



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية العلوم / قسم علم الارض التطبيقي

Using GPR Method to investigate Archaeological Features in Tell-Aldeylem, Southern of Babylon City

استخدام جهاز رادار اختراق الارض (GPR) في الكشف عن الاثار
في منطقة تل الديلم (قصر دلبات البابلي) في جنوب محافظة بابل

بحث تخرج مقدم الى قسم علم الارض التطبيقي- كلية العلوم- جامعة بابل

من الطالب

اكرم جميل جاسم حسين

أشراف الدكتور

احمد مسلم عطا الله الخواجة

2022

شكر وتقدير

اقدم شكري الجزيل الى عميد وعمادة كلية العلوم جامعة بابل لرعايتهم العلمية والتربوية القيمة طيلة فترة دراستي وإنجازي بحث التخرج.

شكري وتقديري العميق لأستاذي المشرف على البحث الدكتور احمد مسلم الخواجة لاقتراحه موضوع البحث وتوفير المصادر بالإضافة الى توجيهاته العلمية القيمة ومساعدته المستمرة وتعاونه في كل وقت وتحفيزه طول فترة إعداد البحث .

كما أود أن أشكر رئيس قسم علم الارض التطبيقي الدكتور جعفر حسين علي الزبيدي على تشجيعه المستمر ومتابعته مراحل انجاز البحث.

والشكر موصول الى جميع أساتذة القسم الذين بذلوا كل جهد ووقت وعلم طيلة فترة اربع سنوات مدة دراستي في القسم، والذي تمكنت من خلالهم انجاز بحث التخرج المتواضع هذا.

اقدم امتناني ومحبتي الى جميع زملائي الذين رافقوني فترة دراستي في قسم علم الارض وخاصة الذين دعموني في انجاز بحث التخرج.

واقدم الشكر والتحية لجميع المعيدين والموظفين في القسم لتعاونهم معي طيلة فترة دراستي.

اكرم

الخلاصة

تم استخدام طريقة رادار اختراق الارض (GPR) على مساحة $595m^2$ (35×17 m) على الجزء الشمالي الغربي من مدينة دلبات الاثرية المكتشفة حديثا والتي تقع ضمن تل الديلم الواقع على بعد (30km) جنوب مدينة الحلة ، بين خطي طول ($44'46''755$ N و $44'46''779$) وبين خطي عرض ($32'29''6212$ E و $32'29''5864$)

تم مسح 7 مسارات بجهاز GPR باتجاه شمال - جنوب كانت عامودية على الاتجاه الطولي لجدار المدينة الاثرية الرئيسي والذي ينكشف جزء منه عند نقطة الحفر والمحفورة حديثا من قبل الأثريين . كان طول المسار الواحد (17 m) والمسافة بين مسار واخر (5m) . تم استخدام المرسلات ذات التردد (250 MHz) حيث تم اجراء فحوصات على كفاءة المرسلات (100 & 250 & 500) ميكاهرتز . لاحظنا ان المرسلات (250 mHz) تحقق افضل نتائج وعمق اختراق للأرض (5m) يتناسب مع طبيعة المنطقة المدروسة. وتم اختيار توقيت اجراء المسح العملي في الشهر الرابع من هذا العام حرصا منا ان تكون التربة جافة وبالتالي لا يوجد ضياع وتشتت في الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة من جهاز (GPR).

بعد تحليل بيانات الرادار كرام للمسارات ال 7 تم التعرف على شاذة رئيسية من نوع نقطي (قطع مكافئ) يمكن ان تمثل جدار الرئيسي للقصر وعلى عمق (1.3m) من سطح الارض ومسافة (5.5m) من بداية المسار وهذا يتطابق مع بيانات الجزء المحفور في الموقع الاثري. وكذلك بين GPR وجود جدران على مسافة (8-11.7 m) على التوالي وعلى عمق (1.5 m) من سطح الارض يمكن ان تمثل جدران لغرف بعد الجدار الرئيسي الذي يعتبر الحدود الخارجية لمدينة دلبات. ان نتائج مسح GPR الحالية اعطت صورة واضحة عن ما مدفون من اثار تحت السطح. وهذا مشجع لأجراء مزيد من المسوحات GPR الاخرى في جميع اجزاء المدينة لرسم صورة واضحة ومترابطة تكشف عن ما مدفون منها تحت التربة.

جهاز الرادار المخترق للأرض والذي يعرف اختصاراً (جي بي آر) والمشتق من الحروف الأولى من اسم الجهاز باللغة الانكليزية (Ground Penetrating Radar) هو تقنية جيوفيزيائية تستخدم الاشعة الكهرومغناطيسية ذات التردد العالي (1_1000 mHz) للكشف عن التراكيب والاجسام الضحلة او القريبة من السطح. بذلك يسمح باكتشاف المعالم الأثرية المدفونة تحت السطح وتحديد موقعها وعمقها وأبعادها ورسم خرائط لها بطريقة سريعة وأكثر اماناً من تلك الأساليب الميدانية التقليدية المستخدمة في التنقيب عن الآثار مثل الحفر المباشر والتي يمكن ان تسبب ضرر للأجسام الاثرية المدفونة. وبصوره عامه تعتمد طريقة عمل الرادار المخترق للأرض على قياس الوقت المنقضي بين لحظة اطلاق الموجات الراديوية الكهرومغناطيسية من هوائي الرادار على سطح الارض لتنتقل في الارض واستلام الموجات المنعكسة عند الانقطاعات المدفونة (اصطدامها بتغيير في الخواص الكهربائية والمغناطيسية) والراجعة مرة أخرى الى السطح ، تعتمد قابلية استكشاف عمق الاجسام المدفونة وتحديد نوعية سطح الانقطاع المسبب لانعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية بشكل جزئي على تردد الاشعة. فالمرسلة ذات التردد المنخفض (100-400 mHz) قد تصل الى عمق من (15-20 m) في التربة الرملية الجافة ، والى (5-10 m) في التربة الطينية. اما المرسلة ذات التردد العالي (500-1000 mHz) قد تصل من (2-1 m) في التربة الرملية الجافة ، والى اقل من 1 m في التربة الطينية. وبشكل عام يقل عمق اختراق الامواج الرادارية المرسله الارض بزيادة التوصيل الكهربائي للتربة وزيادة تردد الموجة. وال(GPR) يسمح لعلماء الآثار باكتشاف ورسم خرائط المعالم الأثرية المدفونة للتعرف وفهم الصورة الحقيقية للآثار المدفونة بطرق غير ائتلافية كما في استخدام الأساليب الميدانية التقليدية..

. ان رادار المخترق للأرض هو أكثر فاعلية مع المواقع المدفونة حيث توجد القطع الأثرية والمعالم ذات الأهمية على بعد (3-0.5 m) من السطح ولكن تم استخدامها أحياناً للرواسب المدفونة بعمق أكبر. يقوم مجتمع متزايد من علماء الآثار بدمج رادار اختراق الأرض (GPR) كإجراء ميداني روتيني لتحليل المناظر الطبيعية تعمل خرائطهم وصورهم كبيانات أولية يمكن استخدامها لتوجيه موضع الحفريات وتحديد المناطق الحساسة التي تحتوي على بقايا ثقافية لتجنب المواقع الأثرية ووضعها في سياق بيئي أوسع. حيث GPR أفضل النتائج في السياقات الأثرية حيث تكون المعالم المستهدفة كبيرة بالقرب من السطح وتتناقض بشدة مع الطبقات المحيطة المتجانسة. من المعروف أن مدينة بابل تتمتع بمكانة مهمة بين العواصم الأخرى في العالم القديم. امتدت مساهمات بابل للبشرية إلى مجالات مختلفة شملت : العلوم والأدب والفن. علاوة على ذلك كانت مركز العراق لنحو القرن الخامس عشر وعاصمة لعشر سلالات

