إستخدامات ومستقبل القضبان المركبة على صناعة التشييد بالسودان

علي حسين محمد علي^{1*}، مها مصطفى الطاهر²

¹ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والعمارة، جامعة بحري، الخرطوم، السودان

² وزارة البنى التحتية والمواصلات، مستشار الوزارة وهيئة الطرق والجسور، الخرطوم، السودان

* Corresponding author: Ali Hussein (e-mail: alibass288@hotmail.com).

Article history: Received 11 March 2020, Received in revised form 4 November 2020, Accepted 11 November 2020

ABSTRACT The In the 1960s, composite materials began to spread. These are materials that are made up of two different materials or more, and each material gives its best properties to obtain a compound with distinctive characteristics, the first of which is a reinforcing material that can be in the form of fibers made of high-resistance materials (such as carbon or glass fibers, for example), and the second material is one of plastics or colloidal polymers (Matrix), which give the final product its required form and it is called the incubator, and the mechanical properties of the final product are different from those of any of its composites. Composite materials have spread tremendously during the short period of their life due to their excellent mechanical properties compared to their low weight, they have entered all engineering fields, although they were originally born in the world of aircraft and spacecraft industry, where light weight plays a major role in the selection of materials. All objects designed from composite materials are assumed to have long life, so the materials involved are non-dissolved. However, this feature has recently become undesirable due to the difficulty in disposing of compounding materials after their useful life. For these reasons, research has recently tended to arrive at green composite materials that are organic biodegradable so that they degrade in the soil after being buried, i.e. as living organisms after their death, or they are reusable after the end of their life. The paper presents the latest developments in three important areas related to composite materials. The first is in the manufacture of fiber-reinforced bars, the second in technical requirements and the precautions to be known, and the third in use and its future in the construction industry in Sudan.

مستخلص: في الستينات من القرن الماضي بدأ إنتشار المواد المركبة (Composite materials). وهي المواد المؤلفة من مادتين مختلفتين أو أكثر وكل مادة تعطي أفضل خصائصها للحصول علي مركب ذي مواصفات مميزة، وأولاهما مادة تقوية يمكن أن تكون على شكل ألياف (Fibers) مصنوعة من مواد عالية المقاومة (كألياف الكربون وألياف الزجاج مثلاً)، والمادة الثانية هي إحدى اللدائن أو البوليمرات الغروية (Matrix)، التي تعطي المنتج النهائي شكله المطلوب وتسمى المادة الحاضنة، وتكون الخواص الميكانيكية للمنتج النهائي مغايرة لخواص أي من المواد المؤلفة له. وقد إنتشرت المواد المركبة إنتشاراً هائلاً خلال الفترة القصيرة من عمرها نظراً لخواصها الميكانيكية الممتازة مقارنة بوزنها المنخفض، فدخلت في كل المجالات الهندسية، رغم أنها ولدت أصلاً في عالم صناعة الطائرات ومركبات الفضاء، حيث تلعب خفة الوزن دوراً رئيسياً في إختيار المواد. إن كل الأشياء المصممة من المواد المركبة يُفترض لها عمر طويل، ولذا فإن المواد الداخلة فيها مواد غير متحللة. لكن هذه الخاصية أصبحت في الآونة الأخيرة غير مرغوب فيها نظراً لصعوبة التخلص من المواد المركبة بعد إنتهاء عمرها الافتراضي. لهذه الأسباب فقد إتجهت الأبحاث في الآونة الأخيرة نحو التوصل إلى مواد مركبة خضراء تكون قابلة للتحلل عضوياً بحيث تتحلل في التربة بعد دفنها (Green composite materials)، أي كالكائنات الحية بعد موتها، أو تكون قابلة لإعادة الإستخدام بعد إنتهاء عمرها الافتراضي. وهذه الورقة تقدم أحدث التطورات في ثلاثة مجالات مهمة تتعلق بالمواد المركبة. الأول في تصنيع القضبان المقواه بالألياف، والثاني في الإشتراطات الفنية والمحاذير الواجب معرفتها، والثالث في الإستخدام ومستقبلها في صناعة التشييد في السودان من حيث قابلية إستخدام القضبان في السودان وكذلك توضيح خصائصها لنشر التعريف بها، كما قدمت الدراسات في هذا المجال لإدارة المباني بوزارة التخطيط العمراني لوضع اللوائح الخاصة بالإستخدام والمساعدة في وضع مرشد لها.

