

إعادة تأهيل الأعتاب الخرسانية المتضررة / دراسة عملية مقارنة

الحمزة رياض عبد الله³نزار نعمان إسماعيل²وائل نور الدين الرفاعي¹^{3,1} قسم الهندسة المدنية، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق² قسم هندسة البيئة، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراقdr.nizar1961@gmail.com

(Received 11 January 2016, Accepted 01 March 2016, Available online 31 December 2017)

الخلاصة

كثيراً ما تتعرض المنشآت الخرسانية إلى أضرار نتيجة عدة عوامل منها طبيعية ومنها تصميمية وغير ذلك، وبالنظر للكلفة العالية وما يستغرق من جهد ووقت في عملية هدم وإعادة إنشاء المنشأ برزت الحاجة إلى إيجاد طرائق لإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية المتضررة. يستعرض البحث الحالي استخدام عدة تقنيات لإعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة، وهي استخدام تقنية استخدام المقاطع الفيروسمنتية وتقنية استخدام المقاطع الحديدية وتقنية استخدام ألياف البوليمر الكربونية إضافة إلى تقنية استخدام مقاطع من مواد نانوية أو حقن الشقوق بمواد نانوية أيضاً. تم صب وفحص 12 عتبة خرسانية بأبعاد (150x200x2200) ملم، حيث تم تعريضها لحمل مركز في وسط العتبة إلى حد الفشل ومن ثم إعادة تأهيل العتبات الخرسانية باستخدام التقنيات المشار إليها. أظهرت النتائج أن استخدام البراغي أو الأبيوكسي مع البراغي في تثبيت المقاطع المختلفة له أثر كبير في تأهيل العتبة المتضررة. إضافة إلى تجاوز مقاومة الانثناء النهائية 80% من المقاومة قبل التأهيل عند استخدام طريقة الحقن بالمواد النانوية وتجاوزها 99% من مقاومة الانثناء قبل التأهيل عند استخدام تقنية تثبيت المقطع النانوي والتي تمتلك كلفة واطئة قياساً بالتقنيات الأخرى المستخدمة في البحث.

الكلمات الدالة: فيروسمنت، مونة السمنت النانوية، صفيحة حديد، ألياف كربونية.

Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams

Wail N. Al-Rifaie¹Nazar N. Ismaeel²Al-Hamza R. Abdullah³^{1,3}Civil Engineering Department, Tikrit University, Iraq²Environmental Engineering Department, Tikrit University, Iraq

Abstract

The concrete structures are often exposed to damage as a result of several factors including, environment, design, and other factors, and because of the high cost and long time needed for reconstruction of the damaged buildings, it become necessary to consider methods for rehabilitation of the damaged structural member in the building. Several methods for repairing the damaged beams are considered in the present work. The technologies of ferrocement, steel plate, fiber carbon reinforced polymer (FCRP), and the technology of the developed nano cement mortar are used in the present work. Twelve reinforced concrete beams (2200x200x150)mm were cast and tested under point load at mid-span to limit the failure. The ultimate strength of rehabilitated concrete beams using the techniques of injecting nano materials in the cracks or having a jacket made from reinforced nano cement mortar exceeds 80% of the ultimate strength of the beam before rehabilitation and exceeds 99% of ultimate strength of the beam before rehabilitation of rehabilitation by fiber carbon reinforced polymer (FCRP) with low cost compared to other techniques that used in research.

Key words: Ferrocement, Nano cement mortar, Steel plate, Carbon fiber.

المقدمة

تتعرض المنشآت الخرسانية إلى أضرار نتيجة حدوث بعض الكوارث الطبيعية كالزلازل الأرضية أو الأعاصير، أو نتيجة تعرضها لأحمال صدمية، أو حدوث خطأ ما أثناء التصميم، أو خلل في التنفيذ كأن يكون هناك نقص في تسليح بعض الأعضاء الخرسانية مما يجعله غير كافٍ لتحمل الأجهادات التي تتعرض لها [1]، أو حدوث نقصان في مساحة التسليح نتيجة الصدا والتآكل مع مرور الزمن، أو حدوث تغيير في وظيفة المنشأ وزيادة الأحمال الخدمية على أعضائها والتي لم تدخل أثناء التصميم الأولي وبذلك يحمل المنشأ أجهادات أكثر من تحمله، كل هذه الأمور تجعل من المنشأ غير قادر على أداء وظيفته التي أنشئ من أجلها [2]، وان هدم هذه الأعضاء وإنشاءها من جديد يعد عملية غير اقتصادية من حيث الكلفة العالية والوقت والجهد الكبيرين لإنجاز ذلك، ولهذا وجد المهندسون أن تسليح هذه الأعضاء وترميمها هي الفكرة المناسبة لإعادة تأهيلها ومعالجتها [3].

الهدف من البحث

إن تعرض المنشآت الخرسانية إلى أضرار نتيجة العوامل المختلفة يجعل المنشأ غير قادر لأداء وظيفته بشكل صحيح كما أن هدم وإعادة بناء المنشأ يزيد الكثير من الموارد و الوقت، من هنا برزت أهمية البحث الذي يهدف إلى :

- 1- إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة عن طريق تغليفها بمواد مختلفة، ومعرفة نسب الزيادة في مقاومة الانثناء.
- 2- دراسة أساليب مختلفة لإعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة.
- 3- المقارنة بين تلك الأساليب من ناحية مقاومة الانثناء و الكلفة وزمن وطريقة التنفيذ.

