مجلة الهندسة والتنمية المستدامة
المجلد 23، العدد03،ايار 2019
ISSN 2520-0917
https://doi.org/10.31272/jeasd.23.3.14

التحقق من صحة نتائج الفحوصات اللا اتلافية في تحديد مقاومة انضغاط الخرسانة

د. أحمد جميل إبراهيم*

أستاذ مساعد، كلية الهندسة، الجامعة العراقية، بغداد، العراق.

الخلاصة: يهدف هذا البحث الى إستخدام الطريقة المشتركة للفحوصات اللااتلافية لتحليل نتائج الإختبارات لعدد 71 مكعب خرساني مقاس 150 مم مختلفة من حيث نسب الخلط ونوعية المواد المستخدمة فى الخلطة الخرسانية وعمر المكعب الخرساني. إجري على هذه المكعبات نوعان من الإختبارات: 1) إختبارت لاإتلافية (الذبذبات فوق السمعية – مطرقة الإرتداد)، 2) إختبارات إتلافية (مقاومة الإنضغاط). تم تحليل نتائج هذه البيانات بثلاث طرق مختلفة (فاكورا – بلايندر – كالن) لتأكيد مقاومة الخرسانة بإستخدام الطريقة المشتركة للإختبارات اللاإتلافية. من خلال النتائج تبين بان مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة فاكورا أعطت نتائج متقاربة مع مقاومة الإنضغاط الحقيقية للخرسانة التي مقاومتها أقل من 40 نيوتن/مم2، بينما مقاومة الإنضغاط المخمنة بطرقة بلايندر أعطت نتائج أعلى من مقاومة الإنضغاط الحقيقة بحدود (30%)، أما مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة كالن كانت نتائجها أعلى من مقاومة الإنضغاط الحقيقية بحدود (15%).

الكلمات الدالة: *مقاومة الانضغاط، الفحوصات اللاإتلافية، الذبذبات فوق السمعية، مطرقة الإرتداد.*

VALIDATION OF THE RESULTS OF NON-DESTRUCTIVE TESTS IN DETERMING COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Abstract: The aim of this research is to use of combined method of non- destructive tests for analyzing the results of the tests for 71 concrete cubes measuring 150 mm different in terms of the mixing ratios and the quality of the materials used in the concrete mix and the concrete cube age. Two types of tests were performed on these cubes: 1) non- destructive tests (ultrasonic plus velocity- rebound hammer); 2) destructive tests (compressive strength). The results of this data were analyzed in three different methods (Facaoaru - Belander - Galan) to confirm the compressive strength of the concrete using the combined method of non - destructive tests. The results showed that the estimate compressive by Facaoaru method gave almost identical results with the true compressive strength of the concrete with strength to less than 40 N / mm^2، whereas the estimate compressive strength by Belander method gave higher results than the true compressive strength up to (30%). The estimate compressive strength by Galan method was significantly higher than the true compressive strength up to (15%).

1. المقدمة

لأغراض التصميم الإنشائي لكافة الهياكل الخرسانية تعتبر مقاومة الإنضغاط بعمر 28 يوما من أهم الخواص الميكانيكية للخرسانة لانها تعتبرالمعيار الحقيقي في تحديد نوعية الخرسانة، و من خلالها يمكن تقدير الخواص الميكانيكية الأخرى (مقاومة الشد، مقاومة الإنثناء، و مقاومة القص) كنسبة مئوية من مقاومة الإنضغاط أو معادلة

* الباحث المتابع Ahmad.jamil@aliraqia.edu.iq

تجريبية تعتمد على مقاومة الإنضغاط، بالإضافة إلى تقدير معامل المرونة الاستاتيكي [1، 2]. ولإيجاد مقاومة الإنضغاط والذي يعتبر من الإختبارت الأتلافية يستعمل نموذج مكعب حسب المواصفة البريطانيّة [3] ونموذج أسطواني حسب المواصفة الأمريكية [4]، ويحمل النموذج بحمل قياسي لحين حدوث الفشل.

هناك عوامل عديدة تؤثر على مقاومة الخرسانة بصورة عامة، منها :درجة الدمك و الرص، نسبة الماء إلى الأسمنت، نسبة الجل إلى الفراغ، تأثير نوعية الركام الخشن المستعمل في الخلطات الخرسانية، تأثير محتوى الأسمنت في الخلطات الخرسانية، تأثير الماء الفعال في الخليط و نوعيته، تأثير درجة الحرارة خلال صب و معالجة الخرسانة، تأثير العمر. بالإضافة إلى ذلك توجد عوامل رئيسية تؤثر على نتائج الإختبارات لمقاومة الخرسانة و هي متعلقة بالتأثيرات المهمة لظروف الإختبار، منها :شكل و مقاس النموذج، ظروف الرطوبة للنماذج المختبرة ، معدل سرعة تسليط الحمل. بالإضافة إلى عوامل ثانوية أخرى، منها: إتجاه صب النموذج و دمكه، و علاقة ذلك مع إتجاه الحمل المسلط ، درجة حرارة النموذج أثناء الإختبار، المقاس الأقصى للركام المستعمل مقارنة مع حجم النموذج الخرساني المختبر، نوعية صفيحة التحميل الخاصة بماكنة الإختبار[1] . وهناك إختبارات أخرى إتلافية للخرسانة، منها إختبار مقاومة الإنثناء وإختبار مقاومة الشد الإنفلاقي، و كذلك إختبار معامل المرونة الإستاتيكي [1، 3،4].

