



Production Hollow Ferrocement Beams Through Solid Waste Recycling

Aziz Ibrahim Abdulla

Salwa Hadi Ahmad

انتاج الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة عن طريق تدوير النفايات الصلبة

عزیز ابراهيم عبدالله¹ سلوى هادي احمد²^{2,1} قسم هندسة البيئة، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة نظرية وعملية لسلوكية العتبات الفيروسمنتية المجوفة، والتي يتم عمل التجويف فيها باستخدام النفايات الصلبة المتمثلة بالقناني البلاستيكية والمعدنية الفارغة. كذلك تم صب عتبات غير مجوفة من الخرسانة المسلحة او من مونة السمنت المسلحة لأغراض المقارنة بين سلوكية الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة والاعتاب الخرسانية غير المجوفة. اظهرت النتائج امكانية انتاج عتبات مجوفة خفيفة الوزن باستخدام النفايات الصلبة وبكفاءة عالية. ان الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة ذات مقاومة جيدة ومطيلية ومتانة عالية حيث ان استخدام المشبكات السلكية يحول الفشل من فشل مفاجئ الى فشل تدريجي ويوزع التشققات على طول العتبات. كما بينت النتائج امكانية انتاج عتبات فيروسمنتية مجوفة بدون استخدام حديد تسليح والاكتفاء بالمشبكات السلكية مما يزيد من اقتصادية وسهولة انتاج هذه الاعتاب. واثبتت الدراسة ان الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة تفشل بحمل اعلى من الحمل التصميمي.

الكلمات الدالة: فيروسمنت، نفايات صلبة، عتبات مجوفة، كاربون فايبر.

Abstract:

Present research includes the study of theoretical and experimental behavior of hollow ferrocement beams, by using solid waste of empty plastic bottles and empty metal can. Solid reinforced concrete and reinforced cement mortar for the purposes of comparison between behavior of hollow ferrocement beams and solid beams were casted. The results showed the possibility and efficiently of producing lightweight hollow beams using solid waste. The hollow ferrocement beam have a good flexural strength resistance, toughness, and high ductility as use wired mesh converts a sudden failure to a gradual failure and distributes cracks along the beam. The results also show the possibility of the production of hollow ferrocement beams without rebar, where using of wire mesh only increasing the economic and easily produce these lightweight beams. The study proved that the ferrocement hollow beam fail under the load higher than the design load.

Keywords: Ferrocement, Hollow beam, Solid waste.

المقدمة

الفيروسمنت حيث درسوا تأثير كثافة واتجاه المشبكات السلكية على مقاومة الشد والضغط والانثناء للمقاطع الفيروسمنتية. وتبين لهم انه بالرغم من الاداء العالي للمواد الفيروسمنتية الا ان مقاومة الكلال قد تحد من قدرة هذه المقاطع. كما لوحظ ان التصميم المعتمد على عرض الشقوق للأحمال التشغيلية يبدوا اكثر واقعية. غالبا ما تستخدم مادة الفيروسمنت في تقوية او تأهيل العناصر الخرسانية المسلحة وذلك لما تتمتع به من مزايا، مثل قابلية التحمل العالية وخفة الوزن كونه اعضاء قشرية ذات حجم قليل. قام (Zamin و Al-Kubaisy, 2000) و (Jumaat [3]) بتقوية الاعتاب الخرسانية المسلحة

في بداية 1977 اطلقت اللجنة الخاصة بالفيروسمنت في معهد الخرسانة الاميركي المدونة المرقمة (ACI 549) لأول مرة تلتها اصدارات لاحقة خلال الاعوام 1980 و 1988 إلى 1997 والتي اعيد طباعتها عدة مرات. تلى ذلك دراسات عديدة اشهرها ما قام به الباحث (Naaman, 1979) [1]، ومن ابرز مساهماته دراسة كمية وعرض الشقوق في الاعضاء الفيروسمنتية تحت تأثير اجهادات الشد والانثناء بموجب الاحمال التشغيلية. كما قدم (Gordon, et al., 1979) [2] تقريراً مفصلاً عن حقائق وتطبيقات

الغازية المعدنية او قناني العصائر البلاستيكية مما يعطي الدراسة بعدا اخر باتجاه تدوير النفايات وهندسة الاستدامة. كما ذكر سابقا فان الاعتاب المجوفة تحتاج الى سيطرة على التشققات وهذا ما يوفره الفيروسمنت باحتوائه على المشبكات السلكية وبكثافة عالية اضافة الى المزايا الاخرى للفيروسمنت مثل زيادة المطيلية والمتانة ومقاومة الصدمات والديمومية العالية.

الهدف من الدراسة

ان الهدف من الدراسة هو الاستقصاء العملي والنظري لسلوك الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة، والمنتجة باستخدام النفايات الصلبة. يتم دراسة سلوك الاعتاب نظريا وعمليا وصولا لإثبات كفاءة استخدام مثل هذه الاعتاب واقتصاديتها ومساهمتها في تدوير النفايات الصلبة.

الدراسة النظرية

تتضمن الدراسة النظرية دراسة حمل الفشل التصميمي للأعتاب المصمتة والاعتاب الفيروسمنتية المجوفة. الشكل (1) يمثل مقطعا في الاعتاب الفيروسمنتية المستخدمة في الدراسة، والتي تكون على شكل عتب مربع المقطع وفي منتصفه تجويف يتكون من قناني المشروبات الغازية المعدنية الفارغة او قناني العصائر البلاستيكية. يتم اهمال تأثير مواد التجويف على مقاومة العتبات بالرغم من ان الدراسة العملية أثبتت ان مواد التجويف تساهم في زيادة المقاومة. التجويف الوسطي يكون محاطا بالتسليح المتكون من حلقات القص والتسليح الرئيسي والمغلف بطبقات من المشبكات السلكية بحيث يكون معدل سمك الفيروسمنت المحيط بالتجويف 5سم. يتم استخدام طريقة المقاومة القصوى لحساب العزم الذي يحدث عنده الفشل ويتم اعتبار المشبك السلكي المستخدم حديد تسليح ذو قطر قليل يولد عزما يساوي مساحته في بعده عن مركز منطقة الانضغاط وهكذا كل سلك له بعد معين عن مركز منطقة الانضغاط اما الاسلاك في الاتجاه الاخر فهي تعمل لزيادة مقاومة القص. وكما في المعادلة التالية (Alnuaimi et al., 2008):

$$P_{u_{the}} = 4Mn/L \quad (1)$$

$$Mn = Asfy(d-a/2) \quad (2)$$

Or

$$Mn = \sum Asfy(d-a/2) \quad (3)$$

When using wire mesh

حيث أن :

$P_{u_{the}}$ = حمل الفشل النظري بوحدة N

Mn = العزم الأقصى الذي يتحملة العتب بوحدة N.mm

As = مساحة حديد التسليح بوحدة mm^2

f_y = إجهاد الخضوع لحديد التسليح بوحدة N/mm^2

d = العمق الفعال للعتب بوحدة mm

a = عمق منطقة الانضغاط الفعالة بوحدة mm

يتم مقارنة العزم الأقصى الذي تتحملة الاعتاب والمحسوب نظريا مع العزم الذي يتم الحصول عليه عمليا.