البرنامج العملي

المواد المستخدمة

السمنت البورتلاندي الاعتيادي

السمنت المستخدم في الدراسة العملية هو إسمنت عراقي محلي الصنع منتج في الشركة المتحدة للأسمنت (UCC) والمعروف باسم كرسنه وهو مطابق للمواصفة المعملية رقم 3868، وخصائص السمنت الفيزيائية والكيميائية مبينة في الجدولين (1) و (2).

الجدول (1) التحليل الكيميائي للسمنت الاعتيادي ومركباته

Compound composition	Chemical Composition	Weight (%)
Lime	CaO	62.28
Silica	SiO ₂	20.82
Alumina	Al ₂ O ₃	4.34
Iron oxide	Fe ₂ O ₃	4.20
Magnesia	MgO	3.15
Sulfate	SO ₃	2.45
Loss on ignition	L.O.I	2.33
Insoluble residue	I.R	1.26
Lime saturation factor	L.S.F	0.89

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.

الجدول (2) الخصائص الفيزيائية للسمنت الاعتيادي

Physical Properties	Test Results	
Fineness (m ² /kg)	265	230 (m ² /kg) lower limit
Initial (min.)	110	Not less than 45
Final (min.)	225	Not more than 600
3 days age (N/mm ²)	21.5	Not less than 15
7 days age (N/mm ²)	31.2	Not less than 23

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.

الشركة العامة للسمنت (الشمالية) وخصائصه الكيميائية والفيزيائية مثبتة في الجدولين (3) و(4).

السمنت البورتلاندي فائق النعومة

السمنت فائق النعومة المستخدم في الدراسة العملية هو إسمنت عراقي محلي الصنع منتج في

الجدول (3) التحليل الكيميائي للسمنت فائق النعومة ومركباته

Compound composition	Chemical composition	Weight (%)
Magnesia	MgO	2.1
Sulfate	SO ₃	2.35
Loss on ignition	L.O.I	2.25
Insoluble residue	I.R	0.8

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.

الجدول (4) الخصائص الفيزيائية للسمنت فائق النعومة

Physical Properties	Test Results	
Fineness	425	
Initial (min.)	116	Not less than 45
Final (min.)	130	Not more than 600
3 days age (N/mm ²)	25.4	Not less than 15
7 days age (N/mm ²)	37	Not less than 23

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.

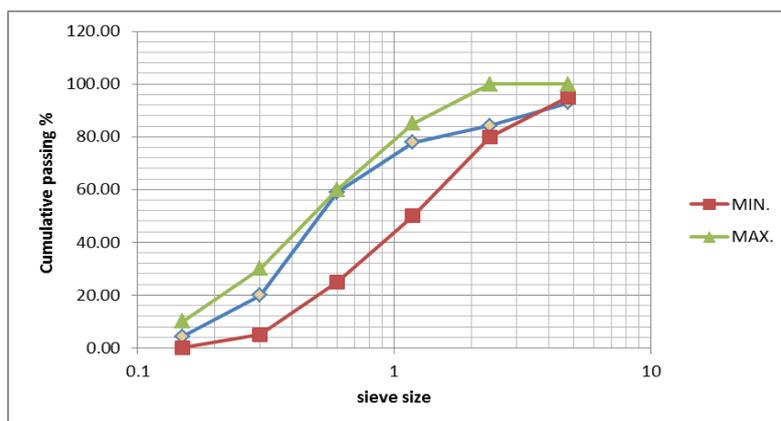
التحليل المنخلي له وُجِدَ أنه مطابق للمواصفات القياسية الأمريكية للمواد ASTM C33-01 [4]، ونتائج التحليل المنخلي مثبتة في الجدول (5) وموضحة في الشكل (1).

الركام الناعم (الرمل)
الرمل المستخدم في الخلطة الخرسانية هو رمل نهري (River Sand)، من منطقة طوزخورماتو في محافظة صلاح الدين، بعد إجراء

الجدول (5) التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم مع النسب المئوية المارة القياسية حسب (ASTM C33-01)

Sieve size	Cumulative passing %	Limit of ASTM C33-01
(38-in.) 9.5-mm	100	100
(No. 4) 4.75-mm	92.96	95 to 100
(No. 8) 2.36-mm	84.33	80 to 100
(No. 16) 1.18-mm	77.89	50 to 85
(No. 30) 600- μ m	59	25 to 60
(No. 50) 300- μ m	19.83	5 to 30
(No. 100) 150- μ m	4.25	0 to 10

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.



الشكل (1) التحليل المنخلي للركام الناعم

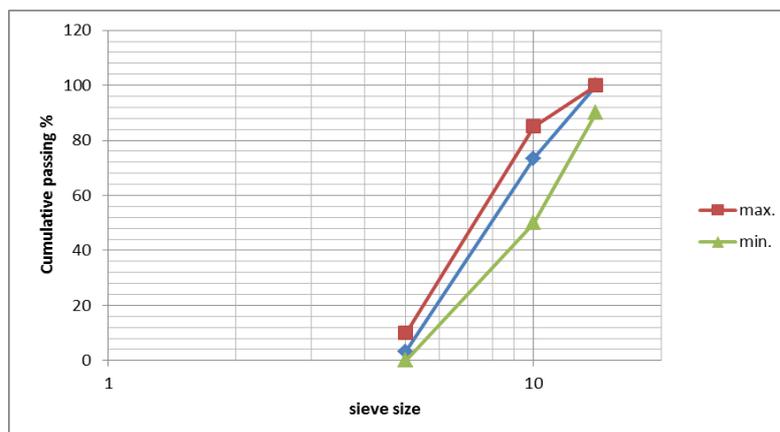
فتحاته 25 ملم، وبعد إجراء التحليل المنخلي له وُجِدَ أنه مطابق للمواصفات القياسية الأمريكية للمواد ASTM C33-01 [4]، و نتائج التحليل المنخلي مثبتة في الجدول (6) وموضحة في الشكل (2).

