كفاءة البلاطات البيتونية المسلحة المزودة بمقاطع بوليميرية GFRP

د. محمد بسام كنجو*

قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب * عضو هيئة تدريسية

الملخص

ظهرت في الآونة الأخيرة العديد من المواد الجديدة المستخدمة في الهندسة الإنشائية كمواد إضافية على المواد التقليدية (البيتون والفولاذ) تشكل عناصر انشائية مختلطة تعمل بسلوك إنشائي مركب يُضيف خصائص جديدة للعناصر الهيكلية (بلاطات، جيزان، أعمدة، وم؛ن أشهر هذه المواد الألياف البوليميرية بنوعيها الزجاجية والكربونية (GFRP, CFRP)، وعملت الصناعات الحديثة على تشكيل هذه الألياف بصور متعددة منها قضبان تسليح FRP Bars أو مقاطع جاهزة (FRP Profile Section) أو مقاطع قوالب دائمة في البلاطات(Stay-in-place formwork) .

يتناول هذا البحث دراسة تحليلية بالعلاقات الرياضية ومن ثم النمذجة الحاسوبية بأحد برامج العناصر المحدودة المتقدمة ANSYS، السلوك الإنشائي (ولا سيما المقاومة) لنوعية جديدة من البلاطات البيتونية المسلحة المزودة بمقاطع بوليميرية GFRP، إضافة لإجراء مقارنة اقتصادية بين المقطع الجديد المقترح للبلاطة المركبة مع مقطع بلاطة بيتونية مسلّحة مفرغة وحيدة الاتجاه ذات الشكل التقليدي.

بالنتيجة أثبتت الدراسة كفاءة المقطع المركب المقترح للبلاطة لما يتميز به من خفة الوزن وتقليل كمية الخرسانة والفولاذ، بالإضافة إلى أنه يعطي قطاعات رشيقة ذات سماكة خفيفة ومقاومة لعوامل الطقس، الصدأ بشكل خاص، مع دراسة الجدوى الاقتصادية لسعر مادة المقطع البوليميري، نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث على النموذج المقترح للبلاطة المركبة.

الكلمات المفتاحية: بلاطة بيتونية – مقطع بوليميري – Stay in place formwork -GFRP

1- مقدمة:

ظهرت في الآونة الأخيرة العديد من المواد الجديدة المستخدمة في الهندسة الإنشائية كمواد إضافية على المواد التقليدية (البيتون والفولاذ) تشكل عناصر انشائية مختلطة تعمل بسذلوك إنشائي مركب يُضيف خصائص جديدة للعناصر الهيكلية (بلاطات، جيزان، أعمدة) إما لتدعيم هذه العناصر أو تقويتها أو إضافة ميزات لها، ومن أشهر هذه المواد الألياف البوليميرية بنوعيها الزجاجية والكربونية (GFRP, CFRP)، وعملت الصناعات الحديثة على تشكيل هذه الألياف بصور متعددة منها قضبان تسليح FRP Bars أو مقاطع مدرفلة (FRP Profile Section) أو مقاطع قوالب دائمة في البلاطات (Stay-in-place formwork) الأمر الذي فتح آفاق وتطبيقات جديدة في الهندسة الإنشائية.

الشكل (1) عينات الأعمدة المختبرة في البرنامج التجريبي. [1]

من أهم وأحدث هذه التطبيقات هي البلاطات البيتونية المسلحة المقواة بالمقاطع البوليميريـة الزجاجيـة (قالب دائـم)، التي يمكن استخدامها في الكثير من الأبنية الهندسية كالأبنية السكنية والصناعية وبلاطات الجسور.

2- مشكلة البحث:

إن التنفيذ الإنشائي للعناصر الهندسية لاسيما البلاطات البيتونية المسلحة سواء كانت مليئة أو مفرغة يستغرق زمناً طويلاً وأعداداً كبيرة من العمال وإزالة للقوالب بعد تصلب البيتون، كما تتطلب البلاطات البيتونية المسلحة التقليدية سماكات كبيرة وما يتبعه من أبعاد كبيرة للجسور والأعمدة مما ينعكس على الأوزان الذاتية لعناصر المنشأ، إضافة لمشاكل الصدأ لقضبان التسليح.

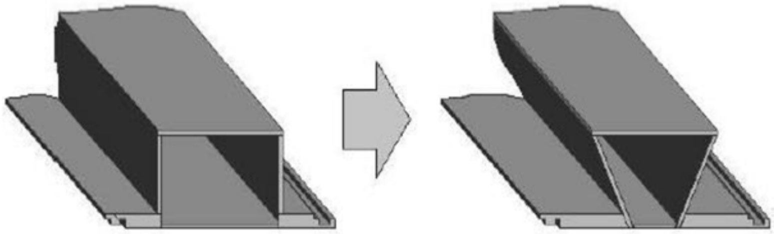
كل ما سبق يستدعى الحاجة الملحة لابتكار أنواع جديدة من البلاطات تلغي السلبيات المرتبطة بالبلاطات التقليدية وتقدم عناصر تتمتع بخفة الوزن والمتانة والمقاومة الكافية.

