Vol. 3, No. 5 and 6, P. (87-96)A

إيجاد علاقة مشتركة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية الخلوية (الثرمستون)

ليث محمد رضا محمود

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة كربلاء، العراق

تاريخ الاستلام: **8** / Oct / 2015

تاريخ قبول النشر: **13** / Jan / 2016

Abstract

The cellular concrete blocks (Thermostone) are consider as a one of important construction materials which is used widely as an interior masonry walls and partitions in frame structures, as it has many economic and practice benefits.

The aim of the research is finding correlation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength of different types of locally available thermostone. To assess compressive strength of thermostone depending on its ultrasonic pulse velocity, by using direct and indirect methods with distances of (10, 20 and 30)cm. Four correlations were obtained by using linear regression method. According to the test results, ultrasonic pulse velocity cannot be used as a non destructive test to estimate compressive strength of thermostone, as thermostone is a porous material which dispersal the waves.

Key words

Thermostone, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, direct method.

الخلاصة

تعتبر الكتل الخرسانية الخلوية (الثرمستون) من اهم المواد الانشائية المستخدمة في انشاء القواطع في الأبنية الهيكيلة متعددة الطوابق، بسبب المنافع الاقتصادية والعملية التي تمتاز بها هذه الكتل.

يهدف البحث الى إيجاد علاقة مشتركة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط للثرمستون يمكن من خلالها حساب مقاومة انضغاط الثرمستون المنفذ موقعياً بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية المارة خلاله، وذلك من خلال قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية لانواع مختلفة من الثرمستون والمتوفرة محلياً بالطريقة المباشرة، والطريقة غير المباشرة بمسافات مختلفة هي (10، 20 و30) سم وإيجاد اربع معادلات رياضية باستخدام طريقة الانحدار الخطي البسيط وإيجاد معامل التحديد لكل معادلة. بينت النتائج عدم إمكانية الاعتماد على فحص الأمواج فوق الصوتية كفحص غير اتلافي لغرض تقييم الثرمستون داخل المنشأ حيث لايمكن استخراج معادلة مشتركة يمكن من خلالها حساب مقاومة انضغاط الثرمستون بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية المارة خلاله كون الثرمستون مادة مسامية تشتت الموجة المارة خلالها.

الكلمات المفتاحية

الثرمستون، مقاومة الانضغاط، سرعة الأمواج فوق الصوتية، الطريقة المباشرة.

Vol. 3, No. 5 and 6, P. (87-96)A

1. المقدمة

تعرف الكتل الخرسانية الخلوية على انها كتل بنائية موادها الأساسية (الاسمنت، الرمل و النورة)، تخلط بنسب مختلفة مع إضافة عامل رغوي كيمياوي لغرض توليد غاز الهيدروجين الذي يكون مسؤولاً عن توليد الهيكل الخلوي (فجوات) عند تحرره (غالباً ما يستخدم مسحوق الالمنيوم لهذا الغرض)، يتم بعد ذلك تعريض المنتوج الى بخار مشبع وضغط عال لاكمال عملية الانضاج [1].

تم انتاج الثرمستون لأول مرة في السويد عام 1924 واصبح من اهم المواد الانشائية المستخدمة بكثرة في الآونة الأخيرة لانشاء القواطع في الأبنية الهيكلية متعددة الطوابق لما له من مميزات جعلته قادرا على منافسة الأنواع الأخرى من الوحدات البنائية منها عزله الجيد للحرارة والصوت ومقاومته الجيدة للحرائق وخفة وزنه وسرعة العمل به واستهلاكه لكمية اقل من مونة البناء مقارنة بالانواع الأخرى من الوحدات البنائية وبالتالي تقليل كلفة الانشاء مقارنة بالبدائل الأخرى [2]. بالإضافة الى قلة نسبة الاملاح الموجودة فيه وبالتالي انعدام ظاهرة التزهر والتي غالباً ما تحدث في الطابوق الطيني بكثرة والتي تؤثر سلباً على المادة الرابطة وطبقات الانهاء [3].