حاكمة هناك العديد من الأماكن داخل المدينة الأثرية التي لم يتم استكشافها. يمكن أن يكون المسح الجيوفيزيائي هو أفضل طريقة للاستكشاف. إلى جانب ذلك تتعرض مدينة بابل الخالدة للعديد من الأضرار . المياه الجوفية والترربة المالحة تتسبب في انحلال ما تبقى من الجدران والأساسات مما يجعل بعضها مجرد ركام. هذه الظاهرة تحتاج إلى التحقيق الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة هي:

- استكشاف المعالم الجوفية في جزء معين من مدينة بابل بطرق جيوفيزيائية غير مدمرة.
- المساهمة في توفير البيانات الأساسية التي تكون بمثابة نقاط انطلاق لاستراتيجيات إدارة الموارد الأثرية في مدينة بابل

وهناك بعض التطبيقات الهامة الأخرى المستخدمة في الكشف عن الاجسام المدفونة بواسطة GPR مثل:

(1) الافران والمواقف وتجمعات الحديد (سكراب) المدفونة

يستخدم رادار اختراق الأرض (GPR) لرسم خرائط مواقع الافران والمواقف الاثرية والتجمعات المعدنية المدفونة. لأن شذوذ الرادار يحدد بدقة النقاط الساخنة اعتمادا على ما تفعله الحرارة العالية في تركيز مكونات الحديد في مواقع الموقد والافران مما يولد تباين عالي في الخواص الكهربائية والتي تعطي نتائج ايجابية واضحة في مسح GPR , وبهذا تكون وسيلة قوية لاكتشاف حجم وشكل وامتداد التجمعات الحديدية والمواقف المدفونة (Annan, 2009) .

(2) رسم اسس الهياكل والمباني المدفونة

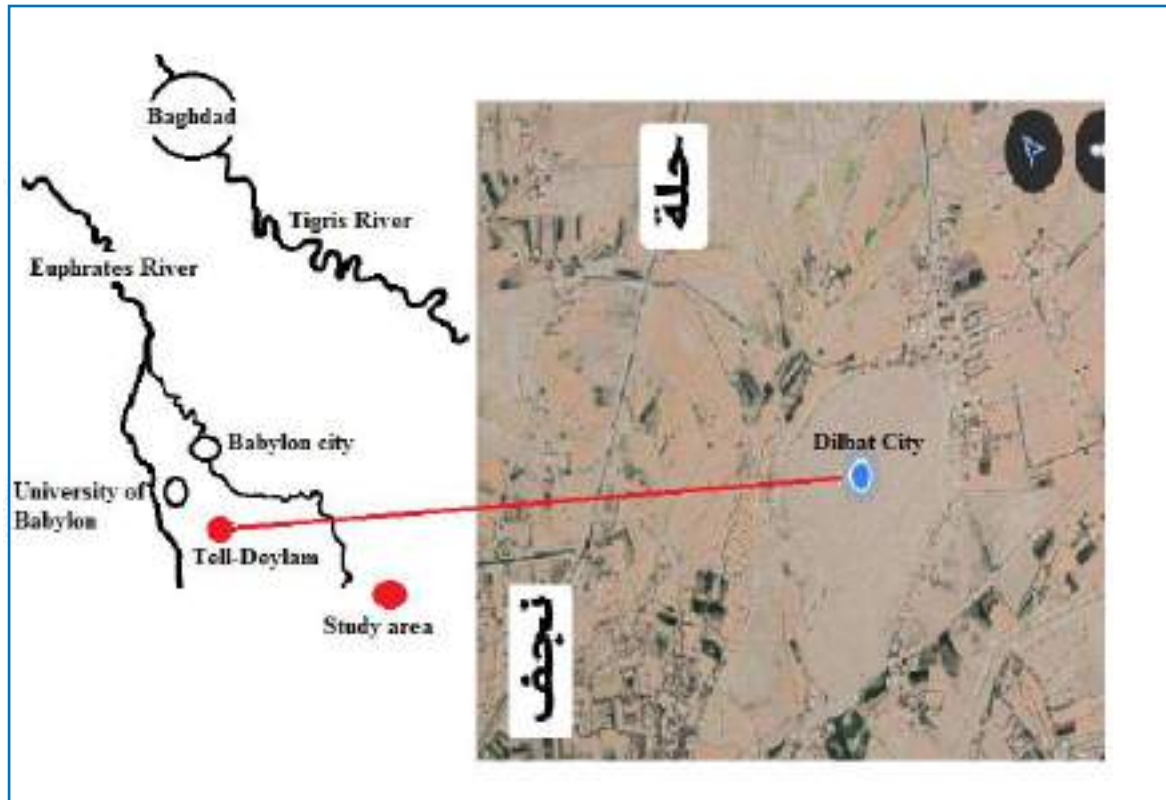
يوفر رادار الاختراق الأرضي (GPR) وسيلة قوية لرسم خرائط اسس الهياكل المباني المدفونة تحت السطحية بشكل واضح وتحديث العديد من الخرائط المتوفرة القديمة وغير الدقيقة. وكذلك يمكن أن توفر مسح GPR كشفاً دقيقاً للمرافق والأنفاق والأنابيب والكابلات التي تكون مهمة للتخطيط والتطوير في المستقبل.

الهدف من هذا البحث هو استخدام تقنية ردار اختراق الارض للكشف عن الاثار المدفونة في قصر دلبات السومري والمكتشف حديثا والواقع ضمن تل الديلم الاثري جنوب محافظة بابل.

٢- موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة على بعد حوالي 30 km جنوب مدينة الحلة على طريق حلة- نجف. وتبعد عن جامعة بابل بحدود (15 km) الى الجنوب الغربي منها. تغطي منطقة المسح GPR مساحة (595m²) في الجزء الشمالي الغربي من مدينة دلبات السومرية الاثرية القديمة والمكتشف حديثا، والتي مساحتها (4800m²)، والتي تقع فوق تل الديلم الذي يغطي مساحة (17000 m²). وتنحصر بين خطي طول و عرض (N"44'46"7791 E"32'29"5864)، كما في شكل رقم (١).

بشكل عام ، يرتفع التل الاثري (3 m) عن ما يجاوره من الاراضي التي حواله. تغطية تربة طينية سلتية جافة . لا توجد نباتات على سطحه وتتناثر قطع الطابوق والخزف القديم على معظم اجزاء سطحه.



شكل رقم (١) موقع منطقة الدراسة

٣- جيولوجية منطقة البحث

تقع منطقة البحث فوق تل الديلم الاثري الذي يغطي مساحة (17000 m²). وهو عباره عن موقع لأثار مدينة تاريخية قديمة تعود الى اواسط العصر البابلي قبل 1500 سنة قبل الميلاد. يرتفع تل الديلم بشكل عام بحدود من 2-3m عن مستوى سطح الارض وعن الاراضي الزراعية المجاورة. تتكون التربة السطحية لمنطقة الدراسة من تربة سلتية طينية جافة غير متماسكة (Loss Silty Clay Soil) خالية من الغطاء النباتي وتنتشر على سطحها قطع خزفية قديمة واجزاء من الطابوق. والتي على الاغلب ، قد نتجت من تعرية الجدران الاثرية القديمة وترسبت فوقها وغطت التل بالكامل بسماكة بحدود (80 cm). ويوجد اسفل منها عدة جدران مدفونة. ومن المجس او الحفرة المنفذة من قبل الأثريين والقريبة من منطقة المسح GPR . يظهر الجدار الرئيسي بعد طبقة الدفن مكون من طبقتين. الطبقة العليا مكونة من الطابوق الطيني بسماكة (50 cm) . اما الطبقة الثانية التي اسفلها مكونة من بناء بالطابوق المحروق بسماك (120 cm)، كما في شكل رقم (٢).



شكل رقم (٢) مكونات تربة منطقة الدراسة وصورة حقيقية للجزء المحفور من الجدار الرئيسي لمدينة دلبات الاثرية المكتشفة.

