

الفصل السابع

الطريقة الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Method (EM)

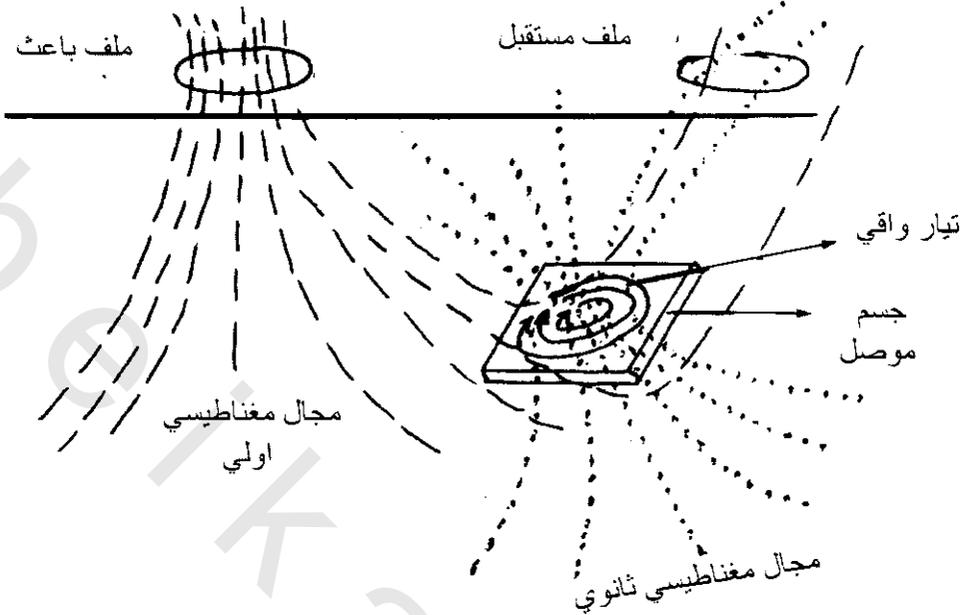
1.7 مقدمة Introduction:

من أهم الطرق الجيوفيزيائية التي تستخدم على نطاق واسع في استكشافات المعادن، حيث تعتمد على حث التيارات الكهربائية في الموصلات المدفونة، مثل بعض أجسام الخامات، بواسطة المركبات المغناطيسية للموجات الكهرومغناطيسية التي تتولد عند سطح الأرض. بالإضافة للاستكشاف المعدني فإن هذه الطريقة تستخدم لتقييم مورد المعدن، مسوحات المياه الجوفية، تخريط أماكن التلوث، استكشاف موارد الحرارة الأرضية، مسوحات مدافن الزبالة، اكتشاف الكهوف الطبيعية والصناعية، توقيع الفوالق الجيولوجية والتخريط الجيولوجي.

في هذه الطريقة، تستخدم ملفات تجبر التيارات الكهربائية الإنسياب في الأرض وتكتشف تأثيراتها. عادة يتم مسح الكهرومغناطيسية بملفين، أحدهما يسمى الباعث والآخر يسمى المستقبل. من الملف الباعث تنشأ موجات من ترددات تتراوح بين بضعة هيرتز إلى ميجاهيرتز والتي تمر من سلك ملف على الأرض أو في الهواء. تمتد المجالات المغناطيسية المتذبذبة المتولدة من التيار الكهربى كموجات داخل الأرض، وتخفف (توهن) هذه الموجات بمعدل يعتمد على التردد والخواص الكهربائية لمواد الصخر التي تمر من خلاله، حيث يصاحب التردد الأعلى معدل تخفيف أكبر. عندما تمر الموجات في جسم موصل فإنها تحث تيارات كهربية مترددة. تصبح هذه التيارات المصدر لموجات كهرومغناطيسية جديدة، والتي يمكن الكشف عنها بواسطة ملفات لاقطة مناسبة (المستقبل).

يوضح شكل (1-7) ملفى إرسال وإستقبال لمسح كهرومغناطيسي وخطوط تابعة لمجالين مغناطيسيين أولى وثانوى، التيار المنبعث من المرسل يحث مجال مغناطيسي متردد، يسمى المجال الأولي والذي يمتد خلال المنطقة المحيطة والتي تحتوى على جسم موصل. يحث هذا المجال الأولي تيار متردد لينساب خلال حلقة مطوية (عروة) داخل الموصل. يحث هذا التيار الأرضى مجال مغناطيسى آخر يسمى المجال الثانوى، والذي يمتد أيضا خلال المنطقة التي تشمل المستقبل. المجال المغناطيسى المختلط H_0 (النتائج من المجال المغناطيسى الأولي والمجال المغناطيسى الناتج من جسم موصل) يحث تيار متردد فى المستقبل، هذا التيار المقاس يمكن إستخدامه لتحديد شدة المجال المغناطيسى المختلط H_0 عند موقع المستقبل، ويكون التطبيق العادى هو مقارنة

قيمة H_s مع قيمة شدة المجال الأولى فقط H_p عند نفس موقع المستقبل وحيث أن أماكن الملف والتيار في ملف الإنبعاث يكونا معروفين، لذلك يمكن حساب قيمة المجال الناتج من الجسم الموصل.



شكل (7-1): ملفات إنبعاث واستقبال تستخدم للمسح الكهرومغناطيسي (EM)، وخطوط المجالات الأولية والثانوية التابعة لها. تحت المجال الثانوي بواسطة إنسياب التيار في الجسم الموصل

2.7 توهين مجالات الكهرومغناطيسية والعمق المخترق

Attenuation of EM Fields and Depth Penetration:

أى مجال كهرومغناطيسى ينتج خارج الموصل يوهن (يضعف أو يقل) مع المسافة داخل الموصل، ويعتمد معدل التوهين على التردد والتوصيل. يمكن إيجاد مستوى الموجه من المعادلة الآتية، لأن الإنتشار الرأسى بالإتجاه الأسفل فى نصف فراغ التوصيل σ

$$\nabla^2 H = i\omega\mu_0 H, \quad \nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E \quad (7-1)$$

حيث $\omega = 2\pi f$ زاوية التردد للمجال

$\mu =$ النفاذية المغناطيسية (H/m)

$\sigma =$ التوصيل الكهربى (mho/m) للوسط

القيمة النسبية للعبارة $\omega\mu\sigma$ تكون دلالة فيزيائية لكلا من ملاحظة توهين المجالات الكهرومغناطيسية وتولد مجالات الحث. النتائج الفيزيائية للحل هى أن المجال E أو H يوهن عند السطح فى سعة بواسطة $e^{-\alpha z}$ عند عمق Z حيث $\alpha = \sqrt{\omega\mu\sigma/2}$. العمق Z_0 التى عندها تقل السعة إلى $1/e$ (هذا يعنى 37%) من قيمة سطحها يعرف كعمق سطحى. فى بعض الأحيان ، يشير هذا العمق كعمق مخترق لموجات كهرومغناطيسية ويعطى بالمعادلة

$$Z_s = \frac{503.8}{\sqrt{\sigma F}} = 503.8\sqrt{\rho/F} \quad (7-2)$$

حيث $\rho =$ المقاومة في اوم متر = $\frac{1}{\sigma}$

$F =$ تردد للموجة الكهرومغناطيسية (هرتز)

يرى جدول (1-7) تغير العمق السطحي مع التردد والمقاومة.

جدول (1-7). تغير العمق السطحي مع التردد F لمستوى إنتشار موجه كهرومغناطيسية في نصف فراغ مقاومة (ρ) أو

توصيل (σ).

عمق سطحي (متر)				تردد هيرتز (F)
10^4 أوم متر 10^4 متر/د	10^2 أوم متر 10^2 متر/د	1 أوم متر 1 متر/د	$\rho = 10^2$ أوم م $\sigma = 10^2$ م/د	
5×10^5	5×10^4	5000	500	0.01
1.6×10^5	1.6×10^4	1600	160	0.1
5×10^4	5000	500	50	1
1.6×10^4	1600	160	16	10
5000	500	50	5	10^2
1600	160	16	1.6	10^3
500	50	5	0.5	10^4
50	5	0.5	0.05	10^6

إذا كانت الصخور السطحية لها مقاومة منخفضة ($\rho \sim 100$ أوم متر) مثلاً بسبب وجود ماء حاوي أملاح مذابة، فإن Z_s ستكون حوالي 160 متر عند تردد $F = 1000$ هرتز و 16 متر فقط عند $F = 100$ كيلوهرتز (ترددات راديو). في الأحواض الرسوبية التي لها مقاومات من رتب 1-10 أوم متر فإنها تتطلب تردد F يكون أقل من 0.1 هرتز لأعماق مخترقه لـ 1600 متر. يمكن ملاحظة أن العمق السطحي يعين فقط لتتابع طبيعي في المجال العملي، ربما، يتأثر أيضا عمق الإختراق بواسطة عوامل أخرى مثل شوشرة الأجهزة، القيمة النسبية للشاذات المتناثرة المتسببة بواسطة قرب تغيرات سطح الموصل، والشكل الهندسي الموصل عميق.

3.7 علاقة الطور بين المجال الأولي والثانوي

Phase Relation between Primary and Secondary Fields:

يرى شكل (1-7) الصورة العامة لنظام التنقيب الحثي، حيث يدور تيار متردد ذا تردد $\omega/2\pi$ وشدة I_p في ملف المصدر منتجا مجال أولي P في المنطقة المحيطة. يتناسب هذا المجال مع وفي الطور ب I_p كما في العلاقة

$$P = K I_p \sin \omega t \quad (7-3)$$

حيث تعتمد K على هندسة الجهاز، عدد اللفات، مساحة الملف. عندما يمثل المجال الأولي على الدائرة الكهربائية، يعني موصل، فإن حث المجال الكهرومغناطيسي، E_s ، في الموصل يتناسب مع \bar{P} ، ويتأخر خلف P بواسطة ربع فترة هذه تتبع القانون الأساسي للملف (قانون فراداي)، ويكون تأخر الطور في تعبير زاوي كالآتي

* وحدة المعيار العالمي SIU للتوصيل هي سيمن (Siemen) لكل متر (S/m)، والتي تكون نفس mho/m المنتشرة الإستخدام في الجيوفيزياء.

$$E_s = \pi/2 \text{ (بالنسبة لـ } P \text{) تأخر الطور} \quad (7-4)$$

باعتبار $Z_s = (R_s + j\omega L_s)$ الممانعة المؤثرة لموصل مقاومته R_s وحثه L_s ، فإن حث (دوامة) التيار المناسب في الموصل يكون

$$I_s = E_s/Z_s \quad (7-5)$$

ينتج التيار I_s والمجال المغناطيسي الثانوى بواسطة تأخر خلف مجال كهرومغناطيسى، E_s ، وذلك بواسطة تأخر طورى ϕ والذى يعتمد على خواص الموصل كما فى الدائرة الكهربية. وتعين من العلاقة

$$\tan \phi = \omega L_s/R_s$$

$$\phi = \tan^{-1}(\omega L_s/R_s) \text{ (تأخر طور د (المجال الثانوى) بالنسبة لـ } E_s \text{) } \quad (6)$$

ويمكن الحصول على الإختلاف الطورى الكلى بين المجال الأوى والثانوى بواسطة جمع المعادلة (7-4) ، (7-6) والتى تعطى

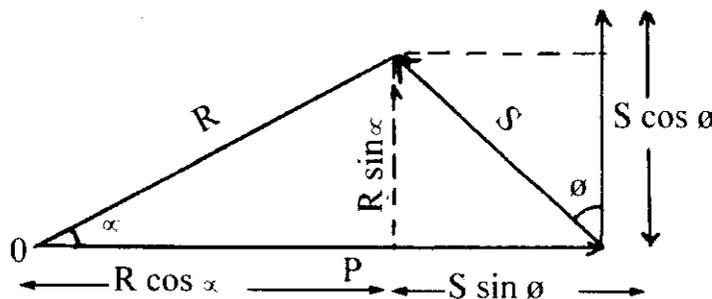
$$\begin{aligned} \phi + \tau/2 &= \text{تختلف طورى (S بالنسبة لـ } P \text{)} \\ &= \tau/2 + \tan^{-1}(\omega L_s + R_s) \end{aligned} \quad (7-7)$$

ويتبع ذلك أنه عندما يوجد موصل جيد فإنه عندما $(\omega L_s/R_s) \ll \phi = \pi/2$ يكون طور S غالبا 180° خلف P. ولموصل ضعيف جدا $(\omega L_s/R_s) \ll \phi = 0$ فإن تأخر طور S يكون 90° خلف P. هذا التأخر الطورى للمجال الثانوى S يقيس التوصيل.

4.7 المركبات الحقيقية والتخيلية لمجالات الكهرومغناطيسية

Real and Imaginary Components of EM Fields:

يعطى إشتراك المجال الأوى P والثانوى S محصلة (R)، والتى تقاس بواسطة الكاشف. ويوضح شكل (2-7) رسم متجهات العلاقة الجيدة بين P، S، R. تكون مركبة R المنطبقة الطور مع P هي $R \cos \alpha$ ، وهذه تسمى المركبة الحقيقية أو فى طور مركبة. عند 65° تكون المركبة خارج الطور هي $R \sin \alpha$ وتسمى المركبة التخيلية أو مركبة تربيعية. تعتبر المصطلحات الحقيقية والتخيلية أصلية فى نظرية دائرة الكهربية المترددة وبصرف النظر يستخدم معناها المعجمى.



شكل (2-7): العلاقات الطورية بين المجال الأوى P، والثانوى S والمحصلة R. من المهم ملاحظة أن المتجهات تمثل فقط علاقات زمنية متبادلة وليست اتجاهات خاصة للمجال

أيضاً يمكن حل المجال الثانوى إلى مركبة حقيقية للقيمة $S \sin \phi$ والمركبة التخيلية لقيمة $S \cos \phi$. وتكون نسبة السعة للمركبات الحقيقية (R_e) والتخيلية (I_m) للمجال الثانوى علاقة لزاوية الطور ϕ ، وتبسط بواسطة

$$R_e/I_m = \tan \phi = \omega L_s/R_s \quad (7-8)$$

ويكون الموصل أفضل بزيادة نسبة R_e/I_m .

5.7 إستقطاب القطع الناقص للمجال الكهرومغناطيسى: Elliptical Polarization of EM Field

عندما يثار الموصل التحت سطحى بواسطة المجال الأوى فإن محصلة المجال المقاسة بواسطة الكاشف (الملف الباحث) تكون إشتراك للمجالين الأوى والثانوى. ومن المعادلات السابقة يمكن كتابة تعبيرين لهما كالتالى:

$$P = A \sin \omega t \quad (7-9)$$

$$S = B \sin (\omega t - \pi/2 - \phi)^2 \quad (7-10)$$

حيث A ، B دالات للشكل الهندسى للباعث والموصل، والكاشف، وبترتيب (7-9)، (7-10) وحذف ωt لصفر قيمتها بعد التربيع وحل المعادلتين تكون الصيغة النهائية هى

$$\frac{P^2}{A^2} + \frac{S^2}{B^2} - \frac{2PS \sin \phi}{AB} = \cos^2 \phi \quad (7-11)$$

وهذه معادلة القطع الناقص.

التحليل السابق حالة خاصة للمجالين P ، S المتجهين فى الفراغ عند زوايا قائمة من واحدة لأخرى. ربما، يمكن رؤية أنه بصرف النظر عن أعداد المجالات الثانوية وبصرف النظر عن سعتهم، أطوارها واتجاهاتها، فإن محصلة P ، S تمثل بواسطة متجه فردى R والذى ترسم راسه قطع ناقص ($\omega/2\pi$) عدة مرات لكل ثانية.

ربما يقع القطع الناقص فى أى مستوى فراغ مائل عن الأفقى أو الرأسى. لذلك يكون من الواضح توجيه الملف الباحث دائما حتى يقع فى مستوى القطع الناقص ويعرف ذلك عندما يحصل على إشارة الصفر الحقيقية. أيضاً، يحصل على أكبر وأصغر محاور للقطع الناقص وذلك عند وضع الملف عمودى على مستوى القطع الناقص وقياس أكبر وأقل إشارات محثة فيه كلما أدير خلال انقلاب واحد كامل. تحدد هذه المحاور السعات للمركبات الحقيقية والتخيلية لمجال المحصلة. وقد وضعت بعض طرق الكهرومغناطيسية على تحديد القطع الناقص المستقطب.

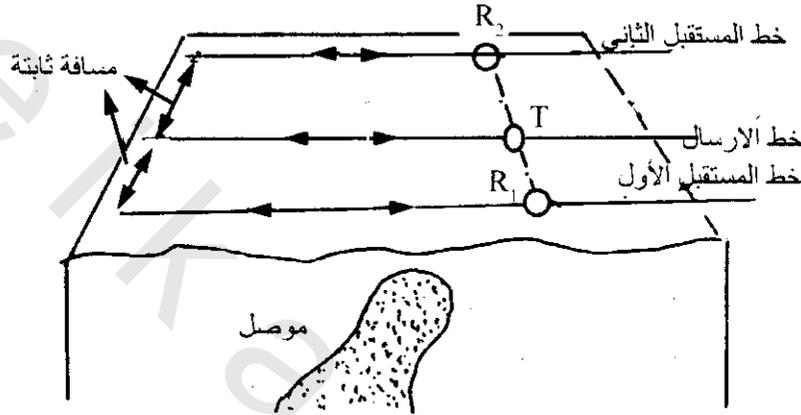
هنا، سنلقى الضوء تقريبا على نوعين لتشكيلين مؤثرين للكهرومغناطيسية حيث أنهم أوسع إنتشارا للإستخدام.

(1) قياسات زاوية الميل، والتي تعمل على الأرض بجهاز محمول خفيف الوزن.

(2) إستخدام ملفات أفقية عند مسافات ثابتة وهى ملائمة للمساحة الأرضية والجوية.

1.5.7 مسح كهرومغناطيسي خط موازى ميل زاوية: Parallel-Line Dip Angle EM Surveying:

يقاس إتجاه المجال المغناطيسي المختلط بواسطة مسح خط كهرومغناطيسي موازى ميل الزاوية، حيث يوضع ملف الإنبعاث (T) فى مكان عمودى على خط المستقبل (R_1) على أن يكون على بعد مسافى كما فى شكل (3-7)، عندئذ يدار ملف الإستقبال على محور باتجاه المصدر حتى يصل للمكان الذى لا يوجد فيه تيار يحث. فى هذا المكان يكون الملف موازى بالضبط لإتجاه المجال المغناطيسى المختلط، والذى لا يقطع أى نوع من خطوط القوى. عند هذا الوضع تقاس زاوية ملف المستقبل.

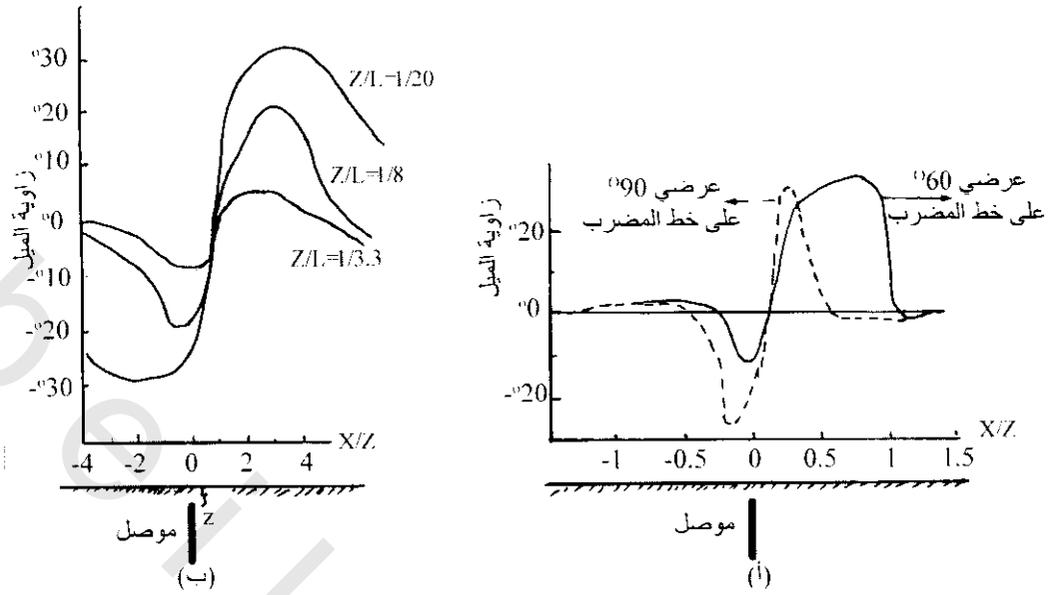


شكل (3-7): أماكن ملفات الإنبعاث والإستقبال لمسح كهرومغناطيسى خط موازى ميل الزاوية ، بعد القياسات من هذه الأماكن ، تحرك الملفات بمسافات متساوية على طول بروفيلات مقابلة ، وتكرر الطريقة

بعد ذلك، يحرك الباعث والمستقبل بمسافات متساوية على طول خطوط بروفيلات متوازية وتؤخذ قراءات أخرى. بهذه الطريقة يقدم المسح قراءات مأخوذة جميعها عند مسافات متساوية على طول بروفيل بينما تكون المسافة بين الباعث والمستقبل ثابتة. ولمسح أسرع يستخدم مستقطبين R_1 ، R_2 واللذان يعملان فى نفس اللحظة على طول بروفيلين على جانبي الباعث شكل (3-7).

لأن ملف الباعث يكون فى وضع رأسى، فإن المجال الأولى سيكون أفقيا عند مكان المستقبل. لذلك عند عدم وجود أجسام غير موصلة، فإنه سوف لا يحث تيار فى ملف المستقبل عندما يكون أفقيا، ولا يحث التيار إذا وضع المستقبل مباشرة فوق الجسم الموصل عندما يكون المجال الثانوى أيضا أفقيا. فى أماكن أخرى، عندما يكون المجال الثانوى مائلا، فإن زوايا ميل الملف تتغير على طول البروفيل القاطع فوق الجسم الموصل من موجب لسالب من جهة لأخرى. عادة، تحلل زوايا قياسات EM المقاسة بواسطة مقارنتها بالمنحنيات الخاصة لتركيبات مثالية، حيث أن العمليات الرياضية للتعبير عن هذه التأثيرات معقدة. توضح المنحنيات الخاصة فى شكل (4-7) كيف أن زاوية الميل تختلف عبر الموصل وذلك لتعاود مستوى اللوح.

