الإحصائي لبيانات نتائج تجارب من مصادر عالمية [10–9–6] ونتائج التجربة المجراة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق (عام 2014) من أجل التوصل إلى علاقة رياضية تجريبية جديدة لحساب عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية وهذه العلاقة هي عبارة عن تابع للاجهاد في قضبان الفولاذ ومساحة البيتون المشدودة الفعالة ومسافة التغطية السفلية.

كما تم التوصل إلى علاقة رياضية تجريبية تحسب عرض الشقوق طويلة الأمد في الجيزان الخرسانية المسلحة مقواة بالـ FRP تحت تأثير الحمولات الدائمة باعتماد نتائج التجربة المجراة من أجل هذا البحث (دمشق،2014).

الكلمات المفتاحية: الجائز الخرساني المسلح– الحمولات الدائمة– الشق– البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية FRP– عرض الشق الآني– عرض الشق طويل الأمد.

* أستاذ– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية–جامعه دمشق– سورية.
** طالب دراسات عليا (دكتوراه)– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية–جامعه دمشق– سورية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

The Effect of Fiber Reinforced Polymer Strengthened RC Beams on cracks width

Dr. Mouhamed Gharib*
Diana Warde**

(Received 2 / 4 / 2015. Accepted 21 / 4 / 2015)

□ ABSTRACT □

This paper makes an experimental and analytical investigation of cracks characteristics in Fiber Reinforced Polymer strengthened RC beams under different levels of sustained load and Reinforced ratio.

As the equations available for conventional RC beams are inappropriate for the calculation of the short-term crack width in FRP-strengthened RC beams[8], a statistical analysis is carried out on available test data from international sources [6-9-10] and from the test results obtained in the current study (Concrete Labor- Civil engineering Department- Damascus University-2014) to establish a new equation that considers the effect of the FRP laminates. This equation is a correlation of stress in steel bars, concrete surface tension , and effective side cover.

The long-term crack width is then related to the instantaneous crack width by empirical equations which are derived from the test results obtained in the current study.

Keywords: Reinforced Concrete Beam; Sustained load; Crack; Fiber Reinforced Polymer; Short- Term Crack Width; Long-Term Crack Width.

*Professor- Structural Department-Faculty of civil engineering –Damascus University-Syria.
**Structural Department-Faculty of civil engineering –Damascus University-Syria.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مقدمة:

تصمم الجيزان البيتونية المسلحة وفق [3](CEB-FIP, 1990) و [1](ACI Committee 224, 2004) والكود العربي السوري [14] بحيث تكون قيمة عرض الشق المحسوبة تحت تأثير أحمال الخدمة أقل من القيم المسموح بها المحددة [13][4]. لكن، لم يتم التحقق من هذه المعادلات لاستخدامها في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية FRP Strengthened RC Beam[12]. ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة في تقييم مدى دقة هذه العلاقات من أجل حساب عرض الشق الآني في حال الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP. وبالتالي، يقترح اعتماد العلاقة التجريبية الجديدة المطروحة في هذه الورقة في حال حساب عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP، على أساس تحليل نتائج بيانات الاختبارات من تجارب سابقة[10-9-6] ومن تجربة الدراسة الحالية المعدة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق 2014.

أهمية البحث وأهدافه:

-دراسة تجريبية وتحليلية لتقدير عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP تحت تأثير سويات تحميل دائم مختلفة ونسب تقوية مختلفة.

-دراسة مقارنة عرض الشقوق طويلة الأمد في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP تحت تأثير سويات مختلفة من التحميل الدائم ونسب مختلفة من التقوية.

وصف التجربة (دمشق،2014):

يعرض هذا البحث أربع دراسات مختلفة لإدخال تأثير صفائح الـ FRP في عرض الشقوق وهي: الدراسة المخبرية (دمشق،2014)، الدراسة المخبرية [6](Jaffrey, 1998) ، الدراسة المخبرية [9](Liew, 2003) والدراسة المخبرية [10](Mathivoli, 1999).

أعدت التجربة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق(عام 2014) حيث تم صب الجيزان خرسانية مسلحة بالأبعاد الموضحة في الشكل (5.أ) والمقواة بنسب مختلفة من البوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية ومدة التحميل طويل الأمد هي عام كامل. نبين خواص البيتون والتسليح المستخدم في الجيزان التجارب في الجدول (1)(2) (3). يوضح الشكل (5) الجيزان المختبرة في التجارب الأربعة مع مقاطع عرضية. الشكل (1) يوضح التحميل الدائم للجيزان البيتونية المسلحة المقواة بنسب الـFRP المختلفة. الشكل (2) يوضح شكل التحميل الآني في جائز البيتوني المسلح المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية من التجربة الحالية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

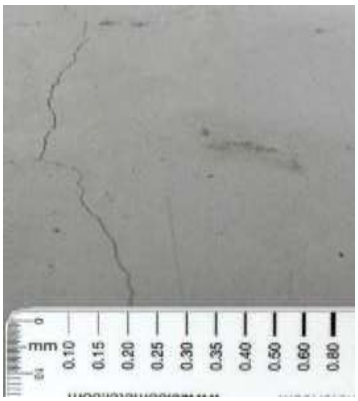
الشكل (1) التحميل الدائم للجيزان البيتونية المسلحة المقواة بنسب الـ FRPالمختلفة

الشكل (2) التحميل الآني للجيزان البيتونية المسلحة المقواة بنسب الـFRP المختلفة

تم قياس عرض الشقوق في التجربة (دمشق،2014) باستخدام مكبر يدوي ومسطرة التشققات على مستوى فولاذ التسليح الشكل (3) . ويوضح الشكل (4) قياس عرض الشقوق بشكل عام في جائز خرساني مسلح مدعم بالـ FRP وغير مدعم بالـ FRP.

الشكل (3) مسطرة التشققات ومكبر لقياس عرض الشقوق

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



غير مدعم بالـ FRP **مدعم بالـ FRP**

الشكل (4) قياس عرض الشقوق بشكل عام في جائز خرساني مسلح مدعم بالـ FRP وغير مدعم بالـ FRP

الجدول(1) مواصفات جيزان التجارب

التجارب	عدد العينات	البيتون	قضبان التسليح المشدود			صفائح الـ FRP	
		f_{cu} (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)	نوع FRP	A_{frp} (mm^2)
دمشق،2014	9	25.0	402	200	200	CFRP	60
Jaffrey 1998	4	49.4	157-398	470	205	CFRP	30-72
Liew 2003	4	30.0	57	520	160	GFRP	40
Mathivoli 1999	2	33.4	157	500	200	CFRP	44

الجدول (2) خواص البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية في التجارب [10-9-6] وتجربة دمشق 2014

التجارب	مواصفات الألياف البوليميرية				مواصفات المادة الرابطة	
	نوع FRP	السماكة (mm)	مقاومة الشد (MPa)	عامل مرونة الشد (GPa)	مقاومة الشد (MPa)	عامل مرونة الشد (GPa)
دمشق،2014	صفائح كربون	1.2	2800	168	24.8	4.48

