

دراسة تجريبية في مقاومة الثقب للبلاطات الفطرية المسلحة**بقضبان BFRP**محمد فواز عباس⁽¹⁾عبد الحميد كيخيا⁽²⁾ هشام المما⁽³⁾**الملخص:**

نظراً لطبيعتها غير القابلة للصدأ ومقاومتها العالية وخفة وزنها، فإن القضبان المصنوعة من البوليميرات المسلحة بالألياف تستخدم على نطاق واسع في عمليات التشييد لا سيما في البيئات القاسية. تتضمن هذه الدراسة اختبارات تجريبية لـ خمس من البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان البوليمير المسلح بالألياف البازلتية BFRP تحت تأثير قوى محورية في الأعمدة تكافئ القوى المنقولة بين البلاطات والأعمدة في الواقع ومقارنتها بنموذج بلاطة فطرية مسلحة بالقضبان الفولاذية. تمت دراسة آلية الانهيار والشقوق والانتقالات الحاصلة ومحيط الثقب للبلاطات إضافة للقوة المسببة للثقب ومقارنتها مع القيم التحليلية التي تعطيها علاقات التصميم في الكودات، حيث أبدت نتائج الكودات قيماً متحفظة لحمولة الثقب، كما أبدت البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انتقالات أكبر بنسبة 23.5%، وقدرة تحمل على الثقب أقل بنسبة 24.4% من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية، وبينت نتائج الدراسة التجريبية أن زيادة سماكة البلاطة أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 62% وأن زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 18% وأن زيادة نسبة تسليح البلاطة أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 22% وأن نقصان أبعاد العمود أدى إلى انخفاض حمولة الثقب بنسبة 13% وذلك وفق المواصفات المحددة لنماذج البلاطات في هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: البوليميرات المسلحة بالألياف البازلتية (BFRP) - بلاطات فطرية-الثقب - الشقوق -نسبة التسليح.

(1) طالب دكتوراة - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

(2) أستاذ دكتور - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

(3) مدرس دكتور - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

Experimental Study on punching strength of Flat Slabs Reinforced with BFRP Bars

Mohammad Fawaz Abbas⁽¹⁾

Abd Al Hamed Kikhea⁽²⁾

Hisham Al mamma⁽³⁾

Abstract:

Due to its non-corrosive nature, high strength, and lightweight, fiber-reinforced polymer (FRP) bars are widely used in construction operations, especially in harsh environments. This study includes experimental tests on several flat slabs reinforced with BFRP bars under the effect of axial forces in columns equalizing the forces transferred between slabs and columns in reality and comparing them to a model of a flat slab reinforced with steel bars. The mechanism of collapse, cracks, resulting displacements, and punching perimeter of the slabs were studied, in addition to the force causing the punching and comparing it with the analytical values provided by design equations in codes. The results of the codes showed conservative values for punching load capacity, while the flat slab reinforced with BFRP bars exhibited larger displacements by 23.5% and lower punching capacity by 24.4% than slab reinforced with steel bars. The results of the experimental study showed that increasing the slab thickness increased the punching force by 62%, increasing the concrete's compressive strength increased the punching force by 18%, increasing the slab reinforcement ratio increased the punching force by 22%, and decreasing the column dimensions decreased the punching force by 13%, according to specifications for the slabs in this study.

Key words: Basalt Fiber Reinf. Polymers (BFRP), Flat Slabs, Punching, Cracking, Reinforcement ratio.

⁽¹⁾PhD student- Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

⁽²⁾ Prof. Dr. Abd Al Hamed Kikhea Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

⁽³⁾ Dr. Hisham Al mamma Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

-مقدمة 1 يُعدّ تآكل قضبان التسليح في الهياكل الإنشائية لمختلف العناصر المركبة لها أحد تحديات منظومة صناعة التشييد، حيث تحدّ مشكلة التآكل من العمر الفعلي للمنشآت الخرسانية و تبدأ هياكل المنشآت بالتدهور مع ارتفاع وتيرة التآكل وينتهي الأمر بتكسر الغطاء الخرساني وزواله، تتطلب هذه المشكلة إجراءات وقائية وعلاجية كزيادة سمك الغطاء الخرساني وتقليل نفاذية الخرسانة والعزل المائي للعناصر الإنشائية وطلاء القضبان الفولاذية بمواد ومركبات عازلة و رغم ذلك لم تكفي هذه الإجراءات لإنهاء المشكلة جذرياً إضافة إلى التكلفة الاقتصادية المترتبة على تطبيقها من جهة أخرى.

