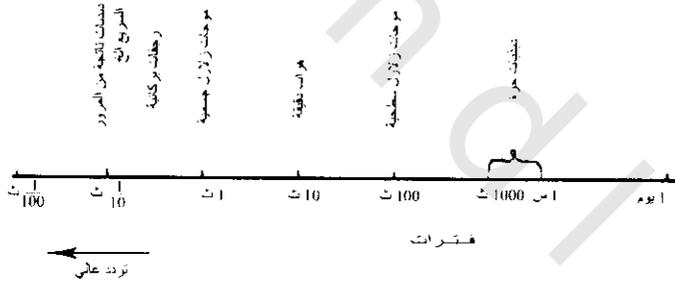


## الفصل الثاني

### الطرق الإهتزازية Seismic Methods

#### 1.2 مقدمة Introduction:

هذه الطرق من أهم الطرق المتقدمة من فروع الجيوفيزياء، وفي الحقيقة بدأ علم السيزمولوجي كعلم للهزات الأرضية (الزلازل) وتعنى كلمة seismos باليونانية بالهزه، وذلك لدراسة وتأثير أغلب الظواهر الطبيعية للكوارث الأرضية. وحاليا ربما يغطي دراسة هذا المجال الأنواع المختلفة للحركات الأرضية من أكبر موجات هزه أرضية إلى أقل نبضات هزيه موجودة فى كل زمان، ويحاط مدى التردد كإتساع طيفى يغطى أعلى ترددذبذبى أكبر من 100 سم/ث إلى أقل حركة بطيئة لفترة ساعة أو أكثر. ولهذا فإن الإتساع الطيفى للحركات الزلزالية تمثل المدى الزلزالى ويدل على أنواع مختلفة من الحركات الأرضية كما فى شكل (1-2).



شكل (1-2)

وعلى العموم فإن الطرق السيزمية تقسم إلى قسمين كبيرين يعتمد على طاقة مصدر الموجات السيزمية، أحدهما يدرس موجات الهزات الأرضية (الزلازل) لاستنتاج الخواص الطبيعية والتركيب الداخلى للأرض ويسمى هذا علم الزلازل earthquake seismology، والآخر تتولد الموجات السيزمية فيه بواسطة تفجيرات صناعية عند مواقع مختارة للحصول على معلومات عن تركيبات إقليمية أو محلية وتسمى هذه الطريقة الاستكشاف السيزمي explosion seismology، مع ملاحظة أن طريقة المراقبة (الملاحظة) لكلا الطريقتين فى مجالات تطبيقاتهما تظهر تداخل أو تراكيب بينهما، فمثلا التحكم بدقة فى التفجير النووى له قيمة فى استنتاج تفصيلات دقيقة عن التركيب الداخلى للأرض، بينما الموجات الزلزالية السطحية تشارك كثيرا فى دراسة تركيب القشرة الأرضية. والتطور السريع لأجهزة قياس أى طريقة سواء للهزات الأرضية أو للهزات الصناعية تؤدى إلى تقدم موازى للطريقة الأخرى لاستعمالها.

\* يؤخذ الزمن لثورة واحدة كاملة.

تعتبر الموجة السيزمية أساس للاستكشاف السيزمي ولإستنتاج المصطلحات الجيولوجية منها، لذلك يجب معرفة المبادئ الأساسية الفيزيائية التي تتحكم في خواص إنتشارها، مثل تولدها وإنتقالها وإمتصاصها وتخفيفها في المواد الأرضية وكذلك خواص انعكاسها وإنكسارها وحيودها، ويمكن القول بأن الموجات السيزمية هي موجات مرنة لأنها تسبب تشوه في المادة التي تنتشر خلالها وهذه التشوهات تتكون نتيجة ضغوط وتمددات متبادلة نتيجة لتحرك الجزيئات في المادة قريبا أو بعدا عن بعضها البعض. وبالإضافة للمهمة الأساسية للطرق السيزمية في إكتشاف المواد الهيدروكربونية فإن الجدول الآتي يبين عدة تطبيقات أخرى.

جدول (1-2) المعلومات المستخدمة وتطبيقات الكشف السيزمولوجي

معلومات بتروفيزيائية	الظواهر الجيولوجية	تطبيقات أخرى
1- ثوابت المرونة	1- عمق صخور الأساس	1- تفسيرات المواقع الهندسية
2- الكثافة	2- تحديد مناطق الفوالق والكسور	2- خواص الصخور
3- التوهين (التخفيف)	3- إزاحة الفوالق	3- مصادر الرمل والحصى
4- المسامية	4- تحديد الأودية المدفونة وخصها	4- إكتشاف الكهوف
5- سرعة الموجات المرنة	5- تحديد خواص الصخور	5- تحديد الطبقة الأساسية في البحار (لوضع أبراج الحفر)
6- عدم الإتجاهية	6- تحديد الطبقات الجيولوجية المختلفة	6- تحديد الماء والغاز المزال من الرسوبيات البحرية
	7- تحديد سدود الصخور النارية الأساسية	7- مواقع الإنهيارات الأرضية الجديدة
		8- إكتشاف المياه الجوفية
		9- سرعة الجزيئات الأرضية
		10- تحديد مواقع الإنشاءات (المباني الضخمة - إنشاء الأنفاق)
		11- تحديد مواقع المطارات والممرات بها
		12- مواقع إنشاء المفاعلات النووية
		13- تحديد الخنادق الكبيرة للأسلحة الحربية

## 2.2 أساسيات انتشار الموجة السيزمية: Fundamental of Seismic Wave Propagation

حيث أن هذه الموجة تنتشر في أوساط مرنة فلمعرفة سلوك هذه الموجة التي تسير في هذه الأوساط فلا بد أولا تحديد الخواص المرنة لهذه الأوساط. لذلك يفرض أن الأجسام الصخرية متجانسة وإتجاهيه وإلا فإن إنتشار هذه الموجات تصبح أكثر تعقيدا. وتبسط هذه الفروض تفسيرات التأثيرات المقاسة (شدوذ الزمن) ومن هذه الخواص:

### 1.2.2 الإجهاد Stress:

وهو عبارة عن علاقة بين القوة والمساحة السطحية المؤثرة عليها

$$\text{Stress (الإجهاد)} = \frac{\text{Force (قوة)}}{\text{Area (مساحة)}} \quad \& \quad S = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

ويوجد أربع أنواع من الإجهاد:

(i) الإجهاد الطولى *Tensile stress*:

وفيه تكون القوة عمودية على المساحة وتسبب بذلك إستطالة خلال الجسم (شكل 2-2 أ).

(ii) الإجهاد الضغطى *Compressive stress*:

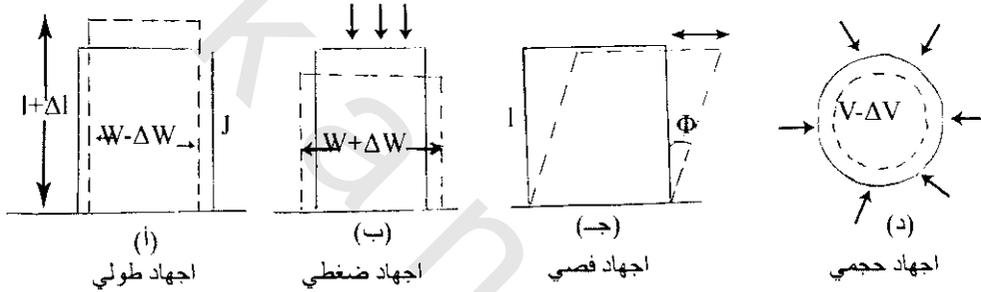
وفيه تكون القوة عمودية على المساحة ولكن تسبب بذلك قصرا خلال الجسم (شكل 2-2 ب).

(iii) الإجهاد القصى *Shearing stress*:

وفيه تكون القوة موازية للمساحة وتسبب تشوه (شكل 2-2 ج).

(iv) الإجهاد الحجمى *Volume stress*:

وفيه تكون القوة موزعة على حجم الجسم وتسبب نقص فى حجم الجسم (شكل 2-2 د).



شكل (2-2)

## 2.2.2 الانفعال Strain:

(i) الإنفعال الطولى *Longitudinal strain*:

هو عبارة عن نسبة بين الإستطالة الطولية الناتجة من الإجهاد الطولى إلى الطول الأسمى

$$\epsilon_l = \frac{\Delta l \text{ (الاستطالة)}}{l \text{ (الطول الأسمى)}} \quad (2-2)$$

(ii) الإنفعال العرضى *Transverse strain*:

هو نسبة بين الإستطالة العرضية إلى العرض الأسمى الناتج من الإجهاد الضغطى.

$$\epsilon_w = \frac{\Delta W \text{ (الزيادة فى العرض)}}{W \text{ (العرض الأسمى)}} \quad (2-3)$$

(iii) الإنفعال القصى *Shearing strain*:

وينتج من الإجهاد القصى وينشأ عن ذلك زاوية  $\phi$  تسمى زاوية التشوه وتتغير هذه الزاوية بتغير الإجهاد فى علاقة طردية،  $\epsilon$  (الإنفعال القصى =  $\phi$ ).

**(iv) الإنفعال الحجمي Volume strain:**

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V} \quad \text{(النقص في الحجم) / (الحجم الأصلي)} \quad (2-4)$$

**ج) معامل ينج ( E ) Young's modulus:**

يوجد علاقة طردية بين الإنفعال والإجهاد.

$$\epsilon \text{ \& } S \quad \epsilon = K S \quad (2-5)$$

حيث K ثابت وتساوى  $\frac{1}{E}$

$$\therefore \epsilon = \frac{1}{E} S$$

حيث E معامل ينج، وأيضا

$$S = E \epsilon$$

وتبلغ قيمة ينج لأغلب الصخور  $10^{10}$ - $10^{12}$  دابن/سم<sup>2</sup>.

**4.2.2 نسبة بواسون (σ) Poisson's ratio:**

هي نسبة بين الإنفعال العرضي للإنفعال الطولي.

$$\sigma = \frac{\frac{\Delta W}{W}}{\frac{\Delta \ell}{\ell}} = \frac{\Delta W}{W} \times \frac{\ell}{\Delta \ell} \quad (2-6)$$

لاتزيد هذه النسبة عن 0.5 وهي لأغلب الجوامد المرنة في حدود 0.25.

**5.2.2 الصلابة أو معامل القص (μ) Rigidity or shear modulus:**

$$S_{sh} = \mu \phi \quad (2-7)$$

حيث μ الصلابة أو معامل القص ولأغلب المواد فإن μ عدديا حوالى نصف E (معامل ينج).

**6.2.2 المعامل الحجمي والكبس (β) Bulk modulus and compressibility:**

إذا تعرض جسم ذا حجم (V) إلى إجهاد ضغط متساوى في جميع الجهات فإن حجمه يقل بكمية ΔV

$$\beta = \frac{S}{\Delta V/V} \quad \text{(المعامل الحجمي)} \quad (2-8)$$

**7.2.2 العلاقة بين ثوابت المرنة Relation between Elastic Constants:**

$$\beta = \frac{E}{3(1-2\sigma)} \quad \& \quad \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

$$E = \frac{6\beta\mu}{3\beta+\mu} \quad \& \quad \sigma = \frac{3\beta-2\mu}{3\beta+2\mu}$$

حيث  $\mu$  = معامل القص &  $\beta$  = المعامل الحجمي

$\sigma$  = نسبة بواسيون &  $E$  = معامل ينج

### 8.2.2 الموجات المرنة Elastic Waves:

$$P = s \sin \frac{2\pi}{\lambda}(X - Vt)$$

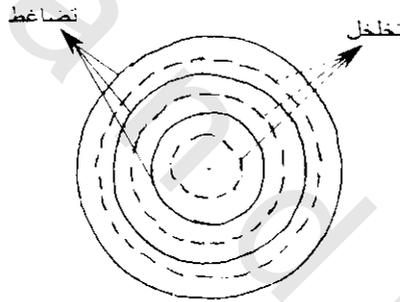
وهذه تمثل نوع الذبذبة لحركة هرمونية بسيطة.

$$\lambda = \frac{V}{\nu} \quad \text{حيث}$$

حيث  $\lambda$  الطول الموجي  
 $\nu$  التردد  $\frac{1}{T}$  (الزمن)

$V$  السرعة

ولهذه الموجة نوعان (شكل 3-2)



شكل (3-2)

### 1.8.2.2 الموجة التضاغوية Compressional wave:

وفيه تتحرك جزيئات المادة في اتجاه انتشار الموجة أو بزاوية مقدارها  $180^\circ$  في صورة تضاغوية وتخلطيه وهذه الموجة هي المستخدمة في دراسة التقيب الزلزالي (الطريقة الانكسارية والانعكاسية). وتقدر هذه الموجة بمعاملات المروره كالآتي:

$$V_p = \sqrt{\frac{\beta + 4/3\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \left( \frac{1 + \frac{2\sigma^2}{1 - \sigma - 2\sigma^2}}{1 - \sigma - 2\sigma^2} \right)} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}} \quad (2-9)$$

حيث  $\rho$  = الكثافة (مثل الموجودة في 2-10)

### 2.8.2.2 الموجة العرضية Transverse Wave:

وفيها تتحرك جزيئات المادة على اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة (وتسمى الموجة القصية أو الهدميه (shear or destroyed waves)).

$$V_T = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \left( \frac{1}{2(1+\sigma)} \right)} \quad (2-10)$$

$$\frac{V_p}{V_T} = \sqrt{\frac{\beta}{\mu} \frac{4}{3}} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{1/2-\sigma}}$$

$$\left( \frac{V_p}{V_T} \right)^2 = \frac{2(1-\sigma)}{(1-2\sigma)}$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_T} = \frac{2}{1}$$

ويطرح المعادلة (2-10) من (2-9)

$$V_p^2 - 4/3V_T^2 = \frac{\beta}{\rho} \quad (2-11)$$

ويلاحظ أن الموجه الطويله دائما أكبر من الموجه العرضية في نفس الوسط. ويسمى هذين النوعين من الموجهات بالموجهات الجسمية (body waves).

### 3.8.2.2 الموجهات السطحية Surface waves:

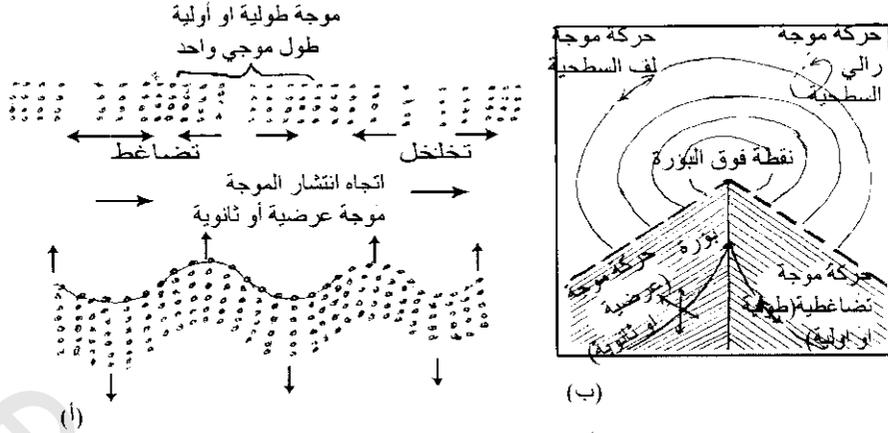
وهي تصاحب الموجهتين السابقتين (التضاغطية والعرضية وهما):

#### أ- موجه رالي Rayleigh waves:

وتتميز هذه الموجه بأن سعة حركتها تتناقص أسيا مع العمق أسفل السطح. وسرعة هذه الموجه أبطأ من الموجهات الجسمية بحوالي  $\frac{9}{10}$  من الموجه العرضية في نفس الوسط. هذا النوع من الموجهات غالبا ماتخفى الإنعكاسات في التسجيلات السيزمية التي نحصل عليها في الإستكشاف البترولي، ويقوم السيزمولوجيين بتحليل تشتت هذه الموجهات على تسجيلات الهزات الأرضية لاستنتاج كثير من المعلومات المفيدة الخاصة بالطبقات في الجزء العلوى من القشرة الأرضية.

#### ب- موجهات لف Love Waves:

تلاحظ هذه الموجهات فقط عندما يوجد طبقة ذات سرعة منخفضة تعلو وسط فيه الموجهات المرنة ولهذا يكون لها سرعة عالية وحركة هذه الموجه أفقيه وعرضيه، ولهذا لاتسجل هذه الموجه في البحث والتنقيب السيزمي وتستخدم في الزلازل لدراسة الطبقات القريبة من سطح الأرض. شكل (4-2) يمثل نموذج للموجهات السابقة وحركة موجه طوليه أوليه.

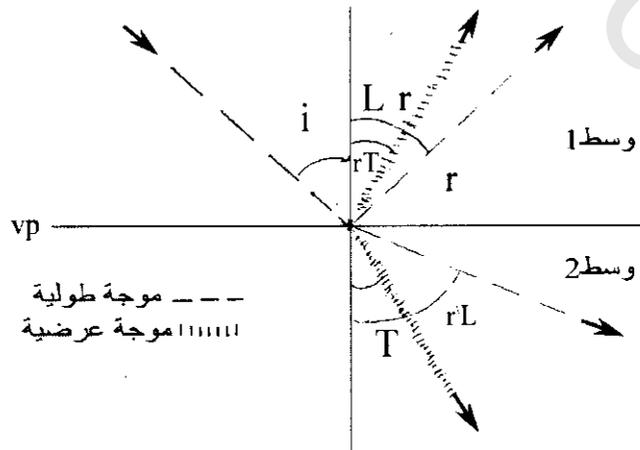


شكل (4-2) أ) حركة الجزيئات في الموجات الطولية والعرضية. ب) نموذج للموجات الجسمية والسطحية متولدة من زلزال

#### 4.8.2.2 الموجات المنعكسة والمنكسرة Reflection and Refraction Waves

تمتد الموجات الطولية (التضاغطية) L والموجات العرضية T بانتظام في الأوساط المتجانسة في جميع الاتجاهات عن مصدر الاضطراب وتتقدم الموجه للأمام بشكل كروي مركزه عند المصدر ومتعامد على اتجاه انتشار الموجه وتقل طاقة الموجه بسرعة مع مربع المسافة بينما تقل السعة مباشرة في تناسب مع مسافة الانتقال. وعندما تصطدم الموجه على سطح لوسط ثان له سرعة مرنة مختلفة فإن جزء من الطاقة ينعكس وجزء ينتقل بانكسار إلى هذا الوسط. ويحكم هذا الانعكاس والانكسار قوانين هندسة البصريات، وعند المسافة الكبيرة من المصدر فإن طرق الموجات يكون إشعاعيا، وتخضع الموجات في هذه الحالة لقانوني هايجن Huygenis فيرمات Fermatis.

بالرغم من هذا التشابه في انتشار الموجات الضوئية والسميزمية فإن العمليات الحقيقية للإنعكاس والإنكسار للموجات السميزمية تكون قليلا أكثر تعقيدا من الموجات الضوئية، وعامة فأى موجه طولية L أو عرضية T تصطدم عند الحد الفاصل بين وسطين سوف يتولد موجتين منعكستين لـ T & L وكذلك موجتين منكسرتين لـ T & L، وباستعمال (الترقيم أو العلامات) لشكل السرعة V فإن قوانين الإنعكاس والإنكسار تعطى بواسطة قانون Snellis. شكل (5-2) (2-5)



شكل (5-2): انعكاس وانكسار لموجه طوليه ساقط على حد فاصل بين وسطين بسرعات مختلفة. عامة يتولد أربع موجات عند الحد الفاصل.

$$\frac{\sin i_L}{V_{L1}} = \frac{\sin r_L}{V_{L1}} = \frac{\sin r_L}{V_{T1}} = \frac{\sin r_L}{V_{L2}} = \frac{\sin r_T}{V_{T2}}$$

حيث  $i =$  زاوية السقوط &  $r =$  زاوية الانعكاس  
 $\bar{r} =$  زاوية الإنكسار &  $v =$  السرعة

وإذا كانت موجة السقوط والإنعكاس من نفس النوع فإن زاوية السقوط والإنعكاس تتساوى أى  $i_L = r_L$ . وعندما تسقط الموجة الطولية عموديا على الحد الفاصل (أى  $i_L = 0$  صفر) فإنها لا تنتج موجات ثانوية منعكسة أو منقذة وتتحوّل كل الطاقة إلى موجات أولية منعكسة ومنكسرة وهذه الخاصية تجعل الموجة الطولية  $L$  عند قرب الإسقاط العمودى يمثّل قاعدة سائدة فى البحث السيزمى. وفى هذه الحالة فإن معامل الإنعكاس وهو النسبة بين السعة للموجة المنعكسة إلى الموجة الساقطة وتعطى قيمة هذا المعامل بواسطة

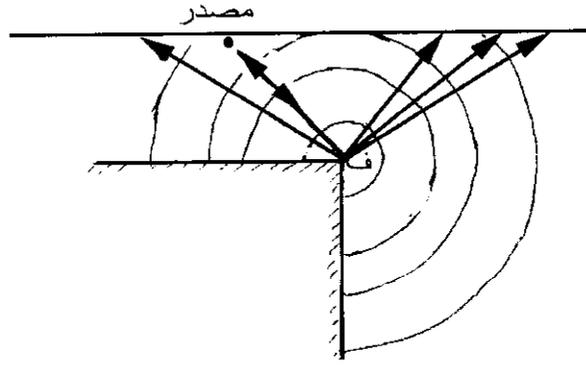
$$\mu_n = \frac{A_r}{A_i} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

حيث  $\mu_n =$  معامل الإنعكاس  
 $A_r =$  سعة الموجة المنعكسة  
 $A_i =$  سعة الموجة الساقطة  
 $\rho =$  الكثافة &  $v =$  السرعة

ويظهر من هذه المعادلة أن معامل الإنعكاس يعتمد على التباين فى الممانعة السمعية (الناجئة من الكثافة وسرعة الموجة الطولية  $L$ ) على جانبى الحد. وإذا كانت  $\rho_1 V_1$  أكبر من  $\rho_2 V_2$  فإن  $\mu_n$  تكون سالبة ويتحوّل طور الموجة المنعكسة إلى  $180^\circ$  وينعكس التضاعط إلى تخلخل والعكس بالعكس. وعمليا ماتزيد السرعة بزيادة العمق ( $\rho_1 V_1 < \rho_2 V_2$ ) فى هذه الحالة تكون أغلب الإنعكاسات القوية موجبة أى بدون تغيير فى طورها. وهناك حالات خاصة مثل التركيبات الملحية فى الصخور الرسوبية حيث تزيد السرعة وتقل الكثافة فى مثل هذا التناسب فإن  $\rho_1 V_1 \approx \rho_2 V_2$  وفى مثل هذه الحالات لا يلاحظ إنعكاس. ولذلك فإن الممانعة الصوتية تكون ذات أهمية كبيرة فى الدراسات الإنعكاسية السيزمية. فإذا كانت الممانعة الصوتية فى أحد الأوساط ( $\rho_1 V_1$  أو  $\rho_2 V_2$ ) تساوى صفر فإن  $\mu_n = \pm 1$  وتنعكس كل الطاقة فى أى حالة ولا يوجد انتقال للموجات (أى إنكسار)، مثل هذا الوضع يحدث بواسطة سطح أرضى حر. إذا وضع المصدر السيزمى فى الهواء ( $\rho_1 V_1 = 0$  صفر) فغالبا ما تنعكس الموجة الساقطة للخلف مع عدم فقد الطاقة ولا تغير فى الطور. وعند وضع المصدر تحت الأرض فإن الموجة المنعكسة من السطح الحر تكون كافية ومتساوية (أى تقريبا تنعكس كل الطاقة) ماعدا تغير الطور عند  $180^\circ$ .

والوضع الآخر عندما تقترب  $\mu_n$  للواحد وتحدث عندما تسقط الموجة على سطح المادة الصلبة عند الزاوية الحرجة (أى زاوية السقوط التى تكون عندها زاوية الإنكسار  $90^\circ$ )، مثل هذا التراكم القوى فى سعة الإنعكاس بالقرب من الزاوية الحرجة تسمى مدى زاوية الإنعكاس (wide-angle reflection (WAR، ويستعمل العمق السيزمى هذه الظاهرة لتخطيط الإنعكاسات العميقة مثل سطح التماس بين القشرة والستار.

عندما يمثّل حد سطح الإنعكاس كسر حاد (مثل فالق أو منحدر جرف) فإن مقدمة الموجة الساقطة تتشتت عند الركن الحاد لهذا السطح (شكل ٢-٦)



شكل (6-2): تشتت مقدمة الموجه من الحافة الحادة (ف).

وهذه الظاهرة تشبه نظيرتها فى البصريات ويعمل الركن الحاد كمصدر لتشتت الموجه. وتقدم الموجات المشتتة منفعة هامة كدليل للفوالق الصغيرة والتي لاكتشف بسهولة بواسطة تقنية الإنعكاس.

عندما تصطدم الموجه الساقطة بالحد الفاصل فإن جزء من الطاقة ينكسر خلال هذا الحد، إذا كانت الطبقة أسفل هذا الحد ذات سرعة عالية (شكل 5-2) فإنها تعطى زاوية إنكسار بواسطة قانون سنل Snell's law

$$\text{وعندما تكون زاوية الإنكسار } = 90^\circ \text{ وحيث } \sin 90^\circ = 1 \text{ فإن}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\therefore \sin i = V_2/V_1 \quad \frac{\sin i}{1} = \frac{V_1}{V_2}$$

وتسمى زاوية السقوط  $i$  فى هذه الحالة بالزاوية الحرجة. وفى هذه الحالة أيضا يكون الإنكسار إنكسارا حرجا. وعندما يكون الإنكسار الحرج على طول أو موازى للحد الفاصل فإنه يكون قاعدة هامة فى طريقة الإنكسار السيزمى أى  $i_c = \sin^{-1} V_1/V_2$ ، وعندئذ تسير الموجه الحرجه على طول الحد الفاصل بسرعة  $V_2$  أى بسرعة الطبقة التحت الحد الفاصل، ولكن خلال هذا الانتشار فإن هذا الحد يتعرض لإجهاد مذبذب وكل نقطة عليه ترسل موجه ثانوية ولذلك فإن الطاقة تظهر مرة أخرى فى الطبقة العليا على طول إشعاعات بزاوية  $i_c$  زاوية السقوط الحرجة الأصلية (critical angle) وتتبع مرة أخرى قانون سنل. مثل هذه الإزدواجية للموجه المنكسرة تعطى معلومات عن عمق الحد الفاصل فى حالات تشمل تغير السرعة. وهذه الخاصية ذات أهمية فى توضيح وضع القشرة التى تعلو الستار ذات السرعة الأعلى من القشرة.

## 9.2.2 السرعات السيزمية فى الصخور Seismic Velocities in Rocks

فى تطبيقات الطرق السيزمية لحل المشاكل الجيولوجية فإن من أهم خواص الصخور تكون إنتشار سرعة الموجات السيزمية وخاصة الموجات الطولية والتي تكون أسرع وأول ما تسجل. وقد لوحظ مسبقا أن خواص الإنعكاس والإنكسار تعتمد أولا على فوارق السرعة عبر الحد. ولهذا فإن معرفة سرعات الصخور تكون أساس التفسير السيزمى، وتعتمد سرعة الصخور السيزمية على معاملات المرونة والكثافة، ومن الممكن حساب السرعات من قياسات معاملات المرونة لعينات صخرية. وربما تختلف نتيجة هذه القياسات للسرعة عن قياسات السرعة للصخور فى الحقل، وهذه تحدث فى الصخور الرسوبية والتي فيها تتأثر السرعة كثيرا بالعمق



### 3.2 علم الزلازل وتركيب الأرض :Seismology and the Earth's Structure

من الصعب معرفة تركيب وتكوين الأرض مباشرة ولكن يمكن الإشارة لذلك فقط من دلالات غير مباشرة، ومن ضمن هذه الدلالات دراسات أمواج الزلازل التي تنتقل إلى داخل الأرض ومسار هذه الأمواج تعمل كاختبارات أشعة X، وهي تعطي معلومات عن تركيب وخواص الأرض الداخلية. وتعطي أيضا تسجيلات الانفجارات النووية معلومات وثيقة بالإضافة إلى المعلومات التي تمدنا بها مسجلات الزلازل. بالإضافة لذلك فإن تسجيلات الانفجارات الكيميائية الكثيرة بالإشتراك مع المعلومات الجيولوجية عن الصخور السطحية زادت من معلوماتنا عن الغلاف الخارجي للأرض. ومن أهم مسببات الزلازل الفوالق، البراكين والانزلاقات الأرضية.

#### 1.3.2.2 1.3.2 مشاهدات نتائج الزلازل Observation data on earth

##### 1.1.3.2 البؤرة Focus or hypocenter

عبارة عن نقطة مفردة عادة تحت سطح الأرض، والتي فيها يحدد اضطراب خلال أو تحت القشرة الأرضية.

##### 2.1.3.2 أنواع الزلازل The type of earthquakes

على أساس عمق البؤرة قسمت الزلازل لثلاثة أنواع:

أ) زلزال عميق Deep earthquake:

وفيه يكون عمق البؤرة أكبر من 300 كم.

ب) زلزال متوسطة العمق Intermediate earthquake:

وفيه تكون البؤرة ذات عمق ما بين 70-300 كم.

ج) زلزال ضحل Shallow earthquake:

وفيه يكون عمق البؤرة يساوي أقل من 70 كم.

##### 3.1.3.2 نقطة فوق البؤرة Epi center

هي نقطة على سطح الأرض عمودية فوق البؤرة.

##### 4.1.3.2 أمواج الزلازل Earthquake wavs

أ- الموجات الأولية (P.W.) Primary waves:

هي موجات طوليه ذات سرعات ما بين 5.5 - 13.8 كم/ث وسميت أوليه لأنها أول ما يسجل بواسطة أجهزة قياس الزلازل.

### ب- الموجات الثانوية (S.W) Secondary waves :

هي موجات عرضية تبلغ سرعتها تقريبا نصف سرعة الموجات الطولية وهي ما بين 3.2-7.3 كم/ث<sup>2</sup>، وسميت ثانوية لأنها ثانی مايسجل بواسطة أجهزة قياس الزلازل وتسمى أيضا بالموجات الهدمية destroyed waves لأنها هي المسببة للأعمال الهدمية المصاحبة للزلازل، ويرجع أهميتها أيضا في دراسة التركيب الداخلي للأرض حيث أنها تمر في القشرة والستار ولا تمر في قلب الأرض (لأنها لا تمر في الغازات والسوائل). والموجات الأولية والثانوية تخرج من البؤرة وتسمى بالموجات الجسمية body waves لأنها تسير في داخل الأرض.

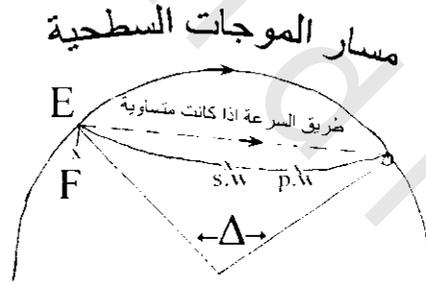
### ج- الموجات السطحية Surface waves :

وتسمى أيضا بالموجات الطويلة long waves حيث أنها تتكون من تضاعف وتخلل وتسير الجزيئات في اتجاه إنتشار الموجه وتتكون هذه الموجات من:

(i) موجات رالي Rayleigh waves.

(ii) موجات لف Love waves.

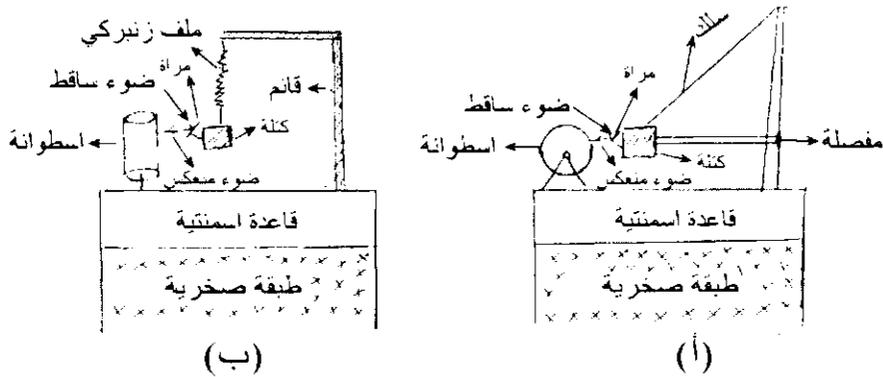
وهذه الموجات تخرج من نقطة فوق البؤرة وسرعتها تتراوح ما بين 4 - 4.4 كم/ث . شكل (8-2) يوضح مشاهدات الزلازل.



شكل (8-2) رسم تخطيطي لموجات أولية وثانوية و سطحية من زلزال بؤرته F ونقطة فوق البؤرة E ، محطة الرصد ، Δ زاوية نقطة فوق البؤرة.

### 5.1.3.2 سجل الزلزال (مرجاف أو مرسمه الزلزال) Seismograph :

تحتوى أى محطة زلازل على ثلاثة وحدات من أجهزة التسجيل، إثنين منهم متعامدين كل على الآخر (أحدهما في إتجاه شمال-جنوب والآخر في إتجاه شرق-غرب) لتسجيل المركبات الأفقية للحركة. والوحدة الثالثة لتسجيل المركبة الرأسية للحركة. شكل (9-2، ب) يوضح وحدتين تسجيل إحداهما لتسجيل المركبة الأفقية والآخر لتسجيل المركبة الرأسية.



شكل (9-2): (أ) وحدة تسجيل مركبة أفقية. (ب) وحدة تسجيل مركبة رأسية

### طريقة عمل أجهزة التسجيل:

أولاً: بالنسبة لتسجيل المركبة الرأسية، في حالة عدم حدوث زلزال فإن الضوء المنعكس يرسم خط ضعيف الذبذبة يقرب للخط المستقيم على الورقة الضوئية المثبتة على الإسطوانة والتي تكمل دورتها كل 6 أو 12 أو 24 ساعة تبعاً لتصميم الجهاز، وعند حدوث زلزال فإن الكتلة تتذبذب لأعلى وأسفل ويرسم الضوء الساقط الموجات الزلزالية على الورقة الضوئية وتتوقف سعة وشدة الموجه على قوة الزلزال المحدث للحركة (شكل 9-2: أ).

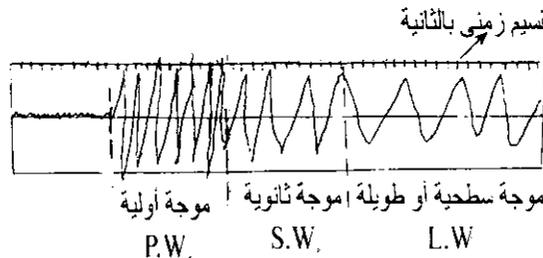
ثانياً: بالنسبة لتسجيل المركبة الأفقية: نفس فكرة عمل تسجيل المركبة الرأسية ولكن في هذه الحالة ستكون حركة الكتلة أفقية حيث تسمح المفصلة المتصلة بالعمود الحامل للكتلة بالحركة الأفقية وبالتالي فإن الضوء المنعكس يرسم موجات زلزالية تتوقف سعتها وشدتها على قوة الزلزال المحدث للحركة (شكل 9-2: ب).

### 6.1.3.2 صفحة مرسمة الزلازل (صفحة المرفاج) Seismogram:

وهي عبارة عن صفحة فوتوغرافية للأجهزة الضوئية أو صفحة ورقية للأجهزة الراسمة مباشرة. وعند حدوث زلزال ترسم مراسم أجهزة التسجيل على هذه الصفحة خطوط زجاجية مقسمة تبعاً لأنواع الموجات الزلزالية المذكورة سابقاً إلى ثلاثة أجزاء:

- (أ) الجزء الأول يمثل الموجات الأولية.
- (ب) الجزء الثاني يمثل الموجات الثانوية.
- (ج) الجزء الثالث يمثل الموجات السطحية.

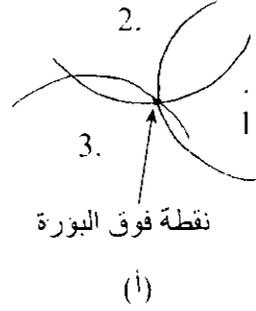
ويوضح شكل (10-2) صفحة المرفاج (مرسمة الزلزال).



شكل (10-2): صفحة مرسمة الزلازل سيزموجرام

### 2.3.2 تحديد نقطة فوق البؤرة :Location of epicenter

من اختلاف الزمن بين الموجات الأولية والموجات الثانوية يمكن حساب المسافة بين المحطة ونقطة فوق البؤرة. وبواسطة تحديد هذه المسافات لثلاثة محطات ترسم ثلاث دوائر (ترسم بمقياس معين بالنسبة للمسافة الحقيقية) أنصاف أقطارها هذه المسافات ونقط تلاقى هذه الدوائر هي نقطة فوق البؤرة شكل. وإذا لم تتقاطع هذه الدوائر في نقطة فيرسم مثلث في مساحة الواقعة بين هذه الدوائر ونقطة تلاقى منتصفات أضلاع هذا المثلث تمثل نقطة فوق البؤرة (شكل 2-11أ، ب).



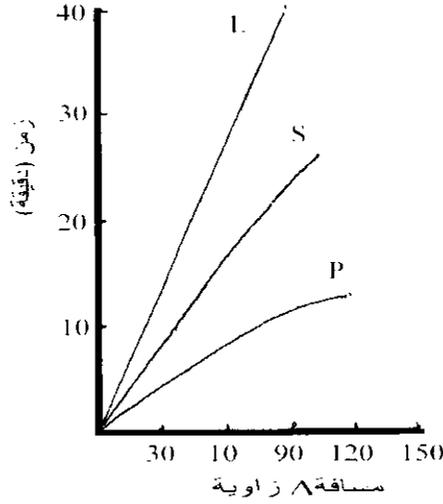
شكل (2-11) تحديد  
نقطة فوق البؤرة.

### 3.3.2 منحنيات فترة (انتقال) الزمن :Travel Time Curves

عندما تحدث زلازل كبيرة فإن طور الموجات السيزمية المستقبلية في محطات الزلازل تنتشر حول الأرض، والخطوة التالية هو التحقق من وصول مختلف الأطوار للموجات الأولية والثانوية والسطحية عند المحطات المختلفة. وبمقارنة التسجيلات من المحطات المختلفة يمكن تحديد الأماكن والزمن التقريبي، ويلاحظ أن المحيطات القريبة هي التي تسجل الوصول أولاً في أطوار كبيرة، وبهذه الطريقة ومن هذه التسجيلات يمكن إنشاء منحنيات فترة الزمن للموجات المختلفة (شكل 2-12) وتعتبر مثل هذه المنحنيات أحسن الطرق لتحديد الزمن ومسافة نقطة فوق البؤرة. وفترة الزمن بين الموجه الأولية والثانوية له علاقة بالمسافة بين المرصد والزلازل (زاوية نقطة فوق الزلازل  $\Delta$  شكل 2-8). وأحسن مجموعة لهذه المنحنيات موجودة في جداول أنشئت بواسطة Jeffreys and Bullen 1967. وباستعمال فترات الزمن بين S & P من عدة مراصد يمكن تحديد موقع الزلازل بدقة كما ذكر سابقاً.

### 4.3.2 الكثافة ومعاملات أخرى في الأرض: Density and other parameters in the earth

لاشتقاق نماذج الكثافات المختلفة للأرض، استخدم Bullen 1963 الطريقة الغير مباشرة آدم وويليامسون (Adms-Williamson) وهذه الطريقة تفترض أن الكثافة تزيد بالعمق بسبب الكبس الأديباتيكي الذاتي تحت الضغط الهيدروستاتيكي. وباعتبار تماثلية كروية الأرض التي كثافتها  $\rho$  دالة لنصف القطر  $r$



شكل (12-2)

$$\therefore \frac{d\rho}{dr} = \frac{d\rho}{dP} \frac{dP}{dr} \quad (2-12)$$

حيث P الضغط الهيدروستاتيكي.

وحيث الكثافة والحجم لها علاقة عكسية  $\left(\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dv}{dv}\right)$  وأن المعامل الحجمي K له علاقة بـ  $\frac{dv}{v}$

$$\therefore \frac{d\rho}{dP} = \frac{P}{K} \quad (2-13)$$

وعلاوة على الضغط المتسلسل من خلال سمك الغلاف dr يكون

$$dP = -\rho_r g_r dr \quad (2-14)$$

حيث g عجلة الجاذبية والتي لها علاقة بكتلة الأرض M وثابت الجاذبية  $\gamma$  بالمعادلة

$$g_r = \frac{V}{r^2} \int_0^r 4\pi\rho r^2 dr = \frac{\gamma M_r}{r^2} \quad (2-15)$$

وبالتعويض بالمعادلة 2، 3، 4 بالمعادلة 1 ينتج

$$\frac{d\rho}{dr} = -\left(\frac{\rho}{k}\right) \frac{\gamma M_r \rho_r}{r^2} \quad (2-16)$$

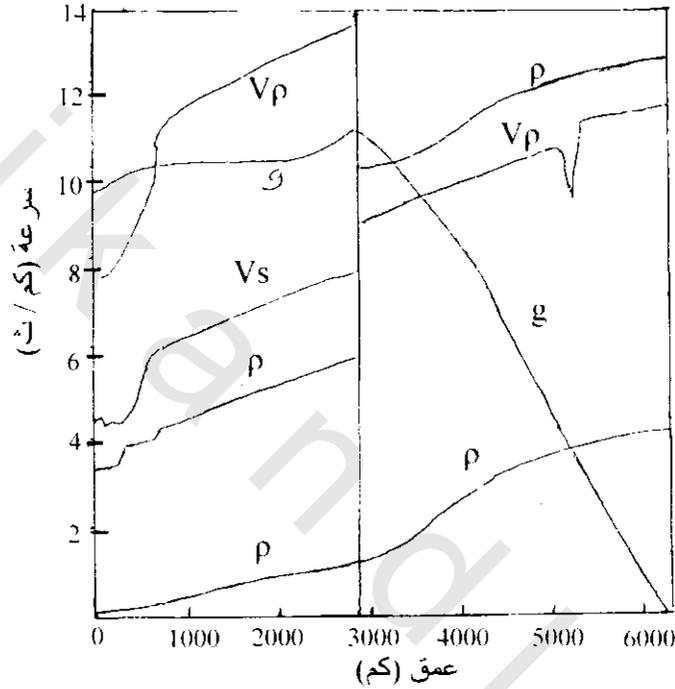
وبمساعدة العلاقة بين  $V_p$  و  $V_s$  ونسبة  $\frac{K}{\rho}$  من المعادلة الخاصة بهما  $\left(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2\right) = K/\rho$

$$\frac{K2}{\rho} = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \quad (2-17)$$

وبالتعويض بالمعادلة (2-17) في المعادلة (2-16)

$$\frac{dp}{dr} = \frac{-\gamma \mu_r \rho_r}{r^2 \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)} \quad (2-18)$$

وهذه تمثل معادلة آدم ووليمسون Adams-Williamson، ويشير الحرف  $r$  اللاصق بأن القيم  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $\rho$  الخ تحدث عند نصف قطر  $r$ . من المعادلة (2-14)، (2-15) يمكن استنتاج توزيع الكثافة والجاذبية والضغط في الأرض ويوضح شكل (2-13) هذا التوزيع تبعاً لنموذج (هادن وبولن 1964, Haddon and Bullen).



شكل (2-13): نموذج للخواص الطبيعية داخل الأرض  $P$  الضغط بـ  $10^7$  دايين/سم<sup>2</sup>،  $\rho$  الكثافة  $10^3$  كجم/م<sup>3</sup>،  $g$  الجاذبية م/ث<sup>2</sup>،  $V_s$ ،  $V_p$  سرعة الموجات الطولية والثانوية بالتوالي بالكم/ث. (بعد هادن وبولن 1964).

### 5.3.2 شدة الزلزال Magnitude of earthquake M:

وضع ريختر (Richter 1935) مقياس لشدة الزلزال وهو ذات استخدامات عملية كبيرة في اقرار القياس الكمي لطاقة الإنفعال المرن المنطلقة لأي زلزال. وتحدد شدة ريختر كالاتي:

$$M = \log_{10} A \quad (\text{شدة الزلزال})$$

حيث  $A$  أكبر قياس سعة بالميكرون مسجل بواسطة نموذج معيار وود وأندرسون Wood-Anderson لفترة قصيرة للمرجاف على بعد 100 كم من نقطة فوق البؤرة. وأنشأت كذلك جداول لعدة ساعات (amplitudes) عديدة مع المسافات المختلفة ليستطيع المراقب لمسافات المحطات استنتاج قيم الشدة العيارية.

وتبعاً لمقياس ريختر\*\* فإن قيمة الشدة (M) يمكن مقارنتها على وجه التقريب مع المراقبات السيزمية الكبيرة فمثلاً  $M = 2$  أقل هزات يشعر بها الإنسان،  $M = 5$  هزات مسببة لتحطيم الإنشاءات الضعيفة،  $M > 6$  هزات مدمرة.

### 6.3.2 طاقة الزلازل Energy of Earthquakes:

من أهم استخدامات شدة الزلزال M هو تقدير الطاقة المصاحبة للزلازل ولهذا اقترح (Bath 1966) علاقة رياضية كالآتي:

$$\log_{10} E (\text{جول}) = 4.24 + 1.44 M$$

وباستخدام هذه العلاقة وجد أن الطاقة المصاحبة لأكبر زلزال حدث في القرن العشرين في كولومبيا 1906 بشدة مقدارها 8.9 ريختر كانت  $10^8$  جول والتي تعادل الطاقة المنطلقة من 300 مليون طن قنابل وعادة فإن متوسط ما ينطلق من طاقة زلزالية سنوياً تعادل  $10^{18}$  جول/سنة وأغلبها تنتج من هزات كبيرة، وأغلب هذه الهزات تحدث عند أعماق ضحلة عادة أقل من 30 كم لأن تردد الهزات المتوسطة العمق والعميقة عامة تقل بزيادة العمق، ولم تعرف هزات حدثت على عمق أكثر من 720 كم أي عند الأجزاء العميقة للأرض حيث تكون عديمة السيزمية تماماً.

### 7.3.2 ميكانيكية الزلازل Earthquake Mechanisms:

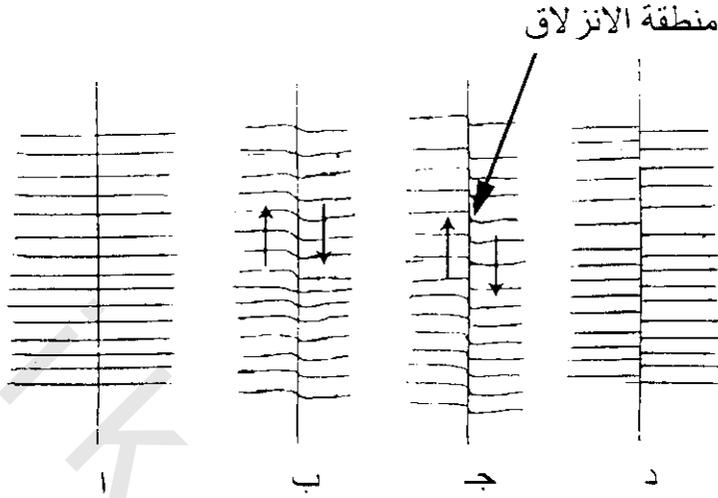
من أكثر معلوماتنا عن الأحداث التي تحدث بجوار بؤرة الزلازل تأتي من نظرية رجوع أو رد المرونة التي صيغت بواسطة H.F. Reid بعد زلزال سان فرانسيسكو الكبير 1906. وتنتسب النظرية لتزايد تجمع طاقة الانفعال المرن في المناطق التكتونية (حركة القشرة الأرضية)، وفجأة تنطلق الطاقة المخزونة بواسطة التصدع عندما تزيد قوة الكسر شكل (2-14). وعادة ما يصاحب الزلازل الضحلة الكبيرة تشوهات أساسية (تصدع) للأرض عبر مئات الكيلومترات والتي تدل على حجم الصخور التي منها انطلقت الانفعالات المرنة.

إذا كانت الإزاحة (انزلاق) شكل (2-14) في اتجاه أفقي فإن الإنزلاق يسمى إنزلاق متجه طبقى -strike dip، وإذا كانت الإزاحة رأسية أو شديدة الإنحدار فيسمى إزاحة مائلة dip-slip، وهناك فوالق تجمع بينهما.

وتصور الكسر والتفلق المفاجئ يكون مقبولاً عند تطبيق نظرية رد المرونة أو رجوع المرونة للهزات الضحلة. ونظرية الكسر القصي للتفلق تواجه صعوبات في تفسير ميكانيكية البؤرة للأحداث العميقة لأن الأعماق أسفل عشرات الكيلومترات تزيد فيها مقاومة الاحتكاك كبيراً لأي تزلزل احتكاكي جاف يحدث. ولتفسير ذلك يتطلب نظرية أخرى بأن ميكانيكية البؤرة في الحقيقة ما هي إلا تفلق ممكن حدوثه عند أعماق بواسطة وجود ضغط عالي لسوائل قليلة والتي تقلل مقاومة الاحتكاك للتزلزل بينما تترك الأجهاد القصي بدون تأثير. ومن هذه العلاقة لهذه النظرية ما هو ملاحظ لنشاط الزلازل الضحلة المحلية بعد الضغط العالي للسوائل التي تضخ في أبار الصرف، وهذا ما تفسره هذه النظرية في القشرة الأرضية حيث أكثر الصخور في الأجزاء الضحلة من القشرة

\*\* قيمته عددياً من 1-10

تحتوى مياه محبوسة وعلى أعماق ينطلق منها الماء بواسطة عمليات نزع الماء. وأيضا فى الستار فإن جزء الصهير من مادته ربما ينتج سوائل قليلة والتي تسلك كثيرا نفس الطريقة.



شكل (2-14): رسم كروكي يوضح رد مرونة ميكانيكية مصدر زلزال عند H.F. Reid (بعد بنيوف 1964, Benioff)

وما زالت مشاكل الميكانيكية الفيزيائية المسببة للزلازل المتوسطة العمق والعميقة بعيدة عن التفسير، ولكن إهمال عدم التأكيدات يقابله وجوب معرفة نماذج الإزاحة عند أى بؤرة زلزال. وهذه المعلومة ذات أهمية فى دراسة الحركات السيزمية.

### 8.3.2 ديناميكية الفالق والحركات السيزمية: Faulting Dynamics and Seismotectonics:

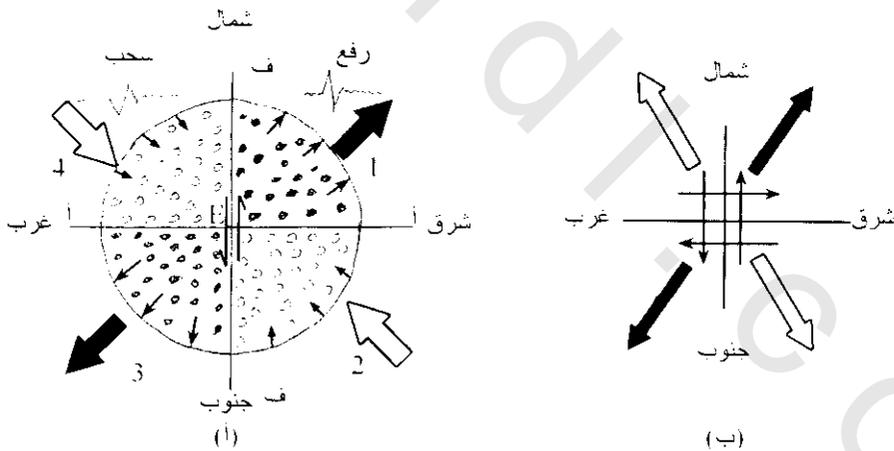
أكبر ظاهرة مصاحبة لأغلب الزلازل هى مستوى الفالق الذى عبره تتزحلق المواد المتجاورة. وفى عشرات السنين الحديثة نشرت طرق لتحديد اتجاه الفالق الذى سبب الزلزال وأيضا انزلاق هذا الفالق. وعادة فإن اتجاه الحركة الأولى للموجه الأولية المنتشرة من مركز الهزة تعطى معلومة عن ميكانيكية الهزة. فمثلا التوزيع السيزمى البادئ من نقطة مصدر نموذجى (مثل التى تنتج من الانفجارات الكيميائية والنووية) خلال إنتشارها فى وسط مرن متجانس فإنها تنتج ضغط متساوى (دفع) على المواد المحيطة فى جميع الإتجاهات. وفى هذه الحالة سيكون وصول أول موجه أوليه عبارة عن ضغط، وهذا يعنى أن إندفاع الجزيئات بعيدا عن المرصد فى جميع الأرباع أربع (شكل 2-15). وفى حالة ما يكون مصدر الموجات الأولية فالق فإن توزيع أول نبضات الموجه الأولية تختلف فى المربعات.

والطريقة العادية لدراسة نموذج الإزاحة عند مركز الهزة (البؤرة) هو ملاحظة الحركة الأولى لوصول نبضات الموجه الأولية  $P_w$  المسجلة على ورقة التسجيل (ومن الواضح أن الزلازل الصغيرة تسجل فقط عند

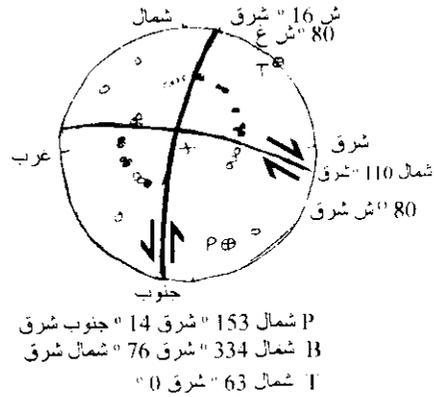
المحطات القريبة)، فإما أن تظهر النبضة الأولى عند كل محطة لـ  $P_w$  إما ضغط (دفع) وفي هذه الحالة يعطى للمحطة إشارة موجبة (+) أو تخلخل (سحب) وتعطى للمحطة في هذه الحالة إشارة سالبة (-) وعندئذ ترسم هذه الإشارات على خريطة. ويوضح شكل (2-15) حالة افتراضية لتوزيع الحركات الأولى المصاحبة لحركة انزلاق متجه طبقي (strike-slip) على طول مضرب فالق شمال-جنوب في المستوى الرأسى ف-ف؛ ويبين الشكل (15-2) أنه يمكن تقسيم توزيع الإشارات إلى أربع أرباع بحيث يكون توزيع الضغط والتخلخل متساوى ويلاحظ أنه يوجد أيضا مضرب انزلاق فالق في إتجاه شرق-غرب في مستوى إضافى أ-أ.

ولتحديد إتجاه أكبر إجهاد أفقى (MHS) Maximum horizontal stress فهناك اختيارين للحل أحدهما الجيولوجيا الإقليمية للمساعدة في تحديد هذا الإجهاد الأفقى والآخر باستخدام خرائط الخطوط السيزمية لتحديد مضرب الفالق.

ويوضح شكل (2-16) نموذج لهذا الحل لأن الشكل الإسقاطى فيه يفسر أن أول نبضة تضاغية في المربعين شرق شمال شرق، غرب جنوب غرب (ENE, WSW) والتخلخل في المربعين الآخرين وإتجاه مستوى الفالق من الشكل الذى يوضح توزيع الخطوط السيزمية هو جنوب جنوب غرب - شمال شمال شرق (NNE-SSW) وهذا يدل على أن الحركة غالبا أفقية ويسارية. وقد وجد أن إتجاه أكبر إجهاد أفقى (MHS) التقريبي كما حدد من دراسة الحركة الأولى هو تقريبا شمال غرب - جنوب شرق (NW-SE) والتي تتفق مع متوسط إتجاه محور الضغط التكتونى للمنطقة.



شكل (2-15): (أ) ازدواج مفرد لميكانيكية الفالق. تسجيل الحركة الأولى للموجة الأولية P-W توضح توزيع نموذج توزيع تريبيى متشابه في كل حالة. E = نقطة فوق البؤرة، ف - ف = أثر مستوى الفالق، أ - أ = أثر مستوى إضافى، = ضغط، = تخلخل، = تدل على إتجاه أكبر إجهاد أفقى. (ب) ازدواج مزدوج لميكانيكية الفالق



شكل (2-16): حل مستوى فائق لزلزال جنوب ألمانيا (يناير 22، 1970) (شدته = 5.3). وقد أمكن الحصول على حلين من تحليل أول وصول الموجة الأولية يدل تساوى المنحنى السيزمي (الخط الثقيل) على أن مستوى الفائق له اتجاه شمال شمال شرق-جنوب جنوب غرب + نقطة فوق البؤرة • ضغط ، • تمديد (تخلخل) (بعد Ahorner et al., 1972).

