

تأثير التحميل المتكرر على طاقة التحمل والسهم في الجوائز من البيتون عالي المقاومة

د. أحمد علي عبود*

غصون ميشال اندراوس**

(تاريخ الإيداع 27 / 3 / 2018. قبل للنشر في 21 / 11 / 2018)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية لسلوك الجوائز - من البيتون عالي المقاومة - تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتكرر، مع تحديد تأثير هذا النوع من التحميل على طاقة تحمل تلك الجوائز والسهم الحاصلة فيها ومن ثم مقارنتها مع نظائرها في حالة التحميل المستمر.

تم تصميم خلطة من البيتون عالي المقاومة وفقاً لأحكام الكود الأمريكي ACI211.4R-93، ومن ثم تحضير ستة وثلاثين جائزةً من تلك الخلطة، حيث تم اختبار تسعة جوائز تحت تأثير التحميل المستمر، في حين اختُبرت الجوائز المتبقية تحت تأثير التحميل المتكرر لعدد محدد من الدورات (5,10,15) دورة، وذلك ضمن مجال تحميل من الصفر حتى 65% أو 75% أو 85% من الحمولة الدنيا المتوقعة لانتهيار الجوائز تحت تأثير التحميل المستمر. لقد أظهرت النتائج أن للتحميل المتكرر تأثيراً إيجابياً على سلوك الجوائز البيتونية الخاضعة للانعطاف، وذلك من حيث ازدياد في طاقة تحمل تلك الجوائز مع انخفاض في قيمة السهم المرافق لحمولة الانتهيار، وخاصة عندما يكون مجال التحميل من الصفر حتى 75% من الحمولة الدنيا المتوقعة لانتهيار الجوائز تحت تأثير التحميل المستمر، وعند عدد محدد من الدورات (5 أو 10 أو 15 دورة).

الكلمات المفتاحية: البيتون عالي المقاومة، التحميل المتكرر للبيتون، الجوائز الخاضعة للانعطاف، السهم.

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The influence of the cyclic loading on the moment capacity and deflection of HSC beams

Dr. Ahmad Ali Abboud *
Ghousson Michel Andrawes **

(Received 27 / 3 / 2018. Accepted 21 / 11 / 2018)

□ ABSTRACT □

This research presents an empirical study about the behavior of High Strength Concrete beams under the static cyclic loading. It determines the influence of cyclic loading on the moment capacity and deflection of HSC beams. A comparison of the moment capacity and deflection in both kinds of loading (monotonic and cyclic loading) were achieved.

High Strength Concrete mixture was designed, based on the specifications of the American code ACI 211.4R-93. Thirty six concrete beams were prepared, nine of them were tested under monotonic loading and the rest of beams were tested under cyclic loading. The cyclic loading was performed for (5,10,15) cycles, at a range from zero to 65%, 75%, 85% of the minimum expected monotonic load.

The results showed that the cyclic loading have positive effect on the flexural behavior of HSC members, whereas the moment capacity increased and the deflection decreased, especially at a range from zero to 75% of the minimum expected monotonic load, when the number of cycles was 5,10,15.

Keywords: High Strength Concrete, cyclic loading, flexural members, deflection.

* Professor , Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** PhD student ,Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يُعدّ البيتون عالي المقاومة المادة الأكثر استخداماً في المنشآت الهندسية ذات الأهمية الخاصة كالجسور والطرق السريعة والأبنية العالية، كونه يتمتع بالعديد من الميزات كالمقاومة العالية على الضغط، وقدرته على تحسين المتانة وتخفيض أبعاد العناصر الحاملة والتقليل من النفاذية، مما يضمن الحصول على منشآت بمقاومة أعلى وديمومة أكبر. تخضع معظم العناصر البيتونية في مرحلة الاستثمار لحوامل حية متكررة تؤثر على سلوك البيتون من جهة وتؤدي إلى حدوث تغيير في خواصه الميكانيكية من جهة أخرى، لذلك فإنه من الأهمية بمكان دراسة سلوك تلك العناصر تحت تأثير التحميل المتكرر، وتحديد الحالات التي يكون فيها لهذا النوع من التحميل تأثير إيجابي أو سلبي على تلك العناصر.

لقد قام الكثير من الباحثين بإجراء العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية حول سلوك البيتون العادي تحت تأثير التحميل المتكرر، وذلك بناءً على الدراسة التجريبية التي قام بها [1] Sinha et al ، ثم تلاها العديد من الدراسات مثل الدراسة التجريبية التي قام بها Sakai & Kawashima [2] [3] على مجموعة من العينات الاسطوانية من البيتون المطوّق، والتي تمّ اختبارها تحت تأثير التحميل المتكرر للحصول على مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون ومقارنته مع النموذج المقترح لمخطط الإجهاد-التشوه الناتج عن تفريغ الحمولات ثم إعادة التحميل، إضافة إلى دراسة تأثير تغيير كل من نسبة التسليح العرضي ومقاومة البيتون على مساري التفريغ والتحميل.

لقد اعتمدت أغلب الدراسات السابقة على تطوير نماذج تحليلية تحاكي سلوك البيتون العادي تحت تأثير التحميل المتكرر بالاعتماد على معالجة النتائج التجريبية السابقة الناتجة عن اختبار البيتون تحت تأثير ظروف التحميل المختلفة، وذلك بهدف التوصل إلى محاكاة منطقية وقريبة من سلوك البيتون تحت تأثير التحميل المتكرر. نذكر من هذه النماذج على سبيل المثال:

- نموذج [4] Sima et al الذي قدّم وصف لاستجابة البيتون الخاضع لتحميل متكرر في حالتي الضغط والتشد، حيث تم معالجة نماذج مبسطة والتي هي أساساً عبارة عن صيغ رياضية مشتقة من النتائج التجريبية لمجموعة من الدراسات السابقة، وقد توصل الباحثون إلى أن النموذج المقترح يستطيع أن يحاكي السلوك المتكرر المعقد للبيتون الخاضع لشروط تحميل عامة والتي تشمل تفريغ حمولة وإعادة تحميل جزئي. وقد تمّ تحقيق النموذج عن طريق مقارنته مع نتائج سلسلة من التجارب السابقة لباحثين آخرين، وأظهر النموذج المقترح توافق مع تلك النتائج التجريبية.

