تقييم العلاقة الاحصائية بين مقاومة الضغط ونتائج الاختبارات الغير إتلافية عند تغير رتبة وظروف المعالجة للخرسانة

د. نورالدين محمد الطوير *

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة المرقب، ليبيا

nmaltwair@elmergib.edu.ly

الملخص

تعتبر مقاومة الضغط للخرسانة أحد أهم الخواص اللازمة لتحديد مدى قبول الخرسانة من الناحية الانشائية، ففي عديد الحالات تظهر الحاجة لتقييم مقاومة الضغط للخرسانة في الموقع سواء أثناء التنفيذ أو خلال فترة استخدام المنشأ. هناك عدة طرق غير إتلافيه لتقييم مقاومة ضغط الاعضاء الخرسانية للمنشأ، والتي من أهمها اختبار الموجات فوق الصوتية واختبار مطرقة شميديت. في هذا البحث تم إيجاد علاقات رياضية لتخمين مقاومة الضغط للخرسانة بالطرق الغير إتلافية لعينات ذات رتب مختلفة وظروف معالجة مختلفة. حيث تم اعتماد ثلاث خلطات خرسانية بمقاومة تصميمية (C20، C25، C30)، كما تم ايضا اعتماد طريقين من المعالجة وهما المعالجة في الماء والمعالجة في الهواء. نتائج الدراسة بينت أنه بالإمكان إيجاد علاقة رياضية أسية تربط مقاومة الضغط بسرعة الموجات فوق الصوتية و رقم الارتداد لمطرقة شميدت. و أظهرت النتائج ايضا أن كلما زادت مقاومة الضغط المتحصل عليها في الواقع رافقه زيادة في مقدار معامل الارتباط، مما يدل على أن هناك علاقة طردية بين معامل الارتباط و رتبة الخرسانة، وهذا بدوره يقود إلى القول أن الخرسانات التي لها مقاومة عالية (ضمن حدود هذه الدراسة) يكون فيها معامل الارتباط أقرب إلى الواحد الصحيح. كما أوضحت النتائج أن قوة العلاقة تقترب من القوية و تتحسن عند المعالجة في الماء إذا ما قورنت عند معالجة العينات في الهواء.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الضغط، اختبار الموجات فوق صوتية، اختبار مطرقة شميدت، ظروف المعالجة.

1. مقدمة

مقاومة الضغط من أهم خواص الخرسانة المتصلدة على الإطلاق، حيث تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها. إنّ معظم خواص الخرسانة مثل مقاومة الشد والانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح، لذلك يُجرى اختبار الضغط بغرض التحكم في جودة إنتاج الخرسانة في موقع المشروع كما يستخدم هذا الاختبار في أغراض التصميم الإنشائي لتحديد المقاومة المميزة وإجهاد التشغيل للخرسانة في الضغط الذي يؤخذ كنسبة من المقاومة القصوى للضغط، كما يفيد اختبار الضغط في تحديد صلاحية الركام وماء الخلط [1]. إنّ استخدام الاختبارات الغير إتلافيه لتقييم المنشآت الخرسانية تعتبر من الطرق المهمة في الوصول إلى قرار الرفض والهدم أو القبول، كما أنها تساعد في معرفة خواص الخرسانة في الموقع أو المختبر دون الحاجة إلى تلف جزء من المنشأ أو النموذج وهي الطريقة الأفضل للوصول إلى نتائج محددة حول قابلية تحمل الخرسانة موقعيّا. في عدّة حالات تظهر الحاجة لتقييم مقاومة الضغط للخرسانة في الموقع سواءً أثناء التنفيذ أو خلال فترة عمر المنشأ ، وقد توسعت مجالات استعمال الفحوصات الغير إتلافيه في تحديد موقع الفراغات وحديد التسليح في الخرسانة وسمك الغطاء الخرساني في المنشأ فتحديد هذه العوامل لا يقل أهمية عن تحديد قابلية تحمل الخرسانة [2]. العينات الخرسانية سواءً المنفذة في المعمل أو في الحقل قد تختلف فيها نسب مكونات الخلطة، مما يكون له أثر كبير على اختلاف الخواص الهندسية للعنصر الخرساني ، ومن بين هذه الخواص هي مقاومة الضغط ، فعند إجراء الاختبارات المعروفة لتحديد مقاومة الضغط سواءً بالطرق الاتلافيه أو الطرق الغير إتلافيه يكون هنالك اختلاف في قيمة المقاومة بين الطريقتين. إنّ تأثير تغيير نسب مكونات الخلطات المصنعة في الخلاطات المحلية و طرق معالجة الخرسانة على العلاقة بين الموجات فوق الصوتية ومقاومة الضغط غير واضح، وهذا ينطبق أيضاً إضافة إلي العلاقة بين مقاومة الضغط ومقدار الارتداد لمطرقة شميدت [4,3].

