

دراسة تأثير الاشارات الشاذة على اشارة رادار الاختراق الارضي

احمد عمران عبد الكريم انس عبد الرزاق محمد حسين عباس حسن

وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة الفضاء والاتصالات- مركز الجيوفيزياء والموارد المائية

بغداد- العراق

الخلاصة

ان الغاية من المسوحات الرادارية هي لإيجاد معلومات عن الأجسام والإنشاءات التي تحت سطح الأرض، غير ان تسرب بعض من الطاقة الرادارية المرسله سببت في تكوين اشارات شاذة تشكل قناعا غير مرغوب فيه يضيف بيانات خاطئة إلى الصور الرادارية (Radargram) مما يربك عمل المفسرين عند المعالجة والتفسير .

اجريت مسوحات رادارية على مواقع مختلفة من مدن العراق حيث رصدت ثلاثة انواع من الاشارات الشاذة متمثلة بالاشارات المتضاعفة (Duplication) والانعكاسات الهوائية (Air Reflection) واشارات الهاتف النقال (Mobile)، وتعد هذه الانواع الثلاثة من ابرز الاشارات الرادارية الشاذة.

تتكون الاشارات المتضاعفة من تكرار انعكاس الاشارة الرادارية عن الجسم، اما الانعكاسات الهوائية فتتكون نتيجة انعكاس الاشارة الرادارية عن الاجسام المحيطة بالهوائي والموجودة في موقع العمل كالبنائيات والأعمدة والسيارات والأسلاك والأشجار، اما اشارة الهاتف النقال فتستلم من قبل هوائي الاستلام لتظهر كاشارة شاذة في الصورة الرادارية فتؤثر على الاشارة الرادارية الحقيقية.

الكلمات المفتاحية: الاشارات الشاذة، الاشارات المتضاعفة، الانعكاسات الهوائية ورادار الاختراق الأرضي.

Study the Effect of Noise on the Ground Penetrating Radar (GPR) Signal

Ahmed Omran Abdulkareem Anas Abdulrazzaq Mohammed
Hussain Abbas Hasan

Ministry of Science and Technology/ Space Technology and Communication
Directorate- Center of Geophysics and Water Resources
Baghdad- Iraq

E-mail: ahmed196534@gmail.com

Abstract

Radar surveys aim to find information about the underground bodies and structures. Some of the radar wave energy reflected above the surface due to unwanted reflections (noise). These noise mask the radargram and confuse the analyst in the interpretation phase. In this research three types of noise were observed in different areas of Iraq, duplication create by multi reflections on body, air reflections caused by surrounding features at the survey area like buildings, columns, automobiles, trees, ...etc. The mobile phone signal is received by the GPR antenna to appear as a noise in the radargram, affecting the real radar signal.

Key Words: Noise, Duplication, Air Reflection and Ground Penetrating Radar

الاستلام (Receiver) ذهابا وايابا وتقاس بالنانوثانية (Hannu, 2008) شكل (1).

يثبت هوائي الارسال (Transmitter) والاستلام (Receiver) بشكل هندسي يفصل بينهما مسافة ثابتة تعتمد على تردد الهوائي. يتحرك الهوائي فوق السطح فيقوم المرسل بارسال الاشارة الرادارية الى داخل الارض، يعمل المستلم على تسجيل الاشارة المنعكسة عن سطوح الاجسام لتكوين صورة رادارية (Radargram) للجسم المدفون (Kun, et al., 2009)، (Uduwawala, et al., 2005).

يوجد معاملان مؤثران في توهين الموجة الكهرومغناطيسية، هما توهين الاستطارة (Scattering Attenuation) وتوهين التوصيلية الكهربية للوسط (Harry, 2009). يكون تأثير توهين الاستطارة للموج الكهرومغناطيسية ذات الاطوال الموجية الكبيرة غير محسوس بسبب الابعاد الصغيرة لدقائق الوسط. اما الاطوال الموجية القريبة من ابعاد دقائق الوسط فان مقدار كبير من الطاقة الساقطة سوف تنتشت، وان نسبة قليلة منها سوف تمر خلال الوسط. يقال عن هذه الخسارة في الطاقة بتوهين الاستطارة (Johansson and Jorge and William, Friborg, 2005) وذلك فان هنالك محدودية في تصنيع الهوائيات ذات الترددات العالية، بسبب عدم اختراق الترددات العالية لاكثر من سنتمترات قليلة، قد لا تكون ذات فائدة عملية (Kun, et al., 2009). حيث يبين الشكل (2) اعتماد مقدار توهين الاستطارة على تردد الهوائي المستخدم.

يعد جهاز رادار الاختراق الارضي (Ground Penetrating Radar GPR) تقنية جيوفيزيائية غير تدميرية، حيث يستخدم الموجات الراديوية (Radio Waves) في الكشف عن الاهداف الموجودة تحت السطح، معتمدا على التباين (Contrast) في العزل الكهربائي (Dielectric) بين الاهداف والوسط المحيط بها (Annan, 2003) و (Johansson and Friborg, 2005). ان الغاية من المسوحات الرادارية هي ايجاد معلومات عن الأجسام والإنشاءات التي تحت سطح الأرض، غير ان تسرب بعض من الطاقة الرادارية إلى الهواء او في داخل الارض تؤدي الى تكوين اشارات شاذة غير مرغوب بها، فعملية الارسال والاستلام ليست مثالية، حيث تظهر في الصورة الرادارية انعكاسات لاشارات شاذة لا تعود الى اجسام تحت الارض (Abdulkareem, et al., 2013).