ظهرت خلال العقدين الماضيين قضبان من مركبات FRP (البوليمرات المسلحة بالألياف) كبديل واعد للقضبان الفولاذية للتغلب على مشكلة التآكل المرتبطة بالقضبان الفولاذية، ونظراً للمزايا الإيجابية التي توفرها هذه القضبان كقوة الشد الحدية الكبيرة وخفة الوزن والحيادية تجاه الحقول الكهربائية والمغناطيسية والترددات اللاسلكية، فقد تمّ استخدام قضبان التسليح من مركبات FRP في صناعة التشييد في العديد من البلدان كالولايات المتحدة الأمريكية وكندا وروسيا واليابان وبعض الدول الأوروبية، حيث نُفذت قضبان FRP في تشييد بلاطات الجسور الطرقية والجدران الاستنادية وأماكن مرآب وقوف السيارات والجدران الاستنادية وأساسات المنشآت كما في الشكل (1).

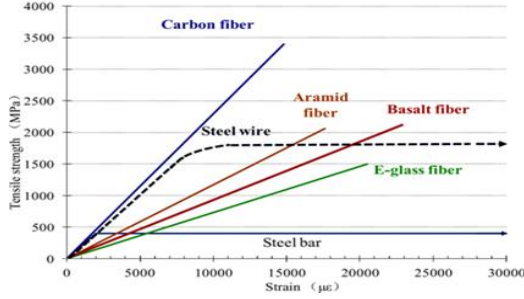
الشكل (1): نماذج لاستخدام قضبان FRP في تسليح المنشآت البيتونية. [10]

إن



البوليميرات المسلحة بالألياف هي خليط من مواد متجانسة (Isotropic) وهي الألياف (Fibre) ومادة رابطة (Matrix) وهي الراتنجات، الألياف تؤمن مقاومة عالية على الشد والراتنجات توفر

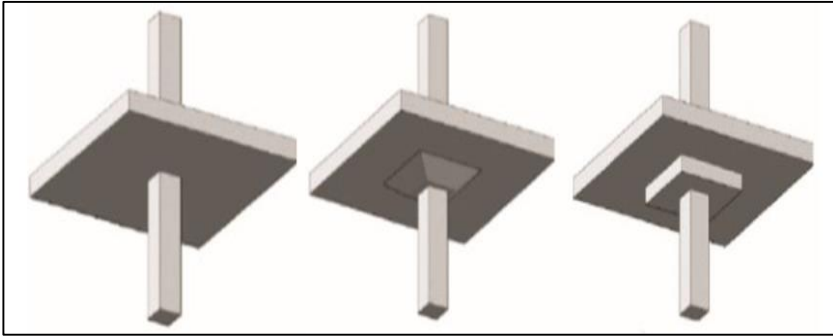
نقل الحمولة بين الألياف عبر ربطها مع بعضها إضافة لحمايتها من المؤثرات البيئية وبالتالي ينتج لدينا مادة مركبة (composite Material) غير متجانسة (Orthotropic). تتميز مركبات FRP عموماً بالسلوك الخطي المرن حتى الانقطاع وقوة الشد العالية باتجاه الألياف، مع عدم وجود حد الخضوع الذي يتميز به فولاذ التسليح التقليدي، والشكل (2) يبين سلوك (التشوه النسبي-الاجهاد) لعدد من مركبات FRP ومقارنتها بفولاذ التسليح التقليدي.



الشكل (2): مخطط (Stress-Strain) لمادة ال FRP. [11]

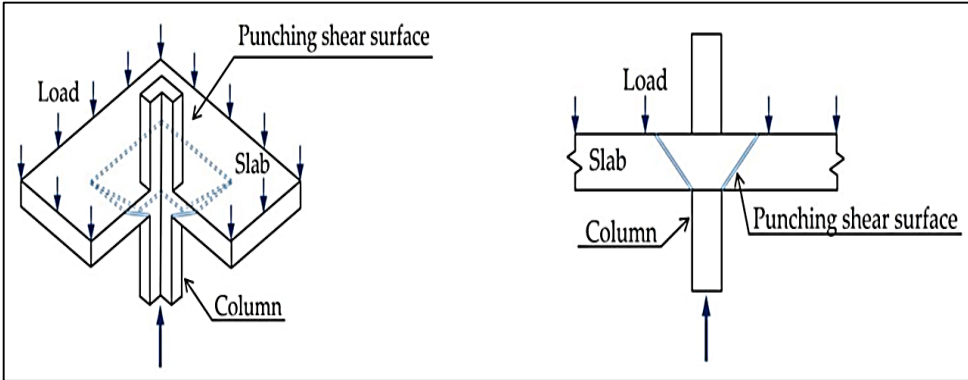
تتميز الألياف البازلتية وهي المكون الرئيسي لقضبان BFRP بقوة شد عالية ومقاومة كيميائية أفضل ومعامل مرونة أعلى ومجال أوسع في تحمل درجات الحرارة التي يمكن أن يتعرض لها المنشأ أثناء مرحلة الاستثمار وناقلية كهربائية أقل مقارنة بأنواع الألياف الأخرى كالزجاجية والارميدية، بالإضافة إلى أن صناعة الألياف البازلتية صديقة للبيئة أكثر بالمقارنة مع صناعة الألياف الأخرى، كما تتطلب طاقة أقل في الصناعة والأبخرة الناتجة تكون أقل سمية فضلاً عن توافر المواد الأولية لصناعة الألياف البازلتية وهي الصخور البازلتية في أغلب دول العالم [7].

