

## الفصل السادس

### طرق الإستكشاف الكهربى

### Electrical Prospecting Methods

#### 1.6 مقدمة Introduction:

الإستكشاف الكهربى متنوع بدرجة أكبر من الطرق الجيوفيزيائية الأخرى. حيث تعتمد بعض طرقها على تأثير المجالات الناشئة طبيعياً مثل التيارات الكهربية الأرضية الناتجة من تفاعلات كيميائية (الجهد الذاتى self potential)، موجات كهرومغناطيسية electromagnetic continuous waves، تيار عابر transient current، وتيار أرضى telluric current وهى تشبه فى هذا الخصوص استكشاف الجاذبية والمغناطيسية. وطرق أخرى تحتاج تيارات أو مجالات كهربية تدخل فى الأرض صناعياً، وتشبه هذه الطرق الطريقة السيزمية وتشمل هذه الطرق طريقة المقاومة الكهربية electrical resistivity method وطريقة الاستقطاب التائىرى induced polarization methods.

تستخدم الطرق الكهربية بكثرة فى البحث عن الفلزات والمعادن وذلك لفاعليتها فى الإستكشاف الضحل حيث نادراً ما تعطى معلومات عن ظواهر تحت سطحية أعمق من 1000-1500 قدم. طريقة الاستقطاب الذاتى تكون فعالة فقط لتحديد أماكن الخامات بجوار مستوى الماء الجوفى. أما طريقتى المقاومة الكهربية والكهرومغناطيسية الأرضية فتستخدم لرسم خرائط أسطح صخور القاعدة الموجودة أسفل الأحواض الرسوبية وذلك لاختراقها الكافى للصخور. ولذا تستخدم كثيراً لاستكشاف البترول.

ايضا تستخدم طرق الاستكشاف الكهربى بدرجة متزايدة فى الجيولوجيا الهندسية، حيث تستخدم قياسات المقاومة النوعية لإيجاد عمق المصدر الصخرى، وكذلك فى الإستكشاف الجيولوجى الحرارى.

#### 2.6 الخواص الكهربية للصخور Electrical Properties of Rocks:

يستخدم الإستكشاف الكهربى ثلاث خواص اساسية للصخور:

##### 1.2.6 الجهود الطبيعية Natural potential:

تشمل النشاط الكهروكيميائى electromagnetic activity والتيارات الكهربية الأرضية telluric currents.

## 2.2.6 المقاومة النوعية (عكس التوصيل النوعى): Resistivity (opposite of conductivity):

تدل على التحكم فى كمية التيار أثناء مروره خلال الصخر عند تطبيق فرق جهد معلوم.

### 3.2.6 ثابت المعزل الكهربى (ε): Constant of electrical isolation:

يعطى معلومات عن سعة مادة الصخر لتخزين شحنة كهربية ويتحكم جزئيا فى تجاوب تكوينات الصخر للتيارات المترددة العالية التردد والداخلية فى الأرض بوسائل توصيلية أو حثية. وثابت العزل لمعظم الصخور الصلبة يتراوح من حوالى 6-10 وحدات كهروستاتيكية (esu) وللتربة المبتلة والطين يتراوح هذا الثابت من 40-50 (esu). وهذا الثابت يعتمد أيضا على تردد أعلى من 100 هرتز، وكذلك حساس للحرارة ويزداد  $\epsilon$  للصخر كلما أصبح الصخر أكثر سخونة.

### 3.6 طرق الكهربية الذاتية Self-Electrical Methods:

#### 1.3.6 النشاط الكهروكيميائى Electrochemical Activity:

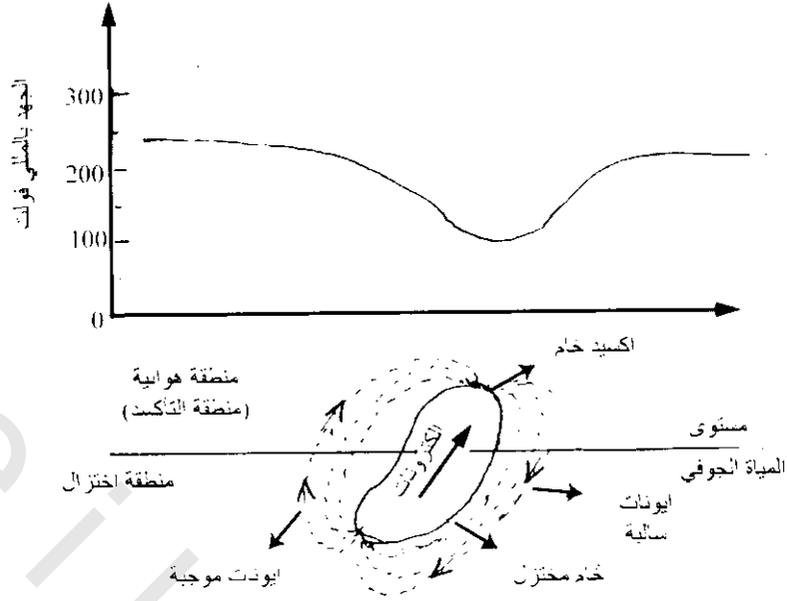
يعتمد النشاط الكهروكيميائى للصخور على تركيبها الكيميائى، وتركيز المحاليل الكهربية المذابة فى المياه الجوفية والتي تتلاشى معها. يحكم هذا النشاط قيمة وإشارة الجهد الناتج عندما تكون مادة الصخر فى إتزان مع المحلول الكهربى الموجودة فيه.

#### 1.1.3.6 طريقة الجهد الذاتى Self-Potential Method:

تتضمن هذه الطريقة قياسات على السطح للجهود الكهربية الناشئة فى الأرض من التفاعل الكيميائى الكهبرى بين المعادن والمحاليل الملامسة لها. عند تلامس أجزاء كتلة الخام مع محاليل ذات تراكيب مختلفة، تحدث تفاعلات كيميائية مسببة ضغوط مختلفة للمحلول على مناطق التلامس المناظرة. ويسبب الاختلاف فى ضغط المحلول اختلافا فى الجهد مما يسبب سريان التيار فى الأرض. أى تعتمد هذه الطريقة اساسا على النشاط الإلكتروكيميائى (electrochemical) المنتشر فى خامات معينة مثل الكبريتيدات والجرافيت والتي لها بريق معدنى كبير، وأيضاً جيدة التوصيل الكهربى، وتبعاً لذلك يكون لها مقاومة نوعية قليلة. مثل هذه الخامات لها سلوك مثل عناصر البطارية (معدن - أكسيد المعدن - حلول حمضى). فى الطبيعة، يكون نهاية الجسم المؤكسد قريبا من السطح بينما يكون الجزء الأخر من الجسم داخل المياه الجوفية.

بذلك يسمح الجزء العلوى السالب (المؤكسد) والجزء السفلى الموجب (المختزل) بانسياب التيار سفليا خلال جسم الخام. ويعود التيار لمحيطات حول الجسم لأعلى، وقياسات فرق الجهد بين النقط يكون على سطح الأرض، ويوضح شكل (6-1) نظام السريان والذى يمكن كشفه بالجهد السالب، والذى يدخله التيار بسريانه على السطح.

وبينما الجهود الأقوى من هذا النوع يتم تنشيطها فى خامات مثل الكبريتيدات فإن عددا من المعادن الأخرى مثل البيرويت والمجنتيت، تحدث أنظمة مميزة للجهد الذاتى. من الممكن أن تسبب كتلة الوثيت (خام الشبه) شاذة جهد تبلغ 1700 ميلل فولت بسبب تكون حامض خلال تكون الشب من الصخر المحيط. ليس كل كتل الكبريتيدات القريبة من السطح تحدث جهودا شاذة بسبب وجود سطحية كثيرة تمنع التأكسد.



شكل (1-6): بروفييل جهد طبيعي عبر جسم كبريتي، مؤكسد أعلاه

هناك مصادر كاذبة للجهد تظلم تأثيرات التفاعل الكهروكيميائي التحت سطحي. حيث أن التغيرات في ارتفاع المجال الطبيعي للجهد الجوى تحدث جهودا في الأرض من الصعب التنبؤ بها. كذلك التيارات الكهربائية للأرض (تيارات طبيعة أرضية بامتداد كروى عالمي، ومتدفقة في القشرة الأرضية) قد تحدث اختلافات في الجهد يصعب أحيانا فصلها من الجهود الكهروكيميائية. الجهود السارية يمكن أيضا أن تسبب شاذات كبيرة، أكبر من تلك المصاحبة لأكسدة جسم الخام.

### 1.1.1.3.6 الطريقة الحقلية والتفسير Field Method and Interpretation

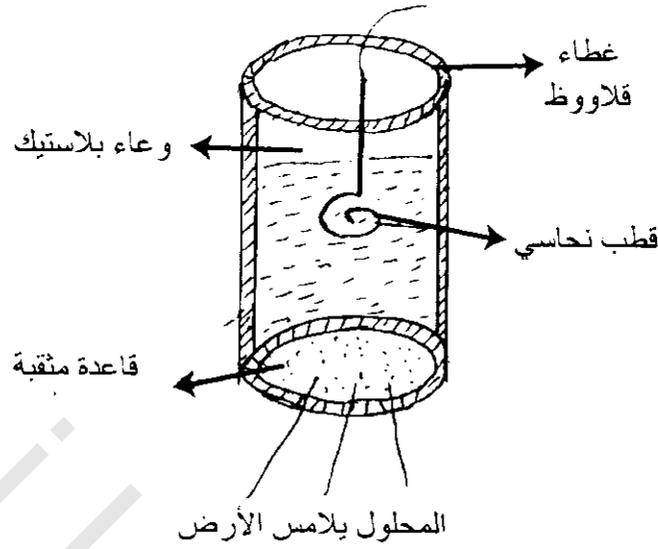
تكون قيمة شاذات الجهد الذاتي عادة بمنات الميللي فولت ويمكن تحديدها بواسطة أقطاب مسامية شكل (2-6) غير قابلة للإستقطاب متصلة بنهاية جهاز قياس الجهد (مقياس الميللي فولت)، ويتم قياس الجهود على بروفييلات بواسطة أزواج من هذه الأقطاب مع حفظ المسافة بينهم منتظمة. ومن مجموع عدة بروفييلات، ترسم نتائجها في خريطة لتوضيح الفروق الحقيقية في الجهد، من هذه الخريطة يمكن معرفة إتجاه إنسياب التيار وعندئذ يمكن توقيع جسم الخام كما في شكل (3-6).

تنتج فروق الجهد على سطح الأرض من النشاط الكيميائي للخام والذي يتغير مع:

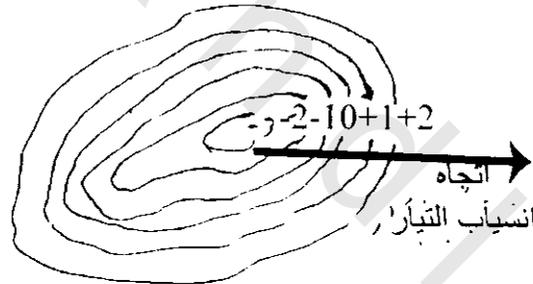
- i- الخواص للإلكتروليه.
- ii- حجم وشكل جسم الخام.
- iii- عمق الجسم أسفل سطح الأرض.

يحدد المركز السالب بواسطة قياسات عبر سطح الأرض بواسطة:

- i- توقيع نقط لنفس الجهد،
- ii- قياس جهد الأرض عند مسافات منتظمة ورسم خطوط تساوى الجهد،
- iii- عمل بروفييلات جهد في إتجاهات عبر جسم الخام.



شكل (2-6): قطب قياس شاذات الجهد الذاتى



شكل (3-6): خريطة كنتورية توضح فروق الجهد ، واتجاه انسياب التيار (القيمة بالملى فولت)

يمكن إكتشاف المركز السالب مباشرة عبر جسم الخام فقط، عندما تكون تضاريس المنطقة تحت الفحص نسبيا مسطحة.

### 2.1.1.3.6 قياس الجهد الذاتى Measurement of Self-Potential

#### 1.2.1.1.3.6 طريقة تدرج الجهد Potential Gradient Method

فى هذه الطريقة يستخدم قطبى قياس عند أبعاد متساوية نموذجية من 5-10 متر، ويقسم خط المسح المراد قياس فرق الجهد له إلى أبعاد هذه الأقطاب لتعطى تدرج جهدى (مىلى فولت/متر). والنقطة التى تستخدم للرصد هى منتصف المسافة بين الأقطاب ثم تنقل الأقطاب لموقع آخر على طول خط المسح.

## 2.2.1.1.3.6 طريقة سعة الجهد Potential Amplitude Method:

في هذه الطريقة يثبت إحدى الأقطاب عند محطة القاعدة على أرض غير معدنية ويقاس فرق الجهد (ميلي فولت) عنده والقرب الآخر المتحرك على طول خط المسح. وتزيل هذه الطريقة مشاكل الإختلاط القطبي وتراكم الخطأ. ويجب الأخذ في الإعتبار التكفل بأن درجة حرارة المحلول الكهربى\* فى القطب المتحرك لا تختلف عن فحوى من القطب الثابت (المرجع) او من نتائج اختلاف قطبي آخر. يتكون الجهد الذاتى من جهد ساكن ومركبة مترددة متغيرة\*\*. وتنشأ الأخيرة بواسطة تأثيرات الأتموسفير، وبطول الوقت يكون للمركبة ساعات من نفس الرتبة كجهد معدنى ساكن. لذلك يجب أخذ أكثر من قراءة على طول نفس البروفيل فى أوقات مختلفة من النهار، ثم يؤخذ متوسط هذه النتائج. كذلك من الممكن أن تنتج شوشرة كهربية، إذا أخذت القياسات مباشرة بعد مطر كثيف أو بالقرب من أسطح مائية جارية. وكجهد للمجارى المائية، عندئذ ربما يكون للبحيرات جهد معدنى. عادة ما يكون أكبر عمق جس لطريقة الجهد الذاتى حوالى 60-100 متر معتمدا على عمق جسم الخام وطبيعة الغطاء الرسوبى.

يوضح جدول (1-6) ملخص بعض الأنواع الشائعة لشواذ الجهد الذاتى والمصادر الجيولوجية المقابلة لها. بالإضافة لتصنيفات أخرى فإن الشكل الهندسى للتركيبات الجيولوجية يمكن أن يعطى أيضا شاذات جهد ذاتى. ولذلك فإن الجدول يستخدم كمرشد.

جدول (1-6) شاذات الجهد الذاتى ومصادرها الجيولوجية.

الشاذة	المصدر
سالبة = منات ميللى فولت	<p>ز- جهود معادن</p> <p>أ- أجسام خامات كبريتيدات (بيريت، كلكوبيريت، بيروهوتيت، سفاليرايت، جالينا)</p> <p>ب- أجسام خامات الجرافيت</p> <p>ج- ماجنيتيت ومعادن ذات توصيل الكترونى</p> <p>د- فحم</p> <p>هـ- منجنيز</p> <p>و- عروق كوارتز</p> <p>ز- بجمائيت</p>
موجب = عشرات ميللى فولت	
	<p>ii- جهود خلفيه</p> <p>أ- مجاورى السوائل، تفاعلات كيمياى أرضية.. الخ</p> <p>ب- كهربية حيويه (بيوالكترىك) نبات وأشجار.</p> <p>ج- تحركات المياه الجوفيه</p> <p>د- التضاريس</p>
موجب أو سالبة $\geq 100$ ميللى فولت	
سالبة $\geq 300$ ميللى فولت	
موجب أو سالبة $\geq$ منات ميللى فولت	
سالبة $\leq 2$ فولت	

\* معامل درجة حرارة النحاس - كبريتيد نحاس حوالى 0.5 ميللى فولت/درجة حرارة ، وحوالى 0.25 ميللى فولت /درجة حرارة للفضة - كلوريد فضة.

\*\* حوالى 5-10 هرتز.

### 3.1.1.3.6 أصل الجهود الذاتية :Origin of Self-Potential

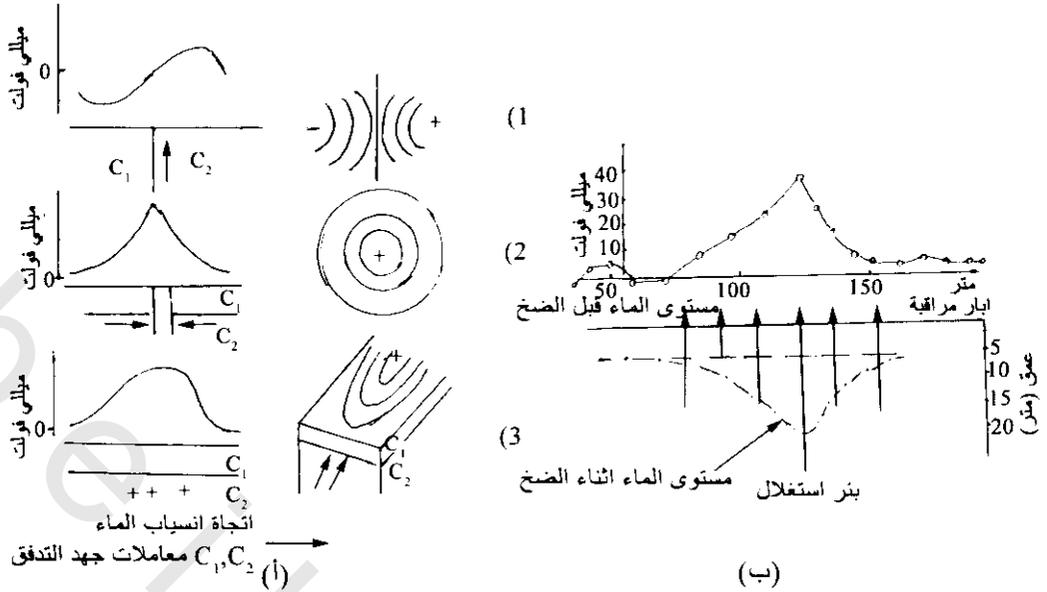
العامل الشائع بين العمليات المختلفة والمسئول عن الجهود الذاتية هي الماء الجوفى، حيث أن هذا الماء مذاب فيه معادن مختلفة، لذلك فإنه يعتبر وسط إلكترولىتى، أنواع هذه الجهود ممثلة فى الجدول (2-6) يوجد ثلاثة طرق توصيل كهربى خلال الصخور بواسطة توصيلات العازل الكهربى، الكتروليتى والكرونى (أوم). يعتمد التوصيل الكهربى (مقلوب المقاومة) على مسامية الصخور وترتيب الفراغات بها وكذلك على حركة الماء (أو سوائل أخرى) للمرور خلال مسافات المسام (عندئذ على حركة الأيونات، تركيز المحالول، اللزوجة، درجة الحرارة والضغط).

جدول (2-6). أنواع الجهود الذاتية وحالتها ومعادلتها الرياضية.

النوع	الحالة	المعادلة
i- كهربية حركية electrokinetic		$E_K = \frac{\epsilon \mu C_E \delta_P}{2\pi \eta}$
أ- ترشيح كهربى Electrofiltration		حيث $\epsilon$ ثابت عازل، $\mu$ مقاومة، $C_E$ معامل ازدواج الترشيح $\delta_P$ فروق الضغط، $\eta$ لزوجة ديناميكية.
ب- كهربية ميكانيكية Electrochemical ج- تدفقات Streamings		
ii- جهد كهروكيميائى electrochemical Potential		$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{\eta F(I_a + I_c)} I_n (C_1 / C_2)$
1- جهد إنتشار Diffusion Potential أ- سوائل موصلة Liquid-Junction		حيث R ثابت الغاز العالمى، $I_a$ حركة أنيونات (+) حركة كاتيونات (-)، T درجة الحرارة المطلقة (K)، $\eta$ تكافى أيونى، F ثابت فرادى (Faraday)، $C_1$ ، $C_2$ تركيزات المحاليل
2- جهد نرنست Nernst Potential أ- طفلة اشمت		$E_N = \frac{RT}{\eta F} \ln(C_1 / C_2)$
iii- جهد معدنى Mineral Potential	ثابت	عند $I_c = I_a$ فى جهد الإنتشار

### 1.3.1.1.3.6 جهود الكهربائية الحركية (E<sub>K</sub>) :Electrokinetic Potential

تتكون هذه الجهود كنتيجة إنسياب الكتروليتى خلال الشعرية أو وسط مسامى ويقاس الجهد عبر نهايات الشعرية وتشمل هذه الجهود الترشيح الكهربى electrofiltration، الكهربائية الميكانيكية electrochemical وجهد التدفق streaming potential. وتبعاً لقانون هلمهولتز Helmholtz، فهناك علاقة بين التيار الكهربى والتدرج الهيدرولىكى ومعامل ازدواجية الترشيح الكهربى ( $C_E$ )، والتي تأخذ فى الإعتبار الخواص الكهربائية للمحلول الكهربى (الكتروليت) والشبكة التى يمر خلالها المحلول الكهربى. أيضاً، من المهم إنسياب المياه أما موازية للحدود الجيولوجية أو مستوى المياه الجوفى.



شكل (4-6): (أ) بروفيلات مثالية لجهد ذاتي كهربية ترشيح وتخطيط للنماذج (سيشافون وكوارتو Schia-Von and Quartz 1984). 1- حد رأسي تابع على استقامته. 2- ضخ من ينر والإدخال في الينر سينتج معنى شادة معاكس). 3- إنسياب حدودي أفقي تتميز سطوح التماس بواسطة بتاين في معامل جهد الترشيح ( $C_2, C_1$ ). (ب) مثال الشادة SP ناتجة بواسطة ضخ من الينر (سيمونوف 1980 Semonov)

يوضح شكل (4-6) رسومات خطية لأوضاع جيولوجية مختلفة لقيم خواص معامل ازدواجية الترشيح الكهربية. CE لكل وحدة جيولوجية، أما شكل هب يوضح تزايد التدرج الهيدروليكي بواسطة استخراج مياه حيث زيادة معدل انسياب الماء في اتجاه الينر، عندئذ يلاحظ موجبة الشادة.

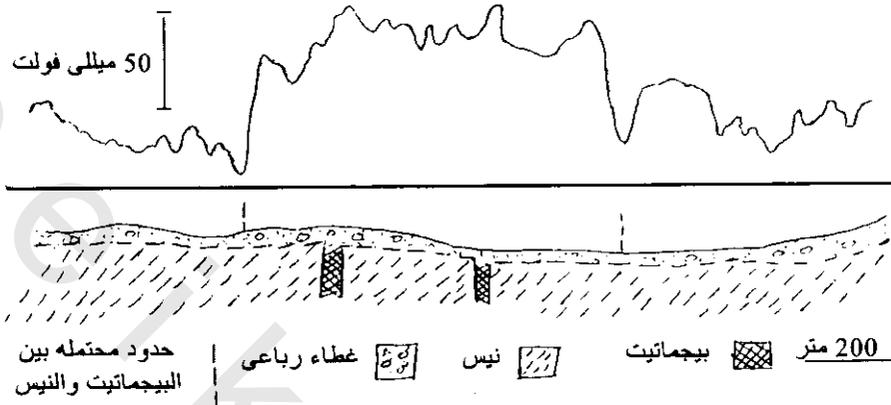
### 2.3.1.1.3.6 الجهود الكهروكيميائية Electrochemical Potential:

ترتفع جهود الإنتشار (جهود السوائل الموصلة) عبر خلفية عابرة إلى عشرات من الميلى فولت، ربما يعود ذلك إلى الاختلاف في حركة المحاليل الكهربية التي لها تركيزات مختلفة خلال المياه الجوفية. هذه الخلفية توضح استمرارية وجود خلفية الجهود، لذلك يحتاج إلى مقدرة المصدر لحفظ عدم التوازن في تركيزات المحلول الكهربي، وإلا فإن اختلاف التركيزات ستختفى مع الوقت بواسطة الإنتشار.

يحدث جهد نرنست (جهد الطفلة)  $E_N$  عند وجود اختلاف جهد بين قطبين مغموسين في محلول متجانس والذي عنده تختلف تركيزات المحاليل موضعياً ويتضح من جدول (2-6) أن صيغة معادلة جهد نرنست تكون حالة خاصة لجهود الإنتشار ويمكن بسهولة ضمها لصيغة الجهد الإلكتروكيميائي.

يكون لجهد نرنست أهمية خاصة في تسجيلات الآبار حيث يشير في حالته لجهد الطفلة. ويتضح من جدول (2-6) أن الجهد الإلكتروكيميائي يعتمد على اختلاف التركيزات  $C_1, C_2$  ودرجة الحرارة. ويحدث زيادة في الجهد الإلكتروكيميائي عندما يكون الاختلاف في التركيزات كبير وكذلك إرتفاع درجة الحرارة. لذلك فإن قياس الجهد الذاتي يكون مهماً في اكتشاف مصادر الحرارة.

أيضاً فإن الجهود الألكتروكيميائية تشارك فى جذب الأنيونات على سطوح عروق الكوارتز والبيجماتيت وتعرف بجهود الاستجذاب (جهود صفر الطاقة Zeta). مثال ذلك يوضحه شكل (5-6) حيث أن الشاذة أعلى من +100 ميللى فولت المقاسة عبر سد بجماتيت رأسى خلال النيس. إضافة لذلك، فإن جهد الإستجذاب يمكن حسابه للشاذات المرصودة عبر الطين حيث الجهود يولدها إزدواج الصلب-السائل.



شكل (5-6): بروفيل جهد ذاتى عبر سدود بيجماتيه فى نيس (سيمينوف 1980 Semenov)

#### 4.1.1.3.6 الجهود المعدنية Mineral Potentials:

الجهود المعدنية من أكثر استخدامات الجهود الذاتية فى إكتشافات المعادن كالتى تصاحب كتل أجسام خامات الكبريتيدات. ويمكن ملاحظة شاذات كبيرة سالبة خاصة عبر البيريت، كالكوبيريت وموصلات كهربية جيدة. أيضاً يلاحظ الجهود المعدنية عبر خامات سفاليريت برغم موصلات ضعيفة.

#### 5.1.1.3.6 تصحيحات لنتائج الجهد الذاتى Corrections to SP Data:

عادة ما تدل قياسات الجهد الذاتى عبر مساحات كبيرة (عدة كيلومترات مربعة) على الإتجاه الإقليمى بسبب تيارات الكهربية الأرضية (Telluric) والتي تبلغ أكثر من 100 ميللى فولت/كيلومتر. وربما تفرض الجهود المعدنية جدا على هذا التدرج الإقليمى. لذلك عند تفسير شاذة بسبب التمدن، تعزل هذه الشاذة بنفس الطريقة المستخدمة فى طريقة الجاذبية للحصول على شواذ المتبقيات. ويجب تطبيق التصحيح الإقليمى قبل أى ضبط للتضاريس. أما بالنسبة للمسح المحلى الصغير عادة ما تكون هذه التصحيحات هامة.

تبعاً لبهاتاشيروا وروى Bhattacharya and Roy 1981 وبهاتا شاروا Bhattacharya 1986، إذا كان ميل سطح المسح أكبر من 20°، فإن أقل جهد ذاتى ينحرف عن المسبب له، وتبعاً لذلك فإن الحفر ربما يخطئ جسم الخام تماماً. فى أى محاولات لتصحيح النتائج للتأثيرات الإقليمية أو التضاريس، فإنه يجب عزل شاذة الجهد الذاتى لجسم مفرد مستقطب.

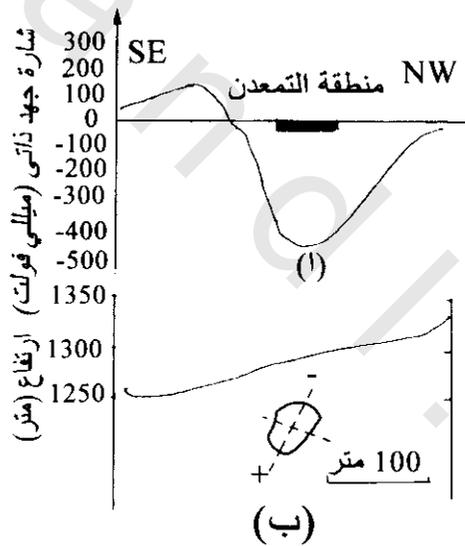
إذا كانت الشاذة المرصودة بسبب تجمعات لعدد من الشاذات من مصادر جيولوجية مختلفة (عندئذ يكون لها أشكال واستقطابات مختلفة)، فإن التصحيح لا يمكن اجراؤه وكذلك تحديد القمم لأجسام الخامات لذلك يجب أخذه بالتقريب، وتستخدم عدة طرق جيوفيزيائية لمحاولة تحديد التركيب الجيولوجى الأكثر وضوحاً.

ربما يكون من الضروري أيضا عمل مسح لتأثيرات جهود كهربية المياه المتسببة بواسطة النباتات. حيث ربما تسبب هذه الجهود مجالات سالبة لعدة مئات من الميلي فولت مقارنة بالجهود المعدني الناتج من أجسام خامات الكبريتات. لذلك، فإن أساس الرصد الحقلى هو تصفية الموقع.

### 6.1.1.3.6 تفسير شاذات الجهد الذاتى Interpretation fo Self-Potential Nomalies:

غالبا ما تفسر شاذات الجهد الذاتى كيفيا بواسطة شكل البروفيل، السعة، القطبية (موجب أو سالب) وشكل الكنتور كما فى شكل (6-1، 3). يوضح شكل (6-6) قمة أى جسم خام يقع مباشرة تحت مكان أقل جهد، حيث أن محور الإستقطاب يميل عن الرأس، لذلك فإن شكل البروفيل يصبح غير متماثل بميل شديد وتقع نهايتى الموجب على جانب الميل السفلى.

يوضح شكل (6-7) تعقيدات قائمة عندما يعطى اثنين أو أكثر من الظواهر الجيولوجية تراكب شاذات جهود ذاتية. تتميز الشاذة عبر جرافيت فيليبتي\* بالكبر السالب (-740 ميلي فولت) بسبب جهود كهربية المعادن الكيميائية، بينما تنتج الشاذة الثانية (-650 ميلليفولت بسبب جهود الكهربية الحركية المصاحبة لانسياب الماء خلال نفاذية الكونجولوميرات المفتتة.



