الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

اسم المادة : الجيوفيزياء الفصل الدراسي : الاول المرحلة : الثالثة

اسم استاذ المادة : أ.د. مهنا متعب أحمد اللقب العلمي : أستاذ

مبادئ

الطرق الجيوفيزيائية

في الاستكشافات الجيولوجية

تاليف

الاستاذ الاستاذ المساعد

د.مهنا متعب احمد غازي عطية زراك

جامعة تكريت / كلية العلوم

قسم علوم الارض التطبيقية

2018 م

محاضرة 1 و 2

علم الجيوفيزياء The Geophysics

علم الجيوفيزياء هو احد فروع علوم الارض الذي يهتم بدراسة باطن الارض باستخدام القوانين الفيزيائية المختلفة اعتماداً على الاختلاف والتباين في الخصائص الفيزيائية للطبقات الصخرية في القشرة الارضية، وبشكل اساسي يهتم بدراسة وقياس قوة الجاذبية، المغناطيسية الارضية، الكهربائية والكهرومغناطيسية وسرع الموجات الزلزالية في الصخور الباطنية وغيرها من الخصائص الفيزيائية الارضية .

يستخدم علم الجيوفيزياء اساليب وطرق متعددة اعتماداً على الاجهزة الجيوفيزيائية المستخدمة للغرض من الاستكشاف او المسح الجيوفيزيائي والذي يشمل البحث والتنقيب عن الترسبات المعدنية ، مكامن النفط الخام والغاز، قياس الاختلافات في كثافات الطبقات الصخرية وتحديد سمك هذه الطبقات، تحديد خزانات المياه الجوفية، عمق صخور القاعدة والتراكيب الجيولوجية التحت سطحية ، فضلاً عن استخدام علماء وباحثي الجيوفيزياء التطبيقية هذه البيانات لفهم نشأة وتركيب الارض ودراسة باطن الارض بشكل افضل .

ان امتلاك الصخور والمعادن لهذا الصفات يعتمد بالدرجة الأساس على أصل نشوء وتكوين هذه المكونات الجيولوجية بالإضافة إلى الظروف الترسيبية والتكتونية التي أوجدتها. إن اكتشاف وتسجيل التغيرات في الصفات الفيزيائية المختلفة تعكس وجود تغيرات في نوع وطبيعة المكونات

الجيولوجية تحت سطح الأرض وبالتالي يمكن تمييزها عن الصخور المحيطة بها، هذه تتيح إمكانية اختزال وعزل المناطق ذات الشواهد الطبيعة عن المناطق التي تمتلك تغايرات في الصفات الفيزياوية التي من الممكن ان تحتوي على شواهد معدنية أو تراكيب جيولوجية. هذه المناطق تشجع على المزيد من الدراسات التفصيلية اللاحقة لغرض التحقق من أصل نشوء وتواجد هذه الشواهد.

تؤثر الظواهر الجيوفيزيائية الارضية الطبيعية على سطح الارض بشكل مباشر او غير مباشر على الحياة البشرية ، مثل الهزات الارضية والانفجارات البركانية والامواج البحرية التي تعزى الى حدوث زلازل التي تسمى تسونامي Tsunami والتغيرات المناخية العالمية Global Warming ، فضلا عن سعي الانسان الى البحث والتنقيب عن النفط الخام والغاز والترسبات المعدنية التي يحتاجها لسد حاجاته البشرية والصناعية . كل هذه جعلها منذ القدم موضع اهتمام الباحثين والعلماء على مختلف تخصصاتهم ، من الحقائق المهمة على ذلك ان قدم العالم ارسطو قبل ما يزيد على 2200 سنة، اول عرض عن الظواهر الجيولوجية الكونية في كتابه (علم الظواهر الجوية او الانواء او الطقس) Meteorology ، كما اهتم العلماء مثل كاوس Gauss و ويبر Webber منذ اوائل القرن التاسع عشر الى الابحاث الجيوفيزيائية الارضية حيث قدموا ابحاث ودراسات هامة عن مغناطيسية الارض وخصائصه ومميزات الظاهرة المغناطيسية الطبيعية حيث استحدث اول قسم خاص بالجيوفيزياء في جامعة غوتنغن Goetingen في المانيا قبل اكثر من مائة سنة، وهكذا اولت الجامعات ومراكز الابحاث العلمية اهتماماً واسعاً بالظواهر الجيوفيزيائية

المختلفة عبر الرصد المستمر لجميع طبقات الارض التحت سطحية وبشكل يغطي كامل سطح الارض، اليابسة منها والغلاف المائي فضلا عن الغلاف الجوي بهدف التعرف على بنية الارض وتركيبها الداخلي والافادة المثلى من ثرواتها الطبيعية بغية الحفاظ على استمرار الحياة فوقها.

تعتمد الجيوفيزياء في جميع هذه الدراسات على العلوم الاخرى ومن اهمها علم الفيزياء والرياضيات وعلى الحواسيب المتطورة في الوقت الحاضر لغرض معالجة المعطيات احصائياً فضلاً على العلوم الاخرى في مجال الجغرافية وعلم الفلك والكيمياء ، وبهذا كانت ولا تزال الجيوفيزياء تقدم خدمة عملية هامة لا يمكن الاستغناء عنها لحياة بني البشر على سطح الارض.

هناك تعاون دولي مشترك وفعال في مجال العلوم الجيوفيزيائية وان اغلب الدول مشتركة في هذا التعاون المتمثل في الاتحاد الدولي للجيوديسيا والجيوفيزياء (International Union of Geodesy and Geophysics) (IUGG)، حيث تحتاج اي دراسة حقلية او مسح واستكشاف جيوفيزيائي على سطح الارض الى مقارنة النتائج او استخدام نقاط مراقبة ورصد منتشرة في اماكن محددة منتشرة على كامل سطح الكرة الارضية، يتفرع من الاتحاد الدولي للجيوديسيا والجيوفيزياء سبعة مجموعات فرعية هي:

1) مجموعة المساحة او الجيوديسيا
2) مجموعة البراكين
3) مجموعة الانواء الجوية والتغيرات المناخية
4) مجموعة مغناطيسية الارض.

5) مجموعة علوم البحار

6) مجموعة الهزات الارضية والزلازل

7) مجموعة الهيدرولوجيا

كما تتبع الى الاتحاد الدولي للجيوديسيا والجيوفيزياء عدة مكاتب للخدمات الدائمة هي:

1) مكتب التوقيت الدولي في باريس

2) مكتب مراقبة النشاط الشمسي

3) مكتب مراقبة طبقة الاوزون بالادلة المغناطيسية

4) مكتب التنسيق والتعاون العلمي بين شبكات الرصد الوطنية

استخدامات علم الجيوفيزياء Uses of the Geophysical Science :

يهتم علم الجيوفيزياء باستعمال مختلف انواع التقنيات والقوانين الفيزيائية في البحث والتنقيب عن الثروات الطبيعية التحت سطحية فضلاً عن دراسة للتراكيب والبنى التحتية للتكوينات الجيولوجية على سطح الارض او تحت سطح الارض على حد سواء عن طريق دراسة عدم التجانس في البيانات والمعطيات المستحصلة عند اجراء اية عملية استكشاف او مسح جيوفيزيائي وبذلك تنوعت وتعددت استخدامات علم الجيوفيزياء ليشمل:

1-استكشاف المكامن النفطية وحقول الغاز الطبيعي.

2-البحث والتنقيب عن الخامات والثروات الطبيعية والترسبات المعدنية ، فضلا عن معرفة اماكن تواجدها وبمختلف انواعها.

3-مراقبة آبار النفط والغاز وتورها او تطويرها.

4-تستخدم في الرصد الزلزالي وتحديد مواقع وبؤر الهزات الارضية.

5-دراسة وتحديد خزانات المياه الجوفية ومعرفة منسوب المياه الجوفية واتجاه حركتها وامتداداتها.

6-دراسة طبقات التربة السطحية ومعرفة خصائصها الهندسية وتحديد عمق طبقة صخور الاساس لغرض انشاء المباني والمنشآت الهندسية والطرق وسكك الحديد ومعرفة نوع الطبقات ومواقع التكهفات اينما وجدت.

7-تحديد اماكن ومسارات الانابيب وقابلوات الكهرباء ومجاري مياه الصرف الصحي والانفاق وقنوات الري القديمة.

8-دراسة وتحديد اماكن الآثار والابنية القديمة المندثرة او المدفونة تحت سطح الارض.

9-في علوم الفضاء من خلال دراسة التغيرات المناخية ، توزيع درجات الحرارة ، حركة السحب ، ....الخ.

10-درء او تخفيف المخاطر والكوارث الطبيعية والتنبؤ بها قبل وقت كافي لاعطاء الانذار المبكر لتجنب هذه المخاطر مثل الطوافانات البحرية Tsunami والاعاصير Tyfoon والزلازل والبراكين.

11-تقديم البيانات والمسوحات اللازمة للحفاظ على سلامة البيئة من خلال ترشيد وحسن استخدام التربة والمياه وكيفية التعامل مع النفايات الصناعية والبشرية.

12-دراسة باطن سطح الارض ومعرفة المكونات الداخلية الى لب الارض والجبة وتوزيع التكوينات والطبقات الصخرية التحت سطحية.

المسح الجيوفيزيائي Geophysical Exploration :

إن الهدف من استخدام طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية هي إمكانية الاستفادة من التغايرات الحاصلة في الصفات الفيزيائية للتكوين الصخرية وبين الصخور المحيطة بها ثم تحديد وعزل المناطق والأماكن التي تمتلك تغايرات فيزيائية، المناطق المحددة هذه هي التي تستحق إجراء مزيد من الدراسات التفصيلية بمختلف الوسائل لغرض التحقق من أصل ظهور هذه الشواذ.

إن طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية تعتبر من الطرق غير المباشرة لا يمكن الاستدلال بواسطتها على ترسبات معدنية بصورة قاطعة ومباشرة لا يمكن أن تكشف عن الغموض الذي يرافق النتائج المستحصلة من القياسات الحقلية بمعرفة ما هو موجود تحت سطح الأرض، وإنما هدفها هو عزل المناطق المشجعة التي تعطي شواهد ومتغايرات فيزيائية وثم يتم إجراء وتوجيه أعمال المسح التفصيلي نحو هذه المناطق للتحقق من طبيعة هذه الشواهد الفيزيائية، الطريقة البديلة للاستكشاف الجيولوجي التحت سطحي المباشرة هي اللجوء إلى استخدام تقنية الحفر أللبابي الاستكشافي والحصول على نماذج لبابيه وبما إنها طريقة مكلفة جدا وتستغرق وقت طويل يجب ان يتم تعيين مواقع حفر الآبار بالضبط في الأماكن المرشحة لتواجد ترسبات معدنية أو تكوينات جيولوجية لضمان الحصول على معلومات دقيقة وواضحة وعدم هدر الأموال واختصار الوقت اللازم لإنجاز مشروع الاستكشاف المعدني، يتم توجيه أسلوب وبرنامج الحفر أللبابي باستخدام المسح الجيوفيزيائي لكونه سريع الانجاز وإمكانية الحصول على نتائج واضحة ممكن ان تقود إلى الاستدلال وتعيين أماكن تواجد ترسبات معدنية أو تراكيب جيولوجية. المسح

الجيوفيزيائي لا يمكن أن يكون بديلا عن برنامج الحفر الاستكشافي وإنما يستخدم لتوجيه برنامج الحفر واختزال الوقت والكلف المالية.

المسح الجيوفيزيائي الأرضي يعتبر احد أهم الوسائل الفعالة المستخدمة في أعمال التحري والاستكشاف المعدني والجيولوجي، تعتبر وسائل مساعدة تستخدم مع البيانات والظواهر الجيولوجية في الكشف عن الغموض للمكونات الجيولوجية تحت سطح الأرض. بعض طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي لها تطبيقات واستخدامات عامة وشاملة في البحث والتنقيب عن التراكيب الجيولوجية والترسبات المعدنية، والبعض الآخر محدد الاستخدام تختص في تطبيقها في الكشف على نوع معين من الترسبات المعدنية. قسم منها يستخدم في استكشاف صخور ومعادن معينة بصورة مباشرة، والبعض الآخر تكون غير مباشرة. ان استخدام نوع الطريقة الجيوفيزيائية يتم بالأساس على الغرض والهدف من إجراء عمليات المسح الاستكشافي وكذلك نوع التكوينات الجيولوجية المستهدفة بأعمال المسح الجيوفيزيائي بالاضافة إلى طبيعة النتائج المراد الحصول عليها ضمن مرحلة الاستكشاف والعمل الحقلي الذي يتم اجراؤه في المنطقة.

هذه الخصائص والصفات الموجودة في طرق المسح الجيوفيزيائي أدت إلى تطوير أجهزة ومعدات متخصصة ومتطورة ساعدت على انجاز الأهداف المطلوبة من عمليات الاستكشاف بكل دقة وسهولة مع تحقيق نتائج ذات موثوقية عالية.

ان اختيار أسلوب المسح الاستكشافي الجيوفيزيائي يتم وفق الاعتبارات التالية:

أ- تحديد وعزل المناطق ذات الشواذ الفيزيائية المشجعة التي تدل على وجود تغايرات في الصفات الفيزيائية للصخور تحت سطح الأرض.

ب- طرق سريعة وسهلة الاستخدام تتميز بسرعة الانجاز مع إعطاء نتائج وتوصيات واضحة ودقيقة.

ج-قليلة التكاليف، ممكن لشخص واحد أن يقوم بإجراء عمليات تسجيل قراءات المسح الجيوفيزيائي.

د- التوصيات والاستنتاجات المستحصلة من نتائج المسح الجيوفيزيائي ممكن ان يعتمد عليها في توجيه اختصار برنامج الحفر اللبابي ليقتصر فقط على الأماكن ذات الشواذ الفيزيائية العالية.

هـ- تقليل الكلف المالية في رصد الأماكن المشجعة على إجراء المزيد من الدراسات التفصيلية عليها.

ان استخدام الطرق الجيوفيزيائية يعتبر من الطرق والوسائل المباشرة في التحري والتنقيب عن الترسبات المعدنية باستخدام الخصائص الفيزيائية لهذه الترسبات في حين ان التنقيب عن النفط يعتبر من الطرق غير المباشرة خلال عمليات الاستكشاف النفطي لا يمكن الاستدلال على وجود النفط باستخدام الخصائص والمميزات الفيزيائية للنفط ولكن يكون أسلوب الاستكشاف هي البحث عن التراكيب الجيولوجية المناسبة التي من الممكن ان تكون مكامن نفطية. نتائج المسح الجيوفيزيائي يجب أن تقارن مع الظواهر الجيولوجية والتركيبية للمنطقة المستهدفة بالاستكشاف مع أية معلومات أخرى متوفرة وبالتالي يمكن من خلال ذلك تحديد أماكن تواجد هذه الشواذ، عمقها، حجمها، وامتداداتها وعلى ضوء هذه الدراسات تكون التوصية بتوجيه وتصميم برنامج الحفر اللبابي الاستكشافي في الأماكن المحددة وحفر آبار لبابية في مواقع مختارة على ضوء هذه الدراسات لغرض

استحصال نماذج لبابية لدراسة هذه الترسبات أو المكونات الجيولوجية مباشرة وبالتالي أمكن اختصار الوقت وتقليل تكاليف الحفر باستخدام وتطبيق المسح الجيوفيزيائي.

تقسم طرق المسح الجيوفيزيائي إلى قسمين:-

1-طرق المسح الجيوفيزيائي المؤثرة Passive method

وهي الطرق التي تستخدم المجال الأرضي الطبيعي (المجال ألجذبي، المجال المغناطيسي) مثل الطريقة الجذبية، الطريقة المغناطيسية، الطريقة الإشعاعية، الطريقة الكهربائية.

2-طرق المسح الجيوفيزيائي الفعالة Active method

وهي الطرق التي تستخدم الإشارات الاصطناعية التي ترسل في الهواء، هذه الإشارات تمر وتنفذ في الصخور تحت سطح الأرض حيث يحصل لها تشويه ممكن ان تسجيلها وتحسس هذه التشويه والاختلاف مثل طريقة AFMAG و VLF.

من الصفات الفيزيائية للصخور والتي استخدمت بصورة كبيرة في عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي هي خاصية المرونة elasticity، الكثافة Density، الحساسية المغناطيسية Magnetic Susceptibility، المقاومية الكهربائية Electric Resistivity أو احيانا التوصيلية الكهربائية Electric Conductivity، النشاط الإشعاعي Radioactivity هذه الخواص ساعدت في ابتكار وتطوير طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي والتي استخدمت في الكشف وتعيين السطوح الفاصلة بين

التكوينات الصخرية أو تعيين الحدود الفاصلة بين أي وسطين يختلفان في الصفات الفيزيائية.

الطرق الجيوفيزيائية The Geophysical Method :

تبلورت مع الزمن ومع تطور الاجهزة والمعدات المستخدمة وتنوع الهدف من المسوحات الجيوفيزيائية، ادى ذلك الى ايجاد واكتشاف طرق جيوفيزيائية متعددة استخدمت بصورة منفردة او مشتركة حسب الهدف من عمليات اجراء المسوحات الجيوفيزيائية ، هذه الطرق هي:

1. الطريقة الزلزالية Siesmic Method:

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ قابلية الطبقات الصخرية التحت سطحية على نقل الطاقة الصوتية او الامواج الزلزالية وهو الاسم الذي اشتق من الفعاليات الزلزالية التي تحدث على عمق كبير تحت سطح الارض نتيجة لحصول انكسار في الطبقات الصخرية عندما تصل الى حد لا تتحمل عنده الضغط المسلط عليها وتتكسر ، عندها تصدر امواج صوتية بطاقة معينة تسير عبر الطبقات وفي جميع الاتجاهات ، وعند وصولها الى سطح الارض تؤدى الى حصول اهتزازات في المنشآت والمباني السطحية بقوة تعتمد على طاقة هـ ذه الامواج.

تنتقل الامواج الصوتية بسرع مختلفة في الطبقات الصخرية اعتماداً على الصفات الفيزيائية والبتروفيزيائية للصخور حيث تسمى الامواج الصوتية عندما تسير في الصخور بالأمواج الجسمية Body Wave او الامواج المرنة Elastic Wave . إن مبدأ عمل الطريقة الزلزالية هو توليد هذه الموجات الصوتية باستخدام انواع معينة من المتفجرات او باستخدام مطرقة يدوية ثقيلة او بإسقاط ثقل من ارتفاع محدد

على سطح الارض Weight Dropping، وهناك انواع عديدة اخرى من مصادر توليد الموجات الصوتية تعتمد على الهدف من الاستخدام.

بعد توليد هذه الموجات الصوتية وانتقالها خلال الطبقات الصخرية، قسم منها ينعكس من على السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية عند وجود اختلاف في الكثافة بين الطبقات الصخرية والقسم الاخر ينكسر بعيداً نحو باطن الارض بزاوية معينة لينعكس بدوره مرة ثانية من على السطوح الفاصلة بين الطبقات الاخرى متجهاً نحو سطح الارض.

يتم استعمال مجموعة اجهزة متكاملة في عملية قياس ازمنة وصول هذه الموجات الصوتية على سطح الارض سواء كانت هذه الامواج انعكاسية او امواج انكسارية باستخدام متحسسات خاصة تسمى لاقطات Geophones تثبت على سطح الرض بصورة منتظمة على طول مسار الاستكشاف الزلزالي ، بعدها يقاس زمن وصول الموجات الصوتية على سطح الارض من قبل هذه اللاقطات ، ثم يتم اجراء عملية تفسير لهذه المعطيات التي تسهل كثيراً في تحديد التراكيب الجيولوجية التحت سطحية وعمق السطوح الفاصلة بين الطبقات فضلاً عن تحديد مواقع المكامن النفطية والغاز وتحديد مواقع الاجسام والآثار المدفونة تحت سطح الارض وغيرها من التغيرات في كثافة المواد الموجودة تحت السطح.

2. الطريقة الجذبية Gravity Method:

تعتمد هذه الطريقة على الكشف عن التباين في قيم الجاذبية الارضية للطبقات الصخرية التحت سطحية التي تعكس وجود اختلافات في قيم الكثافة للمادة في هذه الطبقات الصخرية. كلما كانت المادة ذات كثافة اعلى كلما كانت قيم الجاذبية

المسجلة على سطح الارض اكبر وهذا يعني وجود اختلافات في طبيعة هذه الصخور التي تعكس الطبيعة الجيولوجية وبيئة الترسيب المختلفة بين هذه الصخور وتستخدم بذلك جهاز خاص لقياس التغيرات في الجاذبية الارضية يسمى (Gravimeter) ، حيث توجد عدة انواع من هذه الاجهزة وعدة مسميات حسب الشركات المصنعة لها ومن اهمها (Lacost–Romberg) و(Scintrex) و(Microgravimeter).

3. الطريقة المغناطيسية Magnetic Method:

تعتمد هذه الطريقة على قياس التغيرات في شدة المجال المغناطيسي الارضي من مكان الى آخر باستخدام جهاز قياس المغناطيسية يسمى (Magnetometer) . يعزى التغير في شدة المجال المغناطيسي الى وجود اختلافات في التراكيب الجيولوجية او نوعية الصخور التحت سطحية سواء كانت نارية او متحولة او بسبب وجود صخور حاوية على معدن الماكنيتايت Magnetite Mineral الذي يمتلك خواص مغناطيسية تساعد على تتبع وجود هذه الصخور او تواجدات لهذه المعادن الطبيعية.

4. الطريقة الكهربائية Electric Method :

تعتمد هذه الطريقة على مرور التيارات الكهربائية الطبيعية او الاصطناعية في الطبقات الارضية المختلفة والتي تُظهر او تبدي وجود اختلافات في قياسات المقاومية النوعية الكهربائية بين مختلف انواع الطبقات الصخرية، وخاصة بين الطبقات الصخرية الجافة وتلك الحاوية على مياه جوفية او بين الطبقات الملحية

والرسوبيات ، فضلا عن معرفة انواع المحاليل والشوائب التي تحتضنها الطبقات الصخرية المسامية.

ان معظم الترسبات المعدنية او الخامات، تمتلك خاصية التوصيل للتيار الكهربائي عالية جداً تختلف عن بقية صخور القشرة الارضية، مثل الصخور المتحولة منها صخور النايس Gneiss ، صخور الكوارتز Quartz وصخور الكبريتيدات Sulphides ، حيث تكون موصل جيد للكهربائية عن طريق توصيل الالكترونات ولها مقاومية واطئة للتيار الكهربائي.

5. الطريقة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Method :

تعتمد هذه الطريقة على قياس المجال المغناطيسي الذي يتكون من جراء سريان التيار الكهربائي في الطبقات الصخرية الموصلة للتيار الكهربائي انطلاقاً من مبدأ ان سريان اي تيار كهربائي في موصل يتولد عنه مجال مغناطيسي تعتمد شدته على قوة سريان التيار الكهربائي او بالعكس ممكن ان يسري تيار كهربائي في اي موصل عند وقوعه ضمن مجال مغناطيسي .

تم تطبيق هذا المبدأ او المفهوم على الطبقات الصخرية الموصلة للتيار الكهربائي التحت سطحية ، ثم يتم من خلالها قياس التباين او الاختلاف في قوة سريان التيار الكهربائي او التباين في قوة المجال المغناطيسي الناشئ من جراء سريان تيار كهربائي والتي يتم من خلالها معرفة نوعية الطبقات الصخرية او الترسبات المعدنية والخامات الموجودة تحت سطح الارض مع تحديد مواقع تموضعها.

6. الطريقة الاشعاعية Radiometric Method:

تعتمد هذه الطريقة على استخدام الصفات الطبيعية لبعض العناصر التي تمتلك خاصية النشاط الاشعاعي الطبيعي وخاصة عنصر اليورانيوم، حيث يمكن استخدام هذه الصفة في البحث والتنقيب عن العناصر المشعة طبيعياً في الطبيعة.

يوجد في الطبيعة حوالي (20) عنصر مشع طبيعي ومن اهمها هو عنصر اليورانيوم (U)، الثوريوم (Th)، وبعض نظائر البوتاسيوم. ان ذرات هذه العناصر تمتلك خاصية التحلل الذاتي او التلقائي من خلال اشعاعها او اطلاقها طاقة اما على شكل جسيمات تمتلك شحنة موجبة وتسمى اشعة الفا (α) او شحنات سالبة (الكترونات) تسمى اشعة بيتا (β) او على شكل اشعة كهرومغناطيسية تسمى اشعة كاما (γ). هذه العناصر المشعة باطلاقها لهذه الانواع من الاشعة تتحول الى ذرات لعناصر اخرى جديدة تسمى بالابناء، عملية التحلل الاشعاعي هذه تسمى بسلسلة التحلل الاشعاعي والتي تبدأ من احد العنصر المشعة تنتهي بعنصر الرصاص الخامل Pb^{206} او Pb^{207}.

7. طريقة الجس البئري Bore Hole Logging :

المقصود بعمليات الجس البئري هي تلك العمليات التي تتضمن انزال اجهزة استكشاف جيوفيزيائية خاصة كهربائية ، الكترونية او صوتية داخل الآبار التي يتم حفرها لمختلف الاغراض عن طريق سلك معدني ، هذه الاجهزة متخصصة في تسجيل صفات وخصائص الصخور التي تمر عبرها عند انزالها في البئر عبر المقطع الجيولوجي الطباقي حيث ان المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه المجسات تعتبر افضل وسيلة لدراسة وتقييم الطبقات الجيولوجية من حيث تحديد قيم

المسامية والنفاذية، الكثافة، وجود المياه الجوفية فضلا عن دراسة الشواهد الهيدروكاربونية مع دراسات اخرى تخص التصميم الهندسي للبئر وحدود الطبقات الصخرية.

هناك انواع عديدة من هذه المجسات تختلف من حيث التصميم والهدف من الاستخدام ، ومن اهمها هي مجس الكثافة، مجس النيوترون، مجس المقاومة الكهربائية ، المجس الصوتي، مجس قياس قطر البئر فضلا عن مجسات اخرى تختص بدراسة التصميم الهندسي للبئر.

8. طريقة المسح الراداري الارضي Ground Penetration Radar (GPR) :

هي احدى طرق المسح الجيوفيزيائي التي تعتمد بصورة اساسية على ارسال موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي عريض يصل طولها من عدة بيكوثانية الى عدة نانوثانية وبترددات قصيرة جداً من جهاز رادار مرسل لهذه الامواج من على سطح الارض وموجهة الى باطن الارض، ثم بعد ذلك يتم تسجيل الصدى او الامواج المنعكسة من على الحدود الفاصلة بين الطبقات الارضية عن طريق رادار مستلم على سطح الارض.

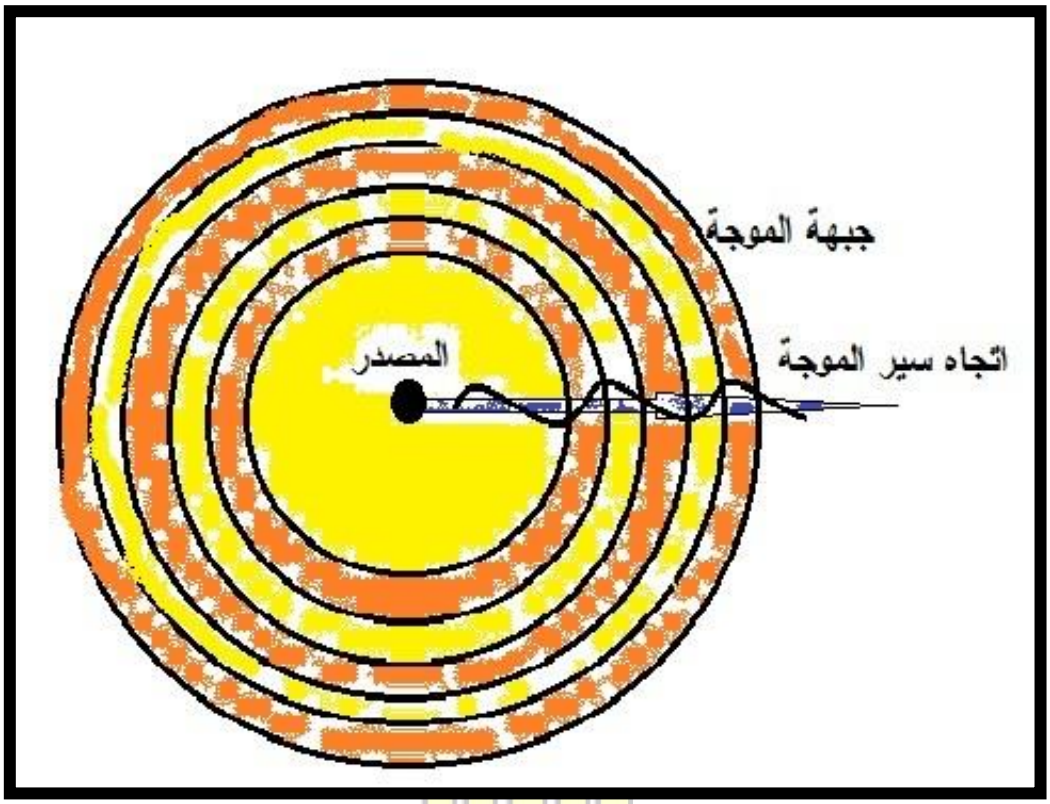
تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في باطن الارض انتشاراً مختلفاً تبعاً لنوع وشكل وكثافة الطبقات الصخرية التحت سطحية، كما يعتمد على هذه الخصائص شدة الانعكاس وتشتت الموجات الكهرومغناطيسية وقابليتها على النفاذ والتغلغل خلال الطبقات الصخرية. يعمل الجهاز على تسجيل الفترة الزمنية للانعكاس وطور الموجات ومن ثم تحليلها ورسم مقطع عرضي للحدود الفاصلة بين الطبقات الصخرية

حيث يتراوح عمق الاختراق لهذه الامواج من بضع امتار الى حوالي مائة متر اعتمادا على شدة او ضعف الترددات المرسلة الى داخل الارض والغرض من الاستكشاف او البحث عن الاهداف المطلوب الكشف عنها.