تُعرّف البلاطات الفطرية بأنها بلاطات لا تحوي جوائزاً وتنتقل أحمالها إلى الأعمدة مباشرة ونميز منها (بلاطات فطرية تستند على الأعمدة مباشرة-بلاطات فطرية تستند على أعمدة ذات التاج- بلاطات فطرية ذات السقوط) كما في الشكل (3).



الشكل (3): أنواع البلاطات الفطرية

يعزى الانتشار الواسع للبلاطات الفطرية للمزايا والخصائص التي تؤمنها سواء كانت إنشائية



كسماكة البلاطة القليلة وبالتالي التقليل من الحمولات أو معمارية كالاستخدام الأمثل للمساحات وسهولة التقسيم المعماري للمنشأ أو اقتصادية كتوفير استخدام المواد اللازمة للإنشاء والزمن اللازم لعملية تشكيل القالب وإعطاء ارتفاع أكبر من خلال حذف الجوائز الساقطة.

نقطة الضعف الرئيسية في هذا النوع من البلاطات هو إجهادات القص الكبيرة التي تتركز في منطقة الاتصال بين البلاطة والعمود، حيث تتشكل الشقوق القطرية الداخلية في عقدة الاتصال

وتزداد سعتها تؤدي إلى انهيار البلاطة ضمن مساحة محددة حول العمود على شكل جذع مخروط أو هرم تدعى "محيط الثقب" كما في الشكل (4)، هذا الانهيار جرح ذو طبيعة هشّة (Brittle) لأنه يحدث فجأة ودون مظاهر خارجية مرئية قبل حدوثه، يسمى هذا الانهيار بالقص الثاقب.

الشكل (4): آلية انهيار الثقب في البلاطة الفطرية. [9]

بحث دراسات قليلة جداً سلوك القص الثاقب في البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP نظراً لظهور هذه القضبان حديثاً، حيث أن انخفاض معامل مرونة قضبان BFRP يؤدي إلى تطوير شقوق أوسع وأعمق، تقلل الشقوق العميقة من المساهمة في مقاومة القص للخرسانة بسبب انخفاض عمق الخرسانة في منطقة الضغط بالإضافة إلى ذلك ونظراً للاختلاف في الخواص الميكانيكية لا يمكن استخدام معادلات القص الثاقب للبلاطات الفطرية المسلحة بالفولاذ بشكل مباشر في البلاطات المسلحة بقضبان BFRP.

أجرى (Xiaoqing et al., 2019) عملاً تجريبياً لمعرفة سلوك الثقب في البلاطات البيتونية المسلحة بقضبان البوليمير المسلح بالألياف البازلتية (BFRP)، شملت الدراسة اختبار أربع بلاطات بيتونية بسيطة الاستناد على محيطها، ثلاثة منها مسلحة بقضبان (BFRP) و واحدة مسلحة بقضبان فولاذية للمقارنة، تم دراسة تأثير سماكة البلاطة، وطبقت حمولة مركزة على صفيحة معدنية في مركز البلاطة، أظهرت نتائج الاختبارات أن البلاطة المسلحة بقضبان (BFRP) أبدت انتقالات أكبر وحمولة انهيار أقل من البلاطة المسلحة بالفولاذ، كما أن زيادة سماكة البلاطة كان له أثر في زيادة حمولة الثقب وتخفيض الانتقال الحاصل عند الانهيار؛ وأظهرت النتائج أن حمولة الثقب المسببة للانهيار أقل من الحمولة المتوقعة والمحسوبة بناء على كودات التصميم والعلاقات التي توصل إليها الباحثون.