3- أهداف البحث وأهميته:

يتناول هذا البحث دراسة تحليلية بالعلاقات الرياضية ومن ثم النمذجة الحاسوبية بأحد برامج العناصر المحدودة المتقدمة ANSYS، للسلوك الإنشائي (ولا سيما المقاومة) لنوعية جديدة من البلاطات البيتونية المسلحة المزودة بمقاطع بوليميرية GFRP والتي تشكل قالباً دائماً، مع مزايا المقاومة والمرونة التي تقدمها، إضافة لإجراء مقارنة بين المقطع الجديد المقترح للبلاطة المركبة مع مقطع بلاطة بيتونية مسلّحة مفرغة وحيدة الاتجاه ذات الشكل التقليدي.

إن المقطع البوليميري المقترح للدراسة هو المقطع الذي تم تناوله في البحث المنشور من قبل الباحثين Kinga Brózda, Jacek Selejdak, and Peter Koteš [1] والذي يأخذ الشكل شبه منحرف الذي تم تطويره

انطلاقاً من المقطع الصندوقي، الشكل (1)، حيث وجد أنّ المقطع شبه المنحرف يتميز عن المقطع الصندوقي بمقاومته الأكبر إضافة لتأمينه الالتصاق بشكل جيد مع الجزء البيتوني المسلح من البلاطة.



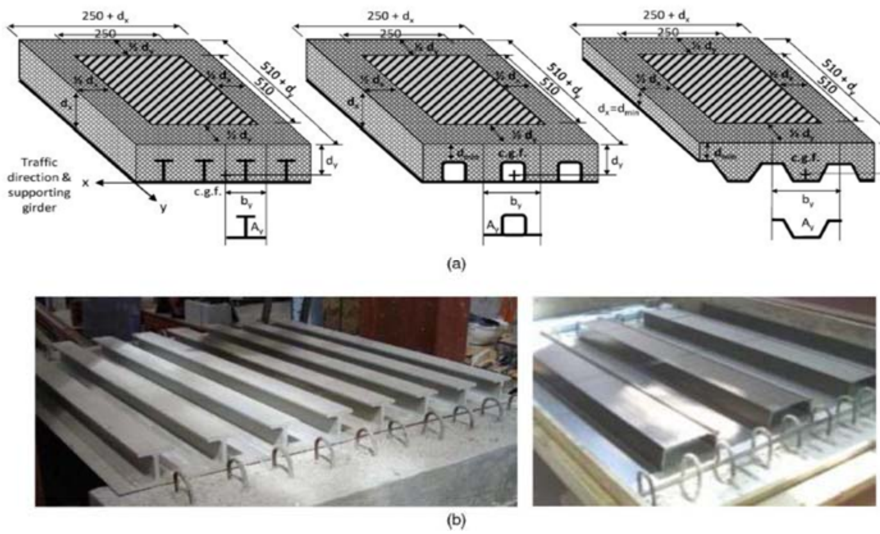
الشكل (2) المقطع البوليميري المقترح للدراسة. [1]

تتجلى أهمية هذا البحث كونه يعمل على دراسة نوع جديد من البلاطات تتميز بالكثير من المزايا والتي تجعلها حلاً جيداً للعديد من مساوئ البلاطات التقليدية المعروفة، من هذه المزايا:

- تشكل المقاطع البوليميرية قالب دائم للبلاطات البيتونية مما يؤدي لتقليل مدة الإنشاء والتنفيذ بنسب كبيرة.
- تعمل المقاطع البوليميرية كتسليح شد سفلي في البلاطات وتُستخدم فيها القضبان الفولاذية بنسبة إنشائية منخفضة جداً.
- تُخفض نسب البيتون (من ناحية السماكة) بكميات كبيرة مما ينعكس على الأوزان الميتة المنقولة للجيزان والأعمدة.
- تُعطي بلاطات رشيقة ذات سماكة صغيرة ومرونة عالية
- تتحمل حمولات كبيرة مما يؤدي لمجازات كبيرة.
- تُقاوم جميع العوامل البيئية الصعبة، وبشكل خاص الصدأ.

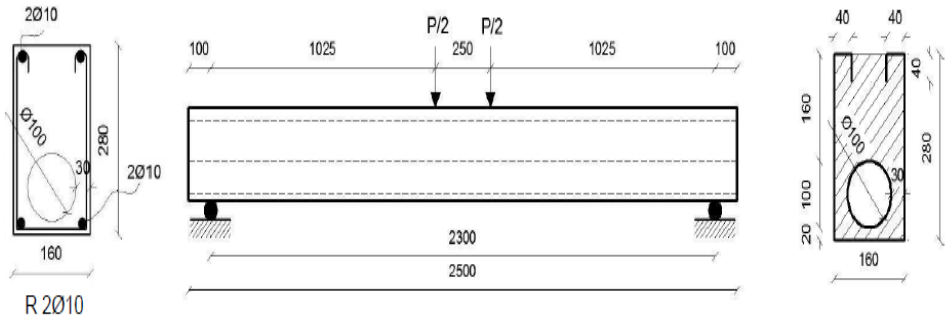
4- المراجعة البحثية:

بمراجعة الأبحاث المنشورة في مجال البلاطات المزوّدة بالمقاطع البوليميرية نجد أنّ البحث الذي أجراه الباحثون Martin Noël and Amir Fam (2016) [3]، تم فيه وضع معادلات تصميمية لمجموعة من البلاطات بأشكال منوعّة مزودة بمقاطع بوليميرية وذلك بالمقارنة مع اختبارات تجريبية تمت على نفس العينات، الشكل (3).



