دراسة بعض خواص الخرسانة الرغوية باعتماد سرعة الموجات فوق الصوتية

أمير عبد الرحمن هلال الدليمي
مدرس مساعد
كلـــية الهندســـة– جامعـــة الانـــبار

Abstract :-

Concrete is by far the most widely used construction material now today. Foamed concrete is light building material with good strength as well as low thermal conductivity and easy workability; it is produced by either Mix Foam Method or Pre-formed Foam Method.

Ultrasonic Pulse Velocity(UPV) is a non destructive technique involve measuring the speed of sound through concrete in order to predict concrete strength and to detect the presence of cracking, voids, decay and other damages.

This research includes three main experimental stages:-

The first stage includes the production of foamed concrete and it was divided into two parts, the first part, mixing design(determination the proportions of the raw materials) was presented in the second part, the mixing procedure has been illustrated.

The second stage includes preparation of samples,(i.e. molding, finishing surface, removal from molds, and curing).

The third stage includes several teste to estimate properties the final product and factors influencing them, these properties include density, compressive strength, and the ultrasonic pulse velocity.

From the experimental work and at the same test's age, the compressive strength and the ultrasonic pulse velocity for foamed concrete with 800 kg/m^3 density were respectively (2.38 MPa,1.56 km/s)and the compressive strength and the ultrasonic pulse velocity for foamed concrete with 1200 kg/m^3 density were respectively (3.7 MPa,1.96 km/s) while it were (7.8 MPa and 2.12 km/s) for foamed concrete with 1600 kg/m^3 density

الخلاصة :-

تعتبر الخرسانة المادة الإنشائية الواسعة الاستخدام في هذه الأيام. الخرسانة الرغوية هي مادة بنائية خفيفة الوزن ذات مقاومة جيدة بالإضافة إلى توصيلها الحراري الواطىء وقابلية تشغيلها السهلة وهي تنتج اما بطريقة الرغاوي المتكونة أثناء الخلط أو بطريقة الرغاوي المسبقة التكوين.

تعتبر سرعة الموجات فوق الصوتية اسلوب فحص غير إتلافي يتضمن قياس سرعة الصوت خلال الخرسانة لأجل التنبأ بمقاومة الخرسانة وللكشف عن وجود التشققات،الفجوات،التلف والأضرار الأخرى داخل الخرسانة.

تضمنت هذه الدراسة ثلاث مراحل رئيسية :-

شملت المرحلة الأولى إنتاج الخرسانة الرغوية وقسمت هذه المرحلة إلى قسمين كان القسم الأول متعلق بتصميم الخلطة (إيجاد نسب المواد الأولية الداخلة في تكوين الخرسانة الرغوية) أما القسم الثاني فتم فيه توضيح طريقة الخلط .وشملت المرحلة الثانية إعداد النماذج وتضمنت حسب الترتيب القولبة، إنهاء السطح ،إزالة النماذج من القوالب والمعالجة.أما المرحلة الثالثة فتضمنت إجراء عدد من الفحوصات على المنتج النهائي لتحديد

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

خواص هذا المنتج والعوامل المؤثرة عليه ، وهذه الخواص هي الكثافة ، مقاومة الانضغاط ، وسرعة الموجات فوق الصوتية .

من خلال العمل المختبري بمراحله الثلاث ولنفس عمر الفحص وجد أن مقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية التي كثافتها 800 كغم/م^3 هي (2.38 ميكاباسكال) وسرعة الموجات فوق الصوتية (1.56 كم/ثا) بينما كانت مقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية التي كثافتها 1200 كغم /م^3 (3.7 ميكاباسكال) وسرعة الموجات فوق الصوتية (1.96 كم/ثا) أما للخرسانة الرغوية بكثافة 1600 كغم /م^3 فكانت مقاومة الانضغاط (7.8 ميكاباسكال) أما سرعة الموجات فوق الصوتية فكانت (2.12 كم/ثا)

1- مقدمة عامة

تعتبر الخرسانة بصورة عامة من أكثر المواد استخداماً في مجال الصناعات الإنشائية وذلك بسبب وفرة المواد الأولية الداخلة في تكوينها وكذلك سهولة استعمالها وقابلية تحملها العالية ومقاومتها للظروف البيئية.

تعددت استخدامات الخرسانة كماده انشائيه في بناء المنشآت كما تعددت أنواعها وطرق إنتاجها وفحصها. وليس بخاف عن المرء أن الفحوص التقليدية كفحص المكعبات الخرسانية وبالرغم من بساطتها لا تتلاءم والأساليب الحديثة لإنتاج الخرسانة واستخداماتها كما لا تعطي مؤشرات كافيه لنوعية الخرسانة المستعملة من حيث التحمل والديمومة والمظهر الخارجي.لذلك اتجهت جهودنا في هذا البحث نحو الفحوص غير الاتلافيه ومنها فحص الموجات فوق الصوتية باعتبارها إحدى الوسائل الحديثة في السيطرة النوعية والتي يتم إجرائها دون الإضرار بالعينة ودون التأثير على خواصها. ومما تجدر الإشارة إليه أن الفحوص غير الاتلافية تجري بمستوى إجهاد قليل جدا فبذلك تكون الخواص المستنتجة اقرب إلى خواص المادة الأساسية[1].

في المنشآت الخرسانية يشكل وزن الخرسانة النسبة الأكبر من الحمل الكلي للمنشأ لذلك ظهرت هناك فوائد واضحة من تقليل كثافة الخرسانة والفائدة الرئيسية هي استخدام مقاطع صغيرة وتقليل حجم الأسس إضافة إلى أن القوالب سوف تتحمل ضغط اقل عند استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن مقارنة بالخرسانة الاعتيادية الوزن. لقد تطورت وتحسنت طرق إنتاج الخرسانة كما وتعددت أنواع الخرسانة المنتجة تبعاً لمتطلبات الأغراض المستعملة من اجلها ومن هذه الأنواع الخرسانة الرغوية .

2- مراجعة نظرية

2-1 الخرسانة الخفيفة الوزن

الخرسانة الخفيفة الوزن هي ماده بنائية اقل وزناً من الخرسانة التقليدية أن هذا النوع من الخرسانة لا يمثل ماده واحده بل هو تشكيله من خرسانات مختلفه وبخصائص متنوعة .

تمتلك الخرسانة الخفيفة الوزن كثافات تقع ضمن المدى (300–1850) كغم / م3 بينما تقع كثافة الخرسانة الاعتيادية بين (2200_2600) كغم / م3، تستخدم المديات العليا من الكثافة للأغراض الانشائية بينما المديات الواطئة فتستخدم لأغراض العزل الحراري .

يمكن إنتاج الخرسانة خفيفة الوزن بإحدى الطرق ألآتيه[2]:

1- باستخدام الركام الخفيف الوزن (لإنتاج خرسانة الركام خفيف الوزن).
2- بإزالة الركام الناعم من الخلطة (لإنتاج الخرسانة الخالية من الركام الناعم).
3- بإدخال غاز أو فقاعات داخل الخليط (لإنتاج الخرسانة المهواة أو الخلوية).

كرست هذه الدراسة لإنتاج خرسانة خفيفة الوزن بإنتاج خرسانة مهواة عن طريق إدخال فقاعات هواء بشكل رغاوي داخل الخليط .

2-2 الخرسانة المهواة

الخرسانة المهواة أو تسمى أحيانا بالخرسانة الخلوية Cellular concrete ، هي مادة بنائية خفيفة الوزن تصنع أما بمراحل فيزيائية أو كيميائية من خلالها يتم إدخال الغاز أو الهواء الى داخل الخليط.

