

Effect of External Compressive Stresses on the Path of Ultrasonic Waves Propagating in Various Cementitious Media

Anaam Wadi Watan 

Ibn AL- Haitham College, Department of Physics, University of Baghdad/ Baghdad
Email: anaam_watan2007@yahoo.com

Received on: 5/6/2012 & Accepted on: 10/1/2013

ABSTRACT

In this work, detailed investigation was carried out on a large number of casted cement blocks, which have been immersed in water for various time periods. It was shown that the physical and mechanical properties of the cement castings depended on the immersion period as well as on the solidification degree of the cement, which implies the effectiveness of the degree of hydration of the cement samples. These specimens were subjected to external compressive stresses, ultrasonic testing showed that the velocity of the ultrasonic waves dependent the applied stresses values. There is a critical stress after which the velocity seem to be reduced suddenly and effectively. This may be correlated with the initiation of cracks as a first stage of failure. This sudden reduction in wave velocity was only clear in specimens whose completed hydration and curing. However, this behaviour was not exhibited in specimens with lower degrees of curing or hydration before that critical stress, the wave velocity seem to gradually reduce due to various degrees of deformation.

Keywords: Cement casting, Hydration, Compressive stresses, Ultrasonic velocity

اثر الاجهادات الانضغاطية الخارجية على مسار الموجات فوق الصوتية العابرة في اوساط سمنتية مختلفة

الخلاصة

أجريت الدراسة على عدد كبير من المصبوبات السمنتية التي سبق وان غمرت في اوساط مائية لفترات زمنية مختلفة للسيطرة على درجات تصلبها بشكل تام. وشمل هذا البحث دراسة عملية لأثر تعرض هذه المصبوبات لاجهادات انضغاطية خارجية بقيم مختلفة. وقد بينت الدراسة اعتماد جميع الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمصبوبات على فترة الغمر و درجة التصلب، وبالتالي اكتمال عملية الاماهة للخلطات او المصبوبات السمنتية. حيث اعتمدت سرعة الموجات فوق الصوتية العابرة على درجة التصلب او الاماهة، والتي تنعكس بالتالي على كثافة الوسط السمني ودرجة مساميته. حيث كانت هناك فروقات واضحة في سرعة الموجات العابرة في السمنت الرطب عن تلك العابرة في السمنت المشبع بالماء. وقد لوحظ عند تسليط اجهادات انضغاطية خارجية بان هناك إجهاد حرج تبدأ عنده سرعة الموجات العابرة بالهبوط السريع، وذلك بسبب نشوء الشقوق داخل الكتلة السمنتية، ولا تبدي سرعة الموجات أي هبوط قبل هذا الاجهاد الحرج في العينات المكتملة

التصلب . اما في المصبوبات ذات درجة تصلب وسطية ، فان هبوط السرعة يبدأ بشكل بسيط وبطيء حتى قبل الوصول الى هذا الإجهاد الحرج.

المقدمة

الموجات فوق الصوتية (ultrasound or ultrasonic waves) اهتزازات ميكانيكية وليست إشعاع كهرومغناطيسي ذات تردد أكثر من (20000 Hz) ، وتملك أطوالاً موجية مختلفة لمختلف المواد. تكون طبيعة الاهتزازات فوق الصوتية على النقيض من طبيعة الاهتزازات الصوتية (السمعية) فهي لا تنفذ بسهولة خلال الغازات ومع ذلك فالاهتزازات فوق الصوتية تمر ببسر خلال السوائل والأجسام الصلبة وتستطيع أن تقطع مسافات طويلة جداً بشرط أن تكون الأوساط التي تمر بها متجانسة، فالتقاطعات أو السطوح البينية (خصوصاً مع الهواء) تؤدي إلى انعكاس الاهتزازات فوق الصوتية بشكل تام تقريباً. إذا كانت حركة الدقائق في الموجة على طول خط سير اتجاه الموجة تدعى الموجة الناتجة بالموجة الانضغاطية وتسمى أحياناً بالموجة الطولية (compressional or longitudinal wave) مثل هذه الموجات يمكن أن تتقدم في الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في الأجسام الصلبة يمكن لحركة هذه الدقائق أن تكون عمودية على اتجاه سير الموجة، وعندها تدعى بالموجات القصية أو الموجات المستعرضة (shear or transverse waves) [2,1].

و تعتبر سرعة الموجات فوق الصوتية ذات أهمية من الناحية العلمية والهندسية، و قياس سرعة الصوت يمكن أن يزودنا بمعلومات مهمة عن الخواص الفيزيائية للمواد الصلبة والسائلة والغازية، كما ان قياس اختلاف سرعة الصوت كدالة لبعض متغيرات المادة المهمة مثل درجة الحرارة والضغط يضيف معلومات أخرى عن خواص تلك المواد.

ان الاهتزازات فوق الصوتية لا تنفذ بسهولة خلال الغازات ولكنها تمر ببسر خلال السوائل والاجسام الصلبة وتستطيع ان تقطع مسافات طويلة جدا بشرط ان تكون الاوساط التي تمر بها متجانسة . لذا عندما تقابل الموجات فوق الصوتية حدودا بين وسطين مختلفين فان جزءا من الطاقة سوف ينعكس وقسما يستمر بالتقدم (أي ينفذ) [3]. ان نسبة الطاقة النافذة الى الطاقة المنعكسة يعتمد على الاعاقة الصوتية التي تواجهها الموجة المارة بالوسط ، والادق ان الاعاقة الصوتية (Z) للوسطين يمكن ان تعرف لكل مادة كما يلي [4]:

الاعاقة الصوتية (Z) = الانضغاط الصوتي / سرعة الدقائق

=الطاقة النافذه /الطاقة المنعكسة

$$Z=\rho V.....(1)$$

حيث ان : ρ : كثافة الوسط ، V : سرعة الموجات

فعند تقدم الموجات فوق الصوتية خلال وسط ما سيحدث عدد من عمليات التحول للطاقة والموجات فوق الصوتية سنتلاشى شدتها تدريجياً. المواد الطبيعية كلها تنتج تأثيراً واضحاً على تضعيف الصوت، وهذا ينتج من سببين، الأول الاستطارة (scattering)، والثاني الامتصاص (absorption) والذي يمكن أن يشترك بمفهوم التوهين [3].