ويمكن تلخيص التفاعلات الكيميائية بين المواد الأولية لانتاج الثرمستون بالمعادلات الاتية [4]:

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + 65.2\ KJ/mol$$

$$3Ca(OH)_2 + 2Al + 6H_2O \longrightarrow Ca_3(Al(OH)6)_2 + 3H_2$$

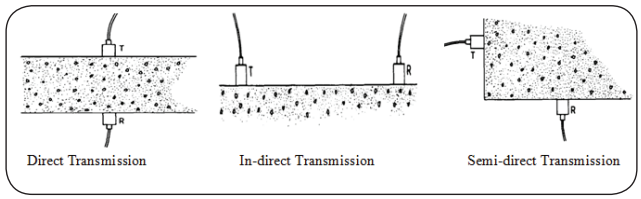
$$6SiO_2 + 5Ca(OH)_2 \longrightarrow 5CaO.6SiO_2.5H_2O$$

2.1. فحص الأمواج فوق الصوتية

تتكون الأمـواج فوق الصوتية من ذبذبات ذات تردد عالي اكثر من 20 كيلو هيرتز وبذلك تكون فوق مستوى سمع الانسان ويتراوح تردد هذه الذبذبات مابين (3-20) ميكا هيرتز وضمن هذه الحدود من التردد تسلك الأمواج الصوتية الى حد ما سلوك الأمـواج الكهرومغناطيسية او أمواج الضوء عدا انها لا تتمكن من الانتقال في الفراغ [5].

يعتبر فحص الأمـواج فـوق الصوتية من الفحوص اللااتلافية الممكن اجـراؤه في الموقع لغرض تقييم جودة الخرسانة ومـدى تجانسها وتخمين مقاومتها للانضغاط والشد بصورة غير مباشرة وعلى أساس العلاقات التجريبية، والكشف عن أماكن التشققات او الفجوات الكبيرة، او متابعة التغييرات التي تحدث فيها بمرور الزمن [6].

يعتمد مبدأ الفحص على قياس الزمن اللازم لانتقال الموجة خلال مقطع معين ومن معرفة ابعاد المقطع يمكن حساب سرعة الموجة (7)، ولغرض الحصول على درجة عالية من الدقة تقاس المسافة بالمليمترات ويقاس الزمن بواسطة أجهزة الكترونية متنقلة والى حد جزء من مليون من الثانية والتي تعرف تجارياً باسم (Pundit) [5] . لقياس الزمن الـلازم لانتقال الموجة توضع المذبذبات (الطرف المرسل للموجة والطرف المستقبل لها) على السطح المفحوص بثلاثة أنواع اعتماداً على شكله وابعاده وحالته، الأول بشكل متقابل من الجهتين (الطريقة المباشرة) (Direct Transmission)، والثاني بشكل متجاور (الطريقة غير المباشرة) (In-direct Transmission) والثالث يكون موضع احد المذبذبين على حافة الجزء المراد فحصه والأخر على السطح الأسفل المجاور (الطريقة شبه المباشرة) (Semi-direct Transmission)، وكما موضح في الشكل (1) [7].



شكل (1): الأوضاع المختلفة للمذبذبات اثناء الفحص

3.1. البحوث السابقة

قام العديد من الباحثين بمحاولة إيجاد علاقات تجريبية تربط بين سرعة الأمـواج فوق الصوتية ومختلف خواص الخرسانة الاعتيادية ومن أهمها مقاومة الانضغاط، الغرض من ذلك هو تقييم خواص المنشأت الخرسانية دون الحاجة الى الفحوص الاتلافية، حيث قام رؤوف [8] سنة (1986) بإيجاد علاقة بين سرعة الأمـواج فوق الصوتية ومقاومة انضغاط المكعبات الخرسانية، كما قام كل من نشأت وسعدون (2005) [9] وكذلك فوزي، سعيد وجاسم سنة (2013) [10] بربط سرعة الأمـواج فوق الصوتية ومقاومة انضغاط الخرسانة الاعتيادية بواسطة معادلات تجريبية، وفي سنة (2013) وجد بزيني واحسان [11] علاقة لربط سرعة الأمواج فوق الصوتية ومقاومة انضغاط الخرسانة ذاتية الرص لحساب مقاومتها بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية.

في سنة (2005) درس كل من رؤوف، محمد وخزعل [12] إمكانية ربط مقاومة انضغاط الطابوق الطيني وسرعة الأمـواج فوق الصوتية المـارة خلاله، ومن خلال البحث توصل الباحثون الى معادلة يمكن من خلالها تحديد مقاومة انضغاط الطابوق الطيني بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية دون الحاجة الى الفحوص الاتلافية.

2. الهدف من البحث

بناءاً على ماذكر في الفقرة (1-3) أعلاه، يمكن استنتاج معادلات تجريبية يمكن من خلالها حساب مقاومة انضغاط مختلف أنـواع الخرسانة والمـواد الانشائية بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية المارة خلالها. يهدف البحث الى استنتاج معادلة تجريبية لحساب مقاومة انضغاط الكتل الخرسانية الخلوية المتوفرة محلياً بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية المارة خلالها، والذي يعد من اكثر الفحوص غير الاتلافية استخداماً في عملية تقييم المنشأت المشيدة.

