

الفصل الأول

أسس القياسات الجيوفизيائية البئرية

1.1 - الفوائض الفيزيائية وتصنيف الصخور بتروفيفيزياً.

إن تحديد الخواص الفيزيائية وتحول استخداماتها بشكل تصاعدي من تصنيف الصخور ووضعها في مجموعات إلى طرق يعتمد عليها الحصول على معلومات جيوفيزياً لتوسيع العمليات الفيزيائية والفيزياء كيميائية لصخور القشرة الأرضية والمناطق الأكثر عمقاً.

وتوافق هذا التحول مع زيادة إمكانيات وتطور وسائل دراسة الصخور مثل دراسة الأطيف وتقنيات التحاليل المخبرية للعينات.

فالكتافة أو الوزن النوعي Density، والخواص المغناطيسية والتساوة Hardness عرفوا وحددوا بدلاً شمولية لاستخدام الخواص الفيزيائية في عملية تصنيف الفلزات Minerals وكذلك الصخور Rocks.

إن تزايد الحاجة إلى المواد الخام والطاقة أدى بالاعتماد على التقدم التقني في القياسات إلى تشكيل طرق الجيوفيزياء التطبيقية وتطويرها Methods of Applied geophysic. وتزايدات الحاجة والإمكانية بالوقت نفسه إلى تحديد مفصل ودقيق لخواص الصخور الفيزيائية، وعلاقات ارتباط هذه الخواص الفيزيائية مع خواص المكامن والعوامل الجيولوجية والميكانيكية للمكامن، إن إيجاد هذه العلاقات هو شرط مسبق ورئيسى من أجل عملية تفسير المعطيات الجيوفизيائية على أساس:

أ - دراسة العوامل أو الصفات الجيوفизيائية للصخور (مثل المقاومة الكهربائية النوعية R ، سرعة انتشار الأمواج المرنة...) المتعلقة بالتوزع الفراغي للجزيئات المؤلفة للصخر.

ب - دراسة العوامل أو الصفات الخزينة للمكامن (مثل المسامية ϕ ، نسبة التشبع بالماء Sw محتوى الصخر من الغبار V_{sh} ...) المتعلقة بالتوزيع الفراغي للجزيئات المؤلفة للصخر.

ـ دراسة العوامل أو الصفات الميكانيكية للصخور (مثل التماسك، الصلابة، خواص التغير كالمرونة..) المتعلقة بالتوزع الفراغي للجزئيات المولفة للصخر وكذلك نوعية وطريقة ارتباطها بعضها ببعض.

ويمكن عن طريق ربط عدد من هذه العوامل أو الصفات الفيزيائية بعضها بعض للحصول على عوامل أخرى مهمة (مثل نسبة التشبع بالماء SW، النسب الحجمية للمواد..).

وهكذا نرى أن دراسة الخواص الفيزيائية للصخور (الخواص البتروفيزيائية) تمثل العلم الذي يربط معاكل من الجيوفيزيا geophysic، والليثولوجيا Lithology، والبتروغرافيا petrography، والهيدروجيولوجيا Hydrogeology وميكانيك التربة geomechanic.

ودراسة أحد العوامل البتروفيزيائية تشكل معرفة القيم المتوقعة لهذا العامل ومجال تراوح هذه القيم إحدى القواعد الأساسية أو المبدأ الفيزيائي الرئيسي لتصميم وبناء جهاز قياس لإحدى الطرائق الجيوفيزائية الخاصة بحل إحدى المشكلات الجيولوجية أو الجيولوجية الهندسية.

وإن دراسة العوامل البتروفيزيائية المتعلقة بالقياسات الجيوفيزائية التطبيقية من حيث وحداتها وارتباطها بعوامل أخرى مثل المسامية ϕ والتركيب المينرالي للصخر، الضغط P و الحرارة T شكل القسم الرئيسي لهذا الفصل.