تمتلك الخرسانة المهواة فقاعات هوائية أو خلايا تتراوح من المايكروميتر الى حوالي حجم جزيئات الرمل، ترتبط هذه الفقاعات مع بعضها بالأسمنت البورتلاندي فقط أو سمنت+نورة أو سمنت+رمل أو سمنت+بوزولان، ويجب أن تكون الفقاعات مستقرة بصورة كافية للحفاظ على بنيتها.[2]

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

تعالج الخرسانة المهواة المستعملة كمادة إنشائية عادة بالبخار بالضغط العالي high pressure steam cured لذلك فهي تصنع في المعمل وتتوفر للمستخدم بشكل وحدات مسبقة الصب مثل ألواح السقوف والجدران والأرضيات.

يتم تسليح القطع الكبيرة لمقاومة الضرر الذي الناتج عن الحمل المتراكم اثناء النقل ، أما قطع البلوك فلا يتم تسليحها.[3]

يمكن إنتاج الخرسانة المهواة بإحدى الطرق التالية :

1- بخلط المحاليل المولدة للهواء مع الاسمنت أو الاسمنت والرمل بخلاطات خاصة عالية السرعة.
2- بتكوين رغاوي ثم إضافة الكميه المطلوبة منها إلى الاسمنت أو خليط الاسمنت والرمل داخل الخلاط الاعتيادي.
3- بإضافة بيروكسيد الهيدروجين (H2O2) إلى الخرسانة .
4- باستخدام كاربيد الكالسيوم (COC2) .
5- بإضافة مسحوق الألمنيوم إلى خليط الاسمنت .

3-2 الخرسانة الرغوية

تعتبر الخرسانة الرغوية مادة بنائية خفيفة الوزن ذات مقاومة جيدة بالإضافة الى توصيلها الحراري الواطئ وقابلية تشغيلها العالية يعتبر وزن الخرسانة الرغوية واطئ بسبب احتوائها على الفقاعات الهوائية[4] ، يمكن إنتاج الخرسانة الرغوية بطريقتين.[5]

أولا:- بإضافة المحلول المولد للرغاوي Foaming agent إلى الخليط أثناء الخلط بخلاط عالي السرعة مما يؤدي إلى تكون فقاعات هواء تنتشر داخل الخليط مما يسبب خفة الوزن وبالتالي نقصان الكثافة ، هذه الطريقة تسمى بطريقة الرغاوي المتكونة أثناء الخلط.

ثانيا :- يتم في هذه الطريقة تكوين الفقاعات أولا وذلك بإضافة المحلول المولد للرغاوي Foaming agent الى الماء ونسب معينة ثم خلط المزيج بخلاط خاص مما يولد الرغاوي المطلوبة ، بعدها يتم خلط المواد الأخرى وتضاف الرغاوي المسبقة التكوين الى الخليط الرطب وتخلط في خلاط اعتيادي لتكوين الخرسانة الرغوية تسمى هذه الطريقة بطريقة الرغاوي المسبقة التكوين وهي الطريقة المتبعة في إنتاج الخرسانة الرغوية ضمن هذه الدراسة.

طورت طريقة الرغاوي المسبقة التكوين سنة (1950 م) علما أن هناك تحكم عالي بحجم الفراغات الهوائية التي تنتج بهذه الطريقة باستخدام بعض المحاليل المولدة للرغاوي يمكن بهذه الطريقة إنتاج خرسانة رغوية بكثافة تتراوح بين (320) الى (1920) كغم /م3[5].

من الجدير بالذكر أن كل فقاعة رغوية تكون محاطة بغشاء بروتيني سميك يمكنها من الثبات والاستقرار أثناء الخلط والقولبة وبالنهاية وبعد اكتمال الخلط والقولبة فان هذا الغشاء سوف يتحطم تاركاً وراءه الفراغ الهوائي[6].

2-3-1فوائد الخرسانة الرغوية[7]

1- مقارنه بالطرق الأخرى المستعملة في إنتاج الخرسانة الخفيفة الوزن تعتبر الخرسانة الرغوية ذات كلفة اقل .
2- تمتلك الخرسانة الرغوية قابلة تشغيل ممتازة مما يسمح بإجراء معالجات مختلفة للسطح .
3- يمكن تقليل الوزن مع مدى واسع من الكثافات والمقاومات
4- يمكن تحقيق توفير إضافي بسبب قلة الوزن الميت للبناية .
5- تقليل الوزن يؤدي الى سهولة النقل ويقلل كلفته .
6- الاقتصاد بالنقل بالإضافة الى تقليل جهد الأيدي العاملة .
7- فوائد لحفظ الطاقة بسبب خصائص العزل الحراري الجيدة وبالتالي تقليل كلف التكييف .
8- الخصائص الصوتية حيث أن هذا النوع من الخرسانة يسبب امتصاص الصوت وبالتالي تقليل الضوضاء .
9- الخرسانة الرغوية عالية المقاومة للنار .

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

2-3-2بعض تطبيقات الخرسانة الرغوية[7]
1- الأرضيات والسقوف
2- نظام السقف وألواح السقف
3- الاملائيات
4- البلوك ، الطابوق المصبوب ، البلوك العازل وقواطع الجدران
5- السقوف والألواح العازلة للحرارة والصوت.

2-4 الموجات فوق الصوتية[1]
تشمل الفحوص الاهتزازية غير المعتمدة على الرنين مجموعة من الفحوص تعتمد في أساسها على قياس سرعة انتقال الأمواج في الخرسانة، ويمكن استخدام هذه الفحوص على نماذج مختبرية أو على أجزاء من منشآت خرسانية في الحقل على حد سواء. وتوجد حاليا مواصفات قياسية في عدة دول لفحص الخرسانة بواسطة الذبذبات فوق الصوتية مثل الواصفات البريطانية (BS 1881 Part 201وBS 4408) والمواصفة الامريكية (ASTM: C597) كما تم وضع توصيات دولية لطريقة الفحص من قبل الاتحاد الدولي لمختبرات فحوص وبحوث المواد الإنشائية (RILEM)في سنة 1963م.
وفي العراق تم إدخال أجهزة خاصة لأول مرة في سنة (1970م) وتم إجراء أبحاث عديدة في المركز القومي للمختبرات الإنشائية والجامعات العراقية في بغداد على الاستخدامات الحقلية للموجات فوق الصوتية. كما وتم التوسع في تطبيقها في العديد من الأقطار العربية لتقييم العديد من المنشآت الخرسانية.
الموجات فوق الصوتية هي تلك الموجات التي تتكون من ذبذبات ذات تردد عالي أكثر من (20 كيلوهيرتز) وبذلك تكون فوق مستوى سمع الإنسان ويتراوح تذبذبها ما بين (20 كيلوهيرتز-3 ميكاهيرتز) وضمن هذه الحدود من التردد تسلك الأمواج الصوتية إلى حد ما سلوك الأمواج الكهرومغناطيسية او أمواج الضوء عدا أنها لا تتمكن من الانتقال في الفراغ.
ويمكن تلخيص التطبيقات العملية للذبذبات فوق الصوتية بما يلي:
1- فحص مدى تجانس الكتلة الخرسانية في المنشآت
2- الكشف عن أماكن التشققات او الفجوات الكبيرة وتحديدها
3- متابعة التغيرات التي تحدث في الخرسانة بمرور الزمن او بفعل العوامل المؤثرة الأخرى
4- إيجاد معامل المرونة الديناميكي
5- إيجاد نسبة بواسون الديناميكية
6- إيجاد مقاومة الانضغاط والشد للخرسانة بصورة غير مباشرة وعلى أساس العلاقات التجريبية
7- إيجاد الخواص الديناميكية للصفائح القشرية الخرسانية
8- إيجاد سمك التبليط الخرساني دون الحاجة إلى اخذ نماذج من لباب الخرسانة.

