

## الفصل التاسع

### القياسات الصوتية Sonic Log

#### ٩ - الأسس الفيزيائية للطراق الموجية

إن الطرق الصوتية مبنية على دراسة الخواص المزنة للصخور وذلك بدراسة عملية التشوه المرن الناتج عن انتقال الموجات الصوتية المزنة في هذه الصخور أو الأوساط. وبالعلاقة مع شكل التشوه في الوسط ينبع أنواع مختلفة من الأمواج المزنة. أكثر هذه الأمواج احتواءً للمعلومات عند دراسة الخواص المزنة للصخور هي:

أ - الأمواج الطولية Compress Waves

ب - الأمواج العرضية Shear Waves

ج - الأمواج المائية Water Weves/ Fluid Waves

د - أمواج ستونلي Stonely Waves

حتى تكون الإشارة الصوتية قابلة لأن تسجل أو تسمع يجب أن يتحقق ثلاثة شروط معاً: أ - مصدر للصوت يحوي جسماً مهتزراً.

ب - وسط مادي ينقل الصوت.

ج - أداة لاستقبال الصوت.

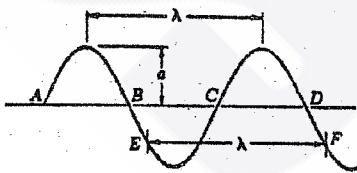
إن الأمواج المذكورة سابقاً لها صفات مشتركة هذه الصفات تسمى بعناصر الموجة وهي مبينة في الشكل (٩ - ١) وهي:

λ - طول الموجة Wave Length:

وهي المسافة بين أي جسيمين أو نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور.

شكل ٩ - ١ رسم توضيحي لعناصر الموجة

A - سعة الموجة Wave Amplitude هي الانزياح الأعظمي لأي جسيم عن موضعه الطبيعي وندعوه بسعة الاهتزاز أو مطال الموجة



٧ - سرعة انتشار الأمواج Velocity of Wave: ندعى المسافة التي تقطعها ذروة الموجة العليا أو السفلية خلال ثانية واحدة بسرعة الموجة وتقدر بـ م / ثا أو قدم / ثا.

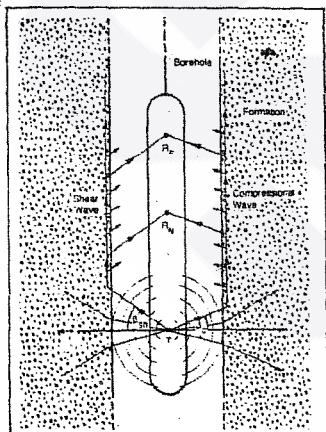
F - تردد الموجة Frequency of Wave: وهو عدد الذرى العلية أو السفلية التي تجتاز نقطة معينة في ثانية واحدة. وتردد الموجة يساوي عادة اهتزازات المنبع في الثانية.

وبذلك تكون المسافة الكلية التي تقدمها الموجة في ثانية واحدة (أي بسرعة الموجة) مخططاً وفق العلاقة

$$V = \lambda \cdot F \quad (1-9)$$

وهذه المعادلة هي العلاقة الأساسية للحركة الموجية وهي صحيحة من أجل أي نوع من الحركات الموجية صوتية كانت أو ضوئية أو حرارية أو راديوية أم مائية.

والشكل (9 - 2) يبين الطريق التي تقطعها الأمواج في البئر هي كالتالي من المنبع أو المصدر T (Transmitter) عبر الطفلة إلى الطبقة أو المنطقة القريبة من جدار البئر ومن ثم عبر سائل الحفر مجدداً وإلى المستقبل R (Receiver) إن الأمواج الانضغاطية أو الطولية تنتقل فيها الطاقة عن طريق انتقال جسيمات الوسط في نفس اتجاه انتشار الموجة. وهي ذات سرعة أكبر

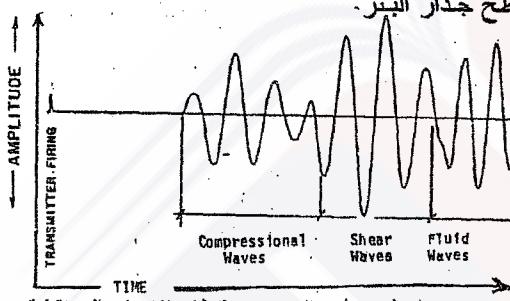


شكل (9 - 2) الطريق الذي تقطعها الموجة.

من سرعة الأمواج القصبية أو العرضية التي يكون اتجاه حركة الجسيمات الناتجة عن انتقال الطاقة متبعاً مع اتجاه انتشار الموجة. وقد أثبتت التجارب العملية بأن الأمواج العرضية لا تنتشر في الأوساط السائلة، وتنتقل طاقة هذه الأمواج العرضية على شكل أمواج طولية ثانوية.

وهذا يعني أن الأمواج الطولية هي الأمواج الوحيدة التي تنتشر في الأوساط السائلة وتكون لها سرعة انتشار كبيرة.

