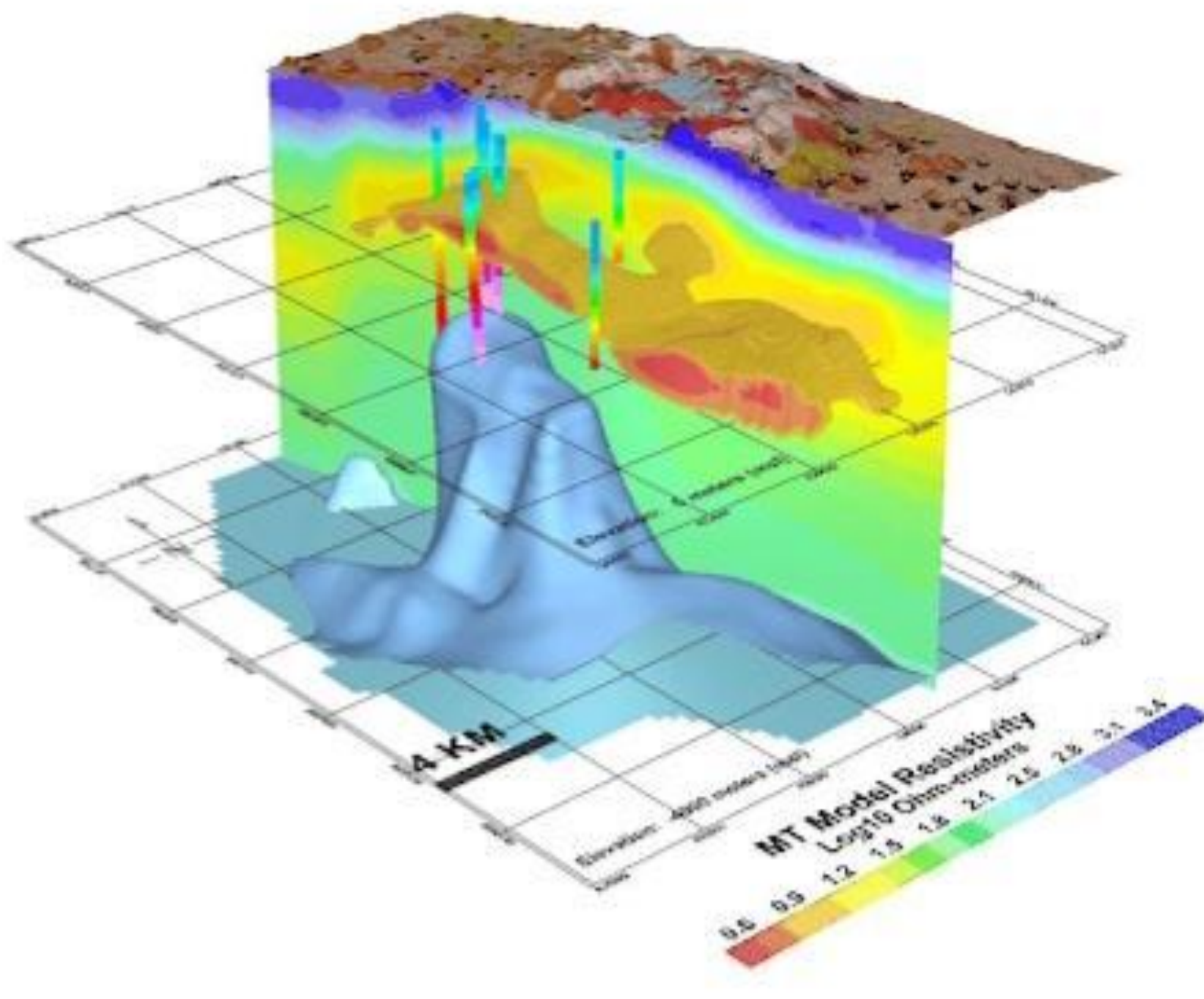
APPLIED GEOPHYSICS

Shaas N Hamdan



GEOPHYSICS & APPLIED GEOPHYSICS

Geophysics الجيوفيزياء	Applied Geophysics
الجيوفيزياء (فيزياء الارض) هو العلم الذي يدرس الارض والكواكب الاخرى والقمر باستخدام القوانين فيزيائية the application of the laws of physics to investigate the Earth subsurface	تطبيق قوانين الفيزياء لدراسة الجزء العلوي من القشرة الارضية لاغراض اقتصادية (التنقيب عن الخامات)، ويقصد بتطبيقي طرق المسح الجيوفيزيائي The application of laws physics to investigate the Earth's subsurface to achieve a practical & economic aim
يستخدم نفس طرق الجيوفيزياء التطبيقية	يستخدم نفس طرق الجيوفيزياء
يدرس اعماق ضحلة ومتوسطة العمق ومجال عملها لا يقتصر فقط على اعماق ضحلة	يدرس اجزاء قليلة من القشرة العليا ونطبق طرق المسح الجيوفيزيائي للتنقيب لبضع كيلومترات فقط

- **ماذا ندرس بالارض باستخدام علم الجيوفيزياء:** تتابعات وسماكة الطبقات، خصائص الطبقات الفيزيائية والمعدنية (القابلية للتمغنط والكثافة وسرعة الامواج ومقاومتها)، وتراكيب الطبقات (التركيب الداخلي والخارجي)
- **لماذا ندرس الجيوفيزياء الارضية؟** لنتعايش مع الارض، والتعايش هو استكشاف واستغلال ثرواتها (معادن، بترول، فحم، مياه، غاز..) والتقييم او الكشف عن اخطار الكوارث الطبيعية (زلازل، براكين، حفر خسفية، انزلقات ارضية..)
- **تاثير الكوارث الكبيرة (مثل الزلالزل والتسونامي)** لا نستطيع منع حدوثها على خلاف الانزلاقات الارضية
- ينحصر عمل الجيوفيزياء التطبيقية على الجزء العلوي من القشرة العلوية الان الطرق التكنولوجيا المتوفرة لا تسمح بالتواجد على اكثر من هذه الاعماق بسبب ظروف الضغط والحرارة فنحن نحفر ابار وانفاق لا تزيد عن بضع كيلومترات
- **طرق المسح الجيوفيزيائي تشمل (3 طرق)**: المسح الكهربائي، المسح الكهرومغناطيسي، والمسح الزلزالي
- **القشرة القارية** سماكتها بالاردن 30 كم (العقبة 32، عمان 35، وتزداد عند حدود السعودية 37) وهي اكثر سماكة من المحيطية
- **نطاقConrad :** يفصل القشرة عن الستار (18-21 كم)، و**نطاق moho:** يفصل بين القشرة العليا والسفلى
- القشرة العليا بالعقبة تتكون من صخور نارية (ورسوبية) وبراس النقب رسوبية وبعمان رسوبية وهي القاعدة
- تركيز المعادن يزداد مع العمق، لكن على اعماق 20-10كم لا نستطيع استخراج الخامات واعمق بئر حفر للان 12 كم لاغراض دراسية واستكشافية (بالسعودية آبار البترول على عمق 6 كم، وفي العراق يكون البترول على اعماق ضحلة)
- **الجيوفيزياء البيئية Environment geophysics:** دراسة مشكلات المشاريع الهندسية مثل تشققات الابنية، انزلاقات الجبال والسدود، هروب الماء بعد تجمعه من منطقة البحيرة، او من تحت السد (وهو اخطر المشكلات البيئية)
- **الزلازل المستحثة:** تتكون نتيجة انشاء السدود، في1967 قامت الهند ببناء سد كرينا وحدث زلزال 6 رختر قام بتدميره وعندما نزل الماء احدث كارثة، وكل السدود الكبيرة بعد بنائها تحدث زلزال وبالغالب تتراوح درجته بين 5 و 6
- من الاربعينيات لوحظت هذه المشكلات وتم الاهتمام بها وهناك ابحاث بشأن هذه الزلازل ولوحظ إن زيادة power pressure هو سبب لتسرب الماء من السد الذي يدخل بالصخور ويؤثر عليها وكلما زاد التسريب كلما ضعف السد
- **المشاكل الهندسية:** التشققات بالمباني، انهيار المباني بسبب الخسف، التسريب بالسدود، الزلازل المستحثة، الثلوث (قد يكون فيزيائي او كيميائي او من القمامة)، تداخل المياه الجوفية والمالحة (يحدث تمبح للمياه)
- **من مشاكل المشاريع الهندسية هو الانفاق:** يسبب اجهاد للصخور ويحدث وفيات للعاملين بهذا المجال وقد يخرج غازات سامة ولحل هذه المشكلة استخدمت الجيوفيزياء ومن هنا تبلور علم الجيوفيزياء الهندسية
- **الجيوفيزياء الهندسية:** علم يطبق القوانين الفيزيائية لحل المشكلات الهندسية على اعماق ضحلة (10-100م)
- **اهم مبدأ بالجيوفيزياء هو التباين contrast** لو كانت الارض متجانسة (لا يوجد اختلاف بالخصائص الفيزيائية والكيميائية) لما كان هناك اهمية للجيوفيزياء، فعندما تريد دراسة مكان ما او ظاهرة ما يجب ان تبدأ بتحديد التباين ثم تستخدم الطريقة الجيوفيزيائية المناسبة للدراسة (Gravity or density, Magnetic susceptibility, seismic waves...) انطلاقا من هذا التباين
- **تطور الجيوفيزياء:** قبل 250-200 سنة كانوا يستخدموا المجال المغناطيسي للتنقيب عن المعادن والبوصلة بالبحر، وكعلم تطبيقي لم يعرف الا بعد WW I & II حيث عرف الناس ان البترول اهم مصدر للطاقة وبدا علم الجيوفيزياء بالعشرينيات وتطور بعد WWII وبدات طريقة المسح الزلزالي الانكساري refraction ثم الانعكاسي reflection
- **تطورات طرق المسح الجيوفيزيائي**: كان استخدام طرق المسح المختلفة للاكتشاف، ثم طرق جديدة للتنقيب عن الخامات، ثم تم تحسين الاجهزة المستخدمة وحدث تطور على عمليات التحليل والتفسير، فزدادت الدقة
- **السر وراء تطور علم الجيوفيزياء** هو سبب حاجتنا للطاقة وهو علم استراتيجي ومن اكثر العلوم تطورا
- **حدث 4 تطورات بعلم الجيوفيزياء اخذت ثلاثة ابعاد:** تطورات بعلم الاجهزة الالكترونية (ادت لتطور التجهيزات)، زيادة دقة الدراسات الجيوفيزيائية، ابتكار طرق مسح جديدة (الجانبي والمغناطيسي، ثم الزلزالي والانكساري، ثم الزلزالي الانعكاسي)، وتطوير طرق تحليل وتفسير المعلومات الجيوفيزيائية
- **Geophysics Application:** Exploration of oil, gas, ores, & water, & solving Environment & Engineering problems