2-5 المعاوقة الصوتية[8]
لغرض مقارنة شدة الصوت في وسطين مختلفين مثل شدة الصوت في الهواء وشدته في الخرسانة يستفاد من خاصية المعاوقة الصوتية لوسط الانتقال وهي حاصل ضرب السرعة في الكثافة وتكون وحدات السرعة(م/ثا) ووحدات الكثافة(كغم/م^3) وتقاس وحدات المعاوقة الصوتية بـ (Rayls)(كغم/م^2.ثا).
وفي درجة حرارة (20 مئوي) وتحت الضغط الجوي الاعتيادي تكون كثافة الهواء (1.21 كغم/م^3) واذا اعتبرنا سرعة الصوت في الهواء (343 م/ثا)، تكون معاوقة الهواء (ρVair) تساوي(343×1.21=415رايلس).
شدة الصوت =$I=P^2/\rho V$ ...حيث ان:
P=معدل الضغط محسوب على اساسRoot Mean Square
ρ=معدل الكثافة (كغم/م3)
V= معدل السرعة (م/ثا)
وبذلك تكون النسبة بين شدة الصوت في الهواء وشدته عند الانتقال في الخرسانة

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

$$\frac{\rho V_{LWCon.}}{\rho V_{air}} = \frac{I_{air}}{I_{LWCon.}}$$

ومن هنا تبرز أهمية المعاوقة الصوتية والتي هي ذات علاقة وثيقة بشدة انتقال الصوت[8].

3-العمل المختبري

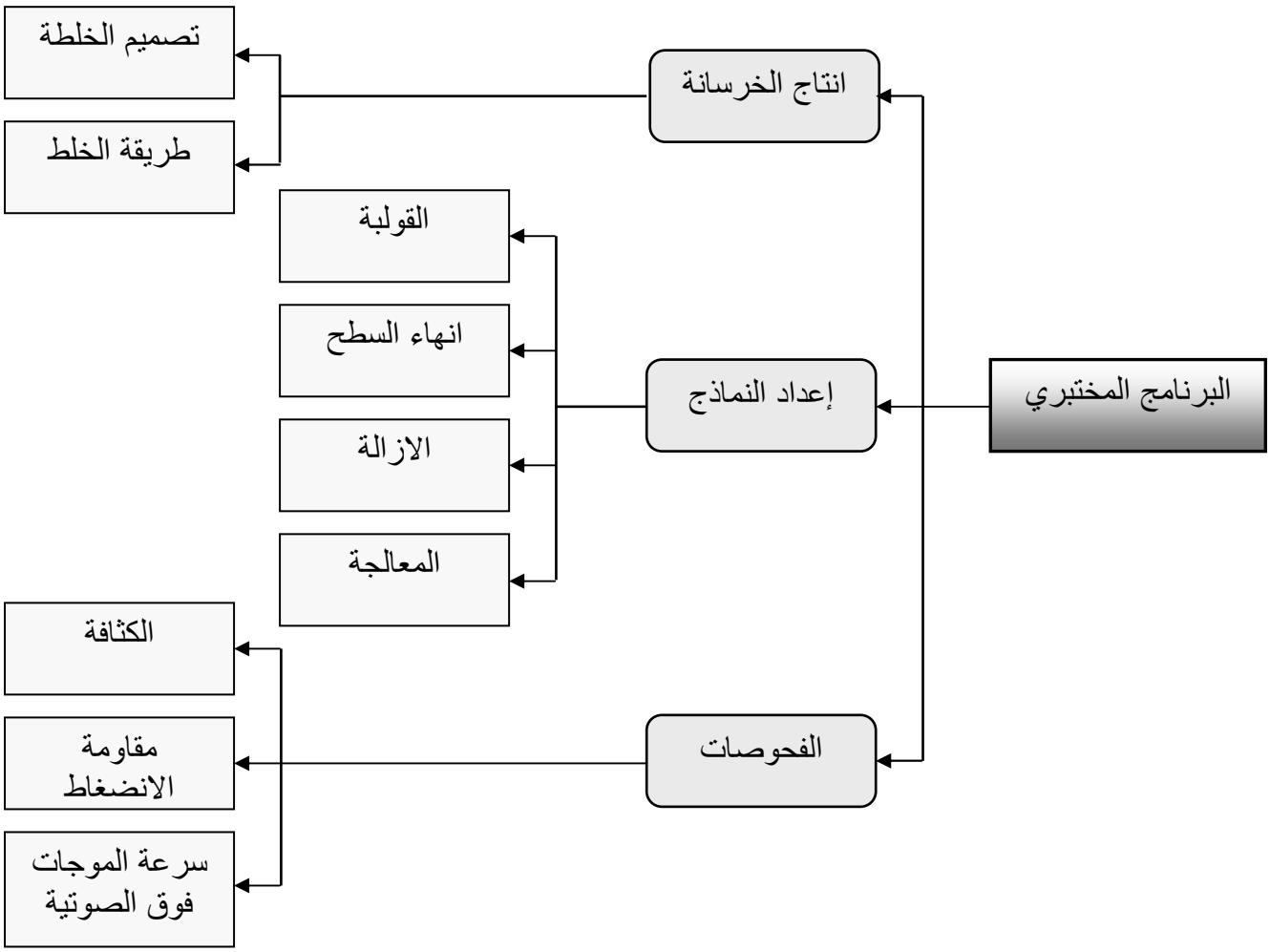
تضمن العمل المختبري ثلاث مراحل رئيسية اشتملت المرحلة الأولى على إنتاج الخرسانة الرغوية وقسمت هذه المرحلة الى قسمين ، القسم الأول عالج تصميم الخلطة (إيجاد نسب المواد الأولية) بالاعتماد على الكثافة المطلوبة أما القسم الثاني فتم فيه توضيح طريقة الخلط .

المرحلة الثانية شملت إعداد النماذج وكانت كالأتي القولبة، إنهاء السطح ، الإزالة من القوالب والمعالجة .

أما المرحلة الثالثة فقد شملت بعض الفحوصات اللازمة لتحديد خصائص المنتج النهائي ، وهذه الفحوصات هي الكثافة ،مقاومة الانضغاط ، وسرعة الموجات فوق الصوتية.

تم إجراء الفحوصات في مختبر الخرسانة / كلية الهندسة / جامعة الانبار.

الشكل رقم (1) يوضح البرنامج المختبري لهذه الدراسة .



شكل رقم (1) المخطط التوضيحي لبرنامج العمل المختبري لهذه الدراسة .

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

4-إنتاج الخرسانة الرغوية

إنتاج الخرسانة الرغوية بكميات قليلة هي عملية سهلة ولا تتطلب مكائن ثقيلة أو غالية الثمن حيث يمكن استخدام المعدات والأجهزة المتوفرة والمستخدمة في إنتاج الخرسانة الاعتيادية.

4-1 المعدات المستخدمة

4-1-1 خلاط اعتيادي

تم استخدام خلاط اعتيادي يعمل بالطاقة الكهربائية بحجم (0.075 م^3) لخلط المواد الأولية الداخلة في تكوين الخرسانة الرغوية.

4—1-2 مولد الرغاوي

تم استخدام خلاط أوتوماتيكي بسعة (5) لتر لتولد الرغاوي المسبقة التكوين.

4-1-3 القوالب

يجب ان تكون القوالب مصنوعة من مادة غير قابلة للامتصاص ولا تسمح بتسرب الماء وغير قابلة للتفاعل مع مركبات الأسمنت.

في هذه الدراسة تم استخدام قوالب مكعبة بإبعاد(100×100×100) ملم .

4-2 المواد الاولية المستخدمة

الشكل رقم (2) يوضح المواد الأولية المستخدمة في إنتاج الخرسانة الرغوية وهي كالأتي :-

4-2-1 الركام الناعم

تم في هذه الدراسة استخدام رمل طبيعي من منطقة الحبانية في محافظة الانبار وبقياس اقصى (2.38 ملم) وكان مطابق للمواصفة الامريكية (ASTM C144 -87)[9].