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Jaffrey 1998	صفائح كربون	1.2	2400	150	33	12.8
Liew 2003	زجاجي	0.35	1700	71	54	3
Mathivoli 1999	كربون	0.11	3400	230	29.4	3

الجدول (3) يوضح عرض الشقوق المقاسة في تجربة دمشق 2014 حيث تم اختبار 9 جيزان قسمت الى ثلاث مجموعات كل منها 3 جيزان : الأولى ذات نسبة تقوية 0% و أعطيت الرمز CB و الثانية بنسبة تقوية 0.23% و أعطيت الرممز FB1 و الثالثة بنسبة تقوية 0.48% وأعطيت الرمز FB2 وحملت بحمولات مختلفة ولمدة عام كامل . ويبين الجدول

العمود الأول : اسماء الجيزان

العمود الثاني: نسبة التقوية بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية

العمود الثالث: يوضح الحمولات الحدية $P_U(KN)$ لكل من الجيزان و التي حسبت من معادلات توازن القوى والتشوهات مع اعتبار وصول فولاذ التسليح الى حد الخضوع

العمود الرابع : الحمولات المطبقة $P_S(KN)$ على الجيزان ولمدة عام كامل (حمولات الخدمة)

العمود الخامس: $\alpha_s = P_S/P_U$ نسبة الحمولات المطبقة (الخدمة) الى الحمولات الحدية و هي سوية التحميل

العمود السادس: عرض الشقوق الآنية المقاسة من التجربة بالـmm

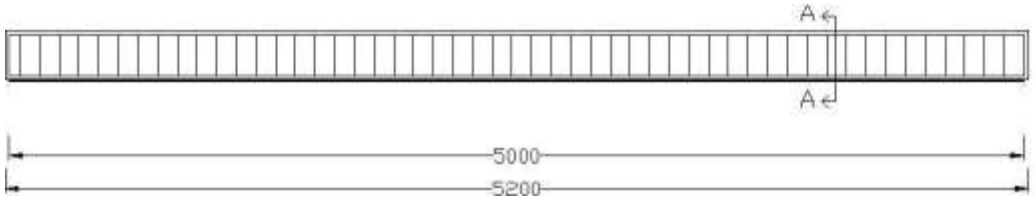
العمود السابع: مقدار تزايد عرض الشقوق المقاسة من التجربة بالـmm أي مقدار تزايد عرض الشق بعد عام كامل من التحميل، ومنه يكون عرض الشق طويل الأمد هو عرض الشق الآني مضاف إليه مقدار تزايد عرض الشق طويل الأمد.

الجدول (3) عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة الـFRP في التجربة (دمشق 2014)

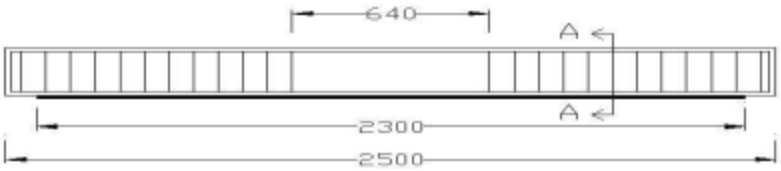
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-7+6-	-6/7-
الجائز	نوع FRP $\rho_{frp}(\%)$	الحمولة الحدية $P_U(KN)$	الحمولة المطبقة $P_S(KN)$	سوية التحميل $\alpha_s = P_S/P_U$	عرض الشق الآني (mm)	مقدار تزايد عرض الشق مع الزمن (mm)	مجموع عرض الشقوق (mm)	عرض الشق طويل الأمد/ الآني
CB-59	0	17	10	0.59	0.09	0.15	0.24	1.667
CB-70			12	0.70	0.12	0.18	0.3	1.500
CB-80			14	0.80	0.18	0.27	0.45	1.500
FB1-49	0.23	20	10	0.49	0.06	0.06	0.12	1.000
FB1-59			12	0.59	0.09	0.09	0.18	1.000

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

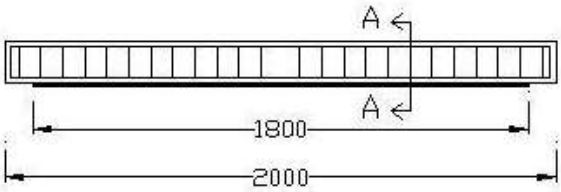
1.000	0.24	0.12	0.12	0.70	14			FB1-70
1.000	0.06	0.03	0.03	0.40	10	24.5	0.48	FB2-40
0.500	0.09	0.03	0.06	0.49	12			FB2-49
0.667	0.15	0.06	0.09	0.59	14			FB2-59



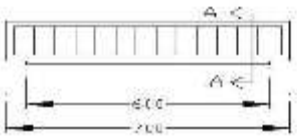
Damascus 2014



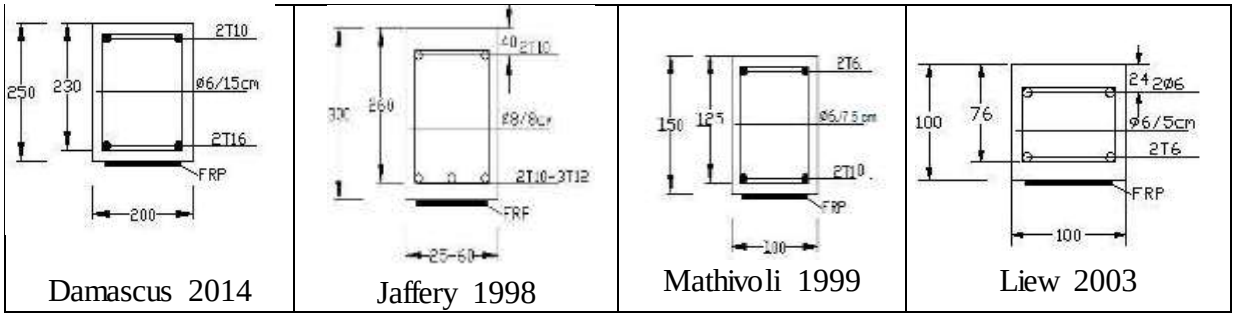
Jaffery 1998



Mathivoli 1999



Liew 2003



Damascus 2014 | Jaffery 1998 | Mathivoli 1999 | Liew 2003

الشكل (5) أبعاد الجيزان المختبرة في التجارب (دمشق،2014) و[6](Jaffrey, 1998) و[9](Liew, 2003)

www.manaraa.com

عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة :

1) (ACI Committee 224, 2004)[1]:

يدرج (ACI Committee 224, 2004)[1] علاقة(1) لحساب عرض الشق في الجيزان البيتونية المسلحة، حيث تعتمد هذه العلاقة على نتائج التحليل الإحصائي لبيانات تجارب من مصادر متعددة (Gergely and Lutz, 1968)[5]، حيث تستخدم هذه العلاقة بالوحدات البريطانية وهي:

$$w_i = \frac{0.0091\sqrt[3]{t_b A}}{1+t_s/h_1}(f_s - 5)10^{-3} \quad (1)$$

حيث:

w_i أكبر عرض للشق عند سوية قضبان الفولاذ المشدودة [in]

t_b, t_s الغطاء السفلي والجانبي من المركز الأقرب لقضبان الفولاذ[in]