البترول PETROLEUM

- **البترول** صخر رسوبي لا يتواجد على اعماق كبيرة، ويعد بجانب **الغاز الطبيعي** من اهم مصادر الطاقة الرئيسية
- **الصخر المصدر:** هو صخر رسوبي بحري غني بالمواد العضوية، والصخور من اصل قاري لا يمكن ان تحتوي البترول
- يتكون البترول بفعل الضغط والحرارة حيث تتحلل المواد العضوية بالصخر المصدر لبترول او غاز او فحم، وان لم يحدث ضغط وحرارة كافيين يبقي صخر المصدر oil shale الا ببعض المناطق كالاغوار وبعض الاحواض الرسوبية لان الترسيب عالي ما يولد ضغط وحرارة
- الغاز والبترول قد يهاجرا عبر مسامية ونفاذية الصخور، اما الفحم الحجري يبقى بمكانه ولا يهاجر ابدا
- **النفاذية permeability:** قدرة الصخر على تمرير الماء، **المسامية porosity:** حجم فراغات الصخر التي تمرر الماء
- مسامية الصخور الرسوبية 30٪ (تحتوي فراغات باحجام واشكال مختلفة)، والنارية 5٪ وفي basalt تصل ل60٪
- Some cracks that formed by tectonic activities include Cracks, faults, cleavage, & joints

- كل صخر نفاذي يكون مسامي ولكن ليس كل صخر مسامي يكون نفاذي، وسيبقى الصخر يهاجر ما دام نفاذيا ومساميا بفعل الضغط، والخام سيهاجر ما دام بطريقه صخر نفاذي الى ان يصل لصخر نسميه **صخر المصيدة** (يحبسه)
- **صخر المصيدة:** هو الصخر الذي ينحبس به البترول، وهو صخر نفاذي ومسامي ومحاط **بصخر كتيم**
- من انواع صخور المصيدة **Structure traps** وهو مصيدة تركيبية جيولوجية ذات مسامية ونفاذية ومحاطة بصخر كتيم غير نفاذي فهو صخر مشبع بالبترول والغاز - او كلاهما - والماء ومحاط بصخر كتيم حتي يصيد البترول
- **التركيب الجيولوجي:** تشوه او عدم انتظام بتوزيع الصخور بسبب الحركات الارضية، تترسب الطبقات افقيا وبانتظام وتمتلك خصائص معينة وعندما يحدث حركات ارضية تتاثر باجهادات معينة تؤدي لتشوهها او عدم انتظام في توزيعها
- يتمثل التركيب الجيولوجي بالطيات (المحدبة والمقعرة)، الصدوع، واسطح عدم التوافق Unconformities
- **الحقل Traps**: عدد من التراكيب، جميعها مخزنة للبترول
- **Structural Traps:** include Fault, & Anticline، **Stratigraphic Traps:** Reef, Unconformity, Pinchout
- **القرائن**: طبقات فوق بعضها لها امتدادات افقية كبيرة على طول الحوض، تخزن كميات كبيرة من النفط، سمكها محدود للمصائد وامتدادها الافقي يصل لعشرات الكيلومترات وتخزن كمية كبيرة من النفط والغاز والماء (تتوزع بحسب الكثافات)
- **ظروف بيئة البترول:** يتم التنقيب عن البترول في احواض رسوبية سماكتها > 4-3كم وتحتوي بعض source rock ذو اصل بحري بالاضافة لتوفر ظروف T-Pوزمن تحويل مناسبة، فـي الاردن يوجد صهر oil shale على اعماق ضحلة
- **Tectonic rock:** Latin term mean movement of rock
- التاريخ التكتوني يشمل التنقيب عن البترول لانه له علاقة بتحول المواد العضوية (يوفر ظروف التحول المناسبة)
- **رسم cross section يمكننا من معرفة:** انواع الطبقات وخصائصها وسماكاتها والظروف التي تعرضت لها، تحديد صخر المصدر، وتحديد التاريخ الجيولوجي
- للان لا توجد طريقة للتنقيب عن البترول لكن هناك طرق غير مباشرة فعندما يهاجر يتم تحديد مكان واتجاه الهجرة ونفترض انه انحبس بمنطقة بناء على دراساتنا بها، ويتم الدخول **بمغامرة risk** باخبار الناس بمكان الحفر وتحديد البئر ورسم خريطة الحفر (ليبيا حفرت 73 بئر جميعها جافة) حيث تشمل المخاطر Risk مكان الحفر ومناطق الآبار والتكلفة المادية

