سلوك العتبات المركبة (حديد-خرسانة) المقواة بشرائط (CFRP) تحت تأثير الأحمال التكرارية

أ.د.بيار جعفر السليفاني اسلام عبد الله عزيز

قسم الهندسة المدنية/كلية الهندسة/جامعة الموصل

الخلاصة

يشمل البحث الحالي دراسة عملية تهدف الى التعرف على سلوك الأعتاب المركبة المقواة بشرائط البوليمر المسلحة بألياف الكاربون (CFRP) عند تعرضها الى حمل تكراري من خلال التعرف على الزيادة الحاصلة في حمل الفشل ونسب النقصان في الأود المقاس في وسط نماذج الأعتاب المركبة بالإضافة الى تأثير التقوية بالشرائح على قيم الإنزلاق المقاسة عند نهايات نماذج الأعتاب المركبة والحاصل بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي .تم في هذا البحث الأخذ بنظر الأعتبار التغيير في موقع التغليف بالشرائح بالنسبة للأعتاب المركبة، التغيير بطول التغليف بالشرائح بالنسبة للأعتاب المركبة و تأثير عدد طبقات التغليف بالشرائح على سلوكية الأعتاب المركبة تحت تأثير الحمل المتكرر.
وبينت نتائج فحص نماذج الأعتاب المركبة فعالية شرائح ألياف الكاربون في زيادة حمل الفشل وبنسبة وصلت الى(37%) بالمقارنة مع أعتاب السيطرة وتقليل الأود الوسطي بنسبة (56%) بالإضافة الى تقليل الإنزلاق المقاس عند نهايات نماذج الأعتاب المركبة بنسبة(98%) بالإعتماد على موقع وطول التغليف بالإضافة الى عدد طبقات التغليف بشرائح ألياف الكاربون.

الكلمات الدالة:الأعتاب المركبة،ألياف الكاربون،الحمل التكراري،الإنزلاق.

Behavior Of Composite Beams (Steel-Concrete) Strengthened By (CFRP) Sheets Under Repeated Loading

Dr. Bayar J. Al-Sulayfani **Islam Abd-Ullah Aziz**

Civil Engineering Dept./ College of Engineering/ University of Mosul

Abstract

Present study aims mainly to conduct the behavior of composite beams strengthened with carbon fiber reinforced polymers (CFRP) as they subjected to repeated loads. It investigates the enhancement of load capacity up to failure and the reduction in transverse deflection at the ends of composite beam as affected by (CFRP) strengthening. The following parameters were taken in to consideration in this paper. Location of (CFRP) along the composite beam wrapped length effect and effects the Number of (CFRP) layers.

From test results it is obvious that (CFRP) is very active in increasing the load capacity by (36%) and reducing the mid span deflection by (56%) in addition to minimizing the slip at beam ends by (98%). Depending on the location, length and number of (CFRP) layers in to account.

Key words:- Composite beams, CFRP, Repeated loads and Slip.

أستلم: 7 - 12 – 2011 قبل: 11 – 6- 2012

1-المقدمة :

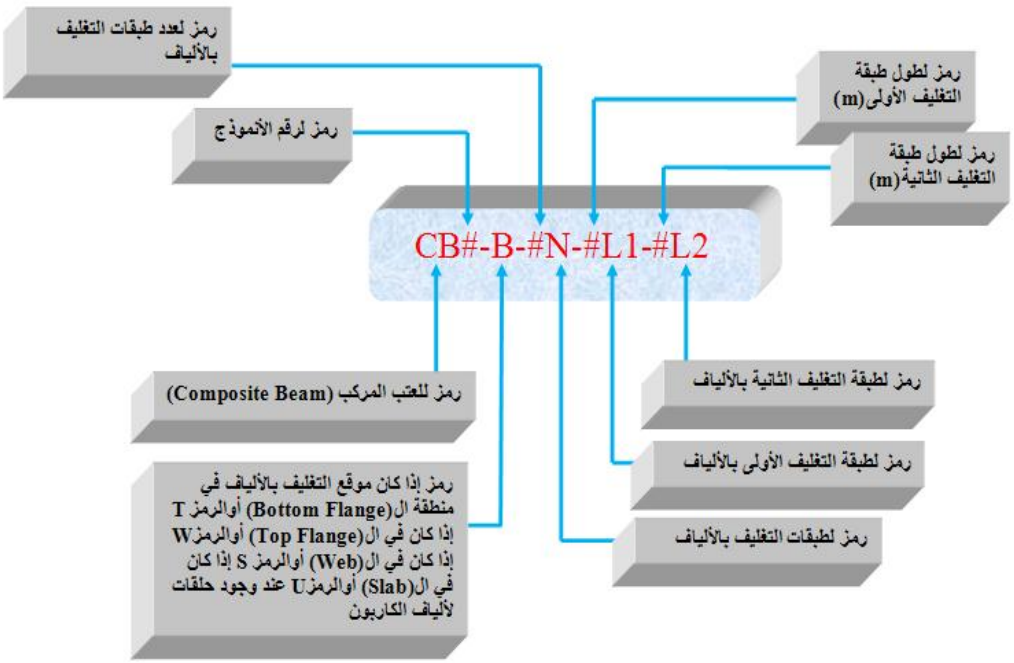
إن للمنشأ المركب ميزات جعلتة يأخذ حيزاً كبيراً في مجال البناء وخاصةً في الأبنية المتعددة الطوابق والجسور الموجودة على الطرق السريعة وحتى في المناطق المعرضة لمخاطر الزلازل[1]، إن إجراء التغييرات في استخدام المنشأت المركبة أوتعرضها إلى أحمال خدمية اكبر من المصمم لها، أو حدوث تدهور نتيجة لمرور فترة زمنية طويلة على إنشائها أمر يجعل استخدامها غير آمن دون المعالجة[2] ، إن التغليف الخارجي بشرائط البوليمر المسلحة بالألياف (FRP) بات في العقود الأخيرة في مقدمة التقنيات المستخدمة في تقوية الأعضاء الخرسانية والمنشآت الحديدية على حد سواء، وذلك لما تمتاز به هذه الألياف من خفة وزن، وسهولة حمل ومقاومة عالية للصدأ والتآكل والظروف الجوية [3]،اضافة الى سهولة قطع هذه الالياف بالأحجام المطلوبة في موقع العمل [4]، إنّ جميع هذه الاسباب والخصائص شجعت الباحثين الى استخدام الياف البوليمر بانواعها في تقوية الاعضاء الانشائية فضلا عن مميزات المادة الرابطة(الايبوكسي) في لصق هذه الالياف مع الاعضاء الانشائية [5]. ومن هذا المنطلق يهدف البحث الحالي إلى معرفة تأثير التغليف بشرائط بوليمرية مسلحة بألياف كاربونية (CFRP) في سلوك الأعتاب المركبة والمعرضة لأحمال تكرارية، وللوصول إلى هذا الهدف تم تهيئة (14 عتب مركب) وبطول(3000mm) تم تقويتها في منطقة الوترة (Web) بمساند (قطر 25mm) للتغلب على مشكلة الإلتواء (الإنبعاج) ، تم إعتماد نموذجين كأعتاب سيطرة وبقية النماذج تم توزيعها على ثلاث محاور رئيسية تمثل الدراسة العملية لهذا البحث وكما يلي:-

1- المحور الأول:التعرف على موقع التغليف لنماذج الأعتاب المركبة بشرائط (CFRP) لإعطاء أفضل النتائج لمقاومة الإنثناء،حيث تم تخصيص (6 أعتاب مركبة) لهذا المحور تمت التقوية فيه على طول النماذج ولطبقة واحدة وبمواقع مختلفة.

2- المحور الثاني: التعرف على الطول الأمثل للتغليف بشرائط (CFRP) ، وخصص لهذا الجزء(3 أعتاب مركبة) تم التغليف فيها بأطوال مختلفة.

3- المحور الثالث: تأثير عدد طبقات التغليف بشرائط (CFRP) على مقاومة الإنثناء للأعتاب المركبة,حيث تم تهيئة (3 أعتاب مركبة) لهذا المحور .