والهدف من دراسة القيمة الأساسية للحركة الأولى هو تحديد اتجاه ونوع الحركة المصاحبة للزلزال وتوزيع محاور الإجهادات الأساسية في المنطقة التكتونية. وهذه التقنية أمدت بقوة أداها في علم الزلازل لكسب معلومات قيمة عن النشاط التكتوني الحالي للقشرة الأرضية.

### 9.3.2 التركيب الداخلي للأرض كما استنتج من الدلائل الزلزالية

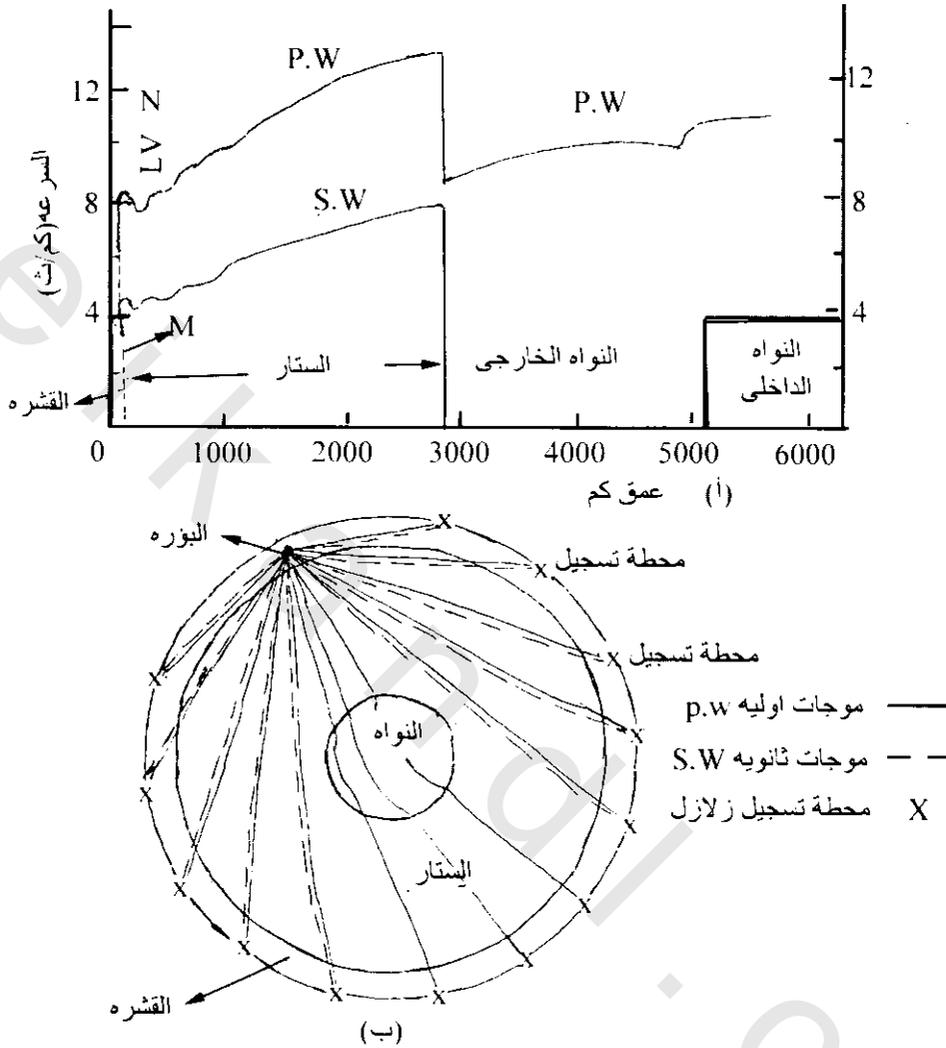
#### The Earth's Internal Structure as Deduced from Earthquake Evidence:

يوضح شكل (2-17): (أ) منحنى نتائج فترات الزمن لكلا من الموجة الأولية  $P_w$ ، والموجة الثانوية  $S_w$  لأعماق مختلفة للأرض ويلاحظ من هذا الشكل أن أول وأكبر عدم استمرارية للموجات تدل بين القشرة والستار (عدم استمرارية Moho discontinuity) وقد وجد أن سمك القشرة يتراوح من 6-35 كم تحت أرضيه المحيطات. وأيضا يلاحظ أن أكبر عدم استمرارية للموجات عند عمق 2900 كم ويحدث عندها انخفاض كبير للسرعة الأولية  $P_w$  من 13.7 كم/ث إلى حوالي 8 كم/ث وبينما تقل السرعة الثانوية من 7.2 كم/ث إلى الصفر وهذا يمثل الحد بين الستار ونواة الأرض (Gutenberg-Wiechert discontinuity). وفي داخل نواة الأرض تبدأ الموجة الأولية  $P_w$  في الإزدياد ولا يوجد تسجيل للموجة الثانوية  $S_w$  على المنحنى في هذه المنطقة مما يدل على أن نواة الأرض مادة سائلة. ويوضح شكل 17 مسار الموجات الأولية والثانوية داخل الكرة الأرضية تبعا لنتائج منحنى فترة الزمن ويلاحظ في هذا الشكل أن بعض المراصد على سطح الكرة الأرضية سجل  $P_w$ ،  $S_w$  وبعضها سجل فقط  $P_w$  وهي المحطات التي حجبت فيها نواة الأرض للموجات العرضية  $S_w$  عنها، وهذا يوضح أن نواة الأرض مادة سائلة حيث من المعروف أن الموجات العرضية لا تنتشر في المادة السائلة.

### 10.3.2 منطقة الظل Shadow zone:

تظهر هذه المنطقة نتيجة الإنخفاض الحاد في السرعة الأولية عند حد النواة - الستار ونتيجة لدخول أشعة الموجة الأولية للقلب فإنها تنتشر بعيدا عن الحد مسببة ظل في المنطقة بين 103°-142° من الزلزال. شكل (2-18) وربما لا تكون منطقة ظل كاملة ومن ملاحظة وصول الموجة الأولية الضعيفة في منطقة الظل ما بين

تزيد بكميات ملحوظة وهذه الزيادة في السرعة الأولية تشير إلى صلابة القلب الداخلي والتي من الممكن أن تمر فيها الموجه الثانوية كما هو موضح في شكل (2-17).

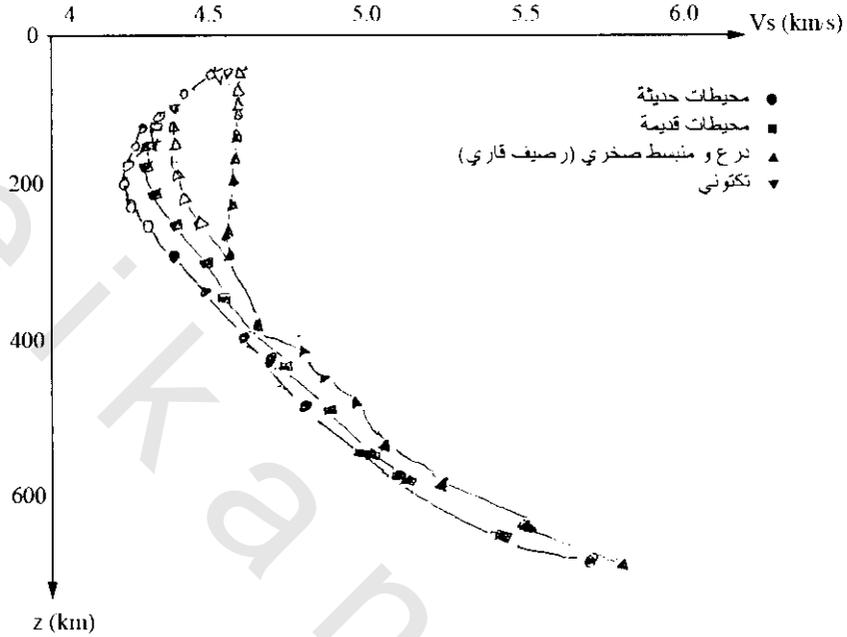


شكل (2-17): نموذج مقترح للعلاقة بين إنتشار السرعة-العمق في الأرض M عدم استمرار موهو، LVZ منطقة انخفاض سرعة (بعد أندرسون وهارت 1976 Anderson and Hart) نموذج توزيع السرعات الأولية والثانوية على سطح الأرض وداخلها.

وعلى أساس توزيع السرعة مع العمق قسم بولن (Bullen 1963) الأرض إلى سبعة أغلفة بحدود يحدث عندها انخفاض مفاجئ للسرعة أو التدرج السري. وعدلت هذه التقسيمات لأعماق عدم الاستمرارية ومناطق انتقال وأغلب النماذج التركيبية للأرض تشمل على منطقة السرعة المنخفضة The low-velocity zone في أعلى الستار.



ويوضح شكل (20-2) أربع أنواع من توزيع الموجات السطحية حصل عليها من دراسات إنتشرت لموجات رالي وتظهر (م ع خ، LVZ) بأحسن نمو تحت المحيطات الحديثة والمناطق التكتونية، وعلى العكس فإن منطقة الأقل نمو تكون تحت الدروع ومناطق الأرصفة القارية حيث تكون السرعة عالية. هذه النتائج تدل على الإختلاف الأساسي في تركيب السرعة السطحية تحت الدروع والمناطق التكتونية الحديثة.



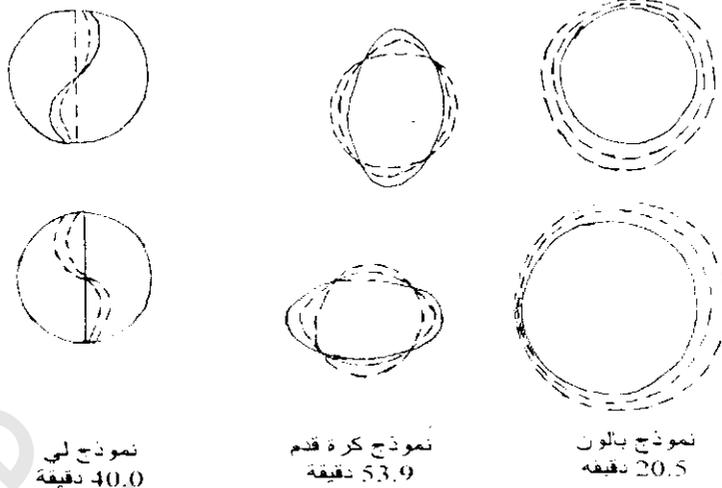
شكل (20-2): نموذج لأربع سرعات سطحية للجزء العلوي من الستار من تشتت موجات رالي Ragleigh. تشير العلامات الخالية إلى ملاءمة خفيفة. وتظهر (م ع ن) بنمو جيد في الجميع ماعدا الدرع والرصيف القاري (بعد ليفيكي، Leveque، 1980)

وهناك دراسات كثيرة ذكرت الإختلاف الإقليمي في السرعة السطحية وإمتداد العمق لمنطقة السرعة المنخفضة (م ع خ)، واقترحت أيضا هذه الدراسات أن (م ع خ) تمتد من 70-300 كم تحت أغلب المحيطات والمناطق القارية.

وفي الجيوتكتونية الحديثة فإن الجزء العلوي للأرض الشامل على القشرة والجزء العلوي من الستار يطلق عليه الليثوسفير Lithosphere وسمكه يتراوح بين 60-100 كم ويقع فوق (م ع خ) ويمتاز الليثوسفير بأن الموجات السيزمية تكون عالية السرعة وكافية الإنتشار فيه. وحيث أظهرت التجارب المعملية أن الموجات السيزمية تقل وتمتص في خليط الصلب والسائل، وأيضا ذكر حديثا أن منطقة السرعة المنخفضة (م ع خ) عبارة عن منطقة جزئيا صهيرية من المحتمل (1-10%)، وإذا كانت هذه حقيقة فإن (م ع خ) تأخذ مكانها من الأهمية في الديناميكا الأرضية حيث يبرهن الجزء المادي المنصهر من (م ع خ) بأنه وسط نموذجي لتزلق الليثوسفير عليه. وحديثا فإن منطقة السرعة المنخفضة (م ع خ) بالإستينوسفير Asthenosphere ونسبيا هي طبقة لينة ونصف لدنة والتي يعتقد أنها حزام ناقل للألواح الليثوسفيرية.

### 12.3.2 الإهتزاز الحر للأرض :Free Oscillation of the Earth

جاءت دلائل كثيرة لوجود مناطق السرعة المنخفضة (م ع خ) من نتائج الإهتزاز للأرض. وحيث أن الأرض جسم مرن لذلك فإنها تخضع للإهتزاز الطبيعي بواسطة الهزات الكبيرة (شكل 2-21).



شكل (2-21): حركات سطحية وفتراتها لثلاث نماذج لإهتزازات حرة للأرض (معدلة من برس وسيفر 1978 Press and Siever) فقد لوحظ من زلزال كالين Chilean الكبير والعنيف في 22 مايو 1906 تذبذب الأجزاء الداخلية للأرض وحدثت دقات مثل الجرس واستمرت هذه الدقات لمدة حوالي شهر وسجلت بواسطة أجهزة التسجيل الحساسة عند مرصد مختلفة. ويمكن استنتاج مرونة طبقات الأرض من تسجيلات الذبذبات التابعة للزلازل الكبيرة مع حسابات رياضية معملية عديدة. وتشمل الطريقة مقارنة الفترات المراقبة مع التي تحسب لأساليب مختلفة مختارة لنماذج أرضية. ويحدد النموذج الأرضي بواسطة الاختلاف الإشعاعي للكثافة والسرعة السيزمية والتي يمكن استنتاجها الخطى. وتنتج هذه الطريقة توافق قريب مع الفترات الملاحظة لكل النماذج (أساليب) والنتائج التي حصل عليها. كما أنها ترى أن مناطق السرعة المنخفضة (م ع خ LVZ) تحتاج إلى حسابات (تقارير) المراقبة فترة إهتزاز طويلة (أندرسون وهارت 1976 Andreson and Hart). وقد وجدت هزات حرة بواسطة الزلازل الكبيرة واستمرت لعدة أيام ولكن سعتها تقل لأن الأرض ليست كليا جسم مرن. ويعطى تخميد الهز الحر براهين نافعة عن عدم مرونة الأجزاء العميقة من الأرض.

### 13.3.2 التضخم وتوقع الزلزال Dilatancy and Earthquake Prediction:

أصبح التوقع أو التنبأ بالزلازل من أهم اهتمامات علماء الأرض وعامة الناس والهيئات الإجتماعية والأكاديمية المشاركة في حل هذه المشكلة ذات رعاية هامة في بعض الأقطار التي تعاني من الزلازل المدمرة مثل اليابان والولايات المتحدة الأمريكية، روسيا، الصين، الهند وأقطار أخرى. وتحت برامج قومية مختلفة عن التنبأ بالزلازل دراسات عظيمة وصلت لعدة إشارات مشجعة والتي دلت على بلوغ الهدف. وأول نجاح عالمي للتنبأ بالزلازل الكبير بعدة ساعات قبل حدوثه تم بواسطة العلماء الصينيين في 4 فبراير 1975 وكان زلزال هايشنغ Haichang في شمال شرق الصين. والعناصر الآتية التي تشارك للوصول لهذا التنبأ هي:

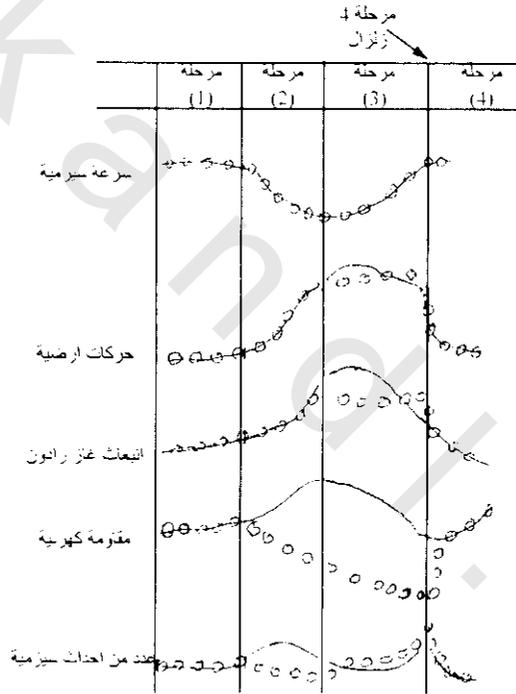
#### 1.13.3.2 النموذج التضخمي Dilatancy Models:

أظهرت نتائج التجارب المعملية أن ضغط الإجهاد في عينات الصخور إلى حوالي نصف قيمة إجهاد الكسر حيث تبدأ الشقوق الصغيرة في الظهور مسببة زيادة محلية في حجم المسام وتنمو الشقوق الصغيرة كزيادة للإجهاد، عندئذ تندمج هذه الشقوق لتكون واحدا أو أكثر لأساس كسور كبيرة في مرحلة كسر نهائي. وزيادة عدم

المرونة في الحجم الناتج للكسور الكبيرة تسمى التضخم. وعندما تصبح الصخور متضخمة فإنه يحدث تغيرات لقياسات فيزيائية أخرى في المناطق المتأثرة مثال ذلك تغيرات في السرعة السيزمية والمقاومة الكهربائية وإنسياب المياه وإنبعاث غاز الرادون. وقد افترض نموذجين أساسيين يصاحبان التغيرات الفيزيائية السالفة الذكر المؤثرة للتضخم وهذين النموذجين الأساسيين هما الإبتلال والجفاف:

### 1.1.13.3.2 نموذج البل: موضوع على أساس نظرية إنتشار السوائل في الفراغات وتبعاً لهذه النظرية فإن

السرعة في وسط التضخم الجاف منخفضة عن الوسط المشبع بالماء ، يوضح شكل (2-22) في المرحلة (2) وسط نمو شقوق التضخم وسط تحت تشبع وتقلل السرعة السيزمية وهذا التأثير يظهر في السرعات الأولية  $P_w$  أكثر من السرعات الثانوية  $S_w$  وتنقص النسبة  $V_p/V_s$  من 1% - 20% من القيمة العادية وكذلك يتوقع ارتفاعها وميلها وفي هذه المرحلة (2) أيضاً ينساب الماء خلال فتحات شقوق جديدة مؤثرة على معدل إنبعاث الرادون. وكذلك تقل المقاومة الكهربائية للصخور (والتي تعتمد عكسياً على كمية الإلكتروليت الموجود في الفراغات) اعتبارياً بسبب دخول الماء في منطقة التضخم من المناطق حولها.



شكل (2-22): تغيرات في معاملات فيزيائية بواسطة نموذج إنتشار تضخم. الدوائر المفتوحة: نشرت بواسطة شولز وآخرين (1973) Scholz et al. الخط المستمر: نموذج لتقلب التضخم ماجكن وآخرين (1975) Mjachkin et al.

وكنتيجة لدخول الماء وزيادة ضغط الفراغات فإن الموجه الأولية  $P_w$  تزداد سرعتها (المرحلة 3) وتستعيد قيمتها العادية مرة أخرى. وبزيادة ضغط الفراغات فإن الصخور تتشبع وتضعف إلى نقطة تزيد فيها عدد الزلازل الصغيرة (الخطبات السابقة (الهزات) ويليهها بعد ذلك بقليل الهزه الأساسية. وباسترداد السرعة الأولية  $V_{pw}$  (أو نسبة  $\frac{V_{pw}}{V_{sw}}$ ) فإن نشاط الزلازل الصغيرة تزيد في المناطق المحلية وتعتبر هذه دلالة على التوقعات بفترة قصيرة للزلازل الكبير.

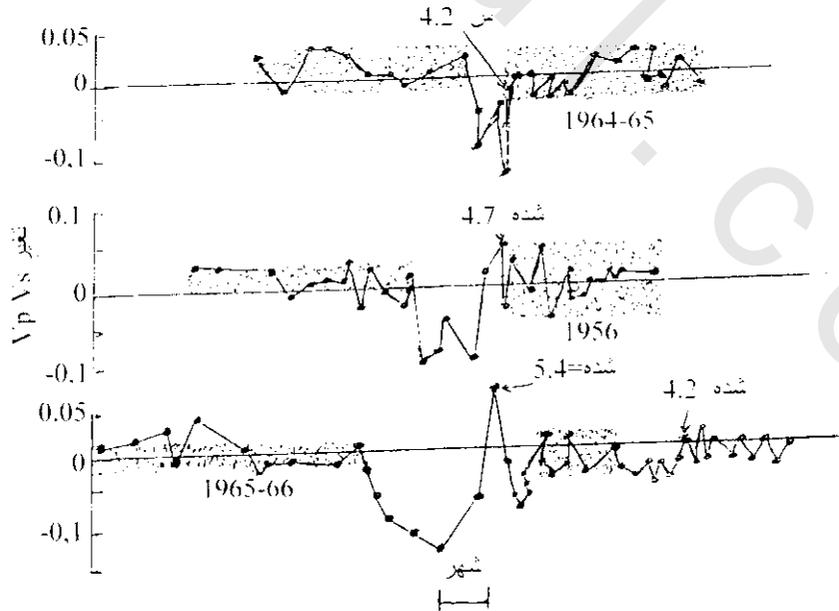
وقد وجد أن علاقة الوقت المنذر (مرحلتى 2 & 3) قريبة لقيمة الزلزال، فمثلا بالنسبة للزلازل الكبيرة ذات قيمة 7.6 ريختر فإن وقت الإنذار لتغير  $V_{pw}/V_{sw}$  ربما يمتد لعدة أعوام.

**2.1.13.3.2 النموذج الجاف:** وفيه نمو التضخم يلعب قاعدة أساسيه – لكن إنتشار الماء غير مطلوب – فبالنسبة للصخور الجافة فإن المقاومة الكهربية تقل فى المرحلة 2 من الشكل 22. ونهايا يحدث الشق عندما تتضخم الشقوق والإجهاد المصاحب لها يشير إلى التركيز فى منطقة محدده. والتضخم الذى يحدث مرة فى مساحة واسعة خلال المرحلة 2 من الشكل 22 يقل فى المرحلة 3، حيث  $V_{pw}$  النهائية تعود إلى قيمتها العادية. ويتميز النموذج بتضخم قوى جدا فى بداية الشق المجاور مباشرة كما فى المرحلة 3 من الشكل (2-2). وهذا النموذج الملاحظ يدل على أن منطقة التضخم تكون واسعة أكثر من منطقة المركز.

### 2.13.3.2 الإنذار السيزمى Seismic Precursors:

تعتمد هذه الظاهرة على الدراسة الواسعة للتغير الزمنى فى السرعة السيزمية الأولية  $V_{pw}$  أو فى النسبية بين السرعة السيزمية الأولية  $V_{pw}$  والسرعة السيزمية الثانوية  $(V_p/V_s)V_{sw}$  وبين شكل (2-23) أمثلة لتغير نسبة السرعة  $V_p/V_s$  لعدة زلازل قليلة فى بعض مناطق من الإتحاد السوفيتى. وعندما تقل النسبة من 10-15% يلاحظ إنطلاقات قصيرة وصغيرة قبل حدوث الزلزال. وعندما يكون هناك أكبر قيمة لانخفاض هذه النسبة فهذا يدل على حدوث زلزال وشيك. وسجلت هذه الملاحظة بواسطة العاملين فى هذا المجال من الأمريكان واليابانيين والصينيين وتوقع أجروال وآخرين (Aggarwal et al.) 1975 بنجاح لزلزال فى منطقة بالولايات المتحدة، وذلك على أساس ملاحظة الهبوط المفاجئ لنسبة  $V_p/V_s$  من 1.73 إلى حوالى 1.5 عبر اليومين السابقين حيث حدث التوقع فى 1 أغسطس بزلزال قيمته تتراوح ما بين 2.5 و 3 ريختر والذى سوف يحدث فى أيام قليلة مقبله وحدث فعلا زلزال بقيمة 2.6 فى 3 أغسطس.

وعلى عكس المثال السابق للزلزال المصاحب لنسبة الملاحظة لشذوذ  $V_p/V_s$  فإنه لم يحدث تغير مهم فى نسبة  $V_p/V_s$  قبل حدوث الزلزال الكبير فى منطقة فالق سان أندروز فى كاليفورنيا.

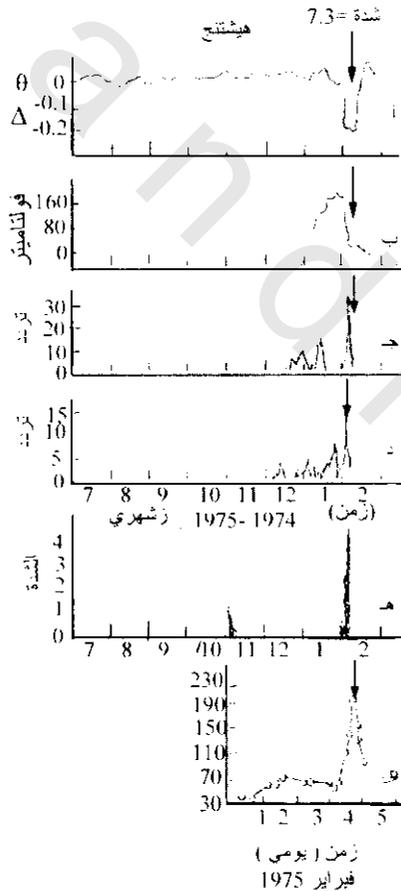


شكل (2-23): تغير فى نسبة السرعة السيزمية  $V_p/V_s$  السابقة لبعض الزلازل فى منطقة جاوم بالإتحاد السوفيتى (بعد ستمينوف (Semyenov, 1969)

أما مراقبة السرعة السيزمية الناتجة من تفجيرات المحاجر في مناطق متنوعة لاترى أى شذوذ لـ  $V_p$  فى هذه المساحات حيث يحدث الزلزال أخيراً، مع العلم أن التغير الزمنى لهذه السرعات السيزمية لا يكون دليل على الإنذار.

وقد دلت أبحاث نماذج الإنذار السيزمى وكثير من التقارير الواصفة لشدة النشاط الإنذارى لزلزال صغيرة فى أو حول منطقة المصدر المستقبلية، وكذلك التفسيرات السابقة والتجارب المعملية الإمكانية بأن نمو التشققات الصغيرة فى عينات صخور الاختبار ربما تودى للمكسر الرئيسى محدثةً الزلزال الرئيسى. ويوضح شكل (24-2) تتابع الهزات السابقة والفترات القصيرة لشذوذ أخرى ملاحظة فى منطقة هيشنغ Haichang بشمال الصين قبل حدوث الهزة الأساسية.

ويلاحظ فى هذا الشكل زيادة العلامات السيزمية المحلية خلال اليوم السابق وتبعث بسكون قصير فى النشاط لعدة ساعات قبل حدوث زلزال ذات قيمة 7.3. وهذه الظاهرة للهدوء القصير قبل الهزة الرئيسية قد لوحظت فى عدد من الحالات واعتبرت من الأهمية فى إستنتاج نموذج توقع اقترح بواسطة (تالوان Talawan). ومن المؤكد سهولة معرفة الإنذار السابق للهزة إذا كانت المنطقة المعنية لها نشاط طويل كما فى حالة زلزال هيشنغ Haicheng. وفى منطقة الضجيج المتردده بواسطة التزاحم الزلزالي المميزة لها، فهناك أحداث أخرى عامة من الصعوبة معرفتها قبل الهزات.



شكل (24-2): شاذات فترة قصيرة ملاحظة قبل زلزال هيشنغ فى 4 فبراير 1975. (أ) ميل أرضى ، (ب) فرق جهد كهربى، (ج) سلوك شاذ غير عاديه، (د) تغير مستوى الماء الجوفى، (هـ) هزات، (و) محتوى غاز الرادون فى العيون الحارة. بعد زهانج وفيو (Zhang and Fu 1981) نشر توقع هنا الزلزال بواسطة علماء صينيون بعدة ساعات قبل حدوثه.

في عام 1982 صنع ركتاك Rikitake قائمة تشمل الإنذارات الزلزالية للمناطق السيزمية والغير سيزمية وذلك لأزمنة متغيرة ومناطق متغيرة للعالم. ومع هذا فإن إستمرار التوضيح لإنذارات متغيرة مازالت غير كاملة وبالرغم من ذلك فإنه في بعض الحالات تكون الإشارات واضحة وكافية لإصدار إنذارات في الوقت الملائم.

### 3.13.3.2 الزلازل المستحثه Induced Earthquakes:

هناك عدة زلازل تحدث طبيعيا ولكن حدوثها ناتج من نشاط إنساني مثل الزلازل الناشئة من:

(I) حقن السوائل في الآبار العميقة.

(II) بناء السدود الكبيرة المكونة للخزانات العظيمة.

(III) تفجيرات المناجم العميقة.

(IV) التفجيرات النووية تحت الأرض.

### 1.3.13.3.2 الزلزلة المستحثه بواسطة حقن السوائل Seismicity Induced by Fluid Injection:

يعطينا التاريخ حالتين مسئولتين عن تواجد نتائج تتعلق بزلازل مستحثه بواسطة حقن السوائل:

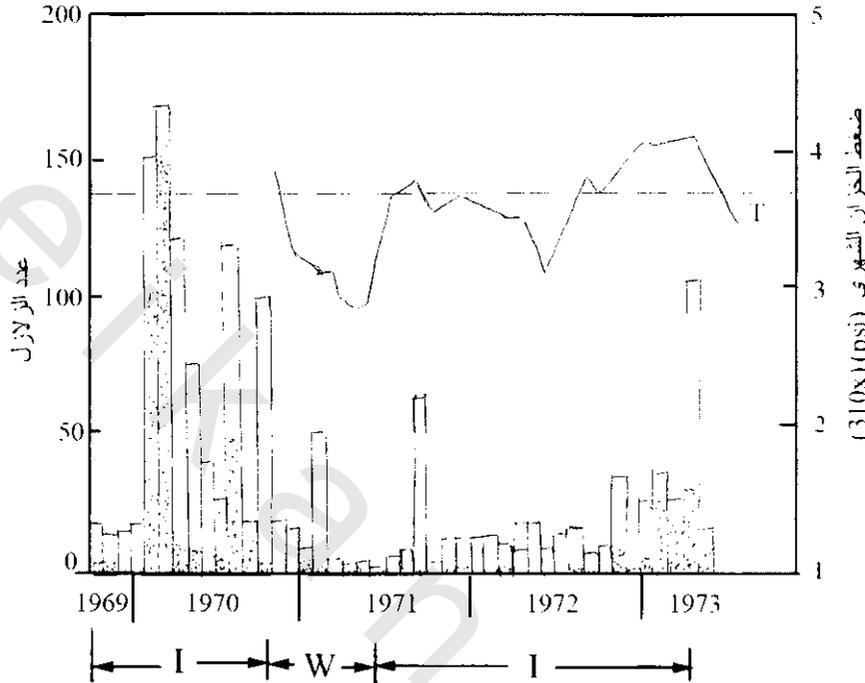
الأولى حقن نفاية الماء في بئر تصريف ذا عمق 3800 متر وبحجم ماء محقن حوالى  $4 \times 10^2$  م<sup>3</sup> كل شهر بصخور جبال روكي بالقرب من دنفر بكلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية أدت إلى نشاط سيزمي استمر على هزات ذات قيمة فيما بين أو تزيد عن 5 ريختر. وبرغم وقف الحقن تماما في سبتمبر 69 فإن أحداث الزلازل استمرت لعدة سنوات. واقترح ايفنز (Evans 1966) نظرية بأن الاحتكاك عند سطح التصدع لقشرة الأرض تقل بزيادة ضغط الفراغات محدثة ارتفاع للانزلاق.

الثانية ويوضح شكل 2-25 التردد الشهري لزلازل صغيرة ووقبت بواسطة ١٤ جهاز تسجيل زلازل موضوعة عبر حقل زيت ويتغير هذا التردد بحقن أو سحب الماء عند بئر التجربة على عمق حوالى 2 كم. ومن الواضح أن الزلازل تشير للحدوث عندما يزيد ضغط الدق (الإدخال) عن قيمة البدء بحوالى 250 رطل وعلى هذه الملاحظات وضع (ولاس Wallace 1974) البحث عن التحكم والتخفيف من خطورة الزلازل.

### 2.3.13.3.2 الزلزلة المستحثه للخزانات Reservoir-Induced Seismicity:

من خلال عشرات الأحداث المعروفة بالموسطه والكبيرة زلزاليا تبين أن هناك علاقة بينها وبين ملاء المياه في الخزانات الصناعية والزلازل المستحثه من هذه الخزانات تبدو بأن لها علاقة بالسدود المرتفعة أكثر من 100 م، وبنيت هذه الحالات على أن ارتفاع السد يكون أكثر دليل لمخاطر الزلازل من حجم الماء. ومن أكبر التقارير الدالة لهذه الأحداث زلزال كونيا Konya في الهند حيث بلغت قدرته 6.4 ريختر حيث كان ارتفاع السد 103 م. ويقع هذا السد وخزانه في درع بننسولار Peninsular المستقر وقد ملئ خزانه بالماء وباعتبار المنطقة مستقرة سيزميا فمن عام 1963 بدأت الرجفات أصبحت أكثر تردد إلى أن حدث الزلزال الكبير عام 1967. وبالمثل فإن الزلازل المستحثه المصاحبة للخزانات حدثت لسد هوفر بالولايات المتحدة الأمريكية، سد مونتبونارد بفرنسا، سد كاريبيا بروديسيا، سد هسفنكيانج بالصين، سد كرىماستا باليونان وأخرى. وبالعكس فهناك سدود ارتفاعها

من 115-220 متر لم تحدث زلازل مستحثة منها مثل سد أسوان بمصر وأمنياى جونسون بكندا، وبالرغم من دراسات متنوعة كثيرة للخرانات المستحثة سيزميا فإنها تحتاج لفهم أحسن للعمليات. ويظهر أن الخزان سوف ينتج نشاط سيزمى فقط إذا كانت المنطقة المجاورة بها تشققات كبيرة وإجهاد أصلى (داخلى) يكون كافي تقريبا ليسبب انزلاق على التشققات.

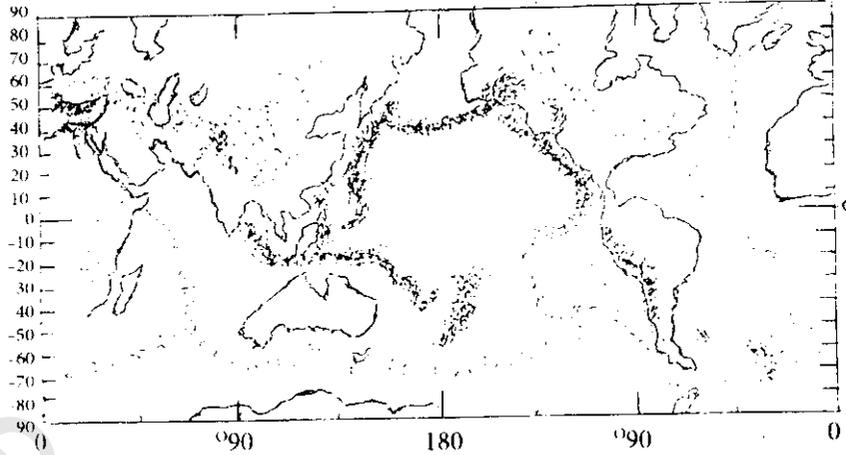


شكل (25-2): التغير الشهرى لعدد الزلازل مع حقن وسحب السوائل بحقل زيت رانجلى Ranglely، غرب كلورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. --- تدلان على ضغط مدخل الخزان المطلوب بخلق زلزال، I، فترات حقن وسحب السائل تبعاً (بعد ولاس Wallace 1974 وأعيدت من ركتاك Rikitake 1976).

### 14.3.2 السيزمية والتكتونوسيزميه (الرجفة والتكتونيرجفية) : Seismicity and Seismotectonics

#### الرجفة (السيزمية) الكروية Global Seismicity

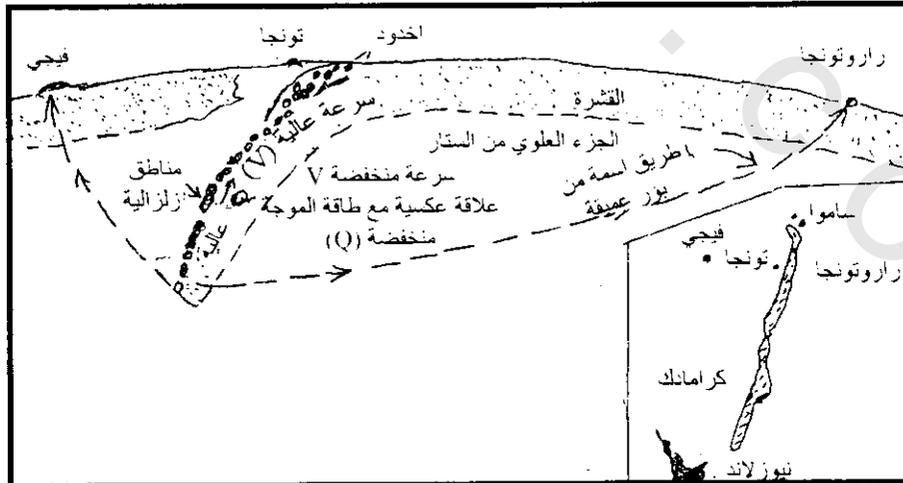
يستخدم تعريف الرجفة (السيزمية) لوصف جغرافية الزلازل خاصة توزيعها، ترددها، وعلاقة طاقتها مع الظواهر السطحية. ويوضح شكل 26-2 توزيع النقط فوق المركز عبر العالم. ومن الشكل يتضح أن مناطق الزلازل حول العالم ليست عشوائيه التوزيع ولكنها مصفوفة فى نماذج تشبه الأحزمة. ويحتوى محيط أقواس جزر حزام المحيط الهادى على حوالى 80% من الزلازل الضحلة (عمق البؤرة اقل من 70 كم)، 90% من الزلازل المتوسطة (عمق البؤرة من 70-300 كم) وأيضاً على زلازل عميقة (عمق البؤرة أكبر من 300 كم)، وأغلب الزلازل الباقية الكبيرة تحدث فى حزام البيد (Alpide belt) الممتد من أزورد (Azores) خلال أوروبا وآسيا ليصل مع محيط حزام المحيط الهادى فى جوانا الجديدة (New Guina). وبالإضافة لهاتين المنطقتين الكبيرتين فأهم حزام لزلازل ذات بؤر صغيرة الضحالة يتبع نظام قمة جافة محيطية ممتدة على طول نظام الأخدود شرق أفريقيا. وأحداث عديدة صغيرة تحدث فى أماكن أخرى ولكن إنبعث طاقتها تكون غير هامة.



شكل (2-26): توزيع عالمي لتوزيع زلزالي لنقط فوق البويرة من 1967-961 كما نشرتها مساحة الشواطئ والجيوديسين الأمريكيين (برازنجي ودورمان 1969 Barazangi and Dorman)

ولوحظ تردد هزات ضحلة بجوار البراكين وبعض منها (وليس جميعها) تصاحب الانفجارات البركانية. وتبعاً للتصور الحديث لحركة الألواح (Plate tectonic) فإن الأحزمة الزلزالية تحيط تقريباً حدود الألواح الصلبة للقشرة والتي تتحرك بسهولة على مواد الجزء العلوي للستار ذات اللبونة والحرارة. وما زال هناك مجادلة لميكانيكية حركة الألواح بالرغم من النماذج الكثيرة لبعض أشكال تيارات الحمل في الجزء العلوي للستار ونشاط بويرة الزلازل العميقة على طول منطقة الميل (منطقة بينيف Benioff zone) والتي تشترك للدفع السفلي للوح القشرة العميق إلى الستار.

وتنتج الزلازل الضحلة عندما تصطدم ألواح القشرة كل ضد الآخر أو عندما تنزلق نسبياً كل على الآخر. ومن جهة أخرى عندما تهبط ألواح القشرة إلى الستار فإنها تعطي زلازل عميقة. شكل (2-27) يوضح مثالاً لزلزال في منطقة تونجا Tonga، ويشير أن البور تزيد في العمق غرب قوس الجزيرة إلى أن يصل العمق إلى 600 كم، وكذلك يفرض توزيع البورات فإن منطقة الزلازل تكون مائلة بمقدار تقريبي 145° أسفل إتجاه الجانب القاري للقوس.



شكل (2-27): مستوى مائل لبور زلزالية (النقط السوداء) تحت جزيرة تونجو. وأكبر عمق يصل إلى 600 كم. وأثر القشرة السفلى موضوع على الأماكن المحلية لبور الزلازل. والنطاقات لانتشار الموجات الزلزالية المميزة بسرعة عالية (V) والعلاقة العكسية لطاقة الموجه (Q) (أولفر 1982 Olver).

**4.2 الطرق السيزمية للتنقيب :Seismic Methods of Prospecting****1.4.2 مقدمة Introduction**

تعتبر الطرق السيزمية من أحسن الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة لغرض الإستكشاف وأكثرها مباشرة لإستنتاج التركيبات التحت سطحية حيث أنها عند الإستخدام تعطى أقل غموض للنتائج.

أساس هذه الطرق هو قياس الفترات الزمنية لموجات صناعية مرنة. وهذه الموجات تخرج من تفجيرات أو سقوط أوزان عند أو قرب السطح والتي تسير فى جميع الإتجاهات عن المصدر وتوضع كشافات ( Detectors, Geophones, seismometers) حساسة على السطح عند مواضع مختلفة وبمسافات من نقطة التفجير لتلتقط الموجات السيزمية. وتغذى هذه الموجات السيزمية إلى مرسمة ذبذبات أو سلوجراف والتي تسجل حركة الأرض على شريط فوتوغرافى والذي يرى لحظات الهزه. ويستخدم هذا الشريط لتحديد زمن الوصول من نقطة التفجير إلى الكشافات. والزمن يكون دالة لطبيعة الصخور المخترقة، سرعة الموجه خلال الصخور وعدم تواجد الإستمراريه فى السرعة أو الكثافة تشير إلى إنعكاس أو إنكسار الموجه السيزمية تحت السطح.

وتعطى النتائج السيزمية والتي تم الحصول عليها معلومات أكثر أو أقل تحديدا، فعدم الإستمرارية المعينة للخواص الليثولوجية للتكوينات الصخرية وخواص سرعة الموجات تؤدي لمعرفة الأعماق.

**2.4.2 تعريفات Definition****1.2.4.2 القيم المقاسة Quantities Measured**

القيم التى تقاس فى السيزمولوجيه التطبيقية هى التغير فى الزمن والمسافة (من نقطة التفجير إلى الكشافات) بالإضافة إلى خواص التردد وسرعة الموجات. وتستعمل الكميتين الأخرتين فى الطرق الكمية لمقارنة الأحداث فى أجهزة التسجيلات المختلفة.

**2.2.4.2 الكميات المحسوبة Computed Quantities**

وهذه الكميات هى: (i) السرعة، (ii) عمق الإختراق، (iii) مسار الموجه. وتعتمد هذه الكميات على ثوابت أو خواص المرونة للأوساط الجيولوجيه التى خلالها تسير الموجات. ومعرفة هذه الكميات الثلاثة تؤدي إلى تحديد توزيع ووضع الوحدات الجيولوجيه التحت أرضية. ثم يتم تفسير هذه الوحدات الجيولوجيه لتركيبات جيولوجيه أو تواجد خواص مميزة من الأوساط المحيطة بواسطة التباين لخواص مرونتها.

**3.2.4.2 وظائف الأجهزة السيزمية Function of Seismic Apparatus**

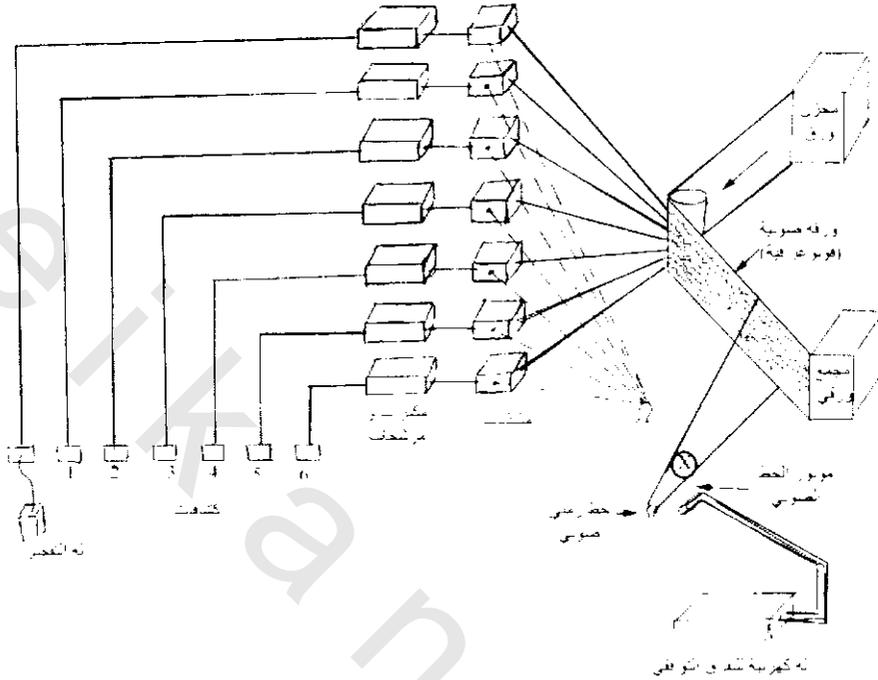
الغرض الأساسى من الأجهزة السيزمية والأعمال الحقلية هو تحديد فترات الزمن من مصدر الانفجار إلى الكشافات بدقة سواء للموجات المنكسرة أو المنعكسة كما يوضح الرسم التخطيطى شكل (2-28) والذي يتكون من:

1- التفجير Explosion: يولد الموجه المرنة.

2- الكشافات Detectors, Geophones, Seismometers: المسنولة عن تسجيل نتيجة حركة الأرض.

3- نظام المكبرات والمرشحات والمسجلات Amplifiers, Filters and Recorders: تعمل كمسجل ثابت لمركبات معينة من إستجابة الكشافات.

4- نظام التوقيت Timing System: لمقياس الزمن بين لحظة التفجير وإستجابة الكشاف.



شكل (28-2): رسم تخطيطي لوظائف العناصر الأساسية لأجهزة سيموجراف حثلي

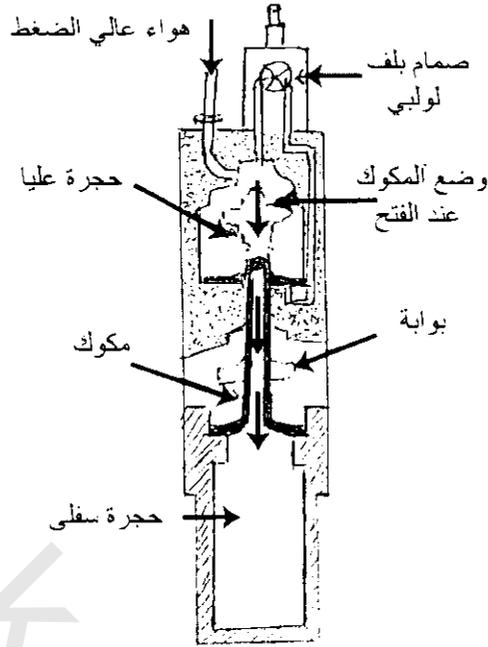
#### 1.3.2.4.2 التفجير:

في التفجير السيزمي عادة يوضع المفجر (الديناميت) في ثقب على بعد تحت سطح الأرض ويغطي بكمية من الطين أو الطفلة. ويتغير وزن الشحنة تبعاً لغرض البحث والظروف الملائمة، فالشحنة الأقل من  $\Omega$  كجم ديناميت سوف تعطي إنعكاس لعمق يتراوح من 3-5 كم، وعلى العموم فإن هناك علاقة بين العمق وكمية الديناميت المستعملة وهذه العلاقة ممثلة بالمعادلة الآتية:

$$\text{العمق} = 3.8 \times \text{الوزن}^{1/3}$$

ويفجر الديناميت كهربياً بواسطة ماكينة تفجير. وهناك طرق أخرى لتوليد الموجه السيزمي مثل:

- إسقاط أوزان.
- الذبذبة الميكانيكية.
- بندقية الهواء شكل (29-2) وهي عبارة عن مفجر عالي لضغط الهواء بواسطة الكهرباء أو شرارة غازية. وتعمل كمصدر تفجير تحت الماء.
- بندقية الغاز (تفجير لمخلوط غاز البروبان مع الأوكسجين) وتعمل كمصدر تفجير تحت الماء.

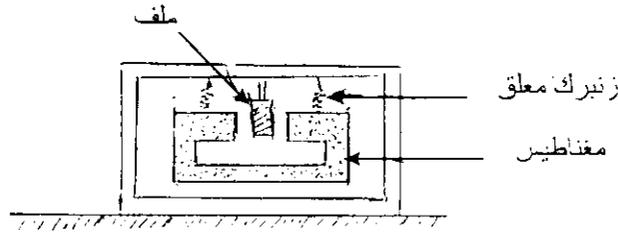


شكل (2-29): رسم تخطيطي لقطاع عرضي لبندقية الهواء

#### 2.3.2.4.2 الكشافات السيزمية Seismic Detectors:

يشار للسماعات الأرضية geophones ككشافات detectors أو مقياس سيزمي seismometer والذي يحول ذبذبات الأرض إلى إشارات كهربيه وبالنسبة للاستكشاف البترولى فإن الكشافات تكون حساسة فقط لذبذبات ما بين 5-100 دورة لكل ثانية لطريقة الإنكسار وما بين 10-150 دورة لكل ثانية لطريقة الإنعكاس. وفي كلتا الحالتين فإن السماعات تكون مسنولة فقط. عن المركبة الرأسية للهزة الأرضية. ويوضح شكل (2-30) أبسط أنواع السماعات (النوع الكهرومغناطيسى) ويتكون من ملف ثابت ومغناطيسى متحرك وفيه يتصل الملف بصندوق الجهاز الذى يتحرك مع الأرض بينما المغناطيسى يمثل كعنصر عزم قصور ذاتى. ويوجد أنواع أخرى مثل نوع الممانعة المغناطيسية، نوع السعة (القدرة) ونوع الضغط. وفي حالة المسح السيزمي البحرى فيستخدم ما يسمى بالهيدروفون hydrophone، وهو عبارة عن سيزمومتر ضغطى حساس، ويعلق فى الماء بواسطة عائم بلاستيك.

جميع أنواع السماعات لها إدراك للإخماد أو الكبت لحركة الذبذبات الناتجة فى الجهاز بواسطة حركة نبضات الأرض، ويتحكم فى درجة الإخماد بواسطة قيمة المقاومة المتصلة عبر النهايات.



شكل (2-30): رسم تخطيطى لسماعة أرضية كهرومغناطيسية (المغناطيسى هو عنصر القصور الذاتى والصندوق يتحرك مع الأرض)

**3.3.2.4.2 التسجيل المغناطيسي Magnetic Recording :**

كان التطور العظيم في الأجهزة السيزمية (المرجفية) هو إستعمال الشريط المغناطيسي magnetic tape بدلا من الفيلم الفوتوغرافي كمسجل للأوساط، ويحل الجلفانومتر محل رؤوس التسجيل لكل مرسوم. وإختلاف الخروج للكشافات (الجيوفونات) ممكن تسجيله تبعا للإختلاف في شدة مغناطيسية الشريط (تسجيل مشابه). وبالتعاقب يمكن تعيين الجهد الخارج كفترات منتظمة (مثلا 2 ميلي ثانية) وتتحول بواسطة محول رقمي إلى مجموعة من الأعداد والتي تنسخ على شريط مغناطيسي رقمي (مسجل رقمي). ومن أكبر المميزات للشريط المغناطيسي هو السماح لتسجيل نطاقات ذبذبات متسعة والذي فيه يحتاج لقطع الموجات السطحية ذات التردد المنخفض. ولتخزين أكثر المعلومات في مثل هذه التسجيلات فإنه يستخدم كثير من المرشحات السيزموجرافية التقليدية. وإذا رغب في قطع (إزالة) ترددات أخرى فإنه يمكن إرجاع الشريط بمرشح ملائم وتسجل النتيجة على شريط ورقي. كذلك يمكن مزج مخارج الجيوفونات (الكشافات) المختلفة مع بعضها في إرجاع الشريط في أى تجمع مرغوب فيه. ومن الممكن أثناء التراجع play back بإدخال تصحيحات التجويه والإرتفاع لكل إستدلال trace بواسطة وحدة دخول منفصلة وباستعمال آلات معينة فإن معالجة النتائج ترتب أوتوماتيكي. وتتطور تسجيل الشريط المغناطيسي والمعالجة الأوتوماتيكية فإنه يمكن القول بأن التسجيل الضوئي لا يقدم النتائج بالدقة والسرعة المطلوبة ماعدا إستخدامه في الإنكسار السيزمي. وربما يكون العمل النهائي لتفسير نتائج التسجيل الإنكساري دائما يشابه النتائج المأخوذة من التسجيل الضوئي بعد معالجة هذه النتائج.

**4.3.2.4.2 المكبرات والمرشحات Amplifiers and Filters :**

يجب إستخدام المكبرات الإلكترونية كمرحلة متوسطة بين الإكتشاف والتسجيل ربما تكون هذه مقاومة ممانعة أو أنواع من محولات مزدوجة ولأن الذبذبة تكون في مستوى حركة الأرض فإن الفولتات الناتجة والتي ربما تغطي مدى من 20000 : 1 في السعة وبالرغم من أن التسجيل الأوسلوجرافي يستطيع فقط تحليل الإختلاف لرتبة من 10 : 1، لهذا يجب إضافة متغيرات للنظام.

وفي الحقيقة فإن جميع الدوائر تشمل على سلسلة من المرشحات للتحكم في خواص التردد لنظام التسجيل. ومن المرغوب فيه عامة استثناء الترددات المنخفضة لكي تمنع الدرجة الأرضية (مركبات الحركة الأفقية) والتشويش لأنواع أخرى من تدخلها مع الإنعكاس.

**5.3.2.4.2 نظام التوقيت The Timing System :**

يمكن قياس زمن الأحداث بدقة على التسجيلات السيزمية بواسطة تصوير تراكبات لخطوط رأسية على خطوط أثرية معلومة أو لفترات زمنية بين هذه الخطوط التي تتراوح من 0.01 إلى 0.05 ثانية، والمعايرة الدقيقة لموافة (ضبط) التشتت تحكم بواسطة المذبذب الذي ينظم ضبط سرعة دوران قرص الموتور ذا الفتحات الضيقة التي تسمح بتحديد شعاع الضوء الخارجى من خلالها على فترات ملائمة للكاميرا. ويعتبر هذا النظام متوافق حيث يوجد خط تقيل لكل 0.1 ثانية لسهولة القراءة.

#### 6.3.2.4.2 الحاسبات الآلية للتحكم فى التسجيل: Computers for Controlling in Recording

فى السنوات الحديثة أصبح من الشائع باضطراد وجود حاسبات آليه فى عربة التسجيل لمعالجة متطلبات كثيرة فى إكتساب المعطيات والتي كانت تتم سابقا بواسطة ملاحظة الحقل. فاختبارات تلك الموضوعات كاستمرارية التوصيلات لكل مجموعة جيوفونات (Geophones) على السطح، يمكن تأديتها أوتوماتيكيا بواسطة الحاسب الآلى، والذي يمكنه أيضا أن يرشد العامل خلال المراحل المتعددة فى تجهيز الحقل الإبتدائي. وأيضا يمكن بواسطة الحاسب الآلى ترتيب العمليات وتتبعها أوتوماتيكيا حتى يتم تغييرها بواسطة الملاحظ. ويتم مراقبة عناصر التسجيل بمساعدة وحدة العرض المرئية.

#### 4.4.2 أنواع التنقيب السيزمى : Types of Seismic Prospecting

يوجد طريقتين تستخدم فى هذا المجال هما التسجيل الإنعكاسى والإنكسارى. ففى طريقة الإنعكاس تكون المسافة بين التفجير والكشافات أقل من سمك الطبقة المراد تخريطها، وفى طريقة الإنكسار فإن هذه المسافة تكون أكبر من سمك الطبقة المراد تخريطها.