الكلمات المفتاحية: المواد المركبة، ألياف الكربون، ألياف الزجاج، اللدائن، البوليمرات الغروية، مواد مركبة قابلة لإعادة الاستخدام، والمواد الصديقة للبيئة.

1. المقدمة

الموضوع. وفي إبريل 2008، أعلن الإتحاد الأمريكي لمصنعي المواد المركبة عن إستحداث مركبات البلاستيك المقوى بالألياف ضمن مدونة المباني الدولية - وهي مدونة عصرية للمباني طرحها مجلس المدونة الدولي لتشجيع إعتداد المركبات في البناء والإنشاء.

وفي عام 2008 أيضًا نجح فريق مكون من أعضاء الإتحاد الأمريكي لمصنعي المواد المركبة وجامعة ميامي في تقديم معايير جديدة حول إستخدام قضبان التسليح المركبة في الخرسانة، وقد تم إدراجها في المعهد الأمريكي للخرسانة. وبعد عملية صارمة قامت لجنة (440) من المعهد بتبني المعايير الجديدة المصممة لتزويد مصنعي قضبان التسليح المركبة بأدوات هامة لمساعدة المهندسين على إختيار مركبات قضبان التسليح في الإستخدامات الهيكلية [2]، [3]، [4]، [5]. وقد ساعدت تلك المعايير، إضافة إلى مواصفات التصميم من المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI 440.2R-06) على تشجيع إستخدام قضبان التسليح من مركبات البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية، واعتبرته أسهل في الإنتاج وقامت بتأهيله للإستخدام في المهمات المحتملة. وتُعد المواد المركبة من المواد ذات التكنولوجيا المتقدمة، ويعتبر حجم إستعمال هذه المواد أحد المؤشرات على التقدم الصناعي في بلد ما. ويظهر الجدول (I) توزع إستهلاك المواد المركبة في مناطق العالم المختلفة [6].

الجدول I: توزع إستهلاك المواد المركبة في مناطق العالم.

النسبة المئوية	المنطقة
40 %	أمريكا الشمالية
35 %	أوروبا
22 %	آسيا
3.0 %	بقية مناطق العالم

1.2: التصنيع

المعروف أن اللدائن (Plastics) أو البوليمرات (Polymers) تنقسم إلى نوعين: لدائن التصلد الحراري (Thermosets) وهذه تتصلد وتأخذ شكلها النهائي عند تشكيلها لأول مرة ولا يمكن إعادة تشكيلها بالتسخين، ولدائن حرارية (Thermoplastics) وهذه يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين. وحيث أن الحديث هنا عن إعادة التصنيع فإن لدائن التصلد الحراري لا تصلح في هذا المجال. وبالفعل كانت نقطة البداية لإنتاج مواد مركبة هي إستخدام اللدائن الحرارية مثل البولي بروبيلين (PP)، والبولي أولوفين (Polyolefin)، والبولي إيثيلين (Polyethylene)، والبولي يوريثين (Polyurethane)، والبولي أميد (Polyamide)، والبولي فينيل كلورايد (Polyvinylchloride, PVC) مع ألياف من أصل نباتي وقابلة للتحلل حيويًا [7].

يُستخدم حالياً في الهندسة الإنشائية العديد من أنواع المواد المركبة المستحدثة ومنها:

ولدت المواد المركبة في مجال هندسة الطيران والفضاء بسبب خفة وزنها، حيث تلعب خفة الوزن أهمية قصوى في إنشاءات الطائرات والمركبات الفضائية. وتتألف هذه المواد كما هو معلوم من ألياف (Fibres) ذات مقاومة عالية (Strength) وجساءة مرتفعة (Stiffness)، مثل ألياف الزجاج (GFRP) وألياف الكربون (CFRP) وألياف الأراميد (AFRP)، مغمورة في مادة لدنة (Plastic) أو مُبلّمة (Polymer) أو راتنج جلاتيني (Resin) خفيفة الوزن، مثل البوليستر (Polyester) والإيبوكسي (Epoxy) تؤلف المادة الرابطة (Matrix) بين الألياف، كما تقوم بنقل إجهادات القص (Shear stress) بين الألياف، وتأمين الحماية لها من أي مادة ضارة خارجية [1]. إن الفائدة الرئيسية من إستخدام المواد المركبة هو الحصول على خواص مشتركة بين المواد التي تكون المادة المطلوبة (أي الحصول على صفة لا تمتلكها كل من المواد المشاركة). ومن أهم المزايا التي تتصف بها المواد المركبة مرونة التصميم، إذ يستطيع المهندس أن يصممها بحيث يضع الألياف في إتجاه الأحمال، مما يؤدي إلى إستخدام أمثل للمادة وبالتالي إلى إنخفاض أكبر في وزن الإنشاء النهائي. وقد إنتشرت المواد المركبة في كل التطبيقات لاسيما في الإنشاءات التي تتطلب مقاومة مرتفعة من خفة الوزن. وقد أثبتت هذه المواد نجاحاً كبيراً في الإستخدامات (الفضائية، النقل، الصناعة المدنية والعسكرية، الصناعات الزراعية، الصناعات الطبية.....الخ). وقد كان السبب الرئيسي في تأخر إستخدام المواد المركبة المستحدثة في تطبيقات الهندسة الإنشائية هو إرتفاع تكلفتها، ولكن في العشر السنوات الأخيرة إنخفضت هذه التكلفة بنسبة كبيرة مما ساعد على إستخدام هذه المواد بصورة واسعة في مختلف مجالات الهندسة الإنشائية.

2. تطور ونشأة قضبان التسليح المركبة

إن تطوير معايير أساسية لقضبان التسليح المركبة والمصنوعة من البلاستيك المقوى بالألياف قد شجع على قبول هذا النوع من قضبان التسليح تجارياً في الدول الصناعية. وقد تم إعتداد تلك المادة أخيراً من قبل مدونة المباني الدولية ويمكن إعتبارها نقطة تحول في قطاع البناء والإنشاءات العالمي.

ونظراً لأسس المعايير والاعتماد تعد أمريكا الشمالية منطقة رائدة في إستخدام قضبان التسليح المصنوعة من البلاستيك المقوى بالألياف لتقوية الخرسانة. وقد بدأ هذا المفهوم في أوائل التسعينيات حيث مهد الطريق إلى إجراء العديد من التجارب المكثفة وقبول تلك المادة تجارياً في نهاية الألفية. وقد قام المعهد الأمريكي للخرسانة والجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين بإعداد خطوط إرشادية لاستخدام قضبان التسليح المصنوعة من البلاستيك المقوى، بينما قامت شبكة مراكز التميز الكندية للهياكل المبتكرة بنشر خطوط إرشادية للتصميم وكتيب إرشادي حول هذا

الخواص الفيزيائية مثل المحتوى الليفي، درجة حرارة تحول الزجاج وقطر القضبان المركبة وفقاً للمواصفة الأمريكية [ACI 440.6M-08]. والجدول (II) يوضح مقارنة بعض الخصائص بين قضبان الألياف الزجاجية وحديد التسليح.

(ج) رقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون.

الشكل 1: بعض أنواع المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج والكربون.

الشكل 2: إحدى طرق التصنيع بالسحب للمواد البوليمرية المسلحة بالألياف (PULTRUSION PROCESS).

2.3: الإشتراطات الكيميائية

إن البوليمر (أو ما يسمى في بعض الأحيان بالجزء العملاق) كلمة لاتينية تتكون من مقطعين "بولي" وتعني "متعدد" والمقطع "مير" وتعني "الوحدة" أي أنها تعني متعدد الوحدات.

وسنستخدم في هذه الورقة كلمة بوليمر للتيسير. إن جزيئة البوليمر هي جزيئة كبيرة (لها وزن جزيئي عالي ما بين $10^3 - 10^6$) تتكون من جزيئات كيميائية صغيرة مرتبطة مع بعضها بروابط كيميائية. فقد تكون هذه الجزيئات مرتبطة مع بعضها بشكل خطي فيدعى البوليمر بالبوليمر الخطي، وأحياناً أخرى تكون الجزيئة البوليمرية متفرعة فيدعى بالبوليمر المتفرع وقد تكون الفروع في سلسلة البوليمر ذات تركيب مشطي أو ذات تركيب سلمي أو ذات شكل صليبي. وقد تختلف هذه التفرعات في أطوالها وفي بعض الحالات تكون هذه التفرعات متشابكة مع بعضها فيدعى بالبوليمر المتشابك. وهناك عدة مكونات كيميائية تؤثر في نوع الألياف الزجاجية كما موضح في الجدول (III).