- نموذج [5] AL-Sulayfani وهو نموذج رياضي للتنبؤ بسلوك البيتون الليفي المسلح الخاضع لتحميل متكرر عشوائي. اعتمد الباحث التشوه عند تفريغ الحمولات على المنحني المغلف مرجعاً لحساب كل من التشوه اللدن والتشوه عند إعادة التحميل، سواء كان ذلك في وضع التحميل أو تفريغ الحمولات بشكل كامل أو جزئي. كذلك أخذ الباحث حالة التحميل العشوائي بعين الاعتبار وذلك عند ثلاث حالات: تفريغ كامل مع إعادة تحميل جزئي، تفريغ جزئي مع إعادة تحميل كامل، تفريغ جزئي مع إعادة تحميل جزئي. توصل الباحث إلى أن هذا النموذج قادر على وصف سلوك البيتون تحت تأثير الحمولات المتكررة، وهو مناسب في حالة البيتون العادي أو البيتون الليفي، كما أنه ضروري لتحديد استجابة المنشآت الخاضعة لتحميل متكرر عشوائي كما في المنشآت التي تتعرض للزلازل.

- نموذج [6] Konstantinidis et al وهو دراسة لتطوير نموذج تحليلي للتنبؤ باستجابة البيتون عالي المقاومة (المطوّق وغير المطوّق) للتحميل المتكرر، وذلك باستخدام طريقة العناصر المنتهية اللاخطية، مع إدخال تأثير العديد من البارامترات على سلوك البيتون مثل: مقاومة الضغط- نسبة التسليح العرضي- امتصاص الطاقة - تأثير التطويق-

انخفاض الصلابة- اللدونة. توصل الباحثون إلى أن النموذج المقترح تحليلياً يتوافق مع المنحني المغلف التجريبي والحلقات الهستيرية الناتجة عن التحميل المتكرر، وبالتالي فإن النموذج التحليلي يمكن أن يشكل أساساً في النمذجة التحليلية لاستجابة عناصر البيتون عالي المقاومة للزلازل.

- نموذج Martinez-Rueda & Elnashai [7] دراسة لتطوير نموذج للبيتون العادي المطوق وغير المطوق تحت تأثير التحميل المتكرر بالاعتماد على تعديل نموذج تحليلي سابق لـ Mander et al، مع الأخذ بعين الاعتبار التشوه اللدن والانخفاض الناتج في المقاومة والصلابة تحت تأثير التحميل المتكرر للبيتون. كما وضع الباحثان المعادلات التي تحدد مسار تفريغ الحمولة باعتباره على شكل قطع مكافئ من الدرجة الثانية، ومسار إعادة التحميل باعتباره على شكل خط مستقيم، واقترحا ثلاث علاقات لتحديد التشوه اللدن ϵ_{pi} وذلك تبعاً لمجال التشوه المفروض عند تفريغ الحمولة ϵ_{un} . استنتج الباحثان أن النموذج المقترح وبمساعدة تقنيات التحليل اللاخطي، قادر على تقديم محاكاة جديدة لاستجابة عناصر البيتون المسلح للتحميل المتكرر تحت تأثير الشروط الستاتيكية والديناميكية.

قدّمت الباحثة اندرواس [8] [9] دراسة تجريبية- تحليلية عن تأثير التحميل الستاتيكي المتكرر على المتغيرات الأساسية لمخطط الإجهاد-التشوه للبيتون العادي على الضغط، وذلك عند مجالات إجهاد محددة بـ % (40→70) و % (40→80) و % (40→90) من المقاومة الأعظمية على الضغط في حالة التحميل المستمر. لقد أظهرت النتائج التجريبية للبحث، وجود تأثير إيجابي ملحوظ للتحميل المتكرر على المتغيرات الأساسية للبيتون العادي التي يعبر عنها مخطط الإجهاد-التشوه، ويظهر ذلك التأثير بشكل أكبر عندما يكون عدد دورات التحميل والتفريغ خمس عشرة دورة أو عشرين دورة، وعندما يكون مجال الإجهاد % (40→80) أو % (40→90) من المقاومة الأعظمية على الضغط في حالة التحميل المستمر.

إن نتائج الدراسة السابقة [8] هي بمثابة المنطلق الأساسي لما تمّ دراسته في هذا البحث من حيث تحديد المواضع التي يكون فيها للتحميل المتكرر تأثير على سلوك العناصر- من البيتون عالي المقاومة- الخاضعة للانعطاف.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أن التحميل الستاتيكي المتكرر للعناصر الخاضعة للانعطاف- من البيتون عالي المقاومة- يؤدي إلى تحسين خواص البيتون وزيادة طاقة تحمل تلك العناصر، مما يفسح المجال للاستفادة من الخواص المحسنة للبيتون في حساب العناصر الخاضعة للانعطاف بطرق أكثر دقة، ويتيح تطبيق التحميل المتكرر على أنواع محددة من الجوائز (المسبقة الإجهاد) وذلك قبل ترحيلها للاستثمار.

يهدف البحث إلى دراسة سلوك الجوائز الخاضعة للانعطاف- من البيتون عالي المقاومة- تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتكرر، وتحديد تأثير هذا النوع من التحميل على كل من طاقة تحمل الجوائز والسهم الحاصلة فيها ومن ثمّ مقارنتها مع نظائرها في حالة التحميل المستمر.

طرائق البحث ومواده:

تمّ تصميم خطة من البيتون عالي المقاومة استناداً إلى أحكام الكود الأمريكي (ACI 211.4R-93)، وذلك بعد اختيار المواد الداخلة في تركيب الخلطة بشكل جيد، مع استخدام الإضافات المينرالية والكيميائية المناسبة للحصول على بيتون بمقاومة مميزة على الضغط $f'_c = 55MPa$. [10], [11], [12]

خواص المواد المستخدمة:

- 1- الاسمنت: تم استخدام اسمنت بورتلاندي محلي صنف 42.5.
- 2- الحصىات الخشنة: تم استخدام حصىات خشنة من النوع الجيد (بحص حسياء)، ويبين الجدول (1) خواص تلك الحصىات.

الجدول (1) خواص الحصىات الخشنة (بحص حسياء)

الاهتراء	الوزن النوعي	الوزن الحجمي	القطر الأعظمي
21%	2.76	1547.23 Kg/m ³	25 mm

- 3- الحصىات الناعمة: تم اختيار خليط من الحصىات الناعمة مؤلف من الزرادة والرمل الأسود البحري، ويبين الجدول (2) والجدول (3) على التوالي خواص كل من الزرادة والرمل الأسود البحري المستخدم. كما يبين الجدول (4) خواص خليط الحصىات الناعمة.