ولسهولة التعرف على العتبات المركبة المقواه بشرائط ألياف الكاربون رُمز الى هذه العتبات بالصيغة الموضحة في الشكل رقم(1).



شكل(1): يوضح تفاصيل ترميز نماذج الأعتاب المركبة.

والجدول التالي يوضح تفاصيل عدد ورموز ومناطق التقوية لمجاميع نماذج الأعتاب المركبة المستخدمة في هذا البحث

جدول(1): مجاميع وعدد ورموز ومواقع التقوية للأعتاب المركبة المقواه بشرائط (CFRP).

Groups	No.of Composite Beams	Specimen designation	Strengthened Region
A	2	CCB1	Reference
		CCB2	
B	6	CB1-B-1N-3L1	Bottom Flange
		CB2-B-1N-3L1	Bottom Flange
		CB3-BW-1N-3L1	Bottom Flange&Web
		CB4-BU-1N-3L1	Bottom Flange&Web
		CB5-TS-1N-3L1	Top Flange&Slab
		CB6-BTS-1N-3L1	Top Flange&Slab& Bottom Flange
C	3	CB7-BTS-1N-2L1	Top Flange&Slab& Bottom Flange
		CB8-BTS-1N-1L1	
		CB9-BTS-1N-1.5L1	
D	3	CB10-BTS-2N-3L1-3L2	Top Flange&Slab& Bottom Flange
		CB11-BTS-2N-3L1-2L2	
		CB12-BTS-2N-2L1-2L2	

2-المواد والعمل:

2-1:الاسمنت:

استخدم إسمنت عراقي محلي مصنع بموجب المواصفات العراقية القياسية (IQS No.5,1984) [6] المطابقة للإسمنت البورتلاندي الاعتيادي والمنتج في معمل إسمنت بادوش/التوسيع في مدينة الموصل.

2-2:الركام الناعم (الرمل) والركام الخشن (الحصى):

الرمل المستخدم في الدراسة هو رمل نهري من منطقة الكنهش في محافظة نينوى, تم إجراء التحليل المنخلي للرمل ووجد بأنه مطابق لحدود المواصفة البريطانية (B.S.882:1992)[7] . الحصى المستخدم هو حصى نهري،ذو مقاس اقصى له (Max.agg size) (20mm)، وقد وجد من خلال التحليل المنخلي أن الحصى المستخدم مطابق للمواصفة البريطانية (B.S.882:1992)[7] للركام الخشن المدرج من(5-20mm) .

2-3:نسب الخلطة الخرسانية:

تم اختيار المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية المستخدمة في صب البلاطة الخرسانية (Slab) لنماذج الأعتاب المركبة بحدود (40MPa) عند عمر(28) يوما وتم الحصول على هذه المقاومة بعد القيام بصب العديد من الخلطات التجريبية وبنسب مختلفة للمكونات الخرسانية وبهطول يتراوح بين (80-100mm) وبعد فحص الاسطوانات القياسية وبأبعاد(150*300mm) وبموجب المواصفة الأمريكية (ASTM C39-04) [9][8]. تم اختيار الخلطة الخرسانية وبنسب وزنية(1:2.7:2.9/0.51).

2-4: حديد التسليح:

استخدم قضبان حديد تسليح بقطر(10mm) في التسليح الطولي والمستعرض للبلاطة الخرسانية لنماذج الأعتاب المركبة المستخدمة في هذا البحث والجدول التالي يوضح النتائج العملية لفحص حديد التسليح المستخدم.

جدول(2):النتائج العملية لفحص حديد التسليح

Steel Specimen (mm)	Yield Strength(MPa)	Yield Strain	Ultimate Strength(MPa)	Ultimate Strain	Modulus of Elasticity(MPa)
10	505	0.0026	610	0.0129	194230

2-5: المقطع الحديدي:

تـم اسـتخدام مقطـع حديـدي مـن نـوع (W6×9) ،حيـث العمـق الكلـي للمقطـع (150mm) وعـرض الشـفة (100mm) وبطول (3000mm) والجدول التالي(3) يوضح الخصائص الهندسية للمقطع الحديدي المستخدم والجدول(4) يوضح نتائج الفحص العملية لشرائح مأخوذة من المقطع الحديدي .

جدول(3):الخصائص الهندسية للمقطع الحديدي المستخدم[10].

Designation	Area (mm^2)	Depth (mm)	Web		Flange	Nominal weight per(m) (Kg)	I_x (mm^4) $\times 10^6$	I_y (mm^4) $\times 10^6$
			Thickness t_w (mm)	Width b_f (mm)	Thickness t_f (mm)			
W6×9	1697	150	4.5	100	5.5	13.5	6.826	0.911

جدول(4):النتائج العملية لفحص المقطع الحديدي.

Steel Specimen	Yield Strength(MPa)	Yield Strain	Ultimate Strength(MPa)	Ultimate Strain	Modulus of Elasticity(MPa)
W6×9	320	0.00156	355	0.0155	204000

2-6: الماده الرابطة(الايبوكسي):

تم إستخدام نوعين من المادة الرابطة (الإيبوكسي) في هذا البحث لكون شرائط البوليمر المستخدمة تم لصقها على سطحين مختلفين (الخرسانة والمقطع الحديدي) لذا توجب أستخدام نوعيات مختلفة للإيبوكسي لضمان الربط بشرائط البوليمر والأنواع هي (Sikadur 30) و (Sikadur 330) .

*المادة الرابطة (الإيبوكسي) (Sikadur 330):

وهي المادة الرابطة التي تم إستخدامها لربط البلاطة الخرسانية لنماذج الأعتاب المركبة مع شرائط (CFRP) وهي من نـوع متوسط اللزوجـة ، وتتكـون مـن جـزئين همـا المـادة الصـمغية (Resin A)، والمـادة المصـلدة (Hardener B) ، ومجموع وزن علبتي هذه المادة هي ، (4Kg) للمادة الصمغية (A)، و(1Kg) للمادة المصلدة(B)، اي ان نسبة الخلط لهذه النوعية(4:1) كنسب وزنية. والمادة الصمغية تكون ذات لون ابيض، والمادة المصلدة تكون ذات لون رصاصي غامق والجدول(5) يبين الخصائص الفيزيائية للأيبوكسي (Sikadur 330) [11] [12].

الجدول(5): يُبين الخصائص الفيزيائية للايبوكسي(Sikadur 330).

DENSITY (20ºC)	1.31KG /L (COMP. A+B)
Pot life	+30 C: 35min. /+10 C: 90min.
Tensile strength	Curing 7day, +23ºC/30 N/mm²
Flexural-E- Modulus	Curing 7day, +23ºC/3800 N/mm²

*المادة الرابطة (الإيبوكسي) (Sikadur 30):

وهي المادة الرابطة التي أستخدمت لربط ألياف الكاربون بالمقطع الحديدي (نوع عالي اللزوجة) وهي تتألف كذلك من جزئين هما المادة الصمغية (Resin A) ، والمادة المصلدة (Hardener B) ، ومجموع وزن علبتي هذه المادة هي (6Kg) ، (4.5Kg) للمادة الصمغية (A)، و(1.5Kg) للمادة المصلدة(B)، اي ان نسبة الخلط لهذه النوعية(3:1) كنسب وزنية والجدول(6) يبين الخصائص الفيزيائية للأيبوكسي (Sikadur 30) [11] [12].

الجدول(6): يُبين الخصائص الفيزيائية للايبوكسى(Sikadur 30).