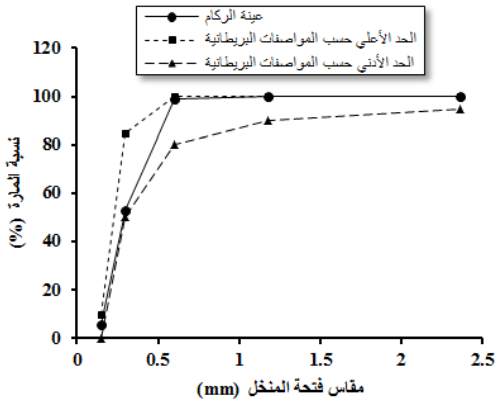
تشير الدراسات السابقة أنّه يمكن تحديد العلاقة بين الاختبارات الإتلافيه و الغير إتلافيه من خلال استنباط علاقة رياضية يمكن أن تكون خطية أو أسية تربط بينهما وبين مقدار الارتباط والذي يعتمد على العديد من المتغيرات مثل نوع الخرسانة و زمن المعالجة ونسب مكونات الخلطات و

الإضافات [4,2-7]. من خلال الدراسات المتاحة، لوحظ أن معظم الباحثين تعاملوا مع تقدير مقاومة الضغط للخرسانة دون الربط بين رتب الخرسانة المعروفة في الواقع العملي وكذلك مدى تأثير ظروف المعالجة على العلاقة بين مقاومة الضغط ونتائج الاختبارات الغير إتلافية. من هنا جاءت فكرة هذه الدراسة والتي ركزت على تقييم العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية المتحصل عليها من اختبار الموجات فوق الصوتية والعلاقة بين مقاومة الضغط ومقدار مسافة الارتداد المتحصل عليها من اختبار مطرقة شميدت عند تغيير رتبة الخرسانة وظروف المعالجة. هذه الدراسة تعاملت مع عينات من الخرسانة وفقا لما هو متاح من رتب في السوق المحلية. فهذه الدراسة تعرض منحنى العلاقة بين مقاومة الضغط والنتائج المتحصل عليها من الاختبارات الغير الإتلافيه وذلك لتحسين تطبيقات الطرق الغير الإتلافيه.

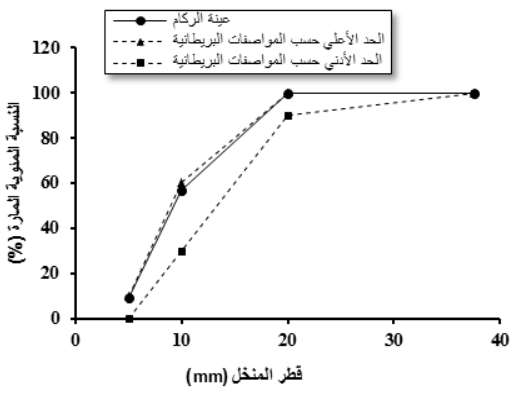
2. البرنامج العملي

1.2 المواد المستخدمة

الاسمنت المستخدم في هذه الدراسة هو إسمنت بورتلاندي عادي من إنتاج مصنع البرج للإسمنت التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات والمطابق للمواصفات القياسية الليبية (م.ق.ل340/1997)[8] . استخُدام رمل طبيعي خال من الشوائب وزنه النوعي 2.7 و معامل امتصاصه 2.23%. يوضح الشكل 1 التدرج الحبيبي للركام الناعم حسب المواصفات البريطانية (5BS812:199) [9] . حيث تم استخدام حجمان من الركام الخشن الاول ذا مقاس اعتباري 10 مم و الثاني ذا مقاس اعتباري 02 مم ، و وزن نوعي 2.718 ومعامل امتصاص 1.6%. يوضح الشكل 2 التدرج الحبيبي للركام الخشن وفق المواصفات البريطانية 812BS-1995.



الشكل 1: التدرج الحبيبي للركام الناعم وفق المواصفات البريطانية رقم BS812.



الشكل 2: التدرج الحبيبي للركام الخشن وفق المواصفات البريطانية رقم *BS*812.

ماء الخلط المستخدم في هذه الدراسة مطابق للمواصفات القياسية الليبية (م.ق.ل 1988/294) [10] ، وهو ماء صالح للشرب خال من المواد العضوية والشوائب.

