

## الفصل الثامن

### الكشف الجيوفيزيقي

في المناطق التي تظهر فيها مكاشف الصخور والطبقات يكون من السهل عادة تحديد نوع الصخور وتتابعها وعمرها الجيولوجي وتراكيبها الأولية والثانوية بدرجة تكاد تكون مؤكدة، أما في المناطق التي تختفي فيها مكاشف الطبقات يصبح من الضروري للحصول على معلومات كافية عن طبيعة الصخور تحت السطحية أن نلجأ لطرق الكشف الجيوفيزيقي. ويعتمد الكشف الجيوفيزيقي للصخور والموارد المعدنية على عاملين أساسيين هما:

(أ) قياس بعض الخواص الطبيعية للصخور وتجرى هذه القياسات إما على سطح الأرض وإما بواسطة المساحة الجوية باستخدام طائرات خاصة لهذا الغرض مزودة بأجهزة دقيقة وحساسة لقياس بعض الصفات الطبيعية للصخور مثل الخواص المغناطيسية والكهربية والإشعاعية.

(ب) تفسير القياسات الجيوفيزيكية لتحديد نوع الصخور وأعماقها وتراكيبها الثانوية. ويجب ملاحظة أن القياسات الجيوفيزيكية لا تكون ذات أهمية كبيرة إلا بعد تفسيرها تفسيراً سليماً على أسس جيولوجية. وتشمل القياسات الفيزيكية خواص الكثافة وشدّة المغناطيسية والتوصيل الكهربى ومرونة الصخور، وتبعاً لذلك توجد أربعة طرق رئيسية للكشف الجيوفيزيقي هي:

١ - طرق تناقلية (جاذبية) (Gravitational Methods)

٢ - طرق مغناطيسية (Magnetic Methods)

١ - طرق كهربية (Electrical Methods)

١ - طرق سيزمية زلزالية (Seismic Methods)

ومن الناحية العلمية، فإن الطريقتين الكهربية والسيزمية هما أكثر الطرق كفاءة واستخداماً في مجال الكشف الجيوفيزيقي للأغراض الهندسية، وخاصة في إنشاء السدود والخزانات ومحطات توليد الكهرباء والمنشآت تحت السطحية كالأنفاق وغيرها، وفيما يلي وصف موجز عن هاتين الطريقتين.

### الطرق الكهربائية

تختلف الخواص الكهربائية للمواد المكونة للقشرة الأرضية، سواء كانت مفككة أم متماسكة، اختلافاً كبيراً. وبصفة عامة فإن الصخور، فيما عدا الخامات المعدنية الفلزية، يتوقف توصيلها

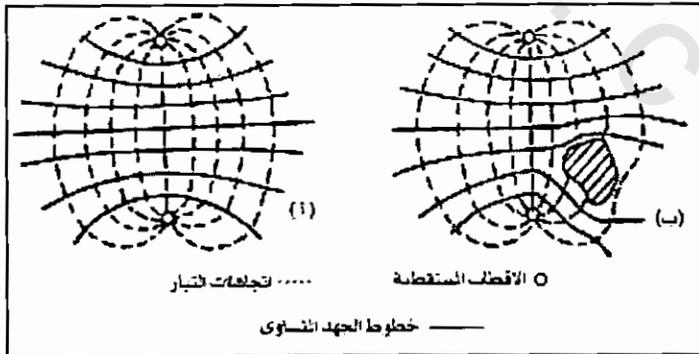
الكهربى على عدة عوامل مثل حجم الفراغات التى توجد بها واستمرار وتوزيع هذه الفراغات ونوع المواع التى توجد بها. فعلى سبيل المثال تختلف الأنواع المختلفة من الرواسب المفككة اختلافاً كبيراً فى حجم الفراغات بين حبيبات الراسب ونوع السوائل التى توجد بها، بينما الصخور المتماسكة، مثل الجرانيت والبازلت والصخور الرملية، تختلف فى مساميتها وما تحويه من سوائل، وتؤثر هذه الاختلافات تأثيراً كبيراً على درجة التوصيل الكهربى لهذه الصخور، وبالتالي على مقاومتها. وعندما تحتوى الصخور على أجسام للخامات المعدنية الكبريتيدية فإنها تتأين بفعل المياه منتجة محاليل الكتروليتية ينشأ عنها تيارات كهربية ذاتية، وفى هذه الحالة يسهل الكشف الجيوفيزيقي بالطرق الكهربية للأغراض الهندسية باستخدام أقطاب صناعية لقياس النشاط الكهربى للأرض، وأما الطرق الجيوفيزيكية الكهربية فهى:

١ - طريقة الجهد المتساوى (Equipotential Method)

٢ - طرق المقاومة (Resistivity Method)

