

## الفصل الحادى عشر

### تسجيل الآبار

## Well Logging

### 1.11 مقدمة Introduction:

يمكن الوصول مباشرة للصخور الموجودة تحت سطح الأرض بواسطة الحفر. ويحصل على أحسن العينات بواسطة الحفر اللبى (الجوفى) (core sample)، ولكن هذه الطريقة عالية التكاليف جدا وعمليا فإنها نادرة للأعماق القليلة التى لا تتجاوز عدد قليل من آلاف الأقدام\*. وتنتج طرق الحفر الدائرى صخور مفتتة تخرج من الآبار بواسطة سوائل الحفر. وتكون هذه الصخور المفتتة مختلطة ببعضها ومحتوية على سوائل الحفر ولذلك يصعب تفسيرها. والأكثر من هذا فإن هذه القطع المفتتة لاتدل بوضوح عن المسامية والنفاذية لنسيج الصخور المفتتة منها، أو تدل على السوائل الطبيعية الموجودة فى الفراغات الصخرية. لهذا فقد طورت الأجهزة لقياس خواص معينة مباشرة وذلك بعد إنزالها فى ثقب الحفر. وتسجل هذه الأجهزة الخواص المطلوبة أثناء سحبها لأعلى. تسمى هذه العملية تسجيلات القياسات البئرية، والشريط المرسوم عليه القياسات يسمى تسجيل البئر.

### 2.11 حفر الآبار: Well Drilling

يتم هذا بواسطة الحفر الدائرى أو الحفر الدقاق.

#### 1.2.11 الحفر الدائرى Rotary Drilling:

يوجد نوعين من عينات الصخور التحت سطحية والتي تستخرج بهذه الطريقة تبعا لنوع لقمة الحفر.

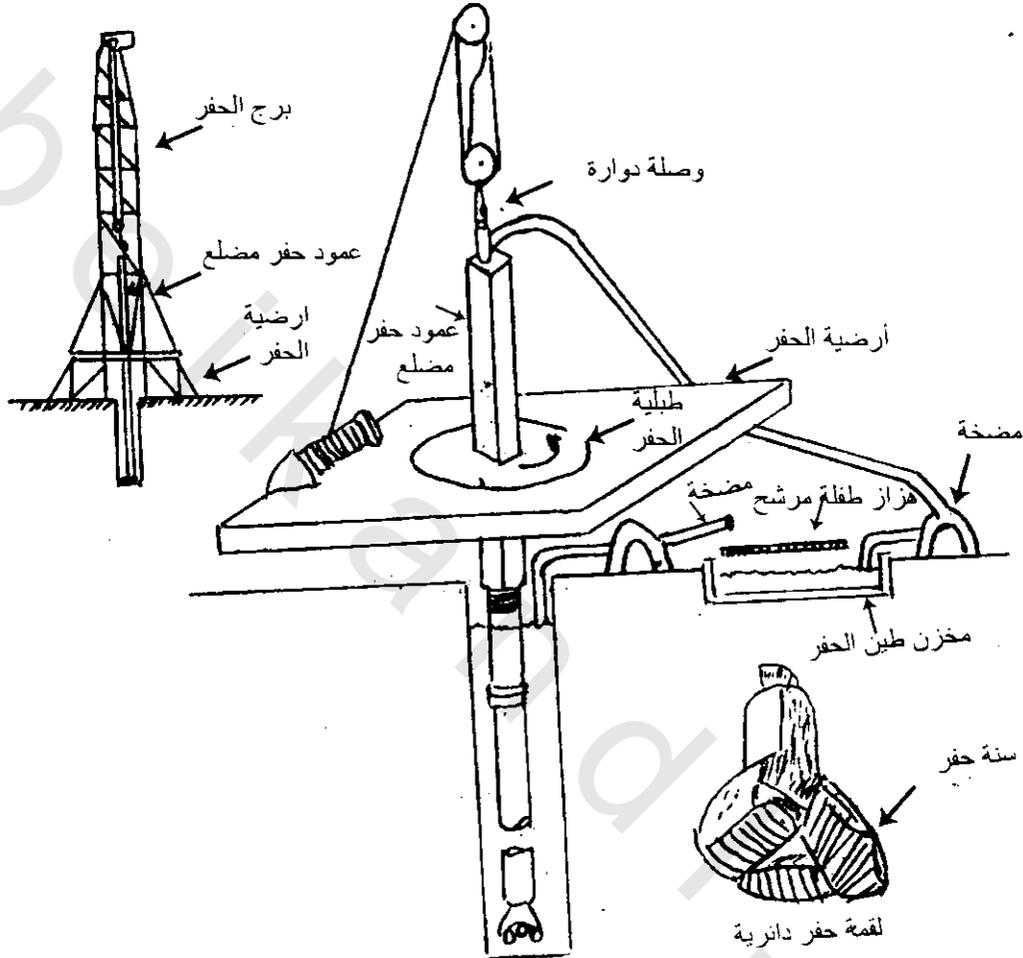
- (i) عينات فنائية Detch sample: والتي تستخرج بواسطة لقمة حفر لها أسنان دائرية.
- (ii) عينات لبية (جوفية core sample) والتي تستخرج بواسطة لقمة حفر أنبوبية مجوفة.

#### 1.1.2.11 الحفر لعينات مفتتة Drilling For Detch Samples:

تستخدم هذه الطريقة للآبار العميقة والضحلة. ويصل العمق بهذه الطريقة لأكثر من 40,000 قدم. ويوضح شكل (1-11) الأجزاء الرئيسية للحفر الدائرى. يتم الحفر بلقمة\*\* مثبتة بنهاية عمود متصل بقضيب مربع أجوف، والمثبت خلال تجويف فى قاعدة دائرية. وتدار القاعدة الدائرية بواسطة آلة تسبب دوران العمود بسرعة أعلى

\* تصل بعض أعماق الآبار العميقة لحوالى أكثر من 12 ألف قدم  
\*\* قطر لقمة الحفر أكبر من قطر الأنبوب المركبة عليها.

من 300 لفة فى الدقيقة. ونتيجة لذلك فإن الأسنان الموجودة على اللقمة الدائرية تطحن الصخور مسببة حفرة عميقة فى الأرض. وفى نفس الوقت يدفع سائل الحفر\* الموجود فى الخزان\*\* لأنابيب عمود الحفر. وينسب هذا السائل خارج أنابيب الحفر من بين أسنان لقمة الحفر ويرتفع فى جوانب البئر حامل الصخور المفتتة عالياً لسطح الأرض وعلى السطح يرشح الفتات الصخرى من سائل الحفر ويعود السائل مرة أخرى لخزان سائل الحفر.



شكل (1-11): أجزاء حفر أساسية للبئر الدائرى. تدير نظام القوة طبلية الحفر، والتي تدير العمود الداخلى لأنبوبة الحفر. تطحن لقمة الحفر صخور قاع الثقب. يضخ طين الحفر لأسفل خلال أنبوبة العمود، عندئذ ترتفع فى الثقب حاملة الفتات الصخرى للسطح.

وبتعميق البئر تضاف أنابيب دائرية لقطع الأنابيب الدائرية الماسكة للقمة الحفر من نهايتها العلوية والتي تدخل أسفل قاعدة الحفر لإطالة عمود الحفر. وتغير لقمة الحفر عندما تصبح غير صالحة وتسمى هذه العملية (عملية إزالة strip making)\*. ويستخدم سائل الحفر لعدة أغراض:

- (i) حمل الصخور المفتتة خارج البئر.
- (ii) فى الآبار العميقة يجب أن يكون سائل الحفر لزج ليعلق به الفتات الصخرى لحين خروجه من البئر
- (iii) يقوم بعملية تشحيم أنابيب الحفر وتبريد لقمة الحفر

\* طين، كلوريد صوديوم، يابرابت، ماء (يسمى هذا طين الحفر mud).

\*\* حفرة بجوار البئر الجارى حفره.

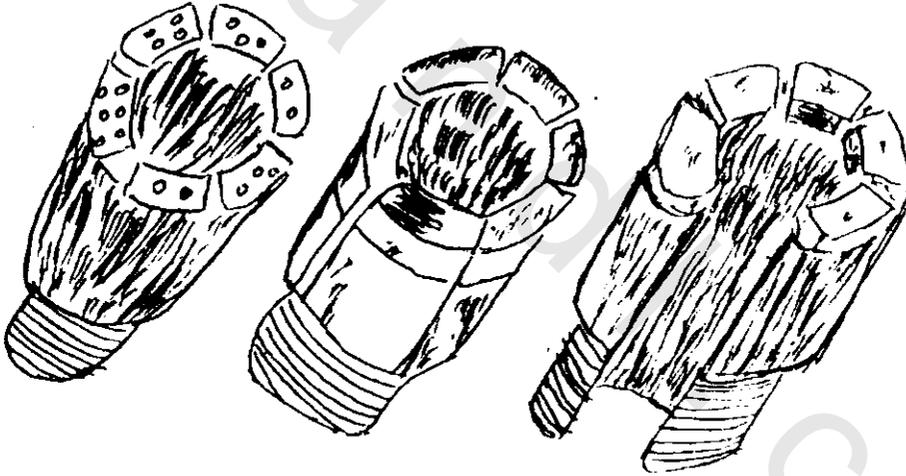
فى الآبار العميقة تستغرق هذه العملية على الأقل عدة ساعات وربما أكثر من يوم.



## 2.1.2.11 الحفر الدقى Percussion Drilling:

يشتمل الحفار شكل (4-11) على مطرقة متصلة بكباس يتحرك لأعلى وأسفل فى إسطوانة. يدفع هواء مضغوط لأعلى الحجرة لخفض الكباس لأسفل. فى هذه العملية يتسرب الهواء المضغوط لقااع الحجرة. عندما يدفع الكباس لأسفل بكمية كافية، ينسحب الهواء المضغوط لأعلى الحجرة خلال الفجوات الأنبوبية بجانب الأسطوانة. وعندئذ تنغلق الفجوات الجانبية، سامحة للضغط بالتجمع مرة أخرى أعلى الحجرة. تتكون هذه الدورة عدة مرات كل ثانية.

يسحق الدق السريع للمطرقة - والتي تكون مدعمة بعقد من كربيد التانجستون أو مواد أخرى صلبة - الصخور لتراب دقيق. ويسحب الهواء المتسرب من الحجرة العلوية التراب خارج البئر. ويتقدم الحفر تضاف أطوال من الأنابيب لعمود الحفر. أيضا تبلى المواد الصلبة المثبتة على المطرقة ويكون من الضرورى عملية إزالة make a strip لإحلال لقم الحفر. عادة يكون الحفر الدقى اسرع من الحفر الدائرى، ولكن يصل لعمق بعده لايقدر الهواء المتسرب على إزالة تراب الصخر. كذلك، هذا الحفر محدود بتأثير تسرب المياه الجوفية والتي تعوق إنسياب الهواء وتراب الصخر لأعلى.



شكل (3-11):

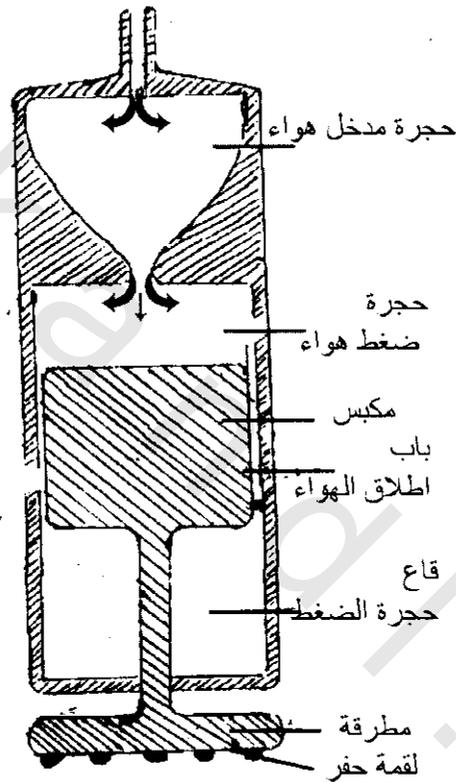
## 3.1.2.11 التغطية Casing:

يغطى البئر بواسطة عمود من الأنابيب يسمى تغليفه (casing)، وينزل هذا العمود فى البئر بعد إزالة أنابيب الحفر. عندئذ يضغط السمنت داخل البئر لملا الفراغات الموجودة بين جدار البئر وأنابيب التغطية لتثبيتها فى مكانها. تمنع هذه العملية إنسياب السوائل الطبيعية بالتكوينات للبئر وكذلك تمنع الصخور المفككة من الإنهيار وسد البئر. بعد إتمام التغطية، يمكن اختيار العمق المعين للسماح للماء أو الزيت والغاز من الطبقات الحاملة له (صخور الخزان Reservoir rocks) للإنسياب للبئر. أحيانا يجب عمل التغطية قبل إتمام حفر البئر مثال لذلك:

- i- عندما تغرق المياه الجوفية للبئر لا يمكن عمل الحفر الدقاق.  
 ii- فى الحفر الدائرى مشكلة إنهيار الصخور والفقد الكبير لسائل الحفر فى النطاقات المشتقة تحل بواسطة التغطية.

بعد إتمام التغطية، يعاد الحفر بلقمة حفر صغيرة والتي تمر خلال أنابيب التغطية.