#### 1.4.4.2 الطريقة السيزمية الإنكسارية : The Seismic Refraction Method

من أول الطرق المستعملة فى التنقيب السيزمى وهذه الطريقة تكون ملائمة خاصة للإستكشاف فى المناطق التى يكون فيها التركيب الجيولوجى له تضاريس كبيرة حيث يوجد على الأقل وجود طبقة ذات سرعة عالية يعلوها تركيب ذا سرعة منخفضة. واستخدمت هذه الطريقة على مقياس صغير بنجاح فى المسح الهندسى لتحديد عمق صخور الأساس لمنشآت هندسية مثل ركائز السدود والكبارى. وهى من أنجح الطرق للكشف عن المياه الجوفية.

من أكثر المفاهيم الهامة لتفسير هذه الطريقة هى الإستفادة من قوانين البصريات والصوتيات الهندسية حيث حركة مستوى تقدم الموجه السيزمية والأرض. وفتراتها فى الأرض تتبع نفس القوانين المستخدمة فى إنتشار أشعة الضوء للمستويات المتوازية. وذلك باعتبار أن تقدم مستوى الموجه كإنتشارها بسرعة  $V_0$  فى وسط ذا خواص مرونة محدد بواسطة مستوى سطحى يسمى الفاصل ويكون الجانب الآخر لهذا الفاصل وسط آخر ذا خواص مختلفة المرونة وتنتشر فيه الموجه بسرعة  $V_1$ .

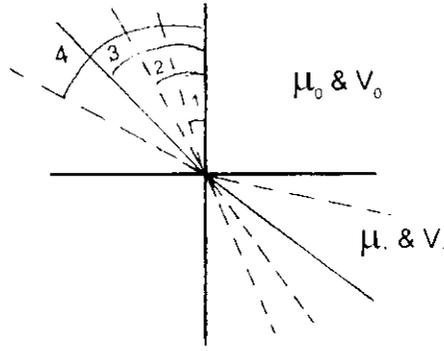
#### 1.1.4.4.2 مسارات الموجه السيزمية الإنكسارية والعلاقة بين الزمن والمسافة لطبقات أفقية

##### Waves Paths of Seismic Refraction and Time-Distance Relation for Horizontal Layers:

يعبر عن الطاقة التى تمر عبر الحد الفاصل إلى الوسط الثانى بالإنكسار، حيث أن تغير خواص المرونة (السرعة) تسبب حيود لطريقة الأشعة والتي تعتمد على:

- الخواص النسبية لخواص المرونة للوسطين المنفصلين بواسطة سطح الإنكسار.
- كمية زاوية السقوط الزاوية بين الأشعة الساقطة والعمودى على سطح الإنكسار كما شكل (2-31).

وبزيادة زاوية السقوط  $(1, 2, 3, 4)$  من وسط أقل كثافة إلى أكبر كثافة ستكون هناك زيادة لزاوية الإنكسار إلى أن تصل زاوية السقوط لقيمة تسمى الزاوية الحرجة والتي عندها تكون طاقة أشعة الإنكسار تسير على طول حد الإنكسار. وربما يكون حد الإنكسار بين أى وسطين أفقيا أو مانلا.



شكل (31-2):

من شكل (31-2) وتطبيق قوانين هندسة البصريات والصوتيات، فإن معامل الإنكسار للوسط الأول  $\mu_0$  والذي خلاله تخترق الموجه مكونه عدة زوايا سقوط على سطح الإنكسار يكون دائما ثابتا. ومعامل الإنكسار للوسط الثاني  $\mu_1$  والسرعة في الوسط الأول  $V_0$  والثاني  $V_1$ ، زاوية السقوط في الوسط الأول،  $i_0$  زاوية الإنكسار في الوسط الثاني فتتبع لقانون سنل Snell فإن

$$\mu_0 \sin i_0 = \mu_1 \sin i_1$$

$$\text{وحيث } \frac{1}{V} = \mu \text{ فإن}$$

$$\frac{\sin i_0}{V_0} = \frac{\sin i_1}{V_1}$$

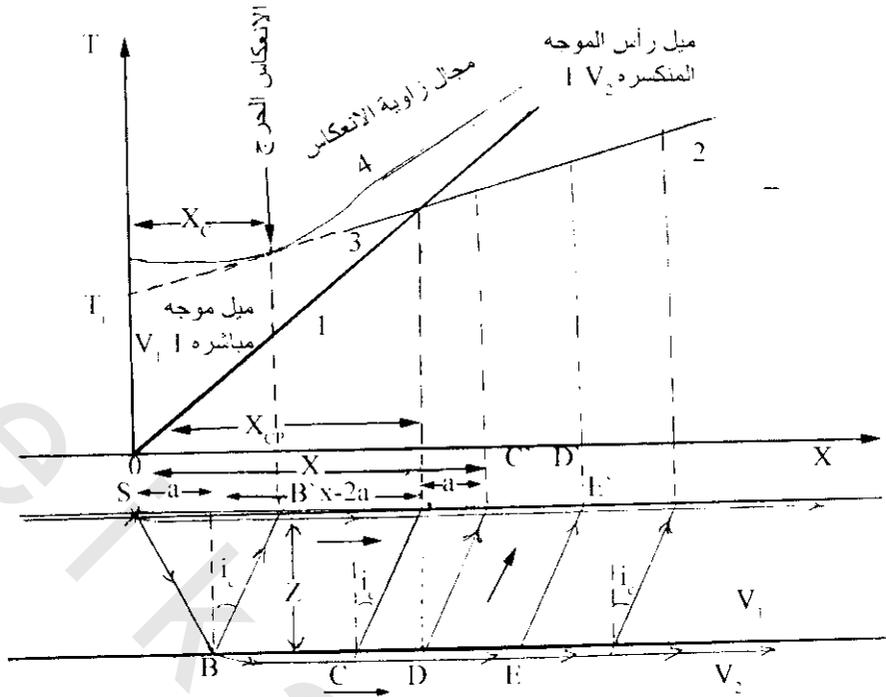
وعندما تساوى زاوية السقوط الزاوية الحرجة أى  $i_1 = i_0$  والزاوية الحرجة هى زاوية سقوط يقابلها زاوية إنكسار مقدارها  $90^\circ$

$$\therefore \frac{\sin i_0}{V_0} = \frac{\sin 90}{V_1} = \frac{1}{V_1}$$

$$\therefore \sin i_0 = \frac{V_1}{V_0}$$

#### 2.1.4.4.2 تخريط الفواصل الأفقية Mapping of Horizontal Interfaces

باعتبار أيسر حالة لذلك وهى طبقتين بسرعات  $V_2$  &  $V_1$  حيث  $V_1 < V_2$  مفصولين بواسطة سطح فاصل على عمق شكل (32-2) وعندما يحدث انفجار عند S تتحرك الطاقة فى جميع الاتجاهات. وتصطدم الموجه الساقطة SB بالسطح الفاصل عند الزاوية الحرجة  $i_0$  منكسرة على طول السطح الفاصل وعندما تسير هذه الموجه المنكسرة على طول السطح الفاصل بسرعة  $V_2$  للطبقة السفلى فإنها ترسل جزء من طاقتها كموجة إلى الطبقة التى تعلوها بزاوية إنشاق تساوى زاوية السقوط  $i_0$ . ويوجد عدد لانهاى من هذه الموجات المنبعثة من الحد الفاصل مثل (BB', CC', DD', إلخ) وأول هذه الموجات التى تسير على طول BB' هى موجة حرجة منعكس (هذه الموجه من أولية الإهتمام فى مجال زوايا الإنعكاس). ويمكن إيجاد قيمة السرعة (تشير لنوع الطبقات) وعمق الطبقة التى تسير فيها الموجات (تعطى صورة عن التركيب الجيولوجى التحت سطحى) بثلاثة طرق:



شكل (2-32): أساس طريقة السيزمية الإنكسارية، ويوضح الرسم منحنيات فترات الزمن مباشرة، موجات حرجة منكسرة (رؤوس موجات)، وأخيرا يرى وصول الموجات المنكسرة والمنعكسة بالأعداد 4,3,2,1 على التوالي، ويلاحظ أن الموجات المنكسرة الحرجة يبدأ وصولها بعد المسافة الحرجة  $X_c$  ولكنها تدرك الموجه المباشرة عنها تقدير المسافة  $X_c$ .

#### 1.2.1.4.4.2 الطريقة العامة:

فترة الزمن لمسافة الشعاع الموجي المنكسر SBDD'

$$T = T_{SB} + T_{BD} + T_{DD'}$$

$$\text{وحيث أن الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

$$\therefore T = \frac{SB}{V_1} + \frac{BD}{V_2} + \frac{DD'}{V_1}$$

$$\text{وحيث أن } SB = DD'$$

$$= \frac{2SB}{V_1} + \frac{BD}{V_2}$$

$$\text{وحيث أن}$$

$$Z = SB \cos i_c$$

$$\& BD = X \hat{n} 2a \& a = z \tan i_c$$

$$\& BD = X 2 \tan i_c$$

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{2}{V_1} \frac{Z}{\cos i_c} + \frac{x - 2z \tan i_c}{V_2} \\ &= \frac{X}{V_2} + \frac{2z}{V_1 \cos i_c} - \frac{2z \sin i_c}{V_2 \cos i_c} \end{aligned} \quad (2-18)$$

وحيث أن

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{V_1}{\sin i_c} \text{ (قانون سنل)} \\ \therefore T &= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z}{V_1 \cos i_c} - \frac{2Z \sin^2 i_c}{V_1 \cos i_c} \\ &= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z(1 - \sin^2 i_c)}{V_1 \cos i_c} \\ &= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z \cos^2 i_c}{V_1 \cos i_c} \\ T &= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z \cos i_c}{V_1} \end{aligned} \quad (2-19)$$

وحيث أن

$$\begin{aligned} \sin i_c &= \frac{V_1}{V_2} \\ \therefore \cos i_c &= \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2} \\ \therefore T &= \frac{X}{V_2} + 2Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \end{aligned} \quad (2-20)$$

وحيث أن X قيمة معلومة وهي المسافة ما بين نقطة التفجير والتسجيل T الزمن المقاس (الفرق بين زمن الانفجار والتسجيل) وحيث أن من خصائص المنحنى (منحنى فترات الزمن - منحنى الزمن والمسافة) أن مقلوب الميل لكل قطعة يساوى السرعة.

∴ من المعادلة السابقة يمكن حساب Z عمق الطبقة العلوية ذات السرعة  $V_1$

#### 2.2.1.4.4.2 طريقة الزمن المقطوع Time Intercept:

$$T = T_i, \text{ فإن } 0 = X$$

حيث  $T_i$  هي الزمن المقطوع، ويمكن إيجاده من تقاطع امتداد القطعة الثانية من المنحنى مع المحور الصادي (محور الزمن وفي هذه الحالة تصبح المعادلة (2-19))

$$T_i = 2Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2-21)$$

وبمعرفة  $T_i$  والسرعات يمكن إيجاد Z

3.2.1.4.4.2 المسافة (X<sub>co</sub>) Over Cross Distance:

هي نقطة تقاطع القطعتين على المحور السيني وتسمى المسافة بين هذا المسقط ونقطة الأصل بالمسافة الحرجة. وهذه تعني أن الموجه المباشرة التي تسير على طول الطبقة العلوية ذات السرعة  $V_1$  والموجه التي تنكسر على طول الحد الفاصل يصل إلى المسجل في نفس الزمن، أي من المعادلة

$$\frac{C_{co}}{V_1} = \frac{X_{co}}{V_2} + 2Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co} \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = 2Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co} \frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} = 2Z \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co} (V_2 - V_1) = 2Z \sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}$$

$$X_{co} = \frac{2Z}{(V_2 - V_1)} \sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}$$

$$= 2Z \frac{\sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}}{\sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 - V_1)}}$$

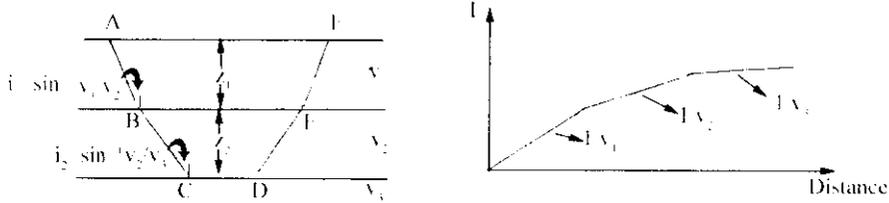
$$X_{co} = 2Z \sqrt{\frac{(V_2 + V_1)}{(V_2 - V_1)}} \quad (2-22)$$

وبتحديد  $X_{co}$  والسرعات من شكل 34 يمكن إيجاد Z.

ويمكن أن تمتد طريقة تفسير الطبقتين السابقة إلى عدد من الطبقات لسرعات  $V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$  طالما  $V_{n+1} > V_n$  فمثلا حالة طبقتين فسوف يوجد ثلاث قطع على منحنى الزمن\*. والمسافة شكل (2-33) ويمكن تحديد السرعات  $V_1, V_2, V_3$  من هذه القطع (السرعة مقلوب ميل القطع). ويمكن تحديد أعماق فواصل الإنكسارات (تمثل عمق الطبقات)  $Z_1$  &  $Z_2$  من تقاطع القطعة الثانية والثالثة مع المحور الصادي (محور الزمن) حيث تمثل هذه التقاطعات الأزمنة المقطوعة  $Ti_{(1)}, Ti_{(2)}$  وبتطبيق قانون زمن التقاطع يمكن تحديد الأعماق (المعادلة رقم 2-21) والقانون العام لذلك هو

$$Ti_{(n)} = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Z_i \sqrt{V_n^2 - V_i^2}}{V_i V_n} \quad (2-23)$$

\* ملحوظة هامة: عدد قطع المنحنى يزيد واحد عن عدد الطبقات

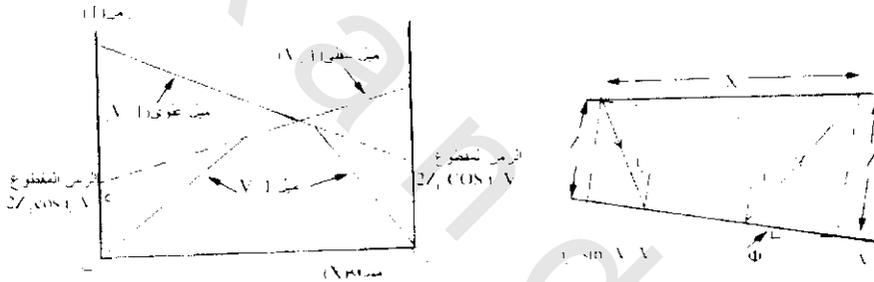


شكل (33-2):

### 3.1.4.4.2 تخريط الخطوط الفاصلة المائلة (طبقات مائلة)

#### Mapping of Dipping Interfaces (Dipping Beds):

لمعرفة الطبقات أفقية أو مائلة فإنه يتبادل وضع نقط التفجير مع آخر كاشف على البروفيل فإن كان رسم العلاقة للزمن والمسافة المتبادلين متساوي الميل للقطع فإن الطبقة تكون أفقية. أما إذا كان الميل غير متساوي فإن الطبقة تكون مائلة، أي الحد الفاصل بين السرعتين  $V_2$ ,  $V_1$  يكون مائلا، ويمكن تحديد زاوية ميل الحد الفاصل للطبقة الإنكسارية من نتائج منحنى العلاقة بين الزمن والمسافة كما في شكل (34-2).



شكل (34-2): رسم خطى يوضح إنكسار حرج على طول خط فاصل بميل بزواوية  $\phi$ ، وكلا المجموعتين العلاقة بين الزمن والمسافة تبعا للميل العلوى والسفلى على طول خط الانفجار والانفجار العكسى أب (دبرون 1960 Dobrine).

يوضح الشكل (34-2) حالة إنكسار فيها الحد الفاصل بين طبقتين بميل بزواوية  $\phi$  مع الأفقى. ويعطى الانفجار والانفجار العكسى على طول البروفيل أب علاقة بين الزمن والمسافة لطرفى البروفيل، حيث يعطى الميل العكسى للقطعة الأولى لكلا الحالتين سرعة الطبقة العليا  $V_1$ ، وعلى العكس فإن عكس ميل القطعة الثانية يختلف فى كلتا الحالتين معطيا عكس ميل ظاهرى علوى وسفلى  $V_u$ ,  $V_d$  والذى يرتبط بعلاقة مع  $V_2$  للطبقة الثانية تبعا للمعادلة

$$V_d = V_1 / \sin(i_c + \phi) = V_2 \sin i_c / \sin(i_c + \phi) \quad (2-24b)$$

$$V_u = V_1 / \sin(i_c - \phi) = V_2 \sin i_c / \sin(i_c - \phi) \quad (2-24b)$$

حيث

$$i_c = \sin^{-1} V_1 / V_2$$

وبحل المعادلتين نحصل على

$$\phi = \frac{1}{2} (\sin^{-1} V_1/V_d \mp \sin^{-1} V_1/V_u) \quad (2-25)$$

$$\& \quad i_c = \frac{1}{2} (\sin^{-1} V_1/V_d + \sin^{-1} V_1/V_u) \quad (2-26)$$

من المعادلة (2-25) يمكن حساب الميل مباشرة، ويكون الميل المستنتج في اتجاه خط (التفجير - الكاشف أب). وبوضع بروفييل عمودي على بروفييل شكل (2-34) واتباع الخطوات السابقة، من هذا يمكن حساب الميل الكلى لمنطقة الدراسة واتجاهه وكذلك مضربه.

وبتحديد  $i_c$  من المعادلة (2-26) يمكن الحصول على قيمة  $V_2$  من العلاقة  $V_2 = V_1/V_2$ . وكذلك يمكن الحصول العمق في طرفي البروفيل من علاقة الزمن المقطوع

$$Z_u = \frac{V_1 T_{int.(u)}}{2 \cos i_c} \quad (2-27)$$

$$Z_d = \frac{V_1 T_{int.(d)}}{2 \cos i_c} \quad (2-28)$$

#### 4.1.4.4.2 تأثير الزيادة المنتظمة للسرعة مع العمق

##### Effect of Uniform Increase of Velocity with Depth:

من أهم دلالات المسح الإنكساري في أحواض الترسيب هو استمرار زيادة السرعة مع العمق، حيث تأثير العمق على السرعة متوقع بشكل كبير للصخور الحديثة والتي ربما ما تزال معرضة لزيادة الإنضغاط بينما الصخور القديمة والتي تعرضت لطول التاريخ للحركات الرأسية والإنضغاط لها سرعات كبيرة لاتعتمد على العمق الحاضر للدفن. والمعدل العام لزيادة السرعة مع العمق وجد في التتابع الرسوبي بمعدل حوالى 0.3 إلى 1 م/ث لكل متر.

وهناك احتمال لوجود مشاكل في دراسة إنكسار الموجه في القطاع الجيولوجى الذى فيه تزيد السرعة باستمرار مع العمق شكل (2-35) وهذه المشاكل تحدث بسبب إنحناء طريق الأشعة للموجه المنكسرة وللزيادة المنتظمة للسرعة مع العمق لذلك فإن أكبر عمق للاختراق يعبر عنه بواسطة المعادلة الآتية

$$V = V_0 + KZ \quad (2-29)$$

حيث  $V$  = السرعة عند العمق  $Z$

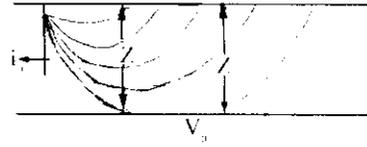
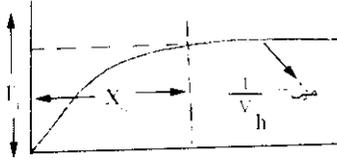
$V_0$  = السرعة عند العمق صفر أى فوق نقطة التفجير

$K$  = ثابت

تطبق هذه المعادلة لتمثل تغير السرعة في الأحواض الرسوبية. وأكبر عمق للاختراق يعبر عنه بواسطة المعادلة الآتية

$$Z_{max} = \sqrt{(X/2)^2 + (V_0/K)^2} - V_0/K \quad (2-30)$$

حيث  $X$  المسافة بين نقطة التفجير والتسجيل، (مجموعة القيم النموذجية لـ  $V_0$  &  $K$  هى 2400 م/ث & 0.5 م/ث لكل متر تباعاً).



شكل (2-35): طرق موجيه ومنحنى الزمن - المسافة لقطاع رسوبي ، حيث تزيد السرعة خطيا مع العمق ، لطبقة تعلو سرعة عالية (نيتلتون 1940 Nettelton)

#### 5.1.4.4.2 زمن التأخير The Delay Time

تبعاً لنيتلتون Nettelton فإن الزمن المتأخر لأي قطعة من خط سير الأشعة يحدد كزمن مضاف للموجه المركبه الأفقيه لهذه القطعة عند السرعة العالية التي تصل بواسطة خط السير. من شكل (2-36) فإن زمن التأخير للقطعة (ab) من طريق الموجه يكون الفرق بين الزمن المطلوب لتسير هذه القطعة بسرعة  $V_1$  والزمن المطلوب لتسير المسافة (S) بسرعة  $V_2$  ويسمى هذا زمن تأخير  $D_{12}$  حيث يدل على (1) تعريف طبقة التأخير، (2) تشير إلى الطبقة التي فيها يضاف زمن التأخير للحصول على الزمن الكلي لمسار الأشعة

$$\begin{aligned} \therefore D_{12} &= \frac{l(ab)}{V_1} - \frac{S}{V_2} \\ &= \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \tan i}{V_2} \\ &= \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \sin i}{V_2 \cos i} \end{aligned} \quad (2-31)$$

$$\text{وحيث } \sin i = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{إذا} \quad V_2 = \frac{V_1}{\sin i}$$

$$\begin{aligned} \therefore D_{12} &= \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \sin^2 i}{V_1 \cos i} \\ &= \frac{Z}{V_1 \cos i} (1 - \sin^2 i) \\ &= \frac{Z}{V_1 \cos i} \cos^2 i = Z \cos i \\ &= \frac{Z \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \end{aligned} \quad (2-32)$$

ولهذا فإن الأعماق عند كل من  $D_1^*$  و  $D_2^*$  يمكن تحديدها إذا أمكن فصل الزمن المقطوع إلى مركبات زمن التأخير (في حالة ميل سطح الإنكسار). إذا كان سطح الإنكسار أفقياً فإن قيمة زمن التأخير لكل منهما يساوي نصف الزمن المقطوع.

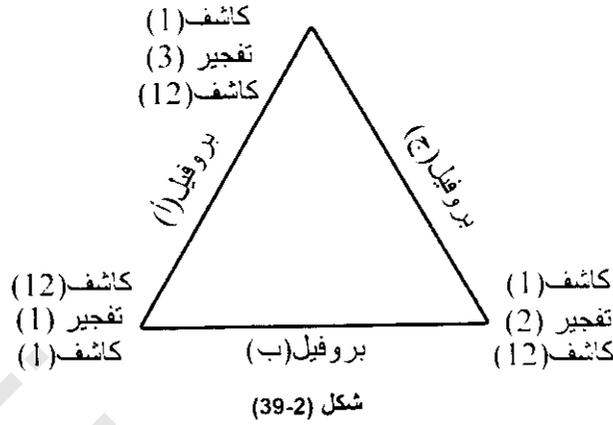
\*  $D_1$  = العمق عند نقطة التسجيل

\*\*  $D_2$  = العمق عند نقطة التفجير



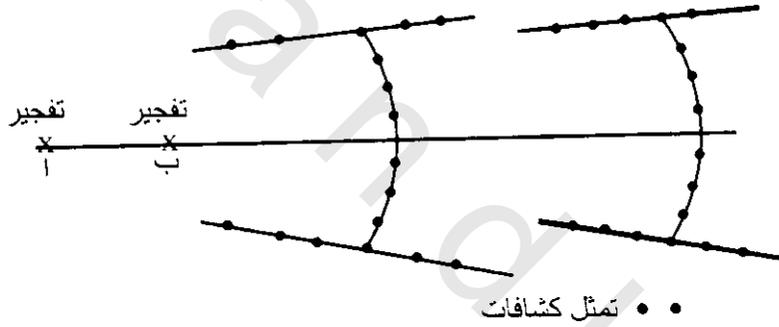
iii- التفجير المثلثي Triangle Shooting :

كما هو موضح في شكل (39-2)



iv- التفجير القوس Arc Shooting :

كما هو موضح في شكل (40-2).



شكل (40-2)

7.1.4.4.2 تطبيقات طريقة الانكسار Application of the Refraction Method :

1.7.1.4.4.2 تخريط الفوالق Mapping of Faults :

1.1.7.1.4.4.2 طبقة ذات سرعة عالية High velocity bed :

إذا أثر الفالق على طبقة ذات سرعة عالية (الطبقة السفلى) وكسرت كما في شكل (41-2) وفي هذه الحالة يتكون منحنى الزمن-المسافة من ثلاثة أجزاء:

1- الجزء السفلي  $X_n$  وتكون قطعته ذات ميل  $\frac{1}{V_1}$  وتمثل سطح موجة الانتقال.

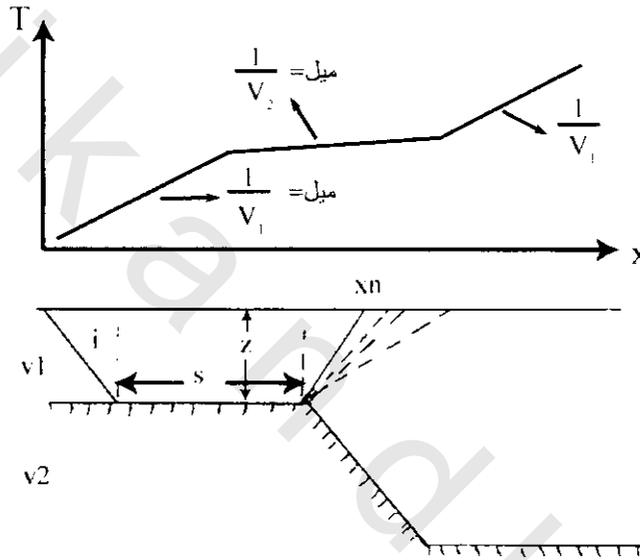
2- الجزء الآخر والذي خلاله تتبع الأشعة نفس الطريقة كما في حالة الطبقة العادية ويكون ميل قطعته  $\frac{1}{V_2}$ .

3- خلف  $X_n$  سوف تصل الإشعاعات إلى السطح بواسطة خطوط واضحة منقطة، وبدل ذلك على أنه عند المسافات الكبيرة تتحول هذه الإشعاعات إلى فرق زمن تبعا لـ  $V_2$ . إذ خلف  $X_n$  فإن ميل المنحنى سوف يزيد تدريجيا إلى  $\frac{1}{V_1}$  ويكون الزمن على هذا الجزء من المنحنى كالتالى

$$T = \frac{Z_1 \cos i}{V_1} + \frac{S}{V_2} + \frac{\sqrt{(X-S)^2 + Z_1^2}}{V_1} \quad (2-33)$$

حيث  $S$  المسافة إلى أثر الفالق ويمكن حسابها بتحديد  $X_n$  لأن

$$S = X_n \tilde{n} X_1 \tan i \quad (2-34)$$



شكل (41-2):

#### 2.1.7.1.4.4.2 رمية فالق سفلى Downthrow fault:

إذا كانت الطبقة ذات السرعة العالية تحت طبقة ذات سرعة منخفضة متصدعة رأسيًا بعمق  $Z_2$  فإنه من بروفيل الإنكسار المتعامد على مضرب الفالق يمكن إكتشاف الفالق وحساب رميته  $Z_2$  كما هو موضح فى شكل (42-2) حيث يوجد إزاحة فى قطعة فترة الزمن التابعة للسرعة العالية  $V_2$ ، فإذا كانت فترة الزمن  $\Delta T$  موجبة لرمية الفالق السفلية حيث رمية الفالق ( $Z_1 \gg Z_2$ ) فإنه يمكن حسابها من المعادلات الآتية:

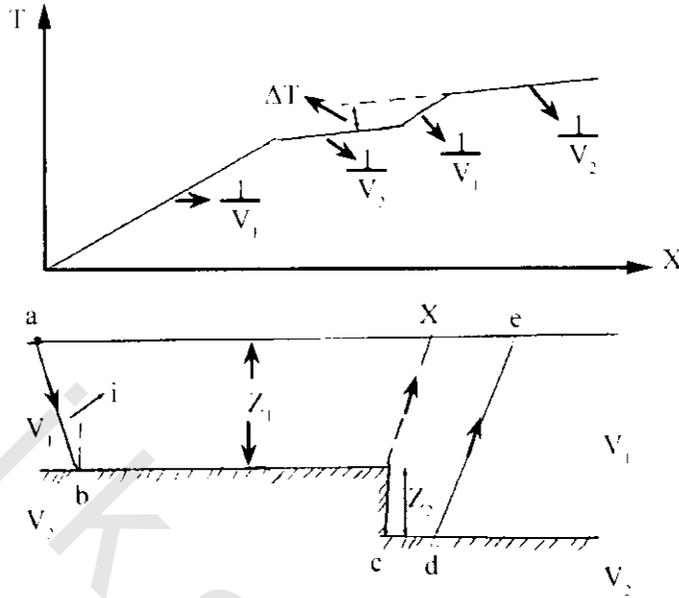
$$T_1 = \frac{2 Z_1 \cos i_c}{V_1} + \frac{X}{V_2} \quad \text{and}$$

$$T_2 = \frac{2 Z_1 \cos i_c}{V_1} + \frac{X}{V_2} + \frac{(Z_1 + Z_2) \cos i_c}{V_1}$$

$$\therefore \Delta T = T_2 - T_1$$

$$= \frac{Z_2 \cos i_c}{V_1}$$

$$\therefore Z_2 = \Delta T V_1 V_2 / \sqrt{V_2^2 - V_1^2} \quad (2-35)$$

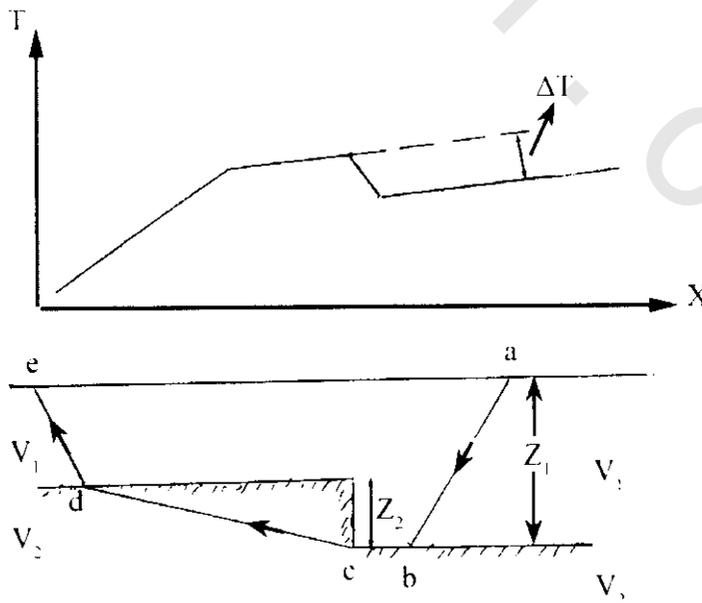


شكل (42-2):

يوضح شكل (43-2) تبادل الأماكن بالنسبة لنقطة التفجير وأماكن وضع الكشافات أى أن نقطة التفجير فوق الرمية السفلية للفاالق والكشافات فوق الرمية العلوية للفاالق وتصبح  $T_2$  كالآتى:

$$T_2 = \frac{Z \cos i}{V_1} + \frac{X}{V_2} + \frac{(Z_1 - Z_2) \cos i}{V_1} \quad (2-36)$$

وبنفس الطريقة السابقة يمكن حساب الأعماق  $Z_2$  و  $Z_1$ .



شكل (43-2):

## 2.7.1.4.4.2 قبة الملح Salt Dome:

مرور الموجات السيزمية خلال قبة الملح (شكل 2-37) تسبب نقص بين فترات الزمن نتيجة الأزمنة المرشدة عند بعض الكشافات وبواسطة المروحة الثانية والتي تقريبا عمودية على المروحة الأولى يستطاع تحديد مكان وامتداد القمة الملحية ومن مناطق الاستكشافات الحديثة فإن طريقة التفجير المروحي مازال ملائما حيث تغطى مساحات واسعة بالمقارنة بالطرق الأخرى. وأساسا فإن هذه الطريقة تستعمل أيضا لتحديد الطيات المحدبه الكبيرة أو الوديان المدفونة وذلك بحساب زمن التأخير الناتج من التركيبات الملانمة.

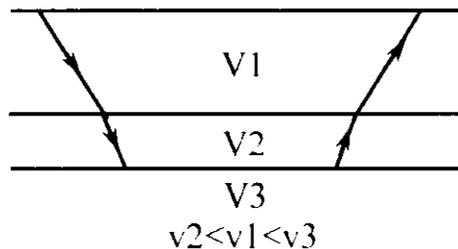
## 8.1.4.4.2 قابلية التطبيقات والتحديدات لطريقة الإنكسار

## Applicability and Limitations of the Refraction Method:

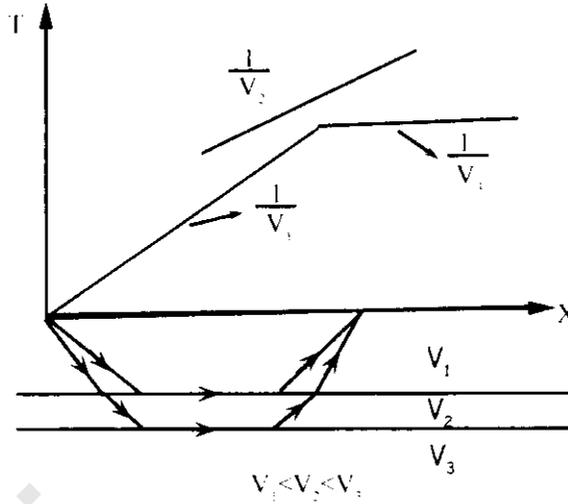
المسح الإنكسارى له بعض المميزات الهامة تفوق عمل الإنعكاس. ففى المناطق البكر حيث لا يوجد أى معلومات ملانمة عن الجيولوجيا التحت سطحية فإن طريقة الإنكسار تكون ذا قيمة للاستكشاف، ومن نتائج المسح الإنكسارى يمكن معرفة السرعات السيزمية وهندسة التكوينات، وعلى العكس فطريقة الإنعكاس تعطى فقط معلومات عن هندسة التحت سطحية وذلك فى غياب نتائج السرعة. والمعلومات الإضافية للسرعات غالبا ماتكون ذات استعمال كبير عند الربط والتعريف للتكوينات المختلفة عند تخريطها. ولهذا السبب فإن الغالبية العظمى لدراسة القشرة الأرضية العميقة لآبد من استنتاجها من الاستطلاعات الإنكسارية. ولطريقة الإنكسار أيضا ميزة هى السرعة والإقتصاد لبحث الأعماق الضحلة (مثل مشاريع الهندسة المدنية لدراسة عمق صخور الأساس).

وعلى الجانب الآخر فإن طريقة الإنعكاس تمتاز عن طريقة الإنكسار بالآتى:

أولا: طريقة الإنكسار لا يمكن اكتشافها لطبقة ذات سرعة منخفضة  $V_2$  محصورة بين سرعتين أكبر منها أحدهما أعلاها ذات سرعة  $V_1$  والأخرى أسفلها ذات سرعة  $V_3$  وبالتالي لا يمكن تحديد سمكها ويوضح شكل (2-44) هذه المشكلة. لذلك من الصعب تحديد السرعة  $V_2$ ، وينتج أيضا من تأثير وجود الطبقة المتوسطة ذات السرعة المنخفضة زيادة فى تقدير العمق للسطح الكاسر التحتى وهذه الزيادة تعتمد على سمك الطبقة ذات السرعة المنخفضة واختلاف محتوى السرعة.



شكل (2-44): طبقة ذات سرعة منخفضة محصورة بين طبقتين ذات سرعتين عالية



شكل (2-45): طبقة رقيقة جدا ذات سرعة  $V_2$  بين طبقتين وتظهر هذه الطبقة على الوصول الأول لسيزموجرام إنكساري، ولكنها تعطي إشارة ثانية صالحة للإستعمال إذا كانت الشوشرة ليست عالية (دكس 1966 Dix)

ثانيا: يوضح شكل (2-45) أنه في حالة ما تكون الطبقة المتوسطة رقيقة السمك بالنسبة لعمقها فإن موجة الإنكسار فيها لاتصل أبدا للسطح كوصول أولى مثلا الطبقة الأولى ( $V_1$ ) تظهر بوضوح وكذلك الطبقة الثالثة ( $V_3$ ) ولكن الطبقة المتوسطة ( $V_2$ ) الرقيقة نسبيا لا تظهر أبدا كوصول أولى ولهذا تختار من خلفية الطاقات المختلفة والتي عادة ما يكون تحديدها صعب. والخطأ الناتج من مثل هذه الطبقة المخفية تجعل حساب العمق ضحل جدا أي أن الغطاء الصخري يفترض أنه أقل من الحقيقة بالإضافة لهذا فإن طريقة الإنكسار غير ملائمة لتوضيح التركيب بالتفصيل، ومن الأفضل إنتاج نموذج طبقة بسيطة والذي يكون أكثر تبسيطا من التركيب المعقد. وتفترض الطريقة أيضا أنه لا يوجد تغير جانبي للسرعة خلال الطبقات.

#### 9.1.4.4.2 طرق التفسير Methods of Interpretation:

من المهم فحص العلاقة الخطية للزمن – المساحة الناتجة عن عملية المسح السيزمي الإنكساري وذلك لإيضاح التفسير المتوقع، ومن هذه المتطلبات:

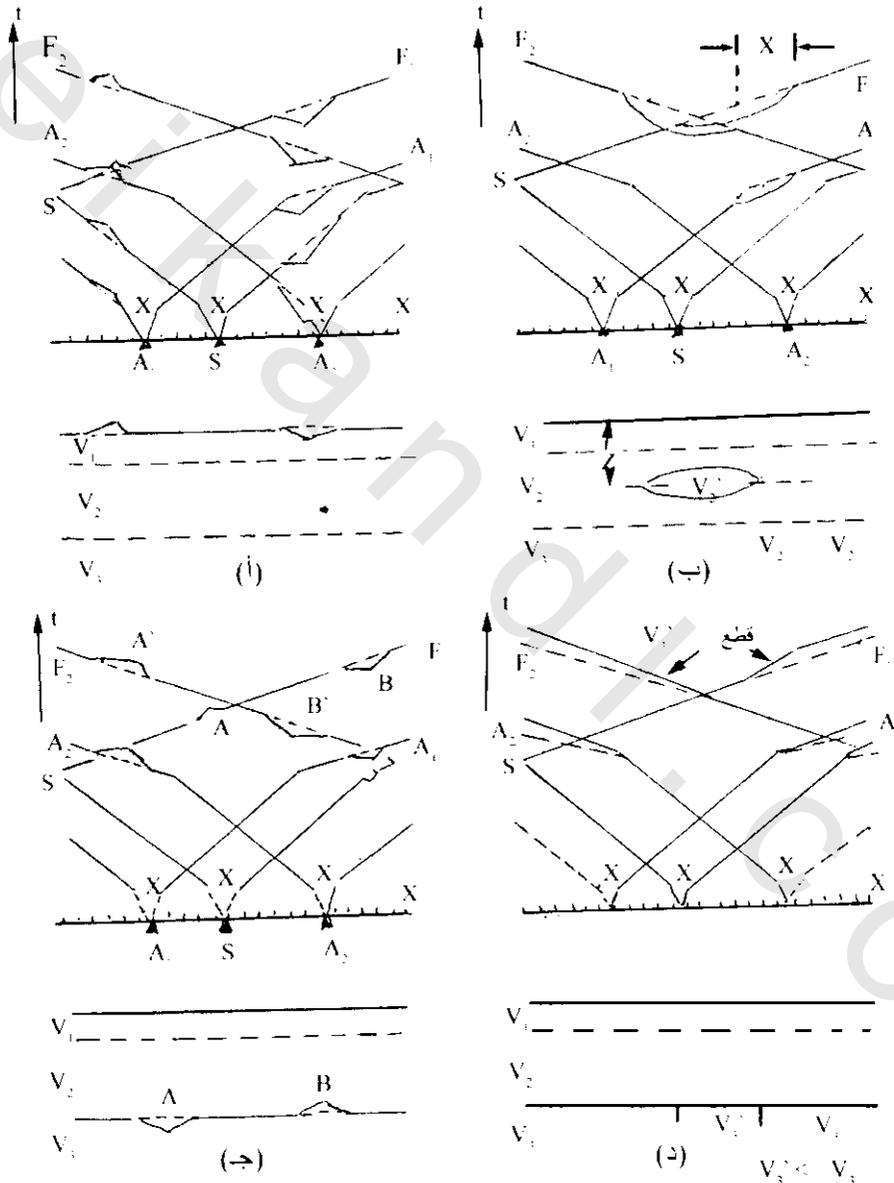
(أ) ضبط نوع النتائج المطلوبة.

(ب) تقرير طريقة التفسير المستخدم بالحلول البسيطة لخطوط الطبقات والإنكسارات المائلة، وأكثر التحليلات تؤدي لنتائج غير دقيقة لحالات عدم إنتظام الإنكسارات لذلك وضعت الضوابط الآتية:

- (i) عزل فترات الزمن الغير حقيقية (المزيفة) للوصول الأولى للموجه بسبب اللقط الخاطي لأول وصول أو التنقيط الخاطي لقيمة فترة الزمن الصحيحة.
- (ii) تغير السرعة أو السمك في مناطق قرب السطح.
- (iii) التغير في طوبغرافية السطح.
- (vi) نطاقات اختلاف السرعات خلال معدل متوسطات العمق.
- (v) تحديد ظواهر طوبغرافية على خلاف خط الإنكسار.
- (iv) التغير الأفقي في سرعة الإنكسارات.

بعض شاذات الزمن المصاحبة في الضوابط iii, iv, والموضحة في شكل (2-46) بدون تمييز نقاط الالتقاء في نتائج فترات الزمن والتي ربما تعوق ظواهر هامة وبالتالي تنتج تتابع خاطئ في التفسير.

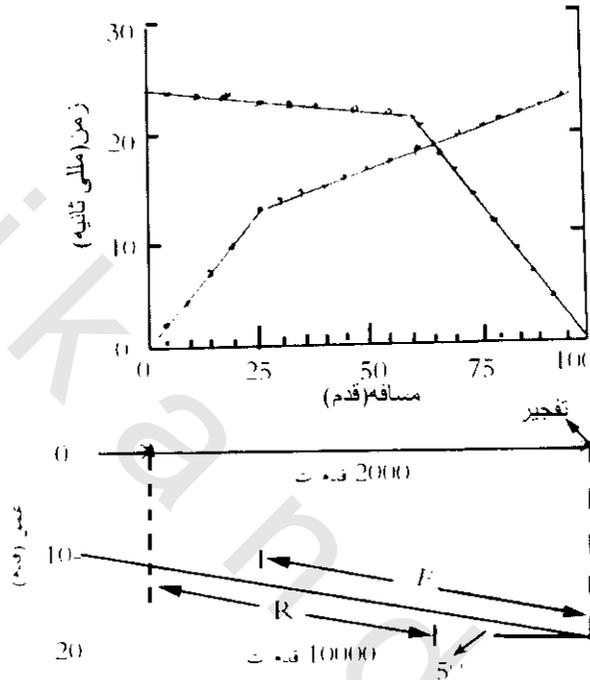
وقد نشرت عدة طرق مختلفة انتهت بالتفسير التقريبي، هما طريقة تأخير الزمن، وطريقة إنشاء مقدم الموجه. وأكثر طريقتين استخدمتا هي طريقة هاجدورن Hagedoorn 1959 (جمع - طرح)، وطريقة التبادل العامة (بالمر 1980 Palmer). وتشير الطرق الحديثة لتعديلات الطرق الأوليه أو إنشاء طرق حسابات جديدة.



شكل (2-46): شذوذ فترات زمنية وسببها المقابل: (أ) نتوء وقمة، (ب) عدسات بسرعة  $V_2$  في طبقة 2، (ج) قمة ونتوء عند فاصل بين طبقة 2، 3، (د) رأسيا طبقة ضيقة بسرعة  $V_3$  خلال طبقة 3 (أودن 1975 Odins، ويتلي 1977 Whitely).

#### 1.9.1.4.4.2 الطيف Phantoming:

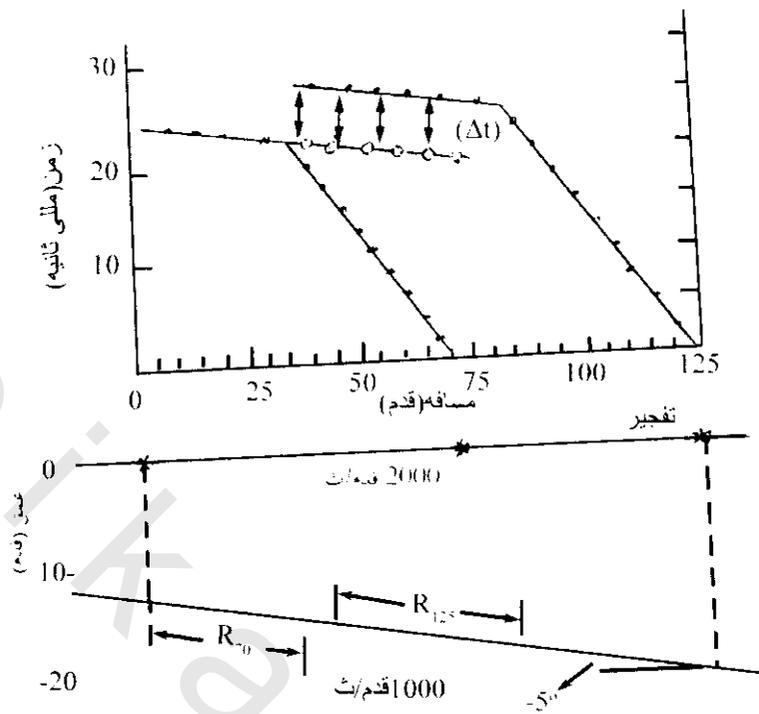
يحصل على معطيات ميل الإنكسارات التحت سطحية بواسطة عكس نقطة التفجير ونقط التسجيل على طول جزء من الكاسر وليس عليه كلبية (شكل 2-47) (لانكستون 1990)، حيث أن نتائج السرعة الظاهرية التي تأتي من الميل العلوى أو الميل السفلى مشتقة من القطع المختلفة للكاسر خطى، عندئذ فإن إستخدام مثل هذه السرعة الظاهرية لاستنتاج سمك الطبقة وزاوية الميل تكون مضبوطة.



شكل (2-47): طبقات متراكبة تحت سطحية غطت بانفجار في إتجاه وعكسه عبر ميل منكسر وعلاقة الزمن والمسافة المقابلة له (لانكستون 1990)

إذا لم يوجد تغير جانبي في سرعة الإنكسار أثناء تحريك نقطة الانفجار والكشافات، عندئذ تكون نتيجة شكل علاقة الزمن-المسافة من منبع الموجه المتولده من نقطة التفجير عند زيادة الإزاحة هو تأخر في فترة الزمن، ولكن لها نفس التدرج الذى ينتج لو كانت نقطة التفجير على النهاية المقابلة (شكل 2-48). التوازي الملاحظ فى الرسم لشكل فترات الزمن يدل على أن الاختلاف فى فترة الزمن ثابت لكل مكان كاشف. بطرح فرق هذا الزمن عن زمن وصول الموجه الأولى (الأصلية) من الكاسر فى الحالة الثانية، أى بعد إزاحة نقطة التفجير، عندئذ تكون فترات الأزمنة المخفضة المسجلة من التفجير الأول عبر المسافة بين النهاية والتفجير والمسافة المشتركة المتقاطعة بينهما هى وصول الزمن المزاح والذى يعرف بالوصول الطيفى Phantom arrivals (رديبات rodpath 1973) والعملية نفسها تسمى الطيفى phantoming.

تؤدى هذه العملية للحصول على معلومات للوصول الأول الحقيقى بين النهاية والتفجير والمسافة المتقاطعة الأصلية والتي تسجل من التفجير الاول.



شكل (2-48): رسم خطي لفترات الزمن والمسافة ومدى التغطية التحت سطحية من تراكب سرعتين مختلفتين الإتجاه، الدوائر المفتوحة تشير لوصول طيفي (لانكستون 1990 Lankstone)

#### 2.9.1.4.4.2 طريقة هاجيدورن (جمع-طرح) Hagedoorn (Plus-Minus) Method:

في هذه الطريقة يفترض أن الطبقات متجانسة وكذلك وجود فوارق كبيرة بين السرعات وزاوية ميل الكاسر تقل عن  $10^\circ$ . تستخدم هذه الطريقة الزمن المقطوع والزمن المتأخر في حساب العمق للكاسر تحت أي كاشف. من شكل (2-47) يمكن إيجاد الزمن الكلي للتأخير. حيث يعادل مجموع تأخر الزمن عند نقطة التفجير وتأخر الزمن عند الكاشف.

الزمن الكلي للتأخر

$$\delta t = T_{SG} - T_{PQ}$$

$$T_{SG} = (SA + BG)/V_1 + AB/V_2 \quad \&$$

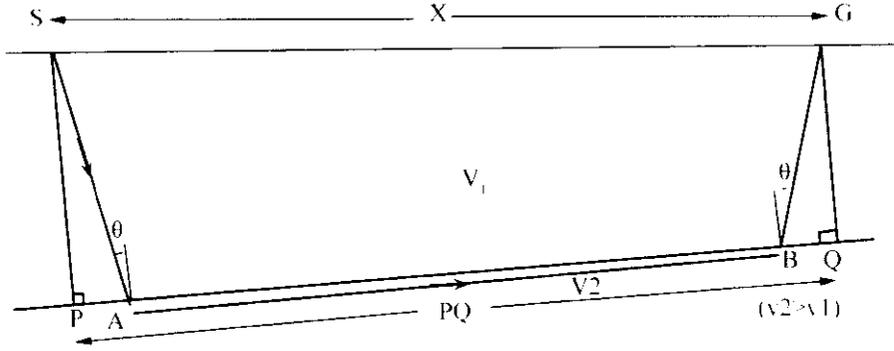
$$T_{PQ} = PQ/V_2$$

$$\therefore \delta t = (SA + BG)/V_1 - PQ/V_2$$

$$= (SA + BG)/V_1 - (PA + BQ)/V_2$$

$$= (SA/V_1 - PA/V_2) + (BG/V_1 - BQ/V_2)$$

$$= \delta t_s + \delta t_G \approx T_{SG} - X/V_2$$



شكل (2-49): اساس التأخير الزمني

وبالتالى فإن

$$T_{SG} = X/V_2 + \delta t_s + \delta t_g \quad (2-37)$$

حيث  $\delta t_s$  &  $\delta t_g$  زمن التأخير عند نقطة التفجير والكاشف فى حالة الكاسر الأفقى فإن  $\delta t = t_i$  حيث  $t_i$  الزمن المقطوع من شكل (2-32) (العلاقة X & T).

تحدد طريقة هاجدورن (جمع-طرح) أزمنة التأخير من نتائج تحليل الإنكسار من كلا نقطة إنفجار وعكسها، وعندئذ يمكن تحديد سرعة وعمق الكاسر تحت أى كاشف. من المعادلات الآتية وشكل (2-50) يمكن تحديد زمن التجميع  $T^+$  ومن التأخير  $T^-$ .

وبهذا يمكن تحديد العمق عن طريق السرعة (كم/ث) والزمن بالمللى ثانية فيكون العمق بالمتراً. ويكون دقة نسبة العمق فى هذه الحالة حوالى 10% ويمكن حساب  $T^+$ ,  $T^-$  كالآتى

$$t_{AG} = X/V_2 + \delta t_g + \delta t_s \quad (2-38)$$

$$t_{BG} = (L-X)/V_2 + \delta t_g + \delta t_s \quad (2-39)$$

$$t_{AB} = L/V_2 + \delta t_a + \delta t_b \quad (2-40)$$

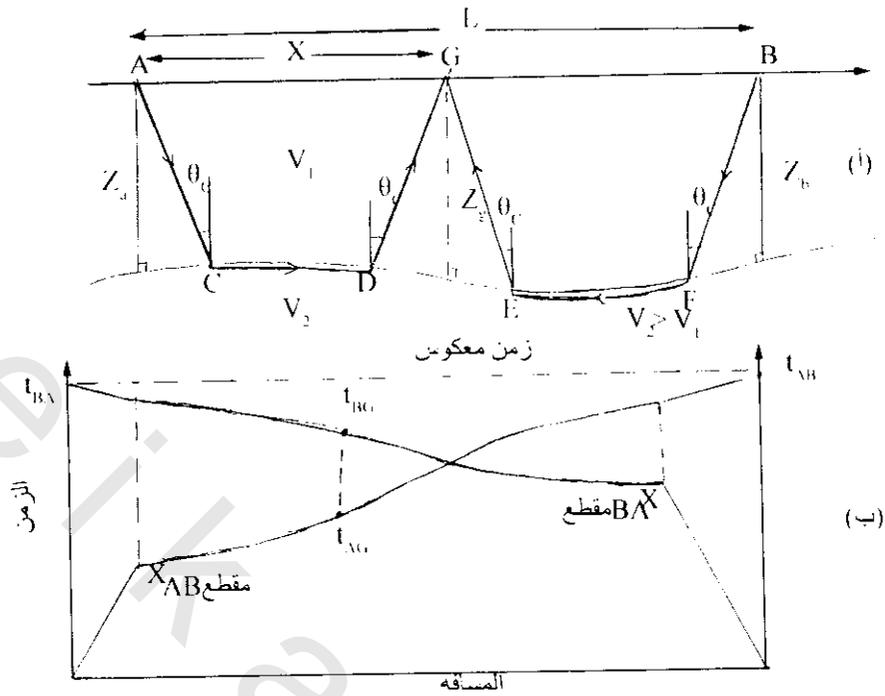
ويعطى مجموعة هاجدورن  $T^+$  كالآتى:

$$\begin{aligned} T^+ &= t_{AG} + t_{BG} - t_{AB} = 2 \delta t_g \\ &= 2 Zg (\cos \theta_c)/V_1 \end{aligned} \quad (2-41)$$

$$\begin{aligned} \therefore Zg (\text{العمق عند الكاشف}) &= T^+/V_1/2 \cos \theta_c \\ &= (T^+)V_1V_2/2(V_2^2-V_1^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (2-42)$$

ويكون طرح هاجدورن  $T^-$  كالآتى:

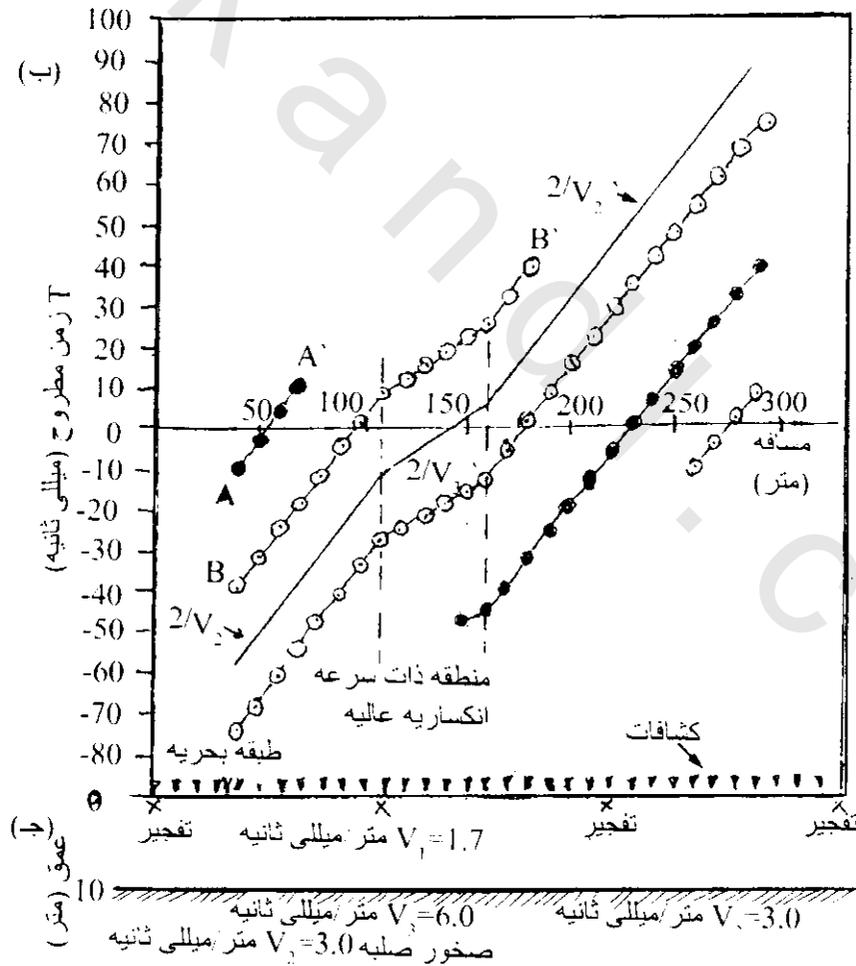
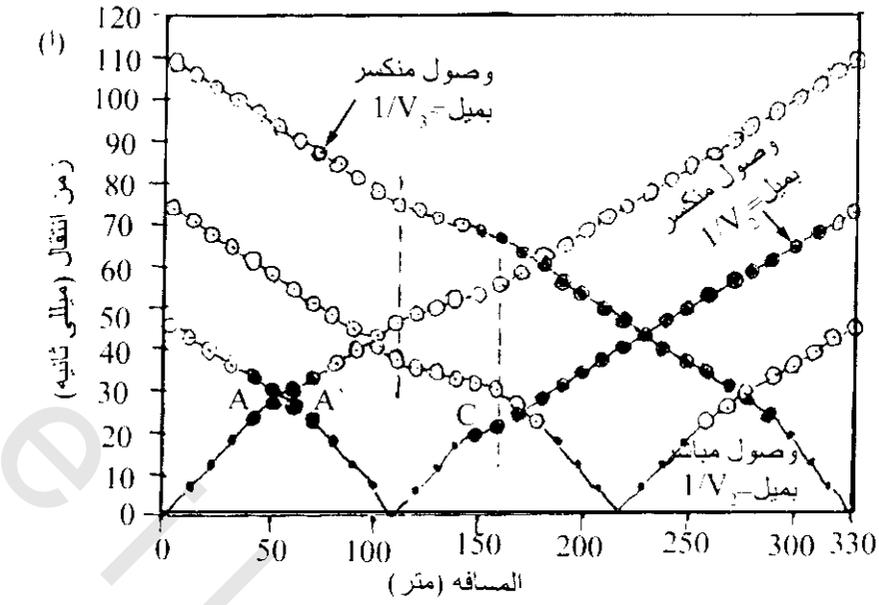
$$\begin{aligned} T^- &= t_{AG} = t_{AB} - t_{GB} \\ &= (2X-L)V_2 + \delta t_a - \delta t_b \end{aligned} \quad (2-43)$$



شكل (2-50): أ) أشعة هندسي لتفجير وعكسة عبر كاسر لسطح غير منتظم طوبوغرافية، ب) رسم خطي لعلاقة الزمن - المسافة. القطع بين المسافات المتصلة بالتقاطعات وضحت بواسطة خطوط ثقيلة مثل هذه القطع التي تستخدم في طريقة تحليل هجورن (جمع-طرح)

ويمثل شكل (2-51) طريقة (جمع-طرح) هاجدورن حيث تستخدم في هذه الطريقة آلات الحاسب الحديثة وبرامج سوفت وير (software). تعتمد هذه الطريقة على تبادل نقطة الانفجار والتسجيل، وتستخدم إزاحة الإنكسار للحصول على تركيب واضح للكاسر ومعلومات عن أى تغير محلى جانبي بداخله. وتستخدم إزاحة الإنكسار إزاحة المسافة التي تفصل أفقياً النقطة الحرجة على الكاسر حيث تنكسر الأشعة وتظهر على السطح.