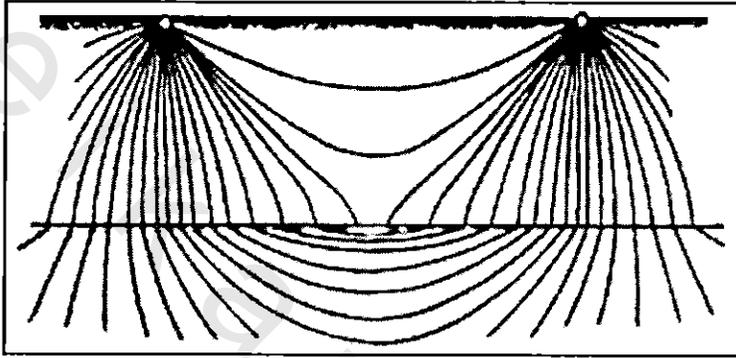
### طريقة الجهد المتساوى:

إذا أمرنا تياراً كهربياً فى الأرض بواسطة قطبين، فإن التيار يمر بينهما نتيجة لاختلاف الجهد. ويمكن تتبع خطوط الجهد المتساوى بواسطة قطبين غير مستقطبين (Nonpolarised Electrodes) متصلين بمكبر يصل إلى سماعات خاصة. ويبقى أحد القطبين مثبتاً فى الأرض بينما يحرك القطب الآخر حتى تستقبل فى السماعات أدنى درجة من الصوت، وفى هذه النقطة يكون القطبان على نفس خط الجهد المتساوى. إذا كانت الأرض متجانسة (كما فى شكل ٨٧ - أ) فإن خطوط الجهد المتساوى تكون متماثلة فى توزيعها حول القطبين، أما فى حالة وجود أجسام جيدة أو رديئة التوصيل الكهربى مدفونة فى الأرض فإنه ينشأ انحراف فى خطوط الجهد المتساوى (كما فى شكل ٨٧ - ب).



شكل رقم (٨٧) : (أ) اتجاه التيار وخطوط الجهد المتساوى فى حالة صخور متجانسة.  
(ب) اتجاه التيار وخطوط الجهد المتساوى فى حالة صخور مختلفة.

وفي حالة الأجسام جيدة التوصيل الكهربى، فإن خطوط التيار تنجذب إليها بينما تتنافر منحنيات الجهد المتساوى، بينما يحدث عكس ذلك فى حالة الأجسام رديئة التوصيل الكهربى. ولقد استخدمت خطوط الجهد المتساوى لتحديد موقع أجسام الخامات المعدنية المدفونة تحت غطاء من الرواسب وفى الكشف عن التراكيب الجيولوجية تحت السطحية، كما فى شكل (٨٨). والاستكشاف الجيوفيزيقي بطريقة الجهد المتساوى مناسبة جداً لدراسة التكوين الجيولوجية التى تفصلها حدود رأسية أو شديدة الانحدار.



شكل رقم (٨٨): خطوط اتجاه التيار الكهربى فى قطاع من طبقات أفقية.

### طرق المقاومة:

استخدمت هذه الطريقة على نطاق كبير لأنه ثبت عملياً أنها أفضل طرق الاستكشاف الجيوفيزيقي للأغراض الهندسية. وعندما تجرى الدراسات الجيوفيزيكية فى مناطق حيث تكون طبقات الصخور أفقية أو ذات ميل صغير، فإن قياسات المقاومة تصبح أكثر الطرق الكهربائية كفاءة وفائدة. ويوضح شكل (٨٩) نتائج قياسات المقاومة الكهربائية ومدى تأثيرها بالتغيرات الرأسية لنوع الصخور. وبقياس الاختلافات فى الجهد حول الأقطاب أو بين قطبين وتعيين شدة التيار فإنه يمكن حساب مقدار المقاومة.



شكل رقم (٨٩)

العلاقة بين قياسات المقاومة وعمق الصخور.

وأكثر الوسائل استخداما للاستكشاف الجيوفيزيقي الكهربى بطرق المقاومة هى طريقة فينر - جيش - روني (Wwnner. Gish. Roney Method) وفيها يستخدم قطبين لقراءة الجهد وذلك بوضعهما على خط واحد مع قطبين للتيار بحيث تكون المسافات بينهما متساوية كما فى شكل (٩٠) وفى هذه الطريقة نستخدم القانون.

$$Q = 2 \rho H - \left( \frac{H}{S} \right)$$

حيث:  $Q$  = المقاومة بالأوم فى وحدة المسافة.

$H$  = المسافة بالسنتيمتر بين الأقطاب.

$ح$  = الفرق بين الجهد بالفولت بين الأقطاب المتوسطة.

