الفصـــل السادس

رادار اختـــراق التربـــة

الجيوفيزياء (Geophysics):

يختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه . ويعتمد فى ذلك على استخدام قوانين وخواص فيزيائية طبيعية، مثل الجاذبية الأرضية و المغناطيسية الأرضية، والإشعاع الطبيعي . التيارات الكهربائية الطبيعية التى تتولد فى الصخور نتيجة حركة السوائل فى مسام الصخور المختلفة، كذلك التيارات المتولدة نتيجة للشحنات المنتشرة فى الفضاء، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية تسجيل الموجات الزلزالية الاهتزازية الناتجة عن الزلازل الطبيعية أو الناتجة بفعل العوامل الصناعية، مثل استخدام المتفجرات أو أجهزة توليد الاهتزازات الأرضية المختلفة، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية استخدام التقنية الرادارية، وكذلك طرق تسجيلات الآبار .

يعتبر علم الجيوفيزياء – بطرقه المختلفة – من أهم علوم الأرض، والتي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء. وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية، ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة، وفي مجال الدراسات الهندسية والدراسات البيئية. وقد ساهم التقدم الكبير الحادث في طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية وتقنيات برامج التحليل في حل الكثير من المشاكل التي تواجه القطاعات المهتمة بالثروات الطبيعية، سواء على مستوى القطاعات الحكومية، أو القطاعات الخاصة، أو حتى على مستوى الأفراد .

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق وعرة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين . وقد وفرت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

ما هي الجيوفيزياء التطبيقية :

وتعني استخدام الطرق الجيوفيزيائية في تحديد هدف معين تحت سطح الأرض ، مثل المياه الجوفية، والمعادن، والأجسام المدفونة بأنواعها، والبترول والغاز ومعرفة التركيب الجيولوجي للطبقات التحت سطحية، وما تحتويه من كهوف أو صدوع أو فراغات و في مجال التطبيقات الهندسية .

وهناك عدة طرق للمسح الجيوفيزيائي مستخدمة منها :

أ ـ المسح بقياس الجاذبية الأرضية : ويستخدم في المراحل الأولى للاستكشاف، ويمكن بواسطته تكوين فكرة عن شكل وامتداد الحوض الرسوبي والاتجاهات البنائية ومواقع الفوالق، وبناءً على نتائجه يتم تحديد المناطق الأكثر أملاً، وتعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر، تبعاً لكثافة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة .

ب ـ المسح المغناطيسي: ويعتمد على قياس مغناطيسية الأرض التي تعتمد على التغيرات المغناطيسية في مكونات القشرة الأرضية .

ج ـ المسح السيزمي (الاهتزازي) بنوعيه (الانكساري والانعكاسي): والذي يشكل 90% من الأعمال الجيوفيزيائية التي تنفذ بهدف التنقيب عن النفط، ويمر هذا العمل بعدة مراحل هي :

١ـ العمل الحقلي .

٢ـ معالجة المعلومات .

٣ـ تفسير المعطيات : حيث يتم هنا تحويل المعلومات السيزمية إلى معلومات جيولوجية، فيتم إنشاء خرائط زمنية لمنطقة المسح يتم تحويلها إلى خرائط أعماق بعد إجراء قياسات للسرعة .

د ـ المسح بواسطة رادار إختراق التربة .

المسح السيزمي :

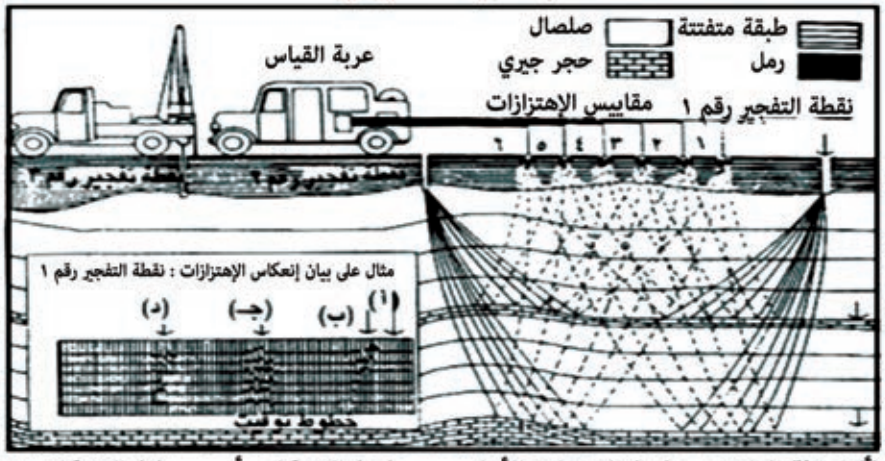
أداة عملية لتحديد التكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض ، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبة من السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة سيزمية، من نوع ريلي Rayleigh أو لف Love، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرض Geophones & Detectors، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة السيزمية (**الشكل رقم ١١**).

ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التي تمر بها . ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاس ومقارنتها، وتعرف الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى ، وبيئة الترسيب، ومن ثم إنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديد أماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها .

و يجرى المسح السيزمي أيضاً في البحار ، باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عال، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغ تحت الماء لإحداث نبض سمعي Acoustic Pulse على فترات قصيرة متتابعة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين ١٠٠، ٤٠٠ متر . ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى ٢ـ ٢,٥كم باستخدام قاذف صغير لخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية .

الشكل رقم ١١

المسح الجيوفيزيائي
بالطريقة السيزمية



وتنقسم إلى قسمين :

١ـ انكسارية Refraction Seismology : وهذه الطريقة تعتمد على دراسة زمن أولى الموجات وصولاً وربطها بالمسافات بين المستقبلات التي تستقبلها ، أما بقية البيانات فلا نحتاج إليها في الطريقة الانكسارية ، من هذه الطريقة أستطيع التعرف على التغير في الصخور مع العمق ، كما أستطيع معرفة سرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط المختلفة، حيث تعتمد على معاملات المرونة elastic parameters لهذه الأوساط .

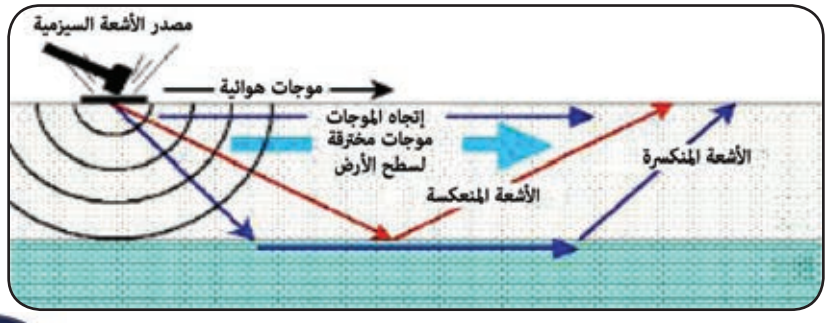
٢ـ انعكاسية Reflection Seismology : وهذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصل بعد الحركة الأرضية الأولى ، وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة ، يشبه الأمر دراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار .

أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومات عن نفس الطبقة الصخرية التي تمر بها، في حين أن الطريقة الانكسارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات .. وللطريقة السيزمية عيوب ومميزات مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى، أيضاً نفس الطريقتين السيزميتين بهما مميزات وعيوب مقارنة مع بعضها البعض .

مميزات الطريقة السيزمية وعيوبها مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى: من مميزات هذه الطريقة أنها تعطينا تصوراً عما هو موجود تحت سطح الأرض، وبذلك نستطيع من خلالها تحديد العمود الطباقي للمنطقة .. ولكونها تعتمد على انتشار الموجات في الصخور وحيث إن انتشار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصخر ، فإننا نستطيع ـ ومن حيث المبدأ ـ تحديد هذه المعاملات ..

وأيضا نستطيع الكشف عن الهيدروكربونات بواسطة هذه الطريقة.. ومن عيوب هذه الطريقة .. أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى.. ويتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً، بالإضافة إلى حاجة المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة ..

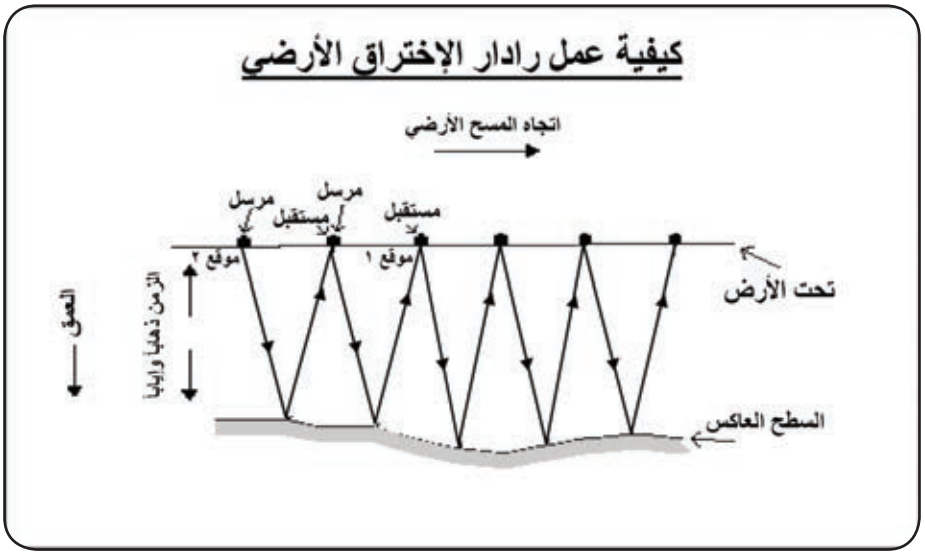
أيضاً الأجهزة المستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة في الطرق الجيوفيزيائية الأخرى ..



المسح الردارى GPR:

مقدمــة:

يعتبر الرادار الأرضي المخترق (GPR) تقنية حديثة ، حيث بدأ الكشف عن استخدام الجهاز في الأغراض البيئية والتجارية المختلفة، مثل التطبيقات الهندسية، وكذلك الآثار المدفونة والتطبيقات الجيولوجية، وطريقة الرادار الأرضي المخترق قريبة من الطريقة السيزمية مع اختلاف أن الطريقة السيزمية تعطي أعماقاً كبيرة، وكذلك تستخدم الموجات الصوتية (wave Acoustic) أما طريقة الرادار الأرضي المخترق فتعطي أعماقاً أقل، وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic wave) . وكلتا الطريقتين تعتمد على انعكاس الموجات من المواد التحت سطحية، ولكنها تختلف تماماً في مواصفات التطبيق على الموقع، ومن مميزات استخدام الموجات الكهرومغناطيسية أن طولها الموجي قصير نسبياً، ويمكن توليدها وإرسالها إلى تحت سطح الوسط لالتقاط وتحديد التغيرات في الخصائص الكهربية (ثابت العزل الكهربي) للوسط، ومن عيوب الموجات الرادارية أنها لا يمكن أن تُخترق المواد ذات التوصيلية الكهربية العالية مثل الطين الرطب، والذي يعتبر بيئة ممتازة لتقنية الانعكاس السيزمي .



شكل يوضح عملية اختراق الأرض

تاريخ الطريقة:

إن أول استخدام للموجات الكهرومغناطيسية لاستكشاف الأجسام المدفونة قد سُجل كبراءة اختراع في ألمانيا عام ١٩٠٤ م ، ونشر أول بحث في ألمانيا عام١٩١٠م في هذا المجال، وقد استخدم في هذه الأبحاث إرسال موجات مستمرة، وفي عام ١٩٢٦م طوّر أول استخدام للموجة الرادارية لاستكشاف الشقوق الطبيعية المدفونة، ثم أستخدمت تقنيات الموجة بشكل كبير ولعدة عقود، وفي عام ١٩٣٤ أطلق اسم رادار على خاصية (الإرسال والاستقبال اللاسلكي) للموجات في الاستكشاف وتحديد العمق ، وكان أول مسح راداري في أستراليا عام ١٩٢٩م لقياس عمق نهر جليدي .