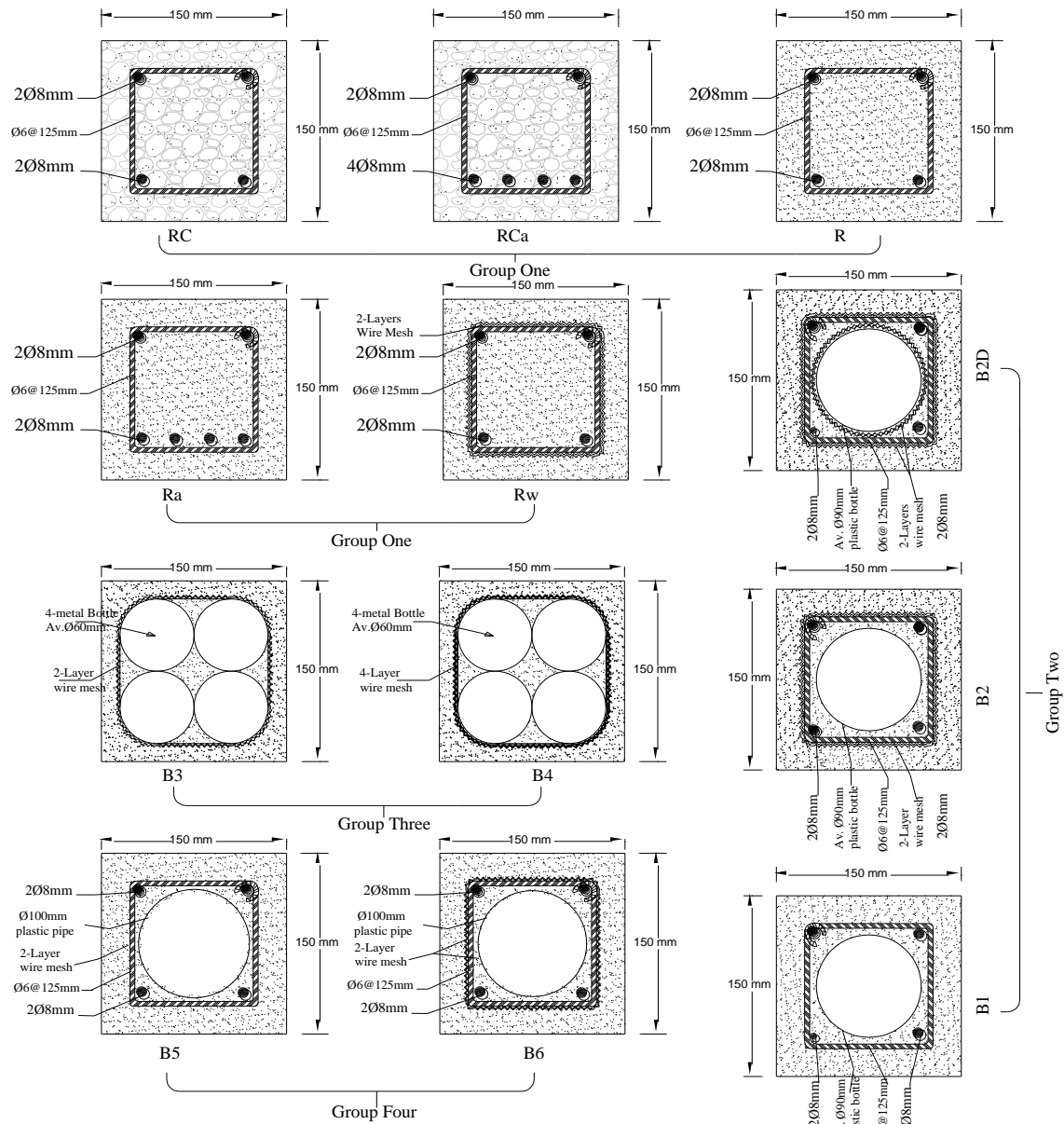
باستخدام المشبكات السلكية ولاحظا زيادة ملحوظة في قيم مقاومة العزوم والقص وتقليل من الاود. اما فيما يتعلق بدراسة العتبات الخرسانية المجوفة فقد اجرى (Wegian and Almottiri, 2007) [4] دراسة على الاعتاب المجوفة التي تنتج باستخدام الكتل الخرسانية المجوفة (البلوك المجوف) حيث يتكون العتب المجوف من ساقين من الكتل الخرسانية المجوف يفصل بينهما مونة السمنت والتسليح وتمت مقارنة تصرف هذه الاعتاب مع الاعتاب الخرسانية العادية، كذلك تم تقوية هذه الاعتاب بعد الفشل بالفايبر الزجاجي لمعرفة تقبل مثل هذه الاعتاب لإعادة التأهيل، وتمت المقارنة بين حمل الفشل قبل وبعد التأهيل، بينت الدراسة ان الاعتاب القصيرة المجوفة المصنوعة بهذه الطريقة تفشل بتشققات القص، بينما كانت الاعتاب الطويلة تفشل بتشققات الانثناء والتي تبدأ من الفاصل بين سافي العتب. كذلك فان كمية حديد التسليح حتى اذا كانت قليلة جدا فإنها تبقى مفيدة في زيادة قابلية التحمل. بعد اعادة تأهيل العتبات بالفايبر الزجاجي وفحصها تبين ان الاعتاب المجوفة تتقبل اعادة التأهيل افضل من الاعتاب الاعتيادية.

أجرى (Alnuaimi et al., 2008) [5] دراسة مقارنة لسلوكية كل من الاعتاب الخرسانية المصمتة والمجوفة تحت تأثيرات الانحناء والقص اضافة الى عزوم اللي. حيث تم صب اربع عشرة عتبا خرسانيا مسلحا سبعة منها مصمتة وسبعة اخرى مجوفة. لوحظ ان مقاومة المقاطع المصمتة للتشققات اكبر من المقاطع المجوفة، ولوحظ ان الاعتاب المجوفة تفشل بحمل اقل من الحمل التصميمي على عكس الاعتاب المصمتة، مما يدل على ضرورة السيطرة على التشققات في الاعتاب المجوفة.

قام (Vesel Yazici, 2012) [6] بدراسة سلوكية الاعمدة الخرسانية المسلحة والمجوفة، حيث قام بصب 18 عمود. المجموعة الاولى تتكون من تسعة اعمدة قصيرة بارتفاع 500 ملم والمجموعة الثانية تتكون من تسعة اعمدة طويلة بارتفاع 885 ملم. كل مجموعة تم تقسيمها الى ثلاث مجاميع فرعية حيث كل مجموعة فرعية تم تقويتها بتشكيلة مختلفة من الياف البوليمر. تم فحص الاعمدة تحت تأثير حمل انضغاط محوري متركز وغير متركز. تم مقارنة النتائج العملية بالحسابات النظرية. اظهرت النتائج العملية توافقا مع التحليل النظري في حدود الاحمال الخدمية، كما بينت النتائج ان الياف البوليمر تزيد من كفاءة الاعمدة المجوفة بشكل كبير.

من الدراسات السابقة المتوفرة يتبين أمران مهمان هما عدم وجود دراسات سابقة عن الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة واهمية السيطرة على التشققات في الاعتاب الخرسانية المجوفة.