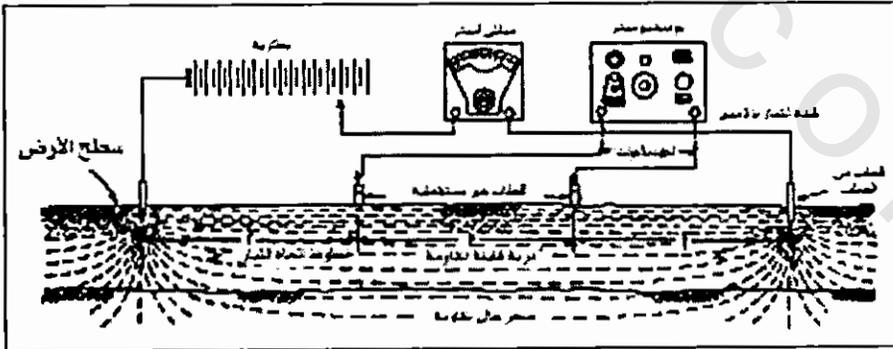
$ش$  = شدة التيار بالأمبير المار بين الأقطاب البعيدة.

$ط$  = النسبة التقريبية.

وبما أن  $M = \frac{ح}{ش}$  (قانون أوم) فيمكننا كتابة العلاقة السابقة بالصورة الآتية:

$$M = \left( \frac{Q}{2 \rho H} \right)$$

ونتيجة لذلك فإن عمق الاستكشاف يعادل تقريبا المسافة بين الأقطاب. وكلما زادت المسافة بين الأقطاب أمكن استكشاف الصخور على أعماق أكبر، ولقد أثبتت التجارب العملية على أن الصخور التى توجد على أعماق أكبر من المسافة بين الأقطاب لها تأثير ضئيل على قیعة المقاومة النوعية ( $M$ ) والتي تقدر بالأوم/سم. وفى حالة قياس مقاومة قطاع من الصخور غير المتجانسة فإن القيم التى نحصل عليها تمثل المقاومة النسبية لصخور القطاع.



شكل رقم (٩٠): جهاز قياس المقاومة الكهربائية للصخور.

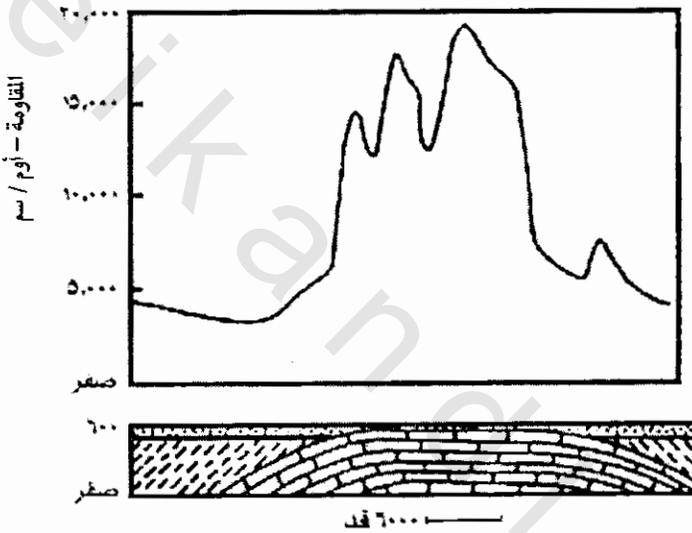
ومما سبق يتضح أن هناك حالتين للكشف الجيوفيزيقي بطرق المقاومة. وتتميز الحالة الأولى بوجود اختلافات أفقية للمادة ويمكن اكتشافها بقياس المقاومة عند نقط على مسافات ثابتة للأقطاب على طول خط الاستكشاف. فمثلا إذا كانت المسافات بين الأقطاب ٢٠ قدما وأخذنا القياسات عند محطات للرصد المسافة بين الواحدة والأخرى ٢٠ قدما على طول خط الاستكشاف فحينئذ يكون عمق الاستكشاف ٢٠ قدما تقريبا. ومن البيانات التي نحصل عليها يمكننا رسم منحنيات تمثل فيها المقاومة على المحور الرأسي، بينما تمثل المسافات بين الأقطاب على المحور الأفقي، ويوضح شكل (٩٣) المنحنيات الناتجة من قياسات المقاومة على رواسب من الحصى الرملي.

أما في الحالة الثانية، فإن الكشف عن الصخور تحت السطحية يعتمد على التغير المتوقع للمسافات بين الأقطاب حتى تتأثر قيمة المقاومة بالأوم في وحدة المسافة بزيادة العمق. فمثلا في حالة استكشاف الصخور تحت السطحية لأعماق قليلة فإن المسافة بين الأقطاب تكون عادة ٦ أقدام، ثم تزداد بانتظام إلى ٩، ١٢، ١٥، ١٨ قدما أو أكثر. وتمثل المعلومات التي نحصل عليها على شكل منحنيات تبين فيها قيم المقاومة على المحور الرأسي، بينما تمثل المسافات بين الأقطاب على المحور الأفقي.