Sikadur type	Density	Modulus of elasticity	Tensile bending strength	Shear strength
Sikadur-30	1.77 kg/l	12800 MPa	4 MPa	15 MPa

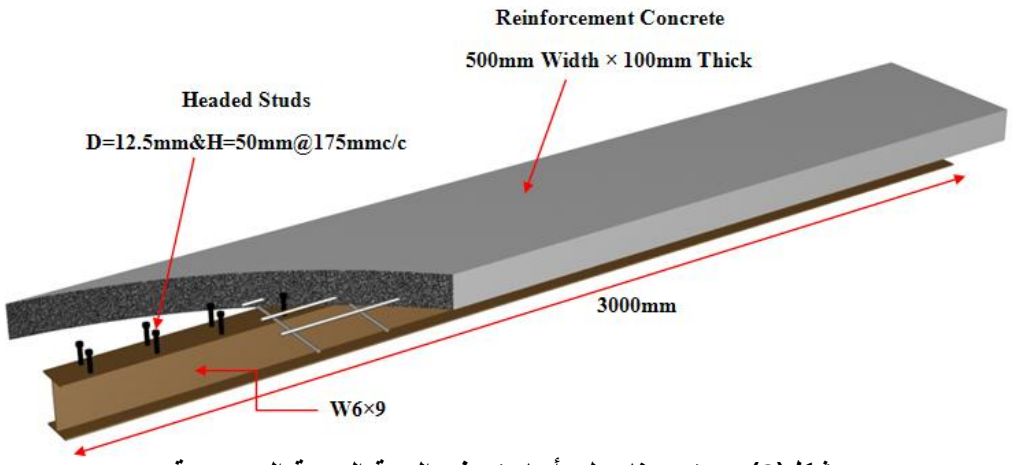
2-7:شرائط(CFRP): أُستخدم شرائط (CFRP) نوع (Sika Wrap Hex-230C) بسمك (0.12mm) وعرض (300mm) والجدول (7). يوضح الخصائص الفيزيائية للشرائط المستخدمة[11] [12].

جدول(7):الخصائص الفيزيائية لشرائط (CFRP).

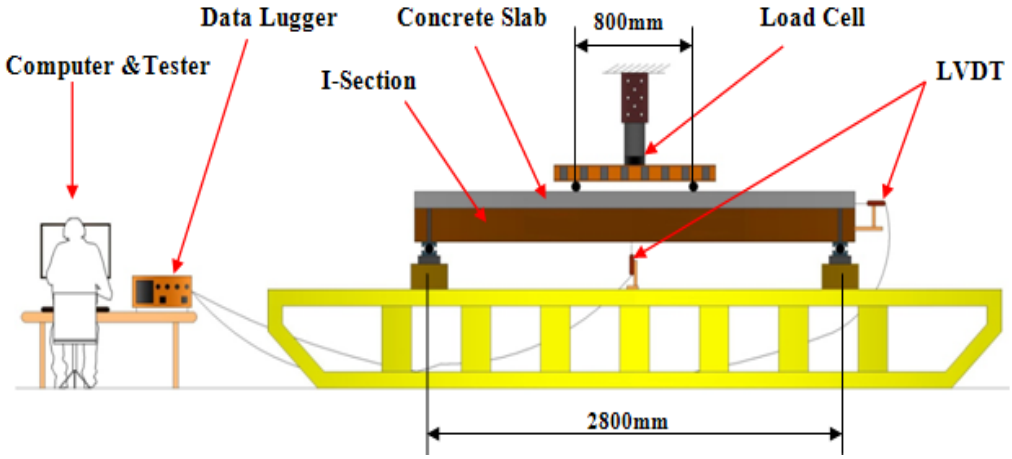
FIBER TYPE	HIGH STRENGTH CARBON FIBERS
A real weight	220gm/m^2 $\pm$ 10gm/m^2
Fiber density	1.78 gm/cm^3
Fabric design thickness	0.12mm(Based on total carbon content)
Tensile strength of fibers	4,100 N/mm^2 (nominal)
Tensile E- modulus of fibers	231,000 N/mm^2 (nominal)
Strain at break of fibers	1.7% (nominal)

3- تهيئة النماذج وآلية الفحص:-

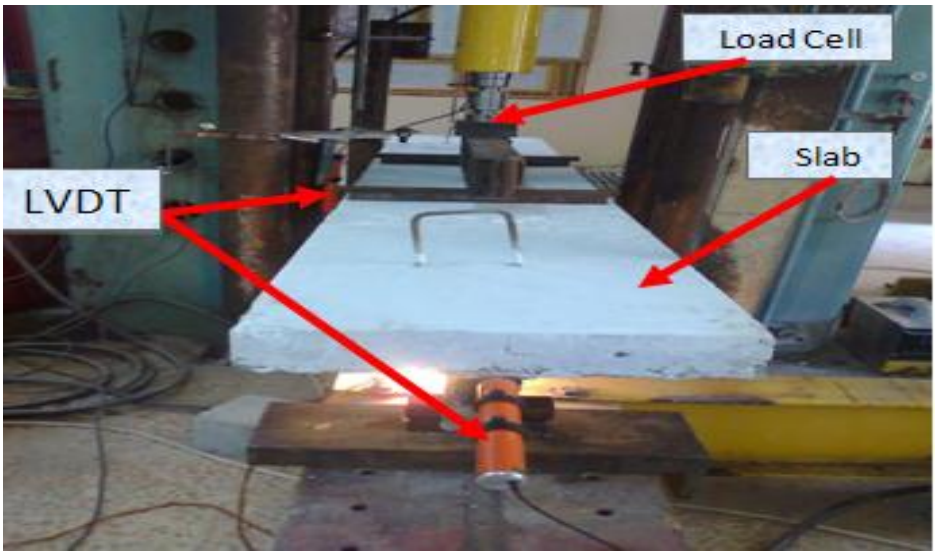
لدراسة سلوك الأعتاب المركبة (حديد-خرسانة) المقواة بشرائط (CFRP) تم تجهيز(14) عتبة مركبة بطول (3000mm)،حيث كانت مواصفات المقطع الحديدي المستخدم هو(W6×9)، الجزء الخرساني المسلح من العتب المركب(Slab) بعرض (500mm) وبسَمك (100mm) ، وتم تسليح النماذج بشبكة واحدة من حديد التسليح بقطر (10mm) حيث تم التسليح طولياً ب(4) قضبان وعرضياً ب(20) قضيب وتم أستخدام روابط قص مسمارية (Headed Studs) بقطر (12.5mm) وإرتفاع (50mm) وتم توزيعها على صفين ولحمها على الجزء العلوي من المقطع الحديدي (Top Flange) وكانت المسافة بين روابط القص المسمارية هي(175mm) [13][14].وكما موضح في الشكل (2)، فحصت جميع نماذج العتبات المركبة المستخدمة في البرنامج العملي من الدراسة الحالية بإسناد بسيط وبمسافة (2800mm) بين المساند وباستخدام نقطتي تحميل والمسافة بين الأحمال المركزة هي (800mm) ، ولقياس مقدار الأود (Deflection) تم تثبيت جهاز (Linear Variable Differential Transducer) (LVDT) عدد (1) في وسط النموذج وجهاز أخر عند أحد نهايات النموذج لقياس الإنزلاق (Slip) بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي بالإتجاة الأفقي وكما موضح في الشكل (3). إذ يتم تسجيل الأود و الإنزلاق الكترونيا بالإضافة الى خزن قيم الحمل التكراري المُسلط ولكل دورة تحميل أثناء الفحص ، حيث تم ربط أجهزة (LVDT) مباشرة بجهاز (Data Lugger) والذي يقوم بخزن المعلومات وتحويلها الى جهاز الحاسوب (Computer) ليتم تحليل النتائج ورسم العلاقات المطلوبة بالإعتماد على البرنامج الإحصائي (Excel).



شكل(2): يوضح تفاصيل وأبعاد نموذج العتبة المركبة المستخدمة.



شكل(3): يوضح تفاصيل فحص نماذج العتبات المركبة المستخدمة.



الشكل(4): العتبة المركبة على جهاز الفحص.