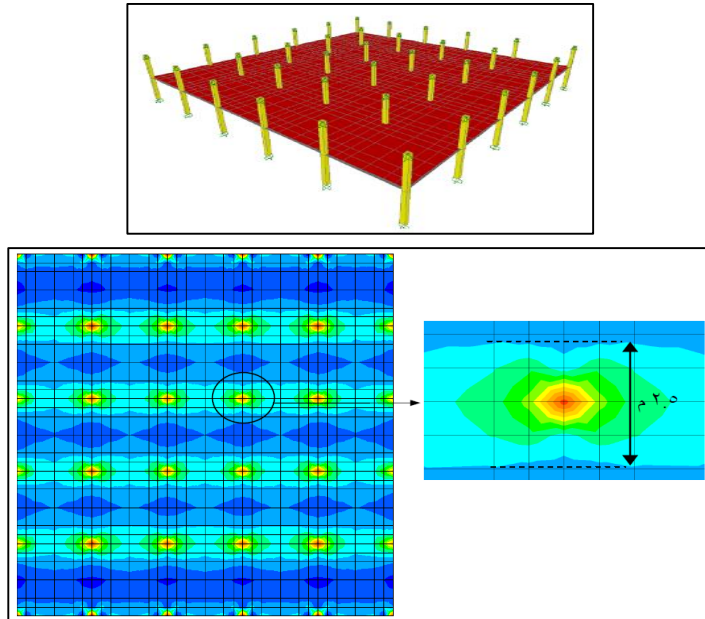
2- هدف البحث

دراسة سلوك البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب وإعطاء صورة أوضح لأثر المتغيرات المختلفة التي تؤثر على سلوك هذه البلاطات، تأتي هذه الدراسة في إطار تقييم معادلات التصميم المقترحة وفق العديد من المنهجيات المتبعة في الكودات المختلفة لحساب قدرة تحمل البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب.

3- مواد وطرائق البحث

3-1- توصيف نماذج البلاطات المختبرة :

تتضمن الدراسة التجريبية اختبار ست بلاطات بيتونية مسلحة تحوي عموداً مربعاً مركزي التوضع تحت تأثير قوة مركزة على العمود الوسطي ، هذه البلاطات بسيطة الاستناد، خمسة من هذه البلاطات مسلحة بقضبان BFRP، وبلاطة واحدة مرجعية مسلحة بالقضبان الفولاذية للمقارنة. من أجل تحديد أبعاد البلاطة التجريبية تم تصميم نموذج حاسوبي لبلاطة فطرية تستند على الأعمدة مباشرة، يحوي النموذج 5 فتحات في كلا الاتجاهين بطول مجاز 6 m كما في الشكل (5). أظهرت النتائج أن أبعاد الشريحة المسندية التي تحدها خطوط ذات عزوم انعطاف صفرية عند عقدة الاتصال "بلاطة-عمود" لها عرض مقداره حوالي 40 % من طول المجاز وبالتالي يمكن اعتبار استنادها بسيط، تم أخذ أبعاد هذه المنطقة بمقدار $1/2$ القيمة الحقيقية والحصول على عينة اختبار ذات الأبعاد $120 \times 1250 \times 1250$ mm.



الشكل (5): نموذج البلاطة الحاسوبي ومخطط توزيع العزوم

3-2- المواد المستخدمة :

إن القضبان البوليميرية المسلحة بالألياف البازلتية BFRP المستخدمة ذات سطح محلزن ومغلف بالرمل من إنتاج شركة ألمانية (Deutsche Basalt Faser GmbH) مؤلفة من ألياف بازلتية مستمرة ذات قطر يتراوح بين 10 و 22 ميكرون مشربة براتنج فينيل الاستر (vinyl-ester)، ومحتوى الألياف (حجماً) هو 70 % من الحجم الكلي، أما قضبان التسليح الفولاذية المستخدمة فهي ذات سطح محلزن كما في الشكل (6).



الشكل (6): نماذج القضبان المسلحة بالألياف البازلتية BFRP والقضبان الفولاذية
يبين الجدول (1) ملخص الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح المستخدمة في نماذج البلاطات المختبرة.