(1) قضبان مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون وتستخدم كبدايل لحديد التسليح في الخرسانة المسلحة.
(2) قضبان أو كابلات من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون حيث تستخدم بصورة رئيسية كبدايل لكابلات سبق الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد أو كبدايل لكابلات الجسور المعلقة.
(3) ألواح ورقائق مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون وتستخدم في تقوية وتدعيم وإعادة تأهيل المنشآت بصفة عامة. ويوضح الشكل (1) بعض أنواع المواد المركبة المستحدثة. ومن أشهر الطرق المستخدمة في تصنيع المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون عملية التصنيع بالسحب (Pultrusion process) الموضحة بالشكل (2). وتصنف المواد البوليمرية المسلحة بالألياف والمستخدمه في تطبيقات الهندسة الإنشائية طبقاً لنوعية الألياف المستخدمة بها حيث تعد المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون الأكثر شيوعاً وإستخداماً في المنشآت [8].

3. الإشتراطات الفنية

فقضبان التسليح المصنوعة من تلك المادة تتمتع بمقاومة عالية ضد التآكل (غير نافذة لأيونات الملوحة والقلوية كما في الخرسانة)، كما أنها خفيفة الوزن (حوالي 25 بالمائة من وزن حديد التسليح). ونظراً لأن قضبان التسليح المصنوعة من البلاستيك لا تحتوي على معادن فإنه لن يحدث أي تفاعل عند ملاستها للحقول المغناطيسية القوية أو عند تشغيل معدات كهربائية حساسة، بمعنى آخر إنها شفافة تجاه الحقول المغناطيسية والترددات الأسلكية. وتتميز تلك القضبان أيضاً بأنها غير موصلة كهربائياً وحرارياً.

(أ) قضبان المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون.

(ب) قضبان المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج.

1.3: الإشتراطات الفيزيائية

وعليه تعتمد خواص المواد البوليمرية المسلحة بالألياف على نوع الألياف المستخدمة بها ويوضح الجدول (IV) مقارنة بين بعض خواص هذه المواد وخواص حديد التسليح أو الحديد العالي المقاومة المستخدم في سبق الإجهاد [4].

4. إستخدامات القضبان المركبة

مرجعيات التصميم بإستخدام هذا المنتج كمادة لتسليح المنشآت تطورت كثيراً في العقدین الأخيرین تحت مظلة المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI) والذي أصدر العديد من المرشد لإستخدام المادة وقد ختمت بالمرشد [ACI 440IR-15] الصادر في مارس 2015م كدليل للتصميم والتشييد للخرسانة المسلحة بقضبان البوليمر المسلحة بالألياف (FRP bars) علماً بأن هذا المرشد يسود على ما قبله من المرشد الصادرة من المدونة الأمريكية (ACI).

الجدول IV: بعض الخواص الميكانيكية للمواد البوليمرية المسلحة بالألياف.

الخواص	GFRP Bars	CFRP Bars	Steel Bars	Prestressed Steel
مقاومة الشد الطولية (MPa)	1,180	4,300	460	1,860
مقاومة الشد العرضية (MPa)	39	98	460	1,860
معامل المرونة الطولي (GPa)	39	143	200	190
معامل المرونة العرضي (GPa)	8.6	10.3	200	190
نسبة بواسون في الإتجاه الطولي	0.28	0.27	0.3	0.3
نسبة بواسون في الإتجاه العرضي	0.06	0.02	0.3	0.3
الإنفعال الأقصى في الإتجاه الطولي (%)	2.8	1.7	12	4.0
الوزن النوعي (جم/سم ³)	2.1	1.6	7.85	7.85

مهم جداً الإلمام بمحددات إستخدام القضبان المركبة الآتية:

- توجد محازير وإشترطات مهمة عند التوريد، الترحيل والتخزين وذلك وفقاً للفقرة (1.5) من المرشد الأمريكي [ACI 440.5-08].
- عدة أنواع من القضبان المركبة لا تظهر نقطة خضوع قبل الإنهيار، لكونها مادة قصفة.
- معايير مرونتها منخفض ومتغير مع نوع الألياف المكونة لها.

الجدول III: المكونات الكيميائية للألياف الزجاجية.

Type of Fibers	Ingredients (wt%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O ₃
E-glass	54.5	14.5	17	4.5	8.5	0.5
S-glass	64	26	—	10	—	—

الجدول II: مقارنة الخصائص بين قضبان حديد التسليح والألياف الزجاجية.