الشكل (3) نماذج لبلاطات بيتونية مزودة بمقاطع بوليميرية. [3]

كما تناول الباحث K.M. El-sayed1, H.M.Refaat, E.A.Radwan (2019) [2]، دراسة تجريبية مخبرية ودراسة تحليلية لمجموعة من الجيزان البيتونية المسلحة المحاطة بمقطع من الألياف البوليميرية، كما تمت المقارنة مع نموذج حاسوبي باستخدام برنامج ANSYS، الشكل (4).



الشكل (4) نموذج لمقطع جائز بيتوني محاط بمقطع بوليميري. [2]

وعرض الباحث Kinga Brózda1, Jacek Selejdak1, and Peter Koteš (2018) [1]، نتائج دراسة بلاطة بيتونية مسلحة ومزودة بمقطع بوليميري صندوقي منتظم حيث تم استنتاج العزوم المقاومة لهذا المقطع بسماكات مختلفة، الشكل (3).

الشكل (5) المقطع الصندوقي المقترح من قبل الباحثين Kinga Brózda1, Jacek Selejdak1, and Peter Koteš [1]

5- الدراسة التحليلية الرياضية النظرية باعتماد معادلات التوازن:

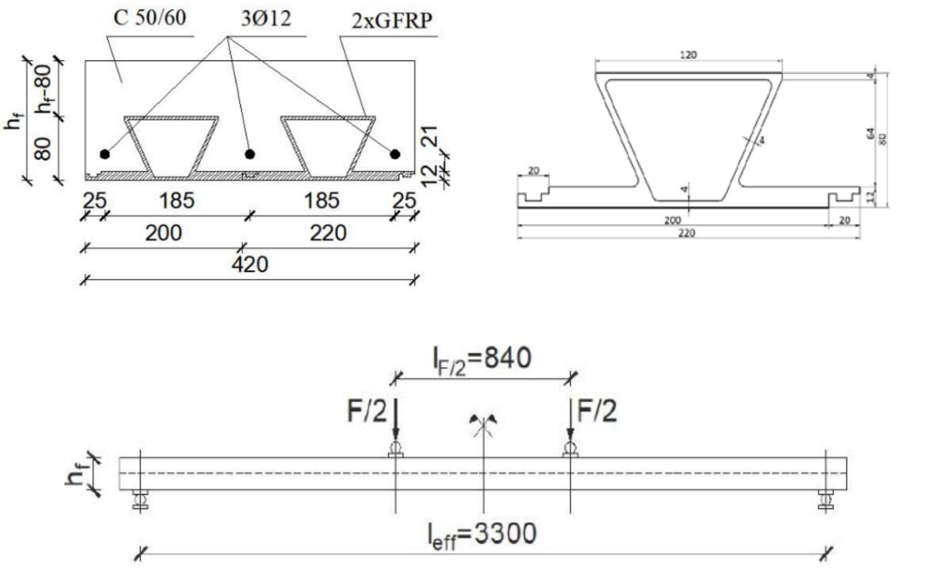
تم في هذا البحث إجراء دراسة رياضية نظرية اعتماداً على معادلات التوازن للمقطع المركب المقترح من قبل الباحثين Kinga Brózda1, Jacek Selejdak1, and Peter Koteš2 [1].

5-1- الخصائص الهندسية والقيم البعدية لأجزاء المقطع المقترح للبلاطة:

تم اعتماد مجاز بسيط للبلاطة بطول كلي 3500mm وتتوضع المساند بتباعد 3300mm كما اعتمد عرض كلي للبلاطة 420mm

يرمز للارتفاع الكلي للمقطع المركب المقترح للبلاطة h_f ويتكون من مقطعين من ال GFRP (المصنوع من الألياف الزجاجية المجمّعة بواسطة اللاصق البوليميري) كل منهما بشكل شبه منحرف لزيادة الارتباط مع الجزء البيتوني، حيث يتراكب المقطعين بواسطة تراكب مجهّز من كل طرف، الشكل (6)، ويتوضع البيتون أعلى المقطع البوليميري ويضاف ثلاث قضبان فولاذية بقطر 12mm للمقطع الكلي للبلاطة.

بالنسبة للخصائص الهندسية للمقطع البوليميري، [1] فقد اعتمِّد بعامل مرونة E_f=25000 MPa واجهاد شد أعظمي f_t=200 MPa، أما القضبان الفولاذية فلها عامل مرونة E_s=200000 MPa واجهاد شد أعظمي f_y=500 MPa، وبالنسبة للبيتون فقد اعتمد من النوع C50/60 بمقاومة مميزة على الضغط $f`_C$=50 MPa.



الشكل (6) المقطع الصندوقي المقترح من قبل الباحثين Kinga Brózda1, Jacek Selejdak1, and Peter Koteš [1] والمطور عن المقطع الصندوقي.

5-2- معادلات التوازن:

تتم الدراسة باستخدام معادلات التوازن للقوى الداخلية التي تؤمنها مكونات المقطع العرضي للبلاطة المركبة المقترحة.

في هذا البحث تم افتراض أنّ الفعل المركب الكلي (الالتصاق التام) مؤمن بين المقطع البوليميري والبلاطة البيتونية المسلحة، وسنتعمد في دراسة القوى في البيتون والفولاذ على كافة الافتراضات التي ينص عليها الكود العربي السوري للخرسانة المسلحة [4]، والتي نوضحها بما يلي:

1- القطاعات المستوية قبل الانحناء تظل مستوية بعده، أي إن الانفعال في الخرسانة والفولاذ والمقطع البوليميري يتناسب خطياً مع البعد عن المحور السليم.