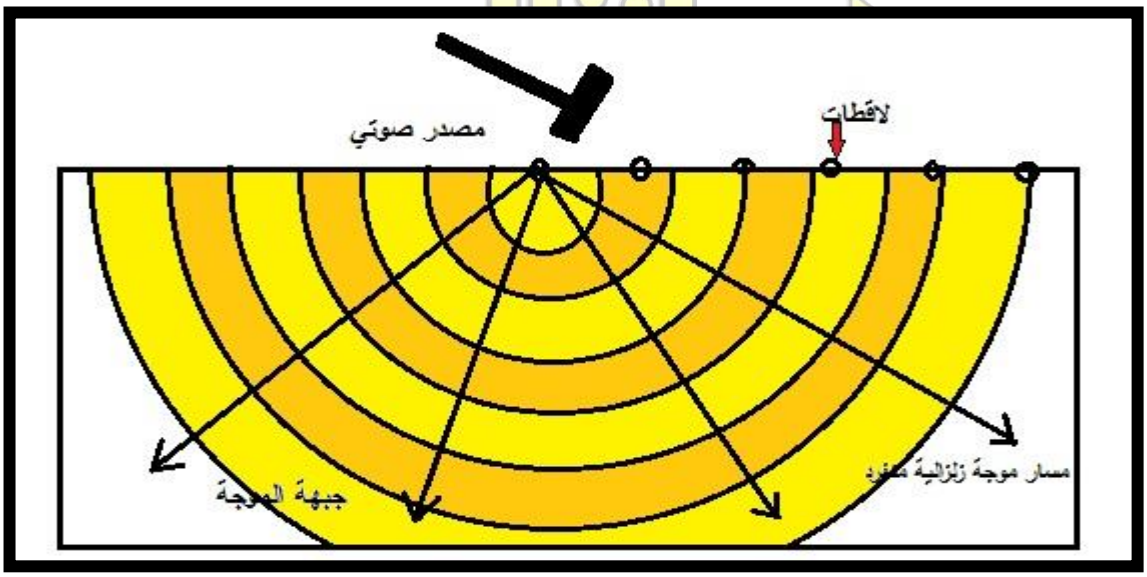
محاضرات 3و 4و5و6و7و8

الطريقة الزلزالية Seismic method

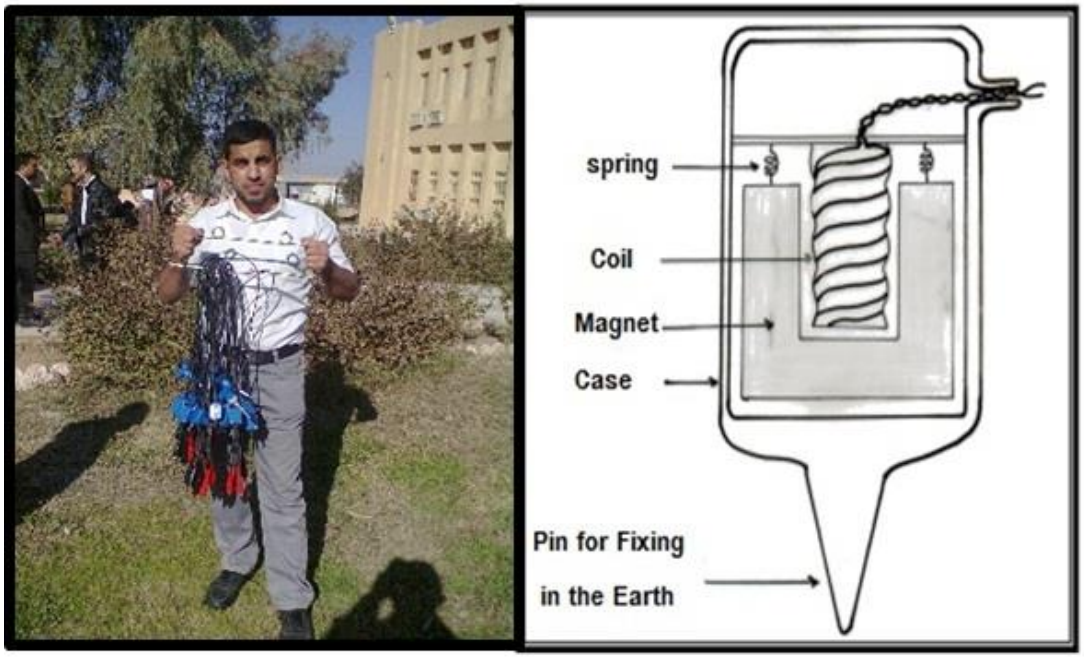
كشف الغموض عن المكونات والتراكيب الجيولوجية تحت سطح الأرض باستخدام الطاقة الصوتية (Acoustic energy) أصبح من المفاهيم المألوفة في الجيولوجي وذلك باستخدام وتطبيق الطريقة الزلزالية في عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي. تعتمد الطريقة الزلزالية على احداث امواج صوتية (زلزالية) اما بالتفجير لشحنة ديناميت (متفجرات) وباوزان مختلفة حسب الهدف أو باستخدام مطرقة ثقيلة Sledge hammer أو باستخدام الثقل الساقط(weight dropping) أو استخدام الهزاز(vibrosis). تنتشر هذه الأمواج في جميع الاتجاهات على شكل دوائر مركزية الشكل (2-1) وتتغلغل في الصخور التحت سطحية بسرع معينة، الشكل (2-2)، وبالاعتماد على الخصائص الفيزيائية لذلك الوسط ومدى تجانس الكثافات فيه وذلك بواسطة احداث اهتزازات في جزيئات الصخور ثم تنعكس هذه الأمواج أو تنكسر من على السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية أو التكوينات الجيولوجية حيثما وجدت اختلافات في الكثافة التي تؤدي إلى حصول اختلاف في سرعة هذه الأمواج الصوتية وبالتالي فإنها تنعكس وتعود إلى سطح الأرض، ويمكن تحسسها باستخدام لاقطات خاصة (Geophone) الشكل (2-3) ويتم بواسطتها تسجيل زمن وصول هذه الأمواج خلال سيرها في الصخور اعتبارا من مصدر الطاقة إلى نقطة التسجيل في اللاقطة. إن معرفة زمن وصول الموجة وكذلك سرعة هذه الأمواج في الطبقات الصخرية أصبح من الممكن حساب العمق وكذلك السمك بمختلف الطبقات الصخرية والتكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض.



شكل رقم (2-1) مرتسم يوضح العلاقة بين مسار الموجة، جبهة الموجة والطول الموجي للأمواج الزلزالية



شكل رقم (2-2) مرتسم يوضح كيفية انتشار الامواج الصوتية في الأوساط المرنة



شكل رقم (3-2) شكل اللاقطة مع مقطع توضيحي إلى اللاقطة Geophone

تعتبر الطريقة الزلزالية من اكثر الطرق الجيوفيزيائية أهمية واستخداما مع إن كلفتها المالية عالية جدا، وذلك لدقة النتائج المستحصلة وكفاءتها العالية وقدرتها على تحسس المتغيرات في الأعماق الكبيرة تحت سطح الأرض. ان الاستخدام الواسع للطريقة الزلزالية يعود إلى تطبيقاتها الواسعة في التنقيب عن النفط وكفاءتها في الكشف عن التراكيب الجيولوجية الواقعة تحت سطح الأرض مثل الصدوع والكسور والطيات المحدبة التي ممكن أن تكون مكامن نفطية، استخدمت هذه الطريقة كذلك في التحري والكشف عن مواقع تواجد المياه الجوفية، في الهندسة المدنية خاصة في تحديد عمق الصخور Bed-Rock، في اختيار الموقع المناسب للسدود والخزانات المائية، في تحديد الأماكن المناسبة لإنشاء الطرق السريعة وسكك الحديد،

في تحديد وتعيين مواقع السطوح الفاصلة بين التكوينات الجيولوجية والطبقات الصخرية تحت سطح الأرض. من جانب اخر فانه نادرا ما تستخدم الطريقة الزلزالية في التحري والتنقيب عن الترسبات المعدنية بسبب عدم وجود إمكانية تحديد مواقع هذه الترسبات عند عدم وجود حدود فاصلة مختلفة الكثافة تعمل كسطح عاكس للموجات الزلزالية، ومن الممكن استخدامها في الكشف عن وتعيين مواقع القنوات المدفونة (Burred channels) التي من الممكن ان تحتوي على ترسبات معدنية أو تواجد للمعادن الثقيلة.

اسس تقدم الموجات الصوتية في الأوساط الصخرية

Fundamental of the seismic waves in rocks.

تعتمد الطريقة الزلزالية على حقيقة إن سرعة الأمواج الصوتية (الزلزالية) والتي هي عبارة عن طاقة صوتية (acoustic energy) أثناء سيرها في الأوساط الصخرية الصلبة تختلف مع اختلافات الصخور في باطن الأرض أي في الحقيقة تختلف مع اختلاف كثافة التكوينات والطبقات الصخرية. الأمواج الصوتية أثناء مرورها عبر الصخور تعمل على إحداث اهتزازات في جزيئات الصخور وتؤدي إلى إحداث تشويه في جزيئات الصخور، حتى يمكن أن تستجيب هذه الصخور إلى ضغط أو الطاقة المسلطة عليها وبالتالي تكون لها القابلية على إمرار ونقل هذه الأمواج الصوتية، ان التباين في السرعة الزلزالية للصخور يعتمد بصورة أساسية على الاختلافات الفيزيائية الموجودة في الصخور. إذا كانت التكوينات

الصخرية ذات خواص ثابتة ومتجانسة بهذه الحالة سوف تنتقل الأمواج الزلزالية بسعة ثابتة وبشكل خطوط مستقيمة وعند الحدود الفاصلة بين التكوينات الجيولوجية أو الطبقات الصخرية عند وجود اختلافات في الكثافات الصخرية يحصل لها تغاير في السرعة عندئذ ستنعكس أو تنكسر على السطوح الفاصلة بين الطبقات. لغرض فهم سلوك الموجات الزلزالية التي تسير في الأوساط الصخرية فمن الضروري تفهم الخصائص المرنة للأوساط الصخرية (تسمى الأوساط الصخرية بالأوساط المرنة بسبب قابليتها على إبداء التغييرات الذي تظهرها المادة عند مرور الموجات الزلزالية خلالها) هذه التغيرات عبارة عن إعادة التوزيع للقوى الداخلية في جزيئات الصخور بالإضافة إلى حصول تشوه في الشكل الهندسي لها. عادة ما يعبر عن هذه التأثيرات بدلالة مفهومي قوى الجهد والإجهاد stress and strain.

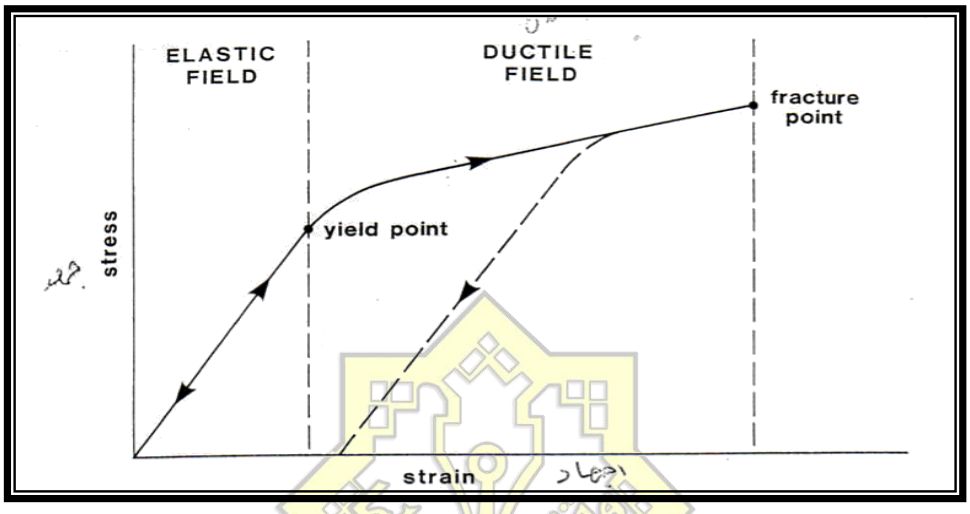
الجهد والإجهاد Stress and Strain

عندما يتم تسليط قوة خارجية على جسم معين، عندئذ يحصل له إعادة توزيع للقوة الداخلية للمادة لتكون في حالة موازنة جيدة استجابة للقوة المسلطة عليها. الجهد stress هو قياس لشدة القوة المسلطة على المادة، بمعنى اخر هو قياس القوة (F) المسلطة على وحدة المساحة (A) للجسم. هذه القوة ممكن ان تتحلل إلى عدة مركبات للقوى وهي الجهد العمودي على سطح الجسم. عندما تكون القوة (F) عمودية على وحدة المساحة فان الجهد يسمى (الجهد العمودي) Normal stress ويمكن أن يكون جهد تضاغطي Compressive stress أو يكون جهدا شدي

Tensile stress اعتمادا على الاتجاه، وعندما تكون القوة (F) مماسا لوحدة المساحة Tangential فان الجهد يسمى بالجهد القصي Shearing stress.

الجسم الذي يتعرض إلى جهد stress ويحصل له تشويه في الشكل والحجم أو كلاهما معا عندئذ يسمى بالإجهاد strain اي إن الإجهاد هو قياس التشويه الذي يحصل للجسم عند تعرضه للجهد. إن الإجهاد الذي يسبب تغيير في الشكل فقط من دون أي تغير في الحجم يسمى بالإجهاد القصي Shear strain أو التشويه Distortion بينما يطلق على التغيير في الحجم من دون حصول تغيير في الشكل بالإجهاد التمددي Distortion أو إجهاد التقلص، وتسمى الاجهادات المتعلقة النسبية في الطول بالاجتهادات العمودية Normal stress.

إن الأجسام التي تتعرض إلى جهد stress معين ويحصل لها تغيير في الشكل والحجم ممكن أن تتحمل قوى الإجهاد هذه إلى حد معين تعود إلى وضعها الأصلي عند رفع الجهد منها حيث يبدي الجسم ذو المرونة التامة علاقة خطية بين الجهد والإجهاد يحكمها في ذلك قانون هوك Hook's Law إلى أن تصل إلى حد معين لقيمة الجهد تسمى حد التشويه للمادة Yield strength. حقل المرونة هذا يسمى Elastic field، وعند رفع الجهد عن الجسم يؤدي إلى إزالة التشوه الحاصل للجسم عندما يتعدى الجهد نقطة Yield strength عندئذ التشويه الذي يحصل للجسم لا يمكن أن يعود إلى وضعه الأصلي عند رفع الجهد عنه هذا الحقل يسمى Ductile field . عند زيادة الجهد أكثر من قابليه الجسم على تحمل الجهد المسلط عليه عندئذ يحصل تكسر وتهشم للمادة. هذه العلاقة موضحة في الشكل (2-4).



شكل رقم (4–2) منحني جهد – اجهاد للأجسام الصلبة

معاملات المرونة Elastic Moduli:

توصف الخواص المرنة للأجسام أو المواد بما يسمى بمعاملات المرونة وهي التي تحدد العلاقة الكمية بين الأنواع المختلفة من الجهد والإجهاد. إن العلاقة الخطية بين الجهد والإجهاد في حقل المرونة Elastic field شكل رقم (4–2) ، يعبر عنها بواسطة معامل يونك (E) Young's Modulus.

1–معامل يونك Young Modulus (E):

يوضح معامل يونك العلاقة بين الجهد المسلط على الجسم وبين التشويه الناتج على الجسم من جراء هذا الجهد. لنفترض ان جهد معين سلط على اسطوانة طولها (L) طولها ومساحة المقطع لها (A)، ان الاستطالة الحاصلة لها ن جراء تسليط الجهد (F) عليها هو (Δl) كما في الشكل

(a5–2) حيث يعرف هذا التشوه بمعامل يونك ويعبر عنه بالصيغة الرياضية رقم (1–2):-

$$Young"s\ Modulud\ (E) = \frac{Longtudinal\ Stress}{Longtudinal\ Stress}$$

$$= \frac{F/A}{\Delta/L} \ldots\ldots\ldots\ldots (2-1)$$

وممكن ان يحصل تشويه بالاتجاه المعاكس حيث يحصل للاسطوانة قصر في الطول اذا كان الجهد المسلط بالاتجاه المعاكس.

2–المعامل الحجمي(K) Bulk Modulus:

عندما يتعرض جسم حجمه(v)إلى جهد انضغاطي منتظم (ضغط هيدروستاتيكيp) فان حجمه سوف يقل بمقدار (v∆) وذلك يعرف المعامل ألحجمي (k) بأنه النسبة بين الضغط إلى التغيير الحاصل في الحجم ، بتعبير آخر هو مقاومة الجسم أو المادة للقوى المبدلة للحجم شكل (b5–2) ويمكن أن يعبر عنه بالقانون التالي رقم (2–2):

$$K = \frac{volum\ stress\ (p)}{volume\ strain\ \Delta v/v} = \frac{F/A}{\Delta v/v} \ldots\ldots\ldots\ldots (2-2)$$

$$k = \frac{\text{volume stressp}}{volumestrain\ \Delta v/v} = \frac{F/A}{\Delta v/v}$$

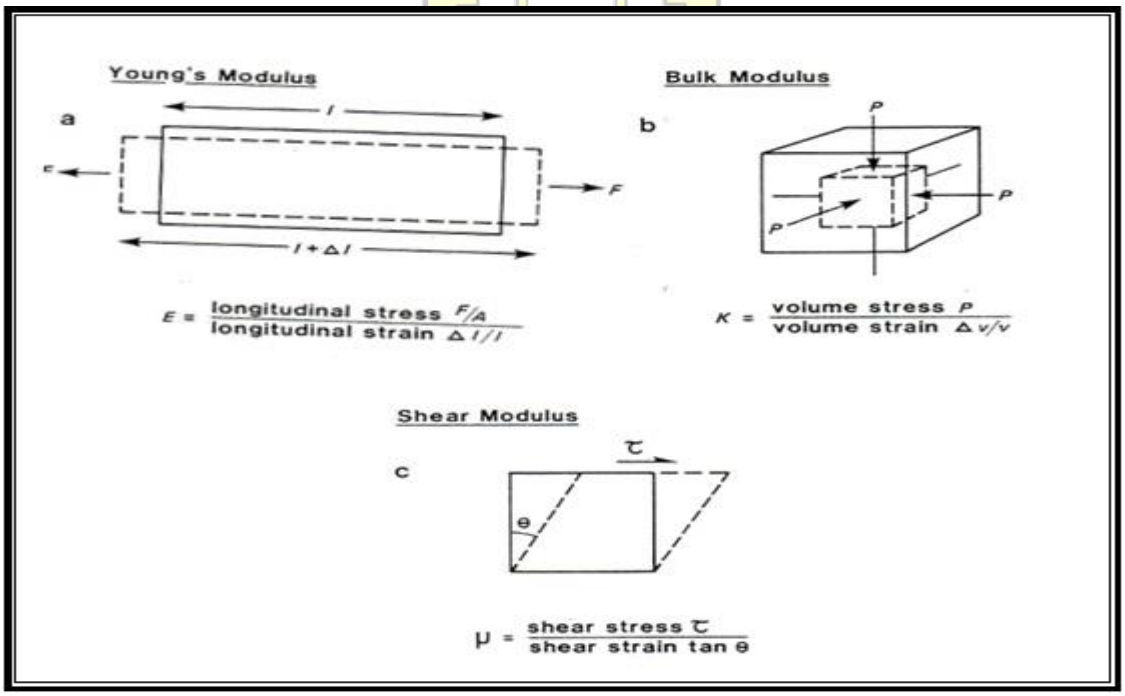
3–معامل القص أو الصلابة (μ) Shear Modulus:

يعرف معامل القص بأنه قياس نسبه الجهد إلى الإجهاد في حالة الجهد المماسي أو القصي ،أي ان الإجهاد القصي هو مقاومة الوسط للقوى المبدلة للشكل. وهو التشوه الناتج في الشكل بدون أي تغيير في الحجم

ويعبر عن الإجهاد في هذه الحالة بزاوية التشوه θ الشكل رقم (c5−2)، كما في المعادلة (2−3):

$$\mu = \frac{Shear\ Stress}{Shear\ Strain\ tan\theta} = \frac{F/A}{tan\theta} \dots\dots\dots\dots (2-3)$$

إن حقيقة إن $(\mu = 0)$ للموائع تكون ذات فائدة في الدراسات الزلزالية إذ إن السرعة للأمواج الصوتية تتأثر كثيرا بالعامل (μ).



شكل رقم (5−2) تأثير القوة السلطة على للأجسام الصلبة التي يعبر عنها بمعاملات المرونة

4−نسبة بويزون (σ) Poisson Ratio:

هي قياس التغيير الهندسي في الشكل الهندسي للجسم المرن، عندما يسلط جهد شدي على اسطوانة طولها (L) وقطرها (D) فانا تستطيل بمقدار (ΔL) ويقل قطرها بنفس الوقت بمقدار (ΔD)، وعلى العكس من

ذلك في حالة تسلط جهد انضغاطي عليها ويمكن التعبير عن نسبة بويزون بالصيغة الرياضية (2−4):

$$\sigma = \frac{\Delta D/L}{\Delta L/L} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (2-4)$$

نسبة بوبزون لمعظم الأجسام الصلبة تساوي (0.25) تقريبا اما السوائل أو الموائع فان نسبة بوبزون تصل إلى قيمتها العظمى وهي (0.5).

تتراوح قيمة $(\mu\ ,E\ ,K)$ لمعظم الصخور من $(10^{11} - 10^{10})$ نيوتن/م^2 يمكن التعبير عن كل من الثوابت الأربعة بدلالة اثنين منهما كما في المعادلة (2−5) و (2−6):

$$E = \frac{(9\ \mu\ k)}{(\mu + 3k)} \quad , \quad \mu = \frac{E}{2(1\ +\ \sigma)} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (2-5)$$

$$k = \frac{E}{3\ (1 - 2\sigma)} \quad , \quad \sigma = \frac{(3k - 2\mu)}{(6k + 2\mu)} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (2-6)$$

الموجات المرنة Elastic waves

الموجات الزلزالية هي عبارة عن موجات أو طاقة صوتية تنتشر خلال الأوساط الصلبة الصخرية بواسطة إحداث تذبذبات أو اهتزازات في جزيئات الصخور، الأوساط الصخرية هذه تستجيب لتأثيرات مرور الأمواج الصوتية خلالها بواسطة حصول أو إحداث تشوهات شكلية أو حجميه، ولذلك تسمى الأوساط الصخرية بالأوساط المرنة، والموجات الزلزالية تسمى بالموجات المرنة Elastic Waves كونها تنتقل أو تسير في الأوساط المرنة هذه.

انواع الموجات المرنة Types of Elastic waves

هناك نوعان رئيسيان من الأمواج المرنة هي الموجات الباطنية Body waves والموجات السطحية Surface waves.

الموجات الباطنية(الجسمية) Body waves

عندما تسير الأمواج الصوتية في الهواء فان جزيئات الهواء سوف تتذبذب Oscillate إلى الإمام وإلى الخلف حيث تكون حركة الدقائق في الهواء باتجاه سير الموجة مسببة تمدد أو تقلص أو تضاغط وتخلخل (Compressions and rarefactions) للوسط الذي تسير فيه، عندما تسير هذه الأمواج الصوتية في الأوساط الصخرية المرنة فإنها سوف تمتلك أو تسير بسرعة اكبر ولذلك تسمى هذه الأمواج بالأمواج الأولية Primary waves أو P-waves وتدعى ايضا بالأمواج الطويلة حيث يتعرض الوسط الذي يسير فيه هذ النوع من الأمواج إلى تشوه انضغاطي شكل رقم (2-6) الذي يؤدي إلى حصول تغيير في الحجم، ونظرا لازدياد سرعة هذه الأمواج فإنها تصل أولا إلى سطح الأرض من مصدر الصوت وتسجل من قبل اللاقطات وسميت بالأمواج الأولية لهذه السبب، سرعة الأمواج الأولية (P-waves) تعطي بالمعادلة التالية رقم (2-7):-

$$Vp = \sqrt{\frac{(k + \frac{3}{4}\mu)}{\rho}} \quad , \quad Vp$$

$$= \sqrt{\frac{(1-\sigma)\,E}{(1+\sigma)(1-2\sigma)\rho}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-7)$$

حيث إن:

ρ = كثافة الوسط

σ = نسبة بوزون

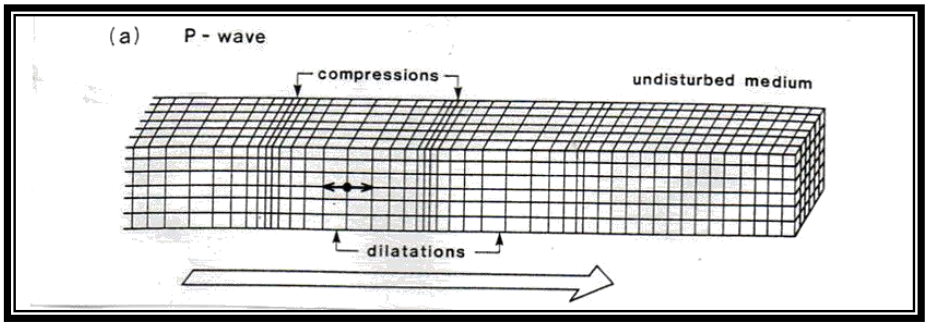
E = معامل يونك

K = المعامل ألحجمي

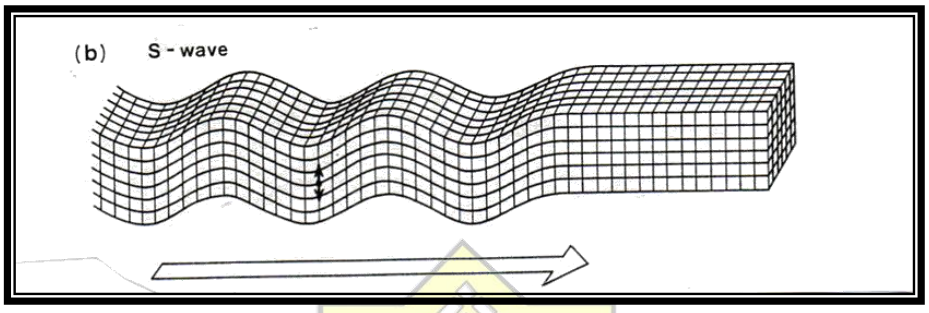
μ = معامل القص

النوع الثاني من الموجات الباطنية هي الموجات القصية Shear waves والتي تكون فيه حركة الجزيئات أو الدقائق عمودية على اتجاه سير الموجة شكل رقم (2-7)، هذا النوع من الامواج تسمح بمروره الأوساط الصخرية فقط حيث تؤدي إلى حصول تغيير في الشكل وتكون سرعتها بطيئة حيث تساوي $(\frac{1}{2})$ سرعة الموجات الطولية تقريبا ولذلك تسمى بالموجات الثانوية Secondary waves أو S-waves تعطي سرعة هذه الأمواج بالمعادلة التالية رقم (2-8):

$$Vs = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho}}\ x\ \frac{1}{(1+\ \sigma)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-8)$$



شكل رقم (2-6) مسار الموجة الأولية P-wave حركة الجزيئات باتجاه سير الموجة



شكل رقم (2-7) مسار الموجة الثانوية S-wave حركة الجزيئات عمودي باتجاه سير الموجة

وتظهر من المعادلتين السابقتين إن:

$$\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 = 2(1-\sigma)(1-2\sigma) \quad , \quad \left(Vp^2 - \frac{4}{3}V_S^2\right) = \frac{K}{\sigma}$$

من العلاقة الأولى يمكن إيجاد σ وبالتالي يمكن معرفة $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)$ ، أما من العلاقة الثانية يمكن دراسة التغيير في الخواص الفيزيائية، للصخور وخاصة الكثافة. هذا النوع من الأمواج يؤدي إلى حصول صدوع وتخسف في الطبقات الصخرية التي تمر بها بسبب حركتها العمودية على اتجاه سير الموجه وتصل إلى أجهزة الرصد ويتم تسجيلها في اللاقطات بعد الموجات الأولية.

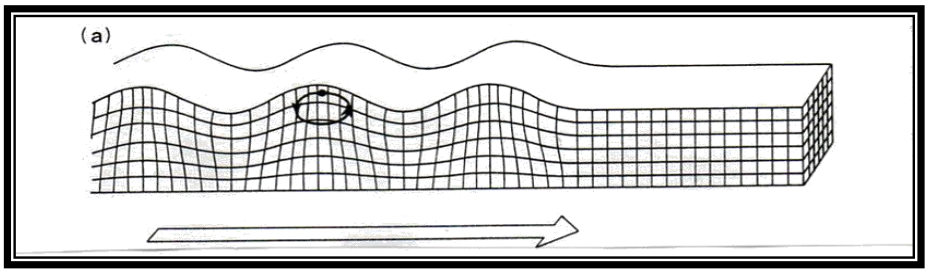
الموجات السطحية Surface Waves

هناك نوعين من الموجات السطحية تتكون من جراء وجود مصدر صوتي أو مصدر زلزالي من خواصها إنها تسير على السطح الحر للجسم المرن، هذه الموجات هي موجات رالي Rayleigh wave شكل رقم (2-8) التي تكون حركة الدقائق أو الجزيئات فيها مركبة من نوعين من الاهتزازات هو الاهتزاز الطولي والمستعرض مؤدية إلى حركة تراجعية

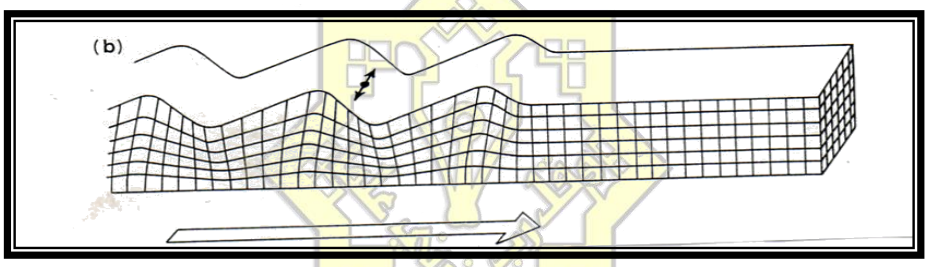
بيضوية في المستوى العمودي على طول اتجاه سير الموجة بشكل اهليليجي. ان سرعة موجات رالي تساوي 0.9 من سرعة S–waves تقريبا. إن الضوضاء التي سببها الاهتزازات الأرضية البسيطة التي عادة تواجه أثناء العمل الحقلي الزلزالي مكونة من موجات رالي بصورة أساسية.