2.2 تصميم الخلطات وإعداد العينات الخرسانية وفق رتبة الخرسانة، تم اعتماد ثلاثة خلطات من الخرسانة العادية وهي 02C, C25, 03C ، حيث كانت مكونات الخلطات المدروسة مختلفة وفقا لمتطلبات المقاومة المطلوبة. و اختيرت هذه الرتب من الخرسانة وفق ما هو موجود في السوق المحلي والتي تنفذ بها أغلب المنشآت الخرسانية بليبيا. الجدول رقم 1 يوضح كميات المواد المستخدمة لكل متر مكعب من الخرسانة. صُب 36 مكعب لكل رتبة بمجموع كلي 108 مكعب بمقاس 15سم × 15سم × 15 سم. و بعد 24 ساعة من عملية الصب تم فك جميع القوالب ورُقّمت، ثم غُمر نصف عدد العينات في الماء والنصف الاخر تمت معالجتها في الهواء في درجة حرارة الغرفة، وتركت العينات إلي موعد إجراء الاختبارات بعد 28 يوماً من تاريخ الصب.

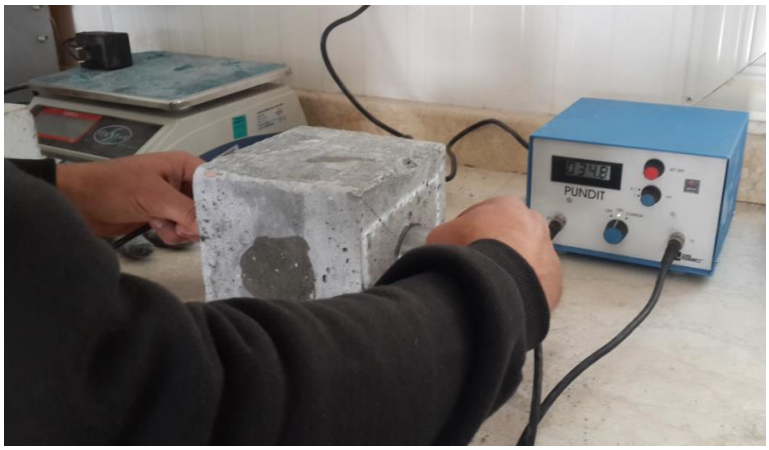
الجدول 1: كميات خلط المواد المستخدمة في الخرسانة بـ(كجم/م^3)

الخلطة	إسمنت	ركام ناعم	ركام خشن (10 مم)	ركام خشن (20 مم)	ماء
C20	280	700	400	700	205
C25	310	700	400	700	210
C30	350	700	400	700	225

2.3 الاختبارات المعملية

1.2.3 اختبار الموجات فوق الصوتية

تعتمد فكرة هذا الاختبار على حقيقة أنّ الموجات فوق الصوتية لا تسري في الفراغ فتسلك الموجة مساراً أطول إذا صادفت شرخا أو فجوة، عليه فإن السرعة تختلف ويزيد زمن انتقال الموجات. تم استخدام جهاز (CNS FARNELL PUNDIT 6)في قياس سرعة الموجات فوق الصوتية بالطريقة المباشرة طبقا للمواصفات الأمريكيةASTM C597 [11]. الشكل رقم 3 يوضح طريقة إجراء هذا الاختبار.



الشكل 3: جهاز اختبار الموجات فوق الصوتية

2.2.3 اختبار مطرقة شميدت

تعتمد فكرة الاختبار على أنّ قوة ارتداد رأس المطرقة يعتمد على قوة السطح الذي تصطدم به، ويستخدم رقم الارتداد في التعبير على القيمة التقريبية لمقاومة الضغط للخرسانة [1]. تم إجراء هذا الاختبار وفق المواصفات الأمريكية ASTM C805 [12]. الشكل رقم 4 يبين طريقة إجراء الاختبار.

الشكل 4: طريقة إجراء اختبار مطرقة شميدت.

3.2.3 اختبار مقاومة الضغط

أُجري اختبار تحديد مقاومة الضغط وفقا للمواصفات البريطانية (BS 1881-116) [13]. و بمعدل تحميل مقداره 0.3 ميجا باسكال لكل ثانية. إن العلاقة بين قوة الضغط و قيم الارتداد لمطرقة شميدت وقوة الضغط و سرعة الموجات فوق صوتية حددت بمعادلة أسية حيث تظهر قيمة رقم الارتداد (R) و سرعة الموجات فوق صوتية (V) في صورة أسية (xponentialE

(alueV كمتغير مستقل بينما تظهر مقاومة الضغط (F_u) كمتغير تابع. وهذا الطريقة في تحديد العلاقة بين متغيرين وجدت في عديد الدراسات السابقة القديمة و الحديثة [4,16–14]. وكما موضح في العلاقة رقم 1 [16].

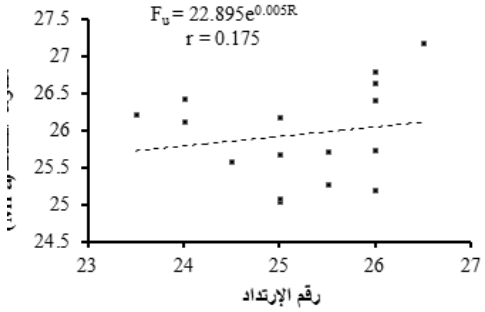
$$^{V}F_c=ae^{b} \quad (1)$$

حيث a ، b: متغيرات تعتمد على خواص و مكونات الخرسانة.