إن الخرسانة تعتبر من المواد غير المتجانسة، لذلك فإن إختبار عينة أو مجموعة من العينات الخرسانية ليس يعني بالضرورة أن الخرسانة التي أخذت منها النماذج مطابقة للمواصفات، لذلك يجب على المهندسين و الباحثين في مجال تكنولوجيا الخرسانة أن يتحروا بشكل أوسع و أدق لمواصفات الخرسانة. ويمكن أن يتم ذلك بإستخدام تقنية الإختبارات اللاإتلافية في المنشأ نفسه، مما يمكننا من الحصول على عدد كبير من القراءات لأغراض السيطرة النوعية و مطابقة المواصفات للخرسانة في الأجزاء المختلفة من المنشأ.

توجد عدة أنواع من الإختبارات اللاإتلافية منها إختبار الذبذبات فوق السمعية وإختبار مطرقة الإرتداد وإختبار النفاذ (التغلغل) وإختبار السحب وغيرها[3، 4، 5، 6، 7] . إختبار الذبذبات فوق السمعية هو عبارة عن موجات فوق السمعية التي تترددها أكبر من المدى المسموع (20 – 2000) هرتز وهذه الموجات تسلك سلوك الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الضوء من حيث الانكساروالانعكاس إلا أنها تستطيع الإنتقال في الفراغ. إنَ النماذج المختبرة في المعمل لا تمثل المنشأ الأصلي تمثيلاً حقيقياً، حيث إنّ العامل المشترك بين سرعة الذبذبات فوق السمعية ومقاومة الخرسانة هو كثافة الخرسانة حيث إنّه بزيادة الكثافة تزداد السرعة وتزداد مقاومة الإنضغاط للخرسانة. يستخدم اختبار الذبذبات فوق السمعية في: تخمين مقاومة الإنضغاط للخرسانة، قياس معاير المرونة للخرسانة، معرفة مدي تجانس الخرسانة، إكتشاف الشروخ والفجوات بالخرسانة، تحديد درجة تلف الخرسانة، قياس عمق طبقة الخرسانة، تطور قيم مقاومة الخرسانة للإنضغاط. العوامل التي تؤثر علي دقة قياس سرعة الذبذبات فوق السمعية: نعومة السطح المفحوص، نسبة الفجوات الهوائيّة، الشقوق، حديد التسليح، درجة حرارة النموذج، تأثير طول المسار، المواد المكونة للنموذج، محتوى الرطوبة [3، 4، 6، 7، 8، 9].

إختبار مطرقة الإرتداد يعتبر من الإختبارات اللاإتلافية القليلة التي لاقت نجاحاً في تخمين مقاومة الخرسانة وقد تم إبتكار هذا الإختبار من قبل العالم أرنست شميدت، ويعرف هذا الإختبار أيضا بإختبار تحديد الصلابة النسبية أو إختبار مطرقة التصادم . يعتبر هذا الإختبار مفيداً حيث إنه مقياس للتجانس وللنوعية النسبية للخرسانة في المنشأ أو في التصنيع، يساعد على تحديد موعد رفع قوالب الخرسانة وتحديد موعد استخدام المنشأ، يساعد على التأكد من أن نمو المقاومة للخرسانة المحددة قد تأثر أم لا بالإنجماد الذي قد يحصل للخرسانة في عمر مبكر . من العوامل التي تؤثر علي دقة قياس مطرقة الإرتداد: مقاومة الخرسانة وتتأثر بعدة عوامل (نوع الإسمنت - محتوى الإسمنت - نوع الركام - نوع المعالجة و عمر الخرسانة - الدمك)، نوع السطح ، رطوبة السطح ، التحول الكربوني ، الاهتزاز، إتجاه الإختبار [3، 4، 6] .

إستخدام تقنية الإختبارات اللاإتلافية للخرسانة يكون مفيدا لعدة أسباب منها: قلة الكلفة، إمكانية الحصول على عدد كبير من النتائج و القراءات، سهولة و سرعة الحصول على النتائج، عدم تلف النماذج الخرسانية، إمكانية استخدامها موقعيا في الحقل أو في معامل إنتاج الكتل الخرسانية، إمكانية استخدامها للمساعدة في تحديد موعد إزالة القوالب، إمكانية استخدامها لإغراض السيطرة النوعية ومراقبة الجودة، إمكانية استخدامها لتقييم مقاومة الخرسانة بعد تعرضها لعوامل قد تسبب تلفها مثل تعرضها للحريق أو لظروف جوية قاسية[3، 4، 5، 6] .

الطريقة المشتركة لتخمين مقاومة الخرسانة تستخدم إختبارين أو أكثر لتخمين مقاومة الخرسانة و أكثر هذه الإختبارات شيوعا في العالم هو إختبار مطرقة الإرتداد و إختبار الذبذبات فوق السمعية. حيث أن استخدام إختبارين

لاإتلافيين بدلا من الإعتماد على إختبار واحد فقط يمكن من الكشف عن تغير خواص الخرسانة المختلفة بشكل أشمل، و بذلك نستطيع بواسطتها تخمين مقاومة الخرسانة بصورة أدق .