تم حساب الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للرمل المستخدم اعتماداً على المواصفة الاميركية (ASTM C128 -88) [10] وكانت على التوالي 2.68 و3%.

4-2-2 الأسمنت

تم في هذه الدراسة استخدام الاسمنت اليورتلاندي النوع الأول المنتج من قبل معمل سمنت كبيسة.

4-2-3 الماء

تم استخدام الماء الصالح للشرب في جميع الخلطات.

4-2-4 الرغاوي المستقرة

تم إنتاج الرغاوي بتخفيف محلول مولد الرغاوي (Foaming agent) بالماء وبعدها يخلط هذا المزيج بخلاط خاص.

الكمية المطلوبة من محلول مولد الرغاوي يتم إيجادها بالمحاوله وهي تعتمد على نوع المحلول ، وقت الخلط ، كفاءة الخلاط والكثافة المطلوبة للخرسانة الرغوية.

في هذه الدراسة كان Euco Foaming agent هو الاسم التجاري للمادة السائلة المستخدمة لإنتاج الرغاوي مسبقة التكوين وكان الوزن النوعي لهذه المادة (1.01).

طبقاً للمواصفة الامريكية (ASTM C796 -87) [11] فان وزن الرغاوي يكون عادةً بين (32 الى 64 كغم /م3)وان وزن المحلول المخفف في الرغاوي يعتبر جزء من وزن ماء الخلط الكلي.

من خلال العمل المختبري وجد أن إنتاج (1) لتر من الرغاوي يتطلب تخفيف (2.5) مللتر من محلول مولد الرغاوي بـ (40) مللتر من الماء ، من هذا يتوضح بان معدل التمدد هو حوالي 24 مرة $\frac{1}{42.5/1000}$.

يمكن ايجاد كثافة الرغاوي وكما يلي :

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

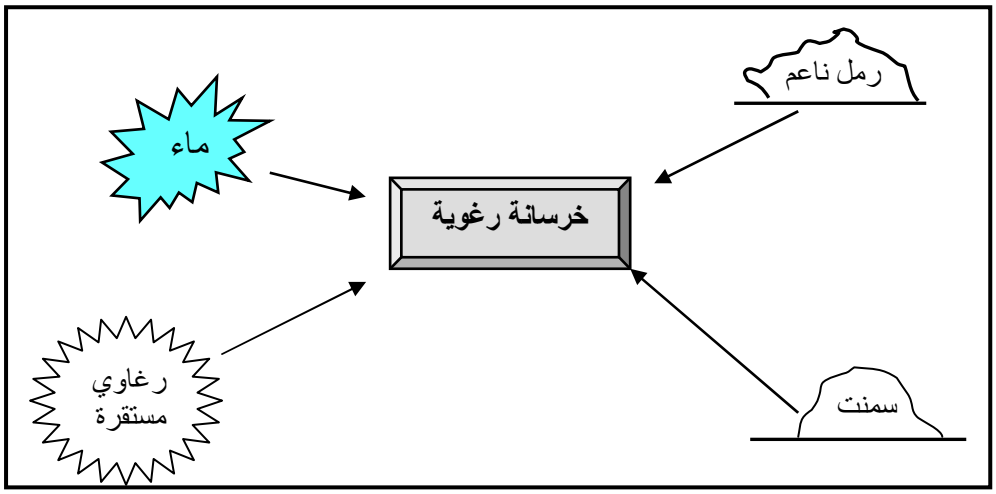
$$\frac{\frac{40}{1000}kg+\left(\frac{2.5}{1000}l\times10^{-3}m^3\times1000\frac{kg}{m^3}\times1.01\right)}{\frac{1l}{1000}m^3}=\frac{0.04kg+2.525\times10^{-3}kg}{0.001m^3}=42.525\frac{kg}{m^3}$$

محتوى الهواء في (1) لتر من الرغاوي هو

$$1l-\frac{40}{1000}l-\frac{2.5}{1000}l=0.9575\ l$$

حجم الهواء في الرغاوي / حجم الرغاوي = 1/0.9575 = 0.9575

وهذا يعني بأن محتوى الهواء في الرغاوي لهذه الدراسة هو(95-96) %.



شكل (2) المواد الأولية المستخدمة في إنتاج الخرسانة الرغوية.

3-4 تصميم الخلطة

طبقاً لـ (ACI Committee 523 1986) [12] فان تحديد نسب الخلط يبدأ باختيار كثافة الخرسانة (الكثافة الرطبة)،محتوى الأسمنت، نسبة الماء الى الأسمنت وبعدها يتم تصميم الخلطة باستخدام طريقة الحجوم المطلقة (Absolute volume method).

فيما يلي مثال يوضح خطوات التصميم للخلطة رقم (1):-

لـ(1م^3) من الخرسانة الرغوية..

الخرسانة الرطبة المطلوبة للخرسانة الرغوية =800 كغم/م^3 .

محتوى الأسمنت = 300 كغم/م^3 .

نسبة الماء/الأسمنت = 0.6

الوزن النوعي للأسمنت = 3.15 (من التحليل الفيزياوي لمعمل سمنت كبيسة)

الوزن النوعي للرمل =2.68

كثافة الماء = 1000 كغم/م^3 .

كثافة الرغاوي = 42.525 كغم/م^3 .

الكتلة الكلية للمواد الاولية = 1م^3 × 800 كغم/م^3 =800 كغم.

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

المواد الاولية	الاوزان	الحجوم المطلقة
الاسمنت	300 كغم × (3.15×1000/1) =	0.0952 م^3
الماء(الكلي)	(300×0.6)كغم× (1000/1) =	0.180 م^3
الكلي	480 كغم	0.275 م^3
كمية الرمل الجاف المطلوب=800 كغم-480 كغم =320 كغم		
الرمل	320 كغم × (2.68 × 1000/1) =	0.1194 م^3
الحجم المطلق للاسمنت،الماء،والرمل=0.3946 م^3		
حجم الهواء المطلوب= 1 م^3 –0.3946 م^3 =0.6053 م^3		

محتوى الهواء في الرغاوي المنتجة باستخدام محلول مولد الرغاوي هو حوالي 95.75 % لذلك،
حجم الرغاوي = 0.9575/0.6053 =0.632 م^3 أو (632 لتر)
كمية المحلول المولد للرغاوي اللازمة لإنتاج (632 لتر) من الرغاوي هو:
(2.5 مللتر× 632 لتر)/1 لتر=1580 مللتر=1.58 لتر=1.595 كغم
كمية الماء اللازمة لإنتاج (632 لتر) من الرغاوي هو:
(40 غم× 632 لتر)/1 لتر=25280 غم=25.280 كغم
حجم الرغاوي =42.525 × 0.632 =26.875 كغم
من الجدير بالذكر هنا بان كمية الماء في الرمل تساوي (1%) من وزن الرمل المستخدم:
كمية الماء في الرمل =0.01 × 320 =3.2 كغم
كمية الماء المصحح =180 –25.280 –3.2 =149.925 كغم
كمية الرمل المصحح =320+3.2 =323.2 كغم
كميات الخلط النهائية هي

الاسمنت ------ 300 كغم
الماء المضاف ----- 149.925كغم
الرمل ------ 323.2 كغم
الرغاوي ------ 362 لتر

4-4 نسب المكونات

إن خصائص المنتج النهائي تعتمد وبشكل كبير على نسب المواد الأولية الداخلة في تكونيه تم في هذه الدراسة تصميم ثلاث خلطات بكثافة (1600,1200,800) كغم /م3 وبمحتوى أسمنت (300 كغم /م3) ونسبة ماء/أسمنت (0.6) لكل خلطة.
يوضح الجدول رقم (1) نسب المكونات للخلطات المختارة ضمن هذه الدراسة .

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

جدول رقم (1) نسب المكونات للخلطات المستخدمة في هذه الدراسة.

