

دراسة سلوك الانثناء للعتبات الخرسانية المسلحة والمقواة بأطوال مختلفة من شرائط ألياف البوليمر الكربونية باستخدام تقنية التقوية بالرصع القريب من الوجه (NSM)

د. بيار جعفر السليفاني، أستاذ
رؤى سهيل محمد زيدان، مدرس مساعد
قسم الهندسة المدنية-جامعة الموصل

الخلاصة

يحتوي هذا البحث نتائج عملية لدراسة سلوك الانثناء للعتبات الخرسانية المسلحة والمقواة بألياف الكربون وذلك باستخدام تقنية الرصع القريب من الوجه (NSM). أجريت الدراسة على (8) عتبات خرسانية مسلحة والمتغيرات التي أخذت بنظر الاعتبار هي: (أطوال ألياف الكربون، عدد طبقات ألياف الكربون). إذ قسمت الدراسة إلى محورين، الأول يضم ثلاث عتبات قويت بأطوال مختلفة من شرائط ألياف الكربون وبطبقة واحدة والمحور الثاني يضم ثلاث عتبات قويت بطبقتين وبأطوال مختلفة من ألياف الكربون. بالإضافة إلى عتبتين للسيطرة، فحصت العتبات بواسطة حمل متمركز في نقطتين.

أظهرت النتائج تأثير ألياف الكربون في زيادة تحمل العتبات ضد قوى الانثناء، وقد أظهرت النتائج بأن تقوية العتبات الخرسانية بشرائط ألياف الكربون على جزء من الطول الكلي للعتبة وبطبقة واحدة لايساهم في زيادة قابلية التحمل للعتبات، أما عند زيادة عدد الطبقات لنفس اطول شرائط الألياف، لوحظ زيادة في تحمل العتبات وينسب تتراوح بين (34%-55%).

الكلمات الدالة: تقنية التقوية بالرصع القريب من الوجه، ألياف البوليمر الكربونية، الايبوكسي

Studying Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Different Lengths of FRP Strips by Using NSM Technique

Abstract

This research includes practical results of study the behavior of the reinforced concrete beams strengthening by carbon fiber strips using near surface mounting (NSM) technique. The study is carried out on (8) concrete beams, the variables which considered are (the length of CFRP strips, no. of CFRP layers), this established by dividing the practical program into two groups, the first one includes (3) beams strengthened with variable carbon fiber strips length and one strip, Second group of this study includes (3) beams which strengthened with variable carbon fiber strips length and two strips, as well as two control beams . The results indicated that the carbon fibers had a noticeable effect in increasing the bearing capacity of the near surface mounting (NSM) strengthened technique reinforced beams, , the results indicated that strengthening the beams with carbon fibers and not along the length of the beam and in

one layer did not contribute to increasing the beams strength, but when the number of layers was increased for the same length of fibers an increase in beam strength was noticed at a rate range (34%-55%).

Key words: NSM, CFRP, Epoxy

المقدمة

إن ظهور ألياف البوليمر في العقدتين الأخيرين كمادة بديلة واعدة ومتطورة لتقوية وتأهيل المنشآت الخرسانية^[1-2]، جعلها تفرض نفسها كمادة مختارة لتقوية وإعادة تأهيل البنى التحتية الخرسانية. إذ استخدمت ألياف البوليمر خاصة لتقوية المنشآت المعرضة للعوامل الجوية والكيميائية فضلاً عن قابليتها على زيادة تحمل المنشآت الخرسانية في القص والانشاء^[3]. ظهرت العديد من التقنيات في التقوية بألياف البوليمر ومنها تقنية التقوية بتسليح الربط الخارجي (EBR)، وقد ظهرت مؤخراً التقوية بتقنية التسليح المرصع القريب من الوجه (NSM) وذلك لزيادة مقاومة القص والانشاء للأعضاء الخرسانية، وتتخلص هذه الطريقة بعمل أخدود في أسفل العضو الخرساني ثم يطلى سطح الأخدود بالمادة الرابطة (الأيبوكسي) وتلصق شرائط أو قضبان ألياف البوليمر داخل الأخدود^[4]. في هذا البحث تم دراسة تأثير التقوية بألياف البوليمر الكربونية على مقاومة الانثناء للعتبات الخرسانية المسلحة وذلك باستخدام تقنية الرصع القريب من الوجه، أجريت الدراسة على (8) عتبات خرسانية مسلحة والمتغيرات التي أخذت بنظر الاعتبار هي: (عدد طبقات شرائط ألياف الكربون وأطوال ألياف الكربون). وتم الحصول على العلاقة بين (الحمل- الأود) للعتبات المقواة وعتبات السيطرة. أظهرت النتائج تأثير ألياف الكربون في زيادة تحمل العتبات ضد قوى الانثناء مع تقليل الأود في العتبات.