يهدف هذا البحث إلى إختبار عدد (71) مكعب خرساني مقاس 150 مم (مجهولة من حيث نسب الخلط، نوعية المواد المستخدمة في الخلط، عمر هذه المكعبات، مدة ونوعية معالجتها) لتخمين مقاومة الخرسانة باستخدام تقنية الإختبارات اللاإتلافية (الذبذبات فوق السمعية – مطرقة الإرتداد) ومقارنة هذه النتائج بالإختبارات الإتلافية الاعتيادية (مقاومة الإنضغاط). ثم بعد ذلك تحليل نتائج الإختبارات المعملية بثلاثة طرق مختلفة (فاكورا [10] – بلايندر [11] – كالن [12]) لتأكيد مقاومة الخرسانة باستخدام الطريقة المشتركة للإختبارات اللاإتلافية.

2. البرنامج العملي

1.2. المواد المستخدمة

إستند البحث في تحليل النتائج لـعدد (71) مكعبا خرسانيا مقاس 150 مم مختلفا ومجهولا من حيث نسب الخلط و نوعية المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية و عمر الإختبار و نسبة الماء إلى الإسمنت، و قد تم صب 51 مكعبا في المعمل، و كان الخلط بالطريقة اليدوية وبنسب خلط مختلفة وبشكل تقديري، وبموجب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 108: 1983) [3] وذلك للحصول على مقاومة إنضغاط متباينة، وبعدها تم معالجة النماذج بموجب المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 111: 1983) [3] علما بأن هذه المكعبات إختبرت بعمر يتراوح بين (28 – 50) يوما. أما باقي المكعبات و هي 20 مكعبا فقد تم الحصول عليها من عدد من المشاريع الإنشائية في منطقة الجبل الأخضرفي ليبيا و هي مجهولة إيضاً من حيث العمر، و نسب ونوعية المواد المستخدمة، و قد تصل أعمارها إلى أكثر من سنة و ذلك للحصول على قيم مختلفة لمقاومة الإنضغاط. حيث كانت مجموع هذه المكعبات ذات مقاومة إنضغاط متباينة تتراوح بين (16.6 - 61.6) نيوتن/مم2.

2.2. الإختبارات المعملية

تم إجراء الإختبارات التالية على جميع المكعبات فى معمل مواد البناء فى كلية الهندسة - جامعة عمر المختار (البيضاء) - ليبيا.

- إختبار كثافة الخرسانة الصلبة -- تم إجراء إختبارالكثافة بشكل بسيط بالإعتماد على وزن المكعب ومقاسه.
- إختبارالذبذبات فوق السمعية -- إعتمدت المواصفة البريطانية القياسية. (BS1881: Part 203: 1986) [3].
- إختبار مطرقة الإرتداد -- إعتمدت المواصفة البريطانية القياسية (BS 1881 Part 202 : 1986) [3].
- إختبار مقاومة الإنضغاط -- إعتمدت المواصفة البريطانية القياسية (BS 1881: Part 116: 1983) [3] .

3. النتائج والمناقشة

بالإستناد إلى النتائج المذكورة في الجدول 1 (لكثرة العينات تم إدراج نتائج 5 عينات فقط من أصل 71 عينة) و التي تم الحصول عليها من: إختبار الذبذبات فوق السمعية،إختبار مطرقة الإرتداد و إختبار مقاومة الإنضغاط، يمكن رسم كل من العلاقات التالية:

1- الكثافة مع مقاومة الإنضغاط .
2- الكثافة مع سرعة الذبذبات .
3- الكثافة مع رقم الإرتداد.
4- سرعة الذبذبات مع مقاومة الإنضغاط .
5- رقم الإرتداد مع مقاومة الإنضغاط .
6- رقم الإرتداد مع سرعة الذبذبات .

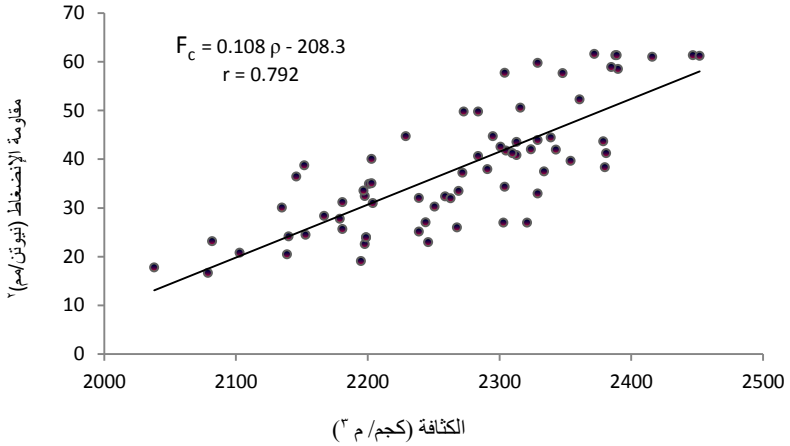
الجدول (1): نتائج الإختبارات المعملية للنماذج الخرسانية

رقم العينة	وزن المكعب (كجم)	الكثافة (كجم/م^3)	إختبار الذبذبات فوق السمعية		إختبار الإنضغاط		متوسط رقم الإرتداد
			زمن الذبذبة (مايكروثانية)	سرعة الذبذبة (م/ث)	الحمل (كيلونيوتن)	مقاومةالإنضغاط (نيوتن/مم^2)	
1	7.015	2079	38.3	3916	373	16.6	25.7
2	7.096	2103	36.6	4098	466	20.7	25.8
3	7.777	2304	31.3	4792	1298	57.7	46.5
4	7.222	2140	33.3	4505	542	24.1	29.3
5	7.744	2259	32.1	4683	1006	44.7	37.5

