Measurement of Acoustic Impedance for Ultrasonic Waves in Ceramic Composite

A. W. Watan
Department of Physics, College of Education Ibn al – Haitham, University of Baghdad

Abstract

Ceramic specimens containing 30% kaoline and 70% burnt clay containing 25% water were ,prepared by standard casting .Their properties (density ,apparent porosity, and apparent water absorption) were determined. Ultrasonic test method as nondestructive method were used to determine acoustic impedance (Z) by Puls velocity measurements. A close relation is explicitly that is found and which is related its sintering behaviour.

قياس الإعاقة الصوتية للموجات فوق الصوتية في مركب سيراميكي

إنعام وادي وطن
قسم الفيزياء،كلية التربية ابن الهيثم ، جامعة بغداد

الخلاصة

أجريت الدراسة بتحضير نماذج سيراميكية مكونة من أطيان الكاؤولين بنسبة (30%) مضافا إليه مادة الطين المحروق بنسبة (70%) مستعملين ماء بنسبة (25%) وتم تشكيل النماذج بطريقة الصب البدوي وحددت الخواص الفيزيائية (الكثافة الحجمية ، المسامية الظاهرية ، الامتصاصية الظاهرية للماء)
و استخدمت طريقة الفحص بالموجات فوق الصوتية طريقة غير اتلافية لتحديد قيم الإعاقة الصوتية (Z) خلال الأوساط السيراميكية المحضرة عن طريق قياس سرعة الموجة المارة .وقد لوحظ تأثر الإعاقة الصوتية بكل من التركيب الدقيق للمادة بسبب سلوكية التلبيد .

المقدمة

تكمن أهمية الصناعات السيراميكية في الاستخدام الكبير لها في حقول الصناعات المختلفة لامتلاكها مواصفات متميزة في التطبيق الصناعي من جهة وتوافر اغلب المواد الأولية في الطبيعة وإمكانية تحضيرها صناعيا بكلف اقل من جهة اخرى (1)، ولذلك فان قياس الاعاقة الصوتية يعد ذا اهمية من الناحية العلمية والهندسية الذي يرتبط قياسها بسرعة الصوت ويمكن من خلالها ان تزودنا بمعلومات مهمة عن الخواص الفيزيائية مثل ثوابت المرونة للمواد الصلبة والسائلة والغازية ،كما ان قياس اختلاف سرعة الصوت دالة لبعض متغيرات المادة المهمة مثل درجات الحرارة والضغط بضيف معلومات اخرى عن خواص تلك المواد مثل امتصاص الصوت ،الانعكاس ،والتشتت (2).
وهنالك طرائق عديدة لقياس سرعة الصوت وأكثر هذه الطرائق شيوعا طريقة النبضات (Pulse method) باستخدام الموجات فوق الصوتيةالتي تعد الأكثر استعمالا في مجال تقنيات الفحص غير الاتلافي (Nondestructive test)(NDT) للمواد (3) ، وبالنظر لعلاقة المواد السيراميكية المصنعة للاغراض الصناعية والانشائية والهندسية بحجم المسامات وكثافة المادة التي تتاثر بالمتغيرات الناجمة من عملية التلبيد الحراري فقد قام العديد من الباحثين بتوجيه افكارهم وجهودهم لدراسة تاثير الخواص الفيزيائية ومن ضمنها الامتصاصية الظاهرية للماء لمواد مختلفة ومن ضمنها السيرميك باستخدام تقنية الفحص بالموجات فوق الصوتية لاهمية هذه التقنية في العديد من المجالات التطبيقية والصناعية (4), ومنها ما قام به كل من (Nhuapeng)، وآخرون عام (2002)(5) بدراسة الخصائص الفيزيائية مثل الاعاقة الصوتية، والكثافة لمتراكب بولمري – سيراميكي (PZT) (lead zirconium titanete)وتأثير الكسر الحجمي لمسحوق السيراميك المضاف الى المتراكب على تلك الخصائص ،اذ تعمل الاضافة على زياد تجانس المركب ومن ثم زيادة خصائصه الفيزيائية (الاعاقة الصوتية والسرعة).
كما درس كل من (Zhiqulu) ،وآخرون عام (2004) (6)التغيرات في الخواص الميكانيكية والتركيبية للتربة المتراصة وتاثر كلا من المتغيرات الصوتية (الاعاقة الصوتية ،والسرعة الصوتية) بعملية التراص ودراسة تاثر محتوى الماء على السلوك الصوتي للتربة خلالها .

