

## دراسة جيوفيزيائية للأرضية المحيطة بمنارة الحدباء باستخدام تقنيات التصوير الكهربائي

## والرادار الأرضي

هالة أحمد داود حيدر عبدالزهرة الدباغ عبدالهادي أحمد تركي

وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة الفضاء والاتصالات

بغداد -العراق

## الخلاصة

اجريت دراسة جيوفيزيائية في موقع منارة الحدباء في محافظة نينوى باستخدام تقنية التصوير الكهربائي وتقنية رادار الاختراق الارضي. اجري المسح الكهربائي في الحديقة المجاورة للجامع بهدف معرفة التغيرات الجانبية والعمودية في المقاومة الكهربائية لطبقات التربة . نفذ المسح بمسارين بطول (32م) لكل مسار وبفاصلة (2م) بين قطب وآخر وبترتيب شلمبرجر وترتيب فنر وحللت البيانات ورسمت المقاطع الكهربائية باستخدام برنامج Res2dinvx32. اما المسح الراداري فقد اجريت القياسات الحقلية بشكل مسارات متوازية ومن جميع الجهات باطوال ومسافات بينية مختلفة وحسب متطلبات العمل والمساحة المتاحة باستخدام نوعين من الهوائيات المغلفة بتردد 250MHz و 100MHz. بينت نتائج تحليل المقاطع الجيوكهربائية ان مقاومة طبقات التربة تتراوح بين (17-73.8) اوم.متر والتي تدل على انها تتألف من تتابع الطين والغرين ذات محتوى مائي متباين يزداد مع العمق الى (6 م) وهو عمق البيانات المستحصلة من عملية القياس. أما نتائج تحليل البيانات الرادارية فقد بينت وجود تشوه في بعض اجزاء طبقة الكونكريت المحيطة بقاعدة المنارة فضلا عن تحديد التخسفات في طبقات التربة .

الكلمات المفتاحية: التصوير الكهربائي ، ترتيب شلمبرجر ترتيب فنر و رادار الاختراق الارضي.

### Geophysical Study for the Surrounding Ground of the Hadba'a Minaret Using Electrical Imaging and Ground Penetration Radar Techniques

Hala Ahmed Dawood Hayder Abdul Zahra Al-dabbagh Abdalhadi Ahmed Turkey  
Ministry of Science and Technology / Directorate of Space and Communication  
Baghdad-Iraq

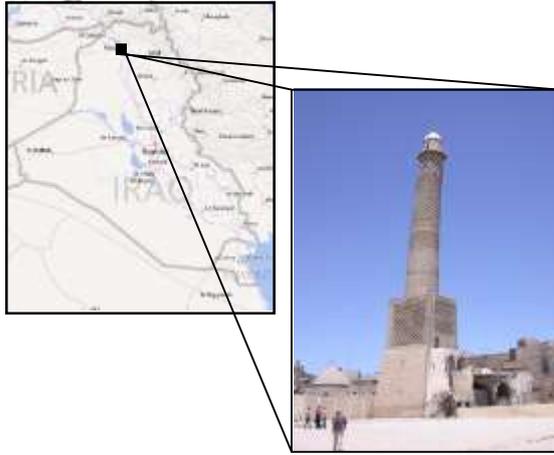
E-mail: dr.Haider\_aldabbagh@yahoo.com

#### Abstract

Geophysical study was conducted at the site of a Hadba'a Minaret in the province of Nineveh using electrical imaging and Ground penetrating radar technique. Electrical survey was conducted in the vicinity garden of the mosque in order to know the side and vertical changes in the electrical resistance of the soil layers. The survey carried out along the two profiles (32 m) per track and interval of (2 m.) between the poles in Schlumberger and Wenner configurations and analyzed the data and painted sections using electrical Res2dinvx32 program. The radar survey was conducted field measurements in parallel tracks and different lengths and spacing, according to work requirements and the available space by using two types of shielded antennas of frequencies 250MHz and 100MHz. The results of the analysis of the geo-electrical sections resistivity ranging from soil layers (17 to 73.8 ohm.m), which indicates that it consists of a sequence clay and silt mixed with water content increases with depth to (6 m.) which is obtained from the measurement process data depth. The results of the analysis of radar data has shown the presence of deformation in some parts of the concrete layer surrounding the base of the lighthouse as well as identifying settlements in soil layers.