ولهذا تستعمل تقنية فحص المواد بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Testing of Materials بانتظام في فحص المواد نصف المصنعة والأجزاء المجمععة حيث يعتبر الفحص بالموجات فوق الصوتية الأكثر استعمالاً في مجال تقنيات الفحص اللا إتلافي Non Destructive Testing للمواد المتراكبة والمفاصل الملحومة والمربوطة، كما وتستخدم الموجات فوق الصوتية في السيطرة النوعية لفحص أجزاء المواد المنتجة، مثلاً الألواح الملفوفة (المدحوة rolled slabs)، والأجزاء التامة الصنع، حيث تتميز هذه الفحوصات بشموليتها في تقييم خواص عديدة للمواد وبسرعة القيام بها وكلفتها القليلة وإمكانية اجرائها موقعياً وقلة خطورتها مقارنة بالفحوصات الإتلافية [٤،٥].

فمن ضمن الدراسات التي اجريت في هذا المجال ما قام به كل من Si- Chiab و اخرون [6] بدراسة سلوكية انتشار الموجات فوق الصوتية القصية والطولية خلال عينة من فولاذ الكربون (C₃₅) خاضعة لاجهادات انحناء (bending) ووجدوا اعتمادها على بعض الخصائص الفيزيائية مثل الكثافة الحجمية وثوابت المرونة والانفعال الناتج عن القوى المسلطة ، واجريت قياسات المرونة الصوتي (Acoustoelastic) في ثلاث مناطق تحت تأثير اجهادات الانحناء (الباف ممتدة ووسطية ومضغوطة) واعتبرت هذه الطريقة اداة تقصي لتقييم الخصائص الصوتية والميكانيكية للمواد المتجانسة باستخدام ضغوط مختلفة ومتغايرة (غير متجانسة).

كما درس الباحثان Lin و Wu [7] تأثير الاجهاد على الخرسانة المسلحة تحت تأثير احمال متكررة. حيث تهدف الدراسة الكشف عن الشقوق الناجمة عن الاجهادات المتكررة عن طريق قياس اختلاف السرعة المستعرضة نتيجة اجهاد الانضغاط المقاس لحساب العلاقات المتبادلة تدريجيا الى حد الفشل وبذلك يتم الكشف عن الشقوق . وبحثنا الحالي يهدف الى دراسة تأثير الاجهادات الانضغاطية الخارجية المسلطة على مسار انتشار الموجات فوق الصوتية للمصبوبة الاسمنتية ومدى تأثير التركيب الداخلي للمصبوبة على انتشار الموجات فوق الصوتية المارة خلالها .

الجزء العملي

حضرت الخلطة السمنتية باستخدام السمنت العراقي المقاوم للاملاح بمقدار gm(١٨٤) ورمل بمقدار gm(٥٥٥) وماء M litter (٧٥) وفق المواصفة العراقية (5-1984 م ق ع) وقد تم خلط المزيج جافا لمدة ٤ دقائق لغرض حصول التجانس المطلوب واستخدمت طريقة القولية اليدوية (Hand-Lay up) لاعطاء النماذج شكل المكعب بابعاد cm(٧*٧*٧) باستخدام قالب خاص معد لهذا الغرض امريكي المنشأ مصنوع من الفولاذ غير القابل للتأكسد ومصمم بشكل قابل للتجزئة وبقاعدة متحركة لغرض سهوله استخراج النماذج من القالب، وقد تم تغليفه من الداخل بطبقة من مادة زيتية وذلك قبل كل عملية صب لضمان سهولة استخراج المكعبات بعد اكتمال عملية التصلب . وبعد صب النماذج تركت بالقالب لمدة ٢٤ ساعة وبدرجة حرارة الغرفة لاكتمال عملية التصلب وبعدها تم استخراجها لتجف بالهواء لمدة ٢٤ ساعة وغمرت بعدها في حمام مائي بفترات غمر مختلفة (٤،٨،١٢،٢٨) يوم وبعدها كل فترة غمر تم قياس الكثافة جافة ورطبة ثم وضعت النماذج تحت جهاز كسر المكعبات والذي تم استخدامه بسعة KN ٣٠٠٠ max.load وبموديل (Toni Technik) ايطالي المنشأ في المركز الوطني للمختبرات والبحوث الانشائية لغرض تسليط ضغوط مختلفة ابتداء من الصفر ولحين فشل الانموذج وفي اثناء ذلك تم وضع جهاز الموجات فوق الصوتية نوع (control Mode 58-E0084) ايطالي المنشأ لغرض مرور حزمة مستمرة من الموجات فوق الصوتية تدخل الانموذج تحت الفحص عن طريق الاتصال المباشر بينه وبين المجسان الموضوعان على طرفيه، يوضع المجسان على جهتي الانموذج حيث يمثل احدهما مجس مرسل والمجس الاخر مجس مستلم للموجات فوق الصوتية شرط ان يكون سطح الانموذج المتقابلان متوازيان تماما وصقيلين واملسين ويكونان خاليين من ظهور عيوب سطحية أو اية مواد غريبة اخرى والتي يتعارض وجودها مع الاتصال المباشر للمجس مع السطح. كما ويجب ان يكون هناك مادة وصل زيتية (الكريز grease) توضع بين المجس والانموذج قيد الفحص [8] وكما موضح بالشكل (١)، وقد تم قياس زمن انتقال الموجات الطولية (الانضغاطية) باستخدام مجس ذو قطر cm(٥) وتردد KHz (٦٣) لغرض حساب سرعة انتقال الموجة فوق الصوتية.

