

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

الدكتور محمد غريب*

ديانا وردة**

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

□ ملخص □

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 [6-9-10] ونتائج التجربة المجرأة 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 بال FRP تحت تأثير الحمولات الدائمة باعتماد نتائج التجربة المجرأة من أجل هذا البحث (دمشق، 2014).

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

* أستاذ- قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق- سورية.

** طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق- سورية.

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.

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 [12] FRP Strengthened RC Beam. ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة في تقييم مدى دقة هذه العلاقات من أجل حساب عرض الشق الآني في حال الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال FRP. وبالتالي، يقترح اعتماد العلاقة التجريبية الجديدة المطروحة في هذه الورقة في حال حساب عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال FRP، على أساس تحليل نتائج بيانات الاختبارات من تجارب سابقة [6-9-10] 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 بال FRP تحت تأثير سويات تحميل دائم مختلفة ونسب تقوية مختلفة.
-دراسة مقارنة عرض الشقوق طويلة الأمد في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال 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 ال 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 ال FRP المختلفة. الشكل (2) يوضح شكل التحميل الآني في جازر البيتون المسلح المقواة بالبوليميرات المسلحة بالالياف الكربونية من التجربة الحالية.



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

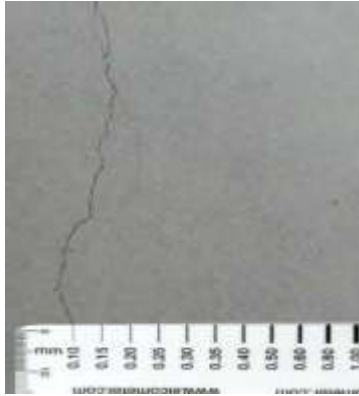


الشكل (2) التحميل الآني للجيزان البيتونية المسلحة المقواة بنسب الـ FRP المختلفة

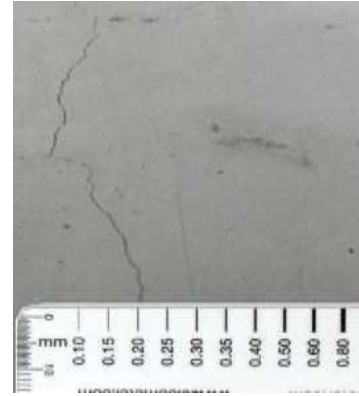
تم قياس عرض الشقوق في التجربة (دمشق، 2014) باستخدام مكبر يدوي ومسطرة التشققات على مستوى فولاذ التسليح الشكل (3) . ويوضح الشكل (4) قياس عرض الشقوق بشكل عام في جائز خرساني مسلح مدعم بالـ FRP وغير مدعم بالـ FRP.



الشكل (3) مسطرة التشققات ومكبر لقياس عرض الشقوق



مدعم بال FRP



غير مدعم بال FRP

الشكل (4) قياس عرض الشقوق بشكل عام في جانز خرساني مسلح مدعم بال FRP وغير مدعم بال FRP

الجدول (1) مواصفات جيزان التجارب

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

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

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

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

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 الرمز 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 الحديدية $P_U (KN)$ 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 الحديدية و هي سوية التحميل

العمود السادس: عرض الشقوق الآتية المقاسة من التجربة بالـ mm

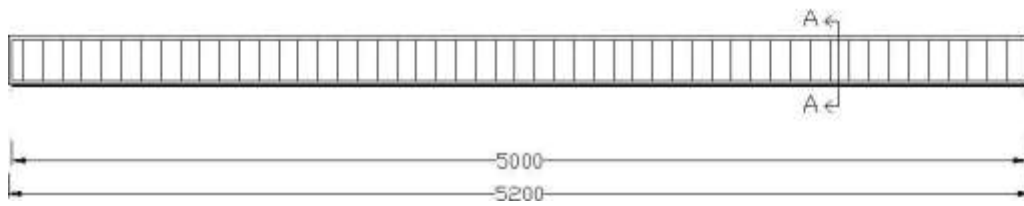
العمود السابع: مقدار تزايد عرض الشقوق المقاسة من التجربة بالـ mm أي مقدار تزايد عرض الشق بعد عام

كامل من التحميل، ومنه يكون عرض الشق طويل الأمد هو عرض الشق الآتي مضاف إليه مقدار تزايد عرض الشق طويل الأمد.