البرنامج العملي

أجريت الدراسة على (8) عتبة خرسانية مسلحة، سلحت جميع العتبات ضد قوى القص وذلك لكي يكون الفشل الحاصل فيها هو في الانثناء. العتبات الخرسانية المستخدمة في الدراسة كانت بأبعاد: الطول (2250mm)، الارتفاع (250mm) والعرض (150mm)، والشكل (1) يبين تفاصيل التسليح للعتبات المستخدمة في الدراسة.

قسم البرنامج العملي للدراسة إلى محورين

- 1- تقوية العتبات الخرسانية بأطوال مختلفة وطبقة واحدة من شرائط ألياف الكربون.
- 2- تقوية العتبات بأطوال مختلفة وطبقتين من ألياف الكربون.

خصائص المواد المستخدمة في الدراسة

الخلطة الخرسانية: تم صب جميع العتبات الخرسانية والبالغ عددها (8) من خلطة خرسانية واحدة وبنسب وزنية للإسمنت/الرمل/الحصي/الماء هو (1/1.68/2.1/0.48)، ومقاومة الانضغاط للإسطوانة القياسية كانت بمقدار (25MPa) وخصائص المواد المستخدمة في الدراسة العملية موضحة وكما يلي:

1- **الإسمنت:** الإسمنت المستخدم في الدراسة هو إسمنت عراقي محلي الصنع منتج من معمل اسمنت بادوش.

2- **الركام الناعم (الرمل):** الرمل المستخدم في الدراسة هو رمل نهري من منطقة الكنهش في محافظة نينوى، متوسط النعومة وبمعامل نعومة (2.56).

5- يطلى الأخدود في العتبة المراد تقويتها بالألياف بالمادة الرابطة ويتم تسويتها لحين الحصول على سطح مستو ثم توضع الألياف داخل الأخدود فوق المادة الرابطة ويضغط عليها وذلك للتخلص من الفراغات الهوائية بين الألياف والمادة الرابطة، ثم يغطى السطح الخارجي للألياف بالمادة الرابطة و بنسبة ((0.5) كغم لكل متر مربع من الألياف) ويعدل السطح بالمالج وتترك النماذج المقواة بالألياف لمدة لا تقل عن (7) أيام للمعالجة ثم تفحص وتتبع نفس الطريقة في حالة التغليف بطبقتين من الألياف.

فحص العتبات:

فُحصت جميع العتبات بتسليط حمل في نقطتين (two point load) والشكل (2) يبين العتبة تحت الأحمال ومثبتة على المساند. وقيست الانفعالات بواسطة مقياس الانفعال الرقمي (Demec gauge) بطول (100mm) على ستة مستويات مختلفة وعلى عمق العتبة الخرسانية وفي جميع مراحل التحميل، قيس الأود في العتبات الخرسانية في وسط وعلى جانبي العتبة الخرسانية بعد تثبيت مقياس الأود (Transducer gauge) في وسط وفي جانبي العتبة على مسافة (350mm) من المساند وجميع القراءات للأود والحمل المسلط تظهر في برنامج الإكسل على الحاسبة والشكل (3) يبين العتبة الخرسانية مثبتة على جهاز الفحص.

النتائج

تأثير تغيير أطوال شرائط ألياف الكربون على

الخصائص الميكانيكية للعتبات:

الجدول (6) يوضح النتائج والتي تم الحصول عليها من فحص عتبات المحور الأول مع نسبة الزيادة في حمل الفشل ونوع الفشل. من الجدول (6) يلاحظ بان التقوية بألياف الكربون وبطول (500mm) لم تسهم في زيادة حمل الفشل

3- الركام الخشن (الحصى): الحصى المستخدم في الدراسة هو حصى نهري ي ذو مقياس أقصى (max size of aggregate) (M.S.A=12.5).