إن كمية الطاقة المنتقلة على شكل أمواج عرضية في الأوساط الصلبة (الصخور) هي بشكل عام أكبر بـ (٥) إلى (١٠) مرات من كمية الطاقة المنتقلة في الوسط نفسه على شكل أمواج طولية، والشكل (٩ - ٣) يمثل تخطيطاً لصورة الأمواج المستقبلة. وبشكل عام فإن الوصول الأول للقدرة يكون من الأمواج الطولية أو الانضغاطية وليها وصول الأمواج القصبة أو العرضية ومن ثم وصول الأمواج العائمة. بالإضافة إلى ذلك تسجل الضوضاء والضجيج التي تنتج عن حدود الطبقات وعدم نظامية سطح جدار البئر.



وفيقياسات الصوتية العادية لا يقاس إلا زمن عبور الموجة الطولية من المصدر إلى المستقبل أو يوخذ الفرق بين زمني الوصول الأول للأمواج

شكل (٩ - ٣) يمثل صورة لقطار الأمواج المستقبلية.

الطولية بين المستقبلين، ويتم إيجاد قيمة زمن العبور هذا بـ واسطة كشف العتبة. وهذه القيمة دقيقة بشكل معقول لأن وصول الأمواج الطولية سهل الكشف لأنه يصل أولاً ولأن سعته أكبر من سعة الضجيج الذي يسببه.

#### ٩ - ١ - ١ - طبيعة الإشارة الصوتية المستخدمة

إن الإشارة الصوتية المستخدمة لها صفات رئيسية وهي:

أ - تردد الإشارة الصوتية  $F = 20 - 30 \text{ KH}$  ويؤدي استخدام ترددات أكبر إلى زيادة وجود الدورات غير المسجلة.

ب - مدة إرسال الإشارة: إن المدة الزمنية لإرسال الإشارة الصوتية من  $2 \mu\text{sec}$  إلى  $5 \mu\text{sec}$ .

ج - تردد إرسال الإشارة الصوتية: يعاد توليد الإشارة الصوتية في المرسلات من 20 إلى 30 مدة تبعاً لنوع المرسل المستخدم.

د - جهد تيار العمل: إن جهد التيار المستخدم في مرسلات الإشارة الصوتية  $V = 100 \pm 5 \text{ Vdc}$

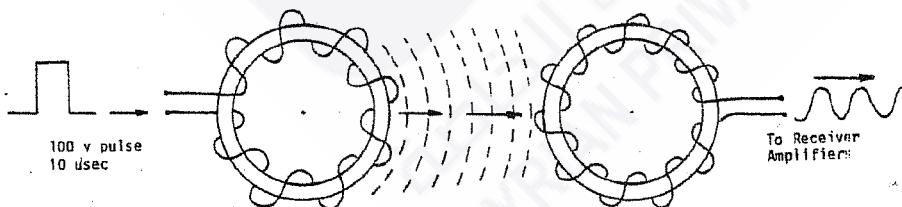
## ٩ - ١ - ٢ - المبدأ الفيزيائي للمرسلات والمستقبلات.

هناك مبدأان تعمل عليهما المرسلات والمستقبلات. المبدأ الأول هو مبدأ التأثير الفعلي للحقل المغناطيسي على الأجسام الحديدية القابلة للمagnetization، حيث تغير مقاييس هذه الأجسام عند التعرض إلى الحقول المغناطيسية (Magnetostriiction) الخصر المغناطيسيي (المبدأ الثاني Piezoelectric الكهرباغطية) ويعتمد على خواص بعض الأجسام الكريستالية التي تنتج حقولاً كهربائياً عندما تتعرض لقوى الضغط. أو العكس تظهر تشوهاً ميكانيكياً عندما تخضع لحقل كهربائي.

## ٩ - ١ - ٣ - ١ - مرسلات ومستقبلات التخصر المغناطيسي

كما هو مبين في الشكل (٩ - ٤) تتألف هذه المرسلات والمستقبلات من قطعتين من الحديد - كوبالت التي يلف حولها سلك كهربائي معزول تسمى ملف المرسل أو المستقبل. فإذا مررنا في الملف تياراً جهده ( $V = 100 \mu\text{sec}$ ) ذات نبضة سعتها ( $10 \mu\text{sec}$ ) فإن القلب المعدني سوف يتعدد ويقلص تحت تأثير الحقل المغناطيسي المتولد (مثل شوكة رنانة) بمعدل  $20 \text{ KHz}$  ثم يهدأ حتى يبدأ تأثير نبضة التيار التالية على القلب المعدني. هذه التغيرات في القلب المعدني تثير موجة ضغطية بتردد  $20 \text{ KHz}$  تنتشر في كل الاتجاهات.