غالبا ما تكون بحوث الفيروسمنت منصبة على المقاطع المصمتة او القشرية من اعتاب وسقوف، اما الاعتاب المجوفة فغالبا ما تكون من الخرسانة المسلحة. على حد علم الباحث لا توجد دراسة سابقة نظرية او عملية حول الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة. تتناول الدراسة الحالية سلوكية الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة باستخدام القناني الفارغة، وهي عتبات تتميز بخفة وزنها وسهولة تنفيذها وصيها ونقلها اضافة الى كونها اقتصادية حيث يتم حذف جزء كبير من المقطع وتعويضه بالتجويف الوسطي عن طريق استخدام النفايات الصلبة من قناني المشروبات



شكل (1) تفاصيل مجاميع الأعتاب المستخدمة في البحث

خطة البحث العملية

- ج- أعتاب من مونة السمنت يرمز لها R ومقدار تسليحها 2φ8mm.
- د- أعتاب من مونة السمنت يرمز لها Ra ومقدار تسليحها 4φ8mm.
- هـ- أعتاب من مونة السمنت يرمز لها Rw ومقدار تسليحها 2φ8mm إضافة إلى طبقتين من المشبك السلكي.

مع ملاحظة ان صب اعتاب مسلحة من مونة السمنت وغير مجوفة غير عملي (لكلفته العالية بعد حذف الحصى اضافة الى مشاكل الانكماش والزحف عندما يزيد سمك مونة السمنت) ولكن تم صبها لأغراض المقارنة مع

جميع الاعتاب التي تم صبها كانت ذات مقطع 150ملم في 150 ملم وطول 1000ملم. كما موضح في الشكل (1). خصائص المواد المستخدمة كما في الملحق A. تتكون الاعتاب التي تم صبها من مجاميع كالآتي:-

المجموعة الاولى:- تمثل المجموعة الاولى الاعتاب المرجعية ويقصد بها الاعتاب غير المجوفة والتي تصب لأغراض المقارنة وتنقسم الى:

- أ- أعتاب خرسانية يرمز لها RC وتسلحها 2φ8mm.
- ب- أعتاب خرسانية يرمز لها RCa ومقدار تسليحها 4φ8mm اي ضعف حديد التسليح في RC.

ب- حمل الفشل او الحمل الاقصى Ultimate Load Pu

ج- المتانة (toughness):- وتعرف على انها المساحة تحت منحنى الحمل الاود، اما متانة الخضوع فهي المساحة تحت المنحني الى حد حمل الخضوع ومتانة الفشل تمثل المساحة الى حد حمل الفشل. وهي مؤشر لقابلية المادة او العنصر الانشائي على امتصاص الطاقة، وبالتالي فهي مؤشر على مقاومة المنشأ للزلازل والاحمال الديناميكية [8،7].

د- المطيلية (ductility):- تعرف المطيلية ببساطة على انها نسبة الاود عند الفشل على الاود عند الخضوع [9].
هـ- الصلابة (Stiffness):- تعرف الصلابة على انها ميل منحنى الاود-الحمل وتحسب عندما تكون العلاقة خطية وعند حمل الخضوع او عند 70% من حمل الخضوع.

النتائج والمناقشة

حمل الخضوع وحمل الفشل

الجدول (1) يبين الخصائص الساكنة لجميع الاعتاب، ومن الجدول يمكن ملاحظة الاتي:-
أ- بالنسبة للاعتاب المرجعية (غير المجوفة):- الاعتاب المكونة من مونة السمنت مع مشبك سلكي (RW) ابدت تصرفا افضل بكثير من بقية الاعتاب من ناحية حمل الفشل الاقصى والمطيلية والمتانة كما في الشكل (4) والشكل (5) ويعود سبب ذلك الى تاثير المشبك السلكي في زيادة المقاومة وتوزيع التشققات وصولا الى زيادة المطيلية. حيث كانت افضل من الاعتاب المسلحة والاعتاب المسلحة مع تسليح اضافي والاعتاب من مونة السمنت مع تسليح اضافي ولكن بدون مشبك سلكي.
من المقارنة اعلاه يتبين ان اقرب اعتاب الى الاعتاب المكونة من مونة السمنت مع المشبك السلكي هي الاعتاب الخرسانية المسلحة ضعف تسليح هذه الاعتاب عند الاخذ بنظر الاعتبار حمل الخضوع وحمل الفشل ثم اعتاب مونة السمنت المسلحة بالضعف ثم المونة فقط ثم الاعتاب الخرسانية المسلحة. ومن المعلوم ان مونة السمنت لها مقاومة اعلى من الخرسانة ولكن سبب كون العتب Rca اقوى من Ra هو مشاكل المونة المعروفة من الانكماش والزحف في حالة زيادة السمك وعدم وجود المشبك السلكي.

ان الزيادة الكبيرة في حمل الخضوع وحمل الفشل يعوض الخسارة الاقتصادية الناتجة عن حذف الحصى وزيادة كمية السمنت يضاف الى ذلك الاقتصاد في حديد التسليح الى اقل من النصف، والزيادة في المطيلية والصلابة وكما سيتم شرحها لاحقا.
كما يلاحظ ان هناك اكثر من ما يمكن تسميته فشل خضوع ثانوي في حالة استخدام المشبك السلكي، ويعود ذلك الى زيادة المطيلية وتوالي خضوع طبقات المشبك السلكي الواحدة تلو الاخرى.

الاعتاب الخرسانية ومع اعتاب مونة السمنت مع المشبك السلكي. اما صب اعتاب غير مجوفة من مونة السمنت مع المشبك السلكي فهي عملية وقد اثبتت كفاءتها في زيادة المقاومة والمتانة والمطيلية.

المجموعة الثانية:- اعتاب مجوفة باستخدام قناني بلاستيكية ويرمز لها B1 عندما تكون بدون مشبك سلكي حول حديد التسليح و الرمز B2 عندما تحتوي على المشبك السلكي حول حديد التسليح والرمز B2D يرمز للاعتاب عندما تحتوي على مشبك سلكي حول حديد التسليح وحول القناني البلاستيكية. تم اخذ معدل قطر القناني البلاستيكية نظرا لأنها تتخسر في اماكن وتتوسع في اخرى اما القناني المعدنية (قناني المشروبات الغازية) فان قطرها ثابت باستثناء تخرص قليل في الاعلى والاسفل.

المجموعة الثالثة:- الشيء المميز لهذه المجموعة هو عدم استخدام حديد تسليح (لا حديد انثناء ولا حديد قص) حيث يتم استخدام المشبك السلكي فقط لتسليح اعتاب مجوفة باستخدام قناني معدنية (قناني مشروبات غازية) ويرمز لها B3 حيث يتم استخدام اربعة قناني معدنية في مقطع العتب مغلفة بطبقتين من المشبك السلكي وبدون استخدام حديد تسليح طولي او عرضي والرمز B4 للاعتاب التي تحتوي على اربع طبقات من المشبك السلكي.