4- الماء: تم استخدام ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الموصل في خلط ومعالجة جميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في الدراسة.

5- المادة الرابطة (الأيوكسي): وفي الدراسة الحالية تم استخدام المادة الرابطة من نوع (Sika Dur-330) وهي مادة متوسطة اللزوجة، تتكون المادة الرابطة من جزئين: المادة الصمغية (Resin A) وتكون بلون ابيض والمادة المصلدة (Hardner B) وتكون بلون رصاصي غامق، نسبة الخلط للمادة الرابطة من هذه النوعية هي (A:B)(1:4).

6- ألياف البوليمر الكاربونية (CFRP): تم استخدام ألياف الكاربون من نوع (Sika Wrap Hex-230c) في تقوية العتبات الخرسانية في الدراسة.

تغليف النماذج

بعد أكمال فترة المعالجة للعتبات الخرسانية المراد تقويتها تترك لتجف العتبات ثم يتم:

1- تنظيف منطقة التقوية (الأخدود) للعتبة وإزالة الغبار وذلك لتحسين الارتباط بين سطح الخرسانة وألياف الكاربون.

2- تخشين سطح التقوية للخرسانة (الأخدود) باستخدام الكوسرة الكهربائية وإزالة الغبار والمواد الناتجة من عملية التخشين وذلك باستخدام ضاغطة الهواء الكهربائية (Blower).

3- تقطع ألياف الكاربون بالأبعاد المطلوبة للتقوية وحسب أبعاد الأخاديد.

4- تهيئ المادة الرابطة الأيوكسي وفق الكمية المطلوبة وحسب مساحة ألياف الكاربون إذ حددت المواصفة كمية الأيوكسي ((1.2) كغم لكل متر مربع من الألياف)^[9].

(الحمل-الأود) للعتبات. ولألياف الكاربون تأثير على منحني (الحمل-الانفعال)، فوجود ألياف الكاربون في أسفل العتبة يعمل على منع حدوث التشققات في أسفل العتبة ويعمل على الحد منها وعلى طول العتبة وكذلك تعمل هذه الألياف على أن يرتفع موقع محور التعادل إلى الأعلى مما يزيد العزم الداخلي للمقطع وبالتالي زيادة تحمله للاحمال الخارجية، والأشكال الآتية تبين العلاقة بين (الحمل-الانفعال) للعتبات.

أشكال الفشل في العتبات

إن الفشل في العتبات كان في الخرسانة في منطقة الشد وذلك لعدم قدرة الخرسانة على تحمل الإجهادات الناتجة من استمرار الزيادة في الحمل ولذلك لم يحصل انقطاع بشرائط ألياف الكاربون لعدم وصول تحمل ألياف الكاربون إلى قيمته العظمى حيث أن الفشل في العتبات (B13-W60-S1)، (L500)، (B14-W60-S2-L500)، (L500) كان في منطقة التي انتهت فيها شرائط ألياف الكاربون، أما العتبات (B17-W60-S1)، (B18-W60-S2-1500)، (L1500)، (B15-W60-S1-L1000) فقد كان الفشل بانقطاع ألياف الكاربون.