**Key Words:** Electric Imaging, Schlumberger Configuration ,Wenner Configuration and Ground Penetration Radar.

الوطني عام 1925 م بعد ذلك رُم الجامع من قبل وزارة الأوقاف عام 1944 (2004، الكفلاوي). في عام 1981 م قامت شركة فوندايل الإيطالية بصيانة أسس المنارة حيث قامت بتقوية الأساس من خلال صب طبقة من الكونكريت بسمك (1 متر) تحيط بقاعدة المنارة وتنفيذ ركائز جذرية ممتدة من جسم قاعدة المئذنة إلى عمق 12 متر تحت سطح الأرض وذلك لحصر كتلة من منطقة الأساس تحت القاعدة تضاف إلى كتلة المئذنة فتعمل على إنزال مركز الثقل إلى الأسفل (Lizzi, 1980) (Fernando, 1982). يتعرض موقع الجامع ومأذنته إلى تأثيرات مياه الصرف الصحي من الدور المشيدة حوله حيث أنه يقع داخل حي سكني قديم خالي من خدمات مجاري مياه الامطار والصرف الصحي التي تؤثر سلباً على اساسات الموقع وليست هنالك حلول جذرية لهذه المشكلة.



شكل (1) موقع منطقة الدراسة

### المقاومة الكهربائية

استخدم جهاز المسح الكهربائي نوع ARS-200E في تنفيذ الاعمال الحقلية وتعتبر الطريقة الكهربائية من افضل الطرق الجيوفيزيائية التي تستخدم بشكل واسع في الدراسات الهندسية والبيئية والهيدروجيولوجية لما تعطيه من سرعة في استحصال البيانات ودقة عالية لتحديد الاهداف وخصوصا تلك الاهداف القريبة من السطح (Bentley and Gharibi, 2004).

إن التحري عن أسس الأبنية التراثية القديمة يعتمد على الدراسات الهندسية والعلوم التكنولوجية في الفحص، ويعتبر جهاز رادار الاختراق الأرضي من التقنيات الحديثة المستخدمة في هذا المجال. ففي عام 1980 استخدمت طريقة رادار الاختراق الأرضي (GPR) في العديد من المهام الهندسية والآثرية. حيث يستخدم في فحص المباني الأثرية لبيان ما بها من شروخ دقيقة وفجوات وكذلك فحص الأساسات وتحديد أبعادها بدون اعمال الحفر وكذلك فحص التربة لبيان ما بها من أساسات قديمة أو بقايا أثرية. إن مدى ملائمة جهاز رادار الاختراق الأرضي (GPR) للكشف عن أسس المواقع الأثرية يرجع إلى التباين في انعكاس الطيف الكهرومغناطيسي بين البقايا الأثرية ومكونات الأرض التي تحيطها حيث تكون الإشارة واضحة إذا لم يحصل توهين فيها بسبب التوصيلية العالية. وتستخدم اجهزة جيوفيزيائية اخرى في تقييم هذه المواقع كجهاز المسح الكهربائي لتحديد المياه الجوفية وتأثيراتها على الموقع. يهدف البحث الى دراسة الارضية المحيطة بالمنارة والكشف عن العيوب ومناطق التخسف الموجودة فيها من خلال إجراء مسوحات رادارية من الجهات الاربعه باستخدام جهاز رادار الاختراق الأرضي وتحليل النتائج فضلاً عن استخدام جهاز قياس المقاومة الكهربائية لتحديد مناسيب المياه الجوفية في الموقع.