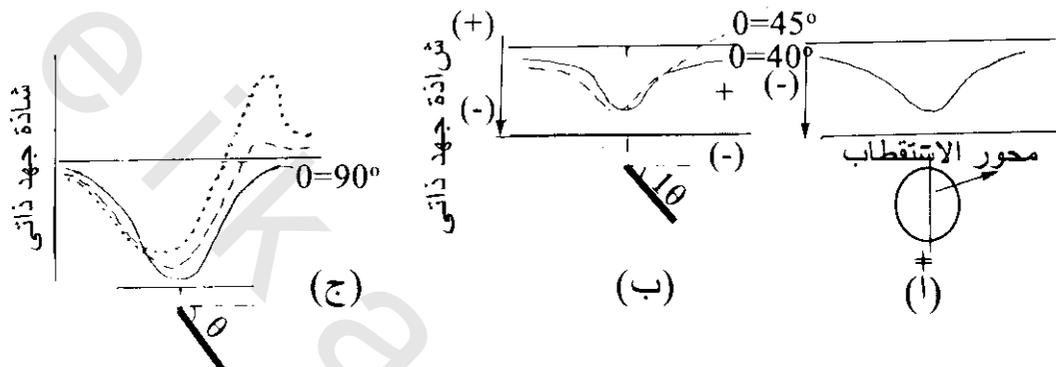
شكل (6-6): شاذة جهد ذاتى فى أرجاني، تركيا Ergani, Turkey، لجسم خام متداخل يرى بشكل تخطيطى فى (ب). يلاحظ أن محور الإستقطاب يميل صعودا (ينجول 1950 Yungul)

عندما توجد نفس حجوم الأجسام ولكن باختلاف الميل فيمكن استخدام الشاذة الناتجة للتفريق بينهم. يوضح هذا شكل (6-8) حيث يعبر عن جسمى جرافيت فى نيس لنموذجين مختلفين. يوضح شكل (6-8) اتجاهى ميل كل يبعد عن الآخر لجرافيت فى تركيب طيه مقعرة، فى هذه الحالة فإن المراكز السالبة المصاحبة لكل جسم مستقطب تكون منفصلة تماما، منتجة شاذة لقيمتى سالبتي منخفضتين. أما شكل (6-8ب) والتي توضح أن

\* ميلبيت: صخر بركاني متحول متجدد السطح.



في المقابل يكون التقريب ممارسة (حساب يدوي) للشاذة المرصودة لإنتاج النموذج. ربما تستخدم هذه الطريقة لتقييم حجم لظاهرة جيولوجية سابقة لأخرى، أكثر تفصيلاً، باستقصاءات جيولوجية وجيوفيزيائية. يكون التقريب لفرض أن الظاهرة الجيولوجية تتفق لإعطاء أشكال هندسية شكل (6-9) والتي تكون أعماقها لمركز الجسم، وربما يقدر هذا العمق باستخدام طريقة نصف العرض. لسوء الحظ، هذه الطريقة غير ملائمة في دقتها، حيث أن أهم تحديد لهذا التقريب يعتمد على عرض الشاذة التي ربما تكون أكثر دلالة للاتساع الطبيعي أكثر من عمق الجسم، وربما يصل الخطأ في تقدير العمق ( $\pm 100\%$  يرى شكل 6-10) أمثلة من أجسام جرافيت حقيقية وشاذات الجهد الذاتي المقابل لها.



شكل (6-9): شاذات جهد ذاتي. (أ) كرة، (ب) لوح مائل، (ج) قضيب مائل (بارانيس 1986 Paranis، تليفورج وآخرين Telford et al 1990)

يوضح شكل (6-10) أمثلة من أجسام جرافيت حقيقية وشاذات الجهد الذاتي المقابل لها. يوضح شكل (6-10ب) الشاذة المرصودة المغطية لشواذ ترجع إلى مركبات جيولوجية مفردة.

### 7.1.1.3.6 تطبيقات وحالات سيرية Application and Case Histories

#### 1.7.1.1.3.6 أجسام الخامات Ore Bodies

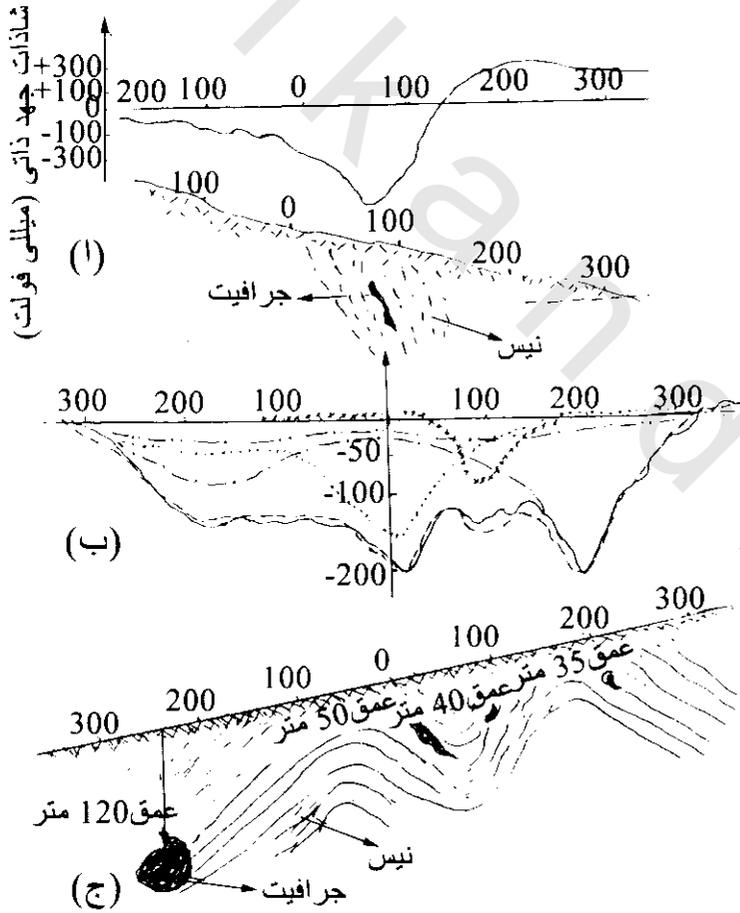
##### (i) خام كمهيدن بشمال السويد Kimheden Orve Body, Norther Sweden

يوجد خام كمهيدن (أساسا بيريت Pyrite) في ألواح منحدره مائلة على طول ركام جليدي كواتزيت (يغطي سرسبت (ميكالوتاس)). لايزيد عمق قطع قمم الخام عن حوالي 10 متر. ويوضح كنتور الجهد الذاتي شكل (6-11) عدة ظواهر خطية واضحة والتي تقارن مع أماكن معروفة لأجسام الخام مع استثناء واحد هو عند أقصى قرب لجسم الخام (X) تكون له خاصية ارتفاع المقاومة التي ربما تفسر غياب أي شاذة.

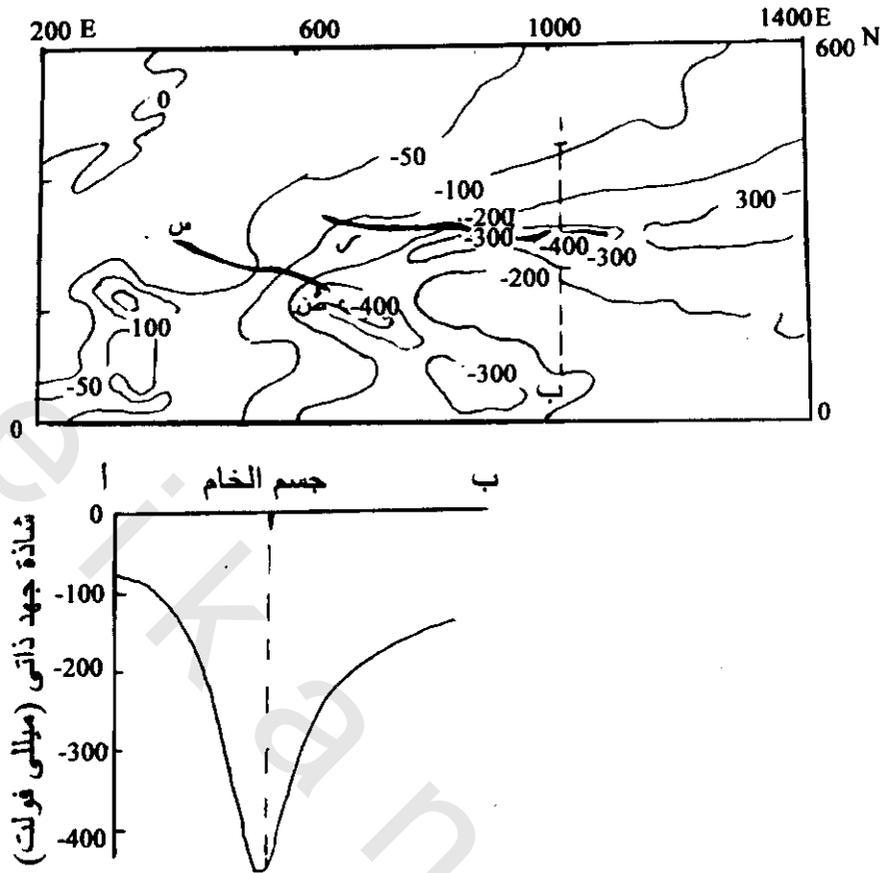
##### (ii) خام النحاس عند شالكديكي، شمال اليونان Copper Ore at Chalkidiki, North Greece

تتكون هذه المنطقة من نيس وشيست والتي قطعت وأزاحت بقوة ملئت بواسطة تمعدن جرانيتي-جرانودايوريت وتركيبات فوق قاعدة شكل (6-12) يصاحب البيريت والجالينا وسفاليريت تداخلات حمضية، أما المجنيتيت والكروميت يكون مع تداخلات قاعدية. تنتج معادن النحاس والبيريت من نشاط

بركانى فى عصر الثلاثى حيث تكون مصاحبة مع إنسياب حمم تراكيب، أنديزيت وبرونورينيك جرانويد يوريت، وتكون مركزة خلال شبكة مكثفة من الشقوق والفوالق. يوجد ثلاثة مناطق ملاحظة لتمعدن النحاس، تتكون المنطقة الضحلة الغربية من أوكسيد صافى (حوالى 1% نحاس) أسفلها يوجد المنطقة الثانية الأغنى وسمكها 2-3 متر والتي يكون تركيز النحاس على حوالى 20% (ملاكيت، أزوريت، كوبريت... الخ)، والمنطقة السفلى، والتي تمثل التمعدن الأولى للكالكوبيريت، بيريت، بورنيت ومجنتيت متزامن التكوين، يبلغ عمق هذه المنطقة من 20-30 متر وتمتد لأسفل على الأقل 300 متر أسفل السطح. يعطى الماجنتيت الموجود خلال الصخور البركانية شاذة مغناطيسية مميزة، وتوجد أقصاها خلال حواف قبة تراكيت (صخور نارية دقيقة الحبيبات). توجد شاذات الجهد الذاتى المنخفضة نوعيا عبر أجسام خامات النحاس. وحيث أن كبريتات النحاس تميز بإنتاج قابلية مغناطيسية منخفضة، لذلك يوجد تبعاً لذلك قرنه (رأس مؤنّف (مدبب) فى بروفيل المغناطيسية.



شكل (6-10): (أ) شاذة جهد ذاتى عبر جسم جرانيتى مفرد فى نيس، (ب) نموذج شاذة جهد ذاتى فردى لأربع أجسام جرافيتيه فى نيس، (ج) البروفيل المرصود (ميسير (Meiser 1962



شكل (6-11): (أ) خريطة جهد ذاتي لجسم خام بيريت كمهيدن (شمال السويد) بارازنس 1966 (الكتنور بالميللي فولت). (ب) شاذة جهد ذاتي عبر البروفيل أب.

### (iii) جسم خام كبريت عند ساريير، تركيا: Sulphide Ore Body at Sariyer, Turkey

يمثل شكل (6-13) مثال نموذجي لشاذة جهد ذاتي عبر هذا الخام. ويوجد الكالكوبيريت والبيريت في تركيزات مختلفة خلال كتل رسوبية كبيرة في داخل انديزيت وأسفل شيست ديفوني. وحيث أن المنطقة تتميز بتدرج سطحي شديد، لذلك إذا لم يصحح هذا التدرج فسيحدث إزاحة لانحدار منخفض الجهد الذاتي. يشمل جسم الخام أربع مناطق، واحدة منهم ممتدة إحداريا مكونة كبريتور الحديد، والثلاثة المناطق الباقية يقل فيها تركيز النحاس من 14% على جانب المنحدر إلى 1-2% على جانب أعلى الميل.

#### 2.7.1.1.3.6 جيولوجية المياه Hydrogeology:

تستخدم طريقة الجهد الذاتي لاكتشاف الخزانات الطبيعية ومواقع تسرب المياه لعمل الإنسان وأيضا لدراسة حركة المياه. مثال ذلك العمل الذي تم في منطقة بوسط فرنسا، حيث أمكن تحديد مستجمع لكل ينبوع، وقد وجد أن محور الحوض يكون طبقة المياه الأساسية وعرفت المناطق الممكنة القابلة لنقد التلوث. أيضا وجد أن مستوى الماء هو مصدر إعطاء شاذات الجهد الذاتي، وشكلها يدل على شكل مستوى الماء (شكل 6-14).

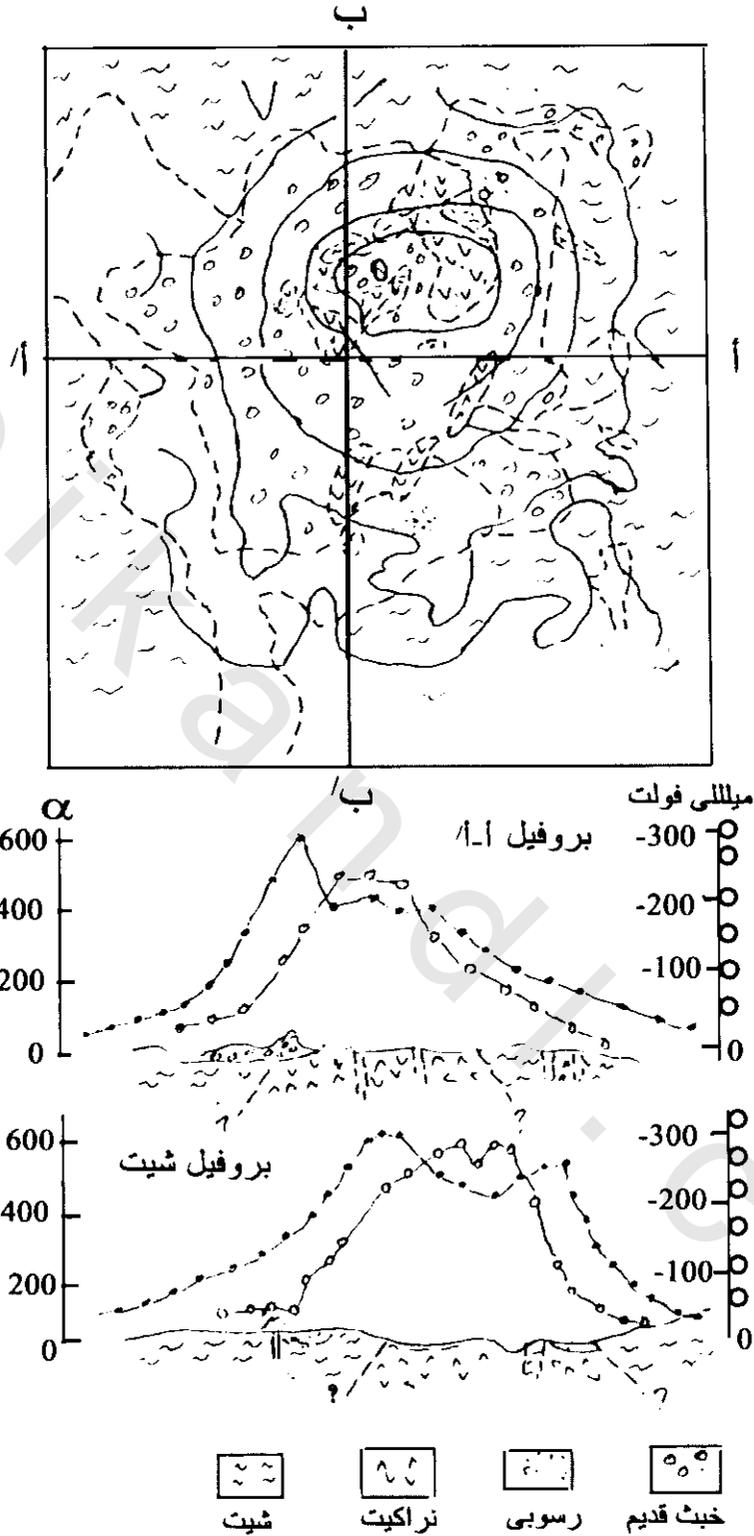
يوضح شكل (6-15) قطاع جيولوجى لجزء من سلسلة بيوز Puyس بوسط فرنسا مع الجهد الذاتى المقابل له. يلاحظ أن أكبر قيمة سالبة تتفق مع تضاريس عالية. وقد استطاع فورنير Fournier فى هذه المنطقة تقسيم شاذات الجهد الذاتى كمصطلحات دلالية هيدروجيولوجية كما فى جدول (6-3). وبقيت هذه الدلالات صالحة للإستخدام فى مناطق أخرى.

### 3.7.1.1.3.6 المدافن Landfills:

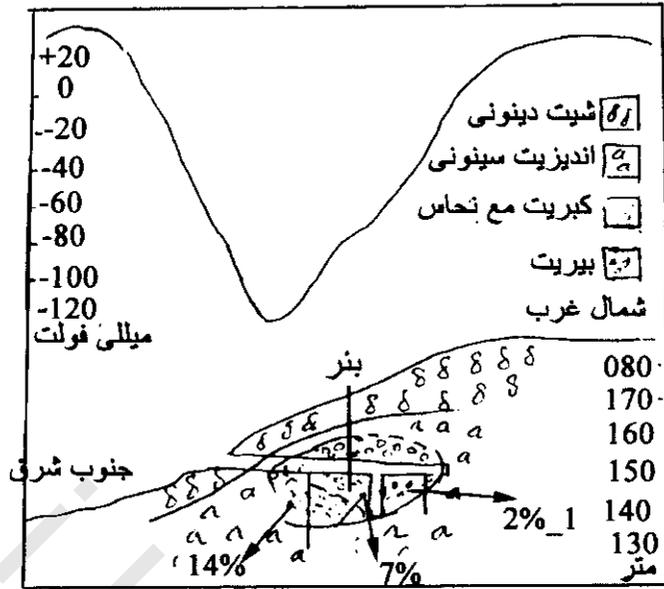
جوانب المدافن شديدة الإنحدار تحتوى على حجوم معينة لمحاليل غسيل عالية التوصيل والتي تتضح خلال الحواف والتي من المعروف أنها تولد شاذات جهد ذاتى معين. هذه الشاذات لها طبيعتين عند هذه الحواف شكل (6-16) يوضح هذا الشكل وجود شاذات صغيرة خلال المدفن بينما توجد شاذتان كبيرتان على حواف المدفن حيث يكون عدم الإتزان الأيونى ومعدل إنسياب محلول الغسل يكون أكثر تحقيقاً.

جدول (6-3).

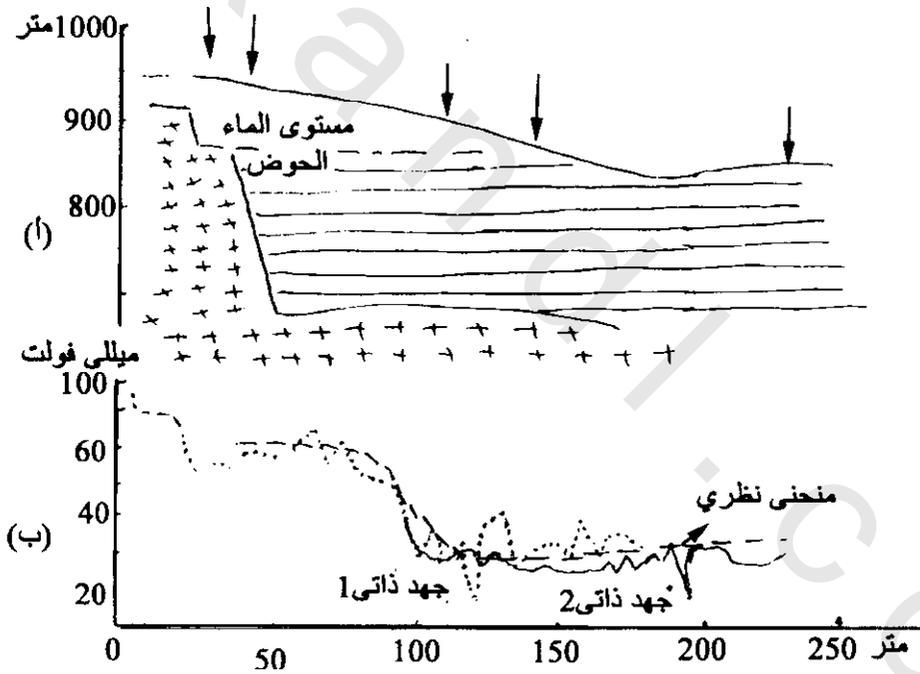
الهينة	الموقع	الدالة الهيدروجيولوجية
تدرج جهد ذاتى أفقى عالى	- على تضاريس مسطحة	- جانب محدد من مستودع ماء جوفى غير محصور
	- على جانب ذراع بركانى	- تصاعد مستوى الماء الجوفى فى مخروط بركانى
جهد ذاتى منخفض	- على تضاريس سطحية - على جانب بركانى أو على القمة	- محور وادى قديم - قمة مستوى الماء وخط حوض نهر جوفى
جهد ذاتى عالى	- فوق مستودع ماء جوفى غير محصور - بينمستودعين ماء جوفى غير محصور	- إنخفاض مستوى الماء بسبب صرف جيد - خط حوض نهر بسبب قمة صخور قاعدية غير منفذة



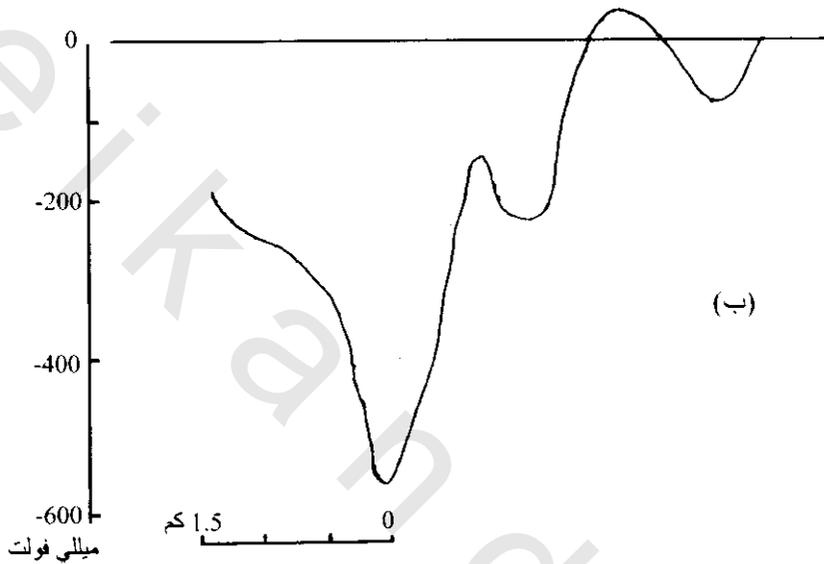
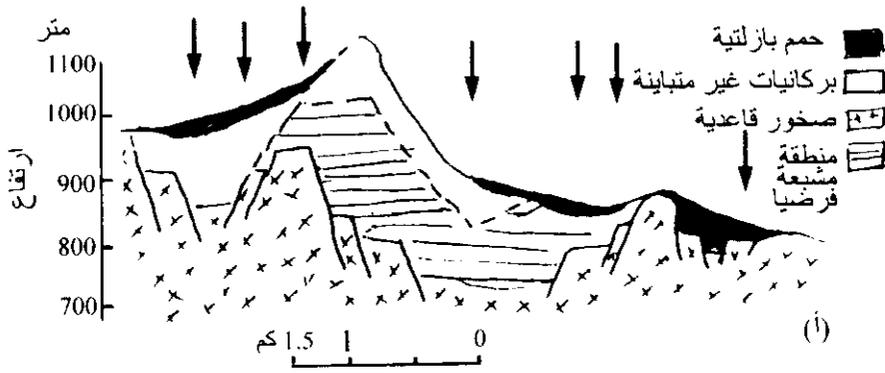
شكل (6-12): (أ) خريطة جيولوجية وقيم جهد ذاتي (ميلي فولت) في سالكنكي شمال اليونان، (ب) برقيان يمثلان شاذات جهد ذاتي ومجال مغناطيسي كلي (nT) 'أ-أ' ب- بـ (زاكوس 1963) (Zachos)



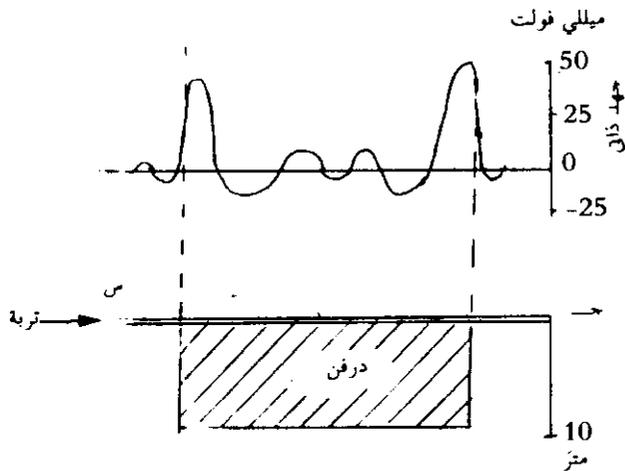
شكل (6-13): شادة جهد ذاتى عبر خام بيريت عند سارير ، تركيا. يوجد مكان البئر عند طوبغرافية مصححة لأقل جهد ذاتى



شكل (6-14): (أ) قطاع جيولوجى لجزء من محور حوض فى وسط فرنسا مشتق من الجس الكهربى الرأسى (الأسهم) ، (ب) شادات الجهد الذاتى المقابلة (فورنير 1989 Fournier)



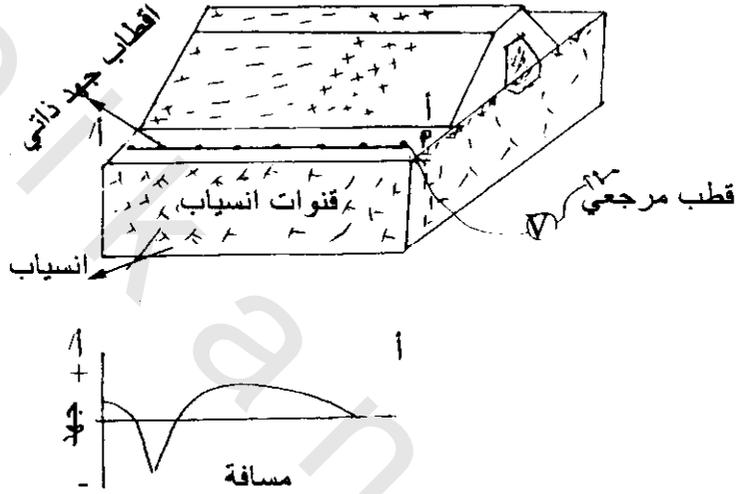
شكل (6-15): أ) قطاع جيولوجي عبر قبة بركانية في جزء شمال سلسلة بيوس Puyس بوسط فرنسا مشتقة من جسات كهربية رأسية (أسهم) ، ب) شاذات الجهد الذاتي المقابلة (فورنير 1989 Fournier)



شكل (6-16): شاذة جهد ذاتي عبر مدفن مغلق توضح نموذج لكبير الشاذات مع جوانب المدفن بالمقارنة مع الملاحظة في داخله (كوليمان Coleman) 1991

#### 4.7.1.1.3.6 إكتشاف الترشيح خلال السدود Leak Detection Within Embankments

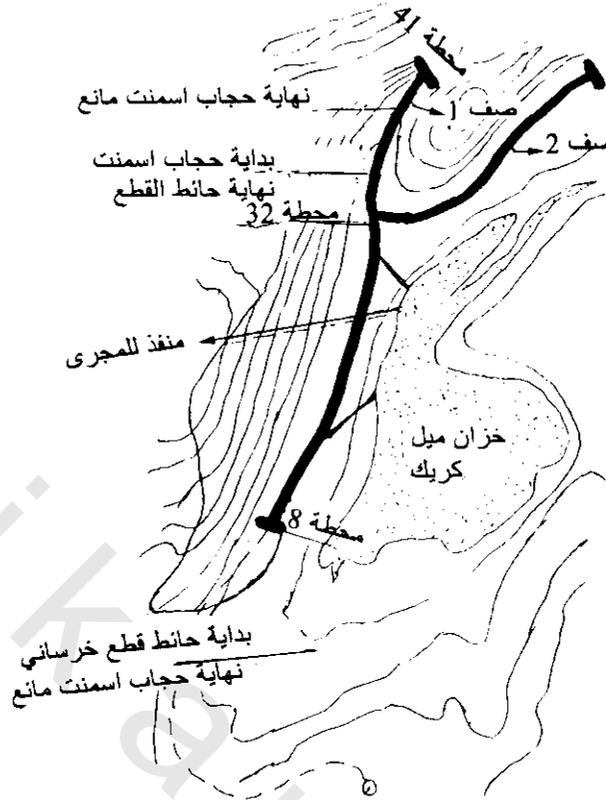
حيث أن المياه الأرضية تتساقط خلال مثل هذه التركيبات بواسطة طرق قليلة المقاومة، لذلك ربما يولد جهد الترشيح كهربيته حركية بكمية كافية للاكتشاف. يوضح الشكل التخطيطى (6-17) أساس تولد شادات الجهد الذاتى بواسطة الترشيح. تصاحب الشادات السالبة أماكن تواجد الترشيح فى السد، أو فوق طرق التز حيث يكون الإنسياب عامة أفقى أو منحدر. بالعكس فإن الشادات الموجبة توجد حيث يكون الإنسياب عامة صعدودا حيث يأخذ سطح التز مكانه. تبعاً لذلك، فإن وجود كلا من الشادة السالبة أو الموجبة يكون هاماً فيزيائياً.



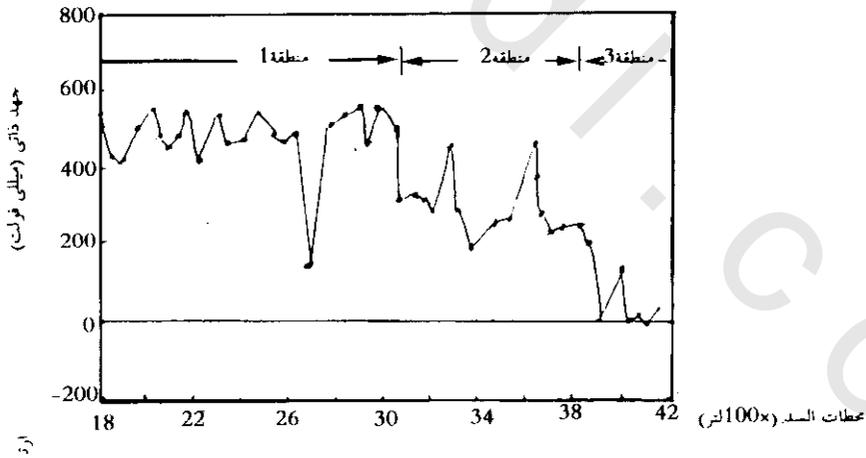
شكل (6-17): رسم تخطيطى لتصور شادات جهد ذاتى متولدة بواسطة ظواهر مصاحبة للترشيح خلال أرضية سد (بوتلرولويس (Butler & Llopis 1990

يوضح شكل (6-18) مثال لمسح جهد ذاتى لإمكان اختبار الترشيح عند سد وخزان ميل كريك MillCreek بواشنطن Washington بالولايات المتحدة الأمريكية منذ اختبار الملاء فى 1941، ولم تنجح محاولات تغير أو وقف النزر عندما لوحظ فقد الماء المخزون. لذلك أقيمت حوائط قطع متحجر بجوانب الستائر (أسمنت مانع). بنيت هذه الحوائط على قمة كتلة بازلت والتي تقع تحت خط متغير جانبياً من الكونجولوميرائيت. وبرغم ذلك فمنذ إنشاء مثل هذه التركيبات فإن الخزان لم يملأ ولكن مازال النزر واضح.