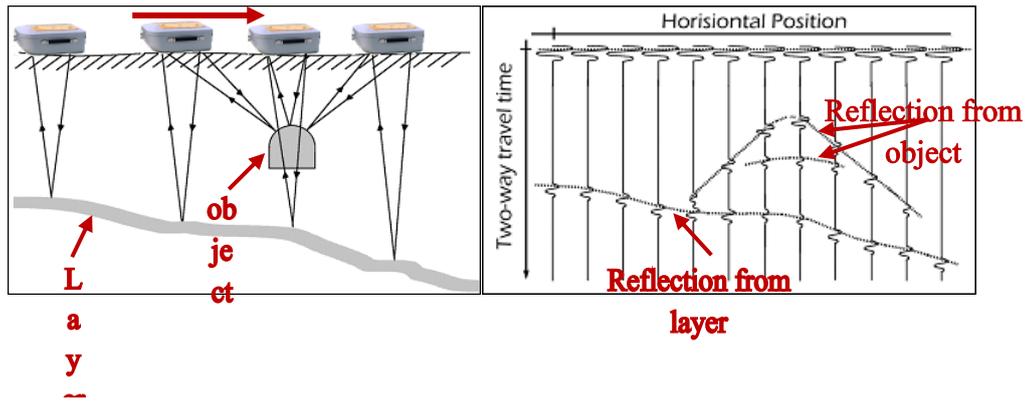
قام (Abdulkareem, et al., 2013) بالكشف عن نوع واحد من الاشارات الشاذة تسمى الانعكاسات الهوائية، وبين اسباب تكوينها وتأثيرها السلبي على الصورة الرادارية. وكذلك تطرق كل من (Annan, 2003) و (Harry, 2009) و (Johansson and Friborg, 2005) الى تأثير الاجسام المحيطة بموقع العمل في تكوين الانعكاسات الهوائية وتأثيرها السلبي على الصورة الرادارية.

تهدف الدراسة الى تحديد الاشارات الشاذة المؤثرة على الموجات الرادارية والمكونة في الصور الرادارية وبيان اسبابها وطرق معالجتها.

المواد وطرائق العمل

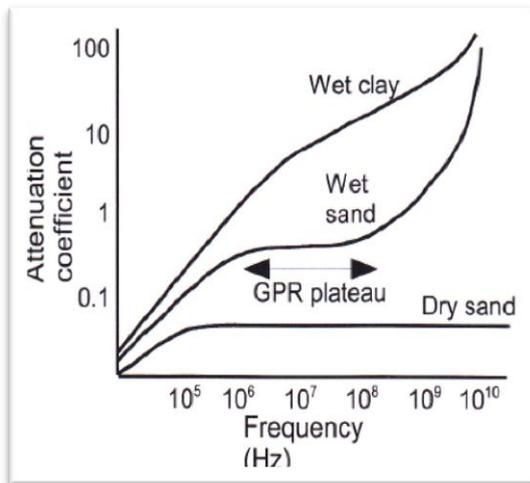
مبدأ عمل رادار الاختراق الارضي

تتكون بيانات رادار الاختراق الارضي من استمرار تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة بفترة زمنية تمثل زمن وصول الاشارة الى هوائي



شكل (1) انعكاس الاشارة الرادارية عن الجسم والطبقة الجيولوجية (الرسم اليسر)، صورة الاشارة الرادارية المستلمة من قبل هوائي الاستلام (الرسم اليمين).

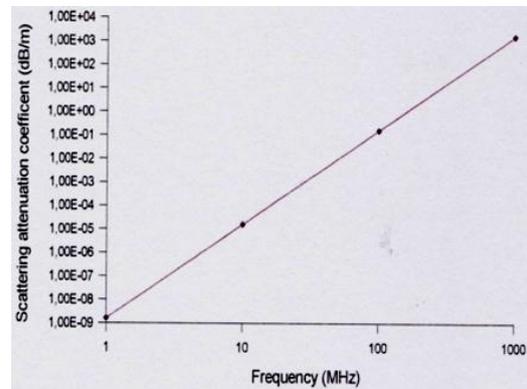
من الطاقة الكهرومغناطيسية الى حرارة، نتيجة تصادمها مع بعضها. لذا فالموجة الرادارية تخترق الاوساط ذات المقاومة العالية أكبر من الاوساط ذات التوصيلية العالية، فمثلا الاوساط الطينية الرطبة وكذلك المياه المالحة تشكل عائقا لأداء جهاز الـ(GPR) وتجعل منه تقنية غير كفوءة بسبب التوصيلية العالية لها (Eyuboglu, et al., 2004) و (Suvarna, 2004) شكل (3)



شكل (3) تأثير رطوبة الوسط على معامل توهين الاشارة الرادارية.

العمل الحقلية

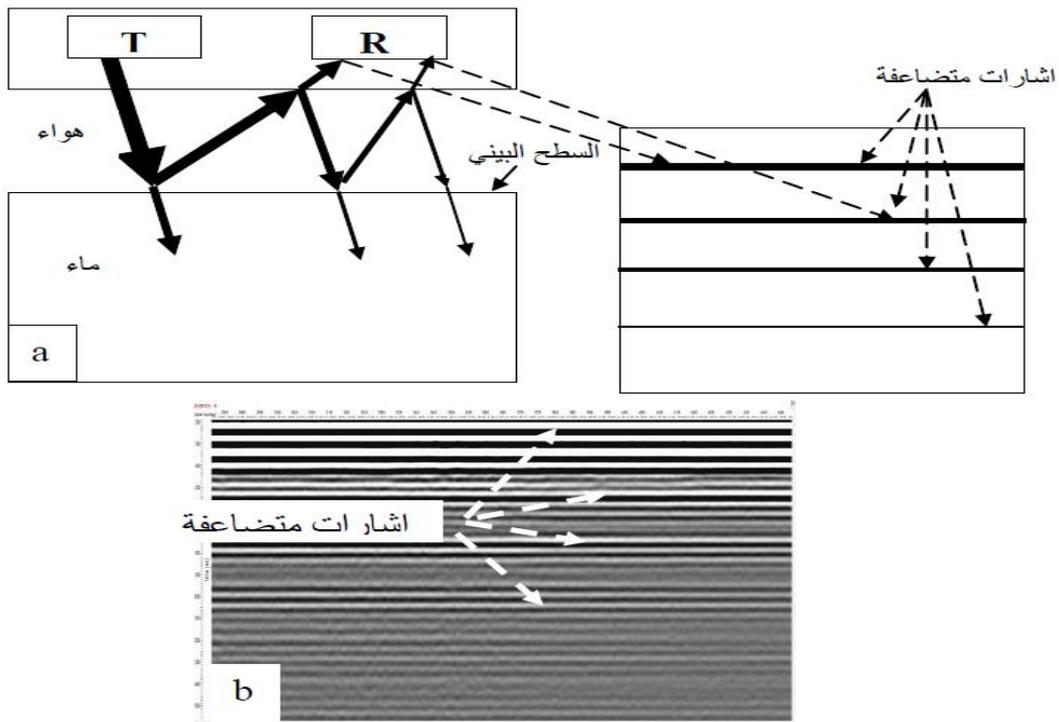
اجريت المسوحات الحقلية باستخدام هوائيات رادار الاختراق الارضي من انتاج شركة مالا السويدية بالترددات (500,200,100,50)MHz، حيث اجريت القياسات في مواقع مختلفة من مدن