وإذا كانت تراكيب الصخور بسيطة، فإن التغير المفاجئ في شكل منحنى المقاومة يدل على تغير في طبيعة الصخور تحت السطحية على عمق يعادل تقريبا المسافات بين الأقطاب، والتي عندها ظهر هذا التغير المفاجئ. ويدل صعود المنحنى إلى أعلى على ازدياد المقاومة بزيادة العمق كما يحدث أحيانا في حالة الزلزلة والصخور الصلدة، بينما يدل المنحنى المستوي (أو الأفقي تقريبا) أو المنخفض تقريبا إلى أسفل على نقص المقاومة بزيادة العمق كما في حالة الصلصال والأنواع الأخرى للتربة وباستخدام طرق حسابية وبيانية دقيقة يمكننا الحصول على تفسيرات لها مفهوم من الناحية الكمية، وبمعلومية التحليل الكمي للمقاومات الظاهرية فإن المقاومة الحقيقية لطبقتين أو ثلاث طبقات من الوحدات الصخرية يمكن تحديدها مع احتمالات كبيرة لاستنتاج نوع الصخور تحت السطحية وتراكيبها الجيولوجية.

ولقد استخدم مهندسو البترول طرق المقاومة بنجاح على نطاق كبير لتحديد نوع التراكيب الجيولوجية تحت السطحية، مثل الطيات المحدبة، والمناسبة للتجمعات البترولية. وتحدد هذه التراكيب بتعيين أعماق الطبقات التي لها مقاومة أكبر أو أقل من الصخور المحيطة بها كما يتضح من شكل (٩١). وقد استخدم مهندسو المناجم أيضاً طرق المقاومة للتعرف على التراكيب الجيولوجية تحت السطحية ولاستكشاف بعض الرواسب المعدنية الاقتصادية مثل رواسب النحاس والرصاص والزنك.

أما في مجال الهندسة المدنية فإن طرق المقاومة استخدمت على نطاق شاسع بنجاح كبير في المساعدة على حل كثير من المشكلات الهندسية مثل تعيين عمق الصخور الصلبة، ومعرفة نوع التراكيب الجيولوجية تحت السطحية والتي قد تؤثر لدرجة كبيرة على تصميم وتنفيذ المنشآت الهندسية الكبيرة كالسدود والخزانات، وتقسيم الطبقات تحت السطحية من الناحية الهندسية إلى تربة وصخور مفككة أو مهشمة وصخور صلبة، وتحديد مواقع مواد البناء ورصف الطرق، وتعيين الطبقات الحاملة للمياه الأرضية وأثر ذلك على أساسات المنشآت الهندسية. وسنتكلم فيما يلي باختصار عن هذه الاستخدامات في مجال الهندسة المدنية.



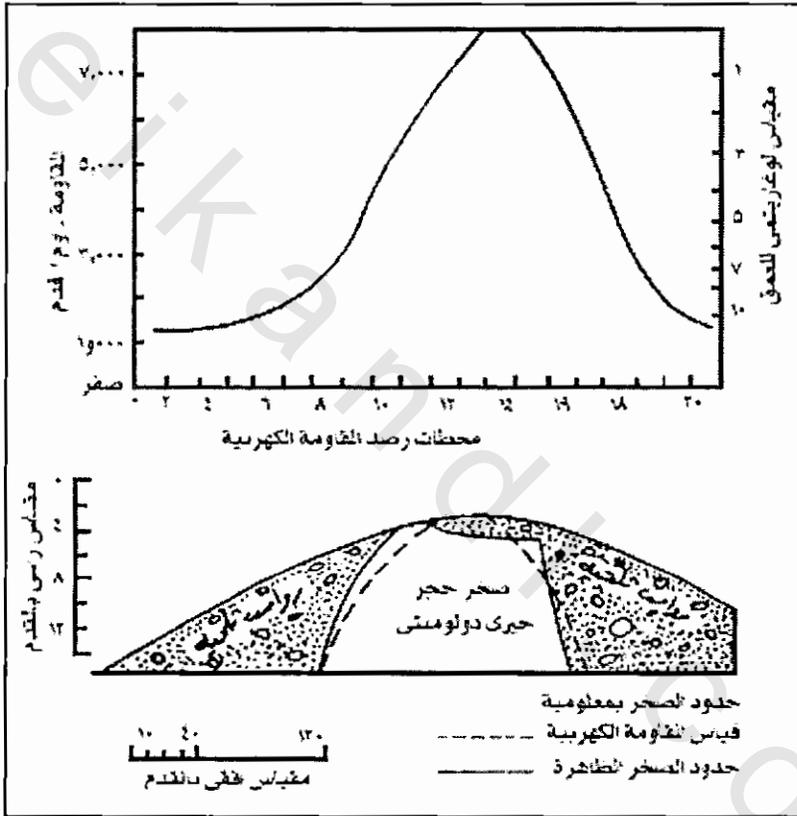
شكل رقم (٩١): تحديد طية محدبة مدفونة بقياس المقاومة الكهربائية للصخور تحت السطحية.