تسبب التغطية بعض المشاكل الهامة لتسجيلات الآبار. فعادة، لا يمكن إتمام عملية التسجيلات الكهربائية فى بئر مغطى فلزيا. أيضا تشوه التسجيلات الصوتية بشدة. ولكن يمكن إجراء التسجيلات المشعة التى لاتتأثر بهذه التغطية.



شكل (4-11): رسم تخطيطى لمجموعة لقم تستخدم للحفر الدقى، تعمل المطرقة بضغط الهواء الذى يضخ لأسفل خلال عمود أنبوبة الحفر من حجرة مدخل الهواء. الصخور المفتتة تسحب خارجا من الحفرة بواسطة هواء مضغوط متسرب من أبواب إطلاق الهواء

### 3.11 التسجيلات الجيوفيزيائية Geophysical Logging:

تطورت حاليا الجيوفيزياء التطبيقية فى إتجاهين كبيرين هما:

أ- البحث والتنقيب الجيوفيزيائى.

ب- المسح البترولى والغازى الحقلى (تسجيلات الآبار).

تجرى تسجيلات الآبار بواسطة أجهزة إنزال ورفع لأجهزة كهربية خاصة فى داخل البئر لقياس العوامل الفيزيائية المختلفة (مثل المقاومة النوعية الظاهرية، الجهد الذاتى والتأثيرى المستقطب للصخور، الشدة الطبيعية والذاتية لإشعاعات جاما، كثافة النيوترونات، سرعة الصوت عبر صخور التكوين أثناء الحفر، قطر الثقب للبئر، محتويات غاز لهوب، المحتويات الزيتية والغازية فى الطفلة (الطين) ومكونات أخرى بالإضافة لقياسات سطحية دقيقة.

تسمح تسجيلات الآبار فى حقول الزيت بحل المشاكل الأساسية الآتية:

- i- التفريق بين الصخور المختلفة.
- ii- التفريق بين حدود الطبقات.
- iii- المقارنة وعمل تركيب تحت سطحى متوقع مميز.
- iv- تحديد السمك والإمتداد الجانبي للخزانات المختلفة،
- v- التمييز بين الطبقات الحاملة للزيت والغاز والماء وكذلك تحديد منطقة تماس الزيت والماء.
- vi- تقدير المسامية وتشبع الماء.

### 1.3.11 التسجيلات الكهربائية Electric Logging:

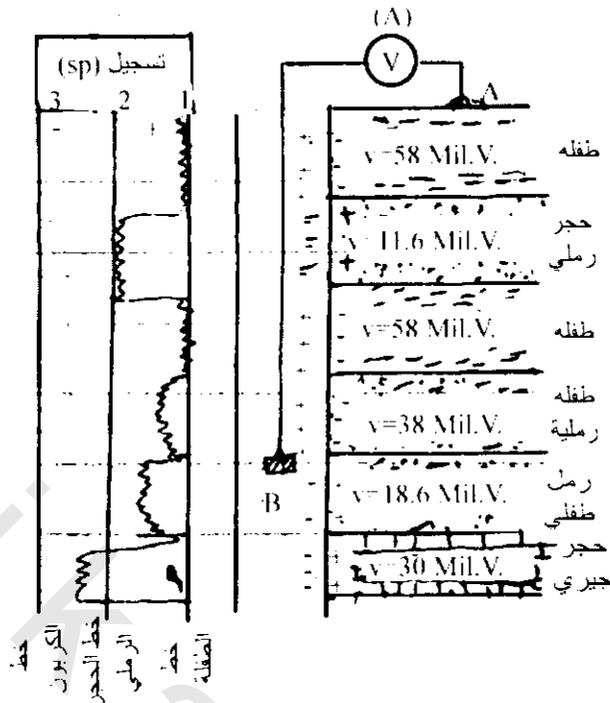
التسجيلات الكهربائية طريقة لقياس الجهد الكهربائى الطبيعى والمقاومة فى التكوين المخترق بواسطة البئر. تتم القياسات بواسطة جهاز راصد (sond)\* يتحرك فى البئر ومعلق على كابل حفر متصل الأقطاب عليه فى دوائر كهربية مختلفة تبعاً لغرض القياس والمصممة لقياس الجهد الطبيعى والمسمى عامة بالجهد الذاتى (spontaneous potential (sp)) وكذلك لاختبار المقاومة (Resistivity (R)) فى الطبقات المختلفة.

#### 1.1.3.11 تسجيلات آبار الجهد الذاتى (SP) Self-Potential Well Logging:

تتكون تسجيلات آبار الجهد الذاتى (SP) من قياس اختلافات الجهد الموجود طبيعياً بين الصخور المخترقة بواسطة حفر البئر. فى تسجيلات (SP) فإن القطب (B) الذى يقيس الجهد يتحرك فى داخل البئر ويستقر القطب المرجعى (A) على السطح شكل (5-11) يكون الجهد ثابت عند القطب المرجعى (المتسقر) ولكن (B) يقيس التغير فى الجهد الذاتى تبعاً لنوع الصخور. ويكون الجهد عند (A) اختياري ولا يؤخذ فى الإعتبار عند تفسير الجهد الذاتى (ج.ذ). ويعتبر اختلاف الجهد على تسجيل (ج.ذ) موجبا من الشمال للجنوب.

من الممكن ملاحظة تحديد خط الأساس التابع لقطاعات الطفلة shale على تسجيلات (SP) لأنواع من الآبار والذى يقع أثره على الجهة اليمنى لتسجيل الجهد (SP) على قيم التسجيل. عامة النقص فى هذا الخط الأساسى تجاه اليسار (سالِب) يدل على الطبقات المنفذة مثل الرمل. ويعتمد خواص منحنى (SP) بمقدار كبير على الطفلة والتكوينات المواجهة. من منحنى (SP) يمكن معرفة:

- i- إكتشاف الطبقات المنفذة.
- ii- تحديد حدود الطبقات (ما عدا فى حالة تكوينات لها مقاومة كبيرة).
- iii- الحصول على قيم جيدة لمقاومة التكوينات المائية.



شكل (11-5): نموذج لتغير جهد ذاتي في تتابع طبقي من الطفلة والحجر الرملي والحجر الجيري. تحدث نطفة التثني على التسجيل بالقرب من حواف الطبقات. (1) خط الطفلة (يحدد القيمة الموجبة)، (2) خط الحجر الرملي (خط الصفرة)، (3) خط الكبريت (يحدد القيمة السالبة)، (4) جهاز القياس

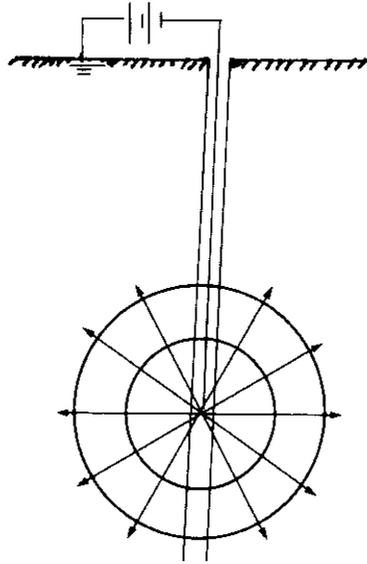
### 2.1.3.11 تسجيلات المقاومة Resistivity Logs:

قبل دراسة هذه الطرق يجب معرفة الأساسيات للصيغات الخاصة لقانون أوم. وحيث أن تسجيل المقاومة هو قانون أوم، فإن صيغة معادلة قانون أوم والمستخدم في تحليل قياسات المقاومة على سطح الأرض.

$$\Delta V = \frac{IR}{2\pi} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (11-1)$$

حيث  $\Delta V$  = الجهد،  $I$  = شدة التيار،  $R$  = المقاومة،  $d_1$ ،  $d_2$  = المسافات

وتستخدم هذه الصيغة أيضا في قياسات الآبار، ولكن يوجد في هذه الحالة اختلاف حيث توضع الأقطاب تحت سطح الأرض. لذلك ينتشر التيار خلال أغلفة مركزية كروية شكل (11-6) مختلفة بذلك نوعا ما عن الأغلفة النصف دائرية للقياس على الأرض. ولأن مساحة سطح الكرة لنصف قطر ( $r$ ) يكون  $2\pi r^2$  فإن معامل  $2$  ط في المعادلة السابقة (1) يجب تغييره إلى  $4\pi$  في المعادلة المستخدمة في تحليل قياسات المقاومة المقاسة في الآبار. عندئذ يصبح قانون أوم



شكل (6-11): اشعة كروية لتيار كهربى خارجى داخل فى تكوين متجانس من مصدر قطب واقع تحت الأرض بعيدا عن القطب الغاطس على سطح الأرض

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (11-2)$$

حيث  $V_{MN}$  التغير فى الجهد بين القطبين M، N،

ا شدة التيار المنساب بين قطبى المصدر A، B،

R مقاومة المادة المظمور فيها الأقطاب،

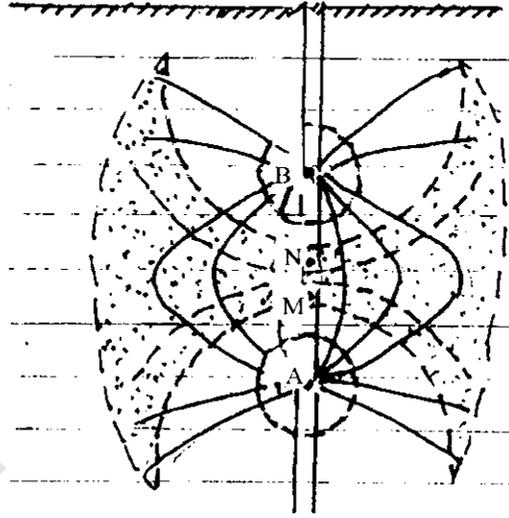
MA، MB، NB المسافات بين الأقطاب شكل (7-11)

ويمكن التعبير عن قانون أوم فى صيغ تبعا للترتيب الخاص للأقطاب.

1- فى هذا الترتيب يكون القطبين A، M قريبين من بعضهما فى داخل البئر، وكلا من القطبين N، B يوضعا بعيدين على السطح. ولأن NA يكون كبير جدا فإن العبارة  $\frac{1}{NA}$  تكون صغيرة صغرا كافيا للإهمال ويمكن

تعديل المعادلة السابقة لنحصل على النطاق المختبر بواسطة هذا الترتيب القطبى يكون سميك الأغلفة بنصف

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi AM} \quad (3)$$



شكل (11-7): توضح أشعة التيار (خطوط متصلة) وخطوط تساوي الجهد (خطوط متقطعة) إنسياب التيار والمجال الكهربى بين أقطاب مصدر التيار A، B الموضوع تحت الأرض فى تكوين متجانس. ويقاس اختلاف الجهد بين القطبين الآخرين N، M والذي يتأثر بواسطة المادة فى المنطقة المظللة بين أسطح تساوى الجهد على موقع القطبين N، M

قطر داخلى AM ونصف قطر خارجى كبير جدا شكل (11-8) وربما يحدث أغلب التغير فى الجهد فى أغلب الجزء الداخلى لهذا الغلاف ويعتمد هذا التغير فى الجهد على موقع القطب N وتوضح الأمثلة التالية هذا التغير.

وهذا يدل على أن نصف التغير فى الجهد المستنتج من المعادلة (11-4) يحدث خلال المسافة AM 2 من أقطاب المصدر.

(ii) إذا وضع القطب عند مسافة  $10 AM = AN$

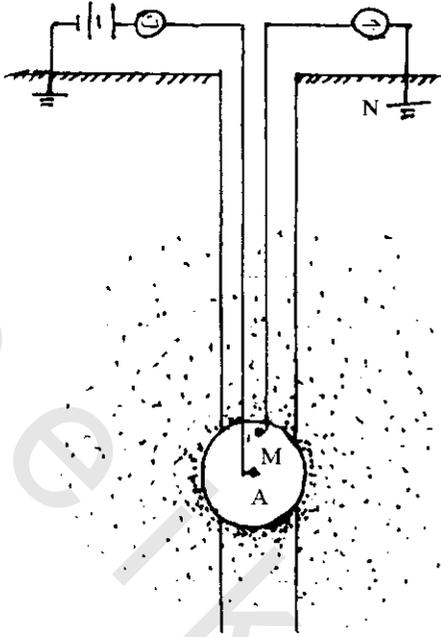
فى هذه الحالة فإن بعض التحاليل يدل على أن 90% من التغير فى الجهد المستنتج من المعادلة (11-3) يحدث خلال المسافة  $10 AM$  من أقطاب المصدر.

(i) إذا وضع القطب N عند مسافة  $2AM = NA$ .

فى هذه الحالة يمكن الحصول على نصف قيمة VMN تبعا للمعادلة (11-3) حيث

$$V_{MN} = 1/2 IR/4 \pi AM \quad (11-4)$$

عندئذ يتضح أنه حتى عند وضع القطب N بعيدا عن القطبين A، M فإن القياسات تكون أقوى تأثيرا بواسطة الصخور فى غلاف كروى رفيع تقريبا بنصف قطر داخلى MA. يوضح شكل (11-8) التدرج الظلى وكيف أن تأثير الصخور داخل هذا النطاق يضمحل مع المسافة منتساوى الجهد الداخلى.