الجدول (2) خواص الزرادة

القطر الأعظمي	الوزن الحجمي	الوزن النوعي	المكافئ الرملي	معامل النعومة
9.5 mm	1577.65 Kg/m ³	2.68	%78	5.1

الجدول (3) خواص الرمل الأسود البحري

القطر الأعظمي	الوزن الحجمي	الوزن النوعي	المكافئ الرملي	معامل النعومة
4.75 mm	1444.92 Kg/m ³	2.645	%97	2.43

الجدول (4) خواص خليط الحصىات الناعمة (الرمل الأسود البحري والزرادة)

القطر الأعظمي	الوزن الحجمي	الوزن النوعي	معامل النعومة
9.5 mm	1625.67 Kg/m ³	2.65	3.2

- 4- الماء: تم استخدام الماء الصالح للشرب.
- 5- الإضافات: تم استخدام مادة Mapefluid PZ 500، وهي من الإضافات المينرالية والكيميائية في نفس الوقت، حيث تساهم في زيادة مقاومة البيتون على الضغط من جهة وتحسين قابلية التشغيل من جهة أخرى. ويبين الجدول (5) المواصفات الفنية لتلك المادة.

الجدول (5) المواصفات الفنية لمادة Mapefluid PZ 500

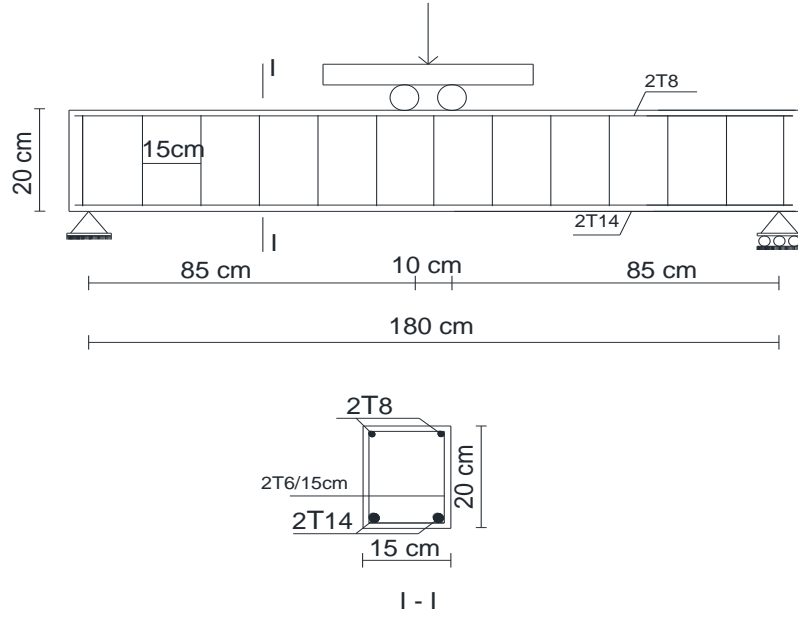
بودرة	القوام
رمادي غامق	اللون
0.6-0.8 Kg/lt	الوزن الحجمي
مادة بوزولانية	عملها الأساسي
مادة مالئة وملدن	عملها الإضافي
معدوم	محتوى الكلوريد
Type F acc. to ASTM C-494	التصنيف

يبين الجدول (6) مكونات الخلطة اللازمة لصناعة 1m^3 من البيتون.

الجدول (6) مكونات الخلطة اللازمة لصناعة 1m^3 من البيتون

الماء	الحصويات الناعمة		الحصويات الخشنة	Mapefluid PZ 500 (رماد السيليكا + ملدن)	الاسمنت
	رمل أسود بحري	زرادة			
182 Kg	417 Kg	123 Kg	1160 Kg	68 Kg	486 Kg

تم تحضير ستة وثلاثين جائزاً من الخلطة المبينة في الجدول (6) بمجاز 180cm وبمقطع عرضي $(15 \times 20)\text{cm}$ ، ويبين الشكل (1) المقطع الطولي والعرضي للجوائز المختبرة مع التسليح المستخدم.



الشكل (1) مقطع طولي وعرضي للجوائز المختبرة مع التسليح المستخدم

اختُبرت الجوائز وفقاً لما هو مبين في الشكل (1)، حيث تم تطبيق التحميل ثم التفريغ ثم إعادة التحميل بشكل تدريجي وبخطوات متساوية وبسرعة تحميل ثابتة (10 kN في الدقيقة) سواء في مرحلة التحميل أو التفريغ، وبدون وجود فواصل زمنية بين التحميل والتفريغ وإعادة التحميل. تم أخذ قراءات السهم عند كل خطوة تحميل أو تفريغ عن طريق استخدام ثلاث ساعات لقياس السهم، حيث تم وضع اثنان منها على طرفي الجوائز فوق المسندين أما المقياس الثالث فقد وُضع في منتصف مجاز الجوائز من الأسفل.

تم اختبار تسعة جوائز تحت تأثير التحميل المستمر حتى الانهيار، بينما اختُبرت الجوائز السبع والعشرون تحت تأثير التحميل المتكرر وذلك بعد تقسيم تلك الجوائز إلى ثلاث مجموعات تبعاً لعدد الدورات ومجال التحميل. ويبين الجدول (7) البرنامج التجريبي للجوائز.

الجدول (7) البرنامج التجريبي للجوائز

نوع التحميل	عدد الجوائز	عدد الدورات	مجال التحميل
تحميل مستمر	9	--	$(0 \rightarrow P)$
تحميل متكرر	3	5	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp}$
	3	10	
	3	15	
	3	5	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp}$
	3	10	
	3	15	
	3	5	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp}$
	3	10	
	3	15	

حيث P : الحمولة الأعظمية الموافقة لانتهيار الجوائز المُختبرة تحت تأثير التحميل المستمر .
 P_{exp} : الحمولة الدنيا المتوقعة لانتهيار الجوائز تحت تأثير التحميل المستمر، وقد تمَّ اختيار قيمة هذه الحمولة بناءً على القيمة الدنيا الناتجة من اختبارات مبدئية تمَّ إجراؤها على مجموعة من الجوائز تحت تأثير التحميل المستمر .
تمَّ اختبار الجوائز وفقاً للبرنامج التجريبي المبين في الجدول (7) في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين، وذلك للحصول على الحمولة الأعظمية عند الانتهيار والسهم الأعظمي المرافق لها، ثمَّ حساب العزم المقاوم لتلك الجوائز، مع إجراء المقارنة اللازمة بين النتائج في كلتا حالتَي التحميل المستمر والمتكرر .