		خلطة (1)	خلطة (2)	خلطة (3)
الكثافة الرطبة كغم/م^3		800	1200	1600
محتوى الاسمنت كغم/م^3		300	300	300
نسبة الماء / الاسمنت		0.6	0.6	0.6
محتوى الماء كغم / م3	ماء الخلط	149.92	152.56	155.19
	ماء الرغاوي	25.280	19.04	12.800
	الماء في الرمل	3.20	7.20	11.20
محتوى الرمل كغم/م3		323.20	727.20	1131.20
محلول مولد الرغاوة	لتر/م3	1.580	1.190	0.800
	كغم/م^3	1.595	1.200	0.808
الرغاوي لتر/م^3		632	476	320

5- طريقة الخلط

بعد تحديد كمية المواد الأولية الداخلة في إنتاج الخرسانة الرغوية للخلطات الثلاث يتم الخلط بوضع المواد الجافة أولاً وهي الرمل والأسمنت في الخلاط الاعتيادي وتخلط هذه المواد خلط جاف لحوالي ثلاث دقائق وبعدها يتم إضافة ماء الخلط بمراحل مع استمرار الخلط يتم إضافة الرغاوي مسبقة التكوين إلى الخليط الرطب مع مراعاة ضرورة تجانس الرغاوي مع باقي مكونات الخليط.

6- إعداد النماذج

اعتمدت المواصفة الامريكية ASTM C : 192-88[13] في إعداد النماذج لهذه الدراسة.

6-1 القولبة

تم وضع خليط الخرسانة داخل القوالب بطبقتين متساويتين تقريباً بعد وضع كل طبقة تم ضرب جوانب القوالب ضرباً خفيفاً باستخدام مطرقة برأس مطاطي إلى أن يصبح سطح الخليط داخل القالب تقريباً مستوي. يجب عدم استخدام الهزاز أو القضيب في رص الخرسانة الرغوية.

6-2 إنهاء السطح

بعد ملأ القوالب تم تسوية سطح النماذج باستخدام المالج الاعتيادي ثم تغطية جميع القوالب بمادة النايلون السميك ووضعت فوقها صفائح معدنية، تم استخدام هذا الأسلوب لمنع تبخر الماء وضمان استوائية السطح ليكون مناسب للفحص بدون عملية Capping.

6-3 الإزالة من القوالب

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

تم إزالة جميع النماذج من القوالب خلال أربع وعشرين ساعة بعد وقت الصب، من الجدير بالذكر أن النماذج لا يجب أن ترفع من القوالب إذا كان هناك احتمال حدوث ضرر أو تكسر لهذه النماذج.

4-6 المعالجة

بعد إزالة النماذج من القوالب تم خزنها بالماء لمدة (7) أيام ،درجة حرارة الماء المستخدم لغمر النماذج فيه كانت 27+2س°.

7- الفحوصات المختبرية

تم فحص ستة نماذج مكعبة بابعاد (100×100×100)ملم لكل كثافة من الخرسانة الرغوية وكان عمر الفحص (12)شهر،علماً بان الفحوصات هي الكثافة، مقاومة الانضغاط، وسرعة الموجات فوق الصوتية، ونتائج الفحوصات موضحة في جدول رقم (2).

جدول رقم(2) نتائج الفحوصات المختبرية

الخلطات	الكثافة التصميمية (كغم/م^3)	الماء/الاسمنت نسبة	الكثافة المحسوبة (كغم/م^3)					مقاومة الانضغاط (ميكاباسكال)		سرعة الموجات (كم/ثا)		المعاوقة الصوتية(رايل س)×10^6	ثابت المرونة الصوتي (كيكا باسكال)
								النتائج	المعدل	النتائج	المعدل		
خلطة(1)	800	0.6	755	750	810	805	740	2	2.38	1.6	1.56	1.25	1.95
								2.2		1.65			
								2.8		1.48			
								2.7		1.55			
								2.1		1.53			
			815					2.5		1.55			
خلطة (2)	1200	0.6	1270	1210	1295	1210	1270	3.4	3.7	1.71	1.96	2.02	4.61
								3.7		1.78			
								3.8		1.61			
				1220				3.9		1.68			
			1270					4		1.53			
			1230					3.4		1.85			
خلطة (3)	1600	0.6	1565					7	7.8	2.20	2.12	3.4	7.24

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

			1610	8.3		2.26			
			1580	7.3		1.79			
			1590	7.8		1.90			
			1605	8.5		2.27			
			1595	7.9		2.32			

7-1 الكثافة

تم حساب الكثافة بوزن النموذج قبل الفحص وقسمت الوزن على الحجم المقاس للنموذج.وطبقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C : 796-87 [11] فلا داعي لتجفيف نماذج الخرسانة الرغوية اللازمة لفحص التحمل.

7-2 فحص مقاومة الانضغاط

أجري فحص مقاومة الانضغاط على نماذج مكعبة بأبعاد (100×100×100) ملم .

أجري هذا الفحص بإتباع المواصفة الامريكية [14]ASTM C : 513-89.

تتأثر مقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية بعدة عوامل منها الكثافة، العمر، محتوى الاسمنت، نسبة الماء إلى الاسمنت، نسبة الرمل الى الاسمنت، حجم الرغاوي والمعالجة.

من الجدير بالإشارة هنا إلى أنه تم فحص ستة نماذج من الخرسانة الرغوية بعمر الفحص ومن ثم تم أخذ معدل القراءات الست.

أظهر الفحص المختبري للخرسانة الرغوية النتائج المدونة في الجدول (2).كما يبين الشكل (3) جهاز الأنضغاط المستخدم في الفحص.

7-3 سرعة الموجات فوق الصوتية

استخدام الجهاز المتنقل والمعروف تجاريا pundit وضمن ملحقاته محولا للطاقة (transducers) لإرسال والتقاط الذبذبات فوق الصوتية كما مبين بالشكل (4)، وايظاً تم إجراء الفحص على مكعبات من الخرسانة الرغوية بأبعاد (100×100×100) ملم حيث تم وضع طبقه رقيقه من الدهن grease لتسهيل عملية إرسال الذبذبات وتقليل تأثير الفجوات على سطح النموذج والتي قد تؤثر على قياس سرعة انتقال الذبذبات ضمن المسار وتم اختيار وجهين متقابلين لغرض نقل الموجات خلال النموذج مع ملاحظة تصفير الجهاز بعد كل قراءتين على الأقل حيث يتم تصغيره بوضع محولا الطاقة على جهتي قضيب التصغير road وضبط الجهاز على القراءة 26.

توضع محولات الطاقة على الوجهين المدهونين لغرض قراءة الزمن الذي تستغرقه الموجات لاختراق سمك(100) ملم من الخرسانة الرغوية.

يتم إيجاد سرعة الموجات من العلاقة $V = \frac{L}{T}$

حيث أن :-

V= سرعة الموجات فوق الصوتية (كم/ثا)

L = سمك النموذج (سم)

T = الزمن (ثا).

