

## تقييم طبقات الاسفلت والطبقات التحتية باستخدام الرادار الارضي

احمد عمران عبد الكريم فراس صبحي حميد حسن علوان عطار

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

بغداد- العراق

## الخلاصة

يستخدم رادار الاختراق الارضي (GPR) بصورة واسعة في هندسة الطرق، لذلك تم اختيار هذه التقنية لاجراء الدراسة لتقييم حالة التبليط (تحديد سمك الاسفلت والطبقات التحتية الساندة وكشف اضرارها) في احد الطرق في موقع وزارة العلوم والتكنولوجيا، حيث استخدمت ثلاثة هوائيات من النوع المغلف (Shielded Antenna) ذات ترددات (500,800,1000MHz) لجمع البيانات الحقلية. اجريت المسوحات الرادارية في اربعة مسارات لكل هوائي بطول (70m). بينت النتائج امكانية تحديد سمك طبقة الاسفلت والطبقات التحتية الساندة، وكذلك كشف التكرسات والتكهفات وتحديد مواقعها واعماقها.

**الكلمات المفتاحية:** الهوائيات المغلفة، ثنائي القطب المحتث، توهين الاستطارة وتوهين التوصيلية الكهربائية.

## Evaluation of Asphalt and Sub-grade Layers by Using Ground Penetrating Radar

Ahmed Omran Abdulkareem Firas Subhi Hammeed Hassan Alwan Attar  
Ministry of Science and Technology / Space Technology and Communication- Center  
of Geophysics and Water Resources  
Baghdad- Iraq  
E-mail: ahmed196534@gmail.com

### Abstract

The Ground Penetrating Radar (GPR) technique have been widely used in road engineering evaluations and determine the thickness of each layer for a bystreet within the area of the Iraqi Ministry of Science And Technology. Different shielded antennas where used with center frequencies 1000, 800 and 500 MHz to collect the data. The survey was done with four tracks on the ground with 70m long each. The result showed the ability of the GPR technique to determine the asphalt and sub-grade layers and their thickness as well as fractures and voids if any. Moreover its ability to specify their locations and the depths.

**Key Word:** Shielded Antenna, Dipol Moment, Scattering Attenuation, and Eclectic Conductivity Attenuation.

## المقدمة

وكذلك استخدمه (Edwards and Mason, 2011) في تقييم طريق تابع للقوة الجوية الامريكية، اذ استخدم هوائيات مغلقة بترددات (800,900,1000,1200,1500,2300MHz)، وكذلك هوائي متعدد القنوات نوع (MIRA Mala) الذي يعطي صور رادارية ثلاثية الابعاد، في تحديد سمك الاسفلت والطبقة الخرسانية التحتية الساندة وبيان عيوبها. وكذلك استخدمه (Hadi and Preko,2013) في تقييم طبقات اكساء الطرق في مدينة (Kumasi) في الصين حيث استخدم هوائي بتردد (800MHz). وفي العراق استخدمه (Karim and Al-Qaissi, 2014) في تقييم طريق في الجامعة التكنولوجية في مدينة بغداد، اذ استخدم هوائيات بترددات (250,500,800MHz)، وقارن النتائج مع اللب الاسفلتي. تهدف الدراسة الى تقييم طبقة الاسفلت والطبقات التحتية لاحد الطرق في وزارة العلوم والتكنولوجيا باستخدام الرادار الارضي.

## المواد وطرق العمل

## العمل الحقلية

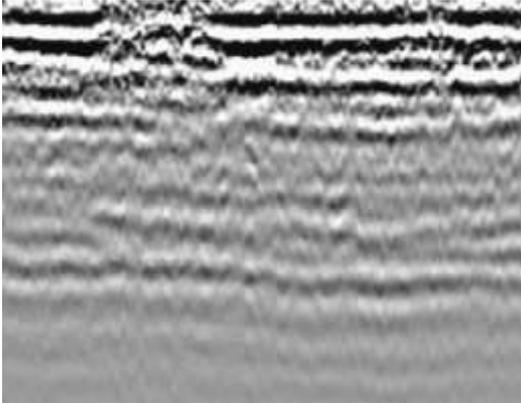
اجريت الدراسة على طريق معبد في موقع وزارة العلوم والتكنولوجيا / بغداد- العراق، بطول (70m)، اخذت اربع مسارات طولية لكل هوائي (طول المسار 70m). اجريت المسوحات الحقلية باستخدام جهاز رادار الاختراق الارضي (GPR)، من انتساج شركة Mala Geosciences السويدية، شكل (1).