الركام الخشن (الحصى)
الحصى المستخدم في الخلطة الخرسانية هو حصى نهري مكسر (Crashed gravel)، من منطقة طوزخورماتو في محافظة صلاح الدين، وقبل خلطه بالخرسانة تم تنظيفه وإمراره من منخل حجم

الجدول (6) التحليل المنخلي للركام الخشن المستخدم مع النسب المئوية المارة القياسية حسب (ASTM C33-01)

Limit of ASTM c33-01	Cumulative passing %	Sieve size
(1 in.) 25.0 mm	100	95 to 100
(1/2 in.) 12.5 mm	73.4	50 to 85
(No. 4) 4.75 mm	3.3	0 to 10
(No. 8) 2.36 mm	0	0 to 5

نتائج الجدول أعلاه تم الحصول عليها من مختبرات جامعة تكريت/ كلية الهندسة.



الشكل (2) التحليل المنخلي للركام الخشن

(8) يبين خصائص الصفائح الحديدية المستخدمة في الدراسة.

المشبكة السلكية

تم استخدام نوعين من المشبكات السلكية في تجهيز المقاطع اللازمة في إعادة تأهيل العتبات الخرسانية الأولى ذو فتحات 12.7 ملم والثاني ذو فتحات 2.5 ملم و الجدول (9) يمثل خصائص الأسلاك المشبكة المستخدمة في الدراسة.

حديد التسليح

استخدم في تسليح العتبات الخرسانية قضبان تسليح بقطر 12 ملم بالنسبة للتسليح الطولي و 10 ملم لحلقات تسليح القص وكذلك استخدم حديد تسليح بقطر 6 ملم في تسليح المقاطع الفيروسمنتية المستخدمة في إعادة التأهيل، والجدول (7) يبين خصائص الحديد المستخدم في الدراسة.

صفائح الحديد

تم استخدام صفائح حديدية سمك 2 ملم في إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة و الجدول

الجدول (7) مواصفات الحديد المستخدم في الدراسة

Dim. (mm)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)
Φ 6 mm	490	582
Φ 10 mm	543	712
Φ 12 mm	547	730

الجدول (8) خصائص الصفائح الحديدية المستخدمة في الدراسة

Material	Thickness (mm)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)
Steel plate	2	528	588

تم الحصول على النتائج أعلاه في مختبرات قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة تكريت

الجدول (9) خصائص الأسلاك المشبكة المستخدمة في الدراسة

Type of reinforcement	Opening mm	Diameter mm	Yield strength Mpa	Ultimate strength Mpa
Wire mesh (1)	12.7	1	440.7	488.9
Wire mesh (2)	2.5	0.4	320.5	350

تم الحصول على النتائج أعلاه في مختبرات قسم الهندسة الميكانيكية / جامعة تكريت

البراغي

ألياف البوليمر الكاربونية (CFRP)
تم استخدام ألياف الكربون من نوع (Sika Wrap Hex-230c) في تقوية العتبات الخرسانية في الدراسة العملية والجدول (11) يبين الخصائص الفيزيائية للألياف [5].

تم استخدام براغي نوع 4.8 صينية المنشأ حجم 17 لغرض تثبيت المقاطع المختلفة والمستخدم في إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة والجدول (10) يبين خصائص البراغي المستخدمة في الدراسة.

الجدول (10) خصائص البراغي المستخدمة في الدراسة

Type of bolt	Number	size	Ultimate Shear strength kN
Steel bolt	4.8	17	17.3

تم الحصول على النتائج أعلاه في مختبرات جامعة الموصل / كلية الهندسة.

الجدول (11) الخصائص الفيزيائية للألياف الكاربونية نوع (Sika Wrap Hex-230c)

1	Fiber type	High strength carbon fibers
2	Fiber orientation	0° (unidirectional)
3	Construction	Warp: Carbon fibers(99% of total a real weight) Wef: Thermoplastic heat-set fiber(1% of total a real weight)
4	A real weight	225 gm/cm ²
5	Fiber density	1780 kg/m ³
6	Fiber design thickness	0.13 mm (Based on total area of carbon fiber)
7	Tensile strength	3500 N/mm ²
8	Tensile -E-modulus	230,000 N/mm ²
9	Elongation at break	1.5%
10	Fibric length / roll	≥ 45.7 m
11	Fibric width	305/610 mm
12	Shelf life	Unlimited
13	Package	1 roll in card board box

تم الحصول على النتائج أعلاه من النشرة التعريفية للمجهز.

مادة السيليكا فيوم (Silica fume)

تم استخدام مادة السيليكا فيوم في تجهيز المادة المستخدمة في صناعة المقطع النانوي المستخدم في إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة والتي هي عبارة عن مادة نانوية تتراوح مقاساتها ما بين (40-500) نانومتر [6]، والجدولان (13) و (14) يمثلان الخصائص الكيميائية والفيزيائية لتلك المادة.

المادة الرابطة (الايوكسي)

تم استخدام المادة الرابطة من نوع (SikaDur-330) وهي مادة متوسطة اللزوجة وتتكون من جزأين: المادة الصمغية (A Resin) وتكون بلون ابيض والمادة المصلدة (B Hardner) وتكون بلون رصاصي غامق، ونسبة الخلط لهذه النوعية من المادة الرابطة هي (1:4) والجدول (12) يمثل الخصائص الفيزيائية للمادة الرابطة.

