

# الكشف عن عيوب الخرسانة باستخدام سرعة الموجات فوق الصوتية

أمير عبد الرحمن هلال الدليمي  
مدرس/كلية الهندسة  
جامعة الانبار

## الخلاصة (Abstract)

كرس هذا البحث للتحري عن كفاءة طريقة سرعة الموجات فوق الصوتية في الكشف عن الفجوات وإيجاد عمق الشقوق في الخرسانة. تم إجراء فحوصات للمقارنة بين دقة سرعة الموجات فوق الصوتية بالطريقة المباشرة ودقتها بالطريقة غير المباشرة في حالة الكشف عن مواقع العيوب في الخرسانة. تم في هذا البحث إنتاج ثلاثة مواشير ووضعت بداخل كل منها بمواقع معلومة كرة من الفلين بقطر حوالي (3سم) تعمل عمل الفجوة وقد فخصت هذه المواشير بعمر (28) يوم. كما وتم إنتاج موشورين آخرين حيث تم عمل شق بكل نموذج احدهما بعمق (5)سم والاخر بعمق (10)سم عموديان على محور النموذج دون حدوث الكسر للنموذج واجريت عليها الفحوصات للكشف عن عمق الشقوق. أوضحت نتائج الفحوصات عن إمكانية استخدام كل من الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للكشف عن مواقع الفجوات ولتقييم خصائص الخرسانة في الموقع وللمسيطرة النوعية عليها، كما وبينت النتائج بان الطريقتين الأولى والثانية لإيجاد عمق الشق أعطت نتائج قريبة للواقع وبدقة عالية بينما كانت نتائج الطريقة الثالثة اقل من عمق الشق الفعلي ونتائج الطريقة الرابعة أعلى من عمق الشق الفعلي وعليه فممكن اعتماد معدل نتيجتي الطريقتين الثالثة والرابعة لإيجاد عمق الشق بدقة جيدة.

## Abstract

This research investigates the efficiency of Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) method in detecting voids and depth of cracks in concrete.

Tests were performed to compare the accuracy between the direct and indirect method of Ultrasonic Pulse Velocity method (UPV) in detecting the location of defects. Three concrete prisms with fabricated void at a known location were used and tested at 28 day.

Two other prisms were casted and tested to detect of crack depth in concrete, cracks at depth of 5 and 10 cm perpendicular to axis of beam were induced without actually breaking the beam.

Test results indicate that direct and indirect methods can be used to assess the in-situ properties of concrete or for quality control on site, and the first and second method of determining the crack depth gave results with high accuracy while the results of third method were lower than the actual crack depth and for the forth method were higher than it. Therefore, we can use the average of the third and forth results to obtain the crack depth with good accuracy.

**Key words:** Non-destructive test, Ultrasonic Pulse Velocity, Concrete Defects, Crack Depth, Accuracy.

## 1- المقدمة (Introduction):

تعتمد خطط التنمية وتنفيذ المشاريع المختلفة على مدى توفر مواد البناء وعلى الرغم من تطور مواد البناء المستعملة بمرور الزمن فلا زالت الخرسانة تحتل مكانة الصدارة إذ تطورت وتحسنت طرق إنتاجها وصناعتها بصورة هائلة كما تعددت أنواعها تبعاً لمتطلبات الأغراض المستعملة من أجلها<sup>(1)</sup>. الخرسانة بمعنى عام هي أي منتج أو كتلة مصنوعة باستخدام الوسط الاسمنتي وعموماً هذا الوسط ناتج من التفاعل بين الاسمنت الهيدروليكي والماء<sup>(2)</sup>. تعددت استخدامات الخرسانة كإداة إنشائية في بناء المنشآت كما تعددت أنواعها وطرق إنتاجها وخصها وان الفحوص التقليدية كفحص المكعبات الخرسانية بالرغم من بساطتها لا تتلائم مع الأساليب الحديثة لإنتاج الخرسانة واستخداماتها كما لا تعطي مؤشرات كافية لنوعيه الخرسانة المستخدمة من حيث التحميل والديمومة والمظهر الخارجي لذلك اتجهت جهود الباحثين إلى التحري عن فحوص جديدة بوسعها تشخيص صلاحية المادة بصورة سريعة قبل البدء في المراحل المتتالية من البناء والاستمرار بها. وتعتبر الفحوص اللااتلافية إحدى الوسائل الحديثة في السيطرة النوعية وقد برزت أهميتها منذ حوالي ثلاثين عاماً وتعتمد هذه الفحوص على الموجات فوق الصوتية<sup>(3)</sup>.

## 2- الفحوصات غير الاتلافية

يمكن تعريف الفحص غير الاتلافي بصورة هندسية على انه الفحص الذي يتم إجرائه دون الإضرار بالعينة أو المنشأ ودون التأثير على خواصها أو استخدامها وبشمل هذا التعريف مجموعة من الفحوص التي تستخدم تقنيات مختلفة وتعتبر الفحوص الاهتزازية من أهم الفحوص الغير اتلافية وأقدمها<sup>(3)</sup>.

المقصود بالأوج فوق الصوتية هي موجات ترددها أكبر من التردد المسموع من قبل الأذن البشرية (20\_ 20000 هرتز) وهذه الموجات تسلك سلوك الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الضوء من حيث الانعكاس والانتقال كما أنها تستطيع الانتقال في الفجوات وهذه الموجات يمكن توليدها وكشفها بعدة طرق ولكن الطريقة المعتادة لتوليدها هو إثارة الاهتزازات الطبيعية لبعض البلورات مثل الكوارتز وملح روشل أو تيناتانات الباريوم وهذه البلورات منصوبة داخل اسطوانات حديدية لتشكيل ما يسمى بالمرسل (المذبذب) والملتقط (المستقبل) والتي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية وبالعكس وتنقل الموجات فوق الصوتية في الأجسام الصلبة كموجات إجهاد<sup>(3)</sup>.