3. المواد والأجهزة المستخدمة وتحضير العينات

يتسخدم فحص الأمواج فوق الصوتية لغرض تقييم خواص الخرسانة الاعتيادية مثل مدى تجانسها وجودتها والكشف عن وجود التشققات فيها وكذلك اختبار مدى تغيير خواصها خـلال عمرها الخدمي وتخمين مقاومة انضغاطها [5]، اما في هذا البحث التجريبي تم اجراء محاولة مختبرية لمختلف أنواع الثرمستون المتوفرة محلياً لبيان مدى إمكانية استخدام فحص الأمـواج فوق الصوتية لتخمين مقاومة انضغاطه داخل المنشأ.

1.3. المواد والأجهزة المستخدمة

تم استخدام الثرمستون المتوفر محلياً من (5) مناشئ مختلفة بأبعاد (120×240×490) مم لتكوين نموذجاً مكون من ثلاثين وحدة بنائية لاختباره مختبرياً باستخدام جهاز فحص الأمواج فوق الصوتية الموضح في الشكل رقم (2) لاجراء الفحص اللااتلافي، وجهاز مقاومة الانضغاط نوع (ELE) الموضح في الشكل (4)، بسعة (2000kN) لاجراء الفحص الاتلافي.

Vol. 3, No. 5 and 6, P. (87-96)A

شكل (2): الجهاز المستخدم لقياس سرعة الأمواج فوق الصوتية

2.3. البرنامج العملي وتحضير العينات

تم تقسيم البرنامج العملي الى قسمين، حيث تم اجراء الفحوص غير الاتلافية اولاً لقياس سرعة انتقال الموجة خلال وحدات الثرمستون ومن ثم اجراء الفحوص الاتلافية ثانياً لقياس مقاومة الانضغاط الفعلية لها، وكالاتي:

1.2.3. فحص الأمواج فوق الصوتية غير الاتلافي

تضمن القسم الأول اجـراء فحص الأمــواج فوق الصوتية بالطريقة غير المباشرة وبابعاد (10، 20 و30)سم بين المذبذبات وكما موضح في الشكل (3) ومن ثم اجراء الفحص بالطريقة المباشرة، بالاعتماد على المواصفة الامريكية (ASTM-C597) [13]، حيث تم معايرة الجهاز باستخدام عصا المعايرة القياسية الخاصة به وذلك بوضع طبقة خفيفة من مادة الاتصال على نهايتي العصا القياسية وضغط المذبذبات عليها ومعايرة الجهاز على زمن قدره (25.4) مايكروثانية وهو زمن انتقال الموجة خلال العصا القياسية.

شكل (3): اجراء فحص الأمواج فوق الصوتية بمسافات مختلفة

2.2.3. فحص مقاومة الانضغاط الاتلافي

تضمن القسم الثاني من البرنامج العملي اجراء الفحص الاتلافي لـ (90) مكعب من الثرمستون بابعاد (10 × 10 ×10)سم، وذلك باخذ ثلاث مكعبات من كل وحدة من وحـدات الثرمستون وفحصها بجهاز مقاومة الانضغاط، كما موضح في الشكل (4).

شكل (4): فحص مقاومة الانضغاط لمكعبات الثرمستون

تم اجـراء الفحص بموجب المواصفة القياسية العراقية رقم (1441) [1] لقياس مقاومة الانضغاط الفعلية لها ومن ثم اخذ معدل النتائج لايجاد علاقات تجريبية تربط مقاومة انضغاط الثرمستون وسرعة الأمواج فوق الصوتية المارة خلاله.