شكل (8-11): ترتيب أقطاب والتي فيها يقع القطب (B) بعيدا عن قطب القطب A وهما أقطاب المصدر الكهربى. ويقاس اختلاف الجهد (V) بين القطب (M) القريب من القطب (A) والقطب (N) الموضوع بعيدا عن (M). يتأثر فرق الجهد (V) بالمادة فى الغلاف الكروى لنصف القطر الداخلى MA ونصف القطر الخارجى NA ولكن المادة القريبة من (M) لها تأثير أكبر من المادة الأبعد من (M) والموضحة بالتدرج الظلى

II- فى هذا الترتيب، القطب (B) أحد أقطاب المصدر، يوضع على الأرض والقطب الآخر للمصدر (A) يدخل فى البئر مع قطبين القياس (M، N) واللذان يقيسان التغير فى الجهد فى شكل (9-11)

هذا الترتيب شائع عمليا فى التسجيلات الكهربائية. وحيث ان هذا التطبيق يجعل المسافتين MB، NB كبيرة جدا فتصبح بذلك العبارتين 1/BN، 1/BM صغيرتين جدا ويمكن اهمالهما ويمكن تعديل المعادلة للصورة الآتية

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) \quad (11-5)$$

فى هذا الترتيب يقع القطبين N، M تقريبا على سطوح كروية متساوية الجهد مركزها القطب A. وعلى ذلك فإن النطاق المختبر عبارة عن غلاف كروى نصف قطره الداخلى AM. ونصف قطره الخارجى AN شكل (9-11).

### 1.2.1.3.11 التسجيل العادى Normal Logs:

من أكثر الطرق المستخدمة إنتشارا لقياس المقاومة الكهربائية. ويوضح شكل (10-11) شكل توزيع الأقطاب، حيث يوضع كلا من القطبين A. مصدر التيار، M (قياس الجهد) على الراصد (Sonde)\* ويوضح الآخر للمصدر الكهربى B والقطب الآخر لقياس الجهد (N) على الأرض بعيدا عن الراصد الموجود داخل البئر. يرسل قطبى المصدر A، B تيار ثابت (I) ويقاس التغير فى الجهد.  $V_{MN}$  باستمرار بمقياس جهد (فولتامتر) متصل بين N & M. يسجل مخارج الفولتامتر على مخطط استخلاص (strip chart) للتسجيل العادى، طالما يتحرك الراصد فى البئر، فإنه يمكن تعيين (R) بواسطة إعادة ترتيب المعادلة (3-11) للصيغة الآتية

$$R = \frac{4\pi AM}{I} V_{MN} \quad (\text{ohm/m or ohm/ft}) \quad (11-6)$$

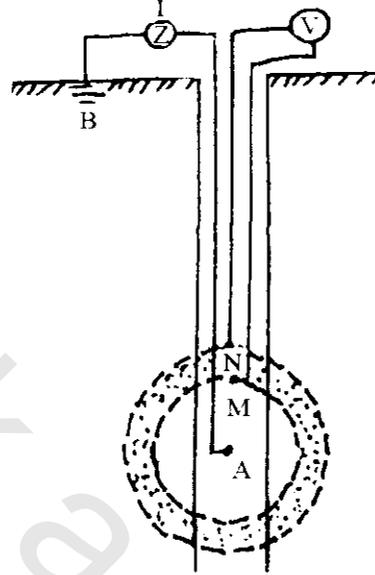
من هذه المعادلة يلاحظ أن المقاومة R تتغير مباشرة مع  $V_M$  لأن المسافة بين القطبين A، M على مسافة من الراصد كما أن ثابتة.

\* فى صناعة البترول، يوجد نوعين للراصد تبعاً للمسافة AM.

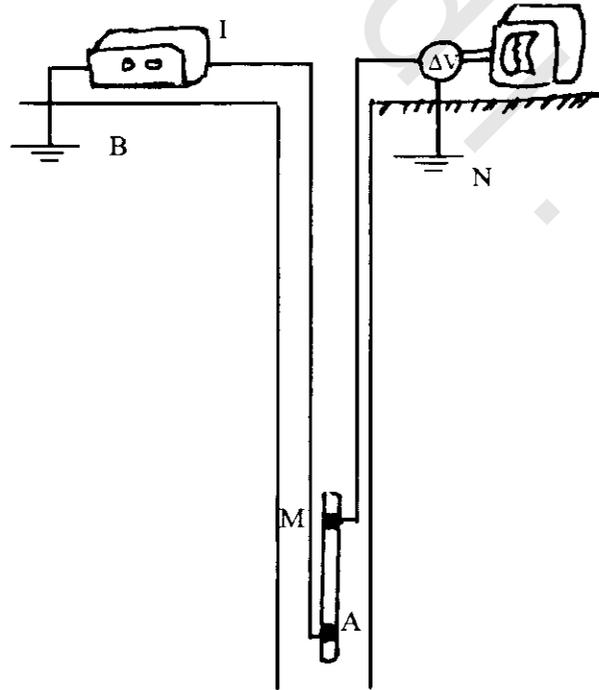
(أ) تسجيل عادى قصير (مسافة AM = 16 بوصة)

(ب) تسجيل عادى طويل (مسافة AM = 64 بوصة)

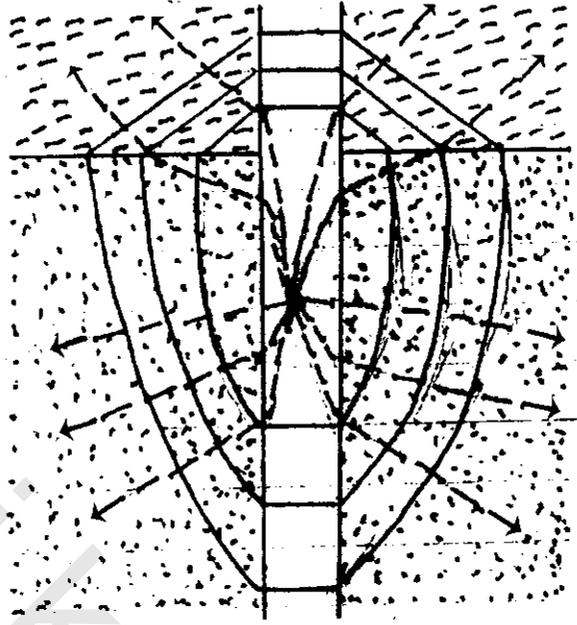
حيث أن هذا الطين له أيضا مقاومة أخرى. يوضح شكل (11-11) إنسياب أشعة التيار المنكسرة لاتجاهات مختلفة عند كل حد حيث تتغير المقاومة ويرى أيضا أن سطوح تساوى الجهد والتي تكون عمودية على شدة الأشعة الكهربية مشوهة لشكل شبه كروي، ولأن هذه السطوح المتساوية الجهد تدل على شكل النطاق المختبر، فإن يتضح أن هذا النطاق لا يكون متناسق كرويا ولذلك فإن شكله سوف يتغير بتحريك الراصد خلال البئر.



شكل (9-11): ترتيب الأقطاب التي فيها قطب المصدر (A) يقع بعيدا عن القطب الغاطس ب. ويقاس فرق الجهد (V) بالقرب من القطب (A) ويبعدا عن القطب (B) تتأثر قيمة الجهد (V) بواسطة جميع المواد في الغلاف الكروي والذي له نصف قطر داخلي MA ونصف قطر خارجي NA



شكل (10-11): رسم تخطيطي لدائرة تسجيل عادي. يبعد قطب المصدر (A) عن قطب الغطس (B) وكذلك يبعد القطب (M) عن القطب (N) ويقاس فرق الجهد  $V_M$  بين (M)، (N)



شكل (11-11): إنكسار أشعة التيار على جانب البئر وعلى الحافة بين مكونين لمقاومات مختلفة

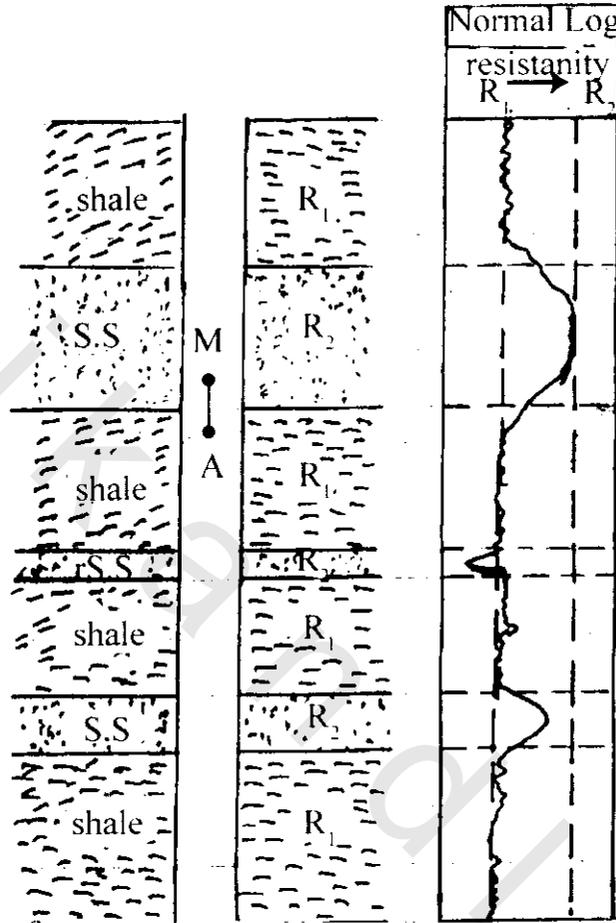
يجب إختيار النطاقات المتغيرة خلال التكوين المتجانس السميك عند تحرك راصد التسجيل العادى بها. ولكن هذا التسجيل لايعمل فى البيئات المتجانسة. لذلك يجب أن يشمل اختبار النطاق طبقات متفاوتة المقاومة، ويجب أيضا عمل الراصد فى حقل البئر بطين الحفر

يوضح شكل (12-11) كيف أن المقاومة الظاهرية تتغير طالما يتحرك الراصد خلال البئر، ويدل أيضا على عدم وجود تغير مفاجئ فى المقاومة طالما الراصد يمر خلال حدود الطبقات والكن يوجد تغير تدريجى. هذا، لأن الأقطاب A، M تضع علامات لنصف القطر الداخلى للنطاق المختبر والتي تصل خلف أبعاد الراصد. لذلك يتحرك نطاق الإختبار خلال حد الطبقة قبل مرور حقيقى للراصد لهذا الحد. بناءا على ذلك، فإن الطبقة القريبة تؤثر على قياس المقاومة الظاهرية، حتى إذا تحرك الراصد خلال طبقة أخرى. من شكل (12-11) يمكن ملاحظة الآتى:

- (i) قياس المقاومة الظاهرية بالراصد قريبا من منتصف الطبقة السميكة تأتى قريبة من المقاومة الحقيقية ( $R_i$ ) للتكوين حيث تشغل الطبقة أغلب نطاق الإختبار.
- (ii) عند الطبقات التى سمكها أقل من AM فإن التغير فى المقاومة الظاهرية بالقرب من هذه الطبقة يزيد فى حدودها العلوية والسفلية. ويوجد عند المنتصف مقاومة ظاهرية قليلة. وينتج من هذا التشويه إنكسارات أشعة التيار، والتي تحدث عند نزول القطب A لأسفل الطبقة ويبقى القطب M فوقها.
- (iii) يؤثر غزو طين الحفر على قياس المقاومة الظاهرية. لذلك فإن المقاومة فى نطاق الغزو ستختلف عن المقاومة الحقيقية ( $R_i^*$ ). وإذا قيست المقاومة الظاهرية بالقرب من منتصف الطبقة السميكة عندما يكون الغزو عميق فإنها ستبقى مختلفة عن مقاومة التكوين الحقيقى. ويزيد تأثير الغزو مقاومة طبقة الغزو ( $R_i$ )

\* تستخدم المقاومة الحقيقية لحساب المسامية والتشبع ونفاذية التكوين

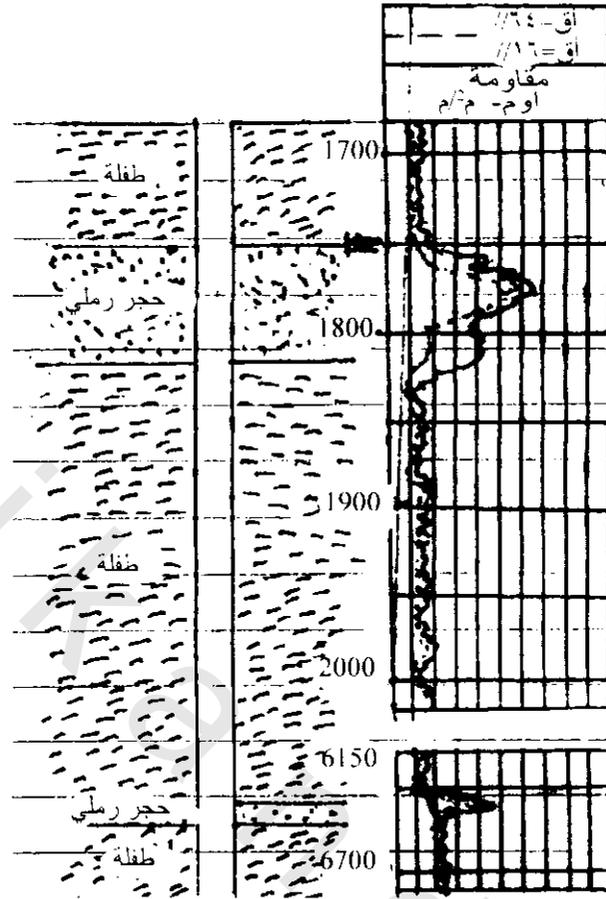
وتكون مقاومتها أكبر من المقاومة الحقيقية ( $R_t$ ). وتكون المقاومة الظاهرية في حالة التسجيل العادي القصير أكبر منها في حالة التسجيل العادي الطويل هذا الاختلاف يتضح في شكل (11-13) حيث يدل كلا من التسجيلين القصير والطويل على مقاومة كبيرة للطبقة بين عمق 1750-1820 قدم<sup>\*\*\*</sup>.