هذه المنحنيات ترى أيضا أن عمق الموصل يمكن تحديده من مدى ميل الزوايا، المدى الصغير يتبع العمق الكبير، إذا كان العمق صغير جدا، فإن مدى الزوايا المقاسة على طول البروفيل تكون ± 30 درجة. عندما تكون نسبة العمق (Z) إلى مسافة الباعث L تزيد إلى الثلث فيكون مدى زوايا الميل أقل من ± 10 درجة. أيضا ترى هذه المنحنيات كيف أن النتائج تكون منحرفة إذا كان البروفيل غير عمودى على مضرب مستوى الموصل.

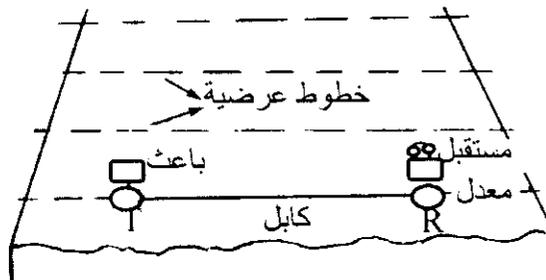


شكل (4-7): (أ) منحنيات توضح تغير زاوية الميل على طول بروفيلات تعبر لوح رأسى موصل عند زوايا مختلفة، (ب) منحنيات ترى تغير في زاوية الميل عن لوح رأسى موصل عند أعماق مختلفة (Z/L) حيث L المسافة بين الباعث والمستقبل (تلفورد، جلدارت، شريف وكيز 1976 Telford, Geldart, Sherif and Keys 1976)

أعطى كثير من مسوحات ميل زوايا بسيطة لـ EM لتحديد أهداف لاختبارات حفر أو أنواع أخرى من القياسات الجيوفيزيائية. مدت هذه المسوحات أساس معلومات دلالية عن مكان ومضرب الجسم وتعين عمقه.

2.5.7 مسح كهرومغناطيسي أفقى حلقى مطوى (عروة): Horizontal-Loop EM Surveying:

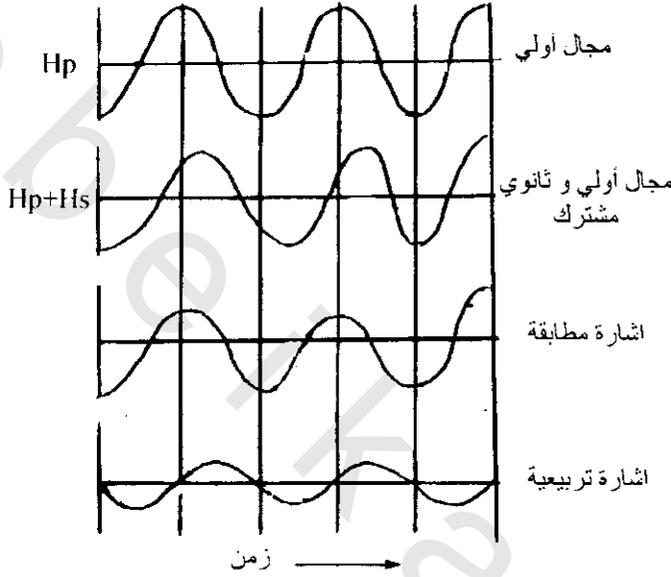
لهذا المسح توجه ملفات الإنبعث والإستقبال (تقريباً ذا حجم متساوى، أفقياً في نفس المستوى. تؤخذ القراءة على طول بروفيل عندما يكون الباعث والمستقبل في خط واحد وأبعاد ومسافات ثابتة شكل (5-7) للمسح الأرضى، يكون المقابل بين الملفين مفيد لحفظ نفس البعد للملفات وكموصل مرجع إشارة لتزامن الملفات.



شكل (5-7): طريقة مسح كهرومغناطيسي أفقى حلقى. بعد أخذ القراءة يحرك كلا من الباعث والمستقبل على طول الخطوط العرضية وتؤخذ قراءات أخرى. مع الأخذ في الإعتبار ثبات المسافة بين الباعث والمستقبل

وكجميع أنظمة الكهرومغناطيسية فإن التيار المتردد يحدث في المستقبل بواسطة إشتراك المجالات المغناطيسية الأولية والثانوية المترددة. يستخدم هذا التيار لتحديد شدة المجال المغناطيسي المشترك عند مكان معين. هذا القياس لشدة المجال يعالج بطريقة هامة للحصول على القراءة.

لتوضيح ماذا يعمل، يقارن شدة المجال المتراوح عند المستقبل بشدة المجال الأولى فقط. يرى شكل (6-7) أن المجال المشترك له سعة مختلفة، ولذلك قممه وقيعانه تزاح بالنسبة للمجالات المزاحة في المجال الأولى. هذه الإزاحة تسمى إزاحة الطور.



شكل (6-7): مجالات مغناطيسية أولية وأولية ثانوية مشتركة متبادلة عند موقع ملف استقبال كهرومغناطيسي، وإشارات متطابقة وتريبعية مضافة مع بعضها لإنتاج مجال مشترك. قيست سعات الإشارات تبع شكل (6-7) المتطابقة والتريبعية عند كل موقع تسجيل على طول خطوط عرضية في منطقة المسح

يمكن إعادة إنتاج شكل المجال المشترك رياضياً بواسطة دالتي جيب زاوية المنحنيات والتي لها نفس التردد ولكن يكونا في طور 90° متفاوت الطور بالتتابع مع المجال الأولى. هذا يعني أن القمم والقيعان لواحدة من هذه الموجات الصورية (المسماة إشارة في طور)، تكون في خط مع هؤلاء من المجال الأولى. وتكون القمم والقيعان للموجات الصورية الأخرى، المسماة إشارة مربعة، في خط مع النقط المتوسطة (المنصفة) بين القمم والقيعان للمجال الأولى. الإشارات منطبقة الطور أو المربعة ترى في شكل (6-7).

بواسطة التحليل الإلكتروني للدائرة الكهربائية والإشارة المرجعية الأولية الموصلة خلال الكابل من الباعث إلى المستقبل، يمكن تحديد سعات إشارات منطبقة الطور والمربعة. هذه القيم تصنع القراءات عند موقع معين بهذه الطريقة تعمل قراءات متتابعة حيث يحصل عليها بواسطة باعثات ومستقبلات متطورة على طول البروفيل، مع دوام المحافظة على نفس البعد.

عادة تحلل تغيرات إشارات منطبقة الطور والمربعة بواسطة مقارنتها مع المنحنيات الخاصة لنماذج مثالية لأجسام موصلة. يوضح شكل (7-7) أنماط تعبر عبر لوحة مستوى رأسى لمعاملات توصيل مختلفة. التركيبات البسيطة مثل ألواح رأسية أو مائلة فإن تعبيرات تطابق الطور والمربع يمكن التعبير عنها رياضياً، للتركيبات الأكثر إنعدام نظام الشكل، فإن العمليات الرياضية تصبح غير عملية ومعقدة. لذلك فإن مسئولية الحصول من التركيبات المعقدة على نتائج يمكن اختيارها بنماذج معملية احتمالية تقاس لإعادة إنتاج حالات طبيعية.

عادة وزن أجهزة هذه الطريقة طفيفة ومن السهل حملها، أيضاً أقطار الباعث والمستقبل حوالى 3 أقدام، ووحدات التحليل الإلكتروني يمكن حملها على الكتف لإثنين من الراصدين.

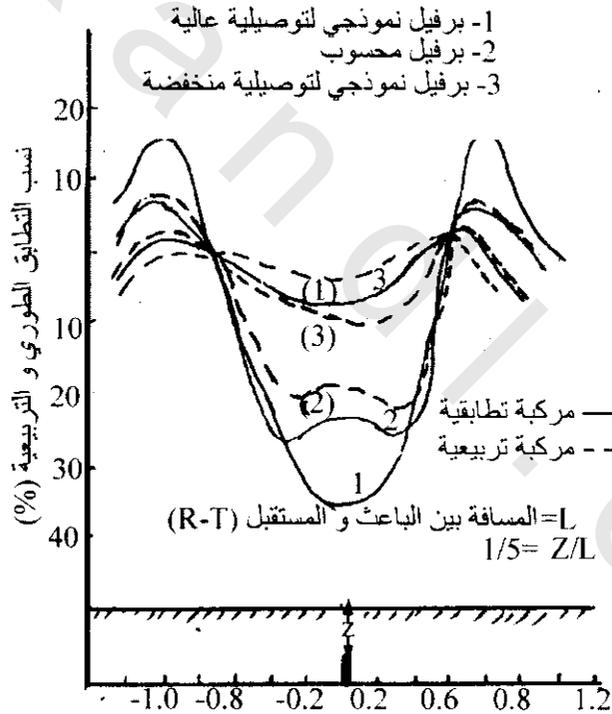
مما سبق يتضح أنه لقياس الأعماق بتطبيق طريقة الكهرومغناطيسية فإنه إما:

(1) تغيير مسافة التباعد بين حلقة الإرسال وملف الإستقبال.

(2) تغيير التردد مع الإحتفاظ بمواضع الإرسال والإستقبال ثابتة.

وعادة ما يفضل عامة تغيير التردد، حيث أن التغيير فى المواضع للوحدات السطحية ربما يؤدي لتأثير غير مرغوب فيه.

يتضح أيضا مما سبق أن النظرية التى تفسر بواسطتها معلومات الإستطلاع الرأسى ليست صعبة التطبيق حيث يمكن ملائمة نماذج بسيطة مع التركيب التحت سطحى ويمكن إكتشاف العمق لقمة طبقة سميكة وموصلة تماما تأتى أسفل غطاء رسوبى ذى مقاومة غير محدودة وذلك بقياس نسبة السعات للمجالات المغناطيسية الأفقية إلى المجالات المغناطيسية الرأسية والتى ترصد على السطح. فى هذه الحالة، يعين العمق Z لشريحة أفقية موصلة بمقارنة هذه النسبة عند قيم متغيرة للمسافة الأفقية بين الإرسال والإستقبال (X) باستعمال منحنى لوغاريتمى يحسب لنسبة عمق (Z) مختلفة مع المسافة الأفقية (X).



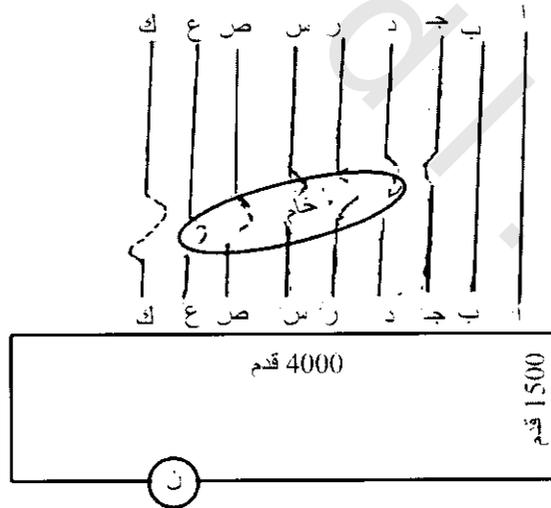
شكل (7-7): منحنيات توضح تغير إشارات تطابق طوري وتريبيجي على طول بروفيل عابر للوح موصل رأسى شبه لانهاى عند عمق ثابت وله قيم توصيلية مختلفة. قيم منحنيات 1، 3 مفاصة عبر نماذج ومنحنى فى محسوب من تعبيرات نظرية (تلفورد، جلدارت، شريف وكيس 1976 Telford, Geldart, Sheriff and Keys)

6.7 طرق الإستكشافات التحت سطحية: Subsurface Exploration Methods

1.6.7 طريقة صندبرج Sundeberg Method:

وصفت هذه الطريقة بواسطة زوشلاج Zuschlag 1932 وفي هذه الطريقة تفسر المعلومات باستعمال المعادلات والمنحنيات التي تحسب للوح أو عدة ألواح رقيقة موصلة. يسرى التيار من كابل نحاسي معزول، يتصل بمصدر لتيار متردد، ويمتد على طول السطح، إما كسلك طويل يتلامس مع الأرض، أو كحلقة كبيرة معزولة على شكل مستطيل. يوضع عدد من بروفيلات إستقبال مستعرضة عموديا على السلك المتلامس مع الأرض، أو إلى جانب واحد للحلقة. تقاس المركبة المغناطيسية للمجال الكهرومغناطيسي الذي يحدث عند نقط متفرقة على طول البروفيل بواسطة ملفات بحث خاصة تتكون من عدة مئات من لفات سلكية. يستعمل على الأقل ترددان وتقاس الأعماق بمقارنة النتائج عند ترددات مختلفة. الكمية التي توقع فعليا في الخرائط هي النسبة لشدة المجال عند كل نقطة قياس إلى التيار في حلقة المصدر.

يوضح شكل (7-8) تطبيق طريقة صندبرج، حيث حلقة المصدر مستطيلة الشكل طول بعديها 1500، 4000 قدم، حيث يسرى التيار عبر حلقة أرضية، وتحرك ملفات البحث على طول خطوط مستعرضة مثل pp، ب ب' وهكذا. وتبين الخطوط المتقطعة إستجابة نسبية لملفات البحث الرأسى كدالة للموقع على طول الخط الأرضى. وتدل الخطوط المتقطعة على موضع الجسم بالمنطقة حيث يسجل فوقها إستجابة مغناطيسية مميزة، وإذا أمكن تقريب الجسم الخام إلى شريحة ماء، فمن الممكن تعيين عمقه بقياس المركبات المناظرة للمجال متفقا أو متفاوتا في الطور مع إشارة المصدر.



مصدر تيار متردد قوي

شكل (7-8): الكشف عن جسم خام موصل أسفل غطاء رسوبي ضحل بواسطة الحث الكهرومغناطيسي

إستعملت هذه الطريقة لاستكشاف البترول على أعماق ضحلة قبل أن تتطور الطرق السيزمية لرسم خرائط فعالة للتركيبات الضحلة، وأيضا خطت لبعض الفوالق بهذا الأسلوب. تستعمل هذه الطريقة الآن في الإستكشاف المعدنى فقط.

2.6.7 طريقة تورام Turam Method:

تشبه طريقة صندبرج، ولكن تختلف عنها فى رصد النسبة لشدة المجال عند نقطتين بدلا من الشدة عند نقطة واحدة. وكما فى حالة صندبرج، يستعمل ترددان فى حدود من 100 إلى 800 هرتز. يطرح كابل بطول عدة كيلومترات كمصدر موازى لخط الإتجاه المتوقع ويتلامس مع الأرض عند نهايته. تقرأ ملفات القياس زوجيا على طول خطوط متعامدة مع الكابل، حيث تكون المسافة بينهما عامة فى حدود 25 متر. ثم بعد ذلك ترصد النسب المتطورة والمتفاوتة طوريا، فضلا عن نسبة السعة واختلافات زاوية الطور.

3.6.7 طريقة المصدر المتحرك Moving Source Method:

تتطلب هذه الطريقة مولدات وحلقات مصدر أصغر وأكثر سهولة فى النقل عما يستعمل فى الأساليب الفنية للمصدر الثابت، التى يستخدم فيها غالبا ملفات كبيرة معزولة أو أسلاك طويلة تتلامس مع الأرض.

فى هذه الطريقة يستعمل تشكيل جانبي أفقى لتنفيذ معظم المساحات الكهرومغناطيسية بهدف تحديد مكان المواضع الأفقية للأجسام الموصلة المدفونة أفضل من تحديد أعماقها، وفيها يستعمل كلا المصدرين الثابت والمتحرك فى المساحات التى توصل لهذا الغرض. تتضمن طريقة المصدر المتحرك زحزحة كل من المصدر والمستقبل عادة بطريقة تحافظ على تباعد ثابت بينهما. المشكلة الرئيسية فى هذه الطريقة هو الإزدواج المتغير بين المصدر والموصل. وهذا يسبب تغيرات فى الإستجابة التى لا تقترن بالموصل تحت سطح الأرض مما يسبب صعوبة التفسير.

ملحوظة:

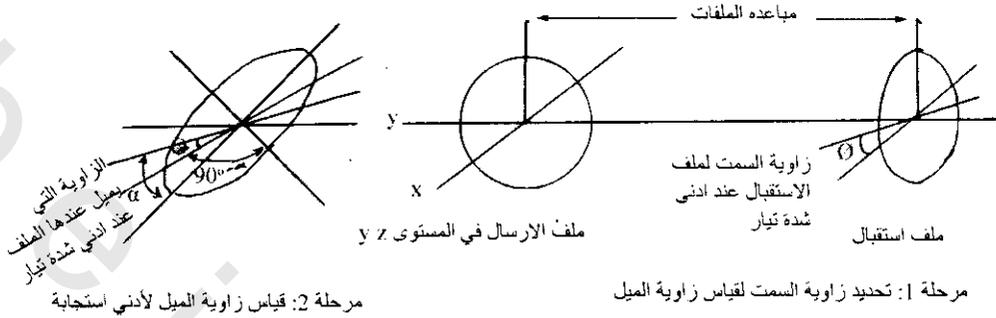
- 1- طرق المصدر الثابت تصمم عادة بطريقة تحفظ الإرسال عند موضع واحد وتحرك حلقة الإستقبال فوق المنطقة التى تستكشف.
- 2- تصمم بعض الطرق لقياس الإتجاه للمجال التائىرى فقط، حيث تكون عالية الحساسية ولا تتطلب أجهزة معقدة.
- 3- تتجنب هذه الطرق الإحتياج لقياس إشارة مقارنة تفرق بالمصدر نفسه، وهذا مطلب صعب فى تحديد السعات النسبية للمجالات التائيرة.
- 4- تعطى المجالات المرصودة عند موضعين أو النسبة لمركبتين ترصدان عند نفس المكان معلومات عن المقاومة النوعية لتحت السطح ولكن تكون النتائج صعبة التفسير.

4.6.7 طريقة زاوية الميل أو طريقة الحلقة الرأسية Dip Angle Method or Vertical Ring Method:

وفىها يقاس الإتجاه للمجال عامة، حيث توضع حلقة المصدر فى المستوى الرأسى وتوصل حلقة الإستقبال بمقياس يستخدم لقياس الزاوية مع الأفقى للمستوى الذى تقع فيه عندما يبلغ الجهد التائىرى ذروته. تقاس اولا زاوية السمات لأدنى إستجابة لحلقة الإستقبال عندما تكون رأسية شكل (7-9) ويمكن إستخدام هذا الأسلوب الفنى إما مع تشكيل مصدر ثابت أو مصدر متحرك. عندما تفسر قياسات زاوية الميل بعناية، يمكن إن تعطى معلومات عن المواضع الأفقى، خط الإتجاه، الميل، العمق، الطول والموصلية لشريحة موصلة مدفونة.

5.6.7 طريقة سلينجرام Slingram Method:

في هذه الطريقة تستعمل حلقات متنقلة تشابه تلك المستعملة لقياس زوايا الميل بمصدر متحرك، ولكن تقاس نسبة المركبات المتطورة على المركبات المتفاوتة الطور للجهد التأثري



شكل (7-9): طريقة زاوية الميل أو تشكيل ملفات الإرسال والاستقبال للحلقة الرأسية لمسح كهرومغناطيسي، حيث نفذت القياسات على مرحلتين.

بمقياس النسب. غالبا ما تكون كلا الحلقتين في مستوى أفقي وتستعمل واحدة أو إثنين من الترددات الثابتة مع تثبيت المسافة بين الحلقات، وعادة ما توضع خطوط اعتراضية عمودية على الإتجاهات الإقليمية. تشبه المعلومات التي يمكن الحصول عليها من قياسات سلينجرام تماما لتلك التي يحصل عليها بطريقة زاوية الميل عندما يكون الموصل شريحة ذات ميل فردي أو سلسلة رقائيق متوازية وعلى مسافات متجاورة تكافئ في الخواص الكهربائية حاجزا صحيحا عرضيا.

تدخل طرق المصدر المتحرك، زاوية الميل وصندبرج في التشكيل الجانبي الأفقي حيث تنفذ بها معظم مساحات الكهرومغناطيسية بهدف تحديد مكان المواضع الأفقية للأجسام الموصلة المدفونة أفضل من تحديد أعماقها. والمصدر الأكبر في صعوبة تفسير معطيات التشكيل الجانبي الأفقي هو تأثير المادة الموصلة في الصخر المجاور جانبا لأجسام الخام المستكشفة وفي الغطاء الرسوبي الذي يعلوها. التغيرات في الموصلية النوعية للغطاء الرسوبي يمكن أن تعطى شادات تشابه تلك المصحوبة بأجسام الخام والتي ربما تخفي تأثيرات موصلات عميقة ذات أهمية اقتصادية.

7.7 تفسيرات نتائج الكهرومغناطيسية Interpretation of EM Data:

عموما يكون تفسير نتائج مجال الكهرومغناطيسية نموذج ملائم لتفسير نتائج أنواع أخرى لمجالات الجهد. يتم هذا بواسطة مقارنة الشادات الملاحظة مع المحسوبة أو المقاسة المطابقة لنماذج موصلات لأشكال وأحجام ومعاملات توصيل مختلفة. يقارن التفسير الكمي الغير مباشر ببروفيل أو إثنين مختارين لشادة مع مجموعة من البروفيلات النظرية الناتجة من نماذج مختلفة. نظريا، التطبيقات المحسوبة العائدة لموصلات متساوية تكون محدودة بأشكال بسيطة كالكرة، لوح غير محدود وشكل طباقى نصف فراغ. لحسن الحظ لا يوجد اضطراب لإستخدام حلول نظرية تمنع في إضافات تفسيرية مجمعة، طريقة النموذج للحصول على أعماق مطابقة نظرية جيدة جدا في الممارسة.