إن معظم الهزات التي نشعر بها من الزلازل تكون بفعل هذا النوع من الموجات حيث ان تأثيرها يكون من أقوى الأنواع وحركتها تكون في حالة شبه دائري مما تؤدي إلى تخلخل في الطبقات التحت السطحية، اذ تعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في الاتجاه عمودي على سير الموجة وبذلك تتجلى القدرة التدميرية للموجات السطحية.

النوع الثاني من الموجات السطحية تسمى موجات لوق Love–waves والتي تحدث وتسير في الطبقة السطحية العليا من التربة إذا كانت مكونة من مواد غير متجانسة التي تمتلك سرعة قليلة والتي تقع فوق طبقة صخرية ذات سرعة عالية، شكل رقم (9–2) تسير موجات لوق Love بصورة أفقية بالطبقة السطحية كذلك تكون حركة الدقائق الوسط أفقية ومستعرضة باتجاه سير الموجة. هذا النوع من الموجات نادرا ما يسجل في عمليات الاستكشاف الزلزالي لأن اللاقطات تسجل فقط الحركة العمودية للأمواج الصوتية.



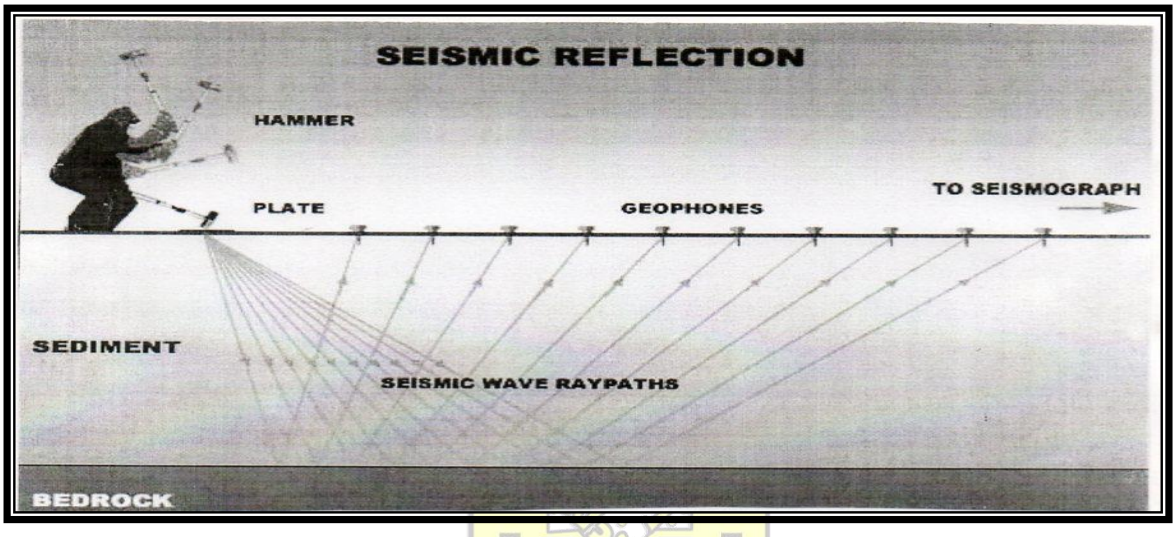
شكل رقم (2-8) موجات رالي حركة الجزيئات تكون بشكل إهليليجي باتجاه سير الموجة



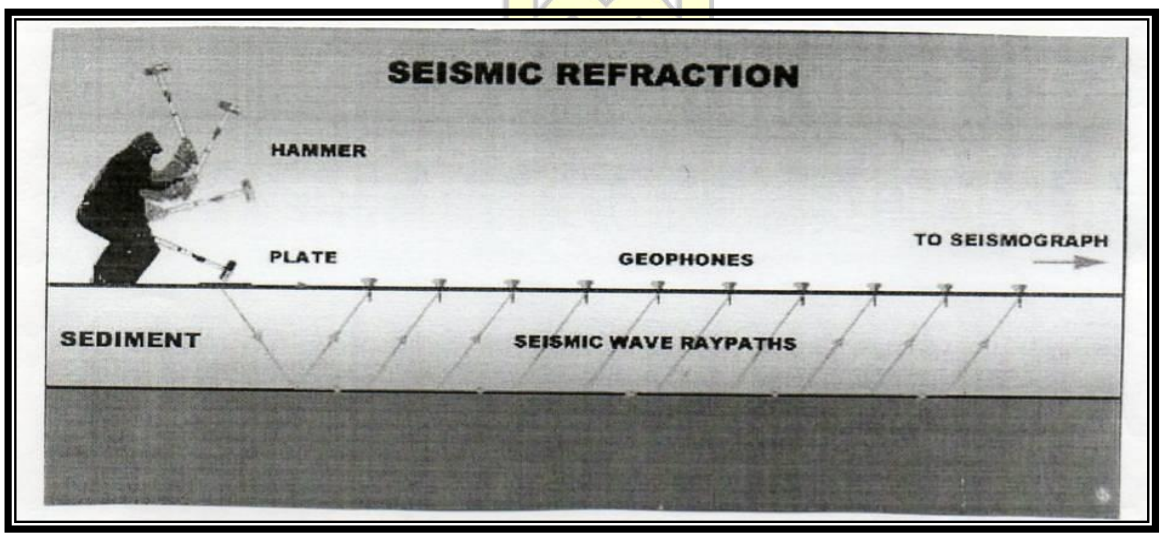
شكل رقم (2-9) موجات لوقLove حركة الجزيئات أفقية ومستعرضة باتجاه سير الموجة

انعكاس وانكسار الموجات Reflection and Refraction of waves

تنتشر الأمواج الباطنية $P, S, Wave$ في الأوساط الصخرية المتجانسة بصورة منتظمة في جميع الاتجاهات من مصدر الصوت شكل رقم (2-2)، حيث تكون جبهات الموجات عبارة عن سطوح كروية مركزها عند مصدر الصوت وعمودية على اتجاه سير تقدم الموجة. الأمواج الصوتية عندما تصطدم بسطح أو حاجز يفصل بين نوعين مختلفين في الكثافة الصخرية، لها سرعة مرنة مختلفة واحدة عن الأخرى فإن جزء من الموجات الصوتية سوف ينعكس شكل رقم (2-10) والجزء المتبقي ينكسر بزاوية معينة باتجاه الوسط الثاني شكل رقم (2-11) .



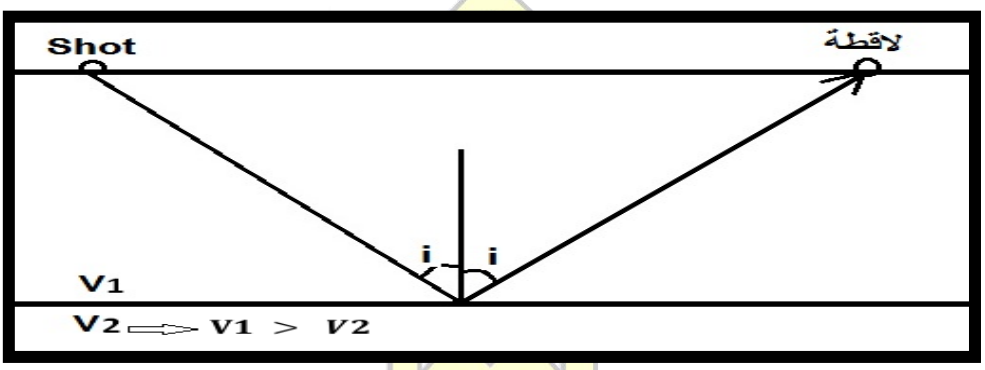
شكل رقم (2-10) انعكاس الأمواج الصوتية



شكل رقم (2-11) انكسار الأمواج الصوتية

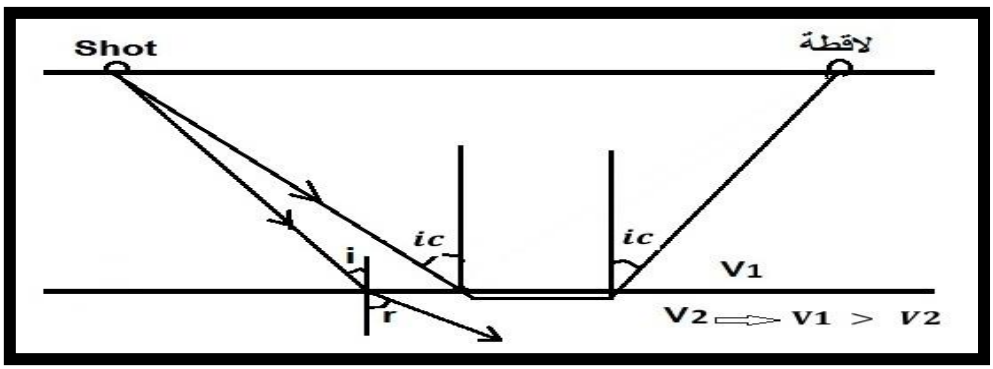
قسم من الأمواج المنكسرة تسير بصورة موازية لسطح الطبقة الصخرية الثانية ثم تنعكس إلى السطح والقسم الآخر تنفذ إلى الأسفل باتجاه الطبقة الصخرية الأعمق لتتكرر نفس عمليات الانعكاس والانكسار لحين اضمحلال وتلاشي هذه الأمواج، حيث تكون المفاهيم الأساسية التي تتحكم

في انعكاس وانكسار الموجات الزلزالية هي نفسها التي تتحكم في علم البصريات. من الأمواج الزلزالية المنعكسة نحو السطح ينطبق عليها قانون الانعكاس حيث إن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس شكل رقم (2-12).



شكل رقم (2-12) مسار الموجة المنعكسة

أما الأمواج الزلزالية المنكسرة يحكمها في ذلك قانون سنيل Snell's Law التي تكون فيه زاوية سقوط الأمواج الزلزالية وزاوية الانكسار مرتبطة بالسرعة الزلزالية للأوساط الصخرية التي تمر بها، حيث أن $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$ ، عندما تكون سرعة الأمواج الزلزالية في الوسط الثاني V_2 اكبر من سرعة الأمواج الزلزالية في الوسط الأول V_1 شكل رقم (2-13).



شكل رقم (2-13) مسار الموجة المنكسرة

عندئذ تنكسر الأمواج الزلزالية نحو الأسفل، إذا كانت Sin i تساوي $\frac{V_1}{V_2}$.

إن الموجة المنكسرة سوف تسير بصورة موازية للسطح الفاصل بين الطبقتين وتنكسر نحو السطح العلوي ، زاوية السقوط هذه تسمى بالزاوية الحرجة وهي الزاوية التي تكون زاوية انكسارها $(\sin r = 90^0)$، لكي تنكسر الموجة الساقطة وتسير مع السطح الفاصل ثم تنكسر نحو الأعلى .الأمواج التي تسقط بصورة عمودية على السطح الفاصل بين الطبقات تنعكس كليا ولا يحصل أي انكسار بهذه الحالة ان : $(\frac{\sin i}{\sin 90} = \frac{V_1}{V_1})$ وبما ان$(\sin 90 = 1)$ بهذه الحالة فان:$(\sin i = \frac{V_1}{V_2})$.

السرع الزلزالية في الصخور Seismic Velocities in Rocks

تعد معرفة وتعيين سرع الموجات الزلزالية في الصخور أساسية عند تطبيق الطريقة الزلزالية لمعرفة التراكيب الجيولوجية تحت سطح الأرض. تعتمد ألسرع الزلزالية للصخور على معاملات المرونة والكثافة كما في المعادلة رقم (9-2):

$$V_p = \sqrt{\frac{K+\frac{3}{4}\mu}{P}} = \sqrt{\frac{(1-\sigma)\,E}{(1+\sigma)(1-2\sigma)\,\rho}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-9)$$

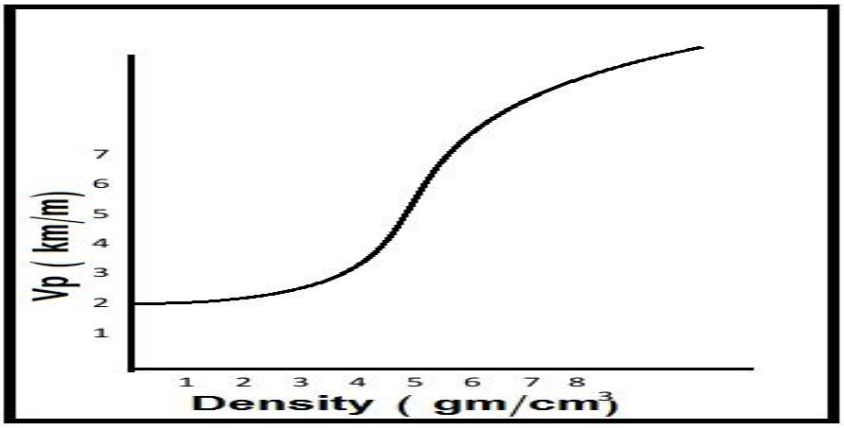
حيث إن :

σ = نسبة بوزون

ρ = كثافة الصخور

E = ثابت المرونة

إن قيم ألسرع الزلزالية للصخور للموجات الطولية كما مدرجة في الجدول(1-1) تعطي فكرة تقريبية عن مدى السرعة المتوقعة لنوع صخرة ما. ان من المهم الإشارة هنا إلى إن العوامل التي تؤثر على قيمة الكثافة للصخور تحدث تأثيرا كبيرا في السرع للموجات الزلزالية لتلك الصخور، من هذه العوامل هي: الكثافة ، المسامية، عمق الصخور، وجود الكسور والتصدعات، المحتوى المائي والمحاليل، و الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصخور. الشكل رقم(2-14) يوضح العلاقة بين السرعة والكثافة التي من الممكن تقدير السرع الزلزالية للوسط بعد معرفة قيم الكثافة للصخور.



شكل رقم (2-14) علاقة السرعة للموجات الزلزالية مع الكثافة

المصدر (Nafe and Drake, 1963)

مصادر الموجات الزلزالية Seismic Wave Source

إن الطريقة التقليدية الأكثر شيوعا في توليد الموجات الزلزالية، أيا كانت الطريقة (انعكاسية أو إنكسارية) هي بواسطة تفجير شحنة ديناميت ممكن أن تكون على السطح أو في حفرة ذات عمق معين، ويجب أن

توضع شحنة التفجير تحت الطبقة السطحية المتأثرة بالتجوية (Weathered Zone) لان الطاقة الزلزالية ذات الترددات العالية تمتص من قبل الطبقة السطحية. كمية الشحنة المستخدمة تعتمد على عمق التركيب الجيولوجي المراد استكشافه.

الطريقة الأخرى المستخدمة في توليد الموجات الزلزالية هي طريقة الأثقال الساقطة (Weight Dropping)، كذلك أمكن استخدام المطرقة من (5–10) كغم (Sledge Hammer) تستخدم للمسوحات الزلزالية للأعماق الضحلة، ويستخدم في المسح الزلزالي ألانكساري. الأثقال الساقطة التي يصل وزنها إلى نصف طن والتي ترفع بواسطة معدات خاصة لهذا الغرض تعطي موجات زلزالية ذات طاقة عالية نسبيا، كذلك الهزاز (Vibrosis) يعتبر من المصادر الميكانيكية لتوليد الطاقة. أما في العمل الزلزالي البحري، يتم إطلاق قدحه كهربائية أو غازية تحت الماء كمصدر للطاقة. إن بندقية الهواء air gun وهي الأكثر استعمالا كمصدر للطاقة وبندقية الغاز gas gun التي تعمل انفجارا لخليط من غازي البروبان والأوكسجين. ان هذه المصادر يجب ان تمتاز جميعها بان تكون :قدرتها على توليد موجة تستمر لفترة لا تزيد على بعض اجزاء من الثانية، ان تكون الموجة المتولدة لها سعة عالية (High Amplitude) ، ان تكون المصادر أمينة (Safe) وواطئة الكلفة (Cheap) ، واخيرا يجب ان تكون لها قابلية التكرار في الاستخدام باستمرار (Repeatable).

الطريقة الزلزالية الانعكاسية The Reflection Method

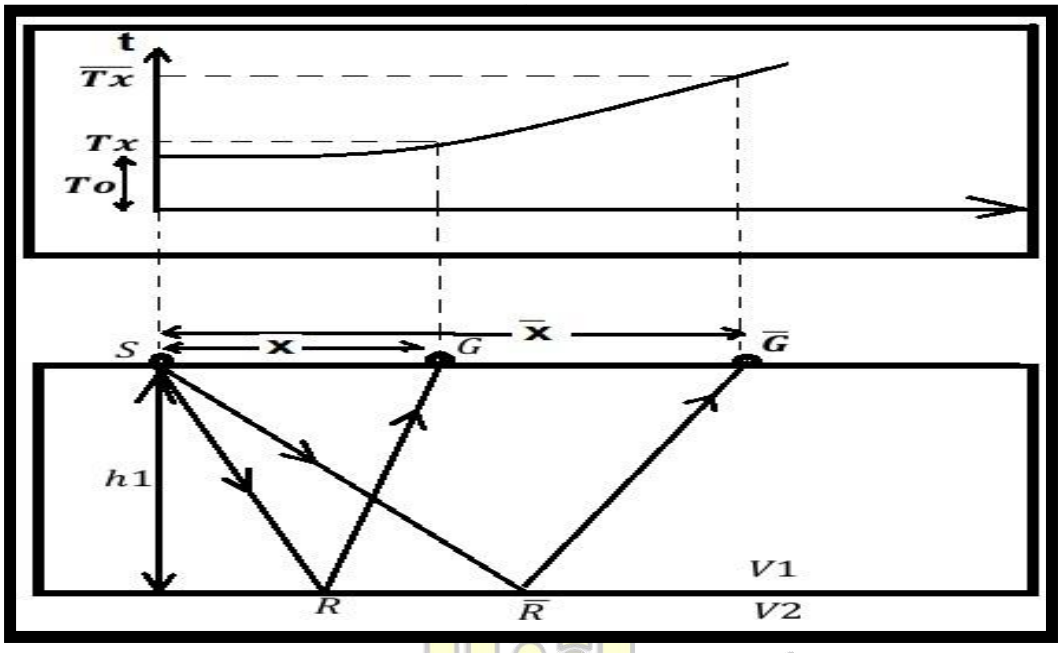
تعتبر الطريقة الزلزالية الانعكاسية من أكثر الطرق الجيوفيزيائية استخداما في رسم وتحديد التركيب الجيولوجية التحت السطحية خاصة في عمليات الاستكشافات النفطية، يوضح الشكل رقم (2-15) إحدى ابسط الحالات الجيولوجية حيث يفصل حاجز أفقي أحادي بين تكوينين صخريين لها سرعتان مختلفتان هي V_2 , V_1 حيث ان ($V_2 > V_1$)، مسار الموجة المنطلقة من نقطة التفجير S تنعكس عند النقطة R من اعلي السطح الفاصل بين الطبقتين نحو اللاقطة G على السطح، إذا كان h_1 يمثل سمك الطبقة العليا وان زمن وصول الموجة من نقطة التفجير إلى اللاقطة هو t عندئذ يمكن تمثيل ذلك بالعلاقة رقم (2-10) :

$$t = \frac{2\,SR}{V_1} = \frac{2h_1}{V_2} = \frac{2}{V_2}\sqrt{\left(h_1^2 + \frac{X^2}{4}\right)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (2-10)$$

حيث إن المسافة بين نقطة التفجير واللاقطة صغيرا جدا إذا ما قورنت مع عمق السطح العاكس ويمكن بذلك استبدال المسافة 2SR ويحل محلها $2h_1$.

إن رسم زمن الانعكاس (t) مقابل مسافة اللاقطة-نقطة التفجير (X) ينتج لنا منحني عبارة عن قطع زائد Hyperbola محدب باتجاه محور (X) ومتناظر حول محور الزمن(t). يمكن الحصول على السرعة للطبقة العليا (V_1) والعمق (h_1) بتسجيل أزمنة الوصول الانعكاسية عند مسافتين هي (X و X^-)، وتطبيق المعادلة التالية رقم (2-11):

$$T^2\,X = T_0^2 + \frac{X^2}{V_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-11)$$



شكل رقم (2–15) مرتسم يوضح مبدأ الطريقة الزلزالية الانعكاسية

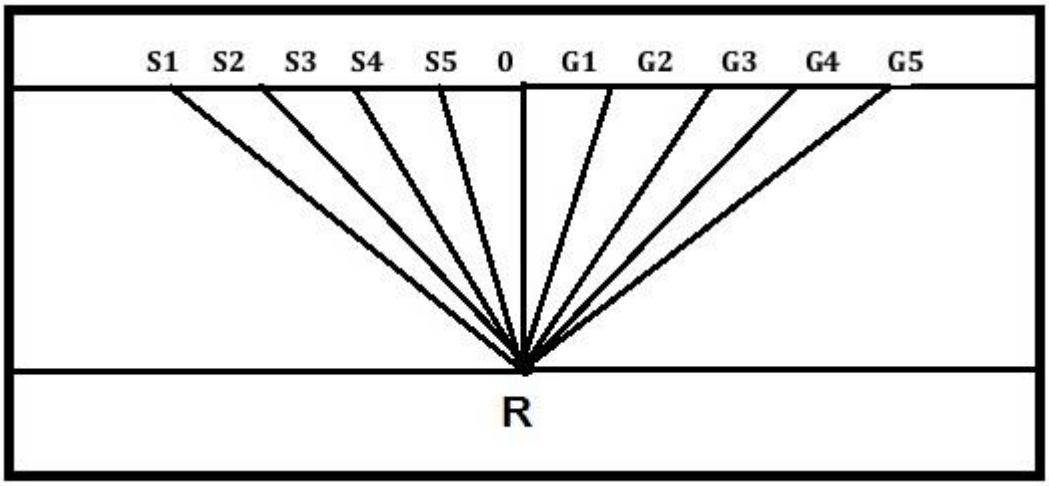
الجدول رقم (2–1) يوضح الكثافة لمعظم الصخور مع مقارنة لمعدل السرعة الطولية (V_p) والمستعرضة (V_s) لغرض الاستفادة منها في معرفة معدلات ألسرع للصخور وتسهيل مهمة احتساب العمق والسمك للتكوينات الصخرية.

جدول رقم (1-2) يوضح السرع الزلزالية والكثافة لمعظم أنواع الصخور الرئيسية.

نوع الصخور	الكثافة g/cm^3	V_p m/sec	V_s m/sec
Shale	2.67	2124	1470
Silt stone	2.50	2319	1524
Limes tone	2.71	3633	2319
Quartzite	2.66	4965	3274
Sand stone	2.28	2488	1702
Slate	2.67	4336	2860
Schist	2.70	4680	2921
Gneiss	2.64	3189	2053
Marble	2.87	5587	3136
Granite	2.66	3967	2722
Gabbro	3.05	5043	3203
Basalt	2.74	5124	3070
Tuff	1.45	996	659

المصدر : (Manual of applied field hydrogeology Curtis A. Link)

في المسوحات الزلزالية الانعكاسية عادة توضع مجموعة من اللاقطات G_1, G_2, ..., G' على مسافة محددة ومتساوية الأبعاد على جانبي نقطة التفجير للحصول على امتداد للسطح العاكس تحت السطح RR' كما مبين في الشكل (2-16)، وبواسطة الانتقال التدريجي لترتيب نشر اللاقطة – نقطة التفجير يمكن رسم خارطة مستمرة للسطح العاكس. من المألوف في حالة التغطية المستمرة للسطح العاكس يمكن تسجيل عدد من نقاط التفجير. بحيث تكون نقطة الانعكاس R مشتركة مع جميع أنواع النشر المستخدم ويطلق على هذه الوضعية بالنقطة العميقة المشتركة (Common depth point) أو اختصارا (CDP) حيث يتم تجميع الاثار الانعكاسية للنقطة المشتركة CDP لغرض الحصول على انعكاس أولي محسن كما موضح في الشكل (2-16).



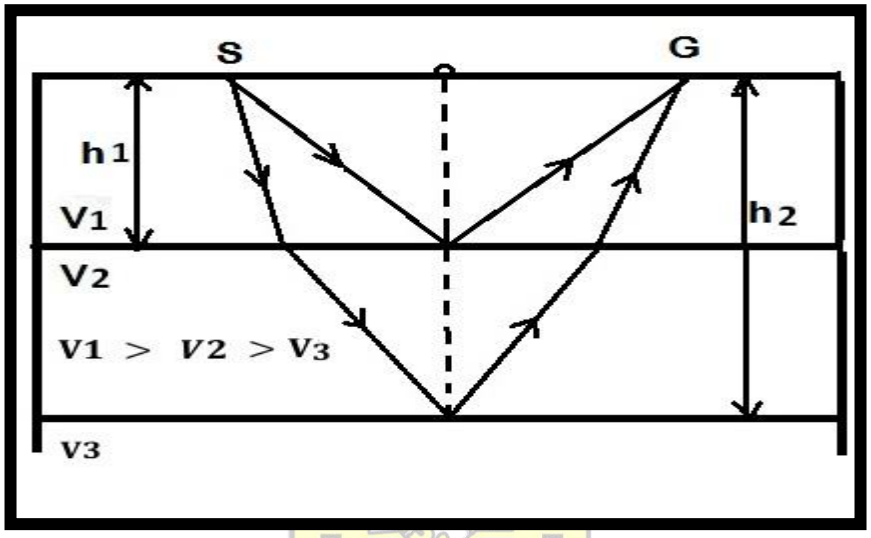
شكل رقم (2-16) مرتسم للانعكاسات المشتركة إلى CDP

في حالة وجود سطحان عاكسان أو أكثر تفصل بين طبقات أو تكوينات جيولوجية ذات سرعة مختلفة شكل (2-17) فان الأزمنة المقابلة للإنعكاسات القريبة من العمود تعطى بواسطة العلاقة الرياضية رقم (2-12) التي تعطي الزمن للسطح العاكس الاول:

$$t_1 = \frac{2h_1}{V_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-12)$$

أما الزمن للسطح العاكس الثاني يعطى بالعلاقة رقم (2=13):

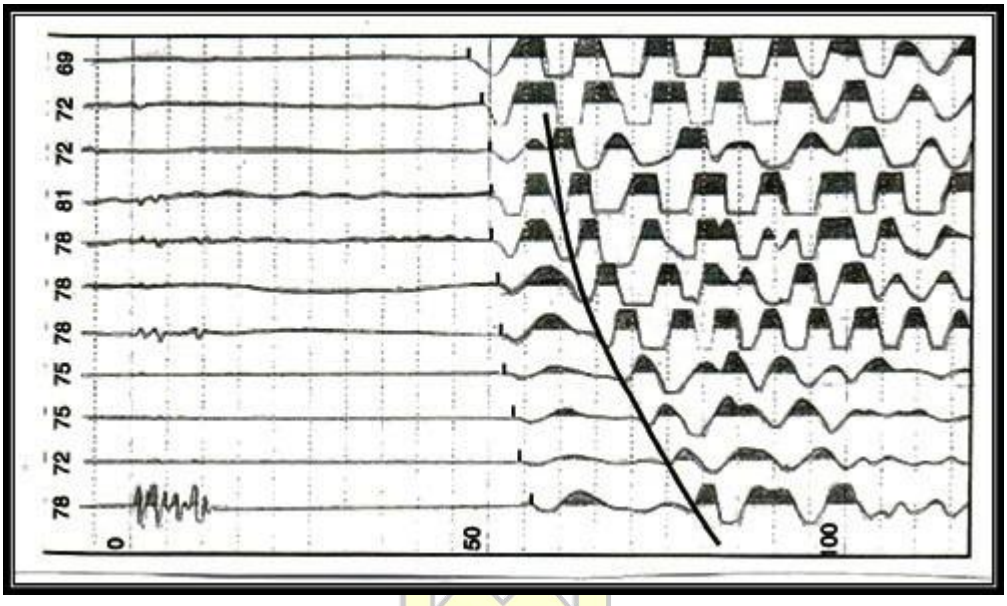
$$t_2 = \frac{2h_1}{V_1} + \frac{2(h_2 - h_1)}{V_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-13)$$



شكل رقم (2-17) مخطط لانعكاس زلزالي ثنائي العاكس

إذا تم معرفة السرعة V_1 و V_2 للطبقات المتعاقبة من خلال إجراء تجارب سابقة يمكن حساب سمك الطبقات $h_1, h_2 \ldots\ldots h_n$.

إن أزمنة وصول الموجات الانعكاسية يمكن الحصول عليها من خلال قراءة المرتسم الزلزالي الانعكاسي (Seismogram) شكل رقم (2-18) ذي الاثني عشر أثرا الذي يظهر فيه منحني الانعكاس بالخط السميك.



شكل رقم (2-18) مرتسم زلزالي انعكاسي

المنحني الذي يرى فقط في التسجيل المتعدد الأثر، إما التعرجات أو الألتواءات (Wiggles) التي تظهر في بداية الأثر تمثل الموجات المنكسرة.