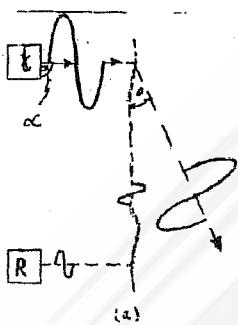
أما مستقبلات التخصر المغناطيسي التي لها تركيب المرسلات نفسها والاختلاف الوحيد بينهما هو أن عدد لفات المستقبل أكبر بكثير من المرسل. مستقبلات التخصر المغناطيسية تعمل بأسلوب المرسلات نفسها ولكن بطريقة معاكسة تماماً. إن تقلصات القلب المعدني الناتجة عن وصول الموجات الضغطية تنتج حقولاً مغناطيسياً في القلب المعدني، الذي بدوره يولد في ملف المستقبل تياراً مختلف الشدة حسب تغير طاقة الموجات الواردة.



شكل ٩ - ٤ مبدأ المرسلات والمستقبلات التخصرية المغناطيسية.

## ١ - ٢ - ٢ - المرسلات الصوتية الطويلة المدى.

إن المرسلات السابقة لها عدة سلبيات أهمها إن الإشارة الصوتية التي تصل إلى المستقبلات ذات سعة صغيرة وخصوصاً في الطبقات غير المترابطة، وتصغر هذه السعة مع ازدياد بعد المرسل عن المستقبل وكذلك كون الإشارة المولدة عمودية على محور الجهاز.



كما في الشكل (٩ - ٥) (a)  
هذا المرسل طور لاستخدامه  
في أجهزة القياس الصوتية  
الطويلة المدى LSST  
Long Space Sonic Tool  
لتسوية هذه المشكلة.

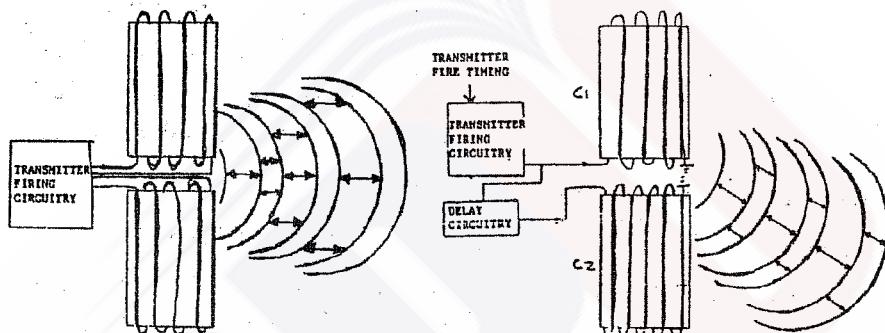
شكل (٩ - ٥) طريق الموجة المرسلة بشكل عمودي وبشكل مائل.

بالاعتماد على التجارب وكما هو مبين في الشكل (٩ - ٥) بأن الإشارة ذات السعة العظمى الخارجة من المرسل والعمودية على محور الجهاز سوف تتكسر بزاوية قدرها  $\theta$  عندما تلقي الطبقة، وقسم من هذه الإشارة يسير قريباً من جدار البئر ضمن الطبقة ولكن سعتها أصغر. هذه الإشارة تكون كافية في الطبقات ذات السرع العالية لتصل إلى المستقبل ولكنها تسبب مشكلات في الطبقات ذات السرع المنخفضة. والشكل (٩ - ٥) يوضح المبدأ الذي يجعل الموجات تسقط على الطبقة بزاوية أصغر من  $90^\circ$  وبالتالي تكون الزاوية  $\theta$  أصغر وأقرب إلى الزاوية الحدية.

ويوجد في هذا النظام دائرة كهربائية واحدة لإصدار الإشارة الصوتية، وترافق هذه الدارة من قبل دائرة مؤقتة الإصدار. تغذي دائرة الإصدار الملف  $C_1$  بالتيار الكهربائي، وكذلك تغذي الملف  $C_2$  بالتيار الكهربائي الذي يصل متاخراً بزمن محدد مسبقاً بسبب وجود دائرة تأخير. وهذا يعني إن الملف  $C_1$  يصدر الموجات الصوتية قبل  $C_2$  بزمن محدد والنتيجة النهائية لهذه العملية إنتاج موجة ضغطية

مركبة ذات زاوية إصدار أقل من  $90^\circ$  والتي ستدخل الطبقة بزاوية  $\theta$  صغيرة جداً، وهنا أيضاً ستظهر الموجة الثانوية ولكن سعتها ستكون صغيرة.

ويسمى هذا النوع بمرسلات الموجات الصوتية الموجهة **Steering beam Transmitter**. ويبين الشكل (9 - 6) بأن هذه الأنواع تحتوي على عنصرين أسطوانيين من الأنابيب والتي تبعد عن بعضها وبعضاً بمقدار  $1/2\lambda$  وإصدار أحد العناصر يتأخر عن العنصر الثاني بمقدار  $20 \mu\text{sec}$ . والمسافة الأعظمية للإشارة المنكسرة تحدث تقريباً عند زاوية توجيه مقدارها  $30^\circ$  عن الأفق. وهذه الزاوية كافية لسماع بالقياسات الصوتية الفعالة على كامل مجال سرع الطبقات.