8.7 تجارب نموذجية Model Experiments:

لإنشاء أنظمة نموذجية يكون من الضروري فهم القاعدة النظرية للقياس. ويكون من المفيد قياس متطلبات الكهرومغناطيسية (EM) فى أشكال غير بعيدية (P/S) حيث P، S المجال الأولى والثانوى عند نقطة الرصد. وكقاعدة يوجد أربع معاملات شاملة لإنتاج هذا المطلب: المقاومة ρ (أوم متر)، تردد F (S⁻¹)، النفاذية المطلقة μ (أوم ث/م) والقياس الخطى للنموذج (الطول l) (متر). من اعتبارات الأبعاد تكون اقرار مباشر بأن نسبة $P \ell^2 F \mu / \rho$ = غير بعيدية لنظام النموذج، وهذا يعنى نظامين بنفس نسبة P سوف تعيد إنتاج نفس المطلب (P/S) بصرف النظر عن القيم الحقيقية (ℓ, μ, F, ρ).

أيضا يمكن الإستغناء عن النفاذية المطلقة، حيث يكون الإهتمام عامة بموصلات غير ممغنطة ($\mu = \mu_0$). لذلك إذا إستخدم مقياس n:1 لإبعاد خطية لنموذج الموصل ضد هؤلاء لمقياس طبقة موصلة طبيعيا تامة فى الحقل سيحصل على العلاقة الآتية

$$(p/F)_N = n^2(p/F)_M \quad (7-12)$$

حيث N، M (الدلائل السفلية) تستخدم لمقياس موصل طبقة طبيعية كامل ونموذج الموصل بالتتابع.

تكون 200 لمعامل مقياس N نموذجية لأنظمة نماذج الكهرومغناطيسية. وهذا تابع لمعادلة (7-12) حيث أن إقلال البعد الخطى بواسطة 200 يتطلب تغير معد لزيادة فى التردد بواسطة 200 وزيادة فى التوصيل (إقلال فى المقاومة) للنموذج بواسطة 200.

عمليا، يفضل حفظ نفس التردد فى النموذج كما فى نظام مقياس المجال الكامل ($F_N = F_M$)، وهذا يسمح أكثر باستخدام نفس الأجهزة فى المعمل والحقل، وكنتيجة تبسيط المعادلة (7-12) إلى $\rho_M n^2 = \rho_N$ وعندما تكون $\eta = 200$ فإن هذا يتطلب ρ_M تكون 40,000 مرة أقل مقاومة من ρ_N . هذا المطلب للوح موصل سمكه 5 مم زنك ($\rho = 6 \times 10^{-8}$ أوم متر) سوف يكون هو نفسه لـ 1 مم سمك طبقة موصلة كاملة فى الحقل. مثال ذلك، عرق خام مقاومته $200 \times 6 \times 10^{-8} = 2.4 \times 10^{-3}$ أوم متر، عندئذ سيكون البعدين الباعث والمستقبل 0.50 متر بدلا من 100 متر، ويبدل هذا البعد على عمق 10 متر للموصل وهكذا لجميع الأطوال المتضمنة.

يحدد إختيار النماذج للألواح الموصلة الأكثر أو الأقل فلزية ($\rho \approx 10^{-6} - 10^{-8}$ أوم متر). ربما تستخدم ألواح فلزية من الألومنيوم، النحاس الأصفر والزنك لمحاكاة أغلب أجسام الخامات الموصلة، وتجاريا يستخدم الجرافيت والكربون ($\rho \approx 10^{-4} - 10^{-6}$ أوم م) لمحاكاة أجسام التوصيل المنخفضة. وقد نفذت تجارب نموذجية لتجميع منحنيات الكهرومغناطيسية المطلوبة بواسطة أغلب شركات التعدين ومقاولى الجيوفيزياء. حاليا توجد كتالوجات لمثل هذه المنحنيات لجرانت وويست Grant and West 1965، وارد Ward 1967، تلفورد وآخرين Telford et al وفيرما Verma 1977.

9.7 غموض فى تفسير الكهرومغناطيسية EM: Ambiguity in EM Interpretation:

بعيدا عن الغموض الأساسى والذى يلازم تفسيرات جميع نتائج مجال الجهد، توجد بعض مشاكل معينة تسبب صعوبة فى تفسير مستقيم بروفيل الشادة الكهرومغناطيسية. عامة، تكون أحد المشاكل الكبيرة لجميع طرق

ميل الزاوية هي التمييز بين معامل توصيل كبير والعمق البسيط لمدفون، وهذه تشكل صعوبة لبيان أيهما شاذة ترجع إلى موصل متوسط عند عمق ضحل أو موصل جيد عند عمق كبير.

في كثير من الأحوال يمكن إزالة هذا الغموض بواسطة جعل القياسات عند ترددتين مفصولين جيدا كل عن الآخر. يحسن التردد العالي مطلب الظواهر السطحية (مثل الغطاء الموصل، تركيز المياه الجوفية)، بينما يحسن التردد المنخفض تأثيرات الموصلات التحت سطحية.

أحيانا، تظهر مشكلة أخرى وهي أن غطاءات معينة (مثل الطين) تظهر كأنها موصلات جيدة ك بعض أجسام الخامات التي تشكل صعوبات للتمييز بين تأثيرهما. ربما يحل هذا الغموض بواسطة عمل قياسات بنظام مصدر ومستقبل متحركين مع اختلاف أبعاد الباعث والمستقبل. تدل تأثيرات غطاء الموصل الضحل على كبر نسبي للأبعاد الصغيرة وصغر للأبعاد الكبيرة، وسوف لا تتغير تأثيرات الموصلات العميقة بدلالة مع تغير متوسط بعد الباعث - المستقبل وربما تزيد أيضا بزيادة البعد. لذلك يكون جمع الترددتين وتقنيات تعدد البعد مفيد جدا في إزالة بعض الغموض.

10.7 الإستكشاف الكهرومغناطيسي الجوى Airborne EM Surveying:

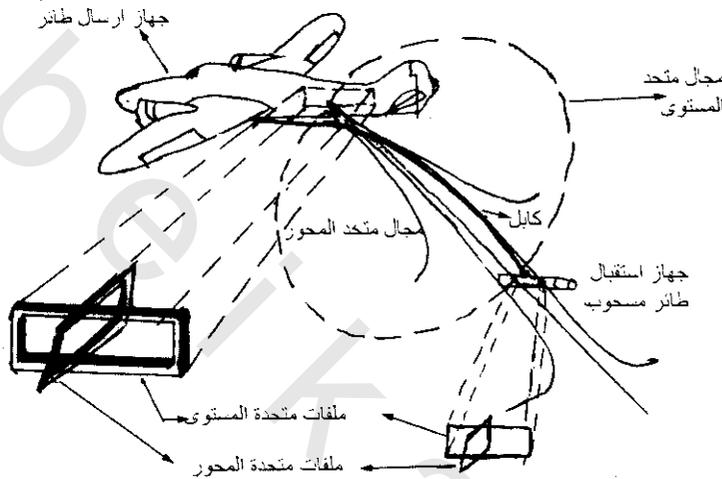
منذ بداية الخمسينات في القرن الماضي، تزايد استخدام المسح الكهرومغناطيسي بواسطة أجهزة محمولة جوا. وذلك بغية تحديد موقع خامات الكبريتيدات. وفائدة هذا المسح الجوى هو سرعة التغطية وتوفير النفقات، ولكن المشاكل الفنية أصعب من المسح الأرضي، ومن بين هذه المشاكل:

- (1) المبعاد المحدودة بين المصدر والمستقبل.
- (2) الحساسية الإستثنائية المطلوبة لالتقاط الإشارات الضعيفة العائدة للسطح عندما يجب أن يكون مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية الأولية، لأسباب أمنية، على ارتفاع من 200 إلى 500 قدم فوق سطح الأرض.
- (3) مستوى التشويش الأعلى الذى يدخل حركة حلقة الإستقبال فى المجال المغناطيسى الأرضي.

وصف بيمبرتون 1962 طرقا للحصول على الحساسية الضرورية فى المسوحات الجوية، حيث وضح أن الترتيب الأسهل هو وصل كل من حلقتى الإرسال والإستقبال بطرفى الجناحين المتقابلين. ترتيب آخر هو أن جهاز الإستقبال مسحوب فى طائرة يتصل بطائرة الإرسال بواسطة كابل طويل. أيضا ربما تكون حلقة الإستقبال فى طائرة أخرى تطير عن قرب خلف الطائرة التى تحتوى على جهاز الإرسال. هناك نظام آخر مصمم لإرسال نبضات عابرة بطريقة متقطعة، ويقاس الإستقبال أثناء الفترات التى ينقطع عندها المجال الأولي.

تستعمل أنواع من الأنظمة للعمليات الكهرومغناطيسية الجوية، ففى طريقة تورنكفيست 1958 Tornqvist توصل حلقتى الإرسال إلى الطائرة، واحدة منها فى المستوى الأفقى والأخرى فى المستوى الرأسي. تسحب حلقتى الإستقبال من نفس الطائرة أو من طائرة ثانية توجه فى نفس الإتجاهات المناظرة. يبين شكل (7-10) هذا الترتيب كما طبق بواسطة الشركة الدولية للنىكل International Nickel Company. ترسل حلقتى الإرسال مجالات مغناطيسية مترددة لنفس التردد والسعة، ولكنها متعامدة الطور وبهذه الطريقة يتولد مجال مغناطيسى دوار. يسجل الفرق بين الإشارة من عنصر إستقبال واحد مزاح فى الطور بزاوية 90° بالنسبة للآخر بواسطة

مسجل، فإذا لم يكون هناك موصل أسفل الطائرة، فإن الإشارتين تكونان متطابقتين، لدرجة أن الفرق بينهما بعد الإزاحة سوف يكون صفراً، وعلى ذلك فإن أثر المسجل سوف يعرض تشويشا فقط. بسبب وجود موصل ما، مثل جسم خام فرقا بين الإشارتين، ويرصد هذا الفرق على هيئة إشارة على التسجيل. ويسجل الفرق في السعة وزحزحة الطور برواسم منفصلة، وأى جسم خام موصل موجود أسفل الطائرة فإنه يظهر على كلا الرسمين.



شكل (7-10): ترتيب الملفات في تسجيل كهرومغناطيسي كما نفذ بواسطة الشركة العالمية للنيكل International Nickel Company (دووست (Dowsett) 1970

باستخدام طائرة واحدة، يسحب الطائرة الحامل لجهاز الإستقبال على بعد 500 قدم خلف الطائرة، وأيضا لمنع إصطدام الطائرة، يجب أن تطير الطائرة على ارتفاع لا يقل عن 400 قدم. أما في حالة إستخدام طائرتين يمكن سحب الطائرة الحامل لجهاز الإستقبال على بعد 50-60 قدم ويمكن أيضا خفض ارتفاع الطيران إلى 300 قدم. عند هذا الارتفاع، ومباعدة بين الطائرتين حوالي 800 قدم، يمكن اكتشاف أجسام موصلة توجد على عمق يصل 1500 قدم تحت سطح الأرض بواسطة آثار الإشارة.

من الطرق الفنية الأخرى الشائعة للاستكشاف الكهرومغناطيسي، توفيق طريقة سلنجرام للاستكشاف الجوي بأساليب فنية ذات قياس عالي الحساسية. لذلك توصل الحلقات المثبتة إلى طرفي الجناحين المتقابلين (للتوجيه الراسي في نفس المستوى)، أو للمقدمة أو لذراع بارزة من الذيل (لترتيب رأسى متحد المحور). تستخدم هذه الطريقة ترددا فرديا يتراوح من 300 إلى 4000 هرتز. نظام الدخول يسجل على ست قنوات بطريقة آلية، بحيث تمثل كل منهما ترددات مختلفة. في حالة القياسات الأرضية، لاتكون المعلومات غالبا جيدة ما بسبب التشويش، وبالتالي فإن التفسير المحتمل ينتج بأسلوب نوعي. هذه المشكلة تعتبر مقبولة، حيث أن الهدف الأساسي لمثل هذه المساحة هو فصل الشادات ذات القيمة الاقتصادية عن تلك التي تفقدها، وبذلك يتم تحديد مواقع المناطق الهامة للبحث المكثف.

11.7 الإستكشاف الكهرومغناطيسي البحري Sea Borne EM Surveying:

الفرق بين تطبيق الإستكشاف الكهرومغناطيسي الجوي والبحري يكون كبير من ناحية القياس، فبينما تشمل المسوح الجوية ارتفاعات طيران لعدة عشرات إلى مئات من أمتار بمسافات باحث يستقبل من 20-135 متر فإن نظم المسح البحري ربما يكون له عشرات من الكيلومترات. عادة إنتشار نظم الإستكشاف الكهرومغناطيسي

البحرى يكون لمقاييس كبيرة لفحص القشرة الأرضية وتتطلب أجهزة خاصة مغلقة (شاف وآخريين Chave et al 1991). توجد أمثلة قليلة حيث استخدمت أنظمة أرضية فى قوارب مطاطية مملوءة بالهواء ومقطورة عبر بحيرات مائية عذبة ضحلة وأنهار فى الفحوصات الهندسية.

الطرق الأساسية التى تطبق للاستخدام فى البيئة البحرية هى مجنيتو-تليورك (MT) Magneto-Telluric مقاومة مجنيتو مترك (MMR) Magnetometric Resistivity ومجال أنظمة التردد والزمن Frequency and Time-domain system (F, TDS). العامل الحرج فى جميع الجسات الكهرومغناطيسية البحرية هى أن الماء يكون موصلاً للغاية ويكون أكثر توصيل من المواد الأرضية الجيولوجية عند أو تحت سطح أرضية البحر. يعتمد توصيل مياه البحر على الملوحة ودرجة الحرارة. الجزء الأعلى للرسوبيات تحت المحيط عادة تكون مشبعة بالمياه ولها معاملات توصيل من رتبة 1-0.1 S/متر. تقل هذه القيم بزيادة التحجر والتغيرات الرسوبية التى تقلل المسامية فى موضعها. تتراوح معاملات توصيل القشرة البازلتية وبيردوتيت أعلى من 0.1 S/متر عند قاعدة للرسوبيات الفوقية إلى ثلاث رتب لقيم أقل عند عمق حوالى 10 كم.

12.7 طرق تحكم مصدر الكهرومغناطيسية Controlled-Source EM Methods:

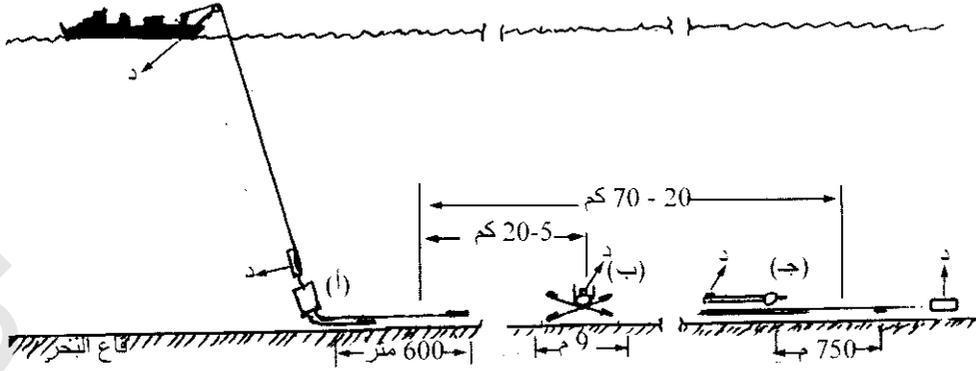
تستخدم أنظمة تحكم مصدر الكهرومغناطيسية مصادر تغير زمنى كهربى ومغناطيسية ثنائى القطب لأشكال هندسية معروفة ليحث تيارات كهربية فى أوساط توصيلية مختلفة موجودة. ويمكن تحديد صيغة الكهربائية أو المغناطيسية للتيار الحثى، من التى تعذر من تركيب موصل كهربى رأسى لمواد جيولوجية موجودة ممكن صنعها، يوجد أربع أنواع أساسية لمصدر-استقبال ولكن عديدة التجمع. الأربعة هى:

ثنائيات كهربى رأسى وأفقى (VED and HED) Vertical and Horizontal Electric Dipoles

ثنائيات مغناطيسية رأسية وأفقية (VMD and HMD) Vertical and Horizontal Magnetic Dipoles

فى تباين الأرض مكافئ أساسى فليتحكم مصدر EM البحرى فإن كلا من المصدر والمستقبل يغمر فى وسط موصل، والتركيب الكهربى فى كلا من ماء البحر والمواد تحت قاع البحر مؤثر فى إتمام الحث الكلى. ولذلك يجب إتخاذها فى الإعتبار فى التفسير النمونجى. فى الحالات التى تشمل مياه ضحلة مثال ذلك عبر إنحدار القارات، فإنه أيضا يجب الأخذ فى الإعتبار مكان تداخل الهواء مع سطح الماء.

سيوصف باختصار ثلاثة أنظمة، اثنين مجال-تردد، وواحد مجال-زمن، لتوضيح التباين لتيارات الأنظمة التى تتطور. الأول يكون نظام ثنائى مجال تردد كهربى أفقى تحت بحرى (HED) والذى أنتج بواسطة معهد سكريس لعلوم المحيطات Scripps Institution of Oceanography للجساب العميقة لغللاف المحيط الصخرى. يكون المصدر كابل معزول طوله (1-0.5 كم) نهايته أقطاب صلب لاتصدأ طولها 15 متر. توضع المستقبلات المكتشفة للمجال الكهربى الأفقى على قاع البحر على بعد من 1-200 كم من المصدر كما فى شكل (7-11).

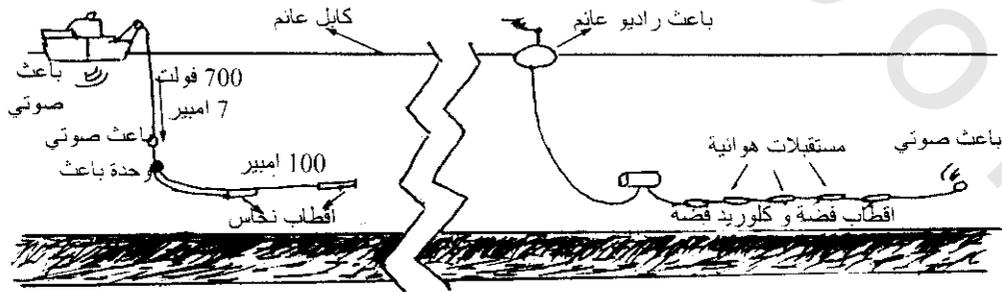


شكل (7-11): تخطيط نموذجي لثنائي قطب كهربى أفقى (HED) لتجربة جس عميق. تمد القوة من مصدر سطحي (مثل سفينة) إلى باعث (أ) أرضى بحرى خلال موصل مفرد مع توصيلية عودة مياه البحر، يشمل الباعث هوائى عازل (فى نهايات قضيب طوله حوالى 600 متر. توضع المستقبلات على مدى 5 إلى 70 كم من الباعث. ربما تكون المستقبلات إما مسجل مجال كهربى (ELF) (ب) مع زوج صلب هوائى متعامد بمسافة امتداد 9 متر. أو (ج) مسجل هوائى كهرومغناطيسى طويل (LEM) حيث يقاس الجهد بين نهايات من 200-300 متر لسلك نحاس معزول. يستخدم أثقال صوتية ناقلة (د) لتحديد جميع التركيبات على أرضية البحر من المركب الموجودة على سطح الماء (شاف وآخرين Chave et al 1991)

يسقط المجال الكهربى (ELF) الحر على مسجل يتكون من زوج لإيرىال متعامد صلب قوى طول كل منهم 9 متر إلى نهايات مثبتة من أقطاب فضة-كلوريد فضة. تنتشر مستقبلات المجال الكهربى (ELF) ما بين 5، 20 كم من الباعث.

يتكون طول إيرىال مسجل الكهرومغناطيسية من 200-3000 متر لسلك نحاس معزول ينتهى بواسطة أقطاب طولها نصف متر من فضة-كلوريد فضة. ويوضع هذا الإيرىال على بعد 100 كم أو أكثر من المصدر.

يكون النظام الثانى أيضا لمجال التردد والمنتج بواسطة معهد سكريبس Scripps لاستخدامه عبر المنحدرات القارية الضحلة شكل (7-12). يصنع الباعث من أنبوبتين نحاسيتين طولهما 7 متر وقطرهما 7 سم متصلين بواسطة 50 متر من كابل مزود بطاقة مباشرة من مركب المسح. تتكون صفوف المستقبل من سلسلة أقطاب فضة-كلوريد فضة على طول كابل ممتد لعدة مئات من الأمتار، جميعها فى تلامس مع قاع البحر. تكون مقدمة نهاية صفوف المستقبل وحدة تتصل بعانم وباعث راديو. يتصل العانم بقارب المسح بواسطة حبل عائم والذى يمكن تغيير طوله لتغير بعد المصدر-المستقبل. تسمح النقطة التى لها سطح إنبعث رديو لمبدل الزمن الحقيقى لقياس النتائج من وحدة التسجيل الغاطسة التى أيضا تخزن النتائج على شريط لنقلها مباشرة لمركب المسح.