في حالة السطوح العاكسة التي تمتلك درجات ميل مختلفة، أذا استلمت الموجات المنعكسة عند عدد من اللاقطات على امتداد السطح من سطح مستوي مائل، يمكن تحديد زاوية الميل من الفرق الزمني بين الانعكاسات التي تكون باتجاه أسفل ميل الطبقة واعلى ميل الطبقة أو السطح العاكس. إذ أن الزمن الملتقط عند اللاقطة في اعلى الميل يكون اقل من الزمن الملتقط في لاقطة تقع أسفل الميل ولنفس مسافات نشر اللاقطات.

شكل رقم (2-19) يوضح مسارات الموجات المنعكسة والملتقطة على سطح الأرض، ان نقطة التفجير (S) على سطح الأرض يمكن رسم صورة

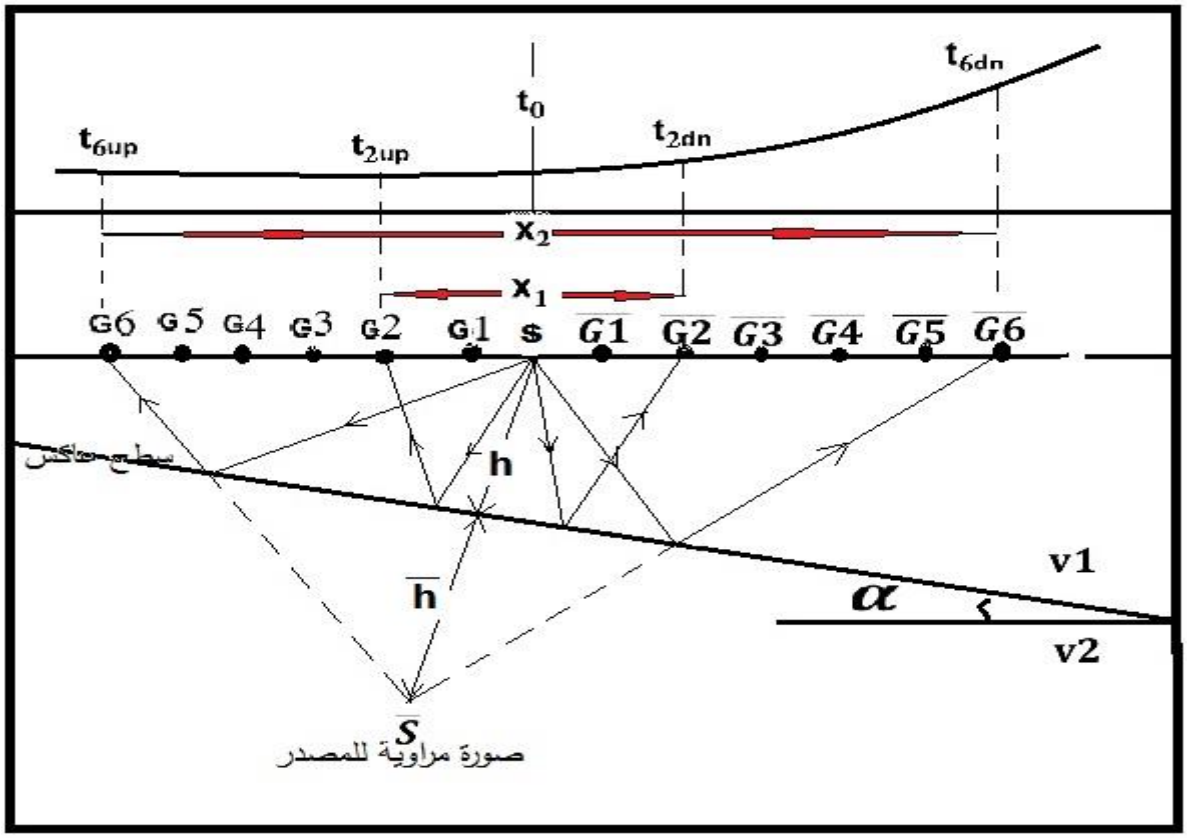
مرآوية لها في الموقع $\bar{S}$ ، من المقارنة المرئية Image Mirror وتحويل مسارات الأشعة المنعكسة إلى شكل هندسي لكي يمكن تطبيق قانون زمن السير الانعكاسي إلى نقطة سطحية على مسافة (X) في اتجاهي اعلى وأسفل الميل والذي يكون:

$$V_1^2\ x\ T_u^2 = 4h^2 + X^2 - 4h\ x\ \sin\alpha\ V_1^2\ V_d^2$$
$$= 4h^2 + X^2 - 4h\ x\ \sin\alpha$$

بواسطة التفجير اعلى واسفل الميل معا على مسافتين (X_1, X_2) ، مع تحديد الزمن المستغرق المقابل لهما (T_u, T_d)، من المرتسم الزلزالي Seismogram يمكن عندئذ تعين السرعة (V_1) وزاوية الميل (α) من العلاقتين (2-14) و (2-15) وكما يلي:

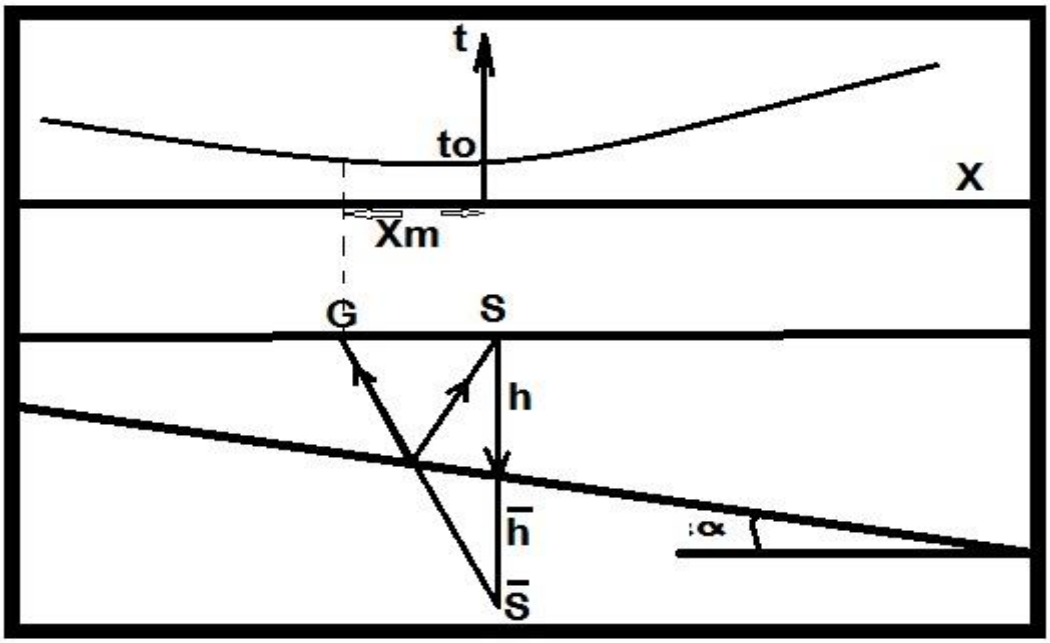
$$V = \frac{2(X_2^2 - X_1^2)}{(T_d^2 + T_u^2)_{atX_2} - (T_d^2 + T_u^2)_{atX_1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-14)$$

$$\sin\alpha = \frac{V_1\ (T_d - T_u)_{atX_1}}{2X_1}$$
$$= \frac{V\ (T_d - T_u)_{atX_2}}{2X_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-15)$$



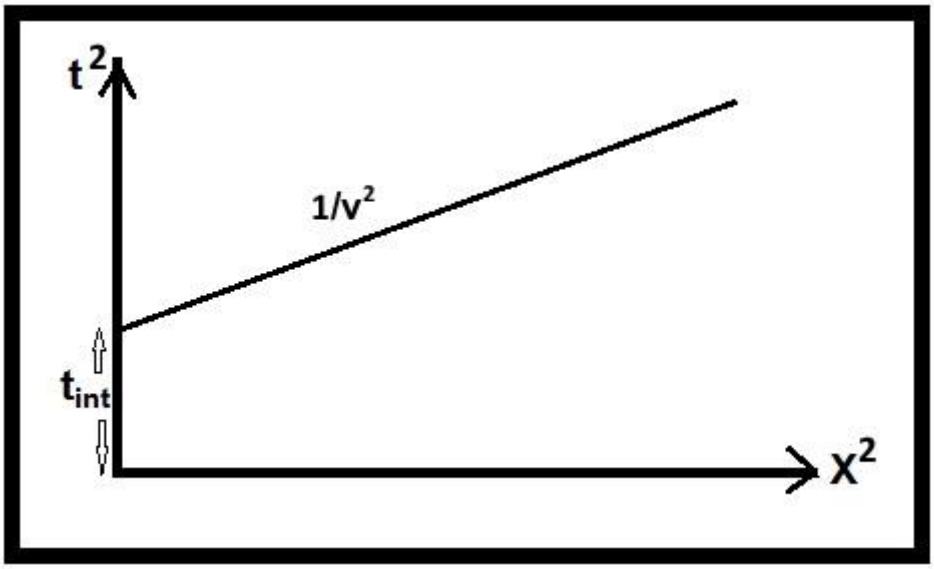
شكل رقم (2-19) مخطط للسطح العاكس المائل مع مسارات الموجات المنعكسة

هنـاك طريقـة أخـرى لحسـاب العمـق إلـى السـطح العـاكس وزاويـة الميـل وهـي طريقـة اقـل الأزمنـة Intercept Time . الشـكل(2-20) مرتسـم يوضـح مسار الأشعة المنعكسة عند نقطة واحدة مع المنحني الانعكاسي.



شكل رقم (2-20) مخطط لمسار انعكاسي منفرد

بعد تحويل المنحني الانعكاسي Hyperbola إلى خط مستقيم، يتم بعد ذلك تربيع القيم على المحور الصادي(t^2) والمحور السيني (x^2) نحصل على قيمة T- intercept التي تمثل اقل الأزمنة كما موضحة في الشكل رقم (2-21)



شكل رقم (2–21) منحني $t^2 - x^2$

يمكن حساب العمق إلى السطح العاكس وزاوية الميل كما في العلاقة رقم (2–16) و (2–17):

$$r^2 = \frac{4h^2 - X_m^2}{V^2} + \frac{(X - X_m)^2}{V^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-16)$$

t^2 = اقل الأزمنة يحسب من الشكل(2–21)

x_m = المسافة الحرجة تحسب من الشكل (2–20)

$$t_{intercept} = \sqrt{\frac{4h^2 - x_m^2}{v}}$$

$t_{intercept}$ = الزمن الحرج يحسب من المنحني في الشكل (2–21)

$$\therefore h = \sqrt{\frac{t^2\, x\, V^2}{2} + X_m^2} \quad , \quad \sin\alpha = \frac{X_m}{2h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-17)$$

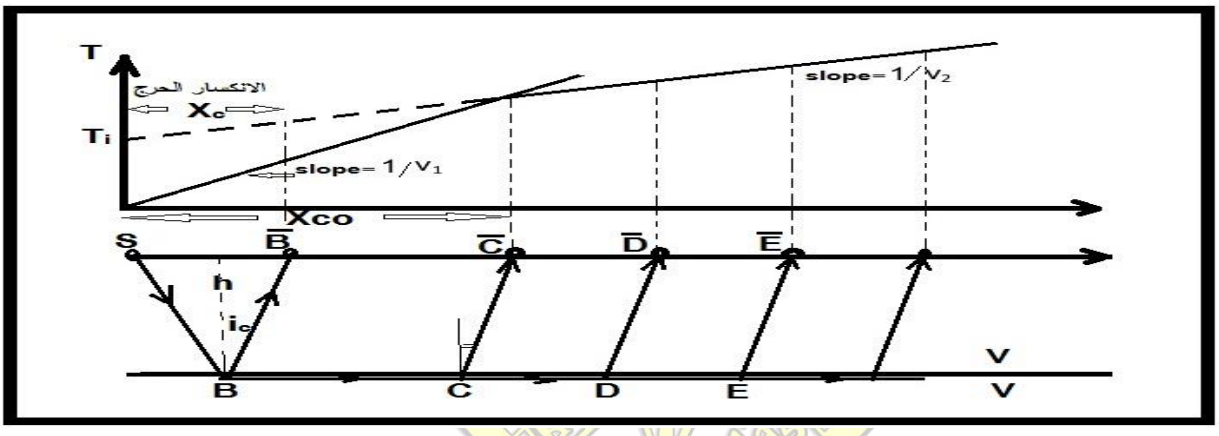
الطريقة الزلزالية الانكسارية The Refraction Method

تعتبر هذه الطريقة ذات أهمية كبيرة جدا خاصة للأغراض الاستطلاعية في المناطق التي تكون فيها المناطق المستهدفة في الدراسة غير معروفة جيولوجياً مع عدم توفر أية معلومات جيولوجية سابقة عن التراكيب والتكوينات الجيولوجية تحت السطح، وقد أصبحت في الوقت الحاضر وسيلة فعالة في استكشاف تركيب القشرة الأرضية، كذلك استخدمت بنجاح في المسوحات الهندسية والجيوتقنية لتحديد عمق صخور القاعدة (Bedrock)، مستوى المياه الجوفية ولأغراض هندسية أخرى.

الزمن المستغرق للأمواج الزلزالية المنكسرة يبلغ بضع عشرات من أجزاء الثانية (Milliseconds) ويحسب الزمن من المرتسم الزلزالي باستخدام وتحديد أول زمن واصل أو أول تعرج (First arrivals) الذي يمثل P–wave. لنأخذ حالة بسيطة على تطبيق الطريقة الانكسارية، لنفرض ان هناك طبقتين لديها سرعة هي V_1 وV_2 حيث ان $V_2 > V_1$ يفصل بينهما حاجز أفقي على عمق h كما في الشكل (22–2).

عند إجراء التفجير في النقطة S فإن الموجة الساقطة على الحاجز الأفقي قسم من هذه الأمواج سوف تنعكس بصورة حرجة بزاوية i_c والقسم الآخر ينكسر على امتداد العاكس وتنتقل بسرعة V_2 في الطبقة السفلى ثم تنعكس إلى الطبقة العليا نحو السطح بحيث إن زاوية السقوط i_c التي زاوية انكسارها قائمة . يمكن تطبيق قانون سنيل على هذه الحالة (Snell's Law) حيث إن:

$$\sin ic = \frac{V_1}{V_2}$$



شكل رقم (22-2) مخطط الطريقة الزلزالية الانكسارية

الموجة الساقطة على السطح الفاصل بين الطبقتين التي تتبع المسار SB سوف تسقط على السطح الفاصل بزاوية حرجة i_c ثم تنكسر على امتداد السطح الفاصل بين الطبقتين وتنتقل بسرعة V_2 في الطبقة السفلى، بعض الأمواج تنعكس إلى السطح بزاوية ظهور أو انعكاس تساوي زاوية السقوط وهي i_c هذا الانكسار يمثل بالمسار (DD) يسمى الانكسار الحرج (Critical Refraction) ويظهر بعد مسافة X_c تسمى بالمسافة الحرجة (Critical Distance) بعد هذا الانعكاس تبدأ بقية الأمواج الزلزالية بالانعكاس نحو السطح بزاوية i_c بعد ان تسير مسافة في الطبقة السفلى وهي CC'، DD' و FF' هذه المسافة تسمى مسافة العبور (Cross – over distance) وهي المسافة التي تلحق بها الموجات المباشرة المنعكسة مع الموجات المنكسرة والتي هي في الحقيقة موجات منعكسة بصورة حرجة.

إذا تم وضع عدد من اللاقطات على طول خط مستقيم وعلى مسافات معينة من نقطة التفجير S فان الموجات الزلزالية التي تصل إلى

اقرب اللاقطات ستكون هي الموجات المباشرة والسائرة على امتداد سطح الأرض بسرعة V_1، تتميز الموجة الأولى في الوسط عند اللاقطات الأبعد بأنها موجات منكسرة بصورة حرجة وذلك لأنها تنتقل في جزء من مسارها بسرعة V_2 في الطبقة السفلى وبذلك فإنها تصل مع وصول الموجة المباشرة فإذا رسمنا مرتسم أزمة الوصول الأولى مقابل المسافات بين كل لاقطة ونقطة تفجير فان أزمنة الوصول القليلة الأولى ستقع على خط مستقيم وستقع بقية النقاط على خط مستقيم آخر كما موضح في الشكل (2-22) وتمثل القيم $\frac{1}{V_1}$ و $\frac{1}{V_2}$ ميل الخطين. زمن الانكسار سوف يكون:- $T = T_{SB} + T_{BD} + T_{DD}$ ، من هذه المعادلة نشتق العلاقة رقم (2-18) و (2-19) وكلاتي:

$$T = \frac{2h_1}{V_1 \cos i_c} + \frac{X - 2h_1 \tan i_c}{V_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-18)$$

i_c = الزاوية الحرجة = $\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$

x = D'المسافة بين نقطة التفجير واللاقطة

$$\therefore \boldsymbol{T = \frac{X}{V_1} + \frac{2h_1\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 x V_1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \boldsymbol{(2-19)}$$

يتم رسم المنحني الزمن مقابل المسافة حيث نحصل على معادلة خط مستقيم ميله يساوي $\frac{1}{V_2}$ والذي يقطع محور الزمن بزمن قدره T_i والذي يعطي بالمعادلة رقم (2-20):

$$T_1 = \frac{2h_1\sqrt{(V_2^2 - V_1^1)}}{V_2\, x\, V_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-20)$$

يحدد العمق إلى السطح العاكس الذي يمثل سطح الطبقة السفلى أو سمك الطبقة العليا من خلال استخدام زمن القطع Intercept (T_i)Time باستخدام المعادلة رقم (2-12)، وكذلك يمكن تعيينه من مسافة العبور (x_{co}) حيث يتقاطع المستقيمان اللذان ميلهما هو $\frac{1}{V_1}$ والعمود النازل على محور المسافة من نقطة التقاطع يحدد مسافة العبور $\frac{1}{V_2}$ وتعطى العلاقة بين $h\ X_{co}$, بالعلاقة التالية رقم :

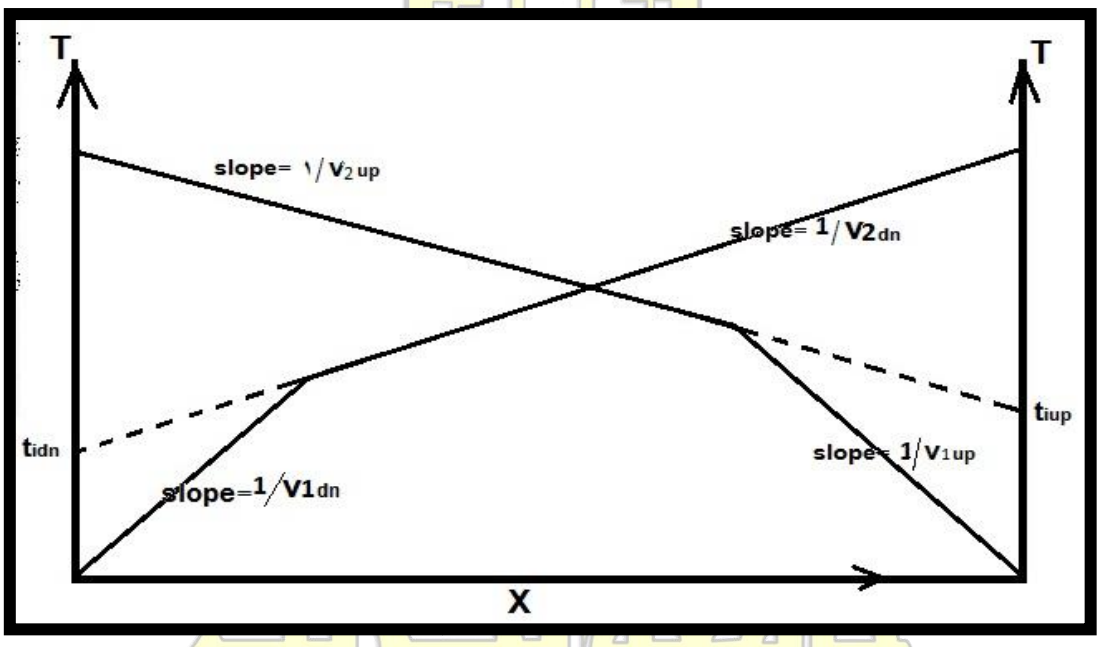
:(2-21)

$$X_{cd} = 2h_1 \frac{\sqrt{(V_2 - V_1)}}{\sqrt{(V_2 - V_1)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-21)$$

حيث نستنتج دائما إن المسافة X_{co} اكبر من $2h_1$، وما لم يتجاوز مسافة النشر خلف X_{co} فلا تظهر هناك موجات منكسرة كموجات وصول أولية تقابل قطعة المستقيم الثانية من منحني المسافة – زمن. في حالة وجود ثلاث طبقات سيكون هناك ثلاث قطع على منحني المسافة – زمن والذي يمكن منه تحديد V_1و V_2و V_3 ويمكن إيجاد الأعماق h_1 و h_2 إلى الحواجز وذلك باستخدام أزمنة القطع باستخدام الصيغة الرياضية التالية رقم (2-22)

$$T_{i2} = 2h_2 \frac{\sqrt{(V_3^2 - V_2^2)}}{V_3 V_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-22)$$

في حالة السطح الكاسر للطبقات السفلية يمتلك ميل بدرجة معينة يمكن تحديد درجة ميل السطح الكاسر من إجراء تفجير عند نهايتي خط النشر باستخدام الطريقة الانكسارية. يبين الشكل (2-23) حاجز يفصل بين طبقتين مائلا بزاوية قدرها Φ عن الأفق، حيث يعطي التفجير على طول خط نشر اللاقطات باتجاه أعلى وأسفل الميل قطع زمن مستقل لكل اتجاه.



شكل رقم (2-23) مخطط للانكسار الحرج على امتدادها حاجز مائل بدرجة (θ)

يعد تحديد زاوية الانكسار الحرجة من المعادلة رقم (2-23) :

$$i_c = \frac{1}{2}\left(sin^{-1}\frac{V_1}{V_d} + sin^{-1}\frac{V_1}{V_u}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-23)$$

يمكن الحصول على V_1 مباشرة من المنحني حيث ان ميل المنحني هو معكوس السرعة V_1 اما السرعة V_2 يتم تحديدها من المعادلة التالية:

$sin_{ic} = \frac{V_1}{V_2}$. بعد تحديد زاوية الانكسار الحرجة i_c تحدد الأعماق

العمودية إلى السطح الكاسر باتجاه اعلي وأسفل الميل h_u و h_d بعد قراءة أزمنة القطع المتعاقبة من منحني المسافة – زمن كما في الشكل (2-24) وتعطي بالعلاقة رقم (2-24) و (2-25):

$$T_{up} = \frac{2h_u \cos i_c}{V_1} \quad , \quad h_u = \frac{V_1 \, x \, T_{up}}{2 \cos i_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-24)$$

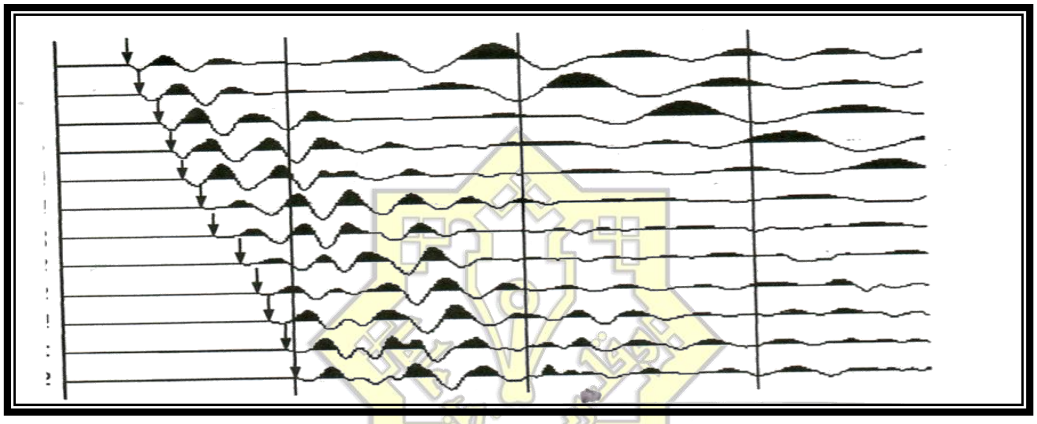
$$T_{i\,down} = \frac{2h_2 \cos i_c}{V_1} \quad , \quad h_{down} = \frac{V_1 \, T_{idown}}{2 \cos i_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-25)$$

بعد معرفة العمق إلى السطح الكاسر في نقطتين على مسافة x يمكن منها تحديد زاوية الميل ϕ للسطح الكاسر مع الأفق. بالمعادلة رقم (2-26):

$$\theta = \frac{1}{2}\left[sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right) - sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2-26)$$

عادة يستخدم في العمل الحقلي المرتسم الزلزالي المتعدد القنوات Seismograph يمثل كل قناة لاقطة تسجيل لأزمنة وصول الموجات الزلزالية، شكل (2-24) والذي يعتمد على نشر لاقطات تسجيل على طول خط مستقيم من 12 إلى 24 لاقطة. يثبت عدد اللاقطات وموقع أول لاقطة والمسافات بين اللاقطات وأبعادها عن نقطة التفجير إما زمن الوصول يتم حساب من المرتسم الزلزالي بالنقاط أو تعيين أول تعرج wiggle في المرتسم الذي يمثل زمن وصول الموجة الانكسارية إلى سطح الأرض مؤشر عليه

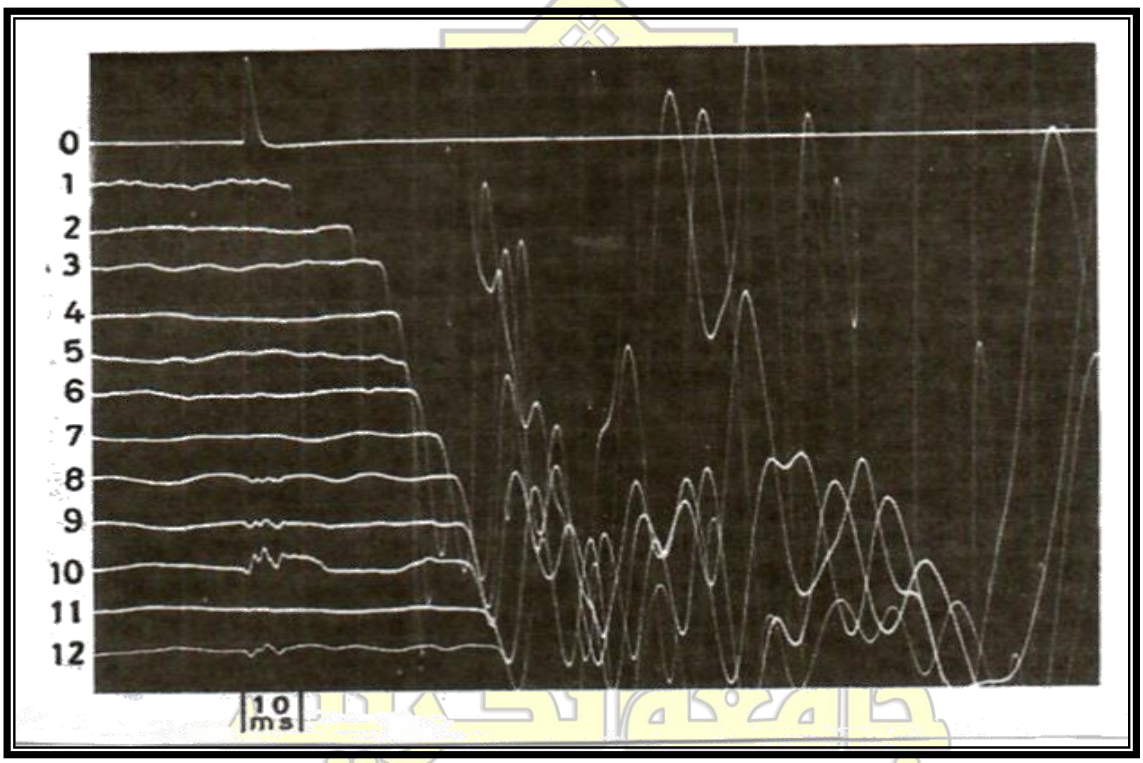
بسهم في الشكل (24–2) يعتمد تحديد نقطة التعرج هذه على دقة ومهارة الجيولوجي المشرف على البرنامج الزلزالي.



شكل رقم (24–2) مرتسم زلزالي انكساري

مثال تطبيقي رقم (2-3)

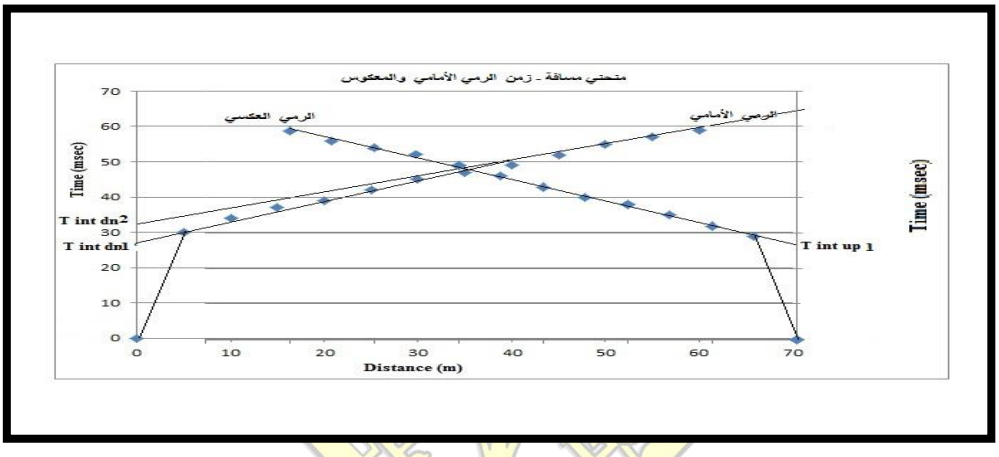
تم إجراء مسح زلزالي انكساري من جهتين متعاكستين وسجلت النتائج على مرتسم زلزالي كما في الشكل التالي، احسب العمق في السطح الفاصل مع درجة الميل.