ان تقييم رداءة اكساء الطرق بالاسفلت والطبقات التحتية وما تسببه من مشاكل مستقبلية في تكوين التكهفات والتكسرات، فضلا عن تحديد التغيرات في سمك هذه الطبقات، والكشف عن عيوبها وتحديد امكانها واعماقها من الامور المهمة في تقليل زمن وكلفة عمليات المعالجة. ومن الاجهزة المهمة في هذا المجال هو جهاز رادار الاختراق الارضي (Ground Penetrating Radar GPR)، وهو من التقنيات الجيوفيزيائية غير اتلافية، يستخدم الموجات الراديوية (Radio Waves) في الكشف عن الاهداف الموجودة تحت السطح، بواسطة التباين (Contrast) في العزل الكهربائي (Dielectric) بين الاهداف والوسط المحيط (Johansson and Friborg, 2005). يعمل جهاز الـ(GPR) من خلال تثبيت المرسل (Transmitter) والمستقبل (Receiver) بشكل هندسي، يفصل بينهما مسافة ثابتة تعتمد على تردد الهوائي. اذ يتحرك الهوائي فوق السطح فيقوم المرسل بارسال الاشارة الرادارية الى داخل الارض، ويعمل المستلم على تسجيل الاشارة المنعكسة من سطوح الاجسام لتكوين صورة رادارية (Radargram) للجسم المدفون. (Uduwawala, et al., 2005) (Loken, 2007). استخدم (Kun, et al., 2009). هذه التقنية لتقييم الطريق العام في مدينة (Minnesota) الامريكية، فقد استخدم عدد من الهوائيات بترددات (400,500,1000,1500MHz) لاعطاء تقييم شامل ودقيق لطبقة الاسفلت والطبقات التحتية وبيان عيوبها، كما استخدمه (Korczak, et al., 2012) لتقييم طبقة الاسفلت للطريق العام في مدينة (Trenton)، اذ استخدم هوائي بتردد (2GHz)، للحصول على بيانات بدقة عالية، في تحديد سمك الاسفلت والعيوب الدقيقة.

Interval: 0.05m  
 كما استخدم الهوائي (500MHz) للكشف عن  
 التخسفات والتكهفات اسفل الطبقة الاسفلتية، تم  
 اختيار المعاملات التالية لتشغيل الهوائي:  
 Sampling Frequency: 6755MHz,  
 Number of Stacks: 4, Number of  
 Samples: 512, Time Window:76ns, Trace  
 Interval: 0.07m

### النتائج والمناقشة

الشكل (2) يوضح مقطع راداري لاجد المسارات  
 باستخدام الهوائي (1000MHz)، حيث يبين وجود  
 ثلاث طبقات، الاولى (layer 1) طبقة الاسفلت  
 سمكها 10cm، تليها طبقة سائدة (layer2) سمكها  
 10cm، تليها طبقة تحتية سائدة (layer3) سمكها  
 30cm، شكل(3)، كذلك يبين وجود تخسف في طبقة  
 الاسفلت قريب من السطح.



شكل (2) وجود ثلاث طبقات، طبقة اسفلت  
 (layer 1) سمكها 10cm، طبقة سائدة  
 (layer2) سمكها 10cm، طبقة تحتية سائدة  
 (layer3) سمكها 30cm، الهوائي المستخدم  
 .1000MHz

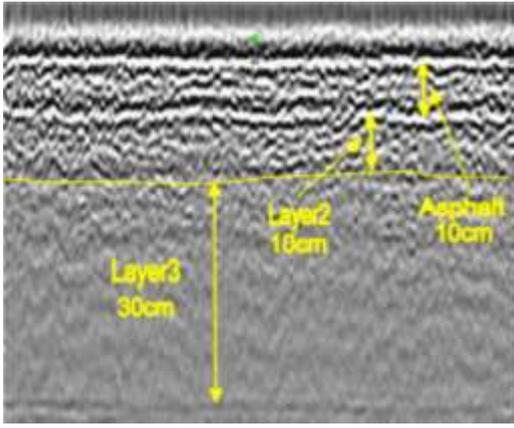


شكل (1) جهاز رادار الاختراق الارضي (GPR)  
 في موقع العمل، استخدم الهوائي المغلف  
 .800MHz

كما استخدمت برامج التشغيل والتفسير من نفس  
 الشركة المصنعة وهي: البرنامج التشغيلي  
 (Ground Vision) وبرنامج التحليل  
 والتفسير (Rad Explore).