ويشير (سيزوجرين 1984 Sjoren) على أنه ربما لاتحدد إزاحة المسافة بالضبط الطبقات الرفيعة التي لها سرعة سيزمية منخفضة. وربما تكون هذه الطبقات هي هدف المسح الإنكسارى، لذلك من المهم أن تكون طريقة التفسير ملائمة لحل مثل هذا الغرض.



شكل (2-51): (أ) رسم مركب لزمن انتقال-مسافة، (ب) رسم طرح هاجدورن. (ج) عمق محسوب للكاسر جارنر 1992 Gardener



حيث  $Z_{jG}$  السمك العمودي تحت  $G$  و  $V_j$  سرعة سمك  $l^h$ .

أفضل مسافة لـ  $XY$  لها علاقة بالسمك  $Z_{jG}$  والسرعة  $V_j$  و  $V_n$  بواسطة

$$XY_{opt} = 2 \sum_{j=1}^{n-1} Z_{jG} \tan \theta_{jn} \quad (2-46)$$

حيث

$$\sin \theta_{jn} = V_j/V_n$$

تعطى أفضل مسافة  $XY_{opt}$  معدل متوسط سرعة ( $V$ ) لجميع الطبقات فوق الكاسر ( $n$  طبقة)

$$\therefore V = [V_n^2 \times Y_{opt}/(XY_{opt} + 2 t_G V_n)]^{1/2} \quad (2-47)$$

عند أفضل قيمة لـ  $XY$  لكلا من الأشعة المتقدمة والمعكوسة، يفترض أن لها كاسر دقيق عند أو قريب جدا من نفس النقطة على الكاسر. أفضل قيمة لـ  $XY$  في تحليل السرعة المحددة من العلاقة بين الزمن والعمق تكون تقريبا كخط مستقيم، عامة فإن أفضل قيمة لـ  $XY$  تكون متساوية لكلا من تحليل السرعة والعلاقة بين الزمن-العمق.

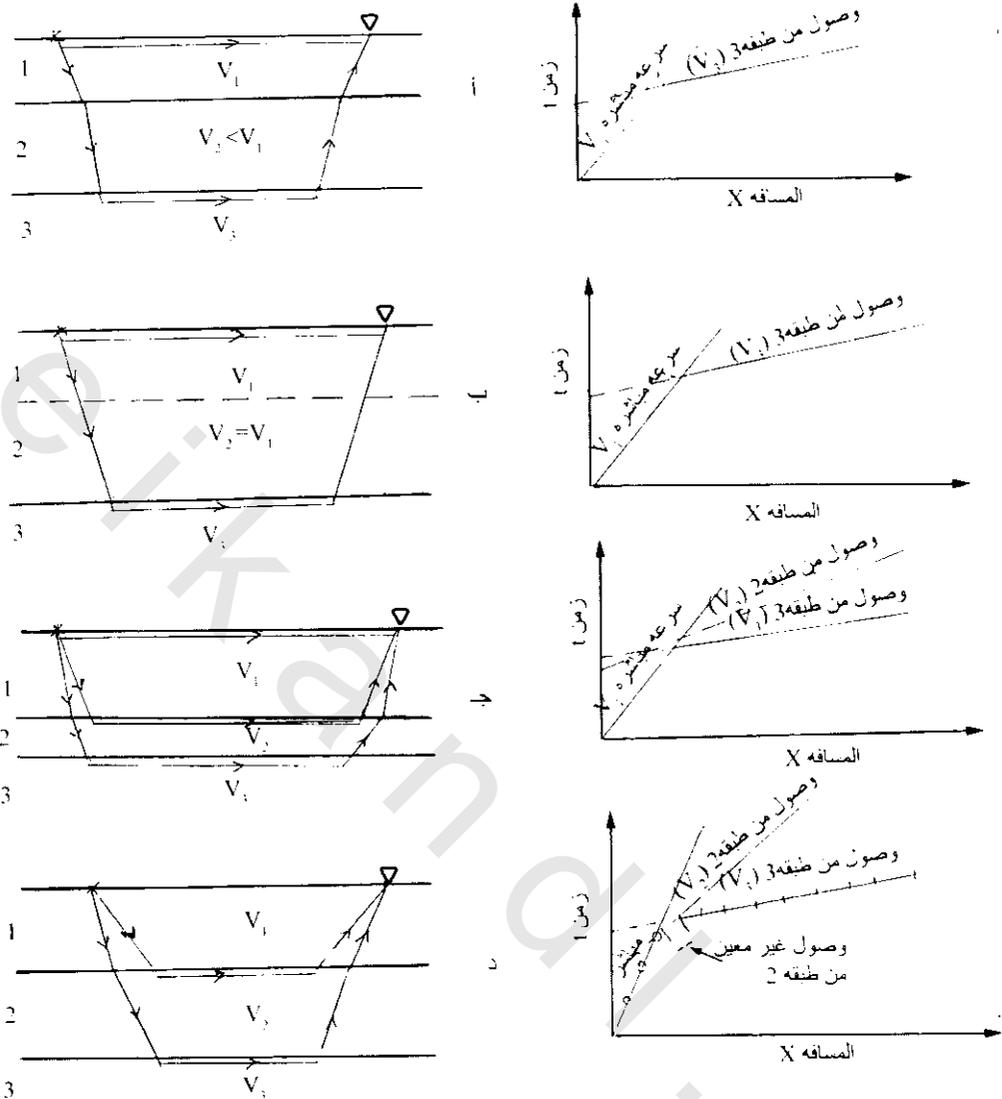
بتحديد قيم من سرعة الإنكسار من معادلة تحليل السرعة ( $t_v$ )، وكذلك تحديد أفضل قيمة لـ  $XY$ ، عندئذ يمكن استخدام معادلة  $XY_{opt}$  لحساب العمق العمودي لكاسر أسفل مكان كل كاشف. وربما تكون هذه القيم محل هندسي لأعماق مركز على مكان معطى للكاشف، وعندئذ، يكون القوس المرسوم عند مكان الكاشف بنصف قطر يكافئ العمق المحسوب، ويعين السطح المنكسر بواسطة رسم المماس للأقواس المنشأة. ولذلك فإن هندسة الكاسر تزاوج للمكان المضبوط في الفراغ (لانكستون 1990).

#### 2.2.9.1.4.4.2 مشكلة الطبقة المخفية Hidden-Layer Problem:

تحدث الطبقة المخفية أو الطبقة المستورة عندما لاكتشف بواسطة الإنكسار السيزمي، ويوجد أربعة أسباب لهذا:

- أ- السرعة المنعكسة
- ب- نقص تباين السرعة
- ج- وجود طبقة رقيقة
- د- مسافات الكشافات غير ملائمة

ويوضح شكل (2-53) هذه الحالات الأربعة. ففي الحالة الأولى يمكن عدم اكتشاف الطبقة ذات السرعة الأقل من سرعة الطبقة التي فوقها. وفي الحالة الثانية والتي يوجد فيها نقص في تباين السرعة أي أن  $V_2 \approx V_1$  فمن الصعب تحديد وصول بداية الموجه للطبقة ذات السرعة  $V_2$ . وفي الحالة الثالثة حيث تزيد السرعة بزيادة العمق ولكن الطبقة ذات السرعة  $V_2$  رقيقة جدا وأقل من الطول الموجي للموجه الساقطة، في هذه الحالة ستختفي الطبقة من التسجيل الممثل للعلاقة بين الزمن والمسافة. وأيضا في حالة وضع الكشافات بمسافات بعيدة فإن جزء من العلاقة بين الزمن والمسافة لا تسجل على الرسم.



شكل (2-53): وصف مشاكل لطبقة مختلفة بسبب: (أ) سرعة معكوسة ( $V_2 < V_1$ )، (ب) نقص تباين السرعة ( $V_2 = V_1$ )، (ج) طبقة رقيقة (طبقة 2) محصورة بين طبقة 1، 3، (د) المسافة بين الكشافات أكبر جدا من الطبقة 2

#### 3.2.9.1.4.4.2 تأثير تغير السرعة المستمر :Effect of Continuous Velocity Change

يفترض الآن أن كل طبقة لها سرعة متساوية في الإتجاه الأفقى والرأسى. ولكن فى الحقيقة يوجد بعض المواد تجعل تساوى السرعة غير ملاحظ كتداخلات الطفله بالحجر الرملى أو وجود بعض أجسام الصخور النارية فى الصخور الرسوبية وخلافه. فى هذه الحالة يلاحظ تغير تدريجى للسرعة مع العمق (كنج و جارفس King and Jarvis 1992) وعندئذ لا يوجد نقط تقاطع واضحة على شكل علاقة الزمن-المسافة. بدلا من ذلك سيكون الشكل منحنى والتغير بما يسمى بالطبقة الأخرى يكون تدريجيا مما يجعل الطرق المستخدمة للتحليل غير ملائمة.

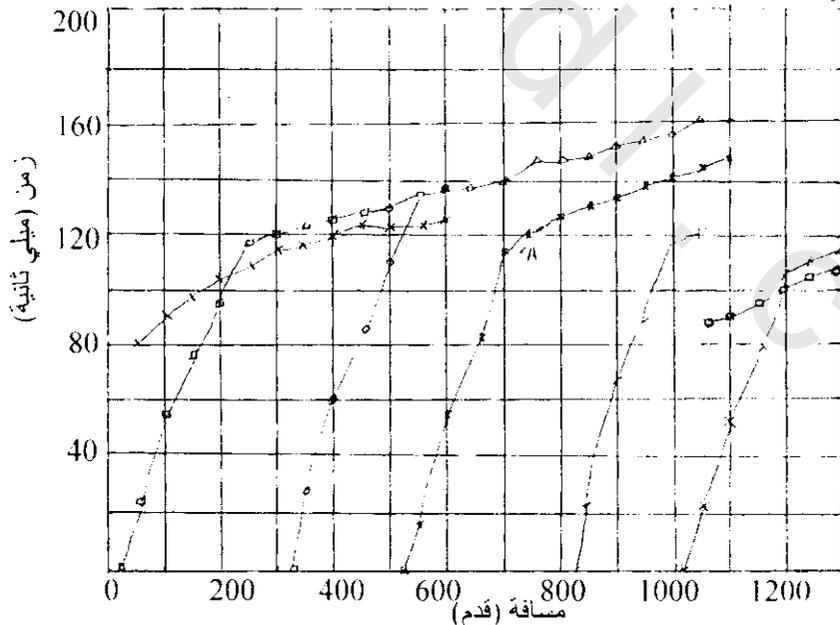
## 10.1.4.4.2 تطبيقات للطريقة السيزمية الإنكسارية: Application of Seismic Refraction Method:

## 1.10.1.4.4.2 تحديد إطار عام لموقع مقترح لتصريف نفايات

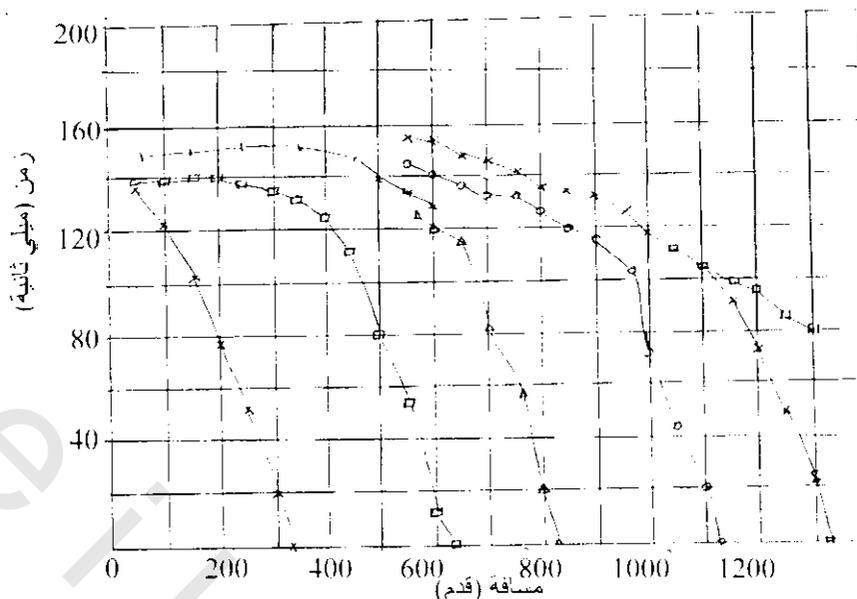
## Determination for a Proposed Waste Disposal Site:

استعرض لانكستون 1990 Lankston مثال لذلك بعمل دراسة سيزمية على الموقع المختار حيث يتميز الموقع بوجود قاعدة صخرية من البازلت يعلوها رسوبيان نهريه ورسوبيان رياحية مكونة كثنان رملية بارتفاع من 1-2 متر. وقد استخدمت مطرقة ثقيلة لعمل الموجات السيزمية وشمل المسح الإنكساري السيزمي تفجير طويل وقصير بالإضافة لنقطة تفجير متوسطة، بحيث يتراكم كل تتابع إنتشاري مع السابق له بواسطة كشافين. يوضح شكل (2-54) إتجاه تقدم للعلاقات بين الزمن والمسافة على طول خط مسمى واحد. وتشير النتائج لطبقتين ذات سرعات عالية متوازية، ويتوقع عمق الطبقة ما بين 700-800 قدم على طول الخط. ويمثل شكل (2-55) الإتجاه العكسي للمسح السابق وربما لاتدل نتائج هذا الشكل على حل المشكلة عبر وجود الطبقة المتوسطة – أو عن ظاهرة الإمتداد الذي يحدث جانبيا.

وباستخدام طريقة الطيف للنتائج المتقدمة (شكل 2-56) من نقط التفجير عند 325 قدم وعكس النتائج عند 1125 قدم بين كل نقطة ملاحظة أو مطوفه على علاقة شكل الزمن-المسافة وذلك لتحسين قيمة تحليل أفضل لـ XY باستخدام طريقة التبادل العامة، ويوضح شكل (2-57) نتائج تحليل السرعة.

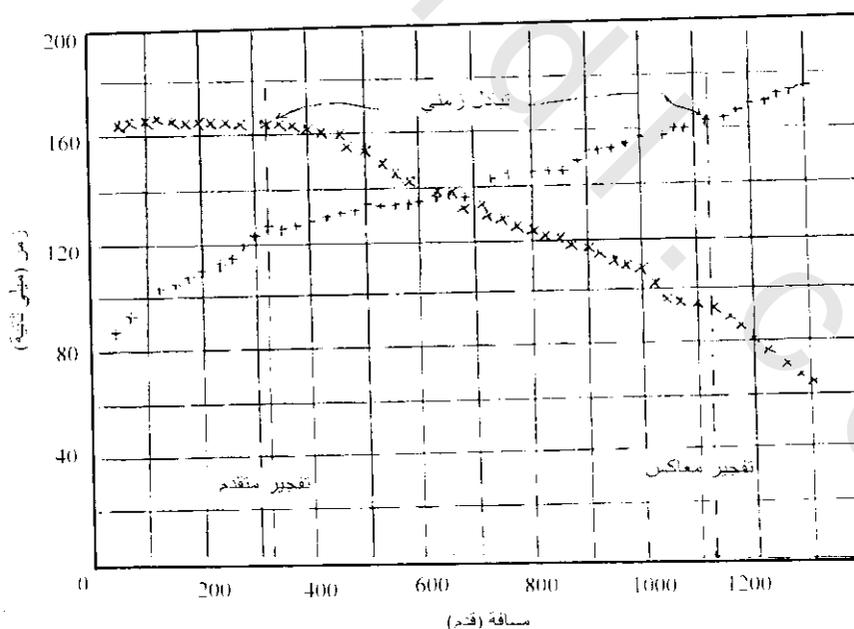


شكل (2-54): رسم تخطيطي لعلاقة فترات الزمن-المسافات لتفجيرات متقدمة للأمام. الإنكسارات الأولى للتفجيرات البعيدة (كقطاعات) تصل أولاً لأغلب الإنتشار الأيسر أكثر من التفجيرات القريبة (مربعات) لهذا الإنتشار. وهذا يحدث عندما تقل المسافة بين نقط التفجير والإنكسارات بدلالة القرب والبعد من نقط التفجير



شكل (55-2): رسم لعلاقة فترات الزمن-المسافات في اتجاه عكسي لنقط التفجير

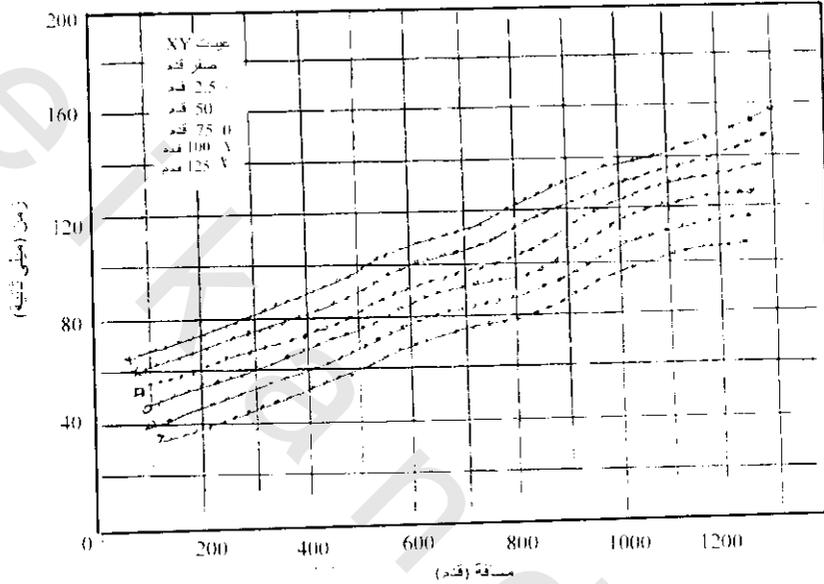
وبتطبيق طريقة بالمر Palmer 1980 (معيار التفسير الأدنى) اعتبر أنه عند  $0=XY$  هي أحسن قيمة لتحديد لسرعة الإنكسار. وأيضا بتطبيق طريقة بالمر (معيار التفسير الأعلى) في شكل (58-2) أختير أيضا  $0 = XY$  في تكوين علاقة الزمن - العمق، حيث تتطلب سرعة الإنكسار ثلاث قيم فسرت على طول الكاسر كما في شكل (59-2)،



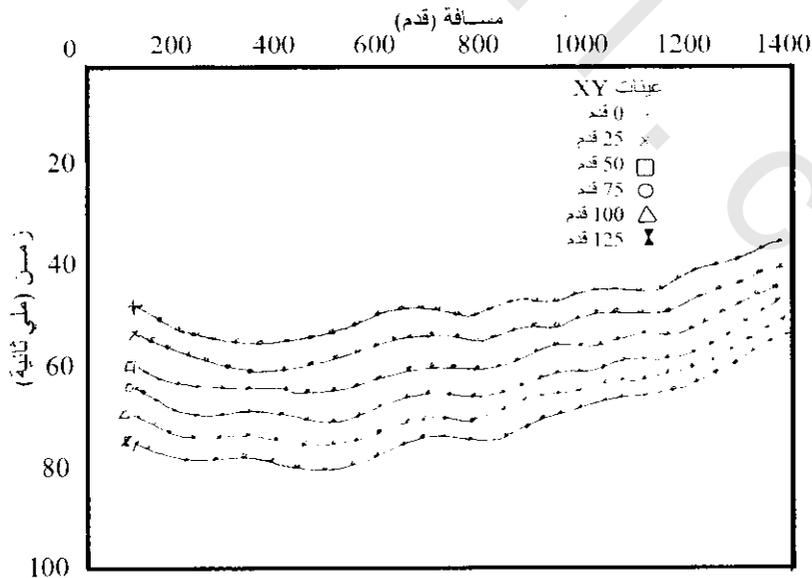
شكل (56-2): تقدم وانعكاس فترة الزمن-المسافة بعد تداخل خط الطيف وامتداد وصول جديد عند أماكن منتصفه بين الوصول الملاحظ. ويدل على تبادل الزمن المفسر من تقدم وعكس اتجاه التجارب

عندما تكون المسافة بين الكشافات (50 قدم  $\approx$  15 متر). فإن قياس أي تغيير لأفضل XY على قواعد النتائج المكتسبة يكون غير مستحيل. وعندما تكون أسماك الطبقات وسرعتها معروفة فإن أفضل قيمة لـ XY يمكن إكتشافها بواسطة العمل في الإتجاهات الخلفية في هذا المثال من تفسير السرعات والأعماق وتكون أفضل قيمة متوقعة تساوى حوالى 6 متر.

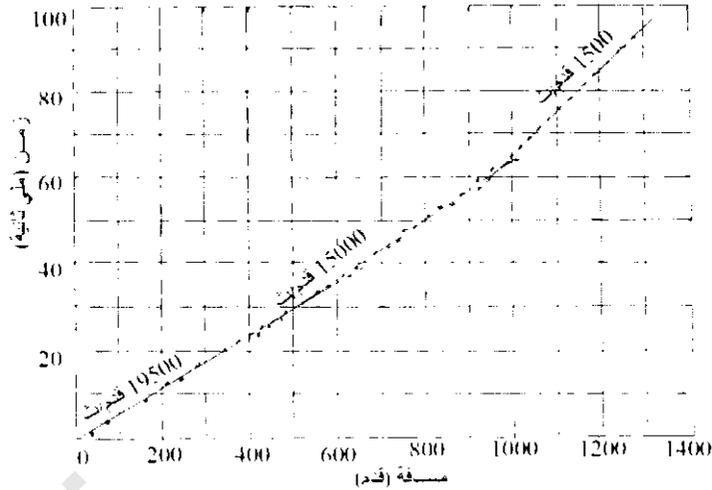
ويمكن تحديد العمق السطحي الكاسر تحت كل مكان كاشف خلال المسح السيزمي، وذلك بتحديد سرعة الإنكسار ومن الإنتشار الصغير للسرعة القريبة من سطح الطبقات. وتكون سرعة أعلى الطبقة المحددة هي 305 م/ث والسلك 3.1 متر على طول خط المسح. وأما الطبقة الثانية فتكون سرعتها 550 م/ث.



شكل (57-2): منحنيات تحليل سرعة لمسافات XY من صفر إلى 48 م (125 قدم)



شكل (58-2): منحنيات الزمن-العمق لمسافات XY من 0-48 متر (125 قدم). سرعات الكاسر المستخدم لعمل هذه المنحنيات أشير إليها في شكل (12-2) (لانكستون 1990)

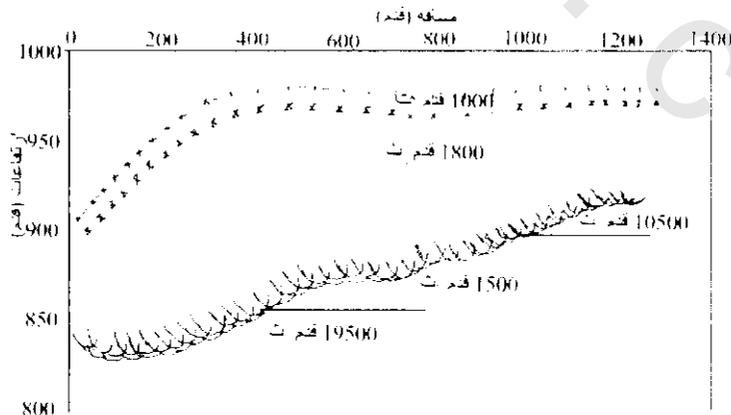


شكل (59-2): منحني تحليل السرعة لحالة  $XY = 0$ . فسر الكاسر على أن له سرعتين متغيرتين جانبيًا (لانكستون Lankston 1990)

ويمكن إيجاد العمق المحسوب للكاسر تحت كاشف ملائم كقوس نصف قطره يساوي حساب العمق عند هذه النقطة (شكل 60-2). وعندئذ يستدل على السطح الحقيقي للكاسر بواسطة غلاف المماسات لقوس الدوائر. وايضا يشير (شكل 60-2) أعلى ثلاث قيم لسرعات الإنكسار، وأن صخر الأساس هو البازلت وتركيبه العام مسطح. لذلك فإن التفسير المتوقع في (شكل 60-2) يكون ملائم بثلاث سرعات انكسارية داخلية تبعا للطبقات في داخل البازلت. في هذا المثال قرر لانكستون 1990 عند نقط تقاطع الخطوط، فإن تفسير عمق الكاسر يكون متفق مع الواقع خلال نسبة 5%. وأوضح أيضا أن النموذج النهائي الناتج يعكس بملانمة ومقبولية التركيب الجيولوجي.

#### 2.10.1.4.4.2 تحديد أنابيب البالوعات المدفونة Location of a Buried Deline:

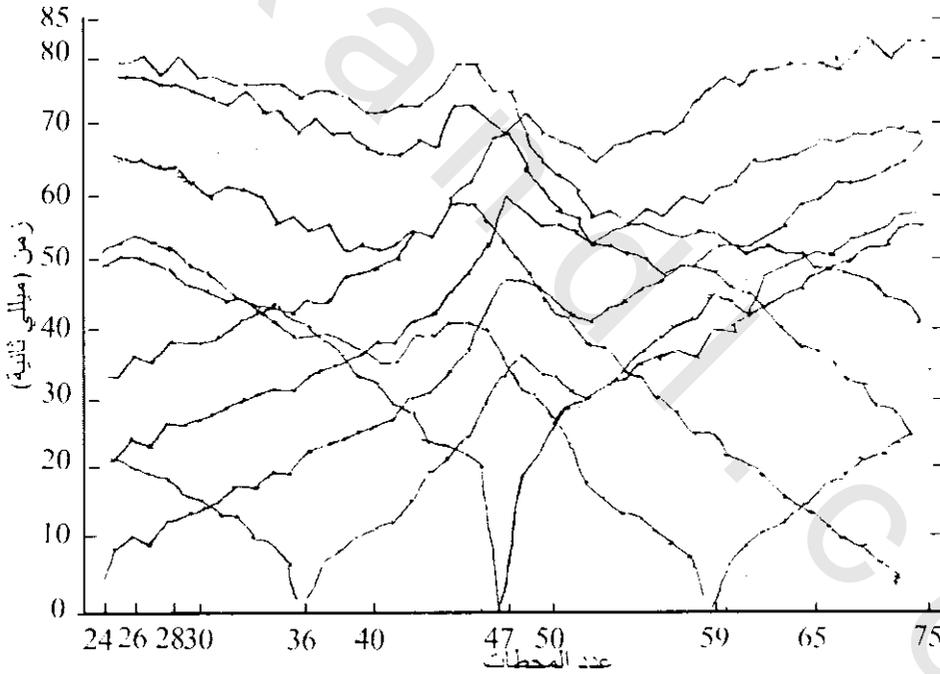
بواسطة مسح سيزمي إنكساري وصف بالمر Palmer 1991 هذه الحالة عبر أنابيب البالوعات المتدهور في رسوبيان سيلبوريان Silurian المتحولة بإستراليا. وبالعكس المثال السابق فإن المسافة بين الكشافات 2.5 متر مع مسافة نقطة التفجير مقدارها 30 متر. يوشح شكل (61-2) علاقة المسافة-الزمن، وشكل (62-2) تحليل سرعة الإنكسار للتفجيرات عند محطات 12، 83، لقيم  $XY$  من صفر إلى 15 متر لمسافات 2.5 متر.



شكل (60-2): قطاع إزاحة نهائية، حيث يحتوى سطح الإنكسار على ممسات لأقواس ملانمة. وتظهر الأقواس الدائرة رياضيا بوضوية لوجود مبالغة لمقياس الارتفاع. ويشار لسطح الأرض بواسطة منحني متصل. وتمثل التقاطعات الصغيرة الحد الفاصل بين سرعة 1000 قدم/ث والتي أسفلها 1800 قدم/ث. ومكان التغير الأفقي للسرعة من الشكل السابق. يشاهد ويفسر كأنه بسبب طبقة البازلت (لانكستون Lankston 1990)

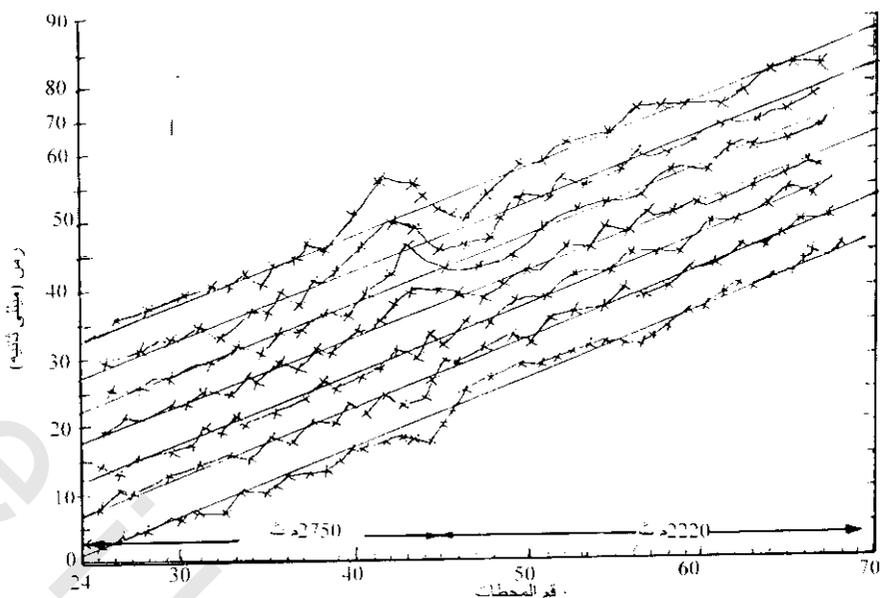
تشير السرعة المحللة للكاسر إلى 2750 م/ث بين المحطتين 24, 46 و 2220 م/ث بين المحطتين 46, 71. وحدد بالمر 1991 Palmer أن أفضل قيمة لـ XY هي 5 متر. ويوضح شكل (2-63) علاقة الزمن-العمق عبر نفس الانتشار وقيمة XY. من هذه الأشكال يتضح أن أفضل قيمة لـ XY هي 5 متر، وأعمق كاسر بين المحطتين 40, 52. وباستخدام قيمة 5 متر لـ XY في معادلتها، فإن زمن-العمق يكون 15 متر وسرعة الكاسر 1000 متر/ث بمعدل سرعة سيزمية 600 متر/ث فوق الكاسر. باستخدام هذه السرعات، أنشأ قطاع العمق شكل (2-63) حيث تمثل الأقواس في هذا الشكل أماكن سطح الإنكسار تحت المحطات 37, 46 وجميعها تتقاطع في تجمع تحت محطة 39، ونفس النتيجة لتجمع للأقواس من المحطات 47, 54 تحت المحطة 53. جميع المحطات تدل على أن جميع الوصول الزمني مصاحب لتدهور أنابيب البالوعات، وعند هذه الأماكن تكون الإنكسارات من الحواف.

السطح الكاسر الواضح في شكل (2-64) أقل كاسر مكافئ أكثر من الصورة (2-64) الحقيقية لأنابيب البالوعات. وبحفر بنر بالقرب من المحطة 47 حيث قطع الحفر غالباً 50 متر من حجر رملي سلسيس وفجوات. واستنتج من هذا الحفر أن الإمتداد الكبير الراسي لخط الصرف

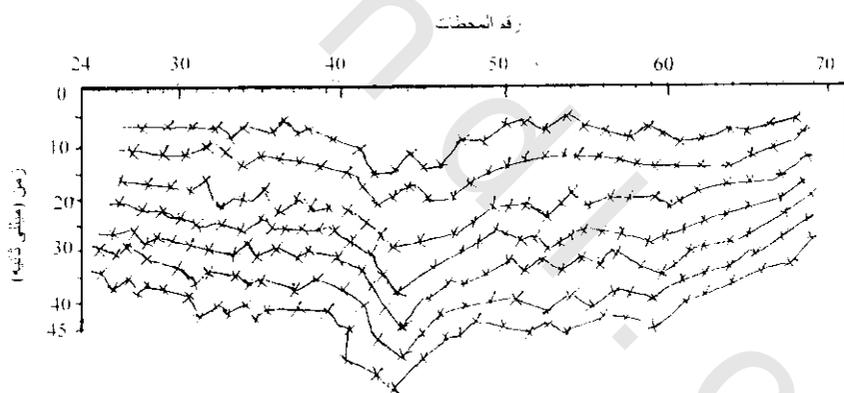


شكل (2-61): رسم لفترات الزمن-المسافة مسجلة عبر خط صرف مهدم وشرق استراليا. المسافات بين الكشافات 2.5 متر (بالمر 1991 Palmer)

بالنسبة لقطر 30 متر ومستوى قطاع شبه دائري، فإن أغلب الطاقة السيزمية تسير حول خط الصرف أكثر من أسفله، وتبعاً لذلك فإن أقل كاسر مكافئ يحتمل أنه نصف كروي بقطر حوالي 30 متر.

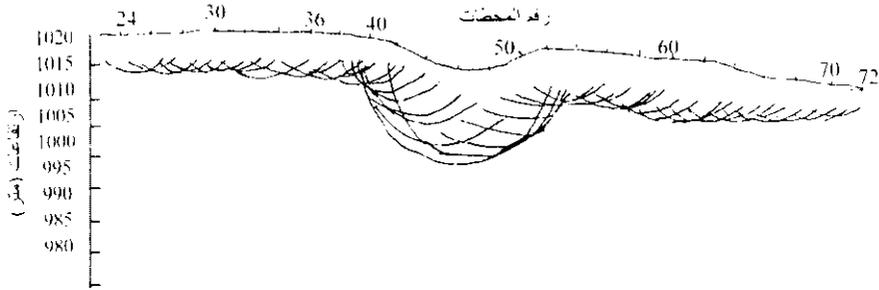


شكل (62-2): رسم يوضح حساب معادلة طريقة التبادل العامة لتحليل سرعة قيم XY من الصفر، المجموعة السفلى من النقط إلى 15 متر، المجموعة العليا من النقط، في تقسيمات 2-5 متر. ويزاد زمن التبادل بواسطة 10 متر لكل قيمة XY لكل إزاحة (بالمر 1991 Palmer)



شكل (63-2): رسم يوضح حساب معادلة طريقة التبادل العامة للزمن والعمق بقيم  $XY = 0$ ، المجموعة السفلى من النقط إلى 15 متر، المجموعة العليا من النقط، في تقسيمات 2.5 متر. ويزاد زمن التبادلي بواسطة 10 متر لكل قيمة XY لكل إزاحة (بالمر 1991 Palmer).

من هذا التحليل باستخدام طريقة التبادل العام GRM، يستنتج أن نطاق السرعة المنخفضة يصاحب خط صرف مهدوم. وإذا استخدمت قيمة XY مساوية للصفر في معادلة تحليل السرعة، يمكن الإشارة لسرعة سيزمية حوالى 750 متر/ث بين الحطتين 44، 47. وربما أن تكون هذه نفسها تحذيرات لتفسيرات شائعة. حيث يظن أن الطاقة السيزمية تنتقل بملاءمة حول خط الصرف، ويحتمل أن تقدير الحجم تحت الظاهرة لا يكون بالبساطة المتوقعة.



شكل (2-64): قطاع عمق محسوب بـ  $XY = 5$  متر ومتوسط السرعة في الغطاء الرسوبي 600 م/ث، وحدد بذلك موقع تدهور خط أنابيب الصرف (بالمر 1991 Palmer).

أيضا طريقة إزاحة عمق القطاع في شكل (2-64) تكون مفيدة في إشارة لتجمع الأقواس والتي تدل على الحيودات. وأكثر من هذا فإن إشراك نتائج الحفر تساعد على تفسير ميكانيكية إنتشار الموجه في مجاورة خط الصرف المهدوم. التفسيرات المشتركة التي تنتج تكون أكثر إدراكا من إستخدام المسح السيزمي أو الحفر مفردا.

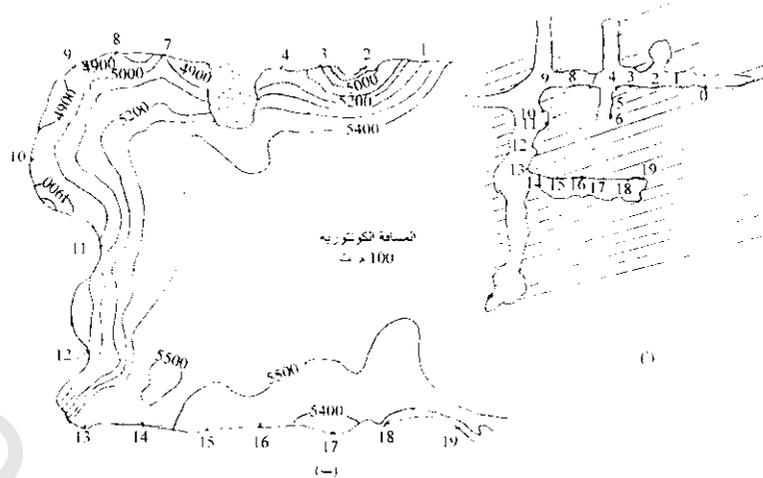
#### 3.10.1.4.4.2 تقييم نوعية الصخر Assessment of Rock Quality:

إزداد طلب المسح الجيوفيزيائي أثناء تفسير ميكانيكية التربة والهندسة الجيولوجية لتعطي تعريفات عن نوعية الصخر والمعاملات الجيوتقنية الأخرى وصف نيو 1985 New دراسة توضيحية لنوعية تصميم تفسير هذه المسألة.

خضع جزء من برنامج بحوث تنظيم نفايات المواد النووية للمملكة المتحدة، النقل، معمل طريقة البحث لبروجرام قياس السرعة السيزمية عند كاوانان Cawnnan، كورنول Cornwall. ولإختيار الموقع تم حفر تجريبي في كتلة جرانيتية في اتجاه حافة الشمال الغربي لكارنمينيليز Carnmenellis، حيث يوجد كتلة كارنمينيليز الجرانيتية، وتكون كتلة كورنيوبيان Cornubian الباثوليثية جزء من كتلة كارنمينيليز الجرانيتية، حيث يسودها حبيبات البياتونيت الخشنة، ماسكوفيت، جارنت مع بلورات ظاهرة في صخور بورفيرية ليوناسيوم فلسبار، لهذا فإن هذه الكتلة الصخرية صلبة جدا وضعيفة التجوية، كذلك يوجد بها مجموعة فواصل تحت رأسية باتجاه مضرب مقداره  $120^\circ$ ، ومسافات الفواصل عادة أكبر من 1 متر، وقد وجدت هذه التكوينات والتركيبات خلال اختبار الموقع.

أخذ المسح السيزمي خلال ثلاث إتجاهات رأسية لعمق 30 متر تحت مستوى الأرض. ثبت على طول ثلاث جوانب لقطاع صخري مربع 900 م<sup>2</sup> في المنطقة 20 نقطة مرجعية. رقت أماكن الإنبعث والإستقبال من 0-19 شكل (2-65)، وثبتت الكشافات جيدا في الصخور، وتم المسح بدقة  $\pm 0.5$  سم، وكان مصدر الموجات السيزمية هي مطرقة ثقيلة.

سجلت فترات الزمن وشكل نبضة الموجه السيزمية وحللت النتائج باستخدام معالجة فورير Fourier وتمثل السرعة ( $V_R$ ) المحددة لكل خلية من الشبكة المحسوبة لكتلة الصخر، ثم بعد ذلك مثلت نتائج السرعات كخرائط في شكل (2-65ب). من الشكل يتضح أن الصخور تأثرت بحفر السطوح والتي خفضت السرعة السيزمية لأقل من 5000 م/ث بالمقارنة ببقية الصخر (تقريبا 5000 م/ث).



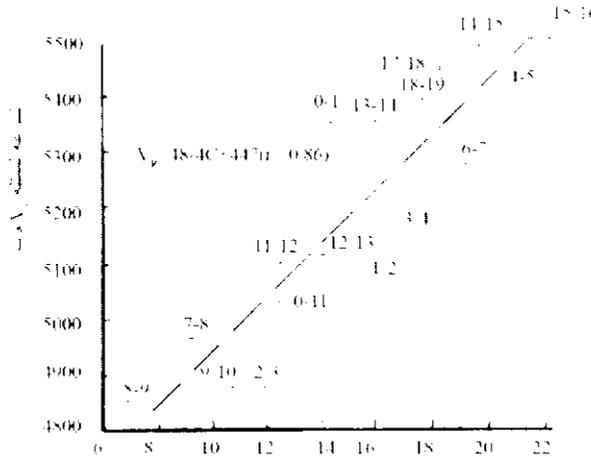
شكل (2-65): أ) خريطة لثلاث رؤوس تحت سطحية بأرقام أماكن مصدر - مستقبل، ب) خريطة كنتورية لتمثيل السرعة ( $V_R$  م/ث) بين أماكن مرجعية (نيو 1985 New).

ولاشتقاق التصنيف العددي لقيمة ( $c$  معامل نوعية الصخر)، استخدم نظام تصنيف موقع نوعية الصخر لكل منطقة جدارية بين مرجعيات النقط ويعتمد هذا المعامل على:

- 1) المسافات بين الشقوق
- 2) حالة الشقوق (مجوف، مملوء، .... إلخ).
- 3) الحالة العامة لسلامة الصخر.
- 4) درجة الحفر - هدم تفجيري مستحث.
- 5) كثافة ثقب التفجير في المنطقة (أعماق هذه الثقب ما بين 1-3 متر).

ويمثل شكل (2-66) العلاقة بين السرعة السيزمية ونوعية الصخر ( $c$ ) لكل زوج لمرجعية النقط. ومن الشكل يتضح أنه يوجد علاقة بين السرعة السيزمية ونوعية الصخر. حسب نيو 1985 New، هذه العلاقة ( $V_R = 447 + 48.4c = 0.86$ ). ووجد أن أقل سرعة هي المصاحبة للمناطق المهذمة والمتجوية للصخور مع عدة شقوق كبيرة عند الإمتداد الغربي للمنطقة الممسوحة. أما جوانب الشمالي-الغربي والجنوب-الغربي للمنطقة المختبرة فقد تأثرت بتفجيرات كبيرة والحفر المنتشرة بالمقارنة بنفس المقدمة على طول الجانب الجنوبي الشرقي. وكذلك استخدمت هذه الطريقة للدلالة على الخواص الهندسية للكتل الصخرية (جاردينير 1992 Gardener).

في عام 1958 طورت شركة كاتربلر تراكتور Caterpillar Tractor Co. استخدام السرعة السيزمية المحددة من تجارب الإنكسار السطحية لإنتاج لوحة خاصة للكسر. وباستخدام هذه اللوحة، استطاع المقاولون تعيين سهولة أو صعوبة الحفر للمناطق المنوط بها العمل لهم باستخدام الأجهزة الميكانيكية لديهم، حيث تعطي اللوحة (شكل 2-67) الخطوط العامة المرشدة للاستخدام العملي. بعد ذلك قامت شركة كاتربلر 1988 بعمل لوحات أكثر دقة تتعلق بالمواد الجيولوجية والكسر تبعاً لنوع الآلات. وفي عام 1994 استعرض ماك جيرجور وآخرين MacGregor et al. على مدى واسع تعيين كسر الصخر باستخدام السرعة السيزمية.



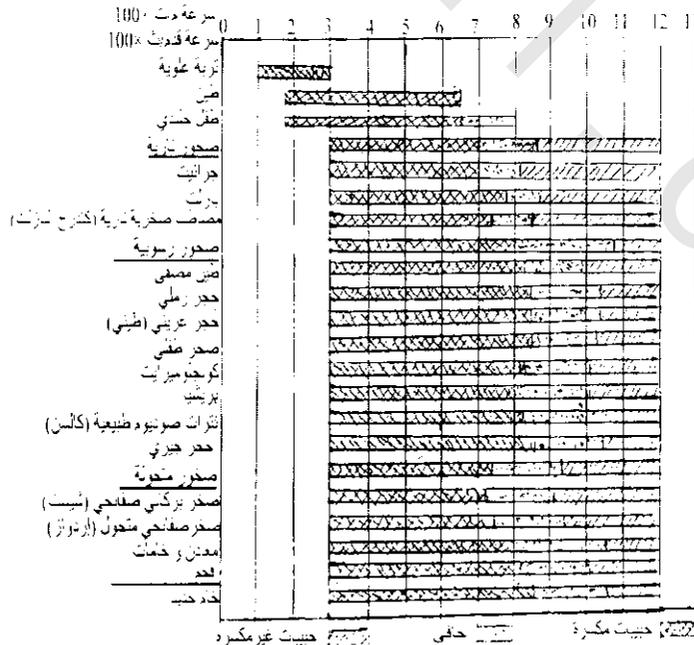
شكل (2-66): مقارنة تمثيل السرعة لتصنيف نوعية الصخر (نيو 1989 New).

#### 4.10.1.4.4.2 فحص مدافن المخلفات Landfill Investigation:

في هذا الفحص يفضل استخدام طريقة الإنكسار عن طريقة الإنعكاس للأسباب الآتية:

- 1- أغلب المدافن تكون سطحية جدا.
- 2- مواد المدافن كبيرة التواهن (التخفف) ولذلك يكون من الصعب وضع طاقة كبيرة في موادها واكتشاف أى نبضات (إشارات) مميزة.
- 3- تكاليفها أرخص من طريقة الإنعكاس.

وقد أشار (رينولدز ومكون 1992 Reyonold and McConn) أن المسح السيزمي الإنكساري قلما يستخدم عبر المدافن المغلقة، وذلك لصعوبة وضع الطاقة، حيث أن المطرقة ليست ذى قوة كافية، وقنابل البندقية لاتستخدم حيث يوجد غاز الميثان! لذلك فإن استخدام الطرق السيزمية للمدافن نادرا ماتستخدم كلية.

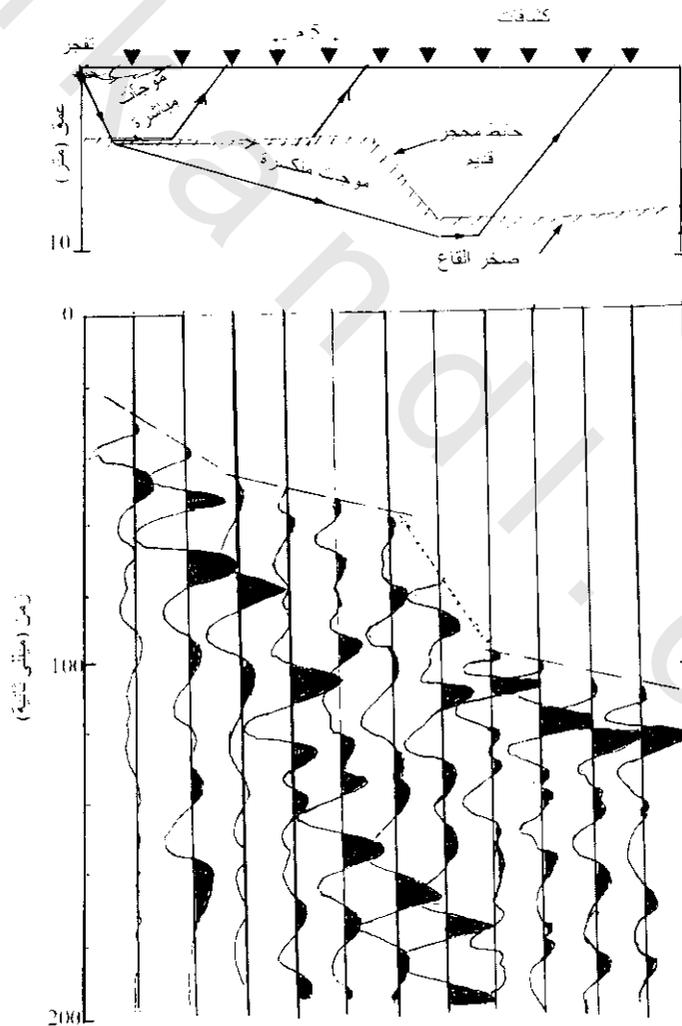


شكل (2-67): لوحة نموذجية توضح العلاقة بين الموجه الغربية وإنجاز الكسر (شركة كاترلر تراكتور).

وللمواقع المختارة والتي تسمح حالاتها باستخدام السيزمية الإنكسارية وذلك لتحديد: (1) العمق، (2) الموجه الأولية والطبقات التحتية، (3) أماكن جوانب المحاجر القديمة التي ربما تحدد حواف المدافن، (4) حالة الغطاء الطينى من حيث سمكه.

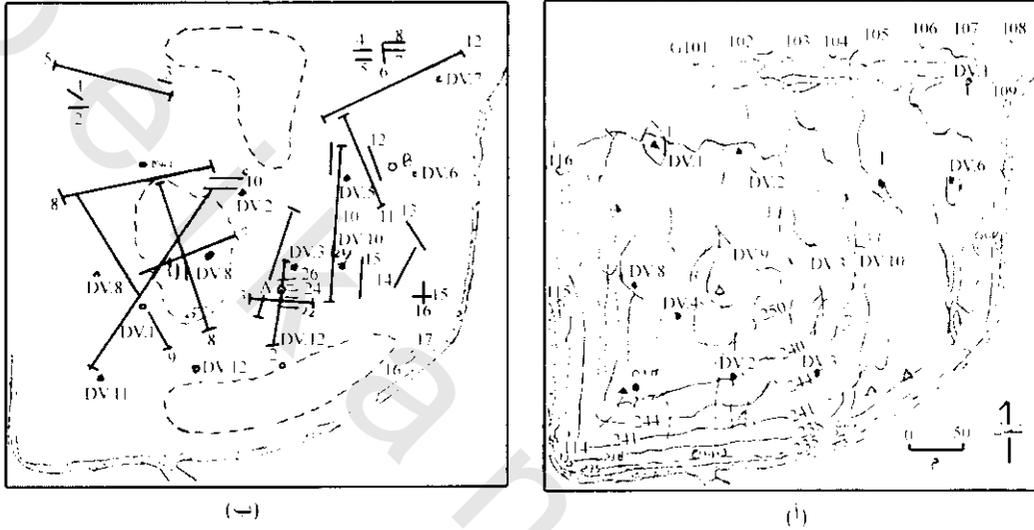
يمثل شكل (2-68) مثال لتسجيل إنكسار سيزمى بإزاحة الوصول الأول الناتج من الدرجة (السلبية) الرأسية المصاحبة لها خلال المحجر القديم المملوء. وقد وضع كاربنتر وآخرين (Carpenter et al. 1991) أثناء استخدامهم لكلا من المسح الإنكسارى السيزمى والمقاومة الكهربائية لإختيار تجمع الغطاء الطينى عبر المدافن البلدية لشمال مالرد Mallard North بالقرب من شيكاغو بالولايات المتحدة الأمريكية، أن الخريطة التفصيلية لسرعة الموجه الأولية  $P_w$ ، يمكن استخدامها لتحديد المناطق التي بها غطاء طينى متشقق (تعطى سرعة أولية منخفضة) بالمقارنة مع غطاء الطين المتماسك (تعطى سرعة أولية عالية).

نفس التغير فى المقاومة الكهربائية مع السمات (azimuth) حول نقطة المركز تدل على اتجاه التشققات خلال الغطاء الطينى. ويشاهد هذا المسح على خريطة الموقع شكل (2-69).



شكل (2-68): قطاع سيزمى عبر واجه محجر مدفون خلال موقع مدفن مخلفات مملوء مسبقا بالمارل (طين جيرى) وذلك تبعا لتسجيل إنكسارى، يدل على خطوط المكاسر الأولى بخطوط مقطعة ومنقطة (رينولد ومكان Reynolds and MacLann).

وقد وجد كاربنتر ومعاونيه أن سرعة الموجه الأولية على طول الخطوط الموازية أو العمودية على التشققات من  $20 \pm 370$  م/ث، إلى  $10 \pm 365$  م/ث بالتتالي، بينما تصل قيمتها إلى  $140 \pm 740$  م/ث عبر الغطاء الطيني الغير متشقق. أيضا وضحوا صعوبة الحصول على وصول إنكساري في بعض المناطق بسبب السرعة الأولية تحت الفصالات والنفايات أقل من الطين التي فوقها. لذلك وجدوا أنه عندما يكون الغطاء الطيني من 1.5-2 متر، كما في هذه الحالة، فإن تصورهم لمسح الكهربى التحت سطحي يكون طريقة سريعة وملانمة لقياس سمك عدم المتداخلات.