يمكن فحص الخرسانة بالموجات فوق الصوتية عن طريق استخدام جهاز مصنع لهذا الغرض يسمى بـ (الفاحص الرقمي المحمول بالموجات فوق الصوتية) (Potable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tests) والذي يسمى اختصاراً بـ (PUNDIT) وهو أحد أجهزة الفحوصات الغير أتلافية للخرسانة (Non Destructive) وقد شاع استخدامه في بداية السبعينات عندما ظهرت المعدات للاستخدام التجاري الواسع، وتوجد حالياً مواصفات قياسية في عدة دول لفحص الخرسانة بواسطة الموجات فوق الصوتية مثل المواصفات البريطانية (BS 4408) و (BS 1881 part 201) والمواصفة الأمريكية (ASTM C597) كما وتم وضع توصيات لطريقة الفحص من قبل الاتحاد الدولي لمختبرات فحوص وبحوث المواد والإنشاءات (RILEM) في سنة 1969م<sup>(4)</sup>.

إن المبدأ الأساسي لطريقة الفحوص الغير الاتلافية المستخدمة في هذا البحث تعتمد على جحاز باندت لقياس سرعة الأمواج فوق الصوتية الطويلة والتي تنتقل باتجاه موازي لحركه الموجه على نماذج من المواشير الخرسانية حيث يقوم المرسل بتوليد موجه طويلة ملامسه لسطح النموذج وتمر هذه الموجه عبر النموذج ثم تتحول إلى موجه كهر بائية وبواسطة المستقبل والدائرة الالكترونية نستطيع معرفة الزمن الذي تستغرقه الذبذبة لكي تجتاز النموذج.

## 3- العمل المختبري

شمل العمل المختبري في هذا الفصل ثلاث مراحل رئيسية :

المرحلة الأولى : تضمنت إنتاج الخرسانة وكانت على قسمين ، الأول شمل تصميم الخلطة ، والقسم الثاني شمل إجراءات الخلط .

المرحلة الثانية : تضمنت إعداد النماذج وشملت القولية وإنهاء السطح ورفع النماذج من القوالب وأخيراً المعالجة .

المرحلة الثالثة : تضمنت فحص الموجات فوق الصوتية للكشف عن عيوب الخرسانة المنتجة .

علماً بان جميع الفحوصات تمت في مختبر الخرسانة/قسم الهندسة المدنية/كلية الهندسة /جامعة الانبار

## أولاً : إنتاج الخرسانة

### 1- تصميم الخلطة

تم اعتماد الطريقة الوزنية في تصميم الخلطة حيث اعتمدت كمية الاسمنت (350كغم/م<sup>3</sup>) ونسب وزنيه ( 1 : 1.5 : 3 ) (سمنت : ركام ناعم : ركام خشن) ونسبة ماء على اسمنت ( 0.5) وعن طريق حساب الحجم الفعلي المطلوب لإتمام العمل المختبري تم إيجاد أوزان المواد الأولية الداخلة في إنتاج الخلطة الخرسانية.

### 2- الأجهزة المستخدمة

أ: خلاط اعتيادي: تم استخدام خلاط اعتيادي بسعة (0.075 م<sup>3</sup>) يعمل بالطاقة الكهربائية لخلط المواد الداخلة في إنتاج الخرسانة .

ب: القوالب: تم استخدام قوالب بأبعاد (20×20×50) سم لصب الخرسانة.

## 3- المواد الأولية المستخدمة

أ: الاسمنت : تم في هذا البحث استخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي المصنوع في معمل سميت كيسة.  
 ب: الركام : تم استخدام الركام بنوعيه الخشن (coarse) والناعم (fine) والجدول رقم (1) يبين التحليل المنخلي للركام الخشن والجدول رقم (2) يوضح التحليل المنخلي للركام الناعم وحسب المواصفة الأمريكية ASTM-C33-2003<sup>(5)</sup>  
 ج: الماء : تم في هذا البحث استخدام ماء صالح للشرب وخالي من الشوائب  
 جدول رقم (1) متطلبات التدرج ونتائج التحليل المنخلي للركام الخشن المستخدم

مقاس المنخل	النسبة المئوية المارة حسب المواصفة (ASTM-C33-03)	النسبة المئوية المارة للركام الخشن المستخدم
75 ملم	-----	100
63ملم	-----	100
50 ملم	-----	100
38 ملم	-----	100
25 ملم	100	100
19 ملم	100 - 90	93.2
12,5 ملم	-----	-----
9,5 ملم	55 - 20	46
4,75 ملم	10 - 0	1.8
2,36	5-0	0

جدول رقم (2) متطلبات التدرج ونتائج التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم

قياس المنخل	النسبة المئوية المارة حسب المواصفة (ASTM-C33-03)	النسبة المئوية المارة للركام الناعم المستخدم
9.5	100	100
4,75ملم	100 - 95	100
2,36ملم	100 - 80	96.3
1,18 ملم	85-50	77.6
600 مايكرون	60-25	50
300 مايكرون	30-5	22.5
150 مايكرون	10-0	8.5

## ثانياً : إعداد النماذج

تم إعداد النماذج في هذا البحث اعتماداً على المواصفة الأمريكية ASTM- C192-2002<sup>(6)</sup>

## 1- القوالب

بعد إكمال عملية الخلط تم وضع الخرسانة بالقوالب المعدة مسبقاً وبثلاث طبقات بالنسبة للمواشير (50×20×20) سم، وتم استخدام قضيب معدني لإجراء عملية الرص

## 2- إنهاء السطح

بعد إكمال عملية القوالب وملا القوالب تم تعديل سطح النماذج باستخدام المالح Trowel وتم تغطية جميع النماذج بالنيلون السميك لمنع عملية تبخر الماء.

## 3- الإزالة من قوالب

تم رفع جميع النماذج من القوالب بعد مرور حوالي 24 ساعة من وقت الصب .