النتائج والمناقشة

ان تصلب الخلطة الإسمنتية يعتمد بشكل أساسي على وجود الماء الذي يفعل عملية الاماهة (التفاعل الكيماوي الذي يجري بين مكونات الخلطة الإسمنتية بعد مزجها بالماء) وهذا يعكس على كمية وفترة تواجد الماء بالخلطة الإسمنتية، نلاحظ من شكل (٢) ان لفترة غمر هذه الخلطات اثر كبير على الخواص النهائية للمادة الإسمنتية حيث نلاحظ في هذا الشكل وجود منحنيين يبينان ان القيم النهائية لكثافة الاسمنت ترتفع بشكل طردي ومستمر عندما تطول فترة غمر المصبوبة الإسمنتية في الماء كما نلاحظ ان قيم الكثافة للمصبوبات الرطبة تكون أعلى قليلا من تلك القيم التي تعود الى نفس الصببات بعد جفافها من الماء التي كانت مغمورة فيه. ويبرر هذا الاختلاف لكون وزن الصبة الرطبة يكون عادة أعلى من وزن الصببات الجافة بسبب تواجد الماء في الفراغات (المسامات البينية) في داخل الصبة الإسمنتية وهذا ما يدل عادة على اعتماد الخواص النهائية للسمنت وبالتالي عملية الاماهة على كمية وفترة تواجد الماء مما ينعكس بالتالي على المتانة الميكانيكية النهائية للصببة الاسمنتية حيث يبين الشكل (٣) العلاقة ما بين فترات الغمر ومقاومة الانضغاط للصببة الاسمنتية حيث يلاحظ ان فترة الغمر ترفع من المتانة الميكانيكية للصببة الاسمنتية بشكل انسيابي وبطيء كما ان درجة رطوبة الصبة الاسمنتية لها اثر على قيم المتانة الميكانيكية. إذ ان الصببات الرطبة المشبعة بالماء تظهر متانة اعلى قليلا من تلك التي تظهرها الصببات الجافة وهذا قد يكون بسبب تواجد الماء داخل المسامات الاسمنتية مما يملئ هذه الفراغات ويوفر دعما اضافيا للمصبوبة السمنتية تجاه الاجهادات المسلطة عليها من الخارج حيث ان امتلاء هذه الفراغات وصعوبة تسرب الماء منها الى الخارج يضيف نوعا من الاسناد الميكانيكي والمشاركة في تحمل الاجهادات المسلطة على المصبوبة الاسمنتية [9,10] .

وبلاحظ من الشكل (٤) ان الاعاقة الصوتية (Z) تتغير طرديا مع فترة الغمر حيث ترتفع بشكل انسيابي مع ازدياد فترة الغمر ، كما يلاحظ ان قيم الاعاقة الصوتية للصبية الاسمنتية تختلف في حالة كون العينة جافة او مشبعة بالماء ، حيث تكون الاعاقة الصوتية للعينات الرطبة او المشبعة أعلى بقليل من إعاقه الوسط الجاف وهذا قد يكون بسبب الإخماد الذي تعاني منه الموجة فوق الصوتية المرنة عند مرورها في الوسط المائي مما يختزل قيم الانضغاطية الصوتية (sound comprssion) وبالتالي يؤدي الى اختزال كمية الطاقة النافذة من خلال هذه العينة المترابكة [11]. كما يلاحظ من المنحنى ارتفاع انسيابي مع زيادة فترة الغمر بسبب زيادة صلابة الوسط الأسمنتي وارتفاع كثافته مما يرفع من نفاذية الطاقة الصوتية وحسب المعادلة (١) ، وهذا ما نلاحظه كذلك في الشكل (٥) الذي يعرض تغير الاعاقة الصوتية (Z) مع كثافة الاسمنت المتصلب فنلاحظ بشكل واضح وبارز كيف ترتفع قيم الاعاقة الصوتية بارتفاع كثافة الوسط الناقل ويلاحظ ان قيم الاعاقة الصوتية للاسمنت الجاف والرطب تكون متقاربة جدا عندما يعتمد التباير مع الكثافة . وهذا ما يشجعنا على تفسير السلوكية المعروضة في الشكل (٤) على ان الاختلاف ما بين الاسمنت الجاف والرطب هو نتيجة ارتفاع كثافة الاسمنت الرطب مما يرفع من قيم الاعاقة الصوتية بشكل عام .

و يعرض الشكل (٦) تغيرات سلوكية الاعاقة الصوتية مع مقاومة انضغاط الاسمنت حيث نلاحظ ارتفاع انسيابي وبطيء للإعاقه الصوتية بارتفاع مقاومة الانضغاط وهذا يعتمد بشكل اساسي على درجة تماسك مادة الاسمنت مع تقدم عملية الاماهة وازدياد فترة الغمر مما يرفع كثافة الوسط الاسمنتي وبالتالي مقاومته للانضغاط وهذا سيرفع بالتالي اعاقته الصوتية [12,13].

وبقدر ما يتعلق الامر بالاعاقة الصوتية فان السبب الرئيسي لرفعها هو ازدياد قيم كثافة الاسمنت الناتج عن تقدم في عملية الاماهة . مما يدل على ان كثافة السمنت هي السبب الرئيسي والمؤثر على عملية انتقال الموجه فوق الصوتية وبالتالي الطاقة الصوتية خلال هذا الوسط [14] .