ولذلك تعد طريقة الفحص بالموجات فوق الصوتية مفيدة في العديد من التطبيقات العملية والمعتمدة في البحوث والدراسات والمجالات الصناعية وهذا ما تم التركيز عليه في البحث الحالي .

الخلفية النظرية

ترتبط الاعاقة الصوتية بسرعة الصوت وبوصف الصوت بدلالة تردده أي عدد الاهتزازات (الذبذبات)الميكانيكية الكاملة التي تحصل في الثانية الواحدة ،فالموجات الصوتية هي موجات مرنة تنتقل خلال وسط صلب أو مائع والاهتزازات الميكانيكية بامكانها التقدم خلال الاجسام الصلبة أو السائلة أو الغازية وفيها تهتز دقائق المادة ، فاذا كانت الحركة الميكانيكية للدقائق منتظمة فالاهتزاز يمكن ان يعرف بتردد دورة في الثانية ويقاس بالهرتز (Hertz) فاذا كان التردد ضمن مدى تقريبي من Hz (2000 – 10) كان الصوت مسموعا ، اما اذا كان التردد اكثر من Hz (2000)فتسمى الموجات الصوتية بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic)وهي اهتزازات ميكانيكية وليست اشعاع كهرومغناطيسي وتمتلك اطوالا موجية مختلفة لمختلف المواد (7). وتكون طبيعة الاهتزازات فوق الصوتية على النقيض من طبيعة الاهتزازات الصوتية (السمعية) فهي لا تنفذ بسهولة خلال الغازات ومع ذلك فالاهتزازات فوق الصوتية تمر بيسر خلال السوائل والاجسام الصلبة وتستطيع ان تقطع مسافات طويلة شرط ان تكون الاوساط متجانسة ، فالتقاطعات أو السطوح البينية تؤدي الى انعكاس الاهتزازات فوق الصوتية بشكل تام (8)، لذا فعندما تقابل الموجات فوق الصوتية حدودا بين وسطين مختلفين أو في وسط يحوي مسامات أو شقوق او فراغات فان جزءا من الطاقة سوف ينعكس وقسما يستمر بالتقدم (أي ينفذ)(9) وكما موضح بالشكل (1) .ان نسبة الطاقة النافذة الى الطاقة المنعكسة يعتمد على الاعاقة الصوتية التي يواجهها والتي تعرف لكل مادة بالعلاقة (7)