## 4- المعالجة

بعد إزالة النماذج من القوالب غمرت بالماء لمدة 7 أيام وبعدها تم إخراجها لغرض إجراء الفحوصات عليها.

## 4- الفحوصات

تم اعتماد فحص الموجات فوق الصوتية باستخدام جهاز البانددت الموضحة صورته بالشكل رقم (1) للكشف عن العيوب الموجودة داخل الخرسانة المنتجة وكالاتي:



شكل رقم (1) جهاز الموجات فوق الصوتية

### أولاً : الكشف عن عيوب الخرسانة

تم إنتاج ثلاث نماذج بأبعاد (50x20x20) سم شكل رقم (2) وتم صنع فجوة بوضع قطعة من الفلين على شكل كرة بقطر (3 سم) داخل كل نموذج بأبعاد وأعماق محددة وكما مبين في الجدول رقم (3)

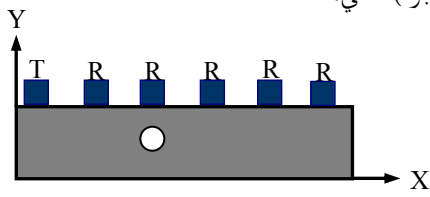


شكل رقم (2) النماذج المستخدمة لإيجاد موقع الفجوة

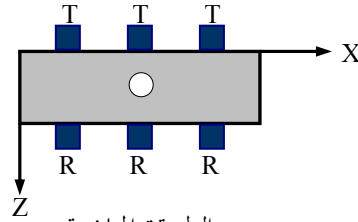
جدول رقم (3) مواقع الفجوات الموضوعة داخل النماذج الثلاثة

إحداثيات موقع الفجوة			رقم النموذج
Z	Y	X	
150	120	100	الاول
250	100	100	الثاني
350	80	100	الثالث

حيث تم اعتماد فحص الموجات فوق الصوتية بالطريقتين المباشرة وغير المباشرة (7) شكل رقم (3) وذلك للكشف عن موقع الفجوة (العييب في الخرسانة) بعمر 28 يوم ومن ثم إيجاد دقة الفحص بسبب معلومية موقع العيب (الفجوة) الفعلي.



الطريقة غير المباشرة



الطريقة المباشرة

شكل رقم (3) الطريقة المباشرة وغير المباشرة لإيجاد موقع الفجوة داخل الخرسانة

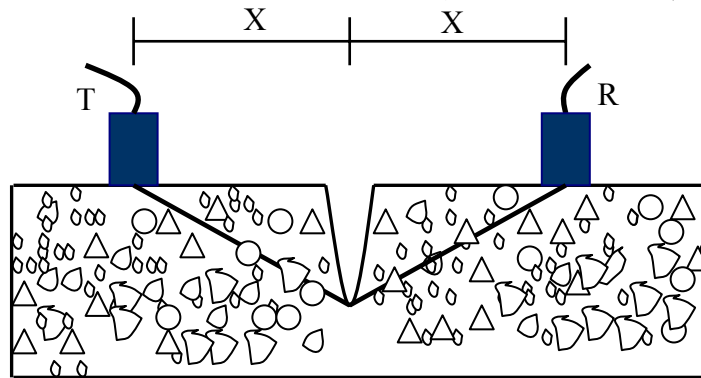
### ثانياً: إيجاد عمق الشق

تم إنتاج نموذجين بأبعاد (50×20×20) سم شكل رقم (4) وعمل خلال كل منهما شق عمودي، الأول بعمق (5 سم) والثاني بعمق (10 سم) وعرض لا يتجاوز (4 ملم) مقاس عند وجه النموذج وقد تم إجراء فحص الموجات فوق الصوتية على النماذج وحسب الطرق التالية الذكر:



شكل رقم (4) النماذج المستخدمة لإيجاد عمق الشق

أ- **الطريقة الأولى** : تم قياس زمن مرور ذبذبات الموجات فوق السمعية في الخرسانة عند موقع الشق ومسافة (x) على طرفي الشق بالنسبة للمجسين المرسل والمستقبل وقياس الزمن اللازم لمرور نفس المسافة (2x) ولنفس الخرسانة في موقع خالي من الشقوق (8) علماً بأن (x) كانت تساوي (10 سم) في هذا البحث (شكل رقم (5)).



شكل رقم (5) الطريقة الأولى لقياس عمق الشق بعدها يتم تطبيق المعادلة التالية لحساب عمق الشق

$$h = x \sqrt{\frac{Tc^2}{Ts^2} - 1} \dots\dots\dots(1)^{(3,10)}$$

حيث أن :

h : عمق الشق ( ملم )

x : المسافة عن منتصف الشق ( ملم )

Tc : زمن مرور الموجه عبر الشق (مايكرو ثانيه )

Ts : زمن مرور الموجه في موقع خالي من الشقوق (مايكرو ثانيه).

ب- **الطريقة الثانية** : تم في هذه الطريقة قياس زمن مرور الموجه بعد وضع المرسل والمستقبل على جانبي الشق وعلى مسافة تساوي (x) ثم مضاعفة المسافة من كلا الجهتين وحسب زمن مرور الموجه للمسافة المضاعفة (2x) (شكل رقم (6)) وبعدها يتم حساب عمق الشق باستخدام المعادلة التالية :