ولغرض دراسة عملية مرور الموجات فوق الصوتية في الوسط الاسمنتي المتعرض للاجهادات الخارجية تعرض الاشكال (٧-١٠) سرع الموجات فوق الصوتية في اوساط سمنتية غمرت لفترات مختلفة (٢٨، ١٢، ٨، ٤) يوم وقد اجريت القياسات على عينات سمنتية رطبة واخرى جافة لنفس فترات الغمر ونلاحظ بشكل عام ان الاسمنت المغمور للفترات (١٢، ٨، ٤) يتأثر كثيرا وبدرجات متفاوتة بالضغط المسلط عليه من الخارج حيث تنخفض قيم سرعة الموجة بازيد قيم الضغط المسلط بشكل عام ، وقد تم مناقشة هذه الظاهرة بالفقرات السابقة . بينما نلاحظ من الشكل (١٠) الذي يعرض سلوكية الاسمنت المغمور لمدة (٢٨) يوم ، ان سرعة الموجات فوق الصوتية تكون شبه ثابتة ومستقرة على الرغم من ازدياد قيم الاجهاد المسلط من الخارج . وذلك الى حين الوصول الى قيمة ضغط معين، حيث تنخفض قيم السرعة بعد عبور قيمة الضغط المسلط ١٠٠ كيلو نيوتن وهذا ما يعني بأن هذا الوسط الاسمنتي قد حافظ على هيكلية وقيم كثافته وصولا الى هذا الضغط الحرج (١٠٠) كيلو نيوتن وان الانخفاض المفاجي والسريع بعد قيم هذا الضغط وايضا في الحالة الجافة للاسمنت قد تدل على حدوث تشققات وتكسرات في الوسط الاسمنتي مما يعيق مسار الموجة فوق الصوتية ويختزل من قيم سرعتها [15] . بينما قد يعني الانخفاض التدريجي او الانسيابي الذي تعرضه الاشكال (٩-٧) بان الموجة فوق الصوتية تتأثر بالتركيب الداخلي للوسط الاسمنتي الذي يعاني من تشوهات مستمرة نتيجة لارتفاع قيم الاجهاد المسلط من الخارج . وان حدوث التشققات والصدوع من بداية تسليط الضغط واستمرارها يؤدي الى انخفاض سرعة الموجة فوق الصوتية بشكل تدريجي [16]

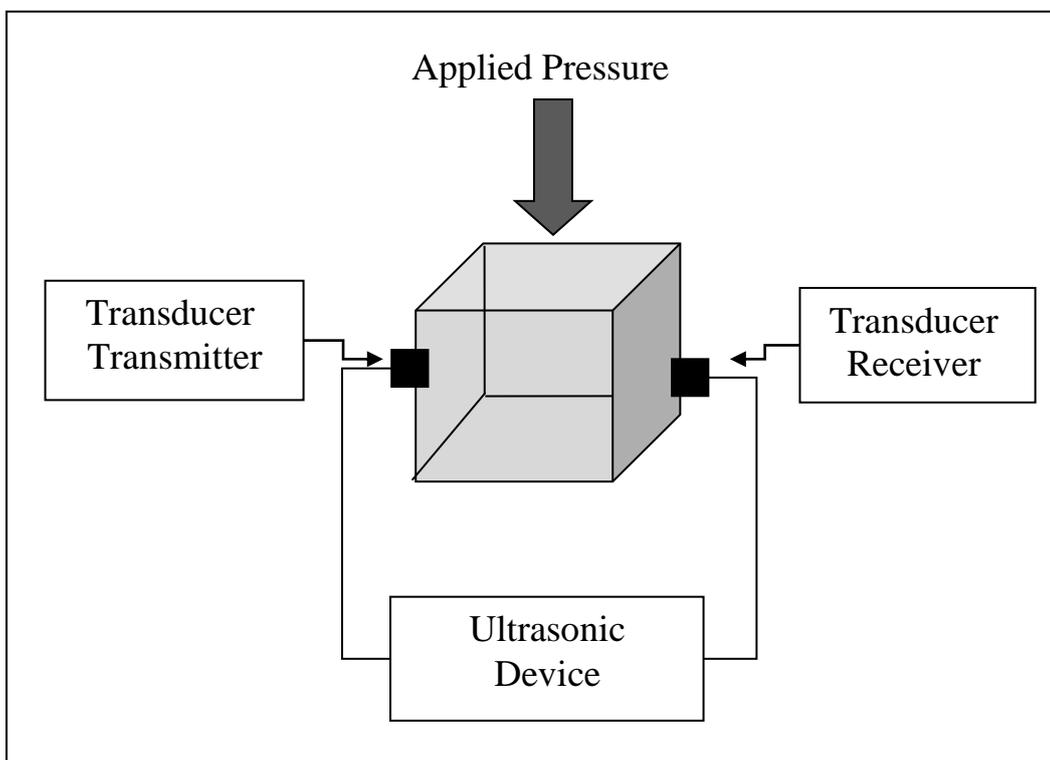
كما يمكن الاستنتاج ان الوسط الاسمنتي المغمور لفترة (٢٨) يوم قد اكتمل تصلبه ونضوجه بينما تكون العينات المغمورة في (٨، ١٢، ٤) يوم غير مكتملة التصلب وتكون عرضة للتشوه والتشقق عند تسليط أي اجهاد خارجي عليه وحتى قبل الوصول الى الضغط الحرج.