المسح الجيوفيزيائي

- التباين المغناطيسي ليست طريقة جيدة لدراسة التتابعات فوق basement لان الرسوبيات لا تحتوي خصائص مغناطيسية (ليس دائما) والتباين بالكثافة density contrast افضل، وطرق المسح الجانبي والمغناطيسي من الطرق السريعة والرخيصة ومن خلال هذه الطرق تستطيع معرفة: العمق وسماكة الطبقة، التراكيب الجيولوجية على basement، اما المسح الجاذبي جيدة لدراسة التراكيب
- **طرق المسح الزلزالي: Refraction الانكساري:** لا تعمل بطريقة منفصلة **Reflection method المسح الانعكاسي**
- المسح الزلزالي بانواعه يتم تنفيذه على خطوط تسمى seismic profile or line gravity line & وهذه الخطوط لها طول واتجاه ومسافة (في gravity المسافة بين المحطات) **حيث** طول الخط فيseismic refraction بضع اضعاف العمق وفيseismic reflection = العمق
- الاتجاه ليس عشوائي وتتحكم به بيئة وطبوغرافية المنطقة ويقترن ب Dip & strick (عمودي على strick)
- نحدد المضرب (تقاطع السطح الافقي مع سطح الطبقة) ثم ال dip وهو عامودي واذا كانت الطبقات مائلة سيختلف travel time
- المسح الزلزالي الانكساري يحقق نتائج ممتازة في استخراج عمق ال basement بدقة
- طرق المسح الزلزالي تستخدم بكثرة على كافة الطرق المسح الجيوفيزيائي لسببين: وحدانية حلها ودقتها
- المسح الزلزالي الانكساري ممتاز بدراسة التتابعات الطبقية للصخور الرسوبية الا في حالة واحدة LVZ
- **low velocity zone (LVZ)** اذا كانت السرعة في الطبقة السفلى اكبر من العليا، وكلما قلت سماكة الطبقة وزاد عمقها زادت صعوبة استكشافها لان الانكسارات التي تأتي من سطحها ستتداخل مع بعضها البعض
- **اهمية الجيوفيزياء:** التنقيب عن البترول والغاز والمعادن والمياه الجوفية، وحل المشكلات الهندسية والجيولوجية
- **Seismology** العلم الذي يدرس الزلازل وكيف نقيم اخطارها ونضع ما يقلل من اخطارها وال **Seismic** العلم التطبيقي لعلم الزلازل
- مبادئ تطبيق طرق المسح الزلزالي: نعمل على توليد امواج زلزالية، وترصد هذه الامواج كمجموعة نقاط على خط مستقيم seismic profile, electric profile, or magnetic line لقياسtravel time وسعة الامواج amplitude ثم نستنتج التتابعات الطبقية وسماكات الطبقات وانواع صخورها وخصائصها وتراكيبها الجيولوجية
- **انواع الامواج الزلزالية:** اولية، ثانوية، سطحية، ريليه Rayleigh waves وموجة لوف Love waves
- الموجات الاولية P-wave تستخدم بنسبة 99% لانها تنتشر في جميع الاوساط ولانها اسرع الموجات
- لرصد p-wave نحتاج فقط ل vertical compound بينما الانواع الاخرى بجانب ال vertical نحتاج الى horizontal لذا هي ارخص وافضل
- نرصد الأمواج باستخدام seismograph وهي مجموعة اجهزة تعمل بتحويل الطاقة الحركية الى طاقة كهربائية
- Geophone or Seismometer يوجد منه احجام مختلفة ويتم تصنيعه لاغراض الاستكشاف
- Vertical compound يقيس ال vibration العمودية بدقة، Horizontal compound يقيس بدقة اكبر الاهتزازت الافقية
- **Period**: الوقت الذي تحتاجه الموجه لعمل fall cycle, **SHORT PERIOD**ترددها قليل Lond period يكون ترددها عالي
- **Broad band**: wider band of frequencies being recorded than in conventional seismic exploration
- تنتشر الموجات الزلزالية في الصخور بسرعات مختلفة تتغير خصائصها يتغير خصائص الصخور (المعدنية والفيزيائية)

ARER P-WAVE	0.34KM/S	SANDSTONE	3-3.9KM/S
VERY SOFT SOIL	0.3-0.8KM/S	DOLOMITE	4-4.9KM/S
ALLVIUALS	0.5-1.1KM/S	METAMORPHIC	5-5.6KM/S
MARLE	1.5-2KM/S	GRANITE	6.25KM/S
MARLY LIMESTONE	2-2.9KM/S	MOHO	8-8.1 KM/S
LIMESTONE	3-3.9KM/S	CORE	13-14KM/S

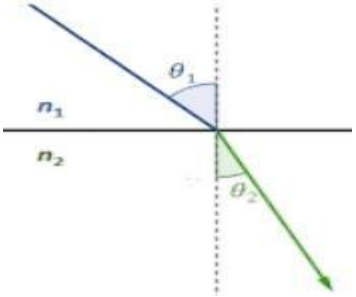
SEISMIC REFRACTION METHOD

- **عاملات المرونة:** معاملات تربط بين الاجهاد ذو الانفعال

$$Bulk\ modulus = \frac{volume\ strain}{stress}, Shear\ modulus = \frac{shear\ stress}{shear\ strain}$$

- عند تغير سرعة الموجة (بتغير نوع الصخر) فانها تنكسر (تحيد عن المسار) جزئيا وتنعكس جزئيا (ترتد عن المسار)

$$Snel's\ law = \frac{sin(incidence)}{sin(refraction)} \rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{sin\theta_2}{sin\theta_1}$$



EXAMPLE: If $n_1 = 1.0$, & $n_2 = 1.3$, & the angle of Incidence "زاوية السقوط" (θ_1) = 30°, find the angle of refraction "زاوية الانكسار" (θ_2)

$$by\ Snel's\ law\ \frac{n_1}{n_2} = \frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} \rightarrow\ sin\theta_2 = \frac{n_1 sin\theta_1}{n_2} = \frac{1.0\ x\ sin30°}{1.3} = \frac{1}{2.6}$$

$$\theta_2 = sin^{-1}\left(\frac{1}{2.6}\right) = 22.62° \approx\ 23°$$

- **زاوية السقوط Incidence angle:** هي الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع العامودي عليه
- عندما تكون **زاوية الانكسار refraction angle** 90° يسمى حينها الانكسار الحرج والزاوية زاوية السقوط الحرج
- الموجة التي تتكسر من سطح الطبقة الثالثة (انكسارا حرجا) يجب أن تسقط على الزاوية i13 (بين الطبقيتين 1-3) حيث:

$$sin\theta_{13} = v_{13} = \frac{v_1}{v_3} \qquad sin\theta_{\chi\zeta} = v_{\chi\zeta} = \frac{v_\chi}{v_\zeta}$$

اي ان الطبقة الثالثة التي تنكسر انكسار حرج هي التي تحدد سرعة الموجة وليست الطبقة الاولى

- **Huygens principle** تنتشر الامواج بالصخور المتجانسة على شكل كرات او ellipse بسرعات متساوية وكل نقطة على سطح كل كرة تعمل كمصدر للطاقة لذا فالموجة تنكسر بحسب قانون s'snell
- **Fermat's principle (low of refraction)** تنتشر الطاقة الزلزالية من اماكن توليدها لاماكن الرصد باقصر فترة زمنية وليس بالضرورة ان تسير بخط مستقيم (الاقرب تصل اولا)

$$\theta_{incidence} = \theta_{refraction}$$

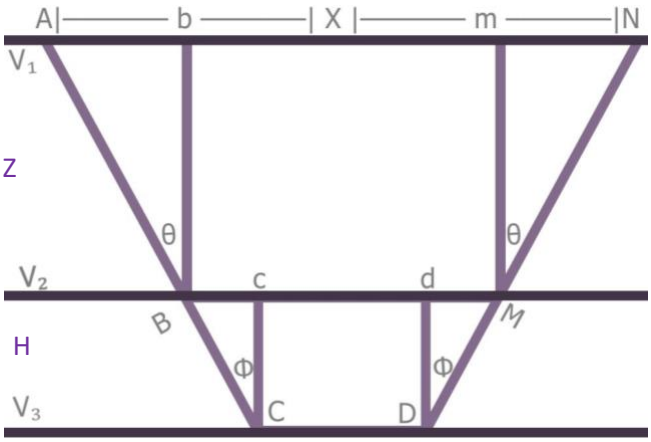
- المسح الانكساري والانعكاسي يستخدمان seismograph ومصادر الطاقة الزلزالية وتعتمدان على نفس الاسس والمبادئ ولهما نفس طرق تحليل و تفسير البيانات