الجدول (12) الخصائص الفيزيائية للمادة الرابطة

Density	1.31 Kg/L mixed (Comp. A+B)
Mixing ratio (A:B) by weight	1:4
Pot life	+15°C :90 min. +35°C :35 min.
Open time	+35°C :30 min.
Viscosity	Pasty, not flow able.
Application temperature	Substrate and ambient temperature: +15°C to +35°C
Adhesive tensile strength on concrete	Concrete fracture after 1 day (>15°C), on sandblasted substrate
Tensile strength	(Curing 7 day, +23°C) = 30 N/mm ²
Flexural-E-Modulus	(Curing 7 day, +23°C) = 3800 N/mm ²

تم الحصول على النتائج اعلاه من النشرة التعريفية للمجهز.

الجدول (13) التحليل الكيميائي لمادة (silica fume)

Pozzolanic activity	Limit of ASTM C1240-03	Chemical decomposition		Limit of ASTM C1240-03
		Oxides	Result%	
121.5%	105%	L.O.I	3.89	6% Max
		SiO ₂	91.03	85% Min
		Al ₂ O ₃	4.02	-
		Fe ₂ O ₃	0.32	-
		SO ₃	0.73	-

تم الحصول على هذه الخواص من النشرة التعريفية للمجهز.

الجدول (14) الخصائص الفيزيائية لمادة (silica fume)

Particle size	< 1 Micro meter
Specific gravity	2.2
Surface area	13-30 m ² /gm

تم الحصول على النتائج اعلاه من النشرة التعريفية للمجهز.

الخرسانية المتضررة، والجدول (16) يبين خصائص تلك المادة.

المدن الفائقة (Super plasticizers)

في هذا البحث تم استخدام المدن الفائقة المطابق للمواصفات القياسية الامريكية لفحوصات المواد [9]ASTMC494 نوع (A) في تجهيز المادة المستخدمة في حقن الشقوق الحاصلة في العتبات الخرسانية المتضررة، والجدول (17) يبين الخصائص العامة لهذا المضاف.

مادة (الميتاكاولين Metakaolin)

تم استخدام مادة الميتاكاولين في تجهيز المادة المستخدمة في صناعة المقطع النانوي المستخدم في إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة والتي تم تحضيرها من حرق الكاولين النقي بدرجة حرارة (750 درجة سيليزية) لمدة أربع ساعات [7][8]، والجدول (15) يبين خصائص تلك المادة.

مادة السليكا الرغوية (Fumed silica)

تم استخدام مادة السليكا الرغوية في تجهيز المادة المستخدمة في حقن الشقوق الحاصلة في العتبات

الجدول (15) خصائص مادة الميتاكاولين

Sio ₂ ,Al ₂ o ₃ ,fe ₂ o ₃ %	SO ₃ %	Burn Loses%
95.53	2.1	1.37

تم الحصول على النتائج اعلاه في مختبرات قسم الهندسة الكيمياويه /جامعة تكريت

الجدول (16) خصائص مادة الفيومد سيليكيا

Parameter	Specification
Specific surface , m2/g	200(160-240)
Ph-value	3.7-4.7
Loss on drying, %	3
Sio2- concentration, %	>99.0

تم الحصول على هذه الخواص من النشرة التعريفية للمجهز

الجدول (17) الخصائص العامة للملدن الفائق المستخدم

Main Action	Concrete Super plasticizer
Form	Viscous Liquid
Color	Brown homogenous liquid
Relative Density	1.20 – 1.24 kg/l, at 20°C
pH value	6.42
Freezing point	-5°C
Total Chloride Ion Content	Max. 0.1%, Chloride-free
Equivalent Sodium Oxide as % Na2O	Max. % 7

تم الحصول على النتائج أعلاه من النشرة التعريفية للمجهز.

- 40% (ماء/ سمنت) كنسبة وزنية.

البرنامج العملي

تم تجهيز 12 عتبه خرسانية مسلحة صممت لتتجنب فشل القص، إذ سلحت بقضيبين قطر 12 ملم من الأعلى والأسفل وبأطواق لمقاومة القص باستخدام قضبان قطر 10 ملم كل 250 ملم من طول العتبه وكانت العتبات بطول 2200 ملم ومقطع عرضي (200x150ملم) وكما هو موضح في الشكل (3).

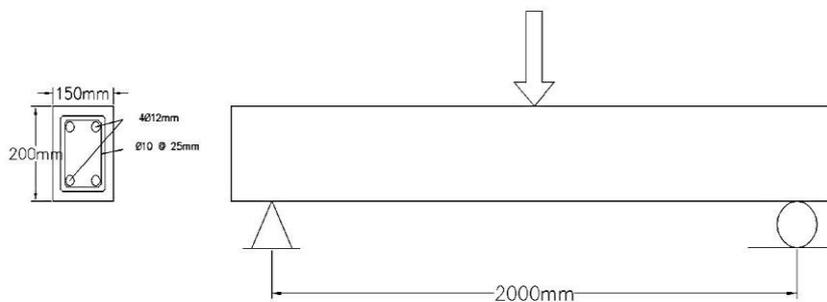
الماء

تم استخدام ماء الشرب في خلط ومعالجة جميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في الدراسة.

الخلطة الخرسانية

تم استخدام خلطة واحدة في صب جميع العينات وهي كما يلي :

- (3:1.5:1) (سمنت/ ركام ناعم/ ركام خشن) كنسبة وزنية والتي تم الحصول من خلالها على مقاومة انضغاط (25 Mpa) بالنسبة لفحص الاسطوانة.