شكل (9 - 6) مبدأ مرسلات الموجة الصوتية الموجهة

#### 9 - 1 - 2 - 3 - المستقبلات الصوتية الطويلة المدى "Piezo electric"

لقد كان السعي لتقوية وتوجيه الإشارة المرسلة خطوة أولى والخطوة المنطقية الثانية هي الحصول على مستقبلات أكثر حساسية. والمستقبل المستخدم يعتمد

على عملية الكهرباضططية **Piezoelectric** والمعرفة باسم المستقبلات الكريستالية أو المستقبلات السيراميكية. والشكل (9 - 7) يبيّن المستقبلات الكهرباضططية.

شكل (9 - 7) مبدأ مستقبلات الكهرباضططية

هذا الارتباط العكسي بين الطاقة الكهربائية والميكانيكية والذي يعتمد على خواص المواد الكهرباضططية الفعالة يستخدم في التحكم الترددية والمستقبلات الصوتية - الكهربائية.

توجد خاصية الكهرباغطية فقط في الكريستالات التي لا تملك مركز تناظر. (مثل الكوارتز، السيراميكات الضعيفة التبلور وملح روشنيل...).

## ٩ - ٢ - أنواع أنظمة القياس الصوتية.

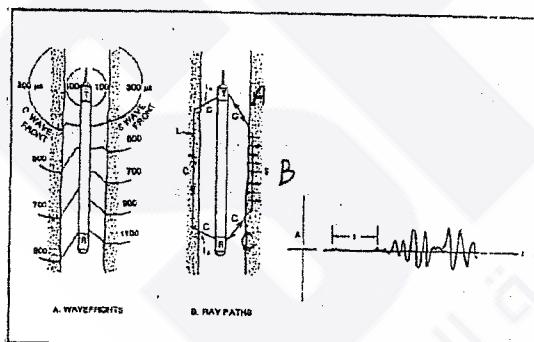
إن استخدام المرسلات العريضة العصبة والتبعاد الكبير بين المرسل والمستقبل يؤدي بدوره إلى تسهيل القياسات وتفسيرها.

### ٩ - ٢ - ١ - أجهزة القياسات الصوتية العادية

كان المفهوم الأول للأجهزة الصوتية عبارة عن مرسل واحد ومستقبل واحد ويقيس هذا الجهاز الزمن اللازم للانتشار من المرسل T إلى المستقبل R انظر الشكل (٩ - ٨). والزمن المقاس هو مجموع الأزمنة اللازمة لقطع المسافات A, B, C. أما الزمن اللازم المستخدم في عملية التفسير فهو زمن الانتشار في الطبقة B أي أن المقاس فيه خطأ بمقدار زمن انتقال C + A. ونحسب زمن العبور في التشكيل الظبي ووفق المعادلة

$$\Delta T = \frac{(A + B + C) - (A + C)}{L} \quad (2-9)$$

ويسمى البعد بين المرسل والمستقبل بتباعد السايرة (SPACING) ويرمز له عادة بـ L. مع افتراض أن الجهاز متمحور مع البئر يمكن أن نتيقن سنتين مميزتين في هذا النوع من الأجهزة:



شكل ٩ - ٨ تمثيل لأجهزة القياسات الصوتية العادية.

- أ - إن المسافتين A و C لا يقابلان عادة ثابتتين بسبب عدم نظامية جدار البئر.
- ب - إن الطول الفيزيائي لـ B لا يمكن أن يبقى ثابتاً نظراً لوجود تغيرات في سرعة انتشار الموجة المرنة في الطبقات وبهذا سوف تتغير الزوايا الحدية للانكسار AB و CB.