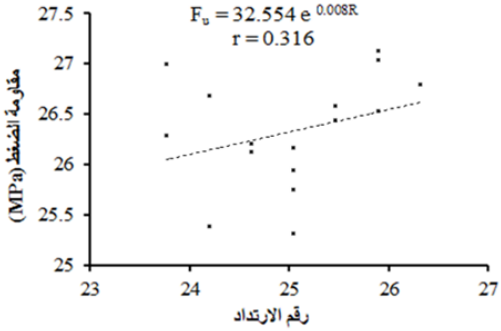
3. تحليل ومناقشة النتائج

تُظهر الأشكال من 4 الى 9 العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد لمطرقة شميدت عند تغيير رتبة الخرسانة عند تغير ظروف المعالجة. الملاحظ أن كل العلاقات التي تربط قيمة رقم الارتداد و مقاومة الخرسانة لجميع رتب الخرسانة و كذلك ظروف المعالجة كانت طردية موجبة ((1> r >0. أي أن الزيادة في أحد المتغيرات (رقم الارتداد لمطرقة شميدت) يتبعها زيادة في المتغير الثاني (مقاومة ضغط الخرسانة) والنقص في المتغير الأول يتبعه أيضا نقص في المتغير الثاني. فضمن حدود هذه الدراسة، معامل الارتباط يختلف باختلاف رتبة الخرسانة وظروف المعالجة. حيث يمكن ملاحظة أن كلما زادت رتبة الخرسانة رافقه زيادة في قيمة معامل الارتباط ليقترب أكثر من الواحد الصحيح. فعندما كانت رتبة الخرسانة C20، سُجلت قيمة لمعامل الارتباط مقدارها 0.175 عند المعالجة في الهواء، والتي تزداد بزيادة رتبة الخرسانة لتصل الى 0.286 عند الرتبة C25 حتى تصل الى 0.473 عند C30. و التي تعتبر في المجمل علاقة ارتباط من الضعيفة الى المتوسطة بين المتغيرين (رقم الارتداد ومقاومة الخرسانة). أما عند معالجة المكعبات الخرسانة في الماء، فقد لوحظ زيادة في قيمة معامل الارتباط بين رقم الارتداد و المقاومة الضغط بالمقارنة مع نفس رتب الخرسانة. حيث كانت قيم معامل الارتباط 0.316 و 0.587 و 0.617 عند رتبة الخرسانة C20و C25 و C30 على التوالي، وهذا واضح جليا في الشكل رقم 9. فالمكعبات الخرسانية التي كانت رتبة خرسانتها C3 والتي تمت معالجتها في الماء كانت العلاقة بين رقم الارتداد و مقاومة الخرسانة تكاد تكون علاقة ارتباط طري قوي. إن سبب الزيادة في معامل الارتباط عند المعالجة في الماء وعند زيادة رتبة الخرسانة قد يكون بسبب كون مقاومة الخرسانة تزداد عند معالجتها في الماء مقارنة مع المعالجة في الهواء لان المعالجة في الماء تعطي ظروف مناسبة و مثالية لتكوين نسيج اسمنتي اكثر تجانسا واكثر خلوا من المسامات الذي بدوره يعطي خرسانة

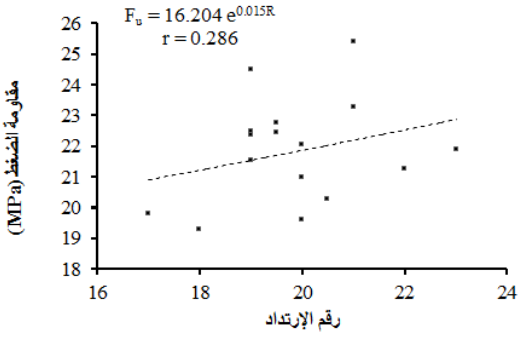
اقوى. كما أن مكونات الخلطة الخرسانية ذات الرتب الاعلى تكون فيها نسبة الاسمنت أعلى، الامر الذي يزيد من مقاومة الضغط [18,17]. كل ذلك يساهم في الحصول على خرسانة ذات كثافة و تجانس في تكوينها الدقيق افضل من تلك المعالجة في الهواء وذات نسبة أسمنت أقل، مما يساهم بشكل كبير في الحصول على مكعبات ذات مقاومة ضغط الى حدا ما متقاربة، بالتالي تزداد قيمة رقم الارتداد بشكل متقارب لأغلب المكعبات، و كنتيجة لذلك الحصول على علاقة ارتباط اقوى.