وقد أجرى فحص جيوفيزيقي لاكتشاف شادات النزر قبل واثناء وبعد اختبارات ملئ الخزان. وقد وضعت أجهزة قياس الجهد الذاتى المكونة من 85 قضيب فلزى على بعد 15 متر بين كل قضيبين لمدة شهرين قبل أخذ قراءة المجموعة الأولى للجهد الذاتى وقبل أربعة أشهر لأول اختبار للملاء، وقد وضع القطب المرجعى أعلى المجرى. ارتفع مستوى الخزان بمقدار 10 متر أثناء الإختبار. يوضح شكل (6-19) شادات الجهد الذاتى عبر الصف 1 شكل (6-18). من شكل (6-19) وخط عدة ظواهر:

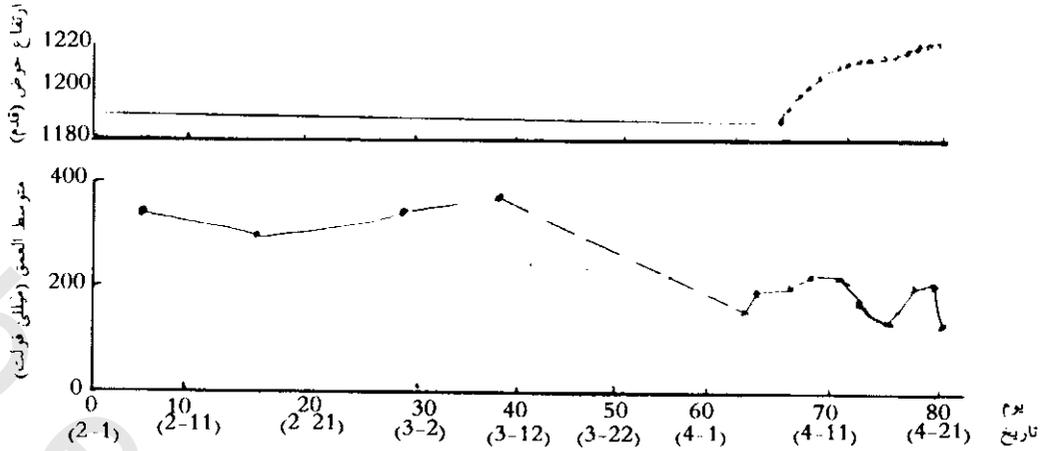


شكل (6-18): تخطيط لسد ميل كريك والخزان، وشنطن، الولايات المتحدة الأمريكية توضح أماكن لخطوط مسح الجهد الذاتي الكهربي صف 1، وصف 2، أحجبة أسمنتية مانعة وقطع حائط خرساني (بوترولوبس 1990 Butler & Lopis)



شكل (6-19): نتائج جهد ذاتي للصف 1 قبل البدء في ملأ خزان ميل كريك

- 1- ثلاث مناطق منفصلة على طول الصف 1 ولوحظت بواسطة قواعد مستويات مختلفة.
- 2- اتفاق الحدود بين المناطق تقريبا مع تلامس دعامة السد اليمينية ونهاية القطع المتحجر بالتتابع. ويسبب التغير في نوع المواد الشاذة المصاحبة للحدود بين المناطق. ويكون الحد بين منطقتي 2، 3 بسبب التغير الجانبي ونظام إنسياب المياه الجوفية كنتيجة لوجود الحائط القاطع والقطع المتحجر.



شكل (20-6): مقارنة مستوى ماء الخزان مع متوسط جهد ذاتى لصف كدالة زمن (نظر شكل (6-18) ارتفاع مستوى الماء بدأ فى يوم 5 أبريل

لاختبار مسنولية الجهد الذاتى لارتفاع مستوى الخزان، فإن قيم متوسط الصفوف مسنولة مباشرة للزيادة فى مستوى الماء. وقد قيست قيم الجهد الذاتى فى فترة سابقة مباشرة لاختبار الملاء، لوحظ أن إتجاه شاذة الجهد الذاتى مع الزمن تكون سالبة.

### 2.3.6 التيارات الأرضية Telluric Currents:

تنشأ هذه التيارات أساسا من عاملين:

**العامل الأول.** من المعروف أن الجزيئات المأينة بواسطة الإشعاع الشمسى تنتج تيارات كهربية فى لأينوسفير (الغلاف الجوى المتأين). أيضا ترتبط هذه التيارات بالتغيرات اليومية فى مجال المغناطيسية الأرضية بنفس الطريقة، فإن التيار الكهربى المتردد مع تغير تردد لواحد هرتز أو أصغر يكون مستحث لانسياب أفقى فى الجزء الأعلى للقشرة الأرضية. وهكذا يتكون التيار الأرضى.

**العامل الثانى.** من المعروف أن المجال المغناطيسى له تغير يومى، برغم ذلك، فإن نظام التيارات الأرضية تظهر ثابتة بالمقابلة مع الشمس، ولكن تراج هذه التيارات على طول سطح الأرض طالما تدور الأرض. تتكون هذه التيارات من 8 حلقات تدور بتناوب فى إتجاه حركة الساعة وعكس إتجاه حركة الساعة. الحلقات القريبة للشمس تكون قوية فى شدة التيار، بينما الموجودة على الجانب المظلم للأرض تكون ضعيفة.

يعتقد عموما أن تيارات الكهربية الأرضية نتجت بالحث مباشرة أسفل سطح الأرض بواسطة التيارات الأيونوسفيرية والتي ترتبط بالتغيرات اليومية فى مجال المغناطيسية الأرضية. ولا يمكن قياس هذه التيارات مباشرة ولكن يقاس مجالات جهدها الأفقى التى تحدث عند السطح. وتختلف التيارات الأرضية تبعا لجغرافية المكان وفصول السنة وكذلك يوميا. تبدو هذه التيارات ثابتة بالنسبة للشمس ومزاحة على سطح الأرض أثناء دورانها.

وقد وجد أن الأحواض الرسوبية أقل مقاومة للتيارات الأرضية أكثر من مساحات الجرانيت الضحلة. وربما تستخدم طريقة التيارات الأرضية على مقياس كبير للدلالة لقياس كبير لعمق الظواهر الجيولوجية فى مواقع جيولوجية بسيطة.

يوجد عدد من الطرق مؤسسة على استعمال التيارات الكهربية الأرضية وتطبيقاتها على الاستكشافات البترولية وتعتبر طريقة التيارات الكهربية الأرضية أقدمها. أما طريقة الكهرومغناطيسية فتعتبر أكثر تقدما في نشأتها والتي فيها ترتبط التيارات الأرضية الطبيعية مع تذبذباتها المغناطيسية المصاحبة، وأصبحت الآن أوسع استخداما.

في طبقة الصخور الأفقية المتساوية السمك، تعتبر كثافة التيار الكهربي الأرضي ( $\mu_T$ ) ثابتة لأن مصدر التيار يكون بعيدا جدا عن المساحة التي تتم فيها القياسات، ويكون فرق الجهد بين قطبي القياس

$$U = \mu_T RL \quad (6-1)$$

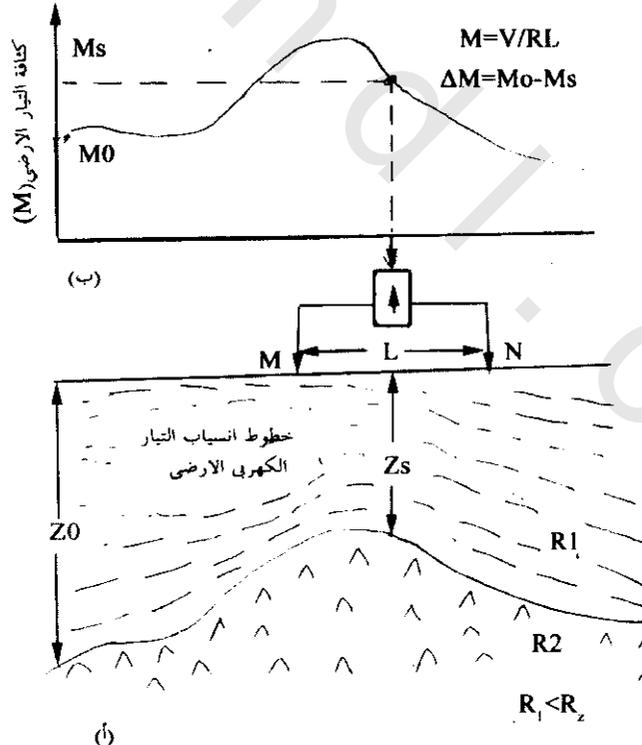
حيث  $L$  المسافة بين القطبين،  $R$  المقاومة الكهربية. إذا تغير سمك الطبقة، فإن كثافة التيار ستتغير أيضا وكذلك الجهدين القطبيين شكل (6-2). يعتمد العمق الذي يخترقه التيار الأرضي في الأرض على التردد  $F$  والمقاومة

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{R/F} \quad (6-2)$$

حيث  $h$  بالكيلومتر،  $R$  بالأوم/متر،  $f$  بالهرتز.

### 1.2.3.6 مسح التيار الكهربي الأرضي :Telluric Current Surveying

الإستطلاع المسحي لتغير الأحواض الرسوبية يمكن معرفته بواسطة اختلاف الجهد المصاحب للتيارات الأرضية. هذه الطريقة استخدمت في المراحل الأساسية للإستكشافات البترولية حيث يوجد معلومات قليلة عن سمك وتتابع الصخور الرسوبية.



شكل (6-2): (أ) خطوط انسياب تيار كهربي أرضي في طبقة قليلة المقاومة تعلو منطقة عالية المقاومة، (ب) اختلاف الجهد الناتج بواسطة هذه التيارات. ترى الخطوط كيف أن كثافة التيار تزيد بسبب أن الطبقة أصبحت أرفع، حيث يلاحظ اختلاف الجهود العالية

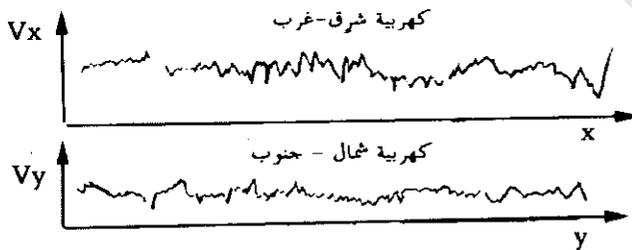
الفكرة الأساسية لمسح التيار الكهربى الأرضى تكون قياس الاختلاف فى الجهد عند محطة أساسية (حيث السمك  $Z_0$  والمقاومة  $R$  لحوض الترسيب تكون معروفة) وعند محطات أخرى تابعة. عندئذ، وبواسطة فرض نفس قيمة  $R$  للمساحة الكلية المسوحة، يمكن حساب كثافة التيار لكل محطة بواسطة المعادلة السابقة رقم (6-1) وشكل (21-6). ويكون التغير فى السمك  $\Delta Z$  تقريبا متناسب مع التغير فى كثافة التيار  $\Delta \mu$  بين المحطة الأساسية والتابعة. عندئذ يمكن حساب الأسماك  $Z_s$  للمحطات المتتابعة.

$$\therefore Z_s = Z_0 + \Delta Z = Z_0 + \frac{Z_0}{\mu_0} \Delta \mu \quad (6-3)$$

يختلف إتجاه التيار الأرضى من مكان لآخر، ويكون تردده غير منتظم، ولحساب إختلافات الإتجاه، يجب قياسات مركبات الجهد مع أقطاب موجهة فى اتجاهين عموديين، عادة شمال - جنوب، شرق-غرب لتغيير التردد. لذلك يجب توصيل مخارج الفولتميتر إلى مجموعتين متعامدتين من الأقطاب، ويجب التسجيل فى نفس الوقت عند فترات معينة من الزمن شكل (22-6). مركبات الجهد الكهربى  $V_x, V_y$  المقاسة عند نفس الزمن تكون عندئذ مشتركة للفرق فى الجهد  $V$  الذى يمكن استخدامه لتحديد كثافة التيار دقة الأعماق المعينة من المعادلة (6-2)

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (6-4)$$

تكون محددة بواسطة تغيرات ممكنة فى المقاومة من مكان لمكان. وقد يلاحظ سلسلة أخطاء ناتجة من وجود تغيرات تركيبية وخواص صخرية فى أماكن مختلفة. من المهم أن يكون اختراق التيار كافيا "للوصل كلية" خلال تتابع الصخور المسوحة، سواء كان الإختراق كافيا والذى يعين من المعادلة (6-1) والترددات الموجودة من تسجيلات الجهد كما فى شكل (22-6). ويوضح شكل (23-6) المنحنى اليومى لأربع محطات على خطوط عرض مختلفة. وغالبا ما تسرى هذه التيارات على سطح الأرض فى رقائق كبيرة متطابقة مع الطبقات الموصلة التى تغطى الجزء الخارجى من القشرة الأرضية.

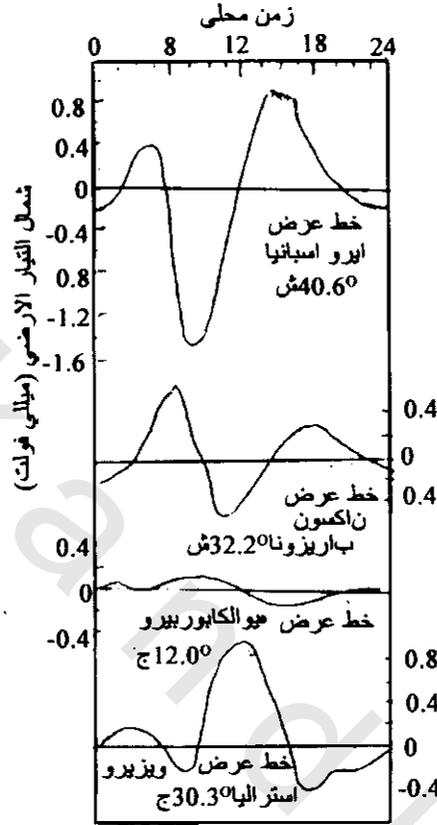


شكل (22-6): أمثلة من لوحات حصل عليها أثناء مسح تيار كهربى أرضى. توضح التغير مع زمن الجهد المقاس بين أزواج قطبية مصفوفة فى إتجاه شمال وشرق (فوزوف وآخرين (K.R. Vozoff et al 1964

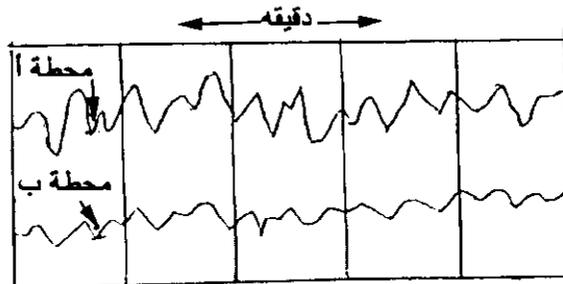
ويعتمد توزيع كثافة التيار خلال هذه الرقائق على المقاومة النوعية للتكوينات الحاملة للتيارات. فمثلا إذا كان هناك قبة ملحية منخفضة التوصيل وبها تكوينات مرتفعة التوصيل، ففى هذه الحالة تتجه خطوط سريان التيار لتخطى الملح وتظهر تشوهات فى مجالات الجهد على السطح مقترنة بهذه التيارات. عندما تقاس هذه التشوهات بواسطة أزواج قطبا كهربى بطريقة مناسبة وتفسر بعد ذلك بطريقة ملائمة، فيمكن بذلك تحديد مكان القبة الملحية.

غالبا ما تكون التيارات متذبذبة وذات دورات زمنية من بضعة ثوان إلى بضعة دقائق، ويلاحظ أن التذبذبات تكون متجانسة فى الشكل الموجى فوق مناطق واسعة (برغم أن ذلك لا يكون فى السعة والاتجاه). ويوضح شكل (24-6) تسجيل نموذجى لذلك حيث أن الرصد تم عند نقط تتباعد بمسافة عدة أميال. من هذه التسجيلات يمكن

رسم خريطة لتغيرات في التيارات الأرضية من مكان لآخر ومضاهاة التذبذبات الفردية بمقارنة سعة التذبذبات المتزامنة عند موضعين. عادة ما تقارن الساعات عند عدد من الترددات المختلفة يصل في بعض الأحيان إلى إثني عشرة. من الممكن فصل الترددات بالمرشحات التناظرية في أجهزة التسجيل أو بالمعالجة اللاحقة للمعطيات الحقلية.



شكل (23-6): التغير اليومي في مجالات جهد التيار الأرضي في اتجاه شمال-جنوب عند أربع خطوط عرض (روني 1939 W.J. Rooney)



شكل (24-6): تسجيلات الجهد الأرضي التي تمت متزامنة عند محطتين على بعد 10 أميال

تطبيقاً لذلك قام ماينجوى وجريبين Maingwy & Grepin 1953 بوصف عدد من مساحات التيار الأرضي الكهربى المستخدمة للاستكشاف البترولى لحوض اليسماريو حولي Ales Maruejols فى الجنوب الشرقى لفرنسا، حيث وجدوا أن المناطق الهامة تتكون من طبقات ذات مقاومة نوعية عالية مثل الحجر الجيرى الكثيف

المغطى بطبقات موصلة. فى هذه المنطقة أعطت المساحات السيزمية صورة مختلفة تماما عن تلك المعينة بالتيارات الأرضية، ولكن الحفر اللاحق الذى أدى لإكتشاف البترول أيد الصورة المعينة بالتيار الكهربى الأرضى.

### 2.2.3.6 مسح التيار الأرضى المغناطيسى Magnetotelluric Surveying :

تبعاً لأساس الحث الكهرومغناطيسى electromagnetic induction فإن التيار الكهربى المتردد يصاحب المجال المغناطيسى المتردد. لذلك فإن قياس شدة مركبات هذا المجال فى نفس الإتجاهات كمركبات للجهد يعطى معنى آخر لتحديد الأسماك والمقاومة الظاهرية لتتابع طبقات الصخور يشمل مسح التيار الأرضى المغناطيسى هذه القياسات.

يمكن تقدير المقاومة الظاهرية فى منطقة ذات سمك  $Z$  من المعادلة الآتية:

$$R_a = \frac{0.2}{f} \left( \frac{H_N}{H_Y} \right)^2 \quad (6-5)$$

حيث  $f$  تردد التيار الكهربى الأرضى

$H_Y$  شدة المجال المغناطيسى المصاحب فى إتجاه عمودى لشدة مركبة المجال الكهربى

$E_x$  ويمكن تحديد شدة المجال كمتغير جهدى  $V$  عبر زيادة وحدات للمسافة  $X$

$$E = V/X \quad (6-6)$$

وتكون سمك المنطقة علاقة مع التردد والمقاومة الظاهرية بواسطة التقريب

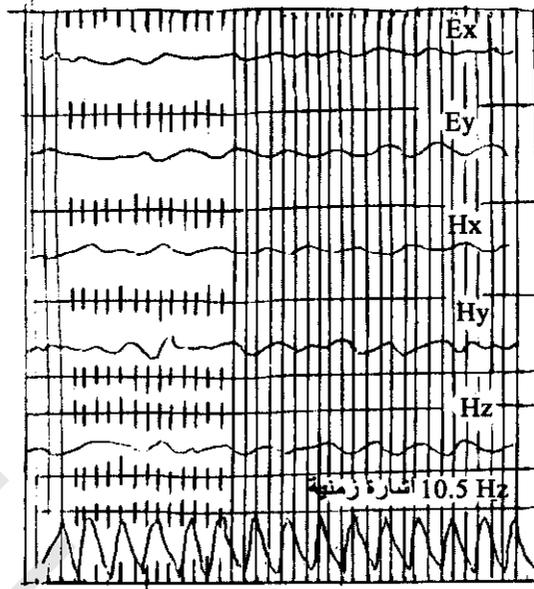
$$Z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{5R_a/f} \quad (6-7)$$

حيث تكون  $Z$  بالكيلومترات عندما  $R_a$  بالأوم/متر،  $f$  بالهرتز.

ويوضح شكل (6-25) مجموعة من تسجيلات حصل عليها من قياسات مسح تيارات مغناطيسية أرضية. الصعوبة فى قياس هذه التيارات هى أنها ضعف المجال المغناطيسى الذى له شادات لأجزاء عشرية قليلة من الميللجرامات. ولذلك هناك أجهزة خاصة لهذا الغرض.

نوع المعلومات التى يمكن الحصول عليها من مسح التيارات المغناطيسية الأرضية موضحة فى شكل (26-6)، وبرغم أن هذه الطريقة غير ملائمة لكشف الطبقات الرفيعة، فإنها تدل على التركيبات الطبقة الموجودة على طول البروفيل، كذلك يمكن الحصول على أعماق ملائمة للتركيب. لذلك نتائج هذه الطريقة تعتبر مرضية للاستكشاف الاستطلاعى الأولى.

عند وجود غطاء سطحى، ومقاومة نوعية عالية (مثل المواد البركانية السميكة)، فإن الأساليب الفنية التقليدية للمقاومة النوعية غير مناسبة للاستكشاف العميق. لذلك فإن طرق الكهرومغناطيسية الأرضية سوف تعطى أحيانا معلومات عن المقاومة النوعية للطبقات أسفل الغطاء. تعتبر طريقة التيار الأرضى المغناطيسى من الطرق المستخدمة لدراسة المقاومات لأعماق كبيرة خلال الأرض.



شكل (6-25): تسجيلات لحظية لمركبات شمالية وشرقية التغيرات في الزمن في مجال كهربي، ومركبات شمالية وشرقية ورأسية للتغير مع الزمن في مجال مغناطيسي متردد. استخدمت المعلومة في هذه التسجيلات لحساب المقاومة الظاهرة.

### 3.2.3.6 إستطلاع (مسح) المجالات المغناطيسية المترددة الطبيعية

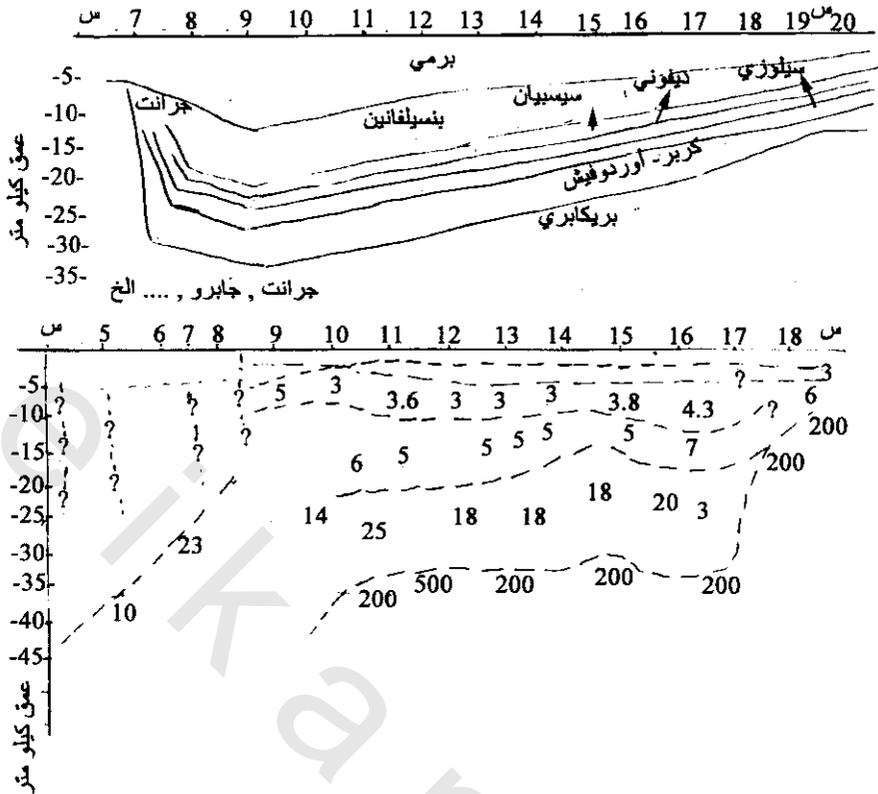
#### Alternating Magnetic Field Survey (AMFS):

أسلوب فني ينتسب عن قرب إلى طرق التيار الأرضي والكهرومغناطيسي الأرضي، ويعتمد على قياس المجالات المغناطيسية المتذبذبة (الطبيعية عند ترددات سمعية ودون سمعية).

يغطي المجال الكهرومغناطيسي الطبيعي للأرض نطاق ترددات واسعة. أما المركبات التي توجد في مدى التردد السمعي (من بضع عشرات إلى بضع آلاف هرتز) تنتج من إضطرابات كهربية في الجو. فمن مصدر هذه الإضطرابات الكهربية، منذ المجالات التي تجعل المركبات الكهربائية - تقريبا - رأسية وتجعل المركبات المغناطيسية تقريبا أفقية. عندما تصطدم هذه المركبات بمنطقة موصلة مع حد رأسي (كما في حالة حاجز ينفذ تقريبا للسطح أو إلى السطح) فإن مستوى الإستقطاب للمجال المغناطيسي الأفقي المتعامد سوف يميل بطريقة ما تجعل له مركبة رأسية محسوسة. مثل هذا الميل للمتجه المغناطيسي يدل على عدم استمرارية جانبية في المقاومة النوعية من النوع الذي يرصد غالبا عند الحواف لجسم خام.

في عمليات المسح الحقلية لمعظم الحالات تستخدم ملفات كاشفة لقياس الميل وزاوية السميت للمجال المغناطيسي المتردد. عندما تكون زاوية السميت أقرب إلى  $10^\circ$  فإن دقة قياس الميل على طول زاوية السميت يصل إلى  $1^\circ-2^\circ$ . والقيم النمطية للتردد هما 150، 510 هرتز.

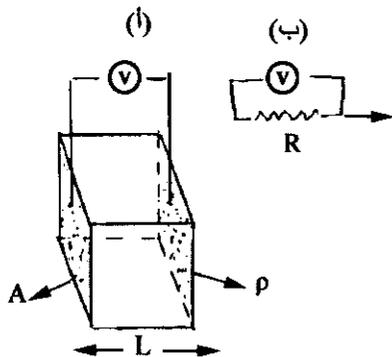
هذه الطريقة لها مدى أكبر للكشف أفقيا ورأسيا عن الطرق التي تستخدم مصادر طاقة صناعية ولذلك فهي مناسبة للكشف عن أجسام كبيرة غائرة. وتستخدم كذلك في تحديد أماكن الفوالق والحواجز الرأسية المدفونة.



شكل (6-26): (أ) قطاع جيولوجى مجمع من نتائج الآبار، (ب) قطاع مقاومة محدد من نتائج مجنيتيوك عبر حوض أنا داركو، أو كلاهما Anadark Oklahoma. قورنت نتائج مجنيتيوك مع حد فى مدى العمق للتماس بين صخور البريكامبرى البلورية والصخور الرسوبية الحديثة فيزوف كيفا 1972 Vessffekeva

#### 4.6 طرق المقاومة النوعية Electrical Resistivity Methods

فى هذه الطرق يستخدم التيار المستمر أو التيار ذى التردد المنخفض. وبما أن المقاومة هى خاصية كهربية أساسية لمواد الصخر ومرتبطة بشدة مع الخواص الصخرية، فإن التوزيع التحت سطحى للمقاومة النوعية من قياسات على السطح يمكن أن يعطى معلومات مفيدة عن التراكيب التحت سطحية الجيولوجية أو محتوى التكوينات الجيولوجية المدفونة.



شكل (6-27): (أ) تحديد أساس للمقاومة عبر كتلة متجانسة طول جانبها  $L$  يمر به تيار  $I$  وانخفاض الجهد بين السطحين المتقابلين  $V$ ، (ب) الدائرة الكهربائية المكافئ حيث  $R$  المقاومة

## 1.4.6 قواعد أساسية Basic Principles:

## 1.1.4.6 المقاومة الحقيقية True Resistivity:

إذا مر تيار كهربائي في قطعة صخرية على هيئة مكعب (6-27) فإن المقاومة تتناسب طرديا مع الطول وعكسيا مع المساحة

$$\therefore R \propto L/A \quad (6-8)$$

حيث R المقاومة، L الطول، A المساحة

$$R = \rho L/A \quad (6-9)$$

حيث  $\rho$  المقاومة الحقيقية.

ولكن تبعا لقانون أوم Ohm law فإن

$$R = V/I \quad (6-10)$$

حيث V انخفاض الجهد عند مرور التيار في المكعب ، I شدة التيار

من (6-9) & (6-10)

$$\therefore \rho L/A = V/I$$

$$\therefore \rho = \frac{VA}{IL} \quad (\text{أوم/متر } \Omega/m) \quad (11)$$

مقاومة المواد الجيولوجية تمثل واحد من أكبر مدى لجميع الخواص الفيزيائية تتراوح من  $10^{-8}$  إلى  $10^8$  أوم/متر للفضة الطبيعية إلى  $10^{16}$  أوم/متر للكبريت النقي. أما الصخور الرسوبية فتشير غالبا إلى أنها موصلة وذلك لوجود ثقب محتوية سوائل، أما الصخور المتحولة لها وضع متوسط بينهما ولكن لها مقاومات متراكبة. أيضا فإن الزمن الجيولوجي له تأثير على المقاومة فمثلا الصخور البركانية الرباعية لها مقاومة في المدى من 10-200 أوم/متر بينما نفس هذه الصخور في زمن البريكامبرى لها رتبة لقيمة أكبر. وتبعا لذلك فإن الصخور القديمة لها بعد كبير للإستكشاف لملا فتحاتها ثانية بواسطة التمدن، والضغط يقلل المسامية والنفذية.

في الصخور الرسوبية فإن مقاومة السوائل الخالية (بين الفتحات) نسبيا أكبر أهمية من الصخور المضيفة. فمثلا المياه الأرضية المالحة لها مقاومة أقل من 0.05 أوم متر، وبعض المياه الأرضية ومياه الثلجات المذابة يمكن أن يكون لها مقاومة أكبر من 1000 أوم متر. يوضح جدول (4-6) مقاومة بعض المعادن والصخور الشائعة.

جدول (4-6) مقاومة المواد الجيولوجية الشائعة.