$$h = x \sqrt{\frac{4T1^2 - T2^2}{T2^2 - T1^2}} \dots\dots\dots(2)^{(3,11)}$$

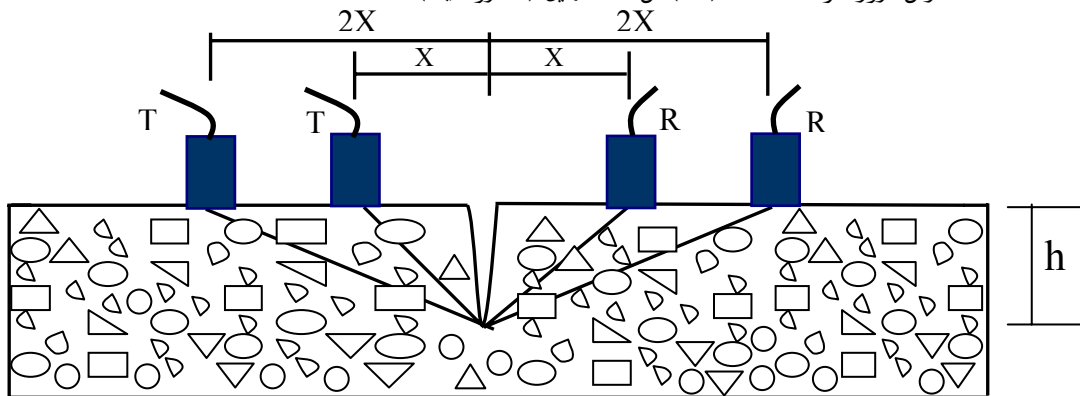
حيث أن :

h : عمق الشق ( ملم )

X : المسافة عن الشق ( ملم )

T1 : زمن مرور الموجه للمسافة (X) من كلا الجهتين (مايكرو ثانيه )

T2 : زمن مرور الموجه للمسافة (2X) من كلا الجهتين (مايكرو ثانيه ).



شكل رقم (6) الطريقة الثانية لقياس عمق الشق

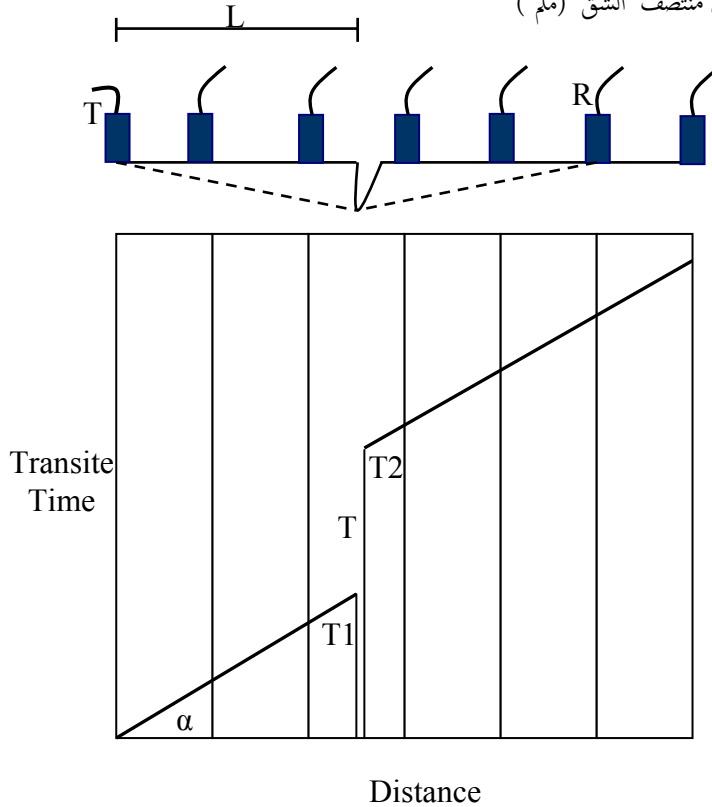
ج - الطريقة الثالثة: تعتمد الطريقة الثالثة لقياس عمق الشق في الخرسانة على رسم مخطط بياني لعدد من القراءات واحتساب العمق من خلال النتائج التي يظهرها الخط البياني . حيث تم الحصول على النتائج بتثبيت المرسل في نقطة ثابتة بجهة من الشق ثم يتم قياس الزمن المستغرق للذبذبة لمسافات ثابتة بحيث تجاوز الشق إلى الجهة الثانية وتم رسم الخط البياني بحيث تكون المسافة المقاسة على الاحداثي السيني والزمن المستغرق على الاحداثي الصادي وكما مبين في الشكل رقم (7) .

ويتم احتساب عمق الشق من المعادلة التالية:

$$h = \frac{T \cot \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2(\cot \alpha + 2L)} \dots\dots\dots(3)^{(3,12)}$$

حيث أن:  $T = T_2 - T_1$

$L =$  المسافة من موقع أول نقطة تقاس إلى منتصف الشق (ملم)



شكل رقم (7) المخطط البياني المستخدم في الطريقة الثالثة لقياس عمق الشق

#### د - الطريقة الرابعة

في هذه الطريقة تم استخدام نفس الاسلوب المذكور في الطريقة الثالثة إلا أن المعادلة ابسط وكما يلي :

$$h = \frac{L}{2} \left( \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right) \dots\dots\dots(4)^{(3,13)}$$

حيث أن:  $h =$  عمق الشق (ملم)

$L =$  المسافة من موقع أول نقطة تقاس إلى منتصف الشق (ملم)

$T_1, T_2 =$  زمن العبور (مايكروثانية).

#### 5- تحليل النتائج ومناقشتها

يتم التطرق في هذا الفقرة إلى النتائج المستحصلة من العمل المختبري من ناحية التحليل والمناقشة لتلك النتائج.

أولاً:الكشف عن الفجوات

الجداول رقم (4)و(5) تبين النتائج المستحصلة من العمل المختبري لهذا البحث.