٤- خواص طريقة GPR في الكشف عن الاثار

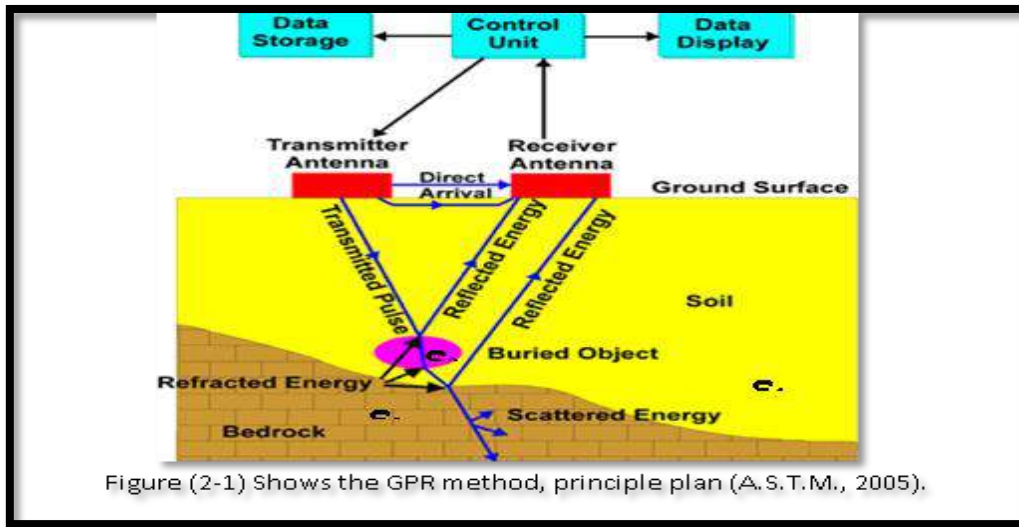
ان اهم مواصفات الموجات الكهرومغناطيسية المستخدمة في GPR هي يتم إضعاف إشارة الرادار بواسطة ظروف الأرض الموصلة كهربائياً. ومن ثم يتحقق اختراق ضعيف للغاية للموجة الكهرومغناطيسية المارة في الأحجار الطينية أو الصلصال أو المارل أو فوق الرواسب المشبعة بالمياه المالحة كما هو الحال في العديد من المواقع الساحلية. بينما في المواقع ذات أرض ذو مقاومة كهربائية عالية نسبياً مثل الرمل والحصى يكون العكس صحيحاً ويمكن الحصول على انعكاسات من أعماق تصل إلى ١٥ متراً أو أكثر. كما في الجليد وهو شديد المقاومة جيد في انعكاس و توصيل الموجة الرادارية الى المستلم في جهاز الـ GPR (Daniels, 1996).

تتيح خصائص الرادار المختلفة بوضوح رسم خرائط لمناطق الطين أو الرمل والحصى بسرعة. يتم تحديد عمق اختراق GPR أيضاً عن طريق تشتت إشارة الرادار في الأرض . مع زيادة التردد تصبح الميزات الصغيرة مثل الاثار الصغيرة والاجسام المعدنية من صنع الانسان (hand made) والشقوق والمفاصل أهدافاً جيدة الشذوذ في موجات الرادار المنعكسة. وبالتالي هناك دائماً مفاضلة بين الحصول على بيانات عالية الدقة واختراق أعمق للإشارة الرادارية في GPR (David et al., 2018).

يتم تحديد دقة الاجسام الإثارية بواسطة تردد الرادار أي أنه كلما زاد التردد زادت الدقة. ومع ذلك قد تظل الطبقة الرقيقة تعطي انعكاساً واضحاً على الرغم من أنه لن يكون من الممكن تحديد أبعاد الطبقة. تحدد التناقضات بين الثوابت العازلة للمواد الأرضية دقة انعكاس الرادار من الأرض. نظراً لأن الماء العذب يحتوي على ثابت عازل مرتفع مقداره ٨٠ فمن المتوقع أن يؤدي منسوب المياه الجوفية العذب (خالي من الاملاح) إلى انعكاس قوي واضح الشذوذ. ويتم تحديد انعكاس الرادار الشاذ للعديد من الرواسب غير الملحية من خلال مزيج من الصخور والهواء والماء. وبالتالي يمكن قياس التغيرات الموسمية في محتوى رطوبة الأرض نوعياً بالتغير في انعكاسية الرادار. وكذلك تتمتع GPR بمعدل سرعة عالٍ في جمع البيانات مما يتيح جمع مجموعات البيانات التفصيلية بسرعة (Davis and Annan, 1989).

٥- طريقة عمل الرادار المخترق الارضي

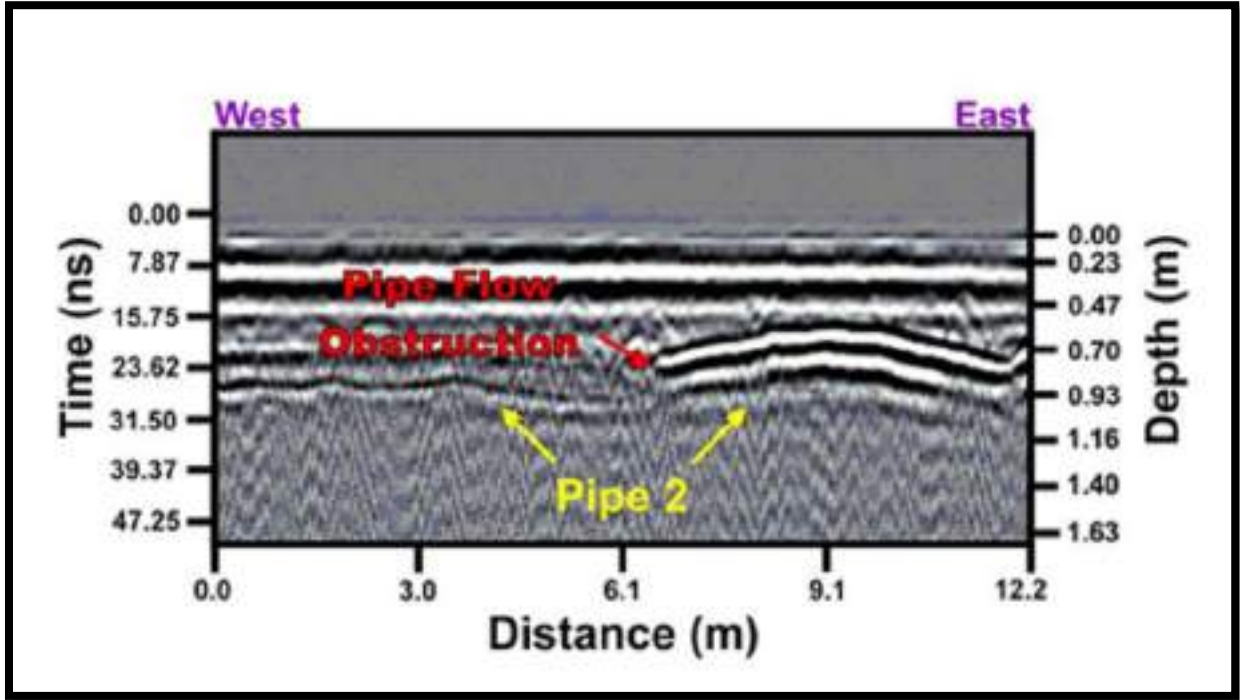
تعتمد طريقة عمل الرادار المخترق الارضي على قياس الوقت المنقضي بين لحظة اطلاق الموجات الراديوية الكهرومغناطيسية من هوائي الرادار على سطح الارض لتنتقل في الارض واستلام الموجات المنعكسة عند الانقطاعات المدفونة والراجعة مرة أخرى الى السطح (Conyers and Goodman, 1997). يرسل جهاز جي بي آر موجات كهرومغناطيسية من المرسل (Antenna) من على السطح الى داخل الارض . والتي ينعكس جزء منها راجعة الى السطح بعد اصطدامها بتغير في الخواص الكهربائية التوصيلية (Dielectric permittivity Contrast) الناتجة من وجود جسم يحمل خواص كهربائية مختلفة عن خواص الصخور المحيطة به. عندها تنعكس الامواج الراديوية الكهرومغناطيسية نتيجة لتغير توزيع وتجانس الخواص الكهربائية تحت السطحية - والتي يمكن أن تكون مرتبطة بتأثير وجود الاجسام والهياكل الأثرية. وعندها يسجل الجهاز وقت وصول الموجات المنعكسة بعد انطلاقها من المرسل اي زمن الذهاب والاياب ويسمى زمن الطريقتين (Two Way Time). فاذا تم معرفة سرعة الموجة المرسله خلال التربة فيمكن قياس عمق الجسم المسبب لانعكاس الموجة الرادارية (المسافة = السرعة * الزمن)، كما هو واضح في شكل (3).