2- يؤخذ الانفعال الأقصى في ليف الخرسانة الأكثر انضغاطاً مساوياً 0.003

3- تتغير الإجهادات في فولاذ التسليح مع تغير الانفعال بشكل طردي وفقاً لقانون هوك، أي أن الإجهاد يساوي الانفعال المناظر مضروباً بعامل المرونة، وعند تجاوز قيمة إجهاد الفولاذ لإجهاد الخضوع حسابياً نجعل قيمته مساوية لإجهاد الخضوع.

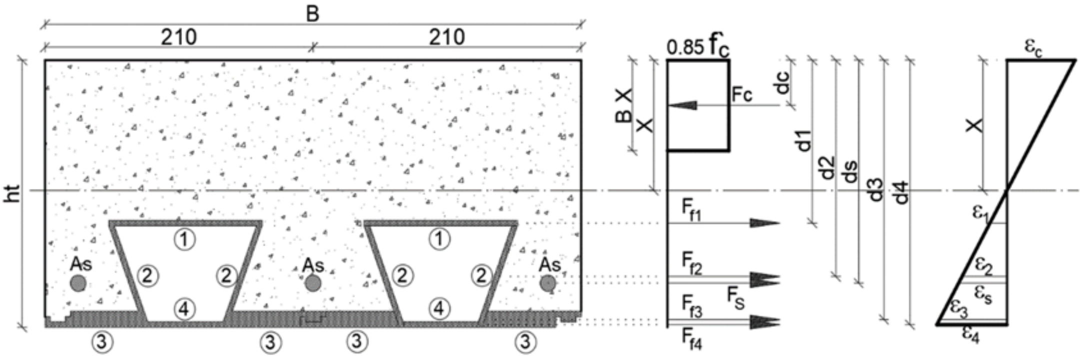
4- يمكن تقريب شكل توزيع إجهادات البيتون في الضغط باستعمال توزيع مكافئ على شكل مستطيل وتكون قيمة إجهاد الضغط الوسطية مساوية $0.85\ f`_c$.

5- تحدد منطقة الضغط للبيتون بحافة الألياف المضغوطة لأقصى انفعال الضغط وبخط مواز للمحور السليم يبعد مسافة $y= 0.85\ x$ (حيث X يمثل ارتفاع المنطقة المضغوطة)، وعندما تزيد المقاومة المميزة على 30 MPa فيتم تخفيض ارتفاع منطقة الضغط بمقدار 0.05 من أجل كل زيادة بمقدار 7 MPa أو أجزائها.

6- تُهمل مقاومة البيتون على الشد، ويقاوم الفولاذ والمقطع البوليميري كل الإجهادات الشاده.

يعتبر سلوك المقطع البوليميري (المكون من الألياف الزجاجية GFRP) سلوكاً مرناً في جميع مراحل الدراسة من بداية التحميل وحتى الانهيار، ولتبسيط الدراسة تم تقسيم المقطع البوليميري إلى مساحات جزئية حيث تتركز قوة الشد في مركز ثقل كل جزء، إضافة لقوى الشد التي تتحملها القضبان الفولاذية.

يتم رسم مخطط الانفعــالات والإجهـادات فـي أجـزاء المقطـع المركّــب الكلّي، الشكل (7).



الشكل (7) مخطط الانفعــالات والإجهـادات فـي أجـزاء المقطـع المركّــب الكلّـي، الشكل

وتحسب قيم الانفعالات في الألياف المختلفة للمقطع عن طريق تشابه المثلثات، المعادلات (1،2):

$$\varepsilon_{fi} = \varepsilon_c \, . (d_i - X)/X \qquad \textbf{(1)}$$
$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_c \, . (d_{si} - X)/X \qquad \textbf{(2)}$$

ومنه نحدد قيم قوى الشد والضغط في أجزاء المقطع من العلاقات (3،4،5):

$$F_c = 0.85 \, . f`_c \, . \beta \, . X \, . b \qquad \textbf{(3)}$$
$$F_s = \varepsilon_s \, . E_s . A_s \qquad \textbf{(4)}$$
$$F_{fi} = \varepsilon_{fi} \, . E_f . A_{fi} \qquad \textbf{(5)}$$

وبكتابة معادلة التوازن بتساوي قوى الشد والضغط نجد:

$$0.85 \, . f`_c \, . \beta \, . X \, . b = \sum \varepsilon_{fi} \, . E_f . A_{fi} + \sum \varepsilon_{si} \, . E_s . A_{si} \qquad \textbf{(6)}$$

حيث تعوّض قيم الانفعالات في ألياف المقطع البوليميري وقضبان الفولاذ بدلالة ارتفاع المنطقة المضغوطة من العلاقات (1،2).

إن المجهول الوحيد في العلاقة (6) هو قيمة ارتفاع المنطقة المضغوطة (X).

وبحساب عزوم جميع القوى الداخلية للمقطع وليكن حول الليف العلوي المضغوط نحصل على العزم الإسمي الكلي الذي يتحمله المقطع المركب المقترح للبلاطة، المعادلــة (7).

$$M_n = \sum F_{fi} \;.\; d_{fi} + \sum F_{si} \;.\; d_{si} - \; F_c \;.\beta \;. x \;/\; 2 \qquad \textbf{(7)}$$

لإنجاز الخطوات السابقة تم انجاز صفيحة اكسل مبرمجة يتم فيها حل المعادلــة (6) وحساب ارتفاع المنطقة المضغوطة، ومن ثم حساب العزم الإسمي الكلي الذي يتحمله المقطع المركب.