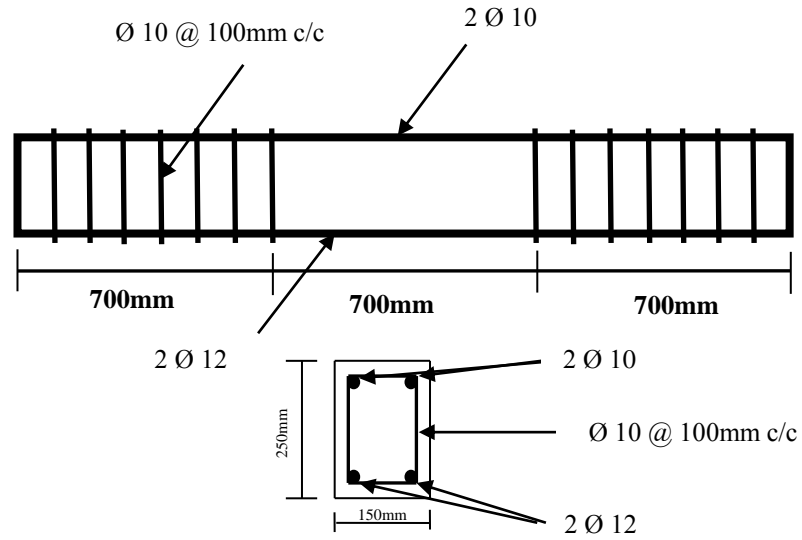
الاستنتاجات

1- إن تغليف العتبات الخرسانية بألياف الكاربون وليس على طول العتبة الخرسانية وبطبقة واحدة لا يساهم في زيادة تحمل العتبات الخرسانية المسلحة.
2- إن تغليف العتبات الخرسانية بألياف الكاربون وليس على طول الكلي للعتبة الخرسانية وبطبقتين يساهم في زيادة تحمل العتبات وينسب تتراوح بين (34%-55%).

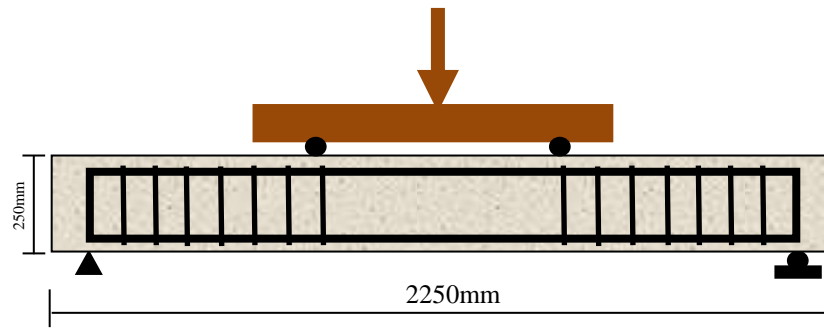
3- تقنية (NSM) تزيد من قوى الارتباط بين الخرسانة وألياف الكاربون إذ أن الفشل في معظم العتبات الخرسانية المقواة بألياف الكاربون وبتقنية

للعتبة، وبالنسبة للعتبات المقواة بشرائط ألياف الكاربون بطول (1000,1500mm) كانت نسب الزيادة في الحمل (4%-7%) وهي نسب قليلة، أما بالنسبة للعتبات المقواة بطبقتين من ألياف الكاربون وبأطوال (500,1000,1500mm) فقد كانت نسب الزيادة تتراوح بين (34%-55%)، ومن ذلك نستنتج بان تقوية العتبات بطبقة واحدة من ألياف الكاربون وليس على طول الكلي للعتبة لا يساهم في زيادة حمل الفشل للعتبات المقواة بينما تقوية العتبات بطبقتين من الألياف وليس على طول العتبة يساهم في زيادة حمل الفشل للعتبات بصورة ملحوظة. من ملاحظة النتائج في الجدول (6) يظهر أن النقصان في الأود الأقصى في العتبات المقواة بأطوال (500,1000mm) كانت معدومة وذلك بسبب كون التقوية بألياف الكاربون لم تكن على طول العتبة وبطول كافي لكي تساهم ألياف الكاربون في نقصان الأود لكن في العتبات المقواة بألياف الكاربون بطول (1500mm) وبطبقة وطبقتين فقد حصل نقصان في الأود بنسب (27.2,29.7%) في وسط العتبة وبنسبة (24.7%) في جانب العتبة. حيث أن مقياسي الأود في جانبي العتبة كانا على مسافة (350mm) من المساند. والشكل (3) يبين العلاقة بين الحمل مع الأود للعتبات المقواة بأطوال (500,1000,1500mm) لطبقة واحدة لطبقتين من الألياف. ولألياف الكاربون دور كبير في زيادة الجساء للعتبات الخرسانية جساء العتبات بالاعتماد على الحمل الأقصى للعتبات وذلك بأخذ نسبة (45%) من الحمل الأقصى وتسقيطها على منحني (الحمل-الأود) واستخراج قيمة الأود والتي تقابل مقدار هذا الحمل. والجدول (7) يبين نسب الزيادة في الجساء للعتبات المقواة. وتساهم ألياف الكاربون في زيادة طاقة الامتصاص والتبديد والتي تحسب من إيجاد المساحة تحت منحني