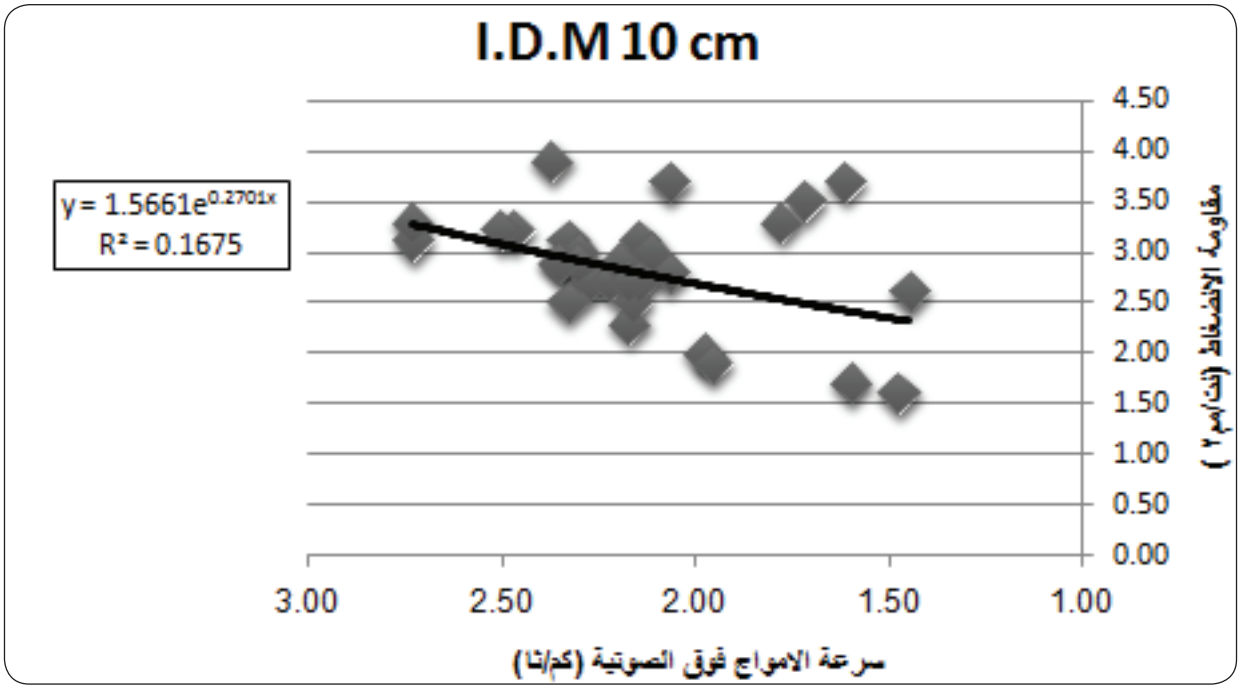
4. النتائج والمناقشة

ان الهدف الأساسي من التجارب المختبرية هو إيجاد علاقات يمكن من خلالها حساب مقاومة انضغاط الثرمستون داخل المنشأ بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية وبطرق فحص مختلفة. ويبين الجدول (1) النتائج المستحصلة من الفحوص المختبرية.

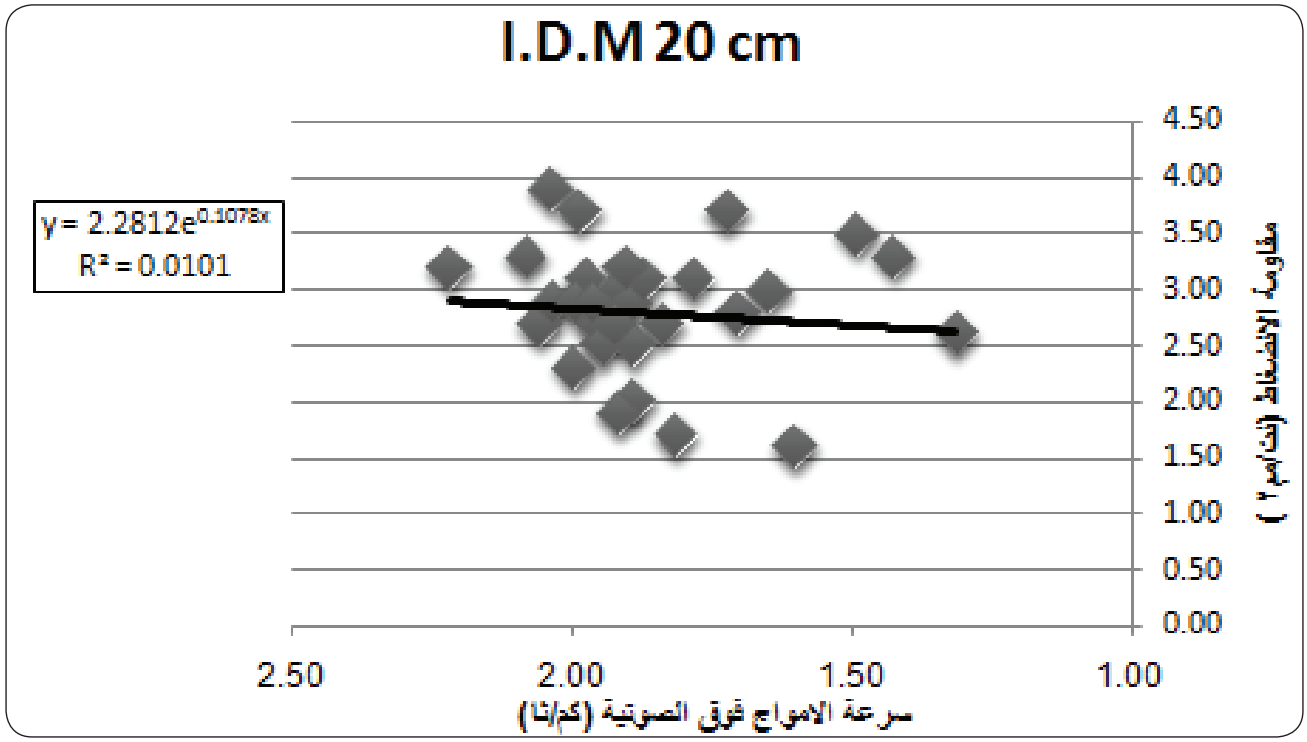
جدول (1): نتائج الفحوص الاتلافية وغير الاتلافية