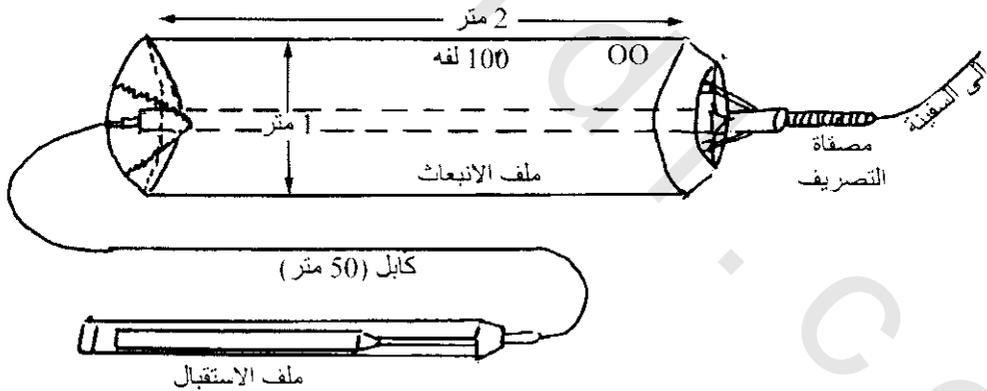
شكل (7-12): رسم تخطيطى يوضح مكونات نظام تردد-بروفيل مقطور. تقطر مصادر الهوائيات مباشرة خلف سفينة البحث وتعطى قوة بواسطة مولدات السفينة. تقطر هوائيات الإستقبال طافية خلف أجهزة الراديو وتتكون من أقطاب مصقوفة من الفضة وكلوريد فضة. تستخدم البواعث الصوتية لتحديد المواقع (شاف وآخرين Chave et al 1991)

النظام الثالث، مجال-زمن، ثنائي قطب المغناطيسية الأفقية (Horizontal Magnetic Dipole HMD) شكل (7-13). طول الباعث الأسطوانى 2 متر، وقطره 1 متر (من ألياف زجاجية) والتي فيها يمدفن بانتظام 55 لفة سلك. يمد الباعث بتيار من بطارتي عرية موضوعة على قارب المسح. ويعكس التيار المستقطب كل 5 متر ليمد إشارات كهرومغناطيسية عابرة. يصنع المستقبل من قلب ملف حديد معدل مغلف في أنبوبة كربونية متعددة مربوطة خلف الباعث بـ 50 متر. توضع المجموعة الكلية للباعث -المستقبل على قاع البحر ويستقر خلال كل قياس والذي يؤخذ كل 90 ثانية يحفظ تقدم قارب المسح بواسطة مد كابل إضافي خلال فترات القياس ويلف الكابل الإضافي بين نقط المسح. ميزة هذا النظام أن نظام مجال المصدر-المستقبل يكون نسبيا صغير مع تقدم تابع في سهولة الإستخدام.

سهولة العمل يكون عامل كبير في الإعتبار لأى من هذه الأنظمة لكي تصبح عملية إقتصادية.

13.7 المسح الكهرومغناطيسى للآبار Borhole EM Surveying:

بينما أنظمة المسح الكهرومغناطيسى (EM) الأرضى والجوى له أشكال هندسية منتظمة للمصادر والمستقبلات، فإنه في حالة المسح الكهرومغناطيسى للآبار يضاف بعد ثالث يؤدي لزيادة عدد الإمكانيات ولكن مع تعقيدات مضافة للتفسير. يختلف مسح الآبار كهرومغناطيسيا عن تسجيلات الآبار التأثيرية، والتي تستعمل بتوسع خلال صناعة الهيدروكربون، بواسطة خاصية القدرة لكشف الأجسام الموصلة عند مسافات معينة بعيدة عن البئر. هذه الظواهر تستشعرها أجهزة تسجيل الحث فقط من خلال مرورها الحقيقى بالآبار أو خلال حقل قريب حول البئر شكل (7-14).



شكل (7-13): رسم تخطيطي لباعث ثنائي قطب مغناطيسى أفقى (HMD) والمتصل بالسفينة بكابل. المستقبل مصنوع من ملف متخالف اللف على قلب حديد وموضوع في إسطوانة بلاستيكية للحماية ومسحوب خلف الباعث بـ 50 متر. (شاف وأخرين 1991 Chave et al)

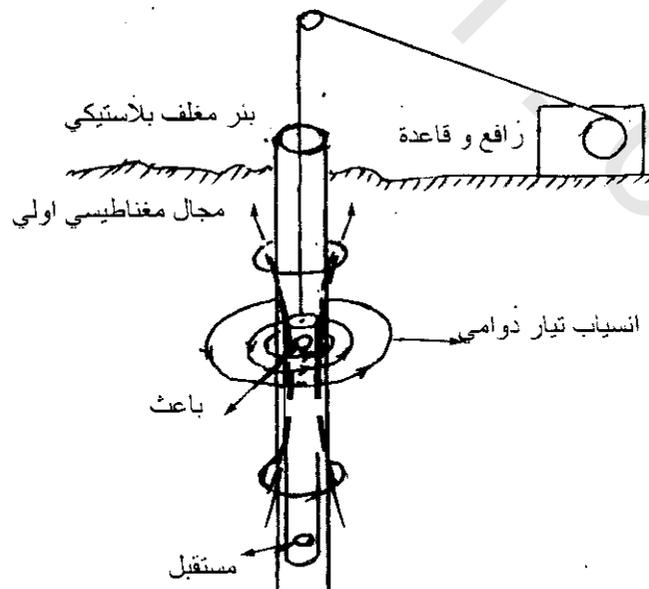
يكون أساس العمل كنفس قياسات التوصيلية الأرضية، حيث يقدر النظام لقياس توصيلية المواد خارج بئر مغلف بلاستيكي أو بئر بأقطار في مدى 5-20 سم. وتكون القياسات عادة حساسة أكثر لسوائل الآبار الأكثر توصيلية خلال الغلاف (ماكنيل وآخرين 1988 McNeil et al). يحث التيار الإضافي مركزيا حول البئر باستخدام لفة داخلية ذات بعد 0.5 متر. يمد هذا الشكل تحليل رأسى ملائم بينما يحفظ في نفس الوقت مدى إشعاعي كاف للفحص.

يوجد ثلاثة أنواع لأنظمة المسح البئر. طريقة ثنائى قطب. ثنائى قطب كهرومغناطيسى-طريقة باعث كهرومغناطيسى دوار وطريقة حلقة كبيرة كهرومغناطيسية وهذه الطريقة شائعة الإستخدام فى التنقيب المعدنى. قواعد الأشكال الهندسية لهذه الطريقة شكل (7-15)

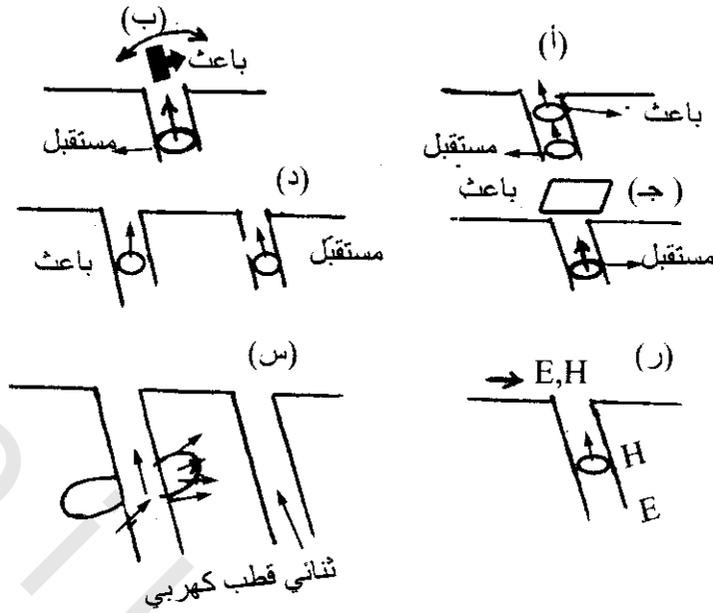
نظام ثنائى-ثنائى القطب له ملفات متحدة المحاور مفصولة بواسطة تجمع قضبان من ألياف زجاجية بباعث سابق المستقبل أسفل البئر المحفور. تؤخذ نقط القياس كنقطة متوسطة بين الباعث والمستقبل. تقاس مركبات الطور والمربعات للمجال المغناطيسى الثانوى كنسبة مئوية للمجال الأول، وذلك بنشر جهاز أسفل البئر على سلسلة من القضبان، يمكن إستخدام الطريقة فى قرب أفقى وميل أعلى الآبار، وعندئذ تحدد فقط بواسطة القدرة لحركة المسبارات خلال البئر.

يحول نظام الباعث الدوار لطريقة ثنائى القطب-ثنائى القطب، مع بقاء الباعث عند جابه الحفار خلال المسح بينما يحرك المستقبل أعلى وأسفل البئر شكل (7-16). يتحرك مسبار المستقبل أسفل البئر فى مسافات منفصلة لعدة أمتار لكل زمن. يدار سطح ملف الباعث عند كل نقطة قياس حتى وصول نقطة الصفر فى الحساس وتسجل زاوية الميل التابعة لذلك، وتشبه الطريقة تقنية زاوية الميل السطحية.

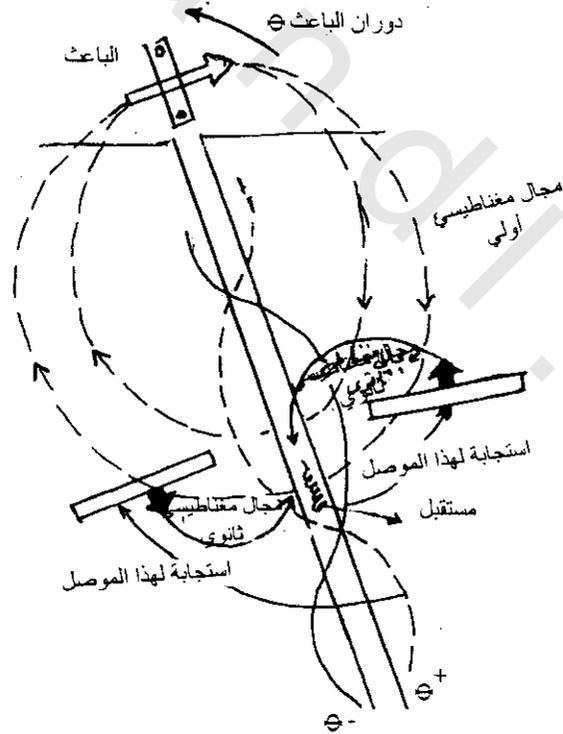
الترتيب العام لمسح الآبار يرى فى شكل (7-17) حيث تنتشر حلقة الباعث عند سطح الأرض المجاور لأسفل البئر ويحرك الكاشف للحصول على البروفيل. تتراوح أبعاد الحلقة الأرضية من 100 إلى 1000 متر وتقارن لعمق البئر المحقق فيه. يكون الحل كافياً يهدف موصل أسفل السطح بواسطة حلقة أرضية واحدة فى إتصال مع بروفيلات أسفل عدد من الآبار من السطح وذلك من خلال شرفة منجم. فى المقابل فإن شكل (7-18أ) يوضح أنه إذا كان بئر واحد ملائم فإن خاصية حلقة واحدة لاتمد بمعلومات سمتيه ضرورية لتحديد الهدف. تبعاً لذلك، توضع عدة أماكن حلقيه حول جلب البئر شكل (7-18 ب) يمكن إستخدامها لتمد بمعلومات إضافية مطلوبة.



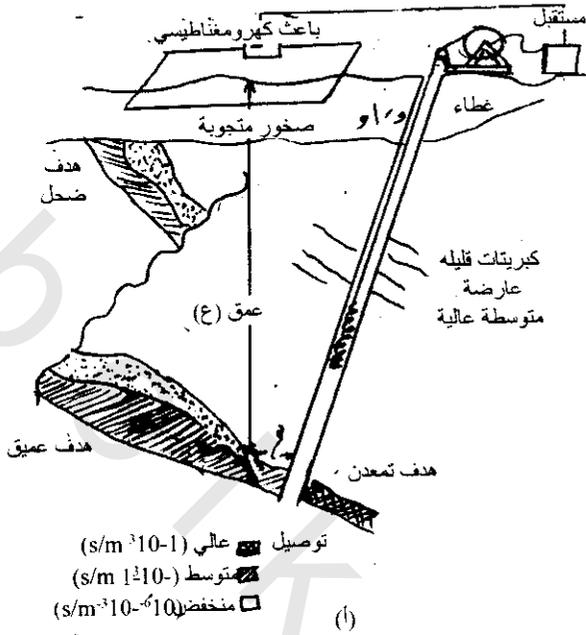
شكل (7-14): القاعدة الأساسية خلف تسجيل كهرومغناطيسية حثية لاستخدامها فى الآبار (ماكنيل 1990 McNeil)



شكل (15-7): نظام كهرومغناطيسي للآبار (أ) ثنائي قطب-ثنائي قطب كهرومغناطيسي، (ب) باعث كهرومغناطيسي دوار (يرى على الجانب)، (ج) حلقة كهرومغناطيسية كبيرة، (د) ثنائي قطب بنري كهرومغناطيسي، تغير مصدر راديو لـ (p) باعث استشعاري (مثل مصدر راديو VLE لقياسات أسفل البئر لمجالات كهربية أو مغناطيسية، س) إنتشار موجي من بئر لبئر



شكل (16-7): مجالات مغناطيسية منتجة بواسطة باعث دوار وهدف موصل . يدور ملف الباعث حول محور عمودي على مستوى الشكل الموصل اليميني للبئر ينتج مركبة سالبة للمجال المغناطيسي الثانوي عند المستقبل الموجود في البئر. دوران الباعث في اتجاه دوران الساعة (+) يكون مطلوب لإنتاج صفر بواسطة تعادل المجال المغناطيسي الثانوي مع مركبة الأولى ، بفرض إهمال تغير ازدواج الباعث-الموصل عندما يميل الباعث (دايك 1991 Dyck)

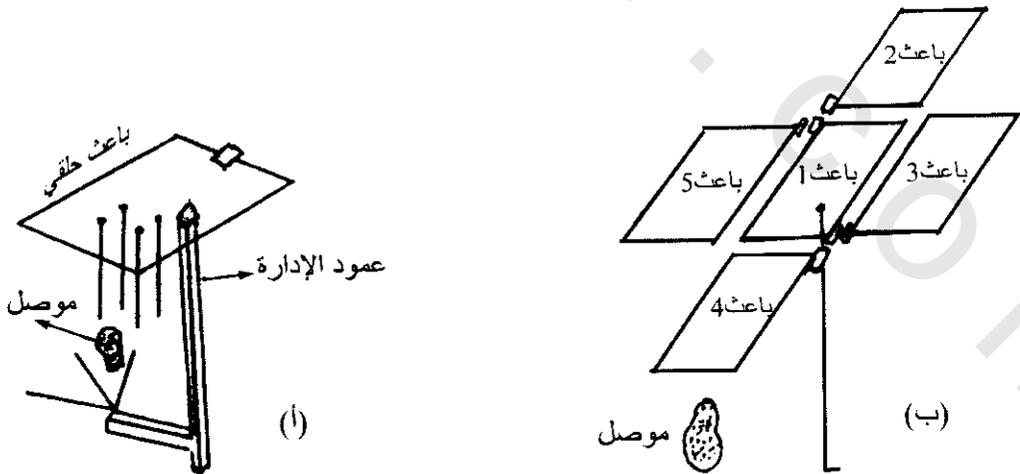


شكل (17-7): شكل تخطيطي يوضح طريقة حلقة كبيرة لحفر بئر لإستكشاف كبريتات في بيئة مقاومة كبيرة مثل صخور ما قبل الكمبري. يشمل النظام على باعث، وإعادة وضوح المسافة الحرجة (س) في الإستكشاف البئر المحتمل شموله على هدف توصيلي عالي عند عمق (ع)، ربما يوجد أيضا أجسام أخرى موصلة (دايك 1991 Dyck)

14.7 طرق التفسير Interpretation Methods:

1.14.7 طريقة البروفيل وجس العمق Profiling and Depth Sounding Method:

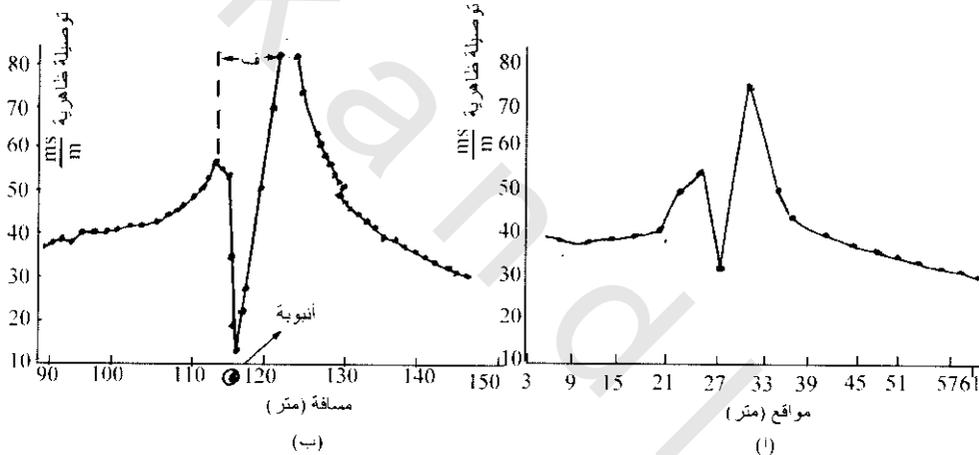
يمكن تحليل نتائج الكهرومغناطيسية بطرق عديدة مختلفة، تبعا للهدف الذي هو فيه مطلوب. يمكن رسم المعاملات المقاسة كبروفيلات أو كشبكة ثم ترسم خرائط كنتورية والتي عليها يمكن تحديد مناطق الشواذ، وهذه تقرب الإتجاه إلى تفسير كمية والدرجة الأولى.



شكل (18-7): تخطيط مساح بواعث (أ) مجموعة من جلب حفر الآبار تحت الأرض، (ب) بئر مفرد مغزول. البواعث من 1-5 متتابعة المواقع لحلقة إنبعث (كرون 1986 Crone)

للخرائط الاستطلاعية أو "شاذة إستطلاعية" ربما يكون التفسير الكمي لها كاف. ربما يوجد شراك معينة تحدث إهمال حيث لا توجد تسجيلات مطابقة (الإيجابية) خاصة لظواهر محددة. مثلا، يكون هناك خطأ عند استخدام نظام ثنائي الملف (مثل جيونكس EM31)، حيث ينتج الهدف قمة مفردة فقط عبر هدف موصل رفيع، وتكون الشاذة الاستطلاعية (عالية) مشحونة بخطأ التفسير.

باعتبار بروفييل موصل ظاهري نموذج منتج عبر أنبوبة غاز فلزية قطرها 10 سم مدفونة عند حوالي 1 متر شكل (7-19) فإنه يظهر وضوح لقمتين بانخفاض قوى أو حتى سالب حادثتين مباشرة عبر الهدف. يلاحظ أن المسافة (ف) بين قمتي الشاذة هي بعينها طول ثنائي القطب. دائما تضبط مسافة القمة الداخلية، إذا أشار الإستطلاع إلى البعد الداخلي للملف المستخدم، عندئذ يكون الهدف المسبب للشاذة عند نقطة المنتصف بين الملفات. بالإعتماد على عينات مسامية نسبة إلى مكان الهدف، فربما تكون قمم وانخفاض الشاذة طفيفة العرض أو أضيق من طول واحد لثنائي القطب وذلك بواسطة إختيار عينة تكون مائلة نسبيا للهدف شكل (7-19ب). ربما تكون نفس التأثيرات أكثر خضوعا مع أبعاد داخلية كبيرة للملفات.



شكل (7-19): (أ) شاذات توصيلية ظاهرية أفقية ملوثة بسبب عينات خاصة غير ملانمة، (ب) مثالي تأثير فلزية (أنبوية غاز) على نتائج التوصيلية الظاهرية، المسافة (ف) تساوي البعد الداخلي للملف

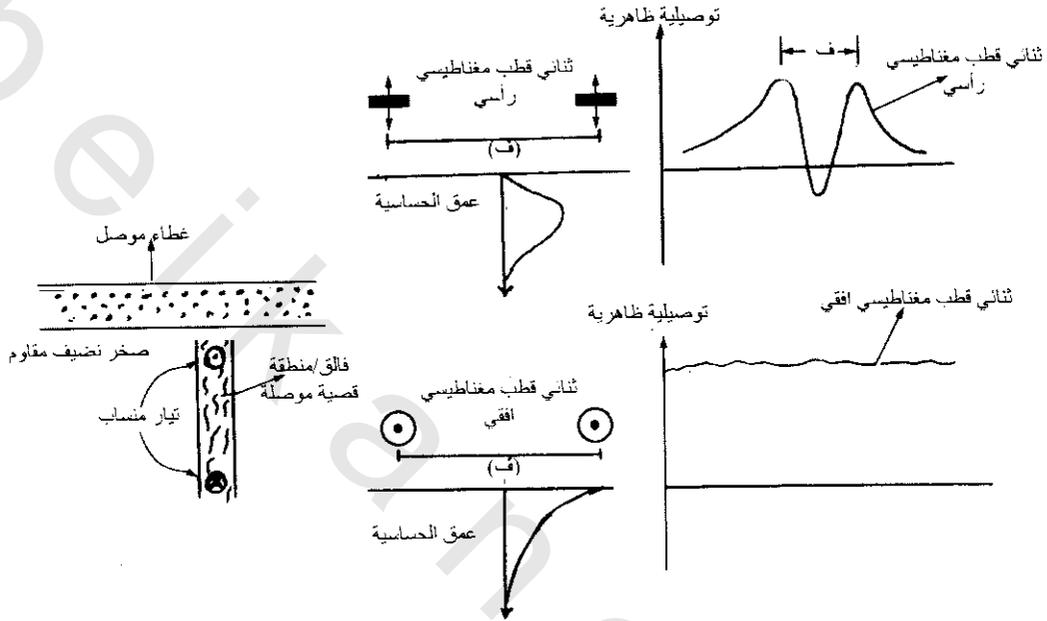
بالمثل، يعتمد جدا شكل الشاذة على كيفية استخدام إتجاه ثنائي القطب. مثال لمخارج مختلفة من كلا إتجاهات ثنائي القطب عبر موصل راسي لنفس بعد داخلي للملف شكل (7-20).