الاستنتاجات

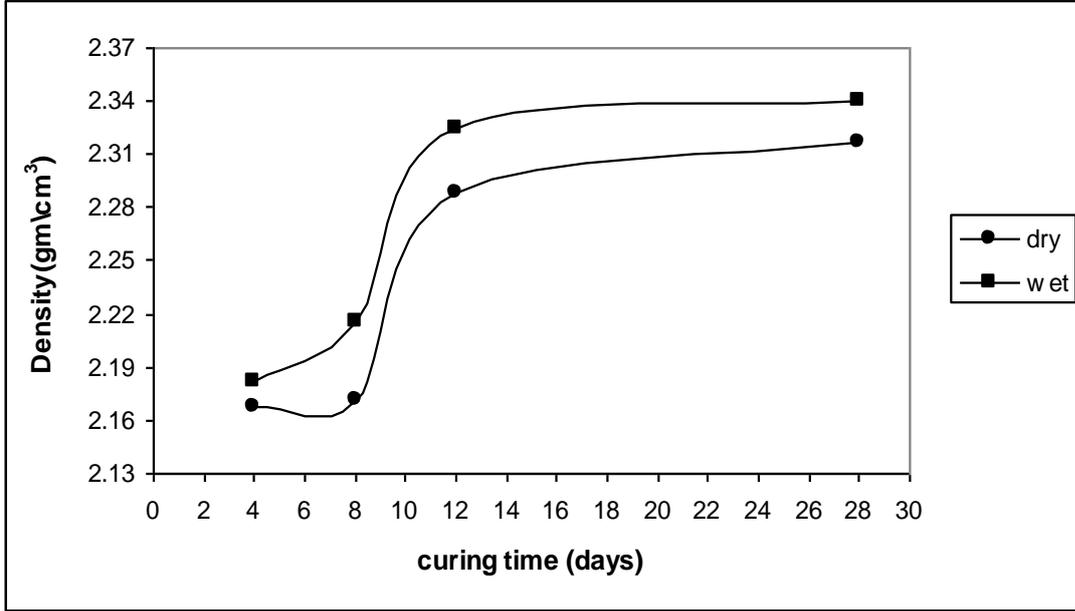
١. ان الاعاقة الصوتية تتناسب طرديا مع كثافة الوسط الناقل .
٢. ان وجود الفراغات او المسامات في المصبوبة الاسمنتية تخفض الاعاقة الصوتية.
٣. تسليط الاجهاد الخارجي يخفض من سرعة الموجة العابرة بشكل تدريجي وانسيابي في العينات غير المكتملة التصلب .
٤. في السمنت الناضج والمكتمل الاماهه تثبت سرعة الموجة الى حين الوصول الى قيمة اجهاد خارجي حرجة ، تنخفض بعدها القيم .

المصادر

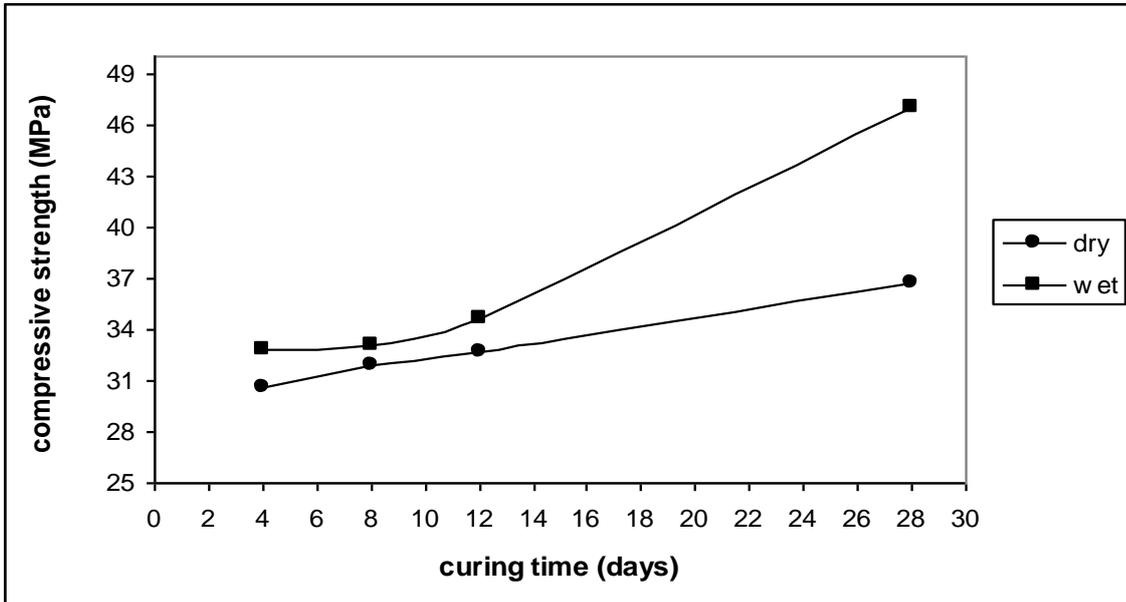
- [1]. Ensminger, D. L. J. Bond "Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications" 3rd Edition, Hardcover – September (2011).
- [2]. Krautkrämer J. & H. Krautkrämer, "Ultrasonic Testing of Materials", Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, (1969).
- [3]. David N. J. Cheeke, "Fundamentals and applications of ultrasonic waves" Boca Raton :CRC Press,(2002).
- [4]. Leger, A.M. Deschamps," Ultrasonic Wave Propagation in Non Homogeneous Media" Springer Proceedings in Physics, Volume. 128,(2009).
- [5]. Adams, R. D. & P. Cawley, "A review of Defect Types and Nondestructive Testing Techniques For Composites and Bonded Joints", From J. "NDT International", August, 21(4) , (1988).
- [6]. M ed,O. Si-Chaib,H.Djelouah,T.Boutkedjirt,"Propagation of Ultrasonic wave in materials under bending forces"NDT&E International,(38),283-289,(2005).
- [7]. Wu, T.T. T.F.Lin"The stress effect on the ultrasonic velocity variations of concrete under repeated Loading "ACI,Materials Journal,(95)5,September-october,519-524,(1998).
- [8]. Crocker, M. J. "Hand Book of Acoustics"John Wiley & Sons,INC,(1998).
- [9]. IRAQ Virtual Science Library, NDT&E International ,39, 514-524,(٢٠٠٦).
- [10]. Zhou, J. X. Chen,L. Wu &X. Kan"Influence of free water content on the compressive mechanical behaviour of cement mortar under high strain rate "Sādhanā (36),part3,June.357-369,(2011) .
- [11]. Chen, C.H "Ultrasonic and Advanced methods, For Nondestructive Testing &Material Characterization ",World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd,(2007).
- [12]. Jacobs L T, B. J . Qu J"Characterization of cement- based materials using diffuse ultrasound"JEng Mechs(39),1478-84,(2003).
- [13].Mahure,N.V.G.K.Vijh,PankajSharma,N.Sivakumar,Murari Ratnam,"Correlation between Pulse Velocity and Compressive Strenght of Concrete" International Journal of Earth Sciences and Engineering ,ISSN0974-5904,(4)6,871-874,(2011).
- [14]. IRAQ Virtual Science Library,Cement and Concrete Research,37, 38-46,(٢٠٠7).
- [15]. Ye. Guang ,K.Van Brengel ,A.L.A.Fraaij"Experimental study on ultrasonic pules velocity evaluation of the microstructure of cementitions material at early ages"(46)3,ISSN 0046-7316,(2001).
- [16]. Zhou and H. X. Q. Hao," Modeling of compressive behaviour of concrete-like materials at high strain rate". Int. J. Solid Struct., 45, 4648–4661,(2008).