رقم النموذج	سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة غير المباشرة (كم/ ثا)			سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة المباشرة (كم/ ثا)	مقاومة الانضغاط (نت/ مم٢)
	المسافة بين المذبذبات (10 سم)	المسافة بين المذبذبات (20 سم)	المسافة بين المذبذبات (30 سم)		
1	1.471	1.600	1.563	1.866	1.6
2	2.273	1.955	1.702	1.803	2.7
3	2.169	1.998	1.708	1.847	2.3
4	1.976	1.890	1.751	1.816	2.0
5	1.957	1.914	1.699	1.812	1.9
6	1.600	1.815	1.873	1.816	1.7
7	2.469	2.217	1.983	1.889	3.2
8	2.165	1.892	1.724	1.863	2.5
9	2.326	1.976	1.769	1.779	3.1
10	2.217	2.055	1.974	1.987	2.7
11	2.304	1.919	1.740	1.921	3.0
12	2.066	1.986	1.745	1.989	3.7
13	2.353	2.037	1.896	1.958	2.9
14	2.299	1.994	1.728	1.982	2.9
15	2.326	1.947	1.848	1.953	2.5
16	2.188	1.963	1.706	1.976	2.9
17	2.347	1.894	1.963	1.960	2.9
18	2.146	1.869	1.987	1.987	3.1
19	1.779	2.083	1.976	1.992	3.3
20	1.718	1.493	1.648	1.976	3.5
21	1.449	1.316	1.579	1.982	2.6
22	2.066	1.701	1.816	1.948	2.8
23	2.146	1.923	2.134	1.998	2.7
24	2.114	1.645	1.563	1.976	3.0
25	2.500	1.903	1.853	1.995	3.2
26	2.169	1.838	1.657	1.926	2.7
27	2.370	2.035	1.827	1.989	3.9
28	2.732	1.784	1.688	1.988	3.1
29	1.613	1.723	1.751	1.995	3.7
30	2.729	1.426	1.689	1.982	3.3