يلاحظ أيضا تأثير ملوث خاص في نتائج الشبكة. إذا كان تجهيز العينة خشنا جدا، فإن الشاذات الناتجة من اهداف (خاصة ثلاثية الأبعاد) ربما يكون تأثيرها ناعم ربما تخطى الأهداف.

2.14.7 تحليلات الحاسب الآلي Computer Analysis:

أكثر التحليلات الكمية تكفل باستخدام سوفت وير، ويمكن ذلك بواسطة تقديمين (أ) استخدام نتائج الكهرومغناطيسية لتشكيل حساب العمق عند مكان موقع مفرد & (ب) تكفل بروفييل كهرومغناطيسي على طول خط أو عبر شبكة لإنتاج قطاع جيوكهربى ذا بعدين.

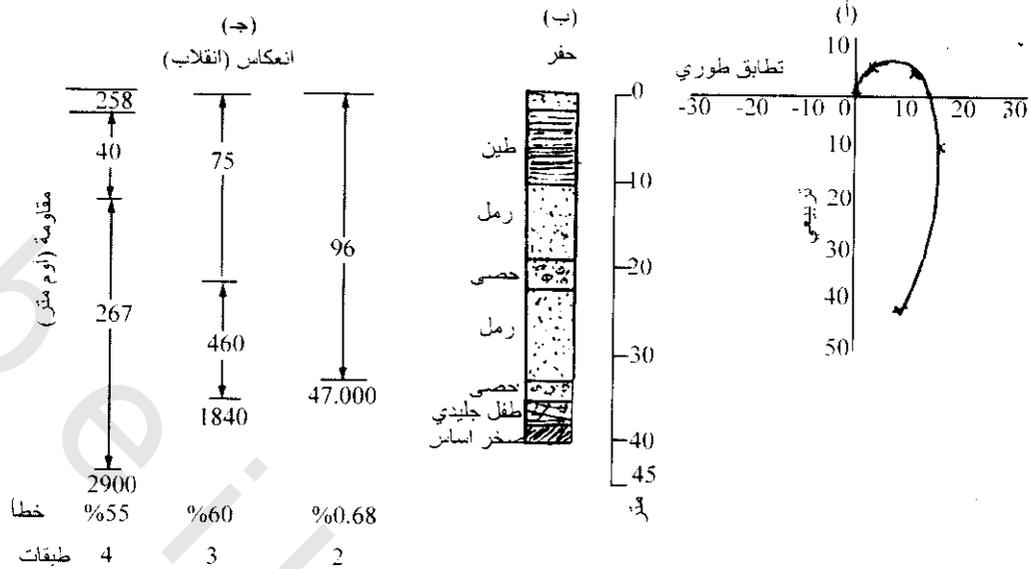
في حالة جس عمقى، يحصل عد عدد محدد من النتائج كدالة للبعد الداخلى للملف (والذى نفسه دالة للتردد، ويتم اختراق عمق كبير باستخدام تردد منخفض وأبعاد داخلية للملف كبيرة) وتوجيه ثنائى القطب. لهذا التفسير، فإن مدى قياس التوصيل الأرضى يعمل بواسطة استخدام أجهزة (جيونكس Geonics Ltd) ومثل هذه الأجهزة تستخدم بتوسيع فى المسح البيئى والهندسى. وبنفس الطرق يمكن تفسير النتائج المحصول عليها مع أعمال أجهزة أخرى.



شكل (7-20): مثال لاختلاف فى الخروج من كلا ثنائى قطب مغناطيسى رأسي وأفقى عبر موصل رأسي لنفس بعد الملف الداخلى

إذا استخدم جهاز جيونكس M34-3 Geonics Ltd لقياس التوصيل الأرضى، والذى يكون ملانم لثلاثة أبعاد داخلية للملف واتجاهين لثنائى القطب، فإنه يعطى عدد كبير لنتائج 6 نقط حصل عليها باستخدام جهاز واحد عند إعطاء نقطة عينة. تدخل قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة عند كل بعد داخلى للملف ومع كل إتجاه ثنائى القطب لبرنامج مثل EMIX-MM (Interpex Ltd, USA) إذا استخدم APEX Max Min⁻¹⁰. فإن عشرة أزواج لنتائج الطور الداخلى والمربع يمكن إدخالها إلى نفس السوفت وير. يستخدم البرنامج لتحويل النتائج لإنتاج نماذج طبقات أرضية والتي فيها يقدر التوصيل الحقيقى لكل طبقة والأسماك المصاحبة لها وتدخل للبرنامج. تحسب القيم الصناعية للتوصيلية الظاهرية لنموذج مختار ويقارن مع المرصودة حقيقيا. يضبط نموذج الحاسب الآلى أوتوماتيكيا حتى يكون الفرق بين التوصيلية الظاهرة المقاسة والمرصودة كافية لبعض معيار احصائى مثل خطأ RMS لأقل من 2%. يكون المخرج النهائى للبرنامج بروفيل لعمق رأسي-وتوصيلية حقيقية. وتساعد مقارنة الأبار لإنشاء نموذج أسماك الطبقات حيث يحصل على قيم أكثر حقيقية لموصلات طبقات حقيقية.

بينما النموذج المحصول عليه ربما يكون مناسب إحصائيا، فإن مسألة الجيولوجية السديدة مازالت مطلوبة. لنتائج APEX Max Min سلسلة لرسومات مطاورة لمنحنيات رئيسية يمكن إنتاجها حيث أن قيم عدد الطبقات والتوصيلية المقابلة لها وسمكها يمكن تقييمها من التوافق مع الرسومات التخطيطية المطورة المرصودة ويوضح شكل (7-21) مثال للتفسير.



شكل (7-21): استخدام أشكال نموذج طورية تخطيطية في تفسير نتائج كهرومغناطيسية أفقية منخفضة. (أ) نتائج ثمانية ترددات كهرومغناطيسية أفقية منخفضة باستخدام جهاز APEX Max Min. (ب) تسجيل بئر، (ج) نتائج انعكاسات مختلفة باستخدام نموذج 2، 3، 4 طبقات (بلاكى 1991 Palacky)

يكون إمتداد تفسير جس العمق بروفييل معكوس. بدلا من مجموعة نتائج الجسات فإنه يحصل على سلسلة من قيم التوصيل الظاهر لكل بعد داخلي للملف واتجاه ثنائي القطب على طول مسح خط عند فترات منفصلة. يمكن عكسي بروفييل التوصيلية الظاهرية المستنتج باستخدام برنامج ميثيل لـ EMIX-MM يسمى EMIX34 (Interpex Ltd) PLUS. يكون المخرج النهائي شبه قطاع جيولوجي ثنائي الأبعاد يظهر التوصيلية الحقيقية وأسماك الطبقات على طول خط البروفيل. لتجميع نتائج كافية يكون من المهم الحصول على عينات كافية لكل المكان وكدالة للعمق. ومطلوب على الأقل ثلاثة أبعاد داخلية للملفات لكلا من جسات العمق أو لإنجاز بروفييل عكسي. يمكن الحصول على نتائج إضافية مناسبة بواسطة تكملة جيونكس Geonics EM 34-3 مع EM31 و EM38. لابد من الأخذ في الاعتبار معايرة كل جهاز عند استخدام أكثر من نوع لنفس خط المسح للتأكد من توافقه.

3.14.7 دقة Resolution:

مثل أي تقنية جيوفيزيكية، تؤخذ دقة الإنجاز في الإعتبار. مثلا، في حالة أنظمة ثنائي الملف، تؤخذ عدة عوامل هامة لأي مسح إذا أريد أن يتم بنجاح.

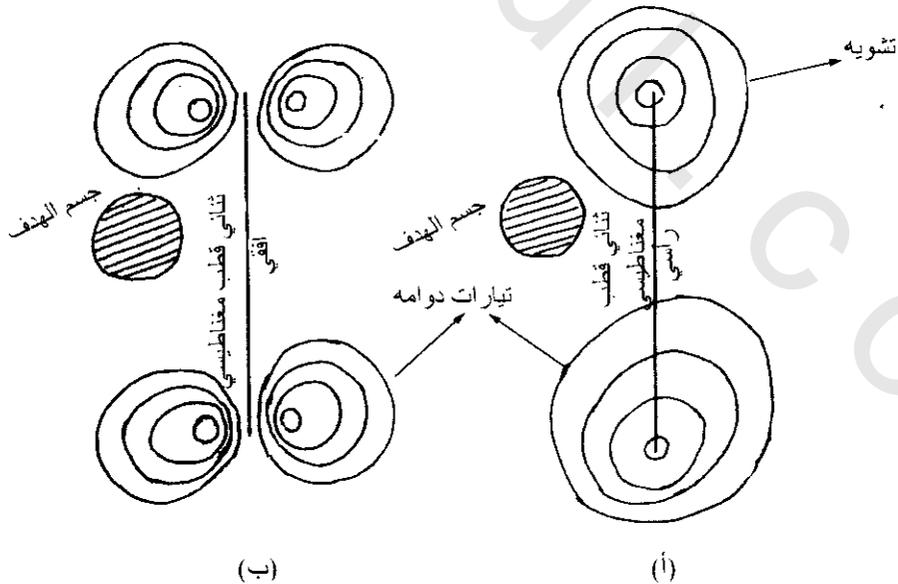
تكون جسات توصيلية العمق الأرضية والبروفيل أكثر ملائمة لتركيبات الطبقات الأفقية وتحت الأفقية حيث يكون تباين التوصيلية الرأسية بين الأفق هام. ربما، في الجيوفيزيكية البيئية والهندسية، يزداد استخدام تقنيات الكهرومغناطيسية على الأقل من مواقع مثالية.

المعيارية المعروضة سابقا نادرة التطبيق، ولمواد معقدة فإن المواقع ربما تكون غالبا ضجيج زائد عن التركيبات الأرضية. كلا من الأنابيب القديمة، الكابلات، المباني، التنتكات، حواجز معدنية، أعمدة إشارة معدنية... إلخ تخفض من نوعية النتائج وتقلل من توقيتها لأي تحليل كمي، وذلك إذا كانت غير سالبة. في بعض الحالات، يمكن ترشيح تأثير خط القوى أو الأنابيب إذا كانت الشاذة تعود فقط لهذه الظاهرة التي يمكن تحديدها بوضوح.

مثلا، تؤثر أيضا الخامات المصاحبة مع تغيرات الميل، أو هوامش محتويات المواقع فى المحاجر القديمة على نوعية النتائج. يمكن تقليل هذه التأثيرات فى مرحلة تصميم مسمى إذا كان معروف وجود هذه الظواهر مقدما.

أيضا، تكون طريقة التحليل المحتملة عامل يؤخذ فى الإعتبار لإعطاء نوع من هدف تحت سطحى. ويكون الأكثر صعوبة فى الإكتشاف عندما يحيد الهدف عن أن يكون نصف-أفقى لانهاى نصف-فراغى (مثل هذا يوجد فقط فى كتب أصلية (شواهد). مثال ذلك اعتبار حالة برميل معدنى مدفون عند 2 متر فى أى أرض مختلفة التجانس. هذا الهدف يمكن تحديده سريعا باستخدام EM31 ليعطى شبكة مسح كافية تماما. بينما فى حالة إستخدام EM34-3 فربما يختفى البرميل تماما. بالمثل، هدف موصل قطره 1 م مدفون عند 10 متر يكون غير ملائم حله بطريقة الكهرومغناطيسية إذا لم يؤخذ أقصى إنتباه ويكون الموقع تقديريا خالى من الشوشرة. أكثر من هذا مسافات المحطات لتر واحد يجب إستخدامها لوقف أى فرصة من أخذ عينة قياسية خاصة.

هناك نوع ما فى تفسير نتائج الكهرومغناطيسية يعتبر موقع الهدف التحت سطحى مع مقابلة ثنائى ملفات الأقطاب. هذا يعنى أنه إذا أدير المسح بكلا ملفين مصفوفين على طول تقاطع المسح مع باعث مقابل المستقبل ورصدت شاذات التوصيل الظاهرى فإن مصدر هذه الشاذة ربما لايقع حقيقى فى خط التقاطع ولكن على أحد جوانبه شكل (7-22) هذا يجعل من الصعوبة الكبيرة تعيين مكان هدف التحت سطحى بدقة مثل مدخل المنجم. لهذا السبب فإنه غالبا لاتتفق مكان شاذة التوصيلية الظاهرية بالضرورة مع شاذة المغناطيسية التى تظهر من نفس الهدف الفلزى الموصل. يمكن أن يودى هذا الإتفاق لتفسير خاطئ وتختفى الظاهرة. للمساعدة فى تحديد تغير جانبي فى حالات أرضية يكون الإسترشاد لبعض المواقع لتدوير جهاز ثنائى الملف من كونه محاذى لجانب عريض.



شكل (7-22): رسم يوضح الإختلاف فى التيارات الدوامية (منظر مستوى) أنتج بواسطة ثنائى قطب مغناطيسى رأسى (أ) ، وأفقى (ب) (ستوير 1989 Stayer). الهدف الموصل (أو المقاوم) فى وسط مقاوم (أو موصل) سوف يشوه التيارات الدوامية حتى إذا كان بعيد عن قطاع خط المسح

في حالة EM31 يجب أن يتذكر الراصد بأن الجهاز له مطلب زمني دقيق إذا اختلفت التوصيلية الظاهرية بين اتجاهين، لذلك يسمح باستقرار الجهاز لتصحيح القيمة قبل التقدم لقياس محطة تالية. إذا تمت قياسات التوصيلية الظاهرة بسرعة شديدة، بينما الجهاز يستقر، فإنه يحصل على قيم غير صحيحة، لذلك تنخفض قيمة المسح الكهرومغناطيسي الكلي.

15.7 تطبيقات وحالات سيرية Applications and Case Histories:

1.15.7 تحديد أجسام الخامات Location of Ore Bodies:

تعتبر طريقة الكهرومغناطيسية من أهم الطرق للتعقب عن رسوبيات المعادن. وقد كانت هذه الطريقة فعالة في تحديد كثير من أجسام الخامات الإقتصادية (فرسكشت وآخرين 1991 Frischknecht et al). أمثال رسوبيات فارو، يوكون، أو نتاريو Faro deposit, Yukon, Ontario، ومنجم كدركبك، أونتاريو Kidd Greek Mine, Ontario.

عادة لا تملك نتائج الكهرومغناطيسية تشخيص ما إذا كانت الأجسام الموصلة إقتصادية أم لا. مثال ذلك، صعوبة التمييز بين أجسام الفحم، جرافيت أو أجسام كبريتيدية نقية على قيم التوصيلات فقط. تبعاً لذلك تستخدم تقنيات جيوفيزيائية أخرى، تشمل طرق كهرومغناطيسية أخرى تضاف للتفسير.

توجد عدة حالات سيرية تصف المدى الواسع لطرق الكهرومغناطيسية في البحث المعدني وعدد آخر وصف جيداً بواسطة فيرشكنشيب وآخرين 1991 Frischknecht et al. من المهم ملاحظة أن المطلوبات الجيوفيزيائية الملائمة في بيئة جيولوجية واحدة تكون غير ضرورية بالضبط بالمثل في مناطق أخرى، فمثلاً المطلوبات الجيوفيزيائية المعنية بواسطة خليط معدني مستقل والتركيبات المصاحبة الموجودة عند الموقع المعطى، في بعض حالات أخرى ربما يكون غير ملائم لمواقع جغرافية مستقلة.

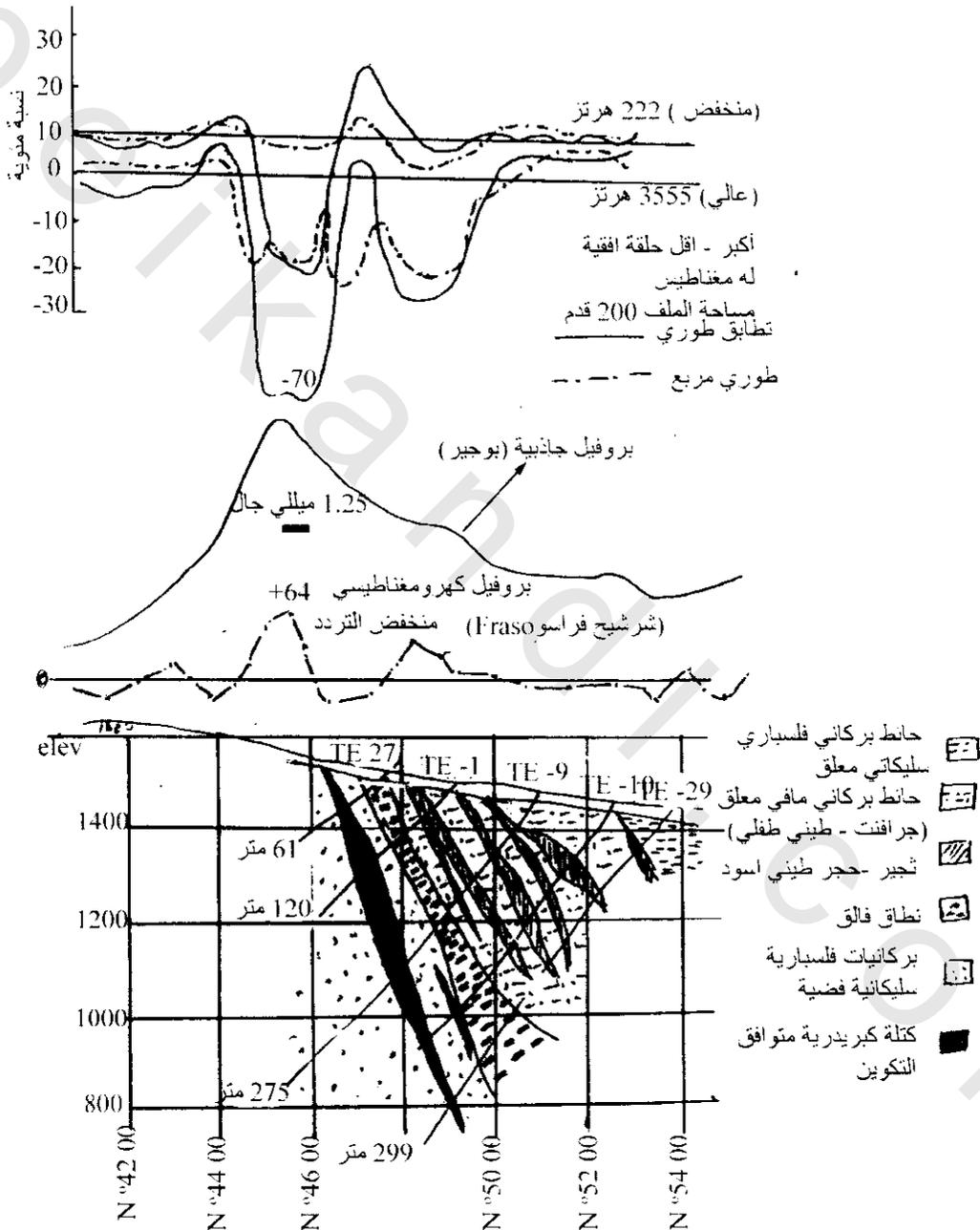
بعض الأمثلة الحقلية Some Field Exmaples:

1.1.15.7 المثال الآتي يوضح التقريب المطلوب للتفريق بين أنواع الأهداف. استخدمت طريقتي سلنجرام Slingram وكهرومغناطيسية VLF بواسطة باربور ونيورلو 1982 Barbour and Thurlow في التعقب لمناطق جرافيت طويلة شائعة في نيو فوندلاند New Found Land. بالإضافة، استخدمت طبقة الجاذبية للمساعدة للتفريق بين تواجد كبريتيدات محتملة وكتلة كبريتات رسوبية شكل (7-23). كلا من مركبات الكهرومغناطيسية التريبيعية أو متطاورة الطور (يعبر عنها كنسبة مئوية للمجال الأول) تقاس باستخدام حلقة أفقية لتردد عالي وتردد منخفض (VLF, VHF). 3555 هرتز، 222 هرتز هما الترددان المستخدمان ولكن يلاحظ الاختلاف الكبير بين أنواع الأهداف على قائمة النتائج للترددات العالية شكل (7-23).

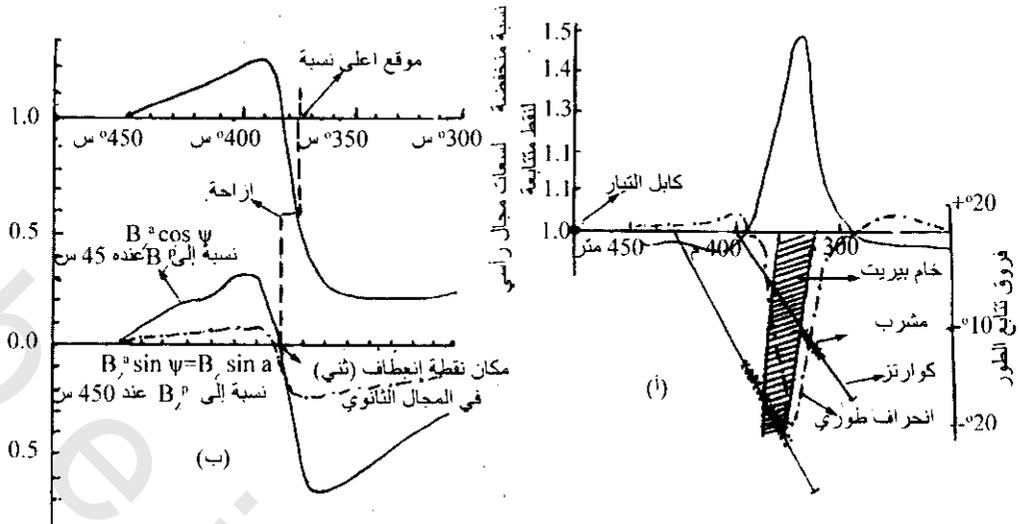
أيضاً تعطى كتل الكبريتيدات قمة في كلا من بروفييل الجاذبية وتقاطعات ترشحات فراسر لتردد منخفض جداً VLF.