مرتسم زلزالي انكساري (المصدر: parasnis, 1984, p294)

الحل:

1. يتم التقاط أزمنه وصول الموجات الزلزالية من المرتسم الزلزالي، ثم يرسم منحني مسافة-زمن لجهتين متعاكستين، وتحسب السرع V_1 و V_2 للطبقة العليا والسفلى من ميل المنحني .كما في الشكل أدناه:



2. نطبق المعادلة التالية لمعرفة ميل السطح الكاسر وهو طبقة صخور القاعدة

$$\theta = \frac{1}{2}\left[sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right) - sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[sin^{-1}\left(\frac{1100}{3100}\right) - sin^{-1}\left(\frac{1100}{8500}\right)\right]$$

$$= 6.7^0$$

3. نستخرج الزاوية الحرجة i_c من المعادلة:-

$$i_c = \frac{1}{2}\left(sin^{-1}\frac{V_1}{V_d} + sin^{-1}\frac{V_1}{V_u}\right) = i_c$$

$$= \frac{1}{2}\left(sin^{-1}\frac{1100}{3100} + sin^{-1}\frac{1100}{8500}\right) = 14.1^0$$

4. نستخرج السرعة الحقيقية للطبقة الثانية وهي صخور القاعدة من المعادلة التالية:

$$sin\ i_c = \frac{V_1}{V_2} \quad , \quad \sin(14.1^0) = \frac{1100}{V_2} \quad , \quad \therefore V_2$$

$$= \frac{1100}{\sin(14.1^0)} = 4512\ m/sec$$

5. نستخرج العمق العمودي Vertical depth الواقع تحت نقطة التفجير اليسرى من المعادلة التالية:

$$h = \frac{V_1\ x\ V_2}{2\ \cos i_c} = \frac{1100\ x\ 14.5\ x\ 10^{-3}}{2\ \cos 14.1^0} = \frac{15.95}{1.940} = 8.3\ m$$

6. نستخرج العمق العمودي الواقع تحت نقطة التفجير اليمنى بنفس الطريقة نستخرج h=18.0m.

تصميم مسار زلزالي مثالي في الحقل Experiment design of seismic line

لغرض القيام بالمسح الزلزالي المثالي في الحقل يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار النقاط التالية:

1- اللاقطات Geophones : في الغالب تستخدم نفس اللاقطات في المسح الانكساري والانعكاسي الا في الترددات .

2- الترددات Frequencies: تكون واطئة حوالي 10 هيرتز في المسح الانكساري مقابل حوالي 100 هيرتز في الانعكاسي .

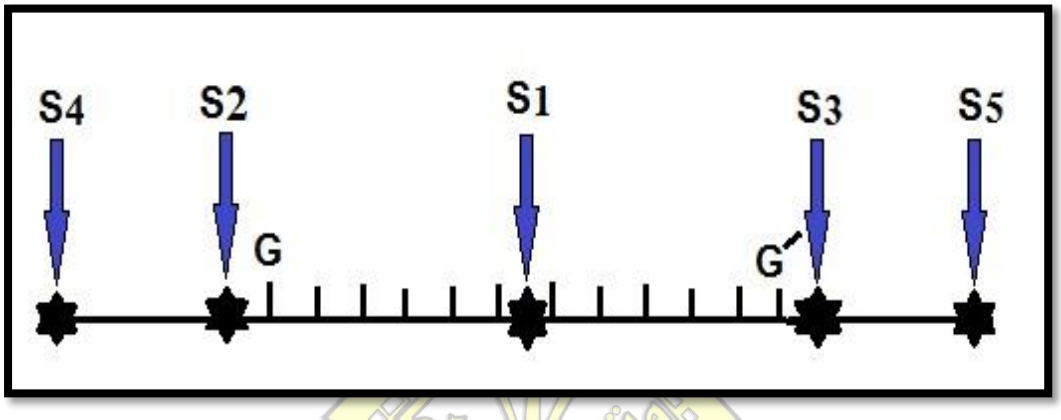
3- طول المسار: الحالة المثالية تكون من 5 – 10 أمثال العمق الى السطح الكاسر لضمان استلام اول وصول للموجة الراسية ، بينما 3 أمثال العمق المطلوب للسطح العاكس .

4- نقاط التفجير : الحالة المثالية 5 نقاط تفجير لكل ترتيب للاقطات وكما يلي:

أ- واحدة في كل نهاية من المسار.

ب- واحدة في مركز المسار، لتحديد سرعة الطبقة .

ج- اثنان ذات ازاحة طويلة (offset) في نهايتي المسار. حيث ان: offset هي المسافة بين نقطة التفجير واول لاقطة من المسار ، شكل (2-25).



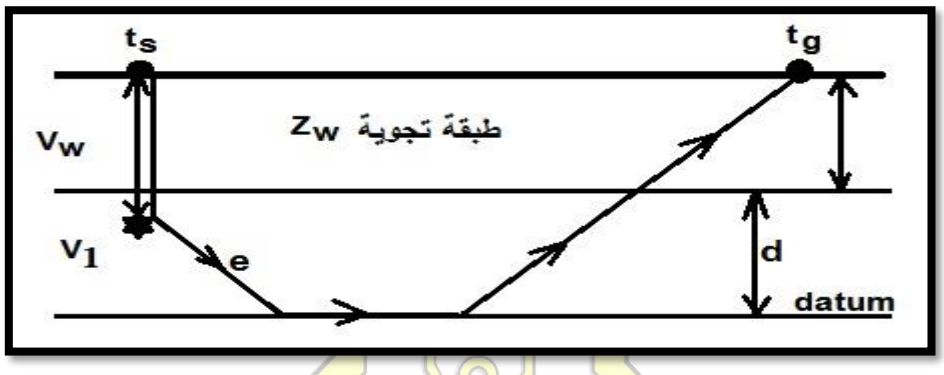
شكل (2-25) تصميم مسار زلزالي

التصحيحات التي تجرى على المسوحات الزلزالية Seismic corrections

لاجل اظهار التسجيل الزلزالي بصورته النهائية سواء كان المسح انعكاسي او انكساري يجب اجراء التصحيحات على القراءات الحقلية وهي نوعان :

1-التصحيح الثابت Static correction:

الذي يأخذ السرعة الواطئة لطبقة التجوية (weathering layer) ويحسب زمن الانتقال الى مستوى مرجعي واحد ، شكل (2-26).



شكل (2-26) شكل مسار الموجة في التصحيح الثابت

فالتصحيح يكون على جزئين :

أ- تصحيح تحت المتفجر = المسافة \ السرعة = $t_s = \frac{e}{V_1}$

ب- تصحيح تحت اللاقطة = $t_g = \frac{d}{V_1} + \frac{Z_w}{V_w}$

حيث ان: Z_w = تمثل سمك طبقة التجوية

V_w = تمثل سرعة طبقة التجوية

d = المسافة بين المستوى المرجعي Datum واسفل طبقة التجوية

ويكون التصحيح الثابت هو مجموع التصحيحين اعلاه اي ان : static corr. = ts + tg

$$= -\frac{d}{V_1} + \frac{Z_w}{V_w} + \frac{e}{V_1}$$

ملاحظة : ان التصحيح الثابت يطرح من الزمن الكلي الذي تسجله اللاقطة ،

ولحساب V_w يتم تفجير شحنة صغيرة في حفرة طبقة التجوية، شكل (2-27).

شكل (2-27) مسار الموجة في التصحيح الثابت

2-التصحيح الحركي Dynamic correction:

ويسمى ايضا تصحيح طول مسافة الانتقال أو تصحيح الحركة الطبيعية Normal Move Out (NMO)، وتعرف بالعلاقة التالية: $t_r = \frac{\sqrt{X^2+4Z^2}}{\bar{V}}$. اذا كانت $X = 0$ بهذه الحالة فان : $t_0 = t_r = \frac{2Z}{\bar{V}}$

$\therefore \bar{V} = \frac{2Z}{t_0}$ ، بهذه الحالة فان : $\Delta_t = \frac{2Z}{\bar{V}} = t_r - t_0 = (NMO)$

حيث ان $(\bar{V}^2 = \frac{X^2}{2t_0 x\, \Delta t})$ ومن هذه المعادلة يمكن حساب قيمة Δt وكما يلي:

$$(\Delta t = \frac{X^2}{2t_0 x\, \bar{V}^2})$$

يستخدم هذا التصحيح للقراءات الانعكاسية ويحسب : $\Delta_t = (NMO)$ $\frac{1}{2}\ x\ \frac{X^2}{t_0 x\, \bar{V}^2}$ حيث ان قيمة Δt لكل لاقطة يتم طرحها من اللاقطة المعنية وبهذه الحالة يتم ازالة تاثير المسافة.

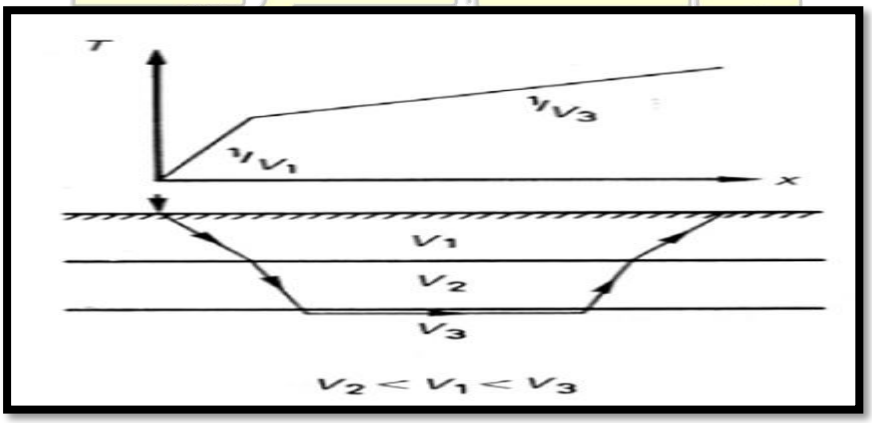
الغموض في تفسير البيانات الزلزالية:

المشاكل او الغموض في تفسير البيانات الزلزالية الانكسارية Problems hnterpreting refraction data

هناك مشاكل في تفسير المعلومات الزلزالية الانكسارية عندما تتوفر الحالات التالية :

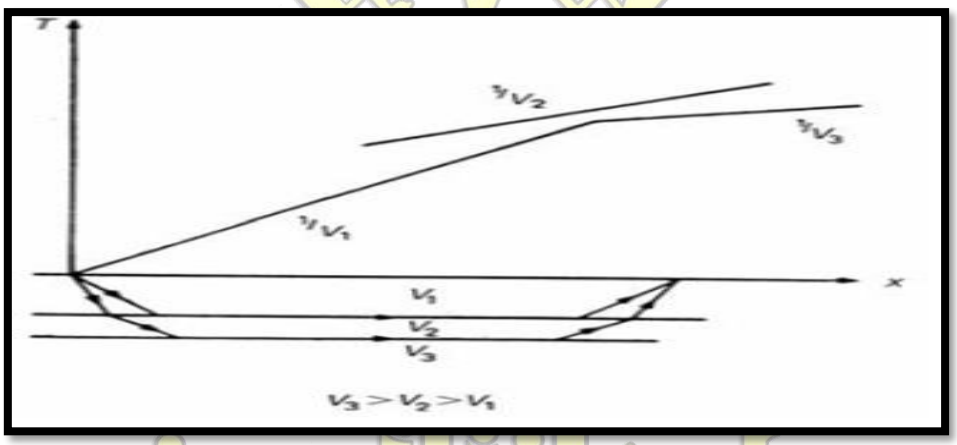
1- عندما تكون هناك طبقة عالية السرعة تقع فوق طبقة واطئة السرعة فعند ذلك لايحصل انكسار حرج ونلاحظ ظهور طبقة واحدة فقط في منحني المسافة- الزمن.

2- الطبقة المخفية (Hidden layers): عندما تكون هناك طبقة واطئة السرعة واقعة بين طبقتين اعلى سرعة منها، في هذه الحالة لاتظهر سوى طبقتين في منحني المسافة- الزمن ، لانه لايحصل انكسار حرج بين الطبقة العليا (سرعة عالية) والطبقة الثانية(اقل سرعة) لذلك لاتظهر الطبقة الثانية في منحني المسافة- الزمن، وان العمق الى الطبقة الثالثة سوف يكون كبير، شكل (28-2).



شكل (28-2) طبقة واطئة السرعة بين طبقات عالية السرعة

3-النطاق الاعمى (Blind zone): عندما تكون هناك طبقة نحيفة ذات سرعة عالية واقعة تحت طبقة واطئة السرعة وتقع فوق طبقة ذات سرعة اعلى منها (الحالة الاعتيادية زيادة السرعة مع العمق) ، هنا تظهر طبقتان فقط في منحني المسافة- الزمن ،وذلك بسبب النحافة فان الموجة الراسية تنتقل اسرع عبر الحد الفاصل بين الطبقة الثانية والثالثة وعليه فان العمق المحسوب سوف يكون ضحل (اقل من الواقع)،شكل(29-2).



شكل (29-2) طبقة نحيفة عالية السرعة بين طبقتين سميكة واطئة السرعة

محاضرات 9، 10، 11، 12، 13، 14

الطريقة الكهربائية Electric Methods

معظم المسوحات الجيوفيزيائية المستخدمة في عمليات الاستكشاف المعدني تستند على قياس فرق الجهد الكهربائي Potential والمجال المغناطيسي المستحدث من جراء سريان تيار كهربائي في التكوينات الصخرية تحت سطح الأرض، هذا الفرق في الجهد الكهربائي يعتمد على الاختلاف في قابلية التكوينات الصخرية على مقاومة سريان التيار الكهربائي خلالها. بعض هذه التيارات الكهربائية موجودة بصورة طبيعية في الصخور ناتجة من عوامل عديدة أهمها عمليات الأكسدة – الاختزال والعمليات الكهربائية أو من جراء عمليات الحث المغناطيسي الناتج بتأثير المجال المغناطيسي الخارجي Atmospheric Magnetic field.

التيارات الكهربائية المستخدمة في عمليات المسح الكهربائي نوعان، اما تيارات تستحدث صناعيا بواسطة معدات وأجهزة متخصصة لهذا الغرض ثم يمرر هذا التيار عبر التكوينات الصخرية في باطن الأرض، ويسمى المسح الكهربائي بهذه الحالة بالمسح الكهربائي المباشر أو DC – Survey إما المسح الجيوفيزيائي الذي يستخدم تيار كهربائي مستحدث بعمليات الحث المغناطيسي فيسمى بالمسح الجيوفيزيائي أو EM – Survey وبذلك يمكن تصنيف الطرق الكهربائية إلى نوعين بالاعتماد على مصدر التيار الكهربائي.

1-الطرق التي تستخدم التيار الكهربائي الصناعي Artificial Current

ويتم ذلك بإمرار تيار كهربائي باستخدام أقطاب التيار الكهربائي توضح على سطح الأرض، ثم تسجيل الاختلافات في انتشار الجهد الكهربائي عبر استخدام أقطاب الجهد، وتقسم هذه إلى عدة طرق هي:-

أ- طريقة المقاومية الكهربائية Resistively Method.

ب-طريقة الحث القطبية Induced Polarization Method (IP).

ج- طريقة الجهد المتساوي Equipotential Method.

د- الطريقة الكهرومغناطيسية Electro magnetic Method (EM).

أهم هذه الطرق وأفضلها هي طريقة المقاومية وذلك لسهولة وكثرة استخدامها ودقة النتائج المستحصلة من القراءات.

2- الطرق التي تستخدم التيار الأرضي الطبيعي Telluric Current

الذي ينتج من الحث في المجال المغناطيسي للأرض وكذلك من الجزيئات المشحونة في الايونسفير أو من تأثيرات كهروكيميائية في الأرض وتقسم إلى عدة طرق وأهمها هي:-

أ - طريقة الجهد الذاتي Self – Potential Method (SP)

ب- طريقة التيار الأرضي – المغناطيسي Magnetic – Telluric Method

ج- طريقة التردد السمعي AFMAG (Audio Frequency Magnetic)

د- طريقة التردد الواطئ جدا VLF (Very Low Frequency)

الطريقة الكهربائية لها تطبيقات واسعة في الاستكشافات الهيدروجيولوجية خاصة في تحديد أعماق مكامن المياه الجوفية والتمييز بين نوعية المياه الجوفية

العذبة والمالحة، والكشف والتمييز بين الصخور الرملية الحاملة للمياه والتكوينات الطينية. الطريقة الكهربائية أصبحت وسيلة فعالة في الكشف والتحري عن خامات الكبريتيدات Sulphide Ores والخامات المعدنية الفلزية بالإضافة إلى تعيين الحدود الفاصلة بين الطبقات الصخرية التي تمتلك مقاومة مختلفة فيما بينهما.

أ- طريقة المقاومية الكهربائية (مفهوم المقاومية والتوصيلية) Resistivity and Conductivity

ان من اكثر الطرق الجيوفيزيائية استخداما في : الدراسات الهيدرولوجية ، والمشاريع الهندسية. انها طريقة سهلة وسريعة واقتصادية ومن الطرق الفعالة(Active methods) التي تعتمد على الطاقة الصناعية (التيار المباشر او المتردد) ، وهي من الطرق التي تعطي تفاصيل دقيقة (رأسيا أو عموديا) عن انواع الطبقات وسمكها.

ان الطبقات الصخرية والتكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض تختلف في صفاتها وخصائصها الفيزيائية والمعدنية اعتمادا على ظروف نشأتها وتكوينها، مما أوجد اختلافات وتباين في قابلية هذه الصخور على إيصال التيار الكهربائي. إن خاصية المقاومية الكهربائية للمادة عادة ما يعبر عنها بدلالة مقاومتها على إمرار التيار الكهربائي. المعادن الفلزية والخامات الكبريتيدية Sulphides لها قابلية على إيصال التيار الكهربائي عن طريق الالكترونات وبذلك يكون الطريقة الكهربائية ملائمة في حالة استخدامها في الكشف عن هذه الخامات، معظم الصخور الحاملة للمعادن تكون رديئة التوصيل التيار الكهربائي، التيارات الكهربائية التي تسري في الصخور في هذه الحالة يتم عن طريق الايونات المتكونة في المسامات الحاملة

للمياه (توصيل الالكتروليتي) قابلية هذه الصخور على إيصال التيار الكهربائي تعتمد على نسبة وجود الأملاح الذائبة في هذه المياه وبالأخص وجود كلوريد الصوديوم، المعادن الطينية عادة تكون نشطة أيونياً ولها قابلية عالية على نقل التيار الكهربائي بواسطة الايونات خاصة مع وجود كميات قليلة من المياه. الصخور الصلبة موصلات رديئة للكهربائية ولكن مع وجود شقوق أو كسور خلالها تعطيها صفة الإيصال الجيد الكهربائية، جدول رقم (1–5) يوضح المقاومية القياسية لمعظم انواع الشائعة من الصخور والخامات المعدنية.

جدول رقم (1–5) المقاومية للأنواع الشائعة من الصخور والخامات

نوع الصخور أو الخام	المقاومية Ωm
Top soil	50 – 100
Loose sand	500 – 5000
Gravel	100 – 600
Clay	1 – 100
Weathered bedrock	100 – 1000
Sand stone	200 – 8000
Limestone	500 – 10000
Gabbro	100 – 500000
Granite	200 – 100000
Basalt	200 – 100000
Quartizite	500 – 800000
Pyrite ore	0.01 – 100
Pyrrhotite	0.001 – 0.01
Chalcopyrite	0.005 – 0.1
Galena	0.001 – 100
Sphalerite	1000 – 1000000
Magnetite	0.01 – 1000
Cassiterite	0.001 – 10000
Hematite	0.01 – 1000000

المقاومية وقانون أوم Ohm's Law and Resistivity

يعرف قانون أوم بأنه مقاومة موصل لو وضع على طرفيه فرق جهد مقداره واحد فولت يمر فيه تيار مقداره واحد أمبير، وبذلك فان فرق الجهد الكهربائي في نقطة تتناسب مع شدة التيار الكهربائي الذي يسير في نفس النقطة. كما في العلاقة الرياضية رقم (1-5):

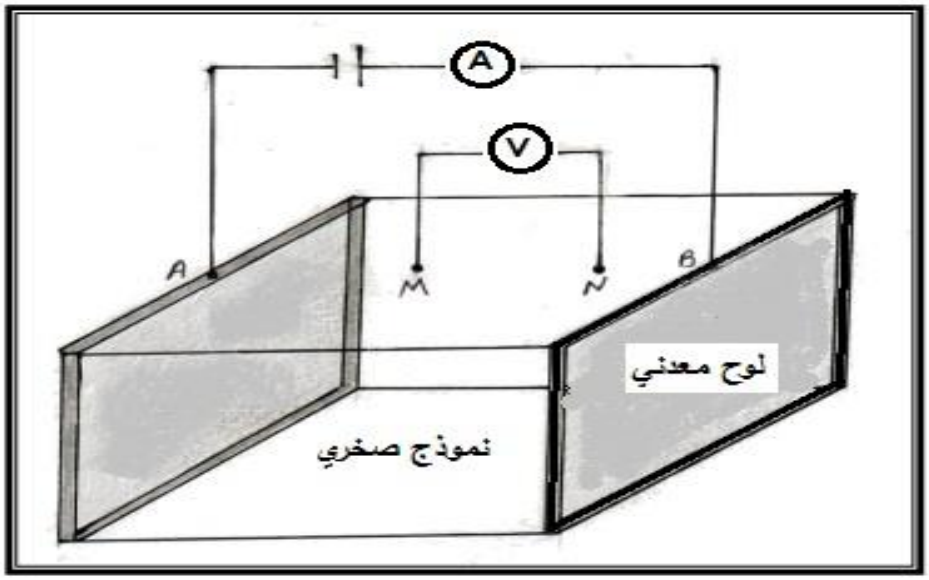
$$R = \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (5-1)$$

حيث أن:- Δv = فرق الجهد الكهربائي , I = شدة التيار , R = المقاومة

أما المقاومية للصخور Resistivity فتعرف بأنها المقاومة بالأوم Ohm بين طرفي أو سطحي وحدة مكعبة من المادة تفصل بينهما مسافة واحد متر، وحداتها هي أوم – متر (Ω.m)، في بعض الأحيان يستخدم مفهوم التوصيلية Conductivity وهي معكوس المقاومية وتقاس بوحدات موه (Mohs) ويرمز لها ($S.m^{-1}$).

حساب المقاومية الحقيقية والمقاومية الظاهرية

إحدى طرق قياس مقاومية الصخور مختبريا هي استخدام نموذج مادة مكعبة توضح على جانبية ألواح معدنية ملاصقة بجوانبه المتقابلة شكل (1-5).



شكل رقم (1-5) نموذج صخري لحساب المقاومية مختبريا

يتم إمرار تيار كهربائي من خلال هذه الألواح المعدنية، يقرأ فرق الجهد بين النقطتين N، M وعليه فان قانون المقاومية يصبح كما في العلاقة رقم (5-2):

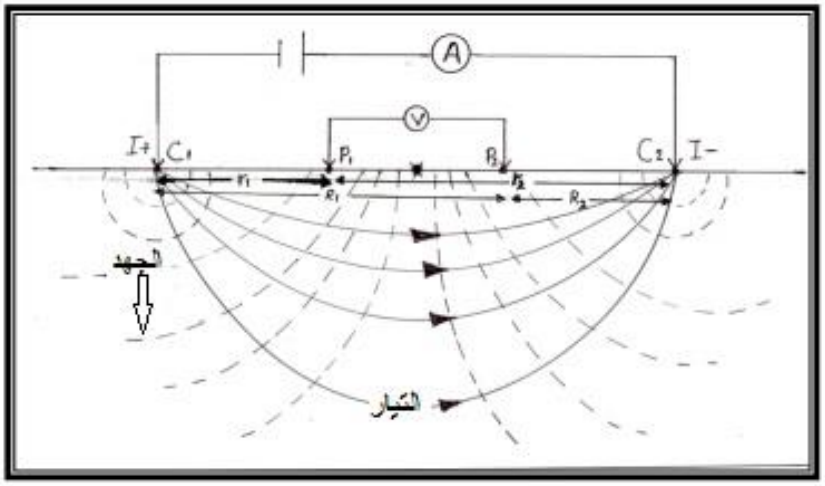
$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \; x \frac{A}{L} \; \Omega m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-2)$$

حيث ان:- A = مساحة اللوح بالمتر المربع، L =طول النموذج ، و MN = المسافة بين النقطتين.

في حالة إمرار تيار كهربائي داخل سطح الأرض عن طريق قطبين للتيار إحداهما سالب والآخر موجب ويقاس فرق الجهد بواسطة قطبين آخرين تربط إلى مقياس للفولتية على سطح الأرض. مخطط سريان خطوط التيار الكهربائي ومسارات الجهد كما موضح في الشكل (2-5) الذي يمثل مقطع عرضي في الأرض، هذه المسارات تكون على شكل سطوح نصف

كروية تمتد داخل الأرض وتنتهي عند سطح الأرض، في هذه الحالة يوجد لدينا مسارات للتيار والجهد نصف كروية. لنأخذ فقط نقطتين واحدة للتيار C_1 واخرى للجهد P_1 تفصل بينهما مسافة (نصف قطر) قدرها r_1 فان فرق الجهد بهذه الحالة يكون كما في المعادلة رقم (3-5):

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \ldots\ldots\ldots \quad (5-3)$$



شكل رقم (2-5) رسم تخطيط يمثل مسارات التيار والجهد داخل سطح الأرض

أما في حالة وجود قطبين للتيار (C_1 ،C_2) وقطبين للجهد (P_1, P_2) فان فرق الجهد عند كل نقطة بين أقطاب التيار سوف تكون كما يلي:-

Potential at $P_1 = (VP_1) = (Vr_1 - Vr_2)$

عند التعويض في المعادلة السابقة رقم (3-5)، يصبح لدينا كما في المعادلة (4-5):

$$VP_1 = \frac{I\,x\,\rho}{2\,\pi}\,x\,\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-4)$$

Potential at P_2 = (VP_2) = $(VR_1 - VR_2)$

$$VP_2 = \frac{I\,x\,\rho}{2\,\pi}\,x\,\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-5)$$

$$\Delta V = VP_1 - VP_2$$

$$\therefore \Delta V = \frac{I\,x\,\rho}{2\,\pi}\,x\,\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-6)$$

$$\therefore\ \rho = 2\pi\,x\,\frac{\Delta V}{I}\,x\,\left[\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-7)$$

$$\therefore\ \rho = K\,x\,\frac{\Delta V}{I}\ \ \Omega\,m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-8)$$

حيث إن k تسمى بالعامل الهندسي(geometric factor) أو ثابت النشر الذي تعتمد قيمته على المسافات بين أقطاب التيار وأقطاب الجهد وتحسب قيمة ثابت النشر كما في العلاقة (5-9):

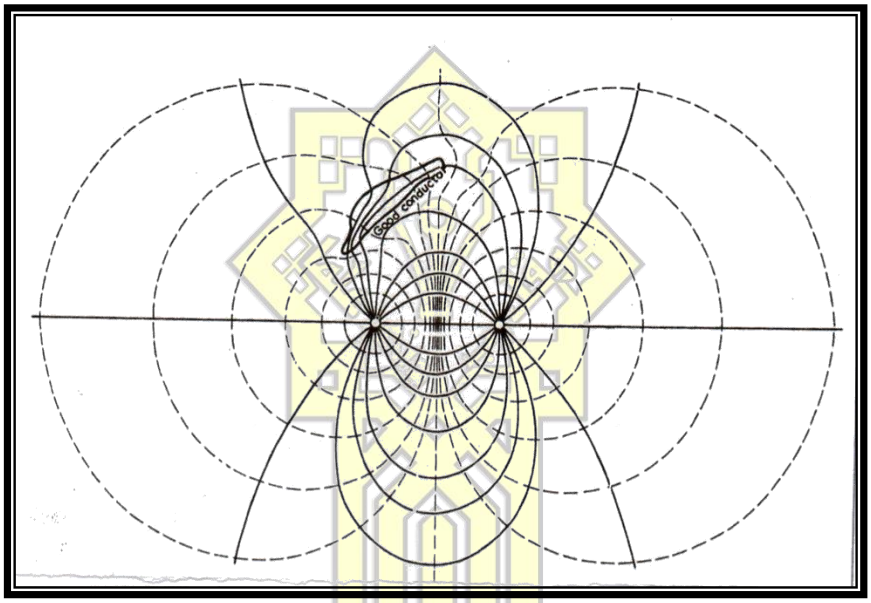
$$K = \frac{1}{2\,\pi}\,x\,\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-9)$$

إذا كانت الأرض متجانسة في الكثافات Homogeneous نحصل بذلك على المقاومة الحقيقية وذلك إن القراءات المستحصلة تبقى ثابتة مهما تغيرت المواقع والمسافات بين الأقطاب إذ إن تبديل ثابت النشر (K) تؤدي إلى تغيير في قيمة (ΔV) فقط تبقى قيمة المقاومية (ρ) ثابتة وهي القيمة الحقيقية. أما إذا كانت الأرض غير متجانسة فان قيمة المقاومية تتبدل وتتغير مع تبديل ثابت النشر (K) أي مع تغيير مواقع الأقطاب وبذلك فان القيمة المستحصلة تمثل المقاومية الظاهرية (ρa) وهذه عادة هي التي نحصل عليها أثناء عمليات المسح الجيوفيزيائي الكهربائي. ان مفهوم المقاومية الظاهرية هو مفهوم شكلي يعتمد بصورة كبيرة على طبيعة الصخور وعدم تجانسها بالإضافة إلى ثابت النشر، إن قيمة ρa إذا كانت قليلة أو واطئة هذا يعني وجود جسم موصل جيد لكهربائية والعكس بالعكس.