النتائج والمناقشة:

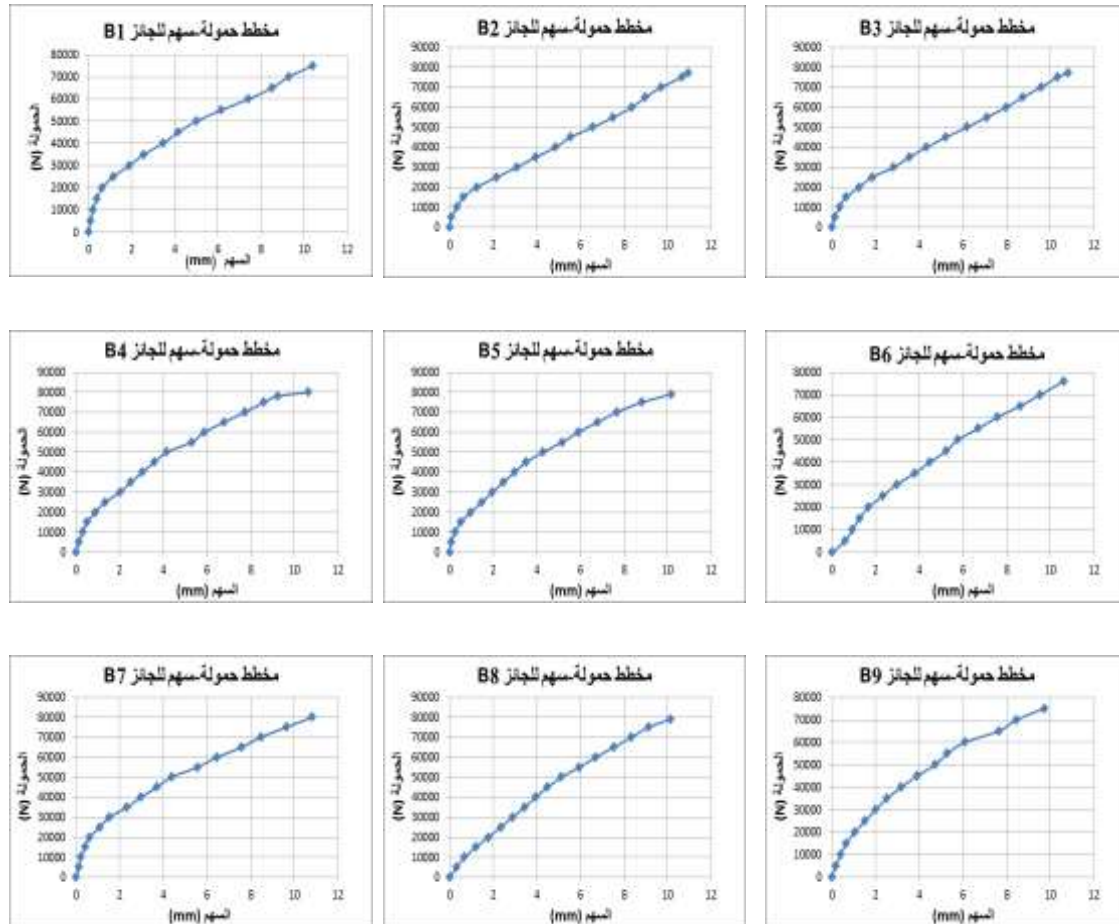
تمَّ اختبار تسعة جوائز تحت تأثير التحميل المستمر حتى الانتهيار بسرعة تحميل 10 kN في الدقيقة، ويبين الجدول (8) نتائج اختبار تلك الجوائز .

الجدول (8) نتائج اختبار الجوائز الخاضعة للتحميل المستمر

رقم الجائز	الحمولة الأعظمية الموافقة للانتهيار (kN)	السهم الأعظمي الموافق للانتهيار (mm)
B1	75	10.395
B2	77	10.945
B3	77	10.815
B4	80	10.635
B5	79	10.175
B6	76	10.610
B7	80	10.807

B8	79	10.117
B9	75	9.720
المتوسط الحسابي	77.55	10.468

ويبين الشكل (2) مخططات حمولة-سهم للجوائز التسعة التي تم اختبارها على الضغط المستمر، وفقاً للبرنامج التجريبي الوارد في الجدول (7).



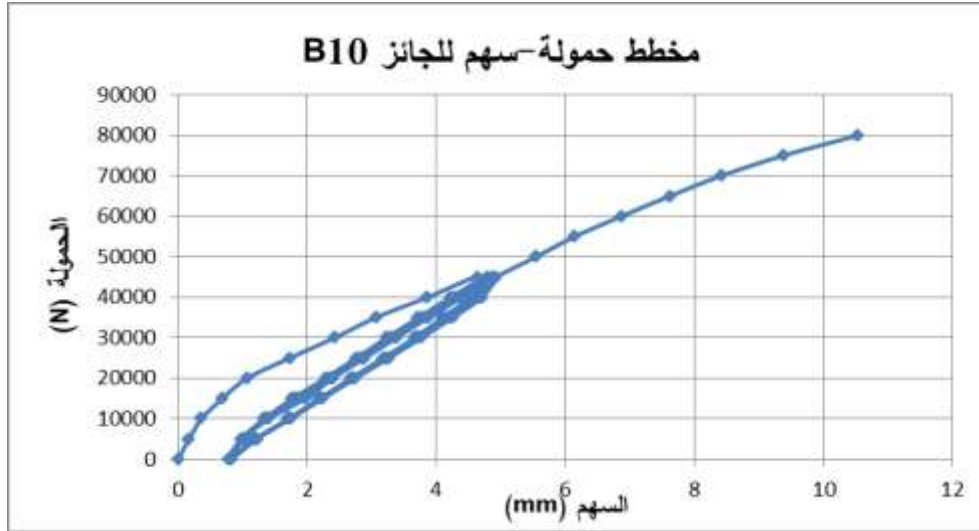
الشكل (2) مخططات حمولة-سهم للجوائز المختبرة على الضغط المستمر

تم اختبار سبعة وعشرين جائزةً تحت تأثير التحميل المتكرر، لعدد محدد من الدورات (5 أو 10 أو 15 دورة) ضمن مجال تحميل من الصفر حتى 65% أو 75% أو 85% من الحمولة المتوقعة لانتهيار تلك الجوائز، حيث تم اختيار قيمة هذه الحمولة $P_{exp}=70$ kN بناءً على القيمة الدنيا الناتجة من اختبارات مبدئية تم إجراؤها على مجموعة من الجوائز تحت تأثير التحميل المستمر.