الشكل (3) تفاصيل العتبه وطريقة تسليط الحمل

- 1- إعادة التأهيل باستخدام تقنية مقاطع الفيروسمنت.
- 2- إعادة التأهيل باستخدام تقنية المقاطع الحديدية.
- 3- إعادة التأهيل باستخدام تقنية الألياف الكربونية.
- 4- إعادة التأهيل باستخدام تقنية مقاطع المواد النانوية.
- 5- إعادة التأهيل باستخدام تقنية الحقن بالمواد النانوية.

إعادة التأهيل باستخدام تقنية مقاطع الفيروسمنت

تم تخصيص ثلاث عتبات خرسانية مسلحة مسبقة التحميل وتم تثبيت مقطع فيروسمنتي مسبق الصنع باستخدام ثلاثة تقنيات للتثبيت.

طرق إعادة تأهيل العتبات الخرسانية المتضررة

بعد أن تم تحميل العتبات الخرسانية إلى حد الفشل تم إعادة تأهيل العتبات باستخدام عدة تقنيات و كان ذلك على مرحلتين:

المرحلة الأولى : إصلاح الأجزاء المتشعبة والمتضررة من أعتبة الخرسانية في منطقة الانضغاط جراء تسليط الحمل باستخدام مونة فيروسمنتية بنسبة خلط (1:1) مع (w/c=0.4) ومن ثم تنظيف العتبه الخرسانية باستخدام قاطعة (كوسرة) كهربائية و تهيئة السطح للمعالجة.

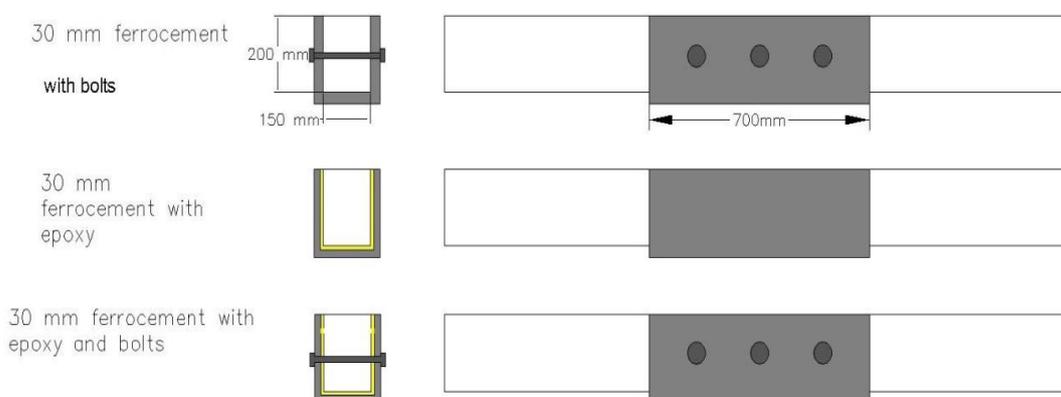
المرحلة الثانية : إعادة تأهيل العتبات الخرسانية باستخدام التقنيات الآتية :

الواحد للقص (17KN) ونظرا لتعرضه إلى قص مضاعف تكون مقاومته (34KN) وبالتالي وباستخدام معامل أمان مساوي إلى 2 يكون الحمل (100KN) يكون عدد البراغي كما يلي :

$$N = \text{applied load} / \text{shear strength of bolt} \\ (Kn) = 100 / 34 = \sim 3 \text{ Bolts} .$$

بعد مرور 28 يوما وهي مدة المعالجة للمقطع الفيروسمنتي تم تثبيت تلك المقاطع باستخدام:

- 1- البراغي فقط.
 - 2- الايبوكسي فقط.
 - 3- الايبوكسي مع البراغي.
- وكما هو موضح في الشكل (4)



الشكل (4) طريقة تثبيت المقطع الفيروسمنتي

لأحمال القص. بعد ذلك تم تثبيت المقاطع الحديدية على العتبة الخرسانية باستخدام :

- 1- البراغي فقط.
- 2- الايبوكسي فقط.
- 3- الايبوكسي مع البراغي، وكما هو موضح في الشكل (5).

إعادة التأهيل باستخدام تقنية الألياف الكربونية

تم تجهيز عتبة واحدة لهذا الغرض، وذلك بلصق طبقة من شرائط ألياف الكربون بطول 700 ملم وعرض 300 ملم باستخدام المادة الرابطة (الايبوكسي Sikadur330) وكما هو موضح في الشكل (6).

المقطع الفيروسمنتي

تم استخدام نسبة خلط (السمنت:الرمل)، (1:1) مع (w/c=0.4) والتي اعطت مقاومة انضغاط مقدارها (33Mpa) بالنسبة لنتائج فحص المكعبات، لتجهيز ثلاثة مقاطع فيروسمنتية بطول 700 ملم والذي يمثل طول المنطقة المتضررة من العتبة الخرسانية وسمك 30 ملم وبشكل حرف (U) وتم تسليحها بثمانية قضبان من حديد التسليح قطر 6 ملم مع أربع طبقات من السلك المشبك قطر 1 ملم مع فتحات قياس 12.7 ملم.