Property	Steel Rein. Dia.	GFRP Rein. Dia.
GFRP equivalents for replacement steel rebars	6 mm	4 mm
	8 mm	6 mm
	10 mm	7 mm
	12 mm	8 mm
	14 mm	10 mm
	16 mm	12 mm
	18 mm	14 mm
	20 mm	16 mm
Weight (kg) [Equal to strength]	6 mm – 0.222	4 mm – 0.02
	8 mm – 0.395	6 mm – 0.05
	10 mm – 0.67	7 mm – 0.07
	12 mm – 0.92	8 mm – 0.08
	14 mm – 1.28	10 mm – 0.10
	16 mm – 1.58	12 mm – 0.20
	18 mm – 2.00	14 mm – 0.35
	20 mm – 2.47	16 mm – 0.35

3.3: الإشتراطات الميكانيكية

أن دراسة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية من الأمور المهمة جداً التي يجب أخذها بنظر الإعتبار لأنها تحدد سلوكية هذه المواد تحت تأثير الإجهاد المسلط عليها [9]، وتحت تأثير مختلف الظروف الخارجية من ضغط ودرجة حرارة وزمن الإجهاد المسلط وسرعة الإجهاد وطبيعة المذيبات الكيميائية وغيرها من العوامل الأخرى التي تؤثر كثيراً على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة ذات الأساس البوليمري فتعتبر دراسة الخواص الميكانيكية من الأمور المعقدة جداً لتعدد المتغيرات المؤثرة على كل خاصية [10]، والتي بعد معرفتها يمكن إختيار المادة المناسبة لأغراض تطبيقية وحسب طبيعة المادة. ولذلك نجد أن الخواص الميكانيكية للمواد المركبة تعتمد على عدة عوامل أهمها:

- (1) الخواص النوعية لطور الأساس (Matrix) والطور الذي يقوم بالتقوية (Reinforcing Phase).
- (2) الكسور الحجمية (Volume Fraction).
- (3) شكل وحجم وكيفية توزيع وإتجاه الطور الذي يقوم بالتقوية.
- (4) الربط بين الطور الذي يقوم بالتقوية وطور الأساس.

2. ومن الأمثلة الخاصة أيضاً الهياكل التي تقام بالقرب من مياه البحر مثل الأرصفة البحرية، والجدران الحاجزة، والمصدات المائية، والدعامات، والمنصات البحرية.

3. عمليات تشييد الجسور وحواجز الصد.

5. المحازير البيئية

1.6: المحازير الناتجة من الاستخدام

يجب الإنتباه لإختيار نوع الألياف الزجاجية المناسبة للتطبيق الانشائي وإلا سوف يفقد العنصر تماسكة نسبة لضعف الترابط ما بين أجزاءه ويتآكل. وهناك أنواع وهي موضحة بالجدول (V).

الشكل 3: التطبيقات الإنشائية للمواد المركبة.

الشكل 4: استخدام القضبان المركبة في الأساس الصغيرة.

2.6: مميزات عامة

(1) تعتبر مادة الألياف الزجاجية (GFRP) مادة صديقة للبيئة ولاتسبب تلوث ومرنة لأنها في الأساس تصنع من الرمل بعد صهره وبقته في شكل خيوط يتم نسجه ومن ثم تشكيلها.

(2) تتميز المواد المركبة (GFRP و CFRP) بأن لها نمو بكتيري منخفض وبالتالي لا تؤثر على صحة الإنسان (غير سامة).