A مساحة المنطقة الفعالة المشدودة للبيتون وهي مساحة البيتون مع قضبان الفولاذ المشدودة مقسومة على عدد القضبان[sq.in]

h_1 البعد بين المحور المحايد ومركز قضبان الفولاذ المشدودة[in]

f_s اجهاد الشد في قضبان الفولاذ [ksi]

2) (CEB-FIP, 1990)[3]:

من ناحية أخرى، يدرج (CEB-FIP, 1990)[3] العلاقة التالية (2) من أجل حساب عرض الشق بالوحدات الدولية:

$$w_i = l_{s\max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{sh}) \quad (2)$$

حيث

$l_{s,\max}$ المسافة العظمى بين الشقوق [mm] ويحسب بالعلاقة (3)

ε_{cm} متوسط تشوه زحف البيتون

ε_{sm} متوسط تشوه الفولاذ

ε_{sh} تشوه البيتون الناتج عن ظاهرة الانكماش

يحسب $l_{s,\max}$ بشكل مبسط من العلاقة :

$$l_{s\max} = \frac{d_b}{3.6\rho_{s,ef}} \quad (3)$$

d_b قطر قضبان الفولاذ [mm]

$\rho_{s,ef} = A_s / A_{ce}$ نسبة التسليح الفعالة

A_s مساحة قضبان الفولاذ المشدودة[mm^2]

$A_{ce} = b[2.5(h-d)]$ مساحة المنطقة المشدودة الفعالة في البيتون[mm^2]

b عرض الجائز في منطقة الشد [mm]

h ارتفاع المقطع [mm]

d الارتفاع الفعال من المركز الى التسليح المشدود[mm]

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3) الكود العربي السوري [14]

أدرج الكود العربي السوري [14] علاقة (4) تحسب عرض الشقوق وتأخذ في الحسبان قطر قضيب التسليح وإجهاد الشد في الفولاذ والغطاء السفلي للبيتون وذلك تبعا" لنوع الأحمال ساكنة أو الاحمال الاهتزازية ، وهي في حالة الأحمال ساكنة ستاتيكية ودون اهتزازات:

$$\Omega_{\max} = \left[1.5C + \frac{0.16\phi}{\mu_t}\right]\left[\sigma_s - \frac{10}{\mu_t}\right] \times 10^{-6} \quad (4)$$

ϕ قطر قضبان الفولاذ [mm]

σ_s أقصى إجهاد شد في فولاذ التسليح، تحت أحمال الاستثمار للمقطع المتشقق وتضرب بالمعامل 1.6 في حال استعمال التسليح الأملس.

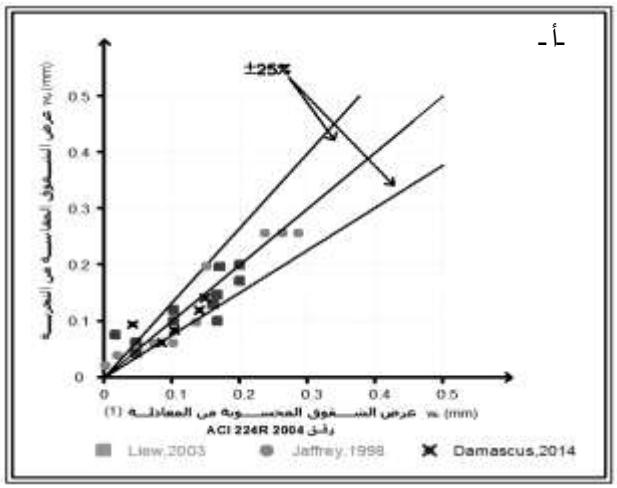
C سمك الغطاء الخرساني لقضيب التسليح

$\Omega_{\max}$ أكبر عرض للشقوق

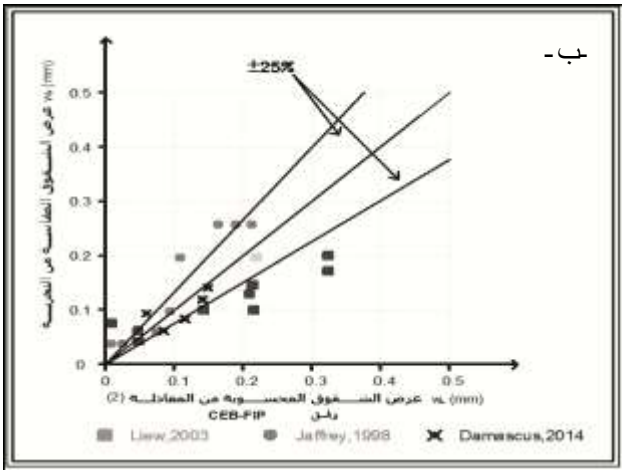
$\mu_t = \frac{A_s}{A_{t0}}$ نسبة تسليح المقطع

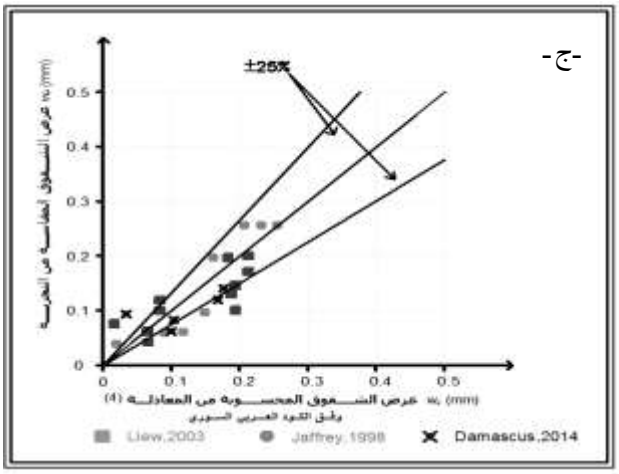
A_s مساحة مقطع جزء من البيتون الذي يحيط بتسليح الشد وينطبق محوره مع محور التسليح.[mm^2]

يعرض الشكل(6) مقارنة بين عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة المقاسة من التجربة (دمشق،2014) وعرض الشقوق المحسوبة بالعلاقات (1)،(2)،(4) وفق الـ (ACI Committee 224, 2004) و(CEB–FIP, 1990) والكود العربي السوري. ومن الواضح في الشكل (6) (أ) و(جـ) تقارب نتائج التجارب مع علاقات الـ ACI و الكود العربي السوري.