4-النتائج والمناقشة:

4-1: تأثير موقع التغليف ب(CFRP) (نماذج المحور الأول):-

4-1-1:حمل الفشل:-

أظهرت نتائج الفحص العملية زيادة متفاوتة في حمل الفشل للعتبات المركبة المقواة بمواقع مختلفة بشرائط (CFRP) مقارنة بنماذج عتبات السيطرة, وتعزى زيادة مقاومة العتبات المركبة بسبب مقاومة شرائط (CFRP) لقوى الشد المتولدة في العتبات المركبة نتيجة تسليط الأحمال التكرارية, حيث يلاحظ بأن شرائط (CFRP) قد أسهمت بصورة واضحة في زيادة حمل الفشل للعتبات المركبة بنسبة تتراوح (11%-36%) مقارنة بعتبات السيطرة ، ولوحظ أن الفشل بالسحق للكونكريت حدث بعد إنقطاع شرائط (CFRP) لجميع نماذج المحور الأول ماعدا النموذج (CB5-TS-1N-3L1) والذي حدث فية السحق بالخرسانة دون حدوث أي فشل بشرائط (CFRP)، وأن أفضل النتائج كانت عند النموذج (CB6-BTS-1N-3L1) والذي تم تقويتة في السطح السفلي من الشفة السفلى بالإضافة الى تقوية السطح السفلي من الشفة العليا وأستمرار طبقة التقوية لتغطي السطح السفلي من البلاطة الخرسانية للأنموذج وتستمر مسافة (50mm) من سمك البلاطة ومن الجانبين حيث بلغ حمل الفشل (204.5KN) وبزيادة وصلت الى مايقارب (36%) مقارنة مع معدل حمل الفشل لنماذج عتبات السيطرة، والجدول(8) يبين قيم ونسب الزيادة في حمل الفشل للعتبات المقواة بشرائط (CFRP)مقارنة مع معدل حمل الفشل لعتبات السيطرة.

جدول(8):قيم ونسب الزيادة في حمل الفشل لنماذج المحور الأول.

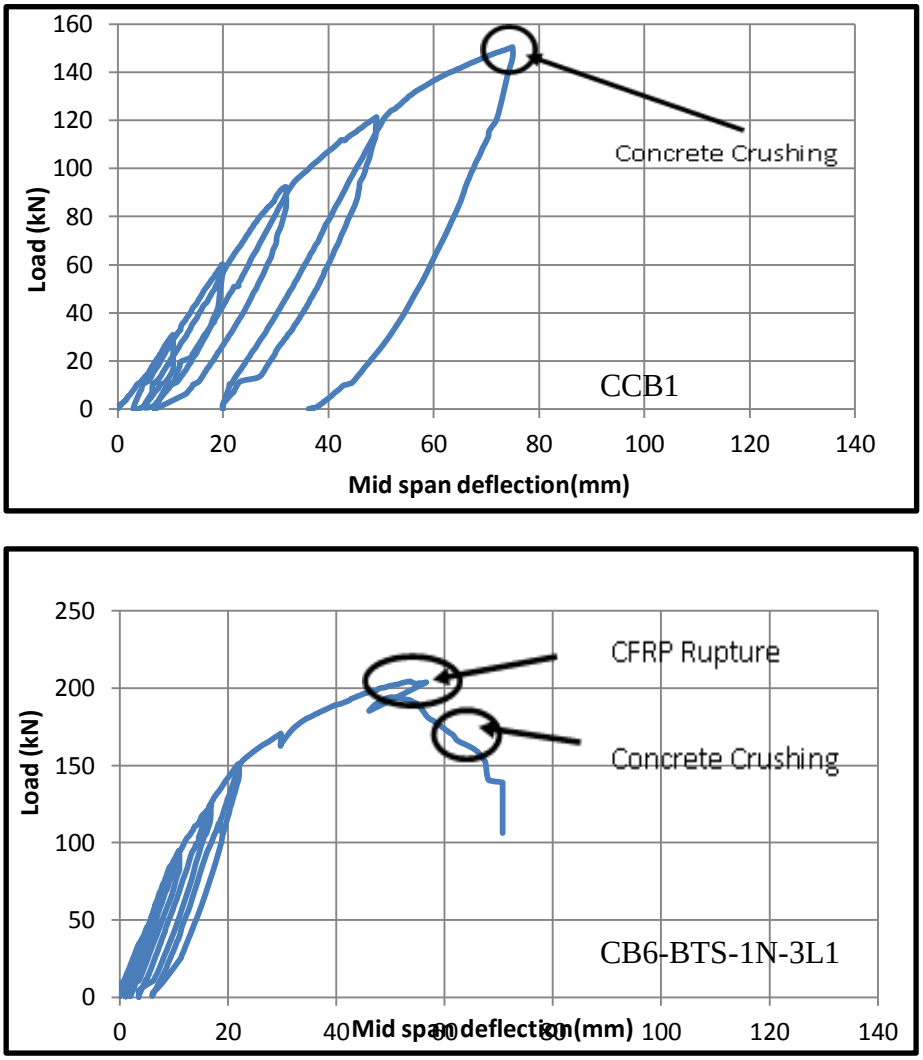
Composite Beams	Failure Load (kN)	%Increasing in Failure Load With Respect to Control Beams	Mode Of Failure
Avg. of CCB2 & CCB1	150.4	----------	Crushing In Concrete
CB1-B-1N-3L1	166.9	11	Rupture In CFRP
CB2-B-1N-3L1	174.4	16	Rupture In CFRP
CB3-BW-1N-3L1	175.2	17	Rupture In CFRP
CB4-BU-1N-3L1	172.7	15	Rupture In CFRP
CB5-TS-1N-3L1	189.8	26	Crushing In Concrete
CB6-BTS-1N-3L1	204.5	36	Rupture In CFRP

4-1-2:الأود في المنتصف:-

ان التغليف بشرائط (CFRP) كان لـة تـأثير واضـح فـي تقليل مقدار أود المنتصـف لنمـاذج العتبـات المركبـة، و الجدول (9) يبين قيم ونسب النقصان في الأود للعتبـات المركبـة المقواة مقارنـة بـالأود الحاصـل فـي معدل عتبـات السيطرة وتعتمد هذه النسب على موقع التغليف بشرائط (CFRP) المستخدمة في تقوية كل عتبة ،حيث تراوحت نسب النقصـان فـي الأود في وسط العتبات بين مايقارب (29%-7%). النتائج المُستحصلة عملياً تبين أن تغليف أسفل الشفة السفلى والعليا وإستمرار التغليف أسفل البلاطـة الخرسانية للنمـوذج (CB6-BTS-1N-3L1) أدى الـى تقليل الأود فـي منتصـف العتبـة بشكل واضح بالمقارنة مع بقية نماذج المجموعة . ومن ملاحظة العلاقة بين الحمل و الأود للعتبـات المقواة مقارنـة بعتبـات السيطرة شكل(5) نجد أن الأود فـي عتبـات السيطرة اخذ بالتزايد مـع استمرار الزيـادة فـي الحمل,على العكس تمامـا مـع العتبات المقواة فعلى الرغم من زيادة الحمل للعتبات فقد قل الأود للعتبات المركبـة المقواة وهذا النقصـان بـالأود مـع الزيـادة في قابلية التحمل للعتبات يعتمد على موقع التغليف بألياف الكاربون لكل عتبـة, إن الزيـادة الحاصـلة فـي مقاومـة العتبـات مـع نقصـان بالأود الحاصل سببة يعود الى كون شرائط (CFRP) قد عملت على تحمل قوى الشد في أسفل العتبـة وعملت علـى الحد من الأود والتقوس الحاصل في العتبات مع استمرار تسليط الحمل التكراري , ولـوحظ عدم ظهور أي تشقق بالبلاطـة الخرسانية (Slab) للنماذج المقواة الا بعد حصول الإنقطاع بألياف الكـاربون والـذي كـان موقعـة فـي منطقـة العزم الموجـب ولجميع نماذج المحور الأول ،حيث تبدأ التشـققات بـالظهور بعد إنقطـاع الألياف لكون الجـزء الخرسـاني أصـبح هو الجـزء الأضعف بالنسبة لنموذج العتب المركب عند تسليط الأحمال وبالتـالي حصـول السحق (Crushing) في منطقـة الإنضـغاط مع حصول تقوس واضح بعد قطع الألياف يحدث في المقطع الحديدي لنماذج العتبات المركبة.