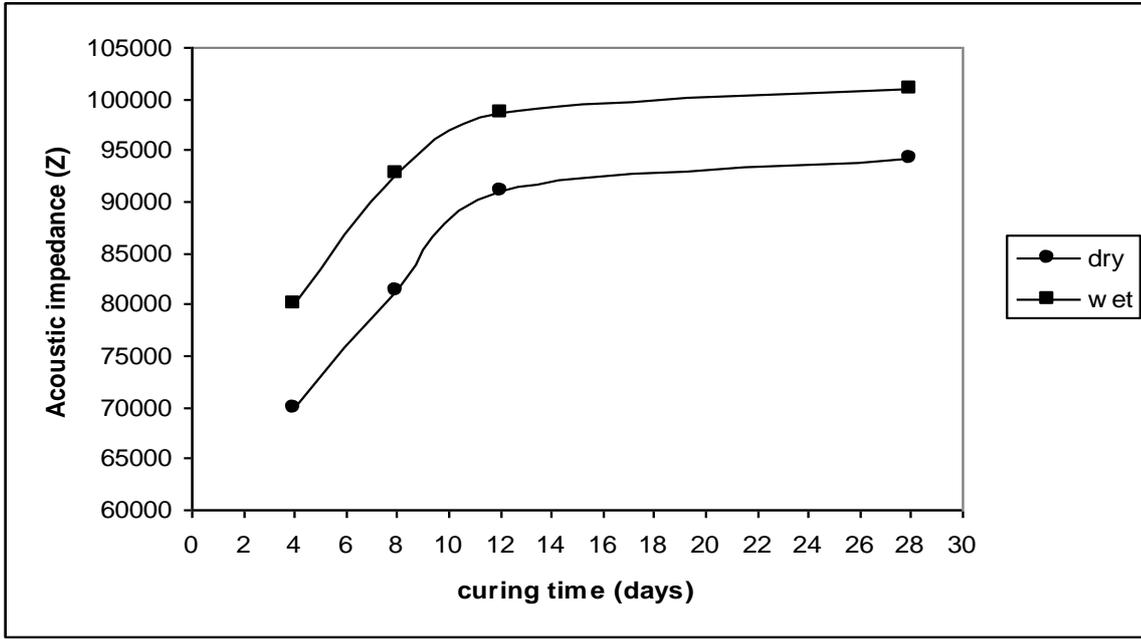
شكل (١) مخطط يوضح الفحص بالموجات فوق الصوتية تحت تاثير الضغط على مصبوبة سمنتية.



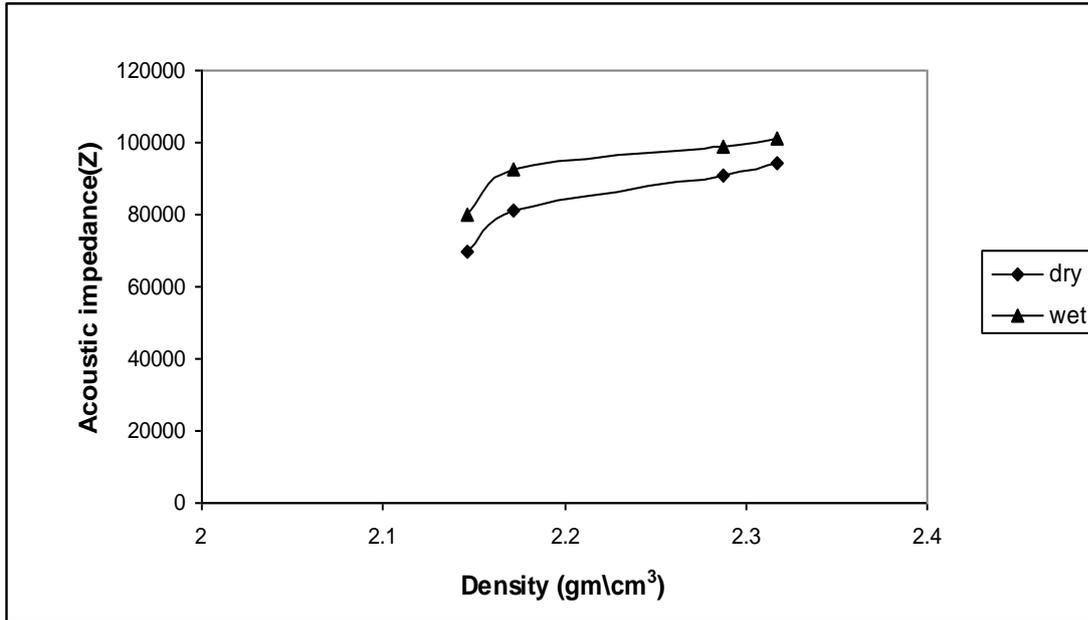
شكل (٢) يوضح العلاقة بين زمن الغمر والكثافة للمصبوبة الإسمنتية