شكل (2) توهين الاستطارة كدالة للتردد (Johansson and Friberg, 2005)

اما التوهين الحاصل نتيجة التوصيلية الكهربائية للوسط فيسبب استقطاب شحنات الوسط بتأثير المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية (Salih, 2008)، اي ان الجزيئات المشحونة سوف تصطف مكونة مايسمى بثنائي القطب المحتث (Dipol moment) (Harry, 2009). ان لثنائي القطب المحتث مجال كهربائي معاكس للمجال الكهربائي للنبضة الساقطة، وبالتالي يحد من شدته، حيث تعتمد كثافته على شدة المجال الكهربائي الساقط (Johansson and Friberg, 2005).

اذا كانت ثنائيات القطب حرة الحركة، ويمكنها ان تتفاعل فيزيائيا (كما في ثنائيات القطب لجزيئات الماء) فان عملية الاستقطاب والازاحة تحول بعض



شكل (4) (a) عملية تكوين الاشارات المتضاعفة نتيجة ارسال واستلام الاشارة الرادارية، (b) صورة رادارية تبين وجود اشارات متضاعفة ناتجة عن السطح البيني بين الهواء وسطح الماء. موقع العمل نهر الدجيل/الكويت.

النتائج والمناقشة

نلاحظ في الشكل (4) تكون اشارات متضاعفة (Duplication) ناتجة عن السطح البيني (Interface) بين الهواء والماء، فعند انتقال الاشارة الرادارية من الهواء (السماحية النسبية للهواء 1) بسرعة 30cm/ns الى الماء (السماحية النسبية للمياه العذبة 80) بسرعة 3.4cm/ns وكمل مبين في جدول (1)

جدول(1) قيم السماحية النسبية وسرعة الموجة الكهرومغناطيسية خلال المواد (Harry, 2009).

Material	v (cm/ns)	Relative permittivity
Air	30	1
Fresh water	3.4	80
Dry sand	15	4
Saturated sand	6	25
Limestone	12	6
Shale	9	11
Silt	7	18
Dry Clay	15	4
Wet Clay	7.4	16
Granite	13	5
Dry salt	13	5
Ice	16	3.5

العراق هي العتبة الحسينية المقدسة/ مدينة كربلاء ومزار اولاد مسلم بن عقيل/ قضاء المسيب ونهر الدجيل/ مدينة الكوت وموقع وزارة العلوم والتكنولوجيا/ مدينة بغداد، منها مواقع مدنية (محطة بالاعمد والاشجار والبنائيات) لبيان تأثيرها على الاشارة الرادارية، واخرى على سطح نهر باستخدام زورق من (Fiber glass)، ولضبط المسافة اثناء المسح استخدم عداد المسافة الخيطي (Hipchain)، وكذلك استخدمت طريقة الـ (Time) لتحديد الزمن بين الاشارات الرادارية (Traces) اضافة الى استخدام عداد العجلة. وكذلك استخدمت طريقة جديدة بوضع الهوائي داخل الماء (محمي باكياس بلاستيكية لمنع نفوذ الماء) لتقليل تاثير تضاعف الاشارة الرادارية اثناء انتقال الاشارة خلال الماء والحصول على اوضح صورة رادارية. كما استخدم برنامج RadExplorer وهو من انتاج نفس الشركة لتحليل وتفسير الصور الرادارية.

وهي احدى الاشارات السلبية التي تضر بالصورة الرادارية، والتي تحدث غالبا عندما يكون الفرق بين السماحية النسبية للوسطين كبيرة.

في الشكل (5) تكونت اشارات متضاعفة نتيجة انعكاس معظم الاشارة الساقطة عن غطاء معدني (السماحية النسبية للمعادن تقترب من اللانهاية) انظر جدول (2) وفق العلاقة (1). فعملت عمل قناع على الاجسام التي تحتها في الصورة الرادارية، وتفسر خطأ على انها جدران تحت الارض كما في الشكل (b-5).