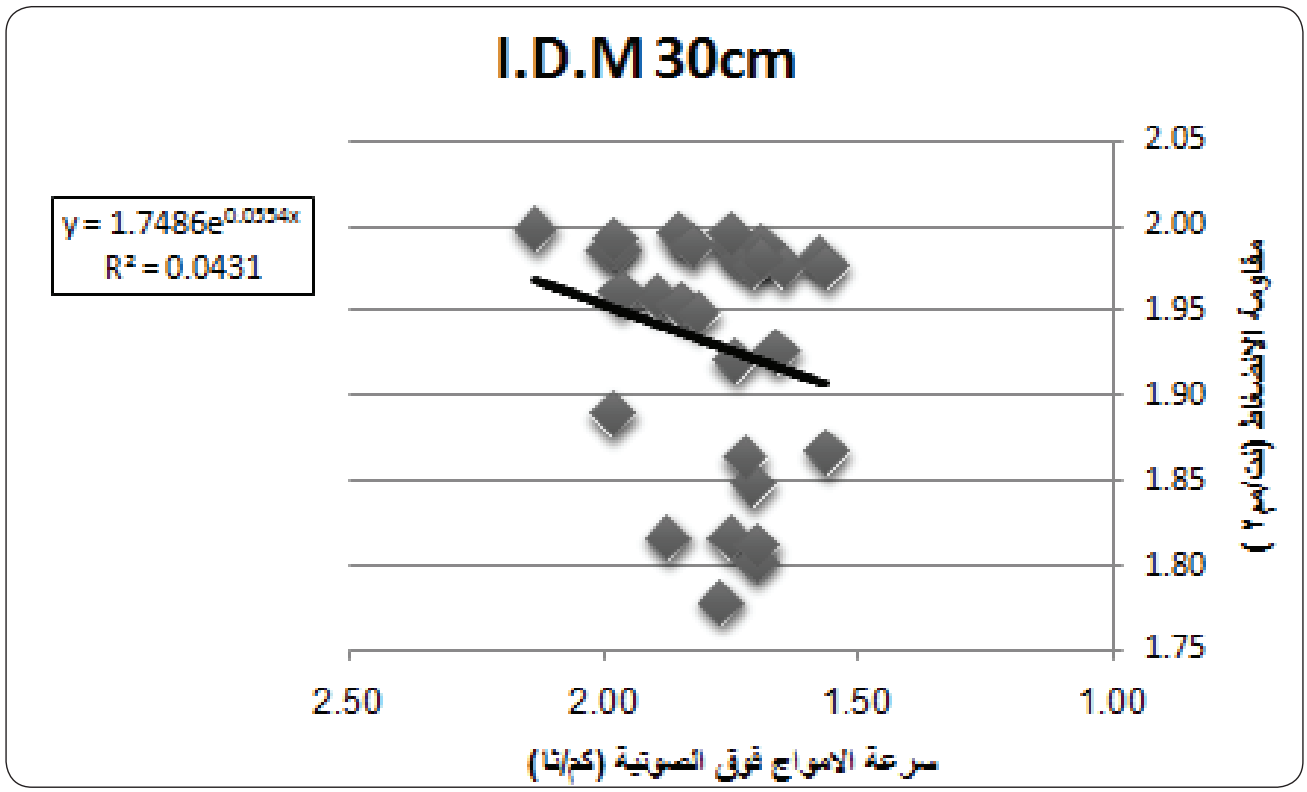
تم رسم النتائج على شكل مخطط انتشار واستخدم طريقة الانحدار الخطي البسيط لاستنتاج معادلات الانحدار ومنحنيات الانحدار ومعاملات التحديد، لتخمين مقاومة انضغاط الثرمستون بالاعتماد على سرعة الأمواج فوق الصوتية، وتم استنتاج اربع معادلات تجريبية كما موضح بالاشكال من (5) الى (8) والجدول (2).



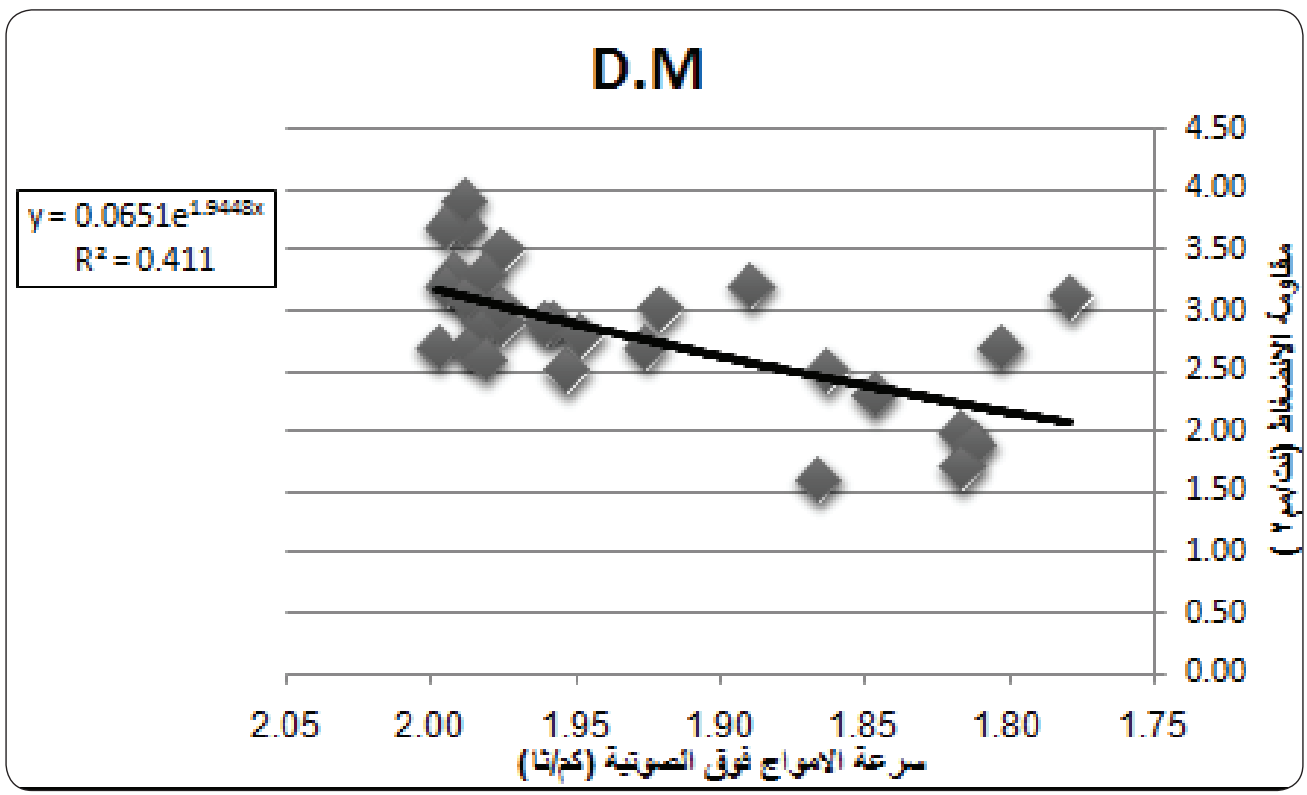
شكل (5): العلاقة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة غير المباشرة (مسافة 10سم) ومقاومة الانضغاط