جدول (4) نتائج الفحص بالموجات فوق الصوتية (الطريقة المباشرة) بعمر (28) يوم

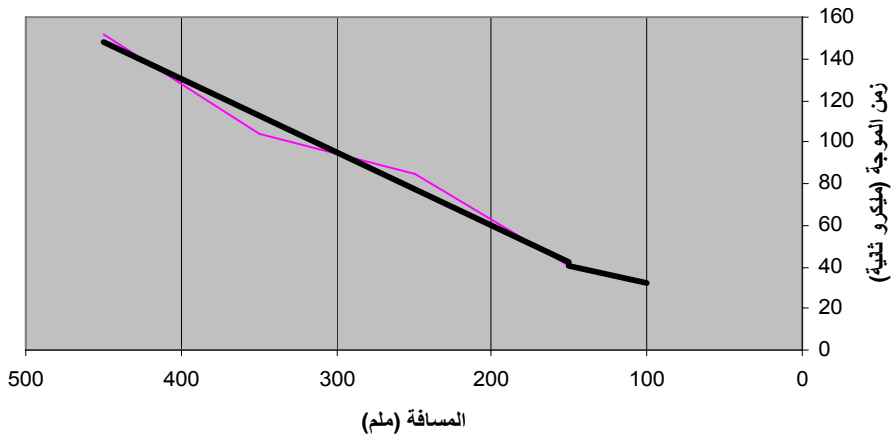
رقم النموذج	موقع القراءة		موقع الفجوة الفعلي	
	X ملم	Y ملم	x- ملم	y- ملم
1	150	120	150	120
	250	120		
	350	120		
2	150	100	250	100
	250	100		
	350	100		
3	150	80	350	80
	250	80		
	350	80		

جدول (6) نتائج الفحص بالموجات فوق الصوتية ( الطريقة غير المباشرة ) بعمر (28) يوم

نموذج رقم (3)		نموذج رقم (2)		نموذج رقم (1)	
المسافة (ملم)	زمن الموجة فوق السمعية (مايكرو ثانية)	المسافة (ملم)	زمن الموجة فوق السمعية (مايكرو ثانية)	المسافة (ملم)	زمن الموجة فوق السمعية (مايكرو ثانية)
150	62.5	100	31.3	100	37.6
250	73.5	150	35.2	150	40.5
350	104.7	250	44.6	250	84.5
400	123.8	350	72.6	350	103.5
450	154.5	450	91.5	450	161.7

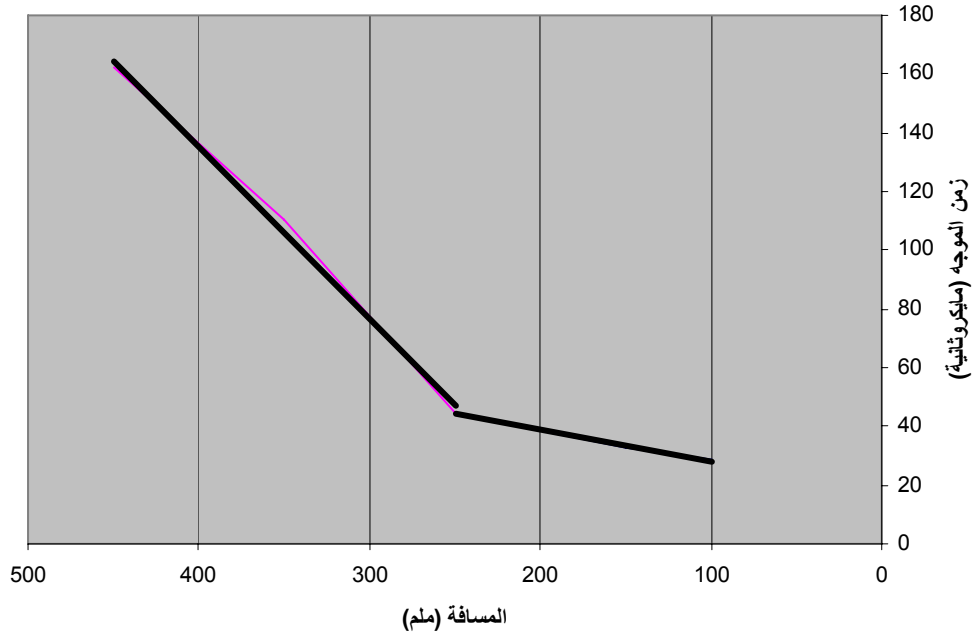
يتضح من خلال نتائج الفحص المبينة في الجدول (5) (الطريقة المباشرة) بان زمن عبور الموجة فوق السمعية (مايكرو ثانية) يزداد بشكل ملحوظ في المواقع الموجودة فيها الفجوة المعروف مكانها مسبقا وبالتالي فانه يمكن وباستخدام الطريقة المباشرة لفحص الموجات فوق الصوتية الكشف عن وجود الفجوات وبدقة عالية.

أما بخصوص الطريقة غير المباشرة فبين الأشكال (1-5) و(2-5) و(3-5) العلاقة بين مسافة الفحص (ملم) وزمن عبور الموجة (مايكرو ثانية) للنماذج الثلاث ومن خلال الأشكال يتضح بان ميل المنحنى تغير عند المواقع الموجودة فيها الفجوة المعروف مكانها مسبقا وبالتالي فانه يمكن اعتماد الطريقة غير المباشرة للكشف عن موقع الفجوات وان كانت الدقة اقل من الطريقة المباشرة.