لقد استخدم نظام الاختراق الأرضي منذ عام ١٩٦٠م في مجال التطبيقات الجيولوجية، وقد تطورت الطريقة في الوقت الحالي تطوراً كبيراً في مجال تفسير ومعالجة البيانات، وفي عام ١٩٨٠ أصبح أكثر استخداماً في المجالات الهندسية والآثار، وقد وجدت هذه الطرق الرادارية قبولاً كبيراً في مجال الهندسة المدنية في مناطق معينة، وفى عام ٢٠٠٠ ـ بدعم من معهد الآثار الروسي والأكاديمية الروسية للعلوم ـ تم تطوير الردار المخترق للأرض ليصل لأعماق أكبر، وأطلق على الجهاز الرادارى اسم «لوزا» LOZA .

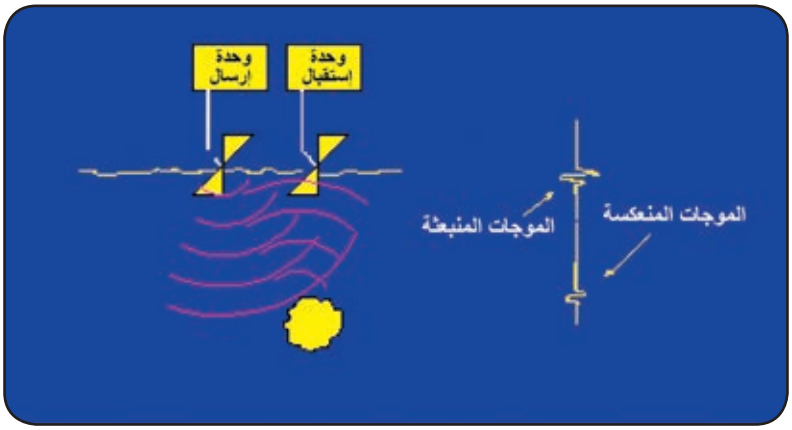
مبدأ الموجات الكهرومغناطيسية:ـ

يعتبر المسح الراداري طريقة جيوفيزيائية غير متلفة، طورت خلال الثلاثة عقود الماضية للاستكشاف الضحل وبدقة عالية، والفكرة العامة للرادار الأرضي المخترق هي إرسال موجات كهرومغناطيسية عالية التردد (١٠ ـ ٢٥٠٠ ميجاهيرتز) تحت سطح الوسط (سواءً خرسانياً أو جيولوجياً) حتى تخترق أهدافاً أو مواقع مختلفة، ثم تنعكس وترتد إلى السطح ويتم استقبالها في جهاز الاستقبال، ومن ثم يتم تحليل ومعالجة هذه الموجات بواسطة برامج التحليل للحصول على صورة للوسط الذي مرت فيه هذه الموجات، وتتأثر هذه الموجات، بالخصائص الكهربية المختلفة، وتعتمد على مدى التباين في تلك الخصائص، حيث ينعكس جزء منها ويتم تسجيلها بواسطة جهاز الاستقبال والجزء الآخر ينكسر أو يتشتت .

وتكون الطريقة فعّالة عندما يكون الوسط ذا قابلية توصيلية كهربية منخفضة مثل الثلج والرمل والزيت الخام، والصخور ، والماء النقي ـ إلخ، وتكون قليلة الفعّالية (التأثير) أو غير مجدية عندما يكون الوسط ذا قابلية توصيلية كهربية عالية مثل الطين ، والغرين ، والماء المالح وغير ذلك .

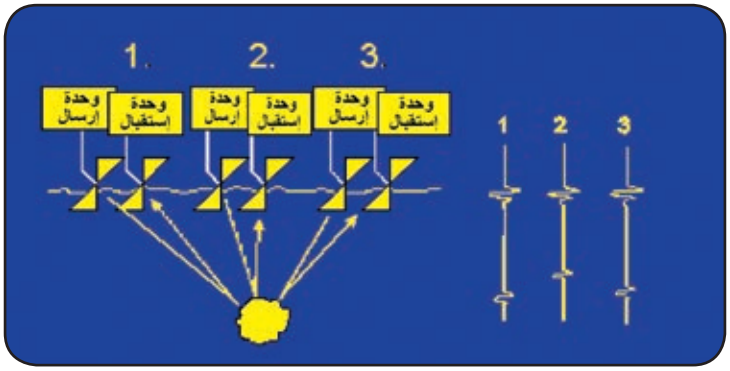
كيف يعمل جهاز الـ GPR

المبادئ الأساسية :



يشمل نظام الـGPR على جهاز مُرسل و مُستقبل ، كلا منهما متصل بهوائي منفصل ، وكل هذه المكونات مثبتة على الأرض، تخترق الموجات الكهرومغناطيسية مسافة معينة فى عمق الأرض، و تنعكس عندما تصطدم بهدف ما له خواص مختلفة عن خواص مكونات التربة مثل الأنابيب البلاستيكية والفراغات الموجودة تحت سطح الأرض، و هناك أيضاً اختلافات فى زمن انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية، طبقاً لخواص المادة التى اصطدمت بها هذه الموجات .

كيف يتم تكوين الصورة :



لبناء الصورة التى يمكن للمشغل تفسيرها، يقوم جهاز الرادار بإرسال الموجات، ويقوم الجهاز المستقبل باستقبال تلك الموجات المنعكسة وعرضها بصورة إشارات بنمط معين على شاشة تشبه شاشة جهاز الكمبيوتر، ثم يتم نقل الجهاز إلى المكان الذى يليه على سطح الأرض، و بالتالى عرض تلك الإشارات على الشاشة جنباً إلى جنب مع سابقتها، و عند الإنتهاء يتم طباعة هذه الإشارات، ويقوم المُشغل بتفسير هذه الإشارات وأنماطها لتحليل الأشياء الموجودة فى باطن الأرض .

أشكال تكوين أنماط العرض (القطع الزائد) :

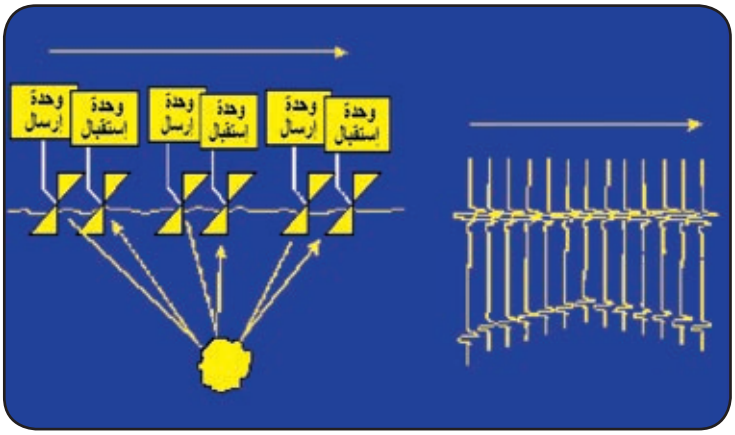
عندما يكون هناك شىء ما تحت الأرض، فإنه يأخذ المزيد من الوقت لتنعكس الموجات وتصل إلى المستقبل، لأن الموجات عندما تمر فى التربة العادية تأخذ وقتاً أقل من أن تمر من خلال جسم ما أو تربة رطبة، هذا التأثير يسبب تغيراً فى نمط الإشارات المرسومة على الشاشة لتأخذ شكل منحنى يسمى «القطع الزائد» .

المستخدمون ذو الخبرة يستطيعون التعرف على طبيعة الهدف الموجود تحت سطح الأرض عن طريق تحليل شكل القطع الزائد .

وأيضاً يمكن إنتاج أنماط أخرى من الإشارات المرسومة على الشاشة طبقاً للهدف الموجود تحت سطح الأرض، على سبيل المثال خزان مدفون تحت سطح الأرض قد يكون لديه صورة مستوية مع وجود منحنيات للأسفل عند النهايتين .

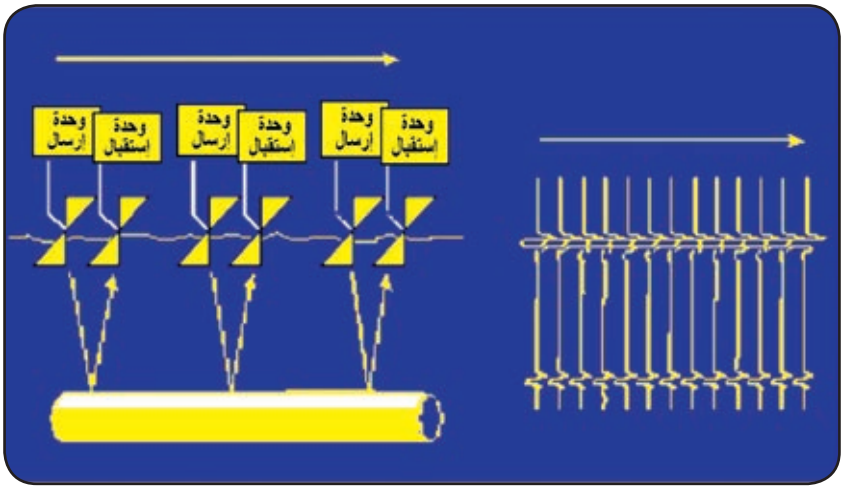
بعض الصور المبهمة :

إن شكل القطع الزائد يعبر عن وجود هدف ما تحت الأرض ، ولكن ماذا سيحدث إذا كان هناك أنبوب طويل في اتجاه المسح تحت الأرض؟ فسوف تظهر الصورة بشكل مستقيم بدون تغير فى نمط الإشارات وخصوصاً إذا كانت المسافة بين الجهاز و الأنبوب لا تتغير، وهذه المشكلة ستظهر أيضاً إذا كان هناك مياه جوفية أو طبقة من الصخر متماثلة فسيصعب تحديدها بالمسح في اتجاهها، ولذلك يجب تحديد هذه الأشياء بالمسح عمودياً عليها.



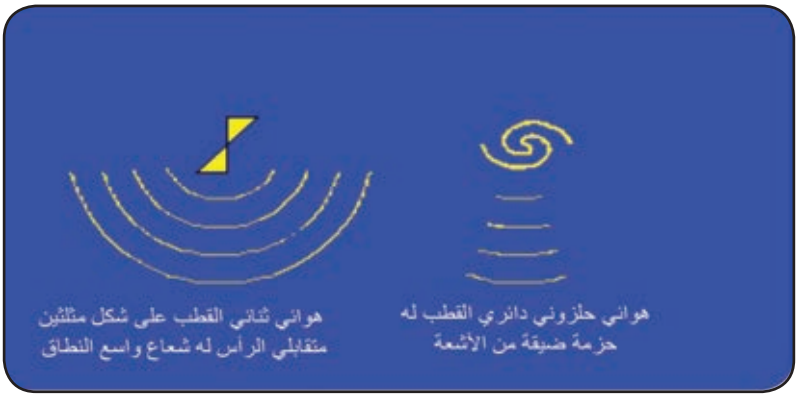
تأثير شكل الهوائي:

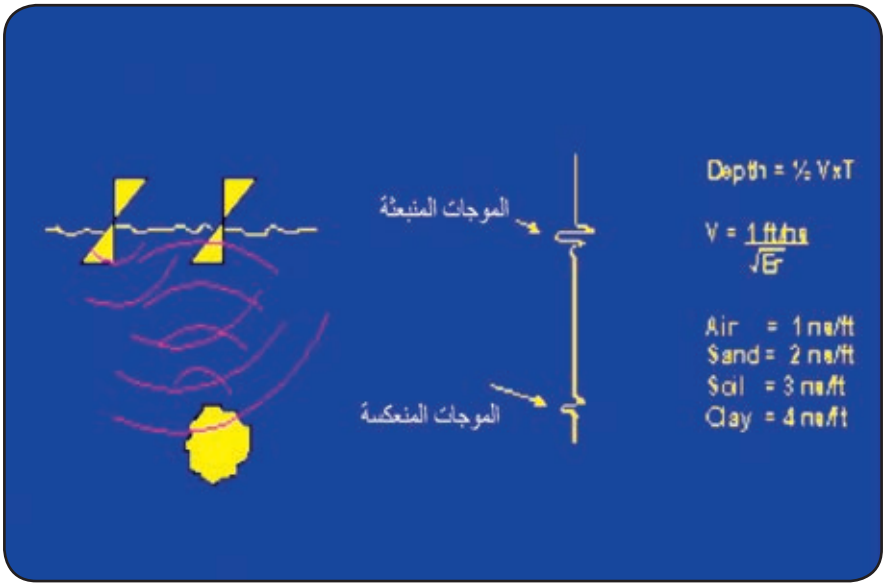
وهناك أنواع مختلفة من الهوائيات ذات أشكال حزم أشعة مختلفة منها هوائيات ثنائية القطب (هوائيات على شكل مثلثين متقابلي الرأس) ذات حزمة أشعة واسعة النطاق ، وبالتالي تغطي مساحة أكبر ، وهوائيات حلزونية ذات حزمة أشعة ضيقة ، وبالتالى تُغطي مساحة صغيرة .