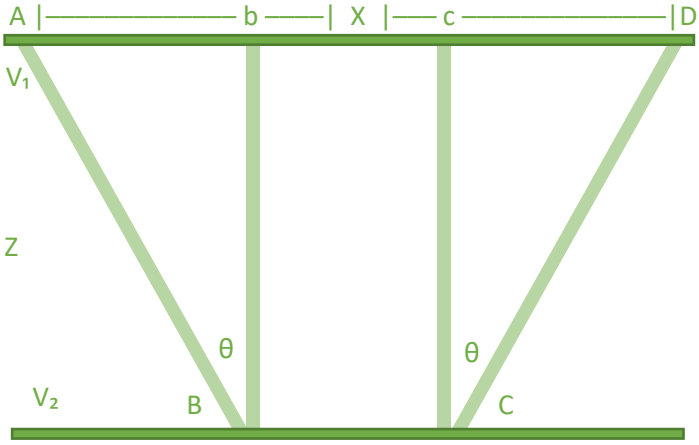
الطريقة	المسح الانكساري	المسح الانعكاسي
تعطي معلومات عن	سطح الطبقة الكاسرة للموجات	سطح الطبقة العاكسة للموجات
الموجات	تتعامل مع الوصولات الاولية للموجات	تحتاج الموجات لوقت اطول للوصول للسطح
طول الخط	5-4 اضعاف العمق	طول الخط = العمق
طبيعتها	الحيود عن المسار	هو الارتداد بزاوية 0°

- تحتاج طريقة المسح الانعكاسي لتصحيح ال travel time اكثر من الانكساري بسبب اختلاف زاوية رجوعها للسطح
- المسح الانعكاسي يتاثر اكثر من الانكساري لان ال weathering zone يؤدي لتشققات وتغير بالخصائص الفيزيائية ويقلل سرعة الامواج وكثافتها ويزيد travel time وتهتم بالامواج المنكسرة انكسارا حرجا من اسطح الطبقات
- Headen layer proplem or velocity proplem يتطلب ال refraction ان تكون السرعة باعلى طبقة ≠ باسفل طبقة
- كلما قلت سماكة التراكيب الجيولوجية او الطبقة او زاد عمقها كلما قلت دقة المسح الزلزالي الانكساري
- المحدودات بالمسح الانكساري ادت لاكتشاف المسح الانعكاسي وتعد هذه الطرق من اهم الطرق المستخدمة في التنقيب عن البترول والغاز وخصوصا
- **طرق تمثيل المسح الانكساري**
  1. **Profile shotting** عبر تفجير المتفجرات ثم استقبال الامواج المنعكسة على نفس الخط اضافة للامواج المنكسرة والحرجة من الطبقات المختلفة ***وتستخدم*** في حل المشكلات البيئية والهندسية
  2. **Reverse profile shotting** تفجير بنقطين او اكثر على نفس الخط ونستقبل كل تفجير على حدى، ***وتستخدم*** لدراسة التراكيب الجيولجية والتتابعات الطبقية، واستكشاف البترول والغاز والمعادن اوالمياه
  3. **Broadside shotting** 3 خطوط متوازية لها البعد نفسه والمسافة shotting-seismometer متساوية وتصل الى 30-60% ***وتستخدم*** لدراسة seismic anisotropic لان الخصائص الفيزيائية تتغير مع الاتجاه لا بد من معرفة كيف تتغير وترتيب بلورات المعادن والموجة التي تسير خلال ال porosity (fault, crack, cleavage, & joints) تعمل على زيادة السرعة وبالتالي يقل الزمن خاصة في ال cracks
  4. **Arc shotting** على شكل قوس(لتنقيب عن المعادن)
  5. **Fan shotting** تكون على شكل مروحة وتكون المسافات بين الخطوط مختلفة
- الهدف من المسح الانعكاسي او الانكساري هو قياس travel time T.T Amplitude & لاستنتاج خصائص والطبقات واعماقها وسماكاتها وتراكيبها الجيولوجية

$$First\ arrival\ time\ (for\ direct\ wave) = \frac{distance}{inetial\ velocity} = \frac{x}{v} = \frac{1}{v_1}$$

EXAMPLE: FIND THE TRAVEL TIME EQUATION FROM THE FOLLOWING SEISMIC DIAGRAMS, & DRAW T-X CURVES





$$t = \frac{2d_{A-B}}{v_1} + \frac{2d_{B-C}}{v_2} + \frac{d_{C-D}}{v_3} \dots\dots\dots (\imath)$$

$$sin\theta = \frac{v_1}{v_3} \;\&\; sin\Phi = \frac{v_2}{v_3}$$

$$v_3 = \frac{v_1}{sin\theta} \;\&\; v_3 = \frac{v_2}{sin\Phi} \dots\dots\dots (\imath\imath)$$

$$cos\theta = \frac{z}{d_{A-B}} \rightarrow d_{A-B} = \frac{z}{cos\theta} \dots\dots\dots (\imath\imath\imath)$$

$$cos\Phi = \frac{h}{d_{B-C}} \rightarrow d_{B-C} = \frac{h}{cos\Phi} \dots\dots\dots (\imath v)$$

$$d_{C-D} = X - 2d_{A-b} - 2d_{B-c}$$
$$d_{A-b} = ztan\theta, d_{B-c} = htan\Phi$$
$$so.\, d_{C-D} = X - 2ztan\theta - 2htan\theta \dots\dots\dots (v)$$

Solving (ι) by (ιιι), (ιv) & (v)

$$t = \frac{2z}{v_1 cos\theta} + \frac{2h}{v_2 cos\Phi} + \frac{X}{v_3} - \frac{2zsin\theta}{v_3 cos\theta} - \frac{2hsin\Phi}{v_3 cos\Phi}$$

Solving the equation by (ιι)

$$t = \frac{X}{v_3} + \frac{2z}{v_1 cos\theta} - \frac{2zsin^2\theta}{v_1 cos\theta} + \frac{2h}{v_2 cos\Phi} - \frac{2hsin^2\Phi}{v_2 cos\Phi}$$

$$t = \frac{X}{v_3} + \frac{2z}{v_1 cos\theta}(1 - sin^2\theta) + \frac{2h}{v_2 cos\Phi}(1 - sin^2\Phi)$$

$$t = \frac{X}{v_3} + \frac{2z}{v_1 cos\theta} cos^2\theta + \frac{2h}{v_2 cos\Phi} cos^2\Phi$$

$$t = \frac{X}{v_3} + \frac{2zcos\theta}{v_1} + \frac{2hcos\Phi}{v_2}$$

$$slope = \frac{1}{v_3}, t_{int} = \frac{2zcos\theta}{v_1} + \frac{2hcos\Phi}{v_2}$$

$$t = \frac{d_{A-B}}{v_1} + \frac{d_{B-c}}{v_2} + \frac{d_{C-D}}{v_1}$$

$$but. \frac{d_{A-B}}{v_1} + \frac{d_{C-D}}{v_1} \rightarrow t = \frac{2d_{A-B}}{v_1} + \frac{d_{B-c}}{v_2}$$

$$cos\theta = \frac{z}{d_{A-B}} \rightarrow d_{A-B} = \frac{z}{cos\theta}$$

$$so.\, t = \frac{2z}{v_1 cos\theta} + \frac{d_{B-C}}{v_2} \dots\dots\dots (i)$$

$$d_{B-C} = x - d_{A-b} - d_{c-D} = x - 2d_{A-b}$$

$$tan\theta = \frac{sin\theta}{cos\theta} = \frac{d_{A-b}}{z} \rightarrow d_{A-b} = \frac{zsin\theta}{cos\theta}$$

$$so.\, d_{B-C} = x - \frac{2zsin\theta}{cos\theta} \dots\dots\dots (ii)$$

$$solve\ (i) by\ (ii)$$

$$t = \frac{x}{v_2} + \frac{2z}{v_1 cos\theta} - \frac{2zsin\theta}{v_2 cos\theta}$$

$$using: sin\theta_{\chi\zeta} = v_{\chi\zeta} = \frac{v_\chi}{v_\zeta}$$

$$sin\theta = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{v_1}{sin\theta}$$

$$t = \frac{x}{v_2} + \frac{2z}{v_1 cos\theta} - \frac{2zsin^2\theta}{v_1 cos\theta}$$