$$Z = \rho v \qquad [1]$$

اذ ان ρ كثافة المادة و vسرعة الموجة النافذة

الجزء العملي

تقنية تحضير النماذج

حضرت نماذج سيراميكية باستعمال طين الكاؤولين (مادة اولية) لوفرته وسهوله استعماله بنسبة (30%) مضافا اليه طين الكاؤولين المحروق وبنسبة (70%) لتقليل الانكماش الذي يحصل بالانموذج النهائي ،ولان عملية تدرج المقاس الحبيبي مهمة وتؤثر في المساحة السطحية للتلامس بين الحبيبات وما ينتج عنها من تاثير في الخواص الفيزيائية والحرارية والميكانيكية للمنتوج(10). فقد تم اعتماد ثلاثة مقاسات حبيبية مختلفة للمادة الرابطة(1000،250,90)مايكرومتر واستخدمت طريقة الصب اليدوي لتشكيل النماذج السيراميكية التي تعد من العمليات المهمة وسهلة الاستخدام في صناعة الاجسام السيراميكية وتؤثر في خواص المواد المنتجة ، ولغرض اكمال عملية التشكيل فقد تم اضافة الماء بنسبة (25%)وتم صب العجينة السيراميكية في قالب بالابعاد cm(5×5×5) وأجريت عملية الحرق على النماذج المحضرة بدرجات حرارة ^0C(1050،900،800)وبزمن انضاج ساعتين وقد اختبرت هذه الدرجات لانها من الخطوات المهمة جدا في تصنيع المواد السيراميكية فهي تعطي الخواص النهائية للمنتج وتعتمد درجة حرارة الحرق على خصائص الاطيان من حيث المكونات الكيمائية والمعدنية ، ومعدل التسخين وزمن الانضاج عند اعلى درجة حرارة(11).

بعد اكتمال عملية الحرق حسبت الخواص الفيزيائية للمادة السيراميكية متمثلة بالامتصاصية الظاهرية للماء والكثافة الحجمية والمسامية الظاهرية وباستخدام طريقة الازاحة لارخميدس وحسب العلاقات الاتية (11):-

$$\text{Bulk density}(\rho_B) = \frac{Wd}{ws - wi} \cdot D \qquad [2]$$

$$\text{Apparent porosity \%}(A.p) = \frac{ws - wd}{ws - wi} * 100 \qquad [3]$$

$$\text{Water Absorption \%}(w.A) = \frac{ws - wd}{wd} * 100 \qquad [4]$$

اذ:

D :كثافة السائل المستعمل (gm/cm^3)(الماء)،W_iكتلة الأنموذج وهو مغمور بالماء (gm)،W_d:كتلة الأنموذج جاف (gm)، W_s:، كتلة الأنموذج رطب (gm)

تقنية الفحص

بعد تحضير النماذج فحصت بجهاز الموجات فوق الصوتية نوع (OYO- Sonic Viewer) (Model -5217A) لقياس زمن انتقال الموجات الطولية (الانضغاطية) والموجات المستعرضة (القصية) خلال المادة السيراميكية ، اذ تستعمل في هذه الطريقة حزمة مستمرة من الموجات فوق الصوتية التي تدخل الانموذج تحت الفحص عن طريق الاتصال المباشر بينه وبين المجسان الموضوعان على طرفيه ،اذ يمثل احدهما المجس المرسل (transmitter transducer)، والمجس الاخر بالمجس المستلم (receiver transducer) للموجات فوق الصوتية شرط ان يكون سطحا الانموذج المتقابلين متوازيين تماما وصقيلين وأملسين و يبين الشكل (2) طريقة الفحص بالموجات النافذة (3).

وقد تم في هذا الفحص اجراء القياسات الاتية :

- V_p- سرعة الموجة الطولية (الانضغاطية) للموجات فوق الصوتية باستخدام محول طاقة ذي تردد (66) وذلك عن طريق قياس زمن انتقال الموجة الطولية (t_p) بعد قياس طول الانموذج (L) باستخدم العلاقة الاتية(12) :-

$$V_p = L/t_p \qquad [5]$$

- V_s - سرعة الموجة المستعرضة (القصية) للموجات فوق الصوتية باستخدام محول طاقة ذي تردد (33) وذلك عن طريق قياس زمن انتقال الموجة الطولية (t_s) بعد قياس طول الانموذج (L) وباستخدم العلاقة الاتية(12) :-

$$V_s = L/t_s \qquad [6]$$

بعد ذلك حسبت الاعاقة الصوتية للمادة السيراميكية بدلالة كثافة المادة وسرع الموجات فوق الصوتية (الطولية والمستعرضة)على وفق العلاقة رقم 1، و استخدمت محولات طاقة نوع (P-Wave) ذي ترددات مختلفة (37،54,82,150) كيلو هرتز لغرض قياس السرعة الانضغاطية (الطولية)(v_p)وحساب الاعاقة الصوتية Z عند تلك السرع.