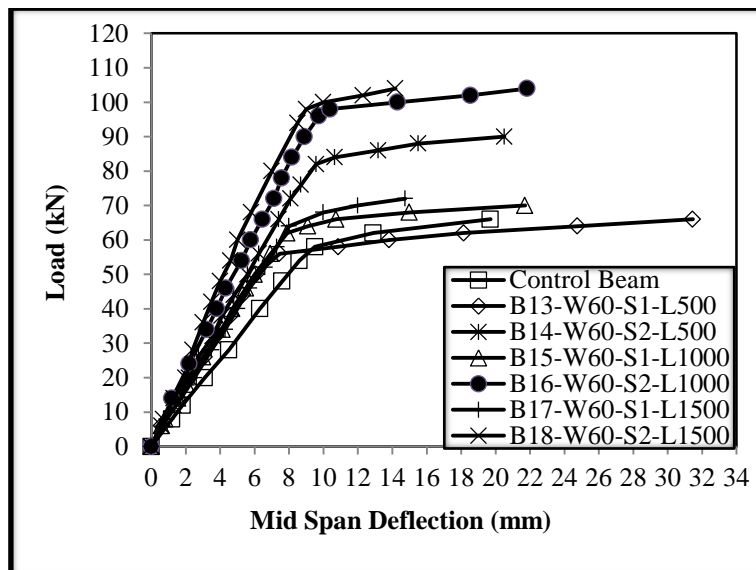
2. Al-Dajah, S., Biddah, A., Hammami, A., and Al-Omari, A., "Long Term Performance of Concrete Structures Strengthened Using FRP", The Seventh Annual U.A.E University Research Conference ,Al-Ain University,2003, pp.18-27.
3. Uomoto,T., "Test Methods for FRP Materials", University of Patras, Greece,Vol.1,No.3,(16-18) July,2007,pp.1-9.
4. Lundqvist, J., Bernspang, L., Taljsten, B., and Olofsson, T., "Aprobability Study of F.E.A of Near Surface Mounted CFRP Bonded to Reinforced Concrete ", University of Patras, Greece, Vol.8, No.3,(16-18) July, 2007, pp.1-10.
- (NSM) كان بانقطاع ألياف الكاربون وعدم حصول فشل في انفصال ألياف الكاربون عن الخرسانة. 4-أسهمت ألياف الكاربون في زيادة جساءة وطاقة الامتصاص للعتبات المقواة واعتمادا على أطوال ألياف الكاربون وعدد الطبقات.
- المصادر**
1. Hegemier, G., Seible, F., Karbhari, V., Lee, C., Rodriguez, T., Oesterle, M., Hutchinson, T., Morrill, K., and Crawford, J. , " The Use of Fiber Reinforced Polymers to Mitigate Natural and Man-Made Hazards", University of Patras,Greece,Vol.1,No.2,(16-18) July,2007,pp.1-25.



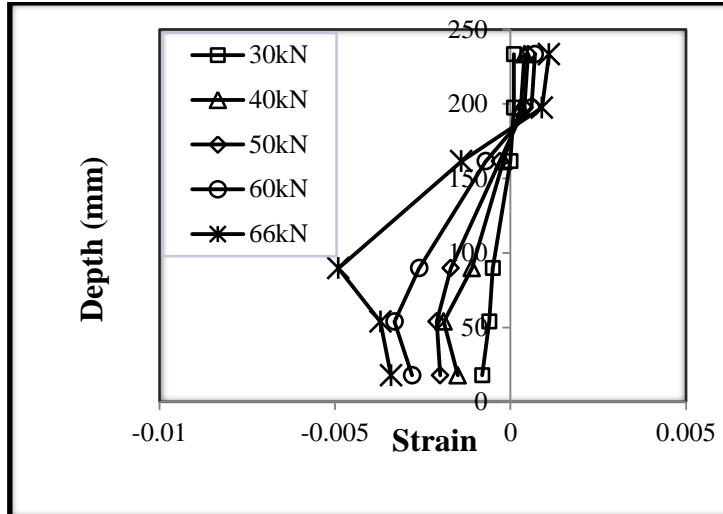
الشكل(1): تفاصيل التسليح للعتبات المستخدمة في الدراسة.