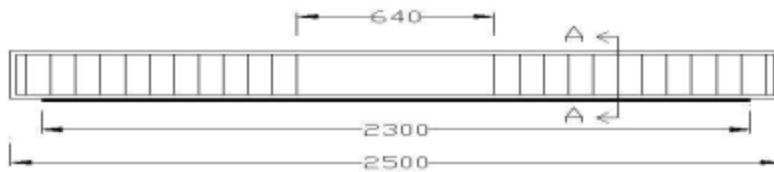
الجدول (3) عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة الـ FRP في التجربة (دمشق 2014)

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

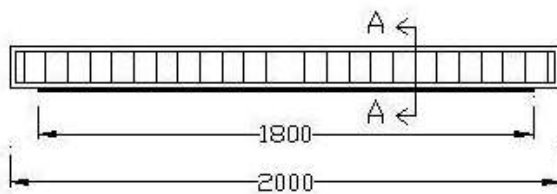
1.000	0.24	0.12	0.12	0.70	14			FB1-70
1.000	0.06	0.03	0.03	0.40	10	24.5	0.48	FB2-40
0.500	0.09	0.03	0.06	0.49	12			FB2-49
0.667	0.15	0.06	0.09	0.59	14			FB2-59



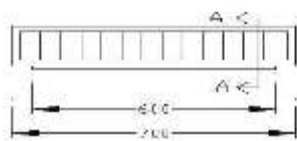
Damascus 2014



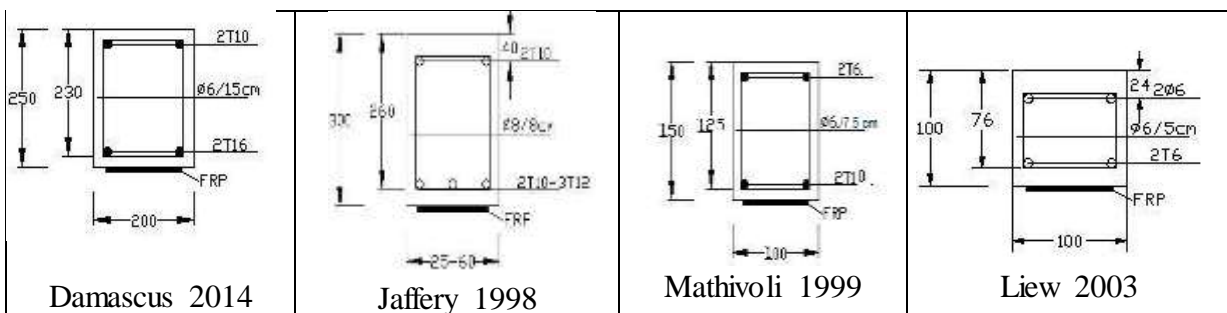
Jaffery 1998



Mathivoli 1999



Liew 2003



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

عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة :

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

يُدرج [1] (ACI Committee 224, 2004) 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:

$$w_i = \frac{0.00913 \sqrt{t_b A}}{1 + t_s / h_1} (f_s - 5) 10^{-3} \quad (1)$$

حيث:

أكبر عرض للشق عند سوية قضبان الفولاذ المشدودة [in]	w_i
الغطاء السفلي والجانبى من المركز الأقرب لقضبان الفولاذ [in]	t_b, t_s
مساحة المنطقة الفعالة المشدودة للبيتون وهي مساحة البيتون مع قضبان الفولاذ المشدودة مقسومة على عدد القضبان [sq.in]	A
البعد بين المحور المحايد ومركز قضبان الفولاذ المشدودة [in]	h_1
اجهاد الشد في قضبان الفولاذ [ksi]	f_s

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

من ناحية أخرى، يدرج [3] (CEB-FIP, 1990) 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 [mm²]

$A_{ce} = b[2.5(h - d)]$ مساحة المنطقة المشدودة الفعالة في البيتون [mm²]

b عرض الجائز في منطقة الشد [mm]

h ارتفاع المقطع [mm]

d الارتفاع الفعال من المركز الى التسليح المشدود [mm]

(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:

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

قطر قضبان الفولاذ [mm] ϕ

أقصى إجهاد شد في فولاذ التسليح، تحت أحمال الاستثمار للمقطع المنشق وتضرب بالمعامل 1.6 σ_s

في حال استعمال التسليح الأملس.