المجموعة الرابعة:- أعتاب مجوفة باستخدام انبوب بلاستيكي في المنتصف ومقدار تسليحها 2φ8mm. وقد تم استخدام انبوب بلاستيكي غير قياسي (بلاستيك ذو متانة قليلة وسمك قليل اقل من حدود المواصفة) والغرض من ذلك هو الاقتصاد واستخدام مادة رخيصة قد تكون اي انبوب بلاستيكي حتى اذا كان مكسورا او مثقوبا، لكي تدخل الفكرة ضمن تدوير النفايات وللمقارنة بين استخدام انبوب بلاستيكي لتكوين تجويف مستمر او استخدام قناني فارغة مرتبطة مع بعضها لتكوين تجويف ذو تعرجات منتظمة. ويرمز لهذه الاعتاب B5 عندما لا تحتوي على مشبكات سلكية و B6 عندما تحتوي على مشبكات سلكية.
مع ملاحظة ان التسليح المذكور اعلاه لجميع المجاميع يمثل التسليح في الاسفل اي في منطقة الشد اما في الاعلى فجميع الاعتاب تسليحها 2φ8mm.

خطة الفحوصات

1- الخصائص الساكنة للاعتاب:- يتم فحص جميع الاعتاب بفضاء صافي قدره 80سم وبإسناد بسيط تحت حمل مركزي في المنتصف باستخدام جهاز الفحص العام Universal Test Machine كما موضح في الشكل (2) والذي يوضح طريقة الفحص وتوزيع التشققات لبعض الاعتاب عند الفشل، والشكل (3) يحوي صورا لبعض الاعتاب المجوفة قبل الصب. ويتم رسم العلاقة بين الحمل والاود طيلة فترة التحميل ليتم حساب الخصائص التالية للاعتاب:-

أ- حمل الخضوع Yield Load Py



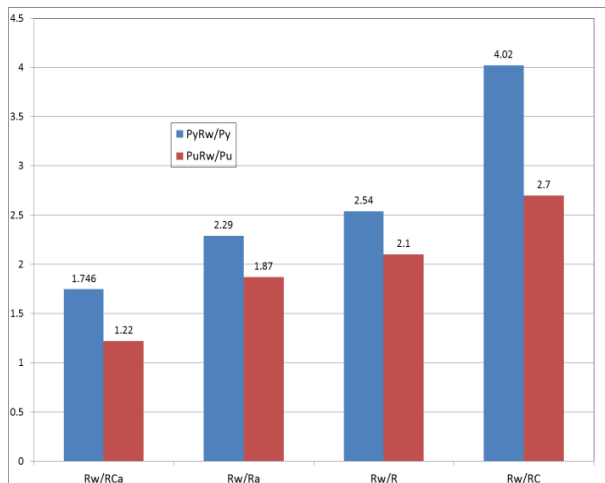
شكل (2) طريقة فحص الاعتاب تحت حمل مركزي ساكن مع شكل الفشل لبعضها



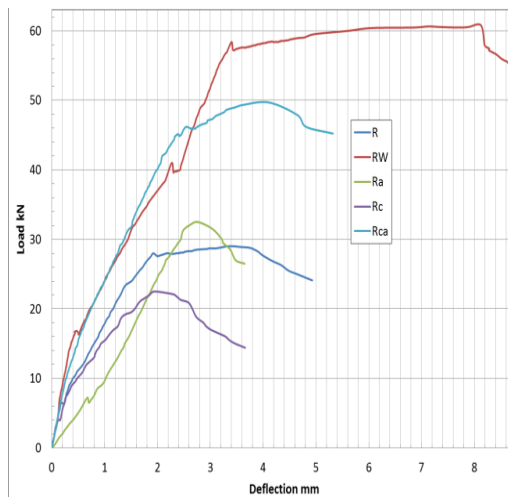
شكل (3) صور لبعض الاعتاب المجوفة قبل الصب

جدول (1) الخصائص السكونية للأعتاب

Beam Sym.		Type	Py kN	Pu kN	Toughness (N.m)		Ductility	Stiffness N/m
					yield	Failure		
Group 1	RC	Ref. Concrete beams	4.1	22.5	0.24	27.553	16.167	33330
	RCa		9.45	49.7	1.181	138.67	16.4	37880
	R	Ref. Mortar beams	6.5	29	0.585	131.44	19.167	36110
	Ra		7.2	32.5	2.412	44.85	4.11	10700
	Rw		16.5	60.8	3.96	408.82	18.4	37500
Group 2	B1	Plastic Bottle	8.5	25.7	1.125	38.43	9.2	32400
	B2		9	32	1.215	52.84	9.63	33400
	B2D		14.1	35.75	2.89	92.44	9.93	34300
Group 3	B3	Metallic can	4.0	5.9	0.48	47.1	52	16660
	B4		4.78	7.1	0.55	74.1	74	20000
Group 4	B5	Plastic Pipe	9	19.7	4.545	51.62	4.13	8910
	B6		9.5	39.8	3.277	126.86	7.1	13760



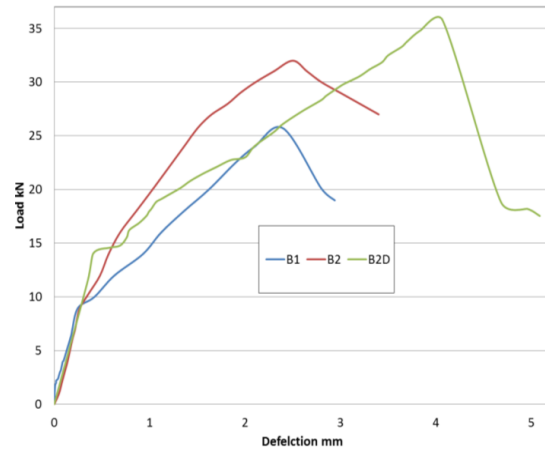
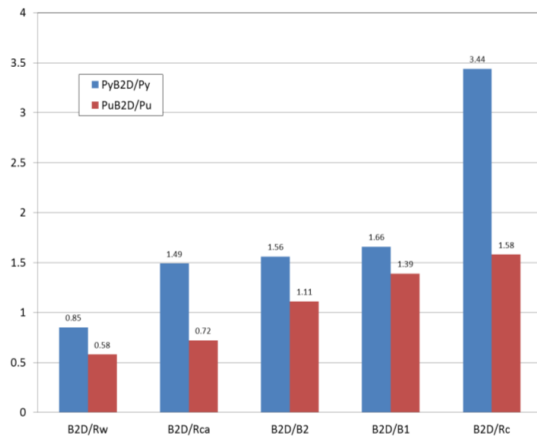
شكل (5) مقارنة اجهاد الخضوع والفشل للأعتاب



شكل (4) منحني الود-الحمل للأعتاب

البلاستيكية يزيد من مقاومة اللي ومقاومة القص وهذا ما يحتاج الى دراسة اخرى. وقد حققت هذه الاعتاب (B2D) حمل اقصى بمقدار 1.58 من الحمل الاقصى للأعتاب الخرسانية المسلحة (Rc) اي تقريبا مرة ونصف، وحمل اقصى بمقدار 72% من الحمل الاقصى للأعتاب الخرسانية المسلحة بتسليح ضعف الاعتاب المسلحة (Rca) واعطت 58% من حمل الفشل للأعتاب المتكونة من مونة السمنت مع مشبك سلبي (Rw) وهي الاعتاب التي اعطت اعلى مقاومة من مجموعة الاعتاب المرجعية. وبمقادير اكبر لحمل الخضوع مقارنة بجميع الاعتاب كما في الشكل (7).