١ - تعيين عمق الصخور الصلبة: يحتاج كثير من المنشآت الهندسية الضخمة، مثل السدود والخزانات والأنفاق ومحطات توليد الكهرباء من القوى المائية، إلى تعيين سمك التربة المفككة على سطح الأرض والعمق الذي توجد عليه الصخور الصلبة.

وتتميز طرق المقاومة الكهربائية بأنها سريعة واقتصادية ودقيقة نسبياً لتحديد أعماق الصخور تحت السطحية. ويلاحظ أن هذه الطرق ليست بديلاً للدراسات الجيولوجية كما أنها لا تغني عن حفر الآبار الاختبارية ولكنها تؤكد وتؤيد نتائج هذه الدراسات.

٢ - تعيين التراكيب تحت السطحية: في المواقع التي تقام عليها المشروعات الهندسية الكبيرة يكون من الضروري تحديد اتجاهات الفوالق تحت السطحية لأن مناطق الفوالق هي

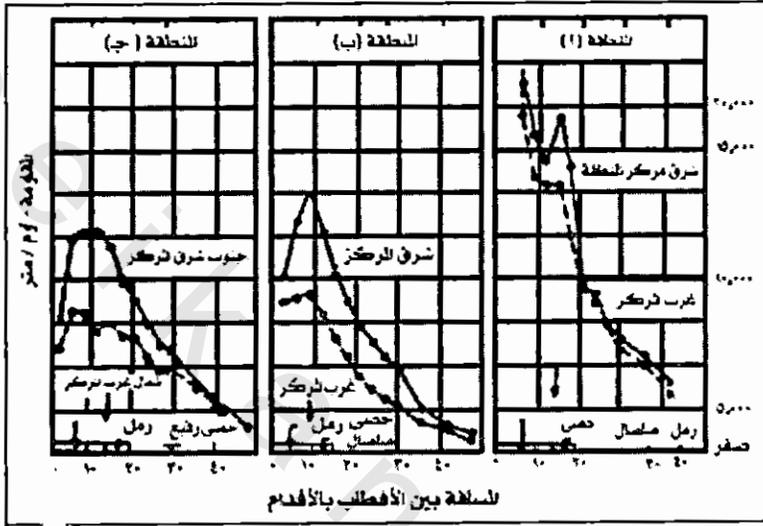
أماكن ضعيفة في الأرض كما أنها قد تكون منطقة تسرب للمياه أو قد تحتوى على مياه أرضية. وفي حالة السدود والخزانات يعتمد اختيار الموقع على نوع الصخور تحت السطحية وتراكيبها التي يمكن الكشف عنها بالوسائل الجيوفيزيائية وخاصة بطرق المقاومة الكهربائية للصخور. ومن الأمثلة الهامة للتطبيقات العملية هو تحديد اتجاهات الحفر في الصخور عند شق طريق رئيسي في منطقة جبلية مغطاة برواسب التربة المكونة من الحصى والرمال والصلصال كما هو موضح في شكل (٩٢).



شكل رقم (٩٢): تحديد اتجاه حفر الصخور عند شق طريق على تل مغطى برواسب ثلجية.

٣- تعيين مواقع ونوع مواد البناء: تستكشف مواقع البناء مثل الحصى والرمال بالوسائل الجيوفيزيائية وخاصة بطرق المقاومة الكهربائية. وعلى سبيل المثال أمكن القيام بدراسات استطلاعية في منطقة يحتمل أن يوجد بها كميات كبيرة من الحصى والرمال الضرورية لعمليات البناء، وأثبتت الاختبارات أن هذه المواد تتركز في مناطق معينة ويوضح شكل (٩٣)

منحنيات المقاومة الكهربائية وسجلات آبار الاختبار في مواقع تجمعات الحصى والرمال ويتضح من المعلومات الجيوفيزيائية أن المنطقة (أ) تحتوى على حوالى ١٠,٠٠٠ متر مكعب من الحصى الرملى والصلصال الرملى على عمق ١٥ قدما تقريبا من سطح الأرض، بينما تحتوى المنطقة (ب) على حوالى ١٥,٠٠٠ متر مكعب من الحصى.



شكل رقم (٩٣): قياس المقاومة الكهربائية تحت السطح الراسب من الحصى الرملى يقع فوق رواسب من الصلصال والرمل الصلصالي

ويجب التأكيد بأن قياسات المقاومة الكهربائية لها بعض العيوب كما هو الحال في جميع طرق الكشف الجيوفيزيقي، وأن المعلومات التي نحصل عليها من قياسات المقاومة يجب مقارنتها وتأكيدها بحفر الآبار الاختبارية لكي تصبح أكثر فائدة من الناحيتين الهندسية والاقتصادية.

٤ - دراسة المياه الأرضية: لقد استخدمت طرق المقاومة الكهربائية بنجاح كبير لتحديد مواقع خزانات المياه الأرضية في الصخور الرملية المغطاة برواسب. وفي المناطق التي يكون فيها ميل طبقات الصخور الحاملة للمياه الأرضية صغيراً، فإنه يمكن بسهولة تحديد تركيب الخزان المائى في الصخور تحت السطحية، أما في المناطق ذات التركيب المعقد فإنه يصعب استخدام الطرق الكهربائية.