مقاومة اعتبارية ( $\Omega m$ )	المادة	مقاومة اعتبارية ( $\Omega m$ )	المادة
$6^{10} \times 3^{10}$	جابر و		كبريتيدات:
$7^{10} \times 1.3 - 10$	بازلت		
$4^{10} - 20$	شيست (جبرى وميكا)	$1^{-1} 10 \times 3^{-5} - 10 \times 1.2$	كالكوبيريت
$2^{10} - 10$	شيست (جرافيت)	$1.5^{-5} - 10 \times 2.9$	بيريت
$7^{10} \times 4^{-2} - 10 \times 6$	اردواز	$2^{-2} 10 \times 5^{-6} - 10^{-7.5}$	بير هوتيت
$18^{10} \times 2.5^{-2} - 10$	رخام	$2^{10} \times 3^{-5} - 10 \times 3$	جاليتا
$4^{10} - 3^{10} \times 2$	كونجلوميرينات	$7^{10} \times 1.5$	سفاليريت
$8^{10} \times 7.4 - 1$	أحجار رملية		أوكسيدات
$7^{10} \times 5^{-2} - 10 \times 3.5$	أحجار جيرية	$7^{10} - 3^{10} \times 3.5$	هيماتيت
$3^{10} \times 5^{-2} - 10 \times 3.5$	دولوميت	$7^{10} - 3^{10}$	ليمونيت
$10 \times 7 - 3$	مارل	$3^{10} \times 5.7^{-5} - 10 \times 5$	ماجنتيت
$2^{10} - 1$	طين	$10 \times 5^{-3} - 10$	المنيت
$2^{10} \times 8 - 10$	غرين ورمل	$6^{10} - 2^{10} \times 3$	كوارتز
$3^{10} \times 5 - 10$	ركام جليدى	$13^{10} - 10 \times 3$	صخر ملحي
400-100	حجر جبرى غامق	$5^{10} \times 2^{-3} - 10$	انتراسيت
8	تربة (40%) جليد	$2^{10} \times 2 - 9$	ليجنيت
33	تربة (20%) طين	$6^{10} \times 2^{-2} - 10 \times 3$	جرانيت
1700-250	أعلى التربة	$2^{10} \times 5 - 10 \times 3$	جرانيت (مجوى)
35-15	قطع طين	$6^{10} - 2^{10}$	سينيت
150-50	طين (جاف جدا)	$5^{10} - 4^{10}$	دايوريت
60-20	حجر طينى	100 <	متوسط طبقة الفحم
50	فحم يحتوى طين	150-50	طباشير
1500-800	البصرة (اللاتيرايت)		
750-120	تربة لاترينية (تربة شبه طينية حمراء حديدية)	1400	حصى (جاف)
1050-80	تربة رملية جافة	100	حصى (مشبع)
215-30	رملى طينى/طينى رملى	100-50	رمل
225-30	رملى وحصى	4	(رباعى/حديث)
100-30	مدافن غير مشبعة	20-10	ماء
30-15	مدافن مشبعة	100	نفايات فحمية
100-20	صرف مياه أمطار	20	مياه حمضية لخشب
50-10 <	صرف مدافن		صخرى نصف متفحم
$8^{10} - 1.2 - 6^{10} \times 2$	ثلج مجمد (معتدل الحرارة)		مياه مناجم حمضية
$5^{10} \times 3^{-4} - 10 \times 5$	ثلج مجمد (قطبى)		
$4^{10} - 3^{10}$	تربة دائمة التجمد		

\* (10- درجة حرارة إلى 60 درجة حرارة).

بعض المعادن مثل بيريت، جالينا، ماجنيتيت تكون عامة فقيرة التوصيل فى الكتل عنها عندما تكون بلورات مفردة لها توصيلات عالية. ويكون الهيماتيت وسفاليريت عازلا عندما يمر به التيار الكهربى أفقيا ولكن عندما يحتوى على شوائب فإنه يصبح موصل جيد (مقاومة أقل من 0.1 أوم متر). ويقلل الجرافيت المقاومة الكهربائية الكلية للمعادن الأخرى فقيرة للتوصيل الموجوده معه فى الكتل الصخرية. الصخور الأخرى التى لها تكوينات مختلفة لسحنات متدرجة مثل الصخور الرسوبية فإن المقاومة سوف تعكس تغير الخواص لمكونات المواد.

هدف أغلب المسح الحديث للمقاومة الكهربائية الحصول على نماذج مقاومة حقيقية للتحت سطحية، حيث تؤدى هذه النماذج لمعنى جيولوجى.

#### 2.1.4.6 المقاومة النوعية الظاهرية Apparent Resistivity:

عموما، تستخدم طرق المقاومة النوعية لقياس المقاومة النوعية الظاهرية. لتوضيح مفهوم المقاومة النوعية الظاهرية، إذا أدخل تيار  $I$  فى جسم صلب نصف لانهاى ذا مقاومة نوعية حقيقية منتظمة  $\rho$  عبر قطبين  $A, B$  على سطحه كما فى شكل (6-28)، وقيس الجهد المصاحب لهذا التيار عبر قطبين  $C, D$  على نفس السطح، يكون الجهد عند  $C$

$$V_C = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (6-12)$$

حيث  $r_1, r_2$  المسافات من نقطة قياس الجهد عند  $C$  إلى  $A, B$  على التوالى

$$V_D = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (6-13)$$

حيث  $R_1, R_2$  المسافات من نقطة قياس الجهد عند  $D$  إلى  $A, B$  على التوالى

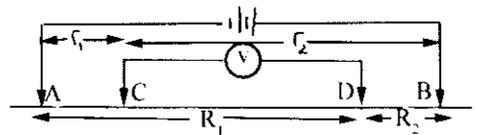
∴ فرق الجهد  $D, C$

$$\Delta V = V_C - V_D = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (6-14)$$

وتكون  $\rho$  هى  $\rho_a$  فقط عندما تكون  $\rho$  منتظمة تحت السطح

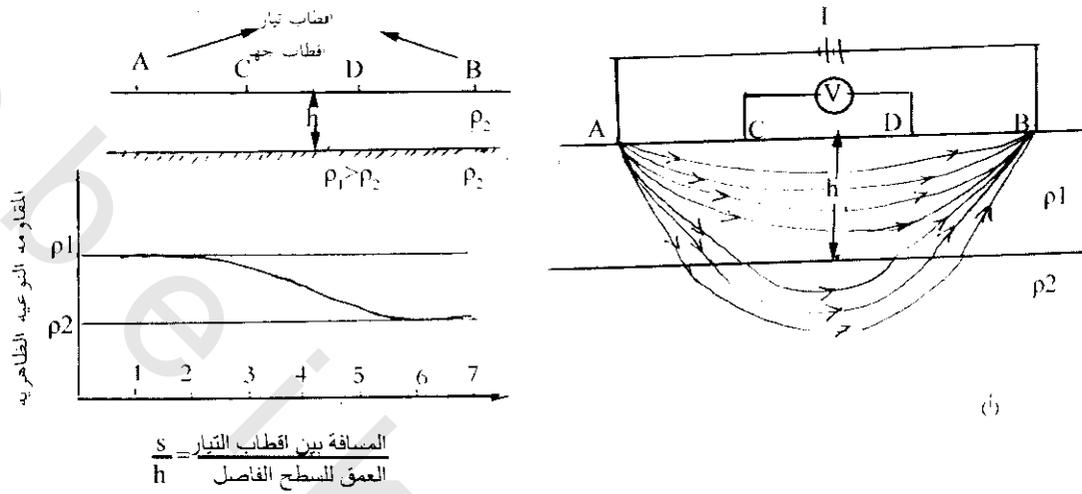
$$\therefore \rho_a = \frac{2\pi V}{I} \frac{1}{1/r_1 - 1/r_2 - 1/R_1 + 1/R_2} \quad (6-15)$$

النتيجة السابقة لاتتأثر بتبادل أقطاب التيار والجهد مع بعضها.



شكل (6-28): يوضح طريقة قياس المقاومة النوعية الظاهرية  $\rho_a$  أقطاب دخول التيار الكهربى فى الأرض،  $C, D$  أقطاب قياس الجهد الكهربى

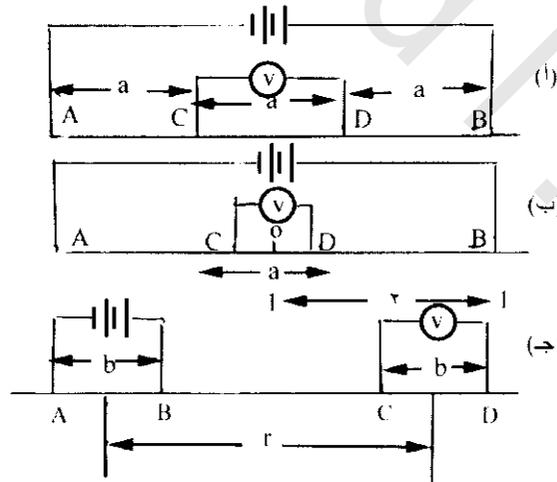
لذلك فإن المقاومة النوعية تنتج من مرور التيار الكهربى فى أكثر من طبقة غير متجانسة. ويوضح شكل (29-6) منحنى تخطيطى للمقاومة النوعية الظاهرية مقابل نسبة المسافة بين الأقطاب إلى العمق فى حالة طبقتين



شكل (29-6): أ) خطوط سريان التيار بين A, B فى أرض ذات طبقتين بموصلين نوعيين مختلفين، ب) المقاومة النوعية الظاهرية كدالة للمسافة بين الأقطاب لحالة الطبقتين الموضحين فى شكل أ.

#### 2.4.6 الطرق الحقلية وترتيب الأقطاب: Field Methods and Electrodes Arrangements:

فى جميع الطرق الحقلية تكون مجموعتين الأقطاب (أقطاب التيار والجهد) موضوعة على خط واحد. غالبا ما توضع أقطاب التيار على الخارج من أقطاب الجهد. ترتيب الأقطاب الأوسع استعمالا كالاتى شكل (30-6).



شكل (30-6): أ) ترتيب وينر Wenner، ب) ترتيب لمبرجير Schlumberger، ج) ترتيب ثنائى القطب Dipole

#### 1.2.4.6 ترتيب وينر Wenner:

من أكثر ترتيبات الأقطاب شيوعا لقياسات المقاومة النوعية، فى هذا الترتيب تكون الأبعاد بين القطاب متساوية كما فى شكل (30-6) فى هذا النظام تصبح المعادلة (14-6) حيث  $a$  المسافة المتساوية بين الأقطاب.

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (6-16)$$

#### 2.2.4.6 ترتيب شلمبرجير Schlumberger :

فى هذا الترتيب توسع المسافة بين الأقطاب بزيادة المسافة بين قطبى التيار أو التى بين قطبى الجهد. ويفترض أن يكونا قطبى الجهد على بعد متناهى الصغر فيما بينهما. المقاومة النوعية الظاهرية عند المنتصف لترتيب شلمبرجير من المعادلة (6-14) هى

$$\rho_a = \frac{\pi r^2 V}{a I} \quad (6-17)$$

حيث  $a$  المسافة بين أقطاب قياس الجهد، وحيث تكون  $r$  المسافة بين منتصف أقطاب الجهد وأحد أقطاب التيار محددة فى الرسم البيانى، ولنتائج دقيقة يجب أن تكون  $a$  أقل من  $\frac{r}{5}$ .

#### 3.2.4.6 ترتيب ثنائى القطب Dipole Arrangement :

أكثر تقدما من الترتيبين السابقين وتستخدم كثيرا فى الإتحاد السوفيتى للاختراق العميق. أقطاب التيار تكون عادة منفصلة جيدا عن أقطاب الجهد. إذا كانت المسافات  $a$  متساوية والمسافة بين مراكز الأزواج المناظرة هى  $r$ ، فإن المقاومة النوعية الظاهرية المحددة بواسطة هذا الترتيب هى

$$\rho_a = \pi \left( \frac{r^2}{a} - r \right) \frac{V}{I} \quad (6-18)$$

هذا فى حالة ما يكون الترتيب على خط مستقيم واحد.

#### 3.4.6 إلغاء الجهود الزائفة عند الأقطاب: Cancel Counterfeit Potential at Electrodes

بالإضافة إلى فرق الجهد المصاحب للتيار الداخلى إلى الأرض بواسطة أقطاب التيار، فإن قراءة الجهد قد تحتوى على جهود كهروكيميائية زائفة بين الأقطاب والمحاليل الكهربية فى الأرض، ولتلافى ذلك يمكن استخدام الآتى:

- أ- أقطاب غير مستقطبة (مثل وعاء مسامى، كبريتات نحاس، نحاس).
- ب- مبدل عكس اتجاهات التيار وكذلك إستعمال القطبين. فعندما يكون الجهد حوالى 30 مرة فى الثانية، وكل الجهود المستقطبة عند الأقطاب تكون معكوسة فى الإشارة مع كل نصف دورة فإن الجهود الزائفة تتلاشى.
- ج- حديثا تستخدم أنظمة تسليط نبضات تيار مستمر إلى الأرضية بقطبيه متغيرة ومعكوسة.
- د- استخدام تيار متغير ذى تردد منخفض حوالى 5 هرتز.

#### 4.4.6 البروفيل الكهربى Electric Profiling:

يطلق على هذه الطريقة أيضا (تشكيل البروفيل المستمر)، والهدف من هذه الطريقة هو كشف التغير الجانبي فى المقاومة للأرض.

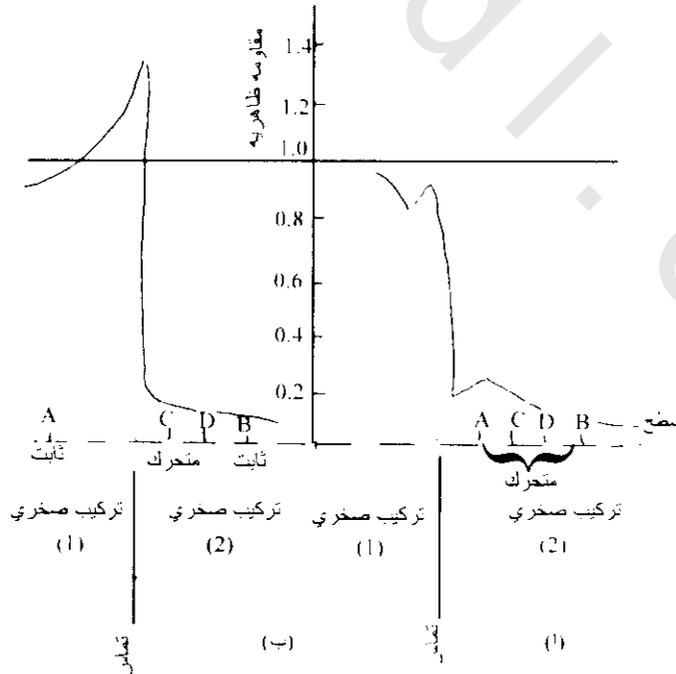
فى طريقة شلمبرجير (شكل 6-30 ب) تظل أقطاب التيار الكهربى ثابتة على مسافة كبيرة نسبيا، مثلا، لعدة مئات قليلة من الأمتار وتتحرك أقطاب الجهد ذات البعد الصغير الثابت، وتحسب المقاومة الظاهرية من المعادلة (6-16) لكل مكان تأخذه حركة زوج أقطاب الجهد. وفى نهاية البروفيل ينقل العمل لخط مجاور وهكذا إلى أن يتم تغطية فحص المنطقة. فى الحقيقة، تكون خطوط البروفيل عادة عمودية الزوايا على خط المضرب للتركيب الجيولوجى (مثل الفوالق والسدود) لتخطيطها لذلك يتوقع إيجاد شئ ما فى النتائج من بروفيل آخر.

فى طريقة ونر شكل (6-30 أ) تتحرك الأقطاب الأربعة كمجموعة بصفوف محددة بالبعد (a) الموجود بين الأقطاب فى خطوات ملائمة، مثلا، 10-20 متر على طول خط القياس. يعتمد اختيار مسافة الصفوف (a) على عمق ظاهرة شاذة المقاومة المنخرطة. يرى المنحنيان فى شكل (6-31) منحنيات المقاومة الظاهرية المحصول عليها بواسطة بروفيالات شلمبرجير وونر عبر تماس رأسى بين تكوينى صخرى. منحنى ونر يختلف فى أن له أربع مدببات مؤنفة، وربما لاتلاحظ هذه المدببات إذا لم تؤخذ القياسات عند فترات متقاربة جدا.

#### 5.4.6 الإستطلاع (أو التثقيب الكهربى أو الإستطلاع الكهربى الرأسى)

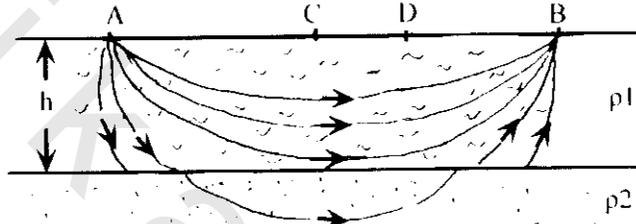
##### Electric Sounding (or Drilling) or Vertical Sounding:

عندما تتكون منطقة البحث من عدة طبقات أفقيه، فيكون المطلوب معرفة التغير الرأسى فى المقاومة. يكون هدف الأستطلاع الكهربى إستنتاج تغير المقاومة العمق أسفل النقطة المأخوذة على سطح الأرض ومقارنتها مع معلومات التغير الجيولوجى لكى تستنتج الأعماق والمقاومات للطبقات (التكوينات) الموجودة، والطريقة موضوعة على حقيقة أن



شكل (6-31): مقاومة ظاهرية عبر تماس رأسى بين تركيبين صخريين باستخدام تشكيلات قطبية مختلفة التركيب (1) له مقاومة (4) مرات التركيب الثانى. (أ) بروفيال ونر، (ب) بروفيال شلمبرجير حيث يرى أكثر انحدار تدريجى من بروفيل ونر.

التيار يخترق باستمرار الأعماق مع زيادة أبعاد أقطاب التيار. يوضح شكل (6-32) أساس تطبيق مسألة طبقتين فعندما يكون أبعاد أقطاب التيار AB صغير بالمقاومة للسمك  $h$  للطبقة العلوية فإن المقاومة الظاهرية المحدد بواسطة  $\Delta V$  بين أقطاب الجهد CD تدل على نفس مقاومة الطبقة العلوية ذات مقاومة  $\rho_1$ . هذا بسبب الجزء الصغير للتيار الذى يخترق الطبقة السفلية أسفل الحد. وبزيادة أبعاد أقطاب التيار فإن جزء كبير من التيار يخترق أعماق، وتشوه خطوط إنسياب التيار عند الحد الفاصل. وعندما تكون أبعاد أقطاب التيار كبيرة بالمقارنة مع عمق الطبقة العلوية ( $h$ ) فإن المقاومة الظاهرية تقترب من  $\rho_2$ . حيث يهمل جزء من التيار المحدد (المحصور) للطبقة السطحية. ويوضح شكل (6-33) نموذج لمنحنيات طبقتين وثلاثة للتغير فى المقاومة الظاهرية كدالة لأبعاد أقطاب التيار لتتناسق طريقة استطلاع شلمبرجير الكهربية والتي فيها أقطاب الجهد تحفظ ثابتة وأقطاب التيار تتحرك بتمائل للخارج فى خطوات.



شكل (6-32): أساس تنقيب كهربي لأصغر بعد أقطاب التيار (AB) ونعنى أن ( $h$ ) العمق أكبر من المسافة. وبذلك يكون التيار قد حدد الطبقة السطحية ذات مقاومة  $\rho_1$ . بزيادة المسافة AB فإن جزء كبير من التيار يخترق أعماق فى الطبقة السفلى ذات مقاومة  $\rho_2$

فى طريقة ونر للاستطلاع الكهربي فإن صف المسافة ( $a$ ) تزداد بخطوات مع الإحتفاظ بالنقط المتوسطة للشكل (نقط الثقب (drilling point) ثابتة. المجموعة النموذجية لتوزيع الأبعاد تكون

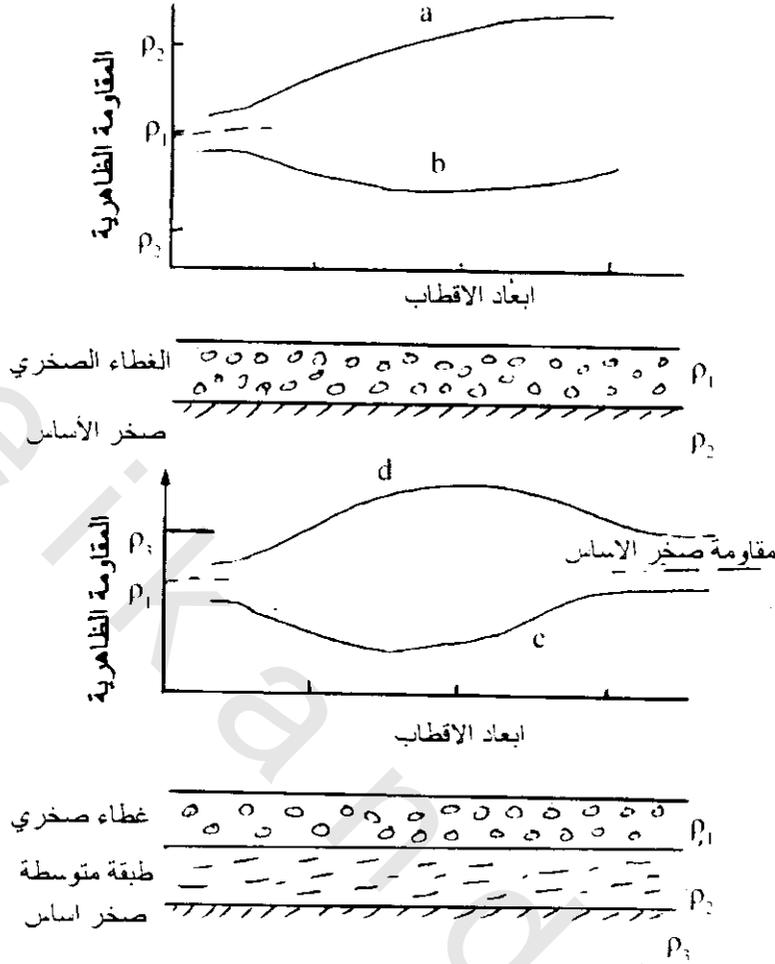
$$a = 2.6, 18.54, \infty . m$$

ومنحنيات المقاومة (المقاومة بالنسبة للمسافة  $a$ ) لاستطلاع ونر تأخذ نفس الشكل العام ولكنها تختلف عن استطلاعات شلمبرجير شكل (6-33)

#### 6.4.6 أجهزة مساحة المقاومة Resistivity Survey Instruemnts

فى الحقل، يتم عمل مساحة المقاومة بأجهزة بسيطة تتكون من حزمة بطاريات ذات جهد عالى كمصدر للتيار المستمر، أربع أوتار معدنيه، ميللى متر، فولتметр، وأربع بكرات كابل عازل. ويتم القياس باستخدام تيار مستمر أو تيار متردد (ذا منخفض جدا). الميزة المحددة لاستخدام تيار متردد هو تجنب الجهد الزائد مثل الذى يحدث باستقطاب الأقطاب أو بواسطة التيار الكهربي الأرضى. ويفضل استخدام تيار متردد ذى تردد منخفض معكوس، لأن التأثيرات السطحية على الأقطاب تقلل بسرعة شدة التيار مع العمق وتبعاً لذلك يقل عمق الفحص.

لاخترق أعماق كبيرة، فمن الضرورى استخدام مصدر تيار مباشر (مستمر)، واستخدام أقطاب غير مستقطبة لمصدر التيار المستمر لمنع تولد جهد الكتر وكيميائى بين الأرض ومعدن الأقطاب. وعامة واحداث المقياس التجارية متاحة، حيث أن أغلب المساحات المطلوبة هو إختراق عمق لبعض مئات الأمتار فى حالات ملائمة أرضية.



شكل (6-33): شكل تخطيطى لمنحنيات استطلاع كهربى عبر طباقية أفقية أرضية. ترى منحنيات المقاومة الظاهرية ( $\rho_a$ ) للحالات الآتية

$$\rho_2 > \rho_3 > \rho_1 \text{ (d), } \rho_3 > \rho_1 > \rho_2 > \rho_1 > \rho_2 \text{ (b \& c), } \rho_1 > \rho_2 > \rho_1 \text{ (a).}$$

يوجد تغير أكثر لمنحنيات الثلاث طبقات مثلا: (أ) نموذج تصاعد مزدوج ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ، ب) نموذج هبوط مزدوج  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

#### 7.4.6 التفسير الكمي للاستطلاع الكهربى الرأسى: Interpretation of Vertical Electrical Sounding:

العمق الذى يتم عنده الحصول على معلومات يكون تقريبا مساويا للمسافة الفاصلة للأقطاب فى ترتيب وينر. معظم النظريات التى طورت لهذا الغرض كانت موجهة للتطبيق على نماذج بسيطة، كطبقات متعددة (أربعة على الأكثر) مفصولة عن بعضها بواسطة سطوح بيضية (من الأفضل ان تكون أفقيه، فوالق، منخفضات نصف كروية مملوءة). فى السنوات الأخيرة ظهرت أساليب فنيه عملية للتنبؤ بتأثيرات المقاومة النوعية لأجسام لها شكل اختياري لايمكن وصفه تحليليا.

كثير من الظواهر الجيولوجية ذات الأهمية الإقتصادية يمكن تمثيلها بصورة طباقية بسيطة، حيث يمكن تقدير عمق الأساس الموجود تحت الغطاء الرسوبى باستخدام معادلات تشكيل طبقتين أكثر من قياسات المقاومة النوعية. معظم مساحات المقاومة النوعية التى أجريت للأغراض الهندسية صممت لتعطى هذا النوع من

المعلومات. ويمكن تمثيل كتل الخامات التى لها مقاومة شاذة بكرات أو أجسام كروانية حيث يمكن حساب أبعادها وعمق دفنها من معطيات المقاومة النوعية باستخدام معادلات رياضية مشتقة لهذه الأشكال الهندسية. نفس الطريقة يمكن تطبيقها للدراسات الخاصة بالمنخفضات المملوءة.

فلطبقة سطحية ذات سمك  $h$  ومقاومة نوعية  $\rho_1$  تغطى طبقة تحت سطحية ذات سمك لانهاى وذات مقاومة نوعية  $\rho_2$  (شكل 29-6 أ أو ب) فإن المقاومة النوعية الظاهرية.

$$\rho_a = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \left[ \frac{K}{\sqrt{1 + (2h/a)^2}} - \frac{K}{\sqrt{4 + (2h/a)^2}} + \frac{K_2}{\sqrt{1 + (4h/a)^2}} - \frac{K_2}{\sqrt{4 + (4h/a)^2}} + \frac{K_3}{\sqrt{1 + (6h/a)^2}} - \frac{K_3}{\sqrt{4 + (6h/a)^2}} + \dots \right] \right\} \quad (6-19)$$

حيث  $a$  هى المسافة بين الأقطاب فى تشكيل وينر،  $K$  المقاومة النوعية الإنعكاسية وهى  $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ . وتعبّر

المعادلة (6-18) عن  $\rho_2$  كمتسلسلة لانهاية ذات الحد  $n$  الذى له شكل

$$4\rho_1 \left[ \frac{K_n}{1 + (2nh/a)^2} - \frac{K_n}{\sqrt{4 + (2nh/a)^2}} \right]$$

وحيث  $K$  دائما يكون أقل من الوحدة، فإن المتسلسلة تتقارب أى أن الحدود تقترب كلما زادت قيمة  $n$  وعدد محدود من الحدود فقط يكون لازما لإجراء الجمع.

التفسير الكمي لنتائج المقاومة واحدة من المسائل المعقدة ويجب على المفسر الاحتراس الثابت ضد القواعد البسيطة المبهمه فى هذا المقابل. برغم قيام عدة مؤلفين بدراسة رياضية متقنة، إلا أنه من الصعب الحصول على نتائج ملائمة بواسطة تطبيقات التحليل النظرية لنتائج المقاومة المحصول عليها فى الحقل. هذا لأن التقدم النظرى يطبق فقط لنموذج سطحى طبقي بسيط بينما عمليا تغير المقاومة يكون عادة أكثر تعقيدا فى التغير الجانبي والرأسى.

يوجد حتى الآن دراسات قليلة لتوزيع المقاومة الظاهرية عبر ثلاث أبعاد غير متجانسة. مع أن هذه الدراسات تتم بصعوبة فإن بعض المواقع الجيولوجية يمكن تفسير تقريبي لها بدقة بواسطة تركيبات طبقية بسيطة لتقنية تفسيرية على أساس استخدام تطبيق منحنيات قياسية نظرية.

#### 8.4.6 المنحنيات القياسية وتخريط الطبقات أفقية التركيب

##### Master Curves and Mapping of Layered Horizontal Structures:

مجموعة المنحنيات القياسية أكثر شيوعا لتفسير معطيات المقاومة النوعية لعدد صغير من الطبقات الأفقية. كل منحنى منها يمثل رسم للمقاومة النوعية مقابل المسافة القطبية لترتيب الأقطاب المستعمل فى الحقل.

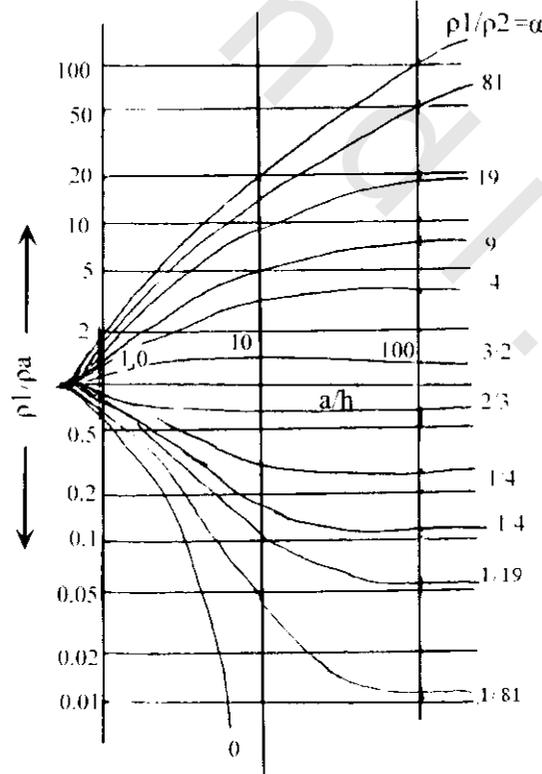
#### 1.8.4.6 حالة طبقتين:

وفىها تكون طبقة بسمك معين  $h$  تعلو طبقة متجانسة بسمك لانهاى. وفى هذه الحالة ترسم مجموعة منحنيات لقيم مختلفة لـ  $h$ ،  $K$ ، وترسم المقاومة النوعية الظاهرية  $\rho_a$  ومسافة الأقطاب  $a$  فى طريقة وينر. ثم تقارن منحنيات المعطيات المقاسة مع المنحنيات القياسية النظرية. بعد ذلك تحدد قيم  $h$ ،  $K$  من خصائص المنحنى القياسى الذى يعطى أفضل مقارنة.

عادة ترسم المنحنيات على مقياس لوغاريتمى مثل المبين فى شكل (6-34) لتشكيل شلمبرجير. يمثل المحور الأفقى فى الشكل نسبة المسافة بين قطبى الجهد إلى سمك الطبقة  $a/h$ ، والمحور الراسى يمثل المقاومة الظاهرية  $\rho_a$  إلى المقاومة الحقيقية الأولى  $\rho_1$  ( $h/\rho_1$ ). ويفرض أن الطبقتين أفقياً تماماً فيمكن بذلك تحديد سمك الطبقة  $h$  (وهو المجهول الوحيد). وميزة توفعات لولو\* للمعطيات المقاسة والمنحنيات القياسية هو أن المنحنى التجريبي الذى يعطى أفضل ملائمة للقياسات الحقلية موازى للمنحنى القياسى المطلق. وعادة ما تكون  $h$  غير معلومة لذلك يفرض قيمة للعمق (من المعلومات الجولوجية المتاحة) عند توقيع النقط التجريبية. ومن قيمة منحنى  $a/h$  للمنحنى القياسى الذى يكون أكثر توازياً مع منحنى القيم المقاسة، يمكن تعيين  $h$ .