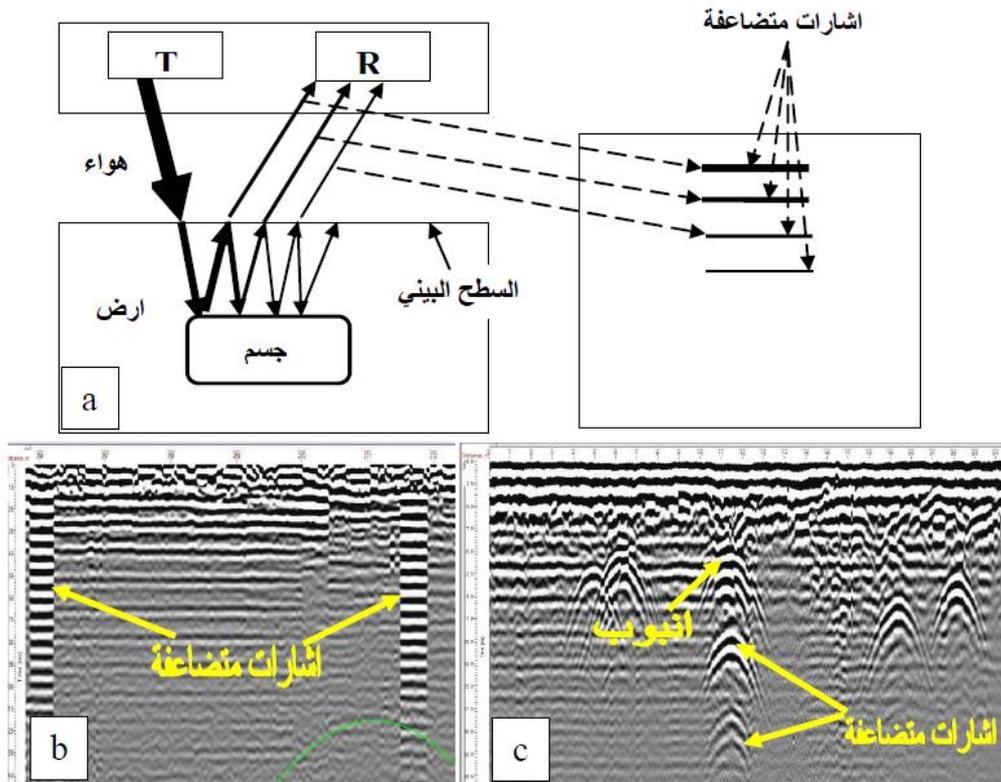
ويمكن توصيح ذلك على اساس ان معظم الطاقة الكهرومغناطيسية الساقطة على السطح البيني سوف ترتد الى الهواء حسب العلاقة (1):

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \dots \dots \dots (1)$$

حيث تمثل R: نسبة الانعكاسية و ϵ_1, ϵ_2 سماحية الوسطين (Mahmud, 2016). ليتم استلام قسم منها من قبل هوائي الاستلام وبعكس القسم الباقي عن سطح الهوائي لتسقط مرة ثانية على السطح

البيني، وهكذا تتكرر العملية كما في الشكل (a-4). لذا سيبدو سطح الماء في الصورة الرادارية على شكل طبقات متماثلة ومتكررة كما في الشكل (4-4).

(b)



شكل (5) (a) عملية ارسال واستلام الاشارة وتكوين الاشارات المتضاعفة، (b) اشارات متضاعفة ناتجة عن غطاء معدني، (c) اشارات متضاعفة ناتجة عن انبوب معدني. موقع العمل وزارة العلوم والتكنولوجيا/ بغداد.

جدول (2) نسبة الإشارة المنعكسة عن السطوح الفاصلة،
(Annan, 2003)

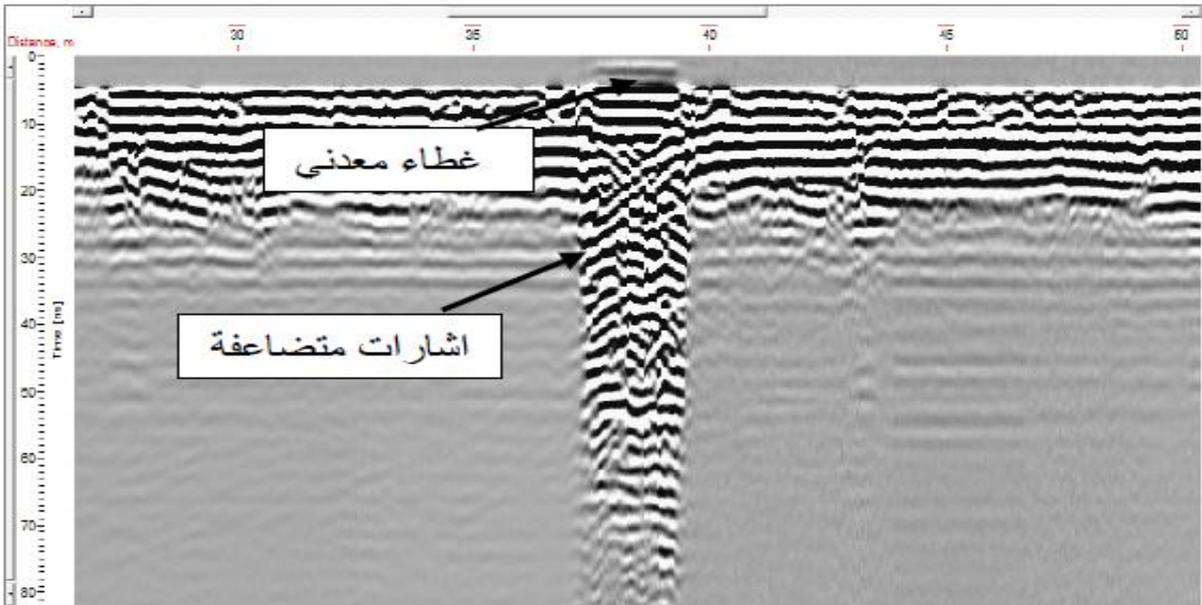
Boundary	ϵ_1	ϵ_2	R
Air-dry soil	1	4	-0.05
Air-wet soil	1	25	-0.67
Air-water	1	80	-0.8
Soil-metal	9	∞	-1
Dry soil-rock	4	6	-0.01
Ice-water	3.2	80	-0.67

ان الصورة الرادارية في الشكل (6) تبين وجود اشارات متضاعفة ناتجة عن غطاء معدني مدفون قريب من سطح الارض. ان ظهور الاشارات المتضاعفة باعماق مختلفة ناتج عن تباين اطوال المسارات التي تسلكها الاشارة الرادارية منذ انطلاقتها من هوائي الارسال الى وصولها الى هوائي الاستلام، فبالرجوع الى الشكل (a-5) نلاحظ ان المسار الذي سلكته الاشارات الاولى اقصر (تستغرق زمنا اقل) من المسار الذي تسلكه الاشارات التالية وبالتالي يظهر على عمق اقل من الاشارات التالية في الرسم الراداري. وفق العلاقة الاتية:

$$t = \frac{2d}{v} \dots \dots \dots (2)$$

حيث d : مسار الاشارة، t : الزمن الذي تستغرقه الاشارة منذ انطلاقتها لحين استلامها، v سرعة الموجة الرادارية خلال الوسط (Annan, 2003).
في الشكل (7) نلاحظ وجود ترسبات طينية في مياه النهر مع ملاحظة عدم وجود اشارات متضاعفة نتيجة انتقال الاشارة الرادارية خلال وسط واحد (مياه النهر)، حيث تم وضع الهوائي