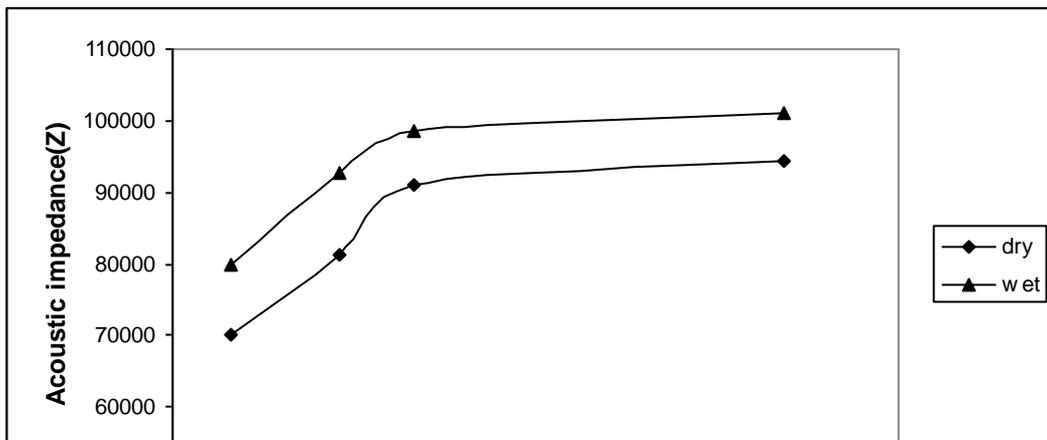
شكل (٣) يوضح العلاقة بين زمن الغمر ومقاومة الانضغاط للمصبوبة الإسمنتية.



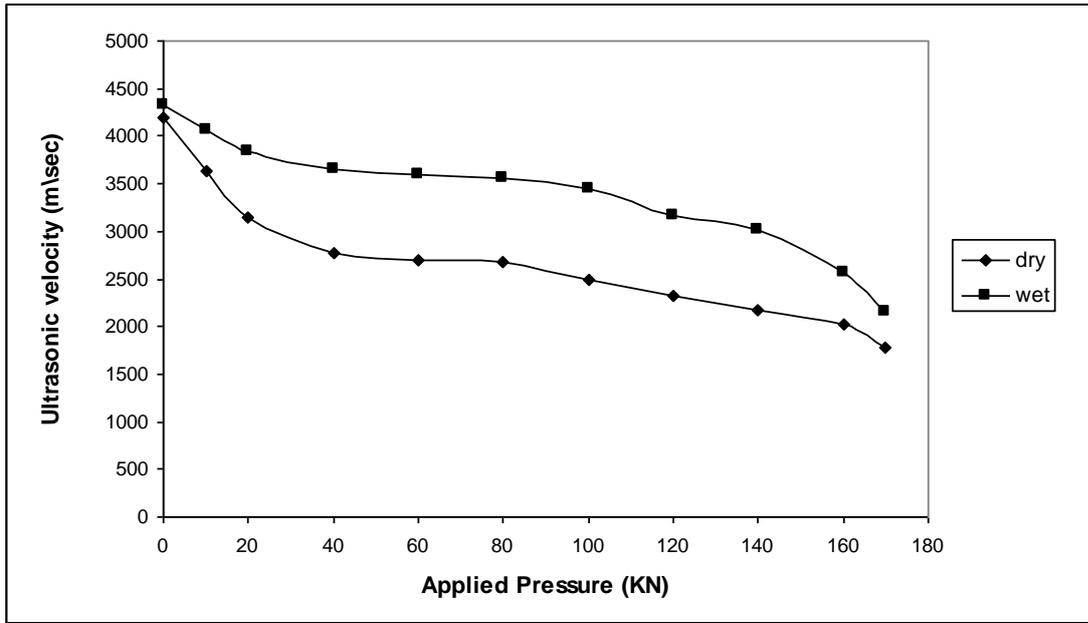
شكل (٤) يوضح العلاقة بين زمن الغمر والإعاقة الصوتية للمصبوبة الإسمنتية.



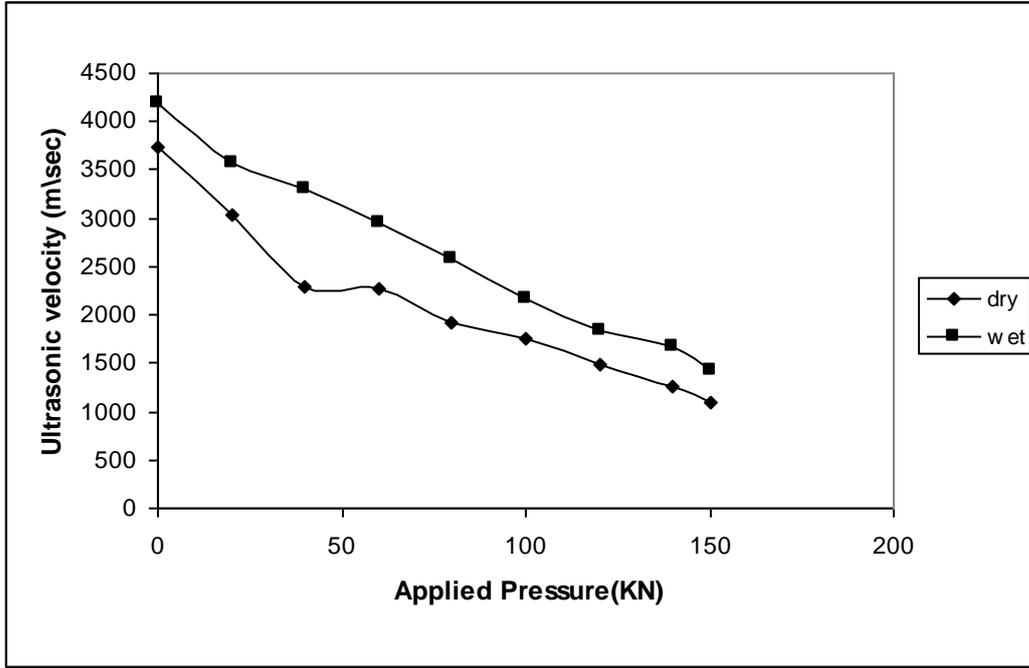
شكل (٥) يوضح العلاقة بين الكثافة والإعاقة الصوتية للمصبوبة الإسمنتية.