- مقاومة شد منخفضة في الإتجاه العرضي وذلك وفقاً لطبيعة النسيج.
- مقاومة قص منخفضة.
- ديمومة منخفضة في الأوساط الرطبة والحمضية والمالحة والقاعدية.
- معامل تمدد حراري عالي في الإتجاه العمودي للألياف مقارنة بالخرسانة.
- المقاومة للحريق يمكن أن تقل عن المطلوب اعتماداً على نوع تكوين البوليمر المستخدم لإنتاج القضبان.
- قبل التشكيل والتثبيت في الموقع لا بد من إرسال المخططات التنفيذية (Shop drawings) للجهة المصنعة وذلك لإستحالة تشكيل المنتج بعد التصنيع وذلك وفقاً للفقرتين (1.4) و (2.2) من المرشد الأمريكي [ACI 440.5-08: Specification for construction with FRP Bars].
- بالمقارنة مع الفولاذ يمكن تلخيص الفروقات التصميمية بينهما كما يلي وذلك وفقاً للمرشد الأمريكي [ACI 440.1R-15: Guide for the Design and Construction with FRP Bars]:
 - أ- الفولاذ مادة موحدة الخواص (Isotropic) بينما قضبان البوليمر (FRP bars) غير موحدة الخواص (Anisotropic) خاصة فيما يخص معامل التمدد الحراري.
 - ب- الفولاذ مادة مرنة لها خاصية الخضوع (Yielding) بينما قضبان البوليمر مرنة ليس لها هذه الخاصية مما يجعلها غير مناسبة للإستخدام في الهياكل الخرسانية التي تتطلب إعادة توزيع العزوم (Moment Redistribution).
 - ج- يزيد الإجهاد الأقصى للفولاذ عن قضبان البوليمر المقواة بالألياف الزجاجية (GFRP) بينما تتفوق قضبان الكربون (CFRP) والأرميد (AFRP) على الفولاذ في قيمة إجهاد الشد الأقصى.
 - د- معايير المرونة (E) لقضبان البوليمر (FRP) في حدود 25% - 50% من معايير المرونة للفولاذ مما يجعل التصميم بقضبان البوليمر (FRP) محكوماً بصورة رئيسية بالتصميم المرن وكذلك بحدود الإستخدامية (SLS) من ترخيم (Deflection) وغيرها.
 - هـ- يصعب ثني قضبان البوليمر (FRP) وإذا تم ثنيها تفقد 40% - 50% من مقاومتها لقضبان البوليمر عند التصنيع.
 - و- لا يحبذ إستخدام قضبان البوليمر (FRP bars) في العناصر التي تتعرض لمقاومة الضغط (Compression)، على سبيل المثال الأعمدة.
- ونجد أن للقضبان المركبة إستخدامات كثيرة ونذكر منها على سبيل المثال وليس الحصر الآتي:
 1. عمليات حفر الأنفاق التي تحتاج إلى تقوية الهياكل الخرسانية المؤقتة. ومن الأمثلة التقليدية على ذلك هياكل النقل السريع الواقعة تحت الأرض، وجدران المناجم وأعمدة الإنارة الرأسية الواقعة تحت الأرض.

وأمان التصميم، كفاءة العاملين في المجال من موردين، مصممين ومنفذين.

7. التوصيات

من خلال نتائج الدراسة والإطلاع على الدراسات والبحوث القليلة عن القضبان المركبة المصنوعة من البلاستيك والمقواه بالألياف نستخلص التوصيات الآتية:

1- شكل هذا العمل فرصة لسير المجالات الواسعة للمواد المركبة في التطبيقات الهندسية المختلفة.

2- من الجدير التأكيد على ضرورة عدم التأخر في التوسع في دراسة المواد المركبة، ألياف، بوليمر ومواد نانومترية في السودان إذا ما أردنا طرق باب الصناعات المتقدمة وخاصة في مجالات الهندسة الإنشائية، الطيران، السيارات والصناعات البحرية وغيرها.

3- كما يجدر السعي لتأمين المعامل المختبرية المرجعية والتجهيزات والورش الضرورية للتعامل العلمي والعمل مع هذه المواد من أجل تفعيل محور البحث لتلافي الهوة الكبيرة مع الدول المتقدمة.

4- محاولة توطيد صناعة القضبان المركبة وبعض تقانات المواد الأولية وتقنيات التصنيع للمواد المركبة.

5- إن توفر المواد الأولية لصناعة المواد المركبة محلياً سيؤدي إلى توسع إستعمالها وخفض تكلفتها والتخلص من إحتكار هذه المواد.

6- على الوزارات ذات الصلة مواكبة التطور وذلك بوضع التشريعات والقوانين اللازمة حتى يتسنى إدراج المنتج في لوائح البناء بولاية الخرطوم على وجه الخصوص والولايات الأخرى على وجه العموم.

7- التأهيل العلمي والفني للكادر الهندسي بإدارة المباني بوزارة التخطيط العمراني والذي يقوم بمراجعة وإعتماد وتصديق التصميم للمنشآت التي يُستخدم فيها المنتج.