الشكل رقم 3 يبين كيفية عمل جهاز GPR في العمل الحقلية

تعمل GPR بنفس الطريقة التي تعمل بها أنظمة الرادار الملاحية حيث ترسل نبضات من موجات الرادار الكهرومغناطيسية (EM) إلى الأرض من أجل تحديد اعماق واشكال ومواقع الأجسام الموجودة تحت السطح. عندما تواجه الموجة الكهرومغناطيسية المرسله تغيرات في المواد تحت السطحية تتغير خصائص الموجة وينعكس جزء من الموجة مرة أخرى إلى السطح. حيث يتم جمع بيانات عن سعة

الموجة وطولها الموجي ووقت الرحلة ثنائي الاتجاه لتحليلها. يتم جمع البيانات في آثار (Traces) كل منها يعرض الشكل الموجي الكلي لجميع الموجات التي تم جمعها في موقع سطح واحد. عند ترتيبها في مواضعها النسبية يمكن أن تنتج سلسلة من الآثار وعددًا من الأنواع المختلفة من الصور التي تظهر اختلافات في الخصائص الجوفية في الأبعاد الرأسية والأفقية والذي يسمى سجل الرادار (Radargram) (Dojack, 2012) ، كما في شكل رقم 4

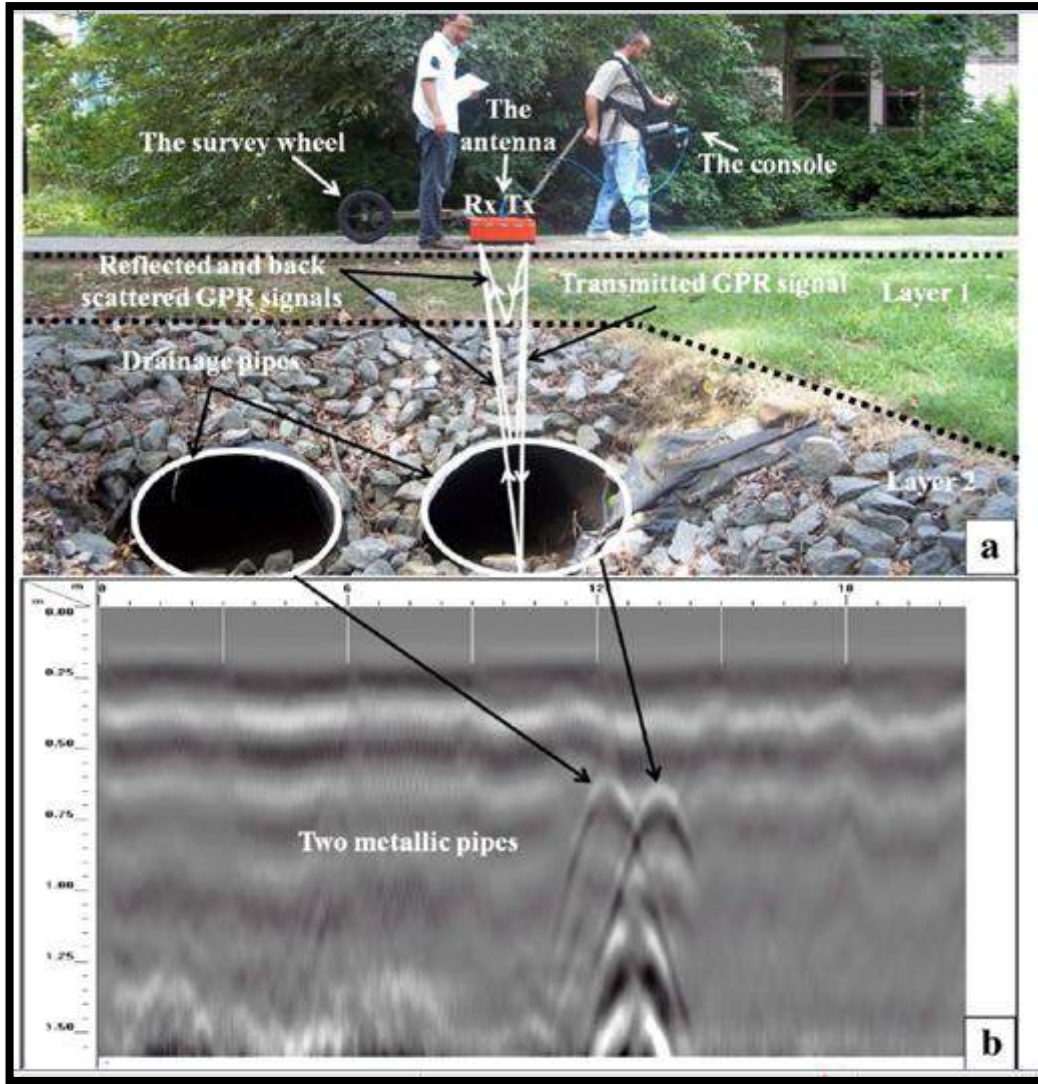


الشكل رقم 4 يوضح نتيجة جهاز (GPR) على الرادار كرام الجهة اليمنى تمثل العمق بالمتر ، والجهة اليسرى تمثل الزمن ثنائي السير بالنانوثانية

أثناء إرسال نبضات الرادار-من خلال مواد مختلفة في طريقهم إلى الأهداف المدفونة تتغير سرعتها اعتمادا على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة التي يتم من خلالها الرحلة (Conyers 2004) (Conyers and Goodman 1997). كلما زاد التباين في الخصائص الكهربائية والمغناطيسية بين مادتين متجاورتين في باطن طبقات الأرض كلما زادت قوة الإشارة المنعكسة وبالتالي زادت سعة الموجات المنعكسة. عندما يتم قياس أوقات الذهاب والاياب لنبضات الطاقة الراديوية ومعروفة سرعاتهم عبر الأرض فإن المسافة (أو العمق في الأرض) يمكن يتم قياسها بدقة لإنتاج مجموعة بيانات ثلاثية الأبعاد (Lucius and Conyers, 1996). في كل مرة تعبر نبضة الرادار مادة ذات تركيبة مختلفة او تغير في الخواص الكهربائية والمغناطيسية تتغير السرعة وينعكس جزء من طاقة الرادار مرة أخرى إلى

السطح ليتم تسجيله عند هوائي الاستقبال . تستمر الطاقة المتبقية تمر في الأرض حتى ينتشر ويتبدد في النهاية بالأعماق البعيدة (Annan and Cosway, 1992).