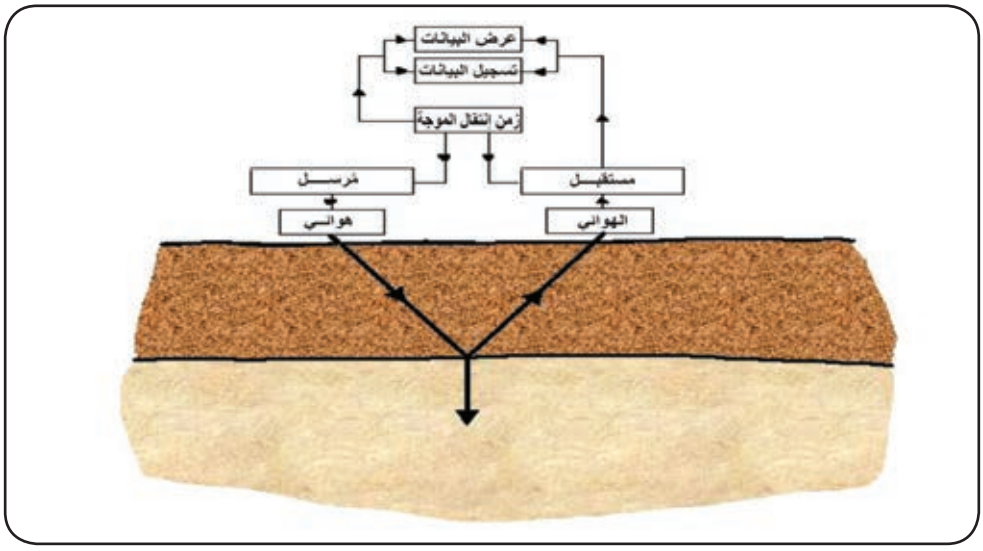


كيف يمكن تحديد عمق الهدف ؟

يصعب على جهاز الـGPR تحديد أو قياس عمق الهدف دون الحصول على بعض المعلومات عن ثابت العزل الكهربائي للتربة، فإن جهاز الـGPR يستطيع قياس الزمن بدقة عالية جداً، ولكن سرعة موجات الرادار تعتمد على نوع التربة، ولذلك فإن جهاز الـGPR يستطيع قياس العمق بشكل دقيق جدا عند معرفة ثابت العزل الكهربائي أو سرعة موجات الرادار في هذه التربة .







شكل توضيحي لخطوات GPR

أنظمة رادار الاختراق الأرضي :

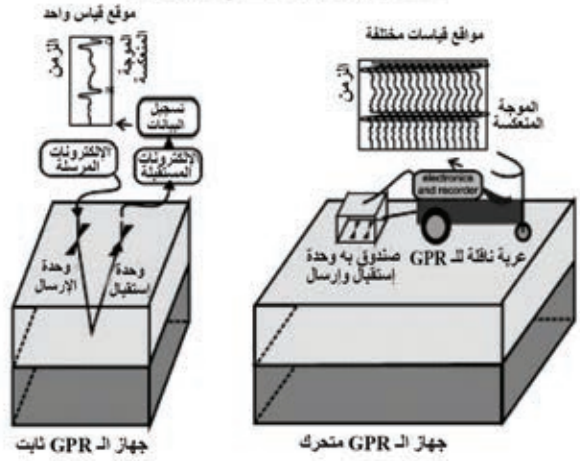
في الوضع الثابت يتحرك الهوائيان بشكل مستقل عن بعضهما البعض، مما يسمح بمرونة أكثر في عملية القياس عن الوضع الذي يكون فيه الهوائيان داخل صندوق معاً . فعلى سبيل المثال: مكونات الاستقطاب المختلفة يمكن تسجيلها بسهولة عندما يكون الهوائيان منفصلتين ويتم تسجيل الأثر "trace" على عدة مراحل :

١) يتم إرسال الموجة. ٢) يتم تشغيل المستقبِل ليبدأ في استقبال و تسجيل الإشارات .

٣) بعد فترة زمنية معينة، يتم وقف عملية الاستقبال ، و يسمى القياس الذي تم الحصول عليه وتسجيله خلال تلك الفترة بالأثر "trace".

و تعتبر الحالة المثالية في حالة وجود طبقة واحدة فقط وإرسال موجة واحدة و انعكاس واحد من تلك الطبقة. أما في الوضع المتحرك فيتم إرسال موجة من الرادار، ثم يتم استقبالها و تسجيلها في كل مرة يتم تحريك الهوائي بها مسافة محددة فوق سطح الأرض، أو فوق المادة التي يتم استكشافها. المسافات بين نقاط القياس تسمى"trace spacing"، و يجب اختيار تلك المسافة بناءً على حجم الهدف و الغرض من عملية المسح .

مدخلات ومخرجات نظام الـ GPR



وعند عرض الـ "traces" إلى جانب بعضها البعض، يتكون لدينا تسجيل الزمن ـ المسافة الذي يوضح كيفية تغير الانعكاسات في الطبقات المختلفة. إذا كانت التغيرات في الخصائص الكهربية (مثل التغير في مُعامل النفاذية) بسيطة، إذا يمكن عرض التسجيل الخاص بالزمن – المسافة كصورة ثنائية الأبعاد للأرض، حيث يمثل المحور الأفقي المسافة المقطوعة و المحور الرأسي يمثل الزمن الذي قطعته الموجة ذهاباً و إياباً. و يمكن تحويل الزمن على المحور الرأسي إلى سرعة (إذا كان معامل النفاذية معروفا) .

ويعتبر ذلك التمثيل هو أبسط طريقة لتمثيل بيانات رادار الاختراق الأرضي، و يمكن تكوينه أيضاً عن طريق استخدام الوضع الثابت عدة مرات متتالية مع الحفاظ على المسافة بين الهوائيين ثابتة .

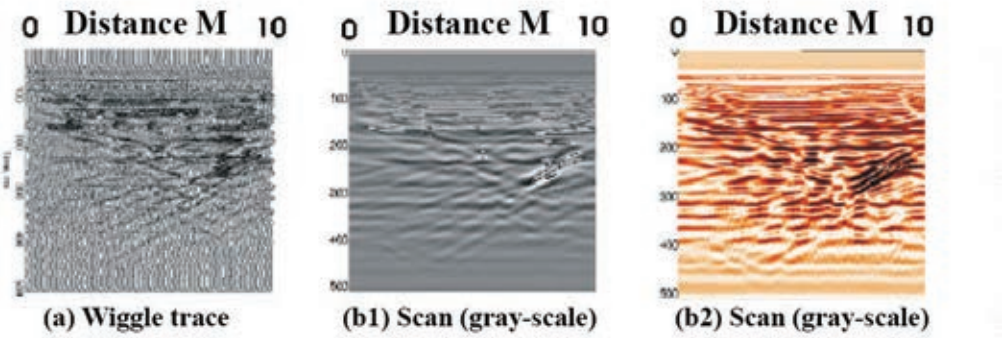
تتكـون معـدات رادار الاخـتراق الأرضـي من هوائيـان للإرسـال و الاسـتقبال و إلكترونيات التحكم و جهاز التسجيل، و غالباً ما يكون الهوائيان منفصلين و لكن في الوضع الثابت يمكن أن يكـون كل منهمـا داخل صندوق منفصل عن الآخر، أمـا في الأنظمة التي تعتمد على الوضع المتحرك فيكون الهوائيان معاً داخل نفس الصندوق .

يتم التحكم في أنظمة رادار الاختراق الأرضي بشـكل رقمي، و يتم تسجيل البيانات رقمياً للعمـل عليها لاحقـاً. و يتكون الجزء الرقمي في الجهاز من وحدة معالجة (micro-processor) وذاكرة (memory) ووحدة تخزين بيانات (Data Storage Medium) لتسجيل القياسات عليها. يمكن إجراء معالجة أولية للبيانات أثناء العمل، و ذلك لتنقيتها من الضوضاء (removal noise) أو إرسـال المعلومـات كما هـي ليتم التعامل معهـا و معالجتها لاحقاً. و تتم عمليـة إزالة الضوضاء الأولية باستخدام طرق رقمية أو إلكترونية، و ذلك قبل تسجيلها على وحدة التخزين. و عادة يجب عدم إجراء الكثير من المعالجات أثناء المسح إلا في حالة استخدام البيانات مباشرة بعد تسجيلها .

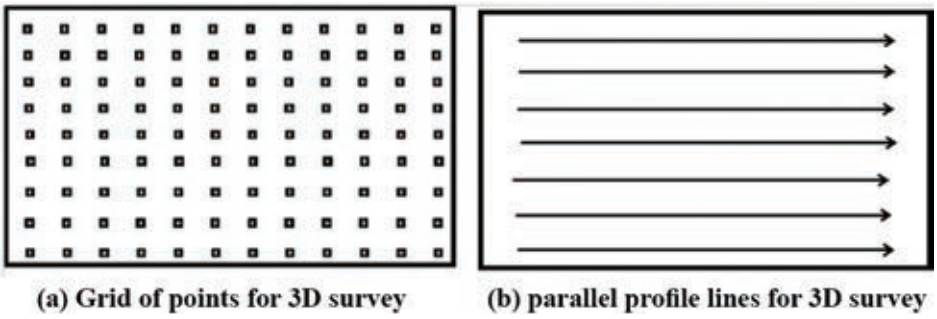
عرض البيانات و تحليلها:

يعتـبر عـرض الصور بشـكل واضح هو جزء من عمليـة تحليل البيانات و يوجـد ثلاثة أنواع لطـرق العـرض، في بعد واحد فقط، بعـدان اثنان، و ثلاثـة أبعاد، و لكن عـرض البيانات في بعد واحـد لا يفيد بشـكل كبـير إلا عند وضـع العديد مـن الـ "traces" إلى جانب بعضهـا البعض و عرضهم في بعدين أو ثلاثة أبعاد. و يتكون أي نوع من أنواع العرض من مجموعة من الـ "traces" حيث تعتبر هي الوحدة الأساسـية للعرض. و يمكن اسـتخدام "trace" واحد لتحديد الأعماق التي توجد بها بعض الأجسام تحت سطح الأرض، عن طريق تمرير الهوائيين فوق سطح الأرض و تسجيل القياسات مع الحفاظ على المسافة بين الهوائيين ثابتة. و يعتبر تسجيل الزمن – المسافة الخاص برادار الاختراق الأرضي يشـبه إلى حد كبير تخطيط الموجات الصوتية. و يظهر في شـكل (A6) نوعان مختلفـان للـ "trace"، أول نوع هو الـ "wiggle trace" و لكنه غير عملي في الواقع؛ حيث يصعب عـرض عدد ضخم من الـ "traces" إلى جانب بعضها البعـض لتكوين الـ "trace wiggle"، و لذلك أصبـح العرض الأكثر اسـتخداماً هو الـ "scan" ، حيث يتم اختيار أحد تدريجـات الألوان لتعبر عن نطـاق معين من القيـم، و يوجد نوعان له أحدهما بتدرجات اللون الرمادي (من الأبيض إلى الأسـود) والآخر يستخدم تدرجات لونية للون معين، كما يظهر في شكل (A6) .

في حالـة العـرض في الأبعـاد الثلاثـة فإنـه يكـون في الأسـاس عبـارة عـن مجموعـة مـن الـ "traces" تم تسـجيلها عنـد نقـاط مختلفـة علـى سـطح الأرض. عـادة مـا يتـم تسـجيل البيانـات علـى هيئـة خطـوط جانبيـة، و ذلـك في حالـة أنظمـة التسـجيل المسـتمر ، أو علـى هيئـة نقـاط منفصلـة، و ذلك عنـد التسـجيل في الوضـع الثابت، يظهـر ذلك في شـكل (A7). في بعض الأحيان يجب توجيه الهوائيان بنفس الاسـتقطاب عند كل عملية تسـجيل، وذلك في حالة استخدام هوائيات ثنائية القطبية .



شكل A6: يوضح طرق العرض المختلفة

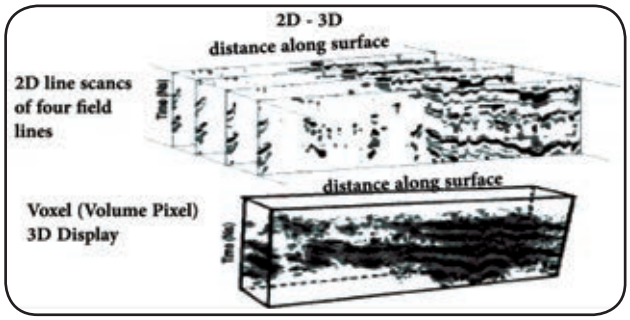


شكل 7A

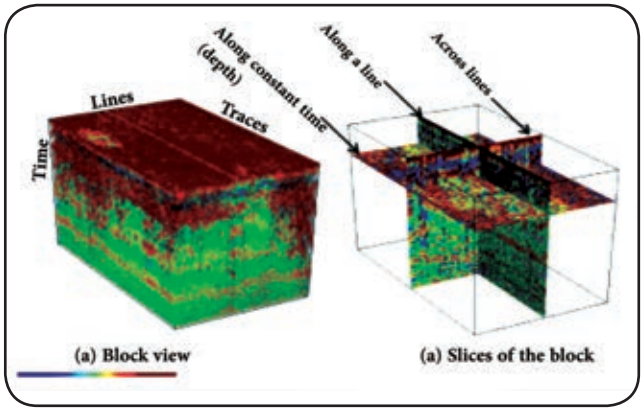
ويعتبر الوضع النموذجي لهوائي الإرسال و الاستقبال، هو أن يوضع كل منهما على مسافة من الآخر ثابتة لكل عملية قياس، و إذا كان الهوائيان يبعدان عن بعضهما البعض أصغر مسافة ممكنة، فإن ذلك يسمى (coincident antenna three dimensional GPR)، و يمكن إجراء القياسات في كل من الوضع الثابت و المتحرك . و عادة ما يتم تكوين العرض ثلاثي الأبعاد عن طريق عدة خطوط متقاربة كما يظهر في شكل (A8) . وبمجرد تكوين تلك المجموعات يمكن عرضها بعدة طرق، كما يظهر في شكل (A9) ويعتبر عرض البيانات بشكل ثلاثي الأبعاد هو جزء هام من عملية تحليل المعلومات وفهمها، حيث إن التعامل مع الأشياء و تحديدها يكون أسهل بكثير في تلك الحالة . ويعتبر تحسين الصورة عن طريق إزالة الضوضاء و التأثيرات الخارجية منها هو جزء حيوي من التعامل مع البيانات، و يتم عن طريق عدة عوامل :

١) اختيار تدريجات اللون المناسبة لكل مدى من القيم. ٢) عرض استقطاب واحد فقط لموجات الرادار.
٣) استخدام عدد محدود من الألوان. ٤) تقليل حجم البيانات المعروضة كلما زاد الهدف تعقيداً.
٥) عرض جزء محدود من الفترة الزمنية. ٦) اختيار زاوية الرؤية بدقة.

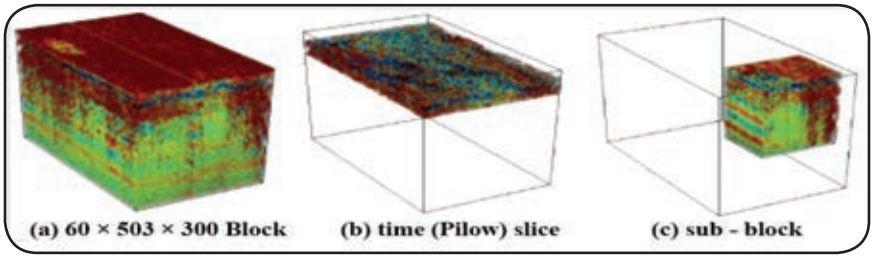
ويمكن إجراء بعض العمليات الأخرى على الصور في حالة كون الصور معقدة أو مع وجود عدة أهداف، وذلك عن طريق عرض القيم العظمى و الصغرى فقط لكل "trace" . ويظهر في شكل (A10) أمثلة على عرض جزء من الشكل ثلاثي الأبعاد واستخداماته في إزالة عيوب الصور .



شكل (A8): يوضح عملية تكوين شكل ثلاثي الأبعاد (a) تمثل مجموعة من الخطوط ثنائية الأبعاد (b) شكل ثلاثي الأبعاد



شكل (A9): يوضح عملية تقسيم "block" ثلاثي الأبعاد.



شكل (A10): يوضح "block" ثلاثي الأبعاد و "blocks_sub" لمناطق معينة بداخله.

خصائص مواد الأرض : ـ

المواد التى تؤثر على سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية فى باطن الأرض هما الماء والمواد الطينية، فنجد قطبية الماء تؤدي إلى خفض سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية بشكل كبير، وتوضح هذه المعادلات البسيطة مدى التأثير:

$$V = \frac{(3\times10^{8})}{\varepsilon^{1/2}}$$

حيث V = سرعة انتشار الموجة

ε = ثابت العزل الكهربي

$$a = 1.69\,\frac{\sigma}{\varepsilon^{1/2}}$$

حيث σ = التوصيلية الكهربية

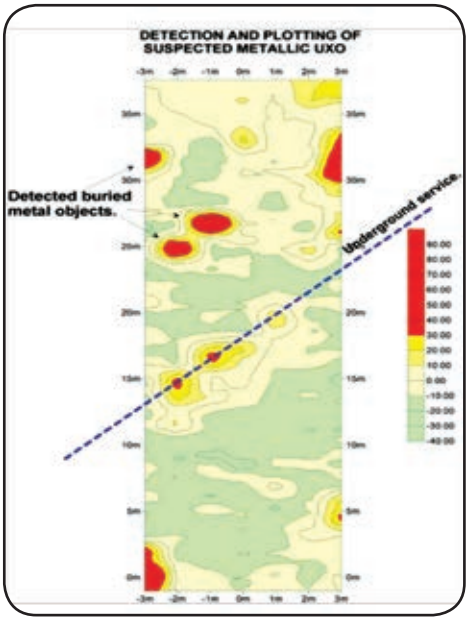
الخصائص الكهرومغناطيسية لمواد الأرض :

المـــــادة	العزل الكهربائي	التوصيلية الكهربائية	السرعة (متر/نانو ثانية)	إضعاف (ديسبل/متر)
هواء	1	0	0.3	0
مياه نقية	80	0.5	0.033	0.1
مياه البحر	80	3,000	0.01	1,000
رمال جافة	3-5	0.01	0.15	0.01
رمال رطبة	20-30	0.1-1	0.06	0.03-0.3
حجر جيري	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
حجر طفلي	5-15	1-100	0.09	1-100
طمي	5-40	2-1,000	0.06	1-300
جرانيت	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
ملح جاف	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
ثلج	3-4	0.01	0.16	0.01

تطبيقات رادار الاختراق الأرضي في مجالات مختلفة منها :-

- المجالات العسكرية (تحديد الأنفاق / مواقع الألغام المدفونة / تطهير مواقع الثكنات العسكرية) .
- مجال الآثار .
- تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة .
- الدراسات البيئية.
- الهندسة الجيوتقنية.
- الهيدرولوجيا.
- الزراعـــــــة.
- فى الطرق والكبارى.
- مناطق الغابـات.
- البنية التحتية.
- التعدين واكتشاف المحاجر.
- المناطق المغطاة بالجليد.

١- فى المجالات العسكرية



يستخدم رادار الاختراق الأرضي فى الكشف عن مواقع دفن الذخائر غير المنفجرة ومواقع القصف والحروب، والتي تحتوي على أجسام معدنية وغير معدنية مدفونة تحت سطح الأرض .

على سبيل المثال :-

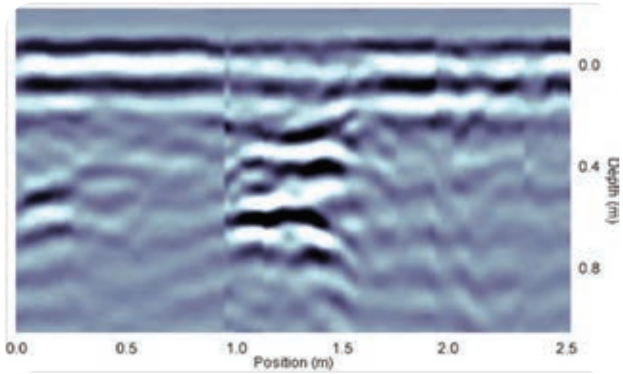
تم مسح رادار الإختراق الأرضي لمنطقة بالقرب من مطار مانيلا تعرضت للقصف الشديد خلال الحرب العالمية الثانية، فتم الكشف عن وجود أماكن ملونة باللون الأحمر موجودة بقطعة أرض في المنطقة التي تم مسحها بالجهاز، وبعد عمل مسح ميداني بهذه المنطقة، تم اكتشاف وجود قنابل يرجع تاريخها للحرب العالمية الثانية، كما هو موضح بالصورة .

مثال آخر : يوضح كيفية استخدام الشرطة لجهاز رادار الاختراق الأرضى في عملها :

حيث يتم استخدام رادار الاختراق الأرضي فى الكشف عن مخابئ المخدرات المدفونة والمال والأسلحة، وكذلك تحديد موقع المقابر السرية، والكشف عن الأجسام المعدنية المدفونة التي يمكن استخدامها في الطب الشرعي كأدلة جنائية .

مثال: -

حيث قام الطب الشرعي باستخدام رادار الاختراق الأرضي؛ للكشف عن وجود تغير بالتربة أو وجود أجسام مدفونة بها .

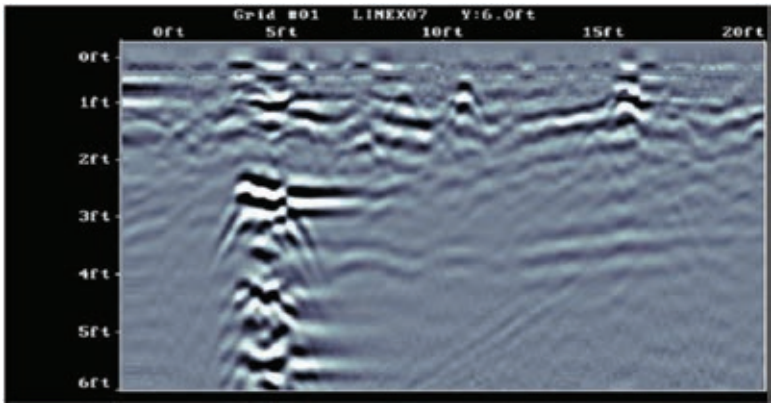


مقطع عرضي من رادار الاختراق الأرضي يبين مكان الهدف

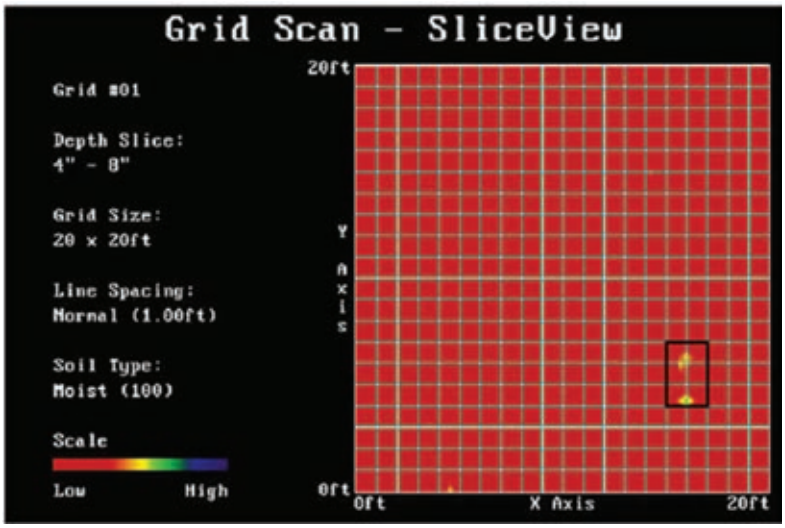
مثال آخر :ـ منظمة ROCIC (Regional Organized Crime Information Center)

تستخدم هذه المنظمة أجهزة الاستشعار عن بعد في الكشف عن الجرائم ومساعدتها في التحقيقات، ومنها جهاز رادار الإختراق الأرضي، حيث يستخدم فى إيجاد الأدلة المادية التى يصعب العثور عليها فى الجرائم ومنها جرائم القتل، حيث يقوم جهاز رادار الإختراق الأرضي بالكشف عن الجثث المدفونة وتم عمل تجربة لإختباره، حيث يحتوى جسم الإنسان على حوالى ٦٥٪ من الماء . فتم دفن ثلاثة أباريق من الماء ، وتم وضعها على عمق ٢ قدم في الحديقة ، وتم دفن بنادق على عمق ٣ قدم لإثبات أنه يحدد العناصر المعدنية وغير المعدنية، كما موضح بالشكل .

الشكل ١: موقع الأباريق التي دفنت في الحديقة



قطاع عرضي يوضح موقع الأباريق على عمق ٢ قدم

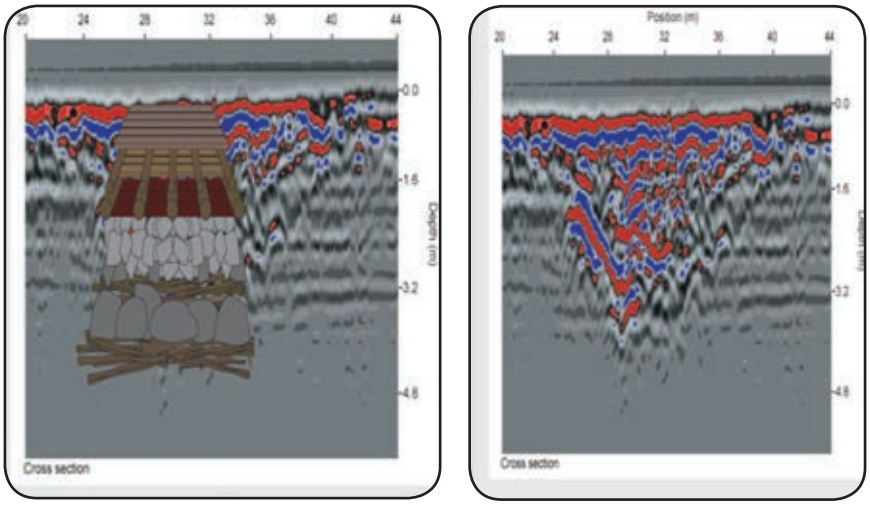


شكل يوضح عمق البندقية

٢ـ مجال الآثـــــار :

يعتبر لرادار الاختراق الأرضي القدرة على اكتشاف الآثار القديمة واكتشاف البنية التحتية التاريخية لها، مما جعل علماء الآثار يستخدمونه في عمليات البحث عن الآثار، لأنه يقوم بتوفير تكاليف الحفر من خلال تزويدهم بخرائط ذات دقة عالية عن باطن الأرض .

وأيضاً تم اكتشاف آثار طريق قديم بواسطة جهاز رادار الاختراق الأرضي، كما هو موضح بالشكل .

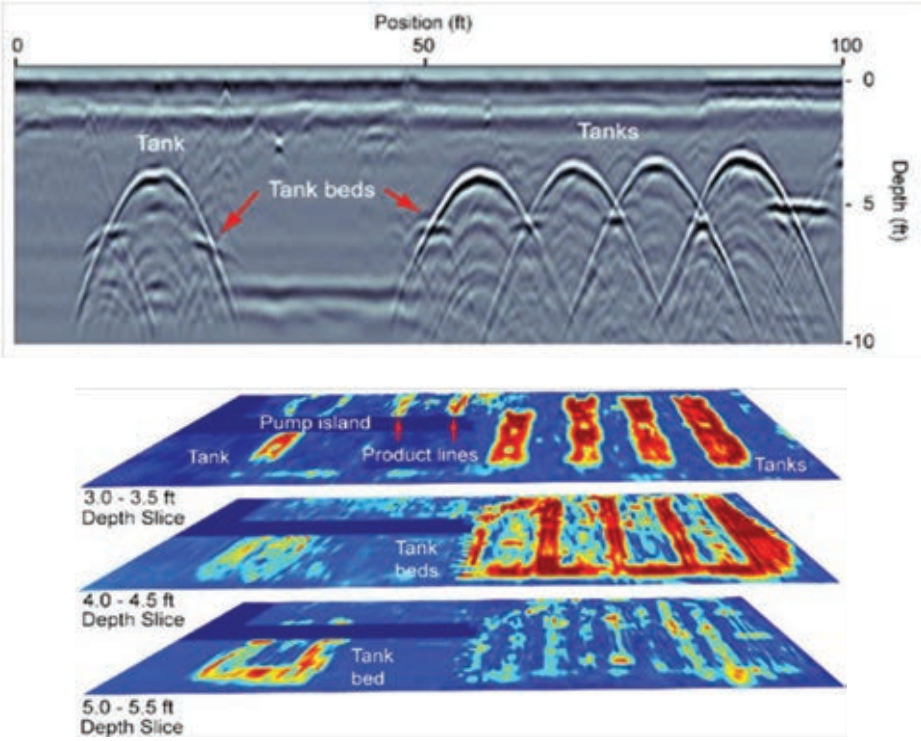


٣ـ تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة

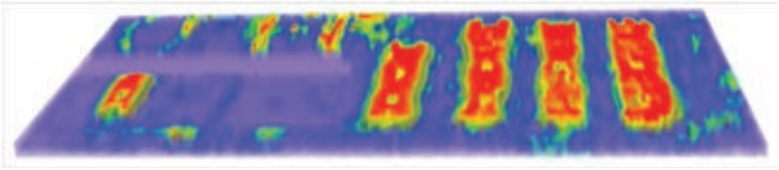
يتم استخدام رادار الاختراق الأرضي على نطاق واسع فى مجال تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة، حيث له القدرة الفريدة على الكشف عن الهياكل المعدنية وتحديد مكانها تحت سطح الأرض، مما يساعد على السيطرة أثناء عملية الحفر في المناطق المعقدة وإيجاد حلول سريعة للتعامل معها، ويستخدم أيضاً في توفير ورسم خرائط توضح البنية التحتية الموجودة تحت سطح الأرض .

القدرة على التعرف على المواد المعدنية وغير المعدنية، مما يعتبر ميزة فريدة له تميزه في القدرة على تحديد مواقع المواسير والكابلات . على عكس الأجهزة الأخرى التى تتعرف فقط على أماكن المواسير المعدنية باستخدام التيار الكهربى للكشف عنها .

يتميز رادار الاختراق الأرضي بالكشف عن المواد البلاستيكية والمواسير والمنشآت الخرسانيه، بالإضافة إلى المواد المعدنية وتحديد عمقها، وتستخدم أيضاً فى الكشف عن المواسير والأعمدة الملوثة التي قد تضر البيئة على المدى البعيد .



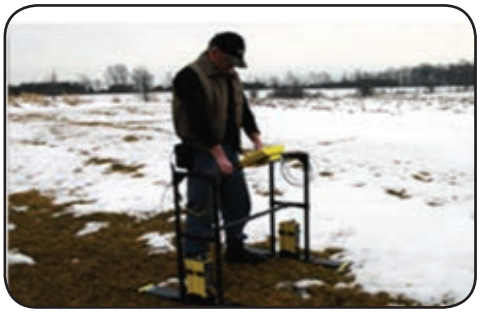
صورة من جهاز رادار الاختراق الأرضي، توضح مكان المواسير المدفونة على أعماق مختلفة.

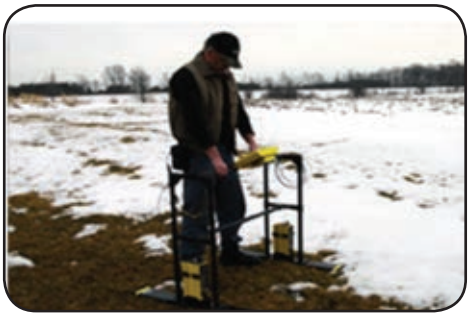


شكل ثلاثي الأبعاد باستخدام رادار الاختراق الأرضى

٤ـ الهندسة الجيوتقنية

يقوم رادار الاختراق الأرضي بتوفير معلومات ذات دقة عالية عن التكوين الجيولوجي الموجود تحت سطح الأرض . مما يؤدى إلى استخدام هذه المعلومات والاستفادة منها على نطاق واسع في مجالات هندسة الجيوتقنية سواء في تحديد حجر الأساس ، أو معرفة طبقات التربة وموقع قنوات المياه الجوفية .





ويتم استخدام رادار الاختراق الأرضي أيضاً في الكشف عن الفراغات الموجودة تحت البلاطة الخرسانية، حيث تسبب هذه الفراغات انهيار البلاطة الخرسانية للطريق، مما يؤدى إلى انهيار الطرق .

٥ ـ الهيـــدرولوجيـــــا

أ) حساب كمية المحتوى المائى للتربة:

يتم استخدام رادار الاختراق الأرضى فى قياس المحتوى المائي للتربة بهدف تحسين طرق الرى والزراعة والتقليل من حجم الماء المطلوب للزراعة، وفى هذا المثال يقوم رادار الإختراق الأرضى بتحديد كمية المحتوى المائى للتربة من سطح الأرض عن طريق قياس الموجات المنعكسة من سطح الأرض و حساب زمن الموجات المنعكسة . ويمكن استخدام رادار الاختراق الأرضى (GPR) مع نظام تحديد المواقع (GPS) لإنتاج ورسم خرائط للتغيرات التي تحدث للمحتوى المائي للتربة؛ فيما يلي خطوات توضح كيفية استنتاج كمية المحتوى المائي بالتربة من (GPR) :

الخطوة الأولى

رؤية انعكاس سطح الأرض في الوقت الحقيقي على شاشة DVL.

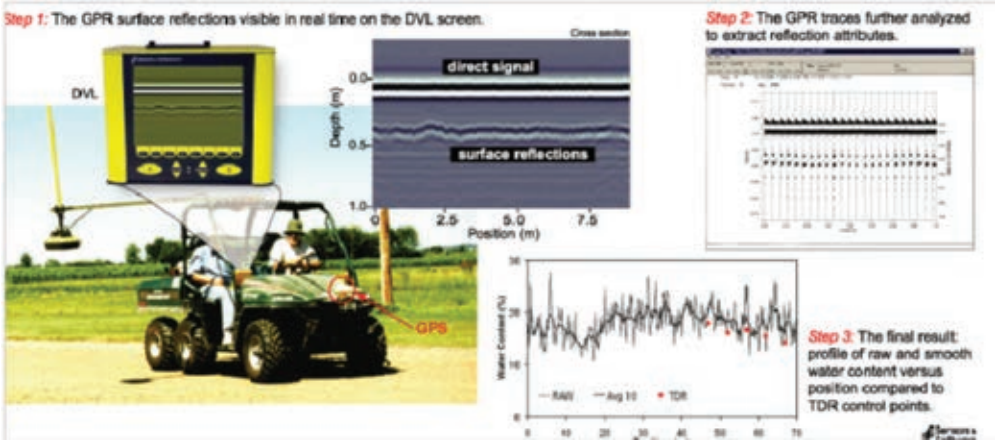
الخطوة الثانية

يتم تحليل الصور الناتجة من الـ GPR لاستنتاج المعلومات منها.

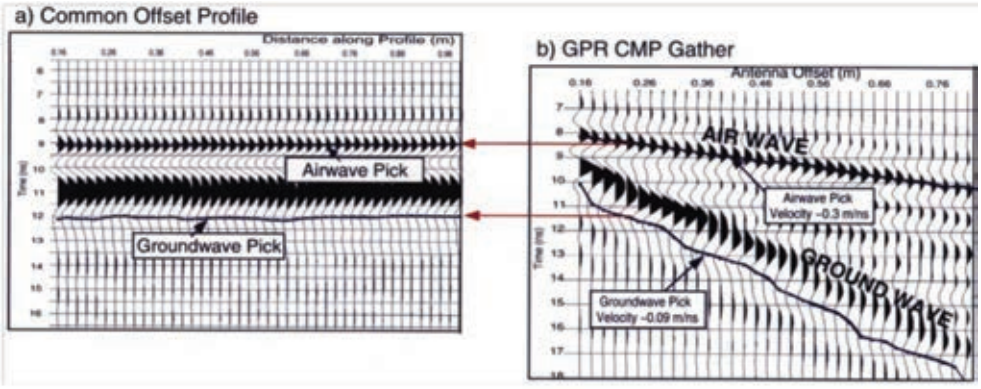
الخطوة الثالثة

النتيجة النهائية : رسم قطاع يوضح علاقة تغير المحتوى المائي مع الموقع.

مثال توضيحي :ـ هذا الشكل يوضح المحتـــوى المائـــي للتربة بولاية كاليفورنيا:



Position (M)

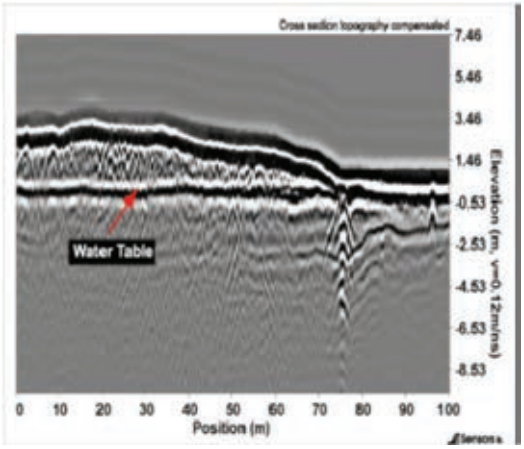


نلاحظ بطء سرعة الموجة تحت سطح الأرض نتيجة لزيادة المحتوى المائي بالتربة .

ب) تحديد عمق المياه الجوفية:

يقوم بمعرفة المنسوب الطبيعي للمياه الجوفية؛ مما يساعد على التحكم في مشاكل تدفق المياه ومعرفة المواد الملوثة للمياه التى تقابل موجات رادار الاختراق الأرضي .

ويوضح هذا المثال مدى استمرارية المياه الجوفية ، بالإضافة إلى توضيح طبقات التربة التي تعتبر عنصرا مسيطراً على تدفق المياه الجوفية .



٦ـ دراسة البنيـــة التحتيـــة:

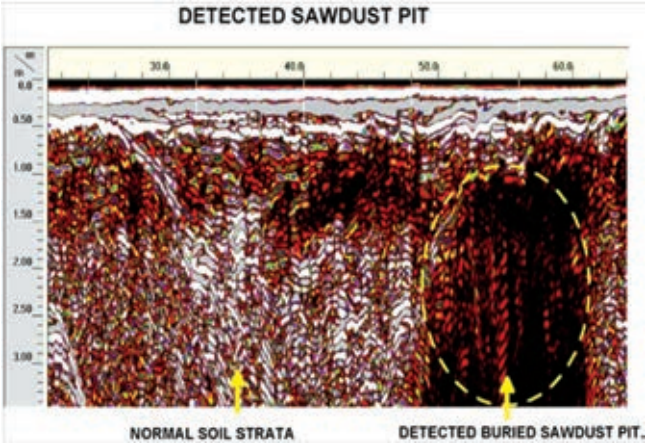
في حياتنا اليومية يتم الاحتياج إلى خرائط ومعلومات تفصيلية للمرافق وشبكة البنية التحتية الموجودة تحت سطح الأرض، سواء عن عمقها، أو استخدامها فى تعديل تصاميم البنية، أو معالجة خلل حدث به.

يمكن استخدامه فى تخطيط وتصميم شبكات البنية التحتية والاستعداد لأي مفاجأة تحدث مما يؤدي إلى توفير تكاليف باهظة، ويمكن استخدامه أيضا في رسم خرائط ثلاثية الأبعاد لباطن الأرض.

٧ـ الدراســـات البيئيـــة:

يستخدم رادار الاختراق الأرضي في الكشف عن النفايات المدفونة تحت سطح الأرض، والتى قد تسبب مشاكل للأجيال القادمة مثل هبوط وعدم استقرار في سطح الأرض.

مثال على ذلك، هناك حفرة بها نشارة خشب دفنت منذ فترة طويلة يتم ظهورها على أنها منطقة متجانسة مظلمة، حيث يقع الجزء العلوي من الحفرة من ١ إلى ١,٥ متر تحت سطح الأرض.

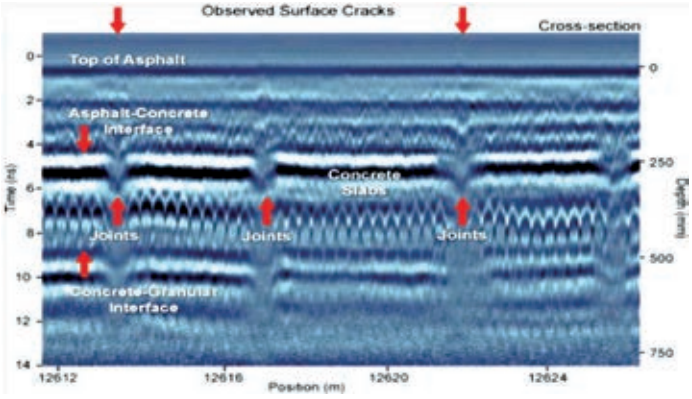


٨ ـ الطرق والكبـــاري:

تحتاج شبكة البنية الأساسية دائماً إلى إصلاح وتطوير وصيانة، ودائماً نسمع أخباراً عن انهيار الجسور التى تعتبر فواصل لمجارى المياه الرئيسية وانهيار الطرق المزدحمة بسب المجارى المائية الموجودة تحت سطح الأرض، مما يكلف الدولة تكاليف باهظة؛ لذلك فتم الاتجاه إلى استخدام رادار الإختراق الأرضى لاختراق الأرصفة الأسفلتية والخرسانية، وكشف ورسم الهيكل تحت سطح الأرض، مما يمكن استخدام هذه المعلومات فى تخطيط وإدارة صيانة هذه الشبكات .

ومن تطبيقاته عمل تقارير عن حالة الرصيف:

يكلف تقييم حالات الأرصفة الدولة تكاليف باهظة، وتحتاج إلى عمالة كثيرة، وتؤدى إلى تدمير الطريق للحصول على عينة من حبيبة سمك الأسفلت، ولكن مع ظهور رادار الاختراق الأرضى تم توفير جميع المعلومات المطلوبة دون حدوث أى ضرر للرصيف .



قطاع عرضي يوضح اكتشاف شروخ سطحية في الطريق

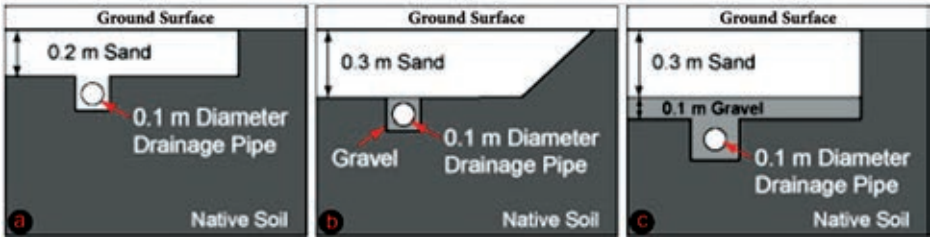
حيث أظهرت بيانات المسـح الفواصل الموجودة في طبقات الطريق ، والتي تؤدي إلى وجود شروخ سطحية في الطريق .

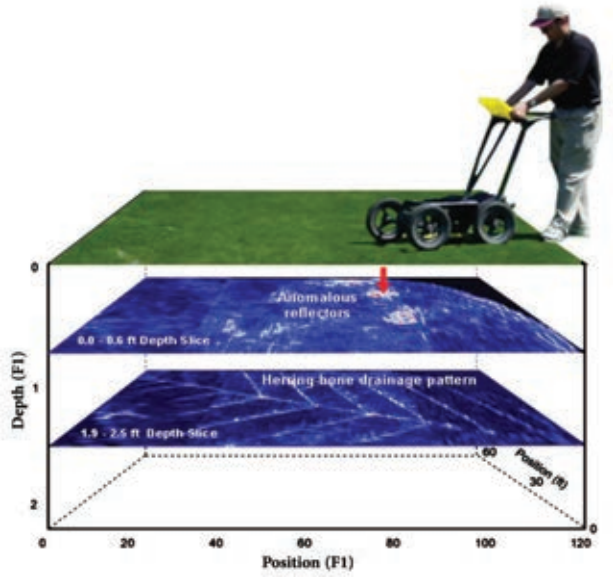
٩ـ مناطق الغـــابات :

يستخدم رادار الاختراق الأرضى فى تحديد المناطق الموجودة بداخل هيكل الأشجار لمعرفة ودراسة التغيرات في محتوى الماء ، والتي قد تكشف عن وجود مرض أو تعفن بالشجرة .

١٠ـ الـــزراعـــة :

يقوم رادار الاختراق الأرضى برصد وتحديد التغيرات التي تحدث بالتربة والمواد البيولوجية الطبيعية الموجودة بها ، وإنتاج خرائط لهذه التغيرات، ويقوم أيضا بتوصيف جيولوجي لمناطق زراعة المحاصيل وتقييم المحتوى المائى للتربة؛ لمعرفة أفضل أنواع المحاصيل الملائمة زراعتها بالتربة، وأيضاً يساهم في معرفة نوعية الاستخدام الأرضى الملائم لهذه المنطقة، كأن تكون استعمالات ترفيهية مثل أرض الجولف.





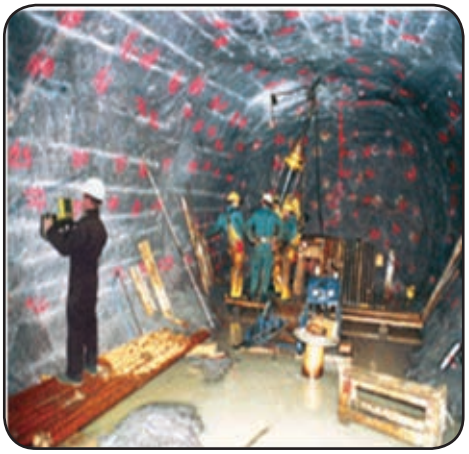
١١ـ التعديـــن واكتشـــاف المحاجر:

يســتخدم جهاز رادار الاختراق الأرضي على نطاق واسـع في مجال التعدين واكتشـاف المحاجر وحفـر الأنفـاق، حيـث يمكنه الكشـف عن التغـيرات التـى تحـدث في الصخور التي تـؤدي إلى تشـقـقات فى الصخور وانهيارها، ويشـمل تطبيقاته أيضاً في التنقيب عـن المعادن وعمل تقارير عن سمكها.

أ) التنقيب عن المعادن :

يستخدم جهاز رادار الاختراق الأرضى فى اكتشاف المعادن، سواء الذهب أو الماس أو المعادن الثقيلة، مثل الحديد والنيكل واليورانيوم.