العرض الكلي للمقطع	420	mm
الارتفاع الكلي للمقطع	160	mm
ارتفاع المقطع البوليميري لوحده	80	mm

المقاومة المميزة للبيتون	50	MPa
عامل مرونة الألياف	25000	MPa
مقاومة الألياف	200	MPa
عامل مرونة الفولاذ	200000	MPa
مقاومة الفولاذ	500	MPa

β	0.707
X (mm)	58.80
ε_c	0.003

	المساحة الإفرادية	التكرار	المساحة الجزنية الكلية	الارتفاع عن الليف العلوي	الانفعال ε	الإجهاد	قوى الشد نيوتن	قوى الشد KN	العزم الإسمي N.mm
الجزء - ١	480	2	960	82	0.0012	29.6	28408	28.4	2329479
الجزء - ٢	323.5	4	1294	122	0.0032	80.6	104312	104.3	12726122
الجزء - ٣	785.75	4	3143	154	0.0049	121.4	381651	381.7	58774207
الجزء - ٤	230.5	2	461	158	0.0051	126.5	58331	58.3	9216253
حديد التسليح	113	3	339	127	0.0035	500.0	169500	169.5	21526500
				29.40	قوة الضغط في البيتون		-742202	-742.2	-21820719

حسابات ارتفاع المنطقة المضغوطة		
مجموع قوى الشد =	742202	نيوتن
مجموع قوى الضغط =	742202	نيوتن
محصلة القوى =	0	نيوتن

العزم الإسمي النهائي	N.mm	82751842
	KN.m	82.752

الشكل (8) صفيحة الإكسل المبرمجة لحساب العزم الإسمى للبلاطة ذات المقطع المركب.

5-3- نتائج الدراسة بالعلاقات الرياضية:

اعتماداً على معادلات التوازن (6،7) وصفيحة Excel، تم حساب قيمة العزم الإسمي الذي تتحمله البلاطة المركبة وذلك عند تغيير قيمة السماكة الكليـة للبلاطـة، الجدول (1).

الرقم	السماكة الكلية للبلاطة المركبة mm	العزم الإسمي للبلاطة المركبة KN.m
1-	120	44.344
2-	140	59.035
3-	160	75.776
4-	180	94.371
5-	200	114.677
6-	220	136.58
7-	240	159.99
8-	260	184.831
9-	280	211.037
10-	300	238.552
11-	320	267.326
12-	340	297.315
13-	360	328.48
14-	380	360.783
15-	400	394.192

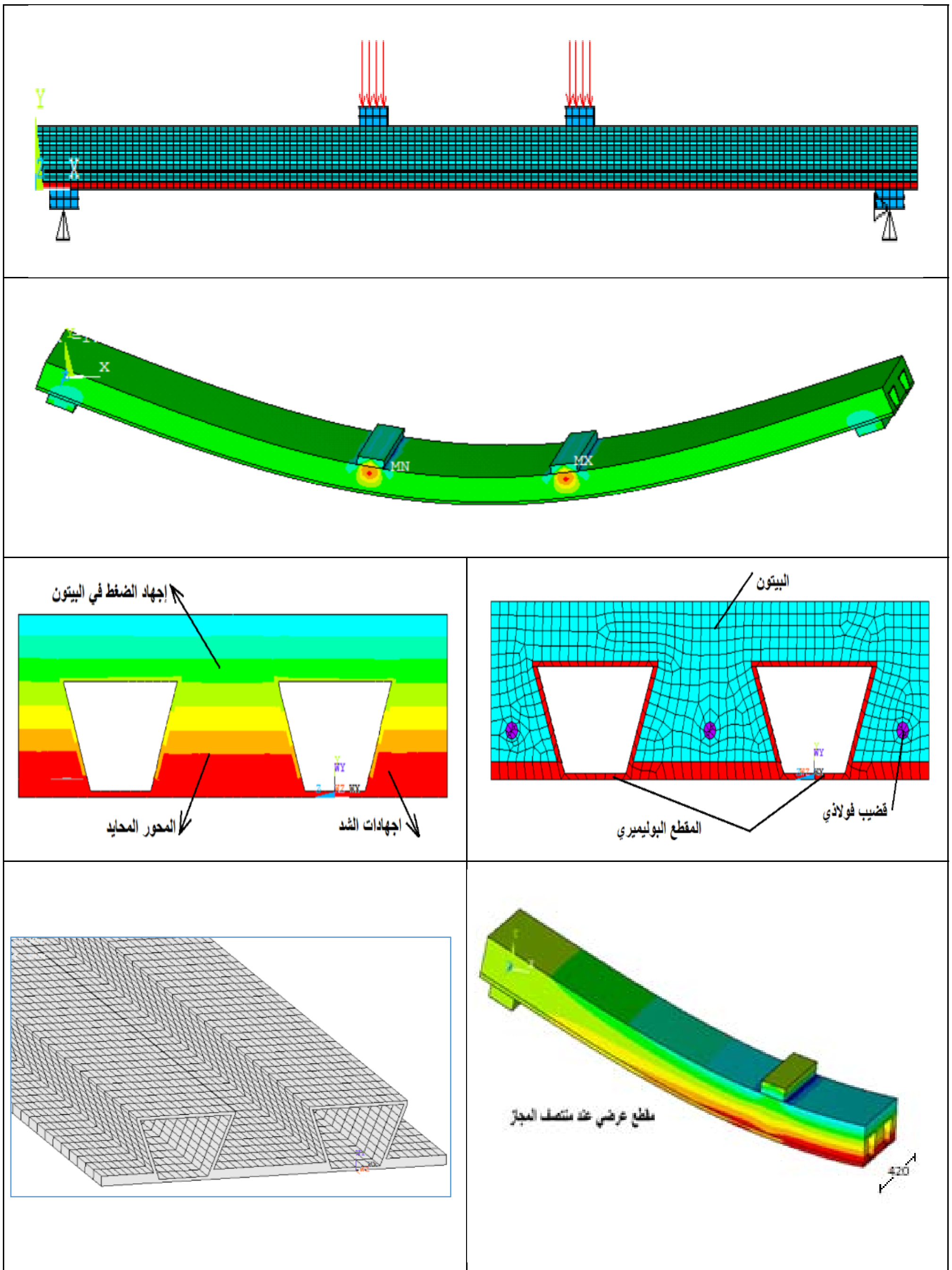
الجدول (1) العزم الإسمى الذي تتحمله البلاطة المركبة وذلك عند تغيير قيمة