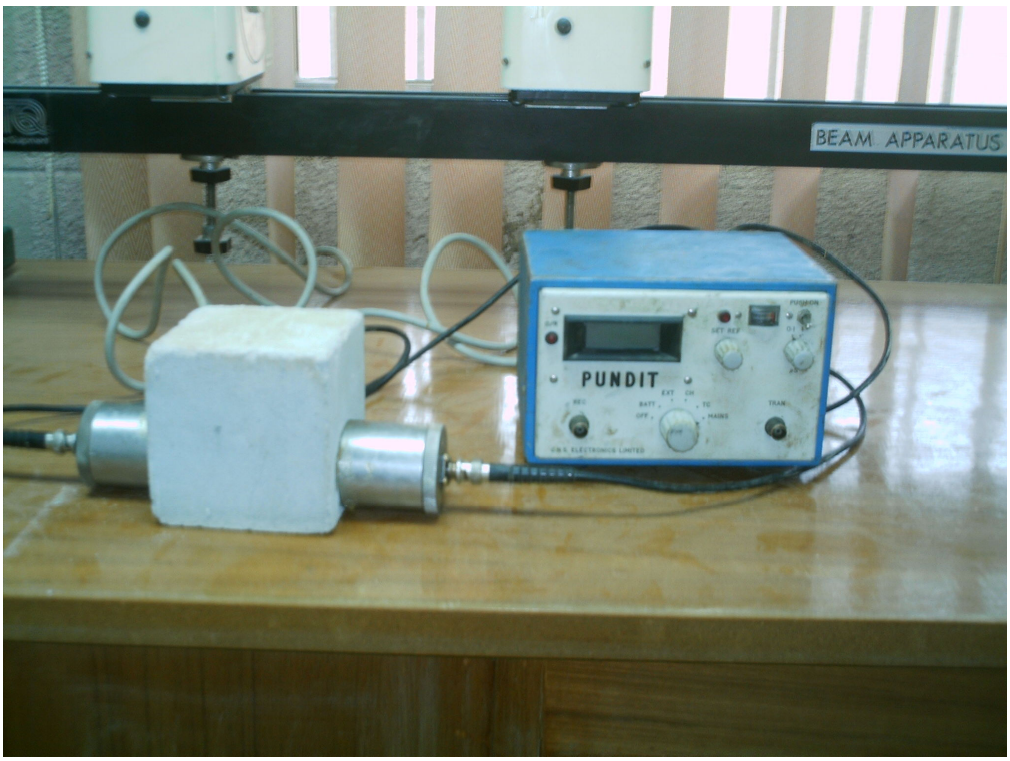
لإيجاد المعا وقه الصوتية يتم ضرب كثافة الخرسانة في سرعة الموجات فوق الصوتية:-

المعا وقه الصوتية =ρ × V

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

ولإيجاد ثابت المرونة الصوتي يتم ضرب كثافة الخرسانة في مربع سرعة الموجات فوق الصوتية:- ρV^2 = ثابت المرونة الصوتي.

شكل رقم(3) الجهاز المستخدم في فحص مقاومة الأنضغاط.



شكل رقم(4) الجهاز المستخدم في فحص سرعة الموجات فوق الصوتية.

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

8-تحليل النتائج ومناقشتها

من خلال العمل المختبري تم الحصول على نتائج الفحوصات المذكورة سابقا وسيتم لاحقاً تقديم هذه النتائج على شكل علاقات باستخدام برنامج حاسبة(Excell).

8-1 العلاقة بين الكثافة ومقاومة الانضغاط

يبين الشكل رقم (5) العلاقة بين الكثافة ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية بكثافة (800-1600) كغم/م^3،حيث يتضح بان العلاقة طر دية أي أن مقاومة الانضغاط تزداد بزيادة الكثافة والمعادلة آسية وكما يلي ،

$$f_c = 0.69e^{0.0015\rho}$$

حيث ان:-

Fc تمثل مقاومة الانضغاط(ميكاباسكال) و ρ تمثل كثافة الخرسان الرغوية (كغم/م^3)

8-2 علاقة الكثافة مع سرعة الموجات فوق الصوتية

زيادة الكثافة يرافقه نقصان في الفجوات الهوائية مما يؤدي الى نقصان الزمن اللازم لمرور الموجات فوق الصوتية وبالتالي زيادة سرعة هذه الموجات.وهذه العلاقة موضحة بالشكل رقم(6) حيث يتبين بان العلاقة هي لوغارتمية وكما هو موضح لاحقاً،

$$V = 0.825\ Ln(\rho) - 3.939$$

حيث ان:-

Vتمثل سرعة الموجات فوق الصوتية (كم/ثا) وρ تمثل كثافة الخرسان الرغوية (كغم/م^3)

8-3 العلاقة بين سرعة الموجات فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط

الشكل رقم(7) يبين العلاقة بين سرعة الموجات فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية بكثافة بين (800كغم/م^3) و(1600 كغم/م^3) ولنفس العمر.

يتضح من الشكل بان العلاقة لوغارتمية طردية وبان سرعة الموجات فوق الصوتية تزداد مع زيادة مقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية، كما يمكن تخمين مقاومة انضغاط الخرسانة الرغوية بكثافة بين (800كغم/م^3) و(1600 كغم/م^3) بمعرفة سرعة الموجات فوق الصوتية من خلال معادلة العلاقة الموضحة في الشكل رقم(7).

$$V = 0.449Ln(f_c) - 1.249$$

حيث ان:-

Vتمثل سرعة الموجات فوق الصوتية (كم/ثا) و Fc تمثل مقاومة الانضغاط(MPa).

8-4 علاقة كل من المعاوقة الصوتية وثابت المرونة الصوتي مع مقاومة الانضغاط

تبين الاشكال رقم(8)و(9) بان علاقة كل من المعاوقة الصوتية وثابت المرونة الصوتي مع مقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية المفحوصة بنفس العمر هي علاقة لوغارتمية طردية ،

$$\rho v = 1.814Ln(f_c) - 0.331$$

$$\rho v^2 = 4.36Ln(f_c) - 1.549$$

حيث ان:-

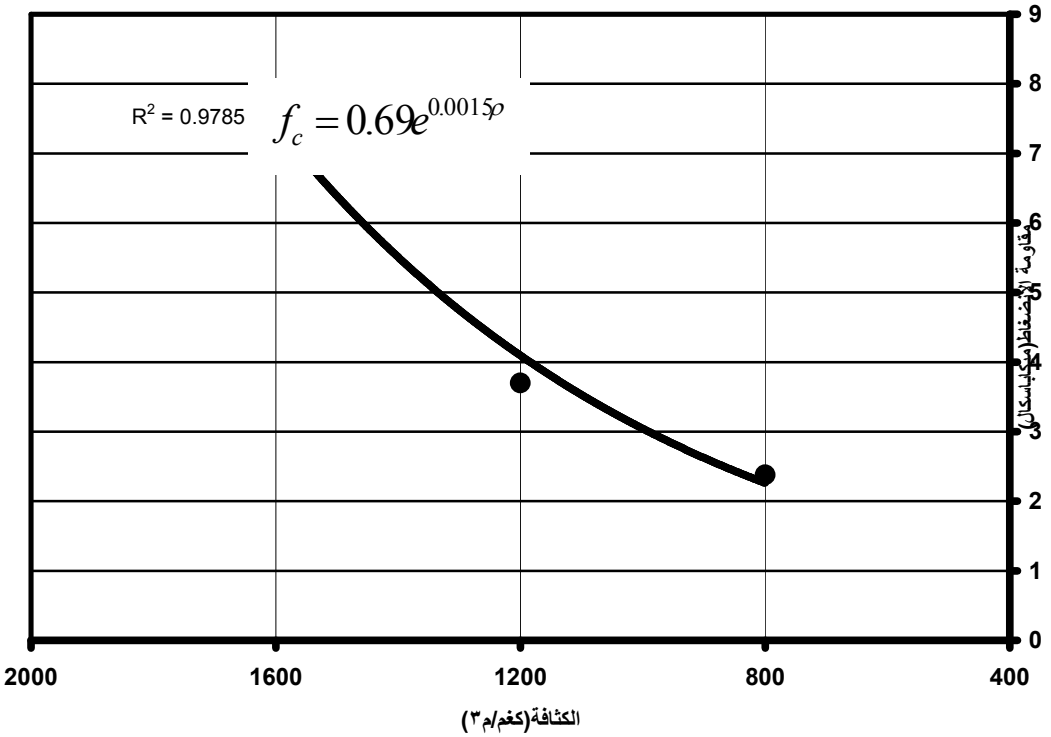
ρv تمثل المعاوقة الصوتية(رايلس) ، Fc تمثل مقاومة الانضغاط(ميكاباسكال)