### المواد وطرائق العمل

#### موقع الدراسة

اختير جامع النوري ومئذنته الحدباء في هذا البحث الذي يقع في محافظة نينوى شمال العراق شكل (1)، حيث تعتبر هذه المئذنة الأشهر في العالم العربي من الناحية التاريخية والدينية والهندسية إذ يرجع تاريخ تشييدها الى سنة 1172م و يبلغ ارتفاعها 47 متر والمتميزة بميلانها وانحرافها عن المحور الشاقولي.

لقد اجريت العديد من الترميمات على هذه المنارة وكما ورد في المصادر التاريخية ابتداءاً من عهد الوالي العثماني حسين باشا الجليلي ثم في بداية الحكم

إن الأساس الذي تعتمد عليه العلاقات الكهربائية هو قانون اوم (Ohm law) كما ورد في

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

حيث إن :

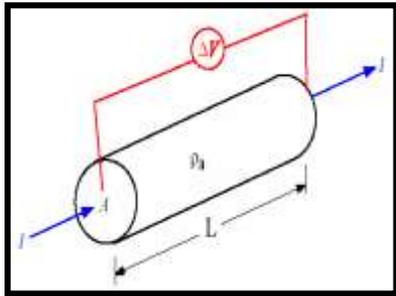
$\Delta V$ : فرق الجهد المقاس بين أي نقطتين ويقاس بالفولت.

I: التيار المتدفق في الوسط بين هاتين النقطتين ويقاس بالأمبير.

R: مقاومة الوسط بين هاتين النقطتين وتقاس بالاموم ( $\Omega$ ).

أما المقاومة النوعية ( $\rho$ ) لأية مادة فتعرف بأنها المقاومة (R) بين وجهين متقابلين لأسطوانة موصلة لها طول قدره (L) ومساحة مقطع عرضي قدره (A) وتقاس بـ ( $\Omega.m$ )، شكل (3).

$$\rho = \frac{RA}{L} \dots\dots\dots (1)$$



شكل (3) المقاومة النوعية وتعبيرها الرياضي (Dobrin, 1976).

### ترتيب الأقطاب

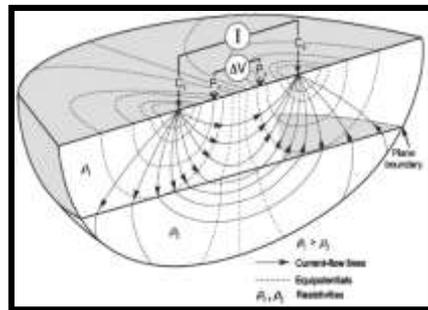
هناك عدة ترانتيب مقترحة لتنفيذ المسح الكهربائي، ويستخدم في معظمها أربعة أقطاب مثبتة على الأرض، وتكون على هيئة منظومات خطية أو لا خطية، إلا أن المنظومات الخطية هي الأكثر استخداماً (Sharma, 1976). إن الاختلاف بين هذه المنظومات يعتمد على مواقع الأقطاب، والذي يؤثر بدوره على قيمة العامل الهندسي (K)، وإن من

وبسبب تطور الاجهزة متعددة الاقطاب فقد ازداد استخدام تقنيات التصوير الكهربائي بسبب ازدياد سرعة استحصال القراءات الحقلية بشكل كبير جداً، كذلك تطور البرمجيات وطرق العرض التي ساعدت في تطور وانتشار التصوير الكهربائي (Slater, et al., 2000).

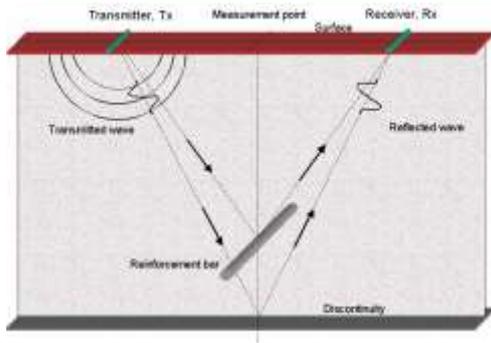
### الخلفية النظرية لطريقة المقاومة الكهربائية