ب- الأعتاب المجوفة باستخدام قناني بلاستيكية وباستخدام مشبك سلبي اعطت مقاومة عالية وقريبة من مقاومة الاعتاب المسلحة غير المجوفة او اعتاب مونة السمنت المسلحة بالمشبك السلبي كما في الشكل (6) الذي يوضح علاقة الود مع الحمل لهذه الاعتاب والشكل (7) الذي يبين حاصل قسمة حمل الخضوع والفشل للعتب B2D على حمل الخضوع والفشل للأعتاب الاخرى في المجموعة وبعض الاعتاب المرجعية. ان استخدام مشبك سلبي اضافي حول القناني البلاستيكية (العتب B2D) زاد من مقاومة الانثناء وبمقدار 56% لحمل الخضوع و 11% لحمل الفشل بالمقارنة مع B2. كما ان استخدام المشبك السلبي حول القناني

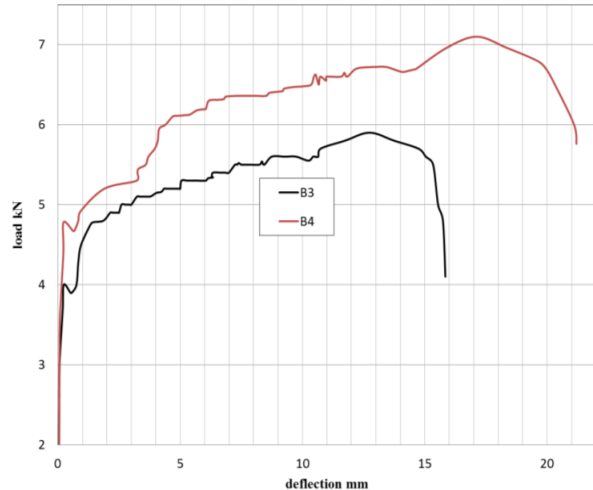
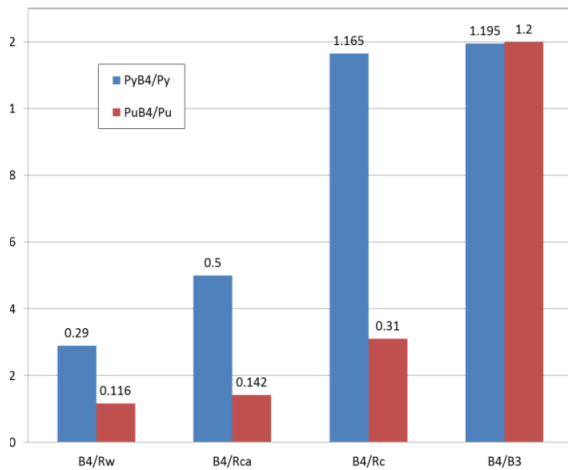


شكل (6) منحنى الاود-الحمل لأعتاب المجموعة الثانية شكل (7) مقارنة اجهاد الخضوع والفشل لأعتاب المجموعة الثانية ود-الحمل للأعتاب المرجعية

بالنسبة للعتب B3. وهي نسب عالية خصوصا بالنسبة للعتب B4 والذي مثل 1.165 من اجهاد الخضوع للعتب Rc اي العتب الخرساني المسلح حيث ان العتب B4 و B3 هي اعتاب غير مسلحة بتسليح طولي ولا تسليح قص باستثناء المشبكات السلكية. اجهاد الفشل لهذه الاعتاب كان قليلا مقارنة بالأعتاب Rw و Rca و Rc حيث مثل اكبر قيمة للعتب B4 0.31 من اجهاد الفشل للعتب Rc. ويعود سبب ذلك الى ان المشبكات السلكية تتقطع بقوة اقل بعد خضوعها بعكس حديد التسليح الذي يفشل بقوة عالية ونادرا ما ينقطع اثناء الفشل. ولكن بالرجوع الى الشكل (8) والجدول (1) نلاحظ ان مطيلية هذه الاعتاب عالية جدا اي انها توزع التشققات بشكل جيد وتعطي تحذيرات عديدة قبل الفشل وبالتالي فهي مادة مطيلية Ductile. ويمكن استخدام حديد تسليح بسيط بقطر صغير لزيادة حمل الفشل او استخدام المشبكات الحديدية (BRC) مع المشبكات السلكية.

ج- الأعتاب المنتجة بواسطة قناني معدنية رباعية في مقطع العتب تعطي مقاومة جيدة بحيث يمكن استخدام عتب بطول متر كعتب علوي للأعتاب والشبابيك مع ميزة خفة الوزن التي يعاني منها العمال اثناء نقل الاعتاب العلوية ووضعها فوق الابواب والشبابيك. كما يمكن زيادة هذه المقاومة بزيادة عدد طبقات المشبك السلكي او اضافة حديد تسليح بقطر قليل جدا اقل من 6 ملم للحصول على مقاومة عالية. والشكل (8) يبين منحنى الاود-الحمل لهذه الاعتاب والشكل (9) يبين حاصل قسمة حمل الخضوع وحمل الفشل للعتب B4 على حمل الخضوع والفشل للأعتاب الاخرى. ومن الاشكال والجدول (1) يمكن ملاحظة الاتي:

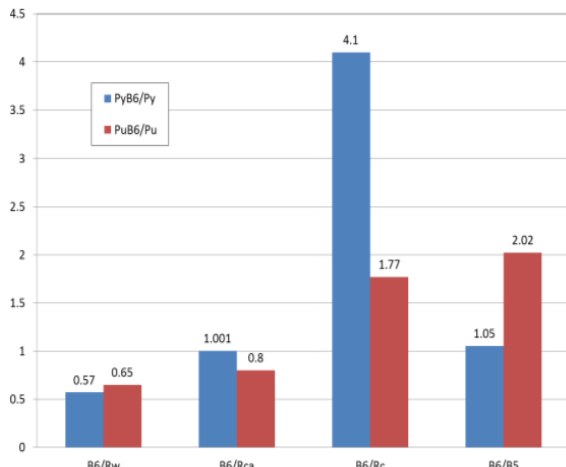
- اجهاد الخضوع لهذه الاعتاب كان عاليا حيث مثل 0.29 و 0.5 و 1.165 من اجهاد الخضوع للأعتاب Rw و Rca و Rc على التوالي بالنسبة للعتب B4 والنسب التالية 0.24 و 0.42 و 0.97 من اجهاد الخضوع للأعتاب Rw و Rca و Rc على التوالي



شكل (9) مقارنة حمل الخضوع والفشل لأعتاب المجموعة الثالثة

شكل (8) منحنى الاود-الحمل لأعتاب المجموعة الثالثة

خضوع بمقدار 0.57 و 1 و 4.1 و 1.05 من حمل الفشل للأعتاب R_w و R_{ca} و R_c و B_5 على التوالي وحمل أقصى (حمل فشل) بمقدار 0.65 و 0.8 و 1.77 و 2.02 من حمل الفشل للأعتاب R_w و R_{ca} و R_c و B_5 على التوالي. وهي نسب عالية ومقاربة ولكن أعلى بقليل من نسب المقاومة التي سجلتها أعتاب المجموعة الثانية وذلك بسبب كون التجويف في المجموعة الثانية يتكون من قناني بلاستيكية غير متصلة الواحدة بالأخرى في حين التجويف في أعتاب هذه المجموعة هو انبوب بلاستيكي مستمر واملس.