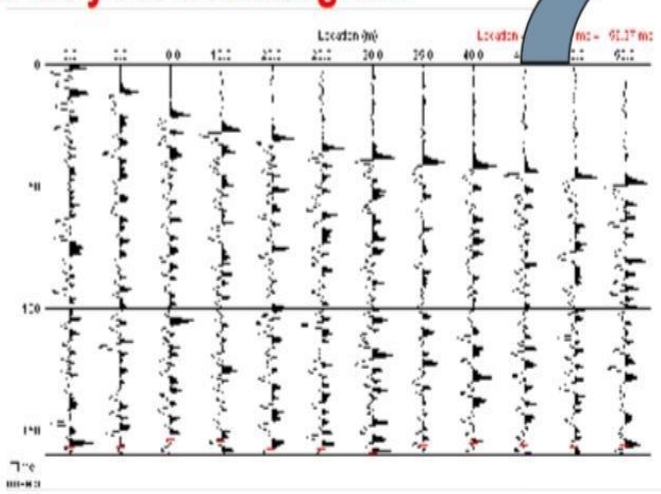
$$t = \frac{x}{v_2} + \frac{2z}{v_1 cos\theta}(1 - sin^2\theta)$$

$$cos^2 x = 1 - sin^2 x \rightarrow t = \frac{x}{v_2} + \frac{2zcos\theta}{v_1}$$

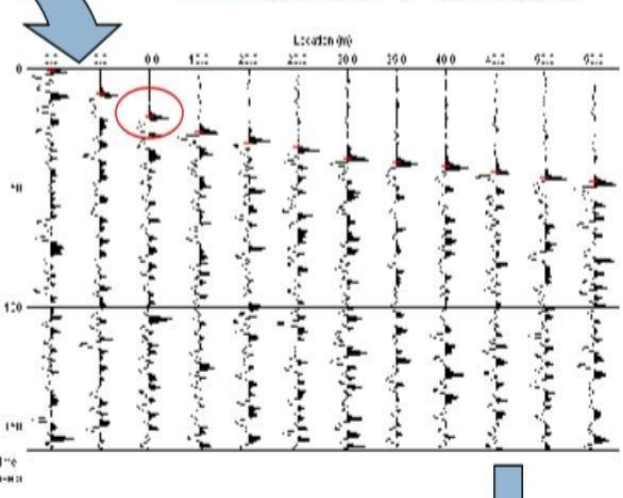
$$slope = \frac{1}{v_2}, \quad t_{int} = \frac{2zcos\theta}{v_1}$$

STEPS FOR PREPARE T-X CURVE

1- Plot your Seismogram



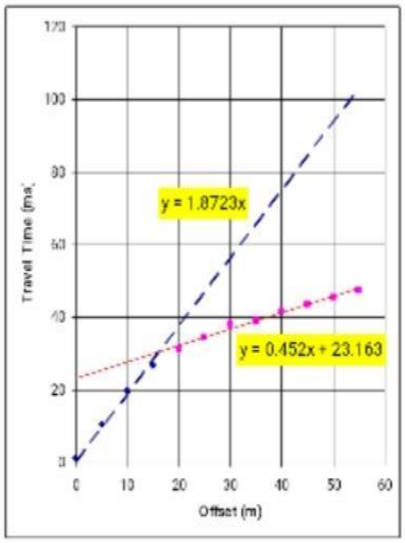
2- Pick the 1st arrivals



3- Prepare a T-X table

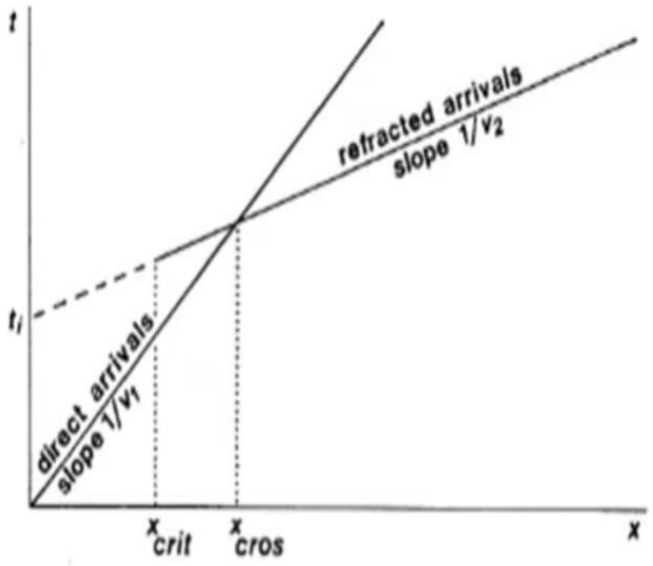
	Offset (m)	Time (ms)
1	0	1.19
2	5	10.79
3	10	19.98
4	15	26.77
5	20	31.17
6	25	34.37
7	30	37.97
8	35	39.16
9	40	41.56
10	45	43.56
11	50	45.56
12	55	47.56

4- Prepare a T-X curve



5- Estimate your velocities and thicknesses

FOR ESTIMATION OF SLOPES, VELOCITIES, & THICKNESSES



$$t = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1 cos\theta}{v_1}$$

$$Slope_{direct\ wave} = \frac{1}{v_1} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

$$sin\theta = \frac{v_1}{v_2} \ \& \ cos\theta = v_1\left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}\right)^{½}$$

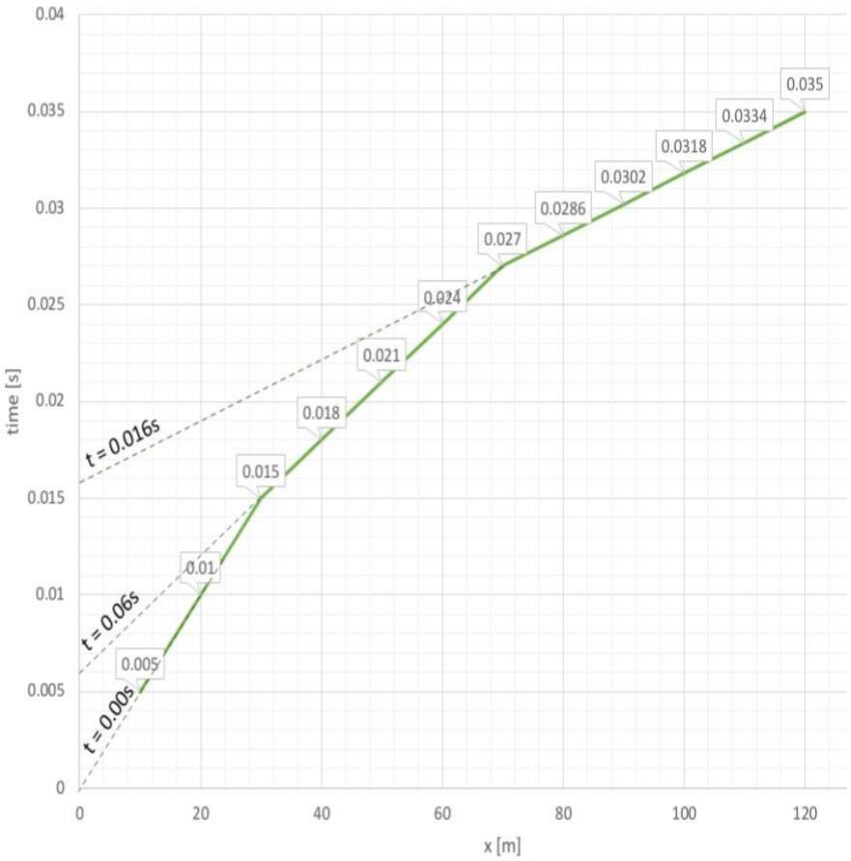
$$t_{int} = \frac{2h}{v_1} cos\theta = \ 2h\left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}\right)^{½}$$

$$t_{int_2} = \frac{2h_2 cos\varphi}{v_2} = \ 2h_2\left(\frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_3^2}\right)^{½}$$