لغرض التحري عن التراكيب تحت السطحية هنالك عدة طرق لمرار التيار الكهربائي في الأرض ، والشائع هو استخدام قطبين لتمرير التيار وقياس فرق الجهد بواسطة قطبين آخرين، وتكون هذه الاقطاب موزعة بترتيب معين (شكل 2). فالتيار الكهربائي سوف يتدفق بشكل خطوط شعاعية من القطب تنحني كلما تقدمت باتجاه القطب الثاني وتكون عمودية على خطوط تساوي الجهد . وان وجود أي تغير تحت سطحي في التوصيل الكهربائي يؤدي الى تغير هيئة سريان التيار داخل الارض وهذا بدوره يؤثر على توزيع الجهد الكهربائي اعتماداً على شكل وحجم وموقع ومقاومة الطبقات او الاجسام تحت السطحية ، لذلك فمن الممكن الحصول على معلومات عن الطبقات تحت السطحية من قياسات الجهد الكهربائي على السطح , (Sharma, 1976) و

(Telford, et al, 1976).



شكل (2) كيفية تدفق التيار الكهربائي وتوزيع اقطاب الجهد والتيار (Seidel and Lange, 2007).



**شكل (4)** عمل جهاز رادار الاختراق الارضي وانتقال الموجات الكهرومغناطيسية من المرسل الى المستقبل يعتمد عمق الاختراق في جهاز الـ (GPR) على تردد وطول الموجة الرادارية وعلى طبيعة الوسط الذي تنتقل خلاله، فعندما يكون تردد الموجة الرادارية كبيراً فان عمق الاختراق يكون قليل ولكن دقة الاشارة عالية وعندما يكون تردد الموجة الرادارية قليل فان عمق الاختراق يكون كبير وتكون الدقة قليلة (William, 2003).

ان تقنية رادار الاختراق الارضي تكون غير فعالة في الاوساط الطينية الرطبة و المياه المالحة بسبب التوصيلية العالية لها. بينما تكون التقنية فعالة في الاوساط ذات المقاومة العالية (Annan, 2004).

#### المسح الكهربائي

اجري مسح كهربائي في الحديقة المجاورة للجامع بهدف معرفة التغيرات الجانبية والعمودية في المقاومة الكهربائية لطبقات التربة صورة رقم (1). نفذ المسح بمسارين بطول (32م) لكل مسار وبفاصلة (2م) بين قطب وآخر وبترتيب شلمبرجر وترتيب فنر والشكلين (5,6) يوضحان ذلك .

أهم المنظومات المستخدمة في المسح الكهربائي هي (Wenner, Schlumberger, and Dipole-dipole).

#### رادار الاختراق الارضي

استخدم جهاز رادار الاختراق الأرضي (GPR) صنع شركة Mala Geosciences السويدية ، بنوعين من الهوائيات المغلفة ذات ترددتين 100MHz، 250MHz في اعمال المسح الحثلي . كما استخدمت برمجيات التشغيل والتفسير من نفس الشركة كالبرنامج التشغيلي (Ground Vision)، وبرنامج التحليل والتفسير (Rad Explorer)، وبرنامج (Easy3D) الذي يستخدم لجمع البيانات ليظهرها ثلاثية الابعاد.

تعد تقنية رادار الاختراق الأرضي (GPR) من التقنيات الحديثة والتي تعتمد على إرسال موجات كهرومغناطيسية الى داخل الارض من خلال هوائي الارسال (Transmitter) واستقبال الموجات المنعكسة من الوسط عن طريق هوائي الاستقبال (Receiver) شكل (4). يعتمد أداء عمل جهاز رادار الاختراق الأرضي (GPR) على نوع الجسم وطبيعة الوسط المحيط به، وكذلك طول موجة الهوائي المستخدم (Moustafa and Hussein 2005). ان تأثير الموجة الرادارية المرسله بنوعية الوسط الذي تنتشر خلاله يعود الى تأثير طور الموجة (Phase) وسعة الموجة (Amplitude) عندما تواجه سطحاً بينياً لوسطين مختلفين (Sushil, 2004). تتكون بيانات الرادار الارضي من استمرار تسجيل الطاقة المنعكسة بفترات زمنية تمثل زمن وصول الاشارة الى هوائي الاستقبال (Receiver) ذهاباً واياباً وتقاس بالنانوثانية