شكل (11) مقارنة حمل الخضوع وحمل الفشل لأعتاب المجموعة الرابعة مع الأعتاب المرجعية

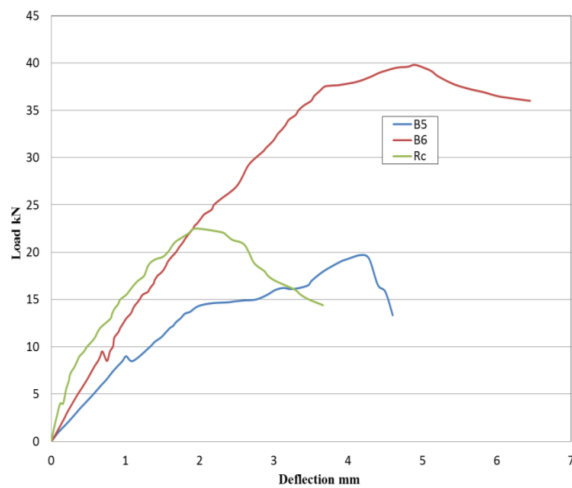
91.5% من متانة العتب R_{ca} والعتب B_2D حقق 66.66% من متانة العتب R_{ca} . أما العتب B_3 و B_4 فقد حققا 34% و 53.4% من متانة العتب R_{ca} وهي قيمة عالية إذا ما تم الأخذ بالاعتبار أنها مسلحة بمشبك سلكي فقط بدون حديد تسليح. أما العتب B_5 و B_1 فلم يعطيا متانة فشل عالية لعدم تسليحهم بالمشبك السلكي.

المطيلية Ductility

يدل الشكل (12) بوضوح إلى أن الأعتاب المجوفة باستخدام قناني معدنية وبدون حديد تسليح رئيسي أو حلقات قص (B_3 and B_4) أعطت أعلى مطيلية من جميع الأعتاب المجوفة وغير المجوفة، ويعود السبب في ذلك إلى المرونة التي تعطيها هذه القناني بعد الخضوع والدور الكبير الذي يأخذه المشبك السلكي في ظل غياب حديد التسليح، حيث يفشل بالتدرج وطبقة بعد طبقة. في حين أعطت الأعتاب R_c , R_{ca} , R_w , and B_5 مقاربة تراوحت من 16.167-19.167، وكذلك أعتاب المجموعة الثانية أعطت قيم تتراوح بين 7 إلى 9.93. وقد أعطت أعتاب المجموعة الرابعة مطيلية قليلة والسبب في ذلك يعود إلى ثلاثة أسباب الأول زيادة سمك مونة السمات في الأركان لاستخدام انبوب دائري وليس مربع مما يتوجب تغليف الانبوب بمشبك سلكي كما في العتب B_2D ، والثاني عدم وجود ترابط بين الانبوب البلاستيكي ومونة

د- أعتاب المجموعة الرابعة :- وهي الأعتاب المجوفة المنتجة باستخدام انبوب بلاستيكي. الشكل (10) يوضح علاقة الأود- الحمل للعتبتين B_5 (بدون مشبك سلكي) و B_6 مع مشبك سلكي. ومن الشكل نلاحظ أن العتب B_6 له حمل خضوع مقارب ل B_5 وحمل فشل تقريبا ضعف حمل فشل العتب B_5 ، ويعود السبب كما في الأعتاب السابقة إلى دور المشبك السلكي في توزيع التشققات وزيادة المقاومة والمطيلية.

أما عند المقارنة مع الأعتاب المرجعية وبالرجوع إلى الجدول (1) والشكل (11) فإن B_6 حقق حمل



شكل (10) منحنى الأود-الحمل لأعتاب المجموعة الرابعة

المتانة والمطيلية والصلابة (Toughness, Ductility, and Stiffness)

الشكل (12) إضافة إلى الجدول (1) يبين متانة ومطيلية وصلابة الأعتاب.

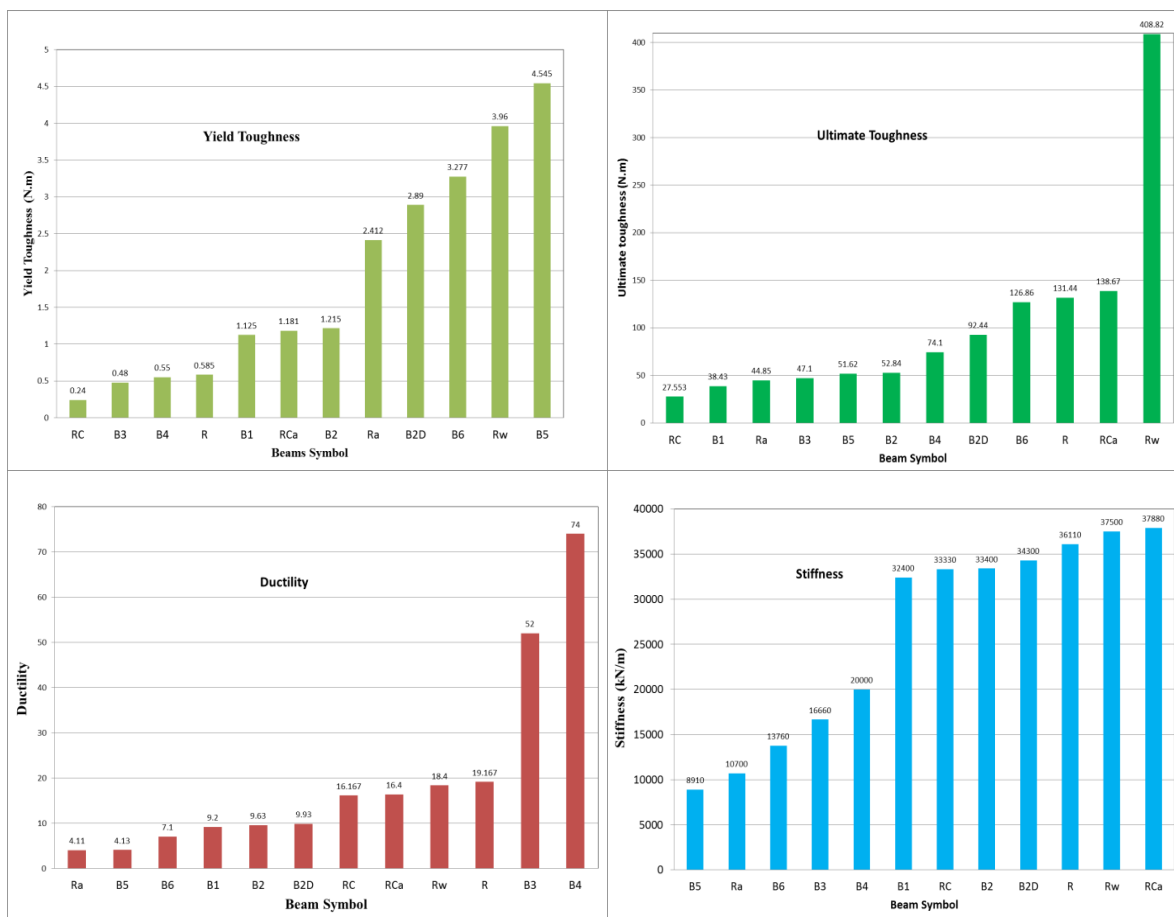
- بالنسبة لمتانة الخضوع والتي تمثل المساحة تحت منحنى الأود-الحمل إلى حد الخضوع فقد حققت أعتاب المجموعة الرابعة B_5 و B_6 (الأعتاب المجوفة باستخدام انبوب بلاستيكي) متانة خضوع عالية مقارنة بالأعتاب المرجعية غير المجوفة. أما أعتاب المجموعة الثانية والثالثة فقد حققت متانة خضوع قليلة مقارنة بأعتاب المجموعة الرابعة والأعتاب المرجعية المتكونة من مونة السمات ولكنها حققت متانة خضوع أعلى من الأعتاب الخرسانية المسلحة R_c وأقل بقليل أو أكثر بقليل من الأعتاب الخرسانية المسلحة بضعف حديد التسليح R_{ca} باستثناء العتب B_2D فقد حقق متانة خضوع تساوي تقريبا مرتين ونصف من متانة خضوع العتب R_{ca} ويعود سبب ذلك إلى وجود المشبك السلكي حول حديد التسليح وحول القناني البلاستيكية.