الجدول (1): الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح المستخدمة

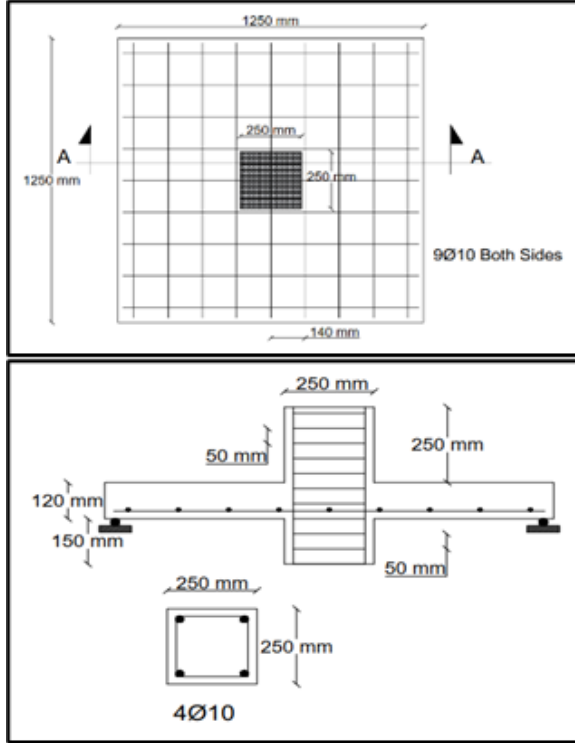
التشوه الحدّي (%)	إجهاد السيلان Fy (MPa)	الإجهاد الحدّي Ffu (MPa)	معامل المرونة E (MPa)	القطر (mm)	نوع مادة القضيب
2.75	-	1070	60000	10	BFRP
0.2	420	560	210000		Steel

تم استخدام مقاومتين للبيتون على الضغط C1 و C2 حيث المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط مساوية إلى 20 MPa للخلطة C1 و 30 MPa للخلطة C2 كما هو موضح في الجدول (2)، الإسمنت المستخدم هو الاسمنت البورتلاندي Type II ماركة 32.5، و القطر الاسمي الأعظمي للركام الخشن المستخدم يساوي 19.5 mm، ونسبة الماء إلى الاسمنت W/C مساوية إلى 0.58 و 0.46 للخلطتين C1 و C2 على التوالي حيث بلغت قيمة هبوط المخروط 19 mm للخلطة C1 وبلغت 17 mm للخلطة C2.

الجدول (2): مكونات الخلطات البيتونية المستخدمة

المقاومة الأسطوانية (MPa)	الإضافات (Kg/m ³)	الماء (Liter/m ³)	رمل المازار (Kg/m ³)	الرمل الخشن (Kg/m ³)	العدسية (Kg/m ³)	البحص (Kg/m ³)	الإسمنت (Kg/m ³)	الخلطة
20	2.5	175	225	745	420	555	300	C1
30	3.5	185	115	715	450	510	400	C2

تحتوي البلاطة على عمود مركزي التوضع ومربع الشكل له بروز نحو الأعلى والأسفل، تسليح البلاطة عبارة عن شبكة بالاتجاهين من قضبان (BFRP) على الوجه السفلي مع تغطية للبيتون مقدارها 25 mm، تسليح العمود عبارة عن أربع قضبان على الزوايا مع تغطية للبيتون مقدارها 25 mm، وأساور ذات تباعد 50 mm، كما في الشكل (7).



الشكل (7): تفاصيل نموذج البلاطة التجريبي

يبين الجدول (3) ملخص نماذج البلاطات المختبرة وسماكتها ونسبة التسليح والمقاومة المميزة الأسطوانية للخرسانة على الضغط وتغير أبعاد العمود لكل بلاطة.

الجدول (3): مواصفات نماذج البلاطات التجريبية

نسبة التسليح ρ (%)	سماعة البلاطة (mm)	أبعاد العمود (mm)	مقاومة البيتون على الضغط (MPa)	نموذج البلاطة	مادة قضبان التسليح
0.98	120	250	20	BS-1	BFRP
0.98	120	150	20	BS-2	
0.98	120	250	30	BS-3	
0.75	150	250	20	BS-4	
0.98	150	250	20	BS-5	
0.98	120	250	20	SS	Steel

تم صب عينات البلاطات التجريبية ذات المواصفات المحددة في الجدول (3) كما هو موضح بالشكل (8).

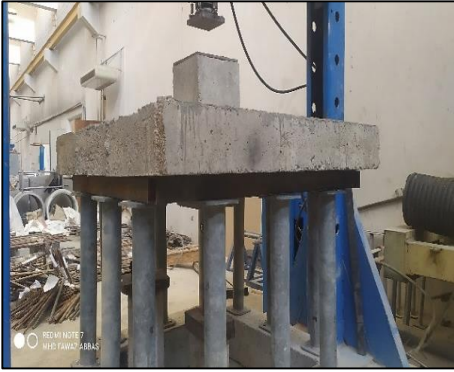
الشكل (8): مراحل عملية صب البلاطات



3-3- إجراءات وآلية الاختبار :