إن الصعوبات العامة المصادفة أثناء دراسة الخواص الفيزيائية للصخور مقارنة مع دراسة الخواص الفيزيائية للعناصر المعدنية ناتجة بوجه أساسى من كون الصخور مشكلة بوجه عام من أكثر من عنصر. هذا يعني أن هناك عدداً من العناصر التي لها خواص فيزيائية مختلفة تشارك في بناء الصخر، هذه المشاركة تكون بكميات ونسب متغيرة من صخر آخر حسب الظروف الجيولوجية التي شكل فيها الصخر، وهذا يؤدي إلى اختلاف كبير في البناء البنيكي الفراغي للصخر.

إن الخواص الفيزيائية المختلفة لهذه العناصر المشكّلة للصخر والتأثير المتبادل بينها تحدد الخواص الفيزيائية للصخور بالإضافة إلى تأثير درجة الحرارة T والضغط P السائدان أثناء تشكّل الصخر.

١ - ٢ - تعرّيف الصخور من وجهة النظر البتروفيزيائية.

الصخور - بعدها جزءاً من القشرة الأرضية هي خليط من المعادن أو الفلزات ويمكن أن تكون وحيدة المعden أو الفلز - يمكن أن تصنف من وجهة النظر الجيولوجية حسب منشأها الأول إلى ثلاثة مجموعات:

أ - الصخور الإنذاعية .*Magmatite*

ب - الصخور الرسوبيّة .*Sedementite*

ج - الصخور الاستحالية .*Metamorphite*

ويمكن أن ندرج ضمن المجموعة الواحدة صخوراً عديدة تحوي فلزات أو معادن معينة ولها بنية هيكلية فراغية عامة متماثلة تقريباً. ولابد لنا قبل المضي قدماً أن نتعرّف على بعض التعابير المهمة، فعندما نقول بنية الصخر أو التركيب البنائي للصخر "geiige" فإن هذا التعبير من وجهة النظر البتروفيزيائية يشمل كلّاً من مفهومي البنية الهيكلية للصخر "Structur" والبنية النسيجية للصخر "Texture" وبذلك يتضمّن مفهوم التركيب البنائي كلّ معطيات البناء الفراغي للأجزاء المولفة للصخر وكذلك معطيات وخصائص الوحدات الفازية المولفة للصخر. ويمكن أن نعرف أن:

- البنية الهيكلية للصخر هي الترتيب والنظام الهندسي الفراغي للجزئيات أو الأجزاء المكونة للصخر سواء أكانت أيونات أو ذرات أو فلزات.

- البنية النسيجية للصخر تصف أحجام وأشكال الأجزاء المولفة للصخر فيما إذا كانت صغيرة أو كبيرة، متبلورة أو عديمة التبلور أو زجاجية، كروية، متوازية أو غير منتظمة...

ينصح بتقسيم الصخور من وجهة النظر البتروفيزيائية إلى الأقسام التالية:

- تقسم حسب المواد الداخلة في البناء إلى قسمين:

* وحيدة المعدن أو الفلز Monomineral

* متعددة المعادن أو الفلزات Polymimetal

- وتقسم حسب نسبة الأجزاء الصلبة الداخلة في تركيبها وتوزعها الفراغي إلى قسمين:

* صخور كثيمة Hard or Compact Rocks

* صخور مسامية Porous أو متشقة Fracture

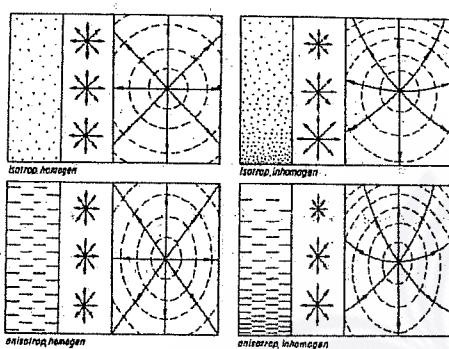
وتقسم حسب نوع ارتباط الأجزاء المولفة للصخر ودرجتها وكيفيتها، إلى قسمين:

* متماسكة (متراقبة)

* غير متماسكة (غير متراقبة)

1 - 3 - القواعد الأساسية للعامل البتروفيزيائية

إن الصخور غالباً ما تكون مكونة من خليط من الفلزات ومع ذلك يمكن عد هذه الصخور متجلسة ضمن أبعاد مجهرية صغيرة. وتتسرب قيم العوامل الفيزيائية للصخور في العادة إلى المجال الحجمي الذي يعد التجانس الماكروسکوبي للصخر محققاً فيه. هذا التجانس يضمن من خلال السماحية (مجال تغير قيم العوامل البتروفيزيائية للصخر) بتغيير محدود في التركيب المترافق للصخر ومن خلال التشابه العام للبناء الصخري ضمن المجال الحجمي المدروس، وكذلك من خلال التناسب بين أبعاد الأجزاء المشكلة للصخر وأبعاد العينة المدروسة، وهذا تظهر شروط تقنية لقياس يجب مراعاتها، مثلاً يجب أن يكون طول الموجة المرنة المستخدمة في الدراسة أكبر بكثير من أبعاد الجزيئات المشكلة للصخر وأصغر من أبعاد العينة المدروسة. والقيم المنشورة لخواص الفيزيائية للصخر، أو المعادن والفلزات هي قيم متوسطة وتفترض التجانس الماكروسکوبي، وتكون بذلك العوامل البتروفيزيائية المعروفة للصخر (وزن نوعي ρ ، سرعة انتشار الأمواج الصوتية V ، المقاومية الكهربائية $R..$). وتوصف هذه الخواص البتروفيزيائية المدروسة من خلال علاقات رياضية متعددة.



شكل ١ - ١ يوضح معنى التنااظر - عدم التنااظر، ومعنى التجانس - عدم التجانس "GASSMANN" .

وتوضح هذه العلاقات تبعية (تأثير) إحدى العوامل البتروفيزيائية المدروسة في الاتجاه مثلاً، وهذا يمثل عدم تنااظر الصخر. والشكل ١ - ١ يبين ازدواجية الخواص (تنااظر - عدم تنااظر) و (تجانس - عدم تجانس) وارتباطهما ببعضهما وبعض.

٤ - العوامل المؤثرة في الفوامن البتروفيزيائية.

- * لما كانت الصخور تمثل خليطاً من الفلزات أو المعادن فإن خواصها الفيزيائية تحدد أو تتعلق قبل كل شيء بالخواص الفيزيائية النوعية للأجزاء الصلبة المؤلفة للصخر (المعادن أو الفلزات)، أو ترتيب هذه الأجزاء ترتيباً فراغياً (تركيب بنية)، أو بطريقة ارتباط هذه الفلزات ببعضها وبعض.
- * وإذا شاركت مواد سائلة أو غازية في بناء الصخر (الصخور المسامية والمشقة) فإن نسبة المسامية ϕ ونسبة التشبع بالماء Sw والخواص الفيزيائية النوعية لهذه الأجزاء السائلة تؤثر تأثيراً كبيراً في معظم الخواص البتروفيزيائية للصخور. والسبب في هذا التأثير الكبير يعود إلى أن المواد الصلبة ومحتوى المسامات أو الشقوق (سائل، غاز) تبدي خواص فيزيائية نوعية مختلفة ومميزة.
- * ويمكن أن يظهر التأثير المتبادل والمترافق بين الأجزاء الصلبة المؤلفة للصخر والمواد السائلة أو الغازية الموجودة في المسامات بظهور خواص قوى التوتر الشعري أو في تغير طريقة ترابط الحبيبات ونوعية السمنتة بينها.
- * ويؤثر شكل الحبيبات وحجمها وانتظامها وبمعنى آخر تؤثر البنية الهيكلية والنسيجية للصخر تأثيراً كبيراً في الخواص البتروفيزيائية للصخور المدروسة.
- * أما الشروط الطيفية من ضغط P وحرارة T فتؤثر في الخواص البتروفيزيائية للصخور تأثيراً متبيناً وملحوظاً (مثلاً المقاومية الكهربائية للصخور R ، الوزن