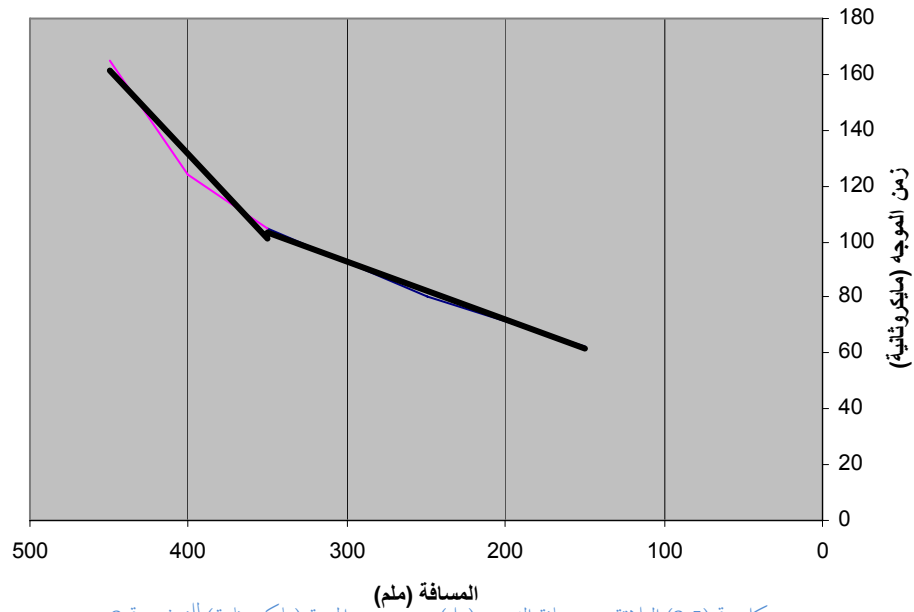


شكل رقم (1-5) العلاقة بين مسافة الفحص (ملم) وزمن عبور الموجة (مايكرو ثانية) للنموذج رقم 1





شكل رقم (2-5) العلاقة بين مسافة الفحص (مم) وزمن عبور الموجة (مايكرو ثانية) للنموذج رقم 2



شكل رقم (3-5) العلاقة بين مسافة الفحص (مم) وزمن عبور الموجة (مايكرو ثانية) للنموذج رقم 3

### ثانياً: إيجاد عمق الشق

كما تم ذكره سابقاً فقد تم عمل عينتين موشوريتين بأبعاد (50×20×20) سم بشق عمودي (5) سم للعينة الأولى و (10) سم للعينة الثانية وقد تم إجراء فحص الموجات فوق الصوتية على تلك العينتين لإيجاد عمق الشق شكل رقم (6) بالطرق التالية الذكر.



شكل رقم (6) فحص الموجات فوق الصوتية لإيجاد عمق الشق

## أ: الطريقة الأولى

بعد إجراء فحص الموجات فوق الصوتية تم الحصول على نتائج الفحص حيث تبين للنموذج الأول بان زمن عبور الموجة (Ts) (49 مايكرو ثانية) لمسافة (20) سم بدون شق وكان الزمن (Tc) (54.7 مايكرو ثانية) لمسافة 10 سم على كل جانب من الشق بعمق (5) سم وعليه وبتطبيق المعادلة رقم (1):

$$h = 100 \sqrt{\frac{(54.7)^2}{(49.0)^2} - 1} = 49.6 \text{ mm.}$$

يتضح بان عمق الشق المحسوب يساوي (49.6) ملم بينما كان العمق الفعلي (50) ملم أي بدقة (99.2%)

بينما للنموذج الثاني فقد كان زمن عبور الموجة (Ts) (162.2) مايكرو ثانية لمسافة (20) سم بدون شق و (Tc) (226) مايكرو ثانية لمسافة (10) سم على كل جانب من الشق وعليه وبتطبيق المعادلة رقم (1):

$$h = 100 \sqrt{\frac{226^2}{162.2^2} - 1} = 97.02 \text{ mm}$$

يتضح بان عمق الشق المحسوب يساوي (97.02) ملم بينما كان العمق الفعلي (100) ملم أي بدقة (97.02%).

## ب: الطريقة الثانية

بعد إجراء الفحص للنموذج الأول تم الحصول على النتائج حيث تبين بان زمن عبور الموجة (T1) هو (54.7) مايكرو ثانية لمسافة (20) سم أي (X) (10 سم من كل جانب من الشق) وكان الزمن (T2) (102) مايكرو ثانية لمسافة (40) سم أي (2x) (20 سم من كل جانب من الشق) وبتطبيق المعادلة رقم (2):

$$h = 100 \sqrt{\frac{4 \cdot 54.7^2 - 102^2}{362^2 - 226^2}} = 45.9 \text{ mm}$$

أي أن عمق الشق المحسوب يساوي (45.9) ملم فيما كان عمق الشق الفعلي (50) ملم أي أن دقة النتيجة هي (91.8%)

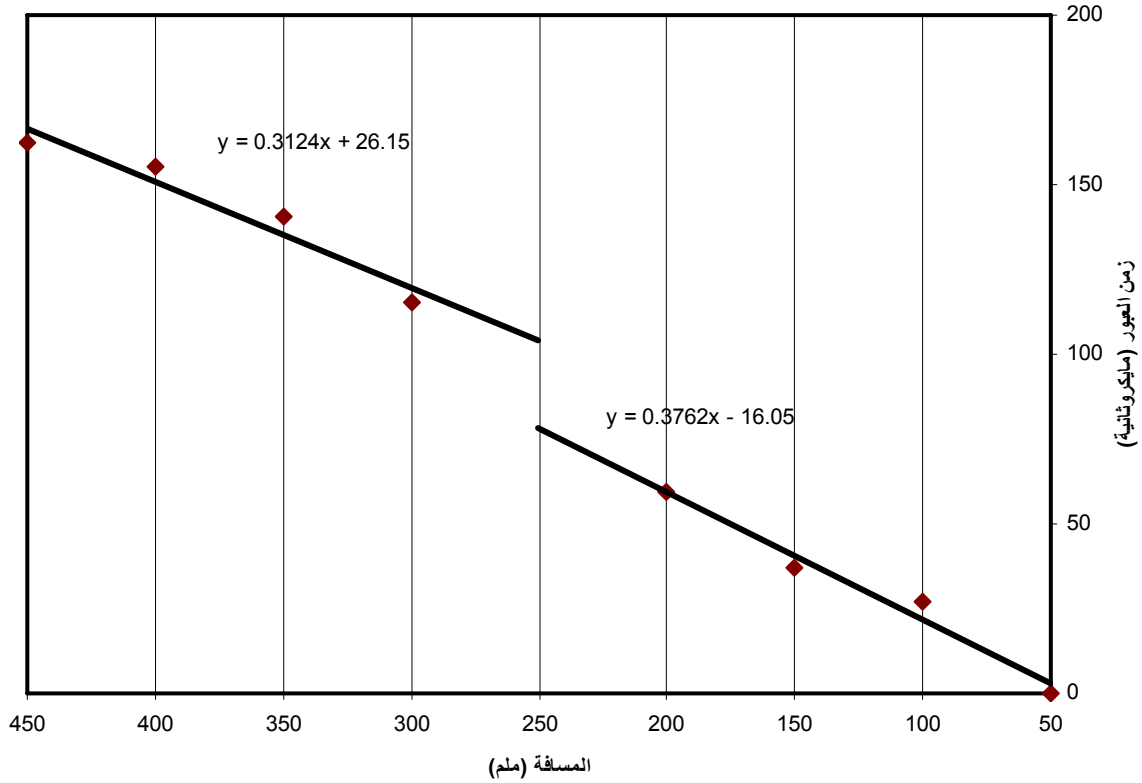
بينما للنموذج الثاني فقد كان زمن عبور الموجة (T1) (226) مايكرو ثانية لمسافة (20) سم أي (X) (10 سم من كل جانب من الشق) وكان الزمن (T2) (362) مايكرو ثانية لمسافة (40) سم أي (2x) (20 سم من كل جانب من الشق) وبتطبيق المعادلة رقم (2):