1.3. العلاقة بين الكثافة ومقاومة الإنضغاط

الشكل 1 يبين العلاقة بين الكثافة (ρ) و مقاومة الإنضغاط (Fc). من خلال الشكل تم الحصول على المعادلة (1) حيث كان معامل الترابط (r = 0.792) . كما نلاحظ وجود تشتت في النتائج و قد يعود تفسير ذلك إلى أن مقاومة الإنضغاط تعتمد على عدة عوامل، منها نسبة الماء إلى الإسمنت، درجة الرص، نسبة الجل إلى الفراغ، تأثير نوع و مقاس الركام الخشن، محتوى الإسمنت، العمر، إلخ [1]. حيث يتضح تأثير الكثافة على مقاومة الإنضغاط لأنها أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على مقاومة الخرسانة بالإضافة إلى نسب الخلط و نوع و مقاس الركام الخشن.

$$Fc = 0.108\ \rho - 208.3 \qquad (1)$$

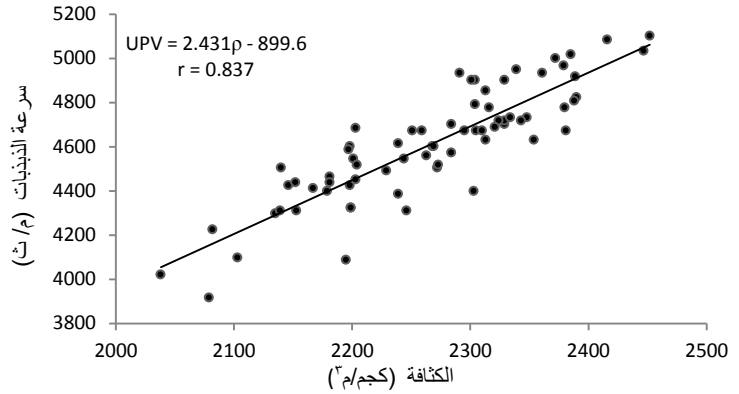


الشكل(1): العلاقة بين الكثافة و مقاومة الإنضغاط

2.3. العلاقة بين الكثافة وسرعة الذبذبات

الشكل 2 يوضح العلاقة بين الكثافة (ρ) وسرعة الذبذبات فوق السمعية (UPV) وكما مبين بالمعادلة (2). نلاحظ أن معامل الترابط كان (r = 0.837)، أي أن العلاقة تكون أقوى من العلاقة بين مقاومة الإنضغاط و الكثافة، و يعود تفسير ذلك إلى أن سرعة الذبذبات فوق السمعية تزداد بزيادة كثافة الخرسانة، و هذا يدل على أن سرعة الذبذبات فوق السمعية مؤشر أساسي لكثافة الخرسانة التي تتأثر بوجود الفجوات الهوائية الناتجة عن عدم إكتمال عملية رص و دمك الخرسانة بالإضافة إلى العوامل الأخرى التي تم شرحها في الفقرة السابقة.

$$UPV = 2.431\ \rho - 899.6 \qquad (2)$$

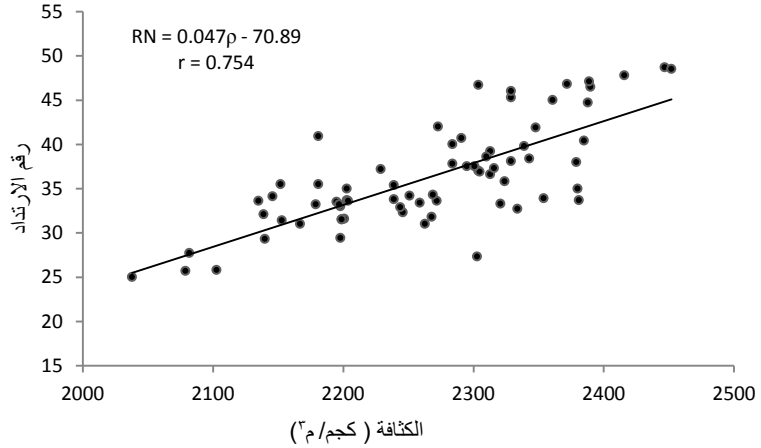


الشكل (2): العلاقة بين الكثافة و سرعة الذبذبات

3. 3. العلاقة بين الكثافة ورقم الإرتداد

الشكل 3 يبين العلاقة بين الكثافة (ρ) و رقم الإرتداد (RN) والمعبر عنها بالمعادلة (3). نلاحظ من الشكل أن معامل الترابط كان (r = 0.754)، و هو أقل من معامل الترابط للعلاقة بين الكثافة و مقاومة الإنضغاط، و كذلك أقل من معامل الترابط للعلاقة بين الكثافة وسرعة الذبذبات فوق السمعية، و التي تم توضيحها في الفقرتين السابقتين، و يعود تفسير ذلك إلى أن إختبارالإرتداد بإستخدام المطرقة يعتمد على صلابة السطح الذي ترتطم به المطرقة فقط بدون الإعتماد على كثافة الخرسانة التي تؤثر بشكل مباشر على سرعة الذبذبات فوق السمعية و بشكل أقل على مقاومة الإنضغاط.