6- الدراسة التحليلية باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS:

تم في هذا البحث اقتراح نموذج حاسوبي في برنامج العناصر المحدودة ANSYS وذلك لمقطع البلاطة المركبة المقترحة في الدراسة والمكونة من مقطع بوليميري GFRP والبيتون وقضبان التسليح.

6-1- أنواع العناصر المحدودة المستخدمة في النموذج الحاسوبي:

تم استخدام مجموعة من العناصر المحدودة المتوفرة في مكتبة برنامج ANSYS، فاستخدم العنصر المحدود الحجمي Solid65 لتمثيل البيتون المسلح كونه يحتوي خصائص التشقق والتفتت واللدونة، والعنصر الحجمي Solid185 لنمذجة المقطع البوليميري بسلوكه المرن، وكذلك استخدم نفس العنصر لنمذجة القضبان الفولاذية بخصائص الفولاذ المرنة-اللدنة.



الشكل (9) عناصر النموذج الحاسوبي المستخدم لتمثيل البلاطة المركبة.

6-2- نتائج الدراسة التحليلية باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS:

اعتماداً على النموذج الحاسوبي لمقطع البلاطة المركبة في برنامج العناصر المحدودة ANSYS وبتغيير قيم الارتفاعات الكلية لمقطع البلاطة، تم حساب قيمة العزم الإسمي الذي تتحمله البلاطة المركبة، الجدول (2).

الرقم	السماكة الكلية للبلاطة المركبة mm	العزم الإسمي للبلاطة المركبة في برنامج ANSYS M1 KN.m	العزم الإسمي للبلاطة المركبة باعتماد معادلات التوازن باستخدام EXCEL M2 KN.m	النسبة المئوية للعزمين M1 / M2 %	نسبة الفرق بين العزمين 1- M1 / M2 %
-1	120	39.8	44.3	89.75%	10.25%
-2	140	51.5	59.0	87.24%	12.76%
-3	160	66.4	75.8	87.63%	12.37%
-4	180	84.1	94.4	89.12%	10.88%
-5	200	103.9	114.7	90.60%	9.40%
-6	220	116.3	136.6	85.15%	14.85%
-7	240	140.6	160.0	87.88%	12.12%
-8	260	159.5	184.8	86.30%	13.70%
-9	280	179.8	211.0	85.20%	14.80%
-10	300	205.8	238.6	86.27%	13.73%
-11	320	241.1	267.3	90.19%	9.81%
-12	340	266.3	297.3	89.57%	10.43%
-13	360	286.2	328.5	87.13%	12.87%
-14	380	322.8	360.8	89.47%	10.53%
-15	400	342.4	394.2	86.86%	13.14%

الجدول (2) العزم الإسمي المحسوب بالنموذج الحاسوبي المقترح الذي تتحمله البلاطة المركبة وذلك عند تغير قيمة السماكة الكلية

من جدول النتائج يلاحظ أنّ نتائج التحليل باعتماد برنامج العناصر المحدودة ANSYS كانت متقاربة مع النتائج التحليل باستخدام معادلات التوازن وأن نسبة الاختلاف تراوحت بين 9.4% وحتى 14.85%، وفي كل الحالات كانت النتائج باستخدام ANSYS أقل من نظيرتها في معادلات التوازن، ويمكن أن نعزو ذلك كون معادلات التوازن تعطي قيماً نظرية للعزم الحدي بشروط مثالية، بينما تتأثر القيم الناتجة في برنامج ANSYS بشروط الاستناد وطريقة وحجم تقسيم العناصر وطريقة تطبيق الحمولة المركزة التي تؤدي إلى انهيارات مبكرة في النموذج الحاسوبي.

7- دراسة مقارنة بين نموذج المقطع المركب المقترح للبلاطة المزودة بمقطع بوليميري وبين البلاطات البيتونية المسلحة التقليدية:

بغية معرفة مدى فعالية تزويد البلاطات البيتونية المسلحة بمقطع بوليميري من الألياف الزجاجية GFRP تم إجراء مقارنة بين المقطع المركب المقترح للبلاطة مع مقطع بلاطة مفرغة تقليدية من البيتون المسلح بقضبان فولاذية فقط، وحتى تكون المقارنة صحيحة سنعتمد مقطع للبلاطة المفرغة بحيث تكون مساحة البيتون في المقطعين متساوية وكذلك مساحة القضبان الفولاذية وتتميز البلاطة المركب فقط بالمقطع البوليميري الإضافي.