#### 2.8.4.6 حالة ثلاث طبقات أو أكثر:

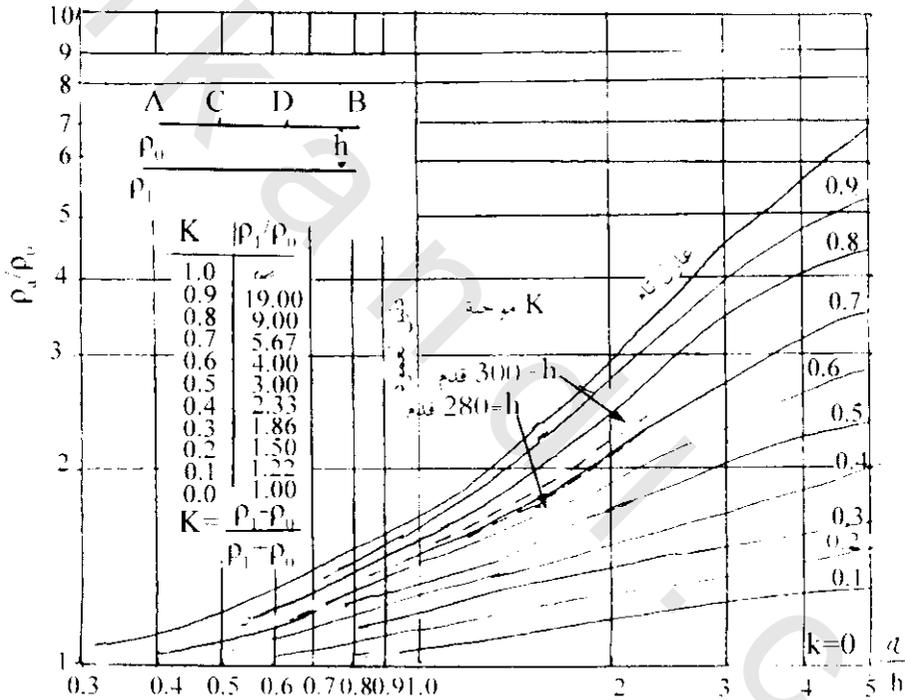
نشرت الشركة العامة للجيوفيزياء 1955 Compagnie Generale de Geophysique مجموعة من 480 منحنى قياس (لتشكيلات مقاومة نوعية لثلاث طبقات وذلك على أساس السمك النسبى للطبقات المختلفة ومقاومتها النوعية النسبية. وقد حسبت المنحنيات على ترتيب شلمبرجير القطبى بفرض تزايد تباعد الأقطاب.



شكل (6-34): منحنيات قياسية نموذجية لترتيب شلمبرجير حين تعلو طبقة بمقاومة نوعية  $\rho_1$  وسمك  $h$ ، طبقة تحت سطحية بمقاومة نوعية  $\rho_2$

ويوضح شكل (6-35) كيفية استخدام الثلاث طبقات لتفسير القياسات الحقلية بترتيب أقطاب بطريقة وينر، ترسم معطيات النقط  $\rho_a$  مقابل  $AB/2$  (AB مباحدة أقطاب التيار) على ورق لوغاريتمي شفاف. بعد ذلك توضع الورقة البيانية فوق اللوحة المحتوية على مجموعة المنحنيات المختارة للمقارنة ويحرك وضعها أفقيا ورأسيا للحصول على أكثر ملائمة ممكنة. في المثال المبين بشكل (6-35) تظهر معطيات النقط لتلائم منحني الثلاث طبقات للحالة التي فيها الطبقة الثانية ذات مقاومة نوعية مقدارها  $1/39$  من قيمة الأولى، وسمك قيمته  $\Omega$  مرة في المقدار، حيث أن الطبقة الثالثة اللانهائية يكون لها مقاومة نوعية لانهاية.

مجموعة من المنحنيات الأكثر تفصيلا، والتي تعطى تشكيلات ثلاث طبقات وكذلك أربع طبقات نشرت بواسطة موفى ووتزل Moovey and Wetzel 1956، أوريلانا وموني Orellana and Mooney 1966. حديثا وضعت المجموعة الأوروبية لجيوفيزيائيو الاستكشاف European Association of Exploration Geophysicists 1963 منحنيات تسمح بمرونة أكبر في اختبار نماذج المقاومة النوعية.



شكل (6-35): منحنيات قياس لطبقتين للمقاومة النوعية الظاهرية المعيارية، مقابل مباحدة القطب بتشكيل وينر لحالة مقاومة ظاهرية  $\rho_a$  أكبر من المقاومة النوعية  $\rho_0$  للطبقة السطحية  $\rho_1$  المقاومة النوعية لطبقة تحت سطحية لانهاية للنقط الموقعة على الرسم البياني هي لمجموعة من قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة على مختلف التباعدات. الخط العلوي المتقطع يبين توقعاً بسمك للطبقة 300 قدم والخط السفلي المتقطع يبين موقع نقط المعطيات بعد الإزاحة للحصول على أفضل ملائمة للمنحنيات القياسية. وهذه توضح أن السمك الحقيقي يكون 280 قدم (فان فوستراند وآخرين 1966 Van Vostrad et al)

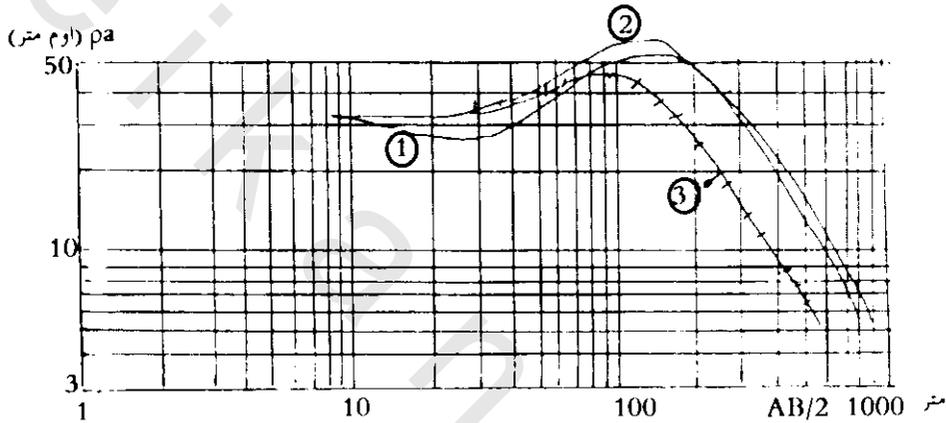
المنحنيات القياسية يمكن تصحيحها أثناء تفسير أى نتائج للطبقات عند استخدام برامج جاهدة للحاسب الآلى. وفى السنوات الأخيرة، تم عمل برامج للحاسب الآلى حلت محل مقارنة المنحنى فى التفسير الروتيني.

المنحنيات الرأسية التي نوقشت هي لفواصل بينية مستوية وأفقية بين الطبقات، أما المستويات البينية المائلة فهي أكثر تعقيداً. يوجد في المراجع عدة أبحاث لتفسير معطيات المقاومة النوعية الظاهرية لطبقات مائلة.

كذلك ظهرت حلول للمعادلة الأساسية للجهد حيث تختلف المقاومة النوعية باستمرار مع العمق سواء كان التغير تدريجى أو فجائى. أيضا يستخدم الحاسب الألى للحصول على استطلاعات العمق مباشرة من معطيات المقاومة النوعية الظاهرية مقابل مبادعة القطب والتي يحصل عليها فى الحقل.

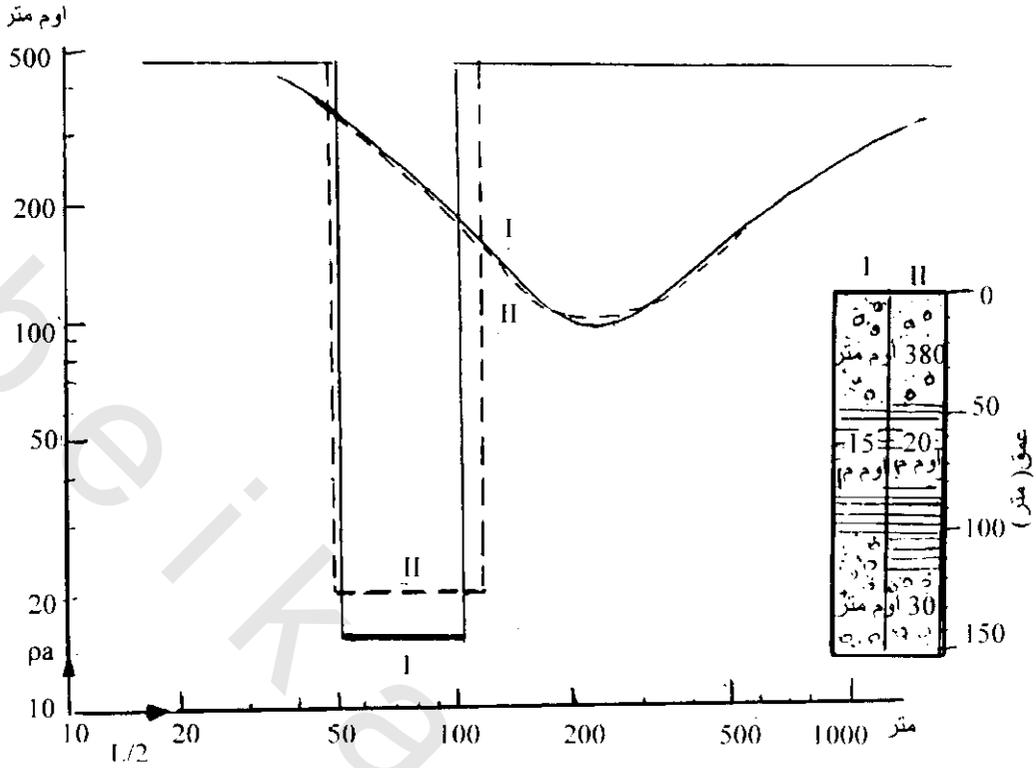
#### 9.4.6 غموض فى تفسير المقاومة :Ambiguity in Resistivity Interpretation

المثال الحقلى الموضح فى شكل (6-36) يدل على أن معلومات التتابع الطبقي (استراتجرافى) حول طبقية الأرض يمكن الحصول عليها بواسطة قياسات تحت ظروف ملائمة. عامة، ربما يكون قوة التحليل فى هذه الطريقة ليست عالية جدا. وهذه حقيقة خاصة للطبقات العميقة، حيث يحدث التغير الأساسى فى المقاومة قبل تأثيرها ويتضح ملاحظتها من عدم الانتظام بسبب عدم التجانس قرب السطح.



شكل (6-36): مثال خطى يوضح طريقة المحاولة والخطأ لمطابقة منحنى المقاومة. تدل الحيايات المائلة على  $\pm 5\%$  قياس قيم  $\rho_a$ . AB ابعاد أقطاب التيار لتشكيل شلمبرجير. المنحنى 1, 2 حسب من تخمينات أساسية لنماذج جيولوجية قياسية لأربع طبقات المنحنى 3 والذي يوافق النتائج المقاسة حصل عليها بواسطة الحاسب الألى باستخدام طريقة المربعات الدنيا. الأبعاد الطبقيّة التي حصل عليها هي  $\rho_1 = 38$  متر أوم،  $h_1 = 6$  متر (جوهانس 1975)  $\rho_2 = 27$  أوم متر،  $h_2 = 15$  متر،  $\rho_3 = 160$  أوم متر،  $h = 21$  أوم متر،  $\rho = 3.5$  أوم متر.

بالإضافة فإن "أساس التكافؤ" وأساس الإخماد ينتج أنواع أخرى من غموض التفسير. مثال ذلك، وجود طبقة رقيقة موصلة نسبيا بين طبقتين عاليتين بالمقاومة سوف تودى لتركيز إنسياب التيار فيها. وسوف لايبذل التيار الكلى المحمول بواسطتها إذا زادت مقاومتها  $\rho$ ، ولكن فى نفس الوقت يزيد سمكها  $h$  لذلك فإن النسبة  $h/\rho$  تكون ثابتة، ويوضح ذلك شكل (6-37). على الجانب الآخر، يتميز وجود طبقة ذات مقاومة كبيرة بين طبقات أكثر توصيلا بحاصل ضرب سمكها ومقاومتها. لهذا، فى هذه الحالة، تكون جميع الطبقات المتوسطة والتي حاصل ضرب  $h\rho$  ثابت متكافئة كهربيا. فى حالة أخرى، من الصعب بل ومن المستحيل تحديد عدم تطابق  $\rho$ ،  $h$ . أيضا، الطبقة المتوسطة، والتي لها مقاومة متوسطة من المقاومات للطبقات الحاوية، سوف لا يكون لها تأثير عملى على منحنى المقاومة، طالما سمكها (بالمقارنة مع العمق) ذو كبر كافى. بالنسبة للطبقات صغيرة السمك فإن تأثيرها على منحنى المقاومة الظاهرة  $\rho_a$  لا يمكن تقديره لأن تأثير وجود الطبقة سوف يخمد. يوجد هذا القصور تبادليا لاكتشاف طبقات لمقاومات متوسطة فى دراسة المياه الجوفية عندما توجد غرينية مبللة بين طبقة غرينية (سطحية) جافة وطبقة طفيلية تحتية.

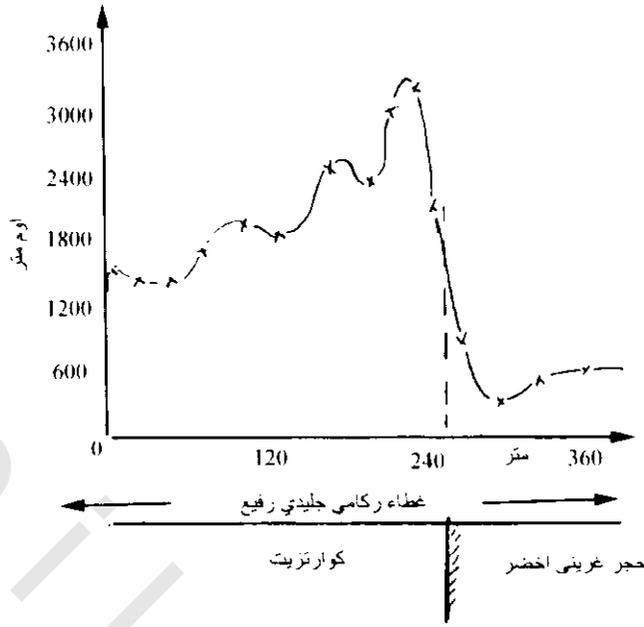


شكل (7-37): يوضح أساس تكافؤ طبقة بين طبقتين مقاومتين. في الشكل منحنيات المقاومة تكون عمليا نفس الموقعين. (I) طبقة متوسطة لمقاومة 15 متر أوم وسمك 15 مترا و(II) مقاومة 66 متر (بنتر 1961 Bentz)

#### 10.4.6 تخريط التراكيب الرأسية Mapping of Vertical Structures:

بعكس دراسة تأثير الطبقات الأفقية، فإن تأثير التركيبات الرأسية (مثل فوالق، شقوق، سدود، عروق، نطاقات القص) تكون جانبية إذا ظهرت هذه الظواهر سطحية، لذلك يحدث اضطرابات غير مستمرة في ميل منحنيات  $\rho_a$  شكل (6-31) طالما تتحرك شكل الأقطاب عبر حدالمقاومة الرأسية. عمليا، ربما، القمم الحادة ستكون عادة منسجمة بسبب تأثير التربة العادية أو الغطاء الركامي.

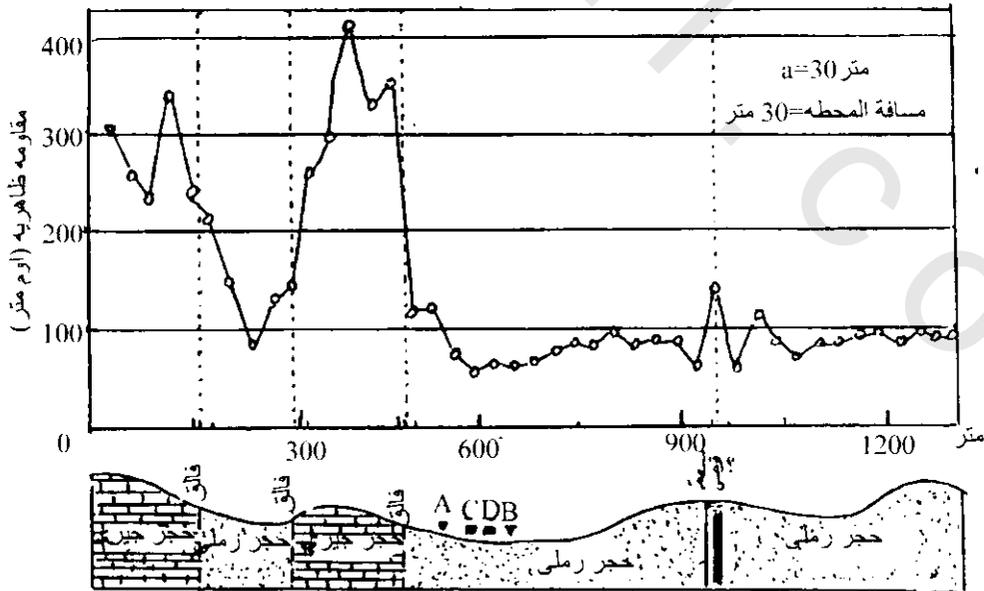
وحيث يعتبر الفالق من أغلب التركيبات الجيولوجية التي تدرس، فكثير من مفتاح الظواهر موجودة في شذوذ المقاومة عبر الفالق الراسي. وايضا توجد في الشواذ عبر قرب التركيبات الرأسية. أبعد من هذا عندما تكون شاذة المقاومة ذات أهمية. فإن شاذة الفالق أحيانا تمثل مشكلة ماس رأسية بين وسطين مختلفي الكثافة. وقد حسبت نظريا بروفيلات للمقاومة الظاهرية عبر تماس رأسية لفوارق مقاومة مختلفة. وعندما تكون المنحنيات المحسوبة لـ  $\rho_a$  غير مستمرة عند الحد الرأسية فإنها تدل على عدم الإستمرارية عمليا كتدرج مفاجئ في منحنى المقاومة. يرى شكل (6-38) منحنى حقل للمقاومة الظاهرية  $\rho_a$  حصل عليها بواسطة بروفيل أفقى بتشكيل وينر عبر قرب تماس رأسية بين بالك كوارتزيت Balk quartzite وحجر غريني آخر في جنوب بورنهولم .Bornholm



شكل (6-38): بروفييل مقاومة ظاهرية عبر تماس رأسى بين كوارتزيت وحجر غرينى أخضر فى جنوب بورنهولم Bornholm يقيس البروفيل بنظام وينر متحرك مع تثبيت صفوف المسافة (a=12 متر)

تفسير نتائج المقاومة الملاحظة عبر "مزدوج نحاس" تكون هامة لتخطيط ظواهر مثل سدود، عروق، مناطق بريشيا، وجميعها ربما تكون لها علاقة مباشرة أو غير مباشرة لرواسب معدنية.

يرى شكل (6-39) بروفييل مقاومة تقاس عبر منطقة قصية وكتل حجر جبرى بها فوالق باستخدام تشكيل وينر. المقاومة الحقيقية لمنطقة القصر أكبر من الصخور المحيطة (حجر رملى). المقاومة عبر كتل الحجر الجبرى له خواص تشبه التى تكون عبر سد عريض، بينما منحنى المقاومة الظاهرية  $\rho_a$  عبر منطقة القصر يشبه التى تكون عبر سد رفيع ذو مقاومة عالية.



شكل (6-39): بروفييل مقاومة أفقى عبر منطقة قص وفالق فى كتل الحجر الجبرى فى الينوس Illinois (ترتيب ونر) (هيوبرت (Hubbert 1932)

## 11.4.6 تأثير كتل الصخر المميزة لشاذات المقاومة النوعية

**Effect of Characteristic Rock Masses for Resistivity Anomalies:**

تحليل شاذات مجالات الجهد الناشئة من أجسام كتلية مدفونة مميزة مثل كتل الخام أكثر تعقيدا من تحليل شاذات الطبقات. لذلك لابد من تمثيل الكتلة بشكل هندسى عام ككرة. وقد تم التوصل إلى إمكانية تحديد المقاومة النوعية الظاهرية فوق كرة موصلة بواسطة طريقة وينر وتحليلها، وذلك بفرض أنها ذات سطح علوى على عمق أكبر من نصف قطرها.

وبقياس المقاومة النوعية فوق كرة موصلة بواسطة طريقة وينر وتحليلها أمكن التوصل إلى أن أى كرة ما ذات سطح علوى على عمق أكبر من نصف قطرها لا يمكن تحديدها بقياسات تقليدية للمقاومة النوعية وينطبق هذا أيضا على المنخفضات المملوءة القريبة من السطح، حيث مثلت هذه المنخفضات بأنصاف كرات وأنصاف أجسام شبه كروية مع وجود مستوياتها المحيطة على سطح الأرض. وقد حسبت المنحنيات النظرية بكل من الإستطلاع الأفقى (مباعدة قطبية ثابتة مع إزاحة المجموعة أفقيا على خط عرضى) والإستطلاع الكهبرى الرأسى.

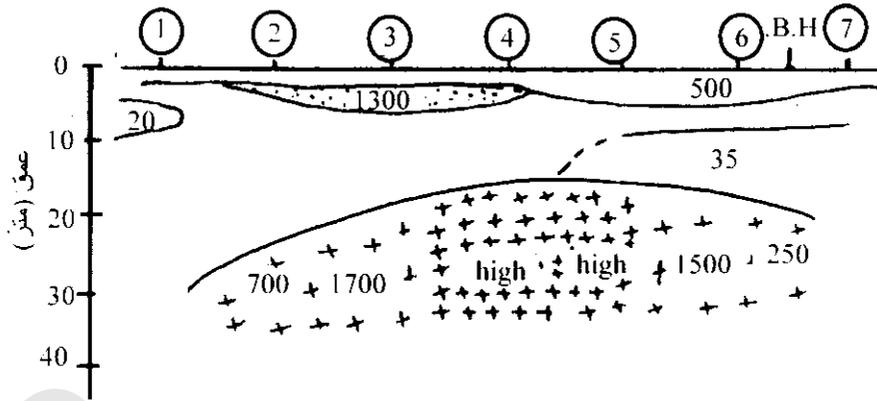
أما بالنسبة لأجسام خامات مرتفعة التوصيلية مثل الكبريتيدات فيحفر أو لا حفر استكشافى ثم تتم قياسات المقاومة النوعية فى أماكن الحفر حتى يتلامس قطب أو أكثر مع جسم الخام وذلك لمحاولة تحديد أبعاد الجسم. هذه الطريقة من أكثر الطرق عمليا وذلك إذا أمكن تقريب الكتلة تحليليا بشكل هندسى مثل جسم كروى. وقد حسب بعض المؤلفون منحنيات مقاومة نوعية ظاهرية لجسم شبه كروى مفلطح حول مركز الكتلة. وكذلك نشرت منحنيات لجسم خام موصل يشبه الجذع ذى شكل شبه كروى متطاوول وشبه اسطوانة دائرية قائمة.

عامة يستحسن معرفة شواهد جيولوجية لتقريب مدى التفسيرات المختلفة سواء كانت طبقات أفقية أو أجسام شبه هندسية والتي لا يمكن أن تتحقق بنفس درجة الدقة على أساس معطيات كهربية مفردة.

**12.4.6 تفسير خرائط المقاومة Interpretation of Resistivity Maps:**

عادة يتم عمل خرائط المقاومة للحصول على صورة عامة لحالات تكوينات السطح القريب والتحت سطحى فى أى منطقة. بعكس بروفييلات المقاومة، فإن تفسير خرائط المقاومة تكون أكبر كفيًا. الأمثلة الآتية تستخدم لتوضيح إستخدام تخريط المقاومة فى دراسات جيولوجية وهيدروجيولوجية.

تعتبر طرق المقاومة ملائمة جدا لتحديد التداخلات، حيث أن فروق المقاومة بين التداخلات والصخور الإقليمية المحيطة تكون عادة عالية. ومن الممكن تمثيل الأجسام المتداخلة كحاملات مياه جوفية. كذلك يمكن تحديد تداخل جسم على هيئة قبة صغيرة فى الشيست كما فى شكل (6-40). يوضح الشكل أن الكتلة على هيئة قبة لها مقاومة عالية فى المركز مع علامة إقلال فى إتجاه الحواف حيث يوجد تحولات بسبب القص والكسر. وبحفر بئر بين جسات رقم 6، 7 عند حافة الجسم المتداخل ظهرت المياه عند أعماق 15، 26، 35 متر.



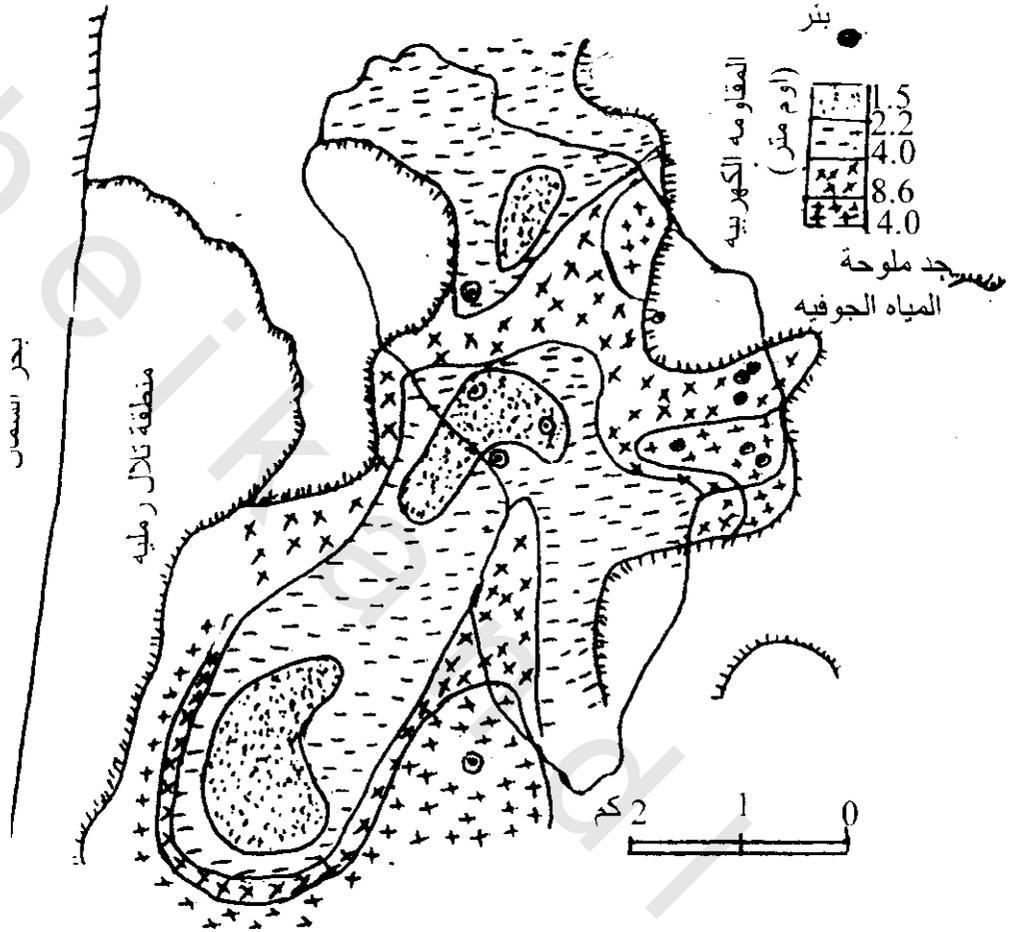
شكل (6-40): قطاع مفسر حصل عليه من 7 جسات جيوكهربية عبر تداخل جسم مدفون في منطقة ليوساكا-زامبيا Lusaka-Zambia تدل الأعداد بالشكل على المقاومة بالأوم متر. أنتج البئر المحفور ماء عند حافة تداخل الجسم عند أعماق ما بين 15-35 متر

يمثل شكل (6-41) مثال آخر لخريطة مقاومة لمنطقة منخفضة مستصلحة من البحر في منطقة نورد هولاند Noord Holland. كان الهدف الأول من قياس المقاومة دراسة توزيع الملوحة للمياه الجوفية وبيئتها في المنطقة. دل تفسير القياسات على وجود مياه عذبة عند شرق وغرب حواف المنطقة بينما ظهر في نفس المنطقة 30 متر مياه مالحة تقع فوق بعض من عشرات الأمتار لمياه جوفية عذبة. يعزى التوزيع العكسى لهذه المقاومة إلى وجود طبقة غير مسامية من الطين لعصر الهولوسين، طوبق وجود مثل هذه الطبقة الطينية بواسطة بعض تسجيلات الآبار بالمنطقة. أيضا تمت تطبيقات واسعة لمساحات المقاومة في تفسيرات أعماق ضحلة لها علاقة مع الهندسة المدنية ومشاكل تقنية جيولوجية. وقد قدم تقريرا لمثل هذه التطبيقات المفيدة الهامة لمسرح تخريط مقاومة لأحواض ما بعد العصر الجليدى فى الدانمارك. كذلك استخدمت أيضا تطبيقات جسات الكهربائية فى الإستكشاف الجيوحرارى.

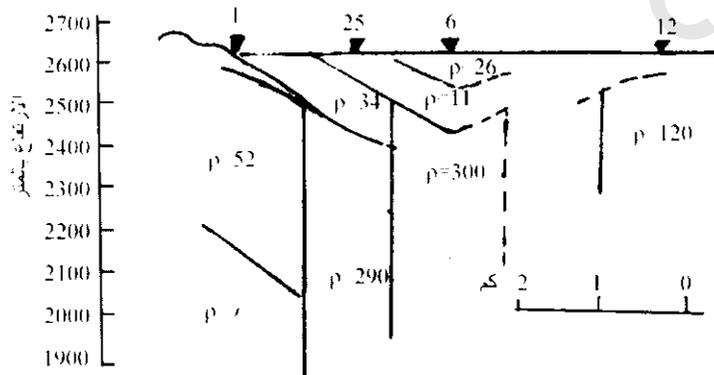
يعتبر النوع الأفقى هو أبسط أنواع مساحة المقاومة النوعية، ويتم باستخدام مبادئ قطبية ثابتة، وفيه يتم التعرف نوعيا على الظواهر التحت سطحية عن الشاذات فى المقاومات النوعية الظاهرية على طول بروفيل. وتوقع قيمة المقاومة النوعية مقابل المسافة على طول البروفيل عند موقع منتصف مجموعة القطب. وقد أشير إلى مساحة من هذا النوع فى كولومبيا Columbia لاختيار قيمة المقاومة النوعية لتحديد مكان خزان مياه حجر جبرى يعترضه فالق كما فى شكل (6-42). وقد تم مقارنة البروفيلات الأفقية للمقاومة النوعية المقاسة فوق منخفض طفلة مع المنحنيات النظرية (كتلة صخرية شاخصة نصف كروية غائرة لها حد مستوى متساطح مع السطح الحر شكل (6-43)).