Calculate the thickness from time equations

EXAMPLE : A SEISMIC REFRACTION SURVEY COMPLETED WITH THE FOLLOWING DATA, INTERPRET THIS DATA

X[m]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
t[ms]	5.00	10.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	28.6	30.2	31.8	33.4	35.0



$$t_1 = 6\,x\,10^{-3}s$$
$$t_2 = 16\,x\,10^{-3}s$$

$$v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{30m - 10m}{0.005s} = 2000m/s$$
$$v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{80m - 40m}{0.0286s - 0.018s} = 3774m/s$$
$$v_3 = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{120m - 90m}{0.035s - 0.0302s} = 6250m/s$$

$$slope_1 = \frac{1}{2000} = 5\,x\,10^{-4}$$
$$slope_2 = \frac{1}{3774} = 2.65\,x\,10^{-4}$$
$$slope_3 = \frac{1}{6250} = 1.6\,x\,10^{-4}$$

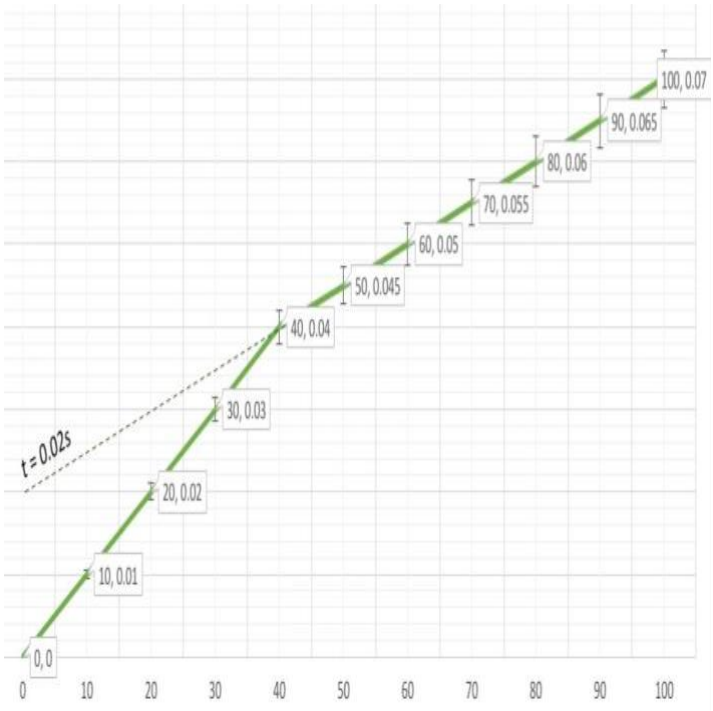
$$t_{int} = 2h\left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}\right)^{½} \rightarrow h_1 = \frac{t_1}{2\left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}\right)^{½}}$$

$$h_1 = \frac{0.006}{2\left(\frac{1}{4x10^6} - \frac{1}{14.2x10^6}\right)^{½}} = 7.1m$$

$$h_2 = 14.2m$$

EXAMPLE : A SEISMIC REFRACTION SURVEY COMPLETED WITH THE FOLLOWING DATA, INTERPRET THIS DATA

X[m]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t[ms]	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70



$$t_1 = 0.02\ s$$

$$v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{10m}{10ms} = 1000\ m/s$$

$$v_2 = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{100m - 90m}{70ms - 65ms} = 2000\ m/s$$

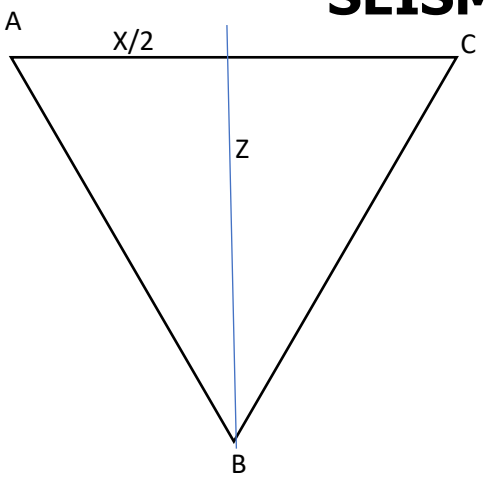
$$slope_1 = \frac{1}{v_1} = \frac{1}{1000} = 1\,x\,10^{-3}\ s/m$$

$$slope_2 = \frac{1}{v_2} = \frac{1}{2000} = 5\,x\,10^{-4}\ s/m$$

$$t_{int} = \frac{2h}{v_1}cos\theta \rightarrow h = \frac{t_{int}v_1}{2cos\left(sin^{-1}\frac{v_1}{v_2}\right)}$$

$$= \frac{0.02s\ x\frac{10^3m}{s}}{2\cos(\sin^{-1}½)} = 11.55m$$

SEISMIC REFLECTION METHOD



هي موجات زلزالية ترتد بزاوية 0° (اي تنعكس) واشتقاق معادلاتها كالاتي:

$$T = \frac{2d_{A-B}}{\overline{V}} = \frac{2\left(Z^2+\left(\frac{X}{2}\right)^2\right)^{½}}{\overline{V}}$$

V: average velocity, T: one way travel time

وهي معادلة قطع مكافئ، وبتربيع هذه المعادلة لتحويلها الى معادلة خط مستقيم:

$$T^2 = \left(\frac{2\left(Z^2+\left(\frac{X}{2}\right)^2\right)^{½}}{V}\right)^2 = \frac{X^2}{\overline{V^2}} + \frac{4Z^2}{\overline{V^2}}$$

اذا اعطاك قيم **T-X** تقوم بتربيعها (قبل رسمها) ثم ترسمها، وفي رسم هذا الخط المستقيم نستخدم طريقة احصائية تسمى **Least Squares method**

$$T = aX + b$$

$$a = \left(\frac{n\Sigma XT - \Sigma X\Sigma T}{n\Sigma x^2 - (\Sigma X)^2}\right) \quad \& \quad b = \left(\frac{\Sigma T - m\Sigma X}{n}\right)$$

مثال لو اردت رسم هذه القيم ستحصل على نقاط لا تؤدي لخط مستقيم بل نقاط غير منتظمة، يمكن رسم اي خط مستقيم نظريا تراه مناسب ولكن او كان محسوب حساب سيكون ادق، وبالامتحان يجب عليك الحساب، كالاتي:

	X	T	X*T	X²
	1	1.5	1.5	1
	2	3.8	7.6	4
	3	6.7	20.1	9
	4	9.0	36	16
	5	11.2	56	25
	6	13.6	81.6	36
n = 7	7	16.0	112	47
Total	28.0	61.8	314.8	138

$$a = \left(\frac{n\Sigma XT - \Sigma X\Sigma T}{n\Sigma x^2 - (\Sigma X)^2}\right) = \frac{7x314.8 - 28x61.8}{7x138 - 28^2} = 2.6$$

$$b = \left(\frac{\Sigma T - a\Sigma X}{n}\right) = \frac{61.8 - 2.6x28}{7} = -1.6$$