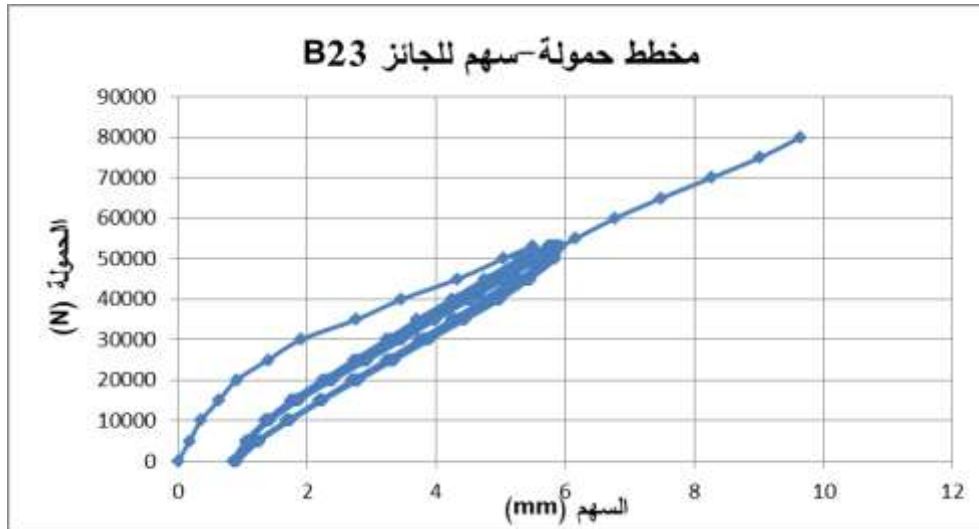
يبين الجدول (9) نتائج اختبار الجوائز التي خضعت لتحميل متكرر. وتبين الأشكال (3)،(4)،(5) على التوالي مخططات حمولة-سهم لبعض الجوائز التي تم اختبارها تحت تأثير التحميل المتكرر (على سبيل المثال).

الجدول (9) نتائج اختبار الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر

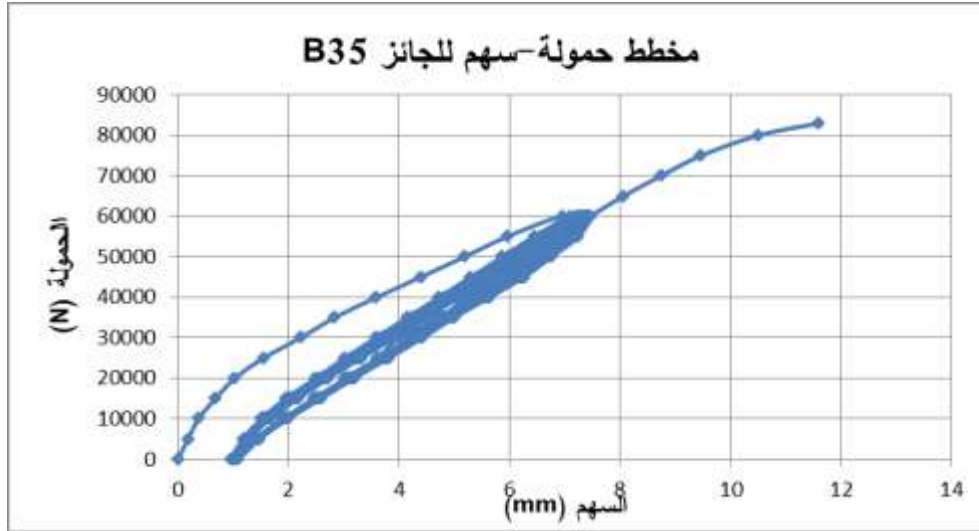
رقم الجائز	مجال التحميل	عدد الدورات	الحمولة الأعظمية الموافقة لانهيار (kN)	السهم الأعظمي الموافق لانهيار (mm)	متوسط الحمولة الأعظمية الموافقة لانهيار (kN)	متوسط السهم الأعظمي الموافق لانهيار (mm)
B10	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp} = (0 \rightarrow 45)kN$	5	80	10.535	80.67	10.848
B11			80	11.240		
B12			82	10.770		
B13	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp} = (0 \rightarrow 45)kN$	10	82	11.760	79.67	10.839
B14			79	10.910		
B15			78	9.847		
B16	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp} = (0 \rightarrow 45)kN$	15	75	10.630	77.67	10.184
B17			75	9.495		
B18			83	10.427		
B19	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp} = (0 \rightarrow 53)kN$	5	75	9.452	78.34	10.284
B20			80	11.005		
B21			80	10.395		
B22	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp} = (0 \rightarrow 53)kN$	10	78	11.440	78.67	10.423
B23			80	9.645		
B24			78	10.185		
B25	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp} = (0 \rightarrow 53)kN$	15	77	9.789	79.34	10.236
B26			82	10.600		
B27			79	10.320		
B28	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp} = (0 \rightarrow 60)kN$	5	75	10.532	81.34	10.344
B29			83	10.400		
B30			86	10.100		
B31	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp} = (0 \rightarrow 60)kN$	10	82	11.745	78.00	11.236
B32			75	11.290		
B33			77	10.675		
B34	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp} = (0 \rightarrow 60)kN$	15	81	11.625	80.67	11.577
B35			83	11.600		
B36			78	11.507		



الشكل (3) مخطط حمولة-سهم للجائز B10 الخاضع لتحميل متكرر لـ 5 دورات ضمن مجال تحميل 0→45kN



الشكل (4) مخطط حمولة-سهم للجائز B23 الخاضع لتحميل متكرر لـ 10 دورات ضمن مجال تحميل 0→53kN



الشكل (5) مخطط حمولة-سهم للجائز B35 الخاضع لتحميل متكرر لـ 15 دورة ضمن مجال تحميل 0→60kN

يبين الجدول (10) قيمة العزم المقاوم الذي يتحمله كل جائز والتي تم حسابها بناءً على القيم التجريبية الناتجة، وذلك في كلتا حالتَي التحميل المستمر والمتكرر.