النتائج والمناقشة

من النتائج التي تم الحصول عليها وجدنا ان الاعاقة الصوتية تزداد بزيادة درجة حرارة التلبيد للمادة السيراميكية وذلك لانخفاض نسبة الطاقة الضائعة للموجة المرنة المنتقلة خلال المادة السيراميكية(11) وكما مبين بالشكل (3) تاثير درجة حرارة التلبيد على الاعاقة الصوتية. كما يوضح الشكل (4) تاثير الكثافة الحجمية للمادة السراميكية على الاعاقة الصوتية ،اذ نجد ان الاعاقة الصوتية تزداد بزيادة كثافة المادة السيراميكية لانه في المعاملة الحرارية للمادة السيراميكية ستتحول الى مادة صلبة كثيفة ويصاحب هذا التحول تغيرات في التركيب الدقيق للمادة أي احتمال ضياع طاقة الموجة تكون عالية جدا لحدوث الاستطارة والامتصاص عند الحدود الحبيبية للمادة(12)وكما يبين الشكل (5) تاثير تغير المسامية الظاهرية على قيم الاعاقة الصوتية ،اذ انه يحدث وخلال عملية الحرق (firing)تغيرات في شكل الحبيبة (Grain)وحجمها و تغير في شكل وحجم المسامات (Pores) ايضا يؤدي ذلك الى تغير في مسامية المادة السيراميكية فتتحول من مادة ذي مسامية عالية الى مادة متماسكة كثيفة صلدة (13) .ولذلك نجد ان الاعاقة الصوتية تتاثر بوجود السطوح البينية والمسامات وتنقسم الموجات المارة خلال المادة على موجات منعكسة واخرى نافذه، والجزء النافذ سينقسم مرة اخرى عند مسامات أو سطوح بينية اخرى وهكذا تتكرر العملية، ولذا فعندما تكون عدد المسامات كثيرا فان ذلك يؤدي الى نقصان في الاعاقة الصوتية (14).

كما نلاحظ من الشكل (6) تاثير تغير الامتصاصية الظاهرية للماء على الاعاقة الصوتية للموجة ،اذ نجد انه بزيادة امتصاصية الماء تقل الاعاقة الصوتية نتيجة لزيادة عدد المسامات الموجودة داخل المادة ولذلك تعاني الموجة من انعكاس وتشتت أي يحدث تبدد في طاقة الموجة المرنة (15).

ان سبب سلوك الاعاقة الصوتية يرجع اعتمادها على عاملين وهما كثافة المادة(ρ) ، وسرعة الموجة(V) الماره بالمادة (7)، ولذلك فان الاعاقة الصوتية تتاثر بسرع الموجات فوق الصوتية ،اذ نجد ان زيادة الكثافة تؤدي الى زيادة كلا من سرعة الموجة (الطولية Vp والمستعرضة Vs) ومن ثم زيادة قيم الاعاقة الصوتية للمادة السيراميكية (16).وكما مبين في كل من الشكل (7)، والشكل (8) .

كما تتاثر الاعاقة الصوتية (Z) بتردد الموجة فوق الصوتية (f)و يوضح الشكل (9) تاثير تغير تردد الموجات فوق الصوتية على الاعاقة الصوتية للوسط السيراميكي ،اذ نلاحظ انه بزيادة التردد للموجة المنتقلة خلال الوسط السيراميكي فان ذلك يؤدي الى زيادة الاعاقة الصوتية أي يكون الوسط بمثابة عازلا جيدا للصوت ويمكن تفسير ذلك على انه وعند الترددات العالية أي الاطوال الموجية القصيرة سوف تقترب الموجة من حجم مكونات المادة كالمسامات ولذلك يحدث ارتداد للموجة نتيجة للاستطارة الحاصلة للموجة المنتقلة خلال وسط غير متجانس ويكون بشكل انكسار (refraction)، وانعكاس (reflection) ، ولذلك تعاني الموجة انعكاسات وانكسارات عديدة عند كل حد من الحدود والسطوح البينية للمادة (17).