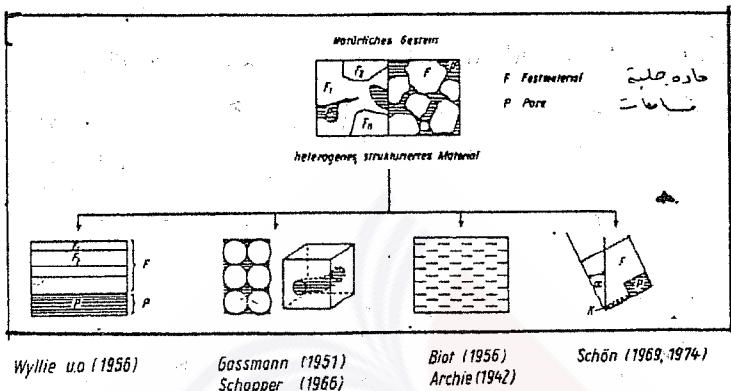
النوعي (.....، م)

* وأخيراً في بعض الحالات تؤثر خواص وتقنية الأجهزة المستخدمة مثل التردد المستعمل (Frequency) وتأثير الاستخدام المستمر والطويل على الجهاز وحساسيته لقيم الخواص البتروفيزيائية للصلب المدرسوة.

١- ٥- نماذج العصر النظيرية المستخدمة في الدراسات البيوفيزائية.

إن الأعمال والدراسات النظرية في مجال البقروفiziاء تسعى لتحقيق الأهداف التالية:

- إيجاد تعليمي فيزيائي لمعظم علاقات الارتباط التجريبية للعامل البتروفيزيائي والعامل المؤثرة بها.
 - إيجاد معادلات رياضية تمثل علاقات الارتباط السابقة والتي تسمح باستخدام القيم المقاسة للحصول على العامل البتروفيزيائي المطلوبة. وتسمح كذلك باستعمالها في المعالجة الرقمية.
 - إمكانية تعليم هذه العلاقات الارتباطية على كافة الصخور وتحسين نوعية تفسير القياسات من أجل زيادة المعلومات الممكن الحصول عليها لبيان الخواص البتروفيزيائية للصخور.
 - إن الصعوبة الأساسية في الدراسة النظرية للصخور تعود في الدرجة الأولى إلى عدم تجانس الصخر أو بالأحرى إلى الاختلاف الواسع في التركيب البنيوي للصخر وتوزعه الفراغي.
 - إن معظم الدراسات النظرية تتطرق من الفرضية القائلة بأن الصخور متجانسة ضمن مجال صغير جداً "Macroscopy". وكل عرض نظري للخواص الفيزيائية للصخر يجب أن يعتمد على نموذج أو نوع جيوفيزيائي يمثل الصخر المدروس.
 - والشكل 1-2 يوضح بالرسم البياني النماذج الجيوفيزيائية العديدة ممثلة بأهم أربعة نماذج. وتحتاج هذه النماذج النظرية بعضها عن بعض بطريقة تمثل التركيب البنائي الحقيقي (الفراغي) للصخر وكيفية ارتباط أجزائه وتوزع مساماته.



شكل 1-2 تصنیف النماذج النظرية لحساب الخواص الفيزيائية للصخور

6. التأثير المتبادل بين الفواعر البتروفيزيائية وتأثرها بالحرارة والضغط

إن أهم الخواص البتروفيزيائية التي سنهتم بها هي الوزن النوعي ρ ، المقاومية الكهربائية للصخور R ، سرعة انتشار الأمواج المرنة V النسبة الحجمية للمواد الداخلة في التركيب، المسامية ϕ نسبة التشبع بالماء S_w .