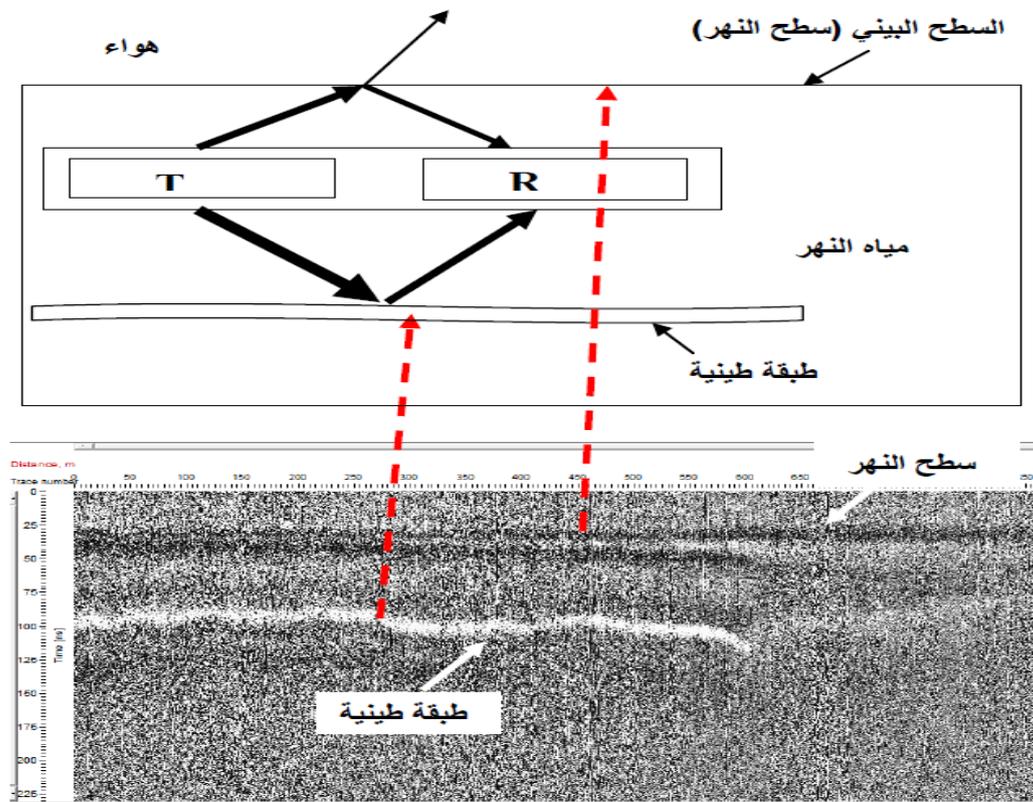
وكذلك في الشكل (c-5) تضاعفت الاشارة الرادارية المنعكسة عن انبوب معدني، وقد تفسر خطأ على انها عدد من الانابيب على اعماق متعددة، في حين ان الانعكاس الاول هو صورة الانبوب الحقيقي والانعكاسات الاخرى التي تحته هي اشارات متضاعفة، حيث نلاحظ ان الاشارة الساقطة على الجسم تنعكس عائدة الى السطح البيني بين الارض والهواء فينعكس جزء من الاشارة عن السطح البيني الى داخل الارض والجزء الاخر ينفذ الى الهواء ليتم استلامه من قبل هوائي الاستلام، وهكذا تتكرر العملية الى ان تتلاشى طاقة الاشارة الرادارية كما موضح في الشكل a- (5).



اما النوع الثاني من الاشارات الشاذة فتسمى بالانعكاسات الهوائية (Air Reflection) فنلاحظ في الشكل (b-8) تكون العديد من الانعكاسات الهوائية نتيجة وجود العديد من الاجسام المحيطة بموقع العمل، فكما في الشكل (a-8) ان جزءا من الطاقة الرادارية المرسله من هوائي الارسال قد اخترق الارض باتجاه الاهداف المدفونة

داخل مياه النهر كطريقة جديدة للتخلص من الانعكاسات المتضاعفة، فالاشارة المرسله من هوائي الارسال تنعكس عن الطبقة الطينية لتصل الى هوائي الاستلام دون حدوث انعكاسات متضاعفة، وكذلك الاشارة المرسله باتجاه سطح الماء ينعكس الجزء الاكبر منها الى داخل الماء (بسبب التباين الكبير بين الماء والهواء كما في جدول (2)) وفق المعادلة (1) ليصل الى هوائي الاستلام.

شكل (6) وجود اشارات متضاعفة باعمق مختلفة ناتجة عن غطاء معدني، موقع العمل وزارة العلوم والتكنولوجيا