(Bernth and Johan, 2005)

متطلبات العمل والمساحة المتاحة. باستخدام نوعين من الهوائيات بتردد 250MHz، 100MHz (صورة 2،3) وذلك في محاولة للوصول الى الاعماق المطلوبة حيث من الناحية النظرية يصل اقصى اختراق لهذه الهوائيات (7 م، 25م) على التوالي في ظروف التربة الملائمة ذات التوصيلية القليلة (0-30 ملي سيمنس/متر). حيث يعتمد اختيار الهوائي بالتردد الملائم في اجراء القياسات الحقلية على الاهداف او الاجسام المراد الكشف عنها (الحجم ، العمق) وعلى طبيعة الوسط والتربة المحيطة بها (نوع الوسط، التوصيلية الكهربائية، المحتوى المائي).



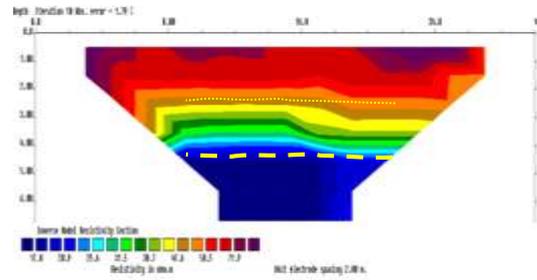
صورة (1) اعمال المسح الكهربائي



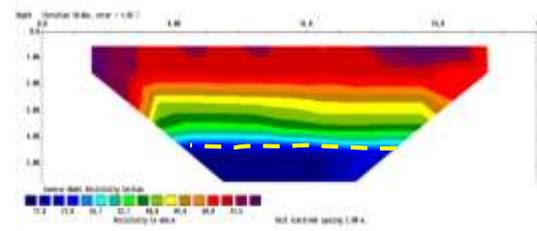
صورة (2) المسح الراداري باستخدام الهوائي ذو تردد 250 MHz



صورة (3) المسح الراداري باستخدام الهوائي ذو تردد 100 MHz



شكل (5) مقطع جيوكهربائي للمسار الاول بترتيب شلمبرجر



شكل (6) مقطع جيوكهربائي للمسار الثاني بترتيب فئر

وقد بينت المقاطع الجيوكهربائية ان مقاومة طبقات التربة تتراوح بين (17-73.8 اوم.متر) والتي تدل على انها تتألف من تتابع الطين والغرين ذات محتوى مائي متباين يزداد مع العمق الى (6م) وهو عمق البيانات المستحصلة من عملية القياس.

#### المسح الراداري

اخذت البيانات الحقلية بشكل مسارات متوازية ومن جميع الجهات باطوال ومسافات بينية مختلفة وحسب

فضلا عن المستوى الضحل نسبيا للمياه الجوفية وكذلك التأثير الكبير لمياه الصرف الصحي الناتج عن المنطقة السكنية العشوائية المحيطة بالموقع. لقد كان تأثير المياه الجوفية و مياه الصرف الصحي كبيرا على نوعية الإشارة ووضوحها المنعكسة عن الأجسام تحت السطح وذلك للتوهين العالي الذي تتعرض له الموجة الرادارية في الأوساط الرطبة أو المشبعة بالمياه.



صورة (4) الأبنية الملاصقة لجسم المنارة

بينت نتائج التحليل ومعالجة البيانات الرادارية باستخدام الفلاتر وعرضها بأشكال ثنائية وثلاثية الأبعاد والتي تم من خلالها التحري عن أساس المنارة من الجهات الأربع للتمكن من تقييم واقع الحال بدون الحاجة الى اعمال الحفر ما يلي :

1- يختلف سمك طبقة الكونكريت التي تحيط بقاعدة المنارة من مكان الى آخر والذي يتراوح بين (80-100 سم) فضلا عن كونها تعاني من بعض التشوهات الناتجة من ازالة التربة من بعض الاماكن وتغلغل المياه تحتها شكل (8).