شكل (11-12): تغير نمونجي لتسجيل عادي عند حواف بين طبقات مختلفة السمك والمقاومة. ربما يدل الاختلاف بين المقاومة المنخفضة والعالية على طبقات تعتبر أكبر سمكا من المسافة بين القطبين  $M, A$ . أما بالنسبة للطبقات الرفيعة، فإن منحنى الإستجابة يكون معكوس والذي يعطى دلالة على عدم صحة فروق المقاومة

حتى إذا كان التسجيل العادي القصير أكثر تأثيرا مخالفا لطبقة الغزو، فإنه نافع لإكتشاف الطبقة الرفيعة والتي تمثل بصورة غير صحيحة على التسجيل العادي الطويل. بمقارنة التسجيلين في شكل (11-13) بالقرب من 6677 قدم، من المحتمل أن يكون التسجيل العادي القصير عندها دالا على وجود طبقة ذات كثافة عالية والتي يجب أن تكون بين سمك قدره 16، 64 بوصة.

<sup>\*\*\*</sup> يمكن مقارنة المقاومة الظاهرية استرشادا بهذه التسجيلات من لوحات التصحيح العيارية والتي تستخدم لاستنتاج الأسماك المختلفة، تبيان المقاوم، عمق طبقة الغزو.



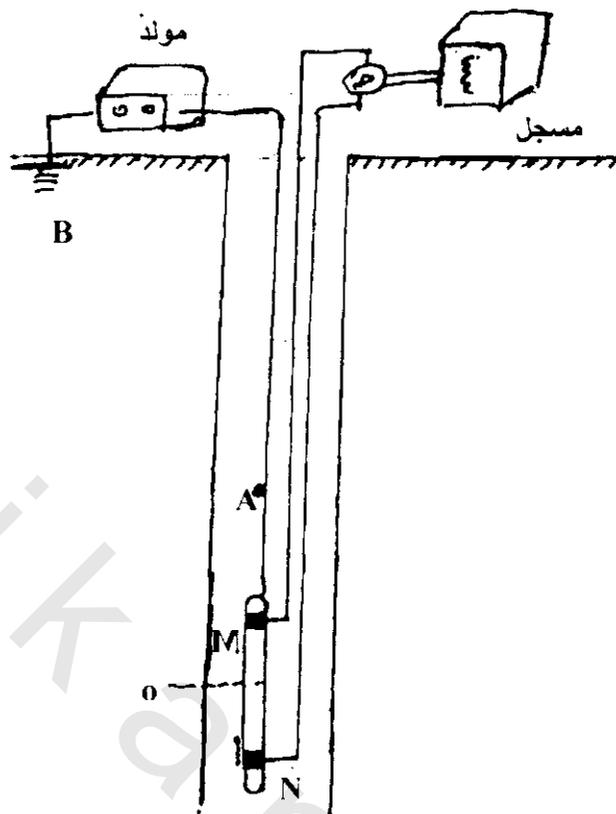
شكل (11-13): قياس تأثير الغزو على المقاومة الظاهرية بأجهزة قياس عادية 16 بوصة، 64 بوصة. الـ 16 بوصة يكون أقوى تأثير بواسطة المقاومة العالية لنطاق الغزو فى طبقات الحجر الرملى السميك. ومن المحتمل عدم اكتشاف طبقة الحجر الرملى القريب من 6680 قدم بواسطة التسجيل العادى 16 بوصة

### 2.2.1.3.11 التسجيل الجانبى \* The Lateral Log:

هذه طريقة أخرى لقياس المقاومة، ويوضح شكل (11-14) ترتيب الأقطاب بها. توضع الأقطاب ق، ر قريب كل منهما للآخر على الراصد\*\* وتقع النقطة (0) بينهم. ويكون القطب A\*\*\* بعيدا عنهم فى البئر، والقطب B موضوع على بعد منهم على سطح الأرض.

يتم التسجيل بهذه الطريقة بمد تيار ثابت II من مولد متصل بين A، B. ويقاس فرق الجهد  $V_{MN}$  باستمرار بمقياس جهد (فولتامتر) متصل بين M، N طالما يتحرك الراصد خلال البئر. ولأن المسافة بين A، M، N تبقى ثابتة، فإن الاختلاف الجهدى يتغير فى اتجاه يتناسب مع المقاومة تبعاً للمعادلة (3-11) يحصل على التسجيل الجانبى بواسطة تسجيل مخرج الجهد على لوحة المخطط (strip chart) مقيس بوحدات المقاومة.

\* غالباً ما يعمل التسجيل الجانبى بالاتحاد مع التسجيل العادى أو أنواع أخرى من التسجيلات الكهربائية.  
 \*\* فى صناعة البترول تبعد الأقطاب N، M عادة بمقدار 52 بوصة.  
 \*\*\* القطب A مركب على كابل الحفر فوق الراصد بمسافة 18 قدم.



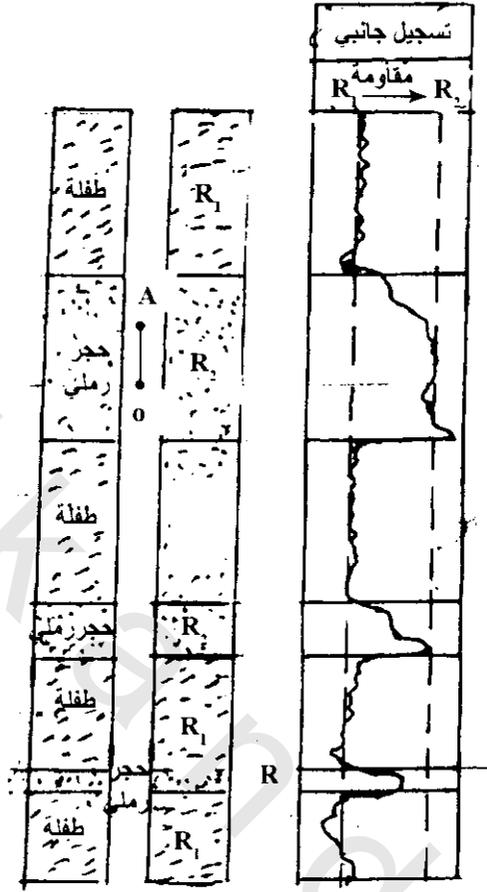
شكل (14-11): شكل تخطيطي لدائرة تسجيل جانبي. يوضع القطبين  $M$ ،  $N$  بالقرب من قطب المصدر  $A$  ولكن يبقى ببعدين من القطب الغاطس  $B$

في التكوين المتجانس السميك جدا فإن نطاق المقاومة يمثل كغلاف كروي بنصف قطر داخلي  $AM$  ونصف قطر خارجي  $NA$  شكل (9-11)، بينما، في بيئة مكونة من طبقات متباينة المقاومة فإن نطاق المعيار يشوه إلى غلاف شبه كروي بسبب إنكسارات الأشعة النيارية شكل (11-11). بملاحظة هذا التشوه يصل نطاق المعيار بواسطة التسجيل الجانبي لنتائج جيدة أكثر من التسجيل العادي. لهذا السبب، فإن النسبة الكبرى من النطاق الجانبي تشغل التكوين الغير ملوث بالغزو. لذلك، فإن المقاومة الظاهرية في الطبقة السميكة المقاسة بواسطة التسجيل الجانبي تميل للقرب من  $(R_1)$ ، وتكون أكبر من القيمة الناتجة من التسجيل العادي.

في التسجيل الجانبي تتغير المقاومة الظاهرية تغير خاص بالقرب من حدود الطبقة. ويتعلق هذا التشوه بانكسارات اشعة التيار والتي تحدث حيث تتحرك الأقطاب  $M$ ،  $N$  خلال الطبقة الواحدة بينما القطب  $A$  مازال يتحرك خلال الطبقة الفوقية. ينتج هذا الإنكسار ظواهر نموذجية للتسجيل الأفقي الموضحة في شكل (15-11).

مميزات التسجيل الأفقي بالمقارنة بالتسجيل العادي هي:

- i- أكثر دقة لقياس المقاومة الحقيقية  $R_1$  والموجودة في الجزء الأوسط من الطبقات السميكة.
- ii- دلالة أكثر حدة للحد السفلي للطبقة.
- iii- دلالة تماثل حاد للحد العلوي للطبقة إذا وضع القطب  $A$  تحت  $M$ ،  $N$ .



شكل (11-15): تغير نمودجى لتسجيل أفقى بين حواف طبقات لأسماك ومقاومات مختلفة. يقاس التأثير الغير حقيقى بالقرب من حواف الطبقات وعند مسافة أسفل الطبقة الرفيعة وهذه المسافة تساوى مسافة OA

iv- إمكانية الغزو العميق من إنتاج بعض التشويه فى قراءة المقاومة ولكن أقل من التسجيل العادى.

v- ممكن تتقدير تصحيح تأثير الغزو من لوحات معايرة كما فى التسجيل العادى بواسطة التحليلات.

التغير فى المقاومة الزائفة (غير حقيقية) المسجلة أسفل الطبقة الرفيعة من الخواص الهامة الغير مميزة للتسجيل.

### 3.2.1.3.11 مقياس مقاومة الحفر. The Laterolog:

الطرق السابقة لاتأخذ فى الإعتبار تحكم إتجاه إنسياب التيار. لذلك فى هذه الطريقة، تصمم الدوائر الكهربائية

لتركيز التيار فى طرق معينة لكى يمر فى الواح أفقية خارجة من البئر. يوضح شكل (11-16) واحد من هذه

الأجهزة. يتكون الراصد من قطب قصير بمركزه\* بين قطبين طويلين تسمى أقطاب وقاية والتي تتصل ببعضها\*\*.

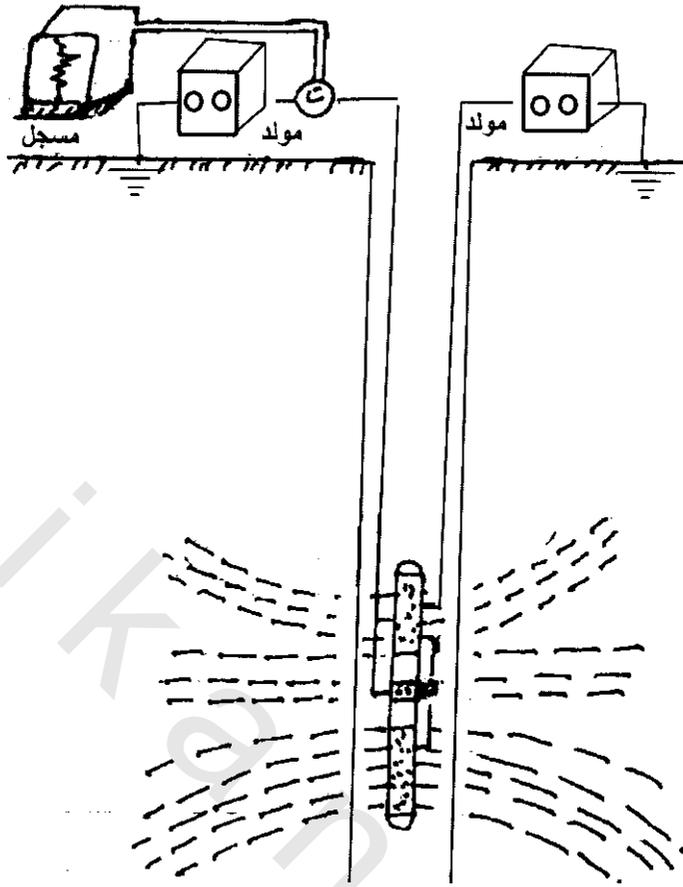
يتحكم فى إنتشار التيار بقطبى الحماية ويضبط قطب المركز أتوماتيكيا لحفظ كلا من هذين القطبين عند جهد ثابت. عندئذ يكون من المستحيل للتيار الإنسياب من أى قطب فى إتجاه الآخر. لذلك فإن التيار الخارج من قطب المركز يتحرك خارجا فى لوح أفقى. وحيث أن الجهد ثابت، فإن كمية التيار من قطب المركز تتغير نسبيا مع مقاومة التكوين الذى ينساب فيها. يسجل هذا التيار بيانيا على مخطط استخلاص (strip chart) مقياس بوحدات المقاومة للحصول على مقياس مقاومة الحفر. يكون شكل النطاق المختبر بواسطة مقياس مقاومة الحفر عبارة عن قرص دائرى بسمك يساوى تقريبا طول القطب المركزى شكل (11-17) فى هذا النطاق، يكون للصخور القريبة من البئر تأثيرا كبيرا على قياس المقاومة ويتلاشى تأثير الصخور البعيدة من البئر لإنتشار الأشعة بعيدا.