$$RN = 0.047\ \rho - 70.89 \qquad (3)$$

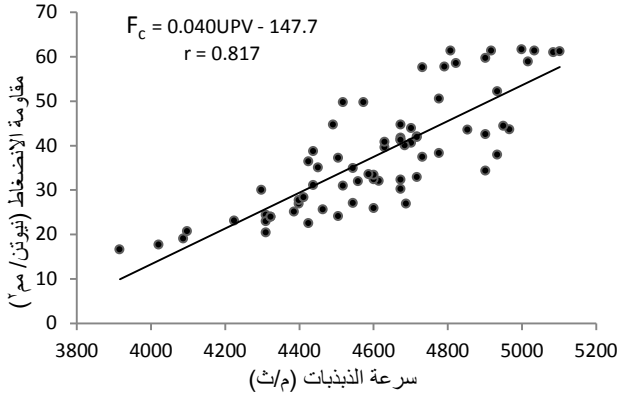


الشكل (3): العلاقة بين الكثافة و رقم الإرتداد

3. 4. العلاقة بين سرعة الذبذبات ومقاومة الإنضغاط

من خلال الشكل 4 الذي يمثل العلاقة بين سرعة الذبذبات فوق السمعية (UPV) و مقاومة الإنضغاط (Fc) وكما مبين فى المعادلة (4)، كان معامل الترابط (r = 0.817) ، و هو أكثر من معامل الترابط بين علاقة الكثافة و مقاومة الإنضغاط و أقل من معامل الترابط للعلاقة بين الكثافة و سرعة الذبذبات، و هذا منطقي لأن تفسير ذلك يعود إلى أن تأثير الكثافة على سرعة الذبذبات يكون أكثر وضوحا من تأثير سرعة الذبذبات على مقاومة الإنضغاط، كما تم توضيحه سابقا.

$$Fc = 0.040\ UPV - 147.70 \qquad (4)$$

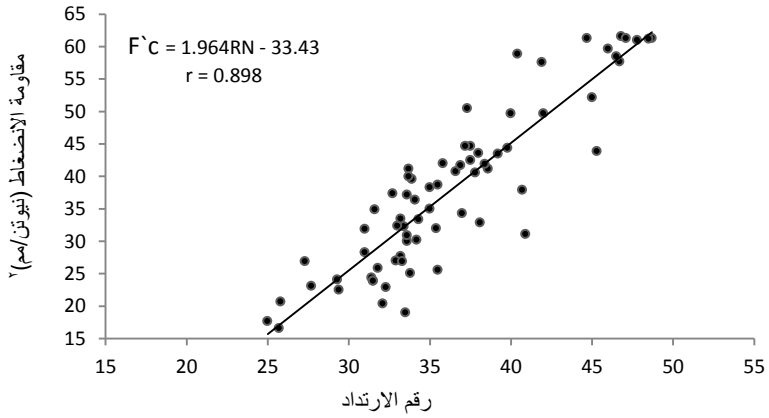


شكل (4): العلاقة بين سرعة الذبذبات و مقاومة الإنضغاط

3. 5. العلاقة بين رقم الإرتداد ومقاومة الإنضغاط

من خلال الشكل 5 الذي يبين العلاقة بين رقم الإرتداد (RN) و مقاومة الإنضغاط (Fc) تم الحصول على المعادلة (5)، حيث كانت النتائج ذات أقوى معامل ترابط (r = 0.898) من العلاقات التي تم ذكرها سابقا، و هذا يعني أن رقم الإرتداد يكون أفضل مقياس لمقاومة الخرسانة من الإختبارات الأخرى، و العلاقة بين رقم الإرتداد مع مقاومة الخرسانة تكون أفضل من علاقة سرعة الذبذبات فوق السمعية مع مقاومة الخرسانة، و قد يعود تفسير ذلك إلى أنه بزيادة مقاومة الخرسانة تزداد صلابة و صلادة سطح الخرسانة بشكل أوضح. حيث أن صلابة الخرسانة تعتمد و بشكل خاص على مرونة الركام المستعمل، كما أنها قد تتأثر باختلاف نسب الخلط، بالإضافة إلى احتمال تأثرها بالكربنة، إلخ.

$$Fc = 1.964\ RN - 33.43 \qquad (5)$$

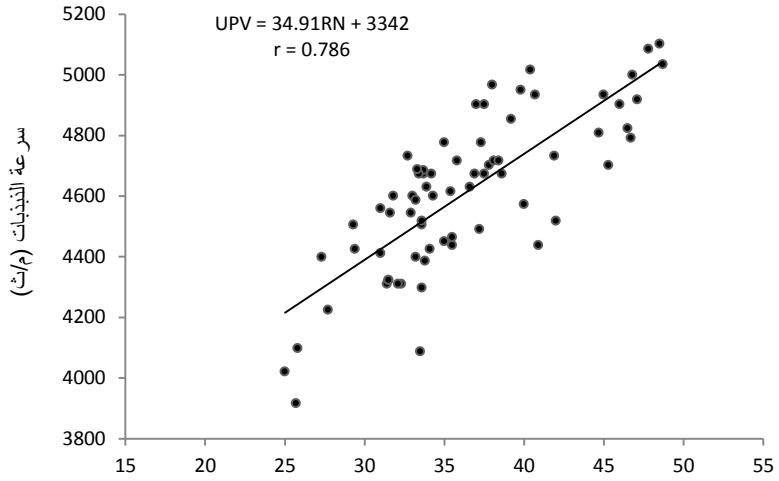


شكل (5): العلاقة بين رقم الإرتداد و مقاومة الإنضغاط

3. 6. العلاقة بين رقم الإرتداد وسرعة الذبذبات

الشكل 6 يبين العلاقة بين رقم الإرتداد (RN) و سرعة الذبذبات فوق السمعية (UPV) حيث يمكن الحصول على المعادلة (6). ونلاحظ بإن معامل الترابط (r = 0.786) وهو قليل بالمقارنة مع معامل الترابط للعلاقات السابقة، و يعود تفسير ذلك إلى إختلاف آلية الإختبار لسرعة الذبذبات فوق السمعية عن آلية الإختبار لرقم الإرتداد الذي يعتمد على صلابة سطح الخرسانة، بينما الإختبارالأول يعتمد على كثافة الخرسانة التي تتأثر بالفجوات و المسامات الشعرية، بالإضافة إلى نوعية و مقاس الركام الخشن، الخ .