2- عدم امكانية تتبع تغلغل مادة اليبوكسي التي تم حقنها في اعمال الصيانة السابقة وذلك للمحتوى العالي للرطوبة في التربة .

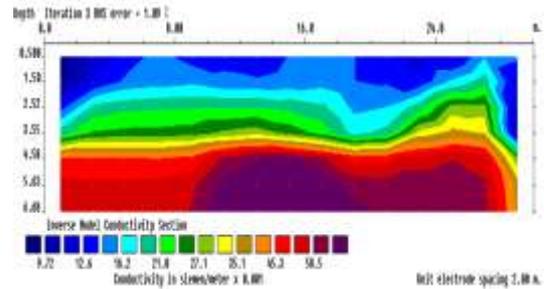
3- ميزت طبقة بسمك 3متر تقريبا في الجانب الشمالي من المنارة تحت طبقة الكونكريت فسرت على انها من الطابوق القديم شكل (9).

ولمعرفة التوصيلية الكهربائية لطبقات تربة الموقع بهدف معرفة مدى فاعلية جهاز الرادار الارضي ضمن مواصفات التربة لمنطقة الدراسة تم تحويل احد مقاطع للمقاومة الكهربائية الى مقطع للتوصيلية الكهربائية شكل (7) الذي يوضح مديات التوصيلية الكهربائية التي تراوحت بين (9-60 ملي سيمنس/متر). ووفقاً للمعادلة (2) Annan, (1989) فان اعلى اختراق للموجة الرادارية ضمن مواصفات تربة منطقة الدراسة يصل الى (3,8م) معنى ذلك اننا لانتوقع الحصول على بيانات دقيقة لاعماق تزيد عن ذلك.

$$D = 35 / \sigma \dots (2)$$

$$D = \text{عمق الاختراق (متر)}$$

$$\sigma = \text{التوصيلية الكهربائية (ملي سيمنس. متر)}$$



شكل (7) مديات التوصيلية الكهربائية لطبقات التربة

#### النتائج والمناقشة

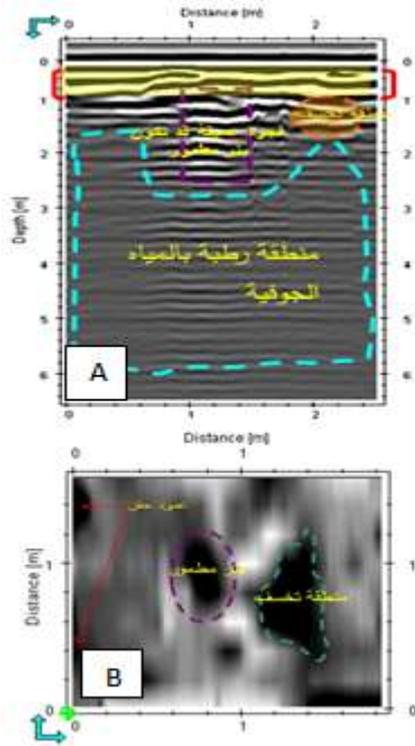
يمثل موقع منارة الحدباء موقعا يصعب إجراء القياسات الجيوفيزيائية فيه بسهولة بطرقها المختلفة. وهذه الصعوبة ناتجة عن وجود أبنية ملاصقة لجسم المنارة صورة (4) ووجود مخلفات بناء سابقة وخضوع الموقع لأعمال ترميم وصيانة لمرحل متعددة فضلا عن عدم وجود شبكة مجاري في المنطقة.

هذا الحال انعكس سلبا على تنفيذ أعمال المسح الراداري حيث ادى الى صغر المساحات المتاحة للقياس خصوصا عند استخدام الهوائيات ذات التردد الواطئ التي تكون كبيرة الحجم نسبياً .

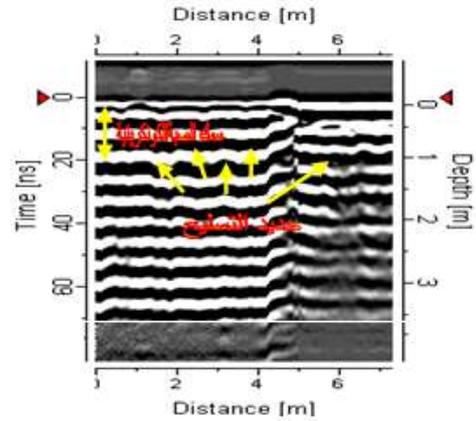
4- تم تمييز منطقة تخسف في الجانب الشرقي فضلا عن وجود كتله اسطوانية صلدة قد تكون بئر مطمور شكل (10).

5- وجود اسس وجدران على شكل اذرع في الجهة الجنوبية تمتد من اساس المنارة الى الخارج وان الفراغات ملئت بترية غير متماسكة شكل (11).  
6- وجود تخسف في الجانب الغربي بعمق 1.5 متر تقريبا.

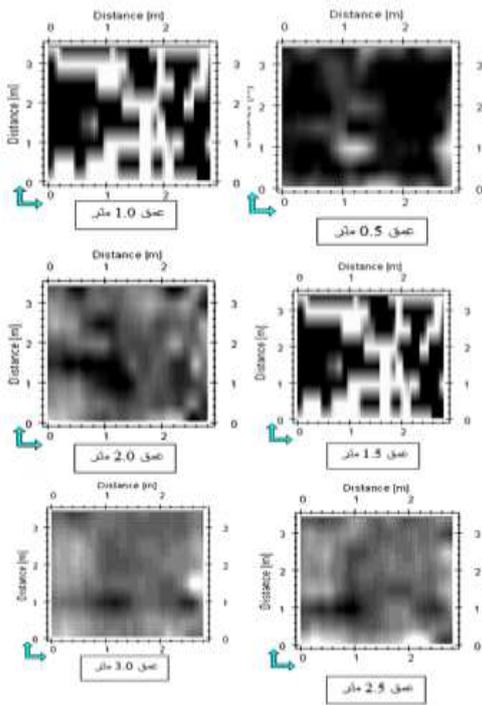
7- وجود أسس او جدران مدفونة خلف حائط المسجد في المنطقة المجاورة للمنارة شكل (12).



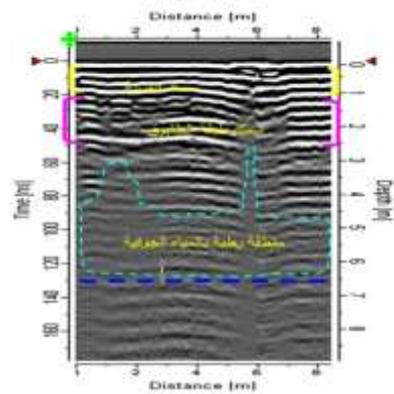
شكل (10) (A) مقطع عمودي (B) مقطع افقي يبين وجود منطقة تخسف وبئر مطمورة في الجانب



شكل (8) طبقة الكونكريت المحيطة بقاعدة المنارة



شكل (11) مقاطع افقية لآثار الاسس والجدران في الجهة الجنوبية للمنارة



شكل (9) طبقة بسمك 3متر تقريبا في الجانب الشمالي من المنارة تحت طبقة الكونكريت.

## المصادر :

الكفلاوي، سامي عبد الحسين (2004). الصيانة الأثرية لبعض الصروح الإسلامية، 21-35 ، بغداد ، العراق.

**Annan, A. P.** (1989). Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications, Ed. Sensors and Software inc (Canada), 271.

**Annan, A. P.** (2004). Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications, Mississauga, on Canada, Sensors and Software, 293.