8- على الباحثين الجدد دراسة خواص وصفات القضبان المركبة الأخرى التي أوصت المواصفات العالمية بإتباعها ومطابقتها لكي نخرج بإستنتاجات موثوقة.

9- أظهرت الحقائق العلمية والمهنية أن نجاح إستمرار إستخدام هذه المواد في السودان يعتمد كلياً على وجود معامل مؤهلة للإختبار ومصانع أو ورش ذات كفاءة عالية لتجهيز القضبان لمختلف أغراض التسليح وخاصة **القضبان المنحنية**، كون أن المادة محدودة المرونة عند الثني والقتل، **فإنه لا يسمح بإعادة تشكيل قضبان البوليمر بالثني أو بالتسخين بعد التصنيع.**

8: المراجع والمصادر

- (1) G. Marsh, "Next step for Automotive Materials", Materials Today, 6(4), PP 36- 43, (2003).
- (2) ACI 440.1R-15, "Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars", ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (2015), 88pp.

الشكل 5: إستخدام القضبان المركبة في بلاطة الجسر.

(3) لها مقاومة عالية للأحماض القلويات فبالنتالي هي غير قابله للتحلل وتعيش لفترات زمنية طويلة تتجاوز الثمانين (80) سنة، وهي غير ملوثة للبيئة.

الشكل 6: إستخدام القضبان المركبة في الحوائط الساندة.

الجدول V: يوضح أنواع الألياف الزجاجية وخصائصها العامة [11].

النوع	المؤشرات أو الخصائص العامة
E	للإستخدامات العامة وله خصائص كهربائية جيدة
D	له خصائص عزل كهربائي
A	مقاومة عالية للقلويات
C	مقاومة كيميائية
S	مقاومة ميكانيكية عالية
R	مقاومة ميكانيكية عالية
AR	مقاومة للقلويات
E-CR	للإستخدام في بيئة حمضية

*المصدر (ISO 2078)

6. الخلاصة

من حيث المعلومات الواردة في الورقة وإستطلاع آراء الموردين لهذه القضبان بالسودان من خلال لجنة المواد الإنشائية بالهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس في العام 2018م، نوصي بإستخدام هذه المواد مع وضع المحاذير المذكورة أعلاه في الإعتبار من حيث التخزين، جودة

- (3) ACI 440.R-07, "Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (2007), 104pp.
- (4) ACI 440.5R-08, "Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars", ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (2008), 9p.
- (5) ACI 440.6M-08, "Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement", ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (2008), 10pp.
- (6) J.W. Weeton, D.M. Peters, K.L. Thomas, Engineers, "Guide to Composite Materials", American Society for Metals, Ohio, 1987.
- (7) محمود نديم نحاس، "أحدث التطورات في مجال المواد المركبة - المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام"، ورقة علمية، مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: العلوم الهندسية، م 16، ص ص 77-102، تاريخ النشر 1426هـ/2005م.
- (8) د. عزالدين يزيد سيد أحمد، "إعادة تأهيل وتدعيم منشآت الخرسانة المسلحة باستخدام المواد المركبة المستحدثة"، ورقة علمية، مجلة جامعة قطر، تاريخ النشر أبريل 2003م.
- (9) Marc Andrew Megers, Krishan Kumar Chawla, "Mechanical Behavior of Materials", Prentice Hall, New Jersey, (1999).
- (10) Brain S. Mitchell, "An Introduction to Materials engineering and Science for chemical and Materials engineering", 1th Edition, John Wily & Son, Inc, (2004).
- (11) Yarns, ISO 2078:2014, "Textile Glass Materials", Composites and reinforcement fibres committee.
- (12) ACI 440.5-08: Specification for construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing (FRP) Bars.
- (13) ACI 440-3R-12: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures.
- (14) ISO 10406-1:2015: Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete - Test Methods for Bars - Part [1].
- (15) ISO 10406-2:2015(E): Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete - Test Methods for Sheets - Part [2].
- (16) ISO 13270-2013(E): Steel Fibres for Concrete - Definitions and Specifications.

Dr. Ali Hussein Mohamed Ali

University of Bahri, College of Engineering & Architecture.

Department of Civil Engineering.

Date of birth: 1971 - Elobeid (N. K. state)

Ph.D in Structural Engineering - Karary University [2011].

M.Sc in Structural Engineering - SUST [2001].

B.Sc in Structural Engineering - SUST [1996].

Major field of study: Civil Engineering [Structures].