$$h = 100 \sqrt{\frac{4(226)^2 - 362^2}{362^2 - 226^2}} = 95.7 \text{ mm}$$

أي أن عمق الشق المحسوب هو (95.7) ملم فيما كان العمق الفعلي (100) ملم أي أن دقة القيمة هي (95.7%).

## ج: الطريقة الثالثة:

كما تم ذكره سابقاً فإن هذه الطريقة تعتمد على رسم مخطط بياني لعدد من القراءات واحتساب العمق من خلال النتائج التي يظهرها الشكل رقم (7) والذي يبين الخط البياني المتكون من النتائج المستحصلة من العمل المختبري للنموذج بعمق شق (5) سم.



شكل رقم (7) المخطط البياني لإيجاد عمق الشق للنموذج بشق (5) سم

من الشكل أعلاه يمكن إيجاد قيم ما يلي:

$$T_1 = 78 \mu s$$

$$T_2 = 104.25 \mu s$$

$$T = T_2 - T_1 = 26.25 \mu s$$

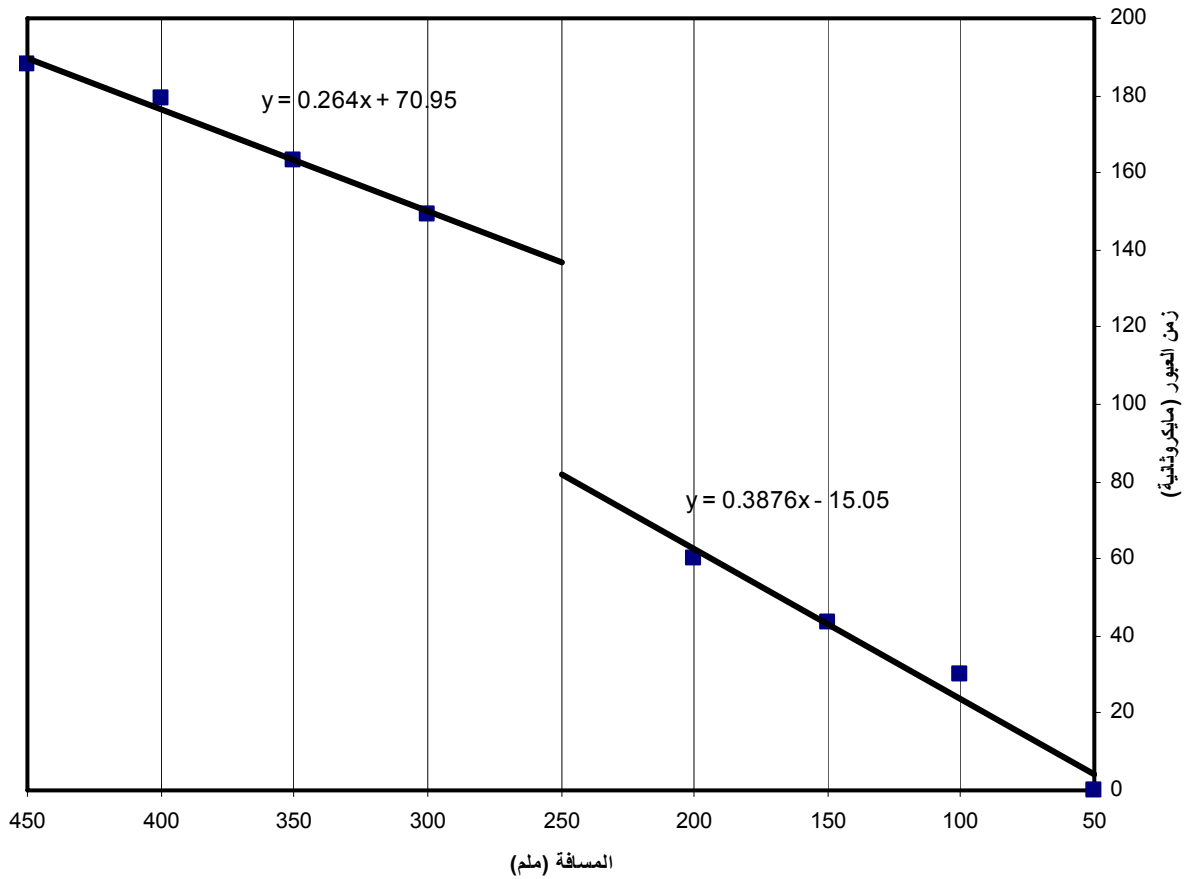
$$\alpha = \tan^{-1} (75.24/200) = 20.616^\circ$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

ومن المعادلة رقم (3):

$$h = 34.88 \text{ mm}$$

أما الشكل رقم (8) والذي يبين الخط البياني المتكون من النتائج المستحصلة من العمل المختبري للنموذج بعمق شق (10) سم.