سمك الغطاء الخرساني لقضيب التسليح c

أكبر عرض للشقوق Ω_{\max}

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

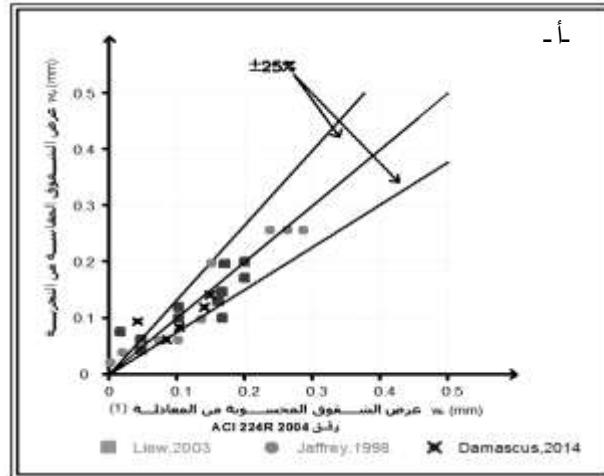
مساحة مقطع جزء من البيتون الذي يحيط بتسليح الشد وينطبق محوره مع محور التسليح. A_s [mm²]

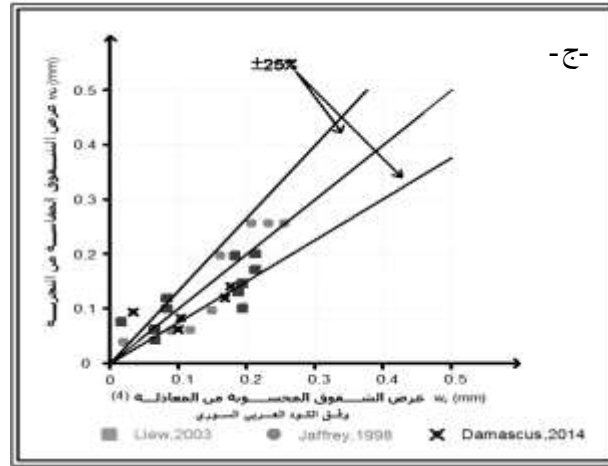
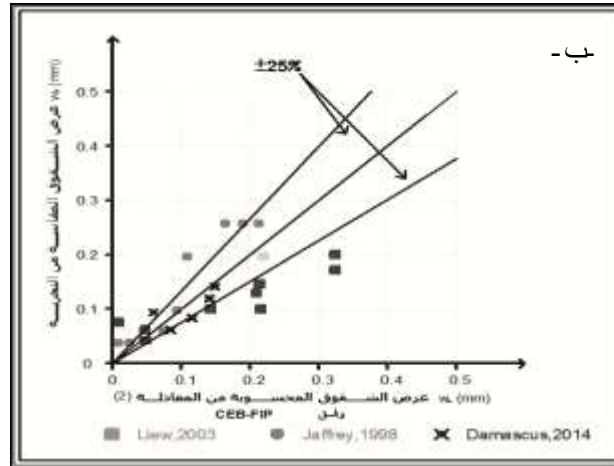
يعرض الشكل (6) مقارنة بين عرض الشقوق الآتية في الجيزان البيتونية المسلحة المقاسة من التجربة

(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 (ب) تقارب نتائج التجارب

مع علاقات الـ ACI و الكود العربي السوري.





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:

$$(1) [1] \text{ (ACI Committee 224, 2004)} :$$

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 :

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

مساحة التسليح المشدود	A_s
مساحة الـ FRP	A_{frp}
معامل مرونة الفولاذ	E_s
معامل مرونة الـ FRP	E_{frp}
(2) [3](CEB-FIP, 1990):	

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 $1.8f_{cm}$ حيث f_{cm} قيمة اجهاد الشد في البيتون وذلك حسب [3](CEB-FIP, 1990). كما أن وسطي اجهاد الترابط بين صفحة 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.