وسنبين فيمايلي مع شرح موجز تأثير كل عامل بتروفيزيائي في الآخر وكذلك تأثير كل عامل بالحرارة T وبالضغط P .

1 - 6 - 1 - العوامل المؤثرة في الوزن النوعي ρ

إن الوزن النوعي هو العامل البتروفيزيائي الفعال في القياسات التقليدية، وله تأثير كبير في عامل الانعكاس في القياسات السايزمية وفي سرعة انتشار الأمواج المرنة، كما يؤثر تأثيراً مباشراً في نتائج القياسات الإشعاعية الصناعية (غاما - غاما).

الوزن النوعي هو النسبة بين الكتلة m والحجم V

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

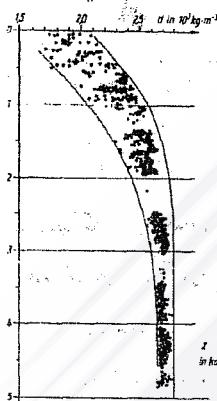
وإذا كان الصخر مؤلفاً من مجموعة فلزات فإن الوزن النوعي يكون

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \left(\frac{V_i}{V} \right) \quad (2-1)$$

وإذا كان الصخر مساميًا فيإن المعادلة السابقة وبالاعتماد على النموذج الصفائي المبين في الشكل (1 - 2) وعلى تعريف المسامية فإن الوزن النوعي يعطى بالمعادلة .

$$\rho = (1 - \phi) \cdot \rho_{ma} + \phi \cdot \rho_f \quad (3 - 1)$$

حيث:



ρ : الوزن النوعي مقداره / سـ³

V : الحجم الكلي سـ³

ρ_{ma} : الوزن النوعي للمادة الصلبة المؤلفة للصخر.

ρ_f : الوزن النوعي للمادة الماءة للفراغات.

ρ_i : الوزن النوعي للمادة الصلبة i.

V_i : النسبة الحجمية للمادة الصلبة i.

ϕ : المسامية.

m : كثافة الصخر الكلية.

شكل 1 - 3 تأثير الضغط (العمق) على الوزن النوعي للصخر

ان الشكلين (1 - 3) إلى (1 - 4)

تبينان بوضوح العلاقة بين الوزن

النوعي للصخور وكل من

المسامية والضغط . ومن المعادلة

(1 - 3) نرى أن الوزن النوعي

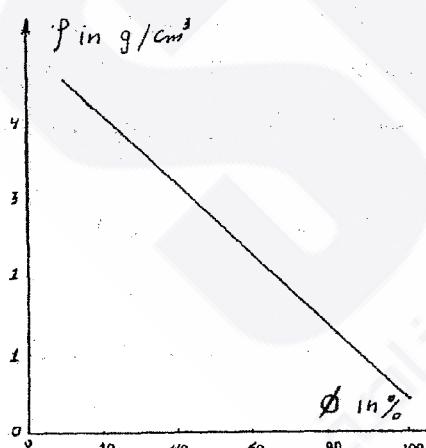
للصخر يتعلق بشكل أساسى

بالعوامل التالية:

الوزن النوعي للمواد الصلبة

المؤلفة للصخر ρ_{ma} لضغط ρ ,

المسامية ϕ ،



شكل 1 - 4 تأثير المسامية في الوزن النوعي للصخر.

الوزن النوعي للمواد المائمة للمسامات ρ_f وكذلك نسبة التشبع بها S_g, S_0

S_w

6 - 2 - العوامل المؤثرة في سرعة انتقال الأمواج المرنة V

إن سرعة انتقال كل من الأمواج المرنة الطولية V_p (Press Wave) والأمواج المرنة العرضية V_s (Transversal-wave) أو (Shear-wave) ينبع بالعوامل الأساسية التالية الوزن النوعي ρ ، وعامل المرونة E أو "Elasticity modul" أو "Young Modul" وعدد بواسون لها "γ".