جدول(9): قيم الأود في وسط العتبات مع نسب النقصان للعتبات المقواة ضمن نماذج المحور الأول بالمقارنة مع أعتاب السيطرة.

Composite Beams	Mid Span Deflection (mm)	%Decreasing In Mid Span Deflection (At Failure Load)
Avg. of CCB1&CCB2	75.2	----------
CB1-B-1N-3L1	70.5	7
CB2-B-1N-3L1	68.2	9
CB3-BW-1N-3L1	65.6	12
CB4-BU-1N-3L1	69.3	8
CB5-TS-1N-3L1	60.6	19
CB6-BTS-1N-3L1	53.7	29

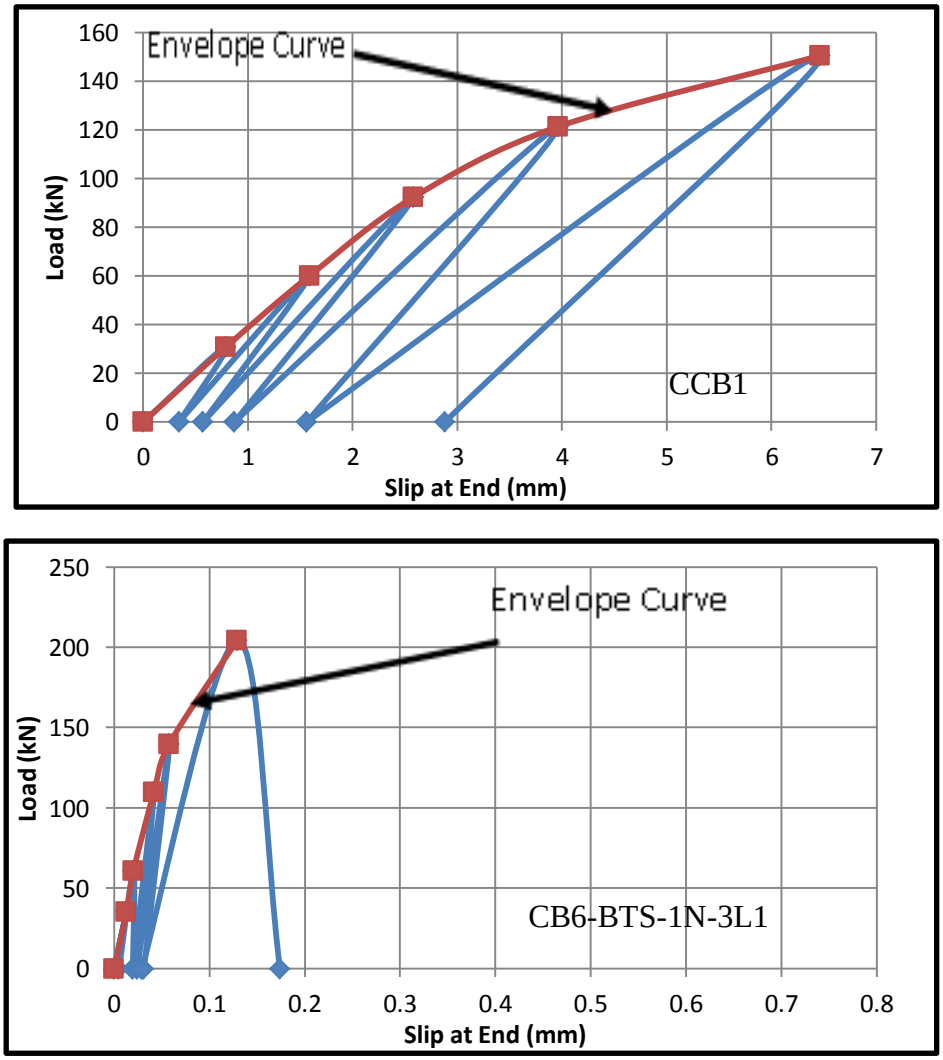


شكل(5): علاقة(الحمل-الأود) للنماذج CCB1&CB6-BTS-1N-3L1

4-1-3:الإنزلاق عند النهايات:- ولغرض دراسة قوى الربط بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي لنماذج العتبات المركبة، تم احتساب مقدار الانزلاق في النهايات لجميع نماذج العتبات المركبة في هذا المحور بالإضافة الى نماذج السيطرة والجدول (10) يوضح قيم الإنزلاق المقاسة عند حمل الفشل ونسب الفرق بالإنزلاق بين نماذج المحور الأول وعتبات السيطرة.ومن ملاحظة الجدول يتبين تأثير شرائط البوليمر المسلحة بالألياف على تقليل الإنزلاق الحاصل في النهايات حيث تراوحت النسبة (88-98)% وافضل النتائج لتقليل الإنزلاق لوحظت عند النموذج (CB6-BTS-1N-3L1) والنموذج (CB5-TS-1N-3L1) لكون التغليف بألياف الكاربون لهذة النماذج عمل على زيادة الربط بين الشفة العليا (Top Flange) للمقطع الحديدي والبلاطة الخرسانية. إن علاقة (الحمل-الإنزلاق) عند النهايات لبعض نماذج المحور الأول موضحة في الشكل(6).

جدول(10): قيم الإنزلاق في النهايات ونسب النقصان فيه ضمن نماذج المحور الأول بالمقارنة مع عتبات السيطرة.

Composite Beams	Failure Load (kN)	Slip At Failure Load(mm)	%Decreasing in SlipWith Respect to Control Beams
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	6.46	---------
CB1-B-1N-3L1	166.9	0.76	88
CB2-B-1N-3L1	174.4	0.64	90
CB3-BW-1N-3L1	175.2	0.45	93
CB4-BU-1N-3L1	172.7	0.58	91
CB5-TS-1N-3L1	189.8	0.32	95
CB6-BTS-1N-3L1	204.5	0.13	98



شكل(6): علاقة(الحمل–الإنزلاق)عند النهايات للنماذجCCB1&CB6-BTS-1N-3L1

2-4:تأثير طول التغليف بشرائط (CFRP) (نماذج المحور الثاني):-

1-2-4:حمل الفشل:-

لوحظ عملياً عند فحص نماذج المحور الثاني بان نوع الفشل للنماذج (CB8-BTS-1N-1L1) و (CB9-BTS-1N-1.5L1) كان في فشل الربط (Debonding) في منطقة الشد (Bottom Flange) مما يدل على أن طول التغليف لم يكن كافياً بالمقارنة مع النموذج (CB7-BTS-1N-2L1) حيث كان الفشل بالقطع (Rupture Failure) بالنسبة لشرائط (CFRP) ، وعلى الرغم من كونه النموذج الذي أعطى أعلى قيم للتحمل بزيادة(18%) من بين نماذج

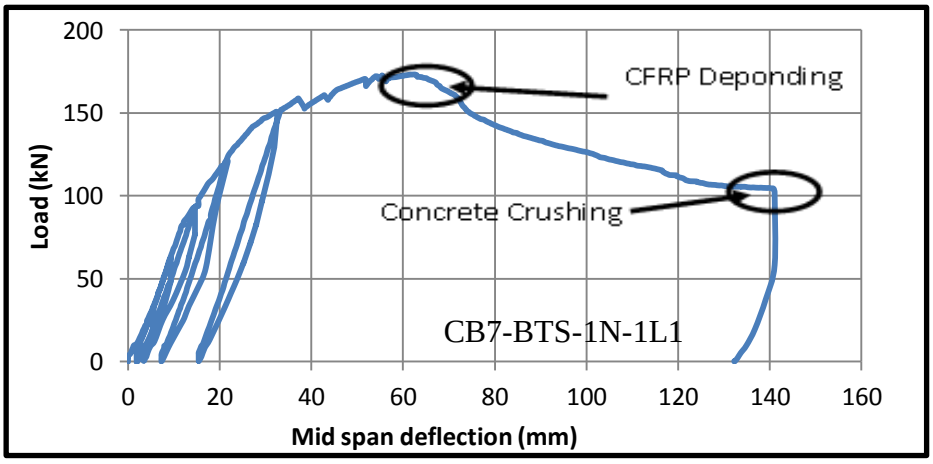
المحور الثاني لكنها نسبة قليلة بالمقارنة مع النموذج (CB6-BTS-1N-3L1) والذي وصلت الزيادة في تحمل الإنثناء الى (36%) حيث كان طول التغليف فية مستمر على طول النموذج والبالغ (3000mm) لذلك يمكن إستنتاج أن التغليف على طول العتبة المركبة هو الطول الأمثل للتغليف بشرائط (CFRP) ، والجدول (11) يبين نتائج فحص العتبات المركبة مع نسب الزيادة في حمل الفشل .