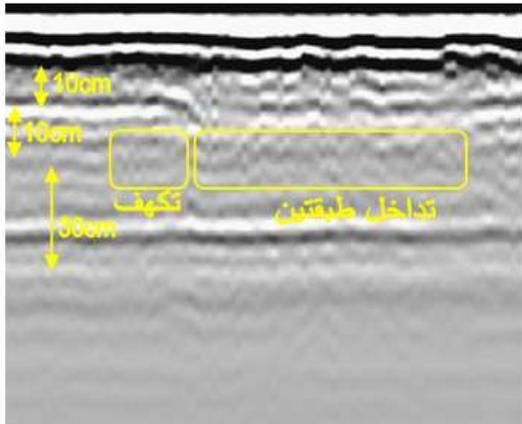
اجريت القياسات بشكل مسارات متوازية. اختير  
 عداد العجلة لحساب المسافة. استخدمت ثلاثة  
 هوائيات من النوع المغلف (Shielded Antenna)  
 ذات ترددات (500,800,1000MHz)، تم اختيار المعاملات  
 التالية لتشغيل الهوائي (1000MHz) والتي كانت  
 ملائمة لعمل الجهاز بافضل صورة:  
 Sampling Frequency:10900MHz,  
 Number of Stacks: 4, Number of  
 Samples: 248, Time Window:23ns, Trace  
 Interval: 0.05m

وكذلك استخدم الهوائي (800 MHz) لنفس  
 الغرض، وللكشف عن تشوهات الطبقات اسفل الطبقة  
 الاسفلتية، تم اختيار المعاملات التالية لتشغيل  
 الهوائي: Sampling Frequency: 9697MHz,  
 Number of Stacks: 6, Number of  
 Samples: 296, Time Window:31ns, Trace



شكل (5) تداخل في الطبقة الساندة (layer2) مع الطبقة التحتية الساندة (layer3). الهوائي المستخدم 1000MHz.

وقد لوحظ عند استخدام هوائي بتردد 800MHz ان طبقة الاسفلت لم تكن واضحة مقارنة مع استخدام الهوائي ذو التردد 1000MHz، كما نلاحظ وجود تكهف في الطبقة الساندة (layer2) بعمق 17cm وتداخل بين الطبقة الساندة (layer2) والطبقة التحتية الساندة (layer3) كما في الشكل (6).

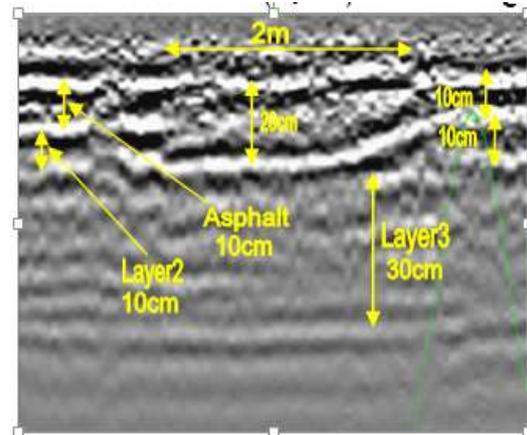


شكل (6) طبقة اسفلت سمكها (10cm)، طبقة ساندة (layer2) سمكها (10cm)، طبقة تحتية ساندة (layer3) سمكها (30cm)، وجود تكهف في الطبقة الساندة بعمق (17cm)، وتداخل بين الطبقة الساندة والطبقة التحتية الساندة. الهوائي المستخدم 800MHz.



شكل (3) مقطع عرضي للطريق قيد الدراسة يوضح طبقة الاسفلت والطبقات الساندة الثانية والثالثة.

الشكل (4) يبين جزء من الطريق في موقع اخر حيث نلاحظ وجود تهطل في طبقة الاسفلت (layer 1) وتداخلها مع الطبقة الساندة (layer2) ولمسافة 2m.



شكل (4) تداخل في طبقة الاسفلت (layer 1) والطبقة الساندة (layer2) ولمسافة 2m. الهوائي المستخدم 1000MHz.

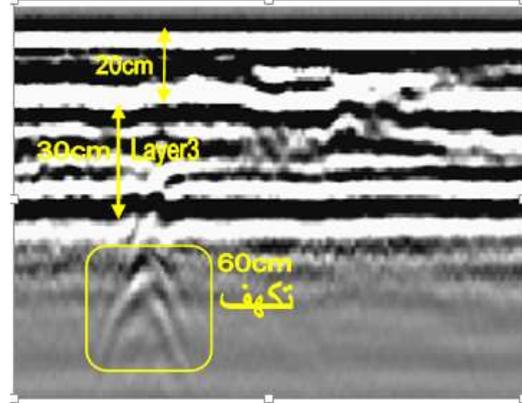
وفي موقع اخر، نلاحظ وجود تداخل في الطبقة الساندة (layer2) مع الطبقة التحتية الساندة (layer3)، كما في الشكل (5).