بعد النوع الصفائحي (شكل 1 - 2) نقطة الانطلاق لاشتاق علاقة متوسط الزمن Time - average Relation التي قدمها WYLLIE عام 1956. وتشكل المبدأ النظري الأساسي لتحديد المسامية φ عن طريق القياسات الصوتية. غالباً تعطى المعادلة المتوسطية للزمن باستخدام زمان الانتقال عبر واحدة الأطوال وليس من خلال السرعة. وبذلك تصبح المعادلة

$$\Delta T = (1 - \phi) \Delta T_{ma} + \phi \Delta T_f \quad (4 - 1)$$

ويمكن أن تحسب المسامية عندها ومن المعادلة التالية:

$$\phi = \frac{\Delta T - \Delta T_{ma}}{\Delta T_f - \Delta T_{ma}} \quad (5 - 1)$$

حيث ΔT زمان انتقال الموجة المرنة عبر واحدة الأطوال من الصخر المسامي.

ΔT_{ma} زمان انتقال الموجة المرنة عبر واحدة الأطوال من المادة الصلبة.

ΔT_f زمان انتقال الموجة المرنة عبر واحدة الأطوال من المادة الموجودة في المسامات.

وفائدة هذه المعادلة عند الاستخدام في القياسات الاهتزازية أو الصوتية تكمن في:

- الرابط الخطبي بين T و ϕ

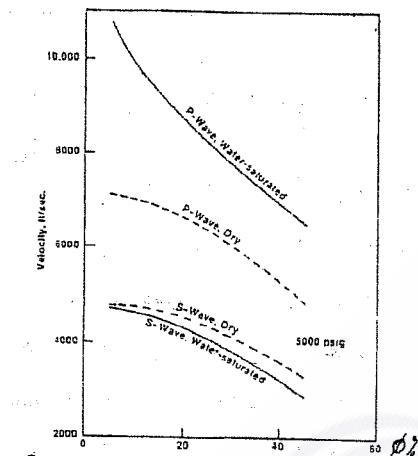
- في الواقع إن القيمة المقاسة في القياسات الصوتية هو زمان الانتقال الكلي

T والذي يمكن تحويله إلى زمان الانتقال ΔT وربطه مع المسامية φ.

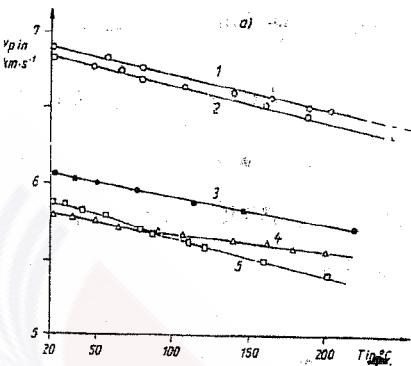
والأشكال التالية توضح العلاقة بين المسامية φ وسرعة انتشار الأمواج المرنة V_p .

سرعة انتشار الأمواج المرنة V_p مع الضغط P، سرعة انتشار الأمواج المرنة V_p مع نسبة

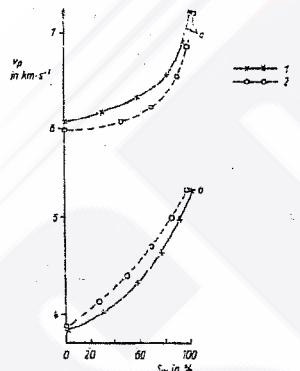
التشبع S_w ، سرعة انتشار الأمواج المرنة V_p مع نسبة تواجد الغبار V_{sh} .