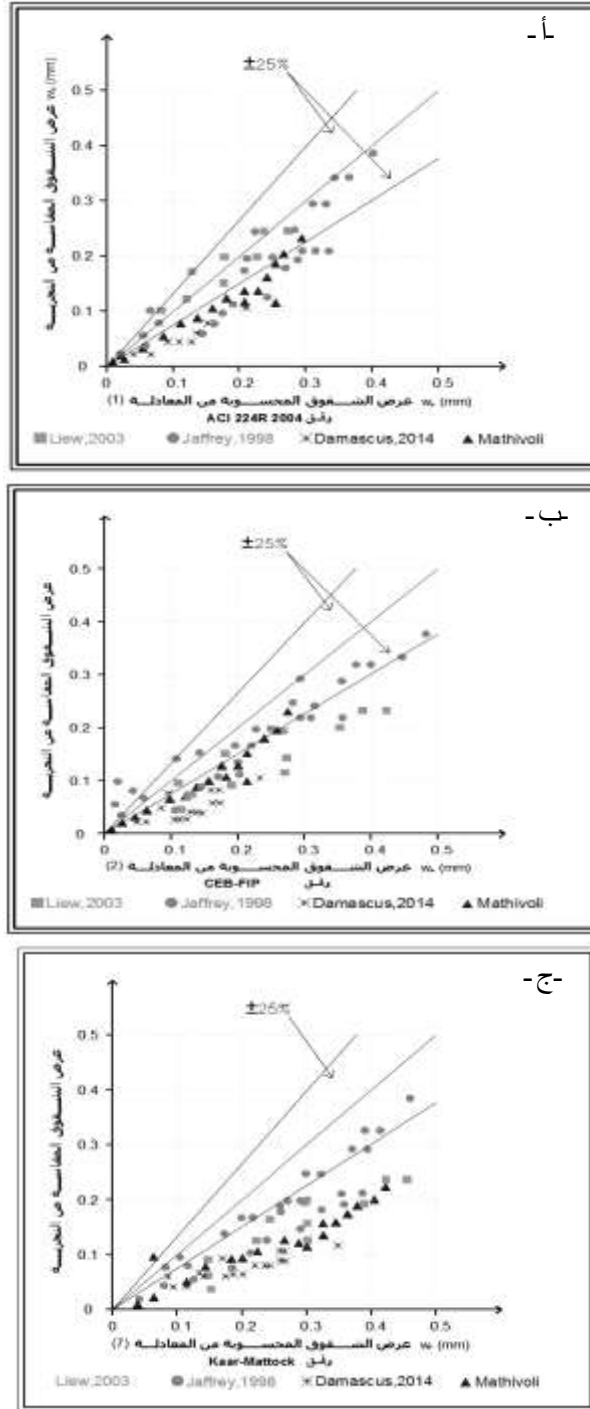
ولتقييم تأثير مجموعة مختلفة من المتغيرات، تعتبر علاقة [7](Kaar-Mattock, 1963) متوافقة مع علاقة الـ ACI. حيث أن علاقة [7](Kaar-Mattock, 1963) تعتمد على دراسة إحصائية لبيانات تجريبية ومستخدمة بشكل عام في حالة الجيزان البيتونية المسلحة، وهي:

$$w_i = 0.115^4 \sqrt{A f_s} 10^{-6} \quad (7)$$

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].

$$(3) \quad \text{الكود العربي السوري [32]}$$

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



الشكل (7) مقارنة بين عرض الشقوق الآتية في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال 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

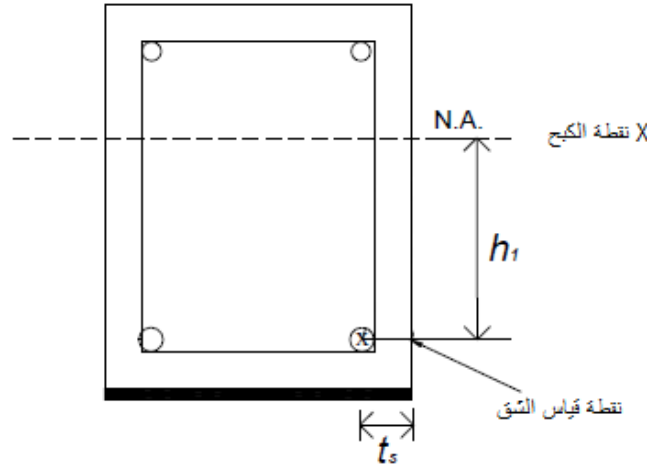
العلاقة المقترحة لحساب عرض الشقوق الآتية في حال كانت الجيزان البيتونية مقواة بال FRP:

يحسب عرض الشقوق في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال FRP ليكون تابعاً لأجهاد 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]:

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

حيث :