البراغي

تم استخدام ثلاثة براغي نوع 4.8 قطر 10 ملم صينية المنشأ في منتصف ارتفاع العتبة موزعة بانتظام على طول المقطع الفيروسمنتي وتم تحديد عدد البراغي بالاعتماد على حمل الفشل للعتبة ومقدار مقاومة البرغي لأحمال القص حيث ان معدل الحمل الأقصى للعتبات التي تم فحصها قبل التأهيل كان (50KN) وان تحمل البرغي

إعادة التأهيل باستخدام تقنية المقاطع الحديدية

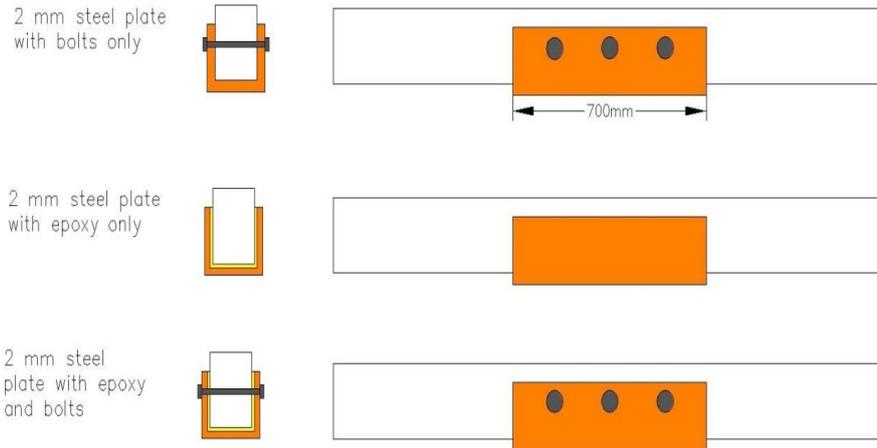
تم تخصيص ثلاث عتبات خرسانية مسلحة مسبقة التحميل وتم تثبيت مقطع حديدي باستخدام ثلاثة تقنيات للتثبيت .

المقطع الحديدي

تم استخدام مقاطع حديدية بطول 700 ملم ويمثل طول المنطقة المتضررة من العتبة الخرسانية وسمك 2 ملم مع عرض وارتفاع 150 ملم لكلا الجانبين وبشكل حرف (U).

البراغي

تم استخدام ثلاثة براغي نوع 4.8 قياس 17 صينية المنشأ في منتصف ارتفاع العتبة موزعة بانتظام على طول المقطع الحديدي وتم تحديد عدد البراغي بالاعتماد على حمل الفشل للعتبة ومقدار مقاومة البرغي



الشكل (5) طريقة تثبيت المقطع الحديدي



شكل (6) طريقة تثبيت الألياف الكربونية

- 3- إضافة مادة السيليكا فيوم النانوي إلى الخلطة بنسبة 10% من وزن السمنت.
4- استخدام ($w/c = 0.4$).

البراعي

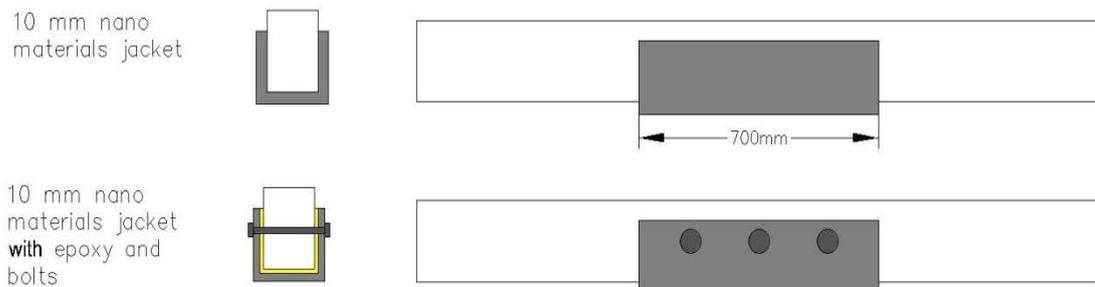
- تم استخدام ثلاثة براغي نوع 4.8 قياس 17 صينية المنشأ في منتصف ارتفاع العتبة موزعة بانتظام على طول المقطع الفيرو سمنتي وتم تحديد عدد البراعي بالاعتماد على حمل الفشل للعتبة ومقدار مقاومة البراعي لأحمال القص. وتم استخدام طريقتين للتثبيت:
1- التثبيت المباشر على العتبة (اللبخ المباشر).
2- التثبيت باستخدام الأيبوكسي مع البراعي. وكما هو موضح في الشكل (7)

إعادة التأهيل باستخدام تقنية مقاطع المواد النانوية

تم تجهيز عتبتين خرسانيتين مسبقتي التحميل لهذا الغرض وتم تثبيت مقطعين من مواد نانوية بطريقتين مختلفتين .

مقطع المواد النانوية

تم تجهيز مقطعين باستخدام مواد ذات خواص مايكروية و مواد ذات خواص نانوية بطول 700 ملم وسمك 10 ملم مع استخدام ثلاث طبقات من السلك المشبك قطر 0.4 ملم وكما يأتي:
1- نسبة الخلط (1:1) بالنسبة للسمنت فانق النعومة والرمل المغربل المار من منخل قياس 600 مايكرون.
2- استبدال 5% من الرمل بمادة الميتاكاؤولين النانوي.