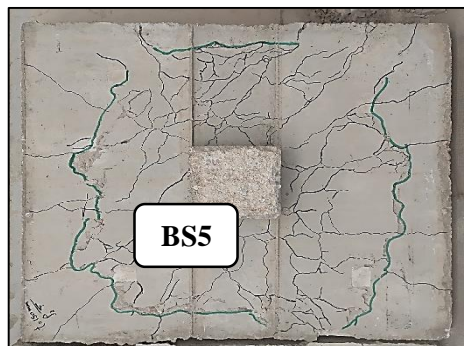
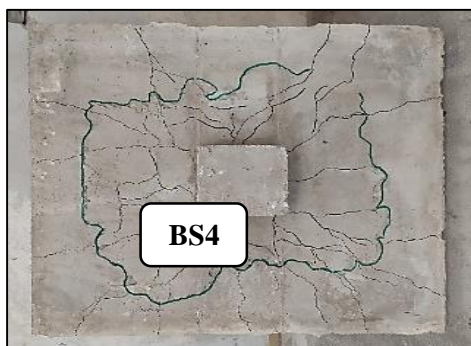
تم اختبار عينات البلاطات التجريبية على الثقب تحت تأثير حمولة مركزة على العمود، ومن أجل قياس الانتقالات الحاصلة تم تثبيت ساعات قياس التشوه بدقة 0.01 مم وذلك في مركز العمود من الأسفل و على مسافة 3d من مركز العمود بالاتجاه القطري للبلاطة، تم تطبيق الحمولة بواسطة مكبس هيدروليكي حيث تبلغ الاستطاعة القصوى لجهاز الاختبار 350 kN، مع إمكانية التحكم بمعدل تزايد القوة التي يولدها، حيث تم تطبيق هذه القوة بتزايد ثابت مساوياً إلى (1.5 kN/SEC) حتى حمولة الانهيار مع أخذ القراءة لكل تزايد من ساعة القياس، وشروط استناد البلاطة بسيطة على حوافها الأربعة وفق الاتجاه الشاقولي.

تم إجراء التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء بكلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق وفق آلية الاختبار الموضحة سابقاً.



الشكل (9): جهاز التجربة وآلية الاختبار وشروط الاستناد للبلاطات

يوضح الشكل (10) الانهيار على الثقب لنماذج البلاطات في الدراسة التجريبية وانتشار الشقوق ومحيط الثقب الحاصل فيها.



الشكل (10): آلية انهيار البلاطات والشقوق الحاصلة ومحيط الثقب

تم رصد القوة المطبقة على العمود الوسطي وتسجيل قيمة القوة المسببة لظهور الشقوق في نماذج البلاطات المختلفة وقيمة الانتقال المرافقة لها وصولاً إلى قيمة القوة المسببة لانهيار البلاطات على الثقب والانتقال النهائي الحاصل، والنتائج موضحة في الجدول (4).

الجدول (4): نتائج اختبار البلاطات

رمز البلاطة	حمولة التشقق Vcr (KN)	انتقال مركز العمود عند التشقق (mm)	حمولة الثقب Vexp (KN)	انتقال مركز العمود النهائي (mm)
BS1	55.76	1.74	157.44	17.25
BS2	44.72	2.63	137.52	14.75
BS3	83.6	2.87	185.86	22
BS4	95.24	1.23	210.24	15.85
BS5	117.67	1.87	255.63	13.65
SS1	90.36	0.76	195.86	13.2

4- النتائج و مناقشتها :

بدأت التشققات بالظهور عند حدود % (40 - 30) من الحمولة المطبقة في نماذج البلاطات المختبرة، حيث تتجه هذه الشقوق من حواف العمود باتجاه المساند بشكل قطري ومع زيادة التحميل ظهرت شقوق عرضية باتجاه أطراف البلاطة وصولاً للانهيار حيث ظهر محيط الثقب بشكل واضح كما هو واضح بالشكل (10) سابقاً.

أبدت نماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP شقوقاً أوسع وأكثر انتشاراً، حيث كانت قيمة عرض الشقوق 0.3 mm عند نشوئها نتيجة الحمولة المطبقة، وبلغت قيمة عرض الشقوق 0.7 mm عند حمولة الثقب المسببة للانهيار وذلك في نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP (BS1)، فيما كانت قيمة عرض الشقوق 0.1 mm عند نشوئها نتيجة الحمولة المطبقة وبلغت قيمة عرض الشقوق 0.3 mm عند حمولة الثقب المسببة للانهيار في نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بالقضبان الفولاذية (SS1)، كما كان محيط الثقب أكثر وضوحاً ويمتد على مسافة أكبر من وجه العمود مقارنة بنموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان الفولاذ.

يبين الجدول (5) بُعد محيط الثقب عن وجه العمود لنماذج البلاطات التجريبية، حيث d هو الارتفاع الفعال للبلاطة مساوياً لسماكة البلاطة مطروحاً منها مسافة التغطية 20 mm.