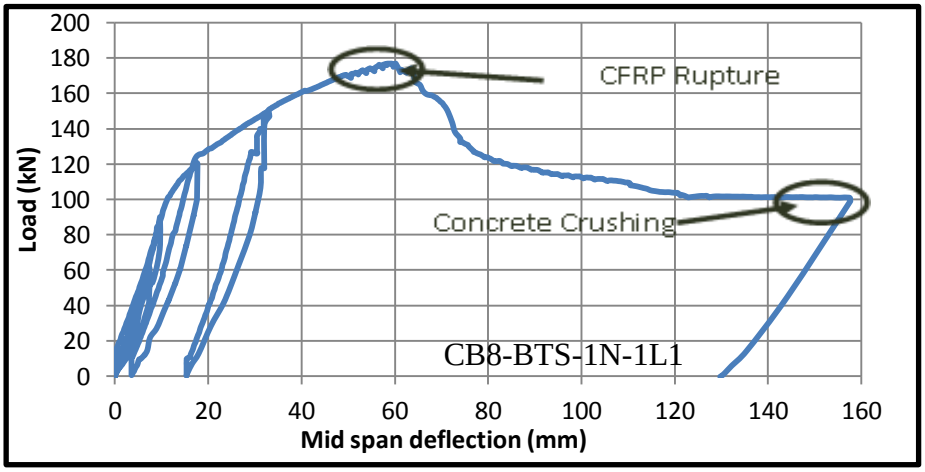
جدول (11) : قيم ونسب الزيادة في حمل الفشل لنماذج المحور الثاني

Composite Beams	Failure Load (kN)	%Increasing in Failure Load With Respect to Control Beams	Mode Of Failure
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	----------	Crushing In Concrete
CB7-BTS-1N-2L1	176.8	18	Rupture In CFRP
CB8-BTS-1N-1L1	173.2	15	Debonding In CFRP
CB9-BTS-1N-1.5L1	166.2	11	Debonding In CFRP

4-2-2:الأود في المنتصف:-

على الرغم من كون طول التغليف غير مستمر في نماذج المحور الثاني الا أن ألياف الكاربون عملت على تقليل الأود في وسط نماذج الأعتاب المركبة وكما مبين في الجدول (12). حيث يلاحظ فعالية طول التغليف بألياف الكاربون في تقليل الأود للعتبات على الرغم من كون التغليف لم يكن مستمراً الا أن كلما زاد طول التغليف قل مقدار الأود الحاصل في وسط العتبات المركبة على الرغم من الإستمرار في تسليط الأحمال المتكررة والشكل (7) يبين العلاقة بين الحمل التكراري مع الأود للعتبات المقواة بشرائط (CFRP) لبعض نماذج المحورالثاني.





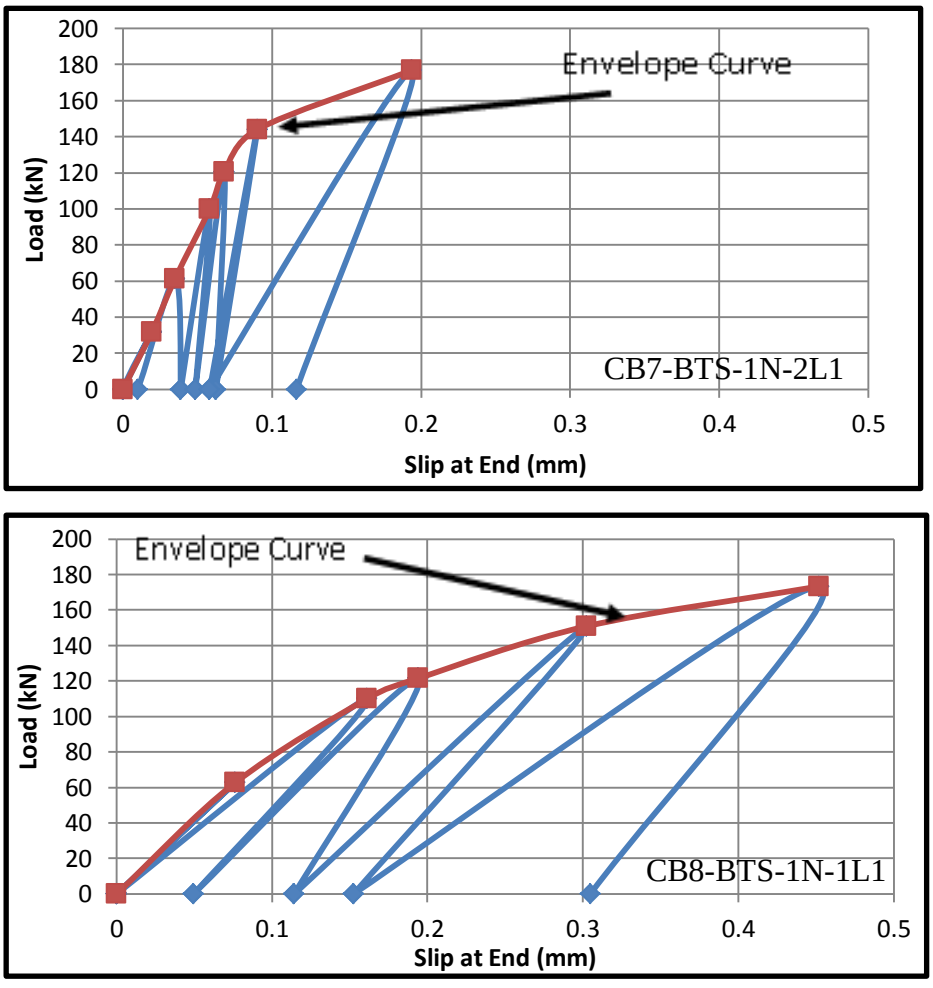
شكل(7): علاقة(الحمل-الأود) للنماذجCB8-BTS-1N-1L1&CB7-BTS-1N-2L1

جدول(12): قيم الأود في وسط العتبات مع نسب النقصان فيه للعتبات المقواة ضمن نماذج المحور الثانى بالمقارنة مع أعتاب السيطرة..

Composite Beams	Mid Span Deflection (mm)	%Decreasing In Mid Span Deflection (At Failure Load)
Avg. of CCB1&CCB2	75.2	----------
CB7-BTS-1N-2L1	60.2	20
CB8-BTS-1N-1L1	62.5	17
CB9-BTS-1N-1.5L1	68.5	9

3-2-4:الإنزلاق عند النهايات:-

أظهرت نتائج فحص نماذج المحور الثاني بأن التغيير بطول التغليف لم يوثر على مقدار النقصان في الإنزلاق الحاصل بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي على الرغم من تأثير طول التغليف بألياف الكاربون على الزيادة الحاصلة في حمل الفشل والنقصان بالأود ،حيث وصلت أعلى قيمة للنقصان بالإنزلاق الى (97%) في النموذج (CB7-BTS-1N-2L1) وهي نتيجة مقاربة لما تم الحصول عليها في النموذج (CB6-BTS-1N-3L1) والذي كان فيه التغليف مستمراً وعلى طول النموذج ,وقيم النقصان للإنزلاق المقاسة عملياً لنماذج المحور الثاني موضحة في الجدول (13) مع نسب الفرق بالإنزلاق بالمقارنة مع عتبات السيطرة.والشكل (8) تبين العلاقة بين (الحمل- الإنزلاق) عند النهايات للعتبات المقواة بشرائط (CFRP) لبعض نماذج المحور الثاني .