#### مميزات مقياس مقاومة الحفر:

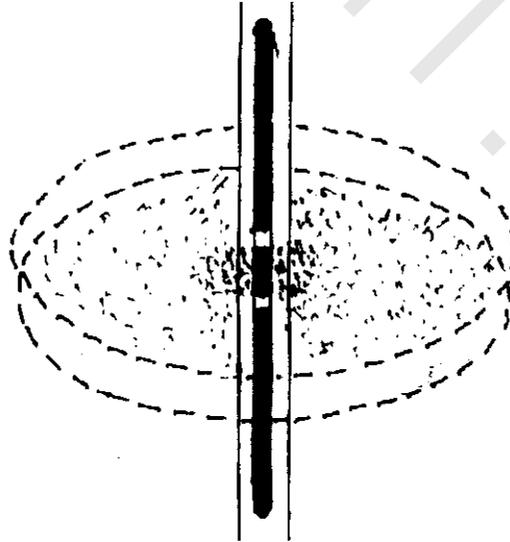
- i- أكثر حساسية للطبقات الرفيعة.
  - ii- بواسطته يمكن نسبيا إكتشاف طبقة أرفع من طول القطب المركزى.
  - iii- إذا كان تأثير الغزو صغير، فإن قراءة المقاومة الظاهرية من مقياس مقاومة الحفر يقترب من المقاومة الحقيقية  $R_1$ .
  - iv- ينتج تشويه معين من الغزو العميق.
- من عيوب هذه الطريقة، عندما يقترب نطاق الغزو من البئر فإن تأثيرها على مقياس مقاومة الحفر يكون أكبر نسبيا من تسجيلات الكهربائية غير المركزة.
- يمكن تحديد تصحيح نطاق الغزو من لوحات معايرة، وذلك إذا كان عمق الغزو لايعتمد فى تعيينه من التسجيلات العادية والجانبية.

\* طول هذا القطب يتراوح من 3 بوصات لأكثر من قدم.

\*\* طول الثلاثة أقطاب أكثر من 5 أقدام.



شكل (11-16): رسم تخطيطى لدائرة مقاومة تعمل أقطاب الحماية العلوية والسفلية على تثبيت نفس الجهد لى تعمل تيار تقريبا أفقى (خطوط غير متصلة) تناسب فى إتجاه خارجى من مركز مصدر القطب



شكل (11-17): يكون النطاق المختبر بواسطة مقياس مقاومة الحفر عبارة عن قرص دائرى بسمك ياسوى طول قطب المركز. المواد القريبة من البئر يكون لها تأثير قوى على قياس المقاومة. يضمحل التأثير تدريجيا كلما بعد عن البئر كما هو موضح بالتردد الظلى

#### 4.2.1.3.11 قياس الحثية Induction Logging:

انتشرت هذه الطريقة للعمل فى آبار مملوءة بسوائل غير موصلة. يتكون الجهاز من ملفات موضوعة على الراصد حيث يستخدم الحث الكهرومغناطيسى الناتج من هذه الملفات لإنتاج تيار يدخل التكوين، وقياس تأثيره يوجد نوعين من القياس الحثي:

#### (أ) تسجيل الحث الغير مركز (شكل 11-18) Unfocused Induction Logging:

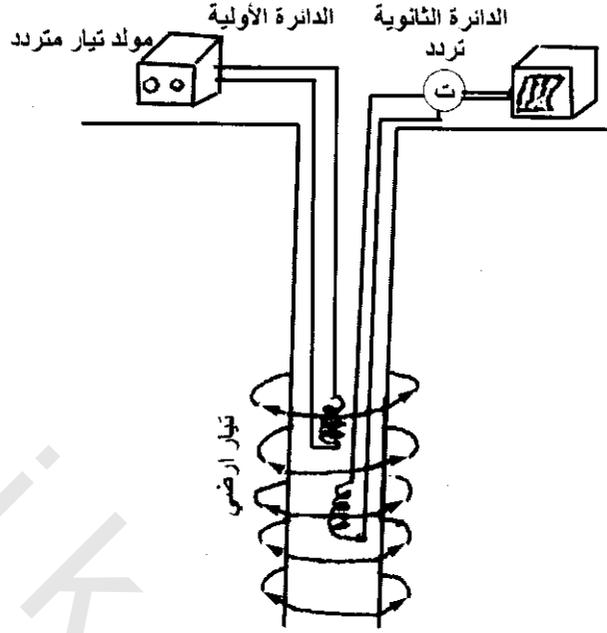
##### التكوين والعمل:

- i- ملفين على الراصد أحدهما يبعث التيار والآخر يستقبله.
- ii- ينتج المولد تيار متردد فى ملف الإنبعاث.
- iii- يولد التيار المتردد مجال مغناطيسى متردد فى المنطقة المحيطة بالملف والتي تصل للتكوين.
- iv- يلزم الحث الكهرومغناطيسى المصاحب لهذا المجال إنسياب التيار خلال التكوين فى طرق دائرية مركزة على البئر.
- v- يخلق التيار الأرضى المتردد مجال مغناطيسى ثانوى والذي يلزم التيار للإنسياب فى ملف الإستقبال مرة ثانية بواسطة الحث الكهرومغناطيسى
- vi- تغير شدة التيار الأرضى مع المقاومة يعمل على توليد شدة مجال مغناطيسى ثانوى وتيار حثى على ملف الإستقبال.
- vii- يسجل التيار الحثى فى ملف الإستقبال على مخطط استخلاص strip chart للحصول على تسجيل حثى غير مركز.

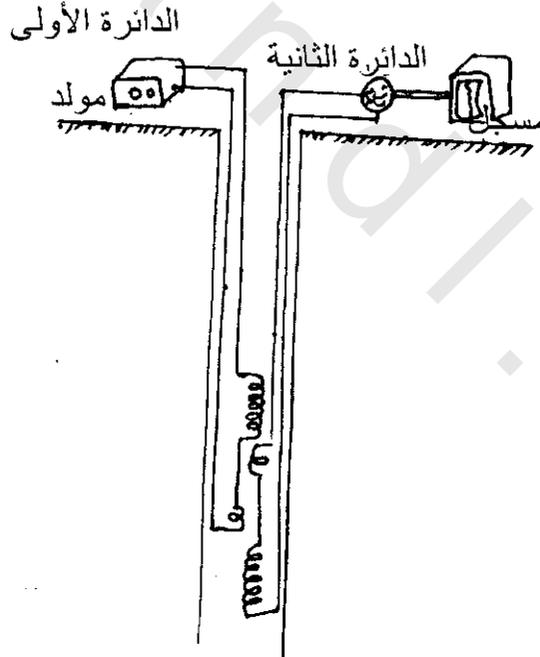
#### (ب) تسجيل الحث المركز Focused Induction Logging:

##### التكوين والعمل (شكل 11-19):

- i- ملف إضافى متسلسل مع ملف الإنبعاث الأصيل ويوضع بالقرب من ملف الإستقبال الأصيل.
  - ii- ملف إضافى آخر متسلسل مع ملف الإستقبال ويكون قريبا من ملف الإنبعاث الأصيل.
  - iii- تشغيله يكون بنفس تشغيل تسجيل الحث الغير مركز.
- يوضح شكل (11-20) تسجيلات الحث الغير مركز والحث المركز حيث يفسر التغير التدريجى فى المقاومة الظاهرية طالما الراصد يمر بالحد بين طبقتين متباينتين المقاومة فى طبقة سميكة طول الراصد فيها أكثر من ثلاث مرات مسافة الملف من كلا الحد العلوى والسفلى، وتقترب قياس المقاومة الظاهرية من المقاومة الحقيقية  $R_t$  إذا لم تشوه النتائج بواسطة الغزو. يرى شكل (11-20) أن نقطة الإنقلاب على تسجيل المقاومة الحية تقع بالقرب من حدود الطبقة، هذه الطبقات من الصعب تحديدها.



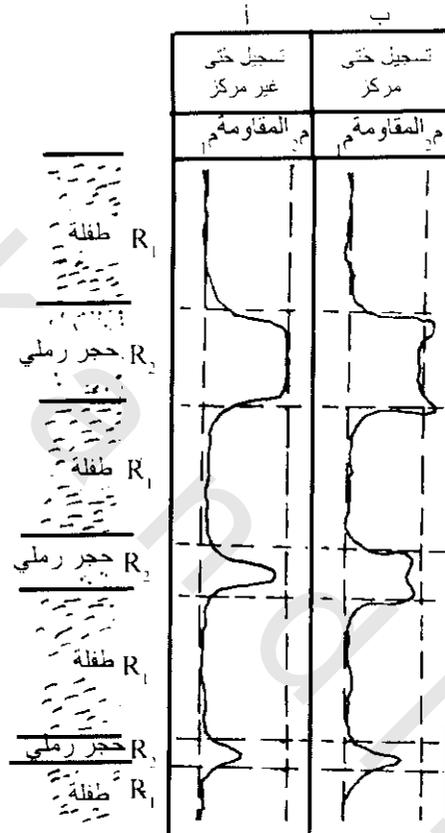
شكل (11-18): دائرة تسجيل حتى غير مركز



شكل (11-19): رسم تخطيطي لدائرة تسجيل حتى مركز مكون من أربع ملفات. كلا من الدائرة الأولى والثانية تحتوى على ملفات. الملف الثانوى الصغير يوضع بالقرب من الملف الأول الكبير والملف الأول الصغير يوضع بالقرب من الملف الثانوى الكبير

ويمكن الحصول على دلالة حادة لحدود الطبقة بواسطة تسجيل الحث المركز شكل (11-20ب) ولكن تنتجذبذبة زائفة في المقاومة الظاهرية. هذه الذبذبات ممكن إخمادها (إبقاها) بواسطة ترتيب لمفات التركيز في أكثر من دوائر معقدة.

ويمكن تحديد تصحيح تأثير الغزو من لوحات معايرة، ولكن يتطلب ذلك معلومات إضافية والتي يمكن الحصول عليها من أنواع أخرى من التسجيلات. يستخدم التسجيل الحثي أساسا لإختبار بنر مملوء بطين حفر غير موصل. أيضا يمكن استخدامه في آبار حاوية على طين حفر موصل للتيار.



شكل (11-20): نموذج لتسجيل حثين أحدهما مركز والآخر غير مركز لتغيرات عند حدود طبقات مختلفة التكوين والمقاومة. عند قرب حدود الطبقات يظهر بعض التأثير غير الحقيقي

#### 5.2.1.3.11 التسجيلات الدقيقة. Micrologs:

صممت راصدات خاصة لقياس المقاومة بمسافة قريبة جدا من الأقطاب توضع على مسند والذي يضغط بثبات مقابل جوانب البنر شكل (11-21). هذه الأقطاب، والتي يكون البعد بينهما عادة 1 أو 2 بوصة متصلة بدوائر مختلفة للحصول على تسجيلات عادية دقيقة، وتسجيلات جانبية دقيقة وتسجيلات مقياس مقاومة الحفر الدقيقة.

هذه التسجيلات الدقيقة بإمكانها إكتشاف الطبقات الدقيقة جدا. ربما لأن افتراضها الأساسي هو لقياس مقاومة القشرة الطينية (mud cake) المحيط بالبنر والمقاومة في منطقة الغزو. قياس التسجيلات الدقيقة مهمة حرجة لتحديد معاملات التصحيح والتي يحتاج لها لحساب المقاومة الحقيقية ( $R_t$ ) من التسجيلات العيارية لكلا من التسجيلات العادية، جانبية، والحثية.

يتحرك الراصد ببطء شديد مقابل جانب البئر وذلك لأن أقطاب هذا النوع من التسجيل (التسجيل الدقيق) مضغوطة. عامة لا يطبق مرور التسجيلات الدقيقة خلال الأعماق الكلية للبئر ولكن تطبق فقط بالمناطق المعينة الهامة للتسجيل.

### 6.2.1.3.11 توليفات (تجمعات) التسجيلات الكهري Electric Log Combination:

تعتمد المقاومة الظاهرية المقاسة بواسطة التسجيلات الكهربية على:

- i- المقاومة الحقيقية  $R_1$  في الطبقة.
- ii- المقاومة في نطاق الغزو.
- iii- المقاومات في الطبقات الأخرى القريبة.



شكل (11-21): راصد تسجيلات دقيقة بأقطاب مركبة على مسند والذي يمر مقابل جوانب البئر

الأشكال المختلفة للأقطاب لقياس الطبقات المختبرة لها نسب مختلفة مع مقاومات هذه الطبقات. وتقاس قيم المقاومات الظاهرية بواسطة توليفات لأشكال أقطاب مختلفة وذلك لحساب المقاومة الحقيقية  $R_1$ . تتكون أجهزة التسجيلات النموذجية من راصد بعدة أقطاب والتي تربط أتوماتيكيا بدوائر مختلفة، لذلك يمكن تمثيل عدة تسجيلات في نفس الوقت (لحظيا) على نفس مخطط الإتصال strip chart أثناء تحرك الراصد خلال البئر\*.

\* تسجيل (ترسم) النتائج أثناء تحرك الراصد من أسفل لأعلى في البئر.

يوضح شكل (11-22) تجمع التسجيلات الكهربائية:

(أ) تسجيل جهد ذاتي (SP)، عادي وجانبي.