شكل (6): العلاقة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة غير المباشرة (مسافة 20سم) ومقاومة الانضغاط



شكل (7): العلاقة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة غير المباشرة (مسافة **30**سم) ومقاومة الانضغاط



شكل (**8**): العلاقة بين سرعة الأمواج فوق الصوتية بالطريقة المباشرة ومقاومة الانضغاط

Vol. 3, No. 5 and 6, P. (87-96)A

جدول (2): ملخص العلاقات التجريبية المستنتجة من التحليل الاحصائي

معامل التحديد R^2	طريقة الفحص	المعادلة التجريبية
0.1675	الطريقة غير المباشرة (مسافة 10سم)	$F_C=1.5661E^{0.2701V}$
0.0101	الطريقة غير المباشرة (مسافة 20سم)	$F_C=2.2812E^{0.1078V}$
0.0431	الطريقة غير المباشرة (مسافة 30سم)	$F_C=1.7486E^{0.0554V}$
0.4110	الطريقة المباشرة	$F_C=0.0651E^{1.9448V}$

حيث ان F_C مقاومة الانضغاط للثرمستون و V سرعة انتقال الموجة خلال الثرمستون.

ان المعادلات المبينة في جدول (1) هي الأفضل من ناحية معامل التحديد (R^2) حيث تم إيجاد مختلف أنواع المعادلات سواء كانت خطية او اسية او متعددة الحدود ولكن بقيمة معامل تحديد اقل وبالتالي تم اختيار المعادلات المذكورة.

ونتيجة لقلة قيمة معاملات التحديد للمعادلات الرياضية المستنتجة وابتعادها عن الـ (1) بشكل واضح باعتباره القيمة الأعلى لقيمة معامل التحديد ومقياس لمدى إمكانية اعتماد المعادلة الرياضية باقتراب قيمته من الـ (1) [14] ، ان عدم إمكانية استنتاج معادلة رياضية تربط مقاومة انضغاط الثرمستون بسرعة الأمواج فوق الصوتية يرجع الى وجود الفراغات بشكل كبير داخل الثرمستون وعدم توزيعها بشكل منتظم مما يؤدي الى تشتت سرعة الموجة وعدم إمكانية اعتمادها في حساب مقاومة الانضغاط، ويعزى ذلك الى ان الأمواج فوق الصوتية تتكون من ذبذبات ذات تردد عال يتراوح بين ($20KH_Z - 3MH_Z$) وضمن هذه الحدود من التردد تسلك الأمواج الى حد ما سلوك الأمواج الكهرومغناطيسية او أمواج الضوء عدا انها لاتتمكن من الانتقال بالفراغ [5]، ونظراً لوجود المسامات في الثرمستون بشكل كبير فان هذه الأمواج تنعكس وتنكسر مرات عديدة عندما تصطدم بالاسطح البينية التي تتكون نتيجة وجود الفراغات فيحدث مايسمى بالانتشار [8]، واذا اصطدمت الأمواج بسطح بيني بزاوية مائلة فيحدث في هذه الحالة تحويل في كيفيتها [5]، وبالتالي عدم انتقال الموجة بشكل منتظم خلال وحدة الثرمستون وهذا التصرف يمكن ملاحظته بشكل واضح من خلال النتائج حيث انه لقيم سرع متقاربة نلاحظ اختلاف قيم مقاومة الانضغاط بشكل واضح وبالتالي لايمكن توقع علاقة طردية بين سرعة الأمواج فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط كما هو الحال في الخرسانة الاعتيادية.