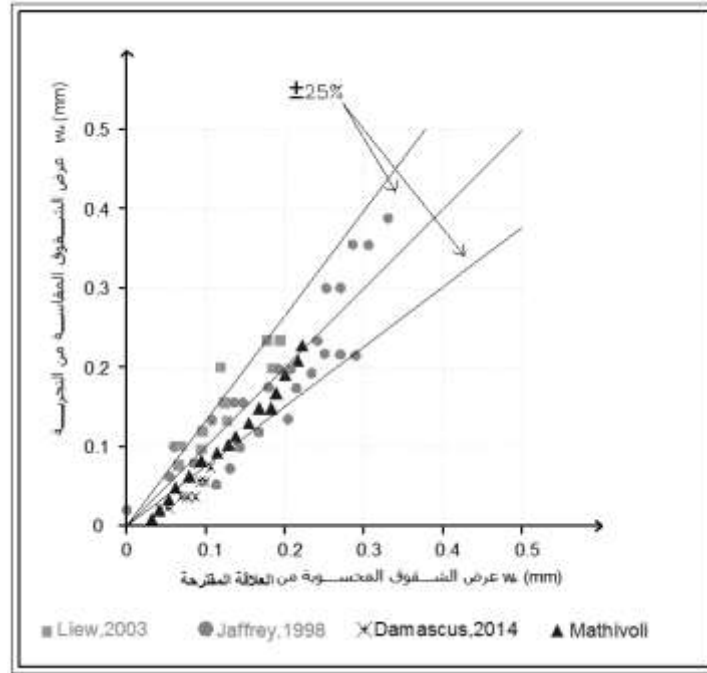
ثابت تجريبية $k_1 k_2$
 تم إدخال الثابت التجريبي k_1 المضروب بالاجهاد f_s ليشكل فارقاً بسيطاً في حساب عرض الشقوق عن تلك التي في الجائز الخرساني المسلح غير المقوى.
 إن التحليل المرن للمقطع المنشق للجائز الخرساني المسلح المقوى بال FRP يعطي قيمة أقل للاجهاد f_s مقارنةً مع الجائز الخرساني المسلح غير المقوى ولنفس الحمولة.
 ومنه يجب أن تكون قيمة k_1 صغيرة
 تكون قيمته أكبر في الجائز الخرساني المسلح مقوى بال FRP مقارنةً مع الجائز الخرساني المسلح التقليدي k_2