(ب) تسجيل جهد ذاتي مقياس مقاومة الحفر وتسجيلين حثيين. في كلا هذين التجمعين يمكن استخدام تسجيل الجهد الذاتي لتحديد حدود الطبقة. وتستخدم التسجيلات الأخرى لتقييم ( $R_t$ ). إذا احتاج الأمر لقياسات مقاومة إضافية تجهز رواصل مختلفة للتسجيلات الدقيقة وتوصل بكابل الحفر wire line. العربة المستخدمة للتسجيلات الكهربائية والمجهزة لذلك، تجهز أيضا لتسجيلات الأشعة والتسجيلات الصوتية.

### 2.3.11 تسجيل النشاط الإشعاعي Radioactivity Logging:

العملية التي تتبع بواسطتها الجزيئات من الكتلة أو الطاقة تلقائيا من الذرة تسمى النشاط الإشعاعي. تتكون هذه الانبعاثات من البروتونات، النيوترونات، الإلكترونات وفوتونات الطاقة الكهرومغناطيسية والتي تسمى أشعة جاما.

في الطبيعة، تأتي هذه الجزيئات والفوتونات من النويات غير المستقرة أو عناصر ذات نشاط إشعاعي مثل اليورانيوم والثوريوم والربيدوم وبوتاسيوم 40. يحدث نفس الانبعاث من النويات المستقرة لعناصر أخرى بقذفها صناعيا بأشعة جاما أو نيوترونات. تتم طرق تسجيل النشاط الإشعاعي باستخدام الانبعاث الطبيعي أو الصناعي وتحتوي على ثلاث طرق:

- 1- قياس أشعة جاما الناتجة بواسطة العناصر المشعة في التكوين.
- 2- استخدام أشعة جاما من مصدر التكوين.
- 3- استخدام القذف النيوتروني للتكوين صناعيا بأشعة جاما.

وعامة تسمى الأجهزة المستخدمة لقياس النشاط الإشعاعي للثلاث أنواع السابقة بعدادات الومضات والتي تتكون من بلورة خاصة وأنبوبة كهروضونية. تثبت البلورات وميض ضوئي كالذي يمتص فوتونات أشعة جاما، وتتحول هذه الومضات إلى نبضات تيار كهربى. بواسطة أنبوبة كهروضونية. تسجيلات النشاط الإشعاعي يمكن الحصول عليها بواسطة رسم مخرج عداد ومضات على لوحة استخلاص (strip chart).

### 1.2.3.11 تسجيلات إشعاع جاما الطبيعي Natural Gamma Radiation Logging:

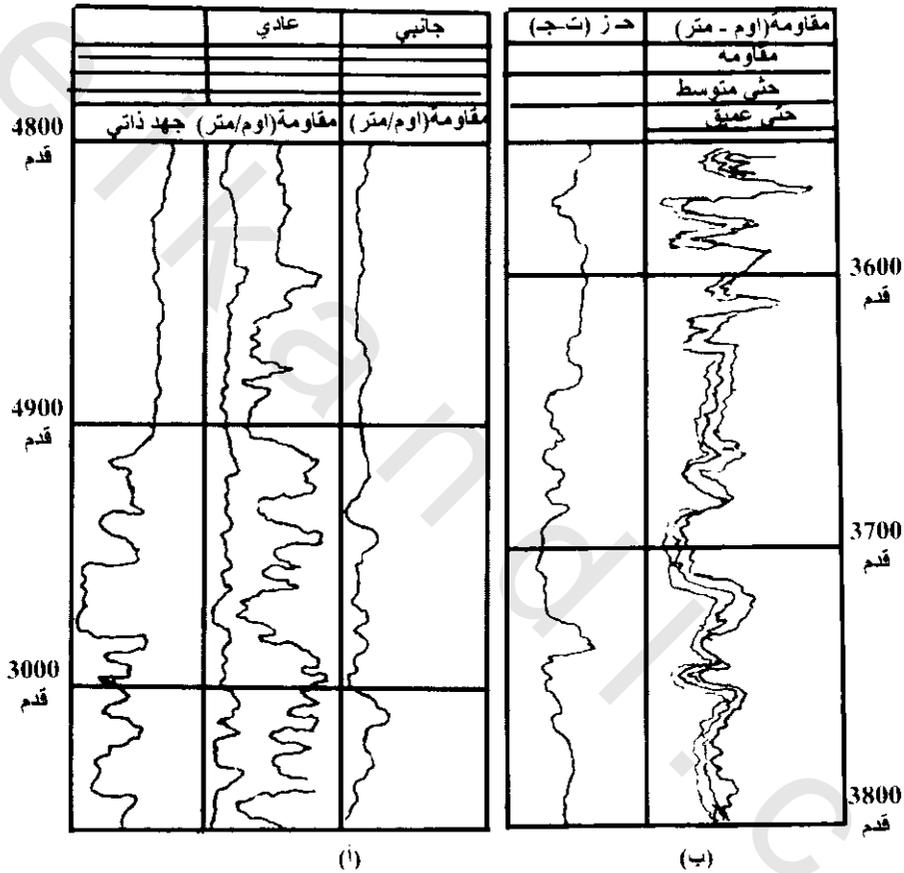
تنتج العناصر الغير مستقرة\*\* مستويات قياسية لأشعة جاما. لذلك فالاستخدام الأساسى لتسجيلات أشعة جاما الطبيعية تلاحظ في طبقات الطفلة وقيمة محتويات الطين في الحجر الرملى والكربونات الغير نقية.

يعد عداد الومضات المستخدم لتسجيلات أشعة جاما الطبيعية عدد الومضات الضونية الحادثة في البلورة خلال فترة زمنية ثابتة. هذه القيم تسجل على لوحة الإستخلاص. تعتمد حساسية تسجيلات أشعة جاما الطبيعية

\* العربة التي تحمل أجهزة التسجيلات تحمل أيضا ونش وكابل الحفر لإزالة ورفع الراصد في البئر وكل هذا يتحكم فيه الكرونيان. للعمل بالشواطي، نفس الأجهزة تتركب في مركب صغير أو على رصيف الحفر البحري.  
تركيز صغير لعناصر مشعة بوجوده في معظم طبقات الطفلة، البوتاسيوم في الميكا، معادن الطين الشاملة على نسبة صغيرة من نظائر البوتاسيوم 40 المشع، أثر من اليورانيوم والثوريوم الموجودة في الطفلة، الحجر الرملى الكواتترى، طبقات الكربون التي لها تركيز منخفض للشوائب المشعة.

للحدود بين الطبقة والأخرى الأقل منها إشعاعيا على زمن عد الجهاز وسرعة تحرك الراصد فى البئر شكل (11-23). ويمكن استنتاج عدم الإنتظام فى التسجيل بسبب زيادة زمن العد، ولكن إذا تحرك الراصد سريعا جدا، سيدل التسجيل على التدرج أكثر من التغير الحاد فى النشاط الإشعاعى بالقرب من حد الطبقة. ومن الممكن أن يكون هذا التغير التدريجى حادا وذلك بواسطة بطء سرعة الراصد، ولكن لأسباب عملية لايمكن أن يعمل الراصد ببطء. لذلك يجب عمل الضبط باختيار زمن العد مع خضوع سرعة الراصد لاستخدام التسجيل العملية. نمونجيا يمكن الحصول على نتائج جيدة بزمن عد 2 ثانية وسرعة راصد 30 قدم/دقيقة.

من أهم مميزات هذه الطريقة عملها فى الآبار المغلقة والتي لاتستطيع التسجيلات الكهربية العمل بها.



شكل (11-22): تجمع تسجيلات كهربية نموذجية. (أ) جهد ذاتي، تسجيل عادى (16، 64 بوصة) تسجيل جانبي 16 قدم، 8 قدم، (ب) جهد ذاتي، تسجيل حثى، وتسجيل مقومية

### 2.2.3.11 تسجيلات أشعة جاما Gamma-Ray Density Logging:

أشعة جاما المنبعثة فى جزء منفصل للطاقة الكهرومغناطيسية تسمى الفوتونات\*. وأثناء انتقالها خلال المواد فإنها تتصادم تواتريا مع الإلكترونات، وينتج من هذا التصادم طاقة الفوتون، وتسمى هذه العملية الإنتشار العدى Compton scattering\*\*. تعتمد عدد التصادمات الحادثة أثناء فترة زمنية ثابتة على كثرة الإلكترونات والتي تتناسب مع كثافة المادة.

\* الفوتونات أجزاء من الطاقة  
\*\* تتم هذه العملية بواسطة الراصد، حيث يوجد فى الجزء الأسفل منه لفر المصدر الذى يبعث أشعة جاما. والجزء العلوى به عداد الوميض.

يستخدم تسجيل كثافة أشعة جاما لتعيين كثافة التكوين ( $\rho_0$ ) بواسطة إشعاعات جاما المعرضة للإنتشار الحثي.

تعتمد العلاقة بين كثافة التكوين  $\rho_0$  ومعامل كثافة الإلكترون على وجود عناصر كيميائية حيث أن عدد الإلكترونات لكل عنصر يختص بالعدد الذري له ويجمع العدد الذي للعناصر في التكوين يمكن حساب كثافة هذا التكوين.

$$\rho_0^* = \rho_e w/2 \Sigma N \quad (11-7)$$

حيث ( $w$ ) الوزن الجزيئي لمكونات التكوين، ( $\rho_e$ ) تقرأ من التسجيل للحصول على نتائج جيدة، يمكن عمل الآتي:

- i- يضغط كلا من عنصر المصدر والكاشف بثبات مقابل جدار البئر.
- ii- يجب تجهيز الراصد بنصل (سكين) لقطع أى قشرة طينية (mud cake) لحفظ التماس مع سطح الصخر.
- iii- يجب تحرك الراصد ببطء شديد خلال البئر بسرعة أقل من 30 قدم/دقيقة.
- iv- فى الآبار العميقة، يقتصر تسجيلات كثافة اشعاعات جاما على النطاقات التى لها أهمية خاصة.

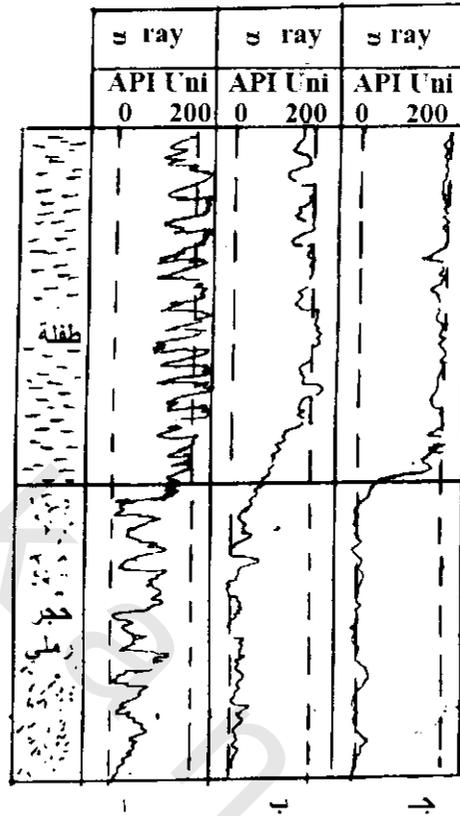
### 3.2.3.11 تسجيل نيترونات أشعة جاما Neutron-Gamma-Ray-Logging:

من الممكن تحفيز العناصر الغير مشعة فى التكوين بواسطة قذفها بالنيترونات. هذه العملية تجعل تسجيل نيترونات أشعة جاما تعطى معلومات عن المسامية. يحتوى الراصد على مصدر نيترونى\*\*، ويوضع العداد الوميضى على مسافة ثابتة منه. عند عمل المصدر النيترونى، فإن إشعاعات جاما المأسورة (المحجوزة) تنبعث من التكونات وتكتشف عند الراصد. يعتمد هذا الاكتشاف على المسافة من أماكن النيترونات المأسورة. إذا انتقلت هذه النيترونات لمسافة كبيرة قبل الحجز، تعاد أجزاء صغيرة من أشعة جاما المحجوزة (المأسورة) لتصل للراصد، ولكن حينما تمتص النيترونات بسرعة بالقرب من البئر فإنها تسجل مستوى أشعة جاما المحتجزة. يعتبر تركيز الهيدروجين فى التكوين أهم عامل يؤثر على المسافة التى ينتقل لها النيترون قبل احتجازه. عندما يكون محتوى الهيدروجين عاليا، فإن النيترون المحتجز يحدث بالقرب من البئر، ويكتشف بذلك المستوى العالى لأشعة جاما المحتجزة. عندئذ يشير تسجيل نيترونات أشعة جاما للتغير فى تركيز الهيدروجين.

حيث أن الهيدروجين يوجد فى جزيئات الماء والبترول وبلورات المعادن الممياة مثل سليكات الطين، الميكا، الأمفيبولات والجبس. لذلك فإنه فى الحجر الجيرى الكوارتزى وصخور الكربونيت فغالبا ما يوجد الهيدروجين كليا فى المياه والبترول المالى للمسام. ويعتمد تركيزه على مسامية التكوين. تحتوى الطفلة على الهيدروجين وربما يشاركها فى ذلك الميكا والمعادن الطينية وأيضا ماء المسام.