2.1.15.7 ويرى المثال الثاني كيفية أهمية معالجة مناسبة للإشارة والتي بما تحدد الهدف المعدني بالضبط. يوضح شكل (7-24) بروفييل تورام Turam عبر جسم خام كيمهدن Kimheden في شمال السويد Sweden (بارازنس 1991 Paranis) حيث رسمت مركبتين، نسبة مخفضة (RR) (وإختلاف تتابع الطور) كدالة للمسافة وكلا المركبتين ترى شاذات موجبة مميزة جداً (نسبة مخفضة) وسالب (إختلاف

الطور) عبر ميل شديد لجسم خام بيريت. عادة، يؤخذ إتجاه التواجد لجسم الخام كتابع مع أعلى نسبة مخفضة وأقل إختلاف طور. عندما حسب المجال الثاني من بروفييل تورام Turam من شكل (7-24) وتحويل للمجال الأول للموقع شكل (7-24ب)، حلت النسبة الأكبر المخفضة بواسطة حوالي 4 متر بالنسبة للمكان الحقيقي للتيار كما ظهر بواسطة المجال الثاني. ربما يكون تناقص 4 متر في المكان قليل الإهتمام لحفر ضحل، أما في حالات الحفر العميق، فإن هذه الإزاحة تكون خطأ أو تعيين غير مناسب للهدف التحت سطحي.



شكل (7-23): بروفيلات لأكبر تردد كهرومغناطيسي وجاذبي عبر تيولكس نيوفوندلاند Tulex, New Found Lnad. ممكن تمييز كتلة الكبريتيدات عند 222 هرتز بواسطة التركيز الكبير للكبريتيدات (باربور وتيولو 1982 Barbour Thulow)



شكل (24-7): (أ) بروفييل تورام Turam عبر جسم خام كيمهدن Kimheden في شمال السويد Sweden يوضح نسبة الإقلال (RR) واختلاف تتابع الطور، (ب) المجال الثانوي المحسوب من بروفييل تورام في (أ). يلاحظ الإزاحة الخفيفة في موضع معين لأعلى نسبة أملا وكذلك نقطة الانقلاب في المجال الثانوي (بارازنس 1991 Parasnis)

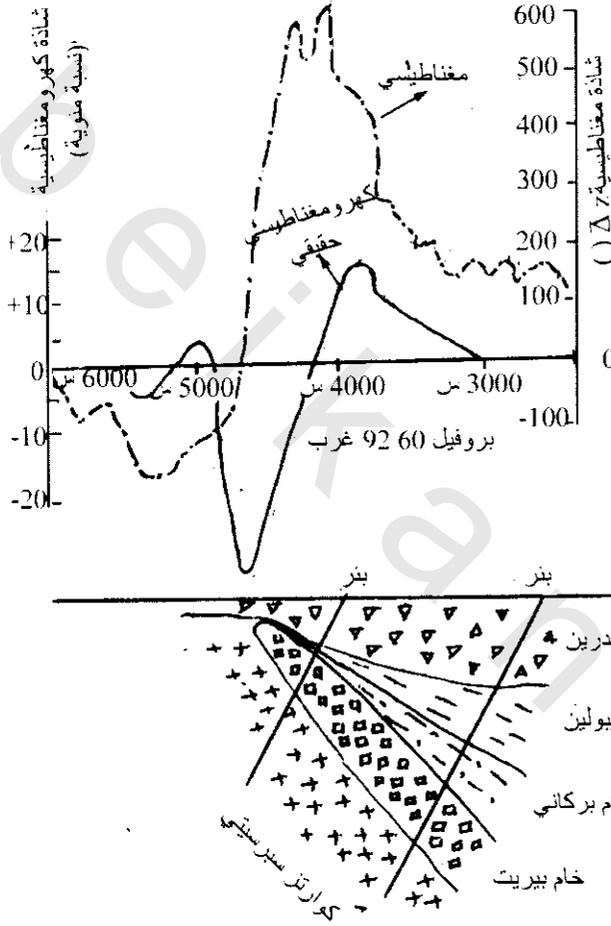
3.1.15.7 يوضح هذا المثال مساحة منجمية في شمال السويد لإكتشاف جسم خام بيريت وثق بالمساحة الكهرومغناطيسية الأرضية (بارازنس 1973 Parasnis). تم هذا المسح بنظام تساوي المستوى الأفقى بأبعاد ملف 60 متر وبتردد إثارة 3600 هرتز يرى شكل (7-25) بروفييل كهرومغناطيسي (EM) عبر جسم خام (سفانسيلي Svancele). دلت المركبة الحقيقية كما وضح سابقا على موصل جيد ممتاز (حيث أن المركبة التخيلية صغيرة جدا) والتي تشير إلى محتوى بيريت في جسم الخام. تأكدت هذه الحقيقة من قياسات عينات أبارية والتي أشارت إلى محتوى عالي من البيريت في جسم الخام. ويرى بروفييل المغناطيسية الرأسية تدرج حاد دالا على ضخالة عمق مصدر الشاذة.

4.1.15.7 أخذ المثال الرابع من تربة مدارية في حزام الحجر الأخضر من باهيا بالبرازيل Bahia, Barazil (بلاكي وسينا Palacky and Sena 1979) هذه المنطقة شديدة التجوية المدارية حيث أغلب تسجيلات الشاذات الجوية الكهرومغناطيسية تؤدي بفكرة أنها تسببت بواسطة الغطاء الموصل. وقد تم تحديد كتل أجسام كبريتية نتيجة للتفسيرات الأرضية (التي أجريت تابعا).

يرى شكل (7-26) نتائج مقاسات الجيوفيزياء الأرضية عبر منطقة موصلة ضيقة. تم عمل المسح الأرضي بنظام مضاعفة ترددات عروة أفقية. وقد وجد إتساع محيط الجسم 30 متر ويميل للشرق. ويفقد عمق الموصل على بعد 5 متر ومعامل توصيله 10 mhos تم عمل قياسات جيوفيزيائية إضافية شملت الجاذبية والإستقطاب الحثي على نفس الخط. قورن بروفييل الجاذبية المقاس مع نموذج السد المحسوب بفرض فرق كثافة 0.25 جم/سم³ فحصل على

تطابق جيد لسد عرضه 50 متر وعمق 10 متر. بعد ذلك، تم عمل قياسات الإستقطاب الحثي بتصنيف ازدواج القطب بمسافة بعديه (أ) = 25 متر، وجد أن التأثيري القوى للإستقطاب الحثي 90 ميلي فولت/فولت قريب مع الموصل، ولم تسجل علامة مسنولة عن الإستقطاب الحثي الذي يعود للطبقة المتجوية. بعد ذلك خطط

لمسح جيولوجي يفسر تتابعات الصخور البركانية، وقد قطع البئر المقترح على أسس نتائج الجيوفيزياء تتابع من فئات بركاني متحول مع طبقات رقيقة من كتل البيريت وبيروكسيت قليل. دلت التحليلات الكيميائية لعينات الآبار الإسطوانية على تلامس حافي من النحاس ولهذا كان تواجده غير إقتصادي.



شكل (7-25): بروفيل سلنجرام Slingram عبر جسم سفانسيلى Svansel - السويد (Sweden)، يرى تفسير مركبة كهرومغناطيسية حقيقية، وشاذة مجال مغناطيسي رأسى ونتائج آبار. الملف 60 متر والتردد 3600 هرتز (بارانس Parans) 1973

5.1.15.7 استخدام الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة Using Horizontal Low EM

(i) استخدم بلاكى Palaky 1991 هذه الطريقة لفحص عبر موصل مدفون أسفل رسوبيات رباعي في شمال-شرق أونتاريو، كندا Ontario، Canada، وذلك باستخدام جهاز Apex Max-Min (ثمانى-ترددات) ببعد ملف داخلى 100 متر على طول بروفيل 1 كم لفراسردال Fraserda حيث قيست مركبات رباعية ومتطابقة الطور عند كل 8 ترددات. يرى شكل (7-7) (مركبات رباعية ومتطابقة الطور قيست عند كل 8 ترددات فى مجموعات رسم بيانى منفصلة. يتضح من الشكل أن المركبة المتطابقة السالبة توجد حول المحطة 600، وتبعاً لذلك فإن شاذة الشكل المنخفض تظهر كنتيجة مركبة رباعية. يكون عرض هذه الشاذة عند مستوى الصفر مكافئ لبعد الملف الداخلى بالإضافة إلى عرض الموصل، تكون صبغة هذه الشاذة الخاصة نموذجية لموصل صخر أساس ضيق شبه رأسى لمعامل توصيل عالى. فى حالة التنقيب المعدنى، فإن مثل هذه الشاذة تدل على إمكانية الإشارة لمنطقة هدف،

عكس شكل الشاذة القاعي على مربع النتائج عند 14080 هرتز حول المحطة 600 تكون هذه الشاذة ناتجة من وجود غطاء سطحي رسوبي متوسط التوصيل. تتكون رسوبيات الرباعي الموجودة محليا من تبادل وحدات طفلة-رمل بسمك 37 متر مع 2 متر من طفلة فوق 8 متر رمل، 22 متر من إنحدار جليدي، 5 متر رمل.

(ii) في تباين للمثال السابق مثل ايضا بلاكي 1991 Palaky بروفيل الكهرومغناطيسية أفقية منخفضة (HLEM) عبر مناطق قصية مغطاة بطين كثيف شكل (7-28) على طول بروفيل 12 كم جنوب كابيو سكاكينج Kapuskasing، حوالي 80 كم جنوب -غرب فراسيردال، أونتاريو، Fraserdale، Ontario. دل البروفيل على منطقتين فصيتين حول محطات -375، -635. وقد مر مواقع الحفر عند محطة -500 خلال 35 متر كتل طينية كانت ساعات القياس لكلا المركبتين أكبر كثيرا من المثال السابق ويعود هذا لوجود طين موصل جدا. كانت النتائج الرباعية سالبة عند أربع ترددات عالية بينما مركبة التتابع سالبة عند 14080 هرتز.

كانت الأشكال المطاورة التي حصل عليها لنتائج الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة عند ثلاث أماكن لأنواع رسوبية مختلفة والتي عندها كان اقتراح أماكن الآبار ملائما مع نتائج الآبار البسيطة كما في شكل (29-7). يرى الشكل المطاور للبئر 42 (والذي يقع على البروفيل) أن التوافق بين نتائج القياس (كما دلت بواسطة علامات x في شكل (7-29 أ) والحساب المطلوب للنموذج (خط متصل) يكون غير تام. حدد سمك الغطاء بـ 35 متر (عمق صخر الأساس كما حدد بواسطة الحفر). لنموذج طبقتين، ربما ينتج عكس عدم التحديد تفسير سمك 42 متر وقيم مقاومة 51 أوم متر للطبقة العلوية و8000 أوم متر للطبقة الأساسية. يمكن أن ينسب تقدير التناقص لـ 7 متر في العمق لتأثير الكهرومغناطيسية المنخفضة الأفقية للمناطق القصية المجاورة.

يدل الشكل المطاور المصاحب لموقع بئر 67 (على البروفيل المشاهد في شكل (7-26) على عمق غطاء 40 متر مع مقاومة 210 أوم متر من نموذج غير محدد شكل (7-28 ب)، وكان عمق الحفر لصخر الأساس (39 متر) قريبا جدا لموافقة النتائج المستنتجة. ربما، تكون مقاومة صخر الأساس فقيرة الحل.

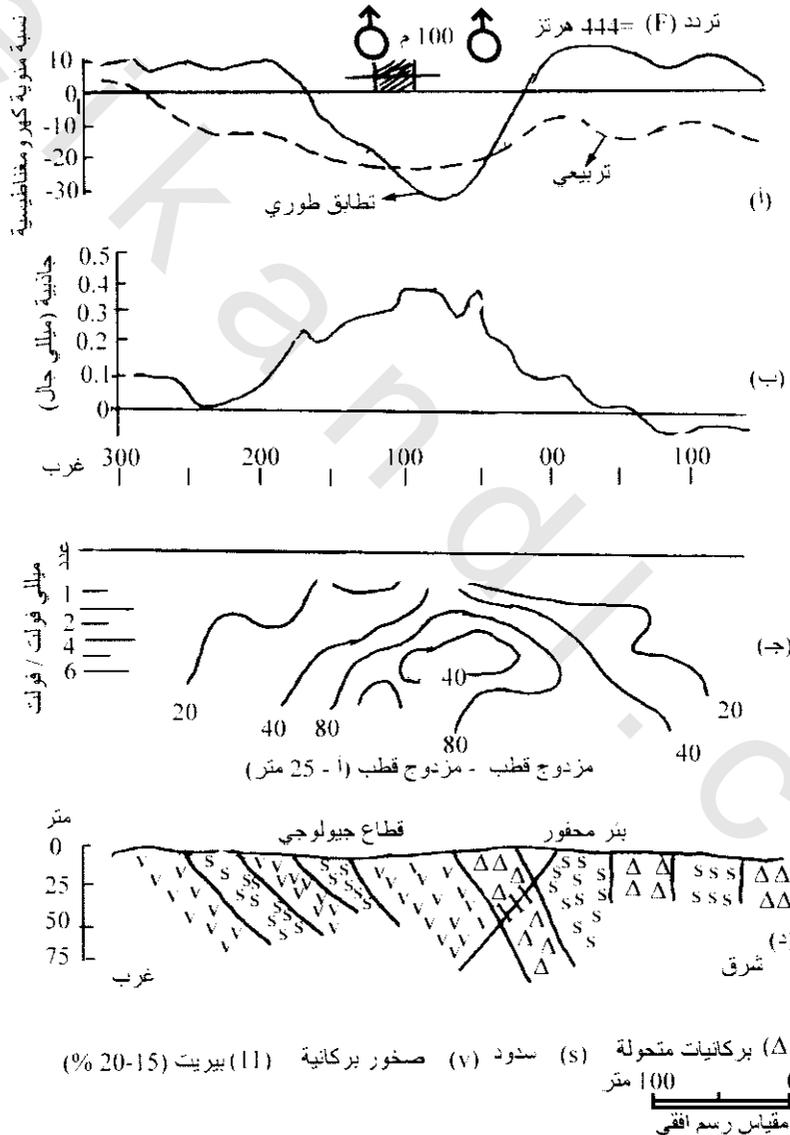
حصل على الشكل المطاور الثالث (شكل 7-28 ج) عبر رمل سميك، وعند غطاء سمكه 41 متر بمقاومة 350 أوم عبر صخر أساس بمقاومة 500 أوم متر نتج أحسن نموذج متوافق. ربما، عند قيم مقاومة كبيرة وتباين بين الطبقات صغير، فإن تحديد سمك الطبقات يصبح غير معتمد. في هذه الحالة تم الحفر خلال 32 متر رمل وعندما انتهى حفر البئر، كان الإتجاه للتعميق قليل خلال إسكز (كثيب جليدي طولي) حيث لا يتوقع طفل جليدي قاعدي.

وضحت الثلاثة أمثلة التي قدمت بواسطة بالاي 1991 Palacky تأثيرات إستخدام بروفيل الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة (HLEM) لتحديد مناطق القص والأهداف التوصيلية تحت رسوبيات الرباعي، حيث قدمت الطريقة رسومات بيانية مطاورة خاصة بأنواع رسوبيات موجودة مع مقاومات مصاحبة مختلفة. يمكن إستخدام أنواع الرسومات البيانية المطاورة للمساعدة في التفريق بين أنواع مواد مختلفة لها فوائد واضحة في التخریط الجيولوجي.

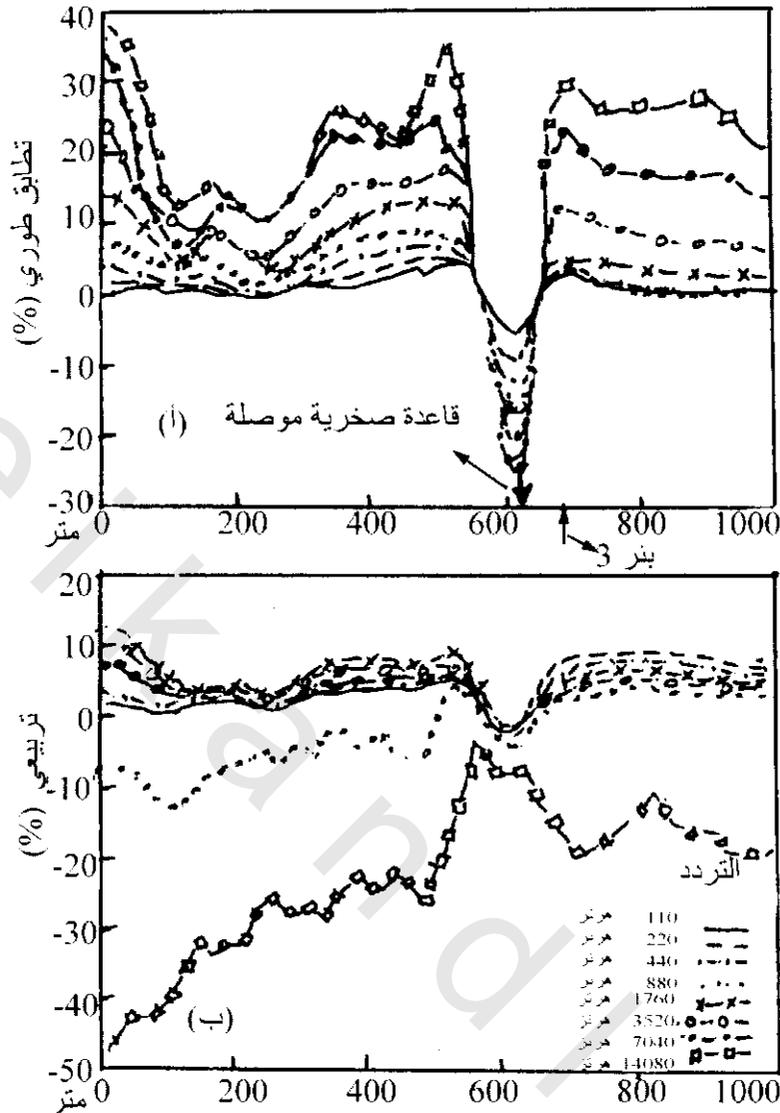
6.1.15.7 استخدام طريقة الكهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا

Very-Low-Frequency of Electromagnetic (VLFEM):

يوضح شكل (7-30) بروفييل مأخوذ لكهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا (VLFEM) عبر رسوبيات متمعدنة عند سورتون تورس Sourton Tors بجوار تداخل دارتمور Dartmor الجرانيتي، ديفون Devon. يرى بروفييل الكهرومغناطيسية المنخفضة التردد جدا تغير مميز في القطبية عند حوالي 210 متر على طول خط المسح. قورن هذا الموقع بمعرفة منطقة نطاق طبقي التمعن خلال منطقة صوان/طفلة معلومة MZ. للمقارنة تم عمل بروفييلات جهد ذاتي (SP) ومغناطيسية كلية وكلا منهما أشار لشاذات ملائمة حول نفس الموقع مع هدف موصل مغناطيسي مائل لإتجاه شمال-غرب.