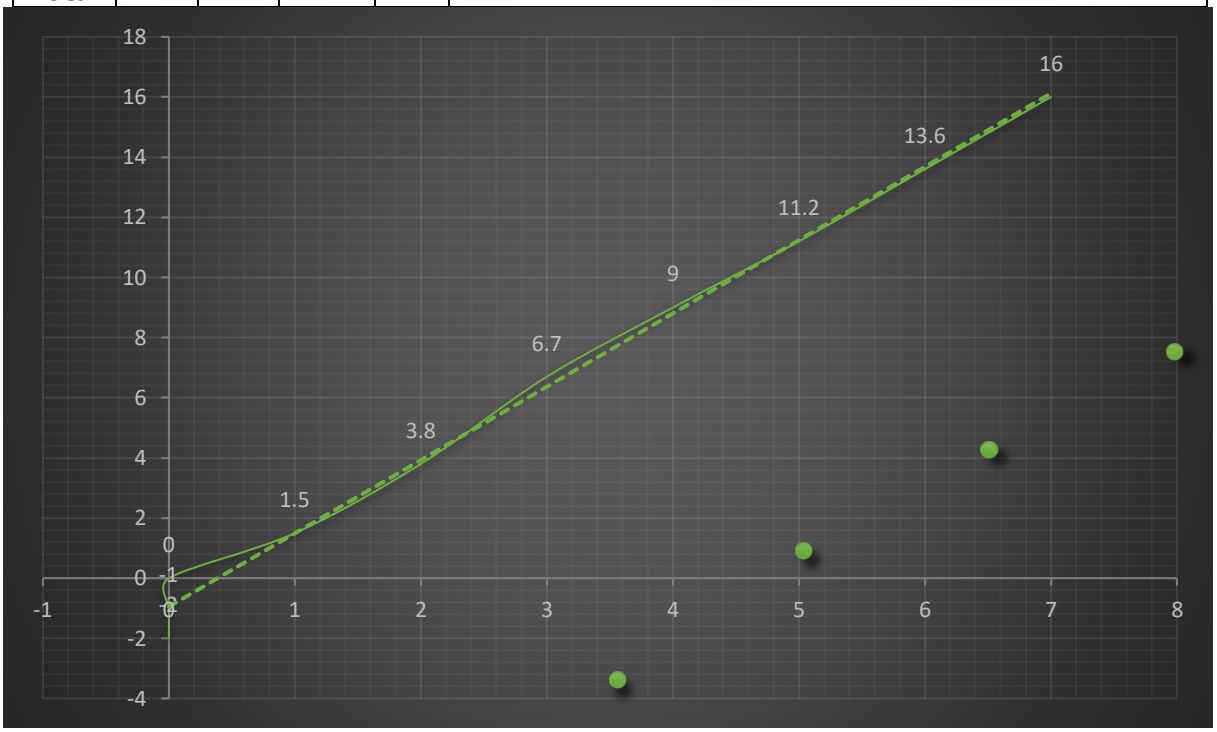
$$T = aX + b = 2.6X - 1.6$$

At X = 2 → T = 5.2 – 1.6 = 3.6 (originally 3.8)

At X = 5: T = 11.4 (originally 11.2)

At X = 7: T = 16.6 (originally 16.0)

يكفي 3 قيم لرسم الخط، وللتأكد من الحل لاحظ ان القيم قريبة على القيم الاصلية



الخط الاخضر المتصل هو الخط الذي تم رسمه من القيم الاصلية (غير منتظم) والخط المقطع هو الخط الذي تم حسابه (ملاحظة: هذه البيانات احصائية وليست سايزمية لانه لا يوجد زمن سالب ☺)

الطريقة السابقة هي في حالة اعطاك في السؤال قيم ال T-X وتجد منها ما يلي:

$$slope\ (m) = \frac{1}{\overline{V^2}} \rightarrow \overline{V}^2 = \frac{1}{m}\ \&\ T_{int} = \frac{4Z^2}{\overline{V^2}}$$

السرعة في القانون هي متوسط السرعات **average velocity** والسرعة لطبقة واحدة تسمى **interval velocity** (نستخدمها بتحديد الاعماق والسماكات لذا هي المهمة) حيث:

$$\overline{V} = \frac{\Sigma Z}{\Sigma T_{int}}$$

$$V_{int} = \frac{(Z_x - Z_{x-1})}{(T_x - T_{x-1})}$$

$$T_{int} = \frac{Z_x}{T_x}$$

لو اعطاك بيانات لل V-Z يجب عليك حساب ال interval velocity ثم حساب ال average velocity ثم تعويضها في معادلة الخط المستقيم

مثال احسب ال travel time وارسم معادلة الخط المستقيم لل reflection waves من البيانات التالية:

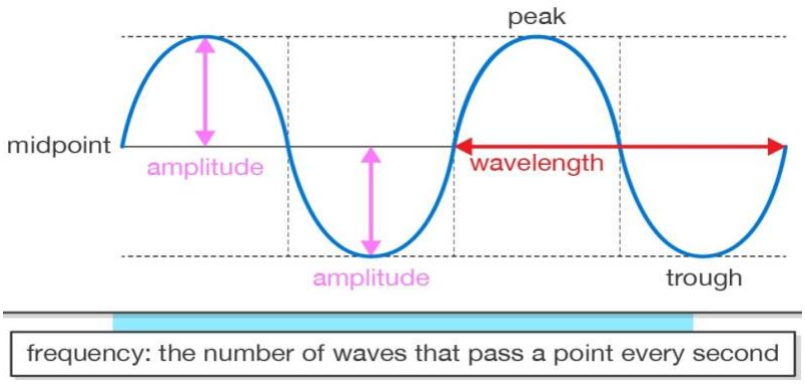
V [in Km/s]	1.5	2.8	4.2	5.4
Z [in m]	20	30	40	

اولا نحسب ال interval time

V [in Km/s]	1.5	2.8	4.2	5.4
Z [in m]	20	30	40	
T_{int}	$\frac{20m}{1500m}s = 0.0133s$	$\frac{30m}{2800m}s = 0.0107s$	$\frac{40m}{4200m}s = 0.00952s$	

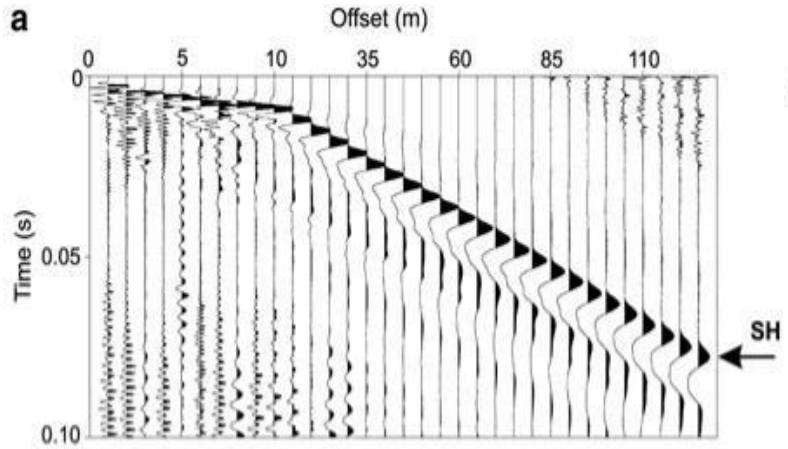
$$\overline{V} = \frac{(20+30+40)m}{(0.0133+0.0107+0.00952)s} = 2.685Km/s$$

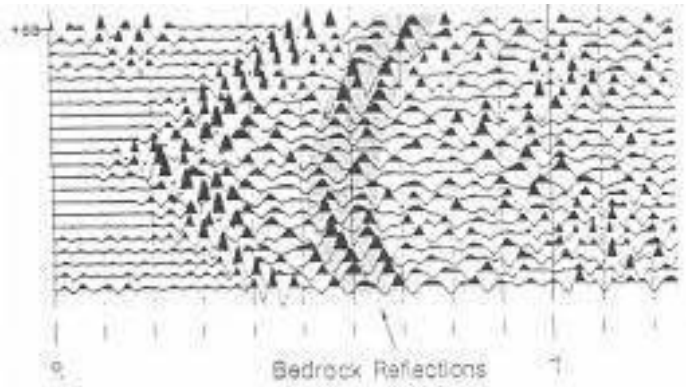
قراءة ال SEISMOGRAM



- **99٪ من الامواج الزلزالية هي من نوع P-wave لذا يتعامل ال seismogram مع هذه الامواج ويوجد وصولات مختلفة لهذه الموجات تسمى seismic phases سببها ان هذه الموجات مشت في مسارات مختلفة (مصدرها موجة واحدة انكسرت او انعكست) لذا فهي تنتقل بسرعات (velocities) وازمنة (time) وترددات (frequencies) وسعات (Amplitudes) مختلفة**