الشكل (7) طريقة تثبيت المقاطع النانوية

طريقة ونتائج الفحوصات

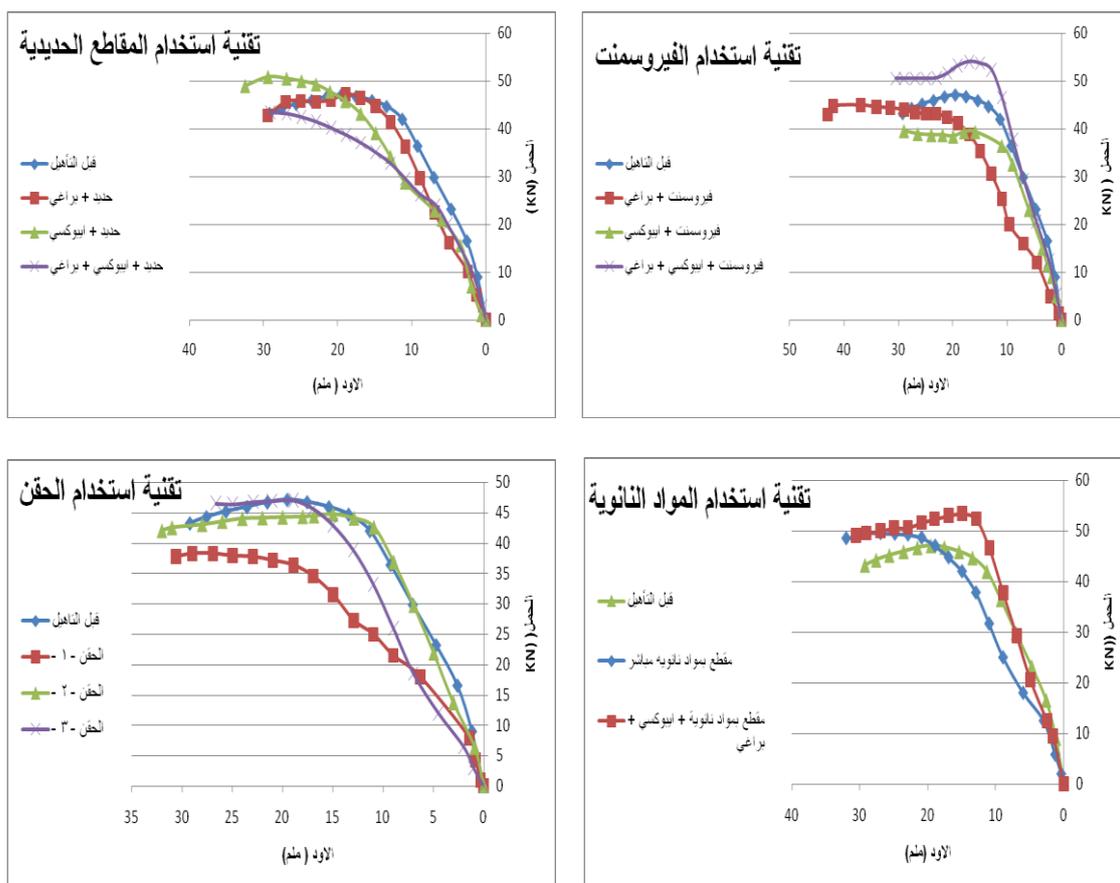
تم تعريض جميع العتبات الخرسانية قبل وبعد التأهيل إلى حمل مركز في منتصف العتبة الخرسانية بواسطة جهاز (Universal Test Machine) وتم تسجيل النتائج مباشرة بواسطة الكمبيوتر الموصول بالجهاز وكانت نتائج الفحص كما موضح في الجدول (18) والشكل (8).

إعادة التأهيل باستخدام تقنية الحقن بالمواد النانوية

تم تجهيز ثلاث عتبات لهذا الغرض، تم حقن الشقوق الحاصلة جراء التحميل باستخدام حاقن طبي بسيط حجم 5ملتر وتتألف الخلطة النانوية من:

- 1- السمنت (فائق النعومة) بنسبة 60%.
- 2- فيومدسليكا (نانوي) بنسبة 40%.
- 3- ملدن فائق بنسبة (2 %) من وزن السمنت.
- 4- ماء بنسبة (w/c=0.4).

تم تغليف العتبة المتضررة باستخدام الشريط اللاصق لضمان عدم انسياب الخليط خارج الشق، ومن ثم حقنت المادة النانوية ألمجهزة .



الشكل (8) نتائج الفحوصات لجميع العتبات

الجدول (18) نتائج الفحوصات لطرق إعادة التأهيل

نتائج الفحوصات لطرق إعادة التأهيل المستخدمة في الدراسة											
ت	الفحص	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
1	مقاومة الاضغاط للمكعبات الخرسانية (KN)	30	33	34	35	35.6	31.5	36	36.2	35.4	32.36
2	مقاومة الاضغاط للمكعبات الفيروسمنتية أو النانوية (KN)	33.87	32.859	33.905	-	-	-	36.6	33.72	-	-
3	الحمل عند التشقق الأول قبل التأهيل (KN)	12.7	14	13	11	12	15.6	13	11	13.7	12.23
4	الحمل عند التشقق الأول بعد التأهيل (KN)	13	11.5	12.5	10	9.8	16	14.7	10	11	6.9
5	حمل التشقق الأول بعد التأهيل/حمل التشقق الأول قبل التأهيل	102.36	82.14	96.1	90.9	81.6	102.56	113.047	90.9	80.2	56.7
6	الحمل الأقصى للعتبة قبل التأهيل (KN)	42.7	45.6	50	47.1	50	51	50.5	52	47.6	51.5
7	الحمل الأقصى للعتبة بعد التأهيل (KN)	45.1	39.7	54	47.5	43.7	51	50	53.5	48	43.03
8	الحمل الأقصى بعد التأهيل/الحمل الأقصى قبل التأهيل (%)	105.62	87.06	108	100.8	87.4	100	99.01	102.88	100.8	83.6

- B1: فيروسمنت + براغي / B2: فيروسمنت + ايبوكسي / B3: فيروسمنت + ايبوكسي + براغي / B4: حديد + براغي / B5: حديد + ايبوكسي / B6: حديد + ايبوكسي + براغي / B7: مقطع نانوي مثبت مباشرة / B8: مقطع نانوي + ايبوكسي + براغي / B9: ألياف الكربون / B10: معدل نتائج التأهيل بالحقن

3- يمكن استخدام الأيوكسي بشكل منفرد في تثبيت الألياف الكربونية والمواد المرنة لتثبيت كفاءتها في التثبيت.