وقد استخدمت المقاومة النوعية لحل مشكلة العمق الذى عنده يغزو الماء المالح الماء العذب فى خزانات المياه الجوفية. يبين شكل (6-44) أن نتائج المقاومة النوعية الظاهرية فى خزان الماء الجوفى للحجر الرملى تقل بسرعة مع زيادة مبعادة الأقطاب، والإنخفاض السريع المميز يظهر عندما تكون مبعادة الأقطاب أكثر من 50 متر يقابله عدم استمرارية فى المقاومة النوعية من 60 أوم متر إلى 10 أوم متر. وبالحفر اللاحق ظهر هذا الحد

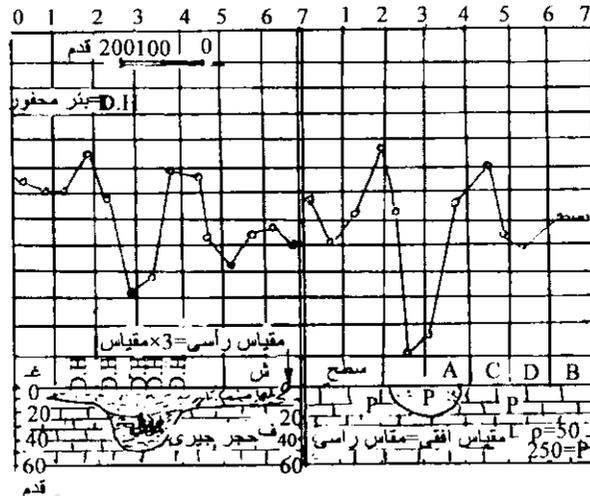
الممثل لتلامس الماء العذب والماء المالح. أيضا مساحة المقاومة النوعية تجعل من الممكن رسم خريطة للجزء المفيد من الخزان المائي الجوفي بدقة تامة.



شكل (6-41): مقاومة طبقة رملية بحدود مياه مالحة، كما حددت بواسطة قياسات جيوكهربائية في منطقة نوردهولاند Noord Holland ، الأرض المنخفضة Nether Lands (فان دام وميولنكاب 1967 Van Dam & Meulenkame)



شكل (6-42): قطاع عرضي للمقاومة النوعية بوجوتا، كولومبيا (Columbia, Bogota)، لاختيار قيمة المقاومة النوعية لتحديد أماكن خزانات المياه ذات الفولت (جنزبورج وآخرين 1974 Ginsburg et al)



شكل (6-43): مقارنة لبروفيلات المقاومة النوعية المقاسة والنظرية الأفقية فوق منخفض مملوء لتشكيل وينر (أ) منحنى المجال المقاس مع القطاع الجيولوجى العرضى، (ب) المجال النظرى مع معطيات النقط المفروضة فقط عند مواقع القطب. قطر المنخفض  $3a/2$  القيمة المفروضة لـ  $\rho_1/\rho = \Omega$  (كوك وآخرين 1954 Cook et al)

#### 13.4.6 تطبيقات وحالات سيرية :Application and Case Histories

##### 1.13.4.6 إستقصاء المواقع الهندسية :Engineering Site Investigations

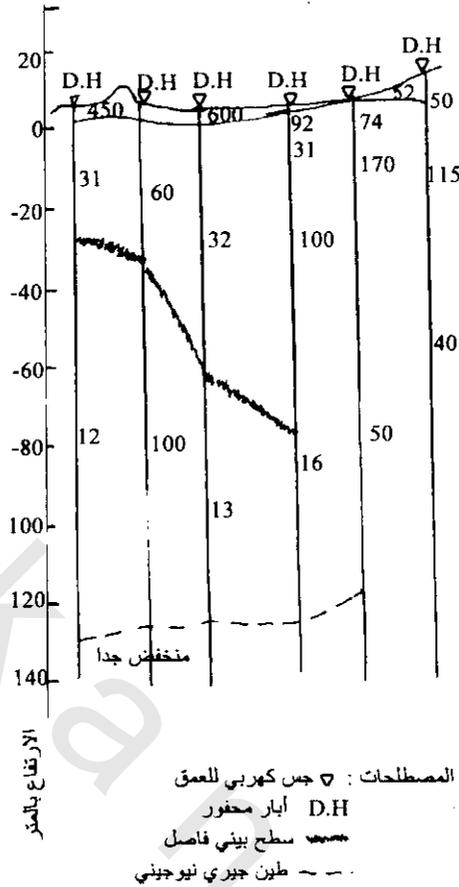
##### 1.1.13.4.6 ظواهر الإنهيارات التحت سطحية :Subsurface Collapse Features

حدث إنهيار أرضى فى قرية شرق ديفون Devon كحفرة بقطر 5 متر، لذلك بدأت بعض المباني فى التشققات وتكسرت طوف الأساس، كذلك أخليت المساكن لتجنب الأخطار.

لتحديد إمتداد المشكلة التحت سطحية تم دراسة مسح المقاومة الكهربائية قبل بداية الحفر. لذلك تم عمل مجموعات أبعاد ثابتة بتشكيل وتر بأبعاد 10، 15، 20 متر. يوضح شكل (6-45) المقاومة الظاهرية كمسقط كنتورى للمقاومة النوعية الظاهرية. إتضح من الشكل ظهور الحفرة مع وجود عمق مملوء بالطين. لذلك حدث إنزلاق خلال شق عنق إلى كهفى تحتى سبب هبوط تحت أساسات المنازل وتصدع لخط الماء الرئيسى. عندما قل عمق الطين صعودا وزاد فجأة ثانيا، تبين ملاً الشقوق طينياً. وبالحفر على شذوذ المقاومة تأكد عمق الحجر الجيرى. إحدى الحفر اخترقت الكهف ولكن فشل فى تحديد العمق والذي يبلغ حوالى 20 متر.

##### 2.1.13.4.6 دفن صندوق مجارى :Burial of Trunck sewer

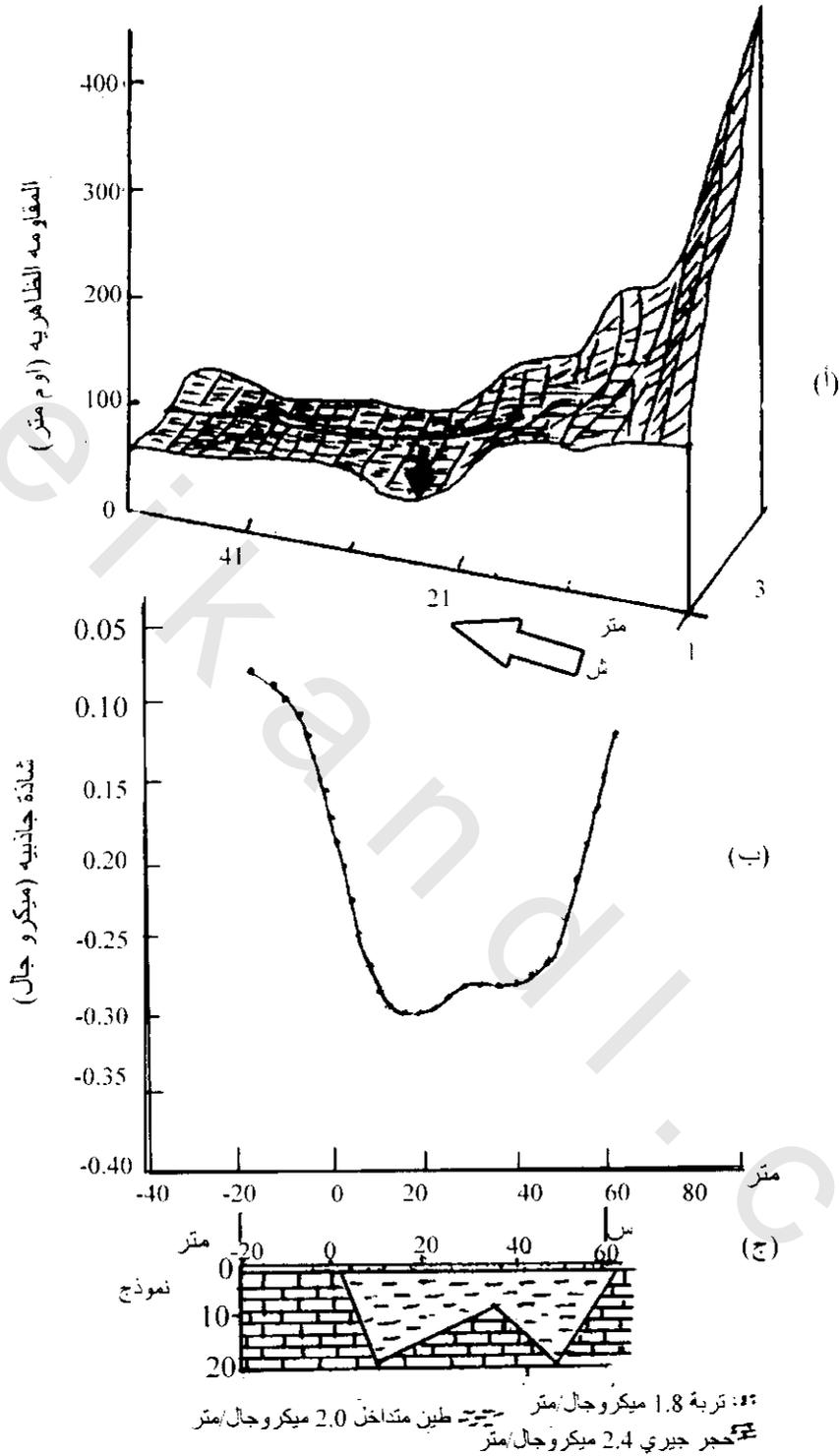
تمت خطة إقترح أماكن صناديق مجارى جديدة فى جنوب ويلز Wales بواسطة استخدام طرق المقاومة وبسبب عدم إمكانية استخدام أجهزة الحفر استخدمت كلا من طريقتى الجس الرأسى والأبعاد الثابتة الجانبية على طول مسار منطقة الدراسة وقورنت نتائج الأبار المتاحة، تتكون المادة التى تم حفر المجارى خلالها من رواسب سطحية تعلو حجر تكوين فحمى رملى Coal Measures وحجر طينى. كان من المتوقع أن تكون مواد التكوين الفحمى كتلة قوية ولهذا صعب إختراقها، بينما مدت الصخور السطحية وطفلة التكوين الفحمى برأى أن حوائط الصناديق ستكون غير مستقرة. وباستخدام نتائج طريقة وينر بأبعاد أقطاب 10 متر وأبعاد ومحطات 10 متر أشارت إلى مواقع فيها قاعدة الصخر للحجر الرملى قريبة إلى السطح المطلوب للتفجير لحفر أماكن مجارى جديدة شكل (6-46). أيضا استخدمت طريقة الإنكسار السيزمية لتأكيد النتائج.



شكل (44-6): قطاع عرضي يبين تغير المقاومة النوعية عند السطح البيني الفاصل بين الماء العذب والماء الملحي. الأرقام تشير للمقاومات النوعية (جونزبورج وآخرين 1974 Ginsburg et al)

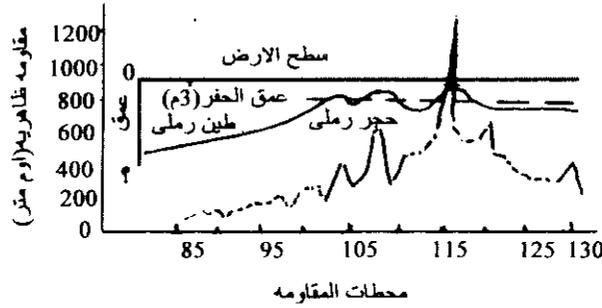
#### 3.1.13.4.6 موقع الأراضى الجمودية (دائمة التجمد) Location of Permafrost:

وجود كتل أرضية جليدية وأراضى متجمدة تشير لمشاكل اعتبارية هندسية فى إنشاء المشروعات. أولاً، وجود صعوبات فى أعمال الحفر وثانياً، تظهر مشاكل أساسية مع ذوبان مثل هذه التأثيرات الأرضية. لهذا يكون حيويًا وفي مقدمة العمل تحديد حواف وعدسات الثلج وامتدادها ودرجة تجمد الأرض جيداً.



شكل (6-45): (أ) مسقط ايزومترى للمقاومه الظاهرية حصل عليها بواسطة ابعاد عرضية ثابتة بأبعاد أقطاب 10 متر ، (ب) نموذج لبروفيل ميكرو جال المتوقع للنموذج الجيولوجى. فى (ج) عمق الحجر الجيرى وضع فسر بواسطة الحفر (أوبلجر

(Oppliger 1984)



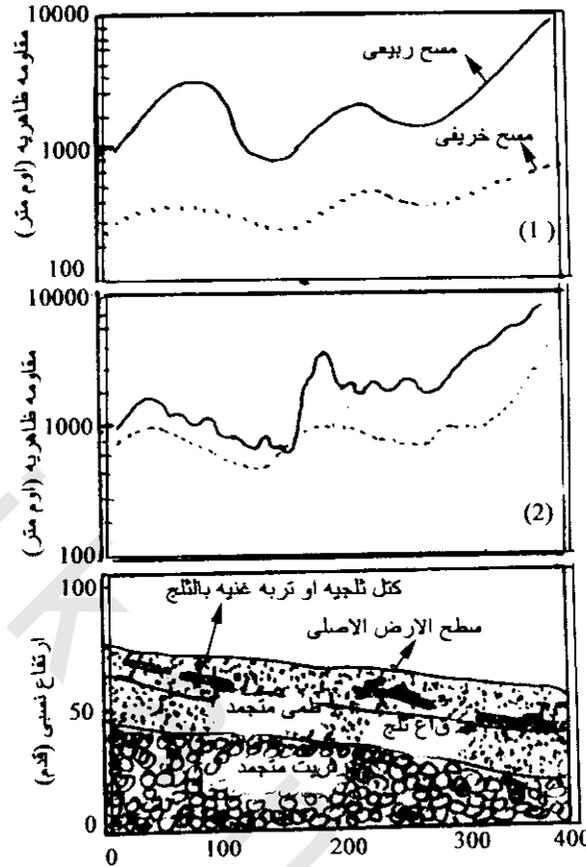
شكل (6-46): نتائج مسح إجتيازي لأبعاد متساوية على طول أساس مقترح لصندوق مجارى فى جنوب ويلز Wales ، مع تفسير للقطاع الجيولوجى (برنتك وماكدويل 1976 Bentice & McDowell)

التلج له مقاومة كهربية عالية للتيار المستمر فى مدى من 1 ميللى أوم متر إلى 120 ميللى أوم متر، ولهذا يكون هدف خاصية قياس مقاومة كهربية له. ويوضح شكل (6-47) اختلاف بروفيلات الجيوفيزياء عبر طريق مقترح قاطع بالقرب من فيرباتكس، ألاسكا Fairbanks, Alaska. وترى النتائج التى تم الحصول عليها فى الربيع أكثر تغير وتحليل من تواجد طبقة نشطة من أرض مذابة، كما فى قياسات الخريف. تستخدم بنجاح طرق جيوفيزيائية أخرى فى هذه التطبيقات مثل مسح بروفيلات الكهرومغناطيسية والجاذبية الدقيقة والرادار الأرضي.

#### 2.13.4.6 مواقع الأساسات المدفونة Location of Buried Foundation:

فى جزء من محاولة مساحية، إستخدم تصور مقاومة كهربية تحت سطحية عند حوش سكة حديد غير مستخدم لكى يحدد أساسات مختفية تحتى خطى سكة حديدية. وقد نفذ مسح كهربي بجوار سباح سلسلة حلقات معدنية وخزان ديزل قديم، وعلى بعد حوالى 3 متر من مبنى موجود. هذا المسح أعطى فكرة عن وجود مبنيين أوليين تحت حصى السكة الحديد غير المبنى الموجود.

الموقع كلية غير ملائم لبروفيل كهرومغناطيسى بسبب التركيبات الأرضية العلوية. وأيضا غير ملائم لإختراق الرادار الأرضي بسبب خشونة الحصى وجهد توصيل الرماد الموجود على الموقع. وقد أمدت الطريقة الكهربائية حل رأسى لنصف متر أو أكثر. رشحت نتائج المقاومة الظاهرية لإزالة شوشرة النتوءات الأرضية وظهرت كقطاع كاذب (غير حقيقى) شكل (6-48أ) والذى انقلب للعكس باستخدام تقنية إعادة اللفات. القطاع الكاذب النهاية للمقاومة الحقيقية المقابل للعمق يرى زيادة عامة فى المقاومة مع العمق شكل (6-48ب). فى خصوصية، أشير لمنطقتين لهما مقاومة عالية جدا أكبر من 12000 أوم متر على عمق 1 م والتي لهما قمم مستوية الشادات.



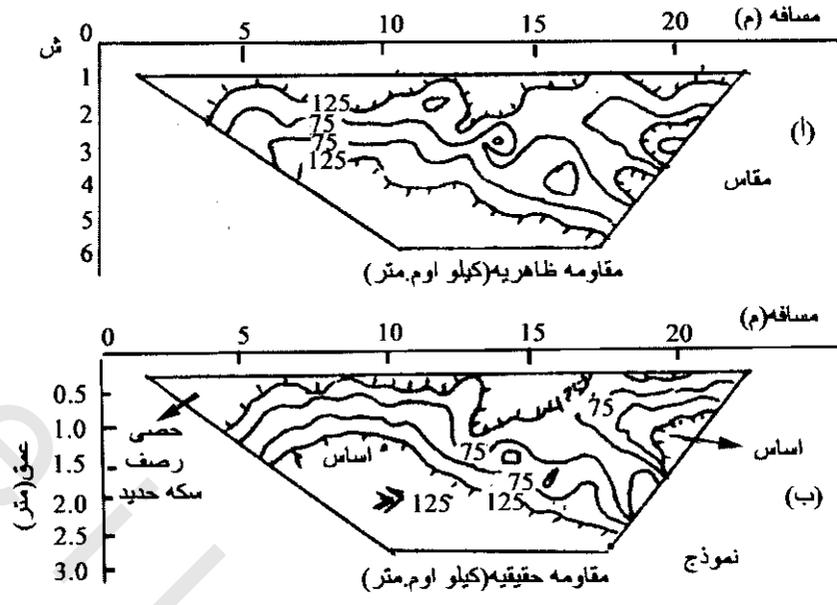
شكل (47-6): كتلة تليجية وأرض متجمدة فى بروفييل تحت سطح لقطع طريق مقترح بالقرب من فيربانكس، ألاسكا، Fairbanks، Alaska أيضا ترى نتائج مسح ربيعى وخريفي حصل عليها باستخدام مسح كهربى بأبعاد متساوية لجس (1) اجتيازي، (2) حث الكتر ومغناطيسى. تقدم كتلة التليج الأرضية دلالة على إرتفاع المقاومة الظاهرية (أوستركامب وجيورك Osterkamb & Jurich 1980)

وفسرت هذه بسبب أساسيات مدفونة. بمقارنة الشاذة الرئيسية (بين 6-11 متر على طول الصف) وجد أنها تتفق مع خط محيط لمبنى مزرعة على المسطح القديم. وعند حوالى 18 متر تكون رأى بوجود مبنى آخر قديم. ربما وجد هذا الموقع بعيد لعدة مترات عن المبنى الأول. بالمقارنة عن دلالتها على المسطحات يكون العمق للأساس فكرة معقولة كمجاورات بلاطات قريمية لطوب أحمر موجودة على بعد أعماق مقارنة لعدة مترات.

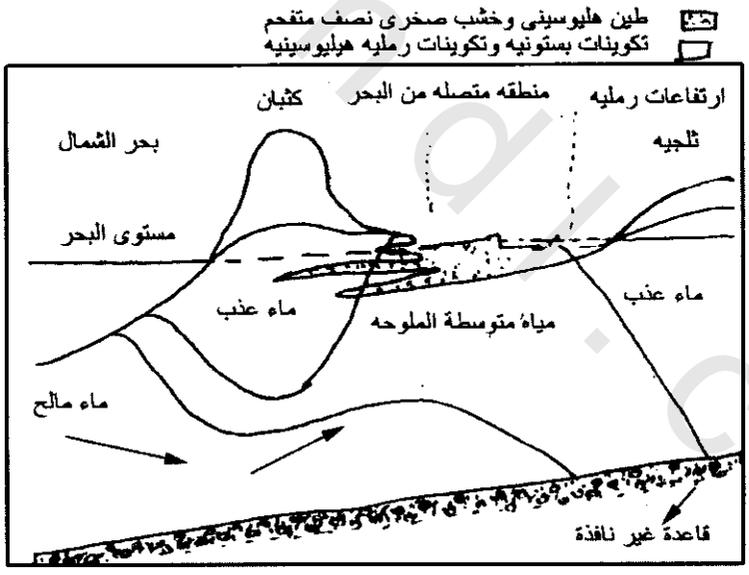
#### 3.13.4.6 مسح المياه الجوفية ومدافن النفايات :Ground Water and Landfill Surveys

##### 1.3.13.4.6 إكتشاف المياه الجوفية المالحة :Detection of Saline Groundwater

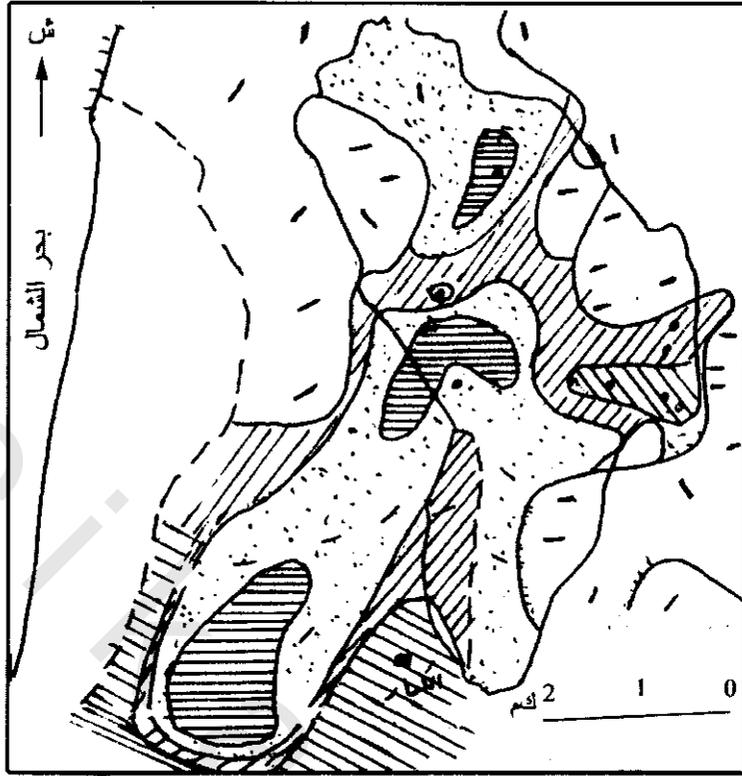
تم عمل برنامج مسح مقاومة كهربية شامل لتخريط مياه مالحة جوفية فى مساحة من هولندا (نذرلاند Netherlands) تحت أو عند المستوى الأساسى لسطح البحر. يوضح شكل (6-49) رسم لقطاع عرضى لطبيعة هيدرولوجية فى الجزء الغربى من هولندا. وقد أمد الجس الكهربى الرأسى متوسطات الحصول على معلومات حول التوزيع الرأسى لأجسام المياه العذبة والمياه الخضمية (متوسطة الملوحة) والمياه المالحة وامتداداتها المساحية شكل (6-50).



شكل (6-48): تصور قطاعات كهربية غير حقيقية تحت سطحية. (أ) بروفييل مقاومة ظاهرية، (ب) بروفييل مقاومة حقيقية - عمق عبر الواح خرسانية مدفونة على عمق 1 متر (رينولدز وتيلور Reynolds & Taylor 1975)



شكل (6-49): شكل تخطيطي لقطاع هيدروجيولوجي عرضي للجزء الغربي من هولندا (فان دام وميلينكامب Van Damp & Menlankamp 1967)



شكل (6-50): توزيع طبقة رمل بحدود مياه تحت أرضية مالحة فى شمال هولندا والتي خدّدت بواسطة جسّات كهربية رأسية كثيرة (فان دام وآخرين 1967 Van Damp et la)

من هذه المساحة وجدت جيوب مياه مالحة والتي يظن أنها متبقّيات من قبل القرن الخامس عشر بعد تكون السد-البحرى الحالى المقطوع من البحر غرب الكمار Alkmaar. وقد وجد فوق عشرات من أمتار المياه المالحة (حوالى 30 متر) مياه عذبة مفصولة بواسطة طبقة طينية غير نافذة. أيضا قادت المطالب الكبيرة لرمّل الإنشاءات لبناء طرق جديدة ومساكن إلى إستخراج رمال مع متبقّيات من الحواجز الطينية. أكثر من هذا، فإن مقارنة نتائج نماذج الجسّات الكهربية الرأسية مع معلومات الآبار عن كيميائية المياه الجوفية أدت لعلاقة بين محتويات الكلوريدات والمقاومة. تبعا لذلك من الممكن تحديد محتوى كلوريد المياه الجوفية من نتائج المقاومة.

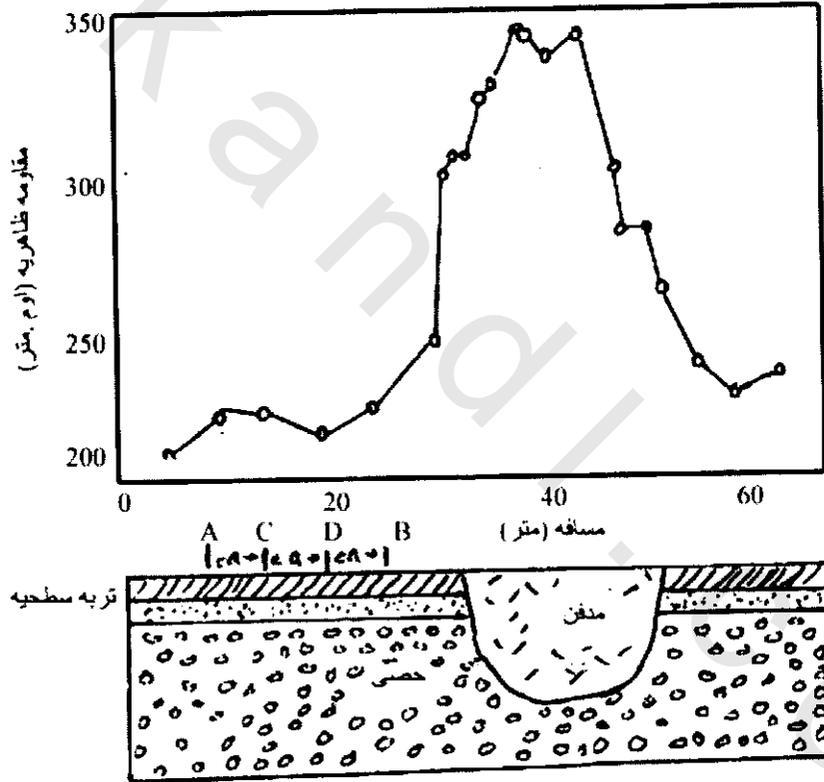
#### 2.3.13.4.6 احتمالات المياه الأرضية Groundwater Potential:

فى ولاية كانو Kano شمال نيجريا Nigeria، تمت عملية كبيرة لحفر آبار مياه ولكن 82% منها فشلت خاصة فى جنوب المنطقة. لذلك إستخدمت الطرق الجيوفيزيقية لتغطية معدل الفشل وإقلال التكاليف. وكانت طريقة الجسّ الكهربى الرأسى هى سائدة الإستخدام على مواقع مختارة تابعة لفحص هيدرولوجى وجيولوجى أولى. وقد أدى فحص نتائج الجسّات الكهربية الرأسية مع معلومات آبار إلى تجميع قاعدة بيانات لتكوين نموذج مقاومة واحتمالات إمكانيات هيدروجيولوجية. وأصبح من الظاهر أن مناطق جغرافية لها أفضلية وأكثر سهولة لبيان مصادر المياه.

لذلك فإن استخدام الجيوفيزياء يساعد على تعريف احتمالات المياه الأرضية وتساعد فى برنامج تخطيط الحفر والذى يقلل من فشل الحفر بنسبة حوالى 15% حيث أن الحفر بدون دراسات جيوفيزية يتكلف حوالى عشرة مرات المسح الجيوفيزيقي.

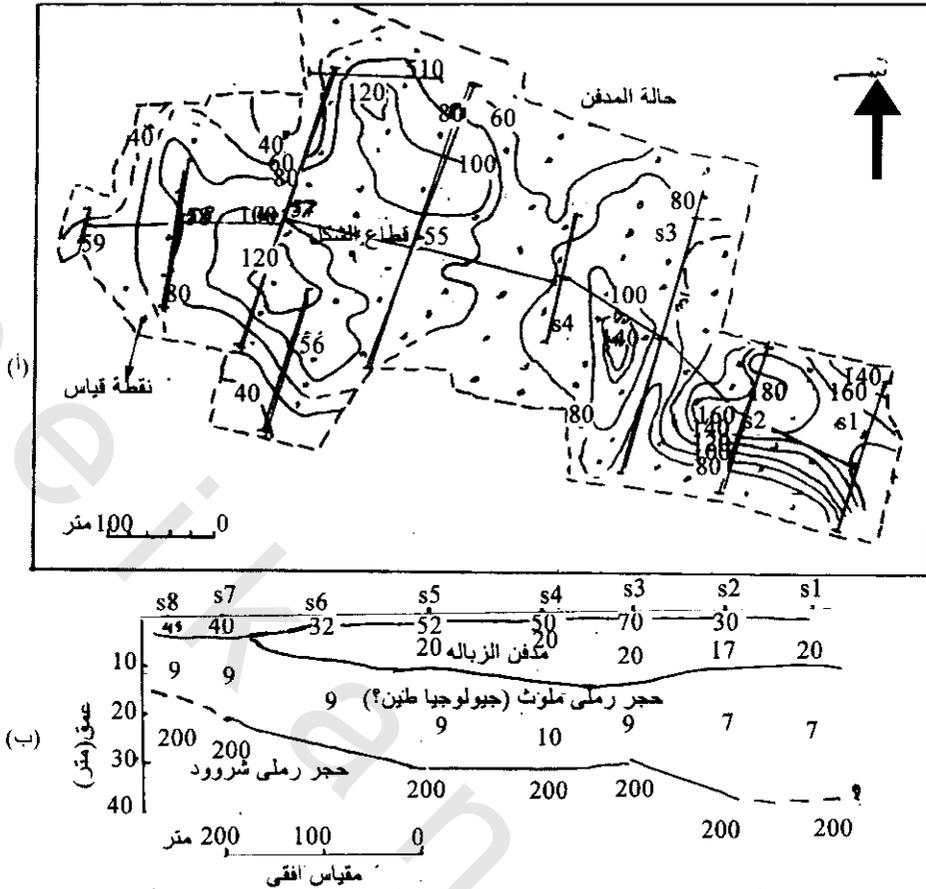
#### 3.3.13.4.6 مدافن الزبالة Landfills:

يوجد زيادة فى استخدام مسح المقاومة الكهربائية ذا تحليل عالى فى التفسيرات بالقرب من مدافن الزبالة، خاصة المقابلة لإحتمالات هجرة غسيلها. وقد نجح استخدام التخليل التحت سطحى والجسات الكهربائية فى ذلك. لا يوجد مثال لمدفن زبالة نموذجي، حيث أن بعضها شديد التوصيل والأخرى ذات مقاومة عالية بالنسبة للأوساط المحيطة بها. لذلك يجب الأخذ فى الاعتبار طرق جيوفيزيائية مختلفة والحرص فى التفسير وعدم تخمين مسنولية طريقة جيوفيزيائية خاصة لأى موقع معطى. مثال ذلك ما قام به (فان نوستراند وكوك Van Nostrand & Cook 1966 بعمل بروفييل لمدفن مقاوم الكهربائية شكل (6-51).