الشكل (8) التغطية الفعالة للبيتون

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

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



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

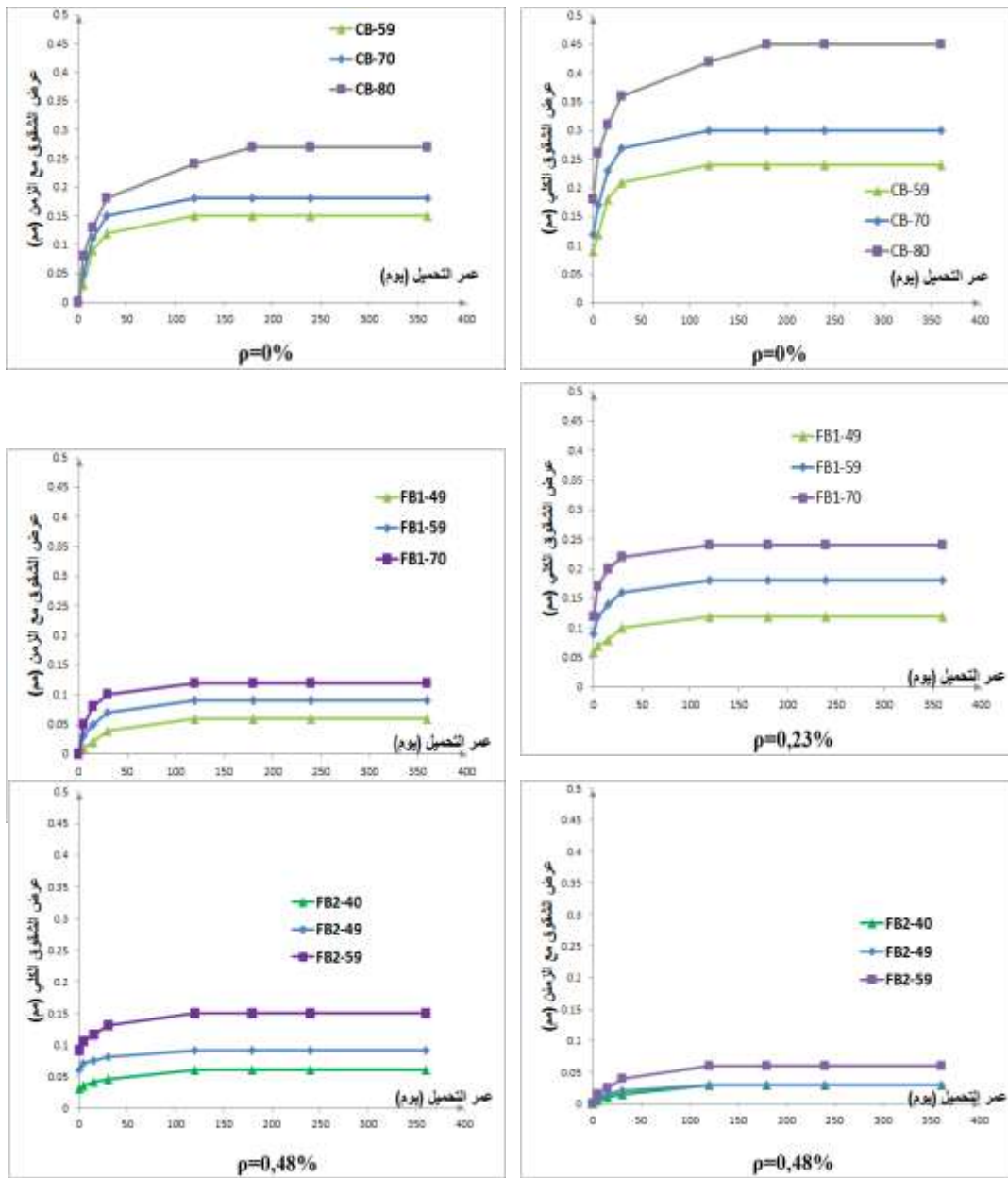
عرض الشقوق طويلة الأمد:

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 الآتية 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 بالFRP 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%.



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

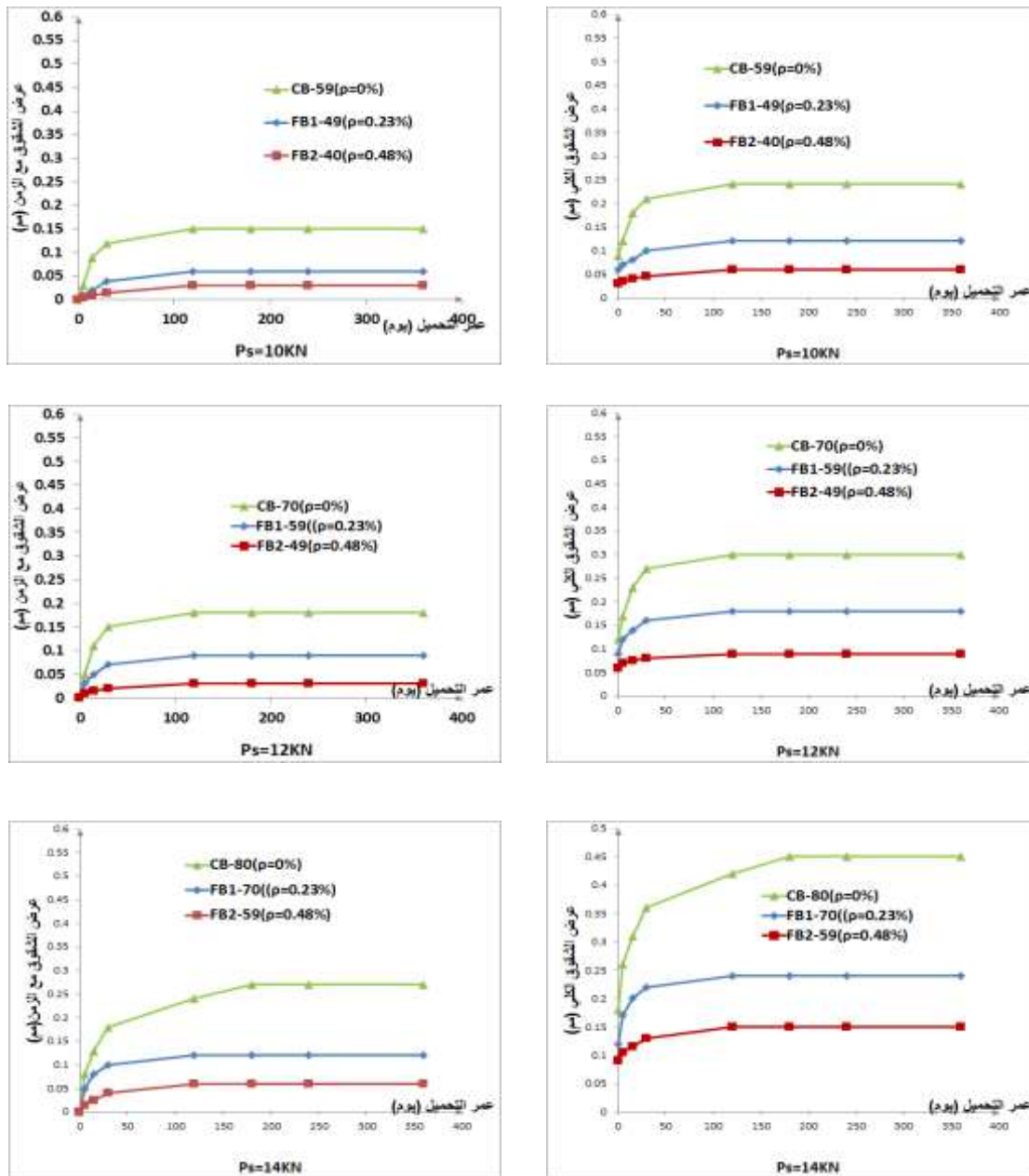
تأثير نسبة التقوية:

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

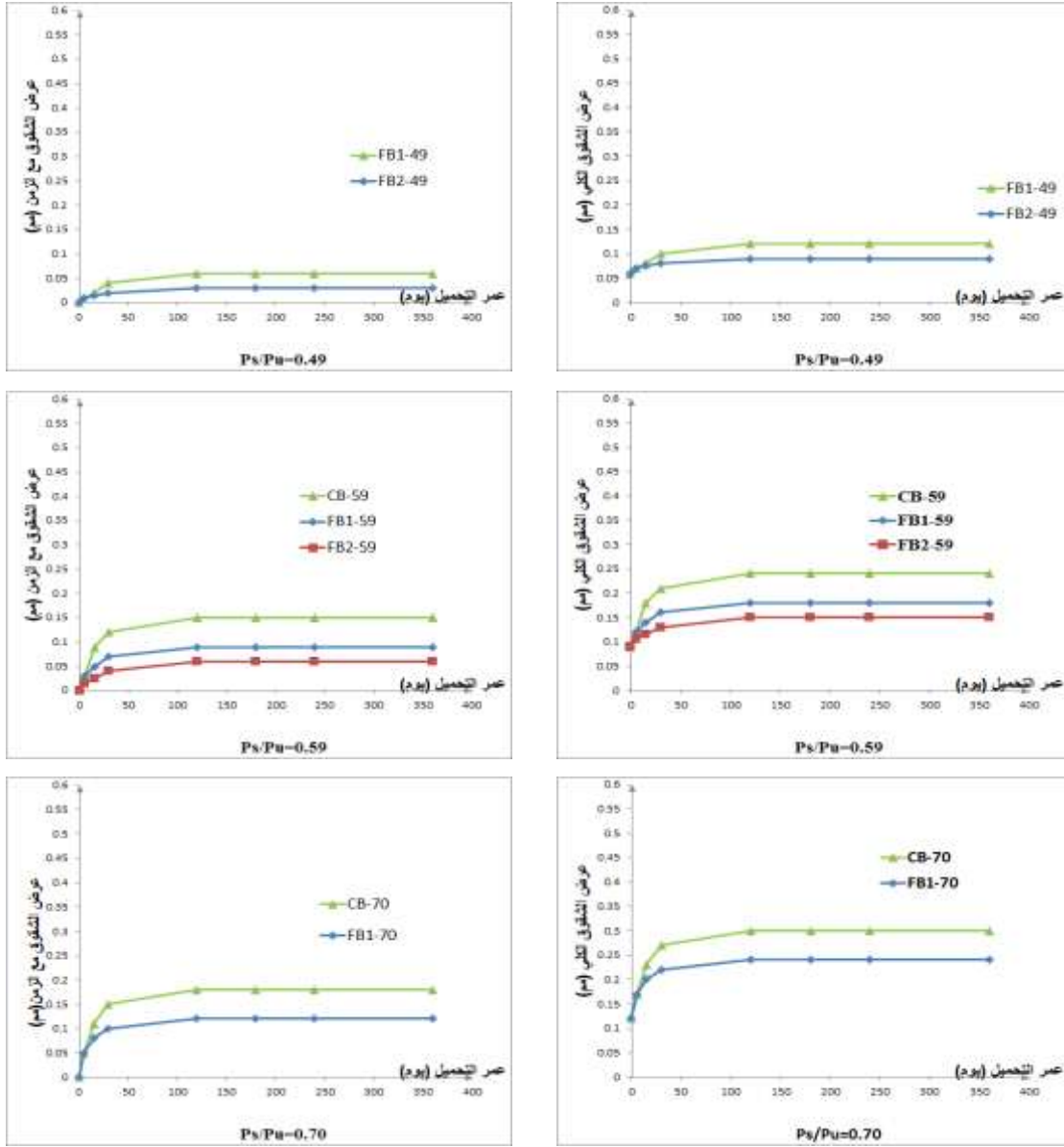
في الشكل (11) السطر الأول، انخفض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز FB1-49 بمقدار 50% والجائز FB2-40 بمقدار 75% عن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز CB-59 وذلك بعد عام كامل من التحميل نفسه $P_s = 10KN$. وكذلك نلاحظ في السطر الثاني، انخفض مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجائز FB1-59 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 بالFRP أكبر تؤدي الى زيادة المقاومة على الانعطاف مما يؤدي الى ضبط الشقوق.