$$UPV = 34.91RN + 3342 \qquad (6)$$



شكل (6): العلاقة بين رقم الإرتداد و سرعة الذبذبات

3. 7. مقارنة النتائج مع طرق تخمين مقاومة الخرسانة بإستخدام الطريقة المشتركة

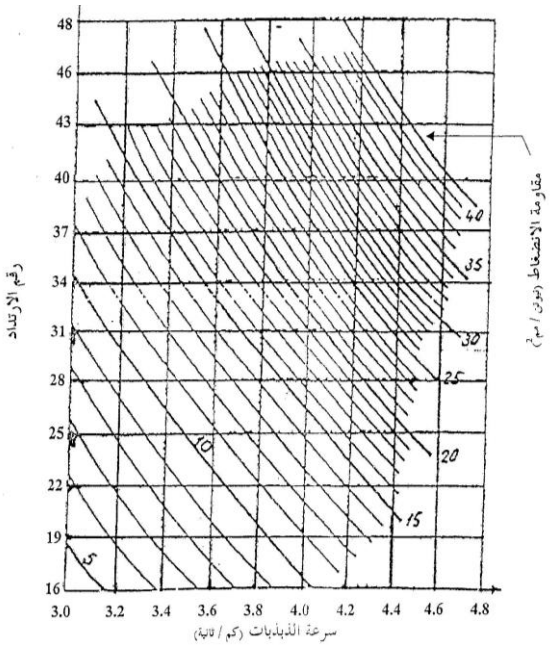
الطريقة المشتركة تستخدم إختبارين أو أكثر من أجل تخمين مقاومة الخرسانة، وفي هذا البحث تم إستخدام إختبار مطرقة الإرتداد و إختبار الذبذبات فوق السمعية. و يعتبر هذا أفضل من الإعتماد على إختبار لاإتلافي واحد؛ لأن ذلك يمكننا من الكشف على تغير خواص الخرسانة المختلفة بصورة أدق و أشمل، فمثلا: إختبار الذبذبات فوق السمعية يكون حساسا لوجود الفجوات و التشققات داخل النماذج الخرسانية، بينما إختبار مطرقة الإرتداد يكون حساسا جدا لحالة سطح النماذج الخرسانية المختبرة.

نتائج مقاومة الخرسانة المخمنة بإستخدام الطرق الثلاثة طريقـــة فاكـــورا [10]، طريقة بلايندر[11]، و طريقة كالن [12]مبينة فى الجدول 2 (لكثرة العينات تم إدراج نتائج 5 عينات فقط من أصل 71 عينة) بالإضافة الى نتائج مقاومة الإنضغاط الحقيقة والتى تم الحصول عليها من إختبار مقاومة الإنضغاط الاتلافي.

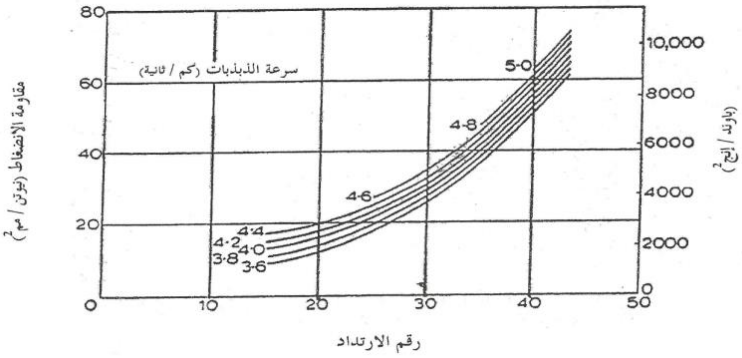
تم حساب مقاومة الإنضغاط المخمنة (جدول 2) بالإعتماد على رقم الإرتداد والذبذبات فوق السمعية وكما مبينة فى الشكل 7 المقترح من قبل فاكورا [10] والشكل 8 المعد من قبل بلايندر [11] والمعادلة (7) المستنتجة من قبل كالن [12] .

جدول (2): قيم مقاومة الإنضغاط الحقيقية ومقاومة الإنضغاط المخمنة للنماذج الخرسانية

رقم العينة	مقاومة الإنضغاط الحقيقية (نيوتن/مم^2)	مقاومة الإنضغاط المخمنة (نيوتن/مم^2)		
		طريقة فاكورا	طريقة بلايندر	طريقة كالن
1	16.6	13.6	22.0	19.9
2	**20.7**	15.5	24.0	21.7
3	57.7	49.0	77.0	60.7
4	24.1	24.9	33.0	30.3
5	44.7	38.0	54.0	44.1



الشكل (7): العلاقة بين رقم الإرتداد وسرعة الذبذبات فوق السمعية ومقاومة الإنضغاط المخمنة [10]