مسار التيار الكهربائي داخل الأرض Electric Current inside the Earth

عرفنا في الفقرة السابقة عند إمرار تيار كهربائي إلى داخل سطح الأرض عبر التكوينات الصخرية بواسطة غرز قطبين للتيار الكهربائي ويتم قياس فرق الجهد المتكون من جراء سريان هذا التيار بواسطة قطبين آخرين تربط إلى مقياس الفولتية. نلاحظ من الشكل رقم (3-5) إن الخطوط السميكة تمثل خطوط مسار التيار الكهربائي داخل سطح الأرض تسير باتجاه القطب السالب من القطب الموجب، أما الخطوط المتقطعة فهي تمثل مسارات الجهد المتساوي، هذه المسارات يمكن تحسسها عند ربط قطبين إلى جهاز قياس الفولتية. دائما تكون خطوط الجهد المتساوي عمودية على مسارات خطوط التيار الكهربائي، إذ إن خطوط مسار التيار تكون عبارة عن مسارات نصف كروية تسير في الأرض وتقف عند سطح الأرض لعدم

إمكانية عبور التيار الكهربائي إلى الهواء. ان خطوط الجهد المتساوي يكون فرق الجهد على طول هذه المسارات يساوي صفر دائما ولكنها تختلف عندما تتحول من مسار إلى اخر.



شكل رقم (3-5) مخطط يوضح مسار خطوط التيار والجهد داخل سطح الأرض(منظر عمودي أو من الاعلى)

المصدر (parasnis, 1984, p.162)

عندما تكون الصخور تحت سطح الأرض متجانسة ولا يوجد تغير في الكثافة أو المقاومية عندئذ تكون خطوط سريان التيار الكهربائي ومسارات الجهد المتساوي متجانسة وذات شكل هندسي متماثل، أما في حالة وجود عدم تجانس مثلا وجود جسم معدني سواء كان موصل جيد أو رديء التوصيل الكهربائية فعندها يحصل تشويه وانحراف في اتجاه مسار خطوط التيار الكهربائي وكذلك في مسارات خطوط الجهد إما بالزيادة أو النقصان. اذا كان الجسم المعدني الموجود رديء التوصيل للكهربائية (ذو مقاوميه

عالية) فان مسارات التيار الكهربائي تميل إلى الانحراف بعيدا عن الجسم المعدني، وكذلك مسارات الجهد يحصل بها تقارب عند الجسم المعدني، وتكون ذات قيمة عالية، أما اذا كان الجسم المعدني جيد التوصيل للكهربائية (ذو مقاومية قليلة) فان مسارات التيار الكهربائي تميل إلى الانحراف والسير نحو وخلال الجسم المعدني، أما مسارات الجهد فيحصل لها تباعد عند الجسم المعدني وتكون ذات قيمة عالية كما في الشكل (5-3). من هذه الاختلافات في قراءات الجهد الكهربائي ممكن ان يستدل من خلالها على وجود أجسام معدنية أو تراكيب جيولوجية وبالتالي يمكن تحديد مواقعها وأعماقها والتعرف على نوعية هذه التراكيب أو الأجسام المعدني.

طريقة قياس المقاومية النوعية Resistivity Method

Measurements :

هناك طرق عديدة من طرق المسح الكهربائي تعتمد على ترتيب مختلف للأقطاب لكل طريقة ثابت نشر محدد للأقطاب ،هذه الطرق استخدمت جميعا في المسح الجيوفيزيائي الكهربائي الحقلي وأهمها هي:-

1- تشكيل فنر Wenner Configuration

في هذا التشكيل تتباعد الأقطاب الأربعة بمسافات ثابتة عن بعضها البعض وتكون على استقامة واحدة شكل رقم (5-4 a) ، ويرمز للمسافة بين الأقطاب بالرمز (a) وتعطى قيمة المقاومية الظاهرية حسب المعادلة رقم (5- 10):

$$\rho_a = 2\,\pi\, a\, x\, \frac{\Delta V}{I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. \quad (5-10)$$

هذه الطريقة تستخدم لنوعين من المسح الكهربائي الأرضي هو المسح الكهربائي الجانبي أو الأفقي والمسح الكهربائي العمودي .

أ- المسح الكهربائي الجانبي Lateral Survey

تكون المسافات بين الأقطاب الأربعة ثابتة (a) ويتم تحريكها جميعا على طول مسار المسح مع ثبات مركز التشكيل على نفس المسار . تستخدم في حالة الكشف عن الصدوع والكسور، التكهفات ، وكذلك التراكيب الجيولوجية القريبة من سطح الأرض .

ب- المسح الكهربائي العمودي(Vertical electrical (VES Sounding

في هذا النوع من المسح يكون مركز التشكيل ثابت في نقطة القياس على مسار المسح ثم يتم تحريك الأقطاب جميعا بعيدا عن مركز التشكيل بمسافات متساوية تبدأ بالزيادة المتساوية مع ابتعادها عن مركز التشكيل ، حيث ان مواقع الأقطاب P_1،P_2 تحل محل أقطاب التيار في القراءة اللاحقة إذ إن المسافات تكبر بمقدار مكعب المسافة (a) أي إن : a =2, 6, 18, (54, ...etc) ، إلى ان نحصل على اقل قراءة ، بعدها يتم تحريك مركز التشكيل إلى نقطة القياس اللاحقة ، وهكذا تستخدم هذه الطريقة في حالة الكشف عن الحدود الفاصلة بين الطبقات وتحديد عمق صخور القاعدة والخامات الفلزية.

2- تشكيل شلمبرجر Schlumberger Config.

في هذا التشكيل توجد طريقتين لترتيب أقطاب الجهد نسبة إلى أقطاب التيار، الأولى تكون المسافة بين أقطاب الجهد(2ℓ) صغيرة بالمقارنة مع المسافة بين أقطاب التيار ($2L$) حيث تقع أقطاب الجهد خارج مركز التشكيل وتسمى بالطريقة العامة كما في الشكل (5-4 b).

تكون المقاومية كما في المعادلة رقم (5-11):

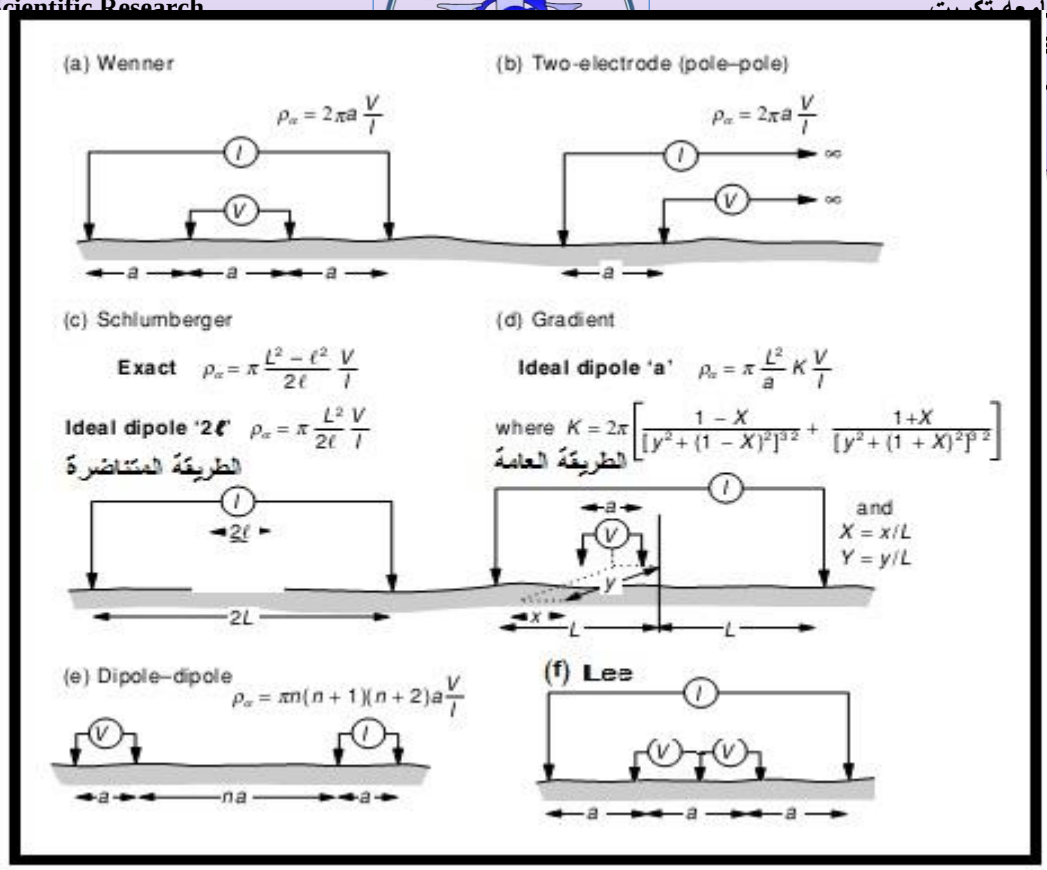
$$\rho_a = \frac{\pi}{2l}\ x\ \frac{(L^2 - X^2)}{(L^2 + X^2)}\ x\ \frac{\Delta V}{I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-11)$$

حيث ان:-

X = تمثل المسافة بين مركز التشكيل والنقطة بين منتصف قطبي الجهد

L = المسافة بين احد أقطاب التيار ومركز التشكيل

l=المسافة بين احد أقطاب الجهد والنقطة الواقعة في منتصف المسافة بينهما



شكل رقم (4–5) طرق ترتيب الأقطاب في المسح الكهربائي

الترتيب الثاني والذي يسمى بالطريقة المتناظرة والتي تكون فيها المسافة بين أقطاب الجهد كذلك صغيرة (L 2) ولكنها تقع على طرفي مركز التشكيل وفي الوسط بحيث ان: X = 0 والمسافة بين أقطاب التيار 2L كبيرة بهذه الحالة تكون قيمة المقاومية كما في المعادلة رقم (5– 12):

$$\rho_a = \frac{\pi \, x \, L^2}{2\, l} \, x \, \frac{\Delta V}{I} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-12)$$

تستخدم طريقة شلمبرجر للمسح الكهربائي في اسلوبين للعمل هي طريقة المسح الجانبي أو الأفقي Lateral Survey والمسح العمودي Vertical Survey Sounding. في المسح الأفقي يستخدم ترتيب الطريقة العامة التي تكون فيه أقطاب الجهد خارج مركز التشكيل وهي مناسبة في التحري والاستكشاف عن الطبقات الصخرية القريبة من سطح الأرض والتراكيب الجيولوجية مثل الكسور والصدوع. في هذه الطريقة تبقى أقطاب

التيار (C_1,C_2) ثابتة على مسافات بعيدة عن مركز التشكيل وبمقدار حوالي عشر مرات اكبر من مسافة أقطاب الجهد، ويتم تحريك أقطاب الجهد (P_1, P_2) على طول مسار المسح بين C_2 C_1, ويبدأ المسح من مكان قريب من C_1 باتجاه C_2 بالإضافة إلى ذلك يستخدم ترتيب الأقطاب الثاني كما في الطريقة المتناظرة حيث تبقى أقطاب الجهد ثابتة حول مركز التشكيل ويبقى ترتيب التشكيل ثابت ويتم نقل مركز التشكيل مع كامل ترتيب الأقطاب من نقطة إلى أخرى. في المسح العمودي تكون فيه أقطاب الجهد ثابتة حول مركز التشكيل اذ تكون قيمة X=0

ويتم تحريك أقطاب التيار (C_1, C_2) بعيدا عن مركز التشكيل وعلى مراحل حيث يتم زيادة المسافة (2L) وتؤخذ لقراءة في كل زيادة للمسافة.

طريقة شلمبرجر مناسبة للعمل الحقلي الجيوفيزيائي كونها سهلة العمل ولا تحتاج إلى جهد كبير ويتم تحريك قطبين فقط، بما إن أقطاب الجهد ثابتة المسافة فيما بينها فان تأثير عدم التجانس في الأرض القريبة soil يبقى ثابت وليس له تأثير على القراءات، مثلا عند البدء بعمليات المسح ونشر الأقطاب يتم بمسافة 2m تفصل بين أقطاب الجهد وتكون المسافة الفاصل بين أقطاب التيار 2L هي:

(10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100)

وفي أي مرحلة من مراحل اخذ القراءات عندما تصل قيمة الجهد المسجلة إلى قراءة واطئة جدا، عندها تتم زيادة المسافة بين أقطاب الجهد إلى عشرة

متر ثم تتم زيادة المسافة بين أقطاب التيار ونبدأ من مسافة عشرون متر... وهكذا.

3- ترتيب ثنائي القطب- ثنائي القطب Dipole –Dipole system

في هذا الترتيب تكون أقطاب الجهد (P_1, P_2) تقعان خارج قطبي التيار. وكل زوج منهما له مسافة تباعد ثابتة مقدارها (a) شكل (5-4 e)، إذا كانت المسافة بين الزوجين (na) كبيرة نسبيا، فان مصدر التيار يمكن معاملته كثنائي قطب كهربائي (مشابه لثنائي قطب المغناطيس) معادلة المقاومية بهذه الحالة هي:

$$\rho_a = \pi \, x \, n \, x \, (n+1)(n=2) \, x \, a \, x \, \frac{\Delta A}{I} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (5-13)$$

المسافة بين قطب التيار وقطب الجهد (P_1 – C_2) تكون متغيرة يتم زيادتها في حالة المسح العمودي. تستخدم هذه الطريقة لغرض المسح الكهربائي العميق وكذلك استخدمت لرسم حدود المقاومية الافقية والعمودية في الأرض غير المتجانسة.

4- ترتيب القطب – ثنائي القطب Pole – Dipole System

في هذه الطريقة من ترتيب الأقطاب هناك أسلوبين من الترتيب للأقطاب الأول أن يكون احد أقطاب التيار C_1 ثابت ويقع على مسافة بعيدة (na) عن الأقطاب الثلاثة الأخرى والتي تكون المسافة بينهما متساوية (a)، المقاومية تعطى بالعلاقة رقم (5-14):

$$\rho_a = 4\ x\ \pi\ x\ a\ x\ \frac{\Delta V}{I} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-14)$$

غالبا ما تستخدم هذه الطريقة لاستكشاف الأعماق شكل (C 4-5)، اما الأسلوب الثاني في ترتيب الأقطاب هو أن يوضع قطب التيار C_2 على مسافة بعيدة جدا عن الأقطاب الثلاثة الأخرى بحيث يهمل تأثير هذا القطب ، القراءة تسجل في منتصف المسافة بين أقطاب الجهد بدلا من مركز التشكيل غالبا ما تعطي نتائج مضللة عن أعماق الطبقات التي تتغير مع تغيير المسافة (a). حساب المقاومية يعطى بالمعادلة رقم (5-15) وكما يلي:

$$\rho_a = 2\ x\ \pi\ x\ n\ x\ (n+1) x\ a\ x\ \frac{\Delta V}{I} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-15)$$

5-ترتيب لي Lee Configuration:

هذا التشكيل يشبه تشكيل فنر من حيث ترتيب الأقطاب ماعدا ذلك يتم فيه وضع قطب جهد إضافي (ρ_o) في مركز التشكيل يتم قياس قيمة الجهد الكهربائي بين الأقطاب ($\rho_o - \rho_1$) وكذلك ($\rho_o - \rho_2$) حيث نحصل على قراءتين للمقاومية شكل (f 5-4) قيمة المقاومية تعطى بالمعادلات ذي الرقم (5-16) و(5-17) وكما يلي:

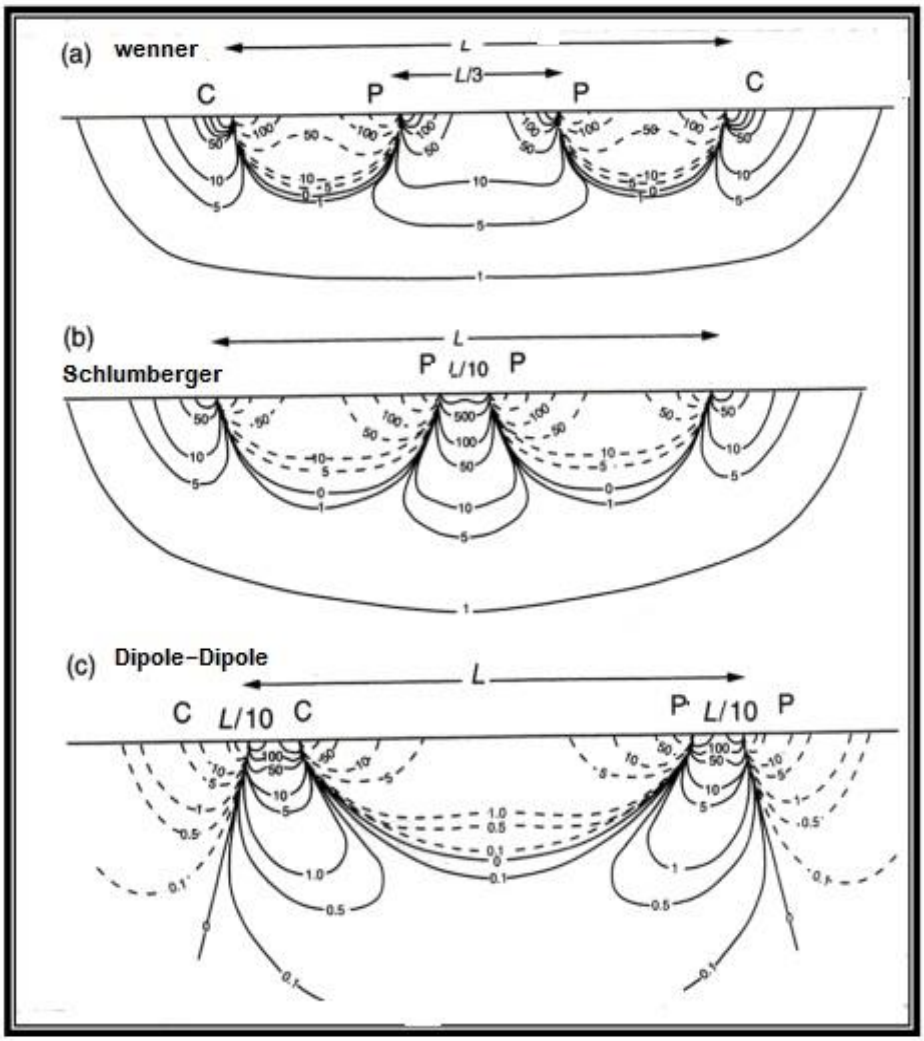
$$\rho_a = 4\ x\ \pi\ x\ a\ x\ \frac{\Delta V_1}{I} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-16)$$

$$\rho_a = 4\ x\ \pi\ x\ a\ x\ \frac{\Delta V_2}{I} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-17)$$

تجمع قيمتي المقاومية هذه لنحصل على قراءة واحدة للمقاومية كما هي الحالة في ترتيب فنر، تستخدم هذه الطريقة لاستكشاف عدم التجانس في الطبقات الأرضية.

عمق الاختراق Depth Penetration

عادة في المسح الجيوفيزيائي الكهربائي يتم اختيار نوع التشكيل وطريقة ترتيب الأقطاب على ضوء العمق المراد استكشافه أو اختراقه من قبل التيار الكهربائي، يعتمد عمق الاختراق على مواصفات التيار الكهربائي المستخدم بالإضافة إلى المسافة الفاصلة بين أقطاب التيار الكهربائي (C_1, C_2) بشكل عام تقريبا يكون عمق الاختراق يساوي ربع المسافة بين أقطاب التيار الكهربائي ($\frac{1}{4}$ C_2 C_1,)، الصفة الأخرى لتحديد عمق الاختراق هو تردد التيار المرسل ،إذ إن الأرض (Soil) لها قابلية كبيرة على امتصاص الترددات العالية بسرعة اكبر من امتصاصها للترددات الواطئة، لذلك كلما كان تردد التيار المرسل قليل كلما كان عمق الاختراق اكبر. نوع التشكيل المستخدم يعطي مرونة لاختيار عمق الاختراق على ضوء المسافات الفاصلة بين الأقطاب كما نلاحظ في الشكل رقم (5-5).



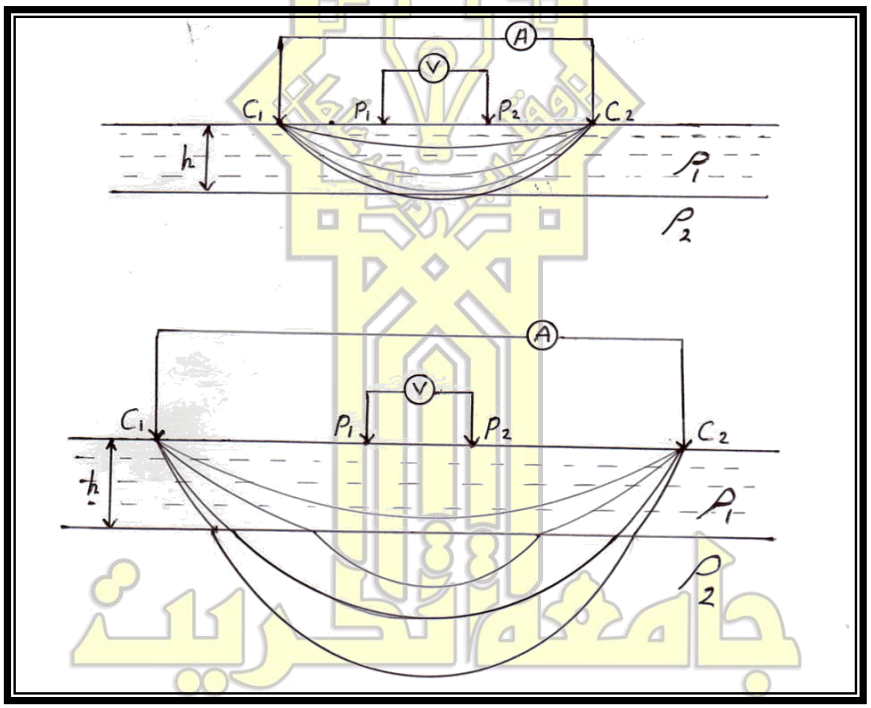
شكل رقم (5–5) مخطط يوضح عمق الاختراق مع خطوط التيار الكهربائي

المصدر: (John Milson, 2003, p: 103)

تفسر نتائج المسح الكهربائي Electrical Survey Interpretation

في حالة إجراء أعمال المسح الكهربائي في منطقة معينة متكونة من عدة طبقات صخرية أفقية، فان ذلك يتطلب معرفة واستكشاف الاختلافات العمودي في مقاومية هذه الطبقات، ان الهدف من إجراء المسح الكهربائي هو معرفة واستنتاج الاختلافات في المقاومية مع العمق تحت مسار مسح مثبت على سطح الأرض،

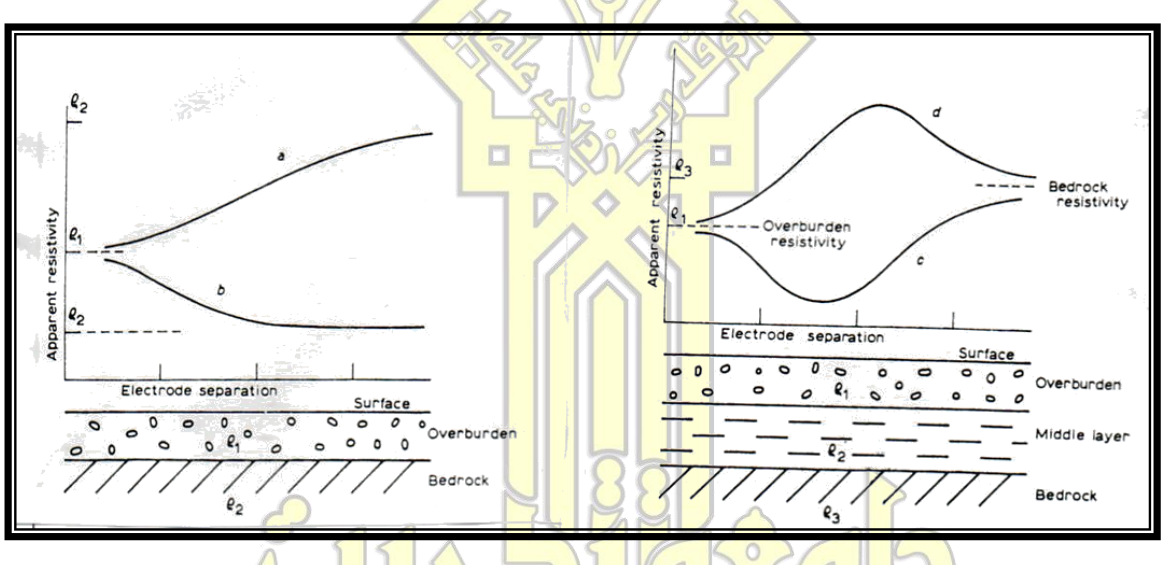
ثم يتم مضاهاة هذه النتائج مع المعلومات الجيولوجية المتوفرة من مصادر أخرى لغرض استخلاص أعماق ومقاوميات هذه الطبقات الصخرية، طريقة العمل هذه تستند على أساس إن التيار يخترق مسافات أعمق كلما زاد التباعد بين أقطاب التيار الكهربائي في التشكيل المستخدم . يوضح لنا الشكل رقم (6-5) في حالة وجود طبقتين تختلفان في المقاومية، عندما تكون مسافة القطبين C_1, C_2 صغيرة.



شكل رقم (6-5) قياس المقاومية مع زيادة المسافة بين الأقطاب

مقارنة مع السمك h للطبقة العليا بهذه الحالة فان المقاومية الظاهرية المقاسة ستكون للطبقة العليا وذلك لان جزءا صغيرا من التيار ربما سينفذ إلى الطبقة السفلى تحت الحد الفاصل بينهما، كلما زادت المسافة الفاصلة بين الأقطاب نسبة الى h، ذلك يؤدي إلى نفوذ وتغلغل جزء اكبر من التيار إلى عمق أكثر وبنفس الوقت يؤدي ذلك إلى تشوه خطوط انسياب

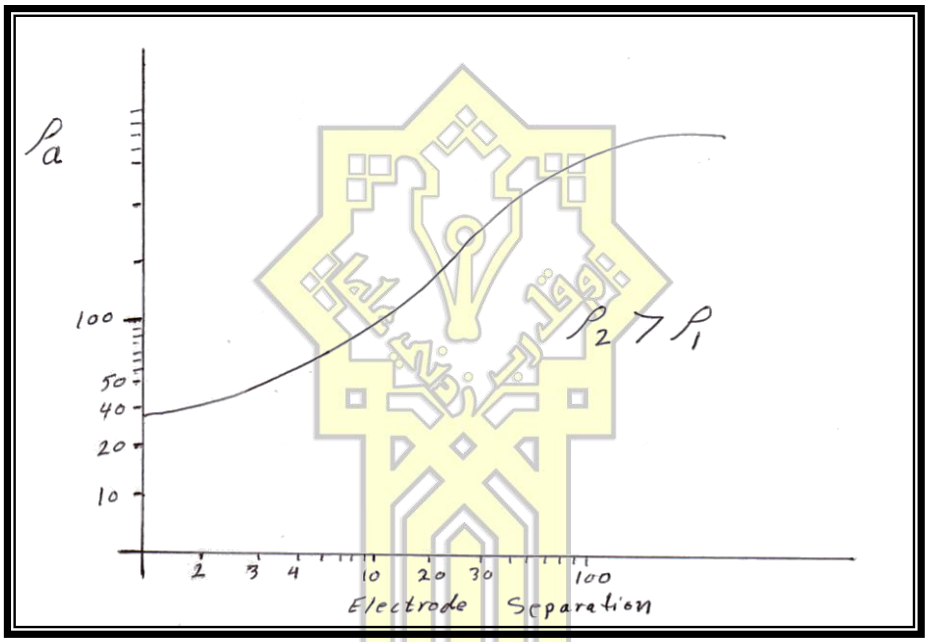
التيار عند الحاجز، وعند مسافات اكبر فان المقاومية الظاهرية المقاسة تقترب أو تمثل المقاومية للطبقة السفلى الثانية ρ_2 لان جزء التيار المحصور في الطبقة السطحية سيصبح مهملا. في الشكل رقم (5-7) يظهر لنا المنحنيات النموذجية لطبقتين وثلاث طبقات حيث تتغير المقاومية الظاهرية كدالة لتباعد الأقطاب التيار في استكشاف الكهربائي المتناظر في لترتيب شلمبرجر.



شكل رقم (5-7) منحنيات قياسية للمسح الكهربائي لطبقات افقية

في هذا الترتيب يثبت قطبا الجهد ويتحرك قطب التيار نحو الخارج بانتظام اما في ترتيب فنر للمسح الكهربائي العمودي يتم زيادة المسافة الفاصلة بين الأقطاب (a) بانتظام وعلى مراحل مع الاحتفاظ بنقطة الوسطية للترتيب (مركز التشكيل)، يظهر لنا الشكل رقم (5-8) في ترتيب فنر منحني قياسي لطبقتين اذا رسمت على ورق بياني لوغاريتمي يمكن

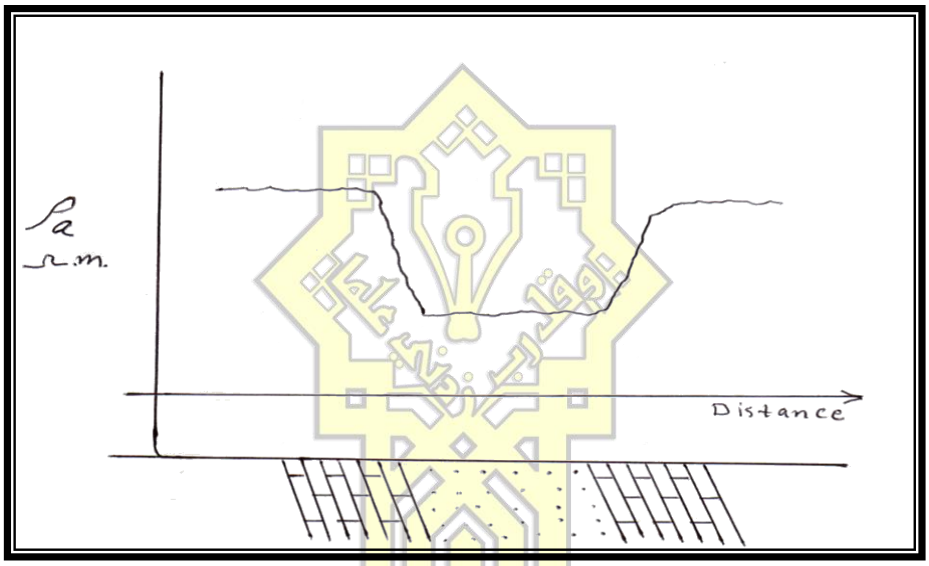
قراءة ρ_a التقريبية من المنحني، حيث ان شكل المنحني يعتمد فقط على فارق المقاومية بين الطبقات والموقع وهذا يساعد كثير في تفسير النتائج.