- أما بالنسبة لمتانة الفشل أو المتانة القصوى (Ultimate toughness) فإن متانة العتب المرجعي R_w كانت عالية جدا وبمقدار 408.8 ن.م. ويأتي بعدها العتب R_{ca} بمتانة قصوى مقدارها 138.67 ن.م، أما الأعتاب المجوفة فقد حقق العتب B_6 متانة قصوى بمقدار

الصلابة *Stiffness*:

الأعتاب المجوفة التي اعطت صلابة عالية هي اعتاب المجموعة الثانية، كذلك اعتاب المجموعة الثالثة اعطت صلابة عالية اعلى من صلابة المجموعة الرابعة، حيث مثلت صلابة العتئين B3 و B4 و 44% و 53% من اعلى صلابة والمتمثلة بصلابة العتب Rca. اعتاب المجموعة الرابعة لم تعطي صلابة عالية للأسباب المذكور في فقرة متانة الخضوع.

السمنت على عكس القناني البلاستيكية والمعدنية والتي تتخسر في مناطق وتتوسع في مناطق مما يوفر تماسكا جيدا مع مونة السمنت وتضليعا داخليا يزيد المقاومة، والثالث الفرق بين مرونة الانبوب البلاستيكي ومرونة المشبك السلبي.



شكل (12) متانة ومطيلية وصلابة الاعتاب

المقارنة بين النتائج العملية والنظرية

كما تمت الإشارة سابقا يمكن حساب تحمل الاعتاب المجوفة وغير المجوفة نظريا ويمكن ادخال تأثير المشبك السلبي على مقاومة الانثناء للأعتاب المجوفة وغير المجوفة والجدول (2) يوضح مقارنة بين النتائج النظرية والعملية لجميع الاعتاب، ومن خلال الجدول يمكن ملاحظة الآتي:-

أ- الأعتاب المجوفة الفيروسمنتية تفشل بحمل اعلى من الحمل التصميمي المحسوب نظريا، وهذا يدل على كفاءة تدوير النفايات وكفاءة المشبك السلبي في توزيع التشققات

وزيادة المتانة والمطيلية. اما الاعتاب الخرسانية المجوفة (غير الفيروسمنتية) فإنها تفشل كما اثبتت (Alnuaimi et al., 2008) بحمل اقل من الحمل التصميمي.

ب- كلما زادت عدد طبقات المشبك السلبي كلما زاد الفرق بين حمل الفشل التصميمي والعملية.

ج- الأعتاب المجوفة التي لا تحتوي على مشبك سلبي تعطي عمليا نتائج قريبة الى النتائج النظرية.

جدول (2) المقارنة بين النتائج النظرية والعملية

Beam Sym.		Type	Pu _e (kN)	Pu _{the} (kN)	Pu _e / P _{the}
Group 1	RC	Ref. Concrete beams	22.5	20.974	1.073
	RCa		49.7	40.00	1.242
	R	Ref. Mortar beams	29	21.135	1.372
	Ra		32.5	30.65	1.06
	Rw		60.8	-----*	-----
Group 2	B1	Plastic Bottle	25.7	21.135	1.216
	B2		32	22.31	1.434
	B2D		35.75	23.16**	1.543
Group3	B3	Metallic can	5.9	4.53	1.302
	B4		7.1	5.86	1.211
Group 4	B5	Plastic Pipe	19.7	21.135	0.932
	B6		39.8	24.59	1.618
*النتيجة النظرية تعطي قيمة قليلة جدا مقارنة بالنتيجة العملية؟ والسبب في ذلك هو كون هذا العتب مكون من مونة السمنت والمشبك السلبي وغير مجوف مما يستوجب صياغة معادلات جديدة بالاعتماد على نتائج عملية مكثفة لحساب حمل الفشل					
**تم اضافة تأثير المشبك السلبي الاضافي والملفوف حول القناني البلاستيكية					

الطريقة المقترحة في هذا البحث تمثل تدوير عدد كبير من النفايات الصلبة اضافة الى توفير العزل الحراري والصوتي والحصول على اعتاب خفيفة الوزن.

الاستنتاجات

- 1- يمكن إنتاج أعتاب فيروسمنتية مجوف باستخدام القناني الفارغة كتجفيف مما يساهم في تدوير النفايات والحفاظ على البيئة، بالإضافة الى الجانب الاقتصادي.
- 2- الأعتاب الفيروسمنتية المجوفة ذات كفاءة عالية وتكون افضل من الاعتاب الخرسانية المجوفة في عدة خصائص، وهي خفة الوزن والمتانة والمطيلية العاليتين اضافة الى حمل الخضوع وحمل الفشل العاليتين.
- 3- الأعتاب التي يتم انتاجها باستخدام قناني بلاستيكية ذات مقاومة جيدة بالرغم من ان حديد التسليح المستخدم اقل من نسبة حديد التسليح الصغرى المسموح بها. ويمكن زيادة المقاومة بزيادة حديد التسليح ولكن في جميع الاحوال هناك مقاومة عالية باستخدام نسب اقل او تساوي نسبة حديد التسليح الصغرى المسموح بها.
- 4- الأعتاب المنتجة باستخدام قناني فارغة ومشبك سلبي فقط بدون حديد تسليح اعطت مقاومة ومتانة جيدة، ومطيلية عالية جدا.
- 5- إنتاج أعتاب فيروسمنتية مجوفة بمثل طريقة كفوءة جدا وسهلة التنفيذ سواء باستخدام النفايات الصلبة او باستخدام الانابيب البلاستيكية، حيث يتم الاستفادة من مزايا الاعتاب المجوفة وفوائد الفيروسمنت اضافة الى تدوير النفايات.