شكل رقم (8) المخطط البياني لإيجاد عمق الشق للنموذج بشق (10) سم

من الشكل أعلاه يمكن إيجاد قيم ما يلي:

$$T_1 = 81.85 \mu s$$

$$T_2 = 136.95 \mu s$$

$$T = T_2 - T_1 = 55.1 \mu s$$

$$\alpha = \tan^{-1} (77.52/200) = 21.186^\circ$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

ومن المعادلة رقم (3):

$$h = 71.05 \text{ mm}$$

د: الطريقة الرابعة

في هذه الطريقة يتم استخدام نفس المخطط البياني المعتمد في الطريقة الثالثة الشكلين رقم (6) و(7) إلا أن المعادلة مبسطة وهي معادلة رقم (4):

$$h = \frac{L}{2} \left( \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right) \dots\dots\dots(4)$$

فالنسبة للنموذج بعمق شق (5) سم كانت (T1=78) مايكرو ثانية و (T2=104.25) مايكرو ثانية و (L=200) ملم وعليه فان عمق الشق المحسوب سيكون:

$$h = 58.83 \text{ mm}$$

أما بالنسبة للنموذج بعمق شق (10) سم فكانت (T1=81.85) مايكرو ثانية و (T2=136.95) (L=200) ملم فعليه:

$$h = 107.55 \text{ mm}$$

ويمكن إدراج نتائج الطرق الأربعة المستحصلة من العمل المختبري لكلا النموذجين في الجدول أدناه

جدول رقم (7) نتائج الطرق الأربعة لكلا النموذجين

عمق الشق (ملم)				النموذج
الطريقة الأولى	الطريقة الثانية	الطريقة الثالثة	الطريقة الرابعة	
49.6	45.9	34.88	58.83	عمق الشق الفعلي (50)ملم
97.02	93.7	71.05	107.55	عمق الشق الفعلي (100)ملم

من خلال ملاحظة الجدول أعلاه نلاحظ بان النتائج المستحصلة بالطريقة الثالثة كانت اقل من الفعلي بينما كانت نتائج الطريقة الرابعة أعلى من الفعلي وعليه فان اخذ معدل نتائج الطريقتين سيعطي نتيجة اقرب إلى الفعلي.

## 6- الإستنتاجات

- اعتماداً على العمل المختبري الذي شمل إنتاج الخلطة الخرسانية وإجراء فحص الموجات فوق الصوتية للكشف عن عيوب الخرسانة ومن خلال تحليل النتائج المستحصلة من هذا العمل يمكن استنتاج مايلي :
- 1- لنفس الخرسانة فإن سرعة الموجات تزداد مع زيادة كثافة الخرسانة.
  - 2- يمكن الكشف عن وجود الفجوات بدقة عالية باستخدام الطريقة المباشرة لفحص الموجات فوق الصوتية
  - 3- يمكن اعتماد الطريقة غير المباشرة للكشف عن الفجوات في حاله تعذر الفحص بالطريقة المباشرة.
  - 4- أظهرت النتائج بأن الطريقة الأولى لإيجاد عمق الشق أكثر دقة من غيرها حيث كانت دقة النتائج بحدود (97%) بينما كانت دقة النتائج للطريقة الثانية تقريباً (91%).
  - 5- الطريقة الثالثة أعطت قيم أقل من الواقع لكلا النموذجين بينما أعطت الطريقة الرابعة قيم أكبر من الفعلي.
  - 6- يمكن إيجاد عمق الشق العمودي في الخرسانة بدقة جيدة باعتماد معدل النتيجة المستحصلة من الطريقتين الثالثة والرابعة.

## 7- المصادر:

- 1: د. مؤيد نوري الخلف ود. هناء عبد يوسف "تكنولوجيا الخرسانة"، الجامعة التكنولوجية، مركز التعريب والنشر، بغداد، 1984م.
- 2: أم. نيفل "تكنولوجيا الخرسانة"، ترجمة د. شاكر أحمد صالح وآخرون، الكلية الهندسية العسكرية، الطبعة الأولى، 1992م.
- 3: د. مفيد عبدالوهاب السامرائي و د. زين العابدين روؤف محمد "الفحوص غير الاتلافية للخرسانة" مطبعة أكسبرس، الشارقة، 1999م.
- 4: RILEM, Committee "Nondestructive Testing of Concrete Materials and Structures" Vol.2. No.10, July, Aug. 1969.
- 5: ASTM-C33:2003 "Standard Specification for Concrete Aggregate" 2003.
- 6: ASTM-C192:2002 "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory" 2002.
- 7: N. Mohamed Sutan and M. Meganathan "A Comparison Between Direct and Indirect Method of Ultrasonic Pulse Velocity in Detecting Concrete Deffects", Faculty of Engineering, University of Malaysia, sarawak, Meg. 2003.
- 8: British Standards Institute, Bs 408 part 5, Bs 1881 Part 201, 1986.
- 9: Samarai, M.A. "Use of Ultrasonic Waves in Detecting Concrete Cracks", Seminar on the Use of Non-Destructive Testing for Concrete, Baghdad College, Baghdad University, Baghdad, Iraq, 8-11 Jan. 1983.
- 10: Morse, P. M. "Vibration and Sound" McGraw Hill, Books Inc, 1948.
- 11: Mindlin, R. D. "Influence of Rotary Inertia and Shear on Flexural Motions of Isotropic Elastic Plates" J. of Applied Mechanics, Vol. 73, PP (31-38), March 1951.
- 12: Young, D. : "Vibration of Rectangular Plates by the Ritz Method" J. of Applied Mechanics, Vol. 17, PP (418-454), 1951.
- 13: Raouf, Z. A. and matti, N. A. "Nondestructive Testing of ferrocement Plates by Vibrational methods", وقائع المؤتمر الهندسي العراقي، كانون الأول 1985 ص (125-121)