الاستنتاجات

1.تاثر الاعاقة الصوتية بتركيب المادة السيراميكية وزيادتها بزيادة كلا من درجة حرارة التلبيد والكثافة نتيجة لتكتل الحبيبات الدقيقة المكونة للمادة السيراميكية، وانخفاض نسبة الطاقة الضائعة للموجة المرنة المنتقلة خلال المادة .

2.زيادة كثافة المادة السيراميكية انعكس على نقصان في كلا من المسامية وامتصاصية الماء الظاهرية ومن ثم نقصان الاعاقة الصوتية مع هاتين الخاصيتين .

3.ترداد الاعاقة الصوتية بزيادة كلا من سرعة الموجة الطولية(V_p)، وسرعة الموجة القصية(V_s).

4.وجد انه بزيادة التردد للموجة فوق الصوتية (f) ترداد الاعاقة الصوتية (Z)للمادة السيراميكية بسبب عملية الاستطارة عند كل حد من الحدود الحبيبية وبذلك يعد الوسط عند الترددات العالية عازلا جيدا للصوت .

المصادر

1.Van Vlak,L.H,(1997),Elements of materials science and engineering ', third Edition,Addison Wesley Publishing company.

2. R.D.Adams & P.Cawley ,(1988 FromI,"NDT International" 21(4),August.

3.Barry Hull&Vernon John,(1988)"Non-Destructive Testing"Macmillan Education LTD.

4.R.Halmshaw .(1988),Introduction to the NDT of welded Joints, the welding Institute cambrihge-UK,p.48-75.

5.Wim Nhuapeng,Jerapong Tautrakoon and Tawee Tuakasri,(2002) CMU.Journal, 1(1):61.

6.Zhiqu Lu,Craigj.Hickey,and James M.Sabatier(2004),Soil Soc.AM.J,vol.68,January-February.

7.R.Halmshaw .(1987),Non-Destrustive Testing"Routledgc, champman and Hall,Inc.

8.J. Krauthramer& H.Krauthramer,(1969),"Ultrasonic Testing of Materials", springer-verlag,Berlin,Heidelberg.

9.Peter A.Payne ,(1994), New and Advanced Materials Technology Monitor "Issue No.35\1.

10.W.D.Kingery,(1975),"Introduction to ceramics", second edition, by Awiley Interscience Publication.

11.M.W.Barsun(1997),Fundamentals of ceramics"Mc Graw –Hill Companies,INC

12.R.N.Thurston &Allan D.Pierce ,(1990), Vol.XIX,Academic Precc,INC

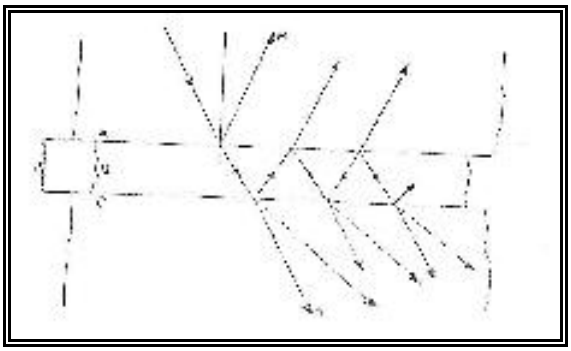
13.Malcolm J.Crocker ,(1998), Hand Book of Acoustics, John wiley &Sons, INC

14.Auregan, Y.and Pachebat,M,(1999),Measurement of the nonlinear behavior of acoustical rigid porous materials, Physics of Fluid, 11(6):1342-1345.