اذ نلاحظ ان سمك الطبقة يتناسب عكسيا مع تردد الهوائي (f) والجذر التربيعي لثابت العزل (ε). (Korcak, et al., 2012).

ان قدرة اختراق الهوائي (1000MHz) لم تتجاوز (0.5m)، بينما تجاوزت قدرة اختراق الهوائيان (500MHz , 800MHz) اكثر من ذلك، وذلك بسبب عاملين مؤثرين على الاشارة الرادارية هما توهين الاستطارة (Attenuation Scattering) وتوهين التوصيلية الكهربائية للوسط وكما ذكر ذلك (Harry,2009) و (Jorge and William, 2007). اذ يكون تأثير توهين الاستطارة للموجات 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 تنتشتت، وان نسبة قليلة منها سوف تمر خلال الوسط. يقال عن هذه الخسارة في الطاقة بتوهين الاستطارة، وكما ذكر ذلك

(Abdulkareem, et al.,2013 Harry, 2009) اما التوهين الحاصل بسبب التوصيلية الكهربائية للوسط (بسبب زيادة رطوبة الوسط) فعند سقوط النبضة الكهرومغناطيسية خلال الوسط فان شحنات الوسط ستكون مستقطبة بتأثير المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية (Salih, 2008). اي ان الجزيئات المشحونة سوف تصطف مكونة مايسمى بثنائي القطب المحتث (Dipolmoment)(Harry,2009). ان لثنائي القطب المحتث مجال كهربائي معاكس للمجال الكهربائي للنبضة الساقطة. وبالتالي يحد من شدته. تعتمد كثافة ثنائي القطب على شدة المجال الكهربائي الساقط (Johansson and Friberg, 2005) و (Hannu, 2008).

عند استخدام هوائي بتردد 500MHz، نلاحظ ظهور طبقة الاسفلت (layer 1) والطبقة الساندة (layer2) كطبقة واحدة بسمك 20cm، تليها طبقة تحتية ساندة (layer3) سمكها 30cm. كذلك نلاحظ وجود تكهف اسفل الطبقة التحتية الساندة بعمق 60cm. الشكل (7).



شكل (7) ظهور طبقة الاسفلت والطبقة الساندة كطبقة واحدة سمكها (20cm)، طبقة تحتية ساندة 30cm، تكهف اسفل الطبقة التحتية الساندة بعمق (60cm). الهوائي المستخدم 500MHz.

ان وضوح الطبقات في الصور الرادارية، الاشكال (2 ، 4 و 5) عند استخدام الهوائي (1000MHz)، يعود الى القدرة التحليلية العالية (High Resolution) للهوائي المستخدم في تمييز الطبقات، نتيجة الطول الموجي القصير، مقارنة بالهوائيين ذات الطولين الموجيين (500MHz, 800MHz)، اذ تتناسب القدرة التحليلية العمودية (Vertical Resolution) مع تردد الهوائي وكما اشار (Korcak, et al., 2012) و (Johansson and Friberg, 2005)، اذ يعتمد الكشف عن اقل سمك للطبقة ( $d_{min}$ ) باستخدام الـ (GPR) على تردد الاشارة (f)، كما في العلاقة التالية:

$$d_{min} = (A c)/(f \sqrt{\epsilon}) \dots\dots\dots(1)$$

حيث A ثابت قيمته (0.25-0.5).

## الاستنتاجات والتوصيات

1. تطابق قيم اسماك طبقة الاسفلت والطبقات التحتية المستخرجة باستخدام الرادار الارضي مع الواقع العملي للطريق.
2. وجود بعض التكهفات والتكسرات في طبقة الاسفلت والطبقات التحتية.
3. وجود تهطل في طبقة الاسفلت وتداخلها مع الطبقة الساندة في بعض اجزاء الطريق.
4. كفاءة استخدام تردد الهوائي 1000MHz في دقة قياس سمك الطبقات مقارنة بالترددات الاوطأ (800MHz, 500MHz).
5. يمكن استخدام الهوائي 800MHz في التمييز بين الطبقات بدقة مقبولة.
6. عدم كفاءة الهوائي 500MHz في تمييز الطبقات ذات السمك القليل بصورة دقيقة.
7. كفاءة استخدام تردد الهوائي 500MHz في الكشف عن التكهفات العميقة نسبياً.
8. كان تأثير الرطوبة واضحاً في الحد من قدرة اختراق الإشارة الرادارية.
9. نوصي باستخدام الترددات الاعلى ( 1.2, 1.6, 2 GHz) للكشف عن العيوب الدقيقة للاسفلت، وتمييز سمك الطبقات بدقة عالية جداً، مع مراعات الاعماق القليلة التي تخترقها تلك الترددات.