**Bentley, L. R., and Gharibi, M.** (2004). Two- and Three-dimensional Electrical Resistivity Imaging at a Heterogeneous Remediation Site, Geophysics, 69, 674 – 680.

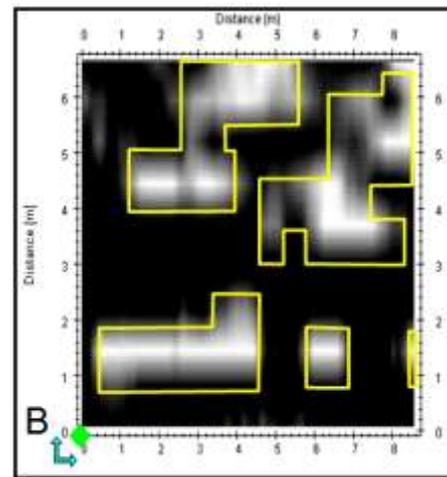
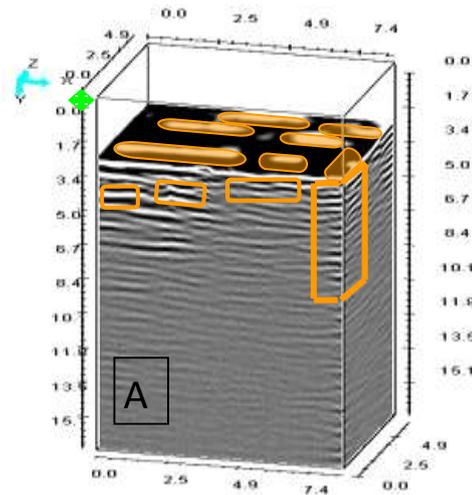
**Bernth, J. and Johan, F.** (2005). Applied GPR Technology Theory and Practice, 1<sup>st</sup> Edition, Malå Geoscience AB, Skolgatan 11 S-93070 Malå, Sweden.

**Dobrin, M. B.** (1976). Introduction to Geophysical Prospecting , 3th Edition, McGraw-Hill, New York, 630.

**Fernando, L.** (1982). The Static Restoration of Monuments Basic Criteria Case Histories Strengthening of Building Damaged by Earthquakes , Al Hadba Create Mosque Minaret in Mosul Restoration Project Fondedile SP A – Via Verdi , 35 Naples Italy.

**Lizzi, F.** (1980). The use of Pali Radic (Root Piles ) in the Underpinning of Monuments and Old Building and in the Consolidation of Historic Centers” FondedileS P A – Via Verdi , 35-80133 Naples Italy.

**Moustafa, K. and Hussein, K. F.** (2007). Performance Evaluation of Separated Aperture Sensor GPR System for Land Mine Detection, Progress In Electromagnetics Research, PIER 72, 21–37.



شكل (12) (A) مجسم ثلاثي الابعاد (B) مقطع افقي يبين وجود اسس او جدران مدفونة خلف حائط المسجد في المنطقة المجاورة للمنارة.

- Methods). Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer-Verlag, Berlin. 205-238.
- Seidel, K. and Lange, G. (2007).** Geophysics (Direct Current Resistivity
- Sharma, P. V. (1976).** Geophysical Methods in Geology, Amsterdam, Elsevier Scientific Pub. Co. Netherland.
- Slater, L. (2007).** Near Surface Electrical Characterization of Hydraulic Conductivity from Petrophysical Properties to Aquifer Geometries. A Review, Surv. Geophys. 28, 169-197.
- Sushil, S. S. (2004)** .Reconstruction of Ground Penetrating Radar Images Using Techniques Based on Optimization, A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, (1-4).
- Telford, W. M.; Sheriff, R. E. and Keys, D. A. (1976).** Applied Geophysics, First Edition, Cambridge University Press,548.
- William, J. J. (2003).**Geophysical Detection of Graves –bas Backgroud and Case Histories From Historic Comities, Council for West Virginia Archaeology Spring Workshop Charleston, West Virginia.