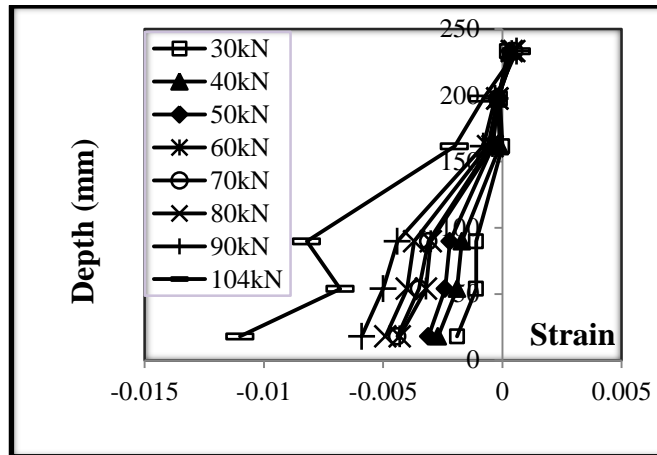
الشكل(2): العتبة الخرسانية تحت تأثير الأحمال ومثبتة فوق المساند.



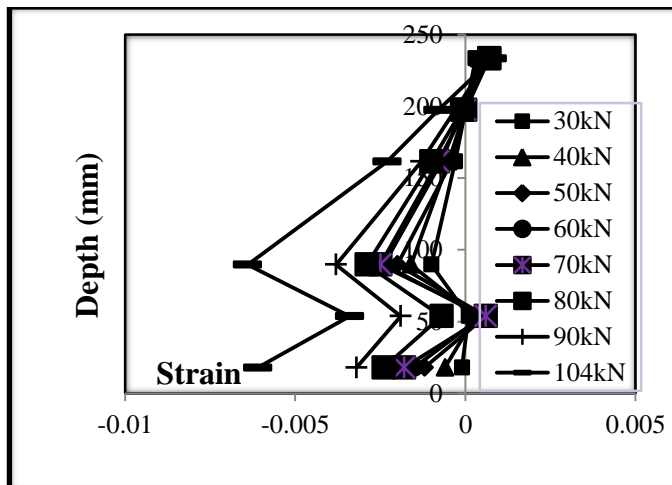
الشكل(3): العلاقة بين الحمل مع الأود للعتبات .



الشكل (4): علاقة (الحمل-الانفعال) للعتبة (B13-W60-L500-)



الشكل (5): علاقة (الحمل-الانفعال) للعتبة (B16-W60-)



الشكل (6): علاقة (الحمل-الانفعال) للعتبة (B18-W60-)



الشكل(7): شكل الفشل في العتبة (B13-W60-S1-L500).



الشكل(8): شكل الفشل في العتبة (B14-W60-S2-L500).



الشكل(9): شكل الفشل في العتبة (B15-W60-S1-L1000).



الشكل(10): شكل الفشل في العتبة (B16-W60-S2-L1000).



الشكل(11):شكل الفشل في العتبة (B17-W60-S1-L1500).



الشكل(12):شكل الفشل في العتبة (B18-W60-S2-L1500).

الجدول(1): العتبات الخرسانية في محاور الدراسة.

عدد الطبقات	عمق الرصع	أبعاد شرائط الألياف الكاربونية (b *L)(mm)	العتبة الخرسانية	محور الدراسة
طبقة واحدة	10mm	(60*500)	العتبة الأولى	المحور الأول
طبقة واحدة	10mm	(60*1000)	العتبة الثانية	
طبقة واحدة	10mm	(60*1500)	العتبة الثالثة	
طبقتين	10mm	(60*500)	العتبة الأولى	المحور الثاني
طبقتين	10mm	(60*1000)	العتبة الثانية	
طبقتين	10mm	(60*1500)	العتبة الثالثة	

الجدول(2): التحليل الكيميائي للإسمنت المستخدم ومركباته الكيميائية.