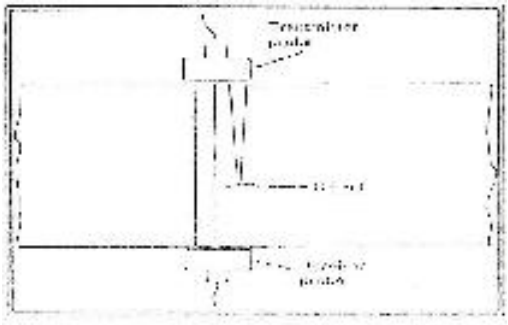
15.Wonsiri Punurai,Jacek Jarzynski,(2006),Characterization of entrained air voids in cement Paste with scattered ultrasound,NDT&E International.

16.L.P.Martin,J.c.Poret,A.Danon,M.Rosen,(1998), Materials Science and Engineering A252:27-35.

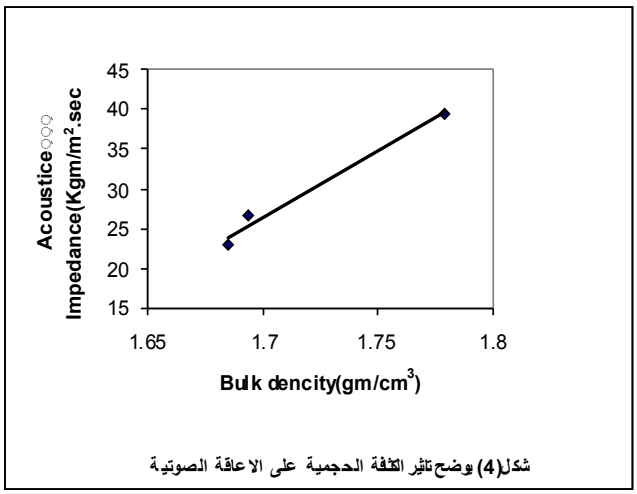
17.George Y.Baaklini,Edward R.Generazio,and James D.Kiser,(1989), J.Am.Ceram.Soc,72(3):383-387



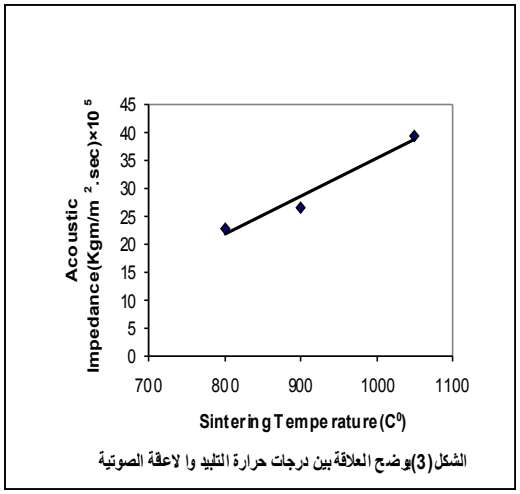
شكل (1) يمثل سطح بيني مزدوج يوضح مفهوم الاعاقة الصوتية(9)



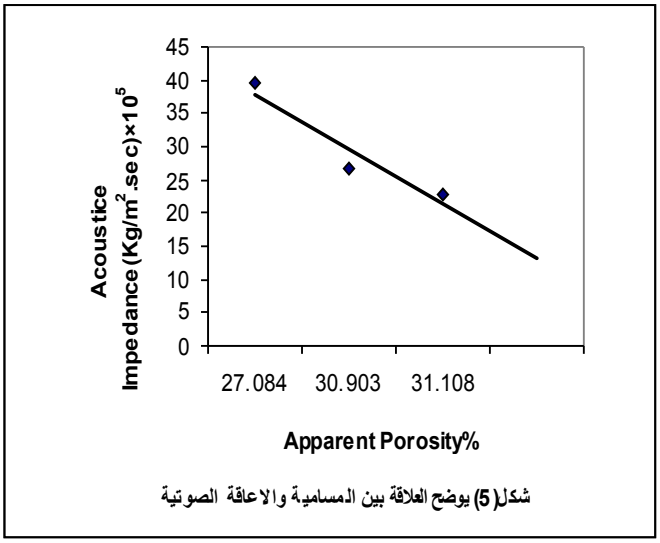
شكل (2) يوضح الفحص بطريقة الموجات النافذة(3)