شكل(8): علاقة (الحمل-الإنزلاق)عند النهايات للنماذج-CB8-BTS-1N-1L1&CB7-BTS

جدول(13): قيم الإنزلاق في النهايات ونسب النقصان فية ضمن نماذج المحور الثاني بالمقارنة مع عتبات السيطرة.

Composite Beams	Failure Load (kN)	Slip At Failure Load (mm)	%Decreasing in SlipWith Respect to Control Beams
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	6.46	----------
CB7-BTS-1N-2L1	176.8	0.19	97
CB8-BTS-1N-1L1	173.2	0.45	93
CB9-BTS-1N-1.5L1	166.2	0.38	94

4-3:تأثير عدد طبقات التغليف بشرائط (CFRP) (نماذج المحور الثالث):-

4-3-1:حمل الفشل:-

يبين الجدول (14) النتائج التي تم الحصول عليها من فحص العتبات المركبة ضمن نماذج المحور الثالث مع نسبة الزيادة في حمل الفشل ونوع الفشل تحت تأثير الأحمال التكرارية. قيم الجدول تبين بأن التقوية بشرائط (CFRP) وبطول(3000mm) للنموذج (CB10-BTS-2N-3L1-3L2) أعطت أعلى زيادة في حمل الفشل لنماذج المحور الثالث ولنماذج بقية المحاور ولكن هذه الزيادة تعتبر غير إقتصادية بالمقارنة مع الزيادة الحاصلة لحمل الفشل عند الأنموذج (CB6-BTS-1N-3L1) والمغلف بطبقة واحدة وعلى طول النموذج حيث وصلت الزيادة الى(36%)، بالإضافة الى ذلك كانت هذة القيمة أعلى من الزيادة في قيم التحمل لبقية نماذج هذا المحور, ومن ذلك نستنتج بان تقوية العتبات المركبة بأكثر من طبقة لاتؤدي دائما الى زيادة في قابلية التحمل للإنثناء.

جدول(14): قيم ونسب الزيادة في حمل الفشل لنماذج المحور الثالث.

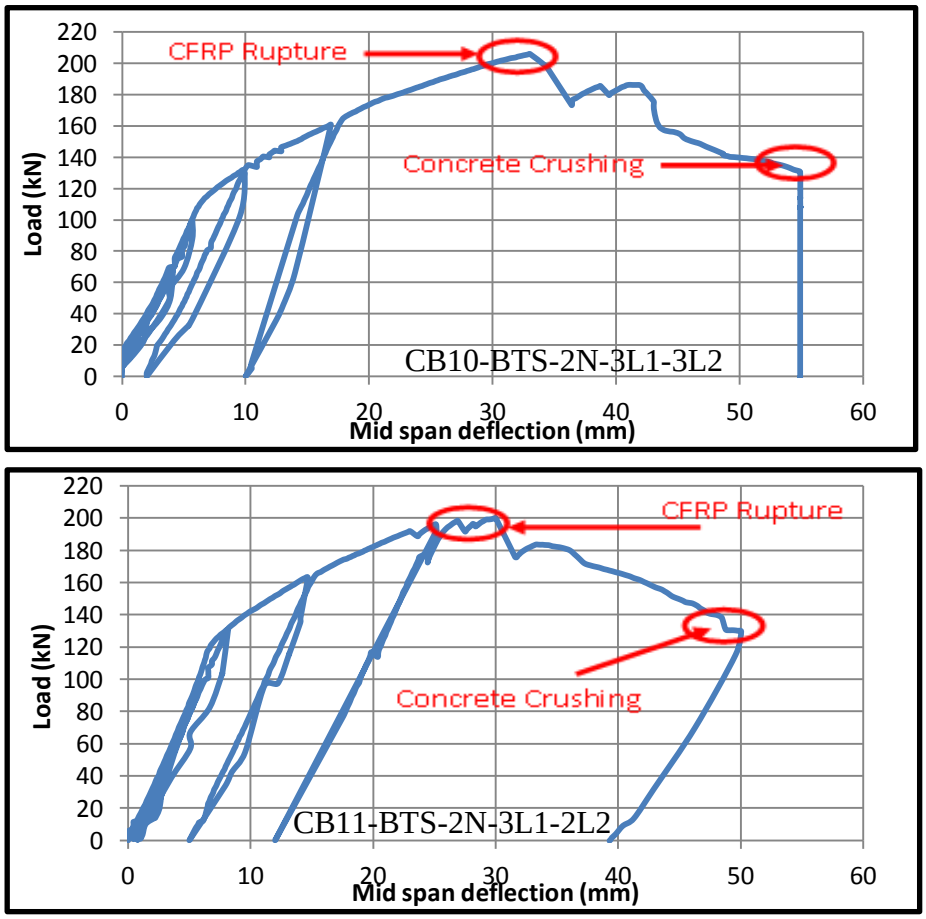
Composite Beams	Failure Load (kN)	%Increasing in Failure Load With Respect to Control Beams	Mode Of Failure
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	----------	Crushing In Concrete
CB10-BTS-2N-3L1-3L2	*206*	37	Rupture In CFRP
CB11-BTS-2N-3L1-2L2	200	33	Rupture In CFRP
CB12-BTS-2N-2L1-2L2	203	35	Rupture In CFRP

4-3-2:الأود في المنتصف:-

يبين الجدول(15) قيم ونسب النقصان في الأود للعتبات المقواة بطبقتين وبأطوال مختلفة من شرائط (CFRP) والمقاسة عند حمل الفشل لنماذج المحور الثالث.حيث لوحظ تقارب قيم النقصان بالأود المقاس في وسط العتبات ويعود ذلك الى أن التغليف في وسط نماذج هذا المحور والذي عندة تم قياس الأود كان متشابة من حيث موقع التغليف وعدد طبقات التغليف, والشكل(9) يبين العلاقة بين الحمل التكراري والأود في وسط العتبات المقواة بشرائط (CFRP) لبعض نماذج المحورالثالث. ولوحظ عملياً بأن الفشل في جميع نماذج هذا المحور كانت بالقطع للألياف في منطقة العزم الموجب مما يدل على أن طول التغليف كان كافياً لمنع حدوث فشل بالربط بين المقطع الحديدي وشرائط (CFRP),وعلى الرغم من عدم تأثير زيادة عدد طبقات التغليف على مقاومة الإنثناء الا أنها كانت لها دور مهم في تقليل الأود الحاصل في وسط نماذج المحور الثالث بالمقارنة مع النقصان الحاصل لنماذج بقية المحاور.

جدول(15): قيم الأود فى وسط العتبات لنماذج المحور الثالث.

Composite Beams	Failure Load (kN)	MidSpan Deflection (mm)	%Decreasing In Mid Span Deflection (At Failure Load)
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	75.2	----------
CB10-BTS-2N-3L1-3L2	206	33.1	56
CB11-BTS-2N-3L1-2L2	200	33.8	55
CB12-BTS-2N-2L1-2L2	203	33.1	56