تم اعتماد مقطع للبلاطة المركبة بارتفاع كلي 200mm وعرض 420mm ونحافظ على ارتفاع المقطع البوليميري 80mm بتسليح $3\phi12$، أما مقطع البلاطة المفرغة فهو ذو مقطع مكافئ بارتفاع كلي أيضاً 200mm وعرض كلي 420mm وتسليح بقضبان فولاذية $3\phi12$ ومساحة البيتون فيه نفس مساحته في المقطع المركب المقترح، الأشكال (11) و (12).

تم حساب العزم الإسمي الذي يتحمله المقطعين بنفس الطريقة المتبعة في الفقرة (3-2) من هذه المقالة.

عرض الجناح العلوي	420	mm
الارتفاع الكلي للمقطع	200	mm
ارتفاع الجذع	80	mm
عرض الجذع	192	mm

المقاومة المميزة للبيتون	50	MPa
مقاومة الفولاذ	500	MPa
عامل مرونة الفولاذ	200000	MPa

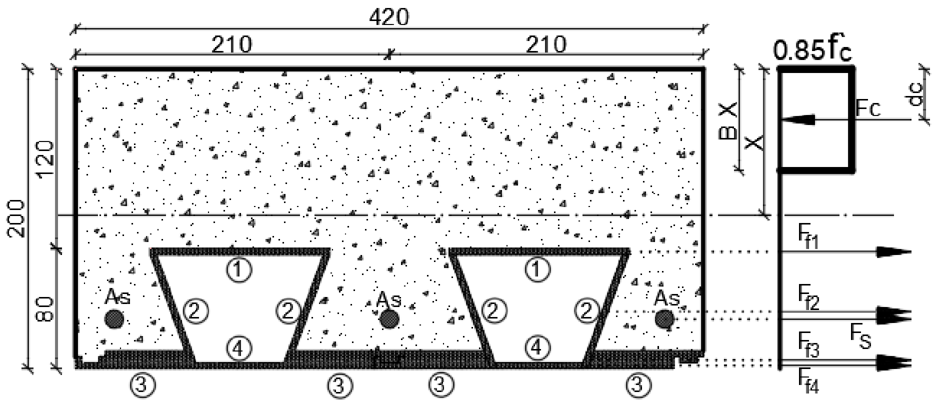
$\beta =$	0.707
$X =$	13.43
$\varepsilon_c =$	0.003

	المساحة الإفرادية	التكرار	المساحة الجزئية الكلية	الارتفاع الفعال عن الليف العلوي	الانفعال ε	الإجهاد	القوة نيوتن	القوة KN	العزم الإسمي N.mm
قوة الضغط في البيتون	-	-	-	4.7	0.003	-	-169500.0	-169.5	-804769
قوة الشد في الفولاذ	113	3	339	167	0.0343	500.0	169500.0	169.50	28306500

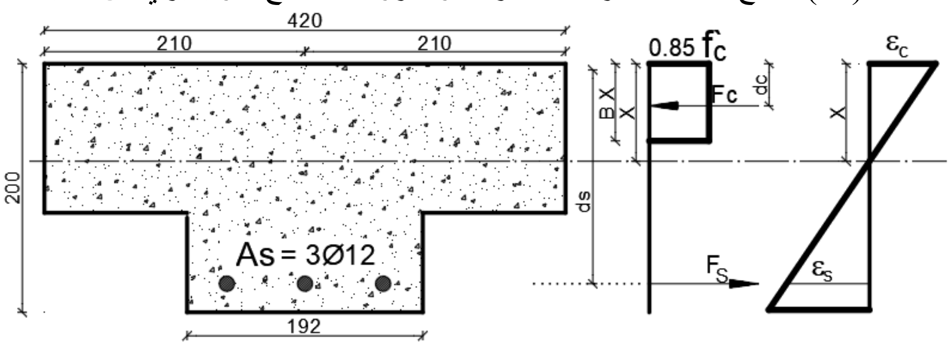
مجموع قوى الشد =	169500	N
مجموع قوى الضغط =	169500	N
محصلة القوى =	0	N

العزم الكلي النهائي	KN.m	27.5017

الشكل (10) حساب العزم الإسمي لمقطع البلاطة المركبة بغاية المقارنة.



الشكل (11) مقطع البلاطة المركبة المقترحة والمزودة بالمقطع البوليميري من الألياف



الشكل (12) مقطع البلاطة المفرغة المكافئ لمقطع البلاطة المركبة المقترحة من حيث مساحة و ارتفاع البيتون و قضبان التسليح الطولي.

وبتكرار الحسابات السابقة لكل من المقطع المركب المقترح والمقطع المفرغ التقليدي لأجل مجموعة من سماكات البلاطة بغاية المقارنة نشكل الجدول (3) مع المحافظة على الخصائص الهندسية لكل المواد.