الجدول (10) العزم المقاوم للجوائز الخاضعة للتحميل المستمر والتحميل المتكرر

نوع التحميل	رقم الجائز	مجال التحميل	عدد الدورات	الحمولة الأعظمية الموافقة لانهيار (kN)	العزم المقاوم (kN.m)	متوسط العزم المقاوم (kN.m)
تحميل مستمر	B1	0→P	--	75	31.875	32.961
	B2		--	77	32.725	
	B3		--	77	32.725	
	B4		--	80	34.00	
	B5		--	79	33.575	
	B6		--	76	32.30	
	B7		--	80	34.00	
	B8		--	79	33.575	
	B9		--	75	31.875	
تحميل متكرر	B10	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp}$	5	80	34.00	34.283
	B11			80	34.00	
	B12			82	34.85	
	B13	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp}$	10	82	34.85	33.858
	B14			79	33.575	

	B15			78	33.15	
	B16	$(0 \rightarrow 0.65)P_{exp}$	15	75	31.875	33.008
	B17			75	31.875	
	B18			83	35.275	
تحميل متكرر	B19	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp}$	5	75	31.875	33.291
	B20			80	34.00	
	B21			80	34.00	
	B22	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp}$	10	78	33.15	33.433
	B23			80	34.00	
	B24			78	33.15	
	B25	$(0 \rightarrow 0.75)P_{exp}$	15	77	32.725	33.716
	B26			82	34.85	
	B27			79	33.575	
تحميل متكرر	B28	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp}$	5	75	31.875	34.566
	B29			83	35.275	
	B30			86	36.55	
	B31	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp}$	10	82	34.85	33.15
	B32			75	31.875	
	B33			77	32.725	
	B34	$(0 \rightarrow 0.85)P_{exp}$	15	81	34.425	34.283
	B35			83	35.275	
	B36			78	33.15	

مناقشة النتائج:

- بمقارنة النتائج الواردة في الجداول السابقة (8)، (9)، (10) نلاحظ ما يلي:
 - 1- ازدياد قيمة كل من الحمولة الأعظمية الموافقة للانهييار والعزم المقاوم في 74% من الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر مقارنة مع متوسط قيمتها في حالة التحميل المستمر، وذلك مع تغيير عدد الدورات ومجال التحميل.
 - 2- انخفاض قيمة السهم الأعظمي الموافق لحمولة الانهييار في 41% من الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر مقارنة مع متوسط قيمته في حالة التحميل المستمر، وذلك مع تغيير عدد الدورات ومجال التحميل.

3- إن قيمة متوسط الحملية الأعظمية الموافقة للانهييار في الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر أكبر من نظيرتها في حالة التحميل المستمر، وذلك مهما كان عدد الدورات ومجال التحميل.

• بمقارنة قيمة متوسط العزم المقاوم في الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر مع نظيره في حالة التحميل المستمر نلاحظ ما يلي:

1- قيمة متوسط العزم المقاوم في الجوائز الخاضعة للتحميل المستمر أقل من نظيره في حالة التحميل المتكرر، وذلك مهما كان عدد الدورات ومجال التحميل. كما هو مبين في الأشكال (6,7,8,9,10,11).

2- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل $P_{exp} = 0 \rightarrow 45 \text{ kN}$ (0→65%) إلى تناقص في قيمة متوسط العزم المقاوم، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (6)

3- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل $P_{exp} = 0 \rightarrow 53 \text{ kN}$ (0→75%) إلى تزايد في قيمة متوسط العزم المقاوم، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (7)

4- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل $P_{exp} = 0 \rightarrow 60 \text{ kN}$ (0→85%) إلى تأرجح في قيمة متوسط العزم المقاوم زيادةً أو نقصاناً، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (8)

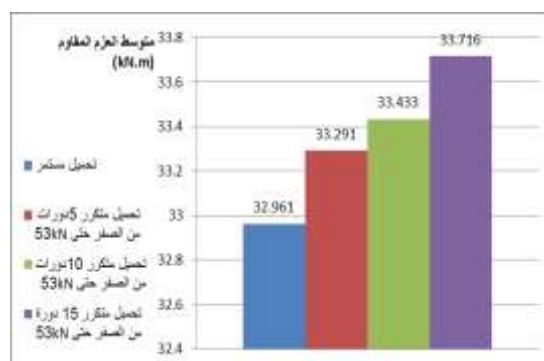
5- أدى التحميل المتكرر لـ 5 دورات إلى تأرجح في قيمة متوسط العزم المقاوم زيادةً أو نقصاناً، وذلك مع تغيير مجال التحميل من $0 \rightarrow 45 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 53 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 60 \text{ kN}$. الشكل (9)

6- أدى التحميل المتكرر لـ 10 دورات إلى تناقص في قيمة متوسط العزم المقاوم، وذلك مع تغيير مجال التحميل من $0 \rightarrow 45 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 53 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 60 \text{ kN}$. الشكل (10)

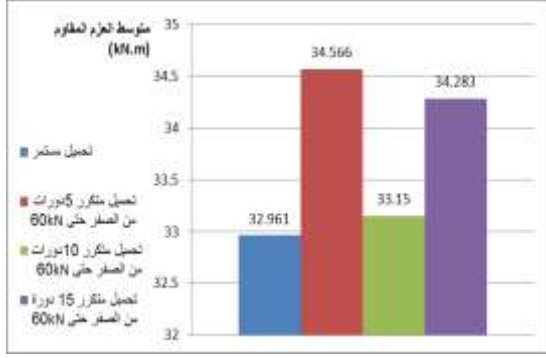
7- أدى التحميل المتكرر لـ 15 دورة إلى تزايد في قيمة متوسط العزم المقاوم، وذلك مع تغيير مجال التحميل من $0 \rightarrow 45 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 53 \text{ kN}$ إلى $0 \rightarrow 60 \text{ kN}$. الشكل (11)



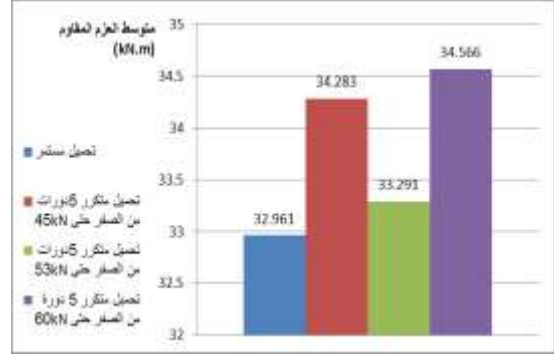
الشكل (6) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالة التحميل المستمر والمتكرر لـ 5، 10، 15 دورة من $0 \rightarrow 45 \text{ kN}$