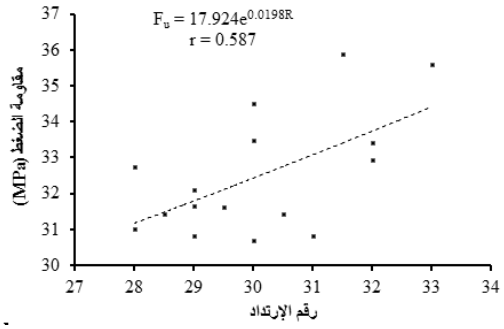
الشكل 4: العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C20)) و المعالجة في الهواء.



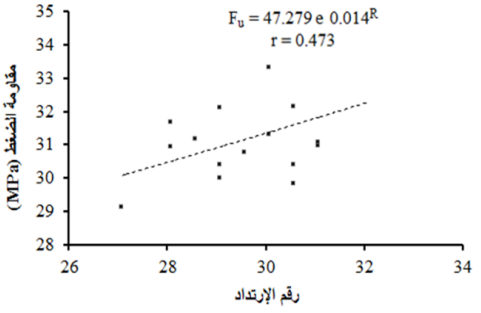
الشكل 5: العلاقة بين مقاومة الضغط و رقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C20)) و المعالجة في الماء.

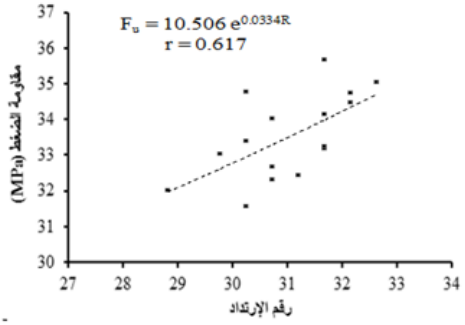


الشكل 6: العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C25)) و المعالجة في الهواء.



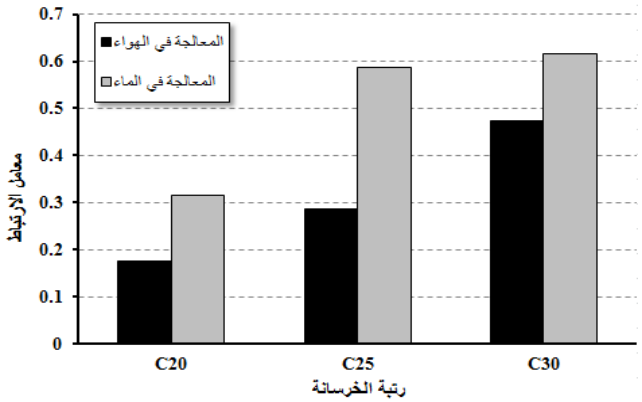
الشكل 7: العلاقة بين مقاومة الضغط و رقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C25)) و المعالجة في الماء.





الشكل 8: العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C30)) و المعالجة في الهواء.

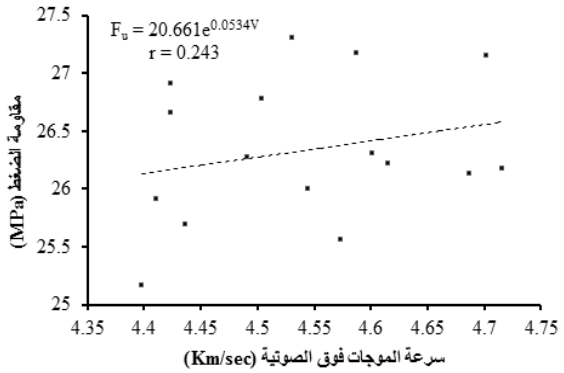
الشكل 9: العلاقة بين مقاومة الضغط و رقم الارتداد عند رتبة الخرسانة C30)) و المعالجة في الماء.



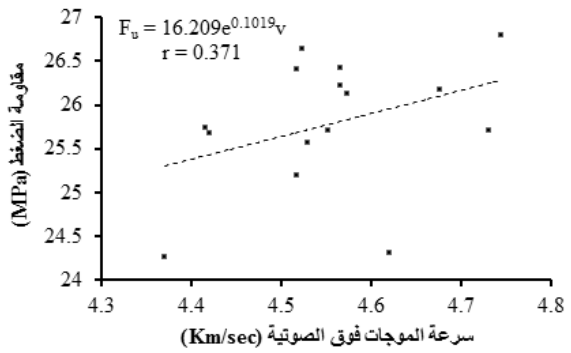
الشكل 9 : التباين في قيم معامل الارتباط عند تغير رتبة الخرسانة وظروف المعالجة بالنسبة لإختبار مطرقة شميدت.