## ٩ - ٢ - ٢ - النوع الثاني من أجهزة القياس الصوتية

في محاولة لتصميم أجهزة قياس صوتية تتلاقي المشكلات السابقة أو جد جهاز

لـ مرسل واحد

ومستقبلات. انظر الشكل

(٩ - ٩). ألغى استخدام النوع

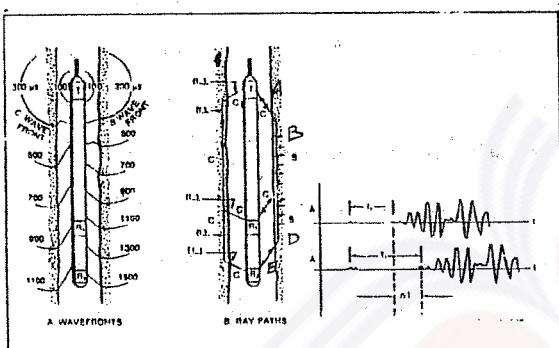
الثاني من الأجهزة مشكلة

زاوية الانكسار وذلك

معاملة زمن وصول الموجة

إلى المستقبل الأول =  $TR_1$

و زمن وصول A + B+C



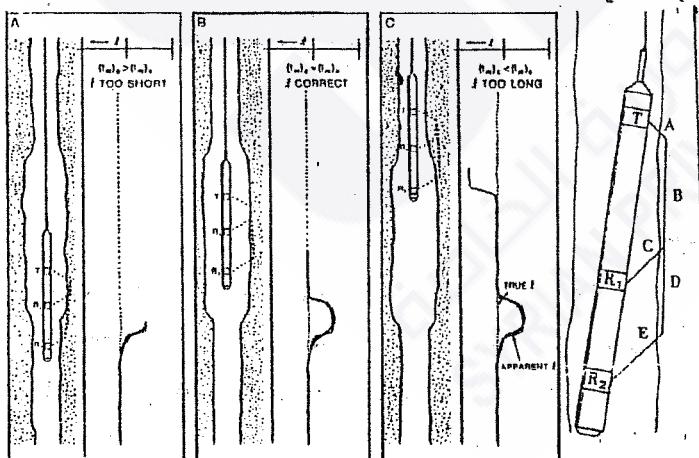
شكل (٩ - ٩) تمثل النوع الثاني من الأجهزة الصوتية

الموجة إلى المستقبل الثاني  $E = A + B + D + E$  كإشارتين منفصلتين ولحساب  
فرق زمن الوصول بين الإشارتين .

$$\Delta T = \frac{TR_2 - TR_1}{D} = \frac{(A + B + D + E) - (A + B + C)}{\text{المسافة بين المستقبلين}} \quad (3 - 9)$$

في الواقع إن زمن انتقال الإشارة عبر D المسافة بين المستقبلين هو المقاس  
هذه الأجهزة. والمعادلة (٩ - ٣) تبقى صحيحة طالما  $C = E = A$  وبما أن هذا  
لابتحقق دائماً فإن الإخطاء تحدث في حالة التكهف وعدم تمحور الجهاز مع البئر

كما في الشكل (٩ - ١٠). وفي كلا الحالتين فإن C ≠ A ≠ E



شكل ٩ - ١٠ تمثل  
حالات حدوث الخطأ في  
النوع الثاني من الأجهزة

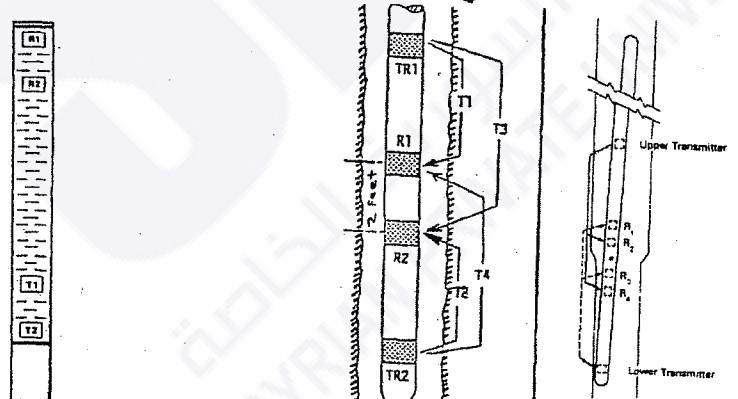
### 3 - النوع الثالث من الأجهزة الصوتية

والأجهزة المستخدمة في الوقت الحاضر تلغى تأثيرات تغير أقطار البئر وتأثير ميلان الجهاز (عدم المركزية) وذلك باستخدام نظام له مرسلان ومستقبلان كما في الشكل (9 - 11). نسمى المسافة ما بين المستقبلين  $R_2$  ،  $R_1$  بالامتداد (SPAN) وتكون عادة مساوية إلى 2 ft. أما تباعد السايره L فهو المسافة بين المرسل العلوي  $R_1$  أو المرسل السفلي  $R_1$  واقرب مستقبل له وتباعد السايرة يكون عادة 3ft. ويتم حساب الزمن المقاس بين المستقبلين باستخدام قياس أربعة أزمنة عبور هي  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  ومنها يستخرج زمن عبور متوسط  $\Delta T$  والذي يمثل الزمن اللازم لعبور الموجة لطبقة سماكتها قدم واحد. وفق العلاقة التالية:

$$\Delta T = \frac{(T_3 + T_4) - (T_1 + T_2)}{2 \times 2 \text{ ft}} \quad (4 - 9)$$

### 4 - النوع الرابع من الأجهزة الصوتية

الشكل (9 - 12) يبين رسم تخطيطي لهذه الأجهزة الصوتية الطويلة التباعد ويرمز لها (LONG SPACED SONIC TOOL) LSST الأجهزة الصوتية الجديدة. هذا الجهاز صمم لاختراق أعمق في الطبقات عندما يكون هناك مناطق متعددة متعاقبة تتقل عبرها الأمواج الصوتية قرب جدار البئر بسرعة قليلة والتبعاد الكبير L لهذه الأجهزة يسمح بإجراء قياسات ضمن المنطقة غير المتأثرة بالغزو.



شكل 9 - 12 مخطط توضيحي للنوع الرابع من الأجهزة الصوتية LSST

شكل 9 - 11 مخطط توضيحي للنوع الثالث من الأجهزة الصوتية

إن تناوب المناطق قرب جدار البئر ناتج عن عمليات الحفر وعن الغزو المتتابع لفائد الرشح. وغالباً ما تكون القراءات الصوتية الآتية من الطبقات غير المتأثرة متوافقة أكثر من نتائج التفسير الأولية Check Shots، إن قراءة القدمين  $f_1$  و  $f_2$  ستعطي دقة قياس عمودية كالتى تعطى الأجهزة العادية.