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



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

إن مقدار تزايد عرض الشقوق مع الزمن في الجيزان البيتونية المسلحة المقواة بال 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_i/w_t (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 ال FRP أو عدم وجودها. أي إن تزايد نسبة التحميل الدائم α_s يؤدي الى عرض شق أي أكبر من مقدار تزايد عرض الشق مع الزمن، مما يؤدي إلى انخفاض في النسبة w_i/w_t مع ارتفاع نسبة التقوية ρ_{frp} ومنه نستنتج أن لصفائح ال FRP دوراً أكبر في كبح تزايد افتتاح الشقوق مع الزمن عن دورها في كبح الشقوق الآنية.

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

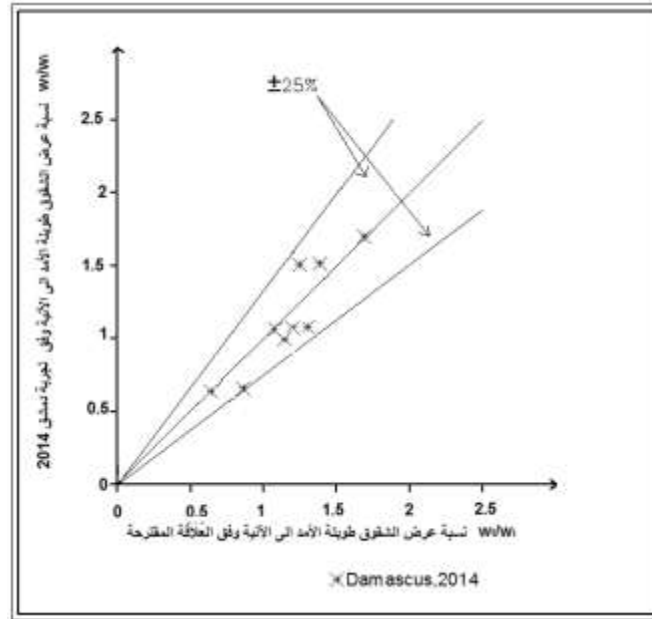
P_s حمولة خدمة

w_t مقدار تزايد عرض الشق مع الزمن

w_i عرض الشق الآتي

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

الزمن الى عرض الشقوق الآتية .



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

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 و لنتائج التجربة المجراة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية لحساب عرض الشقوق الآتية 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 الآتية.
- 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 الآتية وطويلة الأمد. وبما أن العلاقات المتوفرة لحساب عرض الشقوق الآتية 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] و لنتائج التجربة المعدة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية للحصول على نتائج لحساب عرض الشقوق الآتية 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 الآتية. 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.

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 ججاج: 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