الرقم	الارتفاع الكلي	العزم الحدي M1 لحالة المقطع المركب KN.m	العزم الحدي M2 لحالة المقطع البيتوني المسلح KN.m	نسبة العزمين M1/M2
-1	120	48.513	13.942	3.48
-2	140	64.548	17.332	3.72
-3	160	82.752	20.722	3.99
-4	180	102.936	24.112	4.27
-5	200	124.948	27.502	4.54
-6	220	148.665	30.892	4.81
-7	240	173.992	34.282	5.08
-8	260	200.846	37.672	5.33
-9	280	229.158	41.062	5.58
-10	300	258.867	44.452	5.82

الجدول (3) المقارنة بين العزوم الإسمية لمقطع البلاطة المركبة مع مقطع البلاطة المفرغة المكافئة لأجل ارتفاعات مختلفة وذلك عند تغيير قيمة السماكة الكلية

من جدول نتائج المقارنة (3)، نلاحظ أنَّ مقطع البلاطة المركبة يعطي قيمة للعزم المقاوم الذي تتحمله أكبر بكثير (350% إلى 580%) مما تتحمله البلاطة المفرغة البيتونية المسلحة مع المحافظة على مساحة البيتون والفولاذ بينما تزيد البلاطة المركبة بوجود المقطع البوليميري، أي أنَّ الحاكم في المقارنة الاقتصادية هو سعر مادة المقطع البوليميري من الألياف الزجاجية مع الزيادة الكبيرة في طاقة المقطع المركب التي تسمح بتخفيض ارتفاع مقطع البلاطة وإمكانية زيادة الحمولات المطبقة بشكل كبير.

8- النتائج والتوصيات:

1- تم في هذا البحث إجراء دراسة رياضية اعتماداً على معادلات توازن القوى ودراسة تحليلية حاسوبية لمقطع البلاطة المركبة المقترح في برنامج العناصر المحدودة ANSYS وذلك بإدخال المواد المكونة لها بكل خصائصها المرنة واللاخطية، وبالمقارنة لوحظ أن النتائج كانت متقاربة (من 85% إلى 91%)، حيث تراوحت نسبة الخلاف من 9% إلى 15% كون معادلات التوازن تحسب قيم العزوم الإسمية للبلاطة بشروط مثالية أما النموذج الحاسوبي فيتأثر بشروط الاستناد وطريقة تقسيم العناصر وأسلوب تطبيق الحمولة.

2- عند إجراء المقارنة الاقتصادية بين المقطع المركب المقترح للبلاطة مع مقطع بلاطة بيتونية مسلحة عادية مماثلة من ناحية كمية البيتون والفولاذ وجد أن مقطع البلاطة المركبة يعطي قيمة للعزم المقاوم أكبر بكثير مما تعطيه البلاطات البيتونية المسلحة العادية (الزيادة تراوحت بين 350% و 580%)، والذي يحكم اقتصادية المقطع المركب هو سعر مادة المقطع البوليميري GFRP.

3- بالنتيجة أثبتت الدراسة كفاءة المقطع المركب المقترح للبلاطة لما لها من مزايا خفة الوزن وتخفيف كمية البيتون والفولاذ، إضافة أنها تعطي مقاطع رشيقة بسماكات خفيفة ومقاومة للعوامل الجوية ولا سيما الصدأ، مع دراسة الجدوى الاقتصادية لسعر مادة المقطع البوليميري.

4- نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث على النموذج المقترح للبلاطة المركبة.

9- المراجع

[1] Kinga Brózda, Jacek Selejdak, and Peter Koteš, "**The GFRP profiles as stay-in-place formwork** ", E3S Web of Conferences 49, 8, SOLINA (2018).

[2] K.M. El-sayed, H.M.Refaat, E.A.Radwan, " **Experimental and numerical study on RC beams with Stay-In-Place GFRP Forms**" ICASGE'1925 -28 March (**2019)**, Hurghada, Egypt.

[3] Martin Noël1 and Amir Fam, "**Design Equations for Concrete Bridge Decks with FRP Stay-in-Place Structural Forms**", DOI: 10.1061 / (ASCE) CC.1943-5614.0000681, (**2016**).

[4] **الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت**، الملحق 18، **القضبان البوليميرية** 2018 نقابة المهندسين **المسلّحة بالألياف.**

Efficiency Reinforced concrete slabs with GFRP polymeric profiles

Dr. Bassam Kanjo

Dept. of Structural Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Aleppo University

Abstract

In recent years, many new materials have been used in structural engineering appeared as additional materials to traditional materials (concrete and steel).
These materials behavior is like a composite structural element and add new characteristics to the different structural elements (slabs, joists, columns).
the most famous of these materials are both glass and carbon polymeric fibers (GFRP, CFRP), and modern industries have worked on forming these fibers in multiple forms, including FRP reinforcing bars, FRP Profile Sections.
This paper was conducted in two parts: an analytical study of mathematical formals and a computer modeling using one of the advanced finite element programs ANSYS, of the structural behavior (especially the strength) of a new type of reinforced concrete slabs with GFRP polymeric sections that are being used as a stay-in-place (SIP) formwork, with the advantages of strength and flexibility it provides.
A comparison was done between the proposed new section of the composite slab with the traditional one-way hollow-block reinforced concrete slab section.
As a result, this study proved the efficiency of the proposed composite section of the slab because of its advantages of light weight and because of the reduce of the amount of concrete and steel, in addition to that it gives graceful sections with light thickness and resistance to weathering, especially rust.
As result of the feasibility study of the polymeric section material, we recommend that more research need to be done on the proposed model of the composite slab.

Key Words: Axial load, Tubular, GFRP, Composite Columns , polymeric section.