شكل (7-26): قياسات جيوفيزيائية أرضية عبر قطاع في تضاريس موصلة لباهيا بالبرازيل Bahia, Brazil، (أ) مسح حلقي أفقي كهرومغناطيسي، (ب) جاذبية، (ج) بروفييل استقطاب مهين، (د) قطاع جيولوجي. دلت الثلاث طرق (أ، ب، ج) على نفس عم التجانس. أخترق البئر المحفور بركانيات متحولة بأحزمة من كتلة بيريت (بالاكي وسنا Palaky and Sena 1979)



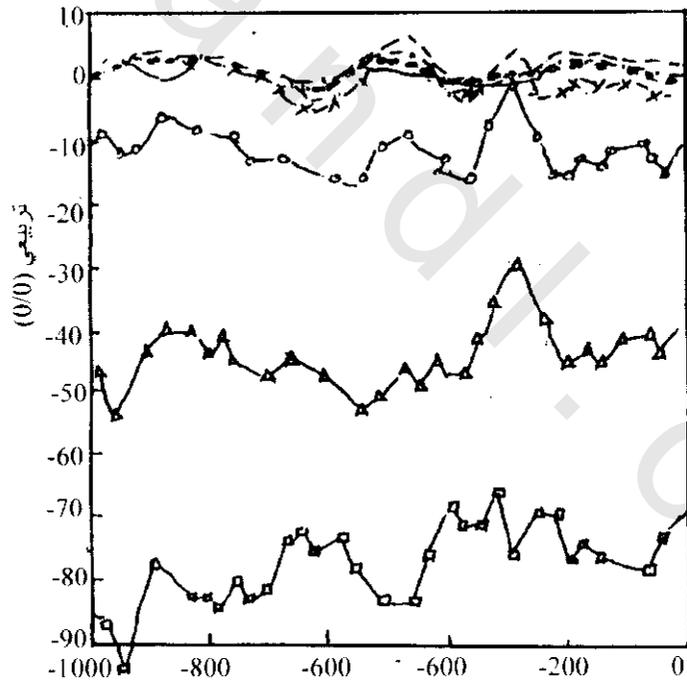
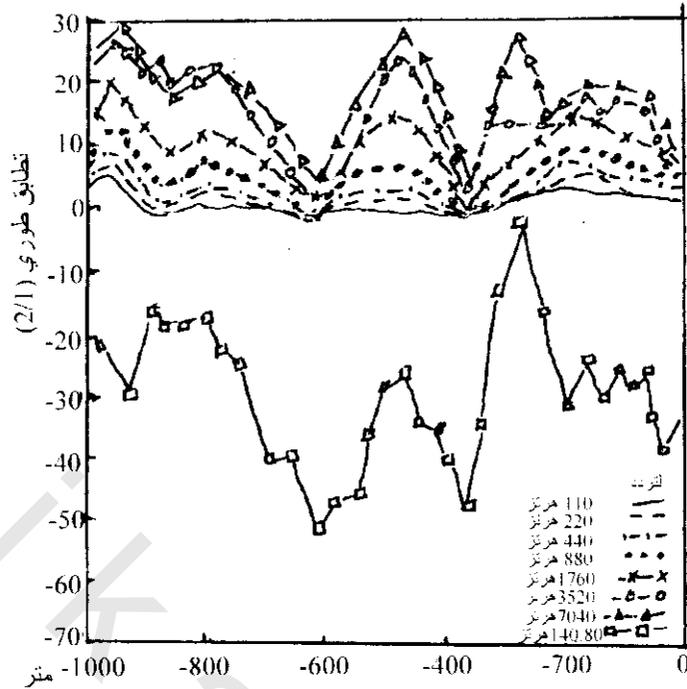
شكل (7-27): بروفيل كهرومغناطيسية أفقية منخفضة على طول 1000 متر، 20 كم جنوب فراسيردال، أونتاريو، Fraserdale، Omtario، عبر صخر قاعدة موصل (المحطة 600) مغطى برسوبيات الرباعي. (أ) نتائج تطابق طوري، (ب) نتائج تربيعية مكتسبة عند ترددات معينة، بعد الملف 100 متر وأشير لموقع البئر 3 (بلاكى 1991 Palaky)

7.1.15.7 استخدام طريقة نظام نبضات كهرومغناطيسية عابرة أوزمن مجال مغناطيسي للكشف المعدني

Using Method of Pulse-Transient EM (TEM) or Time-Domain EM (TDEM) Systems:

الكشف المعدني Mineral Exploration:

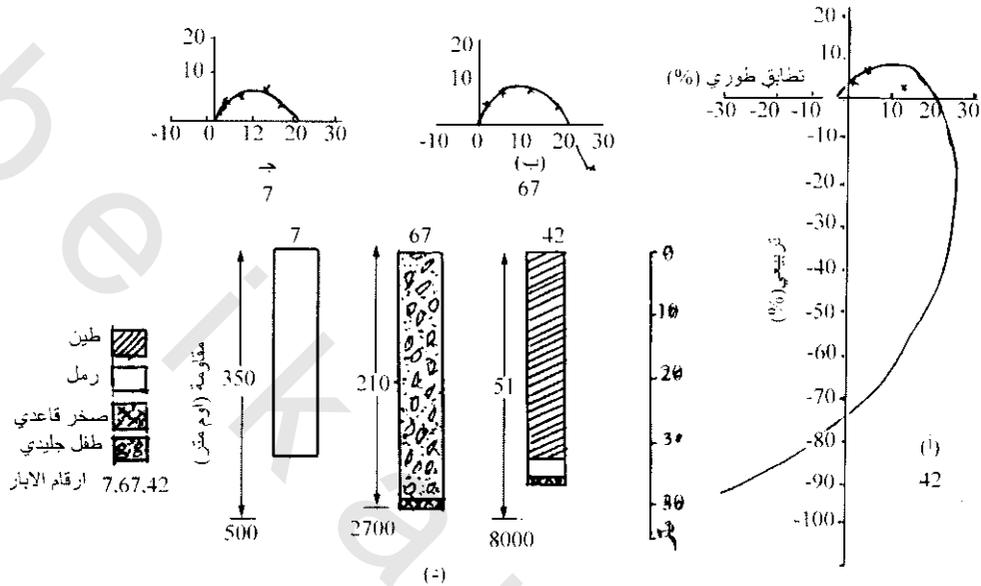
تم مسح كهرومغناطيسي عميق بواسطة كرون جيوفيزكس Cron Geophysics Ltd. لكوجيما كندا for Saskiatchewan, Canada. وكتابع لهذا المسح، وفي إتصال مع Athabasca Basin، ساسكا تشوان، كندا، Cogema Canada Ltd. فى حوض اثابا



شكل (28-7): بروفيل كهرومغناطيسي أفقية منخفضة (HLEM) عبر طول 1000 متر، 12 كم جنوب كابيوستاج، أونتاريو
Kapusksing, Ontario بنطاقات قصية مختلفة بطين سميك (بلاكى 1991 Palacky)

تقنيات أخرى، تم الكشف عن روسيات يورانيوم ذات رتبة عالية (كرون 1991 Cron). تشمل رسوبيات اليورانيوم والتي تكون نموذجين لنوع أثاباسكا Athabaska، على أنبوبة أفقية طويلة لمقطع عرضي أقل من 100 متر لتمعدن رتبة يورانيوم عالية والتي تحدث عند قاعدة وضع حجر رملي مسطح. عامة، تكون أنبوبة

التمعدن مصاحبة لسطح التماس العلوى لتركيب جرافيت كبير شبه راسى والتي تمثله صخور قاعدة ما قبل الأركى Archaea (الحقب الجيولوجى السحيق (الأول)). إستخدم المسح الكهرومغناطيسى لتحديد الجرافيت الموصل. منطقة التماس بين صخور القاعدة والحجر الرملى تكون متحللة لأكبر من 100 متر سمك والمكونة من طفلة كثيرة والموجودة عامة فى مناطق تمعدن اليورانيوم.

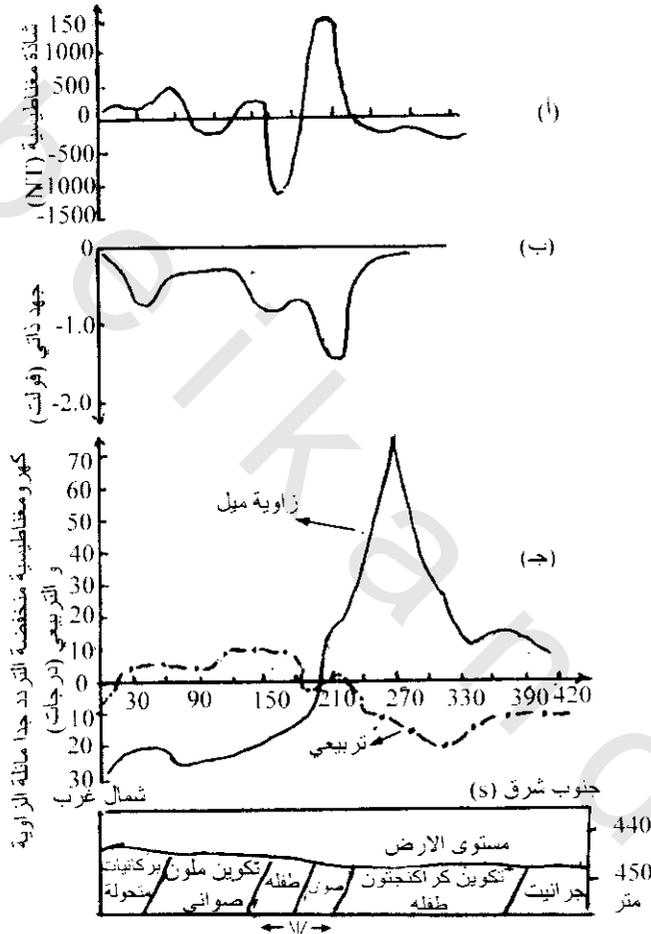


شكل (7-29): (أ- ج) رسوم بيانية طورية، (د) نتائج أبار تابعة لها، مع نماذج مستخرجة لكهرومغناطيسية أفقية منخفضة (HLEM) عبر ثلاث مواقع مقابلة لأنواع الرسوبيات. (أ) تمثل طير سميك مجاور لمنطقة قصى (لهذا يقدر الفرق فى العمق بين البئر ونموذج (HLEM)، (ب) تمثل طفل جليدى، (ج) تمثل رمل سيمك داخل (إسكر) (كثيب جليدى طولى) (بلاكى 1991 Palacky)

إستخدم فى هذا المسح حلقة كبيرة (800x400 متر) تدار بمولد قوة شكل موجى 2 كيلوات. تمت قياسات المركبتين الأفقية والرأسية بواسطة ملف إستقبال عند كل موقع مسح شكل (7-31أ). رشحت النتائج باستخدام مرشح فراسر Fraser لتأكيد إختيار المطلوب من التيار عند أعلى عمق وذلك خمس مرات لمسافة ترشيح المحطة، حيث إستخدمت مسافة 100 متر فى الترشيح لتعيين موقع الجرافيت بدقة. ويرى شكل (7-31ب) نتائج المسح المرشحة. تشير نتائج المركبة الأفقية لخاصية موقع الجرافيت الموصل الدال بواسطة عقدة لمجموعة من خطوط بيانية كما فى الشكل (7-31ج).

ليس كل كتل رسوبيات معادن الكبريتيدات هدف ضرورى جيد للكهرومغناطيسية. كمثال، رسوبيات كتل كبريتيدات نوع كيبوريوس Cyprus والذي يحدث كتمعدن سليكات محللة فى وسائل حممية محللة، تمثل عوامل فيزيائية صغيرة جدا مع الصخور المضيفة. فشل إستخدام تجارب نبضات كهرومغناطيسية TEM عبر رسوبيات معدنية معروفة لإكتشاف أجسام الخامات (كوبر وسويتف 1994 Cooper & Swift). حتى فى إستخدام الحث القطبى، يميز فقط إمتداد الشحن الحقيقى بين تركيبات سليكانية عالية وأهداف تمعدن. إذا وجد إمتداد شحن فإنه يكون معامل تنقيب لايعتمد عليه. للبحث عن وجود إمتدادات محلية ليبريت مختفى الإنتشار، فإنه تستخدم شادات كهربية التمدن لمسح قياس نموذجى مثل التى تستخدم فى التنقيب المعدنى. بما، وبالرغم من نقص النجاح

المباشر للكهرومغناطيسية النبضية في تحديد أجسام الخامات فإنها تستخدم للمساعدة لتحديد تفسيرات جيولوجية (فوالق، تحديد أسماك ليثولوجية، إتجاهات... إلخ) والتي بدورها تستخدم لإنشاء تركيبات ثلاثية أبعاد المنطقة المعطاه (كوبر وسويقت 1994 Cooper & Swift).

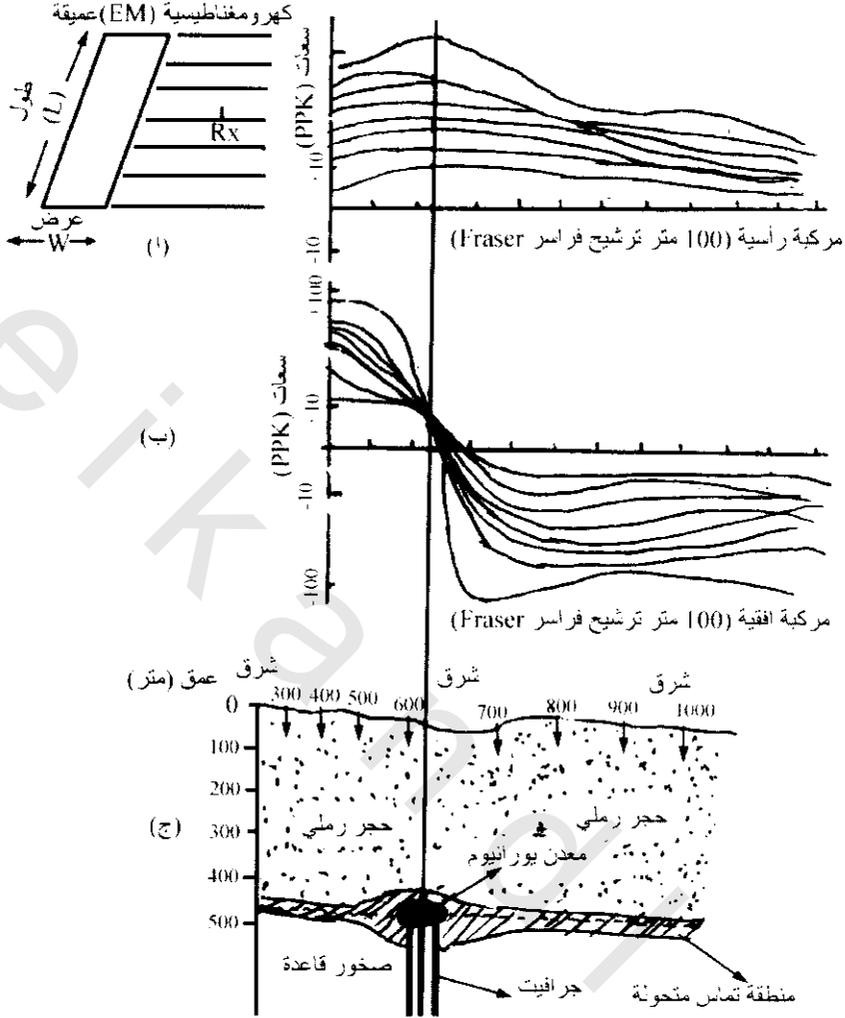


شكل (7-30): بروفيلات جيوفيزيائية مختلفة عبر رسوبيات متمعدنة عند سورتون تورس، ديفون مغناطيسية كلين (نان توسلا). (أ) جهد ذاتي وفولت، (ب) كهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا، (د) قطاع جيولوجي

2.15.7 استخدام طرق الكهرومغناطيسية لاستقصاءات المياه الأرضية

Using EM Methods for Groundwater Investigations:

أمدت الطرق الكهرومغناطيسية بقوة بمجموعة من أجهزة بحث هيدروجيولوجي منذ 1970. أعيرت نفس الأجهزة للاستخدام البيئي حيث تباين معاملات التوصيل تكون كبيرة ولكن يكون سطح الأرض عائقا للاستخدامات البسيطة لطرق المقاومة الكهربائية بسبب المقاومة العالية للسطح مثل الذي يوجد في مناطق جافة جدا. في هذه الطريقة يوجد تقريبين أحدهما لنظام الاستقصاء العام للمياه الأرضية حيث تحفظ المياه الأرضية خلال طبقات حاملة للماء. والتقريب الآخر للبحث خلال تشققات صخر الأساس والتي يكون احتواءها صغير. ولكنها خزانات ملائمة يمكن استخدامها لمياه صالحة للشرب. عامة، تستخدم طرق مجال التردد الكهرومغناطيسي لتخريط بحثي قرب السطح خلال الاستقصاء الهيدروجيولوجي. وللبحث العميق تستخدم طرق كهرومغناطيسية النبضات العابرة (المؤقتة) TEM.



شكل (7-31): (أ) تشكيل مسح كهرومغناطيسي عميق، (ب) ساعات إستجابة لكلا من المركبتين الرأسية والأفقية، (ج) قطاع جرافيت موصل في حوض أثاباسكا Athabasca عند عمق 450 متر (كرون 1991 Crone)

1.2.15.7 استخدام أنظمة كهرومغناطيسية النبضات المؤقتة للبحث عن المياه

Using Pulse-Transient EM (TEM) in Groundwater Investigations:

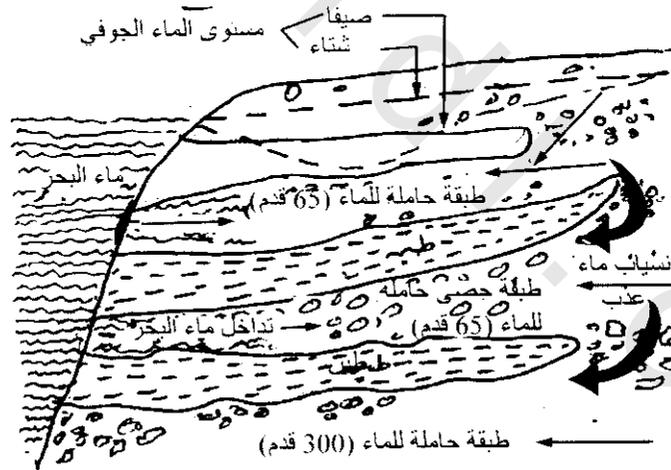
ربما أدى التقدم خلال عام 1980 لنظام (TEM) لزيادة استخدامه في الهيدروجيولوجي، إحدى ميزات هذا النظام أن أحجام حلقاته صغيرة وملانمه، لذلك يمكن عمل قياسات على مواقع مثل فراغات عامة مفتوحة وحقول رياضية والتي ربما يمنع حجمها استخدام الجسات الكهربائية. أكثر من هذا، في المناطق السكانية والمحاطة بشوشرة ديناميكية عالية، فإن قدرة تجمع الإشارة للأنظمة الرقمية الحديثة تساعد على تحسين إشارة نسبة الشوشرة ونستخلصها من جميع الإشارات الهامة من خلفية الشوشرة.

زادت تطبيقات قياسات TEM فى تخريط الحد الفاصل بين المياه المالحة والعذبة فى مناطق السواحل. من أحسن الحالات السيرية وصفا للتطبيق الفى فسر بواسطة ميلز وآخرين Mills et al 1988، هويكسترا وبلوهم Hoekstra and Blohm 1990. يصف شكل (7-32) تخريط لأربع طبقات حاملة لمياه متر اكية، حيث تشمل طبقة حاملة للمياه العلوية والتي فيها المياه الأرضية ملوثة جدا بواسطة الأسمدة، 60 متر سمك طبقة حاملة للماء التي فيها يخترق الماء المالح أقل بعد، وعند زمن المسح، وجد أن الطبقة الحاملة للماء الغير ملوث بواسطة ماء مالح هي الأعمق. يسبب تناعب تراص الطبقات الحاملة للمياه الملوثة صعوبة اختراق الطبقة الأعلى والأكثر امتدادا والمتداخلة ملحيا لإكتشاف الطبقات السفلى الأخرى. لمثل هذه النهاية يستخدم نظام TEM ذى حلقات إنبعثات 100x100 متر لتخريط عمق 60 متر طبقات حاملة للماء، ولطبقات أعمق تستخدم حلقات انبعثات 200x200 متر.

بالإضافة للتفسيرات السابقة فإنه من نتائج مراقبة الآبار بالمنطقة واستخدام نظام TEM العميق فإنه امكن تخريط لتوزيع تركيز الكلوريدات على أعماق 60، 135 متر.

2.2.15.7 تطبيقات بيئية Environmental Applications

تم عمل قياسات توصيلية فى 1987 على طول سلسلة من تقاطعات شكل (7-33) بأجهزة GCM المصنوعة بواسطة شركة جيونكس Geonics (EM31, EM34) أنتجت خريطة توصيلية الظاهرية لكل جهاز وبعد ملفى (تشكيل ثنائى قطب مغناطيسى) شكل (7-32, ii, iii, iv). لإزالة تأثير ظواهر التوصيل القريبة من السطح فإن قيم



شكل (7-32): قطاع تخطيطى هيدروجيولوجى فى وادى ساليناز، كاليفورنيا Salinas, California (هويكسترا وبلوهم) (Hoekstra & Blehm 1990)

المقاومة الظاهرية الناتجة من إستخدام أبعاد ملفات 20، 40 متر عولجت بإستخدام تقنية وصفت بواسطة ماكنيل McNeill 1985. إزدوجت قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة بإستخدام بعد ملف 40 متر وطرحت منها قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة بإستخدام بعد ملف 20 لتعطى قيمة توصيلية ظاهرية جديدة والتي استخدمت أيضا فى تشكيل الخريطة شكل (7-32v) ويمكن ملاحظة أن الشذات المرئية فى الخريطة من النتائج المعالجة تكون أكبر حدة فى كلا من خرائط التوصيلية الظاهرية لكل من الملفين مفردين. يرى شكل (7-32vi) التفسير النهائى

للنتائج، تدل منطقة أ على قيم توصيلية خلفية عادية، هذه القيم (150-200 m/ms) تكون عالية ولكن مناسبة لنوع تربة الموقع الإقليمي والمعروف بإحاطة ملحية عالية. توجد القيم العالية التوصيل الظاهري (>400 m/ms) بجوار برك 1، 2 (منطقة ب في شكل 7-32vi). وفسرت الحافة الأمامية لتجمع التلوث حيث قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة باستخدام بعد ملغى 40 متر تنحرف إلى القيم الخلفية، هذا يدل على أن مقدمة التجمع يكون حوالى 350 متر إلى الشرق منصرف سان لويس San Luis تشير شاذة ج إلى تربة عالية الملوحة وبمقارنتها بمنطقة واضحة على خريطة جوية في أثناء فصول ممطرة تبين أنها منطقة متقاطعة من الرمل والغرين. منطقة د جزء من تجمع ملحي محبوس بمنطقة مجاورة مباشرة لأرض صرف، وحددت منطقة منخفضة التوصيل (منطقة ر) بجوار البركة 1. هذه المنطقة لها تأثيرات لتجمع ملحي مخفف بواسطة مياه أمطار محلية كما أن مياه الصرف لم تضاف للبركة 1 خلال العامين السابقين للمسح. حيث أن منطقة س منطقة إحتراق توصيلية عالية عميقة، ولذلك تكون منطقة تجمع لمياه ملوثة والتي بقيت من مياه ملحية وصرف قبل 1985. تظهر المنطقة ص والمغطاه نباتات غير عادية بسبب ظاهرة توصيل قرب السطح وليس لها علاقة لتجمع التلوث ولكن من المحتمل أنها السبب لتمليح التربة المحلية.

3.15.7 استخدام الكهرومغناطيسية لكشف الكهوف التحت سطحية

Using Electromagnetic Methods for Detecting Underground Cavities:

1.3.15.7 أنظمة الموجة المستمرة (CW) Systems:

أثناء البحث الكبير لتاريخ الإنسان البيولوجى فى الشرق، إستخدم على وجه التقريب مقياس التوصيلية الأرضية جيونكس Geonics EM-31 كجزء من دراسة الآثار عند باب دهرا بالأردن Bab Dhra, Jordon (فروهلتنس ولانكستر 1986 Frohlich and Lancaster)، وكان الغرض من العمل تحديده بيان حالات مداخل وحجر الدفن. ويوضح شكل (7-34) مثال لبروفيل توصيلية ظاهرية والذي عبره اكتشف مدخل وحجرتى الدفن. وحيث أن الغرفة شيدت بالطين، لذلك لوحظ ارتفاع طفيف للتوصيلية الظاهرية، أما بالنسبة لخلفية القيمة، رصدت مقاومة ظاهرية منخفضة حيث أن الحجرة مملوء هواء. بواسطة تخريط موقع الحفر بجهاز EM-31، عينت مناطق شذات مختلفة. أختبر منها سبعة أماكن بواسطة الحفر المباشر، وجدت جميعها مملوءة بمداخل قبور عرضها حوالى 1.5 متر وعمقها حوالى 2 متر.