تسجيل انعكاسات الرادار في طريقة GPR أثناء تحريك هوائيات الرادار على طول الأرض في مقاطع خطية. ويتم إنشاء ملفات تعريف ثنائية الأبعاد لعدد كبير من الانعكاسات الدورية لرسم ملف تعريف لطبقات الأرض تحت السطحية والمعالم المدفونة على طول كل خط. عندما يتم الحصول على البيانات في سلسلة من المقاطع داخل الشبكة والانعكاسات مترابطة ومعالجة نحصل على صورة دقيقة ثلاثية الأبعاد للمعالم المدفونة والطبقات المصاحبة لها.. يمكن أيضاً إنتاج انعكاسات على واجهات بين المعالم الأثرية الشاذة والتربة المحيطة أو الرواسب. كما ان الفجوات الفارغة في الأرض مثل الصناديق في المقابر والأنفاق والأنابيب أو القنوات المدفونة مصنوعة من المعدن أو البلاستيك ستولد أيضاً انعكاسات رادار قوية نتيجة لتغير كبير في سرعة موجة الرادار. تميل هذه الميزات إلى إنتاج انعكاس الأعمدة القطع المكافئ الزائدة المتولدة من (ميزة نقطية) لجسم في باطن الأرض . والتي يمكن أن تكون اجسام أثرية مدفونة أو جذور الأشجار أو الأنفاق التي أنشأتها الحيوانات لتختبئ فيها. هذه النقاط هي القطوع الزائدة (Hyperbola) تم إنتاجه لأن هوائيات GPR تولد حزمة رادار مرسله تنتشر من السطح نزولاً إلى الأرض بنمط مخروطي ينتشر ويسافر أعمق في الأرض (Conyers and Goodman, 1997). كما في شكل رقم (5).



الشكل رقم (5) يوضح عمل جهاز (GPR) في الكشف عن الفجوات والانابيب

تعتمد قابلية استكشاف عمق الاجسام المدفونة وتحديد نوعية سطح الانقطاع المسبب لانعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية بشكل جزئي على تردد الاشعة المرسله في الارض. وان تردد الاشعة سوف تتحكم بالطول الموجي ومقدار التوهين للطاقة الموجية في الارض. ان كل مرسله اشعة مرفقة مع الجهاز لها مركز تردد واحد معلوم يبدا (100-300-500-800-1000 mHz)،

كما في شكل (6) . فكلما زاد تردد الموجات المرسله كان عمق الاستكشاف قليل وقريب من السطح والعكس صحيح.

Lama 250 MHZ

الهوائي المحمي ٢٥٠ ميگاهيرتز هو هوائي للاغراض العامة يستخدم عموماً في التحقيقات التي تتطلب اختراقاً متوسط العمق ودقة متوسطة



_ الأبعاد (0.16*0.44*0.74 m) _ الوزن (7.85 kg)

_ التطبيقات : كشف المرافق ، خزان التخزين تحت الأرض ،

والكشف عن الفراغات

Lama 500 MHZ

الهوائي المحمي ٥٠٠ ميگاهيرتز هو احد الهوائيات الذي يستخدم في المسوحات التي تتطلب عمق اقل ودقة اعلى من هوائي ٢٥٠ ميگاهيرتز ويكون اصغر منه.



_ الأبعاد (38*20*12 cm)

_ الوزن (2.6 Kg)

الشكل رقم (6) يوضح الفرق بين الهوائيات المستخدمة في هذا البحث

✚ كلما زاد التردد قل حجم الهوائي

أحد أهم المتغيرات في استطلاعات GPR هو اختيار antenna بتردد التشغيل الصحيح للعمق المطلوب حيث تتراوح هوائيات GPR العاملة والمرفقة مع الجهاز من 10 إلى 1200 (ميگاهرتز) مركز التردد. ان الاختيار الصحيح لتردد الهوائي في معظم الحالات يساعد في تحقيق الفرق بين النجاح والفشل في مسح GPR لذا يجب التخطيط له مقدماً بشكل صحيح عموماً كلما زاد عمق البحث الضروري للهدف كلما انخفض تردد المرسل (Antenna) التي ينبغي استخدامها. ان هوائيات التردد المنخفض (أقل من 100 ميگا هرتز) هي كبيرة وثقيلة ويصعب نقلها إلى الميدان ولكن تصل إلى اعماق اكبر ،لذا يتم جرها خلف مركبة على مقطورة أو مزلجة أو حملها يدوياً كما في الشكل رقم (7). في المقابل أن هوائي 900 ميگاهرتز أو هوائيات أخرى ذات تردد أعلى تكون صغيرة بحجم الحقيبة ويمكن حملها بسهولة. تختلف دقة ووضوح ايجاد الاجسام او الاهداف المدفونة تحت السطح باختلاف تردد طاقة الرادار. فالتردد

المنخفض للهوائيات (10-120 mHz) تولد طاقة بأطوال موجية من عدة أمتار لها القابلية اختراق اعماق اكبر والكشف عن اهداف كبيرة ايضا

ورادار الاختراق الأرضي تخترق ما يصل إلى (50 m) في ظروف معينة ولكنها قادر على حل المشاكل الجوفية الكبيرة والكشف عن الاهداف الاثرية والهندسية المدفونة عميقا. في المقابل فإن أقصى عمق للاختراق - يبلغ تردد هوائي 900 ميگاهرتز حوالي 1 متر أو أقل في تربة نموذجية ولكن انعكاساتها المتولدة يمكن أن تكون قادره للكشف عن اجسام اثرية يصل حجمها إلى بضعة سنتيمترات كما في الشكل (8)



الشكل رقم (7) هوائي 25 MHz

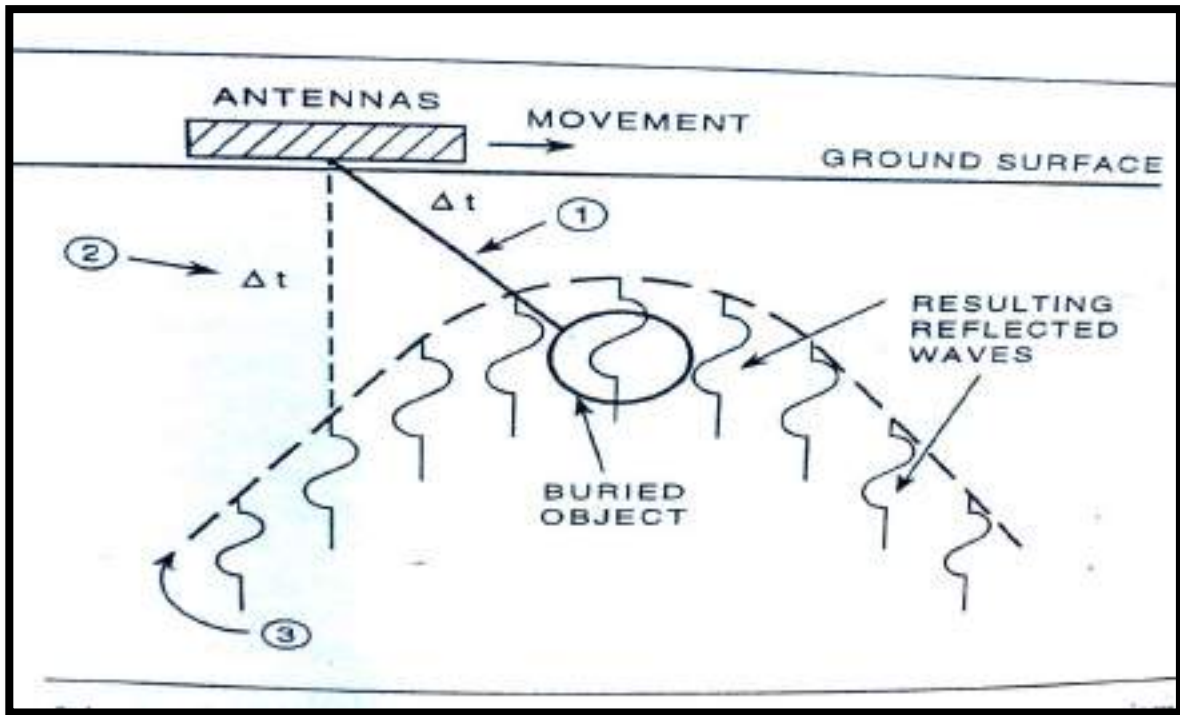


الشكل رقم (8) هوائي 900 MHz

٦- طريقة تسجيل انعكاس الاشعة في جهاز GPR وكيفية ظهور الاهداف على السجل ثنائي الابعاد.