المنارة للاستشارات
www.manaraa.com





الشكل (6) مقارنة بين عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة المقاسة من التجربة (دمشق،2014) وعرض الشقوق المحسوبة وفق الـ (ACI Committee 224, 2004) و(CEB–FIP, 1990) والكود العربي السوري

عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية:

(1 (ACI Committee 224, 2004)[1] :

بالعودة إلى المعادلة (1) يحسب اجهاد الفولاذ f_s في حال الجيزان البيتونية المقواة بالـ FRP تبعاً للتحليل المرن للمقطع المتشقق. تحسب مساحة المنطقة الفعالة المشدودة للبيتون A من العلاقة التالية:

$$A = 2bt_r / n_s \quad (5)$$

حيث:

b عرض الجائز

n_s عدد قضبان الفولاذ المشدودة

ويعرف البعد t_r بأنه المسافة بين قوة الشد وأبعد ليف مشدود بالعلاقة التالية :

$$t_r = \frac{A_s t_b}{A_s + \frac{E_{frp}}{E_s} A_{frp}} \quad (6)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

A_s	مساحة التسليح المشدود
A_{frp}	مساحة الـ FRP
E_s	معامل مرونة الفولاذ
E_{frp}	معامل مرونة الـ FRP

2) (CEB–FIP, 1990)[3]:

بالعودة إلى المعادلة (2) تحسب قيمة ε_{cm} و ε_{sm} باعتبار آلية نقل الأحمال إلى منطقة الشد، وتعرف هذه المنطقة بأنها مساحة البيتون بين شقين مع اعتبار مركزها هو مركز التسليح المشدود، وأن المسافة بين الشقين تساوي إلى $l_{s,\max}$. مع العلم أن وسطي اجهاد الترابط بين قضبان الفولاذ والبيتون هو $1.8f_{ctm}$ حيث f_{ctm} قيمة اجهاد الشد في البيتون وذلك حسب [3](CEB–FIP, 1990). كما أن وسطي اجهاد الترابط بين صفيحة الـ FRP والبيتون هو $1.96MPa$ وذلك حسب[11](Wang and Ling, 1998) .

أجريت مقارنة لتقديرات عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP حسب العلاقات في الـ ACI والـ CEB–FIB وحسب النتائج المقاسة من التجارب موضحة في الشكل (7) (أ– ب) بالترتيب. إن 60% من النتائج المقاسة تقع خارج المجال $\pm 25\%$ و إن أغلبها أصغر من القيم المحسوبة. ومن هنا أصبح من الضرورة إيجاد علاقة جديدة تحسب بدقة عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP.

ولتقييم تأثير مجموعة مختلفة من المتغيرات ، تعتبر علاقة [7](Kaar–Mattock, 1963) متوافقة مع علاقة الـ ACI . حيث أن علاقة [7](Kaar–Mattock, 1963) تعتمد على دراسة إحصائية لبيانات تجريبية ومستخدمة بشكل عام في حالة الجيزان البيتونية المسلحة، وهي :

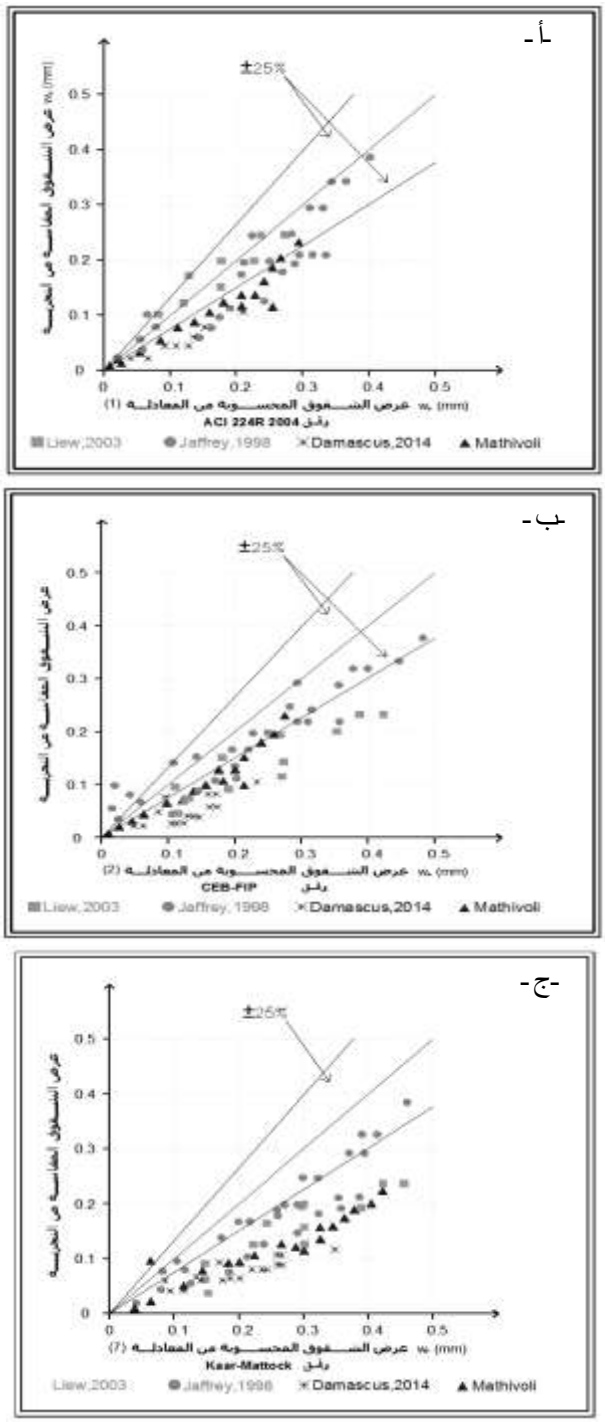
$$w_i = 0.115\sqrt[4]{Af_s}\,10^{-6} \quad (7)$$

إن هذه العلاقة تحسب بشكل أدق من العلاقتين السابقتين(1) و(2) لحساب عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP. يوضح الشكل (7–ج) مقارنة بين نتائج التجارب مع العلاقة (Kaar–Mattock, 1963)[7] .

3) الكود العربي السوري [32]

لم يدرج الكود العربي السوري أية معلومات عن عرض الشقوق في حال كانت الجيزان البيتونية المسلحة مقواة بالـ FRP.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (7) مقارنة بين عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP المقاسة من التجربة (دمشق،2014) وعرض الشقوق المحسوبة وفق الـ ACI Committe 224R 2004 و CEB-FIP Model Code 1990 و Kaar-Mattock, 1963

العلاقة المقترحة لحساب عرض الشقوق الآنية في حال كانت الجيزان البيتونية مقواة بالـ FRP:

يحسب عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP ليكون تابعاً لاجهاد الفولاذ f_s ومساحة المنطقة الفعالة المشدودة للبيتون A ومسافة التغطية الجانبية t_s والمسافة h_1 بين المحور المحايد وأقرب قضيب فولاذ ومن هنا يمكن حساب عرض الشق بالعلاقة العامة التالية[2]:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$w_i = \frac{k_1 (t_s A)^{1/3} f_s}{1 + k_2 \frac{t_s}{h_1}} 10^{-3} (8)$$

حيث :

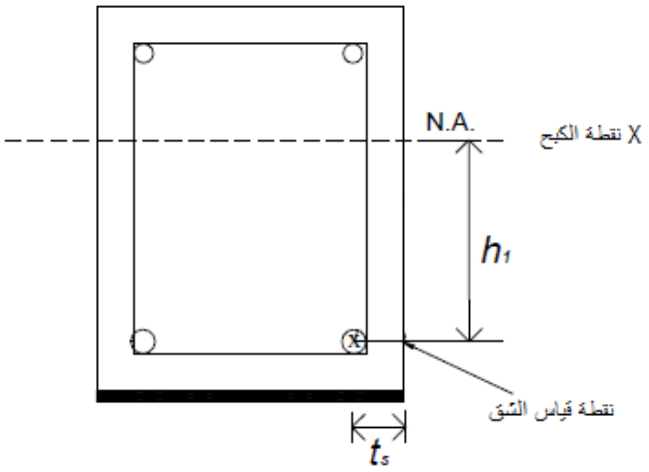
$k_1 k_2$ ثوابت تجريبية

k_1 تم إدخال الثابت التجريبي k_1 المضروب بالاجهاد f_s ليشكل فارقاً بسيطاً في حساب عرض الشقوق عن تلك التي في الجائز الخرساني المسلح غير المقوى.