والأجهزة ذات التباعد من 8 إلى 10 قدم تتغلب عادة على مسألة شكل المناطق المتعاقبة قرب جدار البئر. ولكن في الحالات البالغة الأهمية ينتج جهاز القياس ذو التباعد من 10 إلى 12 قدم قراءات أكثر عمقاً.

#### ٤ - ٢ - ٥ - قطر عمق اختراق أجهزة القياسات الصوتية

إن قطر عمق اختراق الموجة المرنة المنطلقة من المرسل TR ضمن الطبقة المقاسة تتعلق بعده عوامل أهمها:

- أ - طول الموجة  $\lambda$ : والتي تعطى بالعلاقة

$$\lambda = \frac{\text{سرعة انتشار الموجة الصخر}}{\text{تردد الموجة}} = \frac{V_{\text{form}}}{F} \quad (5-9)$$

وبما أن تردد الإشارة الصوتية الصادرة من المرسل TR ثابتة عادة وتتساوى 20. وسرعة انتشار الموجة المرنة في الصخور الرسوبيبة بين  $-VP = 5000 \text{ ft/sec}$  و  $27000 \text{ ft/sec}$  وذلك تبعاً لطبيعة الصخور ومحنتها هذه الصخور.

فإن طول الموجة المرنة سيتراوح بين  $Cm = 41 - 6.7$ . وقد بينت التجارب المخبرية أن عمق الاختراق داخل الطبقات المقاسة يعادل تقريباً ثلاثة أضعاف طول الموجة  $\lambda$ . وهكذا فإن قطر عمق الاختراق في حالة انتشار الموجة المرنة يتراوح بين تقريباً  $120 - 20$  سم.

ب - تباعد السابر الصوتية  $L$  وعلى بعد بين المستقبلين: إن عمق اختراق الأجهزة الصوتية لا يعتمد فقط على طول الموجة  $\lambda$  وإنما على تباعد السابر  $L$  وعلى بعد بين المستقبلين. (راجع كتاب الجيوفизياء العامة وكيفية قياس الموجة المنكسرة والمنعكسة).

### ٩ - ٣ - العوامل المؤثرة في المخططات الصوتية

#### ٩ - ٣ - ١ - تأثير العوامل الهندسية للجهاز

لقد ذكرنا في الفقرة السابقة أن تباعد السايرة الصوتية والبعد بين المستقبلات يؤثر في عمق اختراق هذه الأجهزة. ويجب أن نعرف كيف تختار هذه الأبعاد.

##### ١ - أن تباعد السايرة :

يجب أن يكون كبيراً كفاية، حتى تسمح للموجة الصادرة من المرسل أن تنتشر عبر الطبقة وتنصل إلى المستقبل  $R_1$  قبل أن تصلك إليه الموجة المنشرة عبر عمود سائل الحفر، والطول المثالي لتباعد السايرة  $L$  في الأجهزة الصوتية يجب أن لا يقل عن ثلاثة أقدام.

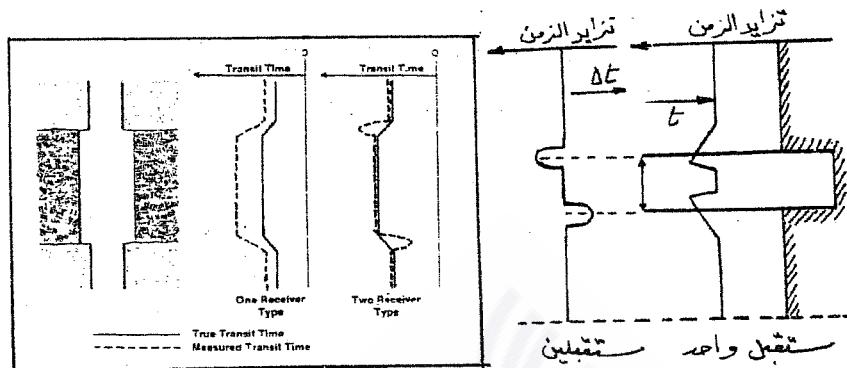
##### ٢ - البعد بين المستقبلات :

بيّنت التجارب أن المسافة بين  $R_1$  و  $R_2$  يجب أن تكون قدماً واحداً على الأقل، لأنّه في حال استعمال مسافة أقل من ذلك فإن المخططات المسجلة ستتأثر كثيراً بوجود التكعفات وتغيرات قطر البئر، ولا يقل هذا التأثير مع ازدياد المسافة بين المستقبلين. ولما يمكن زيادة هذه المسافة بشكل كبير، لأن الموجة المرنة سوف تفقد قسماً كبيراً من طاقتها ويصبح من الصعب تمييزها عن الضجيج بواسطة كشف العتبة.