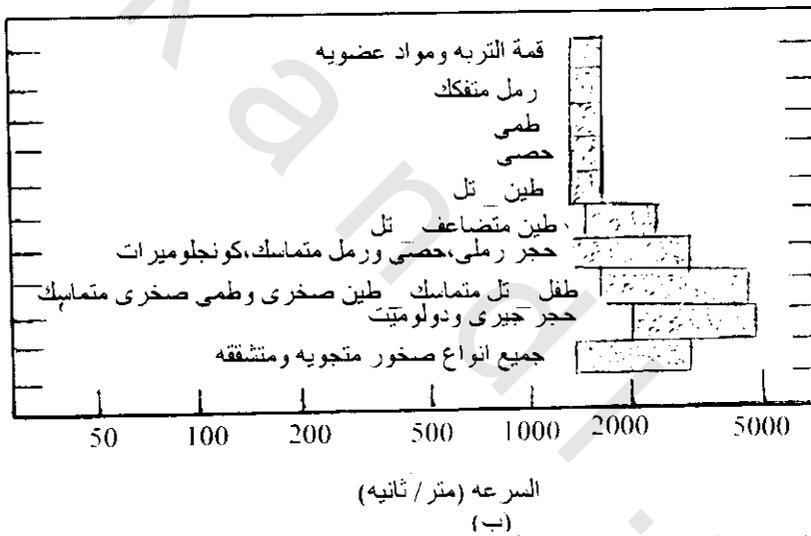
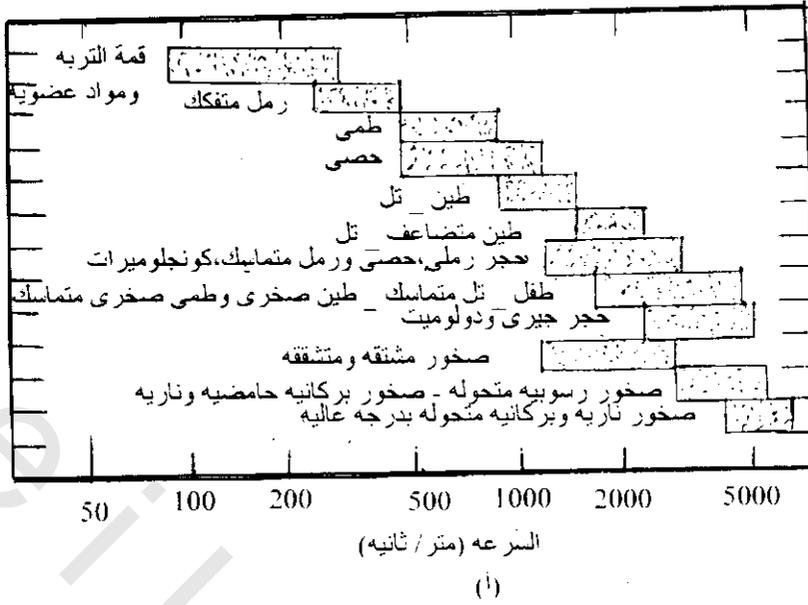
شكل (2-69): خريطة مدفن شمال مالارد (North Mallard، أ) الطبوغرافية التشققات الكبيرة، عروق الغاز الضحلة والعميقة وأبار المراقبة، (ب) خطوط المقاومة الكهربائية، وخطوط الإنكسار السيزمي، وسمت صفوف المقاومة الكهربائية (B) & A) (كاربنتر وآخرين 1991 Carpenter et al.)

#### 5.10.1.4.4.2 استخدام السيزمية الإنكسارية للبحث عن المياه الجوفية

##### Using Seismic Refraction Method for Underground Water Exploration:

يوضح شكل (2-70) خواص السرعات السيزمية لمواد جيولوجية مختلفة، وهذه الخواص يمكن إستخدامها لتعريف طبيعة الرسوبيات الغير متماسكة أو صخور الأساس. وباستخدام السرعة السيزمية لمواد الرسوبيات الخسنة يمكن تمييز الطبقات المشبعة والغير مشبعة بالماء، وكذلك يمكن تخريط مستوى الماء الجوفى water table بدقة تبلغ غالبا 10% عندما تكون الحالات الجيولوجية متشابهة نسبيا.

وحيث أن التغير فى السرعة السيزمية ترتبط بالتغير فى خواص المرونة للتكوينات الجيولوجية فإن التباين الكبير فى هذه الخواص تؤدى لتحديد هذه التكوينات وحدودها. وفى الصخور الرسوبية، فإن تركيب الأنسجة والتاريخ الجيولوجى لها أكثر أهمية من التركيب المعدنى لها حيث تشير المسامية للصخور الرسوبية لنقص فى سرعة الموجات السيزمية ولكن تزيد هذه السرعة عندما تحتوى هذه الصخور على الماء. وبالنسبة للتركيبات



شكل (2-70): السرعة السيزمية للمواد الجيولوجية: (أ) مواد غير مشبعة، (ب) مواد مشبعة، (الجمعية الأمريكية للإنشاءات 1972).  
المتسامكة المتساوية التوزيع المسامي الصغير مثل الحجر الرملي، فإن العلاقة بين السرعة والمسامية تكون كالآتي:

$$\frac{1}{V} = \frac{\alpha}{V_L} + \frac{1-\alpha}{V_S} \quad (2-48)$$

حيث  $V$  = السرعة المقاسة،  $V_L$  = السرعة في السائل المشبع للصخور،  $V_S$  = سرعة نسيج الصخر الصلب،  $\infty$  = مسامية الصخر.

\* السرعة السيزمية في الماء تحت حالات المياه الأرضية النموذجية تماوى تقريبا 1460 م/ث.

شكل (2-71) يوضح مسار الموجه الإنكسارية. فمثلا، يفرض تجانس مواد غير متماسكة محتوية على الماء فعندما تصل الموجه لسطح الماء فإنها تسير على طول الحد الفاصل. وفي أثناء مسارها تنتشر سلسلة من الموجات عائدة إلى الطبقة الغير متماسكة (الغير مشبعة). أماكن تقدم الموجه مساوى لفترات قليلة من المللي ثانية موضحة هذا الإنكسار كما فى الشكل (2-72أ). عند أى مكان على السطح فإن الموجه الأولى ستصل إما مباشرة من نقطة التفجير أو من الأشعة المنكسرة. وقياس فترات الزمن للوصول الأول عند مسافات مختلفة من نقطة التفجير ترسم العلاقة بين الزمن والمسافة شكل (2-72ب). ويعطى مقلوب الميل فى هذا الشكل قيمة للسرعة فوق مستوى الماء مقدارها 500 م/ث، 2000 م/ث للسرعة أسفلها. وباعتبار الطبقة أفقيه فإن العمق لمستوى الماء (Z) يمكن حسابه من السرعات  $V_1$ ,  $V_2$  والمسافات المقطوعة فى الشكل (2-71ب) طبقا للمعادلة

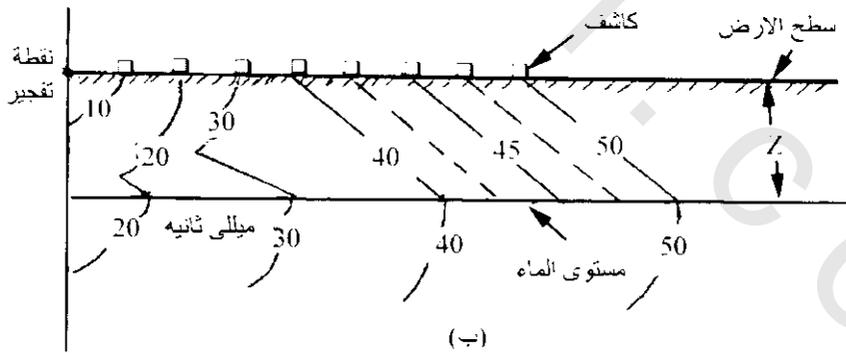
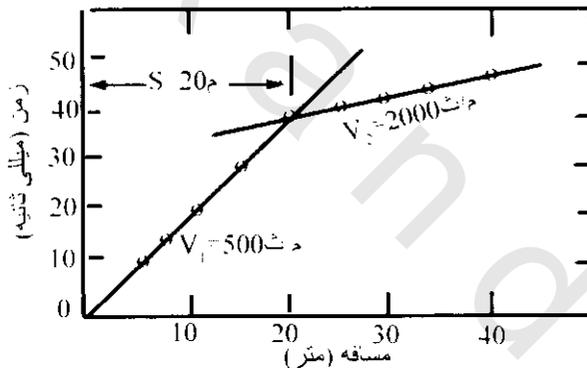
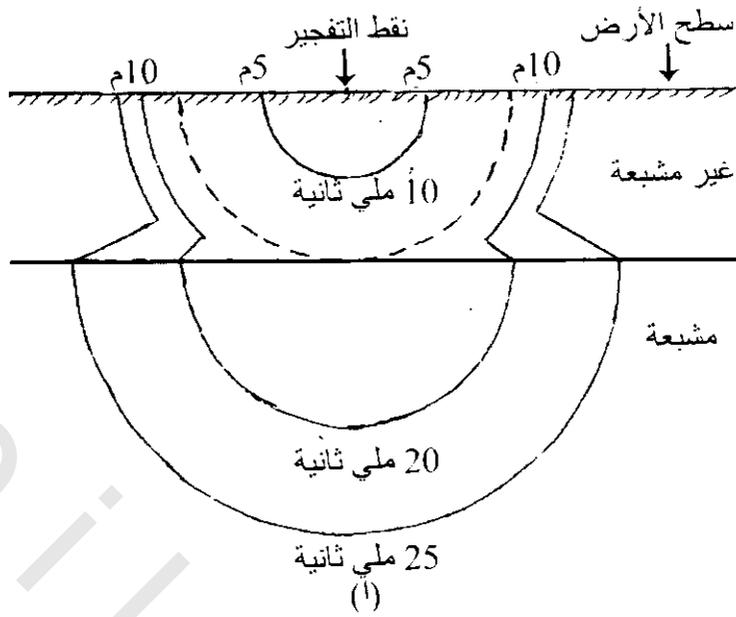
$$Z = \frac{S \sqrt{V_2 - V_1}}{2 V_2 + V_1} \quad (2-49)$$

فى هذا المثال تكون قيمة  $Z = 8$  متر. ويمكن حساب عدة طبقات وميل التكوينات، الفوالق، والتغير فى شكل التداخلات بالطرق المفسرة سابقا أو باستخدام نومجرام السيزمية الإنكسارية الذى عمل بواسطة ميداف Meidav .1968.

وحيث أن مستوى الماء الجوفى يعتبر تقريبا كسطح فإنه يمكن تجنب كثير من المشاكل المفترضة بواسطة عدم إنتظام شكل التركيب الجيولوجى. التطبيق الجيد لهذه الطريقة تتطلب مهارة فى التفسير، مع العلم بأن معرفة معلومات أخرى مثل المواد الصخرية، الأعماق، عدم الإنتظام عن الحالات التحت سطحية تضاف لتسجيلات الحقل، وذلك لأنه من الصعب تحديد الموجود الحقيقى للماء الجوفى بدون معلومات معضده لأن السرعات تتراكم فى الطبقات المشبعة وغير مشبعة، وكذلك فإن زيادة السرعة مع العمق تجعل الطبقة الأكثر كثافة تحجب الطبقات الغير متماسكة الحاملة للماء التى تقع أسفلها.

الطريقة السيزمية الإنكسارية تشير بسرعة واقتصاد للمناطق الغير ملائمة لاختبارات الحفر، كما أنها غير مناسبة للمساحات الصغيرة. حيث أن أقل مسافة للمسح السيزمى لاتقل عن 100 متر فى الإتجاهات المختلفة مع ملاحظة أن الشوشرة المحلية أو الاهتزازات من مصادر مثل السكك الحديدية والمطارات ومواقع التشييد تتداخل فى تسجيلات العمل السيزمى. لهذا فإنه يتطلب فى هذه الطريقة بالنسبة للبحث عن المياه الجوفية أجهزة خاصة وتدريب تقنى جيد للعاملين والمفسرين للنتائج. وعامة تستخدم هذه الطريقة لعمل خرائط قطاعات عرضية لوديان الترسيب حيث يمكن تحديد الطبقات الحاملة للماء الغير حبيسة unconfined aquifers من التغير فى السمك.

وقد قام لينهان وكينس Linehan and Keith 1949 بتحديد امتداد المياه الجوفية فى نيوانجلاند New England التى أمدت بأمتلة واضحة لملائمة الطريقة السيزمية الإنكسارية لرسوبيات غير مشبعة باختلافات ليثولوجية والتي قورنت بآبار مياه منتجة.



شكل (2-71): الطريقة السيزمية الإنكسارية مطبقة لتحديد عمق مستوى الماء: (أ) تقدم الموجة الأمامي، (ب) رسم خطي للزمن-المسافة.

#### 2.4.4.2 طريقة الإنعكاس Reflection Method:

تستخدم هذه الطريقة أكثر من غيرها من الطرق الجيوفيزيائية لتخريط التركيبات تحت سطحية العميقة في القطاع الرسوبي خاصة المتصل بالبحث عن البترول وحيث أنها غير ملائمة للأعماق الضحلة فإنها لا تستخدم في البحث عن الثروات المعدنية ولكن أحيانا تكون نافعة لتحديد وتفسير أنواع معينة من الظواهر الاسترجافية. وأساسيات هذه الطريقة بسيطة لذا فإن تطبيقاتها العملية أصبحت أكثر إنتشارا.

#### 1.2.4.4.2 أساسيات هذه الطريقة Principal of Rflection Method:

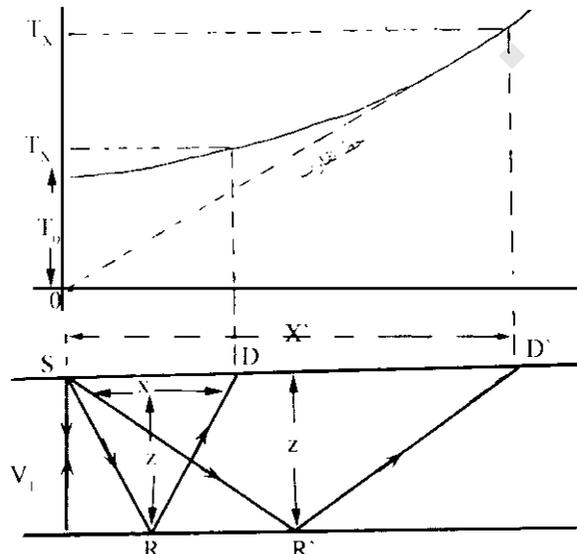
- 1- من الممكن تحديد العمق إلى الفاصل بين تركيبى صخرى بواسطة قياس فترة الزمن للموجات السيزمية المتولدة عند السطح وعودة الإنعكاس من الحد الفاصل.
- 2- تنعكس طاقة الموجه الأولية  $P_w$  والموجه الثانوية  $S_w$  جزئيا، فإذا كانت الموجات الساقطة والمنعكسة من نفس النوع أى موجه أوليه أو موجه ثانوية فإنه يمكن تطبيق القانون العادى للإنعكاس.
- 3- توزيع الكشافات فى هذه الطريقة من نقطة التفجير يكون صغيرا (25 م) بالمقارنة بعمق مستوى الإنعكاس الذى يكون حوالى 500 م، وعادة ما توزع الكشافات بتناسق على جانبي التفجير على طول خط مستقيم بحيث تكون مسافة توزيع الكشافات أقل من عمق مستوى الإنعكاس. وبهذا يكون الإرتجاع الملاحظ للكشافات ناتج من وصول موجه الإنعكاس وليست موجه الإنكسار.

ويوضح شكل (2-72) واحد من أبسط الأوضاع الجيولوجية، حيث يوجد سطح واحد عاكس بين تكوينين صخريين مختلفا السرعة ويبدأ مسار الموجه من نقطة التفجير S وتنعكس على السطح العاكس عند نقطة R ثم تصل إلى الكاشف عند D & D'... الخ. فإذا كانت Z تمثل سمك الطبقة العلوية،  $T_x$  زمن الإنعكاس الأول للموجه فإن

$$T_x = \frac{SR}{V_1} + \frac{RD}{V_1} = \frac{2SR}{V_1}$$

وباستخدام نظرية فيثاغوث

$$\therefore T_x^2 V_1^2 = (2 SR)^2$$



شكل (2-72): أساس طريقة الإنعكاس السيزمى ويوضح الجزء العلوى من الشكل علاقة زمن الإنعكاس مع مسافة الكشافات

$$SR = \sqrt{Z^2 + \frac{X^2}{4}}$$

$$\therefore T_N^2 V_1^2 = 4 \left( Z^2 + \frac{X^2}{4} \right)$$

$$\therefore T_N^2 = \frac{4Z^2}{V_1^2} + \frac{X^2}{V_1^2}$$

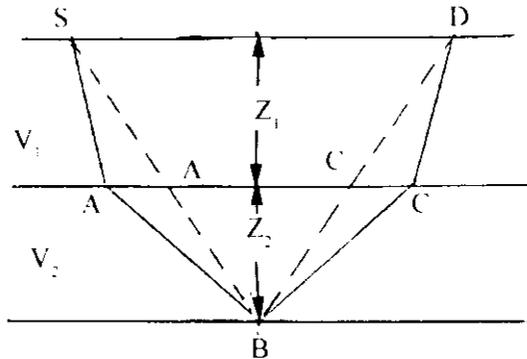
$$\therefore T_N = \frac{Z}{V_1} \sqrt{Z^2 + \frac{X^2}{4}}$$

$$\therefore Z = \sqrt{V_1^2 T_N^2 - X^2} \quad (2-50)$$

حيث  $V_1$  تمثل السرعة فوق مستوى الإنعكاس.

وتوضح كلا المعادلتين الأخرتين أن منحنى  $X$  &  $T$  عبارة عن قطع ناقص مقعر فى إتجاه محور  $X$  ويمثل محور  $T$  محور تماثل والخط البادئ من  $O = T$  &  $O = X$  بميل  $\frac{1}{V}$  هو خط تقارب، وربما تكون هذه العلاقة الهامة محدودة الاستخدام فى المهمة العملية حيث أن جزء القطع الناقص القريب من  $O = X$  يلاحظ أنه عادة ما يكون تقريبا أفقيا.

ويلاحظ أنه إذا زادت  $X$  إلى مسافة  $X_{max}$  فإن زاوية السقوط عند  $A$  سوف تزيد إلى أن تصل إلى الزاوية الحرجة وفى هذه الحالة يصل إلى الكشاف موجة منعكسة ومنكسرة ولتجنب هذا الاختلاط لابد من المحافظة على أن  $X < X_{max}$  ويوضح شكل (73-2) هذه الملاحظة. وعامة إذا وجد مستويين إنعكاس مفصولين بطبقات مختلفة السرعة فعليا تهمل أشعة الإنكسار. فمن شكل (73-2) فإن مسار الأشعة  $SA'BC'D$  تحل محل الأشعة  $SABCD$  وهذا يبرر إعتبار الأشعة ما تكون غالبا رأسية وذلك بتوزيع الكشافات بمسافات صغيرة وفى هذه الحالة تكون فترة زمن الأشعة الرأسية المتجه لأسفل.



شكل (73-2):

$$t = \frac{Z_1}{V_1} + \frac{Z_2}{V_2} = (Z_1 + Z_2) / \bar{V} \quad (2-51)$$

حيث  $\bar{V}$  متوسط السرعة وإذا وجدت عدة طبقات فإن متوسط السرعات من الموجات المنعكسة من  $n^{\text{th}}$

طبقة

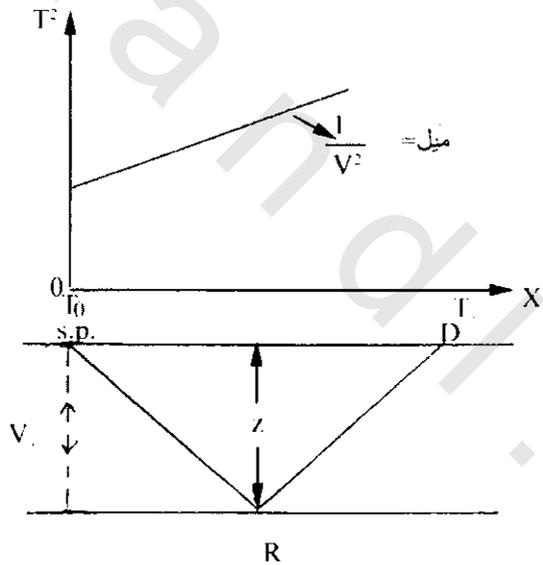
$$\bar{V} = \sum_i^n Z_i / \sum_i^n (Z_i / V_i) \quad (2-52)$$

أما إذا رسمت العلاقة من المعادلة السابقة

$$T_X^2 = \frac{4Z^2}{V_1^2} + \frac{X^2}{V_1^2} \quad (2-53)$$

أى العلاقة بين مربع الزمن ومربع المسافة لذلك تكون هذه العلاقة خط مستقيم كما هو موضح بالشكل (74-

2) وحيث  $T_0$  تمثل الزمن فوق نقطة التفجير أى  $O = X$  فإن  $\frac{2Z}{V_1} = T_0$



شكل (74-2):

$$\therefore T_0^2 = \frac{4Z^2}{V_1^2}$$

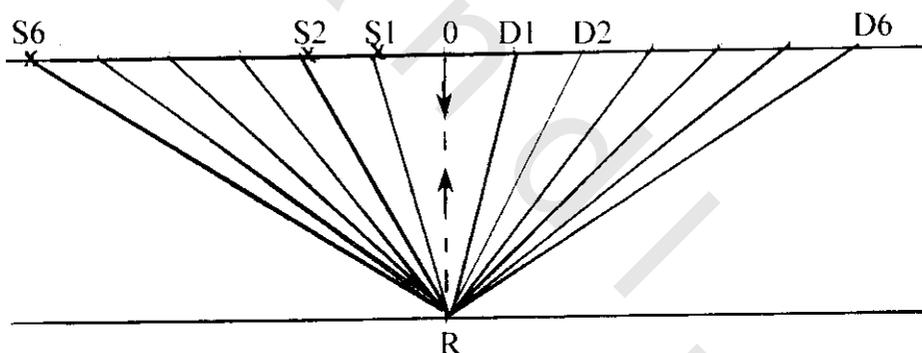
وبالتعويض فى المعادلة السابقة

$$\therefore T_X^2 = T_0^2 + \frac{X^2}{V_1^2} \quad (2-54)$$

وتسمى هذه الزيادة في الفترة الزمنية  $(T_x - T_0)$  بسبب البعد العمودي لـ  $X$  أى  $(X=0)$  بالإزاحة العمودية (Normal Move Out (NMO) [ أو التصحيح الديناميكي Dynamic correction ويستعمل تعبير (NMO) لصغر كافي جدا للإزاحة العمودية بالنسبة للعمق أى أن  $X \ll Z$  وتعطى كالاتي:

$$NMO = T_x - T_0 = \Delta T = X^2 / 2 T_0 V_1^2 \quad (2-55)$$

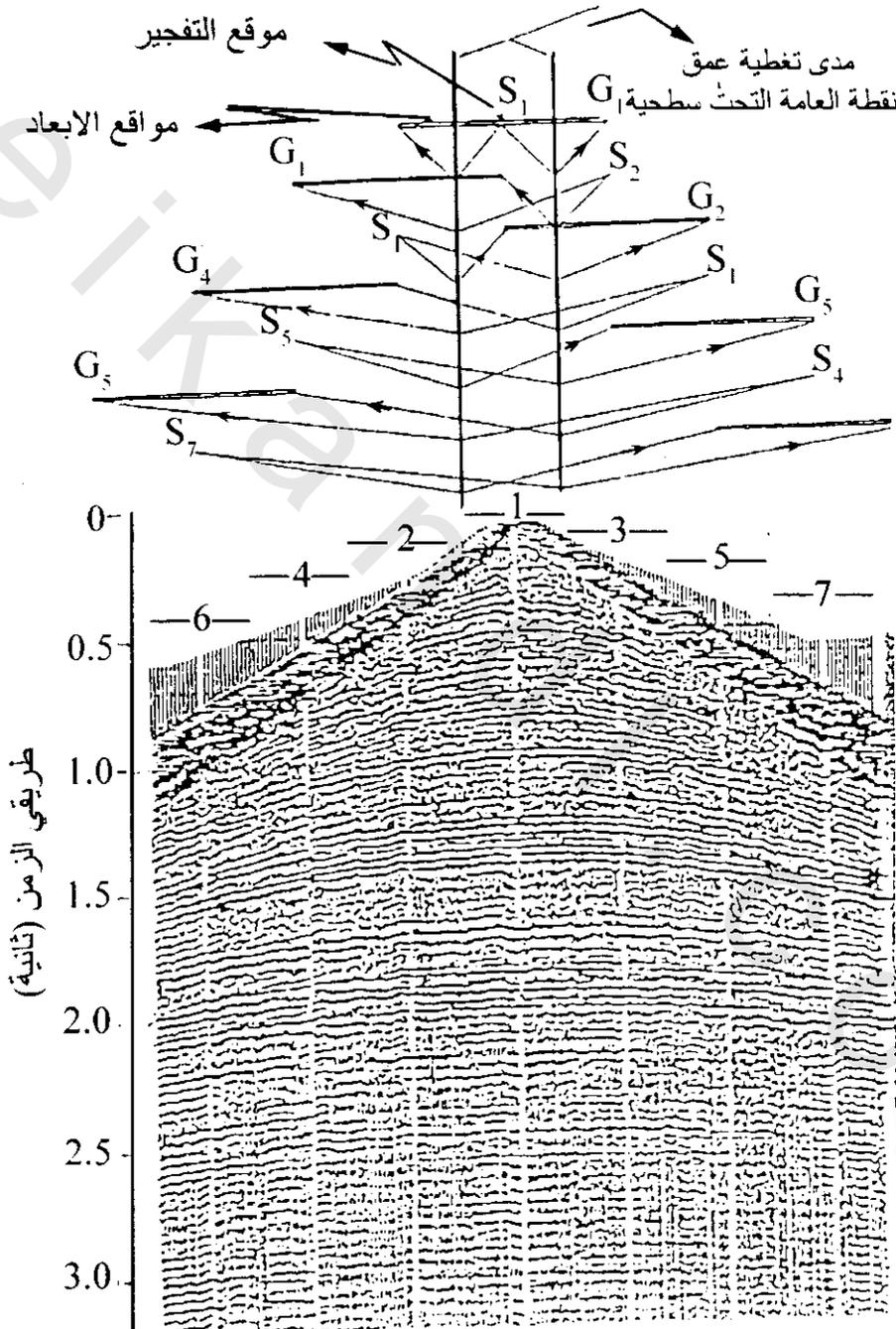
والمعلومات التي يحصل عليها بواسطة نبضة انعكاس لكاشف واحد يكون غير كاف لتوضيح تواجد مستوى انعكاس. وعمليا يوضع صف من الكشافات  $(D^0 \dots D)$  عند مسافة قصيرة نسبيا  $(X \ll Z)$  من نقطة الانفجار ويكون تخريط امتداد الانعكاس التحت سطحي بواسطة إنتشار الكشاف  $D^0$ ،  $D^1$ ،  $D^2$ ،  $D^3$ ،  $D^4$ ،  $D^5$ ،  $D^6$  كما في شكل (2-72). وبواسطة الإزاحة الخطية التدريجية لشكل توزيع الكشافات لنقطة التفجير يمكن تخريط مستمر لمستوى الانعكاس وطول توزيع الكشافات  $D^0 - D^6$  لأغلب المسح الإنعكاسي يكون من رتبة لمتات قليلة من الأمتار بمسافات لبعض عشرات الأمتار بين الكشافات وتكون المسافة  $X$ ، وتوزيع الكشافات  $D^0 - D^6$  كبير لعدة رتب من القيم السابقة وذلك في الإتساع الزاوي لتفجير الانعكاس (لعمل ترجيف عميق) وعامة يستخدم ترتيب (نسق مشطور) لتغطية مستمرة لمستوى الانعكاس وذلك بصف الكشافات على جانبي نقطة التفجير وبواسطة استخدام توزيع شكلي ملائم فإنه من الممكن تسجيل عدد من التفجيرات لنفس نقطة الانعكاس لجميع التوزيع المطبق شكل (2-75)، هذا النظام يسمى [نقطة العمق العامة (CDP) Common Depth Point].



شكل (2-75): رسم خطي يوضح طرق انعكاس الأشعة السيزمية خاصة بنقطة العمق العامة (R) (CDP) لعاكس أفقي. ويوضح الترتيب اعطاء ثنيات تغطي نقطة الانعكاس التحت سطحية

وتعرف عدد مرات نفس النقطة المعينة على العاكس طيه مدى التغطية the fold of coverage، وإذا عينت النقطة التحت سطحية مرة واحدة فقط كما في إزاحة التفجير العامة (الشائعة) عندئذ تعرف هذه الثنية المفردة single-fold أو مدى تغطية 100% وإذا استعمل مثلا 12 مكان للكشافات لتعيين نفس النقطة على العاكس عندئذ يقال لها 12 ثنية أو مدى تغطية 1200% وثنيات مدى التغطية 6، 12، 24، 48، 96 تستخدم تكرارا في صناعة الهيدروكربون. ومع الإرتفاع إلى 1000 ثنية المستعملة أسيا في المساحة الهندسية فإن 12 ثنية مغطية تعتبر عادة زائدة. من عدد الطلقات الممره لمدى تغطية الثنية ممكن تجميعها مع بعض لجميع الأثار الناتجة من نفس نقطة المنتصف العامة (Common Mid Pint (MP) لإنتاج نقطة عامة منتصف مجموعة (Common Mid Point) (Gather (MG) شكل (2-76).

وتستخدم أغلب التسجيلات الحاضرة على الأقل ستة ثنيات مغطية (أى نقطة الإنعكاس التحت سطحية تعين ستة مرات) بعد تصحيح (NMO - تصحيح ديناميكي Dynamic correction وتصحيح التجويه) فإن آثار CDP تجمع مع بعضها للحصول على أحسن أول إنعكاس ويستخدم تأثير CDP لتخفيف تعدد الإنعكاس شكل (2-77)، وتعمل الطريقة على أساس أن الإنعكاس المتعدد له تصحيح NMO أكبر من الإنعكاس الأول الذى يصل فى نفس الوقت.



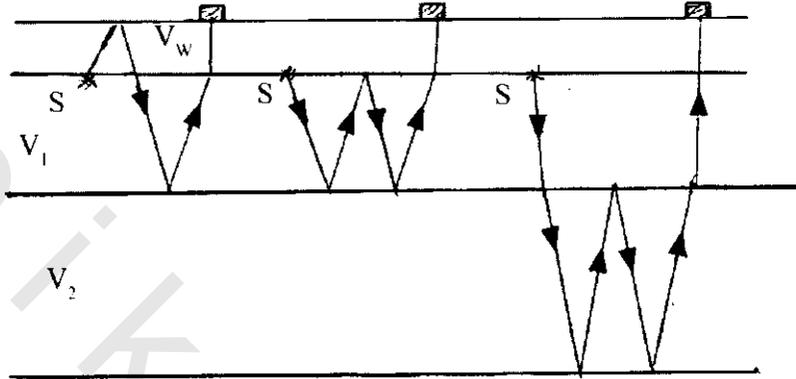
شكل (2-76): مثال لتجمع نقطة متوسطة عامة

وإذا كان هناك مستويين إنعكاسيين أو أكثر فاصلين بين طبقات ذات سرعات مختلفة شكل (2-78) فإن الزمن المقابل المقارب للإنعكاس العمودي يعطى بواسطة

$$T_1 = 2Z_1 / V_1 \quad \&$$

$$T_2 = 2(Z_1/V_1 + Z_2/V_2)$$

وهكذا لـ  $T_n$  و  $T_3$  ،



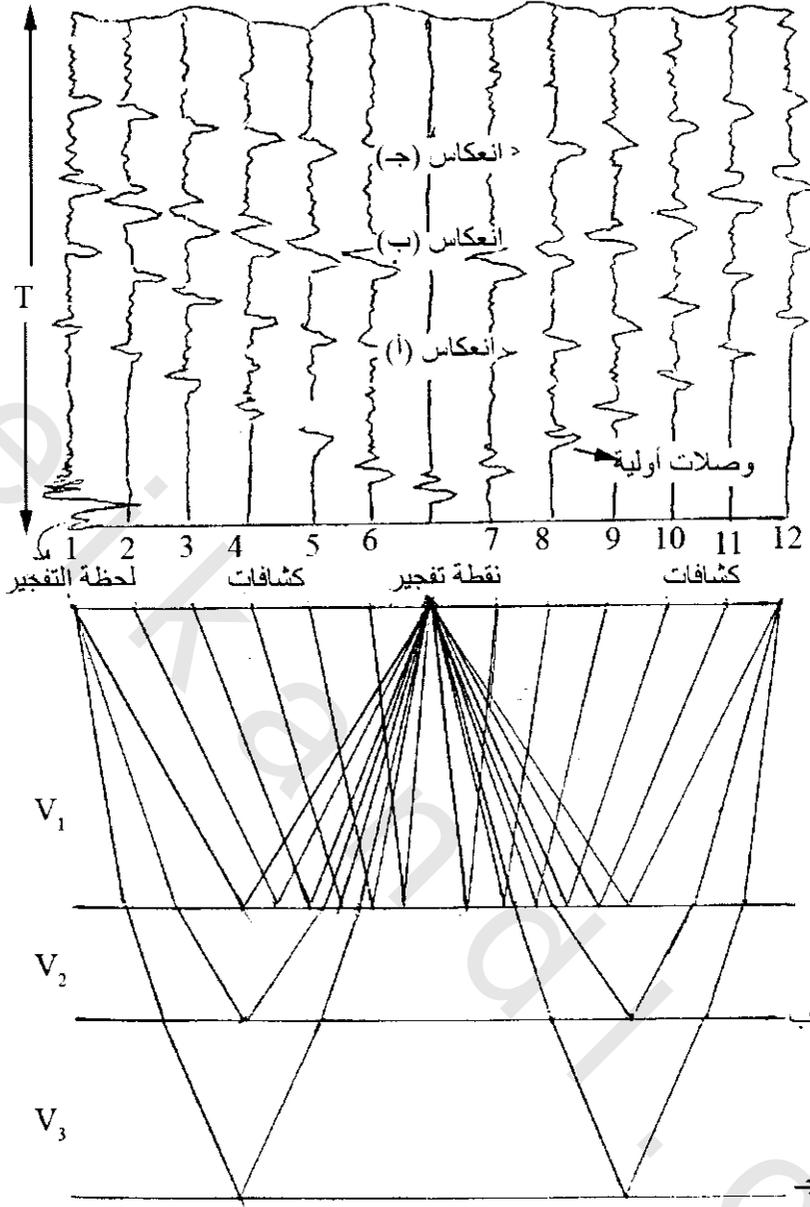
شكل (2-77): بعض تضاعف الإنعكاس. ويوضح الشكل مرور أشعة الإنفجار تحت سطح التجويه

وإذا عرفت متوسط السرعات  $V_n$ ،  $V_1$  للطبقات المتتالية، عندئذ يمكن حساب السمك  $V_1$  إلى  $Z_n$  لهذه الطبقات ويمكن قراءة الزمن  $T_1$  ،  $T_2$  ،  $T_n$  من سجلات الإنعكاس ويوضح شكل (2-78) جزء من سيزموجراف إنعكاس لإثنى عشر أثر. وتمثل الذبذبة كآثر فردي لإشارة أنعكاس أو حركة أرضية بسبب الشوشرة، ولا يدل هذا الأثر الفردي على إشارة مميزة. وربما تكون نبضات الشوشرة غير متشابهة بالضبط في الطور عند جميع الكشافات، بينما نبضات الإنعكاس من فاصل ليثولوجي تصل تقريبا طوريا في نفس الوقت طالما تكون الكشافات نسبيا صغيرة التوزيع طويا. ويلاحظ في العرض الداخلي للسيزموجراف أن مستويات الإنعكاس ذات السعة الكبيرة محددة بواسطة محاذاة مميزة لإشاراتها. وغالبا ماتكون المحاذاة مستقيمة للإنعكاسات المتأخرة بينما للإنعكاسات الأولى فإن النبضات تقع على خط منحنى خفيف والذي يكون ممثلا لخط القطع كما في المعادلة

$$T_X = \frac{2SR}{V_1} = \frac{2}{V_1} \sqrt{(Z^2 + X^2/4)} \quad (2-56)$$

وباستمرارية مستويات الإنعكاس ممكن تأكيد العلاقات الزمنية لسلسلة من السيزموجرافات المحصول عليها بروفيلات انعكاسات مستمرة. ويرى شكل (2-79) عرض بصري (نوع مساحة متغيرة) لربط قطاعات الزمن لمستويات إنعكاسية مختلفة في حوض رسوبي.

وتدل هذه القطاعات الزمنية على إعطاء أكثر الصور المباشرة للتركيبات الجيولوجية تحت سطحية.



شكل (2-78): رسم خطى يوضح نتيجة سيزموجرام انعكاسى. ويرى أثر الإثنى عشر تسجيل التتابع الزمنى لنبضات الإنعكاس من طبقات الإنعكاس.

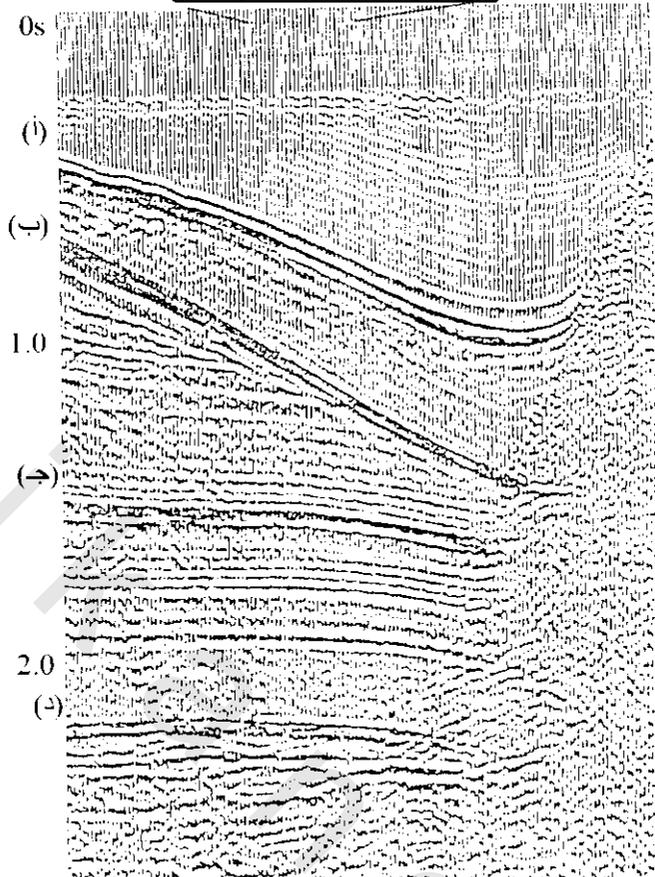
#### 1.1.2.4.4.2 تحديد السرعة Velocity Determination من نقطتى إنعكاس:

من الشكل (2-80) فإن  $T_1$  هي زمن إنعكاس الموجه عند الكاشف  $D_1$  والذى يبعد عن نقطة التفجير بمسافة  $X_1$  و  $T_2$  زمن إنعكاس الموجه عند الكاشف  $D_2$  والذى يبعد عن نقطة التفجير بمسافة  $X_2$ .

∴ معادلة مسار الموجه عند الكاشف  $D_1$  هي:

$$\left(\frac{V T_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{X_1}{2}\right)^2 + Z^2 \quad (2-57)$$

مخرج 24 مسجل (Geophons)



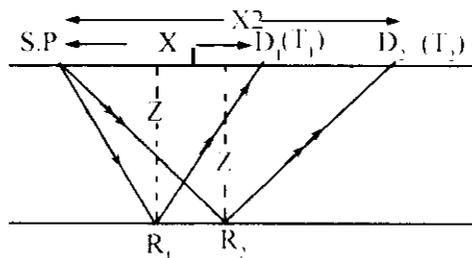
شكل (2-79): تسجيل منطقة متغيرة لمقاومة قطاعات الزمن لمستويات عاكسه متغيرة في حوض رسوبي في البحر الشمالي. تمثل علامات المستويات أ، ب، ج، د، قاعدة الثلاثي، الكريتاوي العلوي، الترياسي، وتكوين برمي بالتتابع، ملحوظة: عدم الاستمرارية الفجائية في مستويات الإنعكاسي بسبب ارتفاع الملح

ومعادلة مسار الموجه عند الكثاف  $D_2$  هي:

$$\left(\frac{V T_2}{2}\right)^2 = \left(\frac{X_2}{2}\right)^2 + Z^2 \quad (2-58)$$

ب طرح المعادلة (2-65) من (2-66)

$$\therefore V^2 = \frac{V_2^2 - X_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (2-59)$$



شكل (2-80):

من هذا يتضح أنه للحصول على معدل سرعة لأي سطح عاكس معين فإنه من الضروري قياس زمن وصول الانعكاس لأي بعدين أفقيين مختلفين. ومن المعادلة يلاحظ أنه يوجد علاقة خطية بين  $X^2$ ,  $T^2$ . ولذلك فإنه في العمل الحقلّي فبدلاً من ملاحظة علاقة بين نقطتين فقط للعلاقة  $X^2$ ,  $T^2$  فإنه من الأفضل الحصول على قيم لـ  $X^2$ ,  $T^2$  ويرسم أحسن خط مستقيم خلال جميع هذه النقط لكي نترك في تأثير خطأ بعض النقط المعينة الذي سيقل بذلك.

#### 2.1.2.4.4.2 من المعادلة (2-67):

يمكن وضع المعادلة 2-67 في الصورة الآتية

$$T_2^2 - T_1^2 = \frac{1}{V^2} (X_2^2 - X_1^2) \quad (2-60)$$

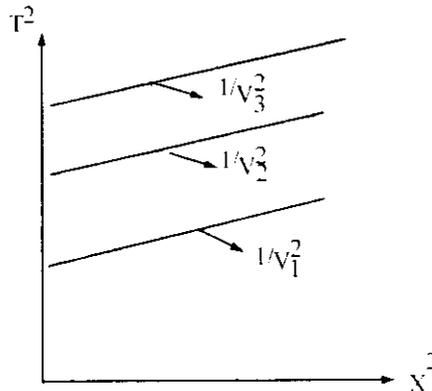
من هذه المعادلة يتضح أن  $V^2$  هي مقلوب الميل كما في شكل (2-81). وإذا رسمت هذه العلاقة لعدة طبقات ذات سرعات مختلفة  $V_1, V_2, \dots, V_n$  فإن كل طبقة سيكون لها خط مستقيم خاصة بها 1, 2,  $\dots, n$  كما في شكل (2-81) ويدل ميل كل خط مستقيم على مقلوب السرعة لكل طبقة.

#### 3.1.2.4.4.2 إيجاد متوسط السرعة من تسجيل إستمرارية السرعة

#### Continuous Velocity Logging (CVL):

#### أو بروفيل رأسى سيزمى (VSP) Vertical Seismic Profile:

إذا كان في المنطقة بئر عميق فإن طريقة (CVL = VSP) تستخدم لتحديد متوسط السرعة وبداية الطريقة تتكون من تفجير شحنة ديناميت في حفرة ضحلة على جانب البئر العميق والذي فيه توضع كشافات لتسجيل زمن وصول الموجات عند فترات عميقة مختلفة تتراوح من 1-2 م كما في شكل (2-82) وفي هذه الطريقة يقاس فترات الزمن المقابلة لفترات العمق بواسطة إنزال الكشافات ويحسب منها الفترات السريعة interval velocity. ومن هذه النتائج تحسب ويرسم متوسط السرعة، وتسمى هذه الطريقة بالتسجيل الصوتي sonic log ويوضح شكل (2-83) جزء من تسجيل استمرارية السرعة مع القطاع الجيولوجي المقابل له والخط المتصل في الشكل يدل على متوسط السرعة.



شكل (2-81): تحديد السرعات المتوسطة لثلاثة مستويات جيولوجية متزامنة بتحليل الانعكاسات على إنتشارات السرعة

## 2.2.4.4.2 الانعكاس من فاصل Reflection from Dipping Interface:

إذا استقبلت الموجه المنعكسة من سطح فاصل مائل عند نقطتين أو أكثر على طول السطح فيمكن تحديد زاوية الميل من اختلاف الزمن بين الانعكاسات. وفى القطاعات الجيولوجية فعدد من الفواصل الليثولوجية أوضاع مائلة مختلفة.

ويوضح شكل (84-2) الطريقة (التصويرية) والتي تعرف بالطريقة التصويرية وغالبا ماتستخدم لتحديد مكان مستوى الميل.

من شكل (84-2) طريق الأشعة الحقيقية AS' الإمتداد لـ D<sub>1</sub>A، ويساوى SA. وبواسطة العناصر الهندسية نرى أن صور مرآئية لـ S فى مستوى الإنعكاس وإذا كانت t<sub>1</sub>، t<sub>2</sub> إلخ الفترات الزمنية على طول SAD<sub>1</sub>، SAD<sub>2</sub>... إلخ. Vt<sub>2</sub>، Vt<sub>1</sub>، إلخ أنصاف أقطار لأقواس مراكزها الكشافات فسوف تتقاطع عند S'، ومن الواضح أن المنصف العمودى لـ SS' تمثل مستوى الإنعكاس.

وباستخدام نظرية الجتا للمستوى الهندسى للمثلين SS'D<sub>1</sub>، SS'D<sub>2</sub> فتكون المسافة العمودية من S إلى مستوى الإنعكاس هى

$$d = \frac{1}{2} \left[ X_1 X_2 + \frac{V^2 (X_2 t_1^2 - X_1 t_2^2)}{X_2 - X_1} \right]^{1/2} \quad (2-61)$$

$$\text{حيث } SD_2 = X_2, SD_1 = X_1$$

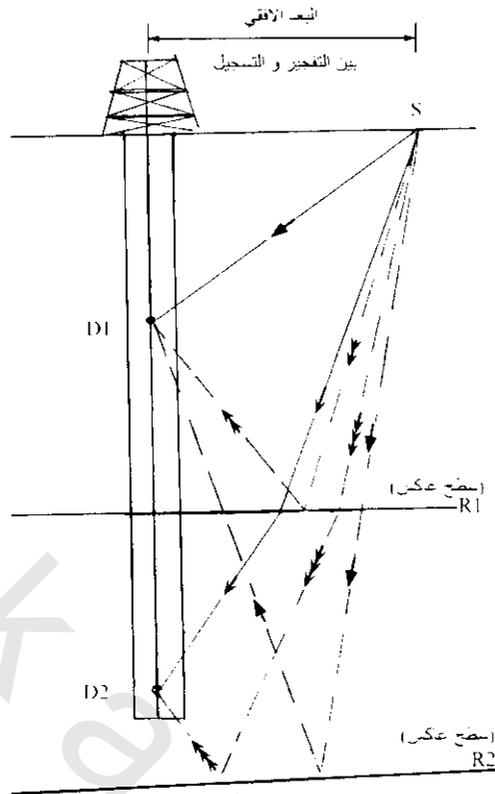
وبنفس النظرية يمكن إيجاد زاوية الميل  $\theta$  من

$$\sin \theta = \frac{V^2 (t_2^2 - t_1^2)}{4d(X_2 - X_1)} \times \frac{X_2 + X_1}{4d} \quad (2-62)$$

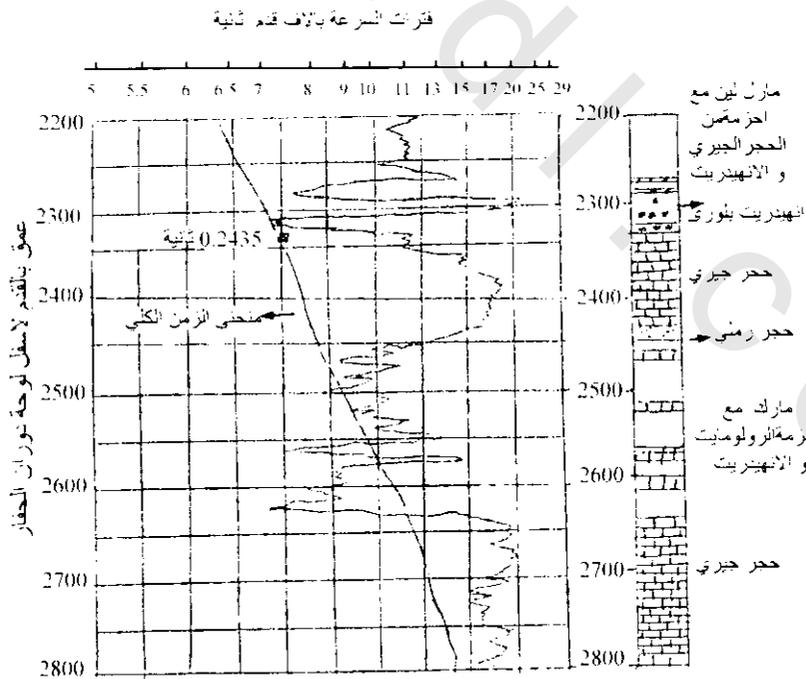
وإذا كانت D<sub>1</sub>، D<sub>2</sub> على جانبى عاكس لـ S (-X<sub>1</sub>=X<sub>2</sub>)، t<sub>1</sub>، t<sub>2</sub> تقريبا يساوى 2d/v (زمن الإنعكاس العمودى) فإن المعادلة السابقة تكتب فى الصورة البسيطة

$$\sin \theta = \frac{V \Delta t}{\Delta X} \quad (2-63)$$

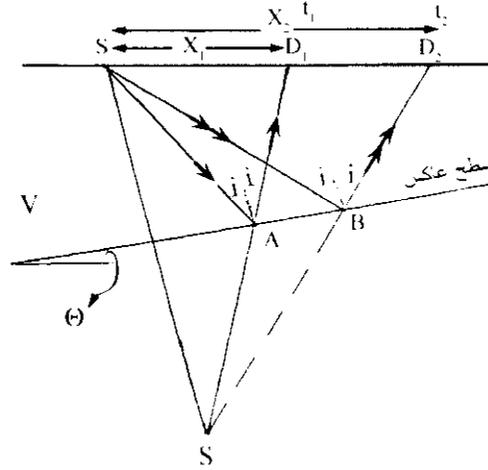
حيث  $\Delta t = t_2 - t_1$ ،  $\Delta X$  = مسافة توزيع الكشافات



شكل (82-2): رسم تخطيطي يوضح أساس بروفيل رأسى سيزمي (VSP)، حيث تعلق الكشافات بالبئر  $D_1$ ,  $D_2$  ويتم التفجير عند  $S$ . ويتم تسجيل الموجات المنعكسة والمحايدة عند الكشافات  $R_1$ ,  $R_2$  و  $D_1$ ,  $D_2$  عواكس متتالية



شكل (83-2): جزء من تسجيل إستمرارية السرعة مع القطاع الجيولوجي المقابل له والخط المتصل فى الشكل يدل على متوسط السرعة



شكل (84-2):

#### 3.2.4.4.2 طرق المسح Survey Methods:

##### 1.3.2.4.4.2 طريقة المسح ذا الإتجاهين Two-Dimensional Survey Method:

يتوقف تصميم المسح على الهدف المستخدم من أجله، فيختلف في حالة التفسيرات الهندسية البسيطة عن البحث والتنقيب عن المواد الهيدروكربونية، حيث يوجد أيضا فروق في التكاليف. وتستخدم هذه الطريقة عادة في التفسيرات الهندسية ويكون النظام عبارة عن نقطة تفجير مع مجموعات من الكواشف تتراوح ما بين 12 إلى 24 كاشف ذات تردد اساسي لا يقل عن 100 هرتز متصلة بكابيل إلى جهاز السيزموجراف الهندسي. ويمثل كاشف أثر واحد على التسجيل. ومن أجل مسح أكبر على إتساع واسع فإن عدة كشافات تتجمع مع بعضها لتكون مجموعة أو صف من الكشافات ويجمع التأثير الخارج مع بعضه ويسجل على قناة واحدة. ويوجد عدة أنظمة مختلفة لإجراء هذه الطريقة:

- 1- الصف الخطى In-line array: وفيها تقع جميع كشافات المجموعة على طول خط المسح.
- 2- الصف العمودي Perpendicular array: وفيه تصف الكشافات عمودية على خط المسح.
- 3- الصف الصليبي Cross array: وتشمل الطريقتين السابقتين.
- 4- الرقعة أو البقعة Patch.

في بعض الحالات ترتب عدد من الكشافات تبلغ عدة مئات في شبكة مربعة وتعرف هذه المجموعة من الكشافات بالرقعة.

وعند تمثيل الكشافات بمجموعات ففي هذه الحالة تحسب المسافة بين نقطة التفجير ومركز المجموعة وتعرف بفترة المجموعة group interval. واستخدام المجموعات المتكررة للكشافات تعطي رد مباشر للصفوف بقصد تقوية الموجات المنعكسة المنقولة القريبة (الرأسية المتجه لأعلى) وتقلل أي شوشرة متجمعة منقولة أفقيا والتي يمكن ربطها من أثر إلى أثر في تباين مع الشوشرة العشوائية والتي تجمع بين الأثر. والشوشرة المتجمعة مثلا ربما تكون في شكل موجات رالي. وإذا كانت المسافة بين الكشافات المفردة في المجاميع تساوي نصف

طول الموجه لموجه رالى عندئذ ستكون الإشارات على الكشافات المتتالية خارج الطور وتزال بواسطة تجمع المخارج من الكشافات. وأى إنتقال لإتجاه أعلى لإنعكاس الموجه الجسمية ربما تصل للكشافات فى نفس اللحظة. والمخارج الكلية تكون عندئذ مجموع مافى إشارات الطور من الكشافات خلال المجموعة. وهذه الميزة أيضا تساعد لترشيح بعض الشوشرة العشوائية ولها تأثير كلى للزيادة ليس فقط لشدة النبضات (الإشارات) ولكن أيضا لنسبة شوشرة النبضات.

عادة ما يكون وضع نقط التفجير لمسح الإنعكاس على الأرض كالاتى:

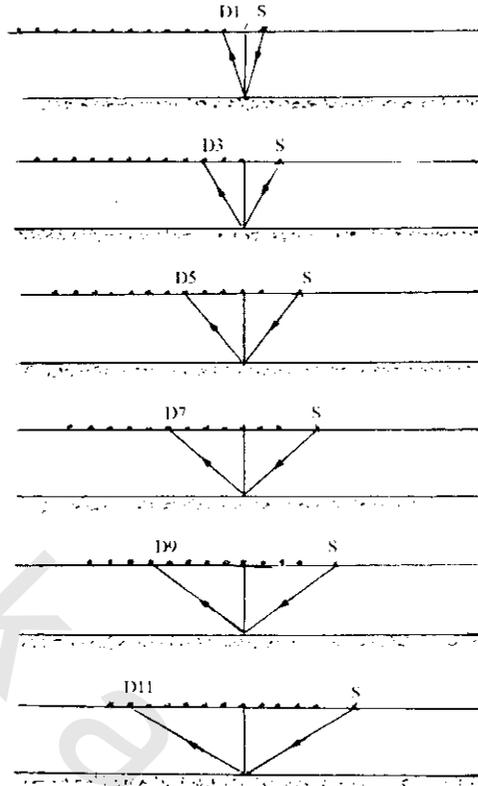
1- تفجير نهاية الخط إلى الكشافات.

2- تفجير إنتشارى وفيه يوضع مصدر التفجير خلال خط الكشافات.

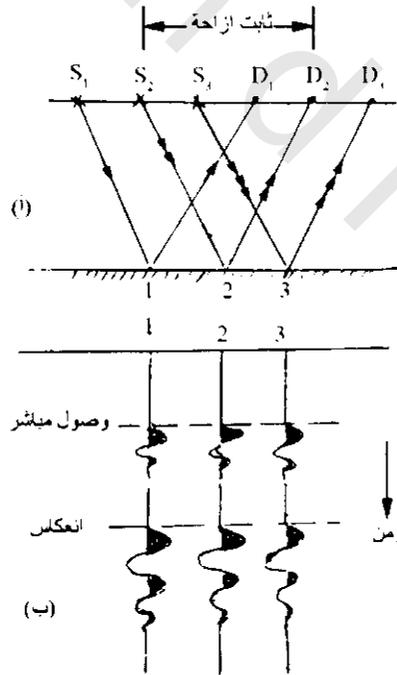
ويمكن حساب طى التغطية لبروفيل الإنعكاس من التعبير الآتى  $N/2n$  حيث  $N$  العدد الكلى لمجموعة الكشافات فى التوزيع ،  $n$  عدد المسافات بين المجموعات والتى بواسطتها يتحرك التوزيع الداخلى على طول خط المسح بين التفجيرات وأفضل مسافة إزاحة تكون مدى الإزاحات التى عندها يصل إنعكاس صخر الأساس قبل أى من الإهتزازات السطحية او الموجات الهوائية. وتعتمد تزايد إختيار المسافة المتحركة بين التفجيرات على نوع الهدف المقصود. إذا كان العاكس المسئول له دلالة ميل أو تضريس سطحي عندئذ تكون أفضل أقل مسافة تتراوح ما بين 1-3 متر. وإذا كان الهدف العاكس سطح معتدل عندئذ ممكن زيادة المسافة ربما إلى 5 متر أو أكثر.