حدود المواصفة (IQS: 5/1984) (%)	النسبة المئوية (%)	أكاسيد عناصر الاسمنت
3.0 - 8.0	5.4	أكسيد الألمنيوم Al_2O_3
17.0 - 25.0	23.4	أكسيد السليكا SiO_2
0.5 - 6.0	3.25	أكسيد الحديد Fe_2O_3
60.0 - 67.0	61.8	أكسيد الكالسيوم CaO
لايزيد عن 2.8 %	2.25	ثلاثي أكسيد الكبريت SO_3
لايزيد عن 5.0 %	3.5	أكسيد المغنسيوم MgO
مركبات الاسمنت الرئيسية		
31.03 - 41.05	38.53	ثلاثي سيليكات الكالسيوم C_3S
28.61 - 37.90	33.45	ثنائي سيليكات الكالسيوم C_2S
11.96 - 12.30	11.99	ثلاثي الومينات الكالسيوم C_3A
7.72 - 8.02	7.92	رباعي الومينات الكالسيوم الحديدية C_4AF

الجدول(3): الخصائص الفيزيائية للإسمنت المستخدم.

الخصائص	النتائج	حدود المواصفة (IQS: 5/1984)(%)
النعومة(نسبة المتبقي على منخل رقم 170)	3%	لا تزيد عن 10%
وقت التماسك		
ابتدائي(دقيقة)	120	لا يقل عن 45 دقيقة
نهائي(دقيقة)	225	لا يزيد عن 600 دقيقة
مقاومة الانضغاط(MPa)		
3 أيام	19.7	لا تقل عن (16 MPa)
7 أيام	24.8	لا تقل عن (24 MPa)
مقاومة الشد(MPa)		
3 أيام	1.77	لا تقل عن (1.6 MPa)
7 أيام	2.45	لا تقل عن (2.4 MPa)
\		

الجدول(4): التحليل المنخلي للرمل المستخدم مع النسب المئوية المارة القياسية للمواصفة البريطانية (B.S 882:1992).

النسبة المئوية المارة					مقاس المنخل (mm)
حدود مناطق التدرج			النسب المارة للرمل المستخدم	الحدود الكلية	
ناعم F	متوسط M	خشن C			
-	-	-	100	100-89	4.75
100-80	100-65	100-60	85	100-60	2.36
100-70	100-45	90-30	77.9	100-30	1.18
100-55	80-25	54-15	55	100-15	0.6
70-5	48-5	40-5	19.1	70-5	0.3
-	-	-	6.5	15-0	0.15

الجدول(5): التحليل المنخلي للحصى المستخدم مع النسب المئوية المارة القياسية للمواصفة الأمريكية.

% النسبة المارة	% الحدود القياسية المارة	مقاس المنخل (mm)
100	100	19
93.36	90-100	12.5
59.28	40-70	9.5
0.94	0-15	4.75
0	0-5	2.36

الجدول(6): النتائج المستحصلة من فحص العتبات ونسب الزيادة في حمل الفشل ونوع الفشل.

Beams	Failure Load (kN)	%Increasing in Failure Load With Respect to Control Beam	Compressive Strength (MPa)	Mode Of Failure	%Decreasing In Mid Span Deflection (At Failure)
B1(control)	67	-	24.5	-	-
B2(control)		-		-	
B13 -W60-S1-L500	66	-	23.5	Flexural Failure	-
B14-W60-S2-L500	90	34.3	23.7	Flexural Failure	-
B15 -W60-S1-L1000	70	4.5	24	Rupture In CFRP	-
B16 -W60-S2-L1000	104	55.2	25.2	Flexural Failure	-
B17 -W60-S1-L1500	72	7.5	23.5	Rupture In CFRP	27.2
B18-W60-S2-L1500	104	55.2	24	Rupture In CFRP	29.7

الجدول(7): نسب الزيادة في الجساءة و طاقة الامتصاص للعتبات الخرسانية المقواة.

Beams	%Increasing In Stiffness	%Increasing In Toughness
B1(control)	-	-
B2(control)		-
B13 -W60-S1-L500	33.9	17.4
B14-W60-S2-L500	51.6	21.5
B15 -W60-S1-L1000	33.9	30.4
B16 -W60-S2-L1000	75.8	66
B17 -W60-S1-L1500	33.9	31.4
B18-W60-S2-L1500	93.5	86