ان انعكاس الاشعة من الأجسام المدفونة تحت السطح سوف تسجل في خطوط موجية (Traces) في كل لحظة ثم تجمع وتعرض على مقطع ثنائي الابعاد عمودي على سطح الارض. وبعد تسجيل عدة مقاطع عمودية متجاورة يمكن رسم خريطة افقية تبين طبيعة التوزيع المكاني لما موجود تحت السطح وفي اعماق متعددة. ان الاهداف الشائعة التي من الممكن ملاحظتها وتسجيلها في مقطع جي بي ار هي اما فواصل طبقيه (bed interface) حيث يوجد تباين في الصفات الكهربائية على جانبي الفاصل الطبقي مثل وجود مستوى المياه (Water-table) في التربة والتي تظهر كانعكاس افقي مميز بلون ابيض

واسود. وكذلك ايضا يمكن تسجيل الانعكاس من نقطه (point source) والتي تتولد من اجسام مدفونة تحت السطح مثل التجاويف الكروية والقبور الفارغة والافران النارية والجدران العمودية. والتي تظهر في المقطع التسجيل الانعكاسي ثنائي الابعاد على شكل قطع زائد (Hyperbola) او مثل حرف (U) مقلوب. ليست مباشرة تحت الهوائي. وذلك بسبب الزاوية العريضة التي ترسل فيها الامواج الراديوية من الجهاز باتجاه الارض وتتحرك بعض مسارات انتقال الموجة إلى الخارج في شكل مخروط. وبالتالي سوف ترى المستقبلية (RESEVER) او تسجل الانعكاس للنقطة المصدرية قبل ان تكون فوقها مباشرة، وتستمر بالتسجيل للنقطة حتى بعد ان تتجاوزها (Conyers and Goodman, 1997) ، كما في شكل(9).



شكل رقم (9) يوضح طريقة تسجيل الانعكاسات الراديوية على شكل قطع زائد للنقطة المصدرية المدفونة في المقطع ثنائي الابعاد.

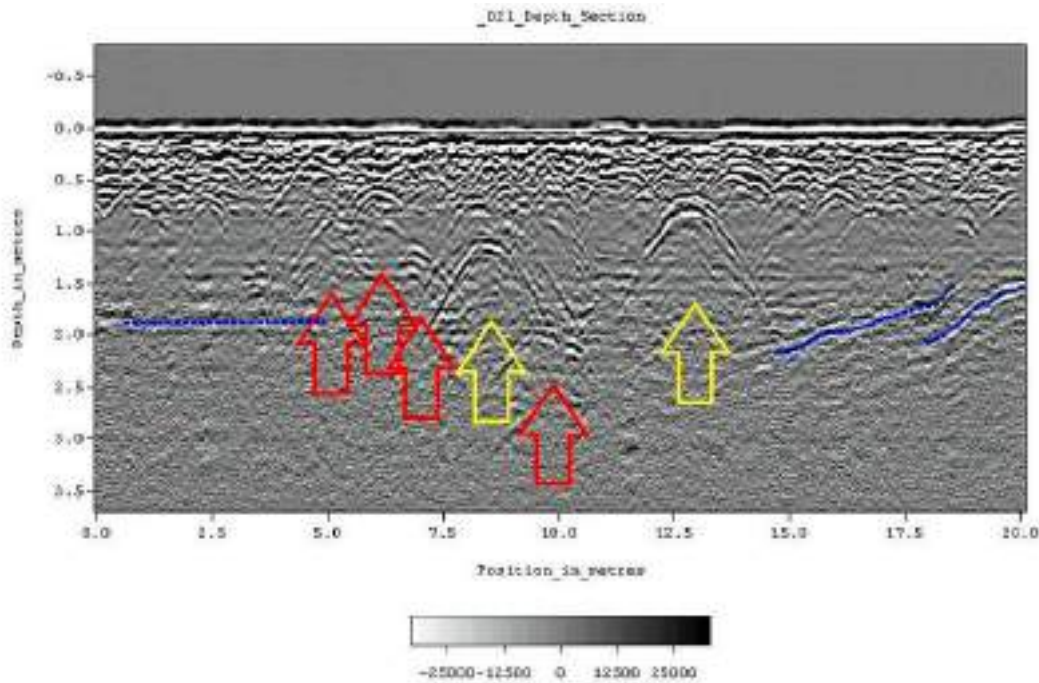
(1) هناك مشهد واسع للرؤيا يتيح للمستقبل رؤية نقطة المصدر قبل الوصول اليها.

(2) ان زمن الانعكاس (Δt) يسجل فقط عندما تكون نقطة المصدر اسفل المستقبلية (Antenna) مباشرة، وسوف يسجل الزمن الصحيح لانعكاس الجسم عندما تكون المرسله فوقه مباشرة.

(3) يبقى التسجيل مستمر حتى بعد ان تتحرك المرسله مبتعدة عن الجسم. وبهذه الطريقة سوف نحصل على تسجيل متواصل للجسم على شكل قطع زائد يميز وجود الجسم في سجل الجهاز الثنائي

.Conyers and Goodman, (1997)

حيث تكون نتيجة التسجيل المستمر لانعكاسات النقطة المصدرية هو شكل قطع زائد (Hyperbola) على المقطع ثنائي الابعاد كما في شكل رقم (10).



شكل رقم (10) تسجيل مقطع ثنائي الابعاد (رادار كرام) في جهاز (GPR) يبين وجود شذوذ على شكل قطع زائد بتأثير اجسام اثرية موجودة على اعماق (السهم الاصفر) من (0.8 - 1.25 m).

ويتم إنشاء شكل القطع الزائدة المرئية في ملفات تعريف (او على الرادار كرام) والتي تمثل الانعكاس للاجسام المدفونة وذلك لأن الطاقة ستعاد من مصدر نقطة قبل أن يكون الهوائي فوقه مباشرة ، وسيستمر الهوائي في رؤية الكائن بعد مروره. فأن القطع الزائد بشكل عام ينشأ لأن الوقت الذي تستغرقه الطاقة للانتقال إلى الجسم على طول مسار مائل أكبر كلما ابتعد الهوائي عن مصدره الانعكاس وعندما يتم تحويل الوقت إلى عمق يتم تسجيل الانعكاس بشكل أعمق في الأرض. عندما يقترب المصدر المدفون يتم تسجيل الانعكاس في مكان أقرب الوقت حتى يصبح الهوائي أعلى المصدر المدفون للانعكاس مباشرة. التكرار الظاهرة نفسها في الاتجاه المعاكس حيث يمر الهوائي بعيداً عن المصدر ، مما أدى إلى قطع زائد حيث يشير الرأس فقط إلى الموقع الفعلي لمصدر مدفون مع إنشاء ذراعي القطع الزائد سجلاً من الانعكاسات من نبضات الرادار التي سارت في مسارات الموجات المائلة.

٧- بعض العوامل التي تؤثر على اشعة GPR

❖ تشتت الأشعة

يستخدم مصطلح التشتت للإشارة إلى ظاهرة انعكاس الموجات بعيدا عن نطاق هوائي الاستقبال لا يتم جمع هذه الموجات بواسطة GPR. تحدث هذه الظاهرة على الأسطح المنحدرة بعيدا عن الهوائي وعلى الأسطح المحدبة وفي الميزات المقعرة العميقة الضيقة وفي السمات الرأسية القريبة. الميزات الأخرى القابلة للحل بشكل عام والموجودة بالقرب من الرواسب التي تنتج درجة عالية من التشتت قد تحجبها هذه الظاهرة. يقترح Conyers جمع البيانات في مجالات عرضية متقاربة لتقليل تأثيرات التشتت..