أما المسح المائى للنتقيب عن المواد الهيدروكربونية فيستخدم واحدة أو أكثر من توليفة للتفجير (صفوف بندقية الهواء) إلى واحد أو أكثر من خطوط الكشافات المائية Hydrophone والتى فيها عدد من الكشافات المائية تتصل مع بعضها لتكون مجموعة نشطة ومجموع الخارج منها يغذى قناة واحدة. أما فى حالة المسح الهندسى الصغير فإن المصدر يكون بندقية هواء واحدة أو تردد عالى مع خط كشاف مائى قصير، ربما يكون طوله أقل من 10 متر ويجمع الخارج من كل كشاف مائى ليعطى قناة واحدة فقط. لهذا فبالنسبة لتوزيع 24 كشاف ( $N=24$ ) بمعدل تحرك لفترة واحدة لكل فترة تفجير ( $n=1$ ) فيكون تغطية الطيه  $I_x \frac{24}{2} = 12$ . ويوضح شكل (2-85) مثال لترتيب إنتشار تفجير متتابع مطلوب لإتمام 6 تغطية طيات من توزيع 12 قناة.

وبالنسبة للبحث الهندسى الضحل والمياه الأرضية فإن أبسط صورة لإستخدام المسح الإنعكاسى هى إستخدام كشاف واحد يزاح عن المصدر بمسافات ثابتة. ويعرف هذا الشكل المسحى بطريقة الإزاحة الثابتة ويتحرك المصدر والمستقبل (الكشاف) بتقدم على طول خط المسح فى زيادة متساوية لكل أثر ينتج من كشاف مفرد من كل تفجير شكل (2-86) ويحصل على التسجيل السيزمى بواسطة وضع الأثر المتتابع كل جنب للأخر وبالنسبة لمطالبات مسح خط قصير فإنه من الملائم إستخدام معلومات أساسية بواسطة سيزموجراف بسيط ورخيص لمسح إزاحة ثابتة. أما بالنسبة لمسح كبير فمن الأفضل تنظيم الكشافات فى صف ب 12 إلى 24 مقطع والتفجير بأفضل موازنة لكشاف واحد نشط مع إغلاق كل الكشافات الباقية. وفائدة هذا التقريب يعتمد على إختيار أفضل الموازنة والمسافة المختارة بين الكشافات لاكتساب أغلب النتائج الكافية وتصور العاكس.

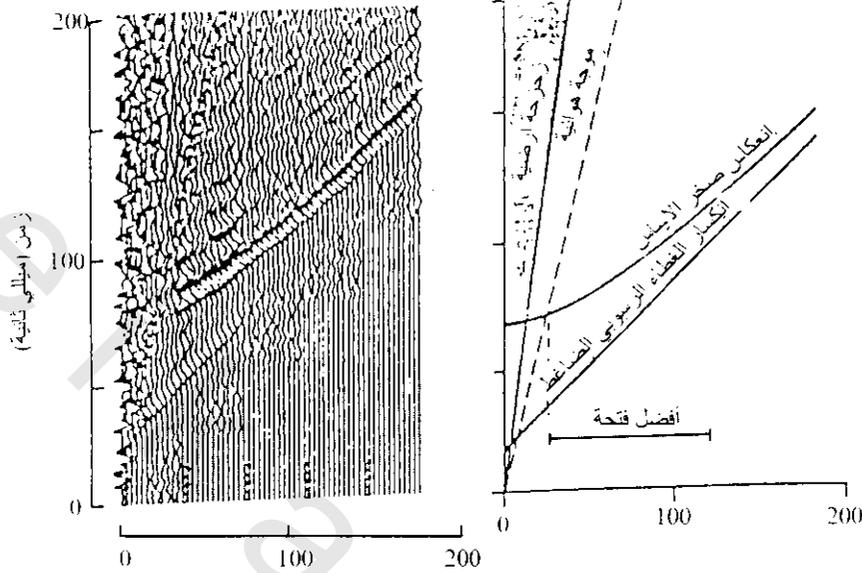


شكل (85-2): تتابع وضع مسحي لمتطلبات تغطية 6 طيات، تدل على المصدر، S على المصدر، D على الجيوفونات (كشافات) وهيدروفون (كشافات بحرية)



شكل (86-2): مسح أنعكاسي ثابت إزاحة لمسح انعكاس سيزمي باستخدام أفضل إزاحة نافذة (أ) طرق الإشعاع، (ب) بثلاث أثار متجاورة باستخدام رسم تخطيطي

إذا كان المصدر والمستقبل الفردي يقعان افتراضيا عند نفس النقطة فإن الاهتزازات السطحية وربما الموجه الهوائية من التفجير ستعطي الكشاف ولا يحصل على معلومات مفيدة. ولكي نقلل تأثير الاهتزازات السطحية يكون من الضروري إزاحة الكشاف من المصدر بكمية مثلى (شكل 2-87). ومسافة الإزاحة هذه من الأفضل تحديدها من محاولات تفجير الانعكاس لقياس أهم إزاحة ملائمة لكي يمكن تصور العاكس المطلوب.



شكل (2-87): أ) تسجيل ضحل مركب ناتج عن 5 تسجيلات (12 قناة) كل منها سجلت بزمن تأخير مختلف بين لحظة التفجير وبداية التسجيل، ب) رسم خطي لزمن مسافة يوضح الأحداث السيزمية الكبيرة على التسجيل. أنسب فتحة تكون لمدى أبعاد (المصدر-المستقبل) التي تسمح لملاحظة هدف الانعكاس بدون الرجوع من أحداث أخرى (سلامة وآخرين Slama et al. 1990)

#### 2.3.2.4.4.2 المسح ثلاثي الإتجاه Three-Dimensional Survey :

بدأت هذه الطريقة في عام 1975 وبدأت تنمو بسرعة في الإستخدام خاصة بعد عام 1985 وكانت تستعمل سابقا فقط عبر حقول إنتاج كاملة التكوين لتنقيب جيد لاستخلاص الهيدروكربونية. وتستعمل أيضا لتحديد إتجاهات نوعية الخزان. والتميز البرهاني للمسح الثلاثي عن المسح الثنائي جعل إستعمالها يزيد، وفي الحقيقة سيكون المسح الثلاثي طريقة أساسية في البحث والتنقيب عن المواد الهيدروكربونية لسنوات عديدة.

وبينما تكون هذه الطريقة ناجحة تماما في الصناعات الهيدروكربونية والتفسيرات الهندسية، فتستعمل أيضا فقط عندما تكون التكاليف المالية للإنشاءات عالية مثل التفسيرات الأساسية لإنشاء المحطات النووية أو أماكن الدفن العميقة للنفايات العالية الإشعاعية.

وينتطلب المسح الثلاثي ترتيب التفجير والكشافات بعناية فائقة لتجنب حيز مستعار. وفي الحقل يحصل على النتائج في مجموعات متبادلة تعرف بتجمعات التفجير العام (common shot gathers)، حيث تجمع جميع المتبادلات مع بعضها وتكون تجمعات التفجير العام مجموعة كاملة لنتائج المسح الثلاثي.

يتم المسح الثلاثي البحري بواسطة تفجيرات بمسافات متقاربة بخطوط متوازية تعرف بالتفجير الخطي (line shooting) (بيحر مركب التفجير في محاذاة خطوط الكشافات المتوازية). أما على الأرض والمياه الضحلة فالمسح يستخدم عدد من خطوط الكشافات المنتشرة متوازية مع بعضها لنقطة تفجير موضوعة عمودية على هذه الخطوط بتشكيل يعرف بالتفجير اللفانفي (swathe shooting).

في المسح البحري يعرف الإتجاه الذي يبحر فيه مركب التفجير محاذاة الإتجاه (in-line direction)، بينما في المسح الثلاثي الأرضي فإن كابل الكشافات ينتشر على طول محاذاة الإتجاه (In-line direction)، ويعرف الخط العمودي على محاذاة الإتجاه بخط الإتجاه المتقاطع (cross-line direction)، وتكون المسافات بين الخطوط البحرية أقل من 50 متر ويمكن أن تصل إلى 12.5 متر.

في المسح الثنائي الإتجاه فإن الآثار traces تتجمع كنقطة متوسطة عامة (CMP)، أما في المسح الثلاثي الإتجاه فإن الرسومات تتجمع مع بعضها كتجمع خلايا عام (صناديق Bins). وتأثيرها فان النقاط العامة للانعكاس من عدد كبير للمصدر وازدواج المستقبلات تقع في داخل مساحة صندوق (Bin) على العاكس (شكل 2-88) بحجم مثالي لـ 25x25 متر. وتكون ثنية التغطية عندئذ هي الرسومات traces المتطابقة لتعطي صندوق (Bin) ويجب الأخذ في الاعتبار ثلاثة مجموعات الإحداثيات الآتية:

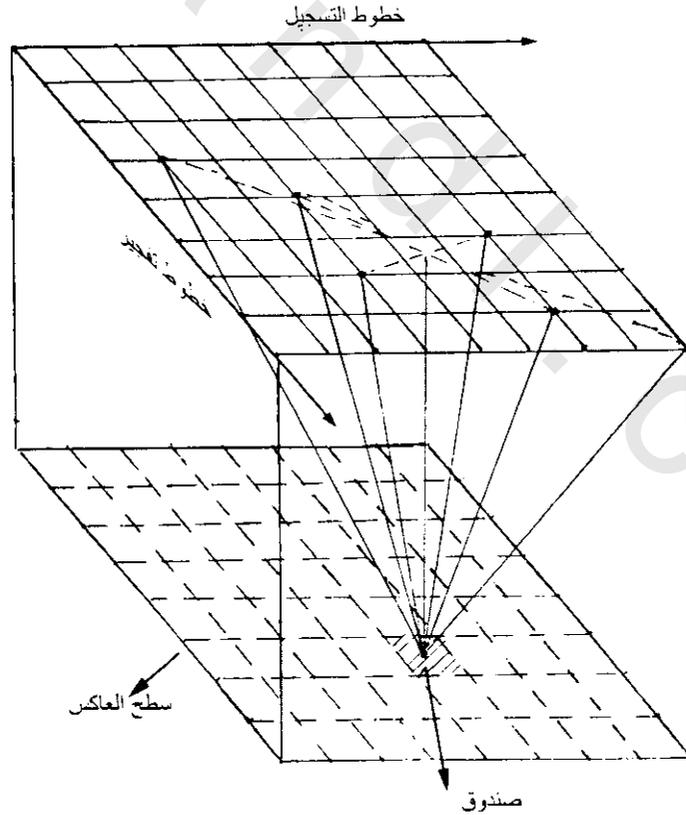
1- فترة الزمن Travel time.

2- ثنائي إحداثيات الحيز Two spatial coordinate.

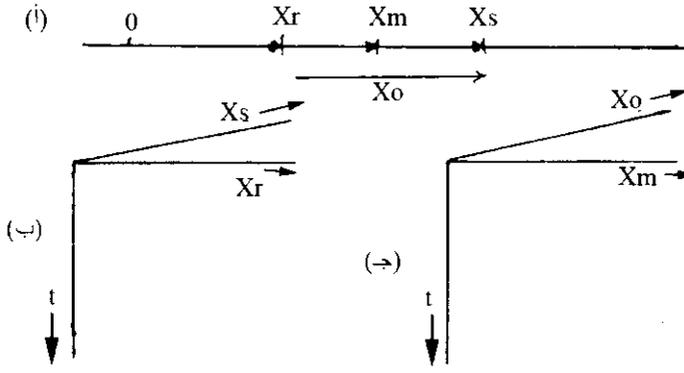
3- النقطة المتوسطة Mid point ( $X_m$ ).

4- الإزاحة ( $X_a$ ) Offset.

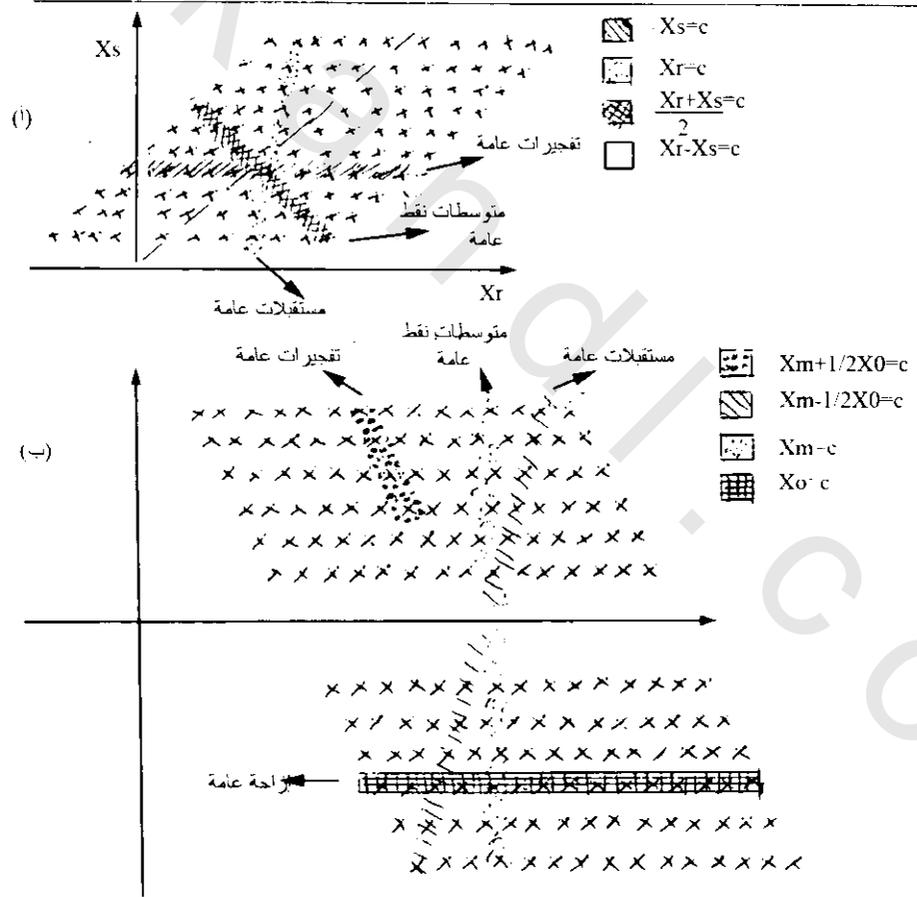
ونفس النتائج من الممكن وضعها فترات الزمن ( $X_o$ ) terms of travel time وإحداثيات المستقبلات  $X_o$ . والعلاقة بين هذه المجموعات الإحداثية موضحة في شكل (2-89).



شكل (2-88): مسح ثلاثي الأبعاد مع عدد قليل من طرق الإشعاع توضح صندوق تجمعات تفجير عام. لا يوجد مطلب لحجم الصندوق ليكون مساوي للتفجير (شبكة الاستقبال) وهذا موضح برسم خطي



شكل (2-89): نتائج نظام ترتيب: (أ) أربعة أنظمة ترتيب خاص في علاقة مع الخط السيزمي (المرجعي)، (ب) نظام ترتيب وتفجير واستقبال، (ج) نظام ترتيب إزاحة نقطة المنتصف (فيرمر 1991 Vermeer) ويوضح شكل (2-90) طريقتين للتوزيع الهندسي للمصدر والمستقبلات. أما شكل (2-91) فيوضح نظام مسح إضافي.



شكل (2-90): وصف لما قبل تجميع نظام نتائج سيزمية: (أ) نظام ترتيب تفجيرات ومستقبلات (شكل سطحي)، (ب) نظام ترتيب إزاحات منتصفات النقاط (شكل تحت سطحي أو شكل ترتيبي) (فيرمر 1991 Vermeer)

## 4.2.4.4.2 النبضات السيزمية: Seismic Pulses:

## 1.4.2.4.4.2 انتشار النبضات Propagation of pulses:

عندما تنفجر الشحنة فإن المادة حولها تنهدم وتتولد موجات سيزمية فى إتجاه الإنتقال الخارجى، حتى عند المسافات الكبيرة والتي تبلغ عدة أمتار من التفجير فإن أكبر إجهاد إختبارى للمادة ربما يزيد معدل العلاقة العكسية للإجهاد والإنفعال (Stress & strain) وأيضا يتضح الوضع العام للإنتشار الموجى. وعندما تكون المسافة حول التفجير التي يقع عندها أكبر إجهاد فإن علاقة الإجهاد والإنفعال تعرف بالفراغ المكافى. وتعتبر هذه المنطقة (الفراغ المكافى)، غالبا أكثر تأثيرا من التفجير نفسه حيث تكون مصدر للنبضات السيزمية. تبعا لنظرية رشر 1955 Richer، ينتقل مركز النبضات بسرعة تبعا لخواص وسط الإنتقال، ويقاس اتساع النبضة (بـ  $\mu S$ ) والتي تزيد بزيادة إنتشار الزمن تبعا لقوانين معروفة (محددة). فمثلا فى الطفله، فإن اتساع النبضة تتناسب مع جذر مربع الزمن. إذا واجهت النبضة حد فاصل بين تركيبين جيولوجيين لهما ممانعة صوتية مختلفة (حاصل ضرب السرعة المرنة وكثافة التكوين) سيحدث إنعكاس للنبضة المتسعة وتستقبل عند سطح الأرض بعد مدة من الوقت شكل (2-92) (أنستى 1955 Ansty). ويعتمد شكل واتساع النبضة وكذلك طيف ترددها على فترة إنتقال الزمن. وسوف يشوه امتداد النبضة أما لأكبر أو لأقل بواسطة أجهزة التسجيل.

بالإضافة لوجود تباين كبير للسرعة والتي تسبب انعكاسات قوية، عامة يكون هناك عدد من تباين سرعى صغير فى العمود الجيولوجى. لكل هذا وكذلك لعدم تجانسات أخرى سوف تتولد نبضات انعكاسية والتي تصل للسطح فى شكل متسع يتكون التسجيل السيزموجرافى بين إنعكاسية قوية وليس فقط لشوشرة امتداد كبير ولكن كل هذه الإنعكاسات تتراكب عليه وتتداخل كل فى الآخر. وي طرح ماتبقى بعد هذه الإشارات، وتتكون الشوشرة بسبب الموجات السطحية والعرضية (تضاعف الموجات المنعكسة) حيث تنتقل خلال طبقات التجويه والرياح. الآن، يكون التسجيل السيزمى قيم لاحتوائه على كمية من المعلومات عن عدم التجانس التحت سطحى ولكن الجزء الصغير منه الشامل على الشوشرة فيمكن استخراجها بواسطة نظرية الأشعة البسيطة.

## 2.4.2.4.4.2 تخفيف النبضة Attenuation:

تقل سعة الموجه السيزمية عند إنتشارها خلال الأرض بسبب ثلاثة عوامل:

أ- التفرق الهندسى للأشعة مع الانتقال الجزئى.

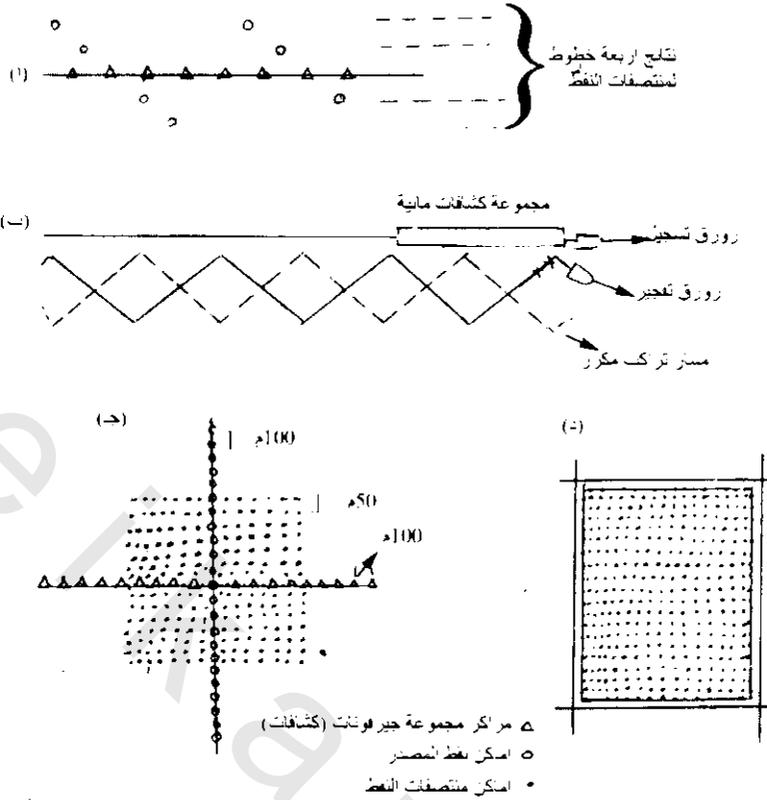
ب- الإنعكاس عندالحدود السمعية.

ج- إمتصاص الطاقة فى وسط الإنتقال.

التأثير الأول معروف جيدا حيث أن سعة الموجات الكروية تقل فى السعة فى تناسب عكسى مع مسافة إنتقال الموجه من المصدر. ومعاملات الإنتقال والإنعكاس للفواصل الجيولوجية فى التأثير الثانى هي دالات للتباين المرن بين الطبقات المتلاصقة. بعض المعلومات حول هذا التباين يمكن الحصول عليها من مقارنة سعات نبضات الإنعكاس. ومع أن نظرية هذا العنوان (تخفيف النبضة) طورت إنتشار استخدام تقدم التحكم الأوتوماتيكى فى المكبرات السيزمية فما زالت مؤثر مانع لهذه المقارنة. ولكن بنظام التسجيل الرقى الحديث الذى له معدل امتداد ديناميكى فإن هذا الموضوع جذب إنتباه أكثر لمعالجة هذه المسألة.

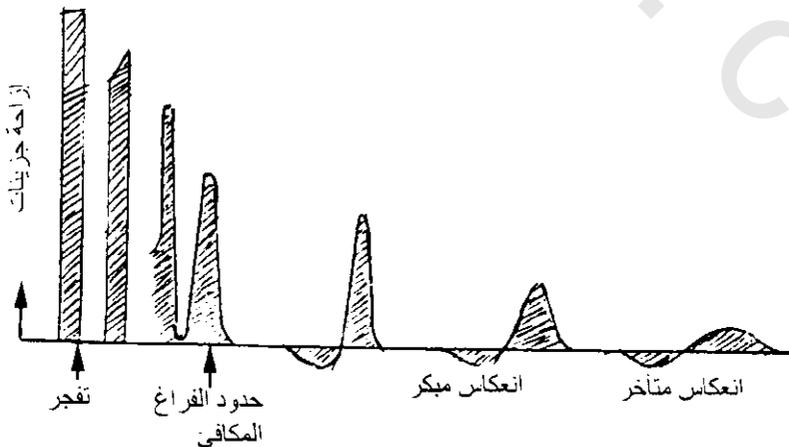
مستوى تخفيف الموجات بسبب إمتصاص الطاقة فى التأثير الثالث يكون أكثر معرفة بالشكل الأسى.

$$A = A_0 \exp(-\delta f/V)$$



شكل (2-91): مسح تخطيطي بحثي لثلاث أبعاد: (أ) تخطيط خطي واسع، (ب) زجاج (بوكوفس ونوتيوم Bukovics and Nooteboom 1990)، زلزال حلقى حيث توضع المصادر والكشافات حول محيط (شرف 1991 Sheriff)

حيث  $\delta$  هي النقص الأسي،  $f$  التردد،  $A$  المسافة،  $V$  السرعة. القيمة النموذجية ( $\delta$  لكتل مواد الأرض حوالي 0.02-0.03). واقترح نوعين للإمتصاص الميكانيكي هما اللزوجة والأجزاء الصلبة. وقد لوحظ هذين الإمتصاصين في الصخور ولكن يبدو أن الأجزاء الصخرية عامة هي السائدة. وظاهرياً فإن وجود المياه تزيد النقصان في الإمتصاص الميكانيكي وفي نفس الوقت تؤدي لسيادة الإخماد اللزوجي.



شكل (2-92): إتساع النبضة السيزمية

## 5.2.4.4.2 الترشيح وترتيب الجيوفونات Filtering and Geophone Arrays

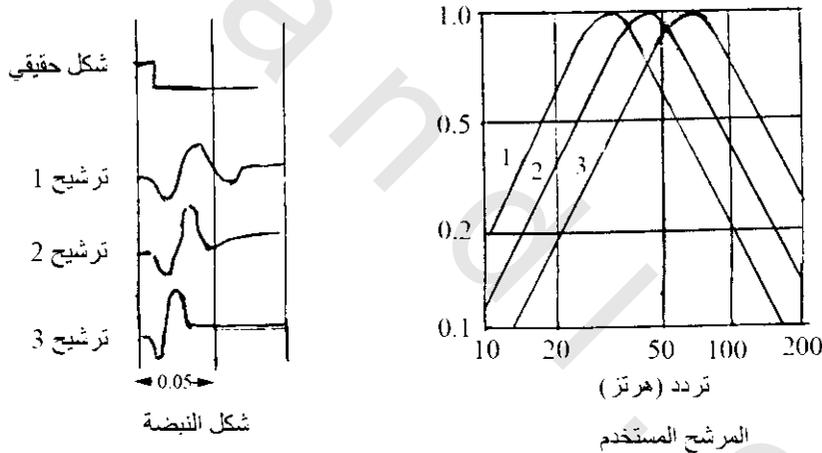
## 1.5.2.4.4.2 الترشيح Filtering

أهمية الترشيح هو إستبعاد الشوشرة المشارية إليها سابقا. هذه الشوشرة والتي ترجع أساسا للموجات السطحية (درجة أرضية) والرياح مسنولة عن إخفاء إشارات الإنعكاس. عامة، عمليا يتم في الترشيح قطع تردد درجة الأرض المنخفضة بواسطة مرشح عالي المرور وتردد الرياح العالي بواسطة مرشح منخفض المرور. ومن أضرار المرشح أنه أحيانا يشوه شكل نبضة الإشارة. وعادة ما تكون الإشارة مستطالة وأيضا مزاحة الطور. لذلك فإن خواصها القمية والقاعية تراج زمنيا كما هو موضح في شكل (2-93) لنبضة بدايتها لها شكل طوري. وحاليا يستخدم الترشيح العدى أكثر من استخدام الأجهزة والتي مازال أيضا منتشرة. وعلى هذه التسجيلات السيزمية يتم تعكيس لتأثير وسط الانتقال، والتلامس وتقريب الموجة، وذلك بغية معرفة الإمتداد لها تحت مسارها في الانتقال. الغرض الأساسي لهذا هو إستنتاج الشكل الأصلي للموجة، وتعرف هذه الطريقة بثانوى الطي وقد وضع سميث 1958 طرق الترشيح بالأجهزة وكذلك الترشيح الحسابي.

## 2.5.2.4.4.2 مضاعفة صفوف الكشافات وتثبيتها

## Multiple Geophone Arrays and Stacking

ويتم ذلك بتجميع نقط العمق العامة [Common Depth Point (CDP)] كما ذكر في صفحة 104 , 105.

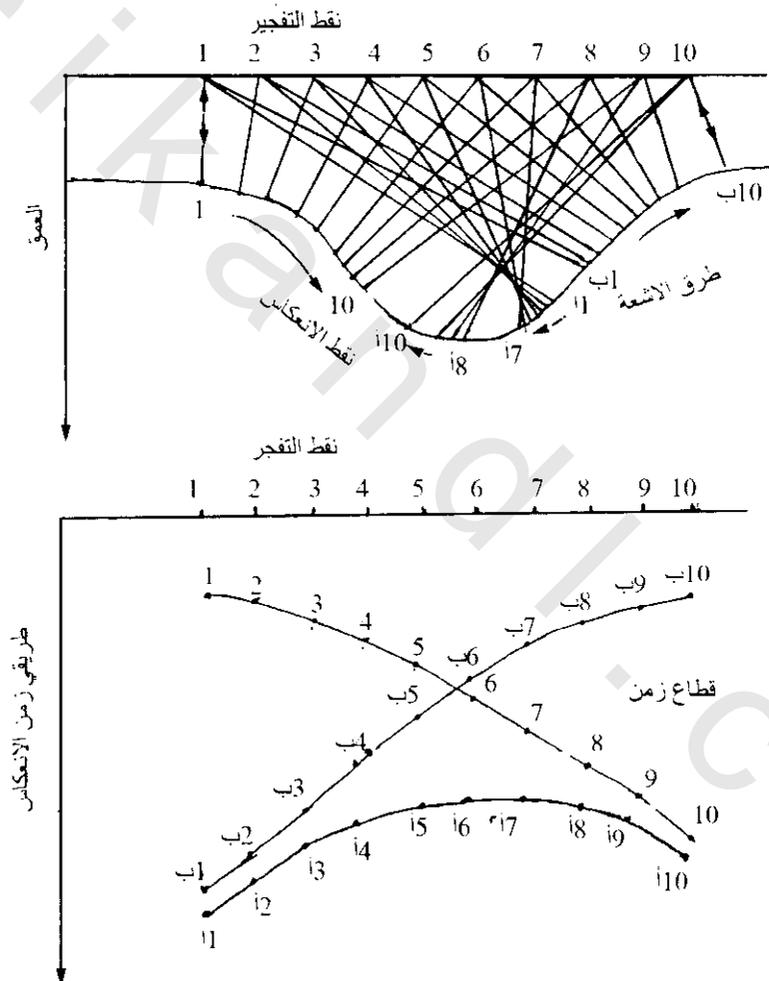


شكل (2-93): تأثير الترشيح على إشارة متدرجة

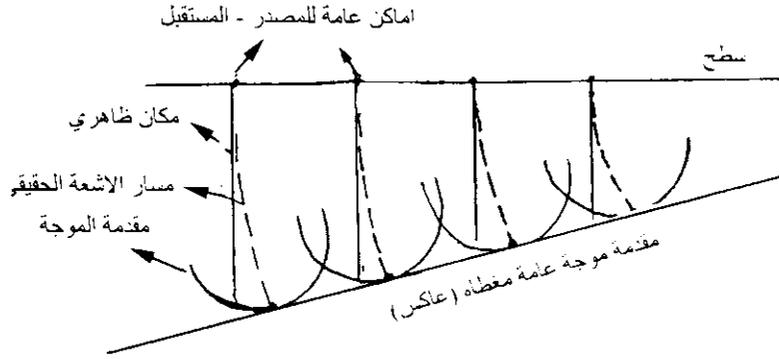
## 6.2.4.4.2 إزاحة (إرتجال) نقطة الإنعكاس Displacement of Reflection Point

تتجمع نقط العمق العامة (Common Depth Point (CDP)) لأحداث الإنعكاسات عند نقطة المراقبة تبعاً لتكرار ثانى لطريق فترة الزمن بين نقط الإنعكاس ومستقبل المصدر عامة مكانها مع موازنة الصفر (إزاحة الصفر). ولذلك تظهر قطع مستويات الإنعكاس رأسية أسفل نقطة الملاحظة (مثال لذلك قطعة أسفل النقطة 0 شكل (2-75))، وهذا يحدث عندما يكون مستوى الإنكسار أفقياً. أما في حالة الطبقات المائلة فإن تنقيط قطع الإنعكاس رأسياً أسفل المكان العام لمستقبل المصدر ينتج تشتت في تخريط الإنعكاس كما في شكل (2-94)، وتظهر قطع الإنعكاسات في منطقة الميل الشديد على قطاع الزمن إعتبارياً مزاحة من مكانها الحقيقي. وليس من السهولة تفسير نتائج قطاع الزمن في هذه الحالة ويكون الإرتجال (الإزاحة) عملية بواسطتها يزال تأثير هذا الميل والمنحنى للعاكس.

إذا كانت السرعة دالة للعمق فيمكن إزاحة الانعكاس بواسطة طريقة غلاف مقدمة الموجه ويكون الانعكاس المائل عمودي على أشعة الانعكاس في نموذج الموقع العام للمصدر والمستقبل. ويحدد العاكس بواسطة سطح مماس (غلاف عام) لجميع مقدمات الموجه المرسومة لجميع الأشعة السيزمية الساقطة (شكل 2-95). وبواسطة استخدام نتائج السرعة يمكن إنشاء مقدمة منحنيات مقدمة الموجه من زمن انعكاس طريقي الموجه (طريق السقوط وطريق الانعكاس). و سطح المماسات العامة لمقدمات هذه الموجات يعطى موضع الإزاحة الحقيقية للانعكاس. ويمكن تنفيذ الطرق المختلفة للعمليات المكافئة بواسطة طرق رياضية متقنة (مثلا معادلة الموجه أو بواسطة تطور فرق الإزاحة الدقيقة بواسطة (كليربوت 1971, Clearbout) التي تستخدم حديثا بواسطة أغلب نتائج عمليات المقاولين. والشرح المنتقد للطرق المختلفة للإزاحة ممكن إيجادها في البحث المرجعي (هود 1981, Hood).



شكل (2-94): انعكاسات من طيه مقعرة ضيقة وتبدأ الإشعاعات من أماكن المصدر (1-10) وتنعكس لأعلى ثلاثة أنواع من النقاط (جميعها عند حائط عمودية على عاكس مقعر. عدم التشابه لنتيجة قطاع الزمن تؤكد الاحتياج لإزاحة قطع الانعكاس (بعد ميكلون وآخرين 1979, McQuillin et al.))



شكل (2-95): أساس طريقة إزاحة على مقدمة موجة عامة مغطاة (بعد السعيد 1982 Al-Said)

#### 7.2.4.4.2 الف والتمودج السيزموجرافى Convolution and Synthetic Seismogram:

ينشأ الانعكاس السيزمى من التغير فى الممانعة الصوتية للأرض. إذا عرف معامل الانعكاس

$$\text{حيث } (\rho = \text{الكثافة}) \text{ عند كل حد فاصل فيمكن بذلك حساب سعة نبضة الانعكاس، وإذا أمكن} \frac{V_2 \rho_2 - V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2 + V_1 \rho_1}$$

جمع النبضات المختلفة فى علاقة زمنية صحيحة (مضبوطة) فإنه يمكن عمل نموذج لتسجيل سيزموجرافى. إذا كان معامل الانعكاس موجب، فتنعكس النبضة التصادمية باتساع كضغط تخلخل، بينما إذا كان معامل الانعكاس سالب فتسبب ضغط لينعكس كتخلخل والعكس بالعكس. وأكثر من هذا فى حالة أخرى تقل إزاحة النبضة فى اتجاه تناسبى لمعامل الانعكاس.

يوضح شكل (2-96) تأخر موجى ممثلا لإضطراب أرضى عند السطح وذلك عندما تنعكس النبضة من الحد الفاصل بمعدل انعكاس نموذجى ويصل للسطح. ويكون هذا المعدل الإنعكاسى كافيا ضبطينا لفرضنا لوصف التأخر الموجى بواسطة سلسلة من المسافات الموحدة المنتظمة 0، 4، -12، 20، -28، 36، -44، 52، -60، 68، -76، 84، -92، 100، -108، 116، -124، 132، -140، 148، -156، 164، -172، 180، -188، 196، -204، 212، -220، 228، -236، 244، -252، 260، -268، 276، -284، 292، -300، 308، -316، 324، -332، 340، -348، 356، -364، 372، -380، 388، -396، 404، -412، 420، -428، 436، -444، 452، -460، 468، -476، 484، -492، 500، -508، 516، -524، 532، -540، 548، -556، 564، -572، 580، -588، 596، -604، 612، -620، 628، -636، 644، -652، 660، -668، 676، -684، 692، -700، 708، -716، 724، -732، 740، -748، 756، -764، 772، -780، 788، -796، 804، -812، 820، -828، 836، -844، 852، -860، 868، -876، 884، -892، 900، -908، 916، -924، 932، -940، 948، -956، 964، -972، 980، -988، 996، -1004، 1012، -1020، 1028، -1036، 1044، -1052، 1060، -1068، 1076، -1084، 1092، -1100، 1108، -1116، 1124، -1132، 1140، -1148، 1156، -1164، 1172، -1180، 1188، -1196، 1204، -1212، 1220، -1228، 1236، -1244، 1252، -1260، 1268، -1276، 1284، -1292، 1300، -1308، 1316، -1324، 1332، -1340، 1348، -1356، 1364، -1372، 1380، -1388، 1396، -1404، 1412، -1420، 1428، -1436، 1444، -1452، 1460، -1468، 1476، -1484، 1492، -1500، 1508، -1516، 1524، -1532، 1540، -1548، 1556، -1564، 1572، -1580، 1588، -1596، 1604، -1612، 1620، -1628، 1636، -1644، 1652، -1660، 1668، -1676، 1684، -1692، 1700، -1708، 1716، -1724، 1732، -1740، 1748، -1756، 1764، -1772، 1780، -1788، 1796، -1804، 1812، -1820، 1828، -1836، 1844، -1852، 1860، -1868، 1876، -1884، 1892، -1900، 1908، -1916، 1924، -1932، 1940، -1948، 1956، -1964، 1972، -1980، 1988، -1996، 2004، -2012، 2020، -2028، 2036، -2044، 2052، -2060، 2068، -2076، 2084، -2092، 2100، -2108، 2116، -2124، 2132، -2140، 2148، -2156، 2164، -2172، 2180، -2188، 2196، -2204، 2212، -2220، 2228، -2236، 2244، -2252، 2260، -2268، 2276، -2284، 2292، -2300، 2308، -2316، 2324، -2332، 2340، -2348، 2356، -2364، 2372، -2380، 2388، -2396، 2404، -2412، 2420، -2428، 2436، -2444، 2452، -2460، 2468، -2476، 2484، -2492، 2500، -2508، 2516، -2524، 2532، -2540، 2548، -2556، 2564، -2572، 2580، -2588، 2596، -2604، 2612، -2620، 2628، -2636، 2644، -2652، 2660، -2668، 2676، -2684، 2692، -2700، 2708، -2716، 2724، -2732، 2740، -2748، 2756، -2764، 2772، -2780، 2788، -2796، 2804، -2812، 2820، -2828، 2836، -2844، 2852، -2860، 2868، -2876، 2884، -2892، 2900، -2908، 2916، -2924، 2932، -2940، 2948، -2956، 2964، -2972، 2980، -2988، 2996، -3004، 3012، -3020، 3028، -3036، 3044، -3052، 3060، -3068، 3076، -3084، 3092، -3100، 3108، -3116، 3124، -3132، 3140، -3148، 3156، -3164، 3172، -3180، 3188، -3196، 3204، -3212، 3220، -3228، 3236، -3244، 3252، -3260، 3268، -3276، 3284، -3292، 3300، -3308، 3316، -3324، 3332، -3340، 3348، -3356، 3364، -3372، 3380، -3388، 3396، -3404، 3412، -3420، 3428، -3436، 3444، -3452، 3460، -3468، 3476، -3484، 3492، -3500، 3508، -3516، 3524، -3532، 3540، -3548، 3556، -3564، 3572، -3580، 3588، -3596، 3604، -3612، 3620، -3628، 3636، -3644، 3652، -3660، 3668، -3676، 3684، -3692، 3700، -3708، 3716، -3724، 3732، -3740، 3748، -3756، 3764، -3772، 3780، -3788، 3796، -3804، 3812، -3820، 3828، -3836، 3844، -3852، 3860، -3868، 3876، -3884، 3892، -3900، 3908، -3916، 3924، -3932، 3940، -3948، 3956، -3964، 3972، -3980، 3988، -3996، 4004، -4012، 4020، -4028، 4036، -4044، 4052، -4060، 4068، -4076، 4084، -4092، 4100، -4108، 4116، -4124، 4132، -4140، 4148، -4156، 4164، -4172، 4180، -4188، 4196، -4204، 4212، -4220، 4228، -4236، 4244، -4252، 4260، -4268، 4276، -4284، 4292، -4300، 4308، -4316، 4324، -4332، 4340، -4348، 4356، -4364، 4372، -4380، 4388، -4396، 4404، -4412، 4420، -4428، 4436، -4444، 4452، -4460، 4468، -4476، 4484، -4492، 4500، -4508، 4516، -4524، 4532، -4540، 4548، -4556، 4564، -4572، 4580، -4588، 4596، -4604، 4612، -4620، 4628، -4636، 4644، -4652، 4660، -4668، 4676، -4684، 4692، -4700، 4708، -4716، 4724، -4732، 4740، -4748، 4756، -4764، 4772، -4780، 4788، -4796، 4804، -4812، 4820، -4828، 4836، -4844، 4852، -4860، 4868، -4876، 4884، -4892، 4900، -4908، 4916، -4924، 4932، -4940، 4948، -4956، 4964، -4972، 4980، -4988، 4996، -5004، 5012، -5020، 5028، -5036، 5044، -5052، 5060، -5068، 5076، -5084، 5092، -5100، 5108، -5116، 5124، -5132، 5140، -5148، 5156، -5164، 5172، -5180، 5188، -5196، 5204، -5212، 5220، -5228، 5236، -5244، 5252، -5260، 5268، -5276، 5284، -5292، 5300، -5308، 5316، -5324، 5332، -5340، 5348، -5356، 5364، -5372، 5380، -5388، 5396، -5404، 5412، -5420، 5428، -5436، 5444، -5452، 5460، -5468، 5476، -5484، 5492، -5500، 5508، -5516، 5524، -5532، 5540، -5548، 5556، -5564، 5572، -5580، 5588، -5596، 5604، -5612، 5620، -5628، 5636، -5644، 5652، -5660، 5668، -5676، 5684، -5692، 5700، -5708، 5716، -5724، 5732، -5740، 5748، -5756، 5764، -5772، 5780، -5788، 5796، -5804، 5812، -5820، 5828، -5836، 5844، -5852، 5860، -5868، 5876، -5884، 5892، -5900، 5908، -5916، 5924، -5932، 5940، -5948، 5956، -5964، 5972، -5980، 5988، -5996، 6004، -6012، 6020، -6028، 6036، -6044، 6052، -6060، 6068، -6076، 6084، -6092، 6100، -6108، 6116، -6124، 6132، -6140، 6148، -6156، 6164، -6172، 6180، -6188، 6196، -6204، 6212، -6220، 6228، -6236، 6244، -6252، 6260، -6268، 6276، -6284، 6292، -6300، 6308، -6316، 6324، -6332، 6340، -6348، 6356، -6364، 6372، -6380، 6388، -6396، 6404، -6412، 6420، -6428، 6436، -6444، 6452، -6460، 6468، -6476، 6484، -6492، 6500، -6508، 6516، -6524، 6532، -6540، 6548، -6556، 6564، -6572، 6580، -6588، 6596، -6604، 6612، -6620، 6628، -6636، 6644، -6652، 6660، -6668، 6676، -6684، 6692، -6700، 6708، -6716، 6724، -6732، 6740، -6748، 6756، -6764، 6772، -6780، 6788، -6796، 6804، -6812، 6820، -6828، 6836، -6844، 6852، -6860، 6868، -6876، 6884، -6892، 6900، -6908، 6916، -6924، 6932، -6940، 6948، -6956، 6964، -6972، 6980، -6988، 6996، -7004، 7012، -7020، 7028، -7036، 7044، -7052، 7060، -7068، 7076، -7084، 7092، -7100، 7108، -7116، 7124، -7132، 7140، -7148، 7156، -7164، 7172، -7180، 7188، -7196، 7204، -7212، 7220، -7228، 7236، -7244، 7252، -7260، 7268، -7276، 7284، -7292، 7300، -7308، 7316، -7324، 7332، -7340، 7348، -7356، 7364، -7372، 7380، -7388، 7396، -7404، 7412، -7420، 7428، -7436، 7444، -7452، 7460، -7468، 7476، -7484، 7492، -7500، 7508، -7516، 7524، -7532، 7540، -7548، 7556، -7564، 7572، -7580، 7588، -7596، 7604، -7612، 7620، -7628، 7636، -7644، 7652، -7660، 7668، -7676، 7684، -7692، 7700، -7708، 7716، -7724، 7732، -7740، 7748، -7756، 7764، -7772، 7780، -7788، 7796، -7804، 7812، -7820، 7828، -7836، 7844، -7852، 7860، -7868، 7876، -7884، 7892، -7900، 7908، -7916، 7924، -7932، 7940، -7948، 7956، -7964، 7972، -7980، 7988، -7996، 8004، -8012، 8020، -8028، 8036، -8044، 8052، -8060، 8068، -8076، 8084، -8092، 8100، -8108، 8116، -8124، 8132، -8140، 8148، -8156، 8164، -8172، 8180، -8188، 8196، -8204، 8212، -8220، 8228، -8236، 8244، -8252، 8260، -8268، 8276، -8284، 8292، -8300، 8308، -8316، 8324، -8332، 8340، -8348، 8356، -8364، 8372، -8380، 8388، -8396، 8404، -8412، 8420، -8428، 8436، -8444، 8452، -8460، 8468، -8476، 8484، -8492، 8500، -8508، 8516، -8524، 8532، -8540، 8548، -8556، 8564، -8572، 8580، -8588، 8596، -8604، 8612، -8620، 8628، -8636، 8644، -8652، 8660، -8668، 8676، -8684، 8692، -8700، 8708، -8716، 8724، -8732، 8740، -8748، 8756، -8764، 8772، -8780، 8788، -8796، 8804، -8812، 8820، -8828، 8836، -8844، 8852، -8860، 8868، -8876، 8884، -8892، 8900، -8908، 8916، -8924، 8932، -8940، 8948، -8956، 8964، -8972، 8980، -8988، 8996، -9004، 9012، -9020، 9028، -9036، 9044، -9052، 9060، -9068، 9076، -9084، 9092، -9100، 9108، -9116، 9124، -9132، 9140، -9148، 9156، -9164، 9172، -9180، 9188، -9196، 9204، -9212، 9220، -9228، 9236، -9244، 9252، -9260، 9268، -9276، 9284، -9292، 9300، -9308، 9316، -9324، 9332، -9340، 9348، -9356، 9364، -9372، 9380، -9388، 9396، -9404، 9412، -9420، 9428، -9436، 9444، -9452، 9460، -9468، 9476، -9484، 9492، -9500، 9508، -9516، 9524، -9532، 9540، -9548، 9556، -9564، 9572، -9580، 9588، -9596، 9604، -9612، 9620، -9628، 9636، -9644، 9652، -9660، 9668، -9676، 9684، -9692، 9700، -9708، 9716، -9724، 9732، -9740، 9748، -9756، 9764، -9772، 9780، -9788، 9796، -9804، 9812، -9820، 9828، -9836، 9844، -9852، 9860، -9868، 9876، -9884، 9892، -9900، 9908، -9916، 9924، -9932، 9940، -9948، 9956، -9964، 9972، -9980، 9988، -9996، 10004، -10012، 10020، -10028، 10036، -10044، 10052، -10060، 10068، -10076، 10084، -10092، 10100، -10108، 10116، -10124، 10132، -10140، 10148، -10156، 10164، -10172، 10180، -10188، 10196، -10204، 10212، -10220، 10228، -10236، 10244، -10252، 10260، -10268، 10276، -10284، 10292، -10300، 10308، -10316، 10324، -10332، 10340، -10348، 10356، -10364، 10372، -10380، 10388، -10396، 10404، -10412، 10420، -10428، 10436، -10444، 10452، -10460، 10468، -10476، 10484، -10492، 10500، -10508، 10516، -10524، 10532، -10540، 10548، -10556، 10564، -10572، 10580، -10588، 10596، -10604، 10612، -10620، 10628، -10636، 10644، -10652، 10660، -10668، 10676، -10684، 10692، -10700، 10708، -10716، 10724، -10732، 10740، -10748، 10756، -10764، 10772، -10780، 10788، -10796، 10804، -10812، 10820، -10828، 10836، -10844، 10852، -10860، 10868، -10876، 10884، -10892، 10900، -10908، 10916، -10924، 10932، -10940، 10948، -10956، 10964، -10972، 10980، -10988، 10996، -11004، 11012، -11020، 11028، -11036، 11044، -11052، 11060، -11068، 11076، -11084، 11092، -11100، 11108، -11116، 11124، -11132، 11140، -11148، 11156، -11164، 11172، -11180، 11188، -11196، 11204، -11212، 11220، -11228، 11236، -11244، 11252، -11260، 11268، -11276، 11284، -11292، 11300، -11308، 11316، -11324، 11332، -11340، 11348، -11356، 11364، -11372، 11380، -11388، 11396، -11404، 11412، -11420، 11428، -11436، 11444، -11452، 11460، -11468، 11476، -11484، 11492، -11500، 11508، -11516، 11524، -11532، 11540، -11548، 11556، -11564، 11572، -11580، 11588، -11596، 11604، -11612، 11620، -11628، 11636، -11644، 11652، -11660، 11668، -11676، 11684، -11692، 11700، -11708، 11716، -11724، 11732، -11740، 11748، -11756، 11764، -11772، 11780، -11788، 11796، -11804، 11812، -11820، 11828، -11836، 11844، -11852، 11860، -11868، 11876، -11884، 11892، -11900، 11908، -11916، 11924، -11932، 11940، -11948، 11956، -11964، 11972، -11980، 11988، -11996، 12004، -12012، 12020، -12028، 12036، -12044، 12052، -12060، 12068، -12076، 12084، -12092، 12100، -12108، 12116، -12124، 12132، -12140، 12148، -12156، 12164، -12172، 12180، -12188، 12196، -12204، 12212، -12220، 12228، -12236، 12244، -12252، 12260، -12268، 12276، -12284، 12292، -12300، 12308، -12316، 12324، -12332، 12340، -12348، 12356، -12364، 12372، -12380، 12388، -12396، 12404، -12412، 12420، -12428، 12436، -12444، 12452، -12460، 12468، -12476، 12484، -12492، 12500، -12508، 12516، -12524، 12532، -12540، 12548، -12556، 12564، -12572، 12580، -12588، 12596، -12604، 12612، -12620، 12628، -12636، 12644، -12652، 12660، -12668، 12676، -12684، 12692، -12700، 12708، -12716، 12724، -12732، 12740، -12748، 12756، -12764، 12772، -12780، 12788، -12796، 12804، -12812، 12820، -12828، 12836، -12844، 12852، -12860، 12868، -12876، 12884، -12892، 12900، -12908، 12916، -12924، 12932، -12940، 12948، -12956، 12964، -12972، 12980، -12988، 12996، -13004، 13012، -13020، 13028، -13036، 13044، -13052، 13060، -13068، 13076، -13084، 13092، -13100، 13108، -13116، 13124، -13132، 13140، -13148، 13156، -13164، 13172، -13180، 13188، -13196، 13204، -13212، 13220، -13228، 13236، -13244، 13252، -13260، 13268، -13276، 13284، -13292، 13300، -13308، 13316، -13324، 13332، -13340، 13348، -13356، 13364، -13372، 13380، -13388، 13396، -13404، 13412، -13420، 13428، -13436، 13444، -13452، 13460، -13468، 13476، -13484، 13492، -13500، 13508، -13516، 13524، -13532، 13540، -13548، 13556، -13564، 13572، -13580، 13588، -13596، 13604، -13612، 13620، -13628، 13636، -13644، 13652، -13660، 13668، -13676، 13684، -13692، 13700، -13708، 13716، -13724، 13732، -13740، 13748، -13756، 13764، -13772، 13780، -13788، 13796، -13804، 13812، -13820، 13828، -13836، 13844، -13852، 13860، -13868، 13876، -13884، 13892، -13900، 13908، -13916، 13924، -13932، 13940، -13948، 13956، -13964، 13972، -13980، 13988، -13996، 14004، -14012، 14020، -14028، 14036، -14044، 14052، -14060، 14068، -14076، 14084، -14092، 14100، -14108، 14116، -14124، 14132، -14140، 14148، -14156، 14164، -14172، 14180، -14188، 14196، -14204، 14212، -14220، 14228، -14236، 14244، -14252، 14260، -14268، 14276، -14284، 14292، -14300، 14308، -14316، 14324، -14332، 14340، -14348، 14356، -14364، 14372، -14380، 14388، -14396، 14404، -14412، 14420، -14428، 14436، -14444، 14452، -14460، 14468، -14476، 14484، -14492، 14500، -14508، 14516، -14524، 14532، -14540، 14548، -14556، 14564، -14572، 14580، -14588، 14596، -14604، 14612، -14620، 14628، -14636، 14644، -14652، 14660، -14668، 14676، -14684، 14692، -14700، 14708، -14716، 14724، -14732، 14740، -14748، 14756، -14764، 14772، -14780، 14788، -14796، 14804، -14812، 14820، -14828، 1

يرجع الإضطراب الأرضي للانعكاس من حد فاصل آخر (2)، نصف وحدته الزمنية "عمق" من الحد الفاصل (1) بمقدار  $V/2$  وهي وحدات عمق تبعد عن 1 والتي تبدأ بوحدة واحدة مؤخرا (حيث أن نبضة ركر Ricker pulse المتجهه من وإلى الحد الفاصل 2 في تكوين انعكاس فيها). بفرض أن معامل الانعكاس للحد الفاصل 2 هو 0.25، عندئذ فإن مجموعة من الترتيبات 0، 1-، 3-، 2-، 10، 4، 6-، 2-، 0، تزاح بمقدار وحدة زمنية في علاقة مع المجموعة الأولى 0، 2-، 60،  $\bar{O}$  وتكون حركة الأرض راجعة لهذا الانعكاس. بالمثل العاكس الثالث أعمق بوحدة زمنية أكثر من الحد الفاصل 2، وبفرض أن له معامل انعكاس 0.5 فسينتج وحدتين زمنيتين لإزاحة مضطربة. بإضافة التطبيقات الهندسية فسوف نحصل بذلك على محصلة الإضطرابات والتي تمثل بواسطة النبضة في شكل (2-96ب) بعينة تنظيمات 0، 2-، 7، 7-، 16، 12، 12-، 6، 10، 12-، 4، 0، (أو) بتعبير أكثر دقة بواسطة سلسلة تنظيمات والتي يمكن إستخدامها لإعادة تركيب التقريب الأولى لشكل النبضة).

نفس النتائج يمكن الحصول عليها إذا طويت بدلا من التراكب وذلك إذا إستخدمت الطريقة الآتية: إذا طويت سلسلة معاملات الانعكاس (1)، (2)، (3) راجعة على نفسها. وتزاح سالفا في خطوات منقطعة مرة لوحدته زمن عبر سلسلة 0، 4-، 12،  $\bar{O}$  إلخ ثم تضرب كل من ثلاثة معاملات الانعكاس لكل مكان من السلسلة الموجودة مباشرة أعلى هذه المعاملات بواسطة نبضة نظام، وبعد ذلك تضاف الثلاث نتائج معا وبذلك نحصل مرة ثانية على سلسلة 0، 2-، 7،  $\bar{O}$  وتعرف هذه الطريقة بالطى ونتائجها مضبوطة كما في التراكب.

ويكون الشكل النهائي للتسجيل السيزمي متأثرا بمضاعفات إنعكاسية، شوشرة، وتغير النبضات في تحولها. ولكن، كخلاصة يكون التسجيل عبارة عن لف قاعدة تأخر موجى ركر Ricker مع لوغرتما طول السلسلة لكل متغيرات معاملات الانعكاس فى الأرض. إذا عرف اللوغاريتمات فيمكن إنشاء نموذج سيزموجرافى بواسطة لف اللوغرتما مع النبضة الأساسية. ويكون هذا النموذج السيزمي مضبوط تصويريا تبعا لتجنب شوشرة التسجيل الحقلى. ربما، يكون مثل هذا التصوير Duplicate أكثر أهمية أكاديميا ولكنه إحدى الحقائق. وتجهز النماذج السيزمية لتقدم أساس إمكانية دراسة التغير فى التسجيل السيزمي الناتج من تغير الخواص المفروضة للأرض. هذه الدراسة بدورها تكون قادرة على تفسير لتعريف فواصل القطاعات الجيولوجية. وأكثر من هذا يمكن حساب النماذج السيزمية لوجهات نظر أخرى أكثر من الأماكن الحقيقية للجيوفونات. سوف تشير مثل هذه الحسابات لآى ميزة والتي تحدث من إضافة تسجيلات أخرى فى المنطقة. وفى هذه الحالة يجب الإنتباه للتغيرات فى التسجيلات المضافة.