#### ٩ - ٣ - ٢ - تأثير العوامل الهندسية للبئر

يعنى بالعوامل الهندسية للبئر نظامية جدار البئر وتغيير قطر البئر ووجود التكعفات. إن عدم نظامية جدار البئر يؤدي إلى ازدياد إشارات الضجيج الناتجة عن انعكاس وانكسار الأمواج على جدران البئر.

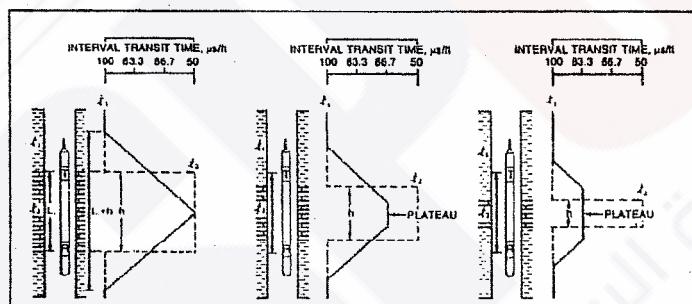
أما ازدياد قطر البئر وجود التكعفات تؤدي إلى زيادة الزمن اللازم للإشارة إلى المستقبل نتيجة لأن مسار الموجة سيكون أطول والأشكال (٩ - ١٣) (٩ - ١٤) توضح تأثير التكعفات على الأجهزة العادية التي تقيس زمن العبور لكلي والأجهزة التي تقيس فرق الزمن  $T \Delta$  بين المستقبلين.



شكل (9 - 13) يوضح تأثير الكهفات الاصغرى  
على المخططات الصوتية من  $L$  على المخططات الصوتية

### ٣ - ٣ - ٣ - تأثير سماكة الطبقات على المخططات الصوتية

إذا كانت الطبقات سميكة فإن المنحنيات الصوتية لا تتأثر ولكن سماكة الطبقات الظاهرة ستكون أكبر من السماكة الحقيقة بمقدار  $L/2$  من الأعلى ومن الأسفل كما هو مبين في الشكل (9 - 13). ويكون منحنيا  $\Delta T$ ,  $T$ , متافقين.



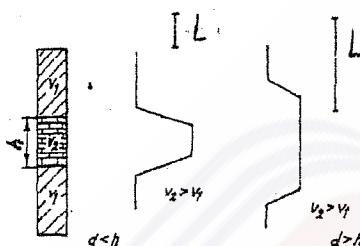
شكل (9 - 15) يوضح تأثير سماكة الطبقات على المخططات الصوتية عند استخدام الأجهزة العادية.  
لاحظ على الشكل (9 - 15) ازدياد سطح القمة وتناقص الزمن المسجل مع نقصان السماكة في الأجهزة العادية.

أما عند استخدام الأجهزة ذات المرسلين أو أكثر نجد أن الطبقات الرقيقة تظهر بشكل متاخر على منحنى  $\Delta T$  وبعد الهندسي الأكبر تأثيرا هنا هو المسافة بين المستقبلين  $S$  وليس تباعد السايرة  $L$ . وكما يظهر في الشكل (9 - 16) أن قمة

الشواذ تكون مماثلة بمستقيم وليس بنقطة عندما تكون  $h = L$  ويزداد سطح القمة ويتناقص فرق الزمن المسجل مع نقصان سمك الطبقة بالنسبة لـ  $S$ .

### ٩ - ٣ - ٤ - تأثير العوامل الجيولوجية في المخططات الصوتية

لقد درسنا في الفصل الأول تأثير العوامل الجيولوجية المختلفة من ضغط



ودرجة حرارة ودرجة تماسك الطبقات على سرعة انتشار الأمواج المرنة، وهذا التأثير ينعكس أو ينسحب على المخططات الصوتية بالأسلوب نفسه زيادة أو نقصاناً.

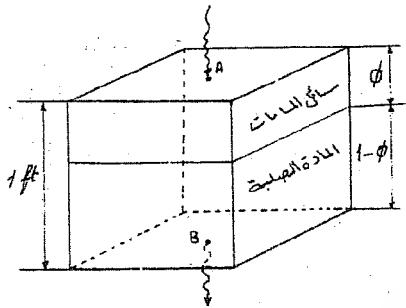
شكل (٩ - ١٦) تأثير سمك الطبقات وباعد السايرة في قياسات  $\Delta T$ .

### ٩ - ٤ - التفسير الكمي للمخططات الصوتية (تحديد المسامية)

لقد أوجد Berry, Hicks أن هناك علاقة مباشرة بين سرعة انتشار الأمواج المرنة في الصخور ومسامية هذه الصخور. واقتصر الباحث وايلي وأخرون (Willey) عام ١٩٥٦ النموذج الجيوفيزيائي الصفائحى المبين في الشكل (٩ - ١٧) كما أوجد العلاقة التي تربط المسامية  $\phi$  وسرعة انتقال الموجات الصوتية في الصخر ككل  $V_R$  وسرعة انتشار الموجة في المادة الصخرية المولفة للصخر  $V_{ma}$  وسرعة انتشار الموجة في السائل الموجود ضمن المسامات  $V_f$ . هذه العلاقة التي تربط المسامية وسرع الانتشار هي علاقة تجريبية ثبتت التجارب العملية صلاحيتها في شروط مختلفة للأبار المفتوحة. تسمى هذه العلاقة بعلاقة وايلي أو (Time average Relation) معادلة متوسط الزمن ويمكن الحصول عليها انطلاقاً من النموذج الصفائحى.