إن التحليل المرن للمقطع المتشقق للجائز الخرساني المسلح المقوى بالـ FRP يعطي قيماً أقل للاجهاد f_s مقارنةً مع الجائز الخرساني المسلح غير المقوى ولنفس الحمولة.

ومنه يجب أن تكون قيمة k_1 صغيرة

k_2 تكون قيمته أكبر في الجائز الخرساني المسلح مقوى بالـ FRP مقارنةً مع الجائز الخرساني المسلح التقليدي

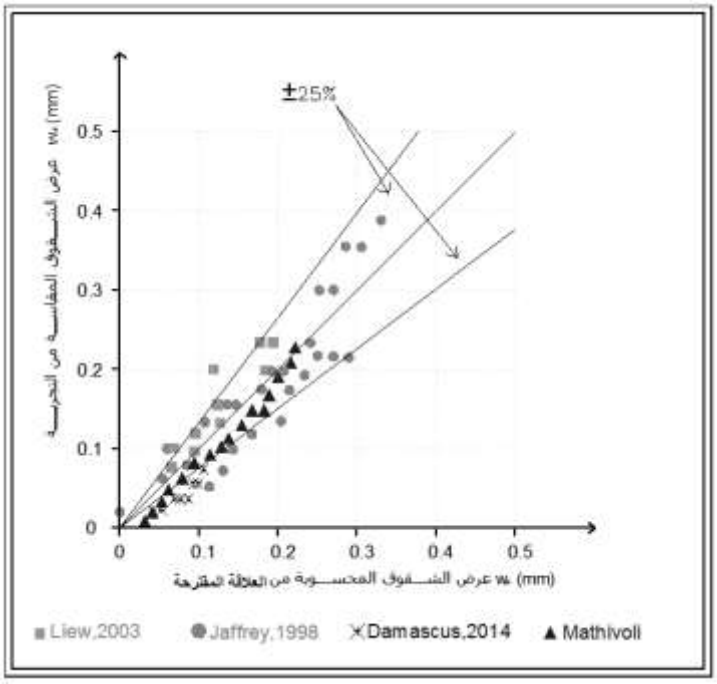


الشكل (8) التغطية الفعالة للبيتون

ولحساب عرض الشق الأعظمي عند سوية قضبان الفولاذ وذلك في الجائز الخرساني المسلح المقوى بالـ FRP يوصى باستخدام العلاقة المقترحة التالية:

$$w_i = \frac{0.0119 (t_s / A)^{1/3} f_s}{1 + 2.06 \frac{t_s}{h_1}} 10^{-3} (10)$$

www.manaraa.com



الشكل (9) مقارنة بين عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP المقاسة من التجربة (دمشق،2014) وعرض الشقوق المحسوبة وفق العلاقة المقترحة (10)

عرض الشقوق طويلة الأمد:

تم قياس عرض الشقوق طويل الأمد للجيزان البيتونية المسلحة المختبرة في تجربة دمشق 2014 مع اعتبار نسب مختلفة للتقوية بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية و أيضاً نسب مختلفة من سويات التحميل الدائم. أدرجت نتائج عرض الشقوق الآنية ومقدار تزايد عرض الشقوق طويلة الأمد بعد عام من التحميل في الجدول (3). استخدمت هذه النتائج التجريبية للتوصل الى علاقة تقريبية للتنبؤ بعرض الشقوق طويل الأمد.

1-تأثير التحميل الدائم:

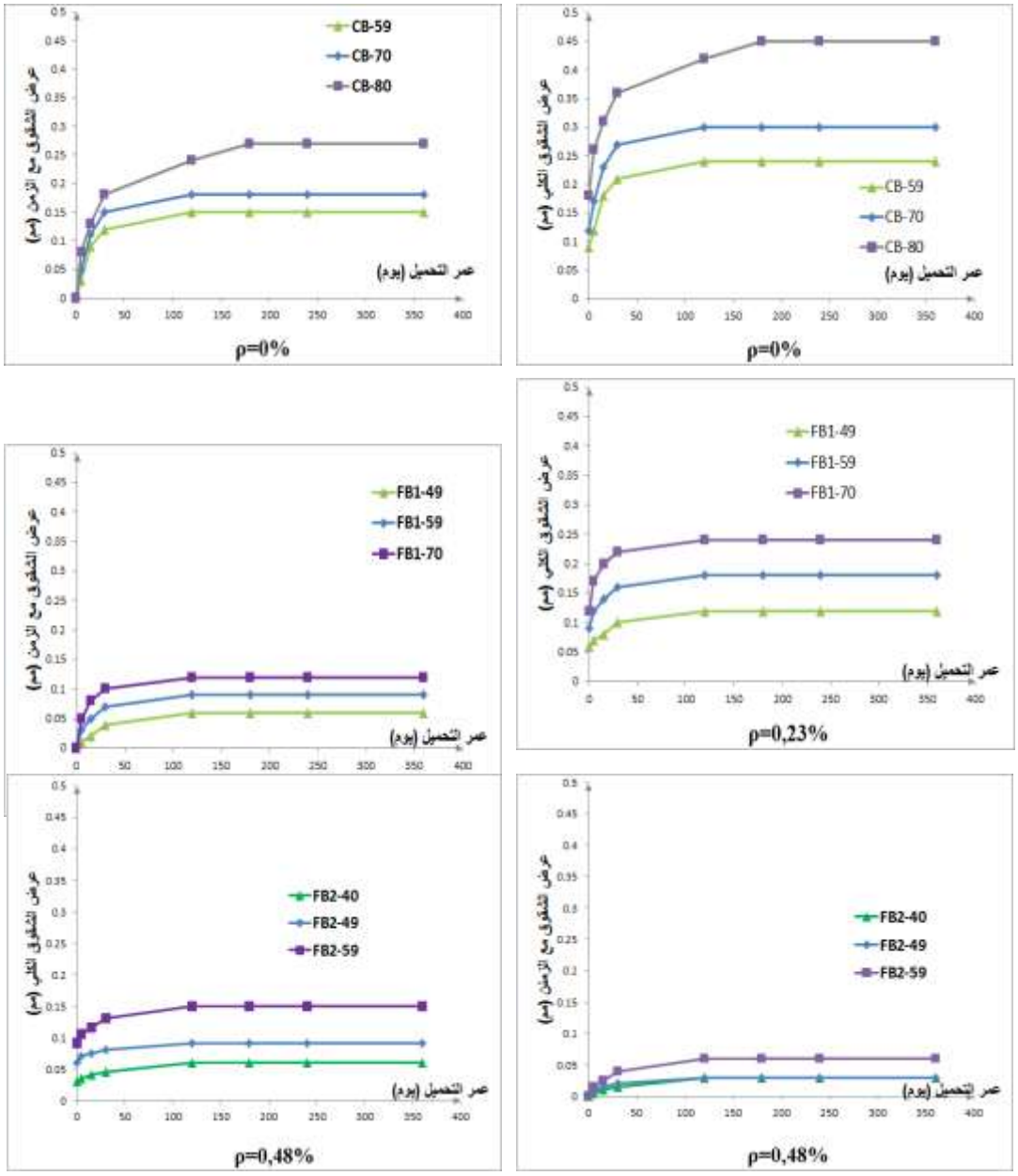
يظهر في الشكل (10) عرض الشقوق في الجيزان المختبرة على شكل ثلاث مجموعات كل منها ثلاثة جيزان خرسانية مسلحة وبنسب تقوية بالـFRP مختلفة $\rho_{frp}=0.23\%$ و $\rho_{frp}=0.48\%$ و $\rho_{frp}=0\%$. حيث تخضع الجيزان في المجموعات الثلاث إلى حمولات دائمة مختلفة P_s . ونلاحظ أنه كلما ارتفعت قيمة التحميل الدائم P_s زاد عرض الشقوق الكلية وكذلك مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن .

نلاحظ من الشكل(10) السطر الأول $\rho_{frp}=0\%$ أن عرض الشقوق في نهاية عام التحميل عند التحميل بحمولة 14KN (CB-80) تكون أكبر بمقدار 88% عن التحميل 10KN (CB-59) والفرق هنا ايضا 25%.

في السطر الثاني $\rho_{frp}=0.23\%$ أن عرض الشقوق في نهاية عام التحميل عند التحميل بحمولة 14KN (FB1-70) تكون أكبر بمقدار 100% عن التحميل 10KN (FB1-49) والفرق هنا ايضا 50%.

في السطر الثالث $\rho_{frp}=0.48\%$ أن عرض الشقوق في نهاية عام التحميل عند التحميل بحمولة 14KN (FB2-59) تكون أكبر بمقدار 150% عن التحميل 10KN (FB2-50) والفرق هنا ايضا 50%.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل(10)عرض الشقوق في الجيزان المختبرة مع اختلاف سويات التحميل الدائم

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تأثير نسبة التقوية:

يبين الشكل (11) عرض الشقوق في الجيزان المختبرة مع اختلاف نسبة التقوية $\rho_{frp}(\%)$ وثبات الحمولة الدائمة P_s. ونلاحظ أنه كلما ارتفعت نسبة التقوية $\rho_{frp}(\%)$ انخفض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن وبالتالي عرض الشقوق الكلية.

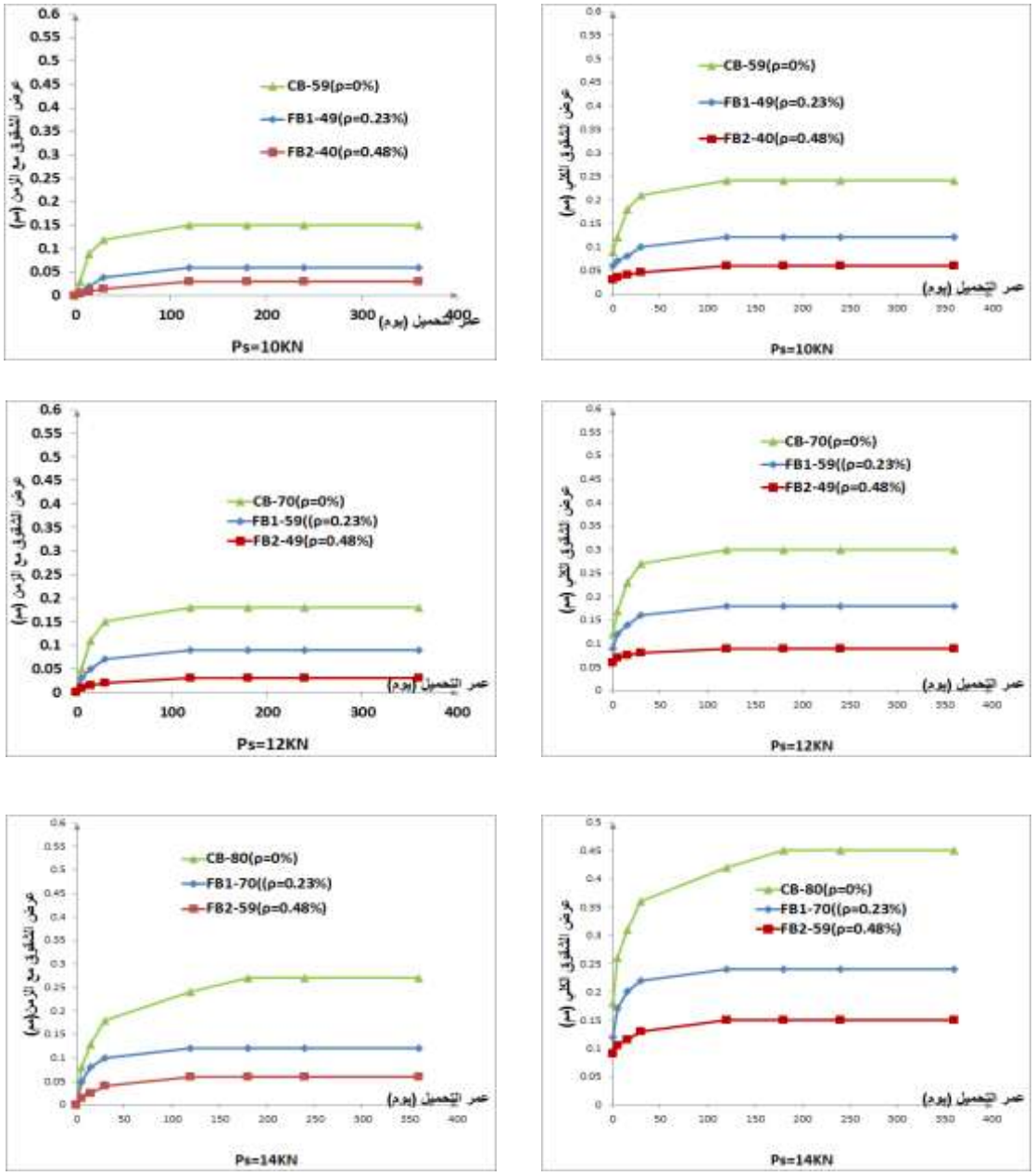
في الشكل (11) السطر الأول، انخفض مقدار تزايد عرض الشقق مع الزمن في الجائز FB1-49 بمقدار 50% والجائز FB2-40 بمقدار 75% عن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز CB-59 وذلك بعد عام كامل من التحميل نفسه $P_s = 10KN$. وكذلك نلاحظ في السطر الثاني، انخفض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز FB1-59 بمقدار 40% والجائز FB2-49 بمقدار 70% عن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز CB-70 وذلك بعد عام كامل من التحميل نفسه $P_s = 12KN$. وفي السطر الثالث، انخفض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز FB1-70 بمقدار 47% والجائز FB2-59 بمقدار 67% عن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز CB-80 وذلك بعد عام كامل من التحميل نفسه $P_s = 14KN$.