الجدول (5): محيط الثقب في البلاطات

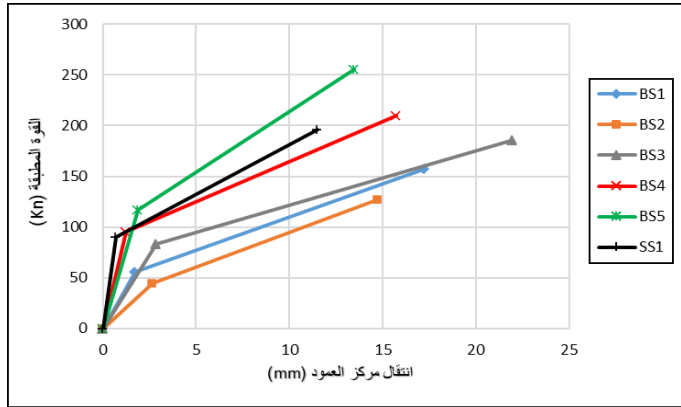
رمز البلاطة	بُعد مخروط الثقب عن وجه العمود (mm)	بُعد مخروط الثقب عن وجه العمود بدلالة العمق الفعال للبلاطة
BS1	220	2.2 d
BS2	130	1.3 d
BS3	300	3 d
BS4	330	2.5 d
BS5	340	2.6 d
SS	170	1.7 d

(5) زيادة

يبين الجدول

محيط الثقب في نماذج البلاطات مع زيادة سماكة البلاطة وزيادة نسبة التسليح وزيادة مقاومة البيتون على الضغط ويعزى ذلك لزيادة مساهمة البيتون في منطقة الضغط مع ازدياد العمق الفعال للبلاطة وزيادة مقاومة البيتون على القص.

يبين الشكل (11) العلاقة بين القوة المطبقة وانتقال مركز العمود للبلاطات المختبرة .



(11):

الشكل

مخطط (القوة المطبقة - انتقال مركز العمود) للبلاطات

أبدي نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان الـ BFRP ذات الرمز BS1 انتقالات أكبر بنسبة 23.5% وكانت حمولة الانهيار على الثقب أقل بنسبة 24.4% من نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بالقضبان الفولاذية ذات الرمز SS1 حيث لهما نفس المواصفات وكان محيط الثقب في

دراسة تجريبية في مقاومة الثقب للبلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP

البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP أكبر من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية، يُعزى ذلك لانخفاض معامل مرونة قضبان BFRP مقارنة بمعامل مرونة الفولاذ. أدت زيادة سماكة البلاطة بمقدار 25% في البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP لرفع قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 62%، كما أن زيادة نسبة التسليح بمقدار 35% في البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP أدت لزيادة قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 22%، وإن زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط بمقدار 50% أدت لزيادة قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 18%، فيما أدى نقصان أبعاد العمود بنسبة 40% إلى انخفاض قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 13%.

تم تطوير إرشادات خاصة لتصميم العناصر الإنشائية المختلفة باستخدام قضبان من مركبات FRP مثل (JSCE (1997)، (CAN/CSA S806 (2012)، (ACI 440.1R (2015)، تضمنت هذه الإرشادات تصميم عناصر إنشائية مختلفة مع قضبان تسليح من مركبات GFRP و CFRP و AFRP ولا تعكس هذه الكودات أية رموز أو معاملات خاصة بالقضبان البوليميرية المسلحة بالألياف البازلتية BFRP نظراً لظهور هذه القضبان حديثاً وعدم القدرة على تحديد المعاملات والسلوك الخاص بها بدقة لقلة الأبحاث المجرىة حول هذه القضبان. تم حساب القوة المسببة للثقب وفق العلاقات التصميمية لبعض الكودات العالمية، وتمت مقارنتها بالنتائج التجريبية لنماذج البلاطات المختبرة كما هو مبين بالجدول (6).

الجدول (6): مقارنة قوة الثقب بين الدراسة التجريبية و القيم التحليلية لعلاقات التصميم في الكودات العالمية

رمز البلاطة	حمولة الثقب V_u (Kn)	V_u / V (ACI-440)	V_u / V (CSA S806)	V_u / V (JSCE)
BS1	157.44	1.50	1.11	1.34
BS2	137.52	1.83	1.36	1.56
BS3	185.86	1.58	1.15	1.29
BS4	210.24	1.59	1.15	1.35
BS5	255.63	1.72	1.28	1.50

- كانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات التجريبية المسلحة بقضبان الـ BFRP أكبر بحوالي (83% → 50%) من حمولة الانهيار وفق الكود الأمريكي ACI [2] (2015) 440.1R، بينما كانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات أكبر بحوالي (36% → 11%) من حمولة الانهيار وفق الكود الكندي CAN/CSA S806 (2012) [4]، وكانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات أكبر بحوالي (56% → 29%) من حمولة الانهيار وفق الكود الياباني JSCE (1997) [8] تبعاً للمواصفات الخاصة بنماذج البلاطات المدروسة.