التوصيات للبحوث المستقبلية

- 1- دراسة تأثير قوى اللي على الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة.

الأبنية الخضراء وتدوير النفايات

يشير مصطلح المباني الخضراء إلى ممارسات إنشاء هياكل واستخدام عمليات ذات كفاءة بيئية عالية في استخدام الموارد اثناء البناء وطيلة دورة حياة المنشأ، بدءاً من تحديد الموقع والتصميم والبناء والتشغيل والترميم والصيانة، وحتى الهدم والترحيل، وتتكامل هذه الممارسات مع التصميم الكلاسيكي للمبنى من حيث المرافق العامة، والاقتصادية في الاستثمار، وقوة التحمل أو الديمومة في عمر المبنى، والراحة في الاستخدام وكما هو معروف فالمباني الخضراء معروفة كأبنية مستدامة وذات أداء عالي. ومن المهم جداً ان تقوم الابنية بتدوير النفايات اثناء انشائها. ومن اهم معايير الابنية الخضراء العزل الحراري كونه يوفر طاقة التدفئة والتبريد واستخدام الطاقة المستدامة و المساحات الخضراء.

ان انتاج اعتاب مجوفة يوفر عزلاً حرارياً ووزن خفيف اضافة الى تدوير كمية كبيرة من النفايات. حيث يقوم كل عتب مجوف باستخدام 3 قناني بلاستيكية كبيرة، او 7 قناني بلاستيكية او معدنية صغيرة في حالة الاعتاب المجوفة المسلحة، اما الاعتاب التي تستخدم مشبكات سلكية فقط (بدون حديد تسليح) فإنها تستهلك 21 قنينة بلاستيكية او معدنية صغيرة. ان عدد القناني البلاستيكية والمعدنية التي تستهلك يوميا عدد كبير جدا. يقدر عدد القناني المعدنية فقط (قناني المشروبات الغازية) التي تطرح يوميا في انحاء العالم بثلاثة مليار قنينة، وهذه النفايات تسبب تلوثاً كبيراً لما تحويه من بقايا المشروبات والتي تلوث البيئة عند تعرضها للشمس او عند تفاعلها مع مواد اخرى اضافة الى انها تحجز حيزاً كبيراً اذا لم يتم طمرها بشكل دوري ومنظم وتسبب تلوثاً اذا لم يتم طمرها بشكل صحي.

- Structural Material", ACI Special Publication, Vol. 61, PP 9-24, Aug. 1979.
- 3- Al-Kubaisy, M. A., Mohd Zamin Jumaat, "Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Ferro Cement Laminate", Concrete International, Vol. 22, Issue 10 PP 37-43, Oct. 1, 2000.
- 4- Falah M. Wegian and Falah A. Almottiri, "Experimental Studies on Reinforced Hollow-Block Concrete Sections", Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 1, No. 4, 2007.
- 5- Ali Said Alnuaimi, Khalifa S. Al-Jabri, Abdelwahid Hago, "Comparison Between Solid and Hollow Reinforced Concrete Beams", Materials and Structures (2008) 41:269–286 DOI 10.1617/s11527-007-9237-x.
- 6- Vesel Yazici, "Strengthening Hollow Reinforced Concrete Columns With Fiber Reinforced Polymers", Ph.D. thesis, University of Wollongong, Australia, 2012.
- 7- ACI-544-1R-96, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete", 2010.
- 8- ASTM C 1018, "Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete", 2010.

2- دراسة تأثير أحمال الصدم على الاعتاب الفيروسمنتية المجوفة.

3- استخدام المواد البوزولانية او الياف الحديد او البوليبروبيلين لتحسين خصائص مونة السمنت المستخدمة.

4- إجراء استقصاء منفصل عن الجدوى الاقتصادية.

شكر وتقدير

يتوجه الباحثين بالشكر والتقدير للسيد مدير مركز بحوث الموارد الطبيعية الدكتور رائد نجيب وجميع كادر مركز البحوث لدعمهم المتواصل طيلة فترة البحث. كما يتقدم الباحثين بالشكر لمهندسي مختبر الخرسانة في كلية الهندسة لمساعدتهم في إجراء الفحوصات المختبرية.

ملاحظة: تم الاعتماد بشكل اساس في ترجمة المصطلحات على كتاب "مصطلحات الهندسة المدنية"، الصادر عن المجمع العلمي العراقي لعام 1990.

المصادر

- 1- Naaman, Antoine E., "Design Prediction of Crack Width in Ferrocement", Ferrocement Materials and Applications, SP-61, American Concrete Institute, Detroit, 1979.
- 2- Gordon, B. Batson, Gajanan, M. Sabnis, and Antoine E. Naaman, "Survey of Mechanical Properties of Ferrocement as a

الملحق (A)

الجدول (A-1) خصائص الركام الناعم

Grading of fine aggregate			Chemical and physical properties		
Sieve size	Cumulative passing %	ASTM C33-01	Properties	Specification	Test Results
9.5-mm	100	0-10	Absorption %	ASTM C128-01	2.3
4.75-mm	93.25	95 - 100	Dry loose unit weight, kg/m ³	ASTM C29/C29M/97	1601
2.36-mm	94.7	80 - 100	Specific gravity	ASTM C128-01	2.63
1.18-mm	76.62	50 - 85	Sulfate content (as SO ₃), %	(I.O.S.) No. 45-84	0.12
600-μm	32.2	25 - 60	Material finer than 0.075 mm%	(I.O.S.) No. 45-84	1.26
300-μm)	3.53	5 - 30			
150-μm	3	0 - 10			

الجدول (A-2) الخصائص الكيميائية والفيزيائية للركام الخشن

Chemical and physical properties			Grading		
Properties	Specification	Test Results	Sieve size	Cumulative passing %	ASTM limit
Specific gravity	ASTM C128-01	2.67	25.0 mm	100	95 to 100
Absorption %	ASTM C128-01	0.6 %	12.5 mm	55	25 to 60
Dry loose unit weight, kg/m ³	ASTM C29/C29M/97	1590	4.75 mm	8	0 to 10
SO ₃ %	(I.Q.S.) No. 5-1984	0.06 %	2.36 mm	3	0 to 5

الجدول (A-3) الخصائص الكيميائية والفيزيائية للإسمنت

Description	Content % (Limit of Iraqi specification No. 5/1984)	Description	Content % (Limit of Iraqi specification No. 5/1984)
Loss on Ignition	1.73(≤4 %)	Alumina, Al ₂ O ₃	4.73
Silica, SiO ₂	12.78	Insoluble material	1.27(≤1.5%)
Sulfate, SO ₃	2.13(≤2.8%)	Lime Saturation Factor, (L.S.F)	0.73(0.66-1.02)
Iron oxide, Fe ₂ O ₃	3.15	Specific surface area (m ² /kg)	367.3(>250 m ² /kg)
Magnesia, MgO	3.17(≤5%)	Initial setting, hrs : min	0:48(> 45 min)
Calcium oxide, CaO	65.7	Final setting, hrs : min	9:00(<10 hrs)
3-day f'c MPa	29.3(>15 MPa)		