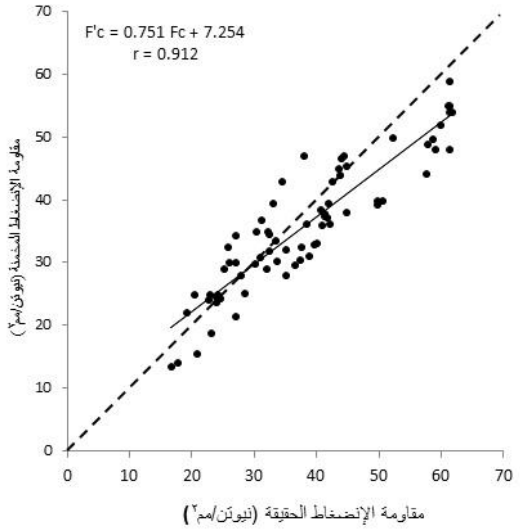
الشكل(8): العلاقة بين مقاومة الخرسانة المخمنة بالإعتماد على إختبار سرعة الذبذبات فوق السمعية وإختبار مطرقة الإرتداد [11]

$$F'c = 0.028\ (UPV)\ 1.846\ x\ (RN)\ 1.246 \qquad (7)$$

3. 8. العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة فاكورا

الشكل 9 يوضح العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية (Fc) و مقاومة الإنضغاط المخمنة (F'c) إستنادا إلى طريقة فاكورا [10]، وكانت العلاقة الخطية كما مبينة فى المعادلة (8) و معامل الترابط لها يكون (r = 0.912). نلاحظ من الشكل أن مقاومة الإنضغاط المخمنة متقاربة مع مقاومة الإنضغاط الحقيقية عندما تتراوح مقاومة الخرسانة بين (20 – 40) نيوتن/مم2 ، وتتطابق قيمة مقاومة الخرسانة المخمنة والحقيقية عندما تكون مقاومة الخرسانة (30) نيوتن/مم2. بينما يزداد الفرق بين المقاومة المخمنة والحقيقة عندما تزاد مقاومة الخرسانة عن (30) نيوتن/مم2 وبذلك تكون العلاقة الخطية المتحصل عليها أسفل خط التطابق (خط التطابق هو خط تساوي قيم المقاومة المخمنة مع الحقيقة). ويعود تفسير ذلك إلى أن الشكل 7 المقترح من قبل فاكورا كانت أعلى مقاومة إنضغاط للخرسانة المخمنة 40 نيوتن/مم2 بينما تم حساب مقاومة الإنضغاط المخمنة للقيم التى هى أكبر بافتراض نفس شكل العلاقة بين رقم الإرتداد والذبذبات فوق السمعية.

$$F`_c = 1.108F_c - 1.703 \qquad (8)$$

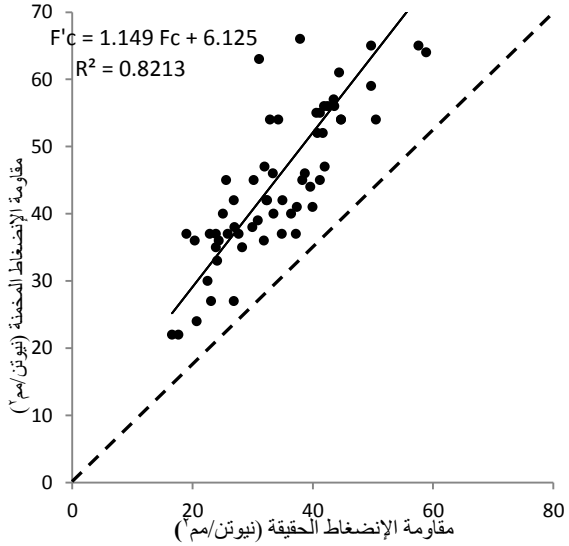


الشكل (9): العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية ومقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة فاكورا

3. 9. العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة بلايندر

الشكل 10 يوضح العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة بلايندر[11].. توضح النتائج أن مقاومة الإنضغاط المخمنة للخرسانة أكبر من مقاومة الإنضغاط الحقيقية بحدود 30% وبذلك تكون معادلة الخط المستقيم للعلاقة بين المقاومة المخمنة والحقيقية (9) أعلى خط التطابق و معامل الترابط (r = 0.906) لهذه العلاقة يعتبر أقل قيمة تم الحصول عليها مقارنة بطريقة فاكورا وطريقة كالن كما سياتي ذكرها لاحقاً.

$$F`_c = 1.149F_c + 6.125 \quad (9)$$



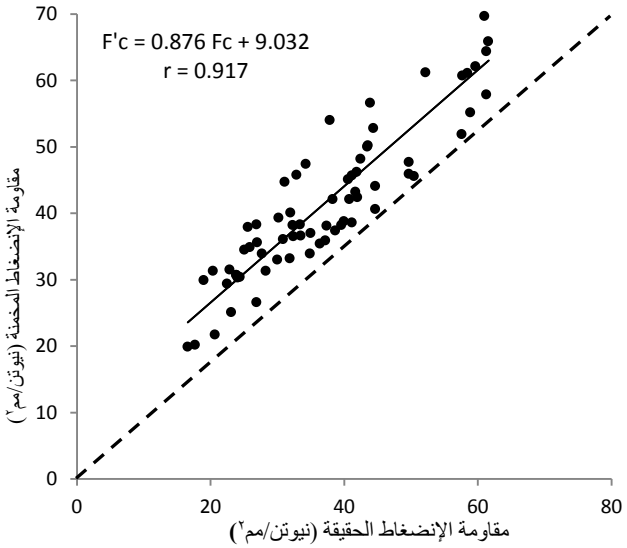
الشكل (10): العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة بلايندر

3. 10. العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة كالن

الشكل 11 يوضح العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة كالن[12]. وجد أن مقاومة الإنضغاط المخمنة أكبر من مقاومة الإنضغاط الحقيقية بحدود 15% ويقل هذا الفارق بزيادة مقاومة الخرسانة وبذلك تكون معادلة الخط المستقيم للعلاقة بين المقاومة المخمنة والحقيقية (10) أعلى خط التطابق.