إذا كانت ثنائيات القطب حرة الحركة، ويمكنها ان تتفاعل فيزيائياً (ثنائيات القطب لجزيئات الماء الموجودة بين جسيمات الوسط) فان عملية الاستقطاب والازاحة تحول بعض من الطاقة الكهرومغناطيسية الى حرارة، نتيجة تصادمها مع بعضها، وبذلك يحدث توهين بالإشارة الرادارية. لذا فالموجة الرادارية تخترق الاوساط ذات المقاومة العالية أكبر من الاوساط ذات التوصيلية العالية، فمثلاً الاوساط الطينية الرطبة وكذلك المياه المالحة تشكل عائقاً لأداء جهاز الـ(GPR) وتجعل منه تقنية غير كفوءة بسبب التوصيلية العالية لها (Suvarna,2004) (Eyuboglu,et al.,2004) لذلك يفضل استخدام الهوائي (500MHz) للكشف عن التكهفات اسفل الطبقات الساندة، ويكمن استخدام الهوائي (800MHz) للكشف عن طبقات الاسفلت والطبقات التحتية الساندة وتمييز التكهفات والتكسرات. غير ان الهوائي (1000MHz) هو الانسب في تمييز طبقات الاسفلت والطبقات التحتية الساندة، وكذلك الكشف عن التكهفات والتكسرات الدقيقة في الطبقات.

## Reference

**Abdulkareem, A.;** Hameed, F.; Muhammed, 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.** (2005) "Ground Penetrating Radar" Investigations in Geophysics, 13, 357-438.

**Edwards, L. and Mason, Q.** (2011) "Evaluation of Nondestructive Methods for Determining Pavement Thickness" Geotechnical and Structures Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, ERDC/GSLTR ,11 (41) 39.

**Eyuboglu, S.;** Mahdi, H. and AlShu-kri, H. (2004) "Detection of Water Leaks Using Ground Penetrating Radar" Department of Applied Science University of Arkansas at Little Rock, USA, 122.

- Hadi, M.** and Preko, K. (2013) "Thickness Evaluation of Asphalt and Base Layers of some Major and Minor Arterial Roads in Kumasi Using Ground Penetrating Radar" International Journal of Scientific and Engineering Research, 4, Issue3, ISSN 2229-5518.
- Harry, M. J.** (2009) "Ground Penetrating Radar Theory and Applications" First Edition, Elsevier, 524.
- Hannu, L.** (2008) "Natural Stone Assessment with Ground Penetrating Radar" Estonian Journal of Earth Sciences, 57 (3), 149-155.
- Johansson, B.** and Friberg, 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: Artifact Removal through Effective Data Processing" SEG Geophysics, (72) (6), J77-J83.
- Korczak, R.;** Abd-elhalim, A. and Purchase, B. (2012) " The Use of Ground Penetrating Radar To Determine An In-situ HMA Surface Course Lift Thickness Profile: A Case Study Highway 401, Trenton Ontario" Paper Prepared for Presentation at the Advances in Pavement Evaluation and Instrumentation Session of the Conference of the Transportation Association of Canada Fredericton, New Brunswick (p14).
- Karim, H.** and Al-qaissi, A., (2014) "Evaluation of Road Pavement and Subsurface Defects Mapping Using Ground Penetrating Radar (GPR)" Eng. and Tech. Journal, 32, part(A), 5, 1240-1250 .
- 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 Penetrating Radar" International Journal of Applied Science and Engineering. 6 (3), 207-214.
- Loken, M.** (2007) "Use of Ground Penetrating Radar to Evaluate Minnesota Roads" Final Report, Minnesota Department of Transportation Research Services Section, 39.
- Salih, S. A.** (2008) "Applications of Ground Penetrating Radar (GPR) in Detection Groundwater Table" Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Iraq. This Research Achieved in Division of Environmental and Resources Survey Center of Northeast Asian Studies, Tohoku University, Sendai, Japan, Tikrit Journal of Pure Science, ISSN: 1813- 1662, 12, 1.
- Suvarna, 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, 88.
- 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.