5- الاستنتاجات والتوصيات :

- تم دراسة سلوك البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب لخمس نماذج من البلاطات و تغيير بعض البارامترات لرصد أثر ذلك في سلوكها على الثقب وتمت المقارنة مع نموذج بلاطة فطرية مسلحة بالقضبان الفولاذية، وتم التوصل إلى ما يلي :
- أبدت نماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP سلوكاً واحداً ونمط انهيار متشابه على الثقب.
 - أبدى نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انتقالات أكبر وشقوقاً أوسع وأكثر انتشاراً ومحيط ثقب أوضح مقارنة بنموذج البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية والتي لها نفس المواصفات.
 - إن البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انهارت على حمولة ثقب أقل بنسبة 24.4% من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية والتي لها نفس المواصفات.
 - أدت زيادة سماكة البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لرفع قدرة تحملها على الثقب بنسبة 62%، رافق ذلك انخفاض في انتقال مركز العمود.
 - أدت زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط وزيادة نسبة التسليح في البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لرفع قدرة تحملها على الثقب بنسبة 18% و 22% على التوالي، رافق ذلك زيادة في انتقال مركز العمود.
 - أدى تقليل أبعاد العمود ضمن البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لانخفاض قدرة تحملها على الثقب بنسبة 13%، رافق ذلك انخفاض في انتقال مركز العمود.

- كانت لزيادة سماكة البلاطة الأثر الأكبر في زيادة قدرة التحمل على الثقب في البلاطات المختبرة والمسلحة بقضبان BFRP، في حين كان تأثير المقاومة المميزة للبيتون على الضغط و نسبة التسليح على زيادة قدرة التحمل على الثقب صغير نسبياً.
- إن قيمة حمولة الثقب التي تعطىها معادلات التصميم في الكودات العالمية متحفظة مقارنة بقيمة حمولة الثقب المسببة للانهايار للنتائج التجريبية لنماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP حيث بلغ متوسط الفروقات 66.5% وفق الكود الأمريكي (2015) ACI 440.1R [2]، وبلغت 23.5% وفق الكود الكندي CAN/CSA (2012) S806 [4]، فيما بلغت 42.5% وفق الكود الياباني (1997) JSCE [8].

5- المراجع :

- [1] ABAQUS (2014), version 6.14-4. Dassault Systemes Simulia Corp., USA.
- [2] ACI Committee 440 (2015). "**Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-15).**" ACI, Farmington Hills, Michigan, USA.
- [3] BS EN 1992-1 (2004), Eurocode2, "**Design of Concrete Structures**" **Part 1-1: General rules and rules for buildings**", European committee for standardization CEN.
- [4] Canadian Standards Association (2012). "**Design and Construction of Building Structures with Fiber Reinforced Polymers (CAN/CSA S806-12).**" Rexdale, ON, Canada.
- [5] Chowdhury, I. R., Pemberton, R., & Summerscales, J. (2022). "**Developments and industrial applications of basalt fibre reinforced composite materials.**" Journal of Composites Science, 6(12), 367.
- [6] ELGABBAS, F. (2016). "**Development and Structural Testing of New Basalt Fiber-Reinforced-Polymer (BFRP) Bars in RC Beams and Bridge-Deck Slabs.**".Ph. D. Thesis, Sherbrook, Canada.
- [7] InfoMine Research Group. (2007). "**Basalt Fiber-Based Thermal Insulating Materials Market Research in Russia.**" Moscow.
- [8] JSCE, (1997). "**Recommendation for Design and Construction of Concrete Structure using Continuous Fibre Reinforced Materials.**" Concrete Engineering Series 23, Japan Society of Civil Engineering, Tokyo.

- [9] MacGregor, G., & Bartlett, M. (2000). "**Reinforced Concrete Mechanics and Design.**" 1st Edition ,Prentice Hall Canada Inc ،Scarborough ،Ontario.
- [10] Nanni, A., De Luca, A., & Zadeh, H. J. (2014). "**Reinforced concrete with FRP bars: Mechanics and design.**" CRC press.
- [11] Wu, Z., Wang, X., Iwashita, K. (2007). "**State-of-the-Art of Advanced FRP Applications in Civil Infrastructure in Japan.**" Journal of Composites & Polycon, American Composites Manufacturers Association, Tampa, FL USA.