### الطرق السيزمية

تختلف خواص المرونة للصخور المكونة للقشرة الأرضية اختلافاً كبيراً، ويعتمد الكشف الجيوفيزيقي بالطرق السيزمية على التباين في هذه الخواص.

وينشأ عن الاختلافات فى معاملات المرونة للطبقات الصخرية انعكاسات وانكسارات للموجات السيزمية تشبه لدرجة كبيرة انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية عند مرورها خلال مواد مختلفة التركيب. وتستخدم أجهزة خاصة لقياس وتسجيل سرعة انتقال الموجات السيزمية فى المواد الأرضية سواء كانت تربة مفككة أم صخوراً صلبة. ويمكن من قياس سرعة هذه الموجات استنتاج عمق ونوع وتوزيع وتراكيب الصخور تحت السطحية.

وتعتمد سرعة الموجات السيزمية فى الصخور لدرجة كبيرة على درجة تماسكها، ويبين جدول (٢٩) التباين الكبير فى مرونة الصخور المتبلورة والماسكة من ناحية والمواد المفككة من ناحية أخرى. وبصفة عامة فإن سرعة الموجات السيزمية تتفاوت من ١٠٠٠٠ قدم/ثانية إلى ٦٠٠٠٠ قدم/ثانية فى حالة المواد المفككة أو ضعيفة التماسك. وجدير بالذكر أن الاختلافات فى سرعة الموجات ليست كافية للتعبير بوضوح بين الرمال والصلصال أو الأنواع الأخرى من الصخور المفككة.

جدول رقم (٢٩) سرعة انتقال الموجات الطولية فى بعض الصخور

نوع الصخر	قدم/ ثانية
١ - رواسب الوديان (رواسب سطحية)	١,٤٠٥ - ٤,٩٢١
٢ - رواسب ثلجية	١,٥٨٨ - ٥,٥٧٨
٣ - رمال، صلصال رملى، صلصال	١,٥٤٠ - ٦,٢٣٤
٤ - حجر رملى - طين صفحى	٣,٠٥٥ - ١٣,٧٨٠
٥ - حجر جبرى	٣,٢٠٠ - ٢٠,٩٩٨
٦ - جرانيت (صخر نارى جوفى)	١٣,١٢٤ - ١٨,٦٠٣
٧ - شبيست ونيس (صخور متحولة)	١٠,١٧٠ - ٢٤,٤٠٦
٨ - اردواز (صخر متحول)	١٠,٥٠٠ - ١٦,٤٠٥

ويستخدم فى الكشف السيزمى طريقتان هما:

١ - طريقة الانعكاس (Reflection Method)

٢ - طريقة الانكسار (Refraction Method)

وتستخدم طريقة الانعكاس فى حالة استكشاف الطبقات التى يزيد عمقها عن ١,٠٠٠ قدم من سطح الأرض وهى أكثر استخداماً فى عمليات البحث عن البترول. أما طريقة الانكسار فتستخدم لاستكشاف الصخور التى توجد على أعماق قليلة، ولهذا فإنها من الناحية الهندسية وسيلة هامة لاستكشاف الصخور تحت السطحية، وفيما يلى وصف موجز لطريقة الانكسار.

## طريقة الانكسار:

في هذه الطريقة تفجر كبسولة أو شحنة صغيرة من الديناميت على السطح أو بالقرب منه عند نقطة تسمى (نقطة التفجير) وتنتقل من نقطة التفجير موجات سيزمية مرنة إلى الخارج في جميع الاتجاهات، ثم تسجل الموجات المرتدة، بواسطة أجهزة خاصة تسمى سيزمومترات موضوعة على مسافات متساوية على نفس خط التفجير كما يتضح من شكل (٩٤) وتكبر الموجات عادة بأجهزة خاصة ثم تسجل فوتوغرافيا على فيلم متحرك، وتسجل أيضا الفترات الزمنية على شريط الفيلم بخطوط تبين الزمن بواسطة جهاز كهربى يحتوى على شوكة رنانة. ويوضح شكل (٩٥) التسجيل الزمنى حيث تمثل المنحنيات الثلاث تسجيلات ثلاثة كشافات موضوعة على خط واحد مع نقطة التفجير. ويلاحظ أنه يفترض أن الطاقة السيزمية تتخذ مسارا يسمح بوصول الموجات إلى الكشافات فى أقصر وقت، فمثلا نجد فى شكل (٩٤) أن (د) القريبة من نقطة التفجير هى أول الموجات التى كان مسارها مباشرة خلال التربة وبسرعة تعادل:

$$s_1 = \frac{L_1}{T_1}$$

حيث  $s_1$  = سرعة الموجات فى الأرض (التربة)

$L_1$  = المسافة بالقدم بين نقطة التفجير والكشاف الأول عند (د)

$T_1$  = الزمن بالثانية لمسار الموجة من نقطة التفجير إلى كشاف التسجيل الأول عند (د).