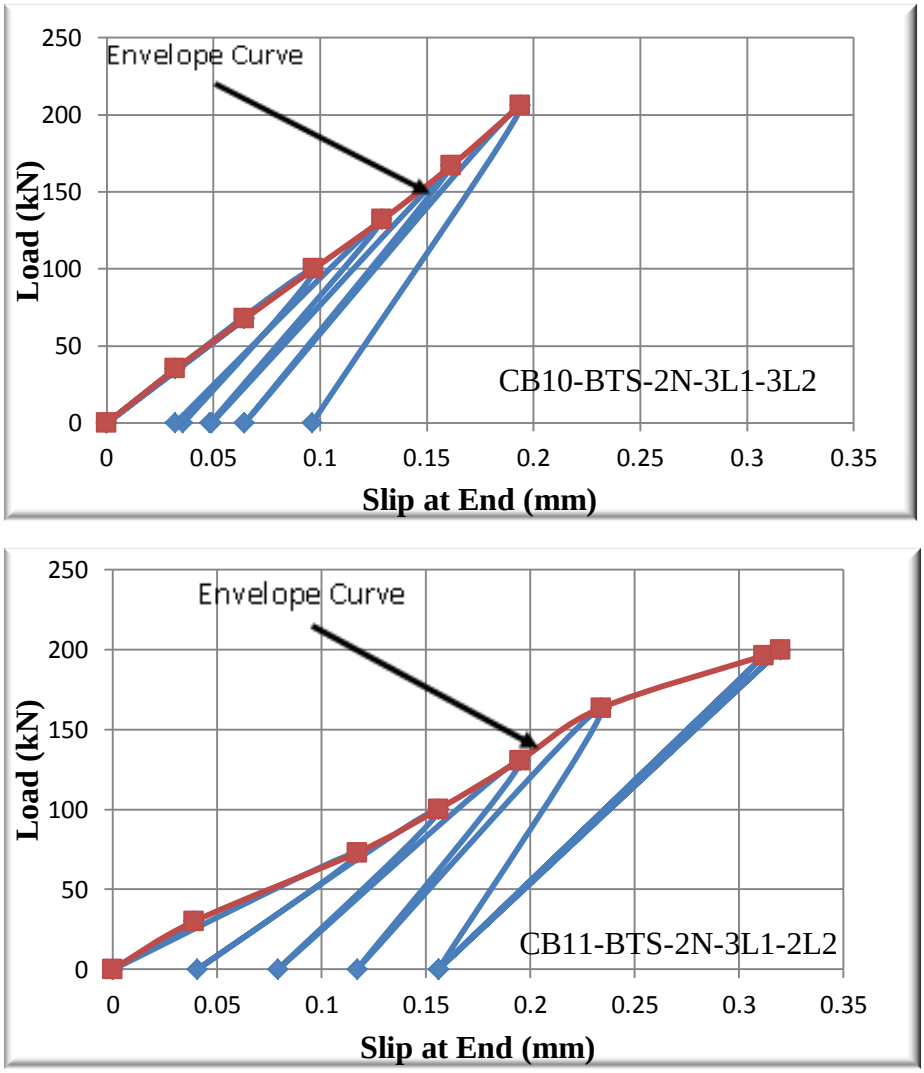
شكل(9): علاقة(الحمل-الأود) للنماذج CB10-BTS-2N-3L1-3L2&CB11-BTS-2N-3L1-2L2

3-3-3:الإنزلاق عند النهايات:-

على الرغم من تأثير عدد طبقات التغليف بشرائط (CFRP)على نقصان الأود الا أن الزيادة في عدد طبقات التغليف لم يوثر على مقدار النقصان في الإنزلاق الحاصل بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي حيث كانت قيم النقصان بالإنزلاق متقاربة ضمن نماذج هذا المحور وحيث وصلت أعلى قيمة للنقصان الى (97%) في النموذج (CB10-BTS-2N-3L1-3L2) وهي نتيجة مقاربة لما تم الحصول عليها في النموذج (CB6-BTS-1N-3L1) ضمن نماذج المحور الأول والقيمة نفسها في النموذج (CB7-BTS-1N-2L1) ضمن نماذج المحور الثاني ، قيم النقصان للإنزلاق المقاسة عملياً لنماذج المحور الثالث موضحة في الجدول (16) مع نسب الفرق بالإنزلاق بالمقارنة مع عتبات السيطرة.والشكل (10) يبين العلاقة بين (الحمل- الإنزلاق) عند النهايات للعتبات المقواة بشرائط (CFRP)لنماذج المحور الثالث .

جدول(16): قيم الإنزلاق في نهايات نماذج المحور الثالث

Composite Beams	Failure Load (kN)	Slip at Failure Load(mm)	%Decreasing in SlipWith Respect to Control Beams
Avg. of CCB1&CCB2	150.4	6.46	---------
CB10-BTS-2N-3L1-3L2	206	0.19	97
CB11-BTS-2N-3L1-2L2	200	0.32	95
CB12-BTS-2N-2L1-2L2	203	0.26	96



شكل(10): (الحمل-الإنزلاق) للنماذج CB10-BTS-2N-3L1-3L2&CB11-BTS-2N-3L1-2L2

4- الإستنتاجات:-

1- لشرائط (CFRP) قابلية جيدة على تقوية مقاومة الانثناء للعتبات المركبة، فقد اسهمت في زيادة مقاومة العتبات المركبة لقوى الانثناء بنسبة تتراوح بين (11.0%-36.0%) عند التحميل التكراري، وهذه النسب تعتمد على موقع التغليف بالألياف.

2- أسهمت شرائط (CFRP) في تقليل الأود المقاس في منتصف العتبات المركبة وبنسب تتراوح بين (7%-56%) بالمقارنة مع عتبات السيطرة عند الأحمال التكرارية وتختلف القيم بأختلاف موقع وطول وعدد طبقات التغليف بالألياف.

3- التغليف باكثر من طبقة واحدة من شرائط (CFRP) تعطي زيادة طفيفة ضد مقاومة الانثناء فضلاً عن انها لاتعد مجدية من الناحية الاقتصادية.

4- ان تغليف الأعتاب المركبة بشرائط (CFRP) كان له تأثير واضح بتقليل الإنزلاق الحاصل بين المقطع الحديدي والبلاطة الخرسانية عند الأحمال التكرارية حيث وصلت نسبة النقصان بالإنزلاق الى (98%) بالمقارنة مع الإنزلاق الحاصل في عتبات السيطرة .

5- إن طول التغليف بشرائط ألياف البوليمر الكاربونية كان له دوراً مهماً في زيادة قيمة حمل الفشل وتقليل الأود في وسط الأعتاب المركبة من جهة ولكنة ليس له تأثير كبير على قيم النقصان للإنزلاق الحاصل بين البلاطة الخرسانية والمقطع الحديدي من جهة أخرى.

المصادر:-

[1] Al-Saffar, I.S., "Nonlinear Analysis for Composite Steel-Concrete Beam Elements under Repeated Loads", M.Sc. Thesis, University of Mosul, Iraq, 2006.

[2] Ragab,N.A.,"Strengtheing of Steel-Concrete Composite Girders Using Various Advanced Composite Matirals" M.Sc.,Thesis, University of Calgargy,Alberta,Canada,2007.

[3] Tavakkolizadeh M.,Saadatmanesh H.,"Strengthening of Steel-Concrete Composite Girder Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Sheets",Journal of Structral Engineering,ASCE,Vol. 129,No.1,January 1,2003,pp.30-40.

[4] Spacone,E.,and Ei-Tawil,S., "Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite Structures : State of", Journal of the Structural Engineering ,Vol.130,No.2,February 2004,pp.159-168.

[5] Teng J.G.,Chen J.F.,Smith S.T.,and Lam L.,"FRP Strengthened RC Structures",John Wiley&Sons,Ltd,England,2002,245pp.

[6] المواصفات القياسية العراقية (رقم 5)، (1984)، "خصائص الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي"، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، العراق، 1984.

[7] B.S.882-1992,"Aggregates from Natural Source for Concrete", British Standard Institution, 1992.

[8] ASTM C39-04,"Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens",American Society for Testing and Materials,2004.

[9] ASTM C617-98,(Reapproved 2003),"Capping Cylindrical Concrete Specimens",American Society for Testing and Materials,2003.

[10] AISC,"Specification for Structural Steel Buildings",ANSI/AISC 360-05,American Institute of Steel Construction, Inc.,One East Wacker Drive,Suite 700,Chicago,Illinois,USA,2005.

[11] Sika Data Book Construction "Building with a Safe System",2005, **www.Sikaneareast.com**

[12] "Structural Strengthening with Sika Wrap Fabric System", Sika Services AGCH- 8048 Zurich , Switzerland, p.415, www.Sika.com.

[36] Wright,H.D.,Harding P.W.,and Evans H.R.,"The use of Pushout Tests to Simulate Shear Connectors in Composite Beam Construction", University College,Cardiff, UK,pp39-47.

[14] BS 5400, Part 5, "Steel, Concrete and Composite Bridges", British Standards Institution, London, 1979.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل