

## الفصل الثامن

### الإستكشاف الرادارى

### Radar Exploration

### الإختراق الرادارى الأرضى

### Ground Penetrating Radar (GPR)

#### 1.8 مقدمة Introduction:

منذ منتصف الثمانينات (1980) فى القرن الماضى، أصبح شائعا استخدام الإستكشاف الرادارى بتوسع خاصة خلال المجموعات الهندسية والآثار. بينما كان استخدامه للتطبيقات الجيولوجية منذ الستينات من القرن الماضى مع تقدم مسبار صدى الراديو الصوتى لألواح الثلج القطبى. الآن، تقدمت جدا التطبيقات الرادارية للجيولوجيا.

يمكن تقسيم الإختراق الرادارى الأرضى إلى ترتيب افتراضى منفصل موضوع على أساس تردد الهوائيات. التطبيقات الجيولوجية، حيث يكون الإختراق العميق أكثر أهمية من التحليل الدقيق جدا، لذلك تكون الهوائيات المستخدمة أقل من أو تساوى 500 ميغاهرتز للتطبيقات الهندسية أو للاختبارات عديمة الهدمية (non-destructive testing (NDT)) فيكون تردد الهوائيات 500 ميغا هرتز أو أكثر ويكون نموذجى عند 900 ميغاهرتز.

#### 2.8 تطبيقات الإختراق الرادارى الأرضى (GRP) Applications of Ground Penetrating Radar (GRP)

##### 1- الجيولوجيا Geological:

- 1- إكتشاف الشقوق والكهوف الطبيعية.
- 2- خرائط الهبوط.
- 3- تخريط الأجسام الرملية هندسيا.
- 4- تخريط الرواسب السطحية.
- 5- تخريط طبقات التربة.
- 6- إستقصاء التلجانات الجيولوجية.
- 7- الإستكشاف المعدنى وتقدير المصدر.

- 8- تخريط سمك الفحم الخثى (خشب صخرى نصف متفحم) وتقييم الموارد.
- 9- إستقصاء الترب المتجمدة.
- 10- تحديد حواف الثلج.
- 11- تخريط الكسور فى صخور الملح.
- 12- تحديد مواقع الفوالق، الصدوع، راقات الفحم... إلخ.
- 13- تخريط التركيبات الجيولوجية.
- 14- تخريط رواسب البحيرات وقيعان الأنهار.

#### II- البيئى Environmental:

- 1- تخريط التداخلات الملوثة.
- 2- تخريط وإنذار التلوثات خلال المياه الأرضية.
- 3- إستقصاءات الردم الأرضى.
- 4- تحديد أماكن خزانات الوقود وبراميل الزيت المدفونة.
- 5- تحديد أماكن ترسيب الغازات.
- 6- إستقصاء المياه الأرضية.

#### III- الثلجات Glaciological:

- 1- تخريط سمك الثلج.
- 2- تحديد التركيبات الداخلية للثلجات.
- 3- دراسات حركة الثلج.
- 4- إكتشاف سطح وقاعدة أخاديد الثلجات.
- 5- تخريط مجارى المياه خلال الثلجات.
- 6- تحديد سمك ونوع البحر وبحيرة الثلج.
- 7- تحديد إتزان كتل مافوق الثلجات.
- 8- تحديد طبقات الثلج.

#### IV- الهندسة والإنشاءات Engineering and Construction:

- 1- تحليل رصف الطرق.
- 2- إكتشاف الفجوات.
- 3- تحديد أماكن التقوية فى الخرسانة.
- 4- تحديد أماكن الإستخدامات البشرية (أنابيب ، كابلات ... إلخ).
- 5- إختبار صلاحية مواد البناء.
- 6- إختبار الخرسانة.

## V- الأثار Archaeology:

- 1- تحديد مواقع التراكيب المدفونة.
- 2- إكتشاف وتحديد الطرق الرومانية... إلخ.
- 3- تحديد مواقع دعائم الفتحات.... إلخ.
- 4- تخريط ما قبل الحفر.
- 5- إكتشاف الفجوات (القباءات... إلخ).
- 6- تحديد مواقع القبور.

## VI- علم القضاء Forensic Science:

- 1- تحديد أماكن أهداف مدفونة (الإجسام... إلخ):

وقد طور جيش الولايات المتحدة الأمريكية الرادار الأرضى نوعا ما خلال حرب فيتنام، وحيث أنشأت أنظمة لتحديد التنقيب عن الأنفاق المخفية. بعد إنتهاء الحرب إستخدم نظام الإختراق الرادارى الأرضى للأغراض المدنية بواسطة أنظمة المسح الجيوفيزيقي.

للإستقصاء الإقليمي ولمقاسات كبيرة، فإن قياسات الرادار تزداد من طائرات الهليكوبتر والأقمار الصناعية. مثال ذلك، إستخدمت صور رادارية القمر الصناعى للتخريط التحت سطحى فى مناطق حافة لتحديد مواقع ظواهر هامة للغرض الهيدروجيولوجى، والتي يكون من الصعوبة جدا تحديدها بإستخدام المسوحات الأرضية الأساسية. مثال آخر لذلك، تحديد نظام مصارف الأنهار القديمة المدفونة الآن تحت صحراء رملية فى أفريقيا والتي برهنت أخيرا أنها مصدر هام لمياه صالحة للشرب.

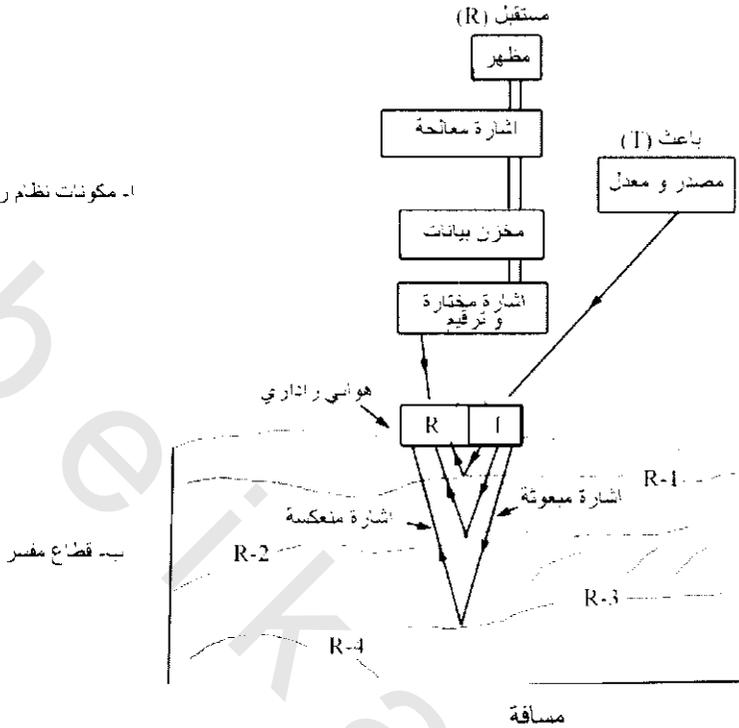
## 1.2.8 أساسيات العمل Principles of Operation:

يتكون نظام الرادار من مولد مفرد، هوائيات إنبعاث وإستقبال، بعض الأنظمة المتطورة متصلة بحاسب آلى لكى يسهل معالجة النتائج المطلوبة فى الحقل أو لتسجيلها. ويوضح شكل (8-1) المكونات الأساسية لنظام الرادار. يولد هوائى الباعث سلسلة موجيه من موجات الراديو والتي تنتشر بعيدا كأشعة عريضة. عندما تصل موجات الراديو لأعلى سرعة (300,000 كم/نث أو 0.3 متر/نانو ثانية)\* فإن زمن وصول موجة الراديو من لحظة الإنبعاث إلى هوائى المستقبل تكون من رتبة عشرات قليلة إلى عدة آلاف نانو ثانية. هذه تتطلب القياس بآلات دقيقة جدا لقياس لحظة الإنبعاث بالضبط الكافى من أجل الدقة النهائية للنظام، وذلك ليكون القياس معتدل بالمقابل لأزمنة الوصول فى الإستجابة، الهوائيات المستخدمة إما أن تكون أحادية النمط الإستاتيكي أو ثنائية الإستاتيكية. يكون نمط أحادية الإستاتيكية عند إستخدام جهاز هوائى كباعث ومستقبل بينما فى نمط ثنائية الإستاتيكية يكون هوائى الإنبعاث والإستقبال منفصلين. هناك حالات معينة يفضل فيها إستخدام ثنائى الإستاتيكية\* عن أحادى الإستاتيكية كما فى قياس إتساع زاوية الإنعكاس والإنكسار (Wide-angle reflection and refraction VARR).

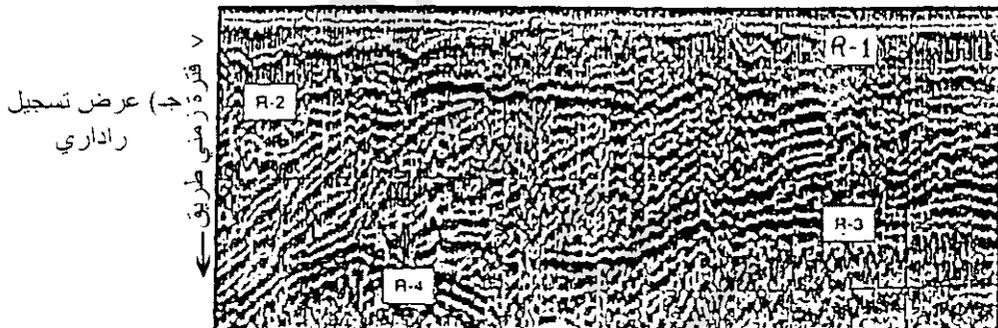
\* نانو ثانية (نث): 10<sup>-9</sup> ثانية.

\* ويستخدم لهذا النمط جهاز نبطات نظام (EKKO) جهاز إختراق رادارى مصنع بواسطة (Sensor & Software Ltd., Canada)

1- مكونات نظام راداري



شكل (8-1): شكل مبسط (أ) مكونات نظام راداري، (ب) قطاع مفسر، (ج) عرض تسجيل راداري



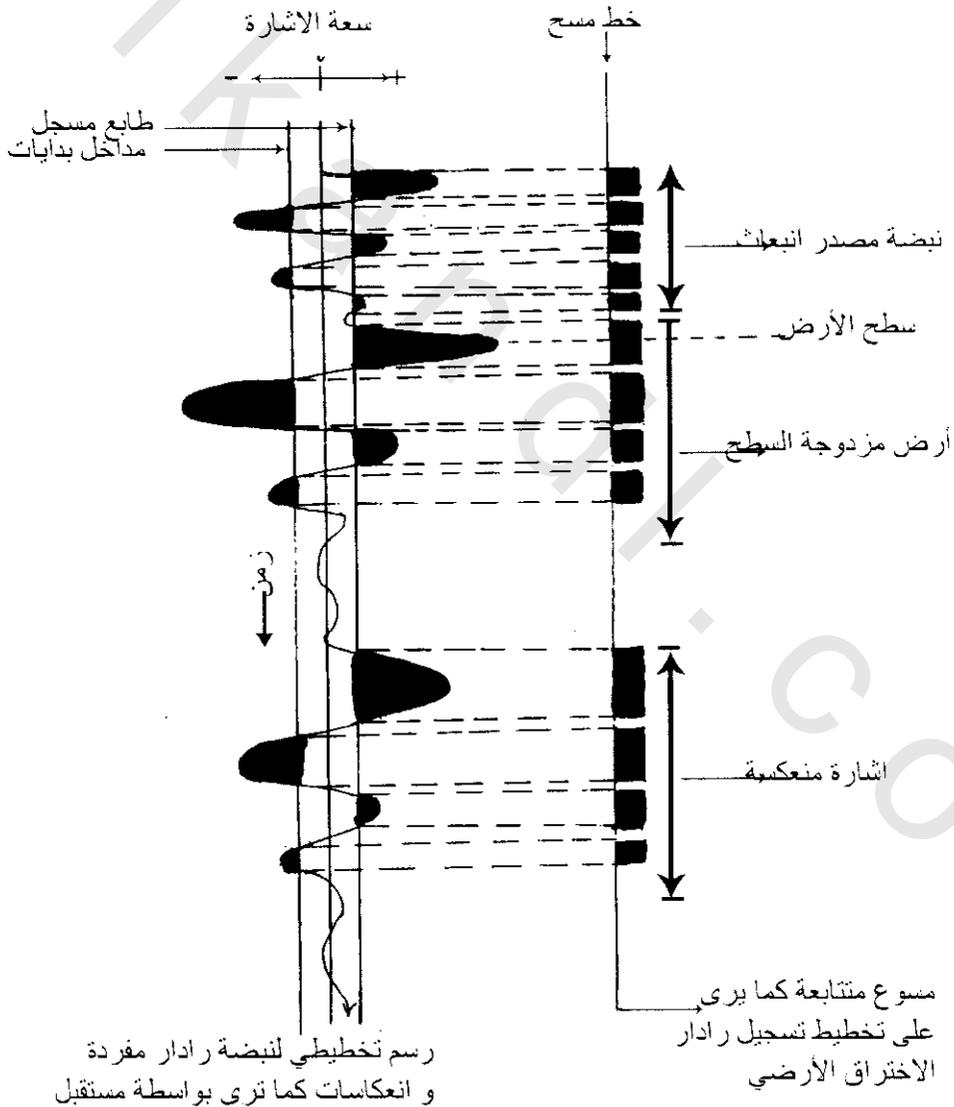
تولد البواعث نبضات موجات راديو عند تردد يتحدد بواسطة خواص الهوائي المستخدم وذلك عند معدل تكرار نموذجي 50,000 مرة كل ثانية. عادة يضبط هوائي الاستقبال للمسح عند معدل ثابت أعلى من 32 فحص دقيق لكل ثانية، معتمدا على النظام المستخدم. يمكن ضبط أى تأخير مسح على طول مدى لطريقي زمن الفترة الكلى وذلك من عشرات قليلة إلى عدة آلاف نانو ثانية. يمثل كل مسح على شاشة فيديو أو تسجيل خطى أو كليهما. طالما تتحرك الهوائيات على الأرض، فإن إشارات المستقبل تمثل كدالة لطريقي فترة الزمن، وهذا يعنى أن التسجيل الراداري (يشبه التسجيل السيزمي) به الزمن المأخوذ من لحظة الإنبعث إلى زمن الإكتشاف بواسطة المستقبل.

لكى تمد طول نبضة موجة الراديو المنبعثة بانعاكاسات يمكن تحليلها يجب أن تكون كافية القصر (نموذجيا >20 نانو ثانية معتمدة على تردد الهوائي ونوعه). كذلك من المهم تحديد شكل وخواص موجات رادارية الباعث على أن تكون عالية التكرار. مثلا تحدد الطريقة التى يمثل فيها تسجيل الإشارات على راسم التسجيل بواسطة الراصد ويوضح شكل (8-2) مخرج مبسط. أيضا، يوضح الشكل أن الإشارات ذات السعات الأكبر من البداية المضبوطة المطبوعة باللون الأسود على قطاع الرادار. فى بعض الحالات، ربما يكون ملانما جدا طبع كلا من الموجب والسالب، أو عندما يكون مجرد موجب وسالب فإنه يمكن أيضا تمثيل المخرج بفترة من مساحات

تذبذب متغيرة أو آثار تذبذب فقط (تماما كما فى تمثيل النتائج السيزمية). عامة، تمثل أكثر أنظمة التسجيلات الرقمية سفسة سعة الإشارات تبعا للمقياس الرمادى أو قائمة الألوان، مثلا، أقوى الإنعكاسات يمكن إستخراجها بواسطة أكثر الألوان بريقا.

يلاحظ أن مصدر النبضة يتكون من أكثر من طول موجى واحد ولذلك فله شكل موجى معقد. يؤثر الإزدواج الأرضى على شكل ومدة هبوط إعاقه الموجه ولذلك فإن شكل الموجه لآى إنعكاس يكون معقد تماما، ولكن مدة عرض النبضة يعود لتوهين (تخفيف) مركبات التردد العالى للإشارة. يتكون حدث الإنعكاس من عدة موجات معاقه وليست واحدة، ولذلك يلزم أخذ هذا فى الإعتبار أثناء تفسير نتائج الرادار.

يجب أن يكون نظام القياس له مدى كاف للحساسية والديناميكية ليكون قادر على كشف قوى الإشارات الصغيرة المصاحبة مع نبضات الرادار العائدة. أيضا، يجب أن يكون قادر على إنتاج إخراج مصنوعات مناسبة الوضوح للتفسير.



شكل (2-8): مثال تخطيطى لنقل (إزاحة) مقدمة موجة مستقبلة (مسح واحد) على مخرج تخطيط مسجل

### 2.2.8 إنتشار موجات الراديو Propagation of radiowaves :

تكون للخواص الإلكترومغناطيسية للمواد علاقة بمكوناتها واحتواءها للماء، وكلاهما يؤكد التحكم الأساسى لسرعة إنتشار موجات الراديو وتوهين (تخفيف) الموجات الإلكترومغناطيسية فى المواد. تعتمد سرعة موجات الراديو فى أى وسط على سرعة الضوء فى الفراغ ( $V = 0.3$  متر/نانو ثانية =  $300,000$  كيلومتر/ثانية). أما سرعة موجات الراديو فى المادة ( $V_m$ ) فتحدد من المعادلة الآتية:

$$V_m = C / \{(\epsilon_r \mu_{r/2}) [(1 + \rho^2) + 1]\}^{1/2} \quad (8-1)$$

حيث  $C$  = سرعة الضوء فى الفراغ،  $\epsilon_r$  = الثابت النسبى للعازل الكهربى،  $\mu_r$  = النفاذية المغناطيسية (= 1 للمواد الغير مغناطيسية)،  $\rho$  = معامل الفقد  $\frac{\sigma}{W_e}$  حيث  $\sigma$  = التوصيلية،  $W = 2\pi f r$  حيث  $f$  = التردد، (فى المواد قليلة الفقد فإن  $\rho \approx 0$ )،  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$  = سماحية العازل حيث  $\epsilon_0$  سماحية العازل للفراغ ( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m).

$$\therefore V_m = C \sqrt{\epsilon_r} = 0.3 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (8-2)$$

تعتمد طريقة الرادار الأرضى على قابلية تغير الأرض للسماح لإنبعاث موجات الراديو، وبعض المواد مثل الثلج القطبى ناقل حقيقى لموجات الراديو. هناك مواد أخرى تمتص أو تعكس موجات الراديو مثل الماء المشبع للطين وماء البحر لذلك فإن إمتدادها يكون معتم لموجات الراديو. يعطى التباين فى نسبة الثوابت للعوازل بين الطبقات المجاورة إنعكاس لإشعاعات الكهرومغناطيسية الساقطة كلما زاد التباين كلما كبرت كمية طاقة موجات الراديو المنعكسة. تعطى نسبة الطاقة المنعكسة بواسطة معامل الإنعكاس ( $R$ ) والذى يحدد بواسطة التباين فى سرعات موجات الراديو، و، أكثر أساسية، بواسطة التباين فى ثوابت العوازل النسبى للأوساط المجاورة.

$$R = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \quad (8-3)$$

(معامل سعة الإنعكاس)

$V_1, V_2$  سرعتى موجات الراديو فى طبقة 1، 2 بالتتابع،  $V_1 < V_2$  ايضا

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (8-4)$$

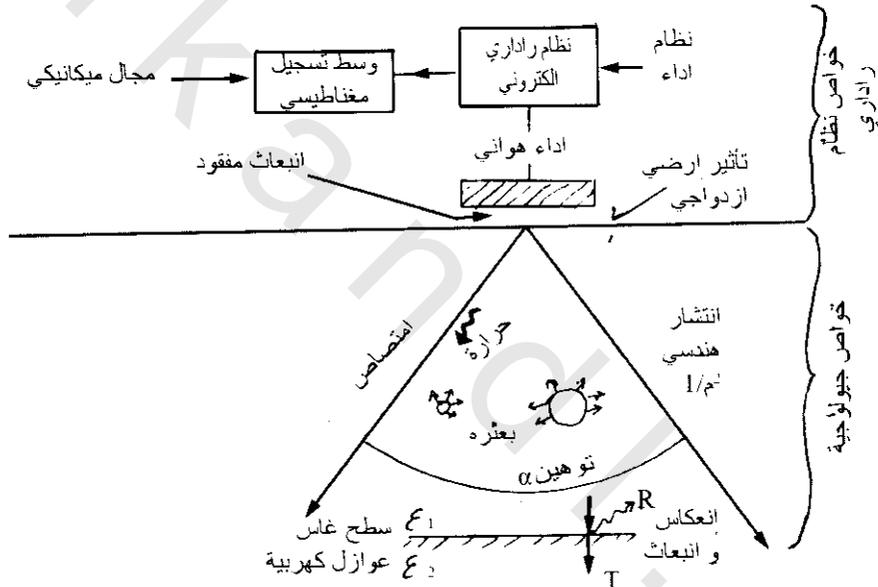
حيث  $\epsilon_1, \epsilon_2$  ثوابت نسبية لعوازل الطبقات 1، 2 بالتتابع والتي تكون مناسبة للتطبيق عند سقوط زاوية قائمة لمستوى العاكس. نموذجيا،  $\epsilon_1$  تزداد مع العمق. نسبة إنبعاث الطاقة تساوى ( $R-1$ ). تطبق المعادلة (8-2)، (8-3) لإسقاط عمودى على مستوى السطح بفرض عدم فقد إشارة أخرى، وتشير قوة معامل الإنعكاس التى تساوى  $R^2$  إلى سعة الإشارة.

يجب التذكر دائما عند التعامل مع الرادار الأرضى أن الإشعاع الكهرومغناطيسى وإنتشاره يوصف بواسطة معادلات ماكسويل Maxwell's equations بمركبة كهربية ( $E$ ) عمودية على المركبة المغناطيسية ( $H$ ). ويوجد خطورة عند عمل مقارنة لتسجيل الرادار إلى التسجيل السيزمى حيث ربما يتغاضى عن المتجه الطبيعى للرادار،

لذلك تكون الافتراضات خاطئة حول طريقة التصرفات لموجات الراديو في الوسط الجيولوجي. لذلك في أغلب الحالات تستخدم عمليات البيانات السيزمية لتأثيرها. من الخواص المميزة للأستقطاب الكهرومغناطيسي لموجات الراديو أنها أكثر تشابه للموجات السيزمية العرضية  $S_W$  من الموجات السيزمية الطولية  $P_W$ .

### 1.3.2.8 فقدان الطاقة وتوهينها (تخفيفها) Energy Loss and Attenuation:

يوضح شكل (3-8) العوامل التي تسبب في تقليل قوة إشارة موجات الراديو المنتشرة خلال الوسط تحت سطحى حيث يحدث إقلال الطاقة كتتابع إنعكاس /بالنسبة لفقد الإنتقال حول سطح تماس ويحدث لكل زمن مرور موجات الراديو خلال الحد. أكثر من هذا، يحدث هذا الإقلال إذا وجدت أشياء بأبعاد لنفس رتبة الطول الموجى بطريقة عشوائية، يعرف هذا بانتشار مى  $Mie$  ويسبب شوشرة (ضجيج) على قطاع الرادار، وتكون مشابهة للشوشرة المرئية على شاشات الرادار البحرية الناتجة بواسطة خلفية الإنتشار من الموجات البحرية فى الطقس الردى.



شكل (3-8): عمليات أدت إلى تقليل فى قوة الإشارة

بالإضافة للإنعكاس/فقد الإنتقال عند سطح التماس، تفقد الطاقة بواسطة الإمتصاص (تحول الطاقة الكهرومغناطيسية إلى حرارة). وهناك نوع من فقد الطاقة بسبب الإنتشار الهندسى للطاقة. تنتقل إشارة الرادار فى شعاع بزواوية مخروطية  $90^\circ$ . عند إنتقال إشارات الراديو بعيدا عن الباعث، فإن إنتشارها يسبب إقلال فى الطاقة لكل وحدة مساحة بمعدل  $1/r^2$  حيث  $r$  مسافة الإنتقال.

يكون التوهين السبب الأساسى لفقد الطاقة والذى يكون دالة معقدة للعازل والخواص الكهربية للوسط الذى فيه تنتقل إشارات الرادار. يعتمد معامل التوهين على التوصيل الكهبرى  $\sigma$  والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  وخواص سماحية العازل  $\epsilon$  للوسط الذى خلاله تنتشر الإشارة، كذلك تردد الإشارة نفسها  $2\pi F$ . يتحدد سلوك كتلة المادة بواسطة تبعيتها للخواص الفيزيائية لمختلف المكونات الموجودة ونسبة تواجدها.

وكموجات كهرومغناطيسية، فإن العمق الذى بواسطته تقل الإشارة فى السعة إلى  $1/e$  (أى حوالى 37%) من القيمة الحقيقية يعرف بعمق السطح ( $\delta$ ) ويتناسب عكسيا مع معامل التوهين (التخفيف)  $\left(\frac{1}{\alpha} = \delta\right)$ . وتوضح

المعادلة الآتية العلاقة بين عمق السطح ومعامل التخفيف.

$$E_0/E_x = \exp(-\alpha x) \quad (8-5)$$

حيث  $E_0$  قمة قوة المجال الكهربى على النقل،  $E_x$  قوة المجال الكهربى المنخفض على بعد  $x$ ،  $\alpha$  معامل التخفيف

$$\alpha = W \left\{ \left[ \left( \frac{\mu_\epsilon}{2} \right) \left[ 1 + \frac{\sigma^2}{W^2 \epsilon^2} \right]^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (8-6)$$

حيث  $W = 2\pi f$ ،  $f$  تردد المركبة الرأسية المغناطيسية (Hz)،

$\mu$  النفاذية المغناطيسية:  $4\pi \times 10^{-7}/m$

$\sigma$  معامل التوصيل الكتلية عند ترجح معطى (S/m)،

$\epsilon$  معامل سماحية العازل  $= F/m \times 10^{-12} \times 8.85 \times \epsilon_r$

$\epsilon_r$  معامل سماحية العازل الكتلية.

هذه الصيغة صالحة للمواد الغير مغناطيسية فقط المصطلح  $(\sigma/W\epsilon)$  يكافى معامل الفقد ( $\rho$ ) حيث

$$\rho = \sigma/W\epsilon = \tan D \quad (8-7)$$

أيضا

$$(\delta) = \frac{1}{\alpha} \quad (8-8)$$

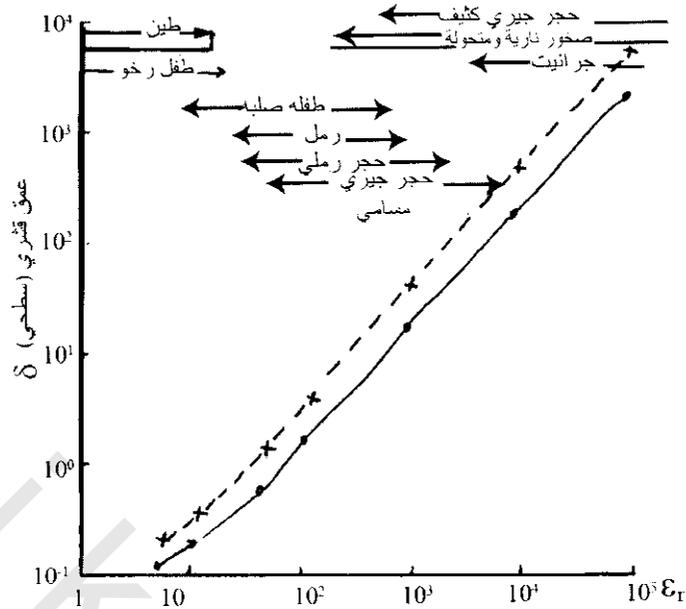
عندما  $\tan D \gg 1$ ،  $\delta = (2/\sigma)(\epsilon/\mu)^{1/2}$  فإنه عدديا

$$\delta = (5.3) \sqrt{\epsilon_r / \sigma}$$

حيث  $\sigma = m_s/m$

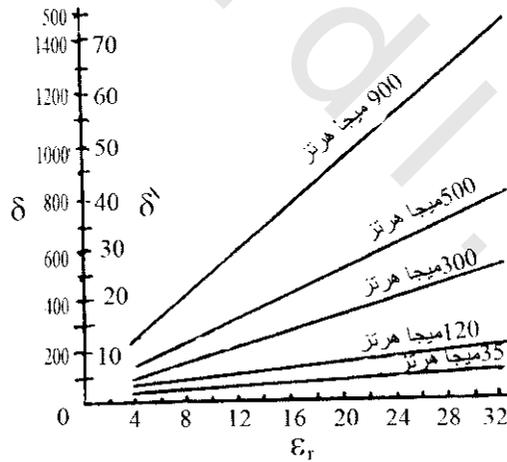
بإستخدام المصطلح النهائى للعمق السطحى، وبالتعويض بقيم نموذجية لماء البحر. وجد أن العمق السطحى فى ماء البحر 1 سم وبالنسبة للطين المبلول 0.3 م. عندما حسب العمق السطحى للصحور الجافة الغير متجوية، وجد أن مصطلح معامل التوصيل أساسا يقل وعندئذ يزيد العمق السطحى ويحتمل إختراق عمق أكبر. يوضح شكل (4-8) تغير عمق السطح كدالة للمقاومة الأرضية عند أقصى توقع فى مكان ثوابت نسبة الممانعة الكهربية (مكان وآخرين 1988 McCann et al).

من المهم تذكر تحويل الإزاحة البسيطة للعمق السطحى تكون صحيحة فقط عندما يعتبر معامل الفقد أقل من 1، يستخدم شكل (5-8) لتحديد العمق السطحى عندما تكون مثل هذه الحالات صحيحة. مثال ذلك إذا كانت التوصيلية الحقيقية المرصودة  $15ms/m$



شكل (4-8): تغير عمق قشري  $\delta$  كدالة لمقاومة  $\epsilon_r$  لـ 40 (مكان وآخرين 1988 McCann)

عندئذ يحتاج معامل الفقد أن يعتبر في صيغته النهائية في جميع الأحوال الأخرى إلا عندما يستخدم تردد هوانى 900 ميگاهرتز، طالما ثابت العزل النسبى أكثر أو يساوى 6. إذا لم يستخدم الشكل النهائى لمعامل التخفيف تحت هذه الظروف، تكون القيمة المشتقة للعمق مبالغ في تقدير قيمتها.



شكل (5-8): حالات التى أسفلها معامل  $\tan D > 1$

يجب ملاحظة أن العمق السطحي لا يعادل عمق الإختراق للرادار الأرضى. لتحديد مدى الرادار، يؤخذ في الإعتبار عوامل الجهاز بالإضافة إلى التى لها علاقة مع الهدف تحت سطحى والوسط الذى خلاله تسير موجات الراديو. طريق الفقد الكلى للمسافة المعطاه يعمل من خمس مصطلحات، مفقود الهوانيات، مفقود النقل بين الهواء والأرض، الفقد الناتج بواسطة المسافة الهندسية لأشعة الرادار، التوهين (التخفيف) خلال الأرض كدالة لخواص

المواد، والفقد بسبب تشتت إشارات الرادار من الهدف نفسه. العلاقة بين مدى الرادار وتحديد أداء نظام الرادار Q توضحها المعادلة الآتية:

$$Q = 10 \log \left\{ \frac{E_{Tx} E_{Rx} G_{Tx} G_{Rx} V^2 (gF) \exp(-4\alpha Z)}{64\pi^3 f^2 Z^4} \right\} \quad (8-9)$$

حيث:

$$E_{Tx}, R_x = \text{كفاءة هوائيات الباعث والمستقبل}$$

$$G_{Tx}, R_x = \text{قرب الباعث والمستقبل}$$

$$g = \text{زيادة خلفية تشتت الهدف}$$

$$f = \text{مساحة مقطع تشتت الهدف}$$

$$Z = \text{مسافة الهدف من الهوائى}$$

$$\alpha = \text{معامل التوهين (التخفيف) للوسط}$$

$$F = \text{تردد الإشارة}$$

أيضا تحدد Q المتغير فى شكل (6-8)

$$Q = 10 \log (P_{min}/P_s) \quad (8-10)$$

حيث  $P_{min}$  أقل قوة إشارة مكتشفة،  $P_s$  مصدر القوة.

فى المواد الأقل فقد يكون مدى Z تقريبا  $D_2$  10، وفى المواد الأعلى فقد يكون مدى Z تقريبا  $D_2/D_1$  حيث

$$D_1 = 2A / (40 - 10 B_2) \quad (8-11)$$

$$D_2 = \left\{ \frac{Q + 10 \log(s) + 10 \log V^2 + 10(B_1 + (B_3 - 2) \log F)}{40 - 10 B_2} \right\} \quad (8-12)$$

$$S = E_{Tx} E_{Rx} G_{Tx} G_{Rx} / 64\pi^3 \quad (8-13)$$

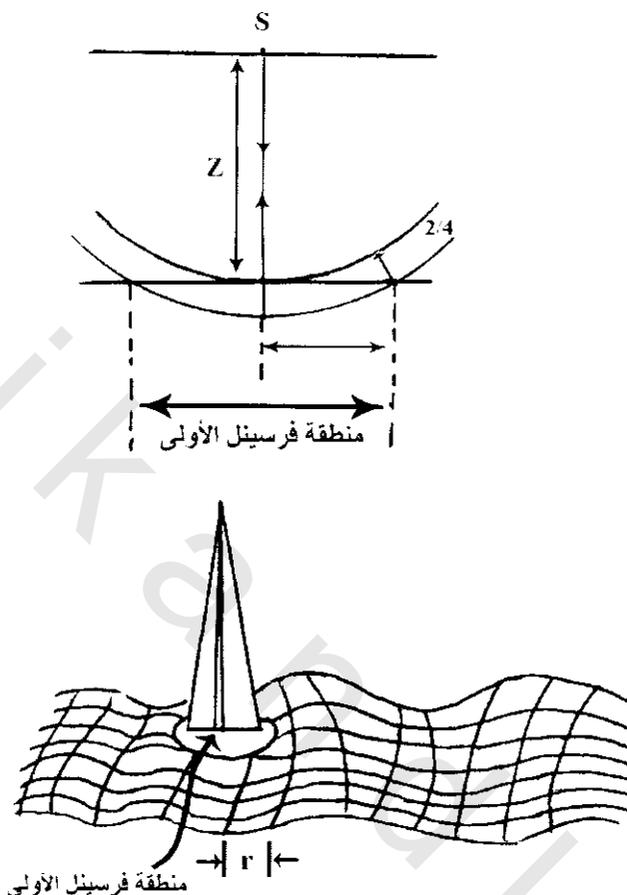
حيث  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  قائمة فى الجدول الآتى:

$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_1$	gF	نوع الهدف
0	2		$\pi S^2 R$	مستوى عاكس ناعم
1-	1	$\log(\pi R)$	$\pi(V^2/16)f^2 + V_z/2f)/R$	مستوى عاكس خشن
4	0	$\log(64\pi^5 a^6 f^4/V^4)$	$(64\pi^5 a^6 f^4/V^2)R$	نقطة هدف Rayleigh

يوضح شكل (6-8) المركبات المؤثرة على الإشعاع ومردود القوة. ويوضح شكل (7-8) التغير لمدى إشارة الرادار كدالة لكلا من التخفيف وأداء جهاز الرادار بالنسبة لسطح ناعم عاكس، فإن الإشارة العائدة من سقوطها على السطح تظهر كصورة للمصدر، وإذا كان التخفيض فى القوة بواسطة قوة الإنعكاس R (=  $r^2$  حيث r سعة معامل الإنعكاس) للسطح الفاصل، فإن الإشعاع من مسافة بعيدة يكون أعلى مرتين عن الحد.



وحدات جيولوجية محطمة بشدة عبر مسافات أقصر من طول موجة الطاقة الساقطة، عندئذ يكون احتمال كمية الطاقة المشتتة كبير، وكذلك احتمال رؤية مسجل الرادار تكون قليلة جدا لأي أحداث انعكاسية ملائمة مصاحبة لهذه المواد. لا يمكن استخدام هذه الخاصية نفسها مباشرة خلال التفسير لتشخيص أو وصف مميز لهذه المواد.



$$r = \left( \frac{\lambda^2}{16} - \frac{\lambda z}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

شكل (8-8): إنعكاس من سطح فاصل خشن براق يكافئ هدف مساحة المقطع مساحة منطقة فرسينل الأولى (أنان ودافس Annan & Davis 1977)

من المعادلة (8-5) ومشتقاتها، يتضح أن التخفيف يتناسب مباشرة مع التردد. التردد العالي يقابله إرتفاع في كمية التخفيف. من الواضح أيضا تأثير ثابت العازل الظاهر ( $\epsilon_r$ )، والتوصيلية الظاهرة عند تردد معطى ( $\sigma$ ) على نوعية التخفيف. يتأثر كل من هذه الخواص بواسطة تركيب المادة والسلوك الكهربى والكثرة النسبية لكل مكون. يتناسب معامل الفقد  $\tan D$  طرديا مع التوصيل وعكسيا مع ثابت العزل النسبى والتردد. لوسط حبيبي مشبع، تسود التوصيلية وثابت العزل النسبى لسائل التشبع على قيم النسيج الأساسى المقابل. لاتساوى نسبة ثابت العزل الظاهرية ( $\epsilon_r$ ) بالضبط لناتج المسامية ( $\phi$ ) ونسبة ثابت العزل الظاهرية للسائل ( $\epsilon_f$ ). نتيجة لهذا يكون أعلى تخفيف عند أكثر توصيلية للسائل المشبع، وأكبر نسبة لوجوده مع نسبة ثابت عزل عالية تابعة ( $\epsilon_r = 81$ ). بالمثل يكون معامل فقد أكبر وأيضا التخفيف عند احتواء طين أعلى حيث ترجع أهمية الطين أنه يملك ربط مائى خلال نسيجه التركيبى. أيضا تظهر المعادن الطينية خواص كهربية معينة نتيجة لتركيبها الفيزيوكيميائى.

## 2.3.2.8 التحليل الأفقى والرأسى Horizontal and Vertical Resolution:

يقيس التحليل الرأسى قدرة التفريق فى الزمن بين إشارتين متجاورتين. ببساطة، التحليل الرأسى دالة للتردد. تصمم هوائيات الرادار ليعمل عبر مدى تردد (عرض نطاق ترددى) حيث تحدث ذروة القوة عند مركز تردد الهوائيات، يصنف المركز استقلالية الهوائيات، مثلا تردد هوائى 500 ميگاهرتز أى يكون مركز تردد 5000 ميگاهرتز. أيضا، يتناسب مركز التردد عكسيا مع فترة النبض (نانو ثانية). لذلك فإن تردد هوائى 500 ميگاهرتز تكون فترة نبضة  $1/500$  ميگاهرتز = 2 نانو ثانية، ولتردد هوائى 35 ميگاهرتز فتكون فترة نبضة  $28.6 = \frac{1}{35 \times 10^6}$  نانو ثانية. ويكون الطول المكافئ (متر) للنبضة هو حاصل ضرب فترة النبضة وسرعة موجات الراديو الخاصة بالمادة. مثلا التربة المبللة (سرعة =  $0.06$  م/نانو ثانية) يتردد هوائى 100 ميگاهرتز (فترة النبضة = 10 نانو ثانية)، فإن طول النبضة (الموجه) تكون  $10 \times 0.06$  متر أو 0.6 متر. ويمكن إعتبار التحليل ° الطول الموجى (h) للأشعة الساقطة.  $\frac{V}{F} = h$  حيث V سرعة موجة الراديو، f التردد. فى الحالة الأخيرة إذا كان الطول الموجى 60 سم فإن التحليل الرأسى النظرى يساوى 15 سم. يحتوى الجدول (1-8) على أقل تحليل نظرى للمادتين عند ثلاث ترددات منفصلة.

جدول (1-8) تحليل رأسى نظرى لمادتين جيولوجيتين عند ثلاث ترددات.

ترددات هوائية ميگاهرتز			المادة الجيولوجية	ترددات هوائية (ميگاهرتز)			المادة الجيولوجية
900	500	120		900	500	120	
			صخر أساس:				تربة
12	22	92	طول موجى (سم)	8	15	62.5	طول موجى (سم)
3	5.5	23	تحليل (سم)	2	3.75	15.6	تحليل (سم)

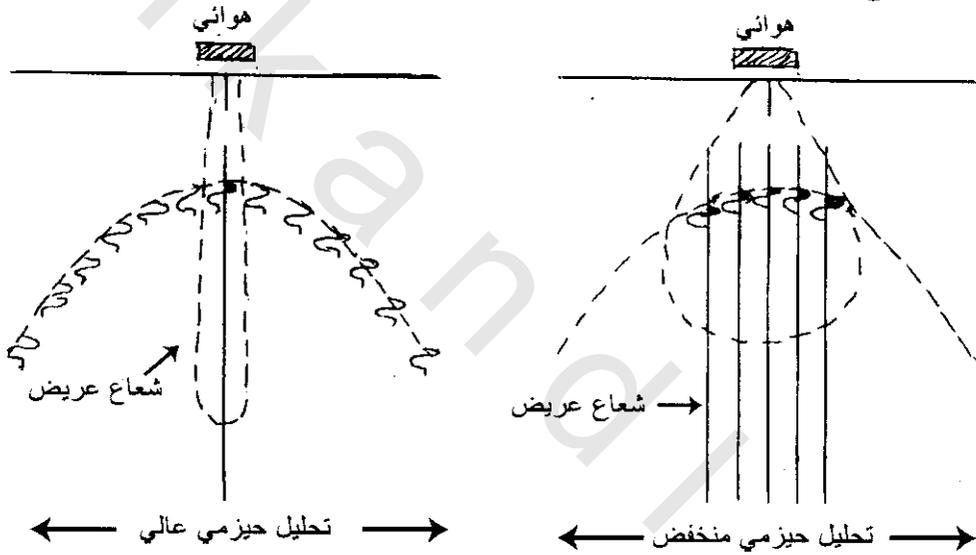
المثال الأول فى الجدول السابق يكون نموذجيا عندما تكون السرعة (V) =  $0.75$  متر/نانو ثانية والثانى بالنسبة لكتلة صخرية مثل الحجر الجيرى بسرعة (V) =  $0.100$  متر/نانو ثانية ويكون التحليل الرأسى المعطى حسن جدا إذا أنجز رياضيا. فى الحقيقة يكون التحليل أقل من هذه الأرقام بسبب تعقد مصدر شكل الموجة الطبيعى وتجاوب الأرض.

ينتج وضع الهوائى مباشرة على الأرض إشارة "مزدوجة أرضية" هذا يعنى أن شكل الموجه لأبعاد إنتاجها عندما تبعث للأرض. تؤثر المادة فى الشكل والنمط والسعة (القوة) لخفض مصدر مسار تتابع الموجه وتأثير الترشيح عليها. يقل طول مصدر النبضة بزيادة التردد، ولكن يمكن تفسير نتوء النبضة الأساسى فقط. هذا التعقيد لمصدر شكل الموجه له متابعة هامة للتفسير.

مثلا، إذا كان لإنخفاض موجة الرادار ثلاث دورات بفترة كلية 25 نانو ثانية، فهذا يعنى أن الإنعكاس من أى سطح تماس متساوى إذا لم يكن أكبر تعقيدا للشكل والفترة. ترجع الإستطالة لفقد ترددات عالية خلال الإشارة حيث تخفف الترددات العالية بنسبة أكبر من الترددات المنخفضة.

مثلا، إذا فصلا سطحى تماس بعدة عشرات قليلة من السنتمرات، تكون سرعة موجة الراديو بينهم هى فترة الزمن بين الإنعكاس من سطح التماس الأول (غالبا الأعلى) ويكون زمن الإنعكاس الآخر من الثانى أقصر من فترة تتابع الموجه، لذلك سيختفى بداية الإنعكاس الثانى بواسطة مؤخرة الأول ولهذا ربما لا يحل.

الصعوبة الأخرى هي انخفاض فترات الإشارة عن الباعث في مخروط الإشعاع بآثر حجم أساسى محدد هو نصف منطقة فرنسيل Fresnel الأولى وهي الأصغر والتي فيها لا يتصور ظواهر الأبعاد الصغيرة، ويشير شكل (8-8) إلى نصف قطر منطقة فرنسيل الأولى. يتأثر هذا الأثر بحجم الأساس لكلا من التحليل الرأسى لكلا من التحليل الرأسى (عندما تميل سطوح التماس بشدة أولها سطح سعوى كبير متعرج بالنسبة لطول موجة الراديو الساقطة) والتحليل الأفقى. يقابل منطقة فرنسيل الأولى انخفاض التحليل الأفقى فى التمييز بين الأهداف المجاورة. أكثر من هذا، يتأثر التحليل الخاص بواسطة عرض الشعاع المخروطى لإنخفاض موجات الراديو شكل (8-9)، ويقابل ضيق عرض الشعاع كبر التحليل الخاص. يتناسب التحليل الخاص عكسيا مع  $\sqrt{\alpha}$  حيث  $\alpha$  معامل التوهين (التخفيض). تبعا لذلك فإن التحليل الأفقى أفضل عبر مادة فقد كبير من وسط فقد منخفض، حيث تسمح أنظمة الرادار برص أفقى للمسوحات الجانبية لتحسين الإشارة إلى نسبة الشوشرة، يقل التحليل الأفقى كلما زادت كمية الرص الأفقى. يوجد توافق عملى يصل بين قوى الإشارات العائدة الملائمة بواسطة الصف الأفقى وإقلال التحليل الأفقى.



شكل (8-9): تحليل أفقى ناتج عن أشعة عريضة

عند استخدام فتحة رادار نموذجى (SAR) synthetic aperture, radar (هولوجرافيك رادار holographic radar)، لعمل القياسات بواسطة هوائى مفرد عند عدد من الأماكن المختلفة وتكون النتائج المجمعة تظاهر بشعاع ضيق أكثر من التى أنجزت بواسطة استخدام هوائى مفرد عند موقع واحد.

### 5.2.8 خواص العوازل الكهربائية الأرضية لمواد الأرض: Dielectric Properties of Earth Materials

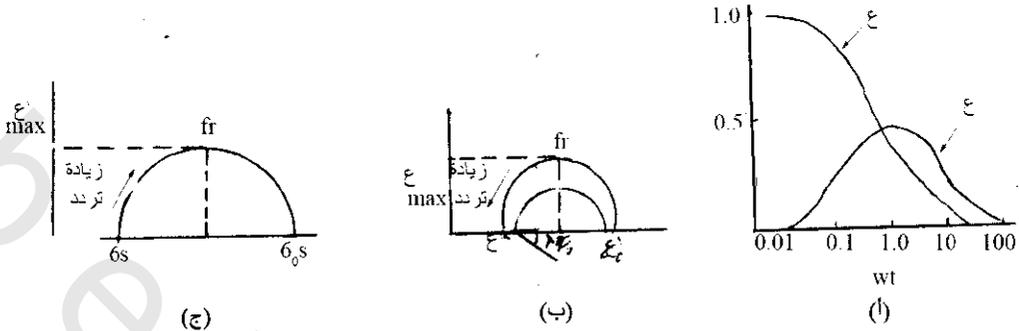
يوصف سلوك خواص العوازل الأرضية فى صيغ سماحية معقدة ( $\epsilon^*$ ) وتوصيلية معقدة ( $\sigma^*$ ) والتي ترتبط بعلاقات متبادلة حيث تعطى السماحية المعقدة ( $\epsilon^*$ ) لمواد غير موصلة بواسطة

$$\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon'' \quad (8-14)$$

حيث  $\epsilon''$  تنقط (ترسم) كدالة لـ  $\epsilon'$ ، ويكون محصلة الرسم البيانى نصف دائرى. يعرف هذا التنقيط بتنقيط كول-كول وذلك بعد عمل الأصليين كول وكول (Cole and Cole 1947). إذا كانت للمادة توصيلية  $\sigma$ ، عندئذ

$$\epsilon^* = \epsilon' + i(\epsilon'' + \sigma_s / \omega \epsilon_0) \quad (8-15)$$

حيث  $\sigma_s$  توصيلية ساكنة أو مستمرة (DC)،  $\epsilon_0$  سماحية الفراغ. عند ترددات منخفضة، يسود تعبير مستمر (DC) وتنتج نهايات ترددات منخفضة شكل (10-8)



شكل (10-8):

تكون علاقة  $\epsilon''$  (نقد التردد التابع) بالتراخي مسنولة عن الظاهرة المصاحبة لجزيئات الماء وتعطى التوصيلية المعقدة بالمعادلة الآتية:-

$$\sigma^* = \sigma' + i \sigma'' = j\omega \epsilon_0 \epsilon^* \quad (8-16)$$

لأغلب المواد الجيولوجية فإن  $\epsilon_r$  تقع في مدى خواص عوازل كهربية من 3-30. تبعاً لذلك يكون مدى سرعة موجات الراديو كبيرة من حوالي 0.175-0.06 متر/نانو ثانية، شكل (8-11). سرعة موجات الراديو في الهواء 299.8 متر/نانو ثانية. لمحاولة تقدير أعماق أى أهداف معطاة، يكون هناك أساساً معلومات عن سرعات موجات الراديو خلال المواد التحت سطحية الموجودة.

يوضح جدول (2-8) ثوابت خواص العوازل النسبية وسرعات الراديو المصاحبة لها لمواد جيولوجية ومصنعة مختلفة.

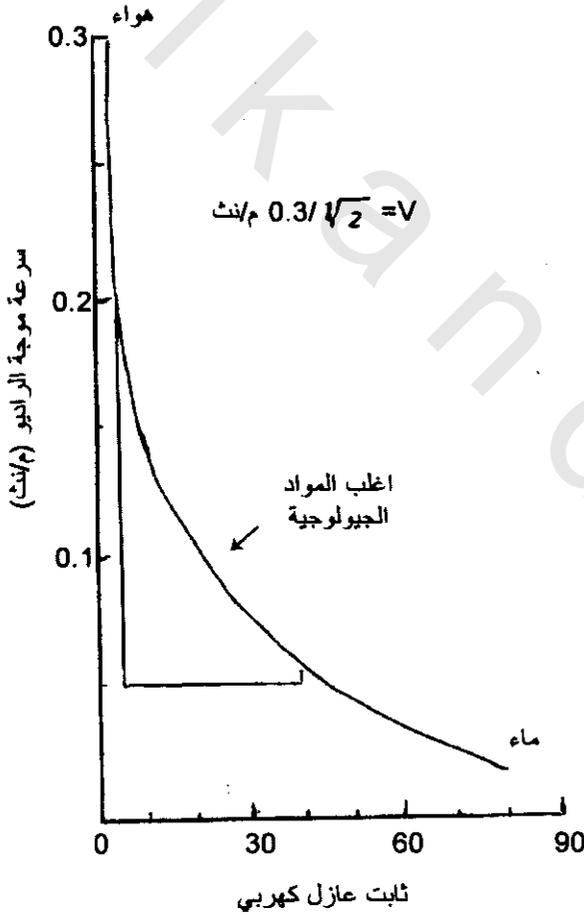
جدول (2-8)

السرعة (م/نث)	$\epsilon_r$	المادة	السرعة (م/نث)	$\epsilon_r$	المادة
86	12	مستنقعات	300	1	هواء
77	15	أرض زراعية	33	81	ماء (عذب)
83	13	أرض رغوية	33	81	ماء (بحر)
75	16	تربة متوسطة	252-194	3-1.4	ثلج قطبي
120-106	8-5	جرانيت	168	3.15-3	جليد قطبي
113-100	9-7	حجر جيرى	167	3-2	جليد معتدل
115-106	8-6.8	دولوميت	167	3-2	جليد نقي
106	8	بازلت (مبلل)	150	4	جليد بحيرات ماء عذب
113	7	طفلة (مبللة)	157-78	8-2.5	جليد بخار
112	6	حجر رملى (مبلل)	300-106	8-1	تربة دائمة التجمد
150-134	5-4	فحم	95	10	رمل شاطىء (جاف)
145	4-3	كوارتز	170-120	6-3	رمل جاف
112-55	30-6	خرسانة	60-55	30-25	رمل (مبلل)
173-134	5-3	اسفلت	95	10	غرين طمى (مبلل)
113	3	بولى اثيلين	110-86	15-8	طين (مبلل)
		راتنجات بوليستر	173	3	تربة طينية (جاف)

يجب التأكد على أن قيم كلا من ثابت العوازل الكهربائية وسرعة موجات الراديو تؤخذ فقط كأرقام مرشدة. ويرجع النقص لمدى بعض المواد لقلة القياسات المعمولة وهذا لايعنى شمولها لأنه لا يوجد تغير خلال هذه المواد والمدى المغطى سابقا لايعنى أيضا امتدادها.

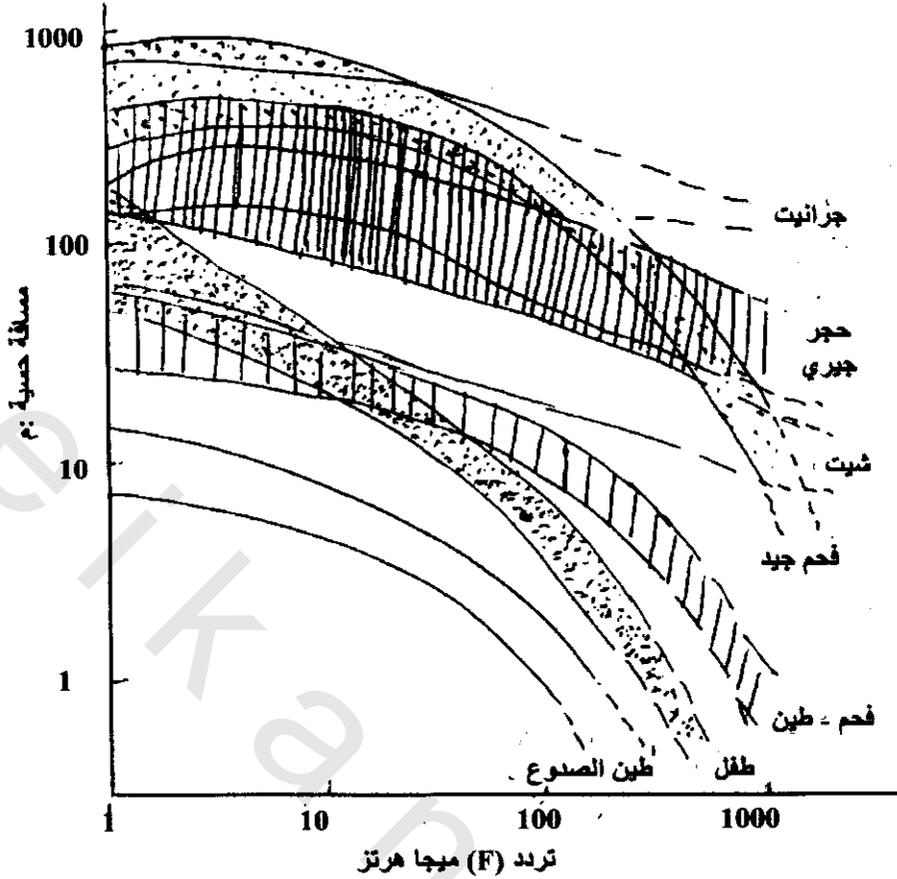
قام كوك 1975 Cook بعمل رسم تخطيطى توضيحي شكل (8-12) يوضح المجسات المسافية المنجزة للمواد الجيولوجية المختلفة عبر مدى تردد من 1 إلى 500 ميغاهرتز، الطين أكثر المواد الذى له أقصر مجسات مسافية أكثر من أغلب الصخور الكتلية مثل الجرانيت والحجر الجبرى.

عادة ما تكون أغلب المواد سواء جيولوجية أو من صنع الإنسان خليط معقد من مواد كل منها تتشابه فى اختلافه للخواص الكهربائية والعوازل الكهربائية، ويؤثر حجم وشكل الحبيبات على السلوك الظاهرى الكهربى والعازل الكهربى. تحتوى معظم الصخور على مدى من الرطوبة، أى تحتوى على سوائل خلال الفراغت الرقيقة أو خلال النسيج الشبكي المعدنى



شكل (8-11): سرعات موجات الراديو كدالة لعازل كهربى نسبى

كما فى أنواع كثيرة من معادن الطين. وحيث أن ثابت العازل الكهربى النسبى للماء أكثر من (81) بالنسبة للصخر الجاف فإن أى نسبة صغيرة للماء تزيد من السماحية الظاهرية للصخر. يرى شكل (8-12) تأثير محتويات رطوبة التربة للصخور المختلفة على الثابت النسبى للعوازل الكهربائية. أكثر من هذا فإن كمية الماء الموجودة خلال الصخر سوف تؤثر أيضا على سرعة إنتاشر موجات الراديو. وقد وجد أن سرعة الرادار خلال الماء العذب  $3.3 \times 10^7$  م/ث (0.033 م/ث) بينما تكون  $1.2 \times 10^8$  م/ث خلال مسامية الحجر الرملى المنخفضة.



شكل (8-12): مسافات حسية كدالة للتردد لمواد جيولوجية مختلفة

توضح ثوابت العوازل الكهربائية النسبية لمواد الطبقات العلاقة مع المسامية ( $\phi$ ) بواسطة اعتبار نسبة المحتويات الموجودة وهذه الثوابت المقابلة لها. توضح المعادلة الآتية العلاقة بين ثوابت العوازل الكهربائية الظاهرية والمسامية.

$$\epsilon_r = (1-\phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w \quad (8-17)$$

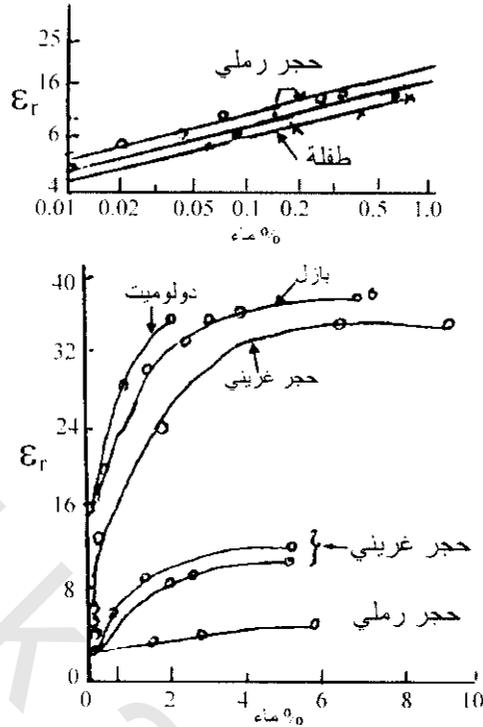
حيث  $\phi$  المسامية،  $\epsilon_m$  ثوابت العوازل الكهربائية النسبية للنسيج الصخري  $\epsilon_w$  ثوابت العوازل الكهربائية النسبية للماء بالفراغات. تتلشى هذه المعادلة عند تطبيق المجال الخارجي موازى للتطابق الصخري. عند تطبيق المجال الخارجي عمودى على التطابق عندئذ

$$\epsilon_r = \epsilon_m \epsilon_w / [(1-\phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w] \quad (8-18)$$

باستخدام العلاقة المبسطة  $v = c / \sqrt{\epsilon_r}$  لمواد قليلة الفقد، حيث  $c$  سرعة موجات الراديو فى الهواء وبالتعويض فى المعادلة (8-13)

$$\therefore V = C / [(1-\phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w]^{1/2} \quad (8-19)$$

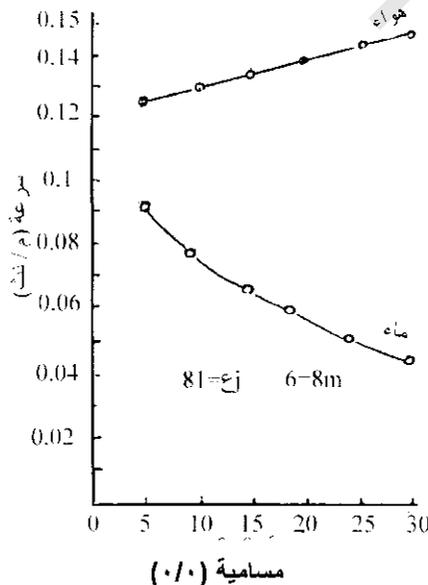
يوضح شكل (8-13) تغير موجات الراديو مع المسامية لأوساط مسامية مشبعة بالماء والهواء. إذا عرفت ثوابت نسبة العازل الكهربى لكل مكون للمادة وقيست المادة الظاهرية أو إستخرجت من سرعة موجات الراديو، عندئذ يمكن حساب المسامية.



شكل (8-13): تأثير المحتوى الرطوبي لتربة من صخور على  $\epsilon_r$  (كنج وسمث King & Smith 1981)

من شكل (8-14) يمكن رؤية أن سرعة موجات الراديو تقل بزيادة محتويات رطوبة التربة. تبعا لذلك فإن المواد المائية تحلل رأسيا أفضل من المواد الجافة. أيضا فإن التوهين (التخفيف) في المواد المائية أكبر من الجافة لذلك فإن اختراق العمق يكون صغير.

بفرض تحديد المسامية كمركتين فقط فإن هذا يعنى عمل واحدة للنسيج والأخرى للفراغات التي تكون مشبعة أما بالهواء اوسائل آخر معروف نسبة ثابت العازل الكهربى له. أيضا، يفرض أن جميع الفراغات مشبعة بسائل واحد، ربما، هذا الوضع لاينجز في كثير من الحالات في الطبيعة.



شكل (8-14): سرعة رادارية كدالة مسامية هواء، ومواد حبيبية مشبعة بالماء

**3.8 أنماط الحصول على النتائج Modes of Data Acquisition:**

توجد حالتين لإستخدام أنظمة الرادار .

**1.3.8 بروفييل رادارى عاكس Radar Reflection Profiling:**

يمثل شكل (8-1) مثال رادارى يستخدم للحصول على بروفييل عاكس، يتحرك هوائى رادارى أو أكثر عبر سطح الأرض لحظيا، مع قياس فترات الزمن للعواكس الرادارية الموضوعة على محور راسى، بينما يرى مسار مسافات الهوائيات على محور افقى. يشبه شكل هذا المسح بروفييل الإنعكاس السيزمى المستمر. إذا قيست سرعات موجات الراديو مستقلة، أو مقارنة الإنعكاسات مع التغير فى خواص الأرض المرصودة من نتائج الآبار، عندئذ يمكن تحديد أعماق العواكس.

**2.3.8 مدى استطلاع زاوية الإنعكاس والإنكسار****Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding:**

يوضح شكل (8-15أ) توزيع هوائيات المستقبلات WARR، حيث يحفظ الباعث عند موقع ثابت وتقطر المستقبلات بعيدا بزيادة الإزاحة. يجب أن يعبر موقع استطلاع WARR مساحة تكون العواكس فيها سطحية أو أفقية أو مائلة بزاوية ضحلة جدا. أيضا، يفرض أن خواص المواد متشابهة ولذلك تكون خواص العواكس هي نفسها عبر المساحات التحت سطحية والتي يؤخذ عبرها استطلاعات WARR. هذا الغرض ربما يكون غير حقيقى فى جميع الحالات.

لنجنب هذا الافتراض الأخير، تكون إنتشار الإشارة التبادلية لنفس التحاليل هي نقط وسط الإستطلاع العام (common midpoint CMP) فى هذه الحالة، يتحرك كلا من الباعث والمستقبل بعيدا عن الآخر لى تبقى نقطة الوسط ثابتة الموقع بينهم (شكل 8-15ب) فى حالة نقطة الوسط، تستخدم نقطة الإنعكاس لكل العواكس عند كل إزاحة، ولهذا فإن التماسكية المساحية عند أى عمق غير مطلوبة شكل (8-15، iii, ii, i)، ولذلك تعطى الأماكن المكافئة بين WARR, CMP.

**3.3.8 مابعد (تمبر) الإضاءة أو مسح ردارى غير عميق (ضحل)****Transillumination or radar tomography:**

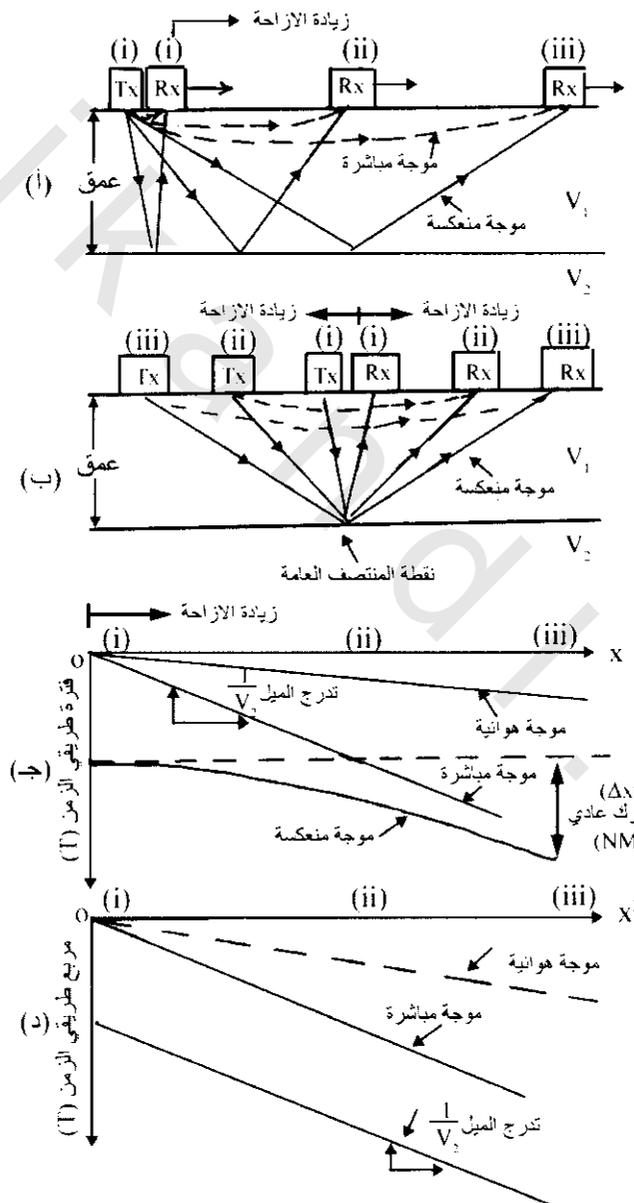
لإستخدام نمط تمبر الإضاءة أو المسح الردارى الضحل يوضع الباعث والمستقبل على جانبي متقابلى الوسط المراد فحصه شكل (8-16). تستخدم هذه الطريقة تحت الأرض خلال المناجم حيث يوضع الباعث فى شرفة والمستقبل فى شرفة أخرى مقابلة للباعث أو فى شرفة علوية وأخرى سفلية. يمكن وضع هوائى الرادار بالتبادل أسفل الفتحات وعندئذ تنتشر اشارات الرادار من واحد، خلال الوسط بينهم، الى الآخر أيضا هذا النقط شائع الإستخدام فى إستقصاء التركيبات المصنعة بواسطة الإنسان غير التالفة خاصة بإستخدام ترددات عالية جدا لهذا تكون الهوائيات صغيرة (مركز تردد 900 ميغاهرتز). ويشمل هذا الإستخدام أمثلة أخرى كاختبارات الأعمدة الخرسانية والأعمدة البنائية.

يكون من البساطة حساب متوسط سرعة موجات الراديو لمسار الأشعة الملائم عند معرفة الأماكن النسبية للهوائيات عند كل الأزمنة المقاسة، وأيضا المسافات بينها. أيضا يمكن تحديد التوهين (التخفيف) بمقياس الإشارة بالإضافة لفترات الزمن.

4.8 معالجة البيانات Data Processing

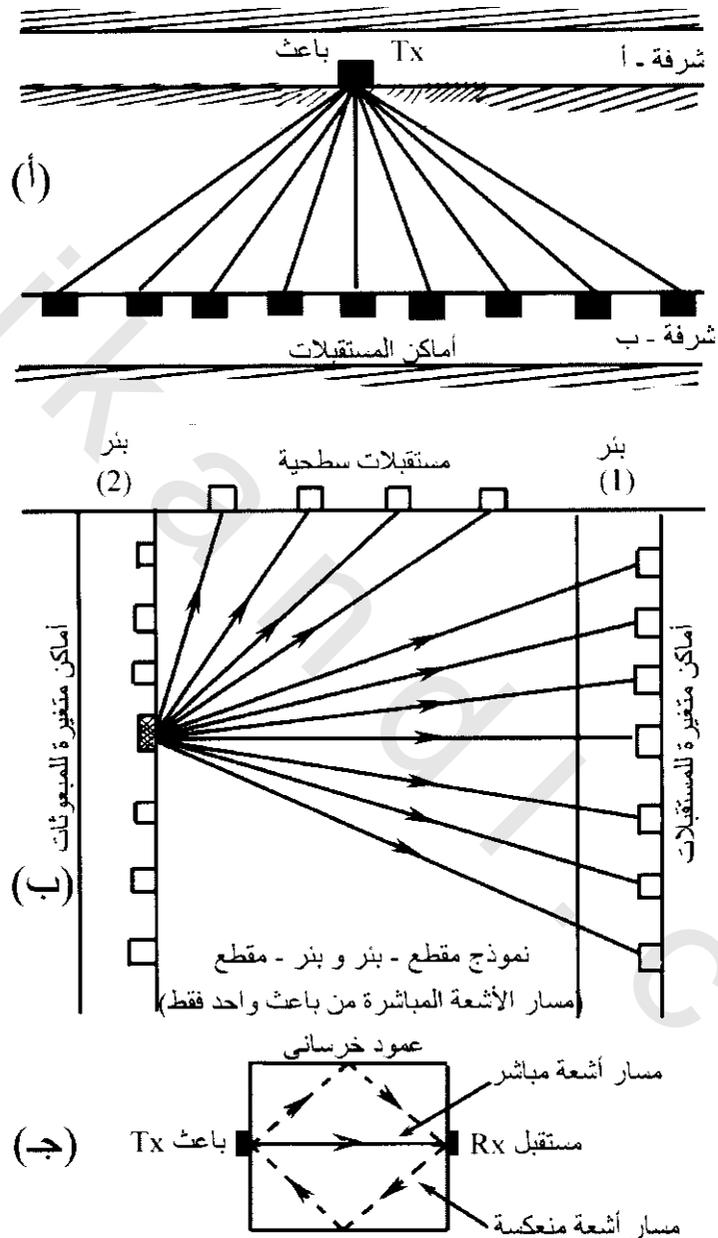
1.4.8 أثناء الحصول على بيانات During Data Acquisition

تمد جميع طرق الرادار الأرضي بأنظمة ترشيح للبيانات خلال الحصول عليها. عادة، من الممكن وضع مرشحات عالية ومنخفضة الإمرار لتحديد شكل موجة الإشارة عند زمن المسح. كما في الترشيح السيزمي أثناء الحصول على البيانات. يوجد عنصر مهم للحس الكيفي لإختيار أوضاع الترشيح الملائمة. أكثر من هذا تسمح الأنظمة الرقمية للترشحات الرأسية والأفقية وكذلك اكتساب أكبر قوة لأوضاع اختيارات تكون فيها المعلومات



شكل (8-15): (أ) شكل استطلاع زاوية الإنعكاس والإنكسار (WARR)، (ب) استطلاع نقطة منتصف عامة (CMP) مع (ج) تخطيط زمن-مسافة  $(x-T)$  مع زمن تحرك عادي (MMO) و (د) الشكل التخطيط المقابل للتربيع  $(x^2, T^2)$

الكيفية أفضل. وكقاعدة ايهام اليد يكون من المناسب حفظ أوضاع الفلاتر كنطاق موجى عريض كلما أمكن ذلك لى لاستبعاد قيم المعلومات الممكنة أثناء الحصول على طورها. يكون ترشيح النطاق الموجى العريض قليل القيمة جدا بعد إتمام العمل الحقلى أكثر من التحقق بأن المعلومات الكيفية وفقت بواسطة إستخدام أوضاع المرشحات والتي تكون صعبة جدا، لذلك من الضرورى إعادة العمل الحقلى.



شكل (٨-١٦) نتائج حصل عليها لنماذج رادارية تمير إضاءة ومقطع بئر (أ) بين شرفات منجم، (ب) بين آبار أو آبار - سطح، (ج) خلال عمود خرسانى. فى جميع الحالات المسافة المباشرة بين هوائى البعاث والمستقبل معروفة. أيضا يعرف نموذج أ، ب بمسح رادارى ضحل.

تستخدم دالة الأنظمة الرقمية لاستخلاص عدد محدد من المقادير المجاورة لتحسين الإشارة إلى نسبة الشوشرة. هذه الأعمال جيدة في بعض المساحات عندما يكون التركيب كثيرا موازى أو نسبة موازى لسطح الأرض. تنتج تلوثات أفقية وصورة رادارية غير مركزة عندما يوجد تركيبات شديدة الإنحدار وتكوينات أفقية مجاورة عبر مسوحات رادارية كثيرة جدا.

#### 2.4.8 إستطلاع إتساع زاوية الإنعكاس والإتكسار

##### Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding:

إذا استخدم هوائيين منفصلين واحد كباعث والآخر كمستقبل، في نمط ثنائى الإستاتيكية، فمن الممكن تحديد التغير الرأسى في سرعة موجات الراديو وأيضا نسبة ثابت العازل الكهربى. لا يمكن أخذ إستطلاع (WARR). إذا كان هوائى واحد ملائم في نمط أحادى الإستاتيكية، وعندئذ يمكن فقط تحديد السرعة بواسطة المقارنة المباشرة مع تسجيل بئر مجاورة أو بمعرفة أهداف لأعماق مدفونة، والأخيرة شائعة الإستخدام وربما تعطى أعماق صحيحة إلى  $\pm 20\%$ .

في أشكال كلا من WARR أو CMP (8-15) يمكن تعريف ثلاثة أنواع من الموجات.

(أ) موجات هوائية تسير من الباعث للمستقبل خلال الهواء عند سرعة موجات راديو في الهواء (0.3 م/نث).

(ب) موجة مباشرة، تسير مباشرة من الباعث خلال وسط قريب من سطح الأرض (V).

(ج) موجة منعكسة، من الباعث إلى اسطح الفاصل والتي تنعكس إلى المستقبل، أيضا عند سرعة موجات الراديو في الطبقة الأولى (V<sub>i</sub>).

يظهر الرسم البيانى للعلاقة بين الزمن (T) والمسافة (X) كقطع خط مستقيم نتيجة تنقيط فترات الزمن لكلا من موجات الهواء والموجة المباشرة، ولكن يكون الشكل للموجات المنعكسة خط منحنى (مخروطى). يكون زمن الحركة العادية الخارجية (Normal Move Out NMO) هو الإختلاف في فترة الزمن بين زاوية الصفر وإزاحة محددة (شكل 8-15ج). عندما تنقط بيانات فترة الزمن على رسم بيانى مجاورة من الدرجة الثانية  $T^2$ ،  $X^2$  تظهر جميع القطع كخط مستقيم (شكل 8-15د)، ويساوى التدرج العكسى لكل خط مربع سرعة موجة الراديو المقابلة.

عبر الفترة من صفر إلى  $t_0$  تحدد سرعة الراديو لطبقة واحدة، عندئذ يؤدي جذر مربع السرعة  $V_{RMS}$  لقيمة متوسط الزمن. أيضا عندما يحصل على معلومات فترات الزمن للعواكس العميقة، فإن السرعات المحددة من التحليل السابق لكل طبقة هي قيم جذر مربع السرعات. للتحديد الجيولوجى أكثر من معنى سرعى لطبقة معينة، عندئذ يكون من الضرورى إستخدام معادلة دكس Dix لاستخراج "فترات السرعة". وهذا التحليل بالضبط نفس المستخدم مع نتائج السزمية المنعكسة.

#### 3.4.8 مابعد تسجيل البيانات المعالجة Post-Recording Data Processing:

يمكن فقط معالجة البيانات الرقمية بعد التسجيل، وغالبا ما تحدد درجة المعالجة بواسطة: (أ) ميزانية ملائمة، (ب) زمن ملائم، (ج) نوعية البيانات، (د) قدرة معالجة ملائمة (سوفت وير، هاردوير)، (ر) ضبط التفسير النهائى بأكثر من تحليل، (س) التركيبات الواضحة على التسجيل الخام تميز معالجة واضحة البيانات كليا.

تكون الخطوة الأولى ترشيح البيانات لى تركز الصورة، وهذه كافية لكثير من التطبيقات لى توقع الظواهر التحت سطحية. لتحليلات أكثر وضوحاً، يكون من الملائم استخدام مدى واسع من المعالجة، لغاية وشمول نفس إنشئات بيانات سيزمية الإنعكاس المتعددة تكون شاملة صفة التحليل.

نظام الرادار المنتج بواسطة شركة أنظمة المسح الجيوفيزيقية التى لها مجموعة حقائب معالجة نتائج ملائمة تسمى محلات نتائج إدارية Radar Data Analyser RADANTM. يمكن تحويل هيئة المعلومات المسجلة على وسط مغناطيسى، نموذجياً 2-5 جيبوت Gbyte شريط مغناطيسى، أو فرص مجنيتوضوى من SEG2 إلى هيئة SEG1 لى تكون ملائمة مع صناعة عمل المحطات السيزمية العيارية. تبسط أنماط ترتيب المعلومات فى ملف لبيانات الراديو بواسطة SEG الهندسية ولجان الجيوفيزياء. بالمثل، الحساسات والسوفت وير لها مدى لتصميمات سوفت وير الحاسب الألى للاستخدام مع نظام نبض EKKO، الذى ينتج بيانات فى أنماط ملائمة مع معالجة سوفت وير للبيانات السيزمية.

من الأهمية الخاصة، القدرة على إعادة تخزين العلاقات الهندسية التحت سطحية خلال عملية الإزاحة. يمكن إزاحة حيود القطع المخروطى خلفاً إلى القمة من التى تتشأ منها الحيود. يمكن تصويب الخطوط السطحية المائلة لمكانها الصحيح بالنسبة لمواقعها الأرضية. خلافاً لذلك، من الممكن حل الأخطاء الهامة وذلك بالتأكد بأن ظاهر موقع تحت سطحية معينة يكون مضبوط على تسجيل الرادار الخام، بينما تكون فقط صورة مؤثرة وربما تكون منقولة من وضعها الحقيقى بواسطة مسافات أفقية ورأسية معينة. أساسيات الإزاحة موضح بتوسع فى السيزمية الإنعكاسية.

طرق أخرى للتحليلات الكمية تكون ملائمة خلال التحليلات التخيلية، حيث يمسح التسجيل الرادارى لاتجاهات التحليل وذلك بالتحرى بأكثر من عملية على بيانات أشكال الموجات، فمثلاً يمكن استخراج اتجاهات مثل الإنعكاسات المائلة فى اتجاه معين. إحصائياً، يمكن تعريف اتجاهات معينة من التسجيل الكلى وتظهر أوتوماتيكياً كخطوط تفسر لتحليلات متتابعة يدوية.

## 5.8 تقنيات التفسير Interpretation Techniques:

### 1.5.8 التفسير التخطيطى Graphic Interpretation:

من كلا بيانات الرادار المماثلة والرقمية، يمكن تحليل نسخة تسجيلات الرادار الأصلية فى عبارات الإنعكاسات والحيودات وقياس أزمنة انتقال الطريقتين لكل الأحداث المميزة بواسطة التحسين أو القياس لقيمة ثابت العازل الكهربي النسبية للملائمة. ومن ثم الحصول على سرعة موجة الراديو الحقيقية – يمكن تحويل طريقي انتقال الأزمنة للأحداث المعنية إلى أعماق. بيانات الرادار المطلوبة عبر شبكة منتظمة، والإنعكاسات المعروفة عبر مساحات معينة، يمكن إنتاج خرائط موقع طريقي انتقال الزمن، أو خرائط تساوى سمك الطبقة، الدالة على العمق أو سمك طبقة معينة، وكذلك إعطاء قياس حقيقى لسرعة موجة الراديو.

هذا التقريب خاصة سائدة فى الطرق المرصوفة المحللة، حيث يكون عدد الطبقات المميزة عادة مرتبطة مع الأعلى إلى اربع طبقات متوازية إلى شبه متوازية (طبقة بيتيومين مرتبطة أو خرسانة، طبقة حبيبية، أعلى

وأسفل شبه تدرج). يمكن ترقيم فترات الأزمنة لتفسير السطوح الفاصلة من ورق تسجيلات الرادار وباستخدام سرعة موجات الراديو الملائمة لكل من الطبقات المميزة فإنه يمكن تحديد الأعماق لكل سطح فاصل. هذه تتطلب اعتبارات حذرة من الدقة للتقاط علامات الانعكاسات المختلفة على تسجيلات الرادار وكذلك شبه الوثوق لسرعات موجات الراديو المستخدمة لاستخراج الأعماق. هناك اختلافات محلية فى سرعات موجات الراديو يمكن حدوثها خلال الخراسانات أو بسبب تغير محتوى الرطوبة. ربما تجهز المستويات الأفقية المفردة مثل التحت أساس فى طبقات، وهذه ربما تكتشف فى بعض الحالات ربما تختلط الحدود بين الطبقات ولذلك لايعرف من أين يأتى إنعكاس الرادار. هذه الحالة تحتاج لإجابة فى عمل رصف الطريق قبل إنتاج الرسوم النهائية. فى جميع الحالات، يجب عمل تقرير يمثل الأخطاء وحدود القياسات. لا يوجد مثل هذا الشئ كقياس مطلق للعمق باستخدام طرق الإستشعار، خاصة الرادار.

من الممكن إظهار تفسيرات البيانات فى طرق واسعة المدى باستخدام أنظمة تصميمات حاسب آلى إضافية (Comptuer-aided design (CAD)) وأحزمة سوفت وير ثلاثية الأبعاد الخطية. عند عدم التأكد للتغير المحلى فى خواص العوازل الكهربية للمواد الطبيعية لتحديد بداية مكان إتجاهات الانعكاسات، تعمل مطالب عدم تبرير الدقة. طالما أن الخواص الكهربية والعازل الكهبرى للمواد المستخدمة فى رصف الطريق معروفة جيدا، لذلك تتحسن الدقة والوثوق.

بالإضافة لتخطيط سطوح الفواصل، يمكن استخدام التغير فى مظهر الخواص على تسجيل الرادار كدلالة على الحالات التحت سطحية. فمثلا تشير المناطق عالية التوهين (التخفيض) إلى نطاقات بمستويات توصيلية والتي ربما تصاحب التلوث، أو جيوب طينية. ربما تتضح الكهوف التحت سطحية بواسطة التوافق خلال فراغات التجويف، حيث يستدل على التسجيل الرادارى كمجموعة من ساعات نبضات كبيرة والتي تكون محصورة جدا جانبيا. أيضا يستدل على نطاقات من أحجار صغيرة مدورة أو طبقات مشوهة بشدة بواسطة فقد الالتصاق لأحداث الانعكاسات الأولى. أيضا، ربما يستدل على انفصالات (تشققات) الطرق المرصوفة بواسطة تغيرات خواص مميزة على تسجيلات الرادار.

### 2.5.8 التحليلات الكمية Quantitative Analysis:

يعتمد أساس تحديد العمق على طلب معرفة سرعة موجات الراديو وتغيرها الرأسى والأفقى خلال منطقة المسح المعطاه. ويمكن الحصول على الصورة التفسيرية لمجال السرعة عند معرفة بيانات CMP/WARR. تبعا لذلك يستدل جيولوجيا من قيمة دالة سرعات موجات الراديو، أو بأكثر خصوصية يمكن استخدام ثابت العازل الكهبرى النسبى للتفسير الإضافى.

يعين معامل الإنعكاس وكذلك التغير فى  $\epsilon_r$  من تفصيلات كمية منسوبة لتحليل من بيانات تسجيلات الراديو مثل تحليلات السعة، وعندئذ يكتسب كثير من الفهم الشامل للموقع. فى الحقيقة يأخذ نوعية بيانات مناسبة واستخدامها ومعالجتها بعناية، فإنه يمكن معرفة ملائمة كثيرة عن دراسة طبيعة الصخور للجيولوجيا المعطاه أو نظام هندسى مقارن. بخلاف ذلك، يحتاج لمستوى معادلة وتحليل عالى أكثر أهمية لتفسير تميز مطلوب، مثل التنقيب: **Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding** استخدام الرادار الأرضى تطور عبر السنوات القليلة القادمة.

### 3.5.8 تفسيرات انهيارات المناجم Interpretational Pitfalls:

تفسيرات بيانات الرادار تشارك فى عمومية انهيارات المناجم وأهمها:

**1.3.5.8** عدم قدرة تمييز سطح الأرض، وذلك لخطأ تميز كل من الشريط الأسود على تسجيلات الرادار السوداء والبيضاء المتسببة بواسطة مستوى منفصل. أسهل طريقة لتحديد مستوى الأرض، خاصة بهوائى تردد مركزه  $500 \leq$  ميغاهرتز هى رفع وخفض الهوائى فوق سطح الأرض. تظهر القرنة (رأس مؤنّف) المميزة على تسجيل الرادار وتدل بوضوح أين يمثل مستوى الأرض.

**2.3.5.8** الصعوبة الحقيقية عبر تحديد عدد من طبقات ضوئية عالية، خاصة مع تشابه بيانات الرادار. كيف يمكن أولاً تعريف الانعكاسات المعرفة من التعددات، إحداث ثائية ونهايات الانعكاسات الأولى الأخرى؟. أكثر من هذا عندما تتقاطع الأشكال الموجية كل للآخر فإنها تسبب تداخل، الذى ربما يعطى ظهور "نهاية" شريط واحد أسود يقابل الآخر. جيولوجيا، ربما يكون هذا تفسير خطأ حيث مستوى واحد متناكب (متماس) المقابلة للآخر. باعتبار أن حالات الجيولوجيا غير واضحة التسجيل رادارياً، عند ذلك يوجد تبرير لتحليل كمى مفصل إذا سجلت البيانات رقمياً. إذا أنتجت فإن تواجد قليلها يعطى حل المشكلة. يمكن إستخراج التحليل الكمى كاحتمال أحداث متكررة (هذه الأحداث تكون زمنية فقط وتكرر لبداية الأحداث الأولى)، وبواسطة إعادة (الدورات) يمكن تحديد شكل إنخفاض تابع الموجه، وعندئذ يعرف أحداث الإنعكاس الأولى. يساعد تتابع الإزاحة على إقلال حيود المخروط، وبواسطة إعادة تخزين بعض الهندسة التحت سطحية للانعكاسات الأولية، يمكن أن تساعد كل تفاصيل جيولوجية هامة كانت مبهمه.

الصعوبة فى التميز بين انعكاسات الجيولوجيا الهامة وترديدات (صدى) دخيلة، تضاعفات، شوشرة، حيودات، قطاعات غير واضحة على بعد، ... إلخ، تجعل فى بعض الحالات صعوبة تحديد التربة والتتابع الصخرى. فى حالات أخرى أمكن التحديد الاستراتيجى بسهولة تماماً فى شكل (8-17) قورن التسجيل المشابه الذى حصل عليه فى 1976 مع تسجيل رادارى رقمى حصل عليه لنفس المنطقة أكثر حداثة. بينما يظهر التركيب الاجمالى فى 1976 يماثل التسجيل فإن التفاصيل تكون أكثر حدة فى التسجيل الرقمى.

توجد مواقع يكتشف عندها مستوى الماء على تسجيل الرادار وأخرى لا يكتشف عندها. هذا بسبب أن نسبة سمك نطاق الخاصية الشعرية إلى الطول الموجى لموجات الراديو تحتاج أن تكون صغيرة (السمك > الطول الموجى) لكى تمد تباين كافي فى ثابت العازل النسبى بين المواد المشبعة وغير المشبعة ليجمد جزء هام من الطاقة شكل (8-18). إذا كان نطاق الخاصية الشعرية سميك بالمقابل مع الطول الموجى، عندئذ يكون معدل تغير ثابت العازل النسبى مع العمق خلال هذا النطاق صغير.

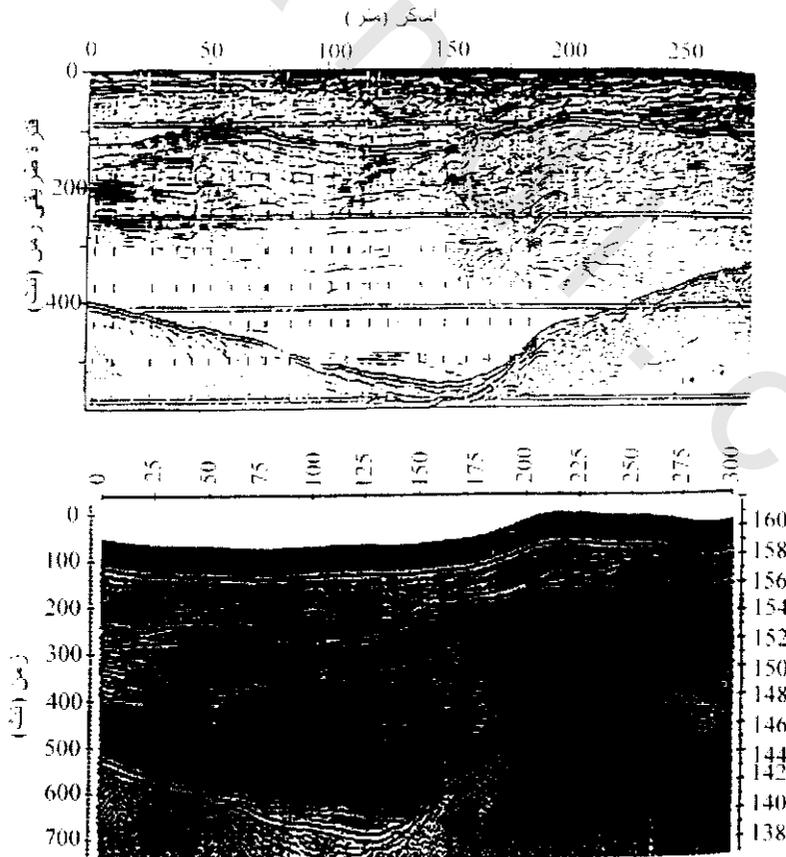
تأثير هذا أنه لكل زيادة تزايدية فى ثابت العازل النسبى، ينعكس جزء من الطاقة الساقطة كذلك تكون الطاقة الكلية المنعكسة ملوثة (متأثرة) من نطاق الخاصية الشعرية وعندئذ يكون سعة حصيلة الإنعكاس منخفضة جداً ولا تساعد فى توضيح أى اكتشاف. فى المقابل، إذا كان الإنتقال من جاف إلى تشبع فإن التقدير اللحظى (مثل تغير فى ثابت العازل النسبى من 6-25)، عندئذ فإن معامل سعة الإنعكاس (R) تكون 0.34 والتي تعتبر مرجع (عائد) قوى.

## 6.8 تطبيقات وحالات سيرية Applications and Case Histories

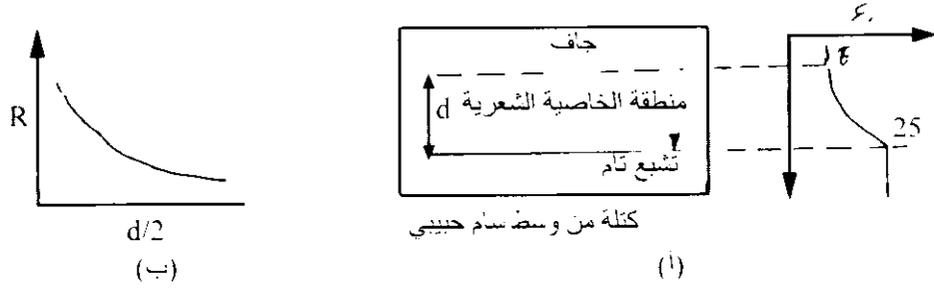
### 1.6.8 التتابع الرسوبى Sedimentary Sequences

من الواضح أن جهاز اختراق الرادار الأرضى ملائم لتخطيط التتابع الرسوبى بدرجة عالية من خصوصية تحليل على كلا من الأرض وخلال الماء العذب. ويوضح شكل (8-16) مثال إصلاح فى نوعية بيانات فى تخطيط استراتيجى التربة. ينتج الفشل العام لتحليل تسجيل الرادار المطلوب فى الإستقصاء الاستراتيجى من زيادة تفسير البيانات. غالباً، تؤخذ الأحداث المتلاحمة الظاهرة كدلالة على سطوح فواصل رسوبية مفردة بدون الإعتبار المطلوب لطبيعة طبقة سطوح فواصل دقيقة، حدود التحليل الرأسى والأفقى، الحجم المحدد لنطاق فرسنل Fresnel الأول، تأثيرات الإزاحة، الشكل المعقد لتتابع الموجى الساقط... إلخ، تكون لعمليات البيانات السيزمية دور هام مناسب للتمثيل فى هذه التطبيقات.

يمكن نشر الرادار الأرضى عبر بحيرات متجمدة ويستخدم لإستقصاء رسوبيات تحت البحيرات خلال الماء العذب لأكثر من 27 متر عمق. يرى شكل (8-19) بحيرة الثلج كمنبسط صخرى متزن والذي عليه يقطر (يجر) الرادار. فى الواقع يكون الماء العذب خلال البحيرة ناقل لموجات الراديو وتكون رسوبيات البحيرة واضحة بجلاء خلال 4-8 متر من الماء العذب. لمثل ذلك يمكن إستخراج مستويات أفقية مفردة خلال الراسب من تحليل نظام هوانى 100 ميغا هرتز. يلاحظ أن الإنعكاسات المرتردة من قاع البحيرة تتكون على الأقل من أربع نطاقات بسبب حلقة المصدر. أكثر من هذا، فترة التقاطر الأصلية (حول 70 نت)، ربما

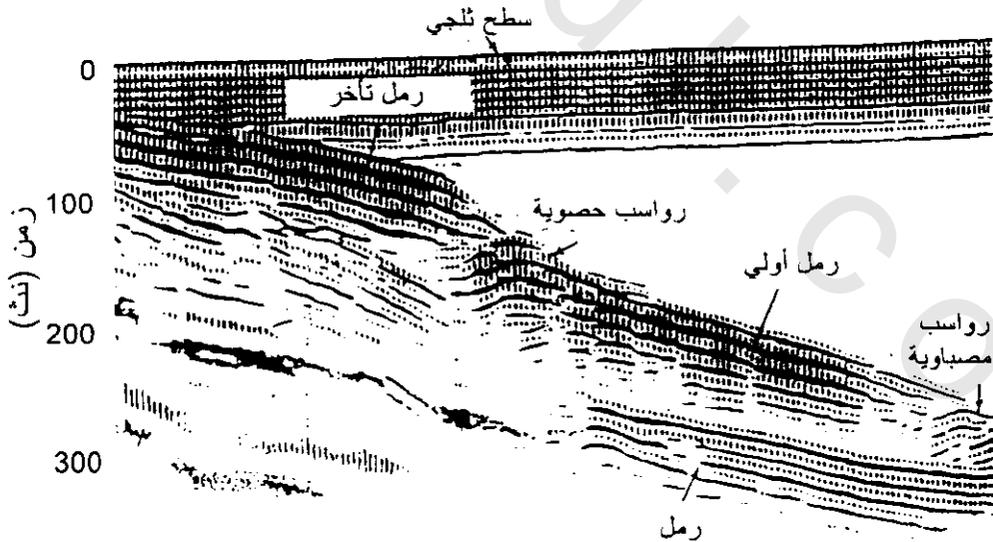


شكل (8-17): تسجيل رادارى حصل عليه فى 1976، قورن بأخر فى 1990 (بست وسبيس Best and Spies 1990)



شكل (8-18): تأثير سمك منطقة الخاصية الشعرية على قوة الانعكاس الناتج من مستوى الماء الجوفي. (أ) سمك منطقة الخاصية الشعرية أى فوق مستوى الماء الجوفي لها ثابت اعزل نسبي ( $\epsilon_r$ ) والذي يزداد إلى أكبر قيمة عند التشبع التام ، (ب) معامل سعة الانعكاس يقل كنسبة لسمك منطقة الخاصية الشعرية إلى زيادة طول موجات الراديو الساقطة

يخطئ التفسير بواسطة بعض دلالات على وجود أكثر من 6 متر من الثلج (سرعة موجة الراديو خلال الثلج (0.167 متر/نث). السمك الحقيقي 0.15 متر فقط. فترة زمني الانتقال خلال طبقة الثلج يكون حول 2 نث فقط. يرى هذا أن استخدام هوائي منخفض التردد (100 ميگاهرتز). بالقرب من ظواهر السطح لاتحل مطلقا حيث تكون مختفية كلية خلال التقاطر المزدوج الأرضي الأصلي. يمكن حساب سرعة موجات الراديو خلال الماء العذب بمعرفة عمق الماء (حوالي 4.8 متر) وفترة الزمن الكلي (حول 300 نث). هذه القيم تعطى سرعة موجات راديو 0.032 متر/نث (من  $\frac{4.8}{300} \times 2$ )، بإهمال طبقة الثلج وبفرض فقد وسط قليل. كتدقيين، ثابت العازل الكهربى النسبى للماء 81 والذي يعطى سرعة موجات راديو  $\sqrt{8.1}/0.3$  أو 0.33 متر/نث، أنظر معادلة (8-1).



شكل (8-19): تسجيل رادارى عبر ثلج مغطى بحيرة، حصل عليه باستخدام هوائى 100 ميگاهرتز. أكبر عمق للماء 48 متر، عرض البروفيل 25 متر ومدى فترة طريقي الزمن 500 نث (ميدللت 1993 Medllett)

### 2.6.8 هيدروجيولوجية الماء وتلوث الماء الأرضى: Hydrogeology and groundwater Contamination:

أصبحت قياسات الحماية البيئية أكثر صرامة (شدة)، ويزداد الضغط على حفظ نوعين من مصادر الماء الأرضى، لذلك ينمو احتياج تعيين تلوث المياه الأرضية. وقد وضع بعض المؤلفين كيفية إستخدام الرادار الأرضى لتحديد وعمل خريطة إنتشار تسرب مياه ملوثة من مواقع الزبالة. يرى شكل (8-20أ) تخطيط خطى لموقع المنطقة. على طول خط الرادار المشاهد فى هذا الشكل يلاحظ أن التربة تتكون من رمل دقيق يعلو صخر أساسى والموجود على عمق حوالى 20 متر. ويرى شكل (8-20ب) تسجيل رادارى لمسح رادارى باستخدام نبض نظام رادار EKKOIII.

عندما يحدث اختراق لموجات الراديو فى رواسب سطحية، فترى إنعكاسات يظن أنها بسبب مستويات أفقية لحبيبات ذات أحجام وكثافات مختلفة، وعندئذ تختلف هذه الإنعكاسات عن إنعكاسات محتويات رطوبة التربة. أيضا يكون من الواضح جدا على هذا القطاع أنه توجد مناطق يحدث عندها أما إنعكاسات ضعيفة جدا فقط، مثل عند 150 متر على طول البروفيل حول 400 نث طريقى حركة الزمن، أو تخفض الإشارات تماما. يكون إنخفاض إشارات الرادار شديدة عند وجود تلوث مصاحب للتوصيلية الكهربائية العالية.

أنتشت عدة آبار على طول خط المسح وقيست توصيلية الماء الأرضى. يشير أسفل الخط المتصل فى شكل (8-20ب) الموصل لمجموعة نقط سوداء بأن توصيلية فراغات الموصل المملوءة بالماء تزيد عن (10 ms/m)، وهذا يدل على أن الرسوبيات سطحية. وكما أنه معروف أن الرسوبيات السطحية تكون معتدلة الإنسجام فى خواصها غير منطقة الموقع، لذلك يقترب إنتشار التلوث (شكل ريش) للسطح بين 40-60 متر (كما اتضح بواسطة بيانات الآبار) لذلك تمتد أيضا بين 100، 150 متر على طول خط البروفيل عند عمق حوالى 6 متر أسفل مستوى الأرض. الجزء الثانى من الإنتشار لم يتوقع، ولذلك فإن نتائج المسح الرادارى نافعة جدا فى تزويد هذه المعلومة الإضافية. يكمل المسح التوصيلى الأرضى عمل الرادار لتحديد تغيرات خاصة فى التوصيلات التحت سطحية بدون إضافة حفر آبار والتي ربما تعمل على نشر أكثر التلوث رداءة.

حيث أمكن توضيح أن المسح الرادارى نافعا للجيولوجيا التحتية المحيطة وحالات أرضية أخرى، لذلك يمكن إكتشاف التلوث بواسطة الرادار، وعندئذ يمكن تخريط إنتشار التلوث. بواسطة الأخذ فى الإعتبار إعادة المسوحات على طول نفس التقاطعات الأرضية، فإنه يمكن إكتشاف التغيرات كدالى للزمن. أكثر من هذا، حيث يؤخذ فى الإعتبار القياسات الإصلاحية، فيمكن مراقبة نجاح مثل هذه المعالجة بواسطة الرادار.

فى بعض الحالات المعينة، يمكن إكتشاف التلوث الحقيقى نفسه باستخدام الرادار، وربما تكتشف المحتويات التى منها ينشأ التلوث.

يوضح شكل (8-21) تسجيل رادارى عبر ثلاثة براميل مدفونة من حالة تسرب محتويات 55 برميل مدفونة. يلاحظ خاصية حيودات الناتج من البراميل والتي وضعت بجانب بعضها. أيضا، يلاحظ أن شكل موجات الرادار الساقطة تتكون من أكثر من شريط، ولذلك يعطى حيودات البراميل ظهور حيودات منخفضة، وهذه تكون نهايات الحيودات الأولى.

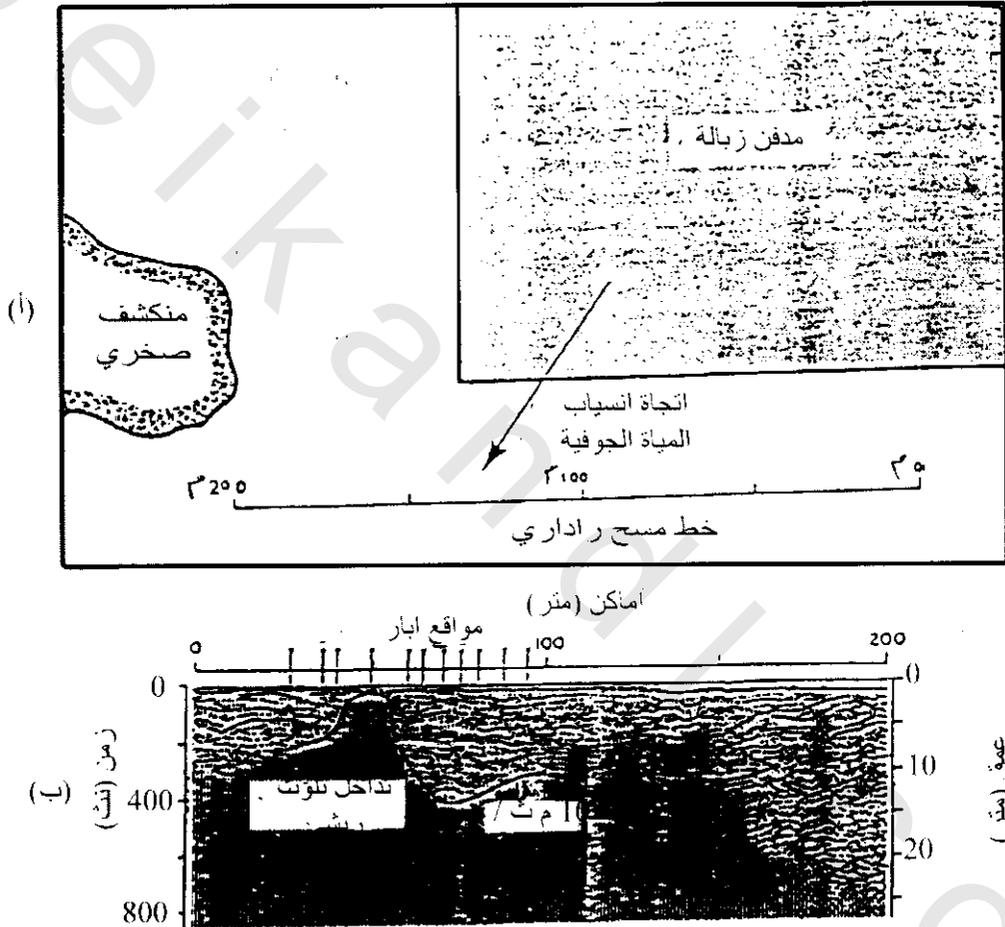
الزراعة والتحول الطبيعى وامتدادات المياه الصالحة للشرب، لذلك طبقت بعض الأمثلة على حالات هيدرولوجيولوجية فى نزرلاندا Netherlands حيث يوجد أربعة أهداف رادارية رئيسية.

( أ ) تكتونية وتركيبات الرسوبيات.

(ب) مستوى الماء خلال رسوبيات الرمل فى ركوميات جليدية مدفوعة، شرفات نهريّة وكثبان رملية.

(ج) مستويات مياه جائمة علوية مميزة من مستويات المياه الإقليمية.

(د) الإمتداد والإستمرار الخاص للطين المدفون وطبقات خشبية نصف متفحمة خلال الرسوبيات السطحية.



شكل (8-20): مقطع رادارى يرى تأثير تدخل تلوّث ريشى بسبب هجرة رشح من مدفن زباله (دافس وأنان Davis and Annan) 1989

حيث يؤثر هبوط مستويات الماء الجوفى ونوعية الماء الفاسد تأثيرا هاما على الزراعة والتحول الطبيعى وامتدادات المياه الصالحة للشرب، لذلك طبقت بعض الأمثلة على حالات هيدرولوجيولوجية فى نزرلاندا Netherlands حيث يوجد أربعة أهداف رادارية رئيسية.

( أ ) تكتونية وتركيبات الرسوبيات.

(ب) مستوى الماء خلال رسوبيات الرمل فى ركوميات جليدية مدفوعة، شرفات نهريّة وكثبان رملية.

(ج) مستويات مياه جائمة علوية مميزة من مستويات المياه الإقليمية.

(د) الإمتداد والإستمرار الخاص للطين المدفون وطبقات خشبية نصف متفحمة خلال الرسوبيات السطحية.

يتطلب تسجيل الرادار استخدام نبض EKKOIV بتردد هوانى 25 ميگاهرتز ومسافات محطات 1 م كما فى شكل (8-22) البروفيل المحصول عليه كان عبر ركاب جليدى مدفوع مقارن أساسا بالرمل، والقطاع المصحح طوبغرافيا له مقياس نموذجى أفقى ورأسى. يظهر مستوى الماء كإنعكاس أفقى بسعة عالية. فى الجزء الشمالى من القطاع يكون الإنعكاس مستمر بكثرة بينما يقل فى الجنوب (أكثر جزء مرتفع). أدى هذا لإقتراح أن عمق اختراق الرادار هنا يكون عند حدوده وأن العمق الأكبر يوجد تحت مستوى الأرض إلى مستوى الماء فى الجزء الجنوبى حيث فقر نوعية البيانات. مازال يظهر مستوى الماء عند 42 أسفل مستوى الأرض وذلك باستخدام سرعة موجات راديو 0.145 متر/نث (مشتقة من قياسات CMP). أيضا يشير تسجيل الرادار إلى إنعكاسات من سطوح فواصل فوق مستوى الماء. تصاحب الإنعكاسات المائلة سطوح فواصل بين طبقات رملية ذات أحجام حبيبات مختلفة أو بين الرسوبيات الرملية والطينية. فى كلا الحالتين تشير سطوح الفواصل لتغير فى محتوى الرطوبة وعندئذ يظهر تباين فى ثابت العزل الكهربى النسبى. يظهر بروز العاكس فى وسط القطاع بسعة كبيرة ومائل فى إتجاه الجنوب. توجد إزاحة رأسية (حول 2 متر) فى إنعكاس مستوى الماء حيث تقطع بواسطة واقعة ميل. يظن أن التدرج فى مستوى الماء بسبب طبقة الطين المائلة والتي تعطى عاكس شديد الميل.

بالإضافة لإستقصاءات لمصدر المياه الأرضية، يوجد إحتياج متنامى لتخريط لتلوث المياه الأرضية. هذا التلوث ينشأ من ترشحات مدافن الزبالة. بسبب دخول المياه المالحة فى الأرض وتلوث الهيدروكربون الطبيعى (عن طفلات الزيت... إلخ) وإنسياب كيميائى (تداول أو أشياء أخرى) عبر مقاييس الزمن والتي مداها من ساعات قليلة إلى عدة سنوات تجاوز إستثمار المياه العذبة. مثال ذلك، إنسياب كيميائى من إنقلاب خزانات السكك الحديدية والتي روقبت (لوحظت) باستخدام الطرق الجيوفيزيائية وتسرب نواتج البترول من الأنابيب عند المصفاة والتي تتجمع تحت الأرض عند مستوى الماء المخروط.

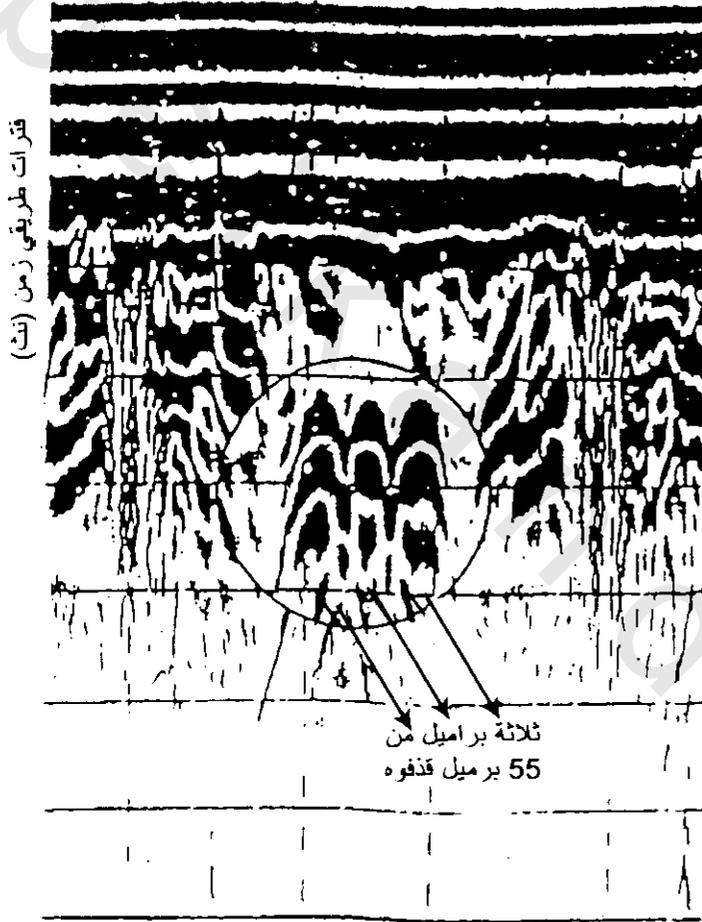
تهاجر بعض الكيماويات من مصدر التلوث بسرعة شديدة ومن الصعوبة إكتشافها بواسطة أى وسيلة. ربما يتطلب ذلك زيادة كمية البحث المأخوذة فى الإعتبار لإختبار إطالة تلوث الماء الأرضى، وذلك بسبب وجود كميات كبيرة من القشريات التى تلوث ماء عضوى ذا كثافة عالية وكذلك طور سائل غير مائى مثل الفوق كلورواثيلين (PCE) الكيمايى الأساسى الهام (أحد المركبات الأساسية للتنظيف الجاف ومنظف معدنى صناعى). أيضا من الكيماويات المعروفة جيدا ثلاثى كلورومثيلين (TCE) وثنائى كلوروميثان (DCM) المستخدم لدهان أعمدة فصل الأجزاء النفطية الخفيفة وإزالة الشحوم المعدنية. بمجرد إستخدام هذه المواد فإن كمية صغيرة منها تتسرب حول مخازن المنظفات الجافة، جراجت خدمة السيارات ونسبة معينة من أحجام هذه المواد يتم التخلص منها تحت الأرض فى مدافن الزبالة، والمستنقعات القذرة، وكمتبقيات على مواقع الصناعة القديمة.

### 3.6.8 تطبيقات هندسية على إنشاءات الإنسان

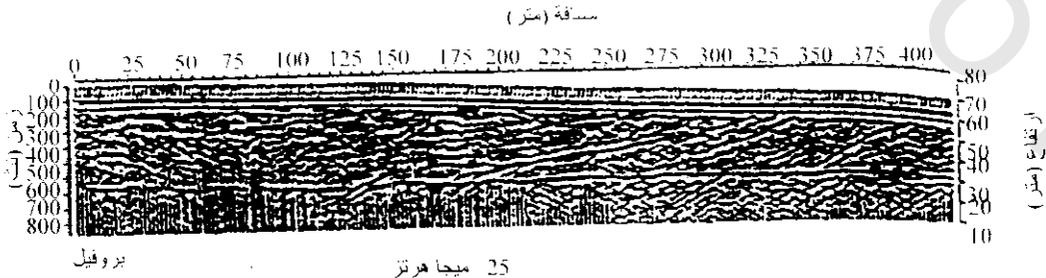
#### Engineering Applications on Man-Made Structures:

مثلا، يستخدم الرادار للتأكد بأن شبكة التقوية وضعت عند المستوى الصحيح خلال بلاطات (الواح) المسلح. فى بعض الحالات، تزيح عملية صب الخرسانة الشبكية. لذلك بدلا من وضعها خلال منتصف البلاطه تدفعها للقاع ولذلك لاتؤدى الوظيفة التى من أجلها قصدت. بالمثل، يمكن أختبار قضبان التقوية باستخدام رادار ذا تردد على (500 ميگاهرتز، 900 ميگاهرتز أو مركز تردد على) كما فى شكل (8-23).

أى شد يعمل لملا مواد، والذي يتكون كثيرا من الدوليرايت، يظن أنه متشابهة فى خواصه فى كل مكان. يشير استخدام المسح الرادارى بهوانى 120 ميجاهرتز إلى شبه طبقة أفقيه خلال الملا والتي فسرت طبقة مصاحبة للطبقات المدمجة. هذه الطبقات نتجت بواسطة عربات المقاولين الثقيلة عبر الملا على طول الطريق. تظهر انعكاسات مميزة من هذه المستويات والتي تحدث نتيجة أقلال محتويات رطوبة التربة (و عندئذ يتبدل ثابت العازل الكهربى) من المستويات المدمجة.

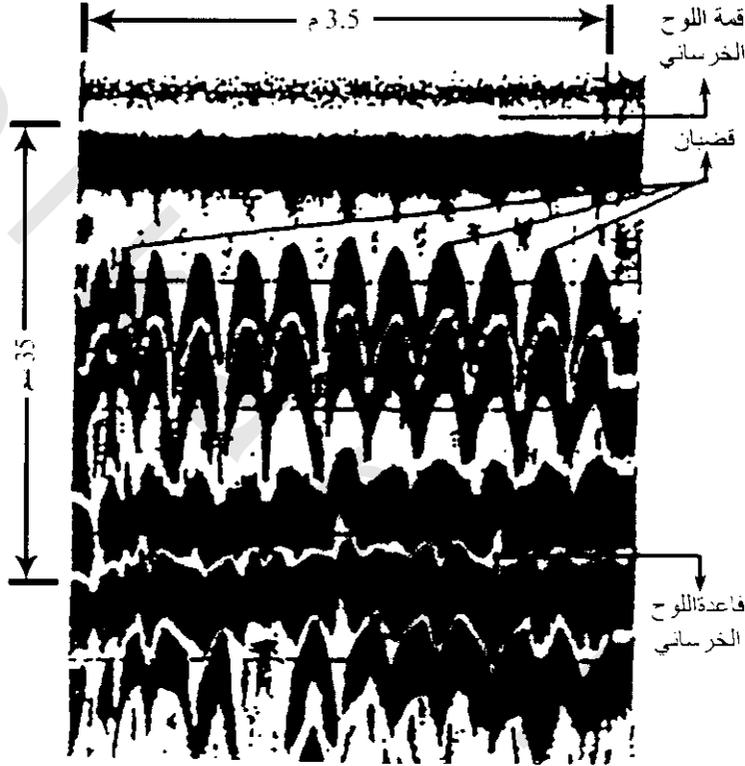


شكل (8-21): تسجيل رادارى فوق ثلاثة براميل موضوعة جنباً لجنب



شكل (8-21): تسجيل رادارى حصل عليه بهوانى (25 ميجاهرتز) عبر ثلج رملى - ركام جليدى مدفوع. انعكاس مستوى الماء الجوفى يظهر عند ارتفاع 30 متر. يلاحظ أن الإزاحة الرأسية فى هذا الانعكاس خفيفة بينما الانعكاس المائل بسبب طبقة طينية قاطعة مستوى الماء الجوفى عند 185 متر

أقيمت سدود حجز المياه على طول أنهار ديوتش Dutch عند مواقع مختلفة بمرشحات حبيبية. غرض هذه المرشحات إقلال الماء الأرضى الكامن من داخل وأسفل السدود لكى يزيد الإلتزان وتمنع تحطم طبقة الطين عند الجانب المحجوب للسد شكل (8-24 أ). يجب أن يكون الحصى المانى للرشح فى تماس هيدروليكى مع الطبقات الرملية أسفله. عملت المرشحات لمدة عشر سنوات ولكن المعاناة أن تصبح سدود بواسطة الجزيئات الدقيقة. تبعا لذلك يكون ضرورى مراقبة المرشحات دوريا، ومن الأفضل إستخدام طرق غير هدمية. عادة يستخدم بنجاح إختراق الرادار الأرضى فى مثل هذه الإستقصاءات.

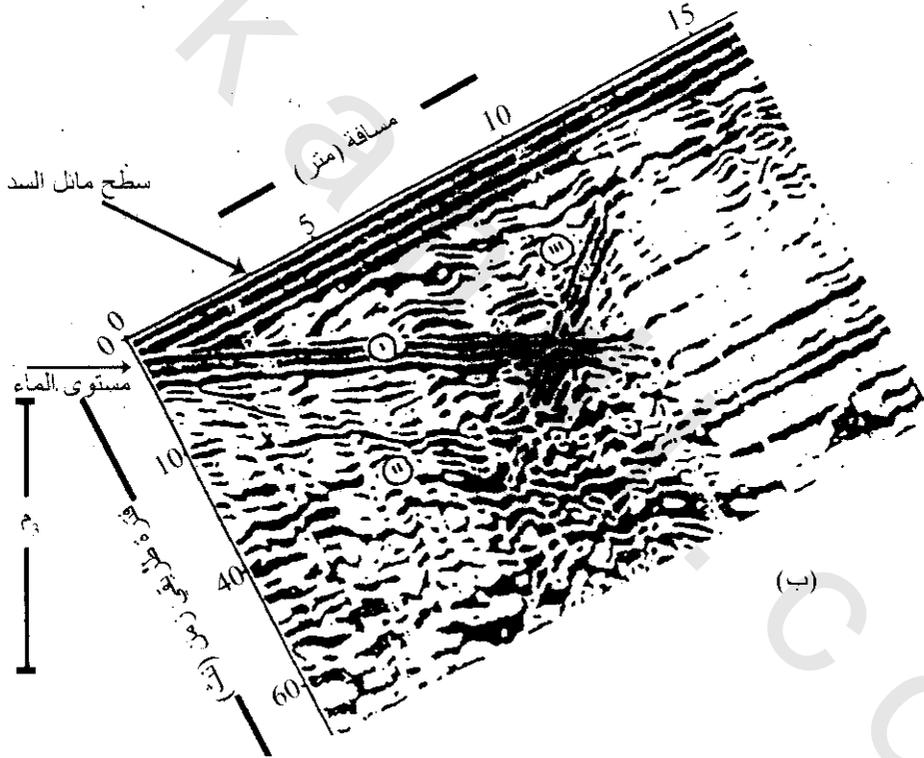
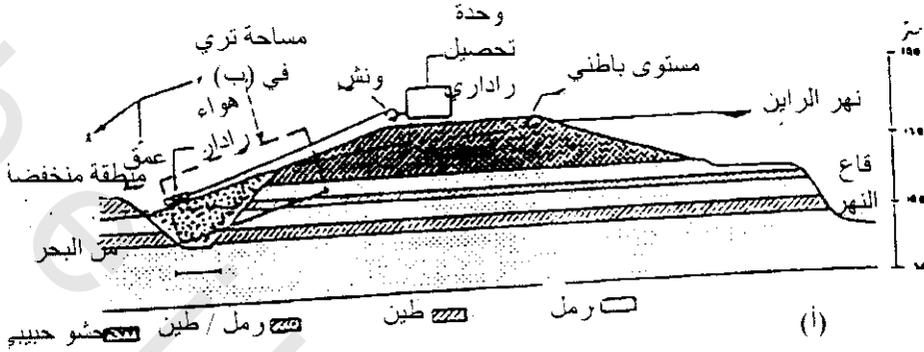


شكل (8-23): تسجيل رادارى نموذجى سجل ساتخدام حوالى 900 ميجاهرتز عبر قضبان تقوية خلال لوح مسلح

ينفذ المسح الرادارى عندما يكون مستوى الأرضى أقصاه وأيضا عند أدناه، عبر فترة الزمن لعدة سنوات. يوضح شكل (8-24ب) تسجيل رادارى بسيط والذى حصل عليه باستخدام هوانى 55 ميجاهرتز بنظام رادارى GSSI. ينتج مستوى الإنعكاس الأفقى من مستوى الماء (مع تعدده). يكون سبب ظهور الإنعكاس III بواسطة مرشح-حد فاصل السد. ربما، يلاحظ عدم تصوير أحد من مستويات الطبقات الأفقية خلال السد نفسه. فى الحقيقة، أكثر احتمالا، يرى النطاق يمين المرشح. حد فاصل السد لإنخفاض معين لطاقة الرادار، بسبب وجود رمل طينى مشبع بالماء وطين.

تساعد طريقة الرادار الأرضى جيدا لإكتشاف الطرق المرصوفة وغطائية الكبارى المصنوعة من طبقات منفصلة. أيضا، يمكن إستخدام الرادار لقياس اسماك الطبقات وإكتشاف مناطق الانفصال، حيث يسبب انفصال طبقة واحدة عن الأخرى ضعف فى الطريق. عادة، تستخدم هوانيات عالية التردد نموذجيا مركز ترددها 900 ميجاهرتز، طالما يكون عمق الإستقصاء صغير (عادة > 1 متر)، حيث يثبت واحد أو أكثر من هوانى لهيكل على

عربة لكي يحفظ ثابت ويعرف هندسته. تساق العربة على طول الطريق الممسوح بسرعات تبلغ عدة عشرات كيلومتر/ساعة، يدل منظر الخط البياني الخارج لنطاقات الشذوذ والتي تدل على مشاكل كامنة خلال قاعدة الطريق. أيضا، يمكن استخدام الرادار للتأكد من وضع السمك المعين لمادة طبقة تحت الأساس أثناء الإنشاء أو وجود مساحات طبقة تحت الأساس ناقصة أو معيبة.



شكل (8-24): (أ) قطاع لسد متماس لنهر الراين، يوضح هندسة تحت تركيب، وتنسيق لقطاع راداري يري في (ب) تسجيل راداري (300 ميغاهرتز) مأخوذ عند مستوى ماء مرتفع (فيجتر وفان دين 1990 Feijter and Van Deen)

تعتبر تطبيقات طريقة الرادار من الأهمية للفحص خلال الأحجار وقوالب البناء؟ أيضا، تستخدم الطريقة لتوضيح التكوينات الداخلية لحالة وتاريخ بناء واجهات المبنى.

في أغلب هذه التطبيقات، تكمل طريقة الرادار طرق اختبارات أخرى غير هدمية، مثل الصوتيات (مثال ذلك في مسوحات غطاء الكباري)، قياسات كثافة نووية وتصوير حراري (مثال ذلك دراسة الطرق). وكمثل

طرق الجيوفيزياء، تؤخذ بعض نتائج أرضية حقيقية لتوضيح ملائمتها لعرض المقارنة. مثال ذلك فى دراسة الطرق الأسفلتية تستخدم عينات لوبية لتمد مقارنة نقطة لنقطة مع تسجيلات الرادار. أكبر ميزة لطريقة الرادار انها كلية غير هدمية.

#### 4.6.8 الفجوات خلال تركيبات صنع الإنسان Voids Within Man-Made Structures:

يستخدم الرادار بإتساع لفحص حالات طوب بطانة الأنفاق والمجارى. فى الحالة الأخيرة، غالبا يستخدم الرادار مع دائرة تليفزيونية مغلقة (CCTV).

هناك نمطين لطرق عمل الرادار خاصة لمثل الفحوصات السابقة:

**الأولى:** سرعة موجات الراديو فى الهواء أسرع حوالى ثلاثة مرات عنها فى المواد الصلبة ولهذا تقدم تأثير سرعة محققة فى الإرتباط مع فجوات معينة.

**الثانية:** يحدث توافق لطاقة طول موجة الراديو الساقطة عندما يكون هذا الطول الموجى كما هو أو أقصر منأبعاد الفجوة.

يرى شكل (8-25) تسجيل مسح رادارى لمجرور. من الرسم يتضح وجود فجوات هوائية فوق قمة المجرور والتي استخرجت من تسجيل الرادار. يظهر على قطاع الرادار ظاهرتين، الأولى هى وضوح الاختلاف فى مكان قمة المجرور على كل جانب من الفجوة شكل (8-25ب). والثانية توضح شاذة معينة الشكل مصاحبة لهواء الفجوة. استخدمت راصدة رأسية لهوائى 500 ميهايرتز أنظام رادارى GSSISIR-3 لتوضيح البيانات المكتسبة.

يرى شكل (8-26) مثال جيد لتسجيل رادارى لموقع سرداب. عمل هذا المسح البروفيلى الخاص بزاوية عمودية على طول سطح كنيسة شارلن Charnal House. يتضح الحد الفاصل بين الحجر والهواء لسطح الكنيسة بانعكاسات لامعة شديدة السعة، كما يلاحظ أنه عند حوالى 6 نث عبر قمة إنعكاس سطح الكنيسة، يوجد إنعكاس أكثر ضعفا والذي مكون من الشكل كالإنعكاس من السرداب. هذا يفسر أن هذا الإنعكاس من قمة سطح خط الأحجار المستخدمة لإنشاء سقف قوس الكنيسة

الإنعكاس القبى اللامع عند قاعدة تسجيل الرادار ليس بسبب كوم الدبش على أرضية الكنيسة ولكن إنعكاس ناتج من الأرض نفسها. هذه القبة ترجع إلى تأثير السرعة المحققة من الهواء المالى للسرداب. عندما يملأ الهواء فجوة على عمق 2 متر فإن الإنعكاس من الأرض يحدث عند فترة طريقي زمن 26 نث أمام إنعكاس من عمق مقارن خلال التربة المجاورة. يلاحظ أيضا أن الإنعكاس من فاصل الحجر-الهواء عند سطح الكنيسة له شكل رصاص أبيض أى موجب ..إلخ، بينما الإنعكاس من الأرض (فاصل الحجر – الهواء) له شكل موجب عندئذ يكون سالب أبيض. يشارك التغير القطبى لمور موجات الراديو من أ) وسط بطئ إلى سريع (حجر إلى هواء) وعندئذ، ب) وسط سريع إلى بطئ (هواء إلى حجر). تبعا لذلك، يتغير طور الإنعكاس كما تفعل إشارة معامل الإنعكاس.

فى بعض المباني القديمة، تنتج تعقيدات إضافية فى العلاقة بين أطوال موجات الراديو المنعكسة من أبعاد الحجر المستخدم فى إنشاء البناء. عند استخدام هوانى 500 ميغاهرتز عبر كتل الأحجار فإن السرعة  $\approx 0.1$  متر/ث وتكون طول الموجه 0.2 متر والتي تقارن بأبعاد الكتل. تبعاً لذلك، فإن طور الفاصل العاكس ينتج من إنعكاسات داخلية من واجهات الكتل المفردة، تجعل التسجيل الرادارى الكلى أكثر تشويشاً منه خلافاً لما يكون، بالمثل يحدث تشويشاً من مواد البناء المستخدمة لملى فراغات حوائط الأحجار من مواد واسعة الاختلاف، فى مدى من ديش حجرى والذي يضغط لى يترك الهواء الفجوات.

### 5.6.8 إستقصاءات الآثار Archaeological Investigation:

تستخدم تطبيقات الرادار بكثرة للتعقب عن الآثار التى لا يراى بالبحث عنها بالحفر، خاصة على أعماق اختراق مطلوبة عادة ما تكون صغيرة (عمامة أقل من 3 متر). يمكن استخدام الرادار كتقنية النظرة الأولى. شكل (8-27) من أمثلة الإستخدامات الناجحة للرادار فى تطوير ظواهر أثرية الرادار المستخدم ذا هوانى 300 ميغاهرتز (مدى وضع = 40 نث) بنظام GSSI SIR-3 عبر أرض منبسطة من طمى رسوبى، حصى عند موقع (سيرسوس، بوويز، ويلر Casersws, Powys, Wals). يرى تسجيل الرادار بوضوح الإنعكاسات الناتجة من سطح طريق روماني بخنادق على الجانبين. تظهر لفافات وصلات الطريق كمنطقة مركزية خفيفة الضغط.

تحديد أماكن التجويفات مهم إذا أريد استخدام الموقع لرسم أرضى ويتطلب ذلك تدريبات بعناية جيدة. أيضاً، ترجع أهميتها إذا كان هناك شك كبير فى تواجد معلومات أثرية هامة مصاحبة لبقايا مدفونة، وهذا يودى لتحديد مواقع الفجوات بدون هدم. مثل هذا المسح للفجوات تم بإستخدام رادار الإختراق الأرضى بين تقنيات أخرى لبعض الباحثين. يرى شكل (8-28) تسجيلات رادارية حصل عليها فى اتجاهين متعامدين عبر تجويف محتمل. بالإضافة لنتائج الرادار استخدمت طريقتى الكهرومغناطيسية الأرضية والمغناطيسية للتعزيز. وكما يرى فى شكل (8-28، ج، د) وضحت طرق التعزيز شاذات جيوفيزيائية التى تقفل كنتوراتها المركزة حول مواقع التجويفات. يجب التأكد من أن الإضطرابات الأرضية المصاحبة للتجويفات يشار إليها على التسجيلات الرادارية وليس من الأجسام نفسها.

عند التفكير فى تحديد بقايا إنسانية خاصة فى مواقع محمية (أضرحة قديمة)، يمكن الكشف عنها بنجاح بالرادار.

### 6.6.8 تخريط فتحات الرادار العريضة وعملية الإزاحة

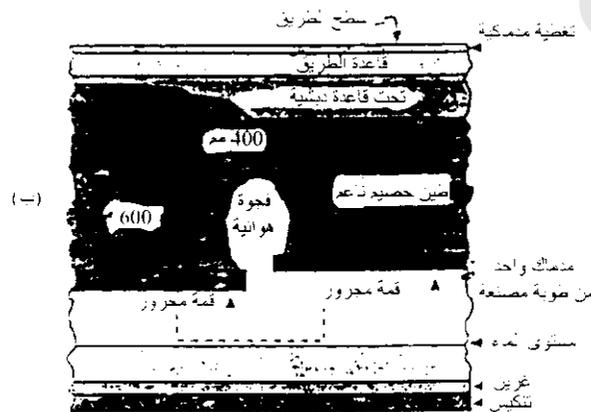
#### Wide-Aperture Radar Mapping and Migration Processing:

عادة، تنفذ مسوحات الرادار باستخدام هوانى أو اثنين فى نسق بروفيلى كنظام مكتسب لقناة مفردة. نفذ بعض المؤلفين مسح اختراق رادارى أرضى لأربعين قناة فى بيئة نهريّة/ريحية فى وادى نهر أوتاوا Ottawa تقريباً شمال وشمال شرق تورونتو، كندا Toronto-Canada. وضع هوانى الإستقبال عند كل من 441 نقطة مسح على مسافات 1 متر على طول خط البروفيل. لكل من مواقع الإستقبال هذه، تسجل البيانات مع هوانى باعث عند كل 40 مكان فصل على طول الخط، بمسافات 0.5 متر بين 0.5 متر، 20 متر من المستقبل شكل (8-29).

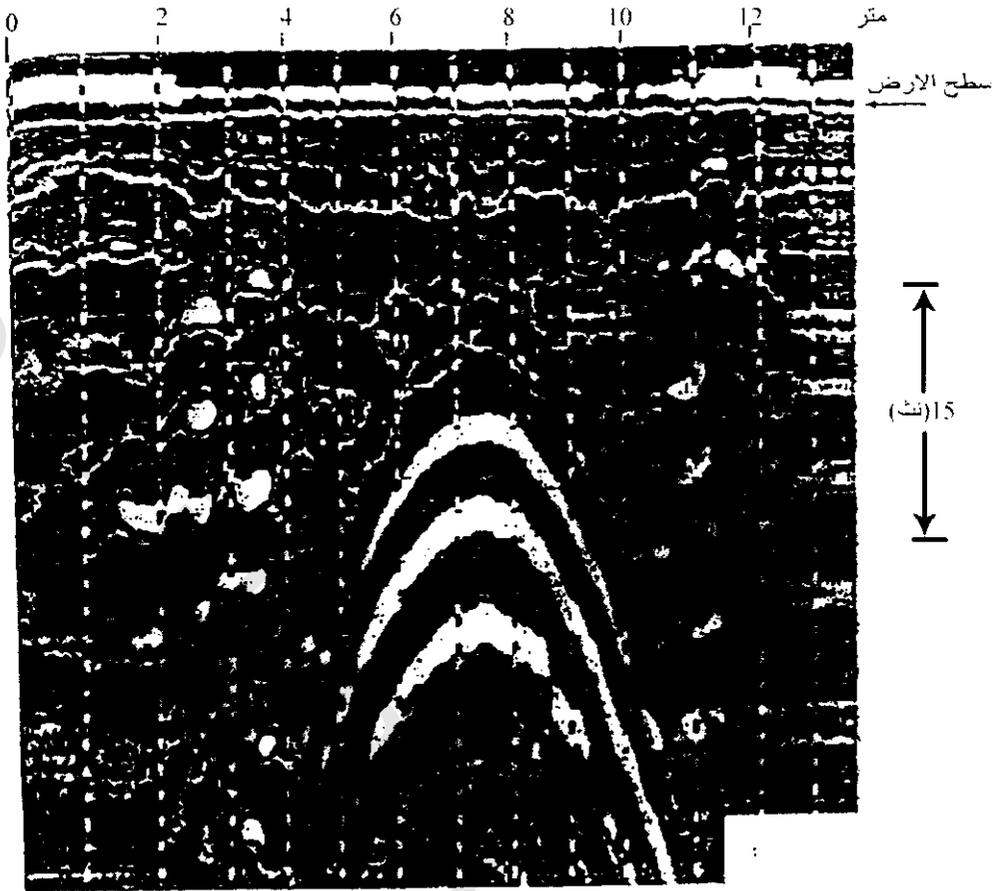
وجهت الهوانيات موازية كل للأخر مع المستوى E الثنائى المتعامد على خط المسح. بدلا من التشبيه السيزمى العادى مع تسجيل المصدر المفرد لتجمعات المستقبلات (تجمعات مصدر عام Common-Source) Gathers، فإنه حصل على تجمعات مستقبل عام. جمعت الآثار (تتبعات لمقادير قليلة) المخزونة للمصدر العام،

المستقبل العام، الإزاحة العامة أو منتصف النقطة العام بدون الإلتفات للطريقة التى بواسطتها حرزت فى الحقل. بواسطة الحصول على البيانات لهذه الطريقة لابد من الأخذ فى الإعتبار العملية السيزمية التقليدية على تجمعات منتصف النقط العامة (CMP).

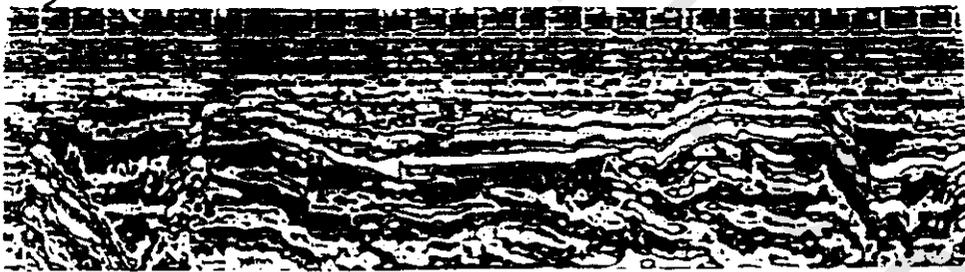
إستخدم نظام رادارى Pulse EKKO (حساسات وسوفت وير. Inc) مع هوائى 100 ميگاهرتز، لإنتاج طاقة يمكن إستخدامها خلال إتساع النطاق الترددى 50-150 ميگاهرتز لكل تسجيل، يكرس 64 مصدر حث مولد نبضات 400 فولت لتحسين الإشارة-إلى نسبة الشوشرة سجل جملة 1280 عينة مع مسافات عينة زمنية لـ 800 نبضة لجميع زمن تسجيل 1024 نت. يأخذ سرعة موجات راديو نموذجية فى التربة 0.065 متر/نث، فإن مدى هذا الزمن يمد العمق الممكن للإختراق لأعلى من 33 متر.



شكل (8-25): (أ) تسجيل رادارى خلال مواد طينية رخصيم ناعم للرصف فوق مجرور مهدوم، تظهر الفجوة على القطع بخطوط غير متصلة، (ب) القطع الحقيقى

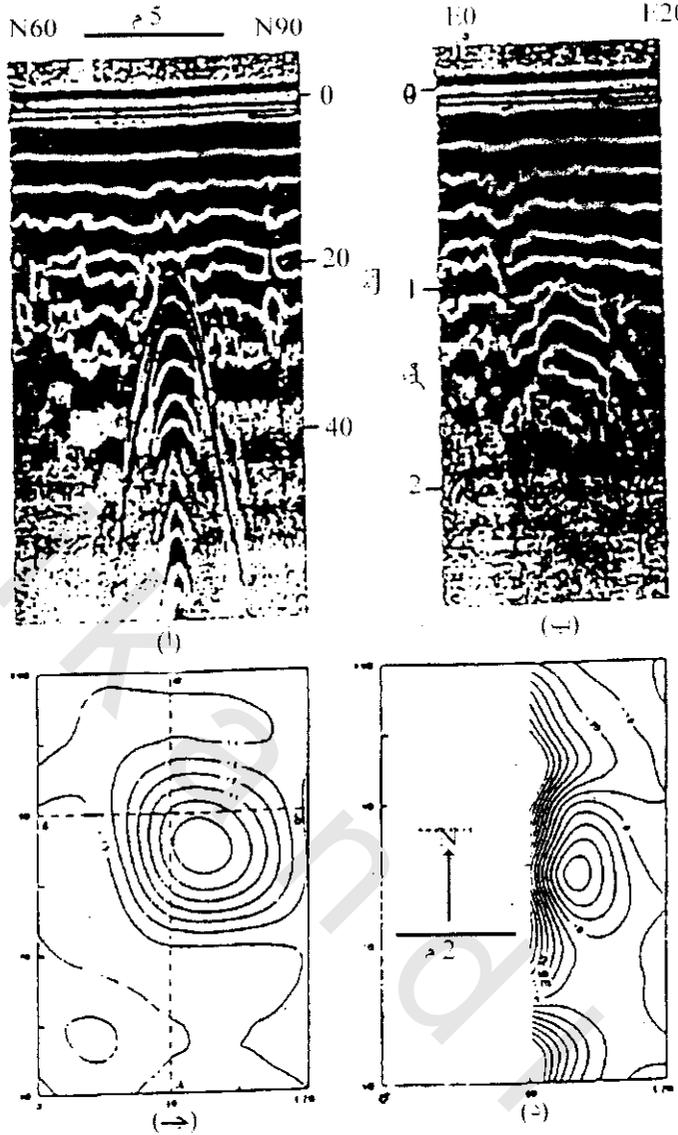


شكل (8-26): تسجيل رادارى عبر قبو مدفون بكنيسة شارلين هوس Charnel House. حدد قمة القبو بوضوح عند قمة الشاذة شديدة البياض والساندة فى القطاع



شكل (8-27): مثال لتسجيل رادارى عبر طريق روماني مدفون لحصن (موقع سيرسوس، بوويز، ويلز، Caersws, Powys, Wals)

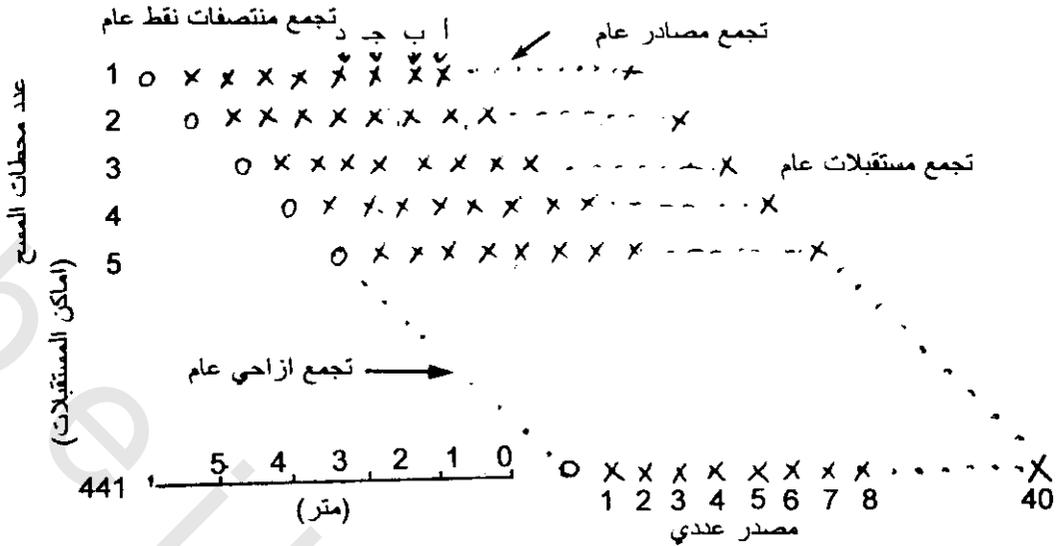
تدخل بيانات الرادار إلى عملية تتابعية سيزمية عيارية (ترشيح، تصحيحات إستاتيكية، تجميع منتصف النقطة العامة، تحليلات سرعة، تصحيحات حركة الخروج العادية والمائلة، تراكم وإزاحة العمق). وقد قام بعض المؤلفين بعمل تفسيرات أكثر للبيانات وطرق إزاحة. بينما المستقبل العمودي وتجمعات منتصف النقطة العامة لبيانات الرادار تظهر إحتمال كبير جدا لتشابهها السيزمي، فإن متوسط الجذر التربيعي يقدر من ثلاث مراتب تمثيل له متوسط النقطة العامة لتجمعات متوسط النقطة العامة (CMP) كما فى شكل (8-30). بينما تشير السرعة السيزمية الزيادة مع العمق، فإن هذه الهينات السرعةية ترى أن العكس يكون حقيقى لموجات الرادار.



شكل (8-28): بروفيل رادارى شمال-جنوب عبر قبر محتمل، (ب) بروفيل شرق-غرب. يرى أن الهدف عريض في هذا الإتجاه، (ج) خريطة توصيلية ظاهرية بمسافة كنتورية 1 م/م، يدل الخطوط المشرطة على إتجاه لبروفيل الرادار، (د) يوجد أيضا حديد مدفون أو قوالب محروقة بمسافة كنتورية لشواذ خريطة مغناطيسية 10 ننتسلا (بيفان 1991 Bevan)

شكلى (8-31)، (8-32) يوضحان أن نتائج عمليات البيانات فيرى شكل (8-31) قطاع مزاح قريب، عند كل موقع تسجل الأثر الموقع باصغر مسافة (0.5 متر) بين المصدر والمستقبل، أما فى شكل (8-31ب) فإن كل أربع آثار فى تراكم قطاع زمنى، عند كل موقع فإن الأثر المنقط هو التكدس عبر الآثار عند منتصف النقطة.

يلاحظ أن اللوحتين فى شكل (8-31) يشاهدان كقطاعين زمنين. بمقارنة هؤلاء باللوحة العلوية فى شكل (8-32) والتي تكون صورة إزاحة عمق، فإن التفسير المقابل يمد فى اللوحة السفلى. من الواضح أن التفصيل المعين حصل عليه لعمق يتجاوز 25 متر، كما قورن مع البئر المجاور. تكون بيانات الإزاحة النهائية مشهد (منظر) تام وترى كشبه تحليل رأسى حتى مع هوائى 100 ميغاهرتز لأعماق فى زيادة لـ 20 متر.



شكل (8-29): مسح هندسي وتجمعات بيانية مستبناة. تحتوى تجمعات المستقبلات العامة كل الآثار (تتبعات المقادير قليلة) عند مكان مستقبل واحد. تحتوى تجمعات المصادر العامة جميع الآثار المتولدة عند مكان مصدر واحد. تحتوى تجمعات الإزاحة العامة جميع آثار البعد بين المصدر-المستقبل. تحتوى تجمعات منتصفات النقط العامة جميع الآثار مع نفس مركز النقطة بين المصدر والمستقبل. للشكل الهندسي المستخدم، يوجد أربع منتصفات أماكن عامة (أ، ب، ج، د). لكل مكان استقبال، يوجد 40 أثر في كل تجمع مستقبلات عام. ماعدا نهاية المسح يوجد 10 آثار في كل تجمع منتصفات فقط عام (فيشر وآخرين 1990 Fisher et al)

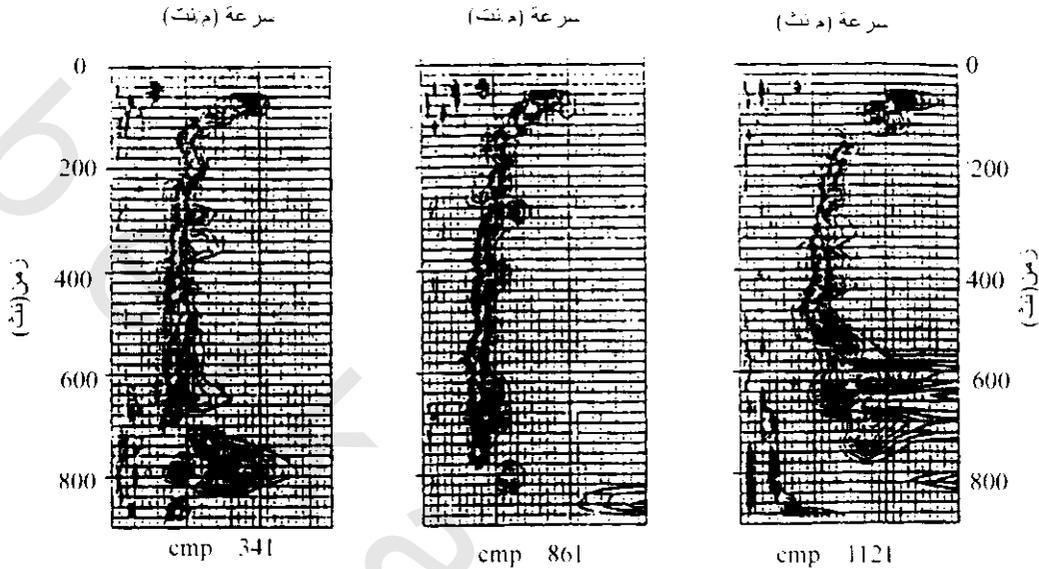
### 7.8 رادار الآبار Borehole Radar:

يستخدم هذا النظام منذ عام 1980 حيث ظهر نظام يسمى RAMA كجزء من مشروع ستربا العالمي International Stripa Project في السويد Sweden وفي الصناعة بواسطة فالاجيوسينس Mala Geoscience لكي تطور تقنيات ملائمة للاستخدام في مخازن تحت الأرض لنفايات الوقود النووي. يستخدم في رادار الآبار نبضات قصيرة أولاً للحصول على معلومات عن تركيب وكمال كتل الصخور النارية (البلورية) على مسافة من الأنفاق والآبار بدون التأثير على الصخور بأى طريقة.

أشار مسح RAMAC في عام 1987 في سويسرا Switzerland إلى تشققات في الجرانيت على بعد 160 متر من البئر الممسوح. ومنذ هذه اللحظة، يستخدم RAMAC لتسجيل انعكاسات ناتجة من تركيبات على بعد أكثر من 300 متر خلال صخور ملحية. الآن، يستخدم هذا النظام عالمياً في التنجيم المعدني والإستقصاء الهيدروجيولوجي وميكانيكية الصخور، وأيضاً لإستقصاء مواقع الأنفاق السود، ومشاريع لأنواع من الإنشاءات.

يوضح شكل (8-33) أساس النظام خطياً مع تسجيل راداري بسيط. يستخدم الباعث لتوليد موجات رادار مع نبضات تردد 43 كيلوهرتز. يوضح مستقبل منفصل لمسافة قصيرة نوعاً ما أسفل البئر. نموذجياً، يعمل المستقبل بعرض نطاق ترددي 10-200 ميغاهرتز عندما يكون المسح لصخور رسوبية من 2-6 متر ومن 5-15 متر لمسح الصخور البلورية. ويمكن استخدام هوائيات بترددات مختلفة أما 20 ميغاهرتز أو 60 ميغاهرتز لأستخدام نظام RAMC النموذجي أو 50، 100، 200 ميغاهرتز أو 400 ميغاهرتز لرؤية حديثة تحققت في عام 1994،

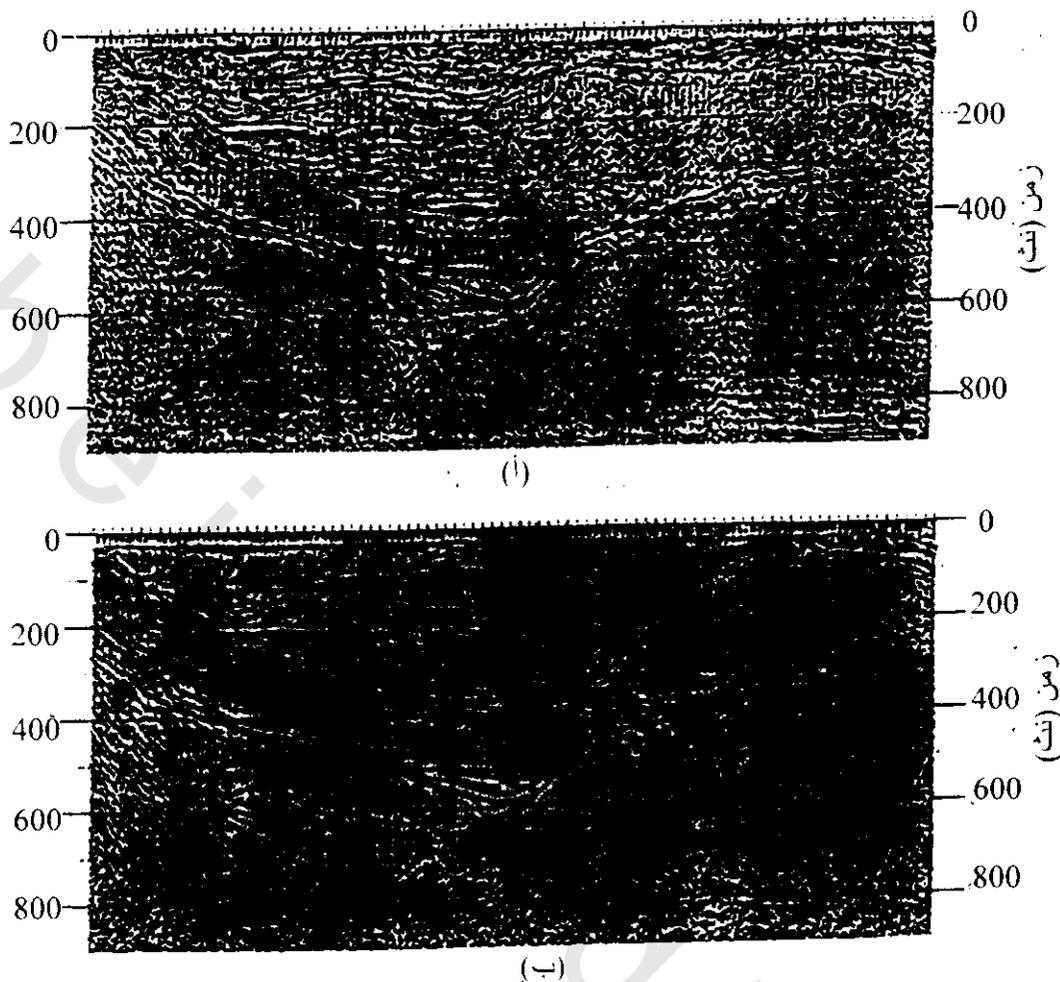
حيث تم عمل قياسات على مسافات ثابتة من 0.5-1 متر وذلك بأخذ أغلبها حول 30 ثانية عند كل موقع لعمل القياسات المطلوبة.



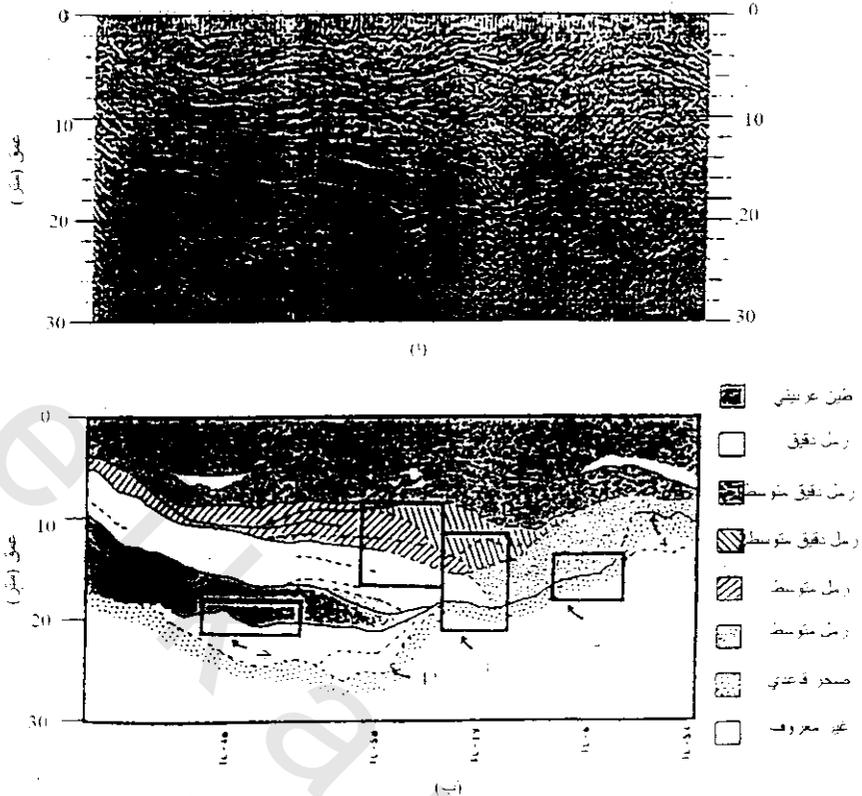
شكل (8-30): تقديرات لسرعات تتابعية سيزمية عيارية من ثلاث تجمدات لمتوسطات نقط عامة (CMP). عامة ، نقل السرعة بزيادة العمق (أى زيادة فترة الزمن). تكون تقديرات السرعة غير ملائمة عند أزمنة أكبر من التى يحدث عندها الانعكاس الأخير المتلاحم المتسق (فيشر وآخرين 1990 Fisher et al)

يمكن عمل نمطين فى إحداهما استخدم كل اتجاهات ثنائية الهوائيات واستخدم فى الآخر هوائى متجه، لذلك أمكن تعريف الانعكاسات من ربع دوائر (90°) منفصلة حول البئر. أيضا يمكن استخدام نظام RAMAC فى أشكال قطاع مسح سطحى للبئر بدون الدخول فى العمق مع هوائى باعث فى أحد الآبار والمستقبل أسفل الآخر. بالإضافة لذلك يمكن وضع المستقبل أسفل البئر بينما يوضع الباعث إما فى نفق منجم أو على سطح الأرض، كما هو موضح فى شكل (8-34). يمكن أن تجمع تسجيلات الرادار عمليا باستخدام شاشة تفسيرات لسوفت وير.

المثال البسيط لأنواع تسجيلات الرادار الناتجة باستخدام نظام RA.MAC ترى فى شكل (8-35) تسجيل الرادار الحاصل عليه من واحد من ثلاثة آبار مختلفة لتوقعي عمود (ماسورة) الحفر المتروك. لوحظ انعكاسات قوية من ماسورة الحفر على تسجيلات الرادار لسبب التصاق مواشير الحفر بجوانب الآبار (قطعت منطقة فائق كبير مائل).

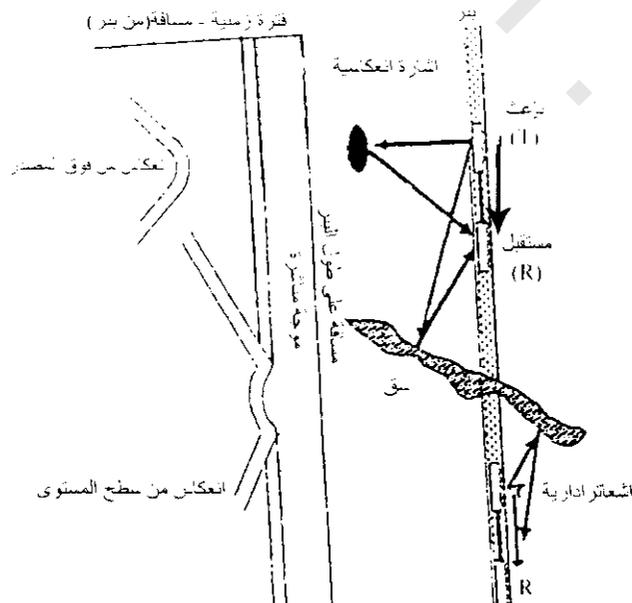


شكل (8-31): قطاع رادارى من مسح رادارى (40 قناة) فى وادى نهر أوتاوا، كندا Ottawa, Canada. (أ) بالقرب من قطاع مزاح، عند كل موقع يكون تسجيل رسم الأثر مع بعد أصغر من ( 0.5 متر) بين المستقبل والمصدر. (ب) يمثل مع كل رابع أثر قطاع لتراكم زمنى، عند كل موقع لرسم الأثر يكون التركيز عبر الأثار التى عند نقطة المنتصف. كلا من أ، ب ترسما بـ AGC بناافذة 200 نت. (فيشر وآخرين 1992a Fisher et al)

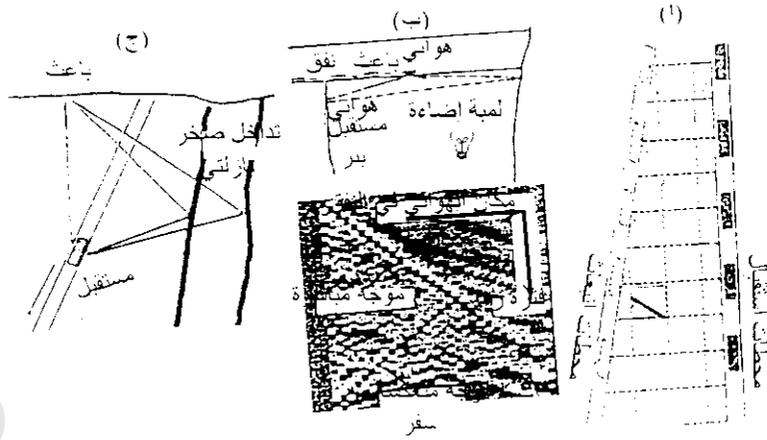


شكل (8-32): (أ) صورة عمق مرحل، (ب) تفسيره. رسمت الصورة فقط بـ AGC لكل أربع أثار. العينات اللويبة الملائمة للمواقع القريبة معنونة عند قاع (ب). العواكس: 1 = رمل جارنت، 2 = طبقات غرينية، 3 = حصى رمل دقيق، 4 = صخر القاع (الأساس) (فيشر وآخرين 1992a) (Fisher et al 1992a)

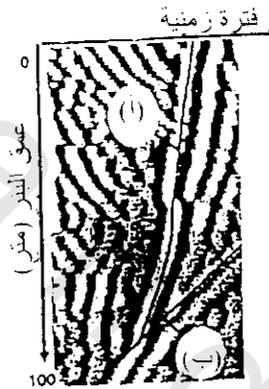
يرى شكل (8-36) تأثير السمات في شكل (8-36) حيث وجه الهوائي إتجاه مغناطيسي 250° ويوضح السهم مستوى الإنعكاس. عندما ادير السمات مغناطيسيا  $\pm 90^\circ$  إلى 160° كان الإنعكاس أقل ما يمكن (شكل 8-36). باستخدام مثل هذه المعلومات، يمكن تحديد ظواهر الميل والمضرب.



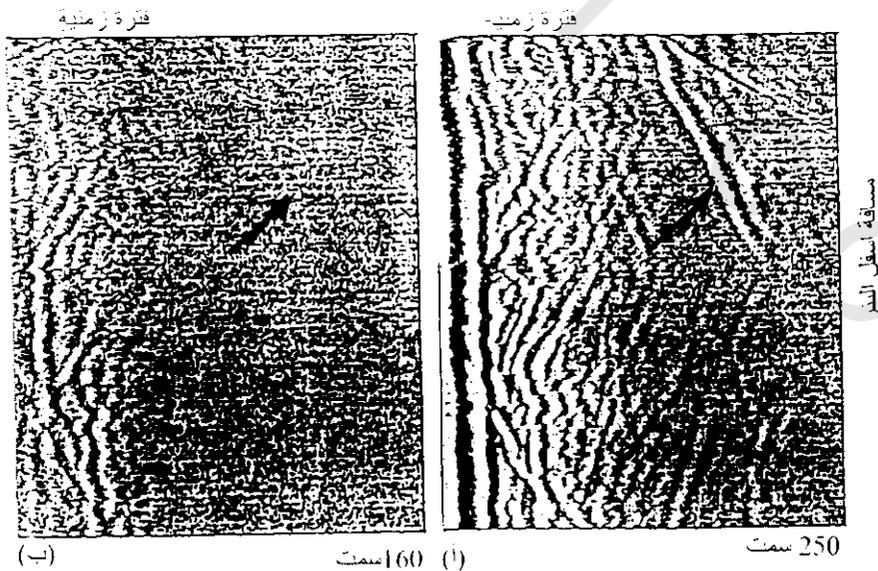
شكل (8-33): ترتيب أساس لنظام راداري بئر مع صور نموذجية لقطاع راداري لسطح مستوى ونقط إنعكاس. بسبب التماثل الإسطواني لثنائي القطب الهوائي ردود شكل V من السطح العاكس. نتج القطع المخروطي من نقطة المصدر



شكل (8-34): ثلاث اشكال لانظمة إدارية بئرية (أ) مقطع بئر قليل العمق، (ب) تصور نفق إلى بئر، (ج) بروفيل رادار رأسى حيث الباعث على سطح الأرض والمستقبل أسفل البئر



شكل (8-35): تسجيل رادارى بئر يرى موقع خط بئر مهجور، (أ) منطقة فائق كبير، (ب) مكان التصاق لقمة الحفر



شكل (8-36): تسجيلات آبار رادارية من نفس المكان ترى تأثير السمات باستخدام هوانى موجه. (أ) سمت مغناطيسى 250° مع إنعكاس سطحى كبير قوى (السهم)، (ب) سمت مغناطيسى 160° يرى أن قوة الإنعكاس السطحى تقل إلى أقل قيمة