ب) اكتشاف أنفاق ومحاجر تحت سطح الأرض و تحديد جودة الصخور:



حيث إن تحديد الأنفاق والمحاجر وجودة الصخور يتطلب تكسير الصخور لاستخراج عينة منها وإجراء عمليات عليها، لكن بعد اكتشاف جهاز رادار الاختراق الأرضي سهل الحصول على هذه المعلومات، وتم توفير تكاليف باهظة وتحقيق منفعة اقتصادية عالية، ومن أمثلة هذه الصخور (الرخام و الجرانيت و الحجر الجيري وغيرها) .

الأجهزة التي حققت نجاحاً في تكنولوجيا اختراق الأرض :

رادار الاختراق الأرضي (LOZA) GPR تم تصميم (LOZA) GPR لدراسة بنية التربة تحت السطحية على أعماق من بضعة أمتار حتى 1000 m، اعتماداً على نموذج geoprobe ، هوائي والمعاملات المتوسطة. وتستند عملية geoprobe على الإشعاع من وحدة الإرسال فائقة الاتساع الكهرومغناطيسية باختراق باطن الأرض وتسجيل الموجات المنعكسة من الأجسام المدفونة .

وهناك سمة مميزة لهذا GPR مقارنة مع نظائره، هي أن له مصدر طاقة عالياً مما يسمح باختراق التربة ذات القابلية العالية للتوصيل الكهربائي، مثل الطين الرطب، ويمكن الوصول إليها عن معيار GPR .

تم تصميم LOZA GPR للعمل في درجات الحرارة من -٢٠ درجة مئوية إلى ٥٠ درجة مئوية مع رطوبة نسبية تصل إلى ٩٥٪ عند ٢٥ درجة مئوية .

وقد أثبتت LOZA GPR كفاءتها في عدد كبير من التطبيقات مثل :

- الاستقصاء الهندسي الجيولوجي من خلال تصميم خطي .
- رسم الخرائط 3d وتحديد مواقع الأشياء الأثرية.
- فحص التربة في عملية الإنشاء مثل إنشاء (السكك الحديدية أو الطرق السريعة، إلخ) والتعدين (النفط والغاز، والمياه، والفحم، والماس، وغيرها).
- البحث عن الفراغات الطبيعية أو الصناعية في الأرض (تجاويف، والتحولات التكتونية).
- تحديد كل من تغير سمك الأرض وشكل الرواسب، ورسم خرائط الأساس.
- مراقبة جودة الجسور والأعمدة والأنفاق.. إلخ.
- الكشف عن مستودعات النفايات الخطرة بيئياً.

الرادار الأرضي «لوزا» في الجيزة:

وصلت دعوة من البعثة الأثرية الروسية التي يشرف عليها معهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية، وذلك لإجراء أعمال تنقيب في هضبة الجيزة (القاهرة ، مصر). وقد اختارت البعثة الروسية نطاق الحفريات الأثرية، ليكون عند المنطقة الواقعة عند السفح الشرقي لهضبة الجيزة ، وبالقرب من هرم خوفو .

كانت مقبرة خفرع عنخ تقع عند السفح الشرقي للهضبة ، ويعد خفرع عنخ هو الكاهن الأكبر لمعبد هرم الملك خفرع (الأسرة الخامسة). وقد تمت دراسة وفحص هذه المقبرة بشكل دقيق من قبل البعثة الروسية، بينما كانت المواقع الأثرية الأخرى في هذا النطاق عبارة عن أطلال مدفونة تم التنقيب عنها لاحقا «طاقة الجلاميد الحجرية المتكتلة» (من ٥ – ١٠ أمتار) و لم يكن موقعها معروفاً بشكل دقيق .

كان أمام البعثة الأثرية الروسية تنفيذ عدة مهام منها :

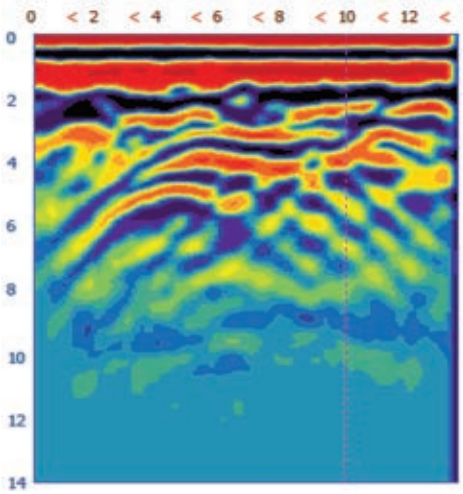
- اكتشاف المقابر المشار إليها في نماذج الخطط الخاصة بعالم المصريات الألماني كارل ريتشارد ليبسيوس قبل ١٥ عاماً.
- عمل دراسة ورسم تفصيلي للمقابر بما يتناسب مع المتطلبات الحديثة لعلم الآثار.

تم إجراء مسح للسفح الشرقي من هضبة الجيزة من قبل البعثة الروسية في الفترة من الثامن إلى التاسع عشر من نوفمبر عام ٢٠٠٦ باستخدام الرادار الأرضي (لوزا).

صورة ١ : منظر جانبي لموضع السفح

صورة ٢ : وفقاً لنتائج تنقيب الرادار الأرضي لسفح هضبة الجيزة الشرقية، تم اختيار مكان التنقيب عام ٢٠٠٦ .

صورة ٣ : بدء أعمال التنقيب عن موضوع البحث تم اختيار مكان التنقيب عام ٢٠٠٦ .



صورة ٤ : مقطع بالرادار الأرضي وتفسير أولي

في أول أيام العمل عند السفح جنوب مقبرة خفرع عنخ، تم اكتشاف موضع ساطع وقد أعطى انعكاس إشارات الصورة سببا لتوقع اكتشاف مكان المقبرة التي تتكون من غرفتين، في هذه البقعة وعلى عمق من ٥ – ٦ أمتار، بحيث يبلغ حجمها ٢,٥ x ٤ أمتار تقريباً. وبعد ثلاثة أيام من التنقيب أسفل المظلة الحجرية، ظهرت الأبواب الوهمية للمقابر المنشودة.

تعود مبادرة استخدام الرادار الأرضي للعمل في السفح الشرقي من هضبة الجيزة إلى أستاذة العلوم التاريخية إلينورا إيفيموفنا كورميشيفا ومديرة البعثة الأثرية الروسية بمعهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية في الجيزة حيث، تمكنت إلينورا من تذليل جميع الصعاب الخاصة بالحصول على تصريح رسمي من السلطات المصرية لإجراء أبحاث الرادار الأرضي بمنطقة هضبة الجيزة . وقام بتنفيذ البحث أ.د. موروزوف . وقد ساهم كل من موظفي البعثة سيرجي فيتخوف وديميتري روكافيشنيكوف في إتمام العمل، في الفترة من ٨ – ١٩ نوفمبر عام ٢٠٠٦ ، الجيزة ، القاهرة ، مصر .

نجحت البعثة الأثرية الروسية التي تنقب على الآثار في منطقة الأهرامات في الكشف عن مقابر جديدة غير مكتشفة. في ذلك المكان الذي عمل به علماء من جميع أنحاء العالم وعلى مدار مائة عام في دراسة الجيزة بالطول والعرض، وقد تم هذا الكشف باستخدام اختراع لعلماء الفيزياء الروس . حيث عثرت بعثة الآثار الروسية العاملة في منطقة الأهرامات على أربع مقابر مرة واحدة، من بينها اثنتان لم تكونا معروفتين من قبل، واثنتان كانتا تعتبران في عداد المفقودين.

(برنامج أسرار المقابر ٢ ديسمبر ٢٠٠٦):

أكملت البعثة الأثرية الروسية عملها لعام ٢٠٠٦ في منطقة الجيزة في أواخر شهر ديسمبر، كانت المقابر المكتشفة موضحة على الخطة، ثم أصبحت قابلة لاختبار صحتها بواسطة التفسير الأولي للمنشآت الموجودة تحت الأرض، والتي تم تنفيذها قبل بدء التنقيب .

صورة ٥: جرت عملية المسح للسفوح أثناء ظروف صعبة، باستعمال وسائل تسلق مضمونة.

صورة ٦ : مدخل المقبرتين المكتشفتين رقمي ١٢ ، ١٥.

صورة ٧ : جزء من المقبرة المحفورة رقم ١٢

نشر خبراء البعثة أن المقبرة رقم ١٥ كانت مخصصة لدفن خوفو – حتب المشرف على جميع الأعمال الملكية وكبير كهنة وأب في فترة الأسرة الخامسة (تقريباً سنة ٢٤٠٠ قبل الميلاد)، بينما دفن مستشار البلاط السري شنتي (فترة الأسرة الخامسة) في المقبرة رقم ١٢، وذلك وفقاً للنقوش التي تمت قراءتها على الجدران الحجرية .

أعمال الرادار الأرضي نُفذت ضمن نشاطات البعثة الأثرية الروسية في منطقة الجيزة، برئاسة أستاذة العلوم التاريخية ألينورا إيفيموفنا كورميشيفا. وقام علماء المؤسسة الدولية (VNIISMI) المبتكرة لجهاز الرادار الأرضي بأبحاث الرادار الأرضي. وقد أظهر لها موظفا البعثة سيرجي فيتخوف وديميتري روكافيشنيكوف كل أساليب المساعدة لاستمرار العمل، وكان التعليق التاريخي لموظفة البعثة سفيتلانا ماليخ .

مسح الرادار الأرضي للمواقع الأثرية بالسودان:

(في الفترة من ٢ – ١٨ ديسمبر عام ٢٠٠٩)

أُجريت أعمال الرادار الأرضي ضمن أعمال البعثة الروسية-الإيطالية في منطقة أبي أرتيلا (جزيرة مروي ، السودان) لموسم عام ٢٠٠٩، وقامت البعثة الأثرية الروسية الإيطالية بالتنفيذ في إطار المعاهدة المبرمة بين معهد إفريقيا والشرق الأوسط في إيطاليا (روما) ومعهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية . وكانت البعثة برئاسة يوجينيو فانتوساتي (من إيطاليا) وإلينورا إيفيموفنا كورميشيفا (من روسيا) ، وبمشاركة أحد الباحثين المستقلين من الولايات المتحدة الأمريكية وهو ريتشارد لوبان . وتم تخصيص البعثة التي تم تنظيمها في منطقة الامتياز بأبي أرتيلا ، لأبحاث الهيئة القومية للآثار والمتاحف بالسودان .

كانت أهم أهداف البعثة لموسم ٢٠٠٩ تنحصر في المسح الراداري لمنطقة الامتياز باستخدام الرادار الأرضي (لوزا – ف) (من إنتاج روسيا)، الذي ابتكرته مؤسسة (VNIISMI) ، كما شارك أ.د. موروزوف في العمل مع الرادار الأرضي ضمن البعثة و س. ميركولوف من علماء المؤسسة المبتكرة.

تقع المنطقة الأثرية أبو أرتيلا وسط منطقة سكنية ومنطقة معابد حول العاصمة القديمة للأسرة المروية على الشاطئ الشرقي لنهر النيل، بينما تقع منطقة الامتياز على بعد ٩ كيلومترات من العاصمة القديمة حيث توجد أهرامات ملوك الأسرة المروية .

تم التقاط صور 3D على نفس المساحة في منطقة الموقع الأثري، وقام الرادار الأرضي بعمل كشف وتحليل جانبي من الشمال إلى الجنوب ، ولمسافة ١ متر لكل اتجاه ، وبزيادة تبلغ ١٠ سنتيمترات استخدم عند المسح هوائي ٢٠٠ ميجاهيرتز . وتم اختيار نقاط تنقيب الحفر الطينية (١،٢،٣) وفقًا لنتائج تحليل المسح التي تم للمساحة رقم ١ (KOM1) بالـ 3D .

حفرة رقم ١ : كانت تقع في المنطقة الشمالية الشرقية في ركن من أركان هيكل المستطيل التي اكتشفها الرادار الأرضي .

حفرة رقم ٢ : تم اختيارها في الجزء الأوسط امتداد الجانب الشمالي للموقع المستطيل .

حفرة رقم ٣ : تقع في الركن الشمالي الغربي للموقع المستطيل .