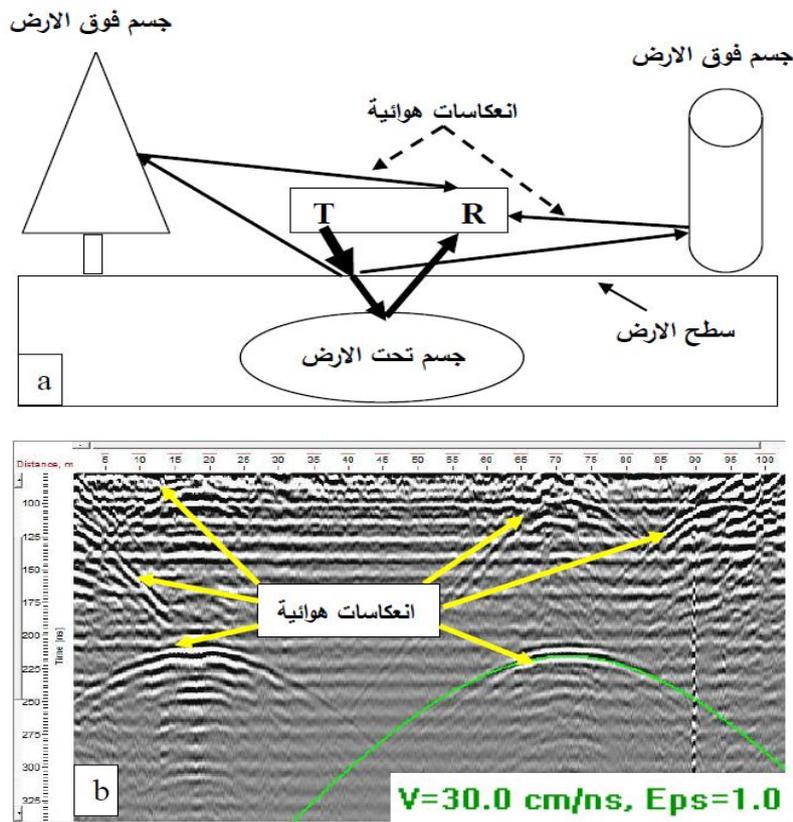


شكل (7) لا يوجد اشارات متضاعفة نتيجة انتقال الاشارة خلال مياه النهر، موقع العمل نهر الدجيله/الكوت

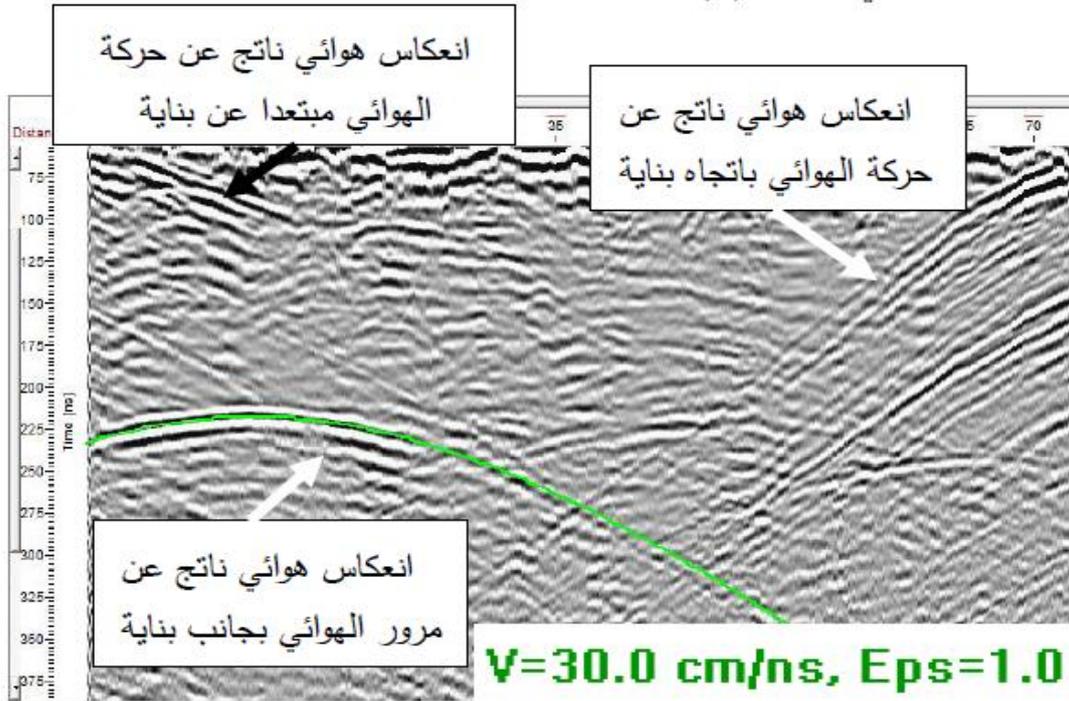
كذلك نلاحظ في الشكل (9) عدد من الانعكاسات الهوائية الناتجة من وجود بعض الابنية القريبة من موقع العمل، حيث اجريت المسوحات على ارض زراعية رطبة.

لنلاحظ ان اتجاه حركة الهوائي اثناء المسح الراداري تؤثر على شكل الانعكاس الهوائي، فحركة الهوائي بجانب جسم قريب منه يولد انعكاس هوائي على شكل قطع زائد، اما حركة الهوائي باتجاه جسم او مبتعدا عنه فانه يكون انعكاس هوائي على شكل خط مائل.

والجزء الاخر انعكس عن سطح الارض باتجاه الاجسام الموجودة فوق الارض لينعكس عنها باتجاه هوائي الاستلام فيتم تسجيل الاشارة على شكل قطوع زائدة تظهر في الصورة الرادارية باعماق مختلفة تعتمد على بعد هذه الاجسام عن الهوائي وفق العلاقة (2). ان المسار الذي سلكته الاشارات الشاذة (الانعكاسات الهوائية) كان خلال وسط واحد هو الهواء، لذلك يجب ان تكون سرعة الموجة الرادارية الشاذة 30cm/ns كما في جدول (1).



شكل (8) (a) عملية تكوين الانعكاسات الهوائية، حيث نلاحظ مسارين لاشارتين شادتين (انعكاسين هوائيين) بالاضافة الى مسار الاشارة الحقيقية، (b) صورة رادارية



جدول (3) اعماق اختراق ترددات هوائيات GPR لاسواط مختلفة (Annan, 2003) و (Johansson and Friborg, 2005)

Antenna Frequency (MHz)	Penetration Depth (m)
1000	0.5-1
800	1-3
500	1.5-4
250	2-10
100	7-25
50	10-40

ووفق العلاقة الآتية:

$$Tw = 1.3 \frac{2 \times Depth}{velocity}$$

يمكن تجنب تكوين الانعكاسات الهوائية بالابتعاد عن الاجسام المحيطة بموقع العمل بمسافات محددة، فمثلا يمكن الابتعاد عن الاجسام المحيطة مسافة 1متر للعمل بالهوائي 1000MHz دون ان تتكون انعكاسات هوائية، ونحتاج مسافة 3 متر للعمل بالهوائي 800MHz و 4 متر للعمل بالهوائي 500MHz وهكذا، حيث تعتمد على قدرة اختراق الاشارة وتبعاً لنوع الوسط كما في جدول (3).

شكل(9) انعكاسات هوائية عن الاجسام المحيطة بالهوائي (بعض الابنية)، موقع العمل وزارة العلوم والتكنولوجيا.

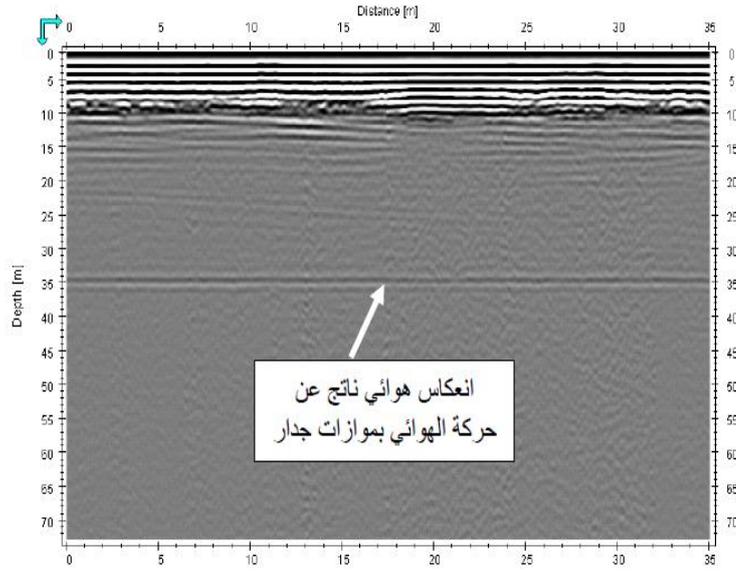
على خبرة المفسر ومعطيات موقع العمل وتردد الهوائي.

يوجد نوع اخر من الاشارات الشاذة والتي تظهر في الصورة الرادارية عندما يكون هناك جهاز نقال (Mobile) يرسل او يستلم اتصال هاتفي، كما في الشكل (11)، حيث تظهر الاشارة الشاذة بوضوح ويمكن تمييزها بسهولة عن البيانات الحقيقية. فـجهاز الاستلام يستلم اي تردد كهرومغناطيسي قريب منه مثلما يستلم البيانات الرادارية على حد سواء، حيث نلاحظ في الشكل (11 - a) هوائي الاستلام يستلم اشارة هوائي الارسال واطارة الهاتف النقال، اما في الشكل (11 - b) فقد تم ايقاف فعالية هوائي الارسال، لذلك قام هوائي الاستلام باستلام ترددات الهاتف النقال فقط.

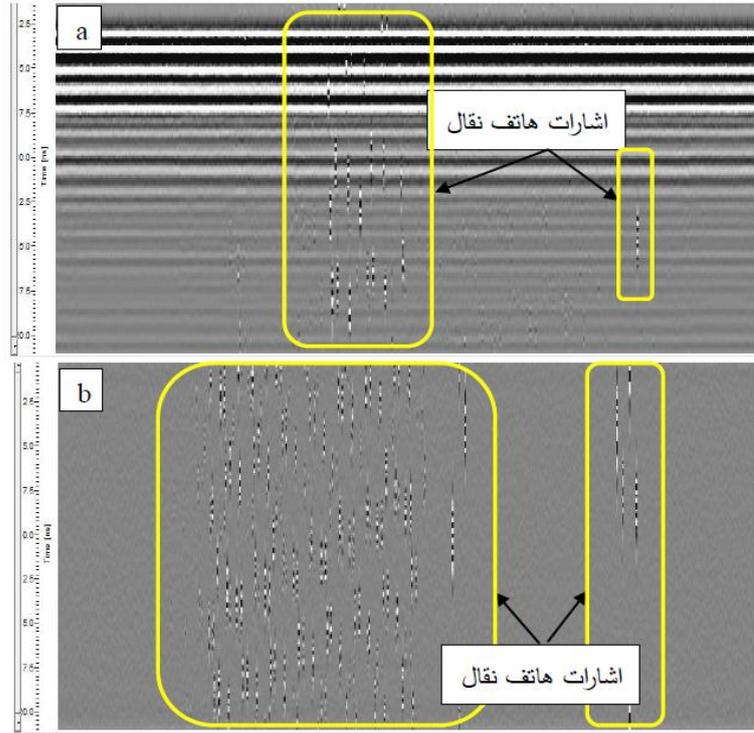
حيث يمثل T_w (Time window) زمن الاشارة الرادارية في الصورة الرادارية. (Annan, 2003) وهي من الامور التي يمكن الاعتماد عليها عند العمل في المناطق المدنية.

اما اذا كان لابد من العمل في المناطق المدنية وتكونت الانعكاسات الهوائية فيمكن تمييزها باستخدام عملية مطابقة القطوع الزائدة ضمن برنامج التفسير والتي ينبغي ان تكون سرعة الموجة الرادارية تساوي 30cm/ns .

في الشكل (10) يشكل الانعكاس الهوائي اشارة مستمرة شبيهة بطبقة جيولوجية او اشارة لمستوى المياه الجوفية (كما تفسر خطأ) وفي هذه الحالة لايمكن تمييزه بالطريقة السابقة بل يعتمد تمييزها



الشكل (10) انعكاس هوائي عن جدار قريب من موقع العمل، مزار اولاد مسلم بن عقيل/ قضاء المسيب.