5. الاستنتاجات والتوصيات

1- تشتت سرعة الأمواج فوق الصوتية عند مرورها خلال الكتل الخرسانية الخلوية سواء استخدمت الطريقة المباشرة او غير المباشرة لغرض اجراء الفحص اللاتلافي.

2- الحصول علي قيم مقاومة انضغاط مختلفة بشكل واضح لقيم متقاربة لسرع الأمواج فوق الصوتية وبالتالي لاتوجد علاقة طردية بين سرعة الأمواج فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية الخلوية.

3- بالاعتماد على مسافات الفحص المستخدمة في البحث (120) مم للطريقة المباشرة و(10، 20 و 30) سم، لايمكن

استنتاج معادلة يمكن من خلالها حساب مقاومة انضغاط الكتل الخرسانية الخرسانية الخلوية.

4- يمكن استخدام كتل خرسانية بابعاد اخرى متوفرة محلياً لدراسة تأثير مسافة الفحص على دقة الفحص بالطريقة المباشرة، ومدى امكانية استنباط علاقة تربط مقاومة انضغاطها بسرعة الموجات فوق الصوتية المارة خلالها في حالة تغير مسافة الفحص كدراسة مستقبلية.

5- لتقييم الكتل الخرسانية الخلوية داخل المنشأ بصورة دقيقة، يمكن اخذ قطع من الكتل الخرسانية الخلوية لغرض استقطاع مكعبات بأبعاد (10×10×10) سم وفحصها بواسطة جهاز مقاومة الانضغاط لغرض تقييمها شرط دون الحاق الضرر بالمنشأ.

المصادر

[1] المواصفات العراقية، المواصفة القياسية رقم 1441 "الكتل الخرسانية الخلوية (الثرمستون)"، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، (2000).

[2] International Masonry Institute, «**Autoclaved Aerated Concrete Masonry Units**", Resource Information from The International Masonry Institute, February**, (**2010**).**

[3] Narayanan, N, Ramamurthy, K., "**Structure and properties of aerated concrete: a review**", Cement and Concrete Research, Vol. 22، (2000).

[4] W.van Boggelen, "**Developments and opportunities for AAC with modern production technology**". 4thInternational Conference on Autoclaved Aerated Concrete, London, ISBN 978-04-15383-56-1, (2005).

[5] السامرائي، مفيد عبد الوهاب و رؤوف، زين العابدين، "الفحوص اللاتلافية للخرسانة"، مطبعة اكسبرس، الامارات العربية المتحدة، الشارقة، (1999).

[6] امام، محمود احمد، " الخرسانة"، مصر، دار الكتب للنشر، (2002).

[7] British Standards Institution، «**Recommendation for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete**", B.S 1881, Part 116, (1983).

[8] رؤوف. زين العابدين، "تقييم الطريقة المشتركة غير الاتلافية"، مجلة بحوث البناء، المجلد 5، العدد 1، أيار (1986).

[9] Nash›t I.H., A›bour S.H. and Sadoon A.A.,» **Finding an Unified Relationship between Crushing Strength of Concrete and Non-destructive Tests**", Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition. Bahrain، Manama. 2730- Nov, (2005).

[10] Fawzi, N.M., Said، A.I. and Jassim، A.K., «**Prediction of Compressive Strength of Reinforced Concrete Structural Elements by Using Combined Non-Destructive Tests**", M.Sc. Thesis, University of Baghdad, (2012).

[11] Bzeni, D.K.H and Ihsan, M.A., "**Estimating Strength of SCC Using Non-Destructive Combined Method**", Third International Conference on Sustainable Construction and Technologies, Kyoto, Japan, August, (2013).

[12] رؤوف. زين العابدين، محمد. حسن جاسم، خزعل. عمار سليم، " تقييم الوحدات البنائية الطابوقية بواسطة الأمواج فوق الصوتية"، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد 12، العدد 3، آب (2005).

[13] American Concrete Institute, «**Test Method for Pulse Velocity through Concrete**", Annual Book of ASTM Standards C 597 – 02, (2002).

[14] عمارة. نعمة حمد، توفيق. سحر شاكر، "**الإحصاء وتطبيقاتة الهندسية**"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الجامعة التكنولوجية، الطبعة الأولى، (1989).