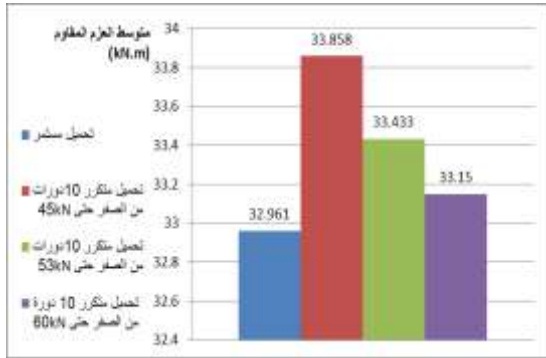
الشكل (7) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالتي التحميل المستمر والمتكرر لـ 5، 10، 15 دورة من $0 \rightarrow 53 \text{ kN}$



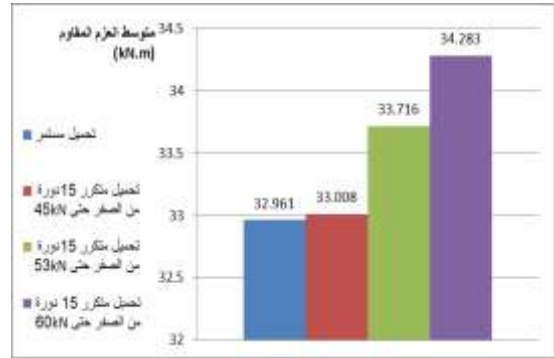
الشكل (8) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالتي التحميل المستمر والمتكرر لـ 5، 10، 15 دورة من 0→60kN



الشكل (9) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالتي التحميل المستمر والمتكرر لـ 5 دورات من 0→45,53,60kN



الشكل (10) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالتي التحميل المستمر و المتكرر لـ 10 دورات من 0→45,53,60kN



الشكل (11) مقارنة متوسط العزم المقاوم بين حالتي التحميل المستمر و المتكرر لـ 15 دورة من 0→45,53,60kN

- بمقارنة قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار في الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر مع نظيره في حالة التحميل المستمر نلاحظ ما يلي:

1- قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار في الجوائز الخاضعة للتحميل المتكرر أكبر من نظيره في حالة التحميل المستمر وذلك عندما يتم التحميل لـ 5 أو 10 دورات ضمن مجال تحميل 0→45 kN أو عندما يتم التحميل لـ 10 أو 15 دورة ضمن مجال تحميل 0→60 kN . وفيما عدا ذلك فقد انخفضت قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار في حالة التحميل المتكرر مقارنة بالتحميل المستمر، وذلك تبعاً لعدد الدورات ومجال التحميل. كما هو مبين في الأشكال (12,13,14,15,16,17).

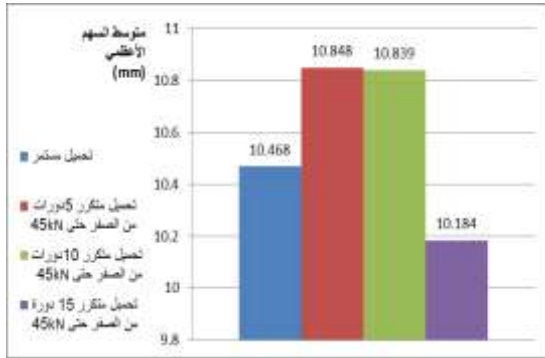
2- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل 0→45 kN $P_{exp} = 0 \rightarrow 65\%$ إلى تناقص في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (12).

3- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل 0→53 kN $P_{exp} = 0 \rightarrow 75\%$ إلى تراجع في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار زيادةً أو نقصاناً، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (13).

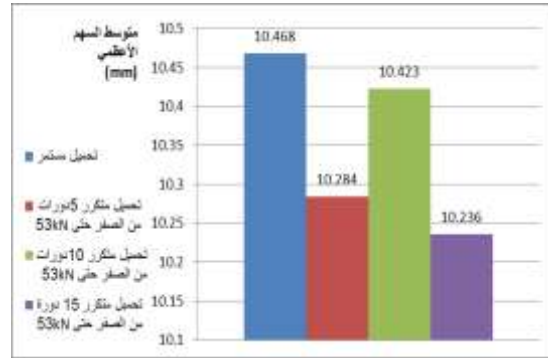
4- أدى التحميل المتكرر ضمن مجال تحميل 0→60 kN $P_{exp} = 0 \rightarrow 85\%$ إلى تزايد في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار، وذلك مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة. الشكل (14).

5- أدى التحميل المتكرر لـ 5 دورات إلى تراجع في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهييار، وذلك مع تغيير مجال التحميل من 0→45 kN إلى 0→53 kN إلى 0→60 kN. الشكل (15)

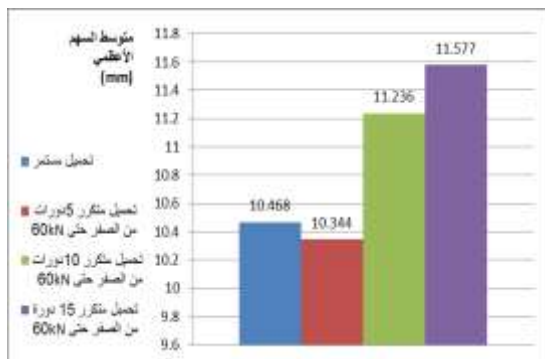
- 6- أدى التحميل المتكرر لـ 10 دورات إلى تأرجح في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهياب زيادةً أو نقصاناً، وذلك مع تغيير مجال التحميل من $0 \rightarrow 45$ kN إلى $0 \rightarrow 53$ kN إلى $0 \rightarrow 60$ kN. الشكل (16)
- 7- أدى التحميل المتكرر لـ 15 دورة إلى تزايد في قيمة متوسط السهم الأعظمي الموافق للانهياب، وذلك مع تغيير مجال التحميل من $0 \rightarrow 45$ kN إلى $0 \rightarrow 53$ kN إلى $0 \rightarrow 60$ kN. الشكل (17)



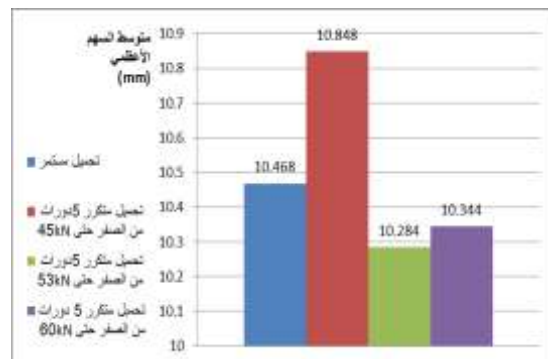
الشكل (12) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر والمتكرر لـ 10, 15, 5 دورة من 0→45kN