وعلى مسافات أكبر من نقطة التفجير فإن الموجات الناتجة عن الانفجار والتى تتخذ

المسارات (هـ و د) هى التى تصل أولا للكشافات عند النقطتين (د) ، (د). وحيث أن (هـ

و) مسافة مشتركة للمسارين فإن سرعة الموجات فى الصخر تعادل:

$$s_2 = \left( \frac{L_2 - L_1}{T_2 - T_1} \right)$$

حيث:  $s_2$  = سرعة الموجات فى الصخر

$L_2$  = المسافة بالقدم بين نقطة التفجير (هـ) والكشاف الثالث عند (د).

$L_1$  = المسافة بالقدم بين نقطة التفجير (هـ) والكشاف الثانى عند (د)

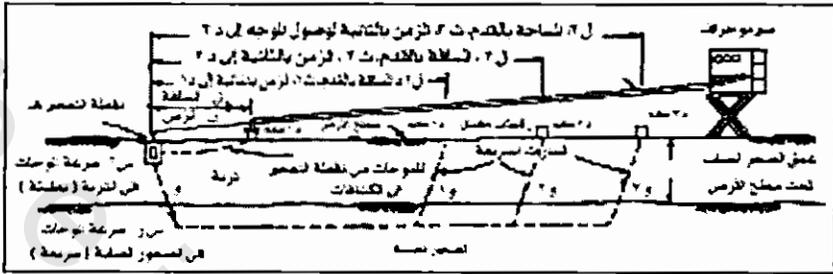
$T_2$  = زمن مسار الموجة بالثانية من نقطة التفجير (هـ) إلى الكشاف الثالث عند (د)

$T_1$  = زمن مسار الموجة بالثانية من نقطة التفجير (هـ) إلى الكشاف الثانى عند (د).

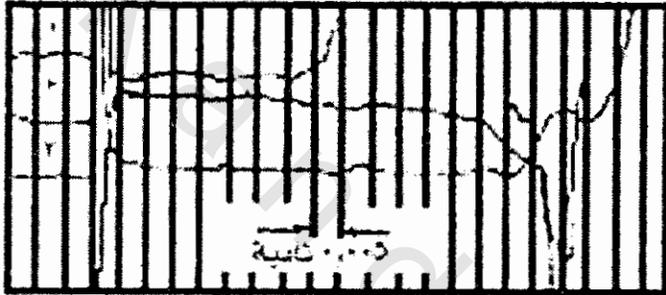
ويمكننا، مع احتمالات طفيفة للخطأ، افتراض أن زاوية الانكسار عند النقطة (و) = ٩٠°، وأن

المسافة بين (و) ، (و) تعادل (ل). فإذا كانت الموجة المباشرة خلال الأرض والموجة المنكسرة تصل

في نفس الوقت لأحد الكشافات في المسافة بين هذا الكشاف ونقطة التفجير تسمى بالمسافة الحرجة (Critical Distance) ولتعيين أعماق الصخور تحت السطحية فإن المسافة (ل) يجب أن تكون قريبة من المسافة الحرجة وذلك للحصول على أفضل النتائج. ويتضح من الشكل (٩٤، ٩٥).



شكل رقم (٩٤): رسم تخطيطي يوضح أسس الكشف الجيوفيزيقي بالطريقة السيزمية.



شكل رقم (٩٥): التسجيل الزمني للموجات السيزمية.

أنه يمكن حساب عمق الصخور الصلبة تحت السطحية وذلك بمعلومية القياسات (ل)،

(ل<sub>١</sub>)، (ل<sub>٢</sub>)، (ل<sub>٣</sub>)، (ت<sub>١</sub>)، (ت<sub>٢</sub>)، (ت<sub>٣</sub>) حيث إن:

(ل<sub>١</sub>) = المسافة من نقطة التفجير إلى الكشاف الأول عند (د<sub>١</sub>) ولتكن = ٥٠ قدماً.

(ل<sub>٢</sub>) = المسافة من نقطة التفجير إلى الكشاف الثاني عند (د<sub>٢</sub>) = ١٠٠ قدماً.

(ل<sub>٣</sub>) = المسافة من نقطة التفجير إلى الكشاف الثالث عند (د<sub>٣</sub>) = ١٥٠ قدماً.

(ت<sub>١</sub>) = الزمن اللازم لانتقال الموجات من نقطة التفجير إلى (د<sub>١</sub>) = ٠.٠٣٥٥ ثانية.

(ت<sub>٢</sub>) = الزمن اللازم لانتقال الموجات من نقطة التفجير إلى (د<sub>٢</sub>) = ٠.٠٧١ ثانية.