Refraction	Reflection
Faster wave	Slower wave
Deals with first arrival	Always latter arrivals
Linear on seismogram	Hyperbolic on seismogram





- **كلما زادت شدة الموجة (amplitude) او التردد (frequency) كلما قل مسار الموجة wave path**

EXAMPLE Calculate the $V_{interval}$, & $V_{Average}$ using the following data

Z	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
TT	15	30	35	40	45	48	51	54	57	59	61	63	73	83	86	89	92	95	98	100

Solution

Z	TT	$V_{interval}$	V_{Averag}	Rock types
10	15	0.66	0.66	Soft soils
20	30	0.66	0.66	
30	35	2.00	0.66	Claystone
40	40	2.00	0.86	
50	45	2.00	1.00	
60	48	3.33	1.11	Hardcrystalline rocks
70	51	3.33	1.25	
80	54	3.33	1.37	
90	57	3.33	1.48	
100	59	5.00	1.58	Metamorphic rock
110	61	5.00	1.69	
120	63	5.00	1.80	
130	73	1.00	1.90	Alluvial rocks
140	83	1.00	1.78	
150	86	3.33	1.68	Hardcrystalline rocks, Massive limestones, or Sandstones
160	89	3.33	1.74	
170	92	3.33	1.80	
180	95	3.33	1.85	
190	98	3.33	1.94	
200	100	5.00	2.00	Metamorphic rock

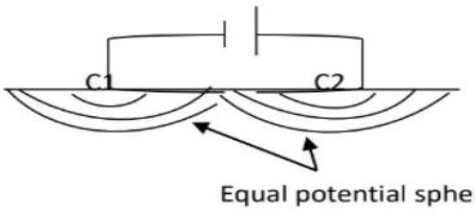
$$V_{int} = \frac{(Z_x - Z_{x-1})}{(T_x - T_{x-1})}$$

$$V = \frac{Z_x}{T_x}$$

Electrical or Resistivity Method المسح الكهربائي

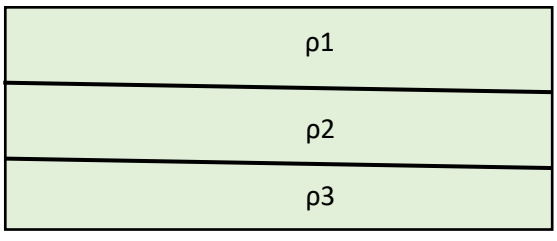
تعد طريقة المسح الكهربائي من أهم الطرق بالتنقيب عن المياه الجوفية وعن خامات المعادن ومن خلالها نتمكن من حل مشكلات بيئية كبيرة مثل مشكلة تسرب المياه من السدود والبحيرات الصناعية وتستخدم في حل مشكلات تلوث المياه الجوفية وتقييم خطر تلوثها

- تتم بتمرير تيار كهربائي بين قطبين (في وسط متجانس مقاوميته ρ) وتستطيع أن تسحب مقاومة الصخور تحت الأرض وتكرر هذه العملية عدة مرات ويفضل ان تكون على خط مستقيم ومن هذه القياسات نستطيع ان نستنتج التتابعات الطبقية للصخور ومقاومتها و انواع صخورها وبما أن **المقاومة تقل اذا كان الصخر مشبع بالماء** نستطيع ايجاد المياه الجوفية فيما يخص المياه الجوفية بهذه الطريقة نجري التجارب بطريقة المسح العامودي وهي الطريقة المستخدمة في قياس تغير مقاومة الصخور عاموديا وتفسيرها تفسيرا كميا
- التيار الكهربائي ينتقل من الجهد الاعلى للجهد الاقل ويقطع اقصر مسافة، في الوسط المتجانس ٥٠٪ يبقى محصورا في مساره بين سطح الارض وعمق قيمته c1c2/2 و ٧٠٪ يبقى محصورا بين سطح الارض وعمق c1c2

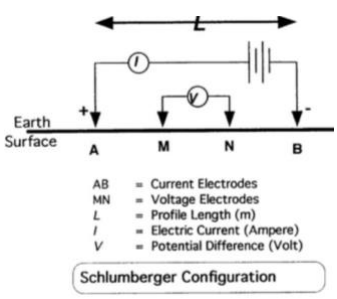


Equal potential spheres(circle)

$$V = \frac{\rho_1}{\pi_2} x \frac{1}{r}$$



- من العوامل التي تتحكم في مقاومة الصخور: المكونات المعدنية للصخور (mineral composition)، الفراغات (porosity)، المواد التي تملأ الفراغات، التماسك (compaction)، عمر الصخر ودرجة تبلوره وتشبعه في السوائل
- انكسار الموجات الكهربائية مهم في **دراسة التتابعات الطبقية**، فهي تنكسر باتجاه المقاومة الاقل، في الشكل المجاور اذا كانت ρ1>ρ2 تنكسر للعلى باتجاه الراصد واذا كانت ρ1<ρ2 تنكسر للاسفل باتجاه الطبقة ρ3
- تستخدم هذه الطريقة ايضا بالبحث عن الاجسام تحت السطحية الشاذة لان التيار يسلك الطرق ذات المقاومة الاقل



Schlumberger Configuration

$$wenner\ equation: \ \rho = 2\pi aR = 2\pi a\left(\frac{\Delta V}{I}\right)$$

- **طرق تنفيذ المسح الكهربائي او المسح باستخدام المقاومة:**
  1. **المسح الافقي (horizontal):** دراسة المقاومة افقيا، ممتازة لدراسة الاجسام التحت السطحية الشاذة والمعادن والاجسام النارية والكهوف والدفائن، جيدة في تحديد بعض التراكيب وغير جيدة للمياه الجوفية
  2. **المسح العامودي (vertical, trenching, or mapping):** دراسة المقاومة عاموديا، تستخدم لمعرفة التتابعات الطبقية والتنقيب عن المياه الجوفية وانواع الصخور ومقاومتها

المسح المغناطيسي والجاذبي Magnetic & Gravity Methods

- عند عمل مسح جاذبي لمنطقة ما يتم ربطها مع المسح المغناطيسي وهناك تشابه واختلاف بين الطريقتين
- مركبات المجال المغناطيسي F, Z, H, I, D
  - عند خط الاستواء D ويساوي 0, المجال المغناطيسي عند الاقطاب هو F ويساوي 0, I & D هم الاقل استخداما في التنقيب
  - المركبة Z لا تستخدم في مناطق الاستواء والمركبة H لا تستخدم في مناطق الاقطاب
- كلا الطريقتين لا تستخدمان في معرفة التتابعات الطبقية للصخور الرسوبية لعدم وجود هصائص مغناطيسية وتباين في الكثافة لكنها مهمة في دراسة ال basement وهي صخور مغناطيسية بسبب وجود susceptibility contrast و density contrast عاليين بها
- المسح الجاذبي اقوى من المغناطيسي في دراسة التراكيب الرسوبية لكنها غير جيدة مقارنة بال Seismic
- تستخدم هذه الطرق في:
  1. التنقيب عن البترول وال basement وعمقه وتراكيبه وهي من الطرق السريعة والرخيصة فتوفر الوقت والجهد والمال
  2. المسح المغناطيسي تستخدم بالتنقيب عن المياه الجوفية المحتبسة في البازلت والجرانيت
  3. تستخدمان بالبحث عن خامات المعادن والاجسام تحت السطحية الشاذة وحل المشكلات الهندسية والبيئية
  4. غير جيدة لحل مشكلات تسرب المياه الجوفية بالسدود
  5. المسح المغناطيسي تستخدم لحل مشكلة التلوث لكن الجاذبي غير جيدة بهذا الاستخدام