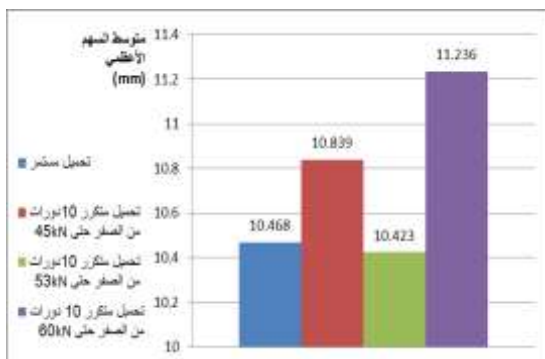
الشكل (13) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر والمتكرر لـ 10, 15, 5 دورة من 0→53kN



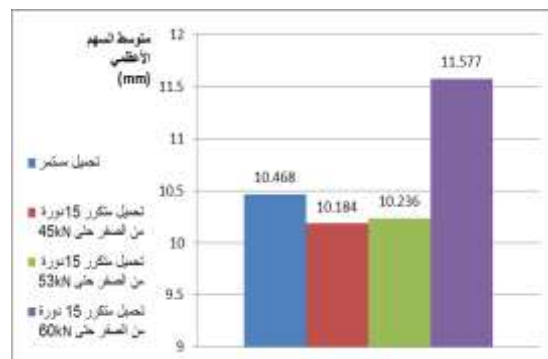
الشكل (14) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر والمتكرر لـ 10, 15, 5 دورة من 0→60kN



الشكل (15) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر والمتكرر لـ 5 دورات من 0→45, 53, 60kN



الشكل (16) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر و المتكرر لـ 10 دورات من 0→45, 53, 60kN



الشكل (17) مقارنة متوسط السهم الأعظمي بين حالة التحميل المستمر و المتكرر لـ 15 دورة من 0→45, 53, 60kN

الاستنتاجات والتوصيات:

بناءً على ما سبق نستنتج:

- ❖ ازدياد قيمة متوسط العزم المقاوم في كل حالة من حالات التحميل المتكرر تبعاً لعدد الدورات ومجال التحميل، وذلك بالمقارنة مع نظيره في حالة التحميل المستمر.
- ❖ تأرجح في قيمة السهم الأعظمي الموافق للانهياب زيادة أو نقصاناً وذلك مع تغيير عدد الدورات ومجال التحميل، إلا أن التحميل المتكرر ضمن مجال من P_{exp} (0→75%) أدى الى انخفاض في متوسط قيمة السهم الأعظمي مع تغيير عدد الدورات من 5 إلى 10 إلى 15 دورة، بالمقارنة مع نظيره في حالة التحميل المستمر.
- ❖ ترافق ازدياد قيمة متوسط العزم المقاوم مع انخفاض في متوسط قيمة السهم الأعظمي الموافق للانهياب في حالة التحميل المتكرر لـ 5 أو 10 أو 15 دورة ضمن مجال تحميل من P_{exp} (0→75%)، وذلك مقارنة مع نظيره في حالة التحميل المستمر.
- ❖ إن التحميل المتكرر للعناصر الخاضعة للانعطاف- من البيتون عالي المقاومة- عند مجال محدد ولعدد محدد من الدورات، أدى إلى تحسّن خواص البيتون بشكل عام، مما انعكس إيجابياً على سلوك تلك العناصر وذلك من حيث ازدياد قيمة العزم المقاوم وانخفاض قيمة السهم المرافق لحمولة الانهياب.

التوصيات

- العمل على إدخال مفهوم التحميل المتكرر كمفهوم إضافي عند دراسة العناصر الخاضعة للانعطاف- من البيتون عالي المقاومة- كونه يملك تأثيراً إيجابياً على سلوك تلك العناصر، وذلك في مواضع محددة تبعاً لعدد الدورات ومجال التحميل.
- متابعة البحث للتوصل إلى تطوير علاقات تحليلية تأخذ بعين الاعتبار التوزع الفعلي للإجهادات الضاغطة في مقاطع العناصر الخاضعة للانعطاف- من البيتون عالي المقاومة- تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتكرر.

المراجع

- 1- Sinha, B.P., Gerstle, K.H., Tulin, L.G. *Stress-strain relations for concrete under cyclic loading*. ACI structural Journal, Vol.61, No.2, 1964, 195-211.
- 2- Sakai, J., Kawashima, K. *AN Unloading and Reloading Stress-Strain Model for Concrete Confined by tie Reinforcements*. The 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000, 1-8.
- 3- Sakai, J., Kawashima, K. *Unloading and reloading stress-strain model for confined concrete*. Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.132, No.1, 2006, 22-112.
- 4- Sima, J.F., Roca, P., Molins, C. *Cyclic constitutive model for concrete*. Elsevier ltd, Engineering Structures, 2007, 1-12.
- 5- AL-Sulayfani, B.J., Al-Tae, H.T. *Modeling of Stress-Strain Relationship for Fibrous Concrete Under Cyclic Loads*. Eng.Tech, Vol.26, No.1, 2008.

- 6- Konstantinidis, D., Kappos, A.J., Izzuddin, B.A. *Analytical Model For Unconfined and Confined High Strength Concrete Under Cyclic Loading*. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Canada, No.2064, 2004.
- 7- Martinez-Rueda, J.E., Elnashai, A.S. *Confined Concrete model under cyclic load*. Materials and structures, Vol. 30, 1997, 47-139.
- 8- اندراوس، غصون. تأثير التحميل المتكرر على مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون العادي الثقيل. أطروحة ماجستير، جامعة تشرين، 2011، 202 P.
- 9- عبود، أحمد. ججاج، غاندي. اندراوس، غصون. تأثير التحميل المتكرر على مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون العادي. مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الهندسية، العدد 90، 2010.
- 10- ACI Committee 211.4R-93. *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1993.
- 11- ACI Committee 363.2R-98. *Guide to Quality Control and Testing of High-Strength Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.
- 12- Nawy, E.G. *Concrete Construction Engineering Handbook*. 2nd ed, Taylor & Francis Group, USA, 2008.