بالاضافة إلى ذلك كان معامل الترابط (r = 0.917) لهذه العلاقة وهو أفضل معامل ترابط مقارنة بطريقة فاكورا وطريقة بلايندر.

$$F`_c = 0.876\ F_c + 9.032 \qquad (10)$$



الشكل(11): العلاقة بين مقاومة الإنضغاط الحقيقية و مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة كالن

4. الإستنتاجات

4. 1. مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة فاكورا أعطت نتائج متقاربة مع مقاومة الإنضغاط الحقيقية للخرسانة التي مقاومتها أقل من 40 نيوتن/مم^2.

4. 2. مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة بلايندر أعطت نتائج أعلى من مقاومة الإنضغاط الحقيقية بمقدار (30%)، و يزداد هذا الفارق بزيادة مقاومة الخرسانة .

4. 3. مقاومة الإنضغاط المخمنة بطريقة كالن أعطت نتائج أعلى من مقاومة الإنضغاط الحقيقية بمقدار (15%)، ويقل هذا الفارق بزيادة مقاومة الخرسانة .

4. 4. يمكن استخدام الطريقة المشتركة لمعرفة قوة تحمل الخرسانة موقعيا، و كذلك لأغراض السيطرة النوعية و معرفة مدى تجانس الخرسانة المنتجة، سواء في موقع العمل للهياكل الخرسانية المنفذة، أو في معامل البناء الجاهز، لمراقبة تصنيع المنتوجات الخرسانية و المقاطع الخرسانية المسبقة الصب.

5.المراجع

1. Neville، A. M., (1995). *"Properties of Concrete"*. 4th Edition, Pitman Books Limited, London, UK.
2. ACI Committee 318, (2005), *"Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and commentary (318R-05)"*. American Concrete Institute, pp. 430, Farmington Hills, Michigan.
3. British Standrad Institution

   3.1 BS 1881:Part 108: 1983:*" Method for making test cubes from fresh concrete"*.

   3.2 BS 1881: Part 111: 1983: Method for normal (20 ^{o}C Method).

   3.3 BS1881:Part 116: 1983: *"Method for determination of compressive strength concrete cubes"*.

3.4 BS 1881:Part 117: 1983*: "Method for determination of tensil splitting strength"*.

3.5 BS 1881: Part 118: 1983: *"Method for determination of flextural strength"*.

3.6 BS 1881: Part 121: 1983: "*Method for determination static modulus of elasticity in compression"*.

3.7 BS 1881: Part 201: 1986: Guide to the use of non destrictive method of test for hardended concrete.

3.8 BS 1881: Part 202: 1986: Recommendations for surface hardness testing by Rebound hammer.

3.9 BS 1881: Part 203: 1986: Measurement of the velocity of ultrasonic pulse in concrete.

4. American society for testing materials

4.1 ASTM C 31 – 1999: Practice for making and curing concrete test specimens in the field.

4.2 ASTM C 39 – 1999: Test for compressive strength of cylindrical concrete specimens.

4.3 ASTM C 78 – 1994: Test for flexural strength concrete (using simple beam with third- point loading).

4.4 ASTM C 469 – 1999: Test for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression.

4.5 ASTM C 496 – 1999: Test for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens.

4.6 ASTM C 597 – 1997: Test for pulse velocity through concrete.

4.7 ASTM C 803 – 1997: Test for penetration resistance of hardened concrete.

4.8 ASTM C 805 – 1997: Test for Rebound number of hardened concrete.

4.9 ASTM C 900 – 1997: Test for pullout strength of hardened concrete.

5. ACI committee 228.1R-95, (1996), *"In place Method to Estimate concrete strength"*, part 2: Construction practices and Inspection pavements, ACI Manual of concrete practice.
6. Newman, J. and Choo, B. S. (2003*). "Advanced Concrete Technology, Testing and Quality"*, Elester Ltd, UK.
7. Malhotra, V.M. (1976), *"Testing hardened concrete: non destrective methods. Monograph.No.9"*, M1, American concrete institute, Detroit, USA.
8. Nazaki, Y., (1976) *"Estimating the strength of structural concrete by ultrasonic pulse velocity method"*, Symposium on Quality Control of Concrete structures, Swedish Cement and Concrete Research Institute,RILEM, Vol. 1, PP . 143-150.
9. Swamy,R.N. and Al-hamed, A. H. M. S., (1984). *"The use of pulse velocity measurement to estimate of air-cured cubes and hence in situ strength of concrete"*. SP – 82, PP. 247-276.
10. Facaoaru, I ., (1984*)," Romanian Achievements in non destrective strength testing of concrete"*, In: ACI in situ/non destrective testing of concrete, SP - 82, 35 – 56.
11. Belander, U., (1977), *"Concrete Strength in Finished Structures"*, Swedish cement and concrete Research Inst. (CBI), Part 3, PP.266.
12. Galan, (1984), *"Materials and Structure"*, Vol .1, PP . 21-35.