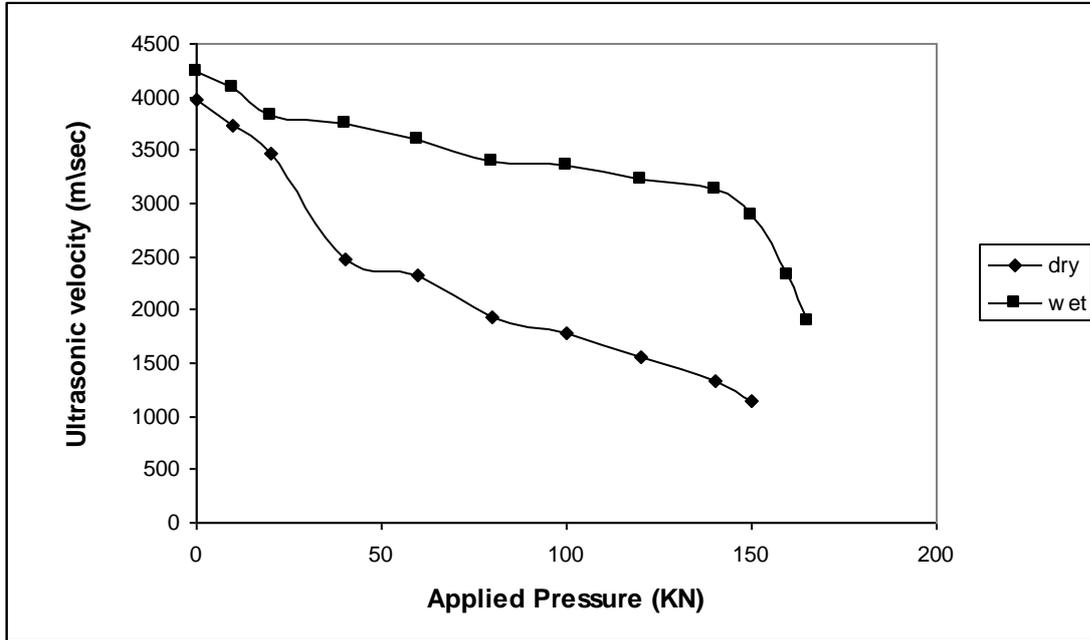
شكل (٦) يوضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط والاعاقة الصوتية للمصبوبة الاسمنتية.



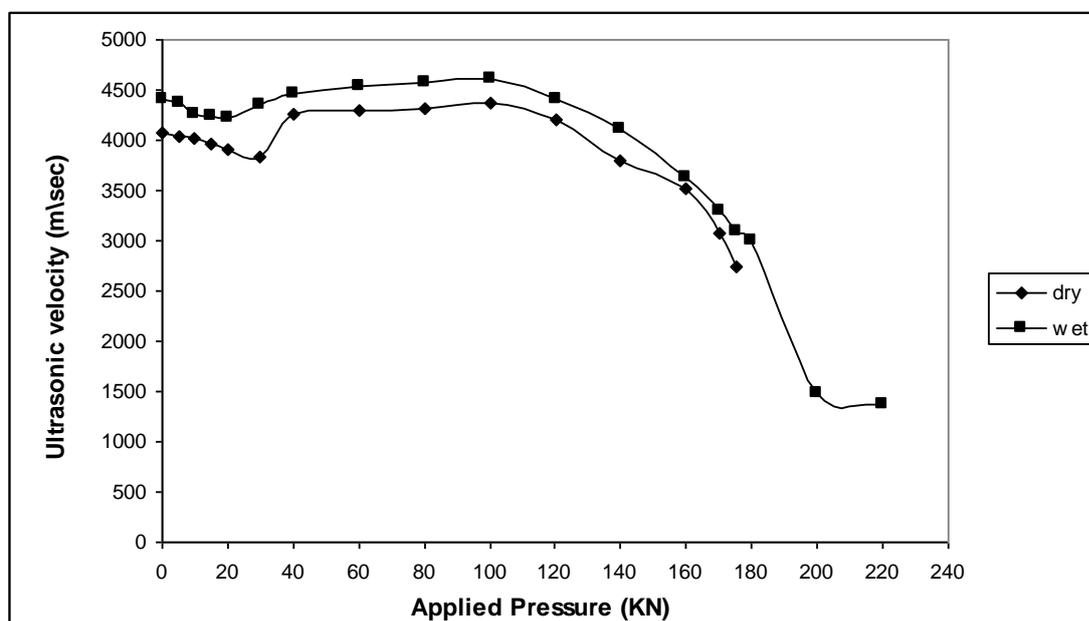
شكل (٧) يوضح علاقة الضغط المسلط بسرعة الموجات فوق الصوتية للمصبوبة الاسمنتية
المغمورة لمدة اربعة ايام.



شكل (٨) يوضح علاقة الضغط المسلط بسرعة الموجات فوق الصوتية للمصبوبة الاسمنتية
المغمورة لمدة ثمانية ايام.



شكل (٨) يوضح علاقة الضغط المسلط بسرعة الموجات فوق الصوتية للمصبوبة الاسمنتية
المغمورة لمدة اثنا عشرة يوما.



شكل (٩) يوضح علاقة الضغط المسلط بسرعة الموجات فوق الصوتية للمصبوبة الاسمنتية المغمورة لمدة ثمانية وعشرون يوما.