عكس التشتت هو التركيز حالة واسعة. وهذه ينتج عن موجات عالية السعة تنعكس مرة أخرى على هوائي الاستقبال وفي بعض الحالات انعكاسات متعددة داخل هذه الميزات والتي قد تشوه العمق أو الموقع أو الحجم أو الهندسة. (Conyers ٢٠٠٤: ٧٣-٧٤)

❖ توهين ضعف الأشعة

عندما تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية إلى أعماق أكبر فإنها تصبح مشتتة بشكل متزايد بسبب التوصيل الكهربائي للمواد الجوفية حتى النقطة التي تتبدد أو تضعف تماما ولا تنعكس أي طاقة مرة أخرى على السطح. معدل التوهين أو التبدد مرتبط بتكرار الموجة المرسله وخصائص المواد تحت السطحية التي تواجهها. تكون الموجات عالية التردد أكثر توهينا وبالتالي يكون لها أعماق اختراق أقل عمقا. من المهم أن نلاحظ أن الموجات تعاني من تشتت وتبدد وتوهين في كلا الاتجاهين الرأسيين قد يتم تخفيف الموجات المنعكسة في طريق العودة إلى هوائي الاستقبال وبالتالي لن يتم جمعها. (Conyers ٢٠٠٩: ٢٤٧)

❖ الضوضاء والفوضى

ليست كل الأشكال الموجية المجمعة ناتجة عن انعكاسات تحت السطح. خاصة في حالة وجود هوائي غير محمي يمكن جمع الانعكاسات من الأجسام القريبة فوق الأرض مثل المباني والأشجار تنتج هذه بشكل عام عن انعكاسات خطية عالية الاتساع.

قد تتولد الضوضاء أيضا من مصادر قريبة أخرى للموجات الكهرومغناطيسية بما في ذلك أجهزة التلفزيون والهواتف المحمولة وهوائيات الإرسال اللاسلكي يمكن أن يتعرض مسح GPR للخطأ بشكل خاص من خلال الاشارات في المناطق القريبة من المطارات أو القواعد العسكرية أو الطرق المزدهمة. (Conyers ٢٠٠٤: ٧١-٧٣)

❖ هوائيات GPR

تساهم هوائيات GPR أيضا في الضوضاء الخلفية من حيث أنها تنتج مجال كهرومغناطيسي يحجب الإشارات ضمن 1.5 من الأطوال الموجية للهوائي .
يطلق على ضوضاء الخلفية الناتجة عن الانعكاسات تحت السطحية اسم الفوضى ويشير إلى أهداف نقطية وانقطاعات صغيرة تعكس الطاقة وتحجب إشارات موجات منعكسة أخرى أكثر أهمية. يمكن تقليل الفوضى عن طريق اختيار هوائيات ذات تردد أقل والتي لن تفسر الأشياء الصغيرة
(Conyers 2004: 67: 2009: 249).

❖ اقتران الأرض وميل الهوائي

يشير اقتران الأرض إلى درجة تلامس هوائي GPR مع سطح الأرض عند إرسال واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية. عندما يتم سحب الهوائي فوق سطح الأرض فإن أي تغيرات مفاجئة في الارتفاع فوق السطح (بسبب الجذور والصخور والأسطح غير المستوية) يمكن أن تؤدي إلى فقدان الاقتران مما يؤثر على عمق الاختراق واتساع الانعكاس قد يكون اقتران الأرض معقدا على الأسطح المعقدة طوبوغرافيا والتي تقدم بدورها تعقيدات إضافية لتصوير الميزات الجوفية بدقة. عندما يتم إجراء مسح GPR على الأسطح المنحدرة مع وجود الهوائي مائلا تنتقل الطاقة في اتجاهات مختلفة غير عمودية وتنعكس من كائنات غير موجودة أسفل الهوائي مباشرة ومع ذلك يسجل الكمبيوتر الانعكاس على أنه انعكاس من مواقع أسفل الهوائي مباشرة. ينتج عن هذا تشويه للعمق والموقع والحجم والهندسة للكائن
(Conyers 2004: 123).

ابتكر طريقة لتصحيح ميل الهوائي عن طريق حساب زاوية الهوائي بناء على التصحيح الثابت لسطح الأرض ثم تحويل آثار الانعكاس إلى مواضعها الصحيحة.

عندما تنتقل نبضات الرادار عبر مواد مختلفة في طريقها إلى سمة الهدف المدفون ستتغير سرعتها اعتمادًا على الروابط الفيزيائية والكيميائية المناسبة للمادة التي ينتقل من خلالها .

٨- عوامل تؤثر على نجاح مسح GPR

- A. معلومات جمع البيانات المستخدمة والتي يتحكم في خصائص الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة والطرق التي يتم بها تذكر انعكاساتها على السطح
- B. نوع التربة (التربة الرملية تعطي وضوح وعمق استكشاف افضل من التربة الطينية).
- C. الرواسب ونوعية المعادن الموجودة فيها.
- D. محتوى الطين او كمية الطين الموجودة في الرواسب التي تمر فيها الاشعة الرادارية (كلما زاد محتوى الطين زاد تشتت الاشعة وبالتالي تقل وضوحه الهدف ويقل عمق الاستكشاف للأشعة الرادارية) (Al-Khersan et al., 2016).
- E. ورطوبة الأرض.
- F. عمق الدفن.
- G. تضاريس السطح.
- H. كثافة الغطاء النباتي.

٩- بعض التجارب التي اجريت على جهاز ال GPR لتوضيح مدى فاعليته في الكشف عن الاجسام المدفونة

يساعد فهم كيفية تحرك الموجات الكهرومغناطيسية تحت سطح الأرض من خلال الدراسات التجريبية الخاضعة للرقابة والتي لا يمكن المبالغة في قيمتها. تضمنت إحدى هذه الدراسات التي أجراها Leckebusch

إجراء عدد من القياسات في صندوق رمل لفحص دقة بيانات GPR وتأثيرات اتجاه الهوائي. تم أخذ قياسات التحكم في الصندوق الرملي قبل إدخال أي هياكل تحت السطحية تم أخذ البيانات الناتجة من مسح التحكم هذا كإشارة خلفية ، وتمت إزالتها من جميع مجموعات البيانات الأخرى المنتجة Leckebusch (and peikert 2001:30-31).

❖ تضمنت التجربة الأولى تصوير كتلة خرسانية واحدة (95×22×15 cm) تم تصوير كل من الحدود العلوية والسفلية للكتلة بشكل مثالي لم تنتج الجوانب الرأسية أي إشارات ، وجد ايضا ان قوة الاشارة انخفضت بشكل ملحوظ تحت الكتلة. وكان من الصعب تصوير الأشياء الموجودة أسفل جسم عاكس بقوة (Leckebusch and Peikert 2001: 36).

❖ تضمنت التجربة الثانية تصوير كتلتين خرسانيتين مدفونتين إحداهما فوق الأخرى بفجوة 10 cm. تم تصوير الكتلة العلوية بشكل مثالي كما في التجربة الأولى ومع ذلك كان من المحتمل أن يكون الحد العلوي للكتلة السفلية فقط مرئياً في صورة لرادار وبدلاً من ذلك نسبت إلى وجود مضاعفات مما أدى إلى حجب الكتلة السفلية. أظهرت شرائح السعة كتل محاطة بانعكاس نصف دائري يُعزى ذلك إلى فصل حجم حبيبات الرمل التثاقلية والذي حدث عندما غُطيت الكتل بالرمل. (Leckebusch and Peikert 2001).