أبرزت نتائج مسح الرادار الأرضي بالـ 3D تحت أنقاض الحجرة الثانية موضع الهيكل المستطيلي ، وكان اتجاه حوائط موضع الحجرة الثانية مثل الحجرة السابقة تماما ، إذ كان الحائط الشمالي لها يمتد في اتجاه الحائط الشمالي لـ KOM1 . وكشفت المقاطع على أعماق مختلفة عن الهيكل الداخلي المستطيل المعقد (وكان عبارة عن حوائط ، ومنازل صغيرة) . ولم يتم الحفر للمواضع الداخلية للحجرة الثانية .

وكانت نتيجة اكتشاف الحفرتين رقم ١ و٣ أنه تم اكتشاف زوايا لهيكل من الطوب الكبير . وفي الحفرة رقم ٢ تم الكشف عن هيكل طولي من الطوب الكبير المشابه، حيث التصق بالهيكل الطولي المصنوع من الطوبة من الجهة الداخلية (التي أبرزها الهيكل المستطيل) طمي رمادي متجانس كثيف بشكل صلب. ومن الجهة الخارجية للموضع التصق بالطوب تربة رملية مبعثرة مع جزيئات من القمامة والفخار. كما يمكن ملاحظة نفس التركيب على قطع المعبد الرئيسي لعاصمة الأسرة المروية، والذي يتكون من صفوف من الطوب الكبير الذي يملأ المساحة الداخلية من الطمي الرمادي المماثل.

أكـد التحليل المبدئي لبيانات الرادار الأرضي و الحفر الطينيـة الأثرية، أنه يوجد بأبي أرتيلا مبان لمعابد خاصة بالثقافة المروية ، والتي ترجع إلى القرنين السادس والثامن قبل الميلاد؛ مما يجعل مـن المواضع المكتشـفة مواضـع ذات قيمة أثرية عاليـة . وبالارتباط بنتائج أبحـاث الرادار الأرضي والحفريات الأثرية وتحليل الفخار بواسـطة الهيئة القومية للآثار ومتاحف السودان ورئيس البعثة، تقـرر اسـتمرار إجراء حفريات واسـعة النطاق في موسـم ٢٠١٠، قدمت لمجموعة الـرادار الأرضي التي ضمـت مـوروزوف ، وميركولـوف، رئيسـة البعثة إلينـور إيفيموفنا كورميشـيفا (من روسـيا) و يوجينيـو فانتوسـاتي (مـن إيطاليا) ، أرق آيـات التقدير والشـكر على إتاحـة الإمكانية لإجراء أبحاث بالرادار الأرضي في ذلك المكان الأثري .

صورة تجمع بين ريتشارد لوبان (من الولايات المتحدة) ، وبافل موروفوف وسيرجي ميركولاف (من روسيا).

البحث عن المياه في الصحراء .. في محيط مدينة أريكيبا ، بيرو:

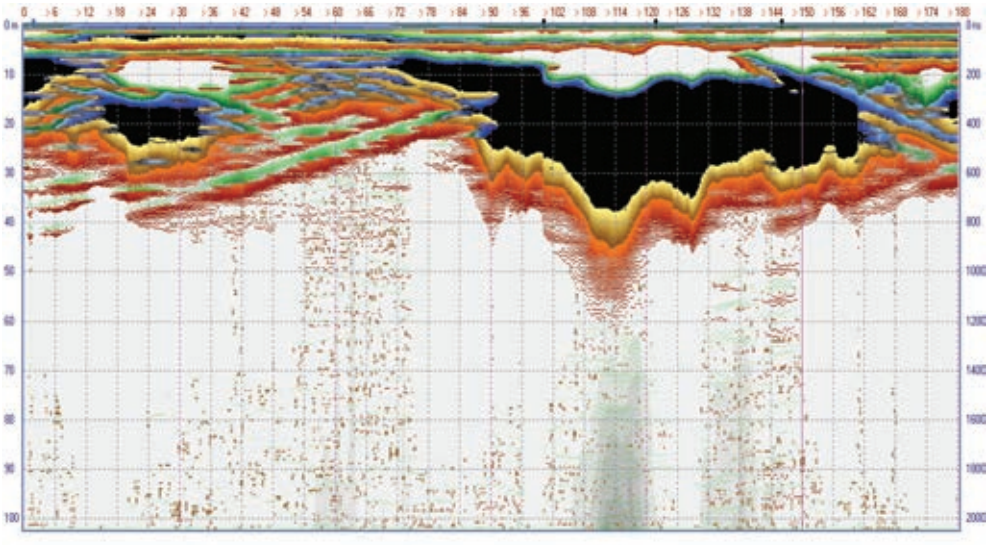
السهل الجبلي الذي لفحته الشمس ، على بُعد مئات الكيلومترات لا يحيط به سوى الغبار والأحجار السوداء من الشمس الحارقة، بينما نستمر في السير، وُجد الكوخ الفقير على مياه متراكمة ووادي عريض أخضر وخصيب، وذلك بسبب المنعطفات والإنحرافات . السؤال الأول هو من أين تأتي كل هذه المياه في هذه المنطقة ، حيث إن جميع الجبال يكسوها السواد وتعتبر معدومة الحياة، ولا تجري بها أي جداول، والآبار لا تتدفق هنا ؟ وهنا كان لزامًا علينا أن نستكشف هذه المسألة، فمن أين تأتي المصادر المحلية للحياة وأين تكون بدايتها - أي أين مصادر المياه والحياة ؟

كان المكان الذي ذهبت إليه البعثة للعمل به في بداية خطة البحث ، عبارة عن سفح قديم دمره بركان، والذي تكونت في أحد جوانبه قناة جافة . تهبط المياه هنا على هيئة تيارات طينية ومختلطة بما تبقى من أثر الحطام . غير أن المياه تنبع من المصدر البادي للأسفل ، هل من الممكن أن المصدر يغذيه شيء آخر ؟ حيث أظهر فحص هضاب البركان شيئاً مثير للاهتمام - تمثل في أن كل سطح الهضبة كان مكتظاً بالعشب المنخفض والشجيرات الصلبة ، ومساحات كبيرة من الشجيرات المتخشبة، وهو الأمر الذي يدعو للتساؤل: ما يعني أنى لجميع هذه النباتات أن تأتي بالمياه؟

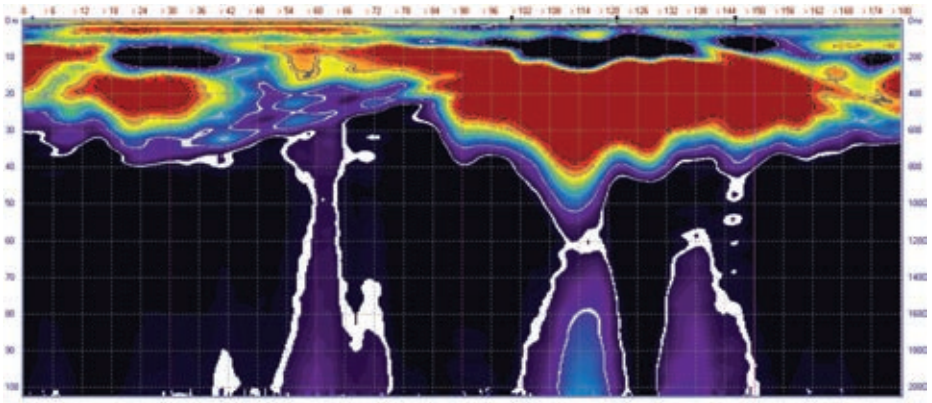
من هنا قررنا خط البحث لقطاع بطول جانب البركان، وبعرض القناه الجافة . وقد تزودنا بهوائي طوله ٦ أمتار وبجهاز الرادار الروسي LOZAN وقمنا بشحن البطارية . كانت الأمتار العشر الأولى وحتى الخمسين متراً ثابتة بشكل كاف ودون أوهام خاصة بإمكانيات النجاح، وعند الاقتراب من القناة، بدأت الصورة على شاشة الجهاز ، تتخللها ظلال متلونة بألوان متغايرة (على الرغم من النظام ذي اللون الواحد) ، واختفت الإشارات ببساطة ، في الجوف، وخرجت من الناحية المقابلة للقناة ، ومرة أخرى حصلنا على قطاع جيولوجي أحادي اللون عديم الحياة.. هكذا انتهى المقطع بسلاسة وهدوء، لكن ظلت في ذاكرة الجهاز «مرحباً» قوية وتكنولوجية من الأرض الأم.

أدى التفسير والتحليل للصور ، إلى نتيجة مفادها أن الانتهاكات التكتونية تعد هي المصدر ، فالمياه تصعد إلى أعلى مع انبعاثات البركان الأخرى على هيئة بخار ، ثم تتكثف عند سطح الأرض وتتطاير الأبخرة الأخرى ، ونتيجة لذلك يمتلئ الجدول بالمياه ، وبدوره يملأ الجدول الناس بالسعادة والأمل .

في القطاع المأخوذ بالرادار المخترق للأرض تم تسجيل ، بشكل أكيد ، حفريات من العصر الحجري ، وأساس الحفريات الحجرية - هو الجدول الذي يعود للعصر الحجري المدفون (٧٠ - ١٦٠ متراً للمقطع الجانبي) بعمق أكثر من ٥٠ متراً . ووفقاً للحفريات الحجرية ، فإن المكان الأمثل للتنقيب عن بئر المياه يقع على بعد ١١٠ ـ ١١٦ متراً للمقطع الجانبي .



صورة ١: المكان الأمثل لحفر البئر التي تم اكتشافها على عمق ٥٠ متراً بمدينة بيرو في الصحراء.



صورة ٢ : تم المسح بواسطة مجموعة الرادار المخترق للأرض «LOZA» ساحل البحر الأسود .

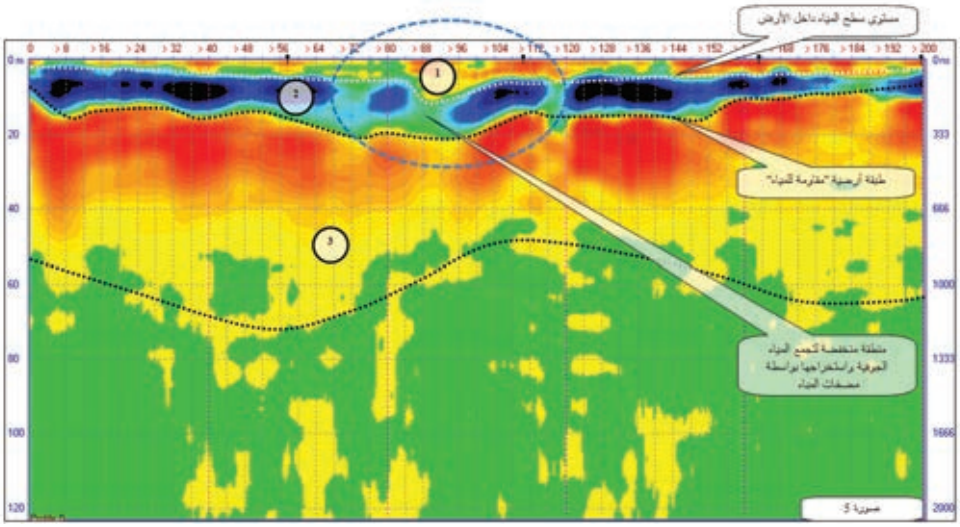
حقيقة آبار المياه الجوفية بمدينة العبور .. القاهرة:

شكلت المياه المتدفقة من باطن الأرض إلى الأدوار الأرضية بأحد أحياء مدينة العبور بالقاهرة مشكلة أرقت الكثيرين ، وهددت الأحوال المعيشية لآلاف من سكان هذه المدينة ، ومثلت خطراً كبيراً على مساكنهم .

ديسمبر ٢٠١٥ شهد تجربة حية لاستخدام جهاز رادار اختراق التربة؛ لتبين حقيقة وجود مياه تحت سطح التربة بهذه المنطقة .

صورة لفريق العمل المصري - الروسي أثناء عملية المسح ١

صورة لفريق العمل المصري - الروسي أثناء عملية المسح ٢



تحليل وتفسير صورة المسح الردارى.