تبين الأشكال من 10 الى 15 العلاقة بين مقاومة الضغط سرعة الموجات فوق الصوتية عند تغيير رتبة الخرسانة و ظروف المعالجة. حيث يمكن ملاحظة أن هذه العلاقات تتوافق مع ما قد تم ذكره عند مناقشة نتائج العلاقات بين مقاومة الضغط ورقم الارتداد لمطرقة أشميدت. وهذا التماثل لوحظ سواءً من ناحية ظروف المعالجة او من ناحية التغير في رتبة الخرسانة من C20 الى C30. فضمن حدود هذه الدراسة، الزيادة في سرعة الموجات فوق صوتية يتبعها زيادة في مقاومة ضغط الخرسانة والنقص في المتغير الأول يتبعه أيضا نقص في المتغير الثاني، وفق علاقة طردية موجبة أي بقيمة لمعامل الارتباط تنحصر بين الصفر و الواحد الصحيح. فكلما زادت رتبة الخرسانة رافقه زيادة في قيمة معامل الارتباط ليقترب أكثر من الواحد الصحيح، فعند رتبة الخرسانة C20، كانت قيمة معامل الارتباط 0.243 عند المعالجة في الهواء والتي تشهد زيادة بزيادة رتبة الخرسانة لتكون 0.262 عند الرتبة C25 لتصل الى 0.568 عند C30. وهذه العلاقة من الارتباط تصنف على انها ضعيفة الى متوسطة. عند معالجة المكعبات الخرسانة في الماء، قد تبين زيادة في قيمة معامل الارتباط بين سرعة الموجات فوق صوتية و مقاومة الضغط بالمقارنة مع نفس رتب الخرسانة المذكورة. فقيم معامل الارتباط كانت 0.371 و 0.538 و 0.793 عند رتبة الخرسانة C20 و C25 و C30 على التوالي، وكما مبين في الشكل 16. كما هو معروف أن سرعة الموجات فوق صوتية تزداد بزيادة رتبة الخرسانة أي مقاومة ضغط خرسانة، و يرجع

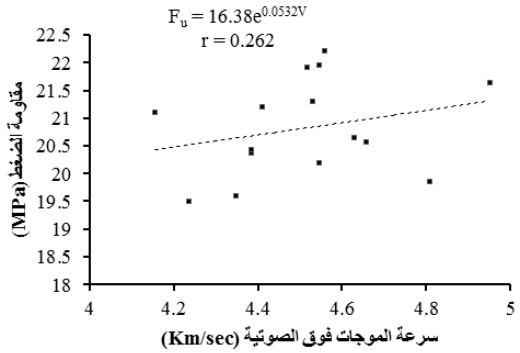
ذلك إلى تفاعلات الإماهة الحاصلة في الخرسانة ذات المقاومة الاعلى تؤدي الى زيادة كثافة النسيج الخرساني و بالتالي تقليل المسامات ليصبح النسيج الاسمنتي للخرسانة اكثر تجانسا مما يزيد من سرعة موجات الفوق الصوتية في الخرسانة [20,19]. وهذا بدوره يقلل من هامش الاختلاف في قيمة مقاومة الضغط بين المكعبات الخرسانية لنفس الرتبة الذي يكون له دور كبير في اقتراب قيمة معامل الارتباط بين مقاومة الضغط و سرعة الموجات فوق صوتية من الواحد الصحيح.



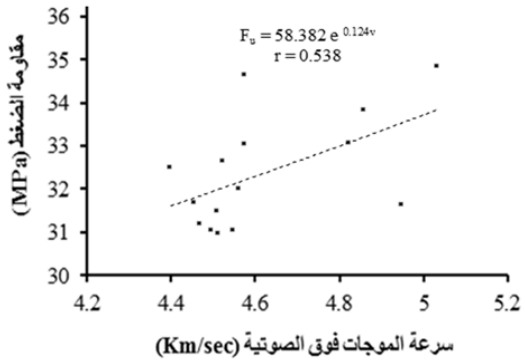
الشكل 10: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C20)) و المعالجة في الهواء.



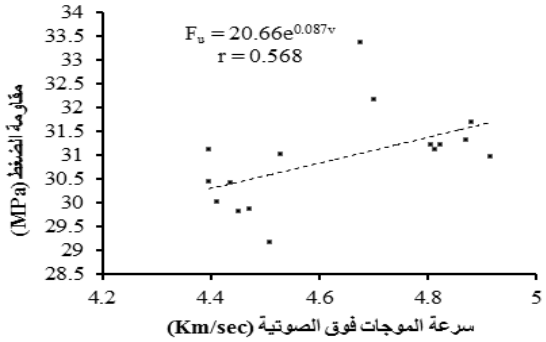
الشكل 11: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C20)) و المعالجة في الماء.