### ٩ - ٤ - ١ - اشتقاء علاقة وايلي

لو قررنا بأنه لدينا مكعب من الصخر حجمه قدم مكعب فإنه يمكن تحديده وتقسيمه حسب الشكل (٩ - ١٧) إلى قسمين أو طابقين أساسين القسم الأول هو المسامية  $\phi$  والقسم الثاني هو المادة الصلبة المولفة للصخر (Rock Matrix).



شكل (9 - 17) يوضح النموذج الصفائي

والزمن الكلي اللازم لانتقال الموجة الصوتية من النقطة A إلى B هو عبارة عن مجموع أزمنة الانتقال  $T_f$  في المسامات و  $T_{ma}$  في المادة الصلبة.

$$T = T_f + T_{ma} \quad (6 - 9)$$

وبما أن الزمن هو المسافة مقسوما على السرعة نجد

$$\frac{1}{V_R} = \frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_{ma}} \quad (7 - 9)$$

وبما أن الزمن المقاس في الأجهزة الصوتية يناسب إلى قدم واحد أو متر واحد فإننا نقول بأن زمن انتقال الموجة مسافة قدم واحد هي  $\Delta T$ .

$$\Delta T = \frac{1 \text{ ft}}{V} \mu \text{ sec / ft} \quad (8 - 9)$$

بالتعويض في المعادلة (6 - 4) ينتج

$$\Delta T_R = \phi \cdot \Delta T_f + (1-\phi) \cdot \Delta T_{ma} \quad (9 - 9)$$

وهي علاقة وابلي أو معادلة متوسط الزمن ويمكن وبترتيب العلاقة نحوه ينتج

$$\phi = \frac{\Delta t_f - \Delta T_{ma}}{\Delta T_f - \Delta T_{ma}} \quad (10 - 9)$$

حيث  $\Delta T_R$  أو  $\Delta T \log \Delta T$  كما سنرمز لها لاحقاً  $\Delta T$  هو الزمن المقاس في الأجهزة الصوتية

9 - 4 - 2 - قصور علاقة وابلي والتصحيحات اللازمة للقياسات الصوتية

#### Secondary Porosity

هي المسامية التي تحدث في الصخر بعد عملية الترسيب الأولية بمعنى آخر

هي كل مسامية خلا المسامية الأولية أو الحبيبية ويمكن أن تحدث هذه المسامية مثلا نتيجة لعملية الانحلال أو تشوهات الأجهاد.

إن التجارب المخبرية التي أجرتها وايلي على عينات من الصخور الدولوميتية (التي تحوي بعضها على مسامية أولية فقط وبعضها يحوي مسامية ثانوية إضافة إلى المسامية الأولية) لتحديد زمن انتقال الموجة الصوتية  $\Delta T$  من أجل إثبات صلاحية علاقة متوسط الزمن على الصخور الدولوميتية. قد أظهرت هذه التجارب بأن العينات التي تحوي فقط على مسامية أولية قد اعطت النتائج المتوقعة حسب هلاقة متوسط الزمن. أما العينات التي تحوي على مسامية ثانوية فإن زمن الانتشار المقاس كان أقل من المتوقع. والسبب يعود إلى أن الموجات الصوتية تنتقل بسهولة وسرعة أكبر خلال المادة الصلبة بالمقارنة مع مرورها عبر المسامات أو التشققات الكبيرة نسبيا (مقارنة مع احجام الفراغات في المسامات الأولية) والعائدة إلى المسامية الثانوية.

وهكذا ففي الطبقات التي تحوي على مسامية ثانوية فإن المسامية المحسوبة من القياسات الصوتية ستكون أقل.

#### 2 - 4 - 2 - تأثير عدم ترابط الطبقات

إن الطبقات ذات المسامية حتى 25% أو الطبقات التي لها زمن انتشار  $\Delta T < 100 \mu\text{sec}/\text{ft}$  تعد صخورا أو طبقات متمسكة ومتربطة. وتمثل الطبقات الحديثة التشكل إحدى الأوساط ذات المانعنة الكبيرة لمرور الموجة الصوتية عبرها، لأن العناصر الصلبة المؤلفة للصخر لم تتماسك مع بعضها جيدا بواسطه المواد المسمننة ولأنها لم تتعرض كثيرا إلى الضغط الناتج عن الطبقات المغطية. وهكذا تتشكل نزعة أو ميل طبيعي لحدوث مسالك دائريه. وبالتالي فإن معظم الموجات الصوتية ستنتقل عبر السوائل الموجودة في الفراغات والباقي عبر الطبقات أو المواد الصلبة (الطريق الأطول).