شكل (11) اشارات شاذة في الصورة الرادارية، (a) ارسال اشارة رادارية، (b) عدم ارسال اشارة رادارية، موقع العمل وزارة العلوم والتكنولوجيا/ بغداد

الاستنتاجات والتوصيات

تشابه الاشارات الشاذة (الاشارات المتضاعفة والانعكاسات الهوائية) مع الاشارة الحقيقية للجسام تحت السطح في الصورة الرادارية. لا يمكن التخلص من الاشارات المتضاعفة، لان الاشارة الرادارية تنتقل بين وسطين متباينين، فلا نتوقع اختفاء هذه الاشارات الا اذا انتقلت الاشارة الرادارية خلال وسط واحد. لا يمكن التمييز بين الانعكاسات الهوائية والاشارات الحقيقية في الصورة الرادارية الا عن طريق استخدام مقياس سرعة الموجة في برنامج التفسير.

تكون الانعكاسات الهوائية اكثر وضوحا من الاشارة الحقيقية عند العمل في الاماكن ذات التوصيلية العالية مثل الاراضي الزراعية، وكذلك عند العمل في مواقع محاطة بجسام معدنية مثل اعمدة الانارة. نوصي بالابتعاد بمسافة محددة (تعتمد على تردد الهوائي المستخدم) عن البنايات، الاعمدة والانقاض للتخلص من الانعكاسات الهوائية. اقفال الهواتف النقالة بالقرب من موقع العمل للتخلص من الاشارات الشاذة للهاتف النقال.

References

- Abdulkareem, A.;** Hameed, F.; Muham-med, A. and Ali, S. (2013) "The Effect of Air Reflection on Ground Penetrating Radar (GPR) Data" Journal of Babylon University Engineering Sciences 5 (21), 1669-1704.
- Annan, A.P.** (2003) "Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Appli-cations" Sensors and Software Inc. Technical Paper.
- Eyuboglu, S.;** Mahdi, H. and Alshukri, H. (2004) "Detection of Water Leaks Using Ground Penetrating Radar" Depa-rtment of Applied Science University of Arkansas at Little Rock, USA, 122.
- Harry, M. J.** (2009) "Ground Penetra-ting Radar Theory and Applications" First Edition, Elsevier, 524.
- Hannu, L.** (2008) "Natural Stone Ass-essment with Ground Penetrating Radar" Estonian Journal of Earth Sciences, 57 (3), 149-155.
- Johansson, B. and Friborg, J.** (2005) "Applied GPR Technology Theory and Practice" Handbook First Edition Mala Geosciences, 150.
- Jorge, L. P. and William, A. S.** (2007) "Ground Penetrating Radar Profiles Over Multiple Steel Tanks" Geophysics, 72 (6), 77-87.
- Kun, F. L.;** Hongb, R.; Kangc, Y. M.; Wangd, C. S. and Lina, K. A. (2009) "Detecting the Weathering Structure of Shallow Geology Via the Ground Pen-etrating Radar" International Journal of Applied Science and Engineering. 6 (3), 207-223.
- Mahmud, S. S.** (2016) "Pipe Leakage Detection Using Ground Penetration Radar" MSc Thesis, The Building and Construction Engineering Department of the University of Technology.
- Salih, S. A.** (2008) "Applications of Gr-ound Penetrating Radar (GPR) in Dete-ction Groundwater Table" MSc Thesis Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Iraq.
- Suvarna, S. S.** (2004) "Reconstruction of Ground Penetrating Radar Images Using Techniques Based on Optimization" MSc Thesis, Faculty of North Carolina State University.
- Uduwawala, D.;** Norgren, M. and Fuks, P. (2005) "A Complete Simulation of a Real GPR Antenna System Operating Above Lossy and Dispersive Grounds" Progress In Electromagnetic Research, 50, 209–229.

- IAEA.** (2006). Applicability of Monitored Natural Attenuation at Radioactively Contaminated Sites. Technical Reports Series No.445, Vienna
- IAEA.** (2006). Development of Specifications for Radioactive Waste Packages. TECDOC1515; ISSN 1011 – 4289; Vienna.
- IAEA.** (2009). Classification of Radioactive Waste. Safety Standards Series GSG-1, Vienna.
- Jarjies A.;** Mohammed Abbas; Horst, M. Fernandes and Roger Coates. (2007). Prioritization Process for Decommissioning of the Iraq Former Nuclear Complex. Paper Presented at the Proceedings of the 12th International Congress of the International Radiation Protection Association. Available at www.iaea.or.at/OurWork/ST/NE/NEF/W/documents/IDN_2007/AvignonAbstractPrioritisation.pdf.
- King, F.** (2007). Overview of a Carbon Steel Container Corrosion Model for a Deep Geological Repository in Sedimentary Rock. Nuclear Waste Management Organization Technical Report, NWMO TR-2007-01.
- Krumbach, H.** (2005). Experience with Conditioned Radioactive Waste in Interim Storage at Research Centre Jülich. 7th International Symposium. 20-22 April 2005, Berlin.
- Kurt, L.** and Jeremy, H. (2013). Initial Meeting on the Development of a Decommissioning Plan for the Fuel Fabrication Facility-Al-tuwaita. (15-19) April, IAEA, Vienna.
- Qusay, A. A.** (2013). Fuel Fabrication Facility Project Decommissioning Plan. Iraqi Decommissioning Directorate, Baghdad-Iraq.
- Radiation Protection Center. (RPC).** (2012). Concentration Values for Clearance Levels of Radionuclides in Solid and Liquid Waste. Ministry of Environment, Baghdad-Iraq.
- Ronald, K.;** Chesser, Brenda; E. Rodgers; Mikhail Bondarkov; Esmail Shubber and Carleton j. Phillips. (2009). Piecing Together Iraq's Nuclear Legacy. Bulletin of The Atomic Scientists, vol. 65.
- Savidou A.,** F. Tzika and I. E. Stamatelatos. (2007). Characterization of Radioactive Waste Drums by Nondestructive Gamma Spectrometry. 4th International Conference on NDT, 11-14 October, Chania, Grete-Greece.
- Shoesmith, D.W.** and King, F. (1999). The Effects of Gamma Radiation on the Corrosion of Candidate Materials for the Fabrication of Nuclear Waste Packages. Atomic Energy of Canada. Limited Report, AECL-11999. TECDOC1515; ISSN 1011-4289, Vienna