#### 8.2.4.4.2 إعادة الطى Decovolution:

يوضح شكل (2-96) أن تأثير طى النبضات السيزمية مع لوغرتما معامل الانعكاس هو مد أو تعريض النبضة، والهدف العكسى للتفسير السيزمي هو مايسمى بالكشف اللوغرتماتى الأصلى بواسطة إعادة طى (أو ضغط) للتسجيل السيزمي وتسمى الطريقة أيضا بعكس الترشيح.

إذا كانت  $s$ ،  $p$ ،  $\ell$  تشير للتسجيل السيزمي، والنبضة الأساسية ولوغرتما الانعكاس كدالة للزمن، فيعبر عن الطى رمزيا بواسطة المعادلة

$$S = P * \ell$$

$$(2-64)$$

مع الإشارة إلى أن  $P, S, \ell$  هي المقابل لتحويلات فورير Fourier. والجانب الأيمن يكون المضاعفات الترتيبية ويمكن التعبير عن  $P, S$  بعددات الحدود فى تغيرات عامة، وأيضا يمكن الحصول على  $\ell$  (كعدد حدود) بواسطة قسمة  $S/P$ . ويستخدم الحاسب الآلى لضبط حساب التحويلات وكذلك لقسمة الحدود، وتعطى اللوغرتمات المطلوبة بواسطة عكس تحويلات فورير  $S/P$ ، وتكون الصورة العامة

$$L = F S \quad (2-65)$$

حيث  $F$  معامل الترشيح، والشكل الملائم لـ  $F$  هو  $\text{Cot}(Wt/2)\sin(mwt)$  إذا كانت  $f$  هي عكس تحويلات فورير لـ  $F$ ، فإن اللوغرتمات يمكن الحصول عليها بواسطة طى  $F$  مع  $S$

$$\ell = f * S \quad (2-66)$$

وعمليا، فإن إعادة الطى تشمل ثلاثة مراحل أساسية:

#### 1.8.2.4.4.2 حساب معادلة الارتباط الذاتى (ACF) autocorrelation function لقطاع ملائم من التسجيل:

وهذه تقيم من التكامل الآتى:

$$(1/2T) = \int_{-T}^T S(t)S(t + \tau)dt \quad (2-67)$$

لقيم مختلفة من  $T$ . هذه الطريقة الحسائية تمثل إستخراج الطى حيث إنزلاق الأثر يكون مثل الأثر الثابت. ويكون "القطاع الملائم" هو تراكب عشوائى لعناصر نبضية كثيرة كل منها معتدل بالقرب من بعض متوسطات شكلية وتشير  $T$  لطول القطاع (بالتوانى).

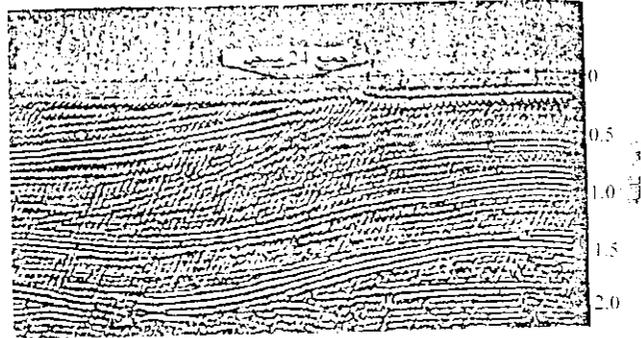
#### 2.8.2.4.4.2 إختيار $f$ :

يتطلب هذا، فى المقام الأول، تعيين المرشح المطلوب ( $F$ ). نتيجة لذلك فإن  $F$  تتأثر بطيف فورير Fourier للجزء المتوسط من ( $ACF$ ). عندئذ يتطلب حساب ( $ACF$ ) من المرحلة (1) لتحديد  $F$  وبعد ذلك يمكن الحصول على  $F$  كعكس تحويل فورير Fourier.

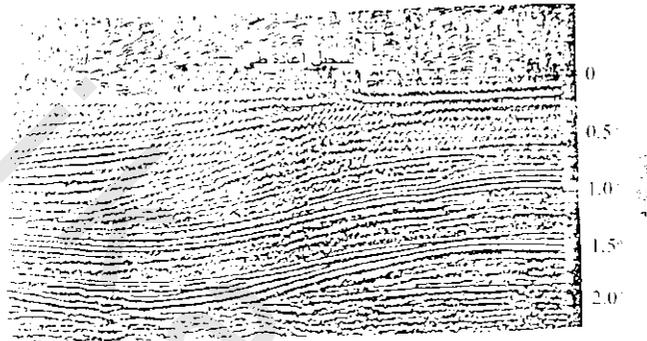
#### 3.8.2.4.4.2 تطبيق المعادلة $L = f * S$

فى هذه المرحلة تختار  $f(t)$  لتعطى  $S(t)$  النتائج النهائية للوغرتمات المراده. ويحصل على اللوغرتمات كمعادلة للزمن ولكن تتحول كوحدة للعمق، بواسطة فروض ملائمة حول متوسط السرعة  $\bar{V}$ .

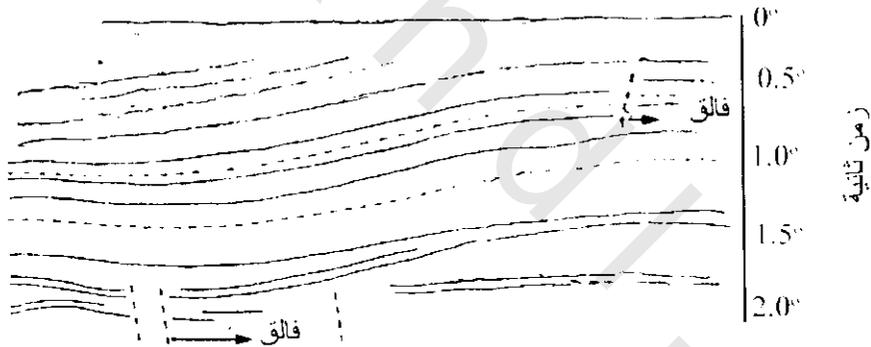
ويرى أن عملية إعادة الطى الكلى تكون مناسبة عمليا بالحاسب الآلى عالى السرعة، والذى يستخدم روتينيا فى عمليات تفسير نتائج السيزمية الإنعكاسية. ويوضح شكل (2-99) قطاع جيولوجى لشكل (2-97، 2-98) بعد عملية إعادة الطى، وفيه يظهر الإنعكاس الآن أكثر وضوحا بسبب ضغط النبضات. أحيانا لا يودى إعادة الى لوضوح التفسير، وذلك بسبب عكس المرشح الذى يؤثر عكسيا على شوشرة التذبذب (مضاعفة إشارات الإنعكاس وربما تكبرها).



شكل (97-2): عرض لمقارنة تسجيلات VAR من مجموعة جيوفونات متتابعة



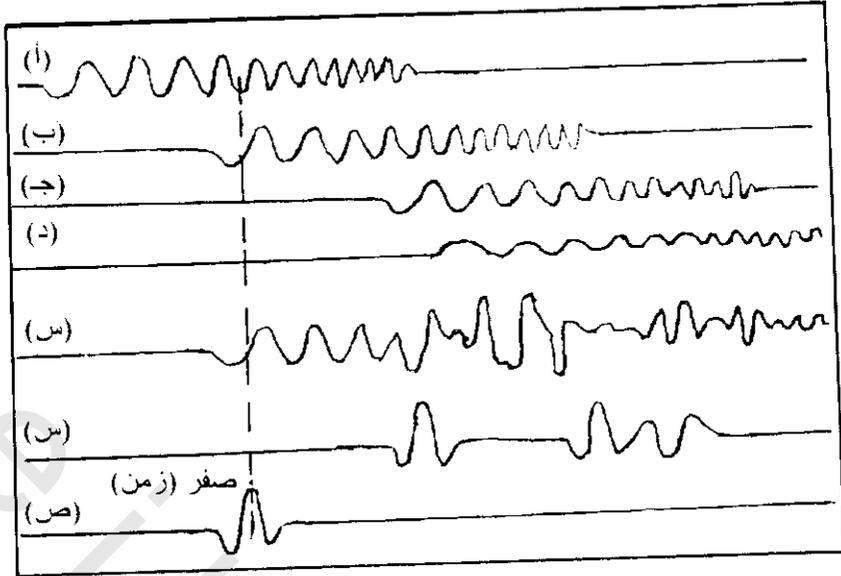
شكل (98-2): قطاع لشكل (97-2) بعد الطي



شكل (99-2): تفسير جيولوجي لشكلي (97-2، 98-2)

#### 9.2.4.4.2 ذبذبات (إهتزازات) Vibroseis:

هذا نظام بديع (حاذق) للاستكشاف السيزمي (مسجل لشركة بترول كونتيننتال Continental Oil Company) حيث تستخدم الإهتزازات بدلا من مصدر النبضات، ومن المعروف أن دفع النبضات تنتج نطاق محدد من الترددات في الأرض. تستخدم الإشارة في نظام الإهتزاز لإنتاج نطاق يكون تردد خطي ذات شكل ممتد (شكل 2-100). في تقنية الرادار، تسمى مثل هذه الإشارات (زقزقات iChirps) أو نبضات متضاغطة ويكون التردد النموذجي من 15-90 دورة/ثانية (C/S) في حوالي 7 ثوان. وتنتج الإشارة بواسطة مذبذب هيدروليكي أو الكتر ومغناطيسي قادر على توليد دفع كلي لعدة أطنان على الأرض من مصدر النبضات، تدخل النبضة السيزمية على كل إشارة إهتزازية تبعا لمعادلة الربط الذاتي. ويوضح شكل (2-100ص) مركز النبضة التي حصل عليها تبعا لفترة الزمن لطرق الطيات.



شكل (100-2): أ، ب، ج، د، س، س، ص) أساس نبضي

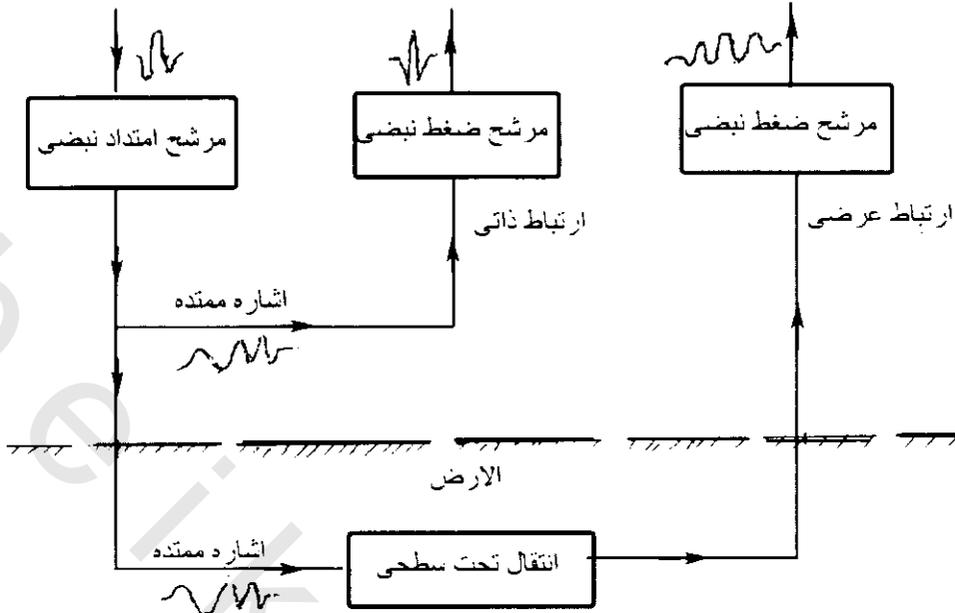
تكون الإشارة المرودة من كل عاكس في الأرض مماثلة لتردد الإشارة الممتدة. ويرى شكل (2-101ب، ج، د) ثلاثة أمثلة لهذه الإشارات، وتضاف إشارة التسجيل (2-100د) لأعلى.

ولإكتشاف النبضات المنعكسة فإن الإشارة الكلية ترتبط عرضيا مع الإشارة الداخلة. حسابيا، هذه الطريقة تكون مثل الطيه ماعدا أن أثر الارتباط العرضي لا يكون مطويا ولكن ينزلق مباشرة قبل الأثر المرجعي لهذا المكان. ويكون لكل مكان ترتيب مضاعف على أثر التسجيل ومجموع عليه. يؤدي هذا الشكل (2-100س) والذي يمثل أثر سيزمي مطوى فقط.

نظريا فإن نظام الإهتزاز يكافئ بحث الطي السيزمي ولكن يختلف عنه في طرق إكتشاف المعلومة السيزمية. ربما لأن له عدة عمليات ومميزات عملية. أولا، لأن حلوله آمنة وملانمة أكثر من استخدام التفجيرات. ثانيا، يمكن أن يكون معدل الإمتداد والترددات أفضل إختيار لمجالات جيولوجية ملانمة في مناطق معينة حيث أن القوة لاتبدد في توليد ترددات لاتنقلها الأرض. في النهاية فإن الطاقة المحقونة في الأرض ربما تزيد غالبا بدون حد معين بواسطة إزدواجيتها مع بعضها ككثير من المهترات التي يراد أن يكون عملها في طور من مهترز رئيسي. ويوضح شكل (2-100هـ) شكل كامل لهذا النظام.

#### 10.2.4.4.2 تفسير نتائج الإنعكاس : Interpretation of Reflection Data

برغم أنها ظاهريا بسيطة بإستخدام القواعد الأساسية، فإن تحليل وتفسير نتائج الإنعكاس يتطلب مهارة جيدة. علاوة على ذلك فلا بد من التدقيق في إختيار الإنعكاسات من السيزموجرام. وتوجد عوامل أخرى تعقد التفسير كالتى تحدث من تسجيل أبار السرعة CV-logs، حيث يحدث التغير اللوثولوجى بتكرار، وكذلك يوجد إنعكاسات كثيرة خلال تكوين واحد، وذلك لوجود عدد إما قليل أو كثير من معاملات إنعكاس. ويضاف التغير النسبي لإنعكاسات صغيرة إلى شوشرة المرجع، حيث يحدث هذا لعدم واسطة عشوائية كلية. بالإضافة لذلك، فإن عدم



شكل (2-100هـ): نظام شكل هيكل للذبذبات

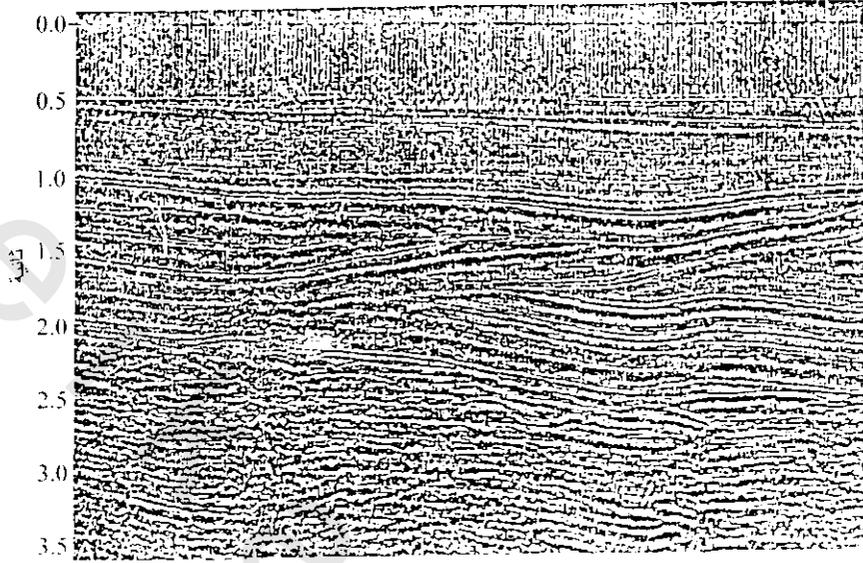
الانتظام التحت سطحي (حافات حادة، ظواهر متآكلة مدفونة، إلخ) للإنعكاسات ربما تسبب تشتت للموجات والتي أحيانا تغطي على أحداث الإنعكاس. وأكثر من هذا، لا يمكن إيجاد تضاعفات إنعكاسية غير عادية كما في شكل (2-101). هذه النبضات لها احتمالات إضافية لواحد أو أكثر من الإنعكاسات إما من سطح الأرض أو من فاصل أسفل. عندما تعرف وتحدد تضاعفات الإنعكاسات يمكن إضافتها إلى التفسير، خلافا لذلك فإنها تعقد التفسير بواسطة إنتاج طبقات عاكسة كاذبة. ربما يكون النموذج السيزموجرافي نافع في تمييز الإنعكاسات الأولية من تضاعفات الإنعكاس والأطياف، وفي مقارنة أحداث الإنعكاسات لطبقة جيولوجية معينة.

تتكون طرق التفسير من إختيار إنعكاسات من السيزموجرام ومقارنتها بواسطة تقارب (تجاور أو إتصال) السيزموجرامات من تتابع جيوفونات للتجيرات المقامة. التفسير الأولي التقريبي يكون ذات أهمية فقط للظواهر الكبيرة، ولهذا السبب فإن قطاعات المناطق المتغيرة تخدم عرض مناسب.

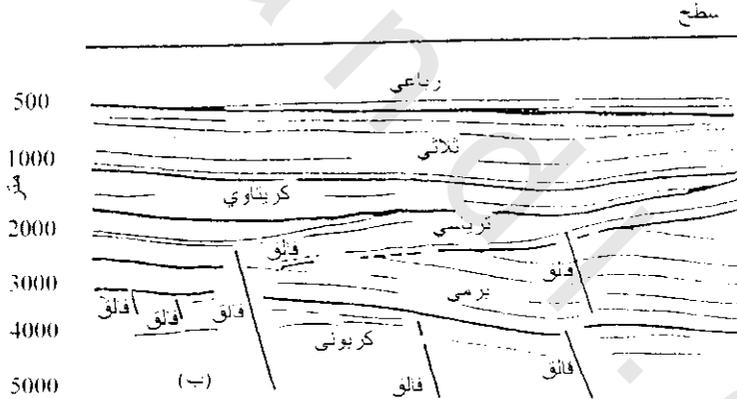
ولتفسير واضح فإن قطاعات زمن الإنعكاس تحول لقطاعات أعماق. وكما وضح سابقا، فإن قطاعات عدم إزاحة تعطي صورة مشوشة للتركيب تحت سطحي، ويزداد التشويش بقيمة العمق. لذلك، كقاعدة، يلزم إزاحة القطاع الزمني قبل تحويله لقطاع عمق. وعمليا، تتم هذه العملية بواسطة الحاسبات الآلية باستخدام تقنية دقيقة. شكل (2-101ب) يوضح مثال إزاحة قطاع مع تفسيره الجيولوجي.

تقنية إكتشاف الهيدوكربونات موضوعة على أساس أن الرمل المشبع بالغاز له سرعة أولية منخفضة عن الرمل المجاور المشبع بالماء أو الزيت. وهذه تنتج علاقة مميزة في الممانعة الصوتية عبر سطح أعلى أو أسفل نطاق الغاز والتي تعطي إنعكاسات ذات سعة كبيرة أكثر من الملاحظة من نفس الحد الفاصل على كلا جانبي نطاق الغاز. تقنية العمليات الحديثة تجعل من الممكن ملاحظة سعة الإنعكاسات الكبيرة مباشرة على القطاع

السيزمي من البقع اللامعة (الجليد). وفي النهاية فإن الإشارات القليلة تكون ملائمة لتفسير نتائج الإنعكاس عمليا، فإن نبضات الإنعكاس لها طيف ترددي عادة في معدل 15-75 هرتز، ومعدل السرعة في القطاعات الرسوبية تقريبا ما يكون بين 2000-4000 م/ث.



(أ)



(ب)

شكل (2-101): (أ) مساحة قطاع زمني متغير منتج بواسطة تقارب 16 تسجيل إنعكاس، بعد كل نقطة تفجير عن الجيوفون (مسجل) 2400 متر، ممكن قراءة أزمنة الإنعكاسات على التدرج الرأسى (ثانية). (ب) إزاحة القطاع (العمق) تبعا لقطاع الزمن (p) وتفسيره الجيولوجى (أنستى 1970 Anstey)

مثلا، إذا أخذت قيم نموذجية 30 هرتز للتردد 3000 م/ث للسرعة، يكون الطول الموجى تبعا لذلك يساوى 100 م. وهذا يعنى أن للعاكس طول موجى حوالى 100م. لذلك يتضح أن نبضات الطول الموجى الطويل لايمكن توقع حل بها لتغير أقل من 100م وهكذا، ولهذا فإن الفوالق الصغيرة، الظواهر المتأكلة المدفونة والظواهر الاستراتيجية عامة ليس من السهل تحديدها (الإشارة إليها) بواسطة تقنية الإنعكاس. وحقيقة أخرى هي أن المعلومات عن معدل متوسط السرعة للتكوينات في منطقة الدراسة تكون عظيمة الأهمية في التفسير الإنعكاسى. وعندما تكون هذه السرعة نادرة، فإن تحويل العمق من الزمن يكون خطر والتفسيرات تكون خاصة.

#### 1.10.2.4.4.2 إستنتاج التركيبات الجيولوجية الحاملة للبتترول من طريقة الإنعكاس السيزمي

##### Deduce Structure Geology which Contain Oil from Seismic Reflection

من أكثر أهداف طريقة الإنعكاس هو البحث عن المصائد البترولية مثل الطيات المحدبة والفوالق والتركيبات الناشئة من تداخلات القباب الملحية وتداخلات أخرى يمكن إستنتاجها أيضا من الخرائط.

#### 2.10.2.4.4.2 الطيات المحدبة Anticline:

يمكن إستنتاج هذه الطيات من معطيات الإنعكاس ذات النوعية الجيدة وذلك عندما يكون الإنفلاق الخطي للخطوط السيزمية أكبر من عدم الإنتظام الزائف في تركيب ظاهري ناتج من تغير السرعة الجانبية. وعادة ما تكون الطية المحدبة المكونة لمصيدة بترولية ناتجة من قوى تكتونية أو بسبب الدفع لأعلى لقباب ملحية أو ظواهر أخرى دافعة لأعلى ويوضح شكل (2-102) نوعا من الطيات المحدبة من قطاع تسجيل مهاجر\*، أما شكل (2-102ب) غير المهاجر يعطى صورة ليست ذات معنى.

#### 3.10.2.4.4.2 الفوالق Faults:

بسبب الدور الذي تلعبه الفوالق غالبا في إحتجاز الهيدوكربونات فإن الأساليب الفنية لإيجادها ورسمها على الخرائط لها أهمية عملية كبيرة. وتوضح الدلائل الرئيسية الآتية التصدع على مقاطع الإنعكاس:

- i- عدم إستمرارية الإنعكاس على طول نموذج خط رئيسي.
- ii- عدم الإنغلاق (الأفقال) في ربط الإنعكاسات حول دوائر حلقية.
- iii- إتساعات (إنفراجات) في الميل غير متعلق بالطباقية.
- iv- وجود حيود في الخطوط السيزمية خاصة لتلك التي له قيم تتمشى بطريقة مطابقة للتصدع الموضوعي.
- v- تشوه أو إختفاء إنعكاسات أسفل خطوط فالق.

#### ويؤخذ في الإعتبار الآتي:

(i) عندما يلاحظ على قطاعات التسجيل عدم إستمرارية محددة تماما فإن هذا يدل على وضوح جيد لموضوع رسم فالق. شكل (2-103) يوضح نظامين لفوالق عادية، تميل مجموعة فيها لليمين وأخرى لليساار. وظهرت الرميات بوضوح في الشكل بواسطة إزاحة للإنعكاسات والتي وصلت لحوالي 500 قدم. ويرجع التصدع لإرتفاع كتلة ملحية (غير مرئية على المقطع). بالإضافة لهبوط تكوينات في إتجاه مركز الحوض الرسوبي. ويرجع وضوح هذا الرصد لإستخدام الحاسبات الآلية لمعالجة البيانات الولية للتشويش المستبعد والذي كان من الممكن أن يحجب دلائل الفالق الأقل وضوحا.

(ii) وعن الظواهر الهامة في إكتشاف ورسم خرائط فوالق الدفع يعتمد على إنفراج الإنعكاسات فضلا عن تكرار إنعكاسات أعلى\* وأسفل\*\* مستوى الدفع. ويوضح هذا شكل (2-104) إنه من الممكن تمييز التصدع من أنفراج

\* إزاحة لحساب الكشافات

\*\* allochthonous تشير لتكوينات أعلى فالق دفع زائد.

\*\*\* autochthonous تشير لتكوينات أسفل مستوى الفالق.

الانعكاسات أسفل مستوى الفالق أو من اضطرابات انعكاسية أسفل الفالق المشكوك فيه والتي تبدو وكأنها تمر من خلاله. وقد أوضح كوارايس 1956 Quarles كيفية تعيين فوالق فى ساحل الخليج بواسطة انفرجات فى الميل الظاهرى لعواكس سفلية. كذلك بين لوبشار 1956 Loubsher القيمة الوصفية المميزة لتشوه وتدهور انعكاسات من أسفل فالق.

(iii) ومن طرق رسم سطوح التصدع مجموعة نماذج للحيود التى تنشأ من حواف الطبقات الممزقة بالتصدع. حيث تعمل الحافة كنقطة مصدر لإعادة طاقة سيزمية بواسطة الحيود. ويكون النموذج الناتج متقن الشكل مثل الرسم لسطح له أكبر تحدب. وتبين قمم نماذج موضع حافة الحيود على القطاع. ويوضح شكل (2-105) حيودات لها قمم تبين طريقة تدعيم وجود اتجاهات الفالق، وذلك بواسطة زحزحة فى الانعكاسات.

وفى هذه الطريقة، ليس من الضرورى أن تكون نماذج الحيود كاملة التكون، فأحيانا تكون أجزاء كسرية من النموذج ملائم لمنحنى مناسب له أكبر تحدب على أساس السرعة المعروفة لمنطقة العمل. وفى هذه الحالة يمكن استعمال هذا المنحنى لإسقاط موضع القمم حتى لو لم تكن ظاهرة على القطاع.

#### 4.10.2.3.4.2 القباب المحلية وتركيبات احتراقية أخرى

##### Salt Domes and Other Diapirs:

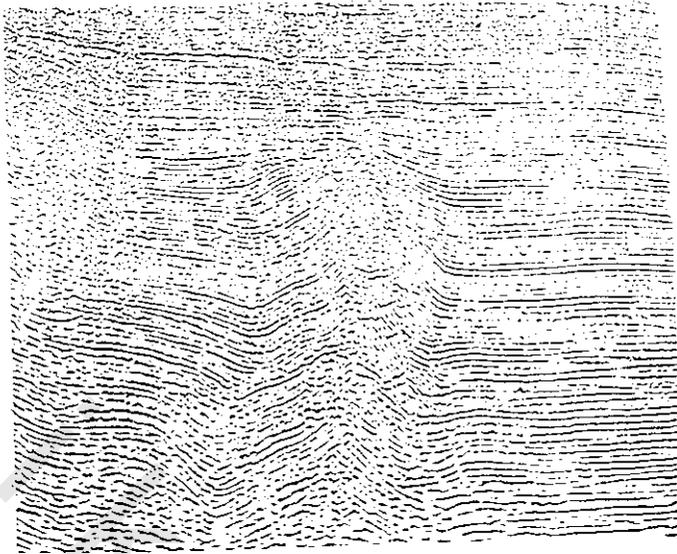
يبين شكل (2-106) القباب الملحية بوضوح تام على قطاع انعكاس.

ومن الشكل يتضح إطار طيه مقعرة مشكلة حول القبة وتظهر بكل وضوح على الجانب الأيسر. كذلك تبين التكوينات ارتفاعا على كل جانب من الشكل مشيرة لظواهر ملحية أخرى فى كلا الاتجاهين. ومن النادر أن يعطى السطح الملحي نفسه. انعكاس واضح التحديد. لذلك فإن تشوه التكوينات العاكسة فوق القبة وعلى جانبها بالإضافة لعدم وجود انعكاسات من القبة الملحية نفسها يسمح على الأقل بتخطيط تقريبي لسطحها. وبسبب الميل الحاد للطبقات المجاورة من القبة الملحية فإن انعكاسات هذه الطبقات تمكن من زيادة دقة رسم الجوانب. وغالبا ما يكون صعود البنيات الإخترافية الأخرى مثل السدادات النارية لها مظهر قطاعات التسجيل تطابق الناتج من صعود القباب الملحية. وعلى العموم، فى مناطق الشواطئ المتدرجة من الأفضل استخدام معلومات جاذبية ومغناطيسية للمساعدة لتعيين طبيعة البنية الإخترافية.

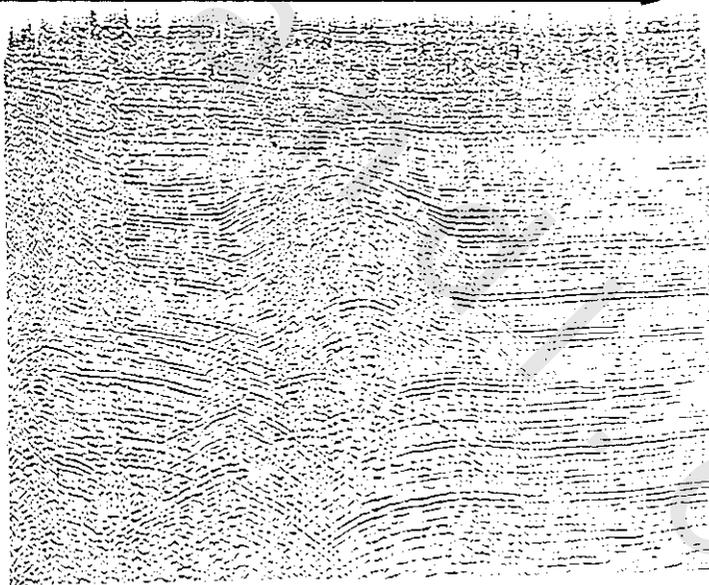
#### 5.10.2.4.4.2 تركيب صخور القاعدة Basement Structure:

كان من الصعب تعيين سطح القاعدة من تسجيلات الانعكاس وذلك بسبب الانعكاسات المتعددة والتشويش الناشئ على الأجزاء العميقة للتسجيلات، إلى أن أصبح تسجيل نقطة العمق المشتركة والمعالجة الرقمية متاحة. لذلك فإن إزاحة التشويش والتعدادات ربما يجعل سطح صخور القاعدة قابل للرصد وخاصة العميقة منها ويوضح شكل (2-107) هذا التأثير فى منطقة بحرية عميقة، حيث عدم وجود أحداث انعكاسية أسفل هذا الغلاف يجعل التعيين أكثر احتمالا، حتى ولو لم يكن هناك حفر على طول الخط لتأكيداها.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 ميل ← بازل →

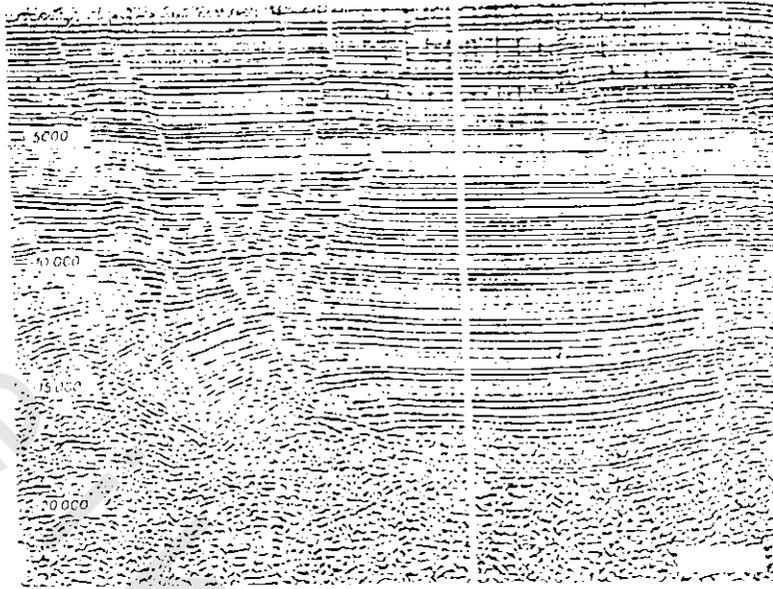


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 ميل ← بازل →

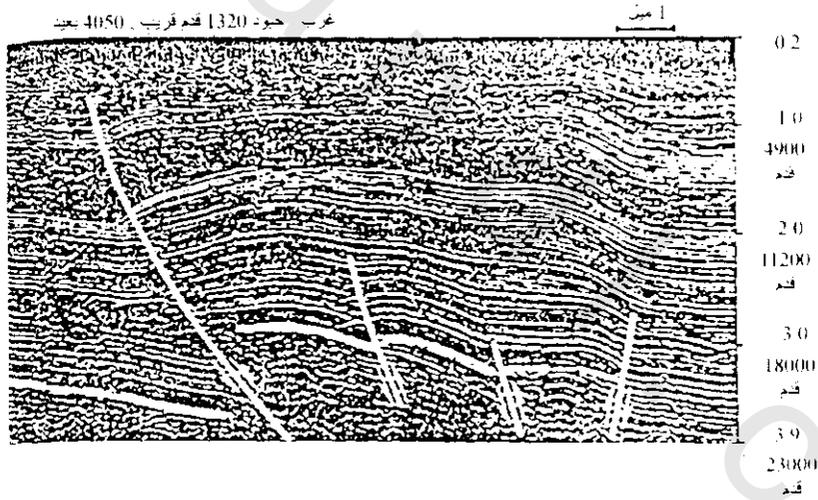


(ب) غير مهاجر

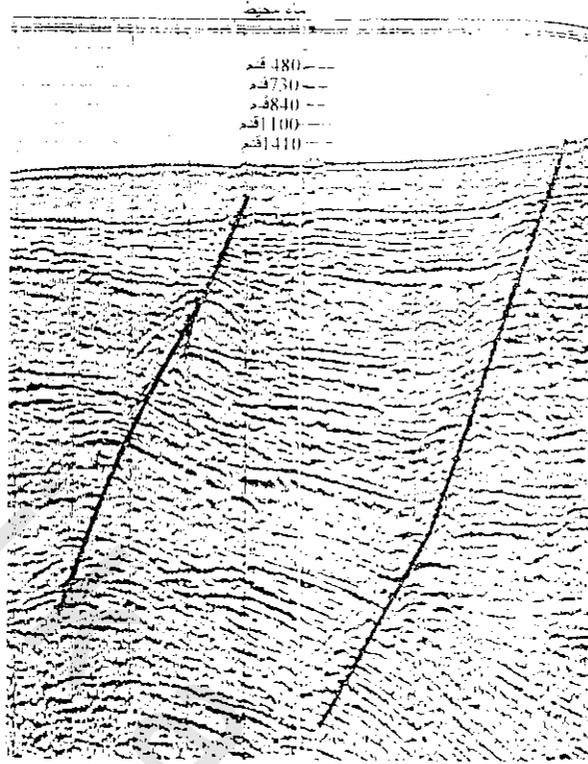
شكل (2-102): طيه محدبة بوادي سان جاكوبين كاليفورنيا San Joaquin Vally-Calf. أ) قطاع مهاجر بواسطة الحاسب، ب) مقطع غير مهاجر. طوت الهجرة نماذج الحيوود العديده التي أخفت التركيب الحقيقي



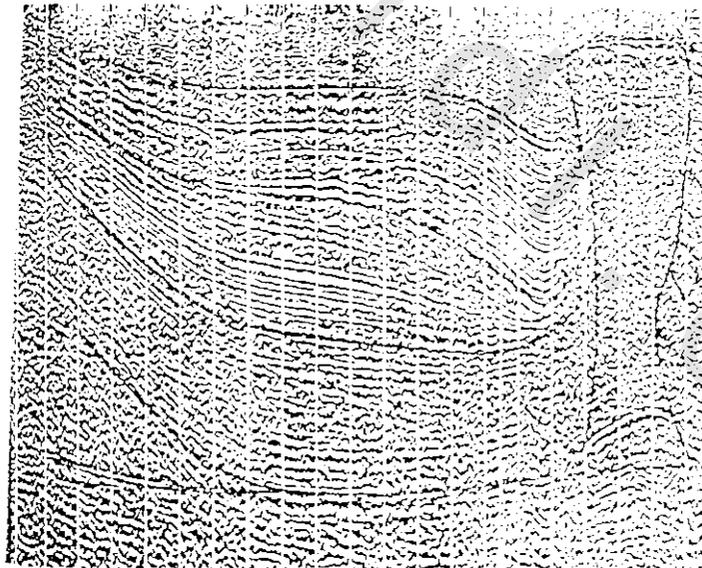
شكل (2-103): نموذج لفاق عادي في خليج المكسيكو Gulf of Mexico حيث تظهر الفوالق مصاحبة لتركيبات ملحية عند أدنى اليمين واليسار



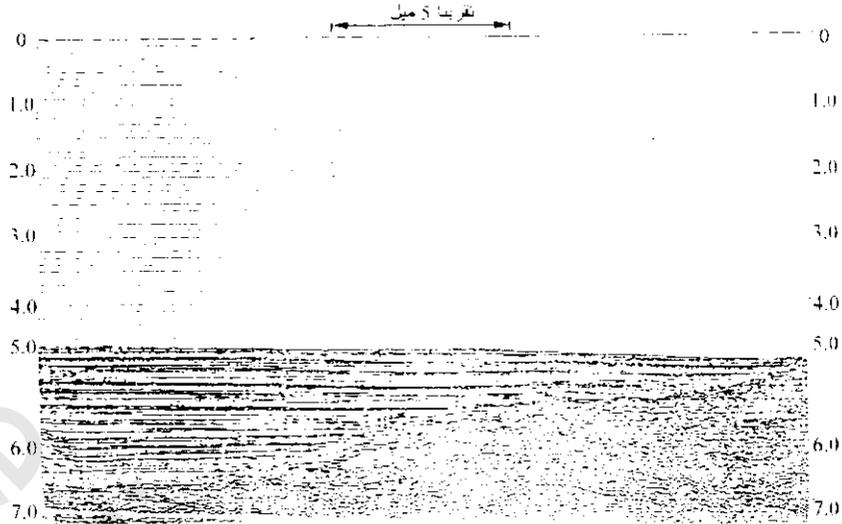
شكل (2-104): دفع زائد في حوض نهر الرياح في وايونج (Wind Rinver, Basin Wyoming) كما هو مبين في القطاع مع مدى إزاحة ذي ترد منخفض (8-45 هرتز) خمس طيات



شكل (2-105): تتيج سطوح الفالق بمتابعة قمم نماذج الحيوود



شكل (2-106): تشوه طبقات رسوبية بسبب قوى مصاحبة بطفو قبه ملحية. بعض التركيبات المبينة الموجودة أسفل القبة الملحية من النوع الثاقب والوسادات المحلية (مثل الوسادة العميقة على اليمين) ليست حقيقية ولكنها ناتجة من تأثيرات السرعة



شكل (2-107): تعيين سطح القاعدة من نماذج حيود على طول قطاع مسح إجتيازى فى مياه عميقة

#### 11.2.4.4.2 شراك فى التفسير التركيبى Pitfalls in Structural Interpretation:

عادة لايجب النظر دائما لمعلومات الإنعكاس السيزمية عند تمثيلها على أنها قطاع جيولوجى عرضى لأنه قد يتشوه الشكل الهندسى الفعلى التحت سطحى فى إتجاهين:

(i) التغيرات فى السرعة سواء كانت رأسية أو عرضية، تسبب فى أن يأخذ قطاع الزمن شكل مختلف عن المقطع الجيولوجى الفعلى المرسوم فى العمق.

(ii) الإنحناء الهندسى لمسارات الأشعة بعيدا عن الرأس سوف يكون له نفس التأثير على عملية الانتقال الموجى.

وعادة فإن القطاعات المرسومة بالعمق شكل (2-108, 2-109) يتم فيها الإقلال من التشوه على قطاعات التسجيل التقليدية. لذلك من المهم أن يميز الجيوفيزيائيين الأخطاء التى يمكن أن تؤدى إليها هذه التشوهات فى التفسير السيزمى. ومن ضمن المشاكل الأخرى فى التفسير التركيبى استعمال معاملات مختارة خاطئة للمعالجة مثل تراكم سرعة غير صحيحة.

قام تيوكر ويورستون Tucker and Yorston 1973 باستعراض الأخطاء التى تسبب خطأ التفسير التركيبى. ومن هذه الأخطاء:

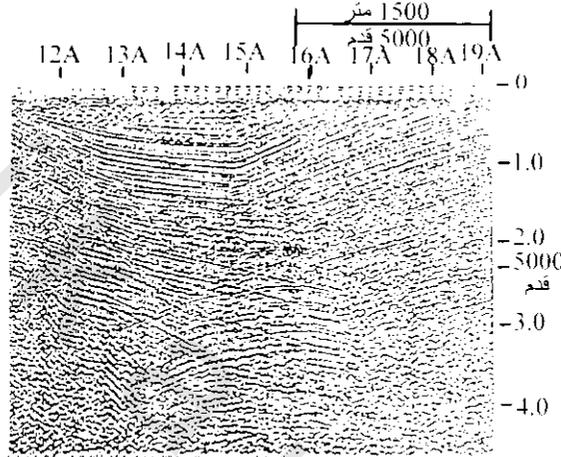
#### 1.11.2.4.4.2 مساهمة السرعة Velocity Pitfalls:

بالنظر لشكل (2-106) يشاهد تراكيب غير حقيقية ناتجة من شادات سرعة فى أجسام ملحية مغطاه. حيث يرصد إنعكاس شديد تحت القبة الملحية الكبيرة (حوالى 150 متر) عند النقطة الأقرب للسطح من الإنعكاسات المرتبطة على جانبي القبة. ومع ذلك لا يوجد إرتفاع تركيبى حقيقى أسفل الملح. وهذا ناتج من أن السرعة فى العمود الملحى أعلى منها فى الصخور المحيطة ويعود إليها التركيب الظاهرى تحت الملح. والرصد الناقص

للانعكاس بالقرب من الحافة اليمنى للشكل يعلل بوجود شاذة ملحية أعلاها مباشرة والتي يكون لها سرعة أقل من التكوين المحيط. وكثيرا ما يظهر هذا التفسير عندما يكون الملح عميقا بصورة غير عادية.

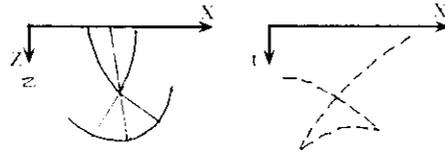
#### 2.11.2.4.4.2 مساهمة الأشكال الهندسية Geometrical Pitfalls:

يوضح شكل (2-108) مساهمة هندسية وذلك عندما يعبر المقطع بالطيه المقعرة ذات إنحناء شديد، لدرجة تؤدي إلى تقاطع مسارات أشعة الانعكاس مع بعضها في طريقها من وإلى السطح.



شكل (2-108): تأثير تقوس مثلثي متقابل الرأس مقياس على طيه مقعرة حادة في البحر الأدرياتي. الطيه المحدبة الظاهرة هي في الواقع ظاهرة حيود

ويوضح شكل (2-109) الشكل الهندسي لمسار الأشعة المؤدى لتقوس مثلثي متقابل الرأس الذي يشاهد على المقعد عند أعماق تحت 2.05 كم. والانعكاسان اللذان يميلان بشدة في الإتجاهات المتقابلة هي انعكاسات من جوانب مناظرة لتركيب الطبقة المقعرة التي تتقاطع مع بعضها في طريقها للسطح، وتكون الظاهرة المقوسة السفلية حيودا من نقطة ما عند قاع الطيه المقعرة، ويكون أقصر زمن مقياس على أعماق نقطة الطيه المقعرة. وتؤدي الإزاحة (الهجرة) الأتوماتيكية المصممة بعناية إلى طي قوس الحيود الذي يشير لنقل الجوانب لمواقعها الحقيقية. ويمكن للجيوفيزيائي والجيولوجي الخبير ان من التعرف على الطبيعة الحقيقية للمصدر.



شكل (2-109): تأثير تقوس مثلثي متقابل الرأس. مسارات موجة ونموذج على مقطع تسجيل لانعكاسات من طيه مقعرة مع إنحناء أكبر من ذلك لجبهات (مقدمات) موجة مقربة

#### 3.11.2.4.4.2 مساهمة المعالجة:

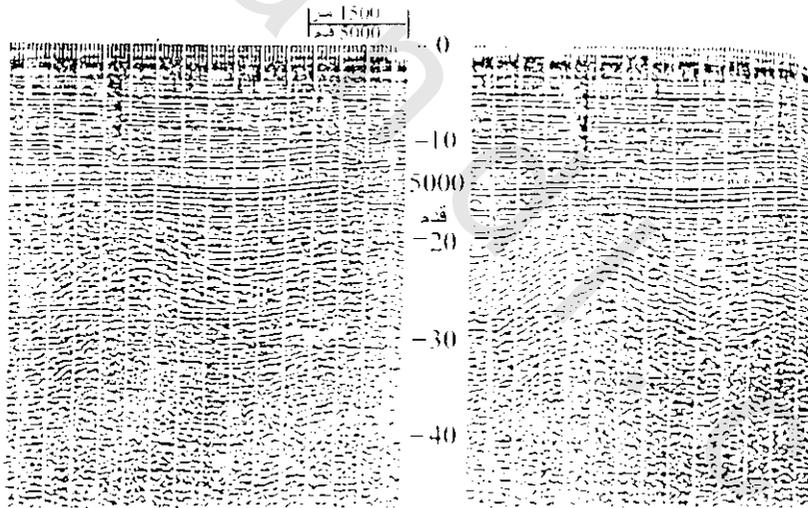
يوضح شكل (2-110) أسلوبين للمعالجة ويعطى في نفس الوقت مثلا عن كيفية أن الإختيارات المختلفة لتراكم السرعة تؤدي لتفسيرات مختلفة بدرجة كبيرة جدا. فمن الشكل على اليسار يظهر التركيب الأعمق أحادي

الميل خفيف (قليل) التعرج، وعلى اليمين كأنه طيه محدبة مع الإشارة بتصدع على جانب واحد. مقارنة الميل الأعمق على المقطع الأيسر بالظواهر القريبة من السطح عند منتصف أزمنتهم تجعل الظواهر الأعمق تشابه التعدادات. ومن هذه المطابقة فإن تراكم السرعة تشير لتكوين من نوع الطيه المحدبة وهي الاحتمال الصحيح.

#### 12.2.4.4.2 استخدام الزمن مقابل العمق في رسم الخرائط التركيبية

##### Time Versus Depth in Structural Mapping:

عند تقييم الخرائط التركيبية والقطاعات في العمق تستخدم معلومات السرعة المستنتجة من علاقة الزمن والعمق. ومع استخدام برامج الحسابات لتعيين السرعة تحليليا من تسجيلات الانعكاس المنتظمة، في هذه الحالة ليست هناك حاجة إلى مساحات الأبار على مسافات متجاورة لكي نحصل على معلومات وثيقة عن أعماق الانعكاس. وأيضا، في هذه الحالة، تعتمد الدقة على نوعية الانعكاس والتي لا تكون جيدة دائما بالرغم من الأساليب المحسنة للمعلومات التي تعتمد على الحسابات الآلية. وكذلك فإن السرعات المعينة بالحاسبات الآلية تركز على مسارات أشعة مائلة وعواكس منتظمة الميل، والتي عادة ما تختلف بسبب تباين الخواص الجيولوجية والسرعات الرأسية التي تستخدم لتحويلات الزمن-العمق. لذلك فإن العرض النهائي لنتائج أزمنة الانعكاس يجب أن يكون في صيغة ذات معنى جيولوجي وليست بوحدات الزمن وهذا يتم بالمعلومات الجيوفيزيائية المنسقة بعناية.



شكل (2-110): كلا التركيبين يمثلان سرعة تراكم مختلفة. وحيث أن الأحداث ذات الميل الخفيف على اليسار لها كل خواص الانعكاسات المتعددة، لذلك فإن التركيب على اليمين هو الأفضل

#### 13.2.4.4.2 استخدام الانعكاس للدراسات الطباقية Reflection as a Tool for Stratigraphic Studies:

تنشأ مصادد البترول الطباقية من شعب، نتوءات أو ظواهر أخرى مصاحبة بتاكل، سحنات انتقالية، عدسات رملية مصحوبة بقنوات مدفونة، بحيرات أو مصادر مشاهبة. ويبرز هذا التنوع الجيولوجي الكبير للمصادر مشكلة العثور عليها بطريقة سيزمية.

في أغلب المصادن الطباقية، يوجد إختلاف في الخواص الصخرية ينحصر غالبا لمسافة أقصر بكثير من طول الموجه لدرجة أن تحليل الموجه يصبح مشكلة كبرى. وحيث أن التغير في الطباقية ينتج تغير أو تدمير للموجه بتأثيرات التداخل لإشارات الإنعكاس المصاحبة للطبقات على أي جانب للنقطة التي تتغير عندها صفات التتابع، لذلك فإنه بالتحليل المحدود للنبضة السيزمية يمكن إكتشاف ظواهر طباقية غير الشعب.

#### 14.2.4.4.2 استخدام معلومات الإنعكاس لإعادة بناء التاريخ الترسيبي

##### Use of Reflection Data to Reconstruct Depositional History:

تستخدم طريقة الإنعكاس بطريقة غير مباشرة لإلقاء الضوء على البيئة المحيطة بالترسيب وتاريخ الترسيب في المناطق التي يتم فيها الإستكشاف. وكثيرا ما يمكن دراسة السرعات-الفترات (الزمنية-الأعماق) عن إيضاح كيفية حدوث الترسيب في المناطق تحت البحث، وبالتالي عن تعيين ظواهر صخرية ضخمة لإعادة بناء جيولوجي أكثر كمالا للبيئة المحيطة بالترسيب.

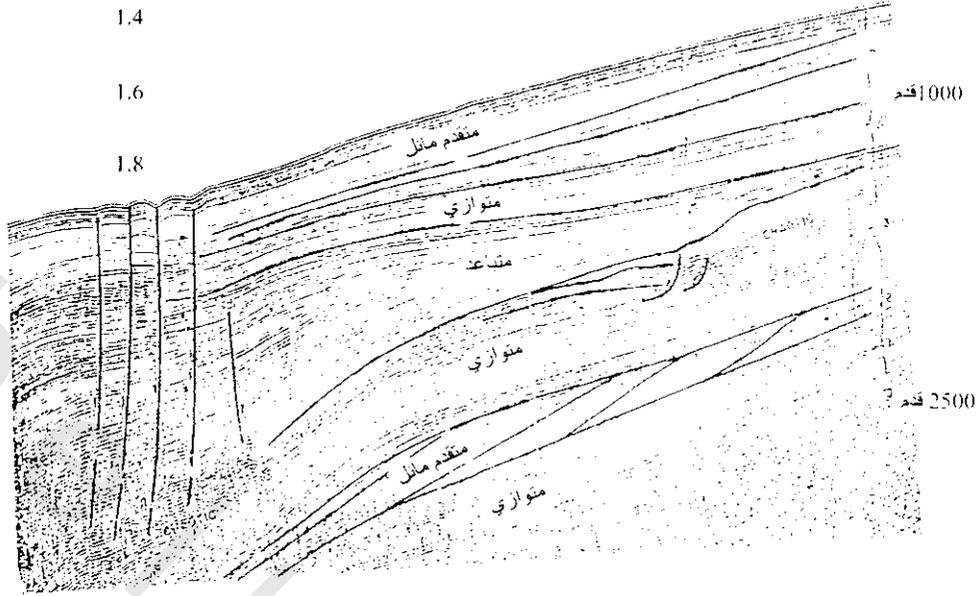
الحركات المتنوعة للترسيب والتي تشمل تقدم أو تقهقر البحار والمحيطات تقترن عادة بنماذج هندسية تبين أنواع الترسيب التي حدثت في فترات مختلفة للتاريخ الجيولوجي. شكل (2-111) يوضح قطاعات سيزمية تمكن من إعادة بناء التاريخ الترسيبي، حيث تدل الطباقية المتوازية على الترسيب في مياه عميقة على سطح ثابت. الحوض الصاعد المعلق (متقدم-مائل) عند الشاطئ يترك جزءا على شكل خابور يقل في السمك في إتجاه البحر، بينما الحوض الغاطس المعلق (متباعد) يقترن بجزء على هيئة خابور يتزايد في السمك نحو البحر وتدل الأسهم بالشكل على هذه الحركات أثناء كل طور من أطوار الترسيب. وتدل نهاية الدورة على التسجيلات السيزمية على ترسيب مترابك فوقى ومتقدم كما هو الحال في مراوح الدلتا. ويدل وجود تلامس غير متوافق على قطاع سيزمي على التاريخ الترسيبي والتأكل لمنطقة الدراسة وكذلك على البيئة المحيطة الموجودة أثناء حدوث الحركات الجيولوجية وبذلك يمكن رسم عدم التوافق على خرائط من النموذج للإنعكاسات على قطاع سيزمي.

يوضح شكل (2-112) زوج من عدم التوافق مع تباعدات كبيرة في التركيب عبر كل عدم إستمرارية. ويزداد تعقيد التاريخ الجيولوجي بكثره الطيات والتصدعات في جزء القطاع الواقع بين عدم التقدم. في المناطق البحرية حيث لا تتوافر من الحفر الاستكشافي بيانات، فإن النماذج السيزمية، ربما توفر الأساس الوحيد لإعادة البناء الترسيبي فضلا عن التاريخ التكتوني.

#### 15.2.4.4.2 تصنيف المصادن الطباقية :Classification of Stratigraphic Traps

تقع أغلب هذه المصادن ضمن أربعة فصائل:

- (1) شعب الحجر الجيري.
- (2) عوائق نفاذية مقرونة بقطع تحتى.
- (3) أجسام رملية مثل العدسات أو قنوات تيار محاطة بمادة غير منفذة.
- (4) تغييرات السحنة من خواص منفذة إلى غير منفذة.



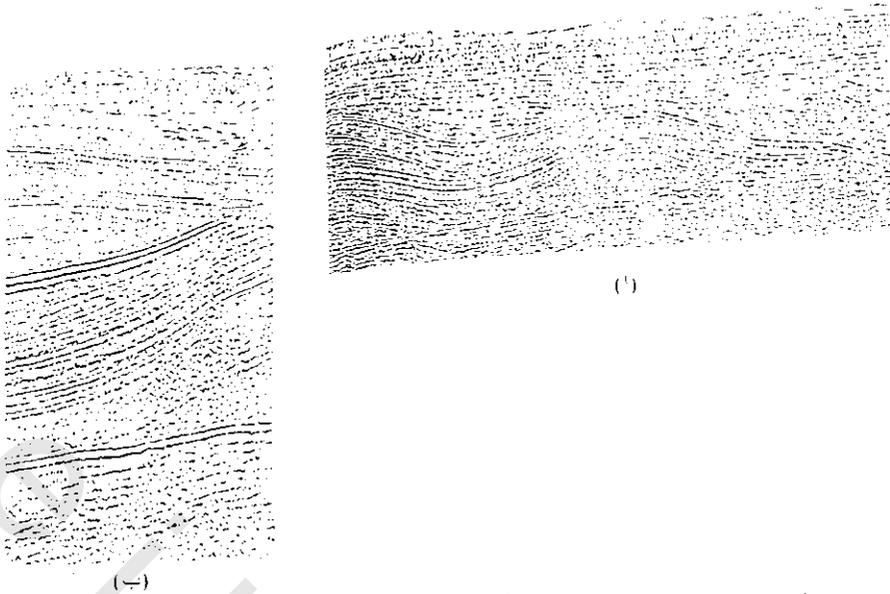
شكل (2-111): قطاع يوضح فترات متتالية لترسيب متقدم ومتراجع. تدل التباينات والتقاربات على حركات الشاطئ أو هبوط الحوض. يشير التتابع المتقدم المائل إلى نموذج نهاية لميل صاعد لانعكاسات مائلة

#### 1.15.2.4.4.2 شعب الحجر الجيري Limestone Reefs:

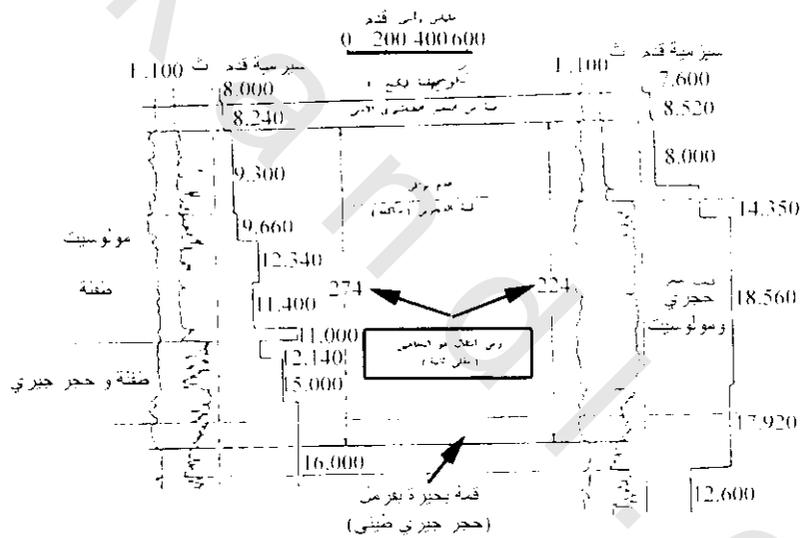
تتكون شعب الحجر الجيري من البقايا الهيكلية للمرجان، أو الطحالب، أو ماشابه ذلك من كائنات المياه الضحلة، وتحدث التراكمات غالباً في الأماكن الضحلة أو الجزر المحاطة بالمياه العميقة. وتحتاط وتغطي المادة المسامية للشعب المترسبة بالطمي الذي يتماسك فيما بعد إلى طفلة، وينتج عن ذلك ظروف مثالية لتكوين واحتجاز الهيدروكربونات. وعند إكتشاف البترول بالطريقة السيزمية في شعب لدوك Leduc في البرتا Alberta نجحت أساليب الإنعكاس الفنية في كشف شعب حجر جيري منتجة في غرب تكساس، البرتا، إلينوي، ليبيا، ومناطق بنزولية أخرى.