4- ان المقاطع المحتوية على مواد نانوية لها القدرة الكبيرة على الالتصاق بسطح العتبة بالتالي توفر استخدام الأيوكسي او البراغي.

المصادر

- 1- Ye L, Yue Q, Zhao S, Li Q. Shear strength of reinforced concrete columns strengthened with carbon-fiber-reinforced plastic sheet. Journal of Structural Engineering 2002;128(12):127-134.
- 2- Hsing H, Tsong H, Hwei Y, Yiching L. Strengthening reinforced concrete beams using pre-stress glass fiber-reinforced polymer-part II: excremental study. Journal of Zhejian University SCIENCE 2005:844-852.
- 3- Teng JG, Lam L, Chan W, Wang J. Retrofitting of deficient RC cantilever slab using GFRP strips. Journal of Composite for Construction 2000;4(2):75-84.
- 4- ASTM C 33 – 01. Standard specification for concrete aggregates.
- 5- Structural strengthening with Sika wrap fabric system. Sika:333. www.Sikaneareast.com.
- 6- Leon HP, Martin JT, Michael FB. Proceedings of the effect of ytterbium fluoride and barium sulphate nanoparticles on the reactivity and strength of a glass-ionomer cement. Proceedings of the Dental Materials 2006;2(2):746–751.
- 7- القيسي، وليد. تحسين الخواص الميكانيكية للسمنت الحديدي باستخدام الميتاكاولين. أطروحة دكتوراه مقدمة إلى الجامعة التكنولوجية، قسم هندسة البناء والإنشاءات 2005.
- 8- Morsy MS, Alsayed SH, Aqel M. Proceedings of hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. Proceedings Construction and Building Materials 2011;25:145–149.
- 9- ASTM C494/C494M. Standard specification for chemical admixtures for concrete. Annual Book of ASTM Standards 2004;04.02:1–8.

النتائج و مناقشتها

من خلال الفحوصات المختبرية التي أجريت في هذه الدراسة، واستنادا الى النتائج التي تم الحصول عليها خلصت الدراسة الحالية إلى ان تقنية استخدام البراغي في تثبيت المقاطع المختلفة اعطت نتائج جيدة تجاوزت 100% من مقاومة الانثناء النهائية للعتبة قبل التأهيل، إذ سجلت النسب 105% و 100.8% عند استخدام مقاطع فيروسمنتية وحديديه على التوالي وهذا يمثل مدى مقاومة المقاطع المذكورة للانثناء وأحمال الشد المتولدة على طول المقطع.

كما إن استخدام مادة الأيوكسي بشكل منفرد في تثبيت المقاطع الفيروسمنتية والمقاطع الحديدية أعطى اقل كفاءة من استخدام مادة الأيوكسي مع ألياف البوليمر الكربونية، إذ سجلت النسب 87% و 87.4% بالنسبة للمقاطع الفيروسمنتية والحديدية على التوالي في حين تجاوزت العتبة المؤهلة باستخدام ألياف البوليمر الكربونية نسبة 100% من مقاومة العتبة للانثناء قبل التأهيل ويعود السبب في ذلك إلى تعرض الأيوكسي إلى قص مضاعف عند استخدامه مع المقاطع الجاسنة في حين لا يتعرض لمثل هذه الاجهادات مع الألياف الكربونية المرنة.

إن ما تم التوصل إليه في نتائج الفقرات أعلاه تعد نتائج متوقعة لهذه التقنيات ولكن اللافت للنظر أن مقاومة الانثناء النهائية للعتبات المؤهلة باستخدام تقنية حقن التشققات بالمواد النانوية تجاوزت 80% من المقاومة قبل التأهيل مع ملاحظة الكلفة الواطئة جدا في التنفيذ، وبالتالي فإن كان هنالك إمكانية في تقليل الأحمال المسلطة على العتبة يصبح بالإمكان استخدام هذه التقنية البسيطة وبكلفة رمزية حيث أن حقن التشققات يؤدي إلى تأهيل منطقة الانضغاط والتي بدورها تعمل على رفع مقاومة العتبة للانثناء كما ذكرنا.

إن وصول مقاومة الانثناء النهائية للعتبة المؤهلة باستخدام الطريقة المباشرة لتثبيت المقطع النانوي إلى 99% من مقاومة الانثناء قبل التأهيل على الرغم من قلة سمك المقطع وكلفته القليلة يبين مدى قدرة مقاطع المواد النانوية على الالتصاق بسطح العتبة المراد تأهيلها وكذلك مدى مقاومتها لأحمال الشد المؤثرة عليها.

الاستنتاجات

- 1- ان استخدام البراغي في تثبيت المقاطع المختلفة لزيادة مقاومة الانثناء هي تقنية ذات كفاءة عالية إذ تجاوزت مقاومة الانثناء نسبة 100% من مقاومة العتبة للانثناء قبل التأهيل .
- 2- ان استخدام الأيوكسي بشكل منفرد في تثبيت المقاطع الجاسنة دون استخدام البراغي أعطى كفاءة أقل من استخدام تقنية البراغي.