شكل (6-51): بروفييل مقاومة ظاهرية مرصود عبر مدفن مقاوم الكهربائية باستخدام ترتيب ونر (فان نوستراند وكوك Van Nostrand and Vook 1966

وضح باركر Barker 1990 نتائج جسات كهربية عبر مدفن موصل من الحجر الرملى الملوث شكل (52-6) وقد استخدمت معادلة وينر فى هذا المثال.



شكل (6-52): (أ) خطوط كنتورية لقيم معاملات توصيل عبر مدفن الزبالة. الخطوط المستمرة تمثل أماكن واتجاهها جسات المقاومة (المسافة الكنتورية 20 أوم.متر)، (ب) قطاع جيوكهربى عبر مدفن الزبالة موضوع على جسات فى (أ) (باركر (Barker 1990

استخدمت جسات شلمبرجير بواسطة منير-وليمز وآخرين Monier-Williams et al 1990 كجزء من مسح جيوفيزيائى كبير حول مدفن نوفوهورنندوننت فى البرازيل Nove Horizote, Barazil. أشارت التحليلات الكمية وتمثيلها كلوحة مقاومة إلى معرفة مناطق بشادات منخفضة المقاومة شكل (6-53). فسر ذلك على انه تلوث شجرى نبت فوق مدفن الزبالة. المظاهر المشاهدة فى الشكل تكون إتجاه موازى لجناح المدافن ولكن على بعد من 10-15 متر منها.

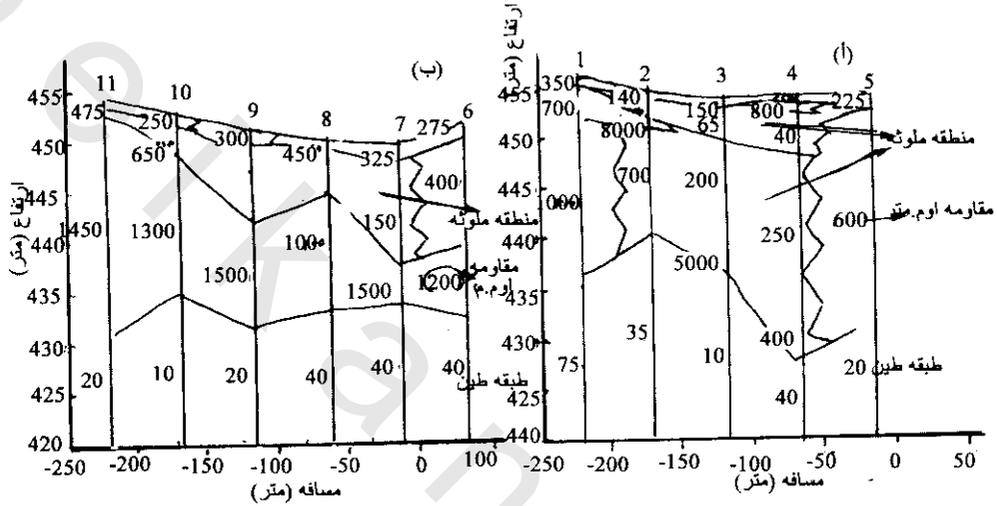
قطاعات التحت سطحية المتصورة عبر المقبرة يرى فى شكل (6-54). توضح اصتلاث لوحات نتائج المقاومة -العمق والتفسير الخطى. فى هذه الحالة، عمق وهندسة المدفن تكون معروفة عند الشروع فى العمل. منطقة إنخفاض المقاومة المصاحب للمدفن المشبه يمتد أكثر عمقا من المتوقع. هذا يفسر كدلالة على تسرب غسيل خلال قاعدة المدفن.

#### 4.13.4.6 تطبيق الثلجات Glaciological Applications:

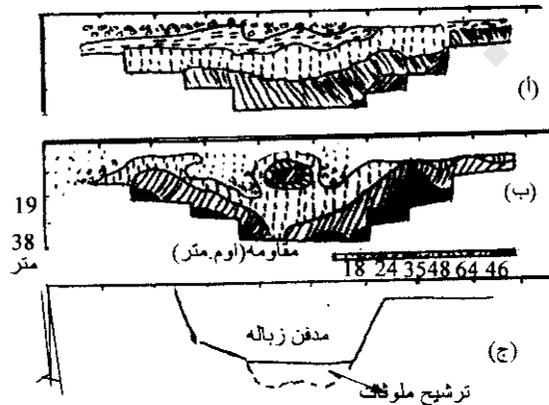
استخدمت طرق المقاومة الكهربائية منذ 1959 لتحديد سمك أنهار الثلج. حصل على القياسات أولا على ثلجات أوروبا ذات الثلج المعتدل (ثلج عند نقطة ضغط ذوبانه)، ثم نمت قياسات مقاومة كهربية على ثلج قطبي (ثلج أسفل تماما نقطة ضغط ذوبانه) حيث وجد إنخفاض الشاذة بواسطة إرتفاع إلى ثلاثة رتب للقيمة مقارنة مع

قيم تلج معتدل. بينما سلوك المقاومة الكهربائية للتلج القطبي يكون الآن واضح كما في شكل (6-55)، إلا أن سلوك الكهرباء للتلج المعتدل مازال قليل الإيضاح. تطورت طرق التفسير لتعطي معلومات عن بروفيلات حرارة رأسية خلال كتل الثلج وأيهما أو لا تكون صفوف الثلج الطافية على ماء البحر مذابة أو متجمدة عند قاعدتها. شاركت كل هذه النتائج على فهم ميكانيكية الثلج. أما تركيبات كتل الثلج فما زالت تحت الدراسة.

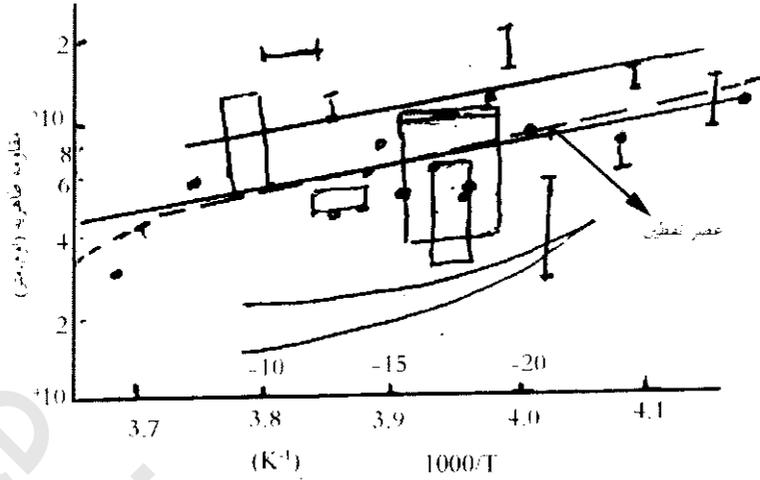
تم عمل سلسلة من الجسات الكهربائية الراسية في شبه جزيرة أنتاركتك Anatractic Paninsula شكل (6-56) عدلت المنحنيات الحقلية للأخذ في الاعتبار التأثيرات الحرارية ويوضح شكل (6-57) نتائج التفسيرات حيث اتفقت جيدا مع هذه المحددة مفردا.



شكل (6-53): قطاعين مقاومة متوازيين موضوعين على تفسيرات جسات شلمبرجير عند موقع مدافن زباله نوفوهوريزون ت بالبرازيل (Novo Horizonte, Brazil). (أ) قريب من موقع مدفن الزباله أكثر من (ب). مرجع المقاومة فوق قاعدة طينية عالية. فرضت المقاومة المنخفضة في متوسط القطاعات بسبب تلوثها وليس بأن المنطقة الموصلة هي (ب) تظهر أكثر ضحالة منها في (أ). مونير-وليامز وآخرين Monie-Williams et al 1990



شكل (6-54): (أ) قطاع مقاومة ظاهرية ونر Wenner مقاس عبر مدفن زباله مسافة الأقطاب 10 متر، (ب) قطاع عمق مقاومة حصل عليه بعد 18 إعادة. (ج) قطاع تقريبي عبر مدفن الزباله موضوع على وجود معلومة (باركر 1992 Barker)

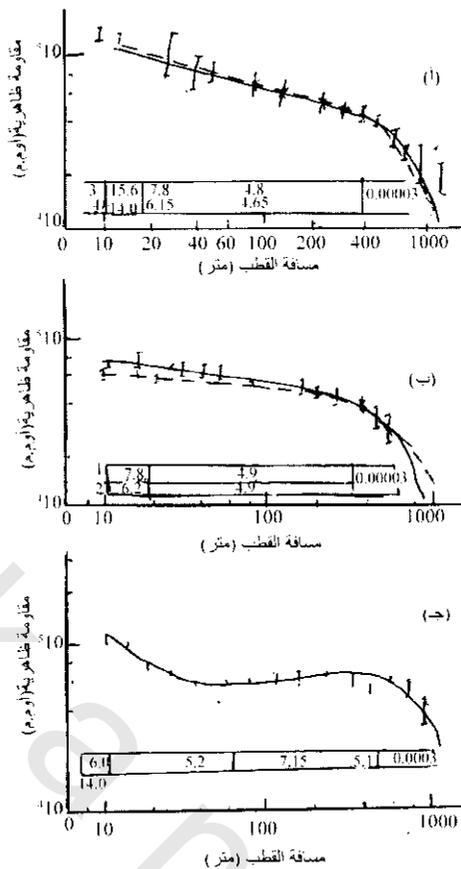


شكل (6-55): مقاومة ثلج كمعامل لدرجة الحرارة. والقيم الأساسية من جسات مقاومة أرضية للثلج عند 100 متر أو عمق نقطت مع تقدير غير موفن مقابل طبقة الحرارة المقيمة من اختلاف واسع للمصدر. القياسات العملية على عينات ثلجية اسطوانية اختبرت عبر مدى من درجات الحرارة (الخطوط المستمرة). تراجع خط النتائج أعطى بواسطة خط مقطع. بإعطائه درجة حرارة معينة يمكن اكتشاف الثلج خلال معامل 2 أو أكثر (رينولد وبارن Reynolds and Paren)

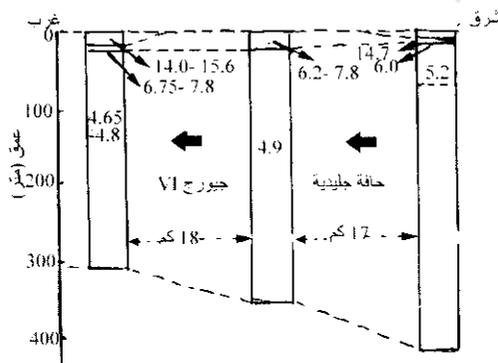
1984

تم حفر عدة آبار بيعث ماء ساخن خلال ثلاجة محلية (جروبنجلتشر Grubenglestcher) بسويسرا Switzerland. بإستخدام أقطاب أرضية متحركة خلف خطم (خرطوم) الثلجة وأمكن إكتشاف النقطة التى عندها كسرت رأس الحفر خلال ثلج عالى الكثافة إلى طبقة تحت سطحية أكثر توصيلا شكل (6-58) تبعا لذلك، أمكن تحديد سمك الثلج أكثر دقة من إستخدام الحفر أو صدى موجات الراديو السطحية. من الصعب معرفة حمل خطام الثلج عند قاعدة الثلجة عند تمييزها بواسطة معدل الحفر الحرارى فقط. وجد أن معدل قياسات العمق بواسطة صدى موجات الراديو تكون مضبوطة خلال 5% ولكن عامة أقل من تقييم العمق. زرعت أقطاب عند فاصل طبقة الثلج عند نهاية كل من 14 بئر وأخذت جسات كهربية معيارية عميقة كأن الثلجات غير موجودة.

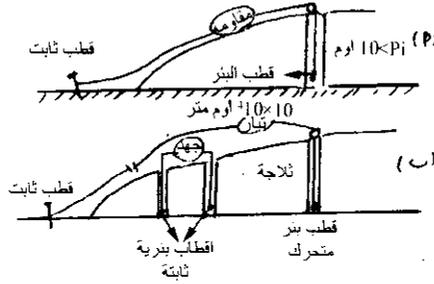
إكتشف بعد ذلك أن ثلجات جروبنجلتشر Grabenglescher موجودة تحت أسفل 100 متر من الرسوبيات غير المتماسكة. وقد ذكر سابقا أن الثلجة تكون فى تماس مباشر مع صخور القاعدة. هذا العمل وضح انه بواسطة إستخدام أقطاب فوق الثلجة، يمكن الحصول على معلومات جديدة حول طبيعة المواد أسفل الثلجة. ويعتبر هذا مثال نافع عند محاولة فهم نظام هيدروجيولوجية ماتحت الثلجة.



شكل (56-6): منحنيات جسات مقاومة ظاهرية حصل عليها باستخدام طريقة شلمبرجير عند ثلاث مواقع على طول خط انسياب ثلاجة على حافة ثلج جيورج VI وAntarctica في أ، ب جسات ثمانية عند كل موقع تحت كل منحنى نموذج تفسيري في تعبيرات لمقاومة حقيقية لمقابلة للعمق خلال لوح ثلجي. امتداد القيم المنخفضة للمقاومة أسفل اللوح الثلجي تدل على طفوه على ماء البحر نموذج المقاومات تعطي في وحدات 10 كيلو أوم.متر (رينولد، بارن 1984 Reynolds & Parn)



شكل (57-6): تركيب مقاومة كهربية خلال حافة جليدية جيورج VI على طول خط انسياب، وحدات المقاومة 10 كيلو أوم.م، ورسمت بمقابلة العمق خلال لوح ثلجي (رينولدز & بارن 1984 Reynolds and Parn)



شكل (6-58): تصنيف أقطاب تستخدم لتحديد المكان المضبوط لطبقة التلاجة (أ) ولجسات مقاومة طبقات التلاجة (ب) (هابرلى و فيش 1984 Haerberli & Fisch)

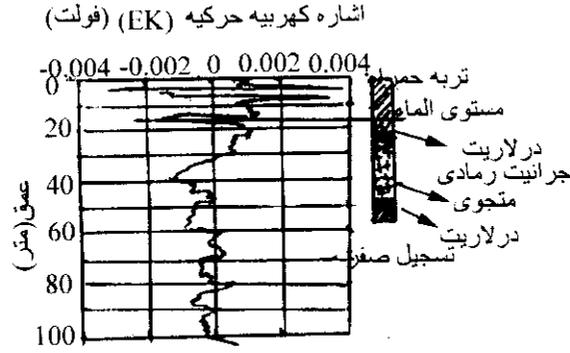
#### 5.13.4.6 مسح الكهربية الحركية فى مسوح المياه الأرضية

##### Electrokinetic (EK) Surveying in Groundwater Surveys:

توصل بعض الباحثين السابقين إلى أنه عندما تسير الموجات السيزمية خلال وسط مشبع جزئياً أو كلياً، فإن تأثير النضات السيزمية تضغط على الصخور مسببة حركة سائل المسامات (الفراغات)، وهذه تولد إشارات كهربية أو كهربية حركية والتي يمكن إكتشافها باستخدام أقطاب تغرس على سطح الأرض. وقد فسر بعضهم دراسة منهجية لازدواجية سيزمولكترى Seismoelectric باستخدام تفجيرات عند أعماق مختلفة. كذلك وضحوا أن تحول الطاقة السيزمية إلى طاقة كهرومغناطيسية عند مستوى الأرضى يمكن إكتشافها باستخدام هوائيات سطحية.

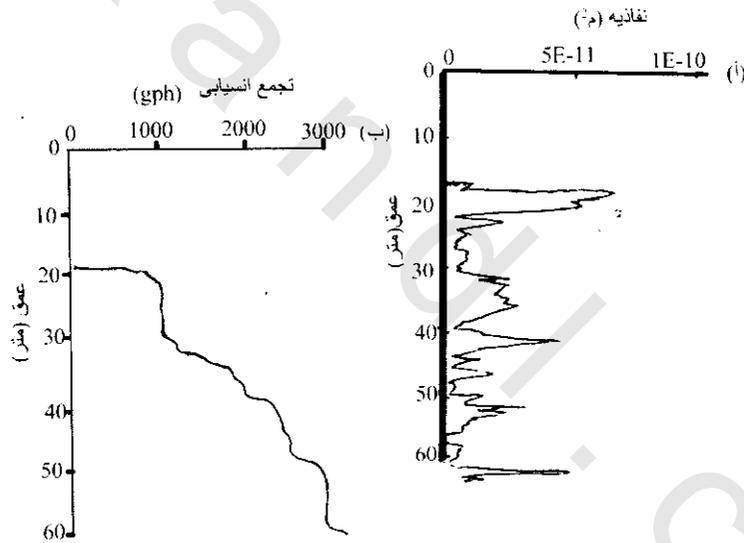
تولد منطقة تشبع الرشح جزئياً إشارات مميزة للكهربية الشعرية electrocapillary وذلك بسبب حركة فواصل الهواء/الماء فى أعناق المسام، ويسبب إزاحة الفقايع خلال سائل المسام إشارات إرتحال الجزيئات المعلقة فى مجال كهربى electrophoretic. ربما تولد المستودعات المشبعة كلية بالماء إشارات كهربية حركية electrokinetic بواسطة إزاحة لسائل مفرد (ماء أو ماء شديد الملوحة) عندما يحفز بواسطة مرور موجات سيزمية. يودى تمييز الاختلاف بين نوعى الإشارات إلى تحديد عمق مستوى الماء الأرضى فى مستودعات مائية غير حبيسة unconfined aquifers. تتميز الصخور الجافة أو صخور القاعدة أو أى صخور غير حاوية للماء بواسطة نقص لأى إشارة.

برغم أن الطريقة توصف هنا تحت الطرق الكهربية، لكنها ليست تقنية كهربية فعالة. لأنها طريقة سيزمية فقط. حديثاً تطورت هذه التقنية فى الولايات المتحدة الأمريكية تحت إسم التنقيب الإلكتروسيزمى، ويوضح شكل (6-59) مثال لذلك. تم تحديد العمق باستخدام سرعة طوليه 1250 P.W. م/ث، ويلاحظ أن الكهربية الحركية تتجاوب عند أحوال مستوى الماء الأرضى، تظهر إشارات الكهربية الشعرية القوية من منطقة الرشح فوق مستوى الماء بإشارات كهروحركية مشتقة من المنطقة المشبعة من 17-50 متر عند الأعماق الكبيرة، توجد إستجابة لإشارات قليلة جداً. يرى شكل (6-60) تناسب للعلاقة بين النفاذية والعمق وكذلك الإنسياب التجمعى مع العمق.



شكل (59-6): إشارة كهربيه حركيه نموذجية عند موقع بئر في زمبابوى Zimbabwe

تدل مقارنة المتوقع ومعدل الإنسياب الحقيقي لماء البئر على أن قيم الكهربية الحركية المشتقة تمتد درلة معقولة (معتدلة) لمعدل إنسياب شبه حقيقي. ربما تكون هذه الطريقة في شكلها الحديث في بدايتها فقط. إذا عضدها النجاح للمحاولات الأولية، عندئذ توعد هذه الطريقة كأداة نافعة جدا في البحث الهيدروجيولوجي.



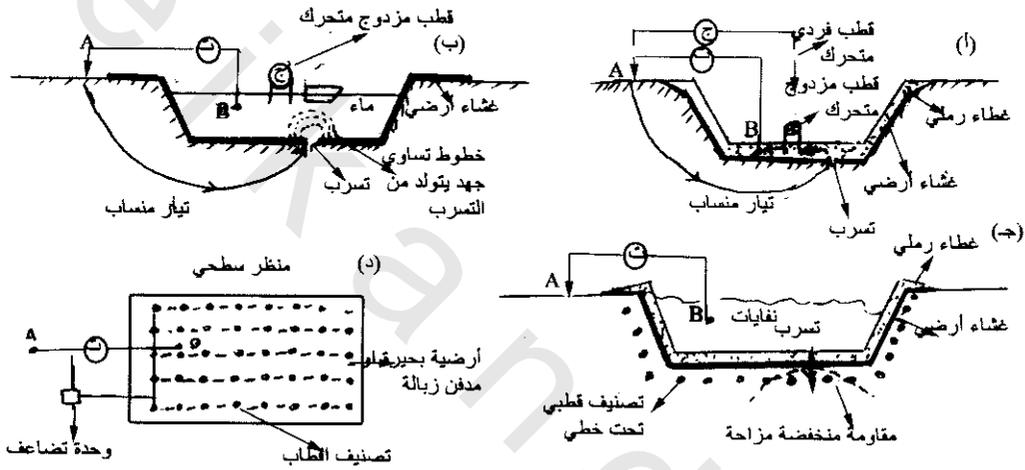
شكل (60-6): (أ) بروفيل نفاذية-عمق، (ب) إنسياب متوقع مشتق من نتائج الكهربية الحركية عند موقع بئر في زمبابوى Zimbabwe

#### 6.13.4.6 إكتشاف تسرب خلال أغشية صناعية: Leak Detection Through Artificial Membranes

زادت أهمية إكتشاف تسربات (الرشح) خلال تبطين المستنقعات ومدافن الزبالة في السنين القليلة الأخيرة. وحيث أن المقصود من تبطين مواقع تصريف النفايات تجنب التلوث منها، فربما تؤدي تمزقات أو كسور صغيرة في التبطين تسربات كبيرة للملوثات. وقد تطورت طرق مختلفة لمحاولة تحديد الثقوب في التبطين لكي ترمم أو تتخذ تدابير لعلاج التلوث.

يكون الأساس العام خلف كل الطرق هو تبطين صناعى بعمل أغشية أرضية عالية الكثافة من مادة البوليثلين Polyethylene بحيث يكون حاجز عالى المقاومة طالما لا يوجد به ثقب، وتكون مقاومة الغشاء الأرضى البوليثلينى أكبر من  $10^7$  أوم.متر.

ويبين الشكل التخطيطى (6-61) مرور التيار الكهربى بين قطبين، أحدهما يكون خارج الغشاء ولكن فى تماس مع مياه أرضية محلية، والآخر يكون فى داخل النفايات أو فى طبقة رملية مبللة تعلق مباشرة الغشاء الأرضى. ويمكن إستخدام نفس النظام فى مستنقعات مملوءة بالماء شكل (6-61ب) حيث يستخدم إما زوج قطبى الجهد أو قطب جهد مفرد متجول الإكتشاف شذوذ الجهد الكهربى. يحدث هذا حيث يكون التيار الكهربى قادر على الإختراق خلال الثقب فى الغشاء الأرضى. وقد تم بنجاح تحديد تمزقات أقل من 1 ميلليمتر عند عمود 0.5 متر تحت طبقات رملية.



شكل (6-61): قطاعات أنظمة إكتشاف تسرب فى مخازن نفايات وبحيرات بأنابيب تغليف قاعدية الغشاء أرضى صناعى التخطيط المسطح (أ) حالة (ب) أنبوب التغليف القاعى مغطى بطبقة رقيقة (0.5 متر) من الرمل وينتويت، (ب) أنبوية التغليف مملوءة بالماء. (ج) نظام إكتشاف تسرب تحت خط الأنابيب تستخدم باستمرار لإنشاء صفوف الأقطاب تخطيط سطحى نموذجى الموضع فى (د)

حديثا فإن مدافن الملوثات تبنى تحت نظام كشفى مستمر، تتصل صفوف الأقطاب بواسطة كابلات عازلة والتي تدفن على عمق حوالى 1 متر أسفل الغشاء الأرضى. عند وقت الإنشاء تعمل قياسات ضبطية للثقب فى التبتين لى يجهز قبل تصريف أى نفايات شكل (6-61ج، د). تسمح هذه التقنية بقياس جهد الشاذة تحت التبتين بدلا من قياسها فوق التبتين كحالات (6-61أ، ب). بالإضافة لذلك يمكن الحصول على قطاعات المقاومة مشابهة تقريبا للقطاعات الحقيقية بواسطة إستخدام صفوف تحت التبتين كتصور للصفوف التحت سطحية بدون إستخدام صفوف أقطاب مزدوجة كتيارات السطحية. عند إنشاء موقع تصريف يتأكد أنه لا يوجد تسربات بواسطة عمل قياسات خط القاعدة.

#### 14.4.6 جسات الجيوكهربية العميقة Geoelectrical Deep Sounding:

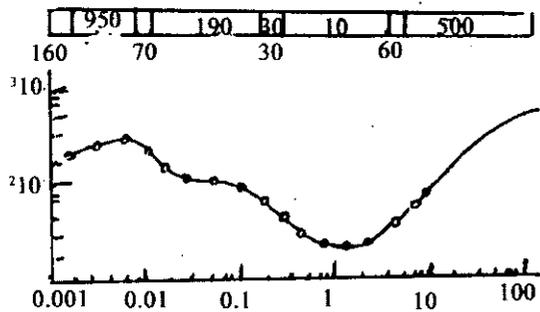
فى الطريقة العادية لجس المقاومة يقاس هبوط الجهد على السطح المتسبب بواسطة تطبيق التيار الخارجى. ويعتمد العمق المختار المطلوب الحصول عليه من هذه الطريقة أساسا على أبعاد أقطاب التيار. ولكى يحصل على معلومات للعمق لبعض آلاف من التيار بهذه الطريقة يتطلب خطوط تيار طويلة غير عملية وجزء من

امدادة قدرة كبيرة. ولكن عمليا، فإن حدود استخدام الطريقة العادية للجسات تصل غالبا لعمق بضع مئات من الأمتار.

فى الوقت الحاضر ، يعطى أغلب التنقيب الكهربى العميق (خاصة فى روسيا) بواسطة جسات القطب المزدوج. عندما تكون المطالبة لعمق 300-500 متر فإن المسافة بين الأقطاب المزدوجة تكون من 1000-1500 متر. وعندما تكون المسافة بينهم 10-12 كم فمن الممكن الإستدلال عن عمق صخور القاعدة الذى يتراوح من 3-2.5 كم. والميزة الأخرى الكبيرة لطريقة القطب المزدوج هى إمكانية الجس على منحى البروفيل، بينما الجس التقليدى فإن أقطاب التيار والجهد يجب أن تقع على خط مستقيم. أيضا فى المناطق الصعبة (مثل الغابات والمستنقعات) لا يمكن الإحتفاظ ببروفيل مستقيم لمسافات طويلة، وكذلك ليس من الضرورى لمراكز الأقطاب المزدوجة أن تقع على نفس الخط المستقيم. وتمثل الأمثلة الآتية حساب جيوكهربية عميقة.

#### 1.14.4.6 جسة عميقة فى حوض الراين Deep Sounding in the Rhine Grabens

تم عمل جسه جيوكهربية عميقة بمسافة أقطاب إنبعث للتيار تبلغ 150 كم، على طول وهى بين كارلسرو وساخنجن Karlsruhe and Sackingen كجزء من دراسة برنامج مشروع الستار العلوى. تمت العملية بقواعد ترتيبات شلمبرجير مع تسجيل مركز متوسط هو طريق خط الجهد العالى بين كارلسرو-ساخنجرز يرى شكل (62-6) منحى الجس مع إمكانية نموذج تفسير، وكذلك توزيع المقاومة فى الجزء العلوى من الشكل، كما أن الشكل يعطى تفسير واضح لتوصيلية جيدة للحوض المملوء (أقل من 10 أوم. متر). هذه التوصيلية الجيدة، والتي كانت متوقعة، تحجب تأثيرات تحت الأرض العميقة بطريقة حاسمة ولهذا تمنع أى معلومات مفسرة يمكن الحصول عليها خلال التغيرات فى صخور القاعدة.



شكل (62-6): مقارنة منحى مقاومة مقاسة (الخط المتصل) مع المنحنى النظرى (دوائر مفتوحة) فى حوض الراين Rhine Graben ، يرى الجزء العلوى من الشكل نموذج تفسير للمقاومة الحقيقية

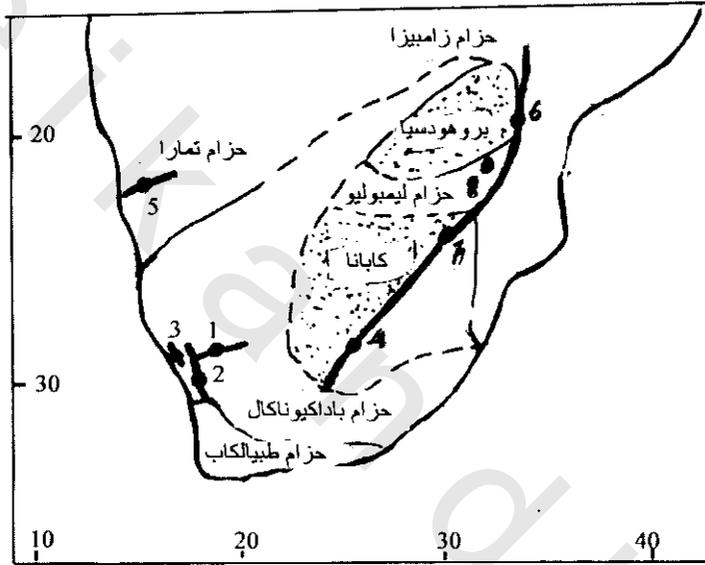
#### 2.14.4.6 جسات فوق عميقة فى جنوب أفريقيا: Ultradeep Sounding in Southern Africa

أعطى هذا المثال نتائج لجسات كهربية فوق عميقة تمت فى جنوب أفريقيا لأبعاد أقطاب لحوالى 1000 كم. يتكون الجزء القديم لبقشرة جنوب أفريقيا من رواسخ\* والتي تحاط بواسطة أحزمة متحركة لعصور مختلفة ويعبر عن قدم هذه الرواسخ (أكثر من 2600 مليون سنة) نسيبا بقشرة مستقرة ومحتفظة بتكوين جرانينويد ساند والذى

\* كتل صخرية راسخة تحدث بينها الطيات المقعرة.

استمر بعد أحداث تكتونية منذ عصر الأركيان Archaen. فى المقابل تعرضت الأحزمة المتحركة لتشوه شديد، شقوق، وتحول صخرى كبير شكل (6-63) .