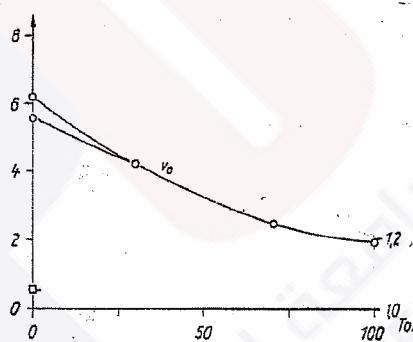
شكل ١ - ٦ علاقة سرعة انتشار الموجة
المرنة مع المسامية ϕ .



شكل ١ - ٥ علاقة سرعة انتشار الموجة
المرنة مع درجة الحرارة T



شكل ١ - ٨ علاقة سرعة انتشار الموجة المرنة
مع نسبة تواجد الشباع بالماء S_w .



شكل ١ - ٧ علاقة سرعة انتشار الموجة

ان تأثير الحرارة العالية يقلل من سرعة انتشار الأمواج المرنة كما هو مبين في الشكل ١ - ٩). ونرى أن تأثير درجة الحرارة في البداية $^{\circ}C$ ١٥٠ - ١٠٠ يكون صغيراً أما في درجات الحرارة العالية فيكون التأثير واضحاً وذلك يعود للأسباب التالية:

- انتقال الماء أو السائل الموجود في المسامات إلى الحالة الغازية مما يؤثر في تماست الحبيبات والمواد الصلبة المؤلفة للصخر
- اختلاف عامل التمدد للمواد الداخلة في تركيب الصخر يؤثر أيضاً في الطريقة التماست فيما بينها ونوعيتها.

- تغير في الخواص المزنة للمواد الصلبة المؤلفة من الصخر.

- 3 - العوامل المؤثرة في المقاومية الكهربائية (النوعية) للصخر R.

إن المقاومة الكهربائية R أو الناكلية C

لآخر ما تعتمد على العوامل التالية:

١- الخصائص الكهربائية للمواد الداخلة في بناء الصخر.

ب - الخصائص الكهربائية للمواد المائية
للمسامات أو الشقوق.

→ التركيب البنوي للصخر.

شكل 1 - ٩ تأثير الحرارة في سرعة انتشار الأمواج المرنة د - المسامية

و سند: ^٢، يشيء من التفصيل تأثير كل عامل من العوامل السابقة في المقاومة

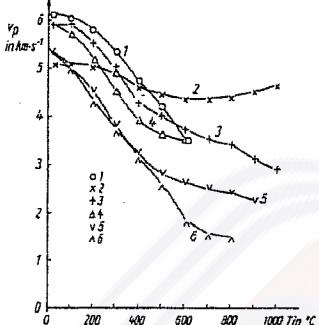
الكهر يائية للصخر.

١ - ٣ - ٦ - ١ - الخصائص الكهربائية للمواد الداخلة في تركيب الصخر.

اظهرت النتائج المخبرية للعديد من الباحثين مثل Porchomenkov 1965، Clarke 1969، Dortman 1976 أن معظم الفلزات الداخلة في تركيب الصخور، مثل كوارتز، كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، Glimmer، Fald spate، CaCO₃، مثل كوارتز، كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، Glimmer، Fald spate، CaCO₃،

أما المقاوميات الكهربائية الصغيرة فهي من خصائص الفلزات المعدنية مثل بيريت Pyrit، هيماتيت Hematit، ماغنيتит Magntit وذلك فحم الغرافيت graphit. وهذه الفلزات الناقلة لاتتمتع بانتشار واسع وإنما تجتمع في مكان. وإذا احتوى الصخر على أكثر من 5% منها عد ناقلاً للتيار الكهربائي.

ولكن للغازات الغضارية خواص كهربائية خاصة وتأثير تأثيراً كبيراً في المقاومية الكهربائية للصخور حسب نسبة وجودها وطريقة ارتباطها بالغازات الأخرى.



شكل 1 - 9 تأثير الحرارة في سرعة انتشار الأمواج المرنة