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

و ρv^2 تمثل ثابت المرونة الصوتي (كيكاباسكال)

5-8 علاقة شدة الصوت بالمعاوقة الصوتية

للخرسانة الرغوية بكثافة (800 كغم/م^3) تكون النسبة بين شدة الصوت في الهواء إلى شدته عند الانتقال فيها تساوي(1.25 ×10^6/415= 3012)،بينما تكون هذه النسبة للخرسانة الرغوية بكثافة (1200 كغم/م^3) تساوي (2.02 ×10^6/415=4867.4) وللخرسانة بكثافة (1600 كغم/م^3) كانت هذه النسبة تساوي (3.4 × 10^6/415=8192.7).من هذا نلاحظ بان هذه النسبة تزداد بزيادة كثافة الخرسانة والسبب هو نقصان الفجوات الهوائية مع زيادة كثافة الخرسانة الرغوية،

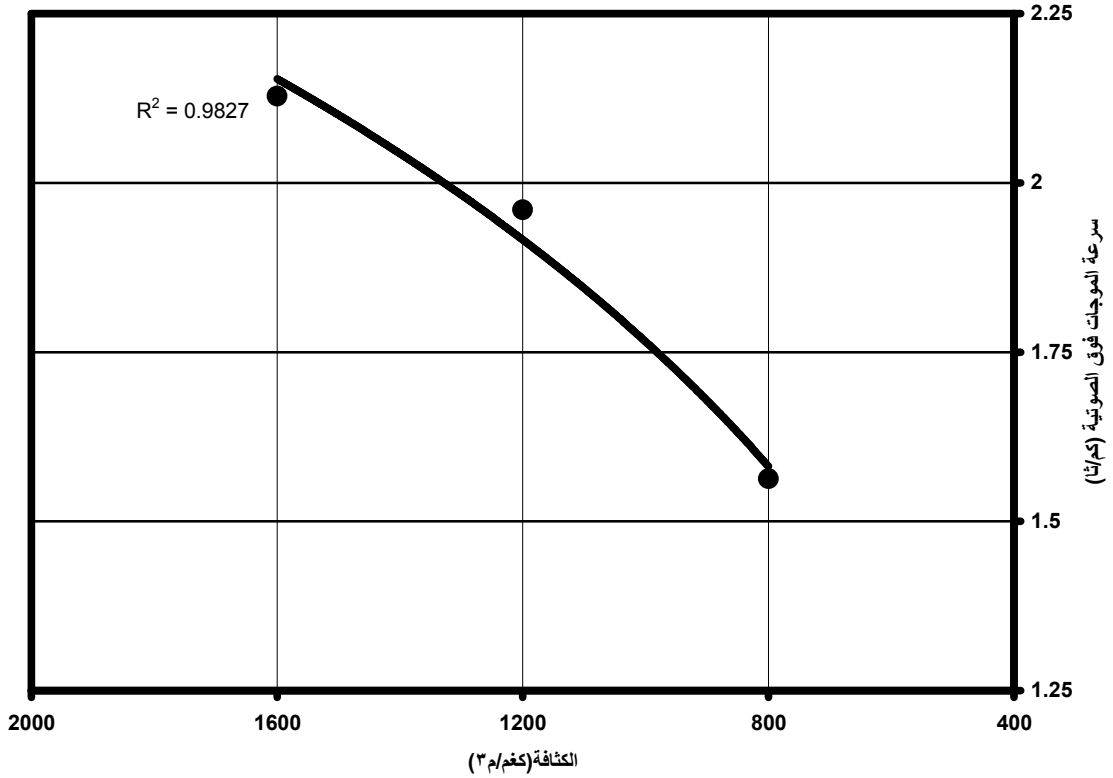


شكل

رقم(5) العلاقة بين الكثافة ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية.