شكل رقم (8-5) منحني قياسي لطبقتين في ترتيب فنر

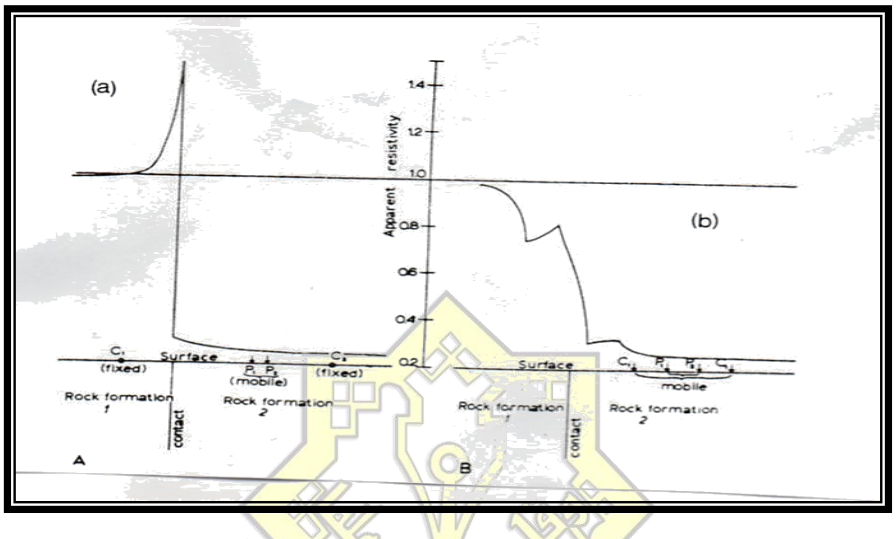
في حالة التحري والمسح الكهربائي الأفقي إذا كانت الطبقات أو الحواجز ذات مستويات عمودية بدلا من أفقية فيتم استخدام هذا الأسلوب من المسح لغرض اكتشاف الاختلافات الجانبية في مقاومية الأرض إلى عمق محدد. في طريقة شلمبرجر يبقى قطبي التيار ثابتين على مسافة كبيرة نسبيا (مئات قليلة من الأمتار) بينما يتم تحريك قطبا الجهد بمسافات ثابتة ومحددة على طول مسار المسح بين قطبي التيار C_2 ,C_1 وتحسب المقاومية الظاهرية من المعادلة لكل موقع من مواقع الجهد ثم في نهاية مسار المسح ينقل ترتيب شلمبرجر إلى الخط المجاور وهكذا، حتى يتم

تغطيــة المنطقــة كــاملا المســتهدفة بعمليــات المســح، فــي حالــة وجــود تغـايرات أفقيـة فـي المقاوميـة نحصـل علـى شـكل المنحنـي كمـا فـي الشـكل رقـم (5-9).



شكل رقم (5-9) منحني المسح الافقي في ترتيب شلمبرجر

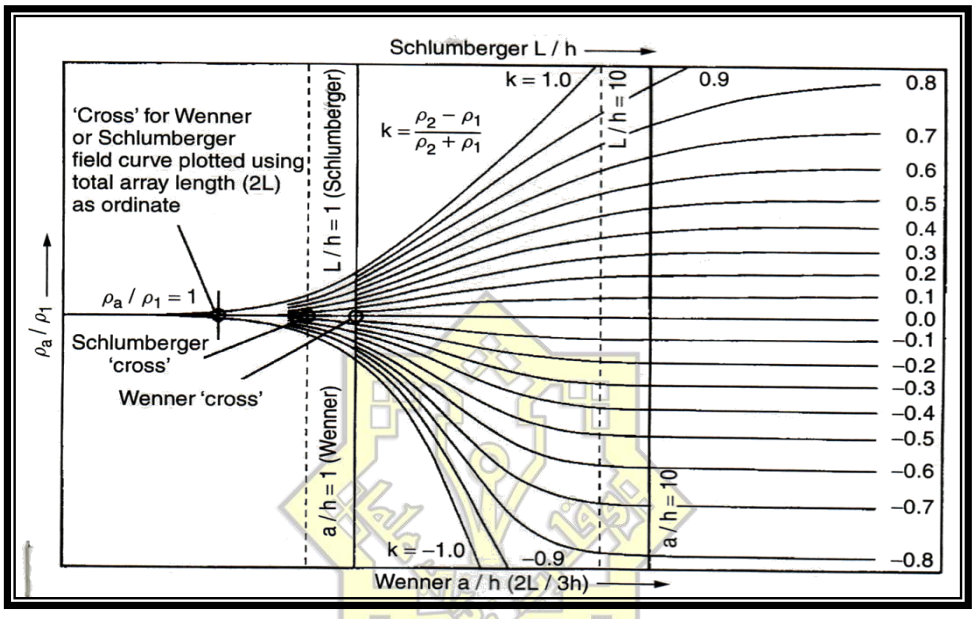
فـي حالـة اسـتخدام طريقـة فنـر للمسـح الكهربـائي الأفقـي بهـذه الحالـة يـتم تحريـك الأقطـاب الأربعـة بمسـافات محـددة (a)تتحـرك ككـل بخطـوات مناسـبة علـى طـول خـط مسـار المسـح. ان اختيـار المسـافة (a) يعتمـد علـى عمـق الظـاهرة أو التراكيـب الجيولوجيـة المسـببة للمقاوميـة الشـاذة المـراد استكشـافها حيـث يوضـح لنـا الشـكل (5-10) منحنيـات المقاوميـة الظاهريـة التـي تـم الحصـول عليهـا باسـتخدام طريقـة شـلمبرجر إلـى اليسـار وطريقـة فنـر إلـى اليمـين، تعتبـر الانحـدارات الحـادة فـي منحنـي المقاوميـة دلائـل مميـزة علـى وجـود تراكيـب لهـا حـواجز شـبه عموديـة مثـل الفوالـق، السـدود القاطعـة العـروق المعدنية.



شكل رقم (10-5) منحني المقاومية الظاهرية عبر حد تماس عمودي

المصدر:(Parasnis, 1984, P, 175)

التفسير الكمي لنتائج المسح الكهربائي تعتبر صعبة جدا بالمقارنة مع بقية الطرق الجيوفيزيائية الأخرى، حيث تحتاج إلى تحليلات رياضية معقدة. ولغرض إجراء حسابات لمعرفة سمك الطبقات يجب اللجوء في هذه الحالة إلى إجراء التفسير الكمي لها، الطريقة السريعة والسهلة المتبعة هي بواسطة استخدام منحنيات معيارية قياسية شكل رقم (11-5).



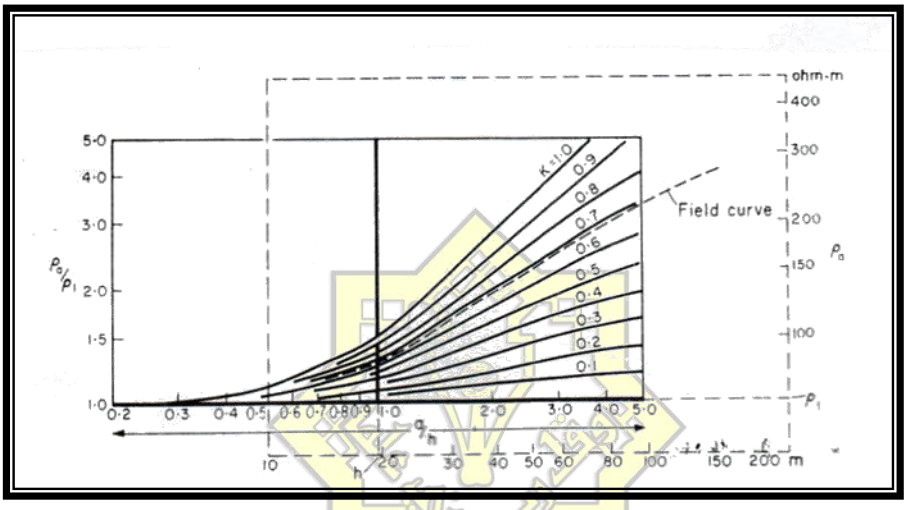
شكل رقم (11-5) المنحنيات القياسية للمقاومية إلى طبقتين لترتيب فنر وشلمبرجر

يكون تفسير النتائج لحالة طبقتين بنوعين في حالة إذا كانت $\rho_1 < \rho_2$ مثل الرواسب غير المتصلبة فوق صخور القاعدة أو في حالة $\rho_1 < \rho_2$ مثل الترسبات الرديئة التوصيل فوق طبقات الطين أو الرمال الأحسن توصيلا وفي أي من الحالتين يمكن إتباع الخطوات التالية لتفسير منحني فنر:-

1- نرسم منحني المقاومية الظاهرية المستحصل من العمل الحقلي على ورق شفاف ذو مقياس لوغاريتمي ثنائي حيث تكون ρ_a في المحور الصادي والمسافة a على المحور السيني.

نجري مطابقة أو مظاهات للمنحني الحقلي على مجاميع المنحنيات القياسية شكل (11-5) وتكون المجموعة العليا لحالة $\rho_1 < \rho_2$ والمجموعة السفلى لحالة $\rho_1 > \rho_2$، نحرك المنحني يمينا ويسارا مع المحافظة على جعل المحورين السيني والصادي يتوازيان مع محوري

المنحنيات القياسية حتى يمكن الحصول على تطابق جيد شكل (12-5).



شكل رقم (12-5) مضاهات المنحني الحقلي مع المنحنيات القياسية

المصدر : (Griffiths, 1981, p: 94)

وفي حالة وجود المنحني الحقلي بين المنحنيات القياسية يتم حساب قيمته التقريبية من قيم المنحنيات المجاورة له بطريقة الاستيفاء Interpolation.

2-تحديد نقطة التقاطع أو نقطة الأصل للمنحنيات القياسية النظري التي تكون عندها تكون $(\frac{a}{\rho_1} = \frac{a}{h} = 1)$

وهذه النقطة تقابل نقطة على المنحني الحقلي التي نستطيع منها قراءة القيمة الحقيقية إلى مقاومية الطبقة العليا ρ_1 والعمق للطبقة الأولى h_1.

وحسب الشكل رقم (12-5) فان $h = 19.5m$ وقيمة $_1 = 68\ \Omega m$.

4-تحسب قيمة k للمنحني الحقلي من خلال عملية المضاهات مع المنحنيات القياسية والتي تساوي تقريبا (0.7) .

5-باستخدام العلاقة التالية، يمكن حساب المقاومية ρ_2 للطبقة الثانية :

$$K = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)} = 385\ \Omega m$$

أو كما في العلاقة التالية:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(1+K)}{(1-K)} = 385\ \Omega m$$

عند الحصول على منحني للمقاومة الظاهرية (ρ_a) باستخدام طريقة شلمبرجر فان عملية التفسير ستكون نفسها على الرغم من ان تطابق المنحني ينبغي عمله بمجموعة من منحنيات شلمبرجر القياسية. إن مسألة تفسير المنحنيات الثلاثية الطبقة هي اعقد من ثنائية الطبقة بسبب ازدياد عدد المتغيرات $(h_1, h_2, \rho_1, \rho_2, \rho_3)$، مع تباعد أقطاب التيار كثيرا فان التيار الكهربائي سيدخل الطبقة الثالثة وبذلك تكون ρ_a تقترب من مقاومية الطبقة الثالثة ρ_3 .

على العكس من التأثيرات التي تظهر في منحنيات الطبقات الأفقية فان تأثيرات التراكيب العمودية مثل الشقوق، الفوالق والعروق تكون جانبية وان تأثير هذه التراكيب يظهر في منحنيات المقاومية على شكل انقطاعات مفاجئة في ميل هذه المنحنيات شكل (92-3)، ان الفالق يمثل حد تماس بين وسطين مختلفين في المقاومية وان الانقطاع يكون واضحا في المسح الحقلي كانحدار حاد في منحني المقاومية بالإضافة إلى عدم التجانسات في التربة العليا تظهر على شكل انحناءات حادة في منحني المقاومية.

انواع المنحنيات الثلاثية الطبقة:

هناك رموز تم تسميتها لانواع المنحنيات اعتمادا على التغير في المقاومة النوعية للطبقات الصخرية وهي كما يلي:

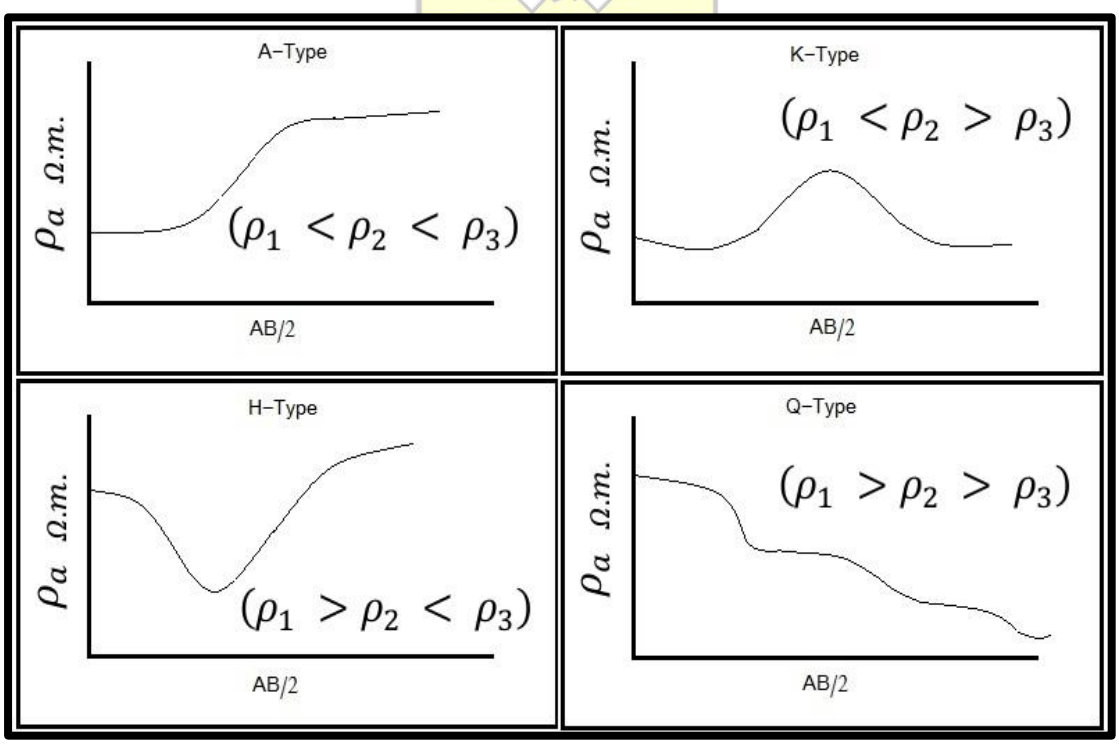
A. منحني نوع (A – Type) اذا كانت $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

B. منحني نوع (H – Type) اذا كانت $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$

C. منحني نوع (K – Type) اذا كانت $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$

D. منحني نوع (Q –Type) اذا كانت $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

انواع المنحنيات اعلاه كما موضحة في الشكل رقم (13–5).



شكل (13–5) انواع منحنيات التغاير في المقاومة النوعية

طرق تفسير منحنيات المقاومة النوعية :

1- طريقة النقطة المساعدة Auxiliary point method

وهي عبارة عن طريقة بيانية يمكن بواسطتها تفسير المنحنيات الحقلية المتعددة الطبقات عن طريق استخدام المنحنيات النظرية القياسية ثنائية وثلاثية الطبقة مع الاعتماد على المخططات البيانية المساعدة Auxiliary Graph للانواع الاربعة والتي هي (A, Q, K, H) . تتضمن هذه الطريقة استعمال التطابق الجزئي للمنحني Partial Curve Matching وهذا يؤدي الى انخفاض الدقة مع زيادة عدد الطبقات التي يمكن تفسيرها. اساس هذه الطريقة يعتمد على تقليل عدد طبقات المنحني الحقلي خلال التفسير ، اي بكلام اخر يتم باستخدام هذه الطريقة الى توحيد طبقتين او اكثر واختزالها الى طبقة واحدة ذات مقاومة نوعية مفترضة (Fictitious Resistivity) وكذلك سمك مفترض (Fictitious Thickness) وحسب الخطوات الخاصة باستخدام هذه الطريقة التي لم تذكر هنا ، لكونها طويلة ومعقدة وللمزيد من التفاصيل يمكن مراجعة المصادر التي تتناول هذه الطريقة بالتفصيل مثل (Keller,et.al.,1970) و (Koefoed,1979)).

وتستخدم هذه الطريقة في تفسير نوعين من المنحنيات هي (H , A) وكما جاء في Orellana,1966 وتعتمد على المقاومة النوعية لاعمق طبقة والتوصيل الطولي.

2- طريقة إبرت Ebert Procedure:

يمكن باستخدام طريقة ابرت من تفسير المنحنيات الحقلية الثلاثية الطبقة من خلال استخدام المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة فضلا عن امكانية استعمال المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة في تفسير جميع انواع المنحنيات الحقلية الرباعية والخماسية الطبقة باستخدام اربعة مخططات بيانية مساعدة للانواع الاربعة (K,Q,A,H) ، وتقلل هذه الطريقة عدد الطبقات التي تمثل المنحني الحقلي حيث تعوض عن الطبقة الاولى والثانية بطبقة مفترضة (Fictitious Layer) ، السمك والمقاومة النوعية للطبقة المفترضة تمثل الاحداثي الافقي والعمودي الى (cross-2-) على التوالي وحسب الخطوات التالية:

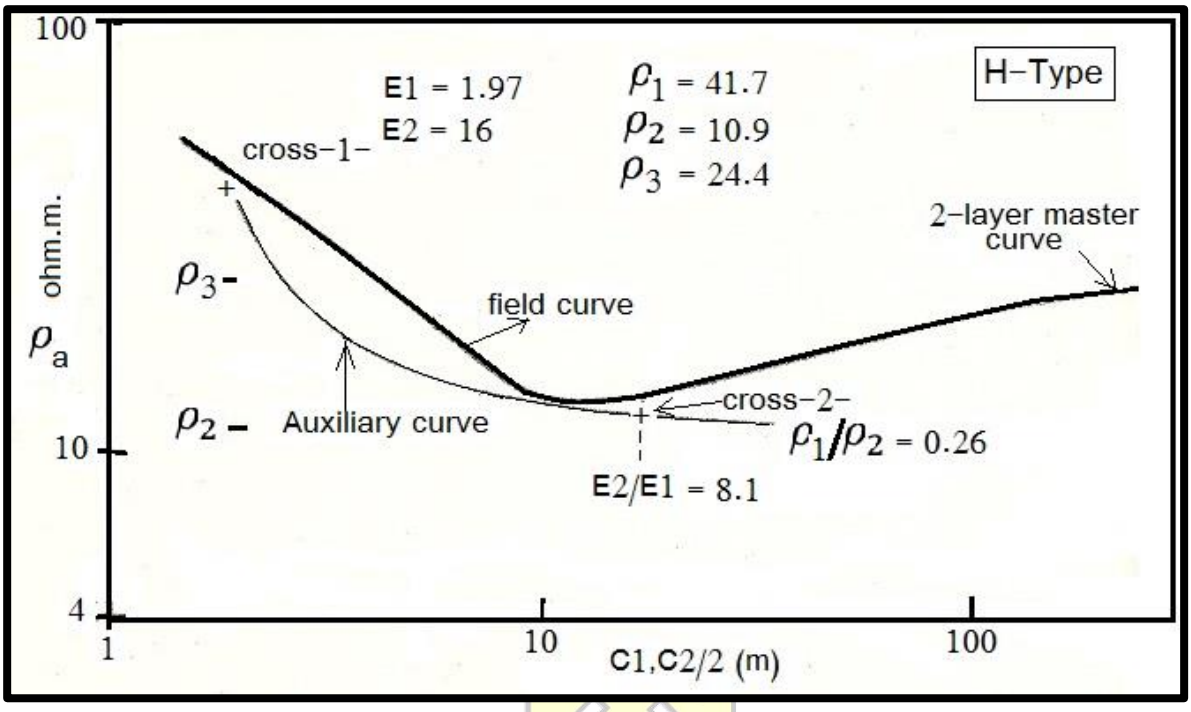
1. يعين نوع المنحني الحقلي، ويحدد نوع المخطط المساعد الملائم لها.
2. يطابق الجزء الايسر للمنحني الحقلي مع المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة ، وتوضع علامة
(cross-1-) والتي تشير الى المركز الاحداثي للمنحنيات ثنائية الطبقة وعلامة الى (ρ_2) ، وتعين النسبة(ρ_2/ρ_1).
3. نجد قيمة (E1) و (ρ_1)للطبقة الاولى، حيث تمثل على التوالي الاحداث الافقي والعمودي الى (cross-1-) ، اما قيمة (ρ_2) فتعين من العلامة الى (ρ_2) أو من النسبة (ρ_2/ρ_1).

توضع الورقة اللوغارتمية الشفافة للمنحني الحقلي على ورقة المخطط المساعد بحيث تكون المحاور متعامدة. بالنسبة الى النوعين من المنحنيات

التي هي (Q) و (H) توضع العلامة (cros−1−) على المركز الاحداثي للمخطط المساعد. اما في حالة النوعين (A) و (K) فتوضع العلامة (cross− 1−) على المحور العمودي للمخطط المساعد في موقع عمودي والذي يساوي القيمة (ρ_2/ρ_1).

4. يتم اختيار المنحني المساعد (Auxiliary Curve) الذي يقابل القيمة(ρ_2/ρ_1) ، ويرسم هذا المنحني على الورقة الشفافة للمنحني الحقلي من العلامة (cross−1−).
5. توضع الورقة الشفافة للمنحني الحقلي على ورقة المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة، بحيث يقع المركز الاحداثي للمنحنيات النظرية على المنحني المساعد، ثم يتم تحريك الورقتان الى ان يتطابق الجزء الايمن من المنحني الحقلي مع احد المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة.
6. توضع علامة (cross−2−) على الورقة الشفافة للمنحني الحقلي والتي تشير الى المركز الاحداثي للمنحنيات النظرية ، وعلامة للمقاومة النوعية تعطي القيمة (ρ_3).

توضع ورقة المنحني الحقلي مرة اخرى على ورقة المخطط المساعد بحيث تكون العلامة (cross−1−) في نفس الموقع كما في الخطوة (4). من هذه الحالة سوف تقع العلامة (cross−2−) على او بالقرب من احد الخطوط المتقطعة (Dashed Line) التي تمثل النسبة (E_2/E_1)، لذلك يمكن حساب قيمة (E2). الشكل رقم (14−5) يوضح هذه الخطوات.



شكل (14-5) تفسير المنحنيات ثلاثية الطبقة باستعمال المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة (طريقة ابرت)

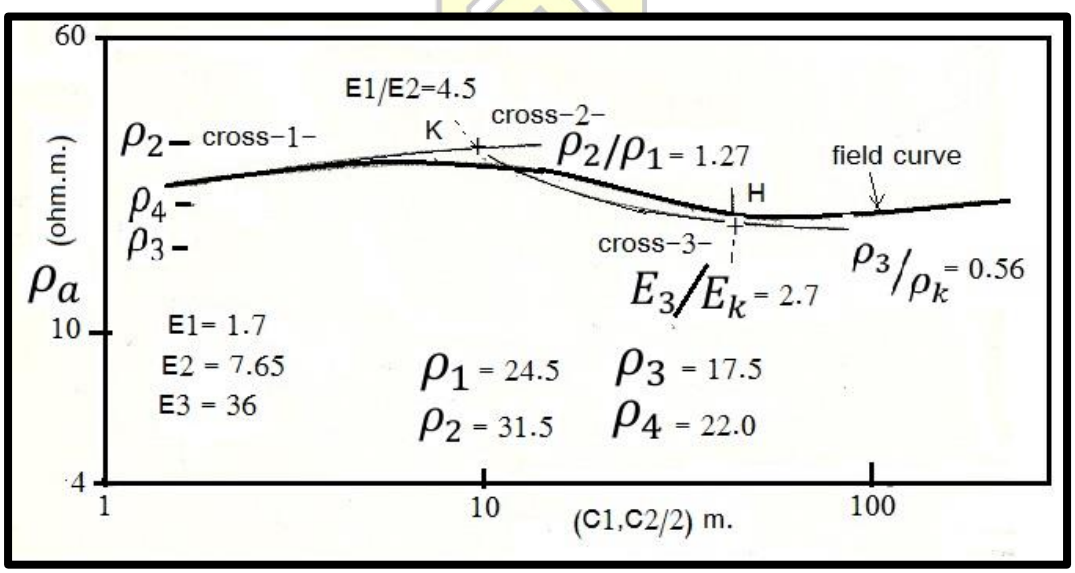
يمكن استعمال المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة لتفسير جميع انواع المنحنيات الحقلية الرباعية والخماسية الطبقة بالاعتماد على طريقة ابرت Ebert التي تستعمل كذلك لتفسير المنحنيات ثلاثية الطبقة وكما في الخطوات التالية:

1. تتبع الخطوات من (1 – 8) المذكورة في اعلاه حيث يمكن الحصول من هذه الخطوات على قيم (E1), (E2) ، (ρ_1) ، (ρ_2) و (ρ_3).

نوجد الاحداثي الافقي والعمودي الى (cross-2-) في ورقة المنحني الحقلي ، حيث تمثل سمك وعمق الطبقة المفترضة على التوالي.

2. لغرض ايجاد (cross–3–) نحتاج لنسبة تساوي المقاومة النوعية للطبقة الثالثة الى الاحداثي العمودي للعلامة (cross–2–) وتستعمل هذه النسبة بدل النسبة (ρ_2/ρ_1).

3. يمكن تكرار الخطوات من (5 – 8) المذكورة في اعلاه وذلك للحصول على قيمة تساوي سمك الطبقة الثالثة (E2) الى الاحداثي الافقي للعلامة (cross–2–) ، وتحسب قيمة (E2) بالاعتماد على هذه النسبة، اما قيمة المقاومة (ρ_4) فيمكن ايجادها بعد تطابق الجزء الاخير من المنحني الحقلي مع المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة ، والتي تمثل قيمة العلامة الى (ρ_2). كما موضحة في الشكل (5–15). ويمكن استعمال هذه الطريقة في تفسير جميع انواع المنحنيات المتعددة الطبقات بتكرار نفس الخطوات اعلاه.



شكل (5–15) تفسير المنحنيات رباعية الطبقة باستعمال المنحنيات النظرية ثنائية الطبقة (طريقة ابرت)

3- طريقة اوريلانا Orellana method

يستخدم مبدأ التطابق الكامل للمنحني Complete curve match في التفسير الذي يعتمد على اجراء مقارنة بين المنحنيات الحقلية مع المنحنيات النظرية القياسية المسمات بمنحنيات اوريلان و موني وبعدها يتم تحديد نوعية وعدد الطبقات الى كل منحني ثم ايجاد السمك والمقاومة النوعية للطبقات .

3-طريقة المقاومية التراكمية أو تسمى كذلك طريقة مور التراكمية Moor Cumulative Method :

طريقة المقاومية الكهربائية تتضمن الحصول او استنباط المعلومات التحت سطحية من القراءات السطحية للجهد الكهربائي او مقاومية الطبقات الصخرية لمرور التيار الكهربائي. الهدف منها هو معرفة وتعيين التراكيب او الظواهر الجيولوجية التحت سطحية مثل طبقات التربة او الصخور من خلال معرفة مستوى المياه الجوفية (water Table) ، او معرفة ترسبات الحصى والرمال او موقع انطقة الكسور والفوالق.

تقوم هذه الطريقة على حقيقة ان المقاومية الكهربائية للمواد الارضية التحت سطحية تقل مع زيادة قيمة كل من:

- محتوى الرطوبة Moisture Content
- الملوحة او الايونات الحرة Salinity

من خلال القراءات المستحصلة عن المقاومية الكهربائية (ρ_a) حيث تتغير مع تغير المسافات الفاصلة (a) بين الاقطاب الكهربائية والتي يمكن من خلالها معرفة اة حساب العمق الى الطبقات الصخرية التي توجد بينهما سطوح فاصلة. يمكن التحقق ومعرفة العمق الى الطبقات الصخرية عند اجراء عملية معايرة للقراءات المستحصلة في احدى المواقع مع العمق للطبقات التي تم معرفة عمقها مسبقا. تعتبر طريقة مور من الطرق الناجحة والفعالة في حساب السمك الى طبقة الغطاء الصخري Overburden فضلا عن تحديد سمك طبقة التربة في حالة انشاء الطرق السريعة ومولقع السدود والخزانات.