ومنه نستخلص أنه يصبح لصفائح الFRP دور أوضح في ضبط الشقوق مع الزمن .

3-تثبيت سوية التحميل :

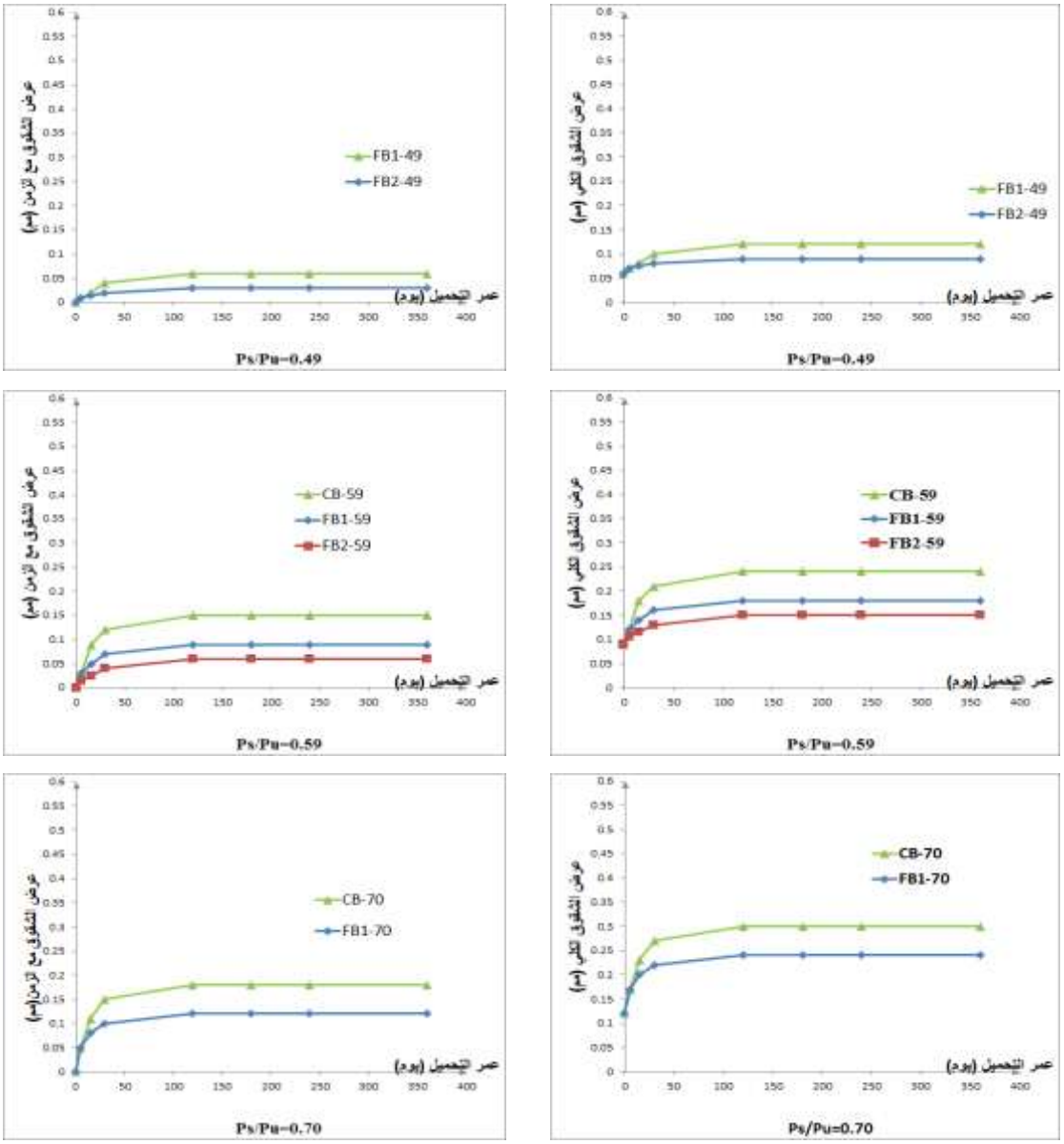
كما أجريت مقارنة للجيزان المختبرة لدراسة عرض الشقوق مع تثبيت سوية التحميل الدائم P_s/P_U، الشكل(12). وبشكل عام كلما زادت نسبة التقوية بالFRP قل عرض الشقوق وذلك مع ثبات سوية التحميل. نلاحظ في الشكل (12) السطر الثاني، انخفاض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز FB1-59 بمقدار 25% وفي الجائز FB2-59 بمقدار 38% عن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز CB-59 وذلك بعد عام كامل من التحميل بسوية تحميل دائم ثابتة وهي $P_s / P_u = 0.59$. ومنه، كلما كانت نسبة التقوية بالـ FRP أكبر تؤدي الى زيادة المقاومة على الانعطاف مما يؤدي الى ضبط الشقوق.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل(11) عرض الشقوق في الجيزان المختبرة مع اختلاف نسبة التقوية بالـ FRP

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل(12) عرض الشقوق في الجيزان المختبرة مع تثبيت سوية التحميل الدائم

إن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP تحت تأثير تحميل الدائم، يتعلق بعرض الشقوق الآنية وبمتغيرات كنسبة تقوية البوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية ρ_{frp} وسوية التحميل الدائم α_s. ويمكن إنشاء علاقة بالاعتماد على النتائج التجريبية المقاسة في هذه الدراسة .

من الجدول (3) نلاحظ أن انخفاض النسبة w_t/w_i (والتي تعبر عن نسبة تزايد عرض الشقوق مع الزمن الى عرض الشقوق الآنية) يترافق مع ارتفاع نسبة التحميل الدائم α_s وذلك في كل الجيزان بغض النظر عن وجود صفائح تقوية الـ FRP أو عدم وجودها. أي إن تزايد نسبة التحميل الدائم α_s يؤدي الى عرض شق آني أكبر من مقدار تزايد عرض الشق مع الزمن، مما يؤدي إلى انخفاض في النسبة w_t/w_i مع ارتفاع نسبة التقوية ρ_{frp} ومنه نستنتج أن لصفائح الـ FRP دوراً أكبر في كبح تزايد انفتاح الشقوق مع الزمن عن دورها في كبح الشقوق الآنية.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تم التوصل إلى علاقة رياضية تجريبية لحساب عرض الشقوق طويلة الأمد في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بالـ FRP ، تأخذ هذه العلاقة نسبة التحميل الدائم مع اعتبار مقاومة الانعطاف للجائز بدون FRP ، ومقدار مقاومة الـFRP الذي يتعلق بـ ρ_{frp} ،وبما أن نسبة مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن الى عرض الشقوق الآنية w_t/w_i تنخفض مع ارتفاع نسبة التحميل الدائم ومقدار مقاومة الـFRP نجد العلاقة المقترحة التالية :