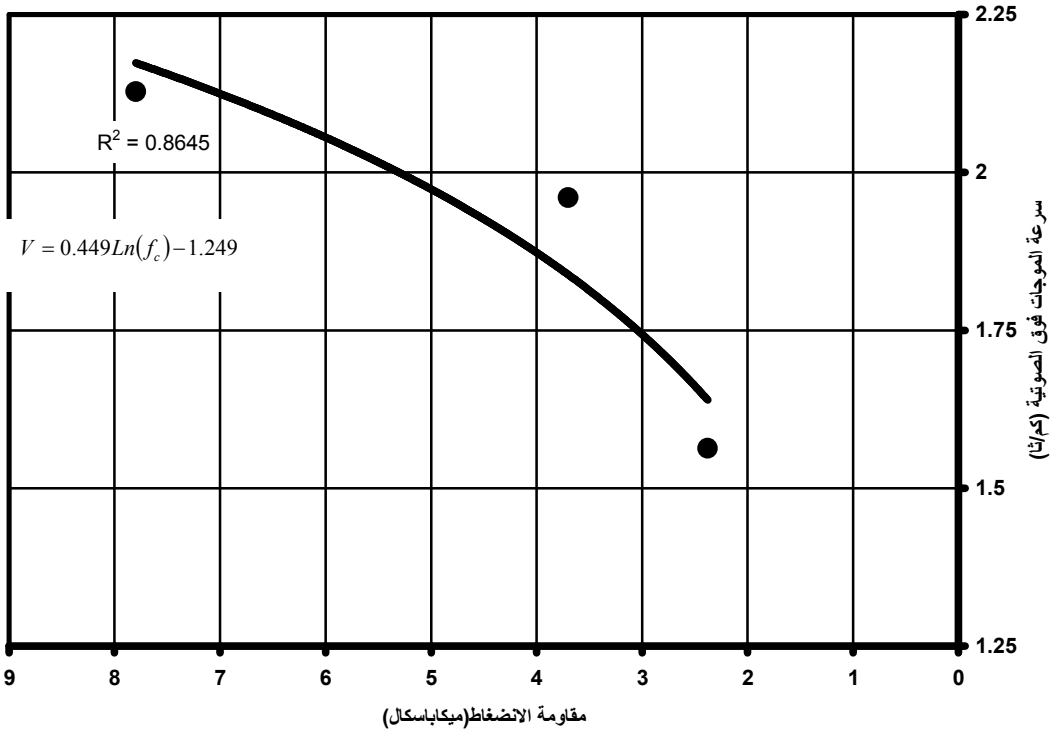
$$V = 0.825Ln(\rho) - 3.939$$

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com



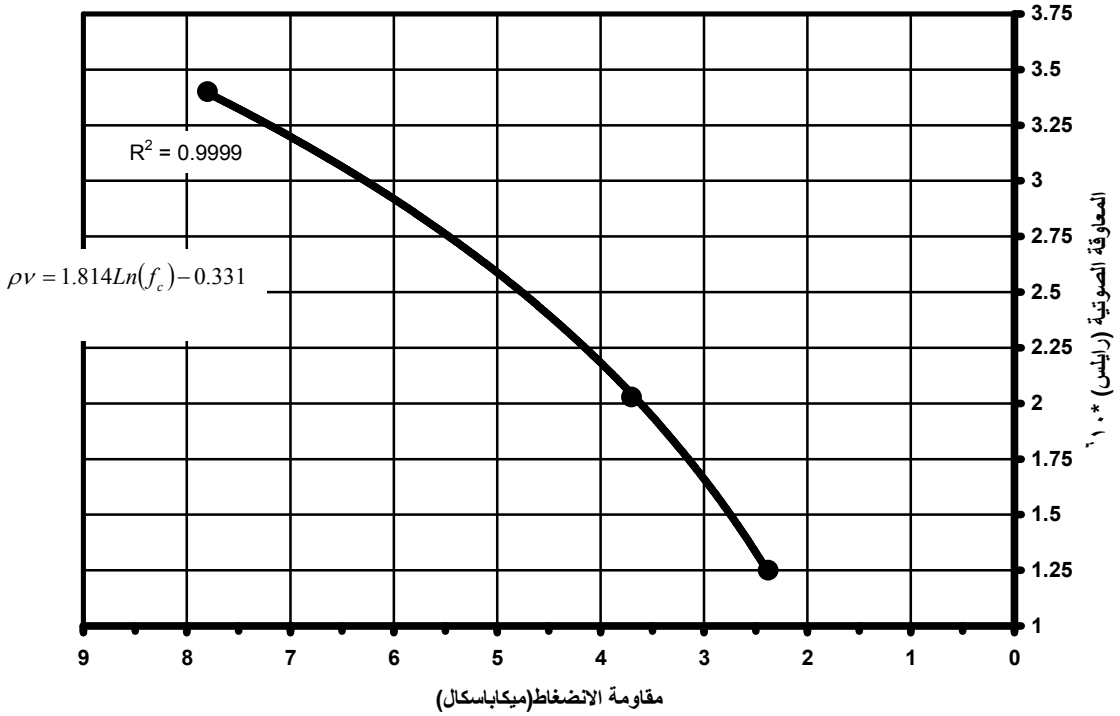
شكل

رقم(6) العلاقة بين الكثافة وسرعة الموجات فوق الصوتية للخرسانة الرغوية.

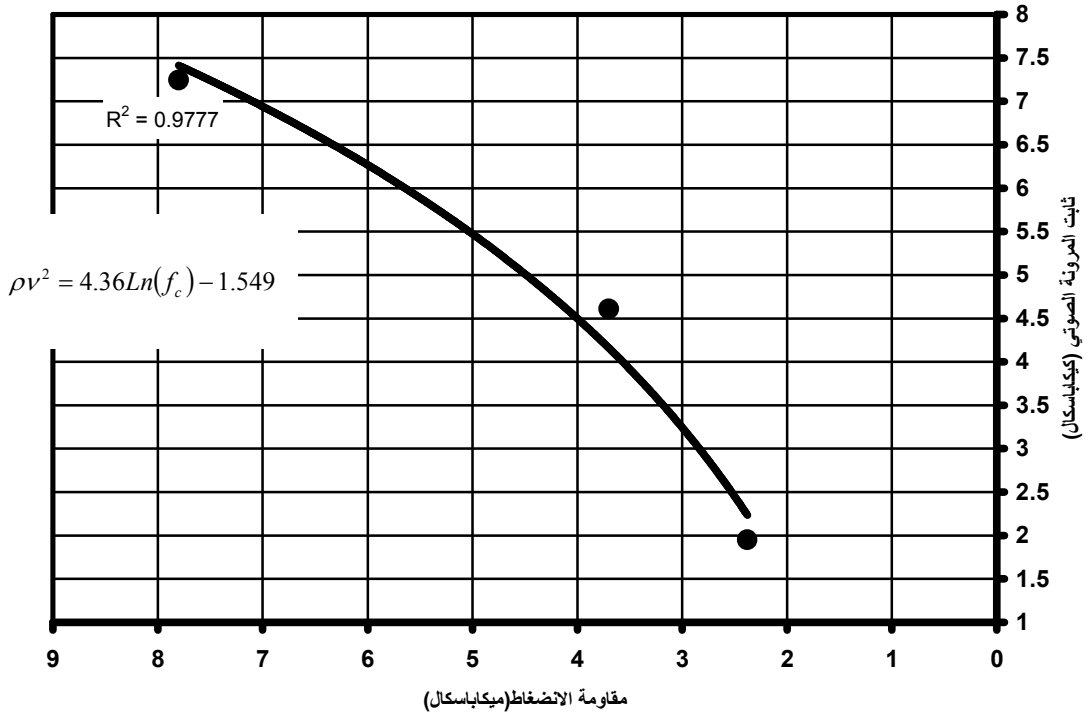


شكل رقم(7) العلاقة بين سرعة الموجات فوق الصوتية ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com



شكل رقم(8) العلاقة بين المعاوقة الصوتية ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية.



شكل

رقم(9) العلاقة بين ثابت المرونة الصوتي ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية.

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

8 : الاستنتاجات

من خلال العمل المختبري والذي تضمن إنتاج ودراسة بعض خواص الخرسانة الرغوية، يمكن إدراج بعض الاستنتاجات ومنها..

1- للحصول على (1) لتر من الرغاوي يجب تخفيف (2.5) مللتر من المحلول المولد للرغاوي بـ(40)مللتر من الماء وخلط المزيج بخلاط خاص.

2- إن كمية الرغاوي الناتجة باستخدام محلول مولد الرغاوي نوع Euco Foaming Agent هي تقريباً (95-96%).

3- هناك إمكانية إنتاج خرسانة رغوية بأية كثافة مطلوبة.

4- مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية تقل بزيادة محتوى الهواء عند ثبوت كل من محتوى الأسمنت ونسبة الماء/الأسمنت.

5- كانت مقاومة الانضغاط لنفس عمر الفحص محصورة بين (2.38)الى (7.8) ميكاباسكال للخرسانة الرغوية بكثافة (800 كغم/م^3)الى(1600 كغم/م^3) وبمحتوى أسمنت 300 كغم/م^3 ونسبة ماء/إسمنت (0.6).

6- كانت العلاقة طردية بين كل من (سرعة الموجات فوق الصوتية،المعاوقة الصوتية،ثابت المرونة الصوتي) ومقاومة الانضغاط للخرسانة الرغوية بأية كثافة ولنفس عمر الفحص.

7- ان الخرسانة الرغوية المنتجة في هذه الدراسة لا تصلح للاستخدام في التطبيقات الإنشائية بسبب كون أعلى مقاومة انضغاط لها كانت (7.8ميكاباسكال).

8- يمكن قطع المنتج النهائي من الخرسانة الرغوية بمنشار يدوي.

المصـــــــادر

1) مفيد عبد الوهاب السامرائي ورؤوف زين العابدين "الفحوص غير الاتلافية للخرسانة"أكتوبر/1999/مطبعة اكبرس-الشارقة.

2) Shetty ,M. S.,” Concrete Technology Theory and Practice.” S.Chand and Company , India. 3rd . Ed ., 1988 .

3) Folker ,H.W.”Autoclaved Aerated Concrete,Moisture and Properties.” Elevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York,1983.

4) Internet: Report, “ Cellular Concrete Products.”< WWW.Cellular-concrete.Com.E-mail:info@ cellular-concrete.Com.2002.

5) Portland Cement Association,”Special Concretes and Concrete Products.”,copyright by J.Wiley.USA,1975.

6) Neville,A. M.,”Properties of Concrete.” Pitman Publishing limited, London,3ed.,1988.

7) Internet: Report,” Foam Concrete.”< W.Witechnologic.sk.E-mail:rudinsky@gsm.Eurotel.Sk.>2003.

8) زين العابدين رؤوف،" الفحوص غير الاتلافية للخرسانة"،دورة التعليم المستمر،جامعة بغداد،كلية الهندسة،أذار/1989.

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com

9) ASTM Committee , C-144. " Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar . " 1987.

10) ASTM Committee , C-128. " Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. " 1988.

11) ASTM Committee , C-796. " Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam ."1987.

12) ACI Committee 523 , 1986 , " Guide for Cellular Concretes above 50 pcf , with compressive strengths less than 2500 psi . ACI 523 – 86 . " Revised 1982 . Reapproved 1987 .

13) ASTM Committee , C-192. " Standard Practice for Making and Curing Concrete test Speciments in the Laboratory."1988.

14) ASTM Committee , C-513. " Standard Test Method for Obtaining and Testing Specimens of Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength. " 1989.

Created by Neevia Personal Converter trial version http://www.neevia.com