ويستغل التباين بين السرعة في شعب الحجر الجيري والطفلة المحيطة بها في تحديد مواقعها بالطريقة السيزمية. هذا التباين يفسر وجود الشعب كعدسات تبرز تراكيب ظاهرية في العواكس السفلية وتركيبات أخرى ناتجة من تأثيرات التغطية. وقد وضع سكيلس Skeels 1955 تباين تأثير السرعة بين شعب الحجر الجيري وشعب الطفلة البعيدة عنها وكذلك التسجيلات الكهربائية في بنري أ، ب شكل (2-113) وهذا التباين يبين قصر الفترة الزمنية للإنعكاس من أسفل منطقة الشعب والآخر من أعلاها.

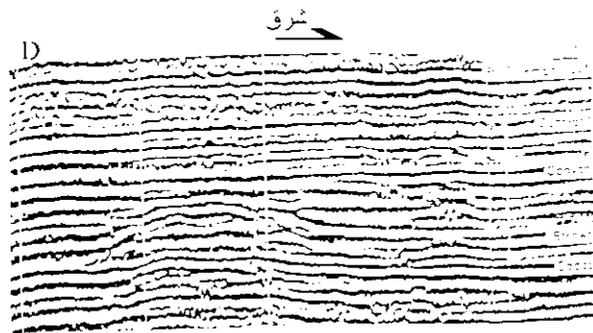
وأحيانا أخرى تظهر الشعب بانعكاسات سيزمية بما فيها التغير والإنقطاع. وبتأثير الحيود تظهر الشعب بوضوح كبير على مقاطع التسجيل شكل (2-114) فوق حقل شمال مدينة نوكس North Knox City



شكل (2-112): عدم توافق عند مستويين موضحين بنموذج سيزمي طباقى (أ) قطاع كامل، (ب) تفصيل للجزء الأوسط



شكل (2-113): قياسات كهربية وسرعات بينية سيزمية لأبار مجاورة في البرتا Alberta. (أ) بعيدة عن الشعب، (ب) في الشعب



شكل (2-114): قطاع سيزمي يوضح تكون شعب في حقل شمال مدينة نوكس-تكساس North Knox City in West Texas

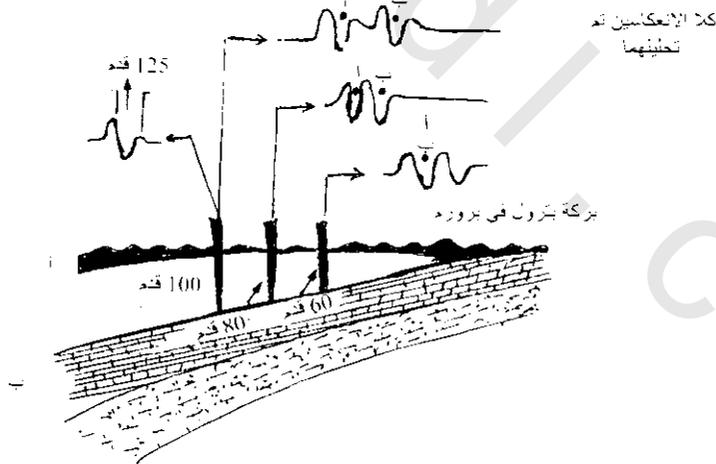
#### 2.15.2.4.4.2 عوانق نفاذية مقرونة بقطع تحتى أوترقيقات وتقطيعات تآكلية أخرى

##### Pinchouts and Other Erosional Truncations:

أغلب الإنعكاسات المرصودة على تسجيلات، هى إرتدادات من حدود منفردة عند زمن يسمح لها بالتداخل بطريقة إنشائية. أما فى حالة سطح عدم التوافق والذى لا يوازى أسطح بينيه أخرى أعلى أو أسفل فإن توليد الإنعكاس يأتى بتكرار العمل العرضى لاستخدام ذلك فى رسم خرائط الإنعكاس. وحيث أن عدم التوافق له أهمية كبرى فى إستكشافات البترول كما هو واضح فى شكل (2-115) حيث أن البترول ينحصر فى تكوينات لها شكل خابور بميل صاعد ناتج من تآكل الرمل المسامى المائل تم يغطى هذا الرمل بمادة غير منفذة فى ترسيب تالى.

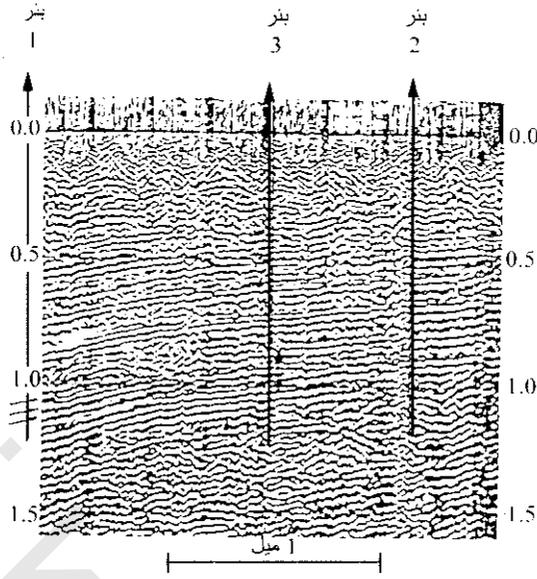
ولتحديد موقع مثل هذه الظاهرة، يجب استخدام الإنعكاس السيزمى بطريقة تضيق مدى الإلتباس كما فى شكل (2-116) حيث يوضح هذا الشكل مثل هذه الترققات والتي يمكن إكتشافها بإدماج المعلومات السيزمية والجيولوجية فعند 1.1 ثانية يوجد ثلاث قمم على الجانب الأيسر للقطاع والتي تترابط على أساس معلومات السرعة مع رمل حامل للمياه بسمك 200 قدم عندئذ عند بئر (1). وباتباع هذه القمم جهة اليمين نقل إلى قمتين بالقرب من مركز القطاع وتفقدان الترابط كلما اقتربا لأقصى اليمين.

هذا التغير فى شكل الموجه، تدل على أن التكوين العاكس يقل أو يختفى. أما فى البئر الثانى لا يظهر الرمل مطلقا. أما فى البئر 3 المحفور فى إتجاه ميل أسفل بئر 2، ظهر الرمل فى مستوى أعلى وأرق ولكنه حامل للمياه. وهذا ما يوضح أنه عندما يترقق الرمل فى إتجاه الميل الصاعد يمكن أن يتشبع بالمياه كأنه طيه محده حامله للمياه عند قمتها.



شكل (2-115): تتبع طبقة متقاربة فى إتجاه نهايتها باستخدام إنعكاسات سيزمية من سطح قمتها وقاعها

وللبحث عن البترول فإنه يجب تحليل أفضل للإنعكاسات من هذا المنسوب الذى وجد فيه الماء، وبذلك يمكن التنبأ بموقع ترقيق بدقة أكثر، ويحدد موقع البئر الثالثة التى ربما تعطى بترولا بدلا من الماء. ومع ذلك يمكن وجود آبار جافة قبل الحصول على بركة بترولية طباقية أكثر مما تتطلب عادة الأكتشافات التركيبية. هذا المثال يوضح مدى خطورة الحفر فى المصائد البترولية الطباقية عنها فى مصائد البترول التركيبية. شكل (2-117)



شكل (2-116): ترفيق الجسم/ملى كما شوهد على قطاع سيزمي. الرمل مابين بالأسهم على طول الحافة اليسرى للقطاع حيث يوضحه بنرا بسمك 290 قدم يختفى الرمل عند بنر 2 ولقد وجد الرمل حاملا للمياه فى بنر 3 حيث يدل على عدم وجود بترول فى الترفيق (روبسون 1971 Robinson)

يوضح مصيدة تقطيعية منتجة من نوع مختلف إلى حد ما بالانعكاس السيزمي فى حوض جيفهورن Gifhorn basin فى الشمال الغربى لألمانيا، حيث يظهر رمل دوجربيتا Dogger beta الحامل للبترول (من العصر الجورى) أسفل عدم التوافق عند قاعدة الألبان Albian (طباشيرى). يتجمع البترول على طول الخط المبين فى شكل (2-117) فى حالة على شكل خابور ذات الميل الصاعد لرمل الدوجر الجورى الذى ينتهى عند عدم التوافق بين العصر الطباشيرى والعصر الجورى. وقياس التقارب الدليلى لمثل هذا الخابور على التسجيلات السيزمية المبكرة أدى إلى إكتشاف الإنتاج فى طبقة رمل دوجر Dogger فى حقل هوهن Hohne. القطاع السيزمي فى شكل (2-117) هو مسح تقليدى تم بعد تنمية الحقل.

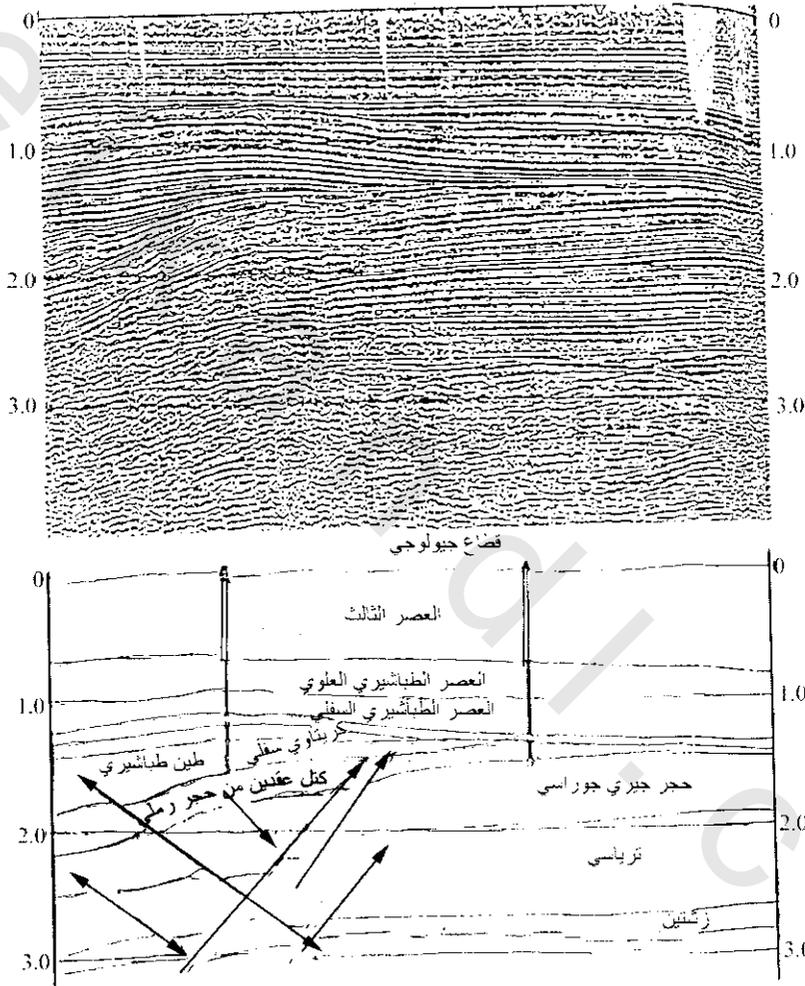
#### 3.15.2.4.4.2 رواسب القنوات والعدسات الرملية

##### Channel-Sand Deposits and Other Sandlenses:

تستطيع أى قناة أو عدسة رملية مدفونة ومحاطة بطبقة غير منفذة أن تحتجز البترول تحت مصدر تخزين جيد، وقد وضح ليونس ودوبرن Lyons and Dobrin 1972 أن إمتداد بحقل جنوب سيرز south ceres فى مقاطعة نوبل، أو كلاهوا Noble, Okla يحتجز البترول فى قناة رملية من هذا النوع وقد تحدد مكانه على أساس معلومات الإنعكاسات السيزمية. يوضح شكل (2-118) قطاع عرضى خلال عدسات رملية بقياس متقن للأزمة التفاضلية بين إنعكاس ما فوق منطقة الرمل مباشرة وآخر تحتها. وأيضا يتضح فى الشكل أن النموذج المتساوى للزمن يتطابق فيه الزمن الأكبر مع السمك الأكبر للجسم الرملى.

## 4.15.2.4.4.2 تغيرات السحنة Facies Changes:

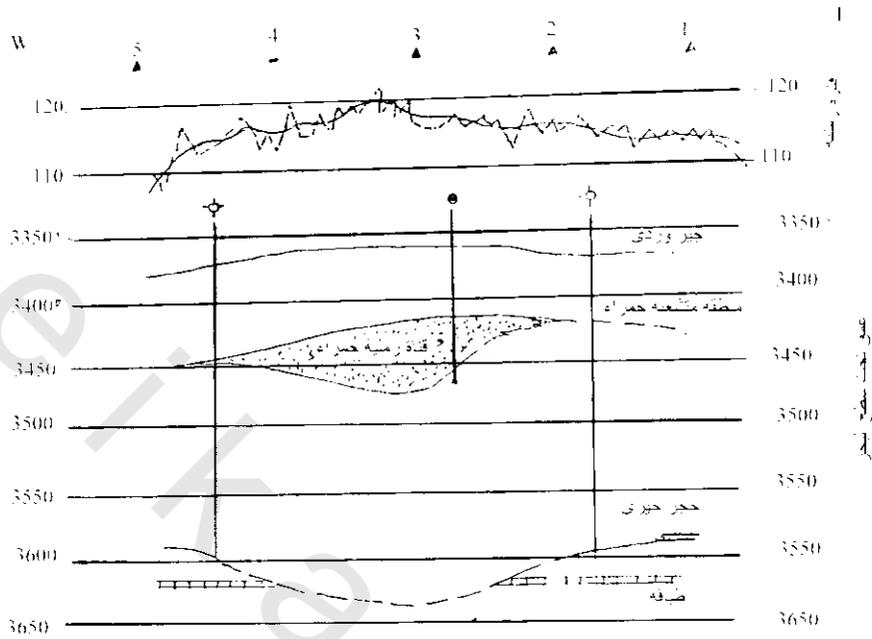
في بعض حقول البترول يحكم تجمع البترول التغيرات الجانبية من سحنة منفذة لأخرى غير منفذة. وقد ناقش رول 1972 Roll هذا الظاهرة في تكوين Bentheim بحقل برامبرج Barmberge بألمانيا، حيث تغيير السحنات مما جعل من الممكن احتجاز البترول بميل صاعد في الحقل. وعندما بنيت الكنتورات في الخريطة السيزمية وجد بها ميل افعال تركيبى ذى ميل صاعد مقابل فالق ما. ولكن عند حفر البئر الاستكشافي وجد البترول خارج الأفعال. ويشير هذا إلى أن التجمع البترولى كان بسبب تغيير السحنة من رمل لطفله. ويعكس هذا الإكتشاف وجوب الإجهاد التام في التكامل بين الجيولوجيا والجيوفيزياء.



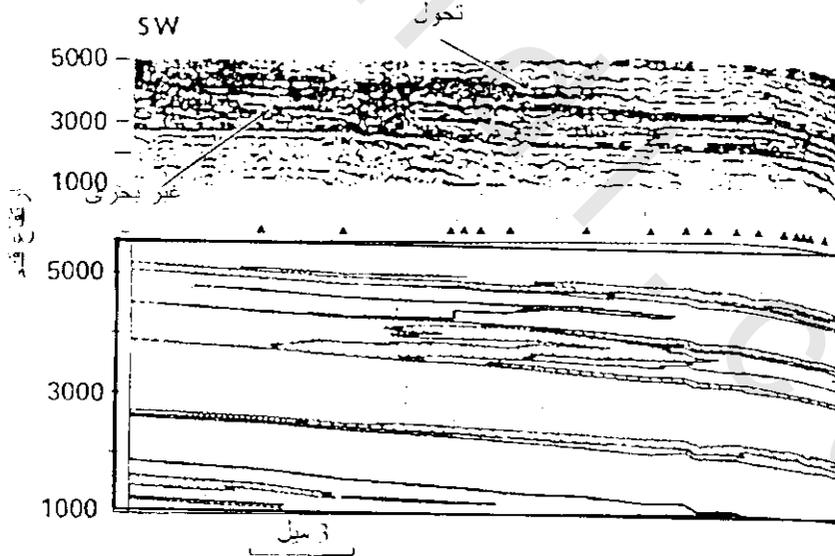
شكل (2-117): قطاع تسجيل وقطاع جيولوجى مناظر (حقل هوهن-المانيا الغربية Hohn W. Germany) فى تقطيع كتل عقدية من الحجر الرملى اسفل عدم توافق من العصر الجورى الطباشيرى

بالتطورات الحديثة فى الحصول على المعلومات السيزمية والمعالجة، أمكن تتبع التداخل على هيئة أصابع بين الرمل والطفله بنجاح أكبر فى مناطق مناسبة عما كان فى الأزمنة المبكرة. يوضح شكل (2-119) (سانجرى وديدمير Sangree and Widmeier 1974) تحول من طفله بحرية (على اليمين) إلى حجر رملى نهري قريب من الشاطئ (على اليسار) يمكن تتبعه على مقطع تسجيل انعكاس. كثافة الانعكاسات الزائدة عند وسط مقطع التسجيل تدل على العدد الأكبر للتناوبات بين رمل وفضلات على طول هذا الجزء، وهذا يوضح كيف أن كثافة

أحداث الإنعكاس تعطى معلومات عن المكان لمثل هذه التحويلات. ويوضح القطاع الجيولوجي المدعم بـ 18 بئر متقاربة هذه الظاهرة.



شكل (2-118): قطاع عرضي من تسجيلات سيزمية يحدد قناة مملوءة منتجة (صخر رملي متشعب أحمر) على أساس شاذات في الفترة الزمنية بين إنعكاسين (جبر ووردى وحجر جبرى سيسبي/الرمل ذى جانبين (ليونس ووبرن 1972)



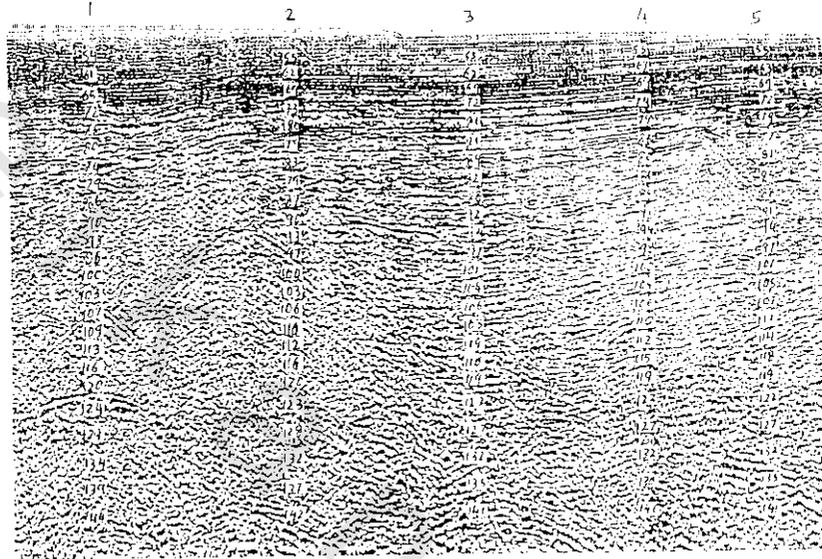
- تداخل طبقي رمل- صقله  حجر رملي قريب من الشاطئ  صقله بحريه
- رضخيات نهريه
- حجر جبرى

شكل (2-119): مقارنة لمقاطع عرضية جيولوجيه وسيزميه فوق منطقة فى حوض سان يون San Jun. توضح المثلثات السوداء موانع الأبار (سانجرى وودمير Sangree & Widmerer)

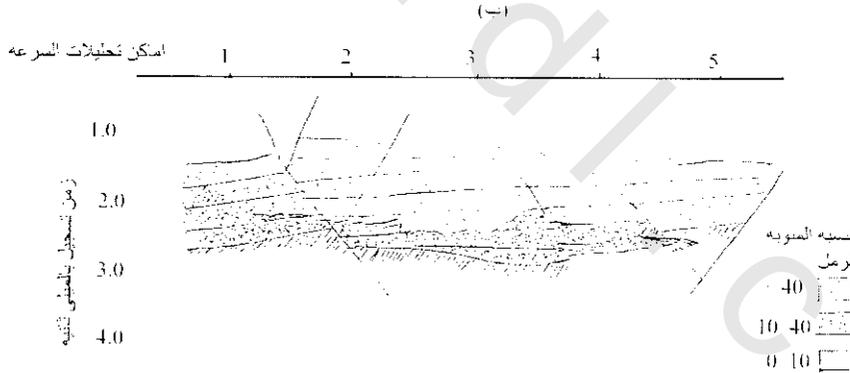
#### 16.2.4.4.2 دراسة الخواص الصخرية من معلومات الإنعكاس

##### Study of Lithology from Reflection Data:

بالأساليب الفنية الحديثة وطرق معالجات معلومات الإنعكاس الجيده أمكن تقدير الخواص الصخرية كنسب رمل-طفلة أو نسب طفلة-حجر جبرى وذلك بدلا من استخدام السرعات البينية من إنعكاسات متتالية أو استخدام معادلة دكس 1955 Dix.



(أ)



شكل (2-120): معلومات بحرية سيزمية من لوسينا Lousiniana تربط التراكيب والخواص الصخرية. (أ) قطاع تسجيل سيزمي يوضح سرعات بينية بمنات الأقدام لكل ثانية، (ب) قطاع يوضح التركيب والخواص الصخرية المستنتجة من نسب رمل-طفلة كما قدرت من السرعات البينية (الاتجاهات التركيبية والتصدع على أساس مخططات الإنعكاس والاستمرارية. النسبة المئوية للرمل على أسس سرعات بينية)

يوضح شكل (2-120) (أ) مقطعا سيزميا بحريا فى لوسينا Louisinna فيه حسبت السرعات البينية عند خمسة مواضع متقاربة جدا، أما شكل (2-20) (ب) فيمثل قطاع عرضى لتوزيع الرمل المحسوب من السرعات. وقد أدى التوافق بين حدود الخواص المستنتجة والاتجاهات التركيبية لأنطباع جيد لهذا الإنتاج.

وبطريقة أخرى حديثة المنشأ هي قياس تخفيف الموجات السيزمية التي تمر خلال القطاع، أمكن تحديد تغيرات في السعة النسبية بين إنعكاسات متتالية، حيث فسرت كتحويلات من رمل لطفله خلال الفترة الطباقية المعروفة. ويوضح شكل (2-121) هذه الحالة التي رسم فيها أجسام رملية في خرائط معلومات التخفيف والتي تطابقت مع نتائج حفر الآبار.

## 5.2 سيزمولوجية القشرة الأرضية Crustal Seismology:

أدى دراسة علم الزلازل لمعرفة كثير من المعلومات عن القشرة الأرضية، وتطبق الآن طرق الانفجار السيزمي الصناعي (طريقة الإنكسار والانعكاس) لمعرفة سمك وتركيب القشرة الأرضية. ومن مميزات طرق الانفجار الكيميائية أو (التفجيرات النووية) عن الزلازل هي معرفة زمن ومكان التفجير، أيضا تحديد كمية التفجير المطلوبه بدلا من إنتظار حدوث الزلزال الملائم. وفيما يلي نستعرض مشاركة التفجير السيزمي لفحص القشرة الأرضية:

### 1.5.2 تحديد القشرة Definition of the Crust:

القشرة هي جزء صلب من الأرض فوق فاصل، وهو Moho discontinuity الذي يفصلها عن الستار. وعند زيادة السرعة الأولية P.W بحوالي 8 كم/ث يمكن التعرف على فاصل موهو، وقد تحدد إمتداد هذا الفاصل بوساطة الدراسات تكون في بعض المناطق الغير مستقرة تكتونيا غالبا مبهمة لكنها تعطي نبضات واضحة. يمتد السمك الحقيقي فوق الموهو (القشرة الأرضية) من حوالي 6 كم تحت أرضية المحيطات إلى حوالي 70 كم تحت جبال الأنديز.

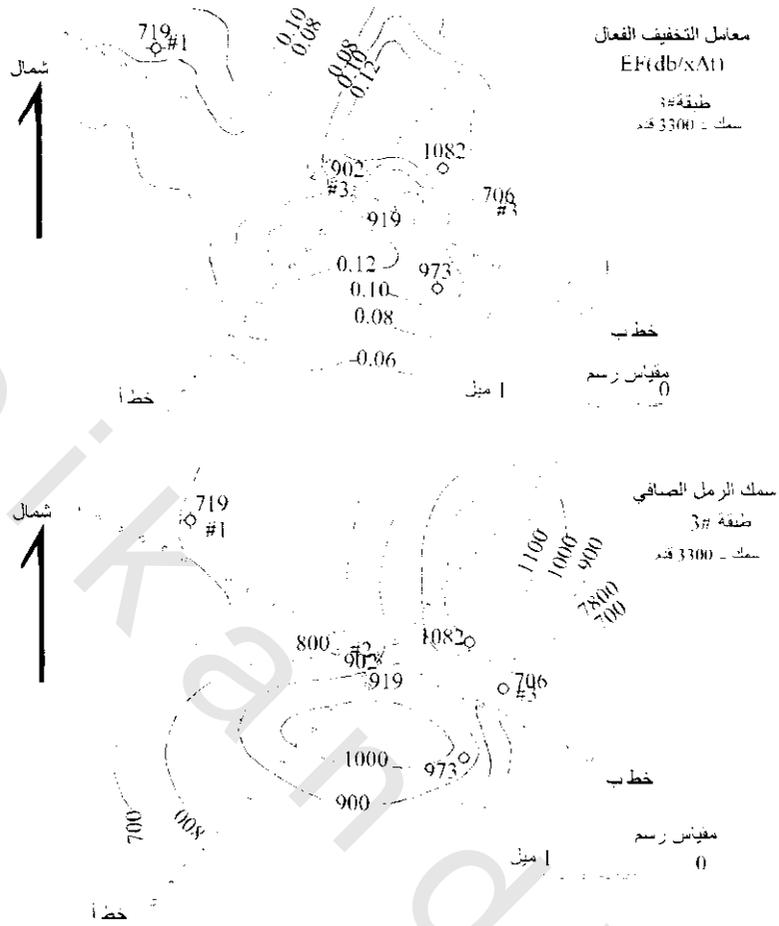
### 2.5.2 تركيب القشرة القارية (تغيرات إقليمية):

#### Structure of the Continental Crust (Regional Variations):

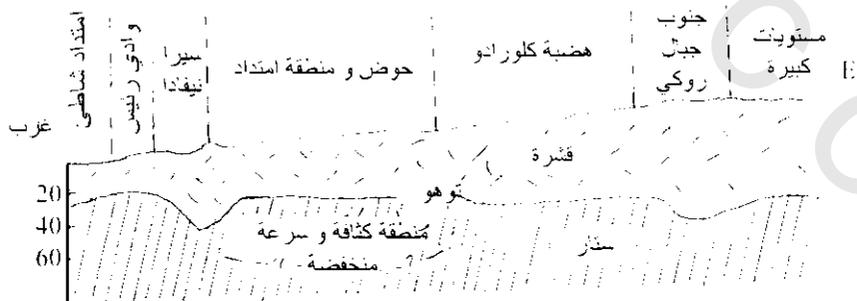
تمت دراسات مهمة لتركيبات القشرة بواسطة التفجيرات السيزمولوجية في الولايات المتحدة، روسيا ووسط أوروبا، وأهم نتائج هذه الدراسات موجودة في مجلدات هيوكوك 1971, Heacock 1977, وميلر 1974 Muller. عادة يكون وجود الموهو بين عمق 20 كم، 50 كم، ولكن إقليميا ربما يكون أعماق مثال ذلك تحت سلسلة طيات الجبال الحديثة. في قليل من الأقاليم الخاصة، تمت دراسة التغيرات الإقليمية في عمق الموهو لعدد كبير من الإنكسارات لمدى طويل، مثل بروفيلات إنكسار امتدت لـ 200-300 كم وتطلبت شحنات انفجار بلغت عدة أطنان.

يرى شكل (2-122) أهم مثال من دراسات باكسر 1963 Pakiser تمت في غرب الولايات المتحدة. هذه الدراسة أشارت إلى ان زيادة سمك القشرة يحدث تحت سلسلة جبال، وأن كل منطقة جيولوجية أساسية تكون مصاحبة لخاصية سمكية للقشرة.

أمثلة أخرى لتغير إقليمي في سمك القشرة مدت بواسطة دراسات سيزمية عميقة في وسط أوروبا (جيس وآخرين 1976 Giese et al.)، روسيا (كوسمنسكاى وآخرين 1969 Kosminskaya et al) والهند (كايل 1982 Kaila)، وعلى أساس النتائج المتاحة من شمال أمريكا وأوروبا أمكن الاستدلال على معلومات تفصيلية عن تركيب وعمق الموهو في عدة مناطق تكتونية. وقد وجد بروديهل 1977 Prodehl أن الفاصل بين القشرة والستار يكون حاد فقط في مناطق القشرة الرفيعة، وفي مناطق القشرة السمكية فإن الفاصل يكون أكثر أو أقل



شكل (2-121): مقارنة التخفيف وسمك الرمل الصافي في حقل بير نوز، كاليفورنيا. Beer Nose, Calif. (سافت و ماتكر Savit and Mateker 1971)



شكل (2-122): تغير في سمك القشرة من كاليفورنيا إلى كلورادو على أساس مسح سيزمي إنكساري

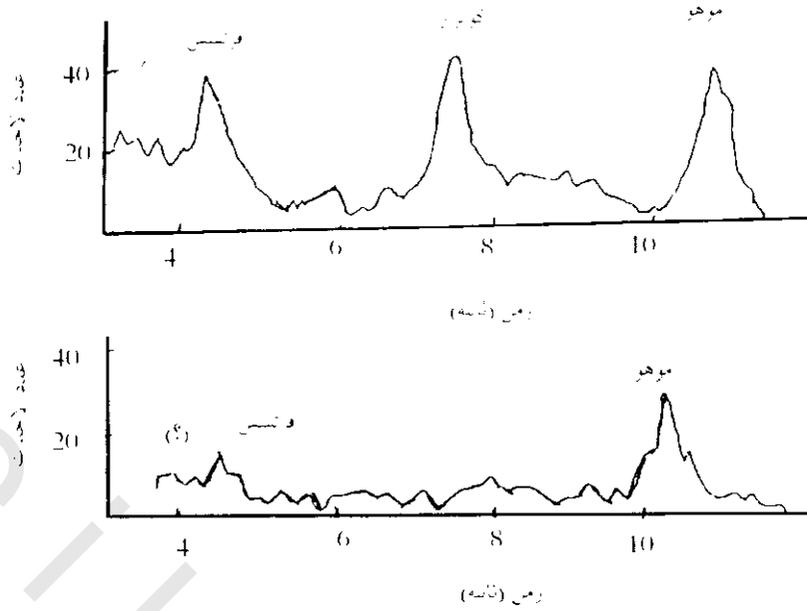
عرض لمنطقة إنتقالية من السمك تتغير من 2 إلى أكثر من 15 كم. يلخص جدول (2-3) تركيب القشرة والفاصل بين القشرة والستار في وحدات تكتونية مختلفة لشمال الولايات المتحدة وأوربا.

توجد زيادة عددية لدراسة القشرة العميقة باستخدام السقوط التقريبي العمودي Near Normal Incidence (NNI) وأحداث موجة الإنعكاس الواسعة Wide-angle reflection (WAR) شكل (2-123). ويوضح شكل (2-123) نتائج الدراسات الأولية لليشر 1964 Liebscher لتعريف طور الإنعكاس الأخير الذي يحدث في التسجيلات التي تنتج من عمل التنقيب التجارى باستخدام السقوط التقريبي العمودي (NNI) للإنعكاس. وقد اقترح التوزيع افحصانى للتوافق الحادث للأطوار المتأخرة ما بين 4 إلى 11 مرة إنعكاس لاثلاثة فواصل فى بعض مناطق الدراسة. ويفسر شكل (2-123) لانعكاسات الحادث بين 10-11 مرة بعد الإنفجار على أنه بسبب فاصل الموهو بين 7-8 مرة بسبب فاصل كونراد Conrad\* والذي يحدث عند حوالى 4 مرات حيث يشارك لفواصل جديد يسمى فاصل فورتش.

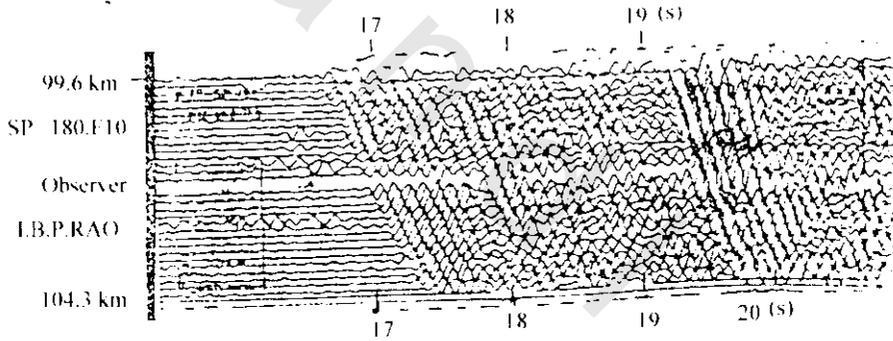
جدول (2-3) خواص تركيب القشرة لبعض المناطق التكتونية من شمال أمريكا وأوروبا

المنطقة	نوع القشرة	عمق الموهو كم	السرعة $P_w$ كم/ث	معدل سرعة القشرة
كندا، اسكتلندا، درع أوكرانيا	درع	50-40	8.4-8.1	عالي
سهول كبير (أمريكا)	قارى مستقرة	50-40	8.4-8.1	عالي
هضبة كلورادو	جزء غربى متحرك أمريكا	50-40	7.8-7.7	عالي
جبال أبلاشيا	حركة جبال بنانية قديمة	50	8.0~	عالي
سيرانيفادا	حركة جبال بنانية حديثة	60-40	7.9-7.8	متوسط
جبال روكى			8.0-7.8	منخفض
الألب			8.1-8.0	منخفض
كليديونيدز -شمال انجلترا	حركة جبال بنانية قديمة	35-30	8.0~	منخفض
كليديونيدز - شمال اسكتلندا	حركة جبال بنانية قديمة	30-25	8.0	متوسط
هرسينى ألمانيا، فرنسا، برتغال	حركة جبال بنانية قديمة	30	8.4-8.0	منخفض
حوض ومنطقة سلاسل	جزء غربى متحرك (أمريكا)	30	7.9-7.8	منخفض
أخدود الراين العلوى	أخدود	25-20	8.1-8.0	منخفض
ليماجن، أوفرجن (أخدود بوتواوا)	أخدود	30-25	7.9-7.3	منخفض
سهول نهر سنالك	أخدود	20		منخفض
		40		عالي
أبانتر	حركة جبال بنانية حديثة	20	8.0-7.3	منخفض
سلسلة شاطى CA	حركة جبال بنانية حديثة	25-20	8.0	منخفضة

\* فاصل سرعة موجود بعد الكونراد العلوى، ومن الدراسة السيزمولوجية فى بداية عام 1920 اقترح طبقتين قاسمتين للقشرة القارية. هذا الإستنتاج يتفق جيدا مع الإتفاق الشائع الآن عن ان القشرة تتكون من طبقة جرانيتية عليا وطبقة بازلتية تحتها.

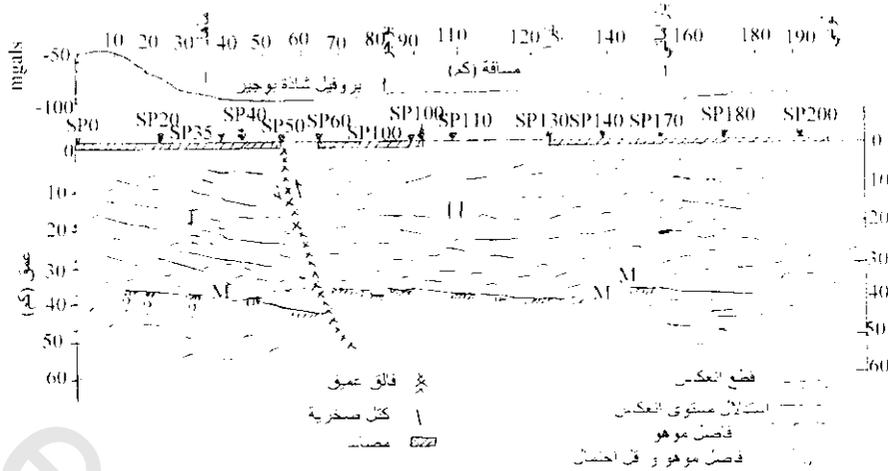


شكل (2-123): ترددات ضلعية توضح عدد الأحداث الملاحظة كدالة لطريقة فترتي زمن (ثانية) في سقوط عمودي لمسح سيزمي إنعكاسي (جنوب ألمانيا). وتفسر القمم كعدم استمرارية (انقطاعات) كبيرة خلال القشرة (فوتسش، كونراد) وعند القاعدة (موهو) (على أساس ليبشر (Liebscher 1964))



شكل (2-124): نموذج لجسمة سيزمية عميقة مسجلة بزواوية إنعكاس واسعة (عريضة) (PM) من تسجيل تقاطع الموهو Moho في غرب شبه جزيرة الهند حدث تماما بعد 9 ثانية (كايلا وآخرين 1981 Kaila et al 1981)

في عشرات السنين الماضية، امتدت دراسات زواوية الإنعكاس الواسعة (WAR) بكميات ملائمة من نتائج درع بيننسولار الهندي Peninsular Indian. ويوضح شكل (2-124) تسجيل نموذجي بزواوية إنعكاس واسعة (WAR) قوية (PM) من فاصل موهو بعد 19 مرة. ويفسر شكل (2-125) قطاع قشرة عرضي على طول 200 كم ويبدأ البرفيل من الشاطئ الغربي عند خط عرض 18° شمالاً، وحدد فاصل الموهو غالباً كعكاس سائد عند عمق ما بين 36-40 كم. وأيضا وضح الشكل عدد من قطع إنعكاسية تحت مصائد ديسان Deccan في اتجاه فاصل موهو. يقسم الفالق العميق أسفل مصائد ديسان القطاع العرضي الكلي، شاملاً فاصل موهو، إلى كتلتين قشريتين.



شكل (2-125): قطاع صخري عرضي على طول بروفيل كويننا Koynaz (غرب الهند). مشتق من تفجيرات إنكسار وزاوية الإنعكاس الواسعة. تدل التفجيرات على عددها على طول بروفيل طوله 200 كم. حدد الموهو كعكس أكثر ظهوريا (كايلا وآخرين 1981)

ملاحظة: الفالق العميق أثره عند عمق حوالي 40 كم

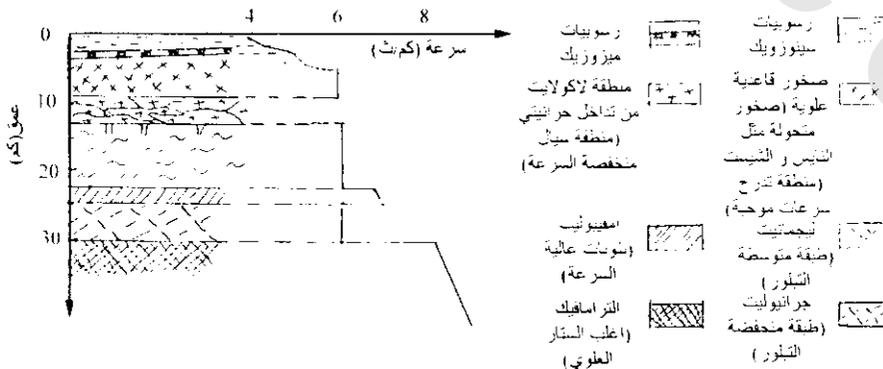
### 3.5.2 نموذج قشرة حديث بنطاقات السرعة المنخفضة:

#### New Crustal Model with Low-Velocity zones:

أدت زيادة عدد الدراسات، باستخدام تقنية معالجة النتائج السيزمية بدقة للدلالة على أن طبقة السرعة المنخفضة في جزء السبال من القشرة عند عمق 5-15 كم. لذلك اقترح مولر Muller 1977 نموذج جديد للقشرة، ويوضح شكل (2-126) علاقة خطية للسرعة والعمق والذي استخدم لتوضيح الظواهر المختلفة للنموذج الجديد للقشرة الأرضية.

يتميز النموذج بواسطة نطاقين للسرعة المنخفضة. (i) السرعة المنخفضة لطبقة السبال في أعلى القشرة الأرضية، (ii) نطاق السرعة المعكوسة (المنقلبية) في أسفل القشرة الأرضية. وتعتبر السرعة المنخفضة للسبال عند عمق 10 كم مطابقة لفواصل فورتشش Fortsch شكل 123، وتنبؤ السرعة العالية عند عمق حوالي 22 كم يتفق مع فاصل كونراد Conrad، وقفزة السرعة عند عمق حوالي 30 كم يعتقد أنها فاصل موهو Moho.

كان ميللر وآخرين Muller et al 1969 أول من اقترحوا نوع هذا النموذج للقشرة لمنطقة حوض الراين في وسط أوروبا وهذا النموذج غير قابل للتعميم.



شكل (2-126): نموذج خطي لقشرة قارية لمنطقة منخفضة السرعة (ميللر 1977)

#### 4.5.2 تركيب القشرة القارية :Composition of the Continental Crust

من الممكن نمذجة تركيب القشرة القارية من دراسات جيولوجية و جيوفيزيائية مشتركة لمناطق معينة والتي تظهر بها صخور القشرة العميقة، مثال ذلك منطقة أفريا Ivrea zone فى جنوب الألب (بركهمر Berckhemer 1969، مهنيرت 1975) حيث يتكون أعلى قطاع القشرة من شيبست ونيس تحتهم تداخلات جرانيتية، والجزء الأوسط من القطاع يتكون من نيس جرانيتي وأجسام جابروية متداخلة طبافيا مع درجة نيس عالية. تدل هذه المعلومات على أن القشرة العميقة فى هذه المنطقة على الأقل جزئيا مشتقة من الرسوبيات، والنموذج القشرى يشبه الشكل الموضح لنماذج تدرج السرعة مع مكونات القشرة شكل (2-125).

عادة تعطى الصخور البلورية العلوية للقشرة فى سرعة أوليه  $P_w$  ما بين 5.9, 6.3 كم/ث والتي تطابق قيم الجيرانودايورات والمجانيتات (سمثون وآخرين 1977) هذه القيم مناسبة مع معدل الكثافة والتركيب الكيميائي المقيم (هارس 1971، جاكس 1973)، والذان اقترحا أن هذه الصخور أكثر قاعدية من الجرانيت، بينما زالت المجادلة حول تركيب القشرة السفلية. ودلت الدراسة الإنكسارية للقشرة أن السرعة الأولية  $P_w$  تتراوح من 6.4-7 كم/ث فى القشرة السفلية والتي يمكن تميزها عن القشرة العلوية. وتعتبر السرعة 7 كم/ث قليلة جدا للجابرو أو الأمفيبوليت عند الضغوط العالية (كرستنس وفونتان Christensen and Fountain 1975). لذلك اقترح سمثون وآخرين 1977) أن السرعة 6.5 كم/ث ملائمة لصخور الجرانوليتك فى القشرة السفلية، والسرعة 6.8 كم/ث تابعة للدايوريت والأنديزيت. وبدل وجود الإنعكاسات السيزمية خلال القشرة السفلية على تغيرها مع نطاقات تباين الممانعة الصوتية (السرعة الأولية  $P_w$  × الكثافة (density).

مما سبق يتضح أن الإقتراحات الملاحظة تدل على ان القشرة القارية تتكون من طبقات رأسية وأفقية معقدة من الصخور المنحولة والنارية، والأولى أكثر سائدية ومنطقتى أفريا Ivrea zone (جنوب الألب) وتون ناب Jotun nappe (وسط النرويج Central Norwegian Caledonides) مثالين على إتساع كمية القشرة السفلية المكونة من سحنات صخور جرانوليت.

#### 5.5.2 تركيب وتكوين القشرة المحيطية

##### Structure and Compsoition of the Oceanic Crust:

من دراسات الجاذبية لاتزان القشرة الأرضية وكذلك الدراسات الزلزالية، اتضح أن سمك القشرة المحيطية أرفع من سمك القشرة القارية. وباستخدام المسح البحرى لموجات السيزمية الإنكسارية تبين أن سمك القشرة المحيطية حوالى 6 كم فى المحيطات الكبيرة، كذلك أوضح هذا المسح أن تركيب القشرة المحيطية غير متشابهة حيث أشار رايت 1963 Raitt أن هذه القشرة تتكون من ثلاثة طبقات كما هو مبين فى الجدول (2-4). وبالتقدم العديد فى مسح الموجات السيزمية الإنعكاسية والإنكسارية فى العشرات السنين الأخيرة تغير توضيح تركيب القشرة المحيطية حيث ظهرت عدة نماذج لهذا التركيب كإقتراح الطبقات الفرعية كما فى الجدول (2-4).

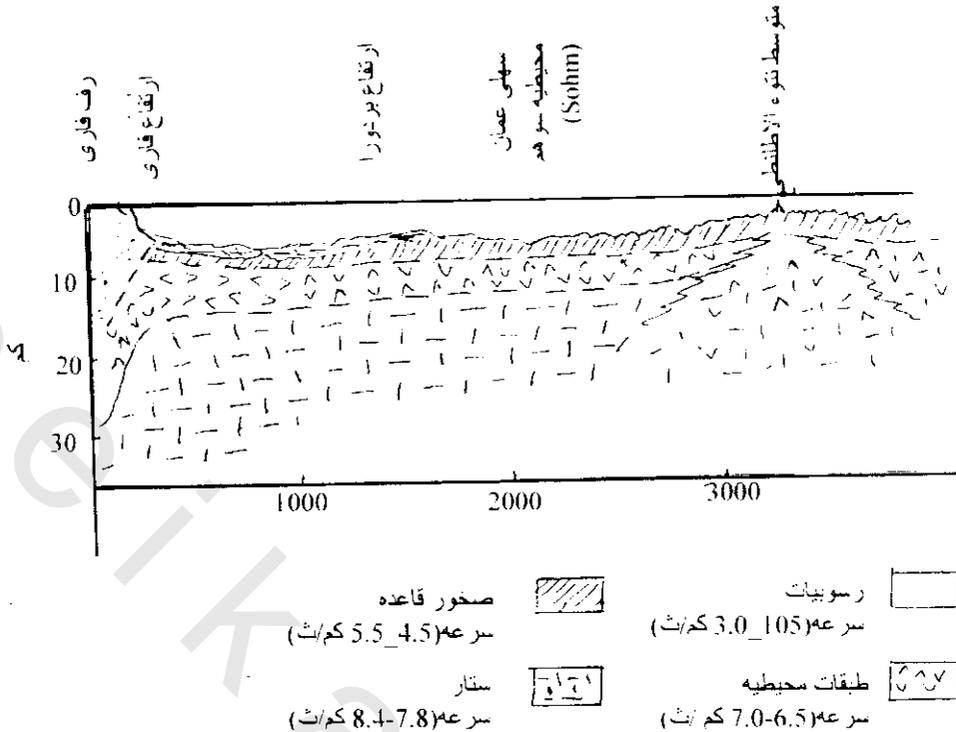
جدول (4-2) التركيب العادي للقشرة المحيطية وتكوينها

التركيب الافتراضي	السرعة الأولية (كم/ث)	سمك الطبقات الفرعية (كم)	متوسط السمك (كم)	متوسط السرعة الأولية $P_w$ كم/ث	الطبقات
			4.8	1.5	تحت الماء
رسوبيات غير متماسكة			0.8	2.0	طبقة (1)
وسائد بازلتيه	3.8-2.5	(أ) (1-0.5)	1.7	5.1	طبقة (2)
بازلت متماسم وسدود لوجيه	6.0-4.0	(ب) (1.5-1)			
جابر و متحول	6.8-6.5	(أ) (3-2)	4.8	6.7	طبقة (3)
جابر و أو (سربنتينيات الترامفيك؟)	7.7-7.0	(ب) (4-2)			
بريدوتيت	-	-	-	8.1	الستار العلوي

بعض مشاريع الحفر في عدة مناطق من المحيطات بينت أن الطبقة (2) تماثل الموجودة بالجدول، أما الطبقة (3) والمكونة الرئيسية لسمك القشرة المحيطية فما زالت محل مناقشة. وقد بين التغيير الواسع لصخور القاعدة والفوق قاعدية (بازلت متحول، جابرو، سربنتينيات... إلخ) أنها جرفت من الأخاديد ومناطق التشققات، بينما حد الموهو المحيطي فيقع بين صخور الجابرو والبريدوتيت. تشترك اعتبارات المتبقيات المغناطيسية في تفسير كلا من الطبقتين 2, 3.

#### 6.5.2 أمثلة لقطاع القشرة المحيطية :Examples of the Oceanic Sections

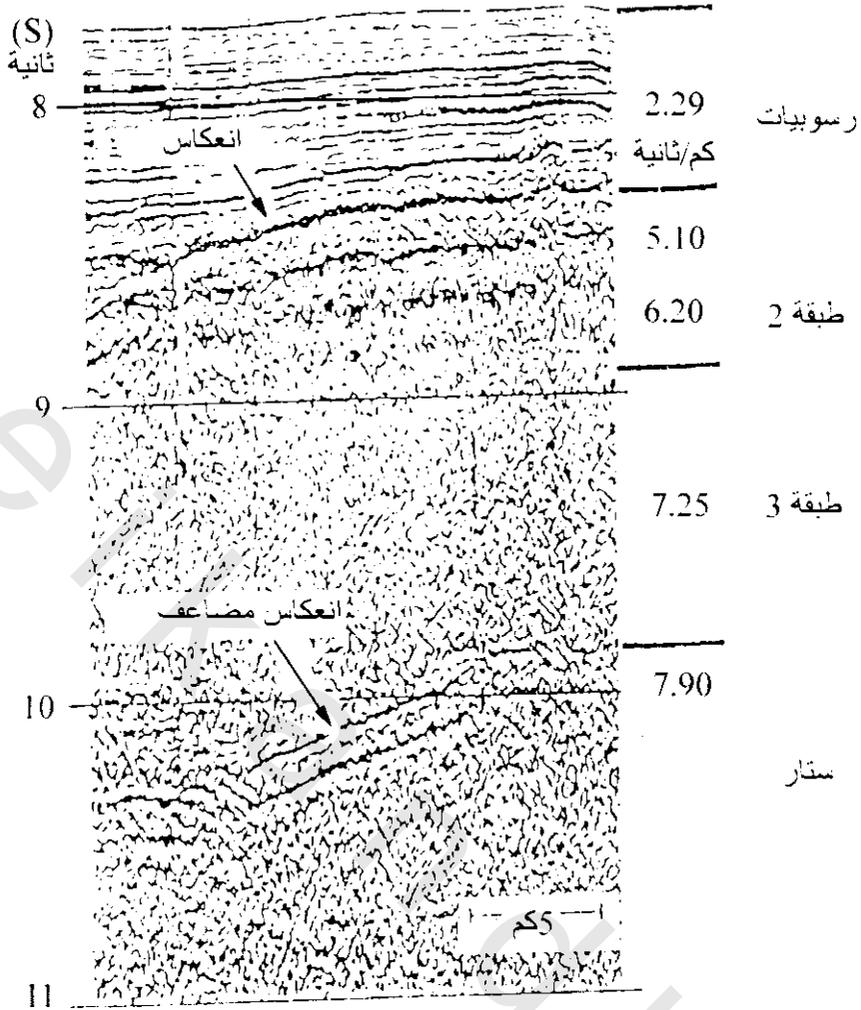
المثال الأول: يوضح شكل (2-127) قطاع للقشرة المحيطية من شمال الرف القاري الأمريكى إلى أهدود الأطلنطى الأوسط كما حدد بواسطة قياس السيزمية الإنكسارية. عمق الماء حوالى 5 كم يقل عند قمة الأهدود إلى 2 كم، كما أنه لا توجد طبقات رسوبية عند النتوء (إرتفاع) وتزيد فى السمك قرب إرتفاع القارات، أما الصخور القاعدية (طبقة 2) فيصل أكبر سمك لها عند قمة النتوء ويقل هذا السمك بالبعد عن النتوء. تظهر الطبقة المحيطية الأساسية (طبقة 3) أنها موحدة السمك ماعدا قربها من النتوء حيث تنتهى. يبلغ معدل عمق الموهو فى المحيط الأطلنطى حوالى 12 كم (محسوب من سطح الماء)، والاختلاف الأكثر معرفة لهذا العمق يحدث عند أجنحة النتوء (الإرتفاع) حيث سجلت السرعة السيزمية للستار عند أعماق 9-10 كم. ومن خواص هذا النتوء أيضا إختفاء الموهو فى قمة النطاق والسرعة المسجلة فى هذا النطاق الشاذ متوسطة ما بين الطبقة 3 والستار العلوى. والشذوذ التركيبى المصاحب لقمة النتوء ويكون علاقة مع تيارات الحمل وتكونية قاع البحر.



شكل (2-127): قطاع عام صخري من رصيف القاري للقرارة الأمريكية إلى متوسط نتوء الأطلنطي (أوينج 1969 Wwing)

المثال الثاني: من غرب الباسيفيكي، استخدم تلوانى وآخرين Talwani et al 1982 برفيلات متعددة القنوات السيزمية لتسجيلات لمساقط انعكاسات تقريبا رأسية في البحر شرق أخدود اليابان. وذلك بهدف تخريط الموهو (تحديد مساحات تضاريس صخور القاعدة المسحجة (subdued)).

يوضح شكل (2-128) إنعكاسات قوية من صخور القاعدة (طبقة 2) والموهو ولم تحدد قمة الطبقة بدقة لقلّة ساعات الإنعكاس. قيم السرعة (على اليمين) محصول عليها من تجربة أخرى مستخدم فيها مصدر قوى كافي، ومجموعات استقبال، وتسجيلات انكسار واصلة بواسطة طاقة صوتية ردارية Sonobuoyus والسرعات المعطاه (في رتب زبادية) مطابقة لطبقات المحيط 1، 2، 3، والموهو كما في جدول (2-4). يمكن تحديد سمك الطبقات من تسجيلات طريقي الإنعكاس ومتوسط السرعات في قطاعات الطبقات. وتوضح النتائج التي حصل عليها تلوانى وآخرين Talwani et al 1982 أن السمك الصخري يختلف اعتباريا عبر المساحة المسوحة.



شكل (2-128): قطاع تسجيل سيزمي لقرب انعكاسات رأسية ساقطة في غرب الباسيفيكي شرق أخدود اليابان. الانعكاس الأعلى عند حوالي 8.4 ثانية ناتج من صخور القاعدة وانعكاس القاع عند حوالي 0.4 ثانية حيث يكون مميز لتقاطع الموهو (تالواني وآخرين 1982 Talwani et al 1982)