الظاهرة المدهشة لنتائج الجسات العميقة تمت لجزء كبير من القشرة العلوية (فى حزام الحركة) وداخل القشرة السفلية إلى عمق 25-30 كم أن لها فقط مقاومة متوسطة، هذا الوضع يدل على وجود الماء فى هذه المناطق (منطقة 2) شكل (6-63)، الطبقة الموصلية السفلية (منطقة 3) لها إنتشار بواسطة التميؤ، وهذا يعلل خواص السربنتين الكهربائية عندما يكون صخور ستار مميأه. وتدل النتائج الكهربائية على وجود خلاف مهم فى إنتشار المسامية بين الرواسخ (مقاومة عالية) والأحزمة المتحركة (متوسطة المقاومة). الإتجاه العام لإنسياب الحرارة تكون كبيرة عبر الأحزمة المتحركة وتقود هذه الأفضلية الماء فى هذه المناطق.



شكل (6-63): وحدة تكتونية كبيرة لجنوب أفريقيا تدل المناطق المنقطة على الرواسخ، والأحزمة المتحركة معروفة بأسمانها. يرى مواقع الجسات العميقة بواسطة الأرقام. تدل الخطوط الثقيلة على تباعد كبير لأقطاب التيار (فان ريجل Van Zijl 1977)

#### 15.4.6 إستخدام الطرق الكهربائية للإستكشاف البترولى

##### Using Electrical Methods for Petroleum Exploration:

أختبرت هذه الطرق مؤخرا فى الإستكشاف البترولى. وقد إستعمل بعض منها بصورة شاملة لهذا الغرض فى روسيا، حيث أن تباين المقاومة النوعية بين الملح والمواد الرسوبية يجعل من السهل تماما إكتشاف القباب الملحية الضحلة.

قابلية تطبيق الإستكشاف الكهربى للتقيب عن البترول محدودة لوجود تباينات دليلية ضعيفة فى الخواص الكهربائية للصخور الرسوبية التى تعطى معلومات الخواص الصخرية والتركيبية المفيدة فى البحث عن الهيدروكربونات. فمثلا يكون للصخور الجيرية الكتلية والأنهيدريت شاذات لمقاومات نوعية عالية، ولكن شواذ المقاومة النوعية للأبعاد (السك على وجه الخصوص) التى تتركب من هذه المواد غالبا ما تكون صغيرة بالمقارنة للأعماق ذات الأهمية فى الإستكشاف البترولى ولذلك يكون تخريطها بالوسائل الكهربائية غير مشجع.

#### 16.4.6 تحديد عمق صخور القاعدة Basement Depth Determination :

فى الغالب يكون للقطاع الرسوبى مدى مقاومات نوعية أصغر بكثير من المدى الخاص بصخور القاعدة، وبذلك يمكن عمل نماذج للأحواض الرسوبية على هيئة طبقة ذات مقاومة نوعية منخفضة (العمود الرسوبى) والتي تأتى فوق طبقة تحتيه لها مقاومة نوعية أعلى بكثير (صخور القاعدة). وعلى ذلك، فإن أى أسلوب فى للاستكشاف الكهربى يستطيع أن يستجيب لتغيرات المقاومة النوعية عند قاعدة القطاع الرسوبى، والتي تعطى بالتالى معلومات عن عمق صخور القاعدة. فى المناطق من العالم التى تستخدم هذه الطريقة، تكون الخطوة الأولى فى أسلوب الإستكشاف هى تحديد وجود حوض رسوبى من عدمه، وفى حالة وجوده يجب تحديد شكله الهندسى التقريبي.

فى روسيا حيث تستخدم هذه الطريقة، حددت بعض الأحواض الرسوبية، حيث يستعمل أسلوبان من الساليب الفنية الكهربائية على نطاق شامل لتحديد الوجود، العمق التقريبي، والحدود لمناطق أحواض جديدة، الأسلوب الأول هو طريقة ذات القطبين Dipole method. والآخر هو التيار الأرضى المغناطيسى Telluric current.

#### 1.16.4.6 طريقة ثانية القطب Dipole Method :

فى هذه الطريقة يدخل تيار كهربى كبير للأرض من خلال قطبين فى صورة موجة مربعة، ثم يقلل المفتاح بين المولد وقطبى التيار لمدة دقيقة واحدة. بذلك ينتج جهد مصاحب لنبضة التيار والتي تلتقط بواسطة كاشف (قطبى كشف) على بعد 20 كم، لاتشابه الإشارة المستقبلية موجة مربعة، ولكن سوف تكون مشوهة الشكل ومنتشرة الزمن. تعتمد طبيعية التشوه على توزيع المقاومة النوعية التحت سطحية ويزداد عمق الإختراق للإشارة مع زيادة تباعد المسافة بين المصدر والمستقبل (يفرض أن شدة التيار تكون كافية لتسمح بالإختراق اللازم).

بعد ذلك، تحسب الأشكال الموجبية لتغيرات المقاومة النوعية مع العمق، ومن الممكن عمل كتالوج للأشكال الموجية لمدى واسع للتشكيل الطباقى. يمكن تحديد التركيب التحت سطحى المقابل للمقاومة النوعية بمطابقة شكل الموجه المرصودة مع تلك الموجودة بالكتالوج والتي تعطى التوافق الأحسن. إذا وجدت طبقة فردية ذات مقاومة نوعية قليلة فوق طبقة تحت سطحية ذات مقاومة نوعية مرتفعة فإن نموذج التناظر يودى لإفترض بأن سمك الطبقة العلوية (فيما لو لم توجد دلالات جيولوجية) يمثل العمق للقطاع الرسوبى على طول البروفيل بين المصدر والمستقبل.

أشار كيلر Keller 1968 لمسوحات المقاومة النوعية المنفذة على نطاق محلى تجعل من الممكن رسم خرائط الأوساط القديمة وتعطى أدلة للتاريخ الجيولوجى لمنطقة بترولية يمكن الحصول عليها بالحفر الطباقى فقط. بسبب التحليل المقيد لقياسات المقاومة النوعية عند الأعماق المتضمنة، فإنه من المحتمل أن تكون التغيرات الكبيرة فقط للمقاومة النوعية المؤثرة على مسافة 1000 قدم أو أكثر من القطاع الرسوبى له دلالة جيدة عند تحليلها. يفيد مثل هذا النوع من المعلومات كثيرا فى البحث عن البترول المحتجز فى المصائد الطباقية. على سبيل المثال، أمكن بهذه التأثيرات المحيطية إكتشاف سمك كبير لقطاع من سحنات الرمل الساندة إلى سحنات طفلة ساندة. أيضا وضح كيلر Keller بوجود خط إتصال مفصلى ترسيبى رئيسى فى حوض ديفر-جولسبرج

Denver-Gulesberg بكلورادو الشرقية من النوع الذى أمكن رسمه فى الخرائط بالأساليب الفنية الكهربائية السطحية بدون حفر آبار.

#### 2.16.4.6 طريقة التيار الأرضى المغناطيسى Telluric Current Method :

لاحتياج هذه الطريقة لمصدر طاقة خارجى والترددات منخفضة بدرجة كافية لإعطاء الإختراق المطلوب (توجد غالبا فى المجالات المترددة الطبيعية). إستخدمت هذه الطريقة لرسم خرائط التركيبات فى القطاع الرسوبى التى لايمكن أن ترصد فى الحال بواسطة التقنيات الأخرى المستخدمة فى التنقيب عن البترول. فمثلا، فى هضبة نهر كولومبيا فى شمال غرب الباسفيك، فإن وجود الحمم البركانية عند أو بالقرب من السطح تجعل من غير الممكن الحصول على معلومات عن تشكيل الرسوبيات السفلية بواسطة الطرق السيزمية، الجاذبية، المغناطيسية.

عامه، فإن الإستعمال الأكثر إنتشارا للأساليب الفنية للاستكشاف الكهربى فى التنقيب عن البترول هى التسجيلات الكهربائية. فى بعض المناطق، فإن تسجيلات الآبار تقوم بين الجيولوجيا والجيوفيزياء وهندسة البترول، أغلب تطور هذه التقنية تنفذ فى الولايات المتحدة بمن يعتبرون أنفسهم مهندسى بترول أو جيولوجيين أكثر من جيوفيزيائيين. من ناحية أخرى، فى روسيا تصنف هذه التقنية كجيوفيزياء تطبيقية (جيوفيزياء صناعية).

#### 5.6 طريقة الإستقطاب المستحث (IP): Induced Polarization Method (IP)

اكتشفت ظاهرة الإستقطاب المستحث واكتسبت إنتشارا فى منتصف القرن العشرين كطريقة جيوفيزيقية. تستعمل الآن بتوسع فى البحث عن خامات الكريتيدات الموزعة والمياه الجوفية ذات الإمتداد الطفيف.

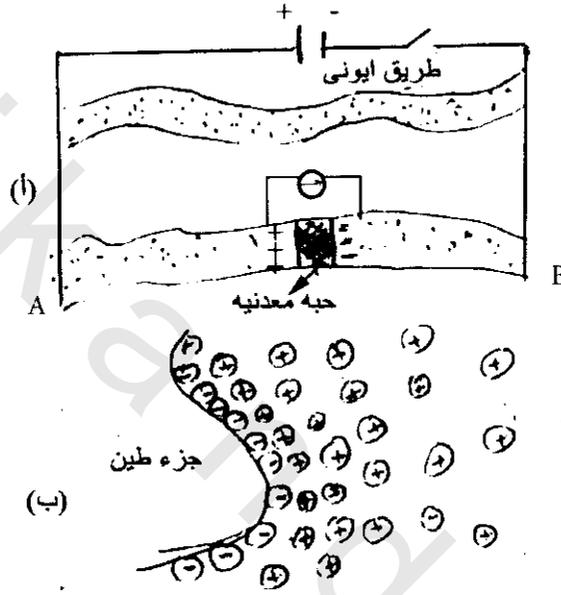
#### 1.5.6 أساسيات الطريقة Principles of Method :

حالة الكهربائية فى معظم الصخور تكون أساسا الكتروليتية (محلول كهربى) بواسطة إنتقال الأيونات خلال الماء الموجود فى المسام. ربما، عند مرور التيار الكهربى خلال صخور حاوية معادن فلزية، فإن أيونات التوصيل يعاق امتدادها المتوقع بواسطة الحبوب المعدنية التى عبرها يكون إنسياب التيار الكترولونى. هذه تؤدى لتجمع الأيونات على الحد الفاصل بين المعدن والمحلول، منتجة نمو جهد الكهربائية الكيميائية عند سطوح حبوب الفلز شكل (6-6)، تشبه هذه الطريقة الإستقطاب القطبى الذى يحدث عند سطح القطب الفلزي المغموس فى محلول كهربى. عندما يتوقف التيار الخارجى المطبق، فإن الجهد الكهروكيميائى يتمدد، ولكن لا يهبط للصفر لحظيا. يلاحظ تغير الإضمحلال فى الجهد مع الزمن كما فى شكل (6-65) ويمكن قياسه كجزء من الجهد (V) والذى يكون موجودا عن إنسياب التيار الخارجى وتعطى النسبة  $\frac{V\Delta}{V}$  قياس تركيز المعادن الفلزية فى صخر التكوين. وهذا باختصار، أساس الحث المستقطب (IP).

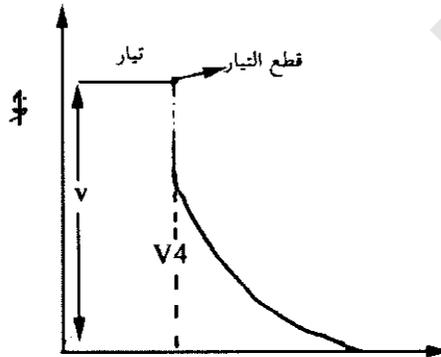
يلاحظ تأثير الحث المستقطب حتى عندما تكون المعادن الفلزية غير موجودة فى صخر المادة. ترى الصخور الرسوبية الحاوية خاصة على الطين قدر من الحث المستقطب. جزيئات سطح الطين لها شبكة سالبة

الشحنات والتي تجذب الأيونات الموجبة من المحلول الكهربى الموجود فى المسام (شكل 64ب). كنتيجة لتوزيع هذا الإستقطاب للأيونات (يسمى الإستقطاب الغشائى)، والذي يعوق إنسياب التيار. عند قطع التيار فإن الأيونات الموجبة تعيد توزيع نفسها لتعود لوضع الإتزان. توضح عملية إعادة توزيع الأيونات إضمحلال جهدى كتأثير للاستقطاب الحثى (IP). حتى الآن، عملت فقط تطبيقات محدودة جدا لتأثير الإستقطاب الحثى المصاحب لمعادن الطين.

الإستقطاب القطبى ظاهرة سطحية كالإستقطاب الغشائى. لذلك فإن تأثير الإستقطاب الحثى يكون كبير عندما يكون الخام الفلزى (الطين) منتشر أكثر منه مدمج (مضغوط).



شكل (64-6): ظاهرة استقطاب قطبى عند p، معدن الكتروليتى (أ) ظاهرة غشاء متقطب فى الطين ، (ب) أصل الإستقطاب المستحث (IP) المشارك فى الظاهرة (p)



شكل (65-6): اضمحلال جهدى لجسم صخرى يحتوى على معادن فلزية أوتراكم طينى عند قطع التيار الخارجى المطبق. يسمى الجهد المتبقى بعد قطع التيار الخارجى المطبق "بفوق الجهد" وتمد كنسبة  $\frac{V\Delta}{V}$  قياس تأثير الاستقطاب الحثى

### 2.5.6 طريقتى مجال الزمن ومجال التردد: Time-Domain and Frequency-Domain Methods

يمكن قياس الإستقطاب الحثى باستخدام كلا التيار المستمر أو التيار المتردد. عندما يقاس بواسطة إرسال نبضات تيار مستمر (مثلا لمدة عشرة ثوان) فى الأرض فيعبر عن قيمة الإستقطاب الحثى بـ  $\frac{V_1}{V_0}$  حيث  $V_1$  الجهد المتبقى عند زمن  $t$  (مثلا فى ثانية) بعد قطع التيار،  $V_0$  الجهد الموجود عند إنسياب التيار. النسبة  $V_1/V_0$  يعبر عنها بالملي فولت/فولت أو كنسبة مئوية

$$IP\% = 100(V_1/V_0) \quad (6-20)$$

تجهيزات الاستقطاب الحثى عامة تسجل اضمحلال الجهد  $V(t)$  عبر زمن محدد  $(t_2, t_1)$ . ويعبر عن النتيجة بواسطة تكامل الزمن المقاس من الإستقطاب الحثى

$$M = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt. \quad (6-21)$$

تعرف الكمية  $M$  كقدرة شحن، عامة تستخدم فى قياسات دورة زمن الإستقطاب الحثى ووحدتها بالميللى ثانية.

عندما يوضع التيار المتردد فى داخل الأرض، فإن نسبة الجهد للتيار المقاس يصبح ممانع أكثر منه مقاوم. يعتمد تأثير ممانعة ومقاومة الأرض على التردد للتيار المتردد. إذا كانت المقاومات (الظاهرية) المقاسة  $\rho_{dc}, \rho_{ac}$  للتيار المتردد المستمر، عندئذ فإن نسبة مئوية تأثير تردد الإستقطاب الحثى (IP) يعبر عنه كالآتى:

$$PFE = 100 (\rho_{dc} - \rho_{ac}) / \rho_{ac} \quad (6-22)$$

عمليا يستبدل قياس التيار المتردد المنخفض (0.1 هرتز) بقياس تيار مستمر، يتم قياس التيار المتردد وعند تردد 1 أو 10 هرتز.

التقنية المستخدمة فى الحقل لقياس IP تشبه المستخدمة لقياس المقاومة، أى قطب تستخدم فى قياس المقاومة يمكن إستخدامه لقياس الإستقطاب الحثى (IP). وتوجد الآن عدة وحدات إستقطاب حثى تجاريه (مثل هنتك، سنتركس ومكفار Mcphar and Scintrex, Huntic) ملائمة لقياس دورة الزمن ودورة التردد بتسهيلات تسجيلات أوتوماتيكية.

### 3.5.6 تطبيق وتفسير نتائج IP Data: Application and Interpretation of IP Data

#### 1.3.5.6 قاعدة التنقيب الفلزي Base Metal Exploration

المطلب الوحيد الملائم لهذه الطريقة هو البحث عن الرسوبيات الموزعة الحاوية على معادن موصلة، حيث لاتستطيع الطرق الجيوفيزيقية الأخرى تحديد مثل هذه الخامات. لاتستخدم هذه الطريقة لحل مسائل التركيبات، حيث الطرق الجيوكهربية الأخرى أفضل منها تقدا وتمد بنتائج أكثر ملائمة.

تم فى 1967 حالة إكتشاف فلزى بواسطة الإستقطاب الحثى فى منجم جورتدرم بأيرلاندا Gortdrnm, Ireland، حيث دلت عينات جيوكيميائية اقليمية لمجارى الرسوبيات فى المنطقة على شاذة نحاس تربيته متوسطة القوة. وقد استخدمت خطوط مسح الإستقطاب الحثى وقياسات المقاومة حث وضعت عند مسافات 60 وأبعاد الأقطاب المستخدمة كانت 30 متر، نسبيا، دلت النتائج كما توقعت المصادر الضحلة للشاذة الجيوكيميائية. يمثل شكل (6-66) مقطع نموذجى لبروفيلات توضح كلا من قدرة شحن إستقطاب حثى ومقاومة، وكذلك القطاع الجيولوجى التابع لها. قمة شحن الإستقطاب الحثى الملاحظ عند حوالى 17 ميللى ثانية والذى نتج من حلقة عادية لـ 2-4 ميللى ثانية. أما بروفييل المقاومة يدل على أنه لا توجد مقاومة معبرة لمنطقة التمدن بل يرى أساسا تباين مقاومة عالية بين الحجر الجيرى الدولوميتى والحجر الرملى بمباشرة قليلة عبر الفالق.

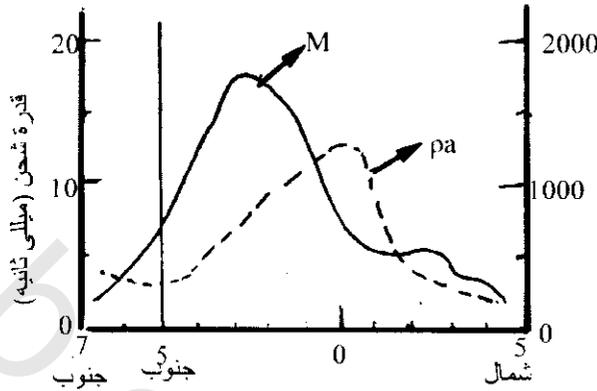
### 2.3.5.6 إستقصاءات المياه الأرضية Groundwater Investigation :

إستخدمت طريقة الإستقطاب الحثى فى البحث عن المياه الجوفيه لأول مرة فى عام 1957، ووصفت أنها نافعة فى حالتين:

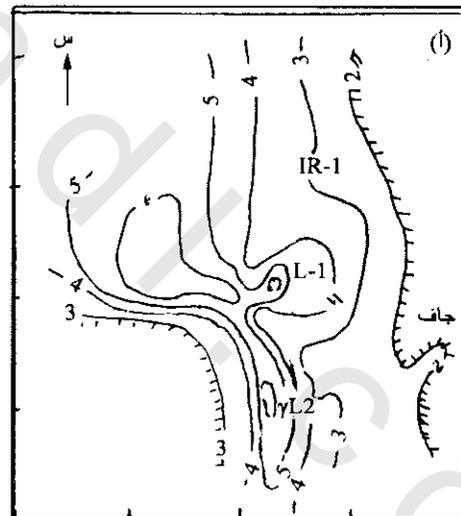
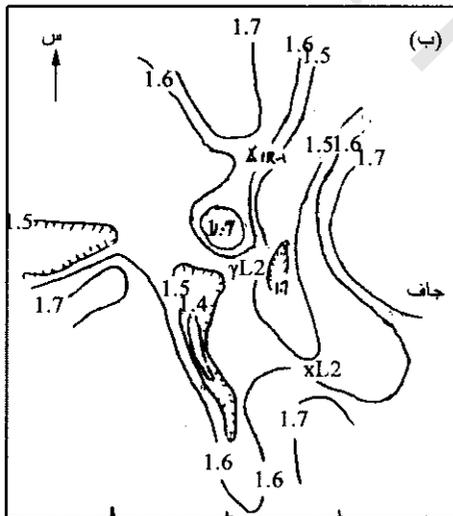
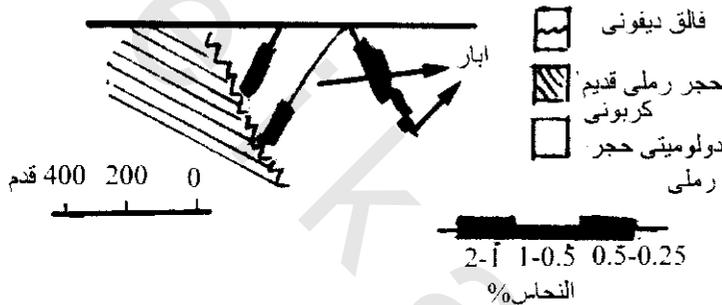
**الأولى:** بموقع بالقرب من كاريزوزو بنومكسيكو Carrizozo, New Mexico فى وادى محدد إلى الجنوب الشرقى بواسطة سيرابلانكا Sierra Blanca والذى يشمل صخور بركانية والتي منها استخرجت مياه أرضية صالحة للشرب. إلى الشمال والغرب لوئت رسوبيات الكرياتوى من وادى تولاروسا Tulorosa المياه الجوفية بالكوريدات والجبس مما جعلتها غير صالحة للإستخدام.

يوضح شكل (6-67 أ) خريطة لقيم الاستقطاب الحثى لمدة 10 ثوان بعد قطع التيار. تتجه الكنتورات تقريبا شمال-جنوب واضحة كمرآة لحدود نماذج الصرف والتي مرتبطة بكنتورات 2 ميللى /فولت فى الشرق، 3 ميلليوفولت/فولت فى الغرب. وينتج بئر المدى IR-1 بالمنطقة حوالى 4500 لتر/دقيقة لمياه رديئة النوعية نسبيا، وذلك عند استقطاب حثى ينخفض 1≈3 ميللو فولت/فولت). بالقرب من قيمة 6 ميللى فولت/فولت (L-1) ثم لاحقا حفر بئر أنتجت حوالى 450 لتر/دقيقة لنوعية مياه جيدة. ويوضح شكل (6-67 ب) خريطة لقيم الاستقطاب الحثى لمدة 5 ثوان بعد قطع التيار. فسرت الكنتورات بأنها أكثر وضوحا للفتوات المدفونة بنسب كبيرة مصاحبة لمواد حبيبية أكثر دقة.

**الثانية:** تمت تجربة معملية فى عام 1972 لمقياس نموذجى لاختيار قياسات تأثير دورة الزمن للاستقطاب الحثى فى تحديد تجمعات المياه الأرضية فى طبقة رملية تلونها طينية. بينما بعد التقاطع كمييار ثابت عبر عدسات مائية عذبة نصف كروية تنتج شاذات مقاومة كهربية عريضة، فإن شاذات الإستقطاب الحثى تكون متقاربة وشديدة الإنحدار جانبا شكل (6-68)،



شكل (66-6): بروفيلات قدرة شحن استقطاب حث (M) ومقاومة  $\rho_a$  عبر رسوبيات جورتردم لتعدن كبريتيدى موزع



شكل (67-6): (أ) خريطة استقطاب حثى فوق جهدى بعد 10 ثانية (المسافة الكنتورية 1 ميللى فولت/فولت) ، (ب) خريطة نسبة نتانج للاستقطاب الحثى بعد 5 ثوان ، 10 ثانية بعد قطع التيار عبر وادى لطبقة حاملة للمياه مدفونة بالقرب من كاريزوزو ، نيوسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية. Carrizozo, New Mexico, USA. أنتج البئر الغاطس عند 1-450 لتر/دقيقة لمياه صالحة للشرب (فاكور وآخرين 1957)

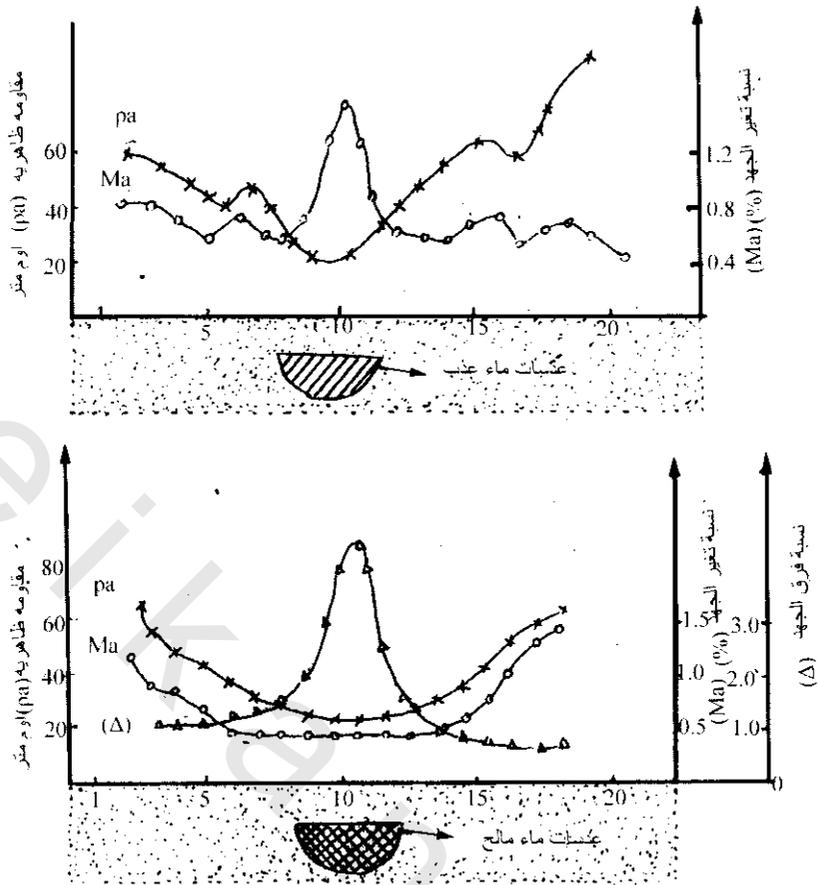
ربما، لنموذج بنفس الأبعاد والهندسية، ولكن لعدسات مياه صالحة، فإن كلا من شاذات المقاومة الظاهرية والاستقطاب الحثى يكونا عريضين فى تباين مع نسبة عبر جهود الاستقطاب الحثى بعد 0.5 إلى 5 ثانية بعد قطع التيار شكل (68-6).

من الحالتين يتضح أنه بالنسبة لخرائط دورة زمن الاستقطاب الحثى لنسبة فوق الجهد ( $\Delta$ ) لزمنين مختلفين يمكن أن يعطى حل دقيق للأجسام المياه التحت سطحية أكثر من خرائط فوق الجهد لقطع تيار لزمن منفرد. بينما يمكن أن تعطى طريقة الإستقطاب الحثى تفسير ناجح لأجسام المياه الأرضية، حيث أن الطريقة الحثية أقل عملياً من طرق الكهربية المغناطيسية الحثية، ولهذا اسبب فإنه من التانى توقفت أمثلة حديثة فى إستخدام الإستقطاب الحثى فى البحث عن المياه الأرضية.

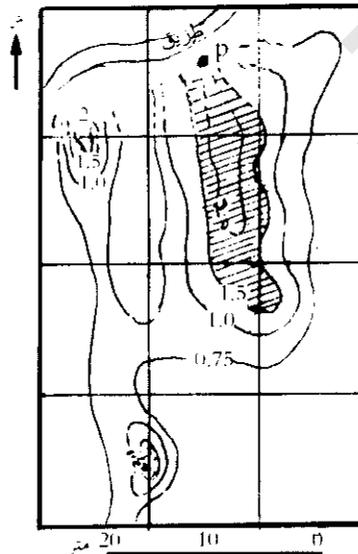
#### 4.5.6 تطبيقات بيئية Environmental Applications:

منذ 1980 بدأ الإهتمام فى إمكانية الإستقطاب الحثى فى البحث عن المواقع الملوثة، وفى عام 1985 استخدمت خواص الإستقطاب الحثى كمثال للخصور الملوثة بمواد عضوية. حيث يمكن تمثيل الكيماويات العضوية بمواد طينية، لذلك فإن الإستقطاب الحثى المسنول عن معدن الطين يعامل كتغير لمخلوط محلول كهربى. وفسر بعض المؤلفين 1992 عينات معملية لعينات طينية جليدية ملوثة بـ جليكول\* الإثيلين ethylene glycol باستخدام طرق الإستقطاب الحثى الطيفى. وقد وجدوا أن كلا من الطور وطيف المقاومة (كدالات التردد) للعينات الملوثة تختلف اختلافاً هاماً عن العينات الغير ملوثة. ولم تزل هذه التقنية أن تكون واضحة عند استخدامها لإنجاز مسح حثى تام.

فى عام 1990 أوضح بعض المؤلفين حالة دراسية، كان الحقل المستخدم فيها لمعيار استقطاب حثى فى اتصال مع قياسات معملية مناسبة، جهز هذا لتخطيط منطقة هامة ملوثة بمعقدات سيانيد والذى نشأ من نوع مادة خبث من أعمال لتغطية ألواح سابقة، واستعملوا فى دراستهم كلا من الجسات الكهربية (استخدام تصفيف شلمبرجير) ويتمثل بروفيل مقاومة بالاستقطاب الحثى (تسمى هذه الطريقة بروفيل تماثل المقاومة SRP-IP) والاستقطاب الحثى (IP) والتي تمت بهؤلاء المؤلفين. وقد فشلت طريقة المسح الكهربى فى اكتشاف التلوث حتى عند قياسها مباشرة عبر رسوبيات خبث معروفة. وبالعكس فإنه بمسح طريقة (IP-SRP) والتي استخدمت لقياس قدرة شحن، فقد تم بنجاح تحديد ليس فقط حدود الخبث المعروف ولكن تم بها أيضاً اكتشاف مساحة ملوثة غير معروفة سابقاً. وتم عمل خريطة قدرة الشحن (IP-SRP) (شكل 6-69) والتي عليها مراكز التلوث والمناطق المتأثرة ولها التي ظهرت بوضوح.



شكل (6-68): نتائج مقياس نموذج تجريبي للمقاومة الظاهرة ونسبة تغير الجهد ونسبة تغير الجهد ونسبة فوق الجهد ( $\Delta$ ) مقياسه بعد 0.5 ، 5 ثانية من قطع التيار حصل عليها عبر عدسات نصف كروية في (أ) ماء عذب، ب) ماء ملح (أوجلفي وكورينا 1972 Ogilvy & Kuzmina)



شكل (6-69): خريطة إعادة شحن عبر موقع ملوث بمركبات سيانيد، حيث الموقع المنكشف للخبث المعروف عند (p). خطوط كنتور وإعادة الشحن (المساحة المظلمة) تشير لتوضيح أرض ممتدة التلوث (كاهينا وآخرين 1990 Cahyna et al)،