من الصعب تمييز طبقات الطفلة عن الحجر الرملى المسامى أو الطبقات الكربونية بواسطة تسجيل أشعة نيترونات جاما وذلك لأن هذه الطبقات المختلفة تحتوى جميعها على نفس تركيز الهيدروجين. لذلك تستخدم الأنواع الأخرى من التسجيلات مثل أشعة جاما الطبيعية، لعمل تصنيف لخصائص هذه الصخور. ويكون

\*ك ( $\rho_0$ ) تستخدم لقياس المسامية.  
\*\* كمية من المواد المشعة مثل البلوتونيوم، بريليوم والتي تشع نيترونات خلال عملية التحلل الإشعاعى.



شكل (11-23): شكل نموذجى يوضح التغير لأشعة جاما الطبيعية بالقرب من الحدود بين الطفلة والحجر الرملى. (أ) زمن عد قصير وسرعة حركة الراصد، (ب) زمن عد طويل وسرعة حركة الراصد، (ج) زمن عد طويل وبطء حركة الراصد

الإستخدام الأساسى لتسجيلات نيترونات أشعة جاما هو اكتشاف تغير المسامية خلال طبقات صخور الحجر الرملى أو طبقات الكربونات كما هو موضح فى شكل (11-24). ويمكن التحقق من طبقات الحجر الرملى أو الطفلة بواسطة تسجيلات أشعة جاما الطبيعية. ويمكن بعد ذلك ملاحظة التغير فى تسجيلات نيترونات أشعة جاما خلال كل طبقة على حدة لدراسة التغير فى المسامية. فمثلا فى شكل (11-24) يدل على نسبة احتواء عالية من الهيدروجين ولهذا فإن أعلى مسامية تكون قريبة من مركز الطبقة.

ويمكن إجراء تسجيل أشعة نيترونات جاما فى الآبار المغطاه (casing) والغير مغطاه. ونموذجيا يتحرك الراصد بسرعة 30 قدم/دقيقة والعد الزمنى لعداد الوميض يكون لكل 2 ثانية. تجهز عداد الوميض لاكتشاف الطول الموجى لأشعة جاما المحتجزة والتي تختلف عن الطول الموجى لأشعة جاما الطبيعية.

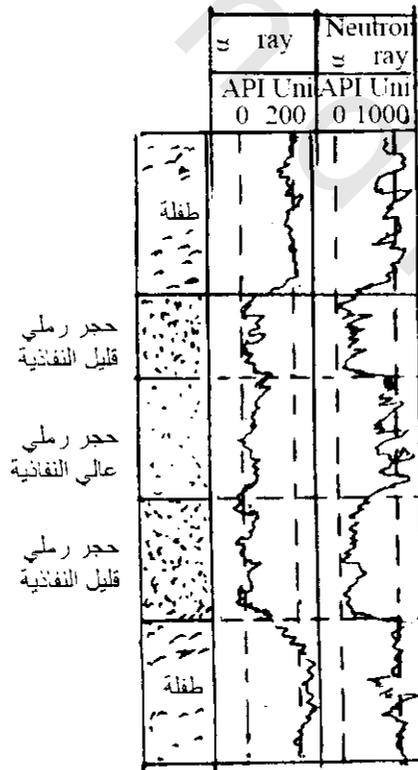
### 3.3.11 التسجيلات الصوتية Sonic Logging:

يتكون جهاز قياس هذه التسجيلات من مصدر صوتى ومستقبلين موضوعين جميعهم على راصد شكل (25-11). تتبع النبضات الصوتية من المصدر بفترات 0.1 ثانية. وبما أن سرعة الموجات الأولية فى التكوين الصخرى أسرع منها فى سائل الحفر للبنى، لذلك فإن هذه الموجات تنكسر فى الصخور عند جوانب البئر قبل

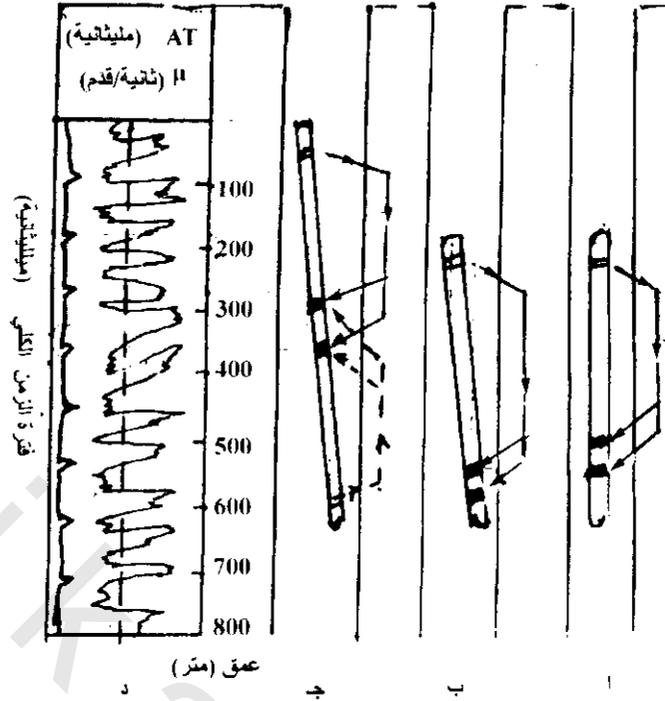
وصولها للمستقبلين. تنشط كل نبضة صوتية الدائرة الزمنية والتي تسجل الفرق في الفترات الزمنية للمستقبلين. هذه القيمة (الفرق) تسمى فترة زمن الانتقال ( $T_0$  interval transit time). ترسم فترات زمن الانتقال على مخطط الاستخلاص للحصول على تسجيل صوتي.

إذا مال الراصد في البئر أو إذا تغير قطر البئر فإن طرق الانتقال خلال سائل حفر البئر للمستقبلين سوف تختلف أطوالها شكل (11-25ب). وهذا يعني أن قياس زمن فترة الانتقال الظاهرية أكبر من القيمة الحقيقية لـ  $T_0$  في التكوين وللتغلب على هذه الصعوبة فإنه يركب مصدر نبضات صوتي آخر على الراصد يقع عكس الراصد الأصلي. شكل (11-25ج) في هذه الحالة تتبع نبضات الصوت بالتبادل من المصدرين، ويكون زمن فترة الانتقال للموجات المنكسرة من الانتقالين المنعكسين عبارة عن متوسط الكتروني يمكن الحصول منه على القيمة الحقيقية  $T_0$  يرسم متوسط زمن فترة الانتقال على لوحة المخطط للحصول على التسجيل الصوتي المكافئ للبئر Borehole-compensated (BHC).

الموجات الأولية (P-waves) الواصلة للمستقبلين تنكسر حرجيا على جانب البئر. لذلك، فإن التسجيل الصوتي يختبر فقط النطاق الواقع بالقرب جدا من البئر. تعتمد قراءة التسجيل لفترة زمن الانتقال  $T_0$  على نسبة النسيج الصلب والسائل في هذا النطاق. تستخدم هذه القراءة مع قيمة زمن الانتقال في الأجزاء الصلبة ( $T_m$ ) والسائلة ( $T_w$ ) للحصول على قيمة مسامية التكوين. تقدر  $T_m$  على أساس معلومات عن التركيب الصخري



شكل (11-24): نموذج يوضح تأثير نوع الصخر والمسامية على تسجيل  $\gamma$  طبيعية. تعتمد أشعة جاما الطبيعية على العناصر المشعة (تركيز) في الصخور. وتعتمد تسجيلات نيوترونات أشعة جاما على نسبة الماء المالح للفراغات في الصخور



شكل (11-25): نموذج شكل المصدر والمستقبلين . (أ) مصدر ومستقبلين رأسيين . (ب) مصدر ومستقبلين مانلين . (ج) مصدرين ومستقبلين مانلين . (د) شكل منحني التسجيل

المستنتج من عينات الحفر أو أنواع أخرى من التسجيلات. أما تقدير  $T_w$  يتطلب بعض المعلومات عن وسائل التكوين والتي يمكن الحصول عليها من التسجيلات الكهربائية. وتعتبر هذه الطريقة نافعة للحصول على:

- i- المقارنات القريبة للآبار.
- ii- اكتشاف الطبقات الرفيعة كالمسافة بين المستقبلين والتي تكون عادة واحد قدم.
- iii- المساهمة في تفسير المسح السيزمي بالقرب من منطقة التسجيل.
- iv- يشير التغير في فترة زمن الانتقال على الحدود المتوقع على أماكن الانعكاسات.

#### 4.11 تقييم التكوين Formation Evaluation :

تشمل خواص التكوين التي يمكن تقييمها من قياسات الآبار وصف التكوين الصخرى وسمك الطبقة، المسامية، النفاذية، ونسبة الماء والهيدروكربونات الشاغلة للفراغات المسامية.

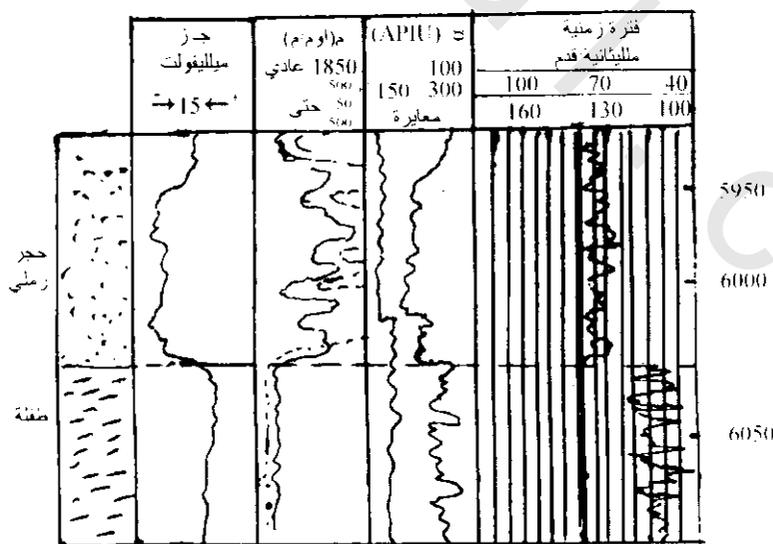
##### 1.4.11 وصف التكوين الصخرى وسمك الطبقات Lithology and Bed Thickness Description of :

تساعد قياسات اختلاف الجهد الطبيعي، المقاومة الكهربائية، انبعاث الإشعاع الطبيعي، سرعة الموجات السيزمية في تمييز اختلافات التكوينات الصخرية. يوضح شكل (11-26) قطاع تتابعى لطبقات الحجر الرملى والطفلة وقيم الخواص الفيزيائية المقاسة، عبر فترة ثابتة، يقابل هذه الطبقات. هذه القياسات عالية في الطفلة ومنخفضة في الحجر الرملى. ويمكن استخدام التسجيلات لقياسات دقيقة لهذه الحدود والأسماك كما في شكل (11-26)، (11-24).

التطبيق العادي يكون لتفسير وصف التكوين الصخري في بئر بواسطة مقارنة التسجيلات لهذا البئر مع تسجيل مرجعي من بئر آخر في منطقة يكون الوصف الصخري معروف مبدئياً من دراسة تمت بعناية لعينات صخرية وربما لصخور لبية (core). ويلاحظ أيضاً النماذج التابعة لوحدة الوصف الصخري بواسطة المقارنة المرئية للتسجيلات شكل (11-27). ومن النافع معرفة أن الارتفاعات والإنخفاضات على تسجيلات الآبار لا تسجل عادة بالضبط عند حواف الطبقات. أكثر من هذا، فإن هذه الحواف تحدد بواسطة الانعكاسات الظاهرية بين نقط الارتفاعات والإنخفاضات على التسجيل. ويكون عرض المقارنة أكثر أهمية عندما توفر الإمكانية لملاحظة النقطة الخاصة خلال النموذج الذي يعلم (يحدد) حد الطبقة. وحيث أن الأنواع المختلفة من أجهزة التسجيلات تسجل نماذج مختلفة من التغير، يكون صعب تماماً للمقارنة أي، تسجيل المقاومة من بئر واحد مع تسجيل إشعاعي من بئر آخر. يكون التحديد المضبوط لنفس حافة الطبقة في آبار مختلفة الأحسن عمل بواسطة مقارنة التسجيلات المسجلة بأنواع مختلفة من الأجهزة. وحيث لا يوجد نوع خاص من تسجيل يستخرج ليكون أساس (رئيسي). ففي بعض المناطق تسهل تسجيلات المقاومة المقارنة ولكن في بعض الأماكن الأخرى يطرز نموذج المقارنة أوضح على تسجيلات الإشعاع.