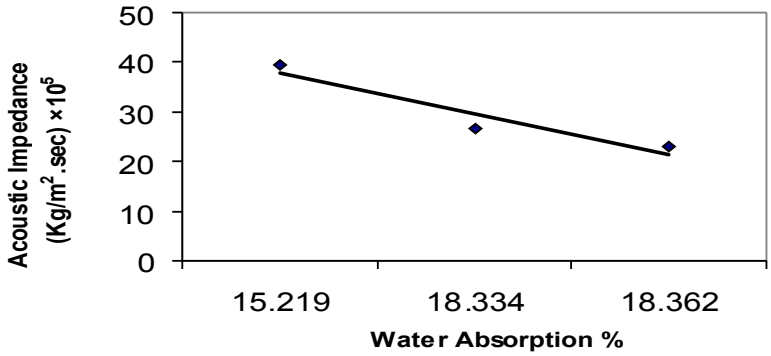
شكل(4) يوضح تاثير الكثافة الحجمية على الاعاقة الصوتية



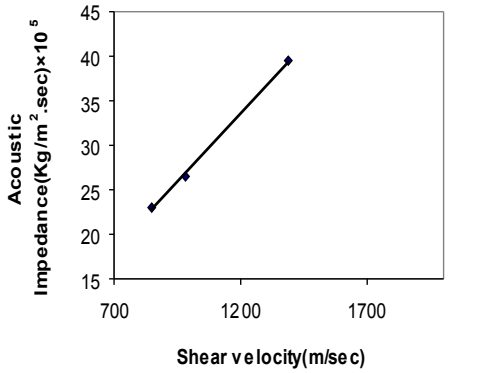
الشكل(3)يوضح العلاقة بين درجات حرارة التلبيد وا لاعقة الصوتية



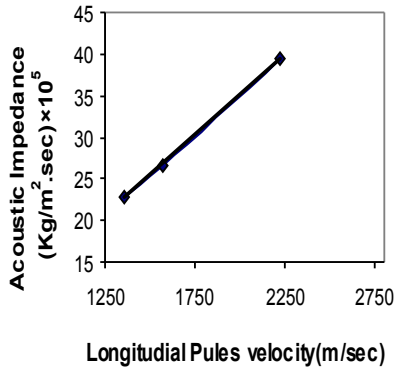
شكل(5) يوضح العلاقة بين المساميةوالاعاقة الصوتية



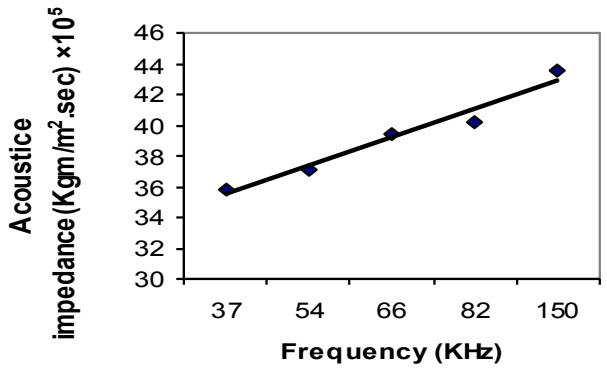
شكل (6) يوضح العلاقة بين الامتصاصية الظاهرية للماء مع الاعاقة الصوتية



شكل(8)يوضح العلاقةبين سرعة الموجة القصية والاعاقة الصوتية



شكل (7) يوضح العلاقة بين سرعة الموجة والاعقة الصوتية



شكل(9)يوضح تاثير تردد الموجات فوق الصوتية على الاعاقة الصوتية