وحيث أن الكهوف كبيرة بالنسبة لعمقها ويوجد تباين كهبرى جيد بين الكهوف والمواد المضيفة، لذلك فإن هذه الظاهرة يمكن إكتشافها بسهولة. ربما توجد كهوف صغيرة بتباينات قليلة فى التوصيلية مدفونة عند عمق غير ملائم للتحليل.

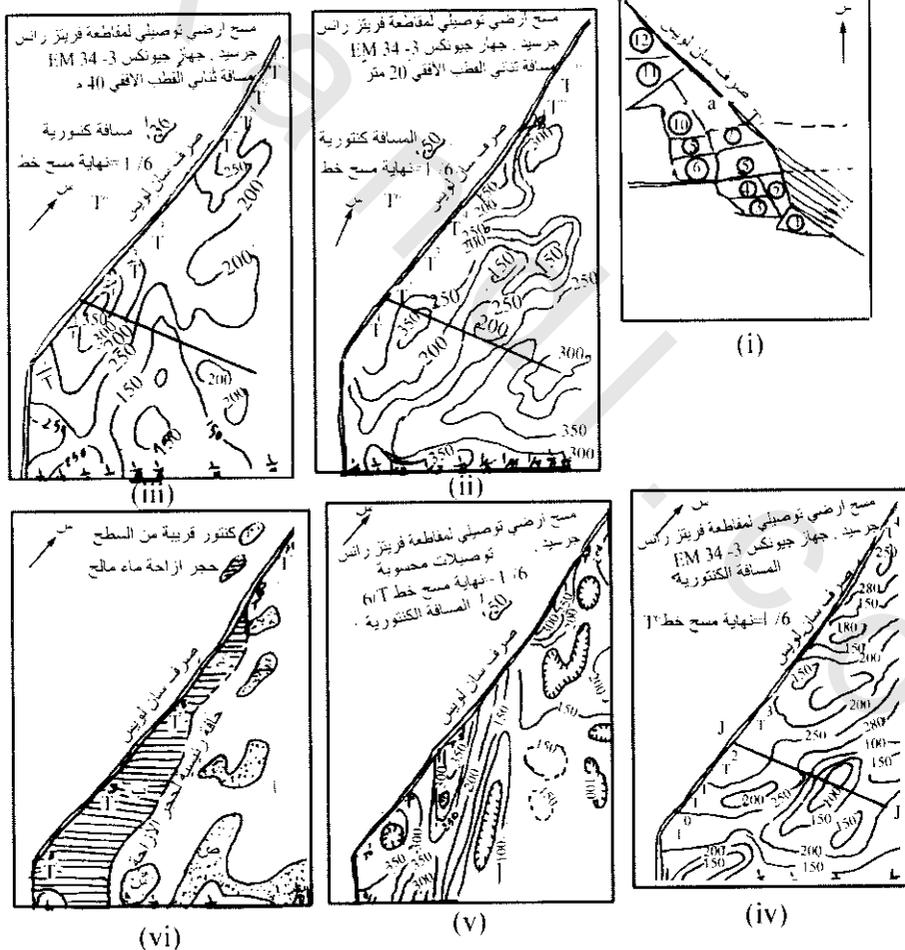
2.3.15.7 استخدام نبضات كهرومغناطيسية عابرة لتخريط الفجوات التحت سطحية

Using Pulse-Transient EM (TEM)for Mapping Sub-Surface Voids:

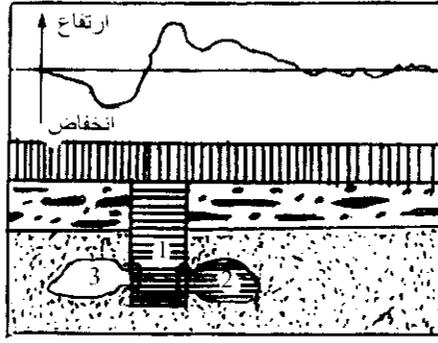
استخدمت هذه الطريقة فى التنقيب عن سلسلة من فجوات هابطة على طول مصدر ينابيع أليس Alice والذي اقترح لإنشاء خط حديد داروين Darwin عبر حوض ويسو Wiso شمال مقاطعات استراليا Australia (نلسون وهاي 1970 Nelson and Haigh). توجد الفجوات الغاطسة معروفة جيدا فى هذه المنطقة ولكن

السقوط المفاجئ لجزء من طريق بيوشانان Buchanan السريع في فجوة غاطسة في 1982، أقت الضوء على خطر هندسي وحينئذ طلب سرعة عمل تنقيب قياسي كبير.

أختبر مدى تأثير طرق جيوفيزيائية مختلفة عبر التضاريس والتي كانت موجه وغير منتظمة، ومغطاه بتربة لاتيرائيه (غنيه بالأوكسيدات). ومن البديهي فإن الهواء المائل للفراغات يسبب شاذات المقاومة، ولكن التباينات الموجودة قليلة الكفاية لأن الطرق لاتعتبر عملية لمتطلبات تغطية امتداد للأرض على طول أساس طريق السكة الحديد المقترح. ربما، أشارت حوائط وأرضيات الوديان المعروفة على احتوائها بمواد غنية بالطين الموصل كهربيا. أكثر من هذا، فإن تكوينات الفجوات المطموسة المعالجة بحقن من السليكا والتي تنتج أنابيب أو تركيبات بالترشيح، فإن التجويه تسبب ثقث فتات محلل يكون أيضا مميز بالتوصيلية. تبعا لذلك فإن نوع الهدف الذي من أجله تختار الجيوفيزياء والذي لا يكون أكثر وضوحا بديها "كحراث للأرض"، ولكن تكون التوصيلية الثانوية هي الهدف. في الحقيقة، لاتكون TEM ملائمة للفراغات المملوءة هواء بسبب سرعة إنتشاره خلال الفراغات وتكون رتبة هذه السرعة كسرعة الضوء. بالمثل هذه الظاهرة تشبه ظواهر ترشيح السليكا أيضا والتي تسبب دلالة وشاذات ملاحظة على تأخرات الزمن بالنسبة لتخفيف السعة والمحتوى الطيفي للموجات السيزمية.



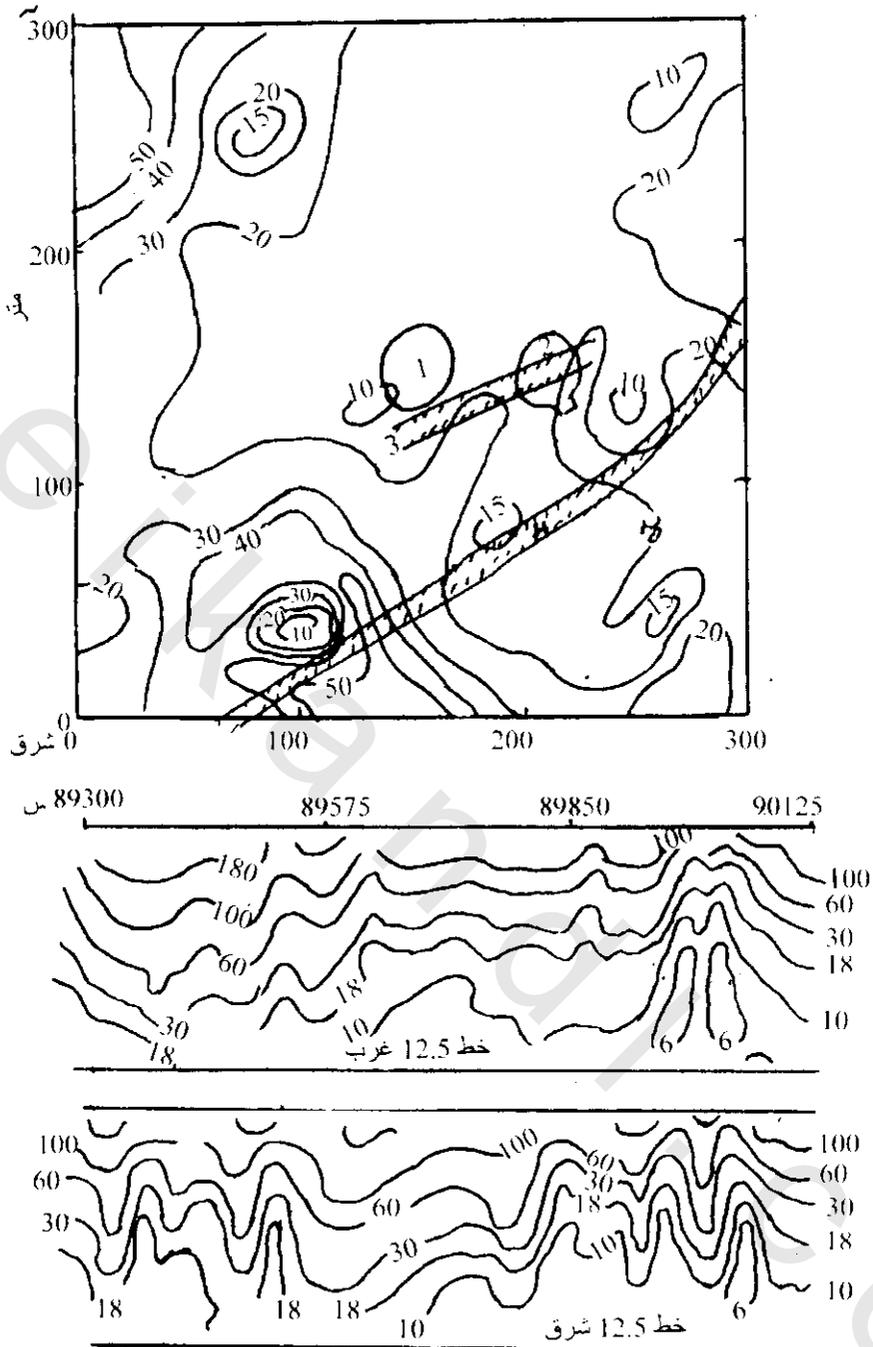
شكل (7-33): (i) خريطة الموقع ، iv-ii خرائط خطوط متساوية التوصيل، v خطوط متساوية التوصيل محسوبة، vi خريطة تفسيرية عند كسترتون، كاليفورنيا Kasteron, California (جولدشين وآخرين 1990 Goldstein et al)



شكل (7-34): بروفيل توصيلية ظاهرية عبر مدخل مقبرة عند باب دهره Bab-Dahra بالأردن Jordan. يؤدي المدخل 1 إلى حجرات الدفن 2 ، 3 لرفع قيمة التوصيلية الظاهرية. يصاحب الحجر الطينية 2 ، والحجر 3 المملوء هواء توصيلية ظاهرية متوسطة ومنخفضة بالتتابع (فورهلتنس ولانكستر 1986 Frohlich and Lancaster)

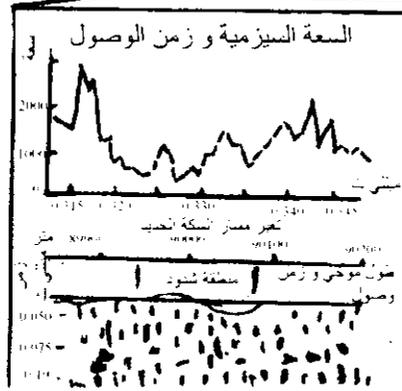
تبعاً لذلك تقرر أن طريقة حلقة تطابق SIROTEM هي الأحسن للتوافق السريع مع المسح السيزمي المستخدم عبر ظواهر معينة. وقد فسر نيلسون هاى Nelson and Haigh 1990 العمل السيزمي، بالإضافة لتفسير طريقة SIROTEM من عدة إختبارات مساحية أن طريق بيوشنان Buchanan الواقع غرب طريق سيتورت Stuart السريع عبارة عن نطاق كبير لتكوين وادي وذلك بواسطة مسح SIROTEM. دلت التواجدات العامة لتفسير SIROTEM أن الجيولوجيا المحلية تتميز بواسطة عمومية تساوى توزيع المقاومة، بمقارنة ظاهرية في مدى 50-100 أوم متر، وبميل خفيف مكونة طبقات تركيبية. في المقابل وجد أن المساحات المتأثرة بواسطة الوديان لها تموجات مقاومة جانبية أعلى من 20 أوم مع عدم تجانس هندسى معقد ظاهر. يوضح شكل (7-35) خريطة لقيم مقاومة ظاهرية حصل عليها باستخدام نظام SIROTEM لجزء من منطقة مختبرة معروف بها وجود وادين.

يرى شكل (7-36) منا نتائج مركبة من زوجين SIROTEM عرضين بأبعاد 25 متر ككتنورات تظهر قيم المقاومة الظاهرية. يتضح نطاق شاذة معقدة بين 90° شمالاً، 20° شمالاً على كلا العرضين، بالمقارنة مع شكل الشاذات عبر الوديين، تميز هذه الشاذة منخفض دائري منبسط (نوع من التضاريس النموذجية للحجر الجيري أو الجبس بواسطة الذوبان). أيضاً تتوافق شاذة SIROTEM مع تفسيرات نتائج السيزمية المنكسرة في فترة اضمحلال السعة وتأخر فترات الزمن عبر الظاهرة الشاذة. أمدت هذه المقارنة المزدوجة لنطاق الشاذة بزيادة الثقة في جميع التفسيرات. وقد ساعدت سلسلة من مواقع الآبار الملانمة لإختيار النماذج الجيومورفولوجية لتكوينات هذه الظواهر. أدى الإعتبار لهذه الظواهر لمعرفة هندسية كبيرة عبر امتداد كبير جداً لأرض الإقليم الشمالي باستراليا Australia.



شكل (7-35): خريطة شاذة مقاومة ظاهرية SIROTEM عبر جزء من موقع اختيار طريق بيوشنان Buchanan السريع. الأقليم الشمالي، استراليا Australia، 1، 2 منخفض دائري لنوع من التضاريس النموذجية لحجر جيرى أوجيس بواسطة النُوبان (Sinkhole) 3، 4 طريق بيوشنان Buchanan السريع المحول، (نلسون وهاي Nelson and Haigh)

1990



شكل (7-36): توافق حلقى 25 متر لـ SIROTEM لشبه قطاعات مقاومة ظاهرية على طول خطين على بعد 25 متر لكلا جانبي خط مركزي لخط سكة حديد مقترح عند طريق بوشنان Buchanan السريع. السعة السيزمية وقطاعات الشكل الموجي عبر مناطق شاذات STROTEM تتفق مع احتمالات لهذه المنطقة تدل على تضاريس منخفض دائري لحجر جيري أوجيس تكون بواسطة الذوبان

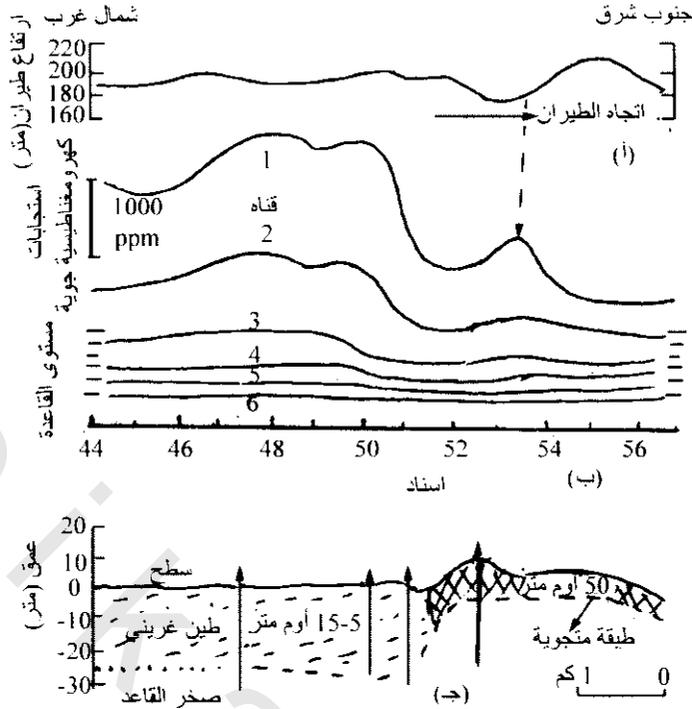
16.7 التخطيط الجيولوجي باستخدام المسح الجوي الكهرومغناطيسي

Geological Mapping using Airborne EM:

في عام 1983 وصف هيونج وبلاكي Huang and Palaky 1991 استخدام المسح الجوي الكهرومغناطيسي لتخطيط جيولوجي في دونجلنج، منطقة أنهيو، الصين Dongling, Anhui province, China. إستخدم في هذا المسح نوع نظام Input المصنع في الصين.

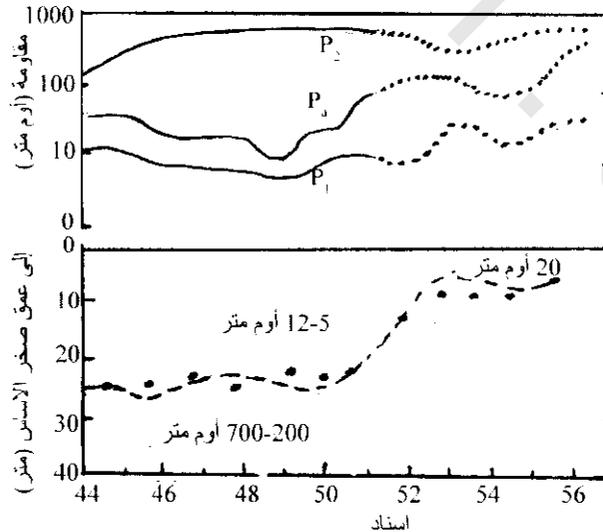
تعرف المنطقة الممسوحة باحتوائها على تمعدن رصاص وزنك المتكون بنوع الإحلال في حجر جيري ميزوزوي. كان هدف هذا المسح تحديد أجسام معدنية غير معروفة مسبقا وتحديد سمك الطين النهري في نهر Yangtze وامتداد التجويه في مساحات أسفل صخور الميزوزوي، وكانت مسافات خطوط المسح 500 متر مع إتجاه خط طيران شمال غرب - جنوب شرق.

يرى شكل (7-37) نتائج المسح الجوي الكهرومغناطيسي والقطاعي الجيولوجي المقابل مع خط قياس الإرتفاع، وقياس السعات عند 6 قنوات مع الإشارة لقاعدة المستويات لكل منهم، والعلامات الإسنادية كانت لمسافات 500 متر. أستنتج القطاع الجيولوجي من إستكمال نتائج أبار. يظن أن القمة الملاحظة على نتائج الكهرومغناطيسية الجويه عند الإسناد 54 للقنوات 1، 2 (أسهم) أنها بسبب التغير في إرتفاع الطيران، وتعود شاذات الكهرومغناطيسية الجويه الظاهرية على الزمن المبكر للقنوات إلى الطين النهري الموصل. مقاومة المواد الجيولوجية المحلية المأخوذة من جسات الكهربية الأرضية للطين النهري لها مقاومة تتراوح من 5-15 أوم متر، والمواد المتجويه تصل مقاومتها إلى 50 أوم متر مع طبقة الميزوزويك السفلية والتي لها مقاومة من مئات إلى آلاف الأوم متر. تشاهد النتائج المقابلة لنفس البيانات في شكل (7-38). إشتقت المقاومة الظاهرية (ρ_a) من انعكاسات بيانات الكهرومغناطيسية الجويه من جميع الست قنوات بغرض نموذج متجانس نصف الفراغ. تزيد العلامة للمقاومة الظاهرية بالقرب من السند 51 حيث تكون مصاحبة للانتقال من الطين النهري إلى ترسيبات الميزوزويك. يدل الرسم البياني للمقاومة (المنقط) على نتائج قليلة مناسبة بسبب مستويات الشوشرة العالية خلال النظام.



شكل (7-37): (أ) مسح مقياس خط ارتفاع الطيران للمسح الكهرومغناطيسي عند دونجلنج، أنهيو، الصين، Dongling, Anhui, China، (ب) استجابات الكهرومغناطيسية الجوية عند 6 قنوات مع مستويات قاعدة لكل قناة مع اسناد أرقام ثابتة، (ج) قطاع جيولوجي مستنتج من نتائج الكهرومغناطيسية الجوية ومعلومات آبار مع الإشارة لمقاومات مواد ظاهرة (هيونج بلاكي 1991 Hunang and Palaky)

تم عمل الانقلاب باستخدام نموذج طبقتين لكل مقاومة موجودة بين 200-700 أوم متر لطبقات الميزوزوى، 5-12 أوم متر لطين السينوزوى النهري وحوالي 20 أوم متر لرسوبيات الميزوزوى المتجوية، وجميعهم في تطابق جيد مع نتائج قاعدة التفسيرات الأرضية. أكثر من هذا، الأعماق المستخرجة من الانقلاب (النقط) متفقة



شكل (7-38): مقاومة ظاهرية p_a وطبقات مقاومة p_2, p_1 أخذت بواسطة عكس نتائج الكهرومغناطيسية الجوية، من شكل (7-36). وضح تفسير عمق صخور الأساس عند كل مكان إسناد أخذت من عكس الكهرومغناطيسية الجوية (فقط) ومن الحفر (خط شرط) للمقارنة (هيونج وبلاكي 1991 Huang and Palajy)

جدا مع التي وجدت من الحفر (خط مشروط) كما في شكل (7-37). يفسر هذا المثال تأثيرات طريقة الكهرومغناطيسية الجوية المزدوجة مع عمليات انقلاب ملائمة في معرفة تخريط الحواف الجيولوجية. توضح الطريقة مسئولية خاصة الزمن المبكر والذي يكون حساس لتباين التوصيلية في الأسطح القريبة.