#### 2.4.11 المسامية Porosity:

تعرف المسامية في عينة من صخر التكوين أنها نسبة حجم الفتحات بين الحبيبات، التشققات، الكهوف في العينة للحجم الكلي لها. لمسامية صخور الخزان الحاوي للبتروول، الغاز الطبيعي أو مياه عذبة أهمية خاصة لأنها تشير لحجم السائل المخزون في هذه الصخور. يوجد ثلاثة طرق لتقدير المسامية من تسجيلات الآبار تبعاً للخواص الطبيعية:



شكل (11-26): يوضح هذا الشكل التغير في الخواص المختلفة جهد ذاتي، مقاومة، اشعة جاما، فترة زمن الصوت (فترة زمن الموجة الأولية) عند الحد بين الحجر الرملي والطفلة

### 1.2.4.11 المقاومة الكهربائية Electrical Resistivity:

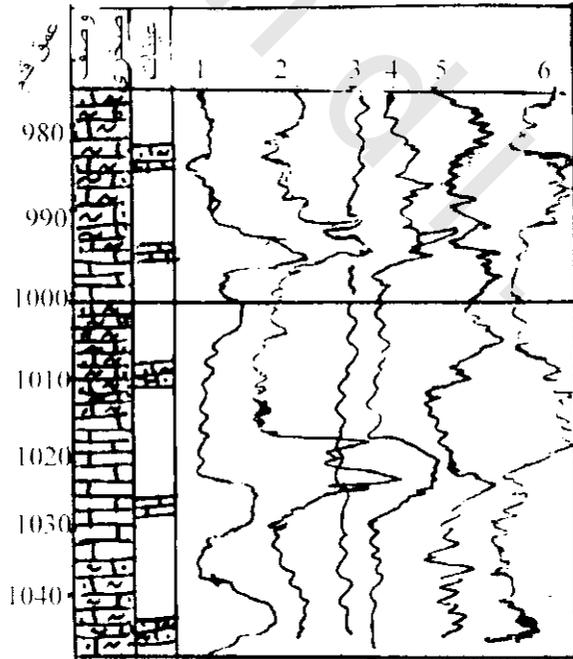
إلى حد ما تختلف مقاومة الفراغات المملوءة بالسوائل عن مقاومة النسيج الصلب، فإنه يتوقع وجود علاقة بين مقاومة التكوين والمسامية. اقترح (Archie 1942) هذه العلاقة من القياسات المعملية لعينات لوبيه من الحجر الرملي والتي شبت بماء حاوي تركيزات مختلفة من كلوريد صوديوم مذاب. تسمى هذه العلاقة معامل مقاومة التكوين formation resistivity factor والتي تعتمد على مقاومة التكوين ( $R_o$ ) ومقاومة فراغات السائل ( $R_w$ )

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (11-8)$$

يوضح شكل (11-28) العلاقة بين ( $F$ ) والمسامية ( $\phi$ ) والتي وجدت لعينات لوبيه مختلفة على لوحة لوغارتمية. من هذا الشكل، يمكن ملاحظة أن ( $\phi$ )، ( $F$ ) يرتبطا بعلاقة في صورة معادلة هي

$$\phi = aF^m \quad (11-9)$$

حيث ( $m$ ) ثابت يعتمد على تركيز صخور الخزان وقيمه غالبا بين (0.2-0.3)، ( $a$ ) ثابت والذي يجب إيجاده بواسطة اختبار الصخور في منطقة الدراسة وقيمه غالبا بين (0.62-1.0). هذه الصيغة غالبا تستخدم باتساع في تقييم التكوين.



شكل (11-27): مثال لتفسير جيوفيزيائي تجميعي لوحدات صخرية (قطاع كربون). 1- مقاومة، 2- نيوترون، 3- أشعة  $\gamma$ ، 4- نيوترون جاما، 5- جاما-جاما، 6- نبضات نيوترون-نيوترون

### 2.2.4.11 فترة زمن الموجة الأولية P-wave Travel Time

في هذه الطريقة تحدد المسامية من سرعة الموجة التضاغطية ويسمى جهاز قياسها سرعة الموجات الصوتية. سرعة الموجة الصوتية خلال فراغت السوائل ( $V_w$ ) عادة تختلف عنها خلال النسيج الصخري ( $V_m$ ) ولأن سرعة الموجات الصوتية ( $V_o$ ) المميزة لخواص التكوين تعتمد على نسبة هاتين الجزئين فتكون علاقة المسامية

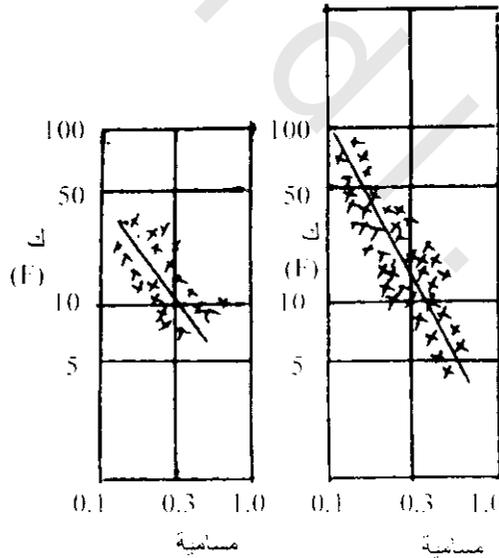
$$\frac{1}{V_o} = \frac{\phi}{V_w} + \frac{1-\phi}{V_m} \quad (11-10)$$

سرعة موجة التكوين ( $V_o$ ) ممكن إيجادها من فترة الزمن ( $T_o$ ) بين نقطتين المسافة بينهما معروفة. لأن هذه النقطة تبقى المسافة بينهما ثابتة على جهاز التسجيل الصوتي، فمن المعادلة السابقة تكون المسامية لها علاقة مباشرة مع فترة الزمن.

$$T_o = \phi T_w + (1-\phi) T_m \quad (11-11)$$

حيث  $T_m$ ,  $T_w$  فترات زمنية على نفس المسافة خلال السائل والذي سرعته  $V_w$  وخلال الصلب والذي سرعته  $V_m$ . ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة.

$$\phi = \frac{T_o - T_m}{T_w - T_m} \quad (11-12)$$



شكل (11-28): علاقة بين معامل التكوين والمسامية على عينات حجر رملي منطقتين مختلفتين

$$V = \frac{D}{T}$$

### 3.2.4.11 الإنبعاث النووى Nuclear Emissions:

تستخدم الكثافة لتعيين المسامية. تعتمد هذه الخاصية الطبيعية على نسبة فراغات السوائل والذى كثافته ( $\rho_w$ ) ونسبة النسيج الصلبوالذى كثافته ( $\rho_m$ ) لذلك فإن علاقة الكثافة

$$\rho_o = \phi \rho_w + (1-\phi)\rho_m \quad (11-13)$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لتصبح

$$\phi = \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_m - \rho_w} \quad (11-14)$$

معروف أن كثافة التكوين المائى يقترب من 1 جم/سم<sup>3</sup> والكثافة النموذجية للنسيج تكون ما بين 2.6 إلى 2.7 جم/سم<sup>3</sup>. ويمكن استخدام طريقة الإشعاع لتعيين كثافة التكوين بطريقتين:

(أ) استخدام جهاز قذف التكوين بفوتونات كهرومغناطيسية والى تنتشر بتصادمها مع الإلكترونات فى التكوين. ونتيجة عملية الانتشار فإن نسبة معينة من هذه الفوتونات تعود للكاشف وتعتمد هذه النسبة على تركيز الإلكترونات، وبالتالي على كثافة التكوين ( $\rho_o$ ).

(ب) قذف التكوين بنيوترونات والى تمتص فى نواة ذرات فى التكوين، والى تسبب إنبعاث أشعة جاما من النواة. ويعتمد مستوى إشعاع جاما الواصلة للكشاف على كثافة التكوين.

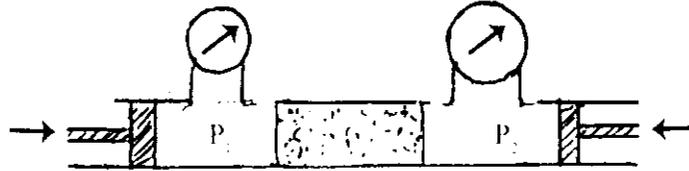
### 3.4.11 النفاذية Permeability:

تعتمد على الإمتداد الذى فيه تتصلل الفراغات وعلى قطر الفتحات. وهى عبارة عن سعة التكوين لإنتقال السوائل. يرى شكل (11-29) الجهاز الذى يقيس النفاذية والمعادلة المستخدمة.

$$K = \frac{0 \mu L}{P_1 - P_2}$$

حيث ( $q$ ) = حجم/وحدة زمن، ( $L$ ) = طول العينة (لويبة)،  $\mu$  = اللزوجة،  $P_1 - P_2$  = اختلاف الضغط. وحدة قياس المسامية (دارسى Darcy) =  $10 \times 10^{-8} \text{ سم}^2$ .

وضع ارش Archie 1942 العلاقة بين النفاذية ومعامل مقاومة التكوين ( $F$ ) شكل (11-30). أيضا تؤثر قوة الخاصية الشعرية فى صور سعة الصخور للماء الحقيقى. تسبب هجرة سائل لهيدروكربون احلاله بدلا من كمية كبيرة من الماء. ويسمى الجزء الباقى من الماء بالماء المشبع (المستعصى  $S_{irr}$ ).



شكل (11-29): جهاز قياس النفاذية فى عينة صخرية لويبة، ضغط الكباس الأيسر وسحب الكباس الأيمن ينشأ الضغط  $P_1$  فى يسار الحجره والعكس ينشأ الضغط  $P_2$  فى يمين الحجره. بسبب فرق الضغط إنسياب السائل خلال العينة بالحجره من اليسار لليمين

\* تعتمد على أقطار قنوات الفراغات.

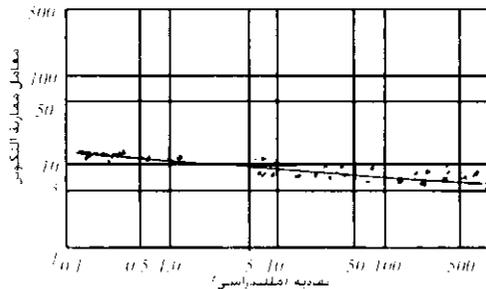
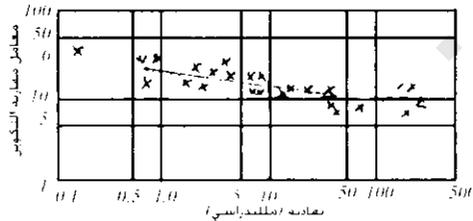
ويمكن تقدير قيمة  $(S_{irr})$  من قياسات المقاومة خلال تكوين الخزان والذي فيه يقل تشبع الماء لأقل استقصاء بواسطة احلال الهيدروكربون من المعادلة  $\phi = a F^{-m}$  نجد أن معامل التكوين يعتمد على المسامية. ومن الحقيقتين قوة الخاصية الشعرية وتشبع الماء المستعصي تتأثر النفاذية بالمسامية وتوضح معادلة النفاذية.  $K=(C\phi^3/S_{irr})^2$  العلاقة بين المسامية والنفاذية حيث  $C$  ثابت يعتمد على الوصف الصخري ومتوسط حجم الحبيبات للصخور، قيمة  $\phi$ ،  $S_{irr}$ ،  $C$  يجب تقديرها أولا من قياسات تسجيل البئر.

#### 4.4.11 التشبع المائي والهيدروكربوني Water and Hydrocarbon Saturation:

غالبا ما تمتلئ مسافات الفراغات بالصخور بالماء. في بعض الحالات، يحتوي هذا الماء على كلوريد صوديوم مذاب وأيونات أخرى. لذلك يصبح هذا الماء موصل جيد للكهربائية بمقاومة قليلة ونسيج التكوين الصلب توصيل للكهربائية قليل بمقاومة كبيرة. تبعا لذلك، فإن إنسياب التيار الكهربائي في التكوين يكون غالبا كليا خلال فراغات الماء.

يوجد البترول والغاز الطبيعي في نطاقات صخور رسوبية. وحيث أن البترول والغاز الطبيعي قليل التوصيل لمقاومته الكبيرة. لذلك عندما تتخلل الهيدروكربونات صخور الخزان لتحل محل بعض من الماء القليل فإنها تزيد المقاومة الكهربائية للتكوين.

صخور الخزان النموذجية تحتوي على خليط من سوائل الماء والهيدروكربون. ولكتافتها القليلة تصبح أكثر تركيزا في الجزء العلوي من الخزان. لذلك، فإن الخزان الحاوي على سوائل هيدروكربونية تشير لتدرج علوي يزيد من المقاومة الكهربائية ولتقدير جهد طاقة انتاج البئر، من المفيد تحديد نسبة الماء والهيدروكربونات في اجزاء مختلفة من الخزان بواسطة قياسات المقاومة. اقترح أرش Arche 1942 صيغة لإيجاد نسبة الماء، والتي تسمى تشبع الماء (S). وضعت هذه الصيغة على قياسات معملية لمقاومة عينات لوبية من الحجر الرملي الحاوي على نسب مختلفة من البترول والماء الذي له ملوحة ثابتة. يضبط تشبع الماء (S) ونسبة المقاومات  $R_o/R_i$  بواسطة خط مستقيم على رسم لوغاريتمي دالا على أن  $S = R_o/R_i$ . حيث  $R_i$  مقاومة صخور حاوية على خليط من الهيدروكربون والماء،  $R_o$  مقاومة نفس نسيج صخري مشبع تماما بالماء. ولأن معامل التكوين  $R = R_o/R_w$  إذا  $S=(FR_w/R_i)^{1/n}$  حيث  $R_w$  مقاومة الماء الذي يملأ جزئيا مسافة الفراغات. وحيث يقل تشبع الماء في الخزان تدريجيا لأعلى، لذلك يجب أن تقاس  $R_o$  من قراءة تسجيل البئر المسجل في الجزء الأسفل والذي يكون مشبعا تماما بالماء.



شكل (11-30): يوضح الشكل العلاقة بين معامل مقاومة التكوين (F) والنفاذية (K) موضوعة على قيم مقاسة في عينات الحجر الرملي لمنطقتين.