❖ تضمنت التجربة الثالثة تصوير حجرين دائريين موضوعين مباشرة فوق بعضهما البعض . تبين أنه لا يمكن التمييز بين الحجرتين وتشوه حجم الصورة حيث ظهرت الأحجار بسنتيمترات أكبر مما كانت عليه في الواقع (Leckebusch and Peikert 2001: 33)

❖ درست التجربة الرابعة تأثيرات اتجاه الهوائي على الجسم من خلال إجراء مسوحات على كتلة من الخرسانة ، كل منها متباعدة بمقدار 10° درجات من المحور الأساسي (0°) يعرف بأنه عمودي على المحور الطويل للكتلة (يمثل 90° قراءات موازية للمحور الطويل للكتلة) . أظهرت النتائج أنه عند المرور من 50° إلى 60° لا يمكن تصوير الكتلة الخرسانية وبالتالي فإن إظهار أن الكشف يعتمد على الاتجاهات النسبية للهوائي والهيكل المراد تصويره (Leckebusch and Peikert 2001: 34)

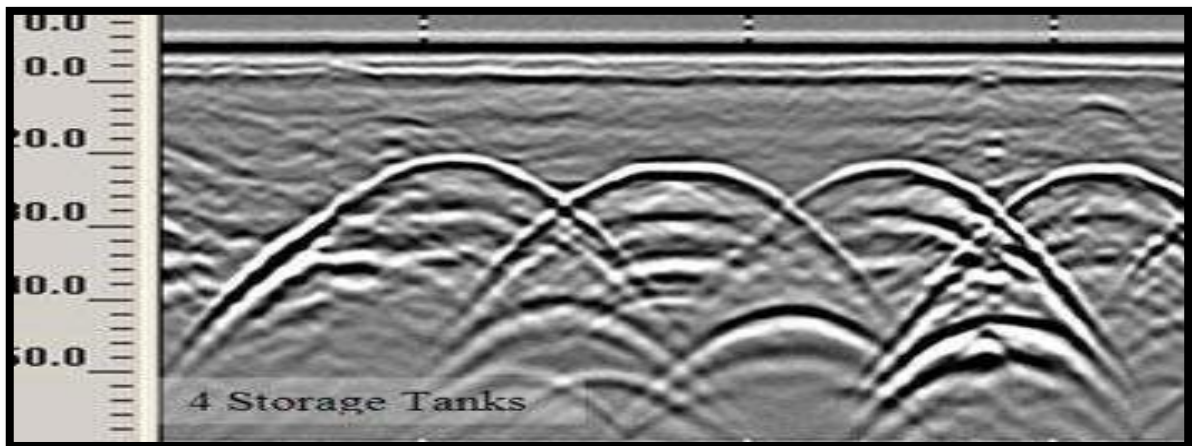
١٠- بعض الامثلة عن مواقع الاهداف وقراءة GPR لها

(1) تحديد مواقع صهاريج التخزين والبراميل تحت الأرض

يعد تحديد موقع صهاريج التخزين تحت الأرض أو الخزانات الأرضية استخدامًا شائعًا لرادار اختراق الأرض. يمكن العثور على الخزانات الأرضية أو البراميل المدفونة بهوائي منخفض التردد. ادناه تم وضع أربعة صهاريج تخزين في مكانها وبعد مسح GPR تظهر نتائج الخزانات الأربعة في الشكلين رقم (11-12)



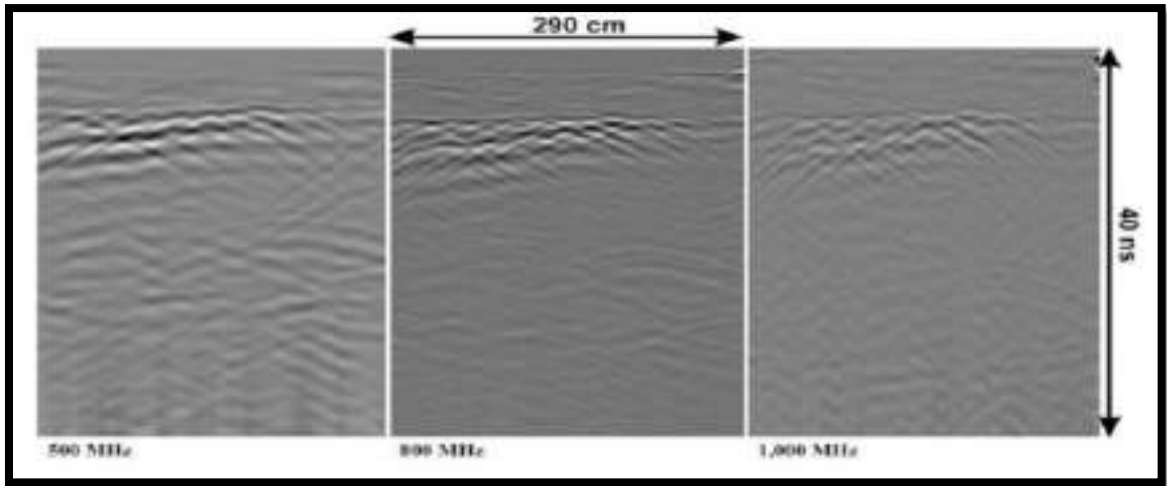
الشكل رقم (١١) يوضح وجود اربعة صهاريج او خزانات مياة مدفونة تحت الارض



الشكل رقم (١٢) يوضح كيفية ظهور اشكال الصهاريج او الخزانات الارضية على شاشة الرادار

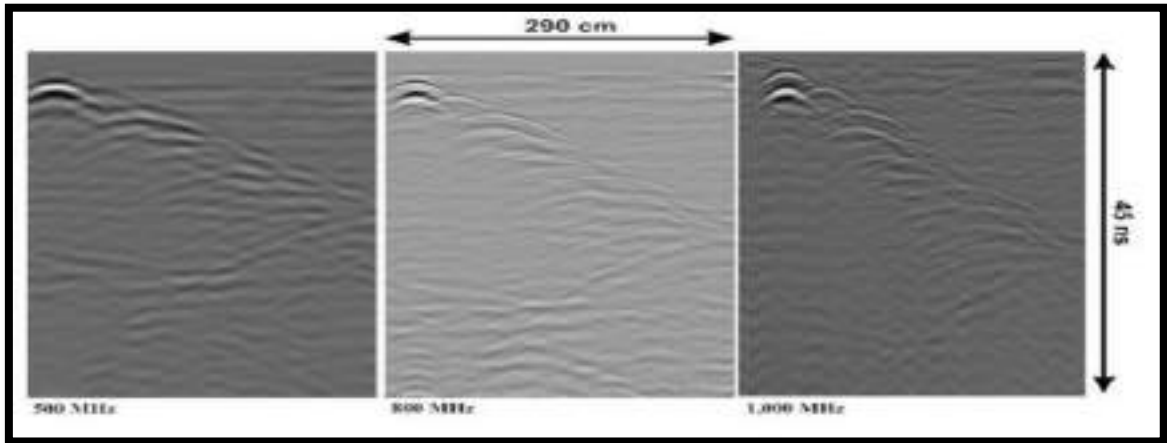
* الأهداف مثل الأنابيب والكابلات والتحف المدفونة وجذور الأشجار والصخور تولد استجابات على شكل قوس على صورة GPR. تحدث الأقواس لأن طاقة GPR لا تنتقل إلى الأرض كحزمة رقيقة ولكنها أشبه بمخروط ثلاثي الأبعاد. يمكن أن تظهر الانعكاسات في السجل على الرغم من أن الكائن ليس أسفل مستشعر GPR مباشرة. وهكذا فإن مستشعر GPR يرى الأنبوب قبل وبعد تجاوزه ويشكل استجابة على شكل قوس على الصورة.

(2) مسح بواسطة جهاز الرادار (GPR) مسار يمر عبر مراكز تسع جذور بأقطار مختلفة (10-1 cm) مدفونة بعمق (50 cm) في حفرة رملية وتم قياسه بثلاث ترددات مختلفة كما في الشكل رقم (13)