(ت<sub>٣</sub>) = الزمن اللازم لانتقال الموجات من نقطة التفجير إلى (د<sub>٣</sub>) = ٠.٧٤ ثانية.

$$س \text{ ض (سرعة الموجة في الأرض)} = \frac{ل}{ت} = \frac{٥٠}{٠.٠٣٥٥}$$

= ١٤٠٠ قدم / ثانية

$$\frac{50}{5,003} = \frac{l_1 - l_2}{t_2 - t_1} = \text{سر (سرعة الموجة في الصخر)}$$

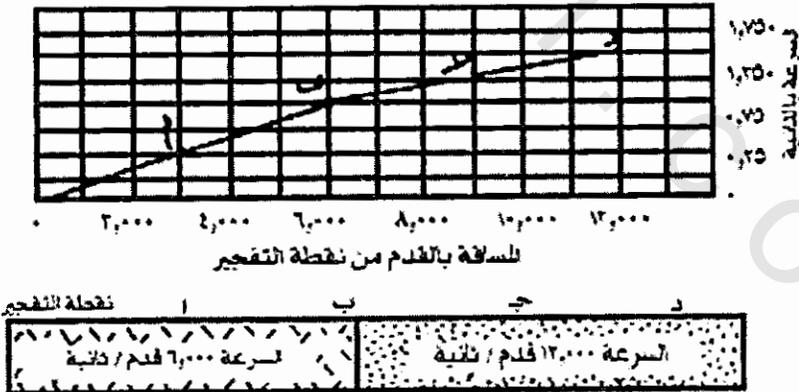
= ١٦,٧٠٠ قدم / ثانية

$$q = (\text{عمق الصخر الصلب}) = \frac{t_1 \times s_1}{2} - \frac{l_1}{2s_2}$$

$$= \frac{1400}{16,700} \times \frac{150}{2s_2} - \frac{1,074 \times 1400}{2}$$

= ٤٥,٥ قدما

ومن المعلومات التي نحصل عليها من تطبيق الطرق السيزمية، يمكن رسم منحنيات توضح العلاقة بين الزمن (ويمثل على المحور الرأسي) والمسافة بين نقطة التفجير وكشافات التسجيل (وتمثل على المحور الأفقي). وتساعد هذه المنحنيات في تفسير نتائج الدراسات السيزمية. وفي حالة الصخور التي تختلف في خواص المرونة، والتي تكون الحدود الفاصلة بينها رأسية أو شديدة الانحدار فإنه يكون من السهل عادة تحديد الحدود الفاصلة بينها كما يتضح من شكل (٩٦). ويلاحظ أنه قد نحصل على منحنى مشابه في حالة صخور أفقية لها مرونة مختلفة، وللتأكد من ذلك فإنه تكرر عملية التفجير في مواقع أخرى فإذا كان الحد الفاصل بين الصخور رأسياً فإن الانكسار في المنحنى يظل في نفس المكان مهما تغيرت نقطة التفجير.



شكل رقم (٩٦): منحنى انتقال الموجات السيزمية في صخور مختلفة ذات حدود رأسية.

## الفصل الثامن: الكشف الجيوفيزيقي

1. Dorbin, M.B., An Introduction to Geophysical Prospecting: Mc-Graw Hill, New York, (1960).
1. Eve, A.S, and D.A. Keyes, Geophysics in the Search for Minerals: Harvard University Press, Cambridge. (1938).
3. Heiland, C.A., Gerophysical Exploration: Prentico-Hall, New York, (1940).
4. Jarkosky, J.J., Exploration Geophysics: Times -- mirros Press, Los Angelose, (1940).
5. Kurtenacker, K.S., Some Practical Applications of Resistivity Measurements to Highway Problems: American Institute of Mineralogical and Metallurgical Engineers Transactions, v. 110, p. 49 – 59 (1934).
6. Nettleton, L.L., Geophysical Prospecting for Oil; Mc – Graw Hill, New York, (1940).
7. Schappler, R.C., and R.C Farnham, The Earth Resisivity Methods Applied to the Prediction of Materials in Excavation: Missouri State Highway Department Investigations, No. 30 – 38, Status Report, (1933).
8. Shepard, E.R., Sabsarface Exploration by Earth Resistivity and Seismic methods; public Roads, v: 16, p. 57 – 67, (1935).
- ٩ - الطرق الخاصة بالبحث عن البترول: للأستاذ الدكتور طاهر الحديدي، نشرة المجمع المصري للثقافة العلمية، المجلد ٢٢، (١٩٥٢).
- ١٠ - الجيوفيزيكا في البحث عن البترول والمعادن: للأستاذ أحمد نصر البرقوقي نشرة المجمع المصري للثقافة العلمية، المجلد ٢٨ (١٩٥٨).
- ١١ - طريقة السيزميك وتطورها: للأستاذ يوسف فانوس، نشرة المجمع المصري للثقافة العلمية، المجلد ٢٨، (١٩٥٨).