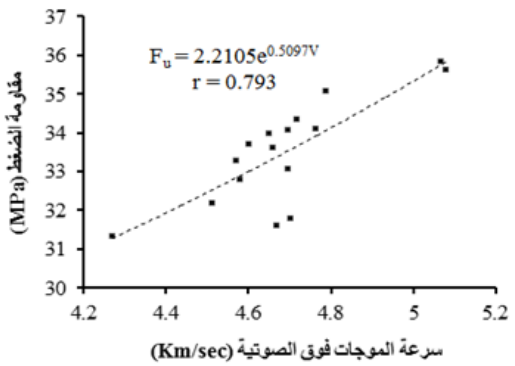
الشكل 12: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C25)) و المعالجة في الهواء.



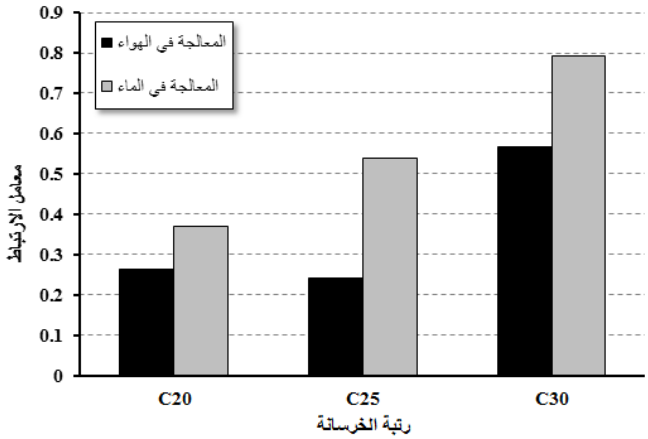
الشكل 13: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C25)) و المعالجة في الماء.



الشكل 14: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C30)) و المعالجة في الهواء.



الشكل 15: العلاقة بين مقاومة الضغط وسرعة الموجات فوق الصوتية عند رتبة الخرسانة C30)) و المعالجة في الماء.



الشكل 16: التباين في قيم معامل الارتباط عند تغير رتبة الخرسانة وظروف المعالجة عند استخدام جهاز الموجات الصوتية.

يمكن أن تحدث أخطاء في تقدير مقاومة الضغط باستخدام الاختبارات غير إتلافية بسبب عدم تجانس مكونات الخرسانة وكذلك محتويات الهواء و نسبة المسامات و الفراغات و الاختلاف في حجم الركام الخشن و طريقة المعالجة. فكل هذه المتغيرات تؤثر على القيم المتحصل عليها من الاختبارات الغير إتلافيه مثل رقم الارتداد لمطرقة شميدت و سرعة الموجات فوق صوتية. ويمكن التقليل من نسبة الخطأ الحاصلة، وذلك بتقليل الفراغات و المسامات و اختيار تدرج و نوع ركام مناسب و توفير معالجة افضل. كل ذلك يزيد من المقاومة الفعلية للخرسانة و بالتالي نقترب قيم مقاومة الضغط المتحصل عليها فعليا مع تلك المتحصل عليها من الاختبارات الغير إتلافية [21].

4- الاستنتاجات

ضمن حدود هذه الدراسة القابلة لتحسين والتطوير وبناءً على نتائج المتحصل عليها، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

- هناك تأثير واضح لظروف المعالجة على قوة العلاقة بين رقم ارتداد مطرقة شميدت ومقاومة الخرسانة، وكذلك سرعة الموجات فوق صوتية ومقاومة الخرسانة. فقد سُجلت اعلى القيم لمعامل الارتباط عند معالجة المكعبات في الماء مقارنة بتلك المعالجة في الهواء. فقوة العلاقة تقترب من القوية وتتحسن عندي المعالجة في الماء.
- يزداد معامل الارتباط بزيادة رتبة الخرسانة، فالنتائج المتحصل عليها بينت ان العلاقة بين رقم ارتداد مطرقة شميدت ومقاومة الخرسانة من ناحية وسرعة الموجات فوق صوتية ومقاومة الخرسانة من ناحية أخرى تتحسن كثيرا لتتقرب من القوية عند رتبة خرسانة C30. في حين العلاقة كانت ضعيفة عندما كانت رتبة الخرسانة C20.
- تقدم الدراسة الحالية مؤشرا لعلاقات أسية رياضية مفيدة تساعد المهندسين على التنبؤ بمقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة الواقعية. ومن خلال ذلك يمكن معرفة الطريقة الافضل والامثل للمعالجة وكذلك معرفة رتبة الخرسانة اللتان عندهما يمكن الحصول على قيم مقاومة ضغط قريبة من الواقع.
- لوحظ تقارب في النتائج المتحصل عليها سواءً باستخدام مطرقة شميدت او جهاز الموجات فوق صوتية، وهذا يبن ان كلا الطريقتين مناسبتين لتقدير قوة الخرسانة والتنبؤ بها ، مما يجعل الحكم الهندسي سهلاً للغاية.

5- شكر وتقدير

يتقدم المؤلف بالشكر والتقدير الى كل الفنيين والمسؤولين بمصنع العوارض الخرسانية بالخمس، لما قدموه من مساعدة وتوفير الاجهزة والمعدات لإنجاح إتمام هذه الدراسة.