4-طريقة المقاومية الكهربائية باستخدام منحنيات تاك Tagg's Method:

باستخدام طريقة تاك Tagg's method يمكن تعيين العمق الى الطبقة الصخرية العليا مع امكانية تعيين المقاومية الكهربائية للطبقة السفلى بصورة سريعة ودقيقة، حيث تستخدم هذه الطريقة في حالة وجود طبقتين صخريتين فقط. طريقة الحل يمكن ايجازها بالنقاط التالية:

1) رسم منحني المقاومية النوعية الظاهرية مع المسافة ، لمعرفة فيما اذا كان المنحني من نوع الطبقتين.
2) يتم اجراء سلسلة من الحسابات الى (ρ_a/ρ_1) أو (ρ_1/ρ_a) لكل قيمة.

3) يتم رسم عدة منحنيات بين قيمة (K) و (h) ، هذه المنحنيات تتقاطع في نقطة معينة .

4) من نقطة تقاطع المنحنيات ، يتم انزال عمود على المحور السيني الذي يمثل العمق الى سطح الطبقة الثانية. قيمة (K) على المحور الصادي تمثل قيمة معامل الانعكاس التي يتم من خلالها تعيين قيمة المقاومية للطبقة السفلى.

حيث ان :

$\boldsymbol{K} = \left(\frac{\boldsymbol{\rho_2 - \rho_1}}{\boldsymbol{\rho_2 + \rho_1}}\right)$ يمكن باستخدام هذه العلاقة حساب المقاومية الى الطبقة السفلى .....

حيث ان:

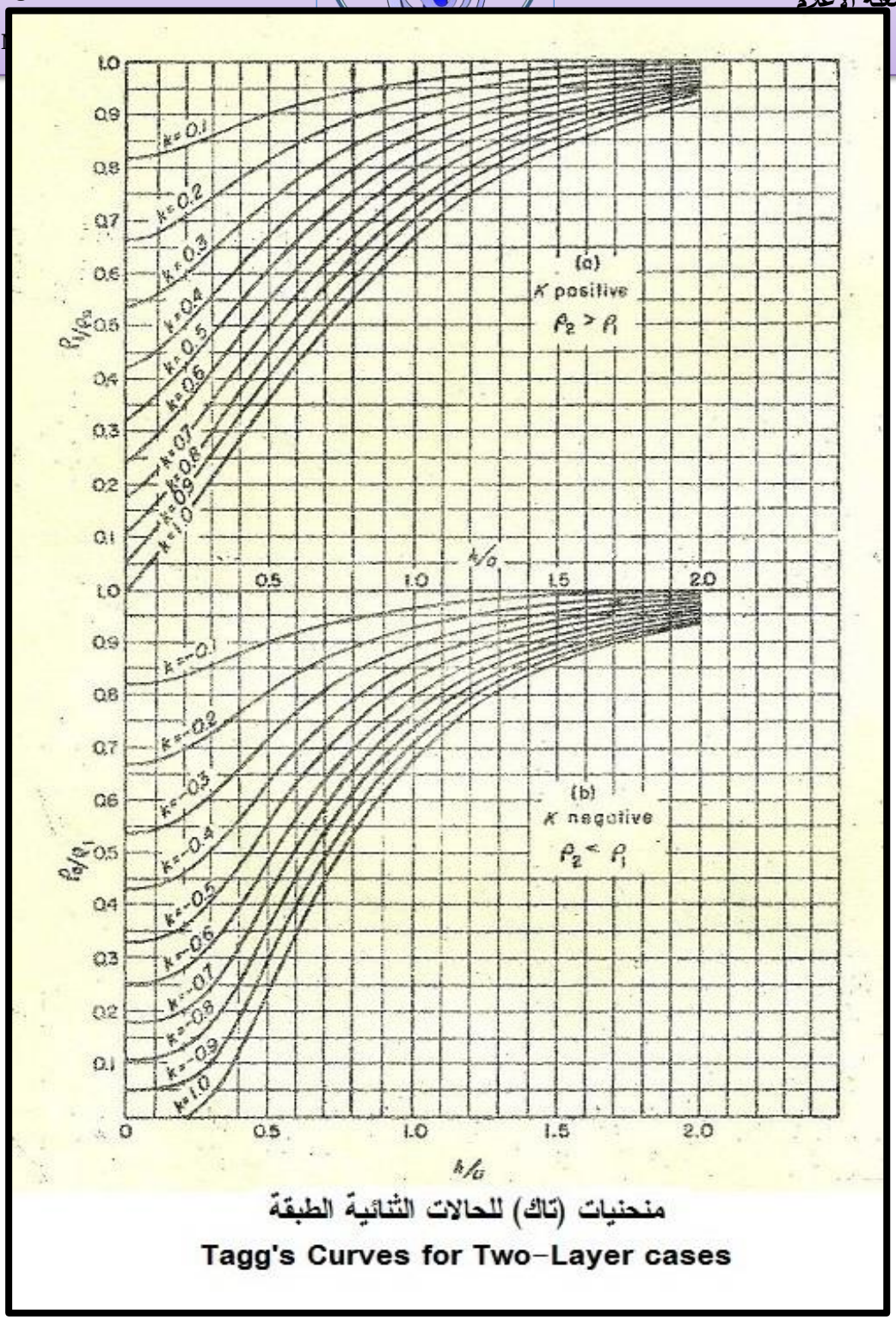
H = العمق الى الطبقة العليا

K = ثابت يتم الحصول عليه من المنحنيات القياسية

a= المسافة الفاصلة بين الاقطاب

ρ_1 = المقاومية الحقيقية للطبقة العليا

ρ_a = المقاومية الظاهرية للطبقة السفلى



منحنيات (تاك) للحالات الثنائية الطبقة

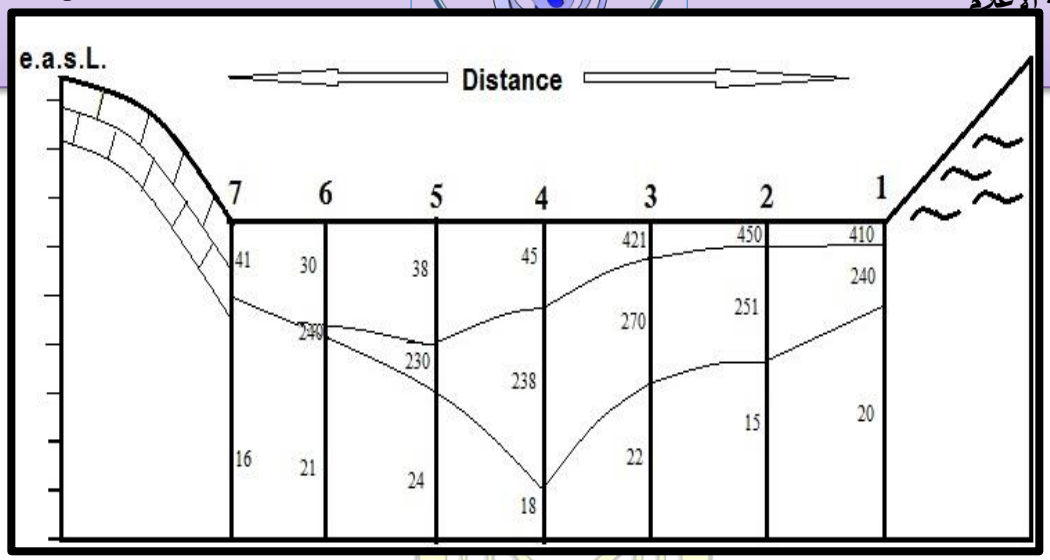
Tagg's Curves for Two-Layer cases

شكل1 (16-5) منحنيات تاك القياسية

5- المقاطع الجيوكهربائية Geoelectrical Section

تتالف المقاطع الجيوكهربائية من تتابع لانطقة افقية (zones) وكل نطاق له سمك محدد ومقاومة نوعية معينة، ولاغراض عديدة يعبر عن جيولوجية تحت السطح بواسطة المقاطع الجيوكهربائية ، وتعتبر (VES) افضل طريقة لرسم هذه المقاطع الممثلة باتجاهين ، حيث يكون الاتجاه العمودي ممثلا لسمك الانطقة. اما الاتجاه الافقي فيمثل المسافة بين محطات الجس ، ويمكن ان يمثل النطاق الكهربائي مجموعة من الطبقات ذات مقاومة نوعية متقاربة لايمكن التمييز بينهما عند تفسير المنحنيات الحقلية.

يمكن تفسير النتائج على شكل مقاطع جيوكهربائية حيث تتالف المقاطع الجيوكهربائية من تتابع لانطقة افقية (zones) وكل نطاق له سمك محدد ومقاومة نوعية معينة، ولاغراض عديدة يعبر عن جيولوجية تحت السطح بواسطة المقاطع الجيوكهربائية ، ويعتبر (VES) افضل طريقة لرسم هذه المقاطع الممثلة باتجاهين ، حيث يكون الاتجاه العمودي ممثلا لسمك الانطقة. اما الاتجاه الافقي فيمثل المسافة بين محطات الجس ، ويمكن ان يمثل النطاق الكهربائي مجموعة من الطبقات ذات مقاومة نوعية متقاربة لايمكن التمييز بينهما عند تفسير المنحنيات الحقلية، شكل رقم (5 – 17).



شكل (5- 17) المقطع الجيوكهربائي

تقنيات المقاومة الكهربائية Electrical resistivity techniques

هناك عدة تقنيات تستعمل في القياسات للمقاومة الكهربائية ، وان اختيار التقنية المفضلة يعتمد على نوع المشكلة والهدف من الدراسة . ومن هذه التقنيات :

1- المسح الافقي Constant Separation Traverse (CST) or Profiling

في هذه التقنية يتم تحريك الاقطاب مرة واحدة بثبات المسافة بينها بعد كل قراءة او قياس المقاومة على طول المسار ولعمق ثابت بالاعتماد على المسافة بين الاقطاب وكلما زادت المسافة كلما ازداد عمق الاختراق للتيار. يمكن استعمال كل انواع الاقطاب وخاصة في طريقة فينر و ثنائيالقطب–ثنائي القطب لاعطاء معلومات عن التغيرات الجانبية

العمودية للمقاومة. ان التفسيرات المستخدمة هنا تكون نوعية لهذه التقنية .

2-الجس الكهربائي العمودي Vertical Electrical Sounding (VES)

في هذه التقنية نبقي اقطاب الجهد ثابته ونحرك اقطاب التيار بازدياد المسافة الى الخارج للحصول على تغير المقاومة مع العمق . يستخدم ترتيب شلمبرجر بصورة رئيسية لانها تعطي سيطرة اكثر على تغيرات المقاومة الجانبية الملاصقة لاقطاب الجهد. تستعمل هذه التقنية في دراسة المياه الجوفية والدراسات الهندسية الضحلة. هذه التقنية تعطي معلومات حول التغيرات العمودية في المقاومة الظاهرية لتحت السطح ، ولايمكن تحديد التغيرات الجانبية في المقاومة . التفسيرات للنتائج هنا تكون كمية ونوعية .

3-المقطع الكاذب Pseudo-section

تستخدم كلا التقنيات اعلاه (VES , CST) في هذه التقنية ، لتحديد التغيرات العمودية والجانبية للمقاومة الكهربائية الظاهرية للتراكيب التحت سطحية ورسمها في نفس الوقت لاظهار المقطع الكاذب . ان القياس يكون ممثلا للنقطة الوسطية بين الاقطاب لجعل القياسات خطية . ان القياس العمودي يمثل دالة العمق ويعتمد على المسافة بين الاقطاب لكل

نشرة (array) أو ترتيب . يكون التفسير نوعيا للمقطع الكاذب وليس

صورة تقريبية وليست صورة حقيقية لتوزيع المقاومة تحت السطح .

4-صورة ثنائية البعد 2D Imaging

ان عمل صورة ثنائية البعد عن تغير المقاومة جانبيا وعموديا على طول خط مسار المسح يستدعي استخدام عدد كبير من الاقطاب تزيد على 20 قطب مرتبطة باكثر من قابلو الى حاسبة في دائرة الكترونية . ان عملية التفسير تكون تفسيرا كميا وتجري اوتوماتيكيا باستخدام برنامج حاسوبي . ان انتظار الجهاز لقراءة نتائج المقاومة تأخذ وقتا طويلا . ان معلومات المقاومة المسجلة ترسم مقطع كاذب للمقاومة الظاهرية تحت خط المسح والذي يحول فيما بعد الى مقطع عمق حقيقي . عمق الاختراق يعتمد على المسافة الفاصلة بين الاقطاب كلما زادت هذه المسافة ازداد العمق .

5-الجس الازيموثي Azimuthal Sounding

ويدعى ايضا بتقنية الجس المتقاطع وهو طريقة محورة لطريقة المقاومة حيث القيمة والاتجاه لعدم التناظر (عدم التماثل) الكهربائي electrical anisotropy والذي يمكن تحديده .

تقتضي هذه الطريقة تدوير (rotate) نشر الاقطاب حول مركزها لاظهار المقاومة الظاهرية في عدة اجاهات . تتميز هذه التقنية ايضا بانها تكون اكثر حساسية للتغيرات التحت سطحية كالتكسرات المنتظمة الاتجاه .

يكون خط المسح عمودي على التكسرات المليئة بالمياه لتعطي مقاومة عالية لمعرفة اتجاه التكسرات .

الغموض في طريقة المقاومة الكهربائية Ambiquties in electrical resistivity:

كما في معظم الطرق الجيوفيزيائية الاخرى فان الغموض في تفسيرات المقاومة الكهربائية يتوضح في المبادىء التالية :

أ- مبدأ التكافؤ Principle of equivalence

ان هذا المبدأ يعني تطابق المنحني الحقلي مع اكثر من منحني قياسي أو بمعنى اخر ان عدة مقاطع لعدة طبقات مختلفة لها مقاومة وسمك تعطي تقريبا نفس المنحني الحقلي . وعليه فان علاقات معينة للسمك والمقاومة للطبقة الوسطية لاتعطي اي تغيير ملحوظ في شكل منحنيات الجس . في مثل هذه الحالات فمن غير الممكن التمييز بين هذين النوعين من الطبقات المختلفة ، لذا فان امكانية الخطأ وارد في التفسير لهذه المقاطع .لهذا ولاي منحني للجس هناك مدى لقيم السمك والمقاومة للطبقة الوسطية من دون حدوث تغيير في شكل المنحني للجس عندما تكون نسبة التوصيلية الطولية(التي هي حاصل قسمة سمك الطبقة على مقاومتها) ثابتة للمنحنيات ذات النوع A,H . ونكون نسبة قيم المقاومة المستعرضة (التي حاصل ضرب مقاومة الطبقة الحقيقية بسمكها) ثابتة للمنحنيات ذات الانواع K,Q .

ولعلاج هذا الغموض يمكن استعمال نفس الخطوات للعاني 1983 في استعمال المنحنيات القياسية الاربعة(A,H,K,Q) ولكل نوع منها .

ب- مبدأ الاخماد Principle of Suppression

ان هذا المبدأ هو النوع الاخر الذي يصاحب الغموض في تفسيرات المقاومة الكهربائية في المنحنيات الحقلية ، ويتعلق هذا المبدأ بوجود طبقات أعلى واسفل منها . يكون تأثير هذه الطبقات واضحا عند زيادة السمك بينما يبقى الغموض في حالة السمك النسبي القليل بسبب عدم التغير في شكل المنحني . يظهر تأثير هذا المبدأ في دراسة المياه الجوفية . مثلا سيكون تحديد عمق المياه الجوفية غير دقيق عندما تكون هناك طبقة نحيفة من الترسبات النهرية الرطبة بين ترسبات نهرية جافة وتحتها طبقة حاوية للمياه الجوفية ولها توصيلية عالية (مقاومة قليلة). أو طبقة لها مقاومةعالية وعندما تندمج مع طبقة اخرى وتظهر الطبقتان كطبقة واحدة .

مصادر الضوضاء في قياسات المقاومة الكهربائية

هناك مصادر عديدة للضوضاء المؤثرة في قياسات المقاومة الكهربائية منها :

باطن الارض . ان جريان هذه التيارات في باطن الارض يولد فرق جهد يقاس عبر أقطاب الجهد حتى ولم لم يكن تيار عبر أقطاب التيار .

2-وجود اجسام موصلة بالقرب من خط المسح Presence of nearby conductors تقوم هذه الاجسام بامرار التيار عبرها دون مروره عبر الارض المحيطة بها ، مثال: انابيب مدفونة او سياج حديدي مدفون .

3-وجود طبقة قليلة المقاومة قريبة من السطح قرب الاقطاب بحيث تمنع من مرور التيار الى اعماق الارض ، مثال: وجود مستوى ماء لطبقة جاثمة قرب السطح تمنع مرور التيار الى الاعماق .

4-الوضع الجيولوجي والطوبوغرافي قرب الاقطاب . اي تغييرات او اختلافات في جيولوجية وطوبوغرافية او المحتوى المائي الموقعي حول الاقطاب يكون له تاثير كبير على القياسات ويتجمع التيار او يتركز في الوديان واختفاؤه في المرتفعات .

5-الحث الكهربائي في الاسلاك والقابلوات، حيث بتولد تيار محتث عند سريان التيار في الاسلاك التي تربط الفولتية مع اقطاب الجهد وتحدث ضوضاء في القراءات ، لذا يجب ابعاد الاسلاك للتيار عن اسلاك الجهد وعدم تقاطعها .

عرض نتائج المقاومة الكهربائية

يتم عرض نتائج المسوحات للمقاومة الكهربائية باحدى الطرق التالية:

1-اما على شكل مسارات Profiles بسيطة ، فحص اولي للموقع للحصول على فكرة سريعة .

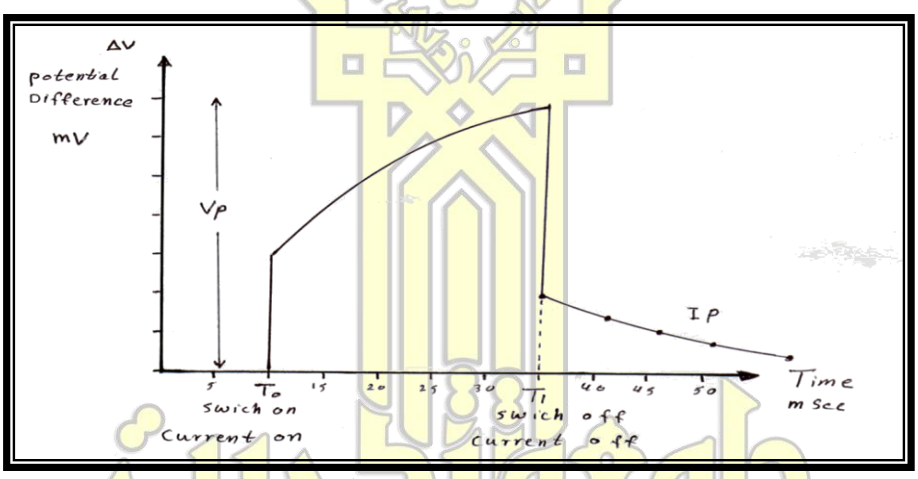
2-أو الخارطة الكنتورية Contour map ، تعيين المواقع .

3-أو الرموز Symboles ، بالالوان. الفاتحة والغامقة للقيم الكبيرة والقليلة .

مقارنة بين محاسن و مساوئ الطرق الرئيسية لمسح المقاومة الجيوكهربائية

طريقة المسح والقياس	المحاسن	المساوئ
فينر wenner	1- سهولة قياس المقاومة الظاهرية في الحقل. 2- لاتحتاج الى أجهزة حساسة	1-تحريك جميع الاقطاب عند كل نقطة قياس. 2-تكون حساسة للتغييرات الموقعية الضحلة. 3-تحتاج اسلاك طويلة للاعماق الكبيرة.
شلمبرجر Schlumberge	1-تحريك اقطاب قليلة عند كل نقطة قياس . 2-تحتاج اسلاك قصيرة للجهد.	1-تكون مربكة في الحقل. 2-تحتاج الى أجهزة حساسة. 3-تحتاج الى أسلاك تيار طويلة.
ثنائي القطب-ثنائي القطب Dipole-Dipole	الحاجة الى أسلاك قصيرة للجس العميق .	1-تتطلب تيار كبير . 2-تتطلب أجهزة حساسة.

يتم بواسطة إرسال تيار كهربائي عبر أقطاب التيار إلى الأرض وذلك يؤدي إلى ظهور جهد فولتائي بين أقطاب الجهد، ثم ملاحظة انه عندما يتم قطع التيار الكهربائي فان الجهد الفولتائي لا تصبح قيمته صفر مباشرة ولكنها تبقى لبعض الوقت تتحلل وتتناقص تدريجيا إلى ان تصل إلى درجة الصفر. وبالعكس فان قراءة الجهد الفولتائي بين أقطاب الجهد لا تصل إلى الحد الأعلى مباشرة بعد فتح التيار ولكنه يبدأ بالزيادة سريعا نحو القراءة الأعلى للجهد ثم يستمر بالزيادة التدريجية نحو اعلى قراءة (قمة القراءة) يمكن الحصول عليها شكل (18-5).



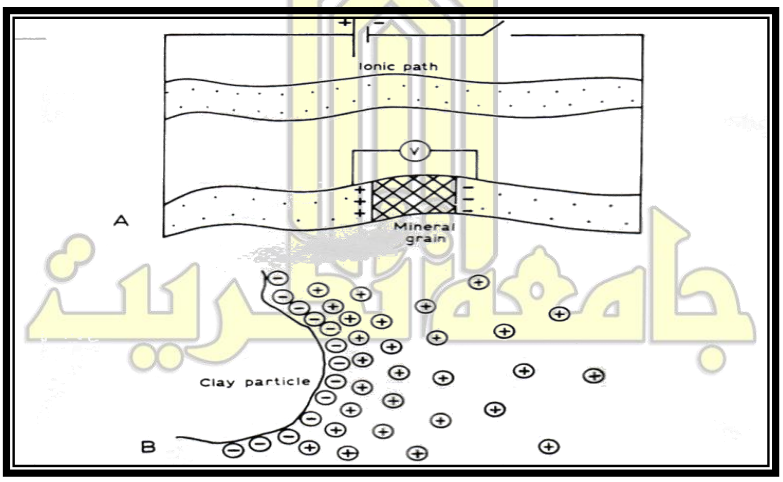
شكل رقم (18-5) منحني التحلل الفولتائي

إن ظاهرة حصول الحث القطبية IP (ميكانيكية ظهورها) تعود إلى وجود تأثيرين هما:-

Electrode polarization over voltage

1 ظاهرة الاستقطاب القطبي

إن سريان التيار الكهربائي في الأرض يتم عادة بواسطة الايونات في حالة وجود محاليل الكتروليتية في مسامات الصخور أو بواسطة الكترونات في حالة وجود الصخور الصلبة. ان اكثر الصخور الحاملة للمعادن يتم استقطابها عند مرور التيار الكهربائي خلالها حيث تميل الايونات الموجبة إلى التجمع على سطح جزيئات المعادن من المحاليل الالكتروليتية من جهة دخول التيار الكهربائي والشحنات أو الايونات السالبة تميل إلى التجمع على السطح المقابل لها من جهة خروج التيار الكهربائي، هذا الترتيب يؤدي إلى ظهور فرق جهد فولتائي على سطح الجزيئات الملامس للمحاليل وتقاوم سريان التيار الكهربائي حيث يقال عنها عندئذ انها مستقطبة كما نلاحظه في الشكل (5-19 a).



الشكل رقم (5-19) (a) ظاهرة الاستقطاب القطبي (b) الاستقطاب السطحي

المصدر: (Parasnis, 1984, p: 205)

عندما يتم قطع التيار الكهربائي فان فرق الجهد الفولتائي المستمر بالوجود عبر هذه الجزيئات بسبب من وجود هذه الأواصر الأيونية والتي تبدأ بالتناقص تدريجيا إلى أن تتلاشى (وهذا هو تأثير القطبية المحتثة). هذه الحالة تحصل في حالة وجود معدن البايرايت، جالكوبايرايت، كرافايت، كالينا وماكنيتايت.

2-الاستقطاب السطحي

Membranes Polarization or Electrolytic Polarization

يعود سبب وجود هذه الظاهرة إلى تواجد لجزيئات الطين خاصة عندما تكون الصخور الطينية ذات المسامات الصغيرة. ان سطح جزيئات الطين تمتلك شحنات سالبة ولهذا فهي تجذب الشحنات الموجبة نحوها المتكونة في المحاليل الالكتروليتية الموجودة في مسامات الطين شكل (5-19 b). هذه الظاهرة تؤدي إلى حصول سطح مستقطب تتجمع على طرفيه الشحنات الموجبة والطرف الآخر الشحنات السالبة، هذه الشحنات تعيق حركة الشحنات الأخرى المشابهة لها وتتأثر بعيدا، عندما نمرر تيار كهربائي خلال هذه الجزيئات فان الشحنات الموجبة تعيد ترتيب نفسها مع الايونات الموجبة التي تحل محلها وتسبب إعاقة واضطراب لمرور التيار الكهربائي، عندما يتم قطع لتيار الكهربائي فان الايونات تعيد ترتيب نفسها إلى الحالة السابقة وتتحلل تدريجيا مسببة وجود فرق جهد فولتائي يظهر بعد قطع التيار ويتلاشى شيئا فشيئا نحو الصفر.

ظاهرة الاستقطاب القطبي بالإضافة إلى ظاهرة الاستقطاب السطحي أو الغشائي هي ظاهرة سطحية لذلك فان تأثير القطبية

سيكون كبيرا فيما لو كان الخام الفلزي أو الطين مبعثرا بدلا من كونه متماسكا.

يتم إجراء قياسات القطبية المحتثة بطريقتين هما:-

أ- طريقة مجال الزمن Time Domain – في هذه الطريقة يتم إرسال تيار كهربائي مباشر (مستمر) إلى الأرض ومن ثم يتم ملاحظة تحلل الفولتية بين أقطاب الجهد بعد قطع التيار الكهربائي مباشرة. يعبر عن مقدار IP بالعلاقة V_o / V_t حيث ان V_t هي الفولتية المتبقية عند الزمن t بعد توقف التيار و V_oهي الفولتية التي كانت موجودة عند انسياب التيار ويعبر عن هذه النسبة V_o / V_t بالملي فولت / فولت أو كنسبة مئوية

$$IP\% = 100\ (V_t / V_o)$$

طريقة مجال التردد Frequency Domain في هذه الطريقة يتم قياس أو تعيين التغايرات أو الاختلافات في المقاومية الظاهرية للأرض مع ترددات التيار الكهربائي المرسل. عند إمرار تيار كهربائي متناوب إلى الأرض، فان النسبة المقاسة للفولتية إلى التيار تصبح ممانعة بدلا من مقاومة، وستعتمد الممانعة الفعالة ومقاوميه الأرض على تردد (تذبذب) التيار المتناوب (AC). اذا كانت ρ_{dc} و ρ_{ac} هما المقاوميتين الظاهريتين المقاستين بالتيار المباشر والمتناوب على التوالي فان تأثير التردد النسبي والمسمى مختصرا

$$PEE = \frac{100\ x\ (\rho_{dc} - \rho_{ac})}{\rho_{ac}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-18)$$

حيث ان يتم قياس ρ_{ac} مرة مع تيار ذو ترددات واطئة (0.1 c/sec) ومرة اخرى مع ترددات قدرها (10 c/sec).

ان الاستجابة الفريدة لطريقة القطبية المحتثة فوق الترسبات المبعثرة للمعادن الموصلة تجعلها ذات قيمة كبيرة جدا في برنامج الاستكشاف المعدني وذلك لعدم وجود طريقة جيوفيزيائية أخرى يمكنها تحديد مثل هذه الخامات، لا تستخدم هذه الطريقة لحل المشاكل التركيبية تحت السطحية . تشبه التقنيات المستخدمة في القياسات الحقلية لطريقة القطبية المحتثة تلك المستخدمة في قياسات المقاومية ويمكن استخدام أي نوع من ترتيب الأقطاب المستخدمة في مسوحات المقاومية .

ج-طريقة الجهد المتساوي Equipotential Method

تتلخص نظرية هذه الطريقة بإرسال تيار كهربائي إلى الأرض عن طريق قطبين للتيار C_1, C_2 حيث يحصل سريان للتيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب، ويحصل بينهما فرق الجهد فولتائي اذ تكون مستويات أو مجالات الجهد الفولتائي المتساوي عمودية على شكل مستويات سريان التيار شكل رقم (5-3). يمكن تتبع خطوط الجهد المتساوي (فرق الجهد على نفس مستويات الجهد يساوي صفر) بواسطة استخدام قطبين

تتصل بجهاز مضخم (Non-Polarized Electrode) تقطبة غير للفولتية وتربط إلى سماعة أذن أو جهاز فولتميتر، يتم تثبيت هذه الأقطاب في الأرض بينما يتم تحريك القطب الثاني على سطح الأرض إلى ان نحصل أو نستقبل أدنى درجة للصوت في السماعة أو أدنى قراءة للفولتية والتي تساوي تقريبا صفر، بهذه الحالة تكون الأقطاب على نفس خط أو مستوي الجهد المتساوي وهكذا. بنفس الطريقة يتم تتبع الخطوط الأخرى للجهد المتساوي ويتم تثبيت نقاطها على الخارطة أو على الأرض ، ثم ترسم خارطة كنتورية تمثل خطوط الجهد المتساوي.

إن خطوط الجهد المتساوي إما تنتج من التيار المرسل إلى الأرض صناعيا أو من التيار الناتج من سريان الجهد الذاتي (SP). هذه الطريقة تعتبر بطيئة وصعبة التفسير بالمقارنة مع الطرق الأخرى إذا كانت الترسبات تحت سطح الأرض متجانسة فان خطوط الجهد المتساوي تكون متماثلة في التوزيع حول القطبين أما في حالة وجود جسم معدني تحت سطح الأرض شكل (3-5)، عندئذ يحدث انحراف في مسارات خطوط الجهد المتساوي وتشويه وحيود نتيجة لعدم التجانس في المقاوميات تحت سطح الأرض. اذا كان الجسم المعدني جيد التوصيل للكهربائية يحدث تنافر لخطوط الجهد المتساوي ... وبالعكس.