$$w_t/w_i = 2.4 - 1.5\frac{P_s}{P_o}\times\frac{P_u}{P_o} \quad (11)$$

P_o الحمولة الحدية للجائز البيتوني المسلح بدون FRP في تجربة دمشق هو 17KN

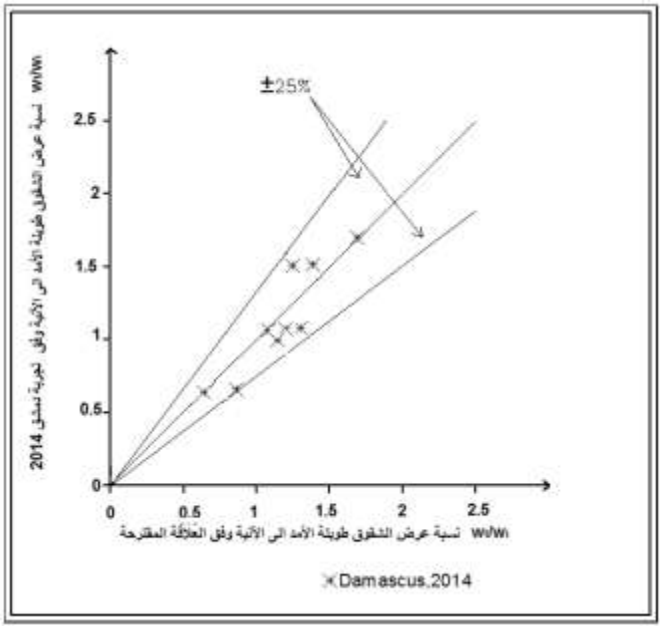
P_u الحمولة الحدية

P_s حمولة خدمة

w_t مقدار تزايد عرض الشق مع الزمن

w_i عرض الشق الآني

يوضح الشكل(13) توافق نتائج تجربة دمشق 2014 مع العلاقة المقترحة لنسبة مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن الى عرض الشقوق الآنية .



الشكل (13) نسبة مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن الى عرض الشقوق الآنية وفق تجربة دمشق 2014 والعلاقة المقترحة (11)

www.manaraa.com

الاستنتاجات والتوصيات:

1- تم التأكد من الدور الإيجابي لتقوية الجيزان البيتونية المسلحة بلصق صفائح الـ FRP خارجياً في تحسين سلوك الجائز على الانعطاف وكبح تزايد انفتاح الشقوق ، حيث إنه كلما زادت نسبة التقوية بالـ FRP قل عرض الشقوق وذلك مع ثبات سوية التحميل الدائم.

2- إن العلاقة التجريبية الجديدة المستنتجة بالاعتماد على دراسة إحصائية لنتائج التجارب العالمية ولنتائج التجربة المجراة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية لحساب عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة مقواة بالـ FRP تعطي نتائج متوافقة مع النتائج التجريبية.

3- إن العلاقة التجريبية المقترحة لحساب مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجيزان البيتونية المسلحة مقواة بالـ FRP تعطي نتائج جيدة ومتوافقة مع النتائج التجريبية.

4- إن لصفائح الـ FRP دور أكبر في كبح تزايد انفتاح الشقوق مع الزمن عن دورها في كبح الشقوق الآنية.

5- يوصى بدراسة تأثير العوامل الجوية المختلفة في الجيزان البيتونية المسلحة مقواة بالـ FRP تحت تأثير الحمولات الدورية.

6- يوصى بإجراء تجارب لدراسة ظاهرة الزحف في الـ FRP ولأنواع مختلفة منها، ودراسة نتائجها على سلوك الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بها.

الخلاصة:

أجريت تجارب مخبرية على جيزان البيتونية المسلحة مقواة بالبوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية FRP لتقييم عرض الشقوق الآنية وطويلة الأمد. وبما أن العلاقات المتوفرة لحساب عرض الشقوق الآنية في الجيزان البيتونية المسلحة لا تعط نتائج دقيقة في حال الجيزان البيتونية المقواة بالـ FRP تم تطوير علاقة تجريبية بالاعتماد على دراسات إحصائية لنتائج التجارب العالمية [6-9-10] ولنتائج التجربة المعدة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية للحصول على نتائج لحساب عرض الشقوق الآنية بحيث تكون أدق وأقرب إلى النتائج المقاسة من التجارب.

إن الصيغة التجريبية بالاعتماد على نتائج التجربة (دمشق 2014) تقدر عرض الشقوق طويلة الأمد في الجيزان البيتونية المسلحة مقواة بالـ FRP وذلك بنسبها إلى عرض الشقوق الآنية. وتبين أنه كلما زادت نسبة التقوية بالـ FRP كلما قل عرض الشقوق وذلك مع ثبات سوية التحميل الدائم .وبالتالي نتوصل إلى أن طريقة التقوية بلصق صفائح الـ FRP الخارجية تحسن من أداء الجائز الخرساني المسلح على الانعطاف وتكبح من تزايد انفتاح الشقوق.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المراجع:

1. ACI Committee 224R, ACI Manual of Concrete Practice Part 2, USA, 2004, pp.17-21.

2. Broms, B., Crack Width and Crack Spacing in Reinforced Concrete Members, ACI Journal, 1965, pp.1237-1256.

3. CEB-FIP Model Code, Comite Euro International Du Beton – London, 1990, pp.246-253.

4. Dai, Jian-Guo; Yokota, Hiroshi; Iwanami, Mitsuyasu; Kato, EMA Experimental Investigation of the Influence of Moisture on the Bond Behavior of FRP to Concrete Interfaces, , Journal of Composites for Construction, 11.2010

5. Gergely, P. and Lutz, L.A., Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members. In Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete, ACI Special Publication SP-20, 1968, pp.87-117.

6. Jaffrey, A., Flexural Behavior of RC Beams Externally Bonded with Fiber Reinforced Polymer Plates, National University of Singapore, 1998.

7. Kaar, P.H and Mattock, A.H., High-Strength Bars as Concrete Reinforcement Part 4: Control of Cracking, Journal, PCA Research and Development Laboratories, 1963, pp.15-38.

8. K.H. Tan a,*, M.K. Saha b, Y.S. Liew c FRP-strengthened RC beams under sustained loads and weathering, National University of Singapore, 2009.

9. Liew, Y.S, Durability of FRP Composites under Tropical Climate, National University of Singapore, 2003.

10. Mathivoli, M, Behavior of Preload RC Beams Bonded with Carbon Fiber Sheets, National University of Singapore, 1999.

11. Wang, C.Y. and Ling, F.S., Prediction Model for the Debonding Failure of Cracked RC Beams with Externally Bonded FRP Sheets, Arizona, US, 1998, pp.548-562.

12. التهامي أبو زيد التهامي: محمد خالد الهادي سويلم، تدعيم المنشآت البيتونية باستخدام الضغط الخارجي للعناصر الإنشائية، جامعة الزقازيق، مصر 2007

13. غاندي علي جحجاح: قصي علي نداف: ميرفت حسن حشمة، دراسة سلوك الجوائز البيتونية المقواة خارجياً بصفائح من الـ GFRP تجريبياً، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، 2007

14. نقابة المهندسين الجمهورية العربية السورية، الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالبيتون المسلحة، الطبعة الرابعة، دمشق 2012

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com