6- المراجع

[1] محمود أمام، محمد أمين، "خواص المواد واختبارها"، كلية الهندسة جامعة المنصورة، الطبعة الاولى، 2007.

[2] A. H. Al-Zuhairi, "Estimation of flexural strength of plain concrete from ultrasonic pulse velocity", *Journal of Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 197-206, February 2013. https://iasj.net/iasj/article/65047.

[3] D. Breysse, X. Romão, M. Alwash, Z. . Sbartaï, V. Luprano, "Risk evaluation on concrete strength assessment with NDT technique and conditional coring approach", *Journal of Building Engineering*, vol. 32, no. 3, pp. 155-176, November 2020. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101541.

[4] A. Said , B. A. Hussein , "Assessment of concrete compressive strength by ultrasonic non-destructive test", Second International Conference on Geotechnical Engineering – Iraq (ICGE 2021), E3S Web Conf., Vol. 318, pp. 11-22, pp. 155-176, November 2021, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131803004.

[5] J. A. Bogas, M. G. Gomes, A. Gomes, "Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method", *Ultrasonics*, Vol. 54 , no. 5, pp. 241 – 251. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2012.12.012.

[6] Z.Ç. Ulucan, K. Türk, M. Karata, "Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete", *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 44, no. 5, pp. 367–374,August 2008. https://doi.org/10.1134/S1061830908050100.

[7] D.Castillo, S. Hedjazi, "Early-age compressive strength and dynamic modulus of FRC based on ultrasonic pulse velocity", Materiales de Construcción, Vol. 71, no 343, pp. 78-90, September 2021. https://doi.org/10.3989/mc.2021.14720.

[8] المواصفة القياسية الليبية (م ق ل 97/340)،" الإسمنت البورتلاندي العادي"، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، 1997.

[9] BS 812: Part 2, "Sampling, shape, size and classification. Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers", British Standards Institution Publication, London, UK, 1995.

[10] المواصفة القياسية الليبية (م ق ل 1988/294)، "المياه المستعملة في الخرسانة"، المركز الوطني للمواصفات و المعايير القياسية، طرابلس، 1988.

[11] ASTM C597, "Standard test method for pulse Velocity through concrete", West Conshohocken, PA, 2008.

[12] ASTM C805, "Standard test Method for Rebound number of hardened concrete", West Conshohocken, PA, 2008.

[13] BS 1881: part 116, " Testing concrete: Method for determination of compressive strength of concrete cubes", British Standards Institution Publication, London, UK, 1998.

[14] Z. Raouf, and Z. M. Ali, "Assessment of concrete characteristics at an early age by ultrasonic pulse velocity", *Journal of Building Research*, vol. 2, no. 1, pp.31-44. May 1983. https//doi.org.10.13140/RG.2.2.24663.09123.

[15] K. Tharmaratnam, B.S. Tan, "Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar", *Cement and Concrete Research*, vol. 20, no. 3, 335-345, May 1990.
https://doi.org/10.1016/0008-8846(90)90022-P

[16] A. Elhakam Aliabdo, A. M. Elmoaty, "Reliability of using nondestructive tests to estimate compressive strength of building stones and bricks**"**. *Alexandria Engineering Journal, vol.* 51, no. 3, pp.193–203, September 2012. https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.05.004

[17] H. R. Kumavat, N. R. Chandaka, I. T. Patil, "Factors influencing the performance of rebound hammer used for non-destructive testing of concrete members: A review", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, no. 2, pp. 1-12, June 2021. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491.

[18] R. P. Memon, A. M. Sam, A. Z. Awang, U. Memon, "Effect of Improper Curing on the Properties of Normal Strength Concrete, Engineering", *Technology & Applied Science Research*. vol. 8, no. 6, pp. 3536-3540, December 2018. https://doi.org/10.48084/etasr.2376.

[19] علي حميد، صافي عليوي، شاكر محمد، عامر إبراهيم، "تأثير حديد التسليح على فحص سرعة الموجات فو ق الصوتية للكونكريت"، المؤتمر العلمي الهندسي الأول، كلية الهندسة - جامعة ديالى، 22-23 ديسمبر 2010.

[20] G. Karaiskos, A. Deraemaeker, D. G. Aggelis, D. V. Hemelrijck, "Monitoring of concrete structures using the ultrasonic pulse velocity method", *Smart Materials and Structures*, vol. 24, no. 11, pp. 113001, November, 2015 .https://doi.org/10.1088/0964-1726/24/11/113001.

[21] T. Gonen, "The effect of inadequate compaction on compressive strength of concrete exposed to elevated temperature", *Scientia Iranica*, vol. 23, no. 1, pp. 114-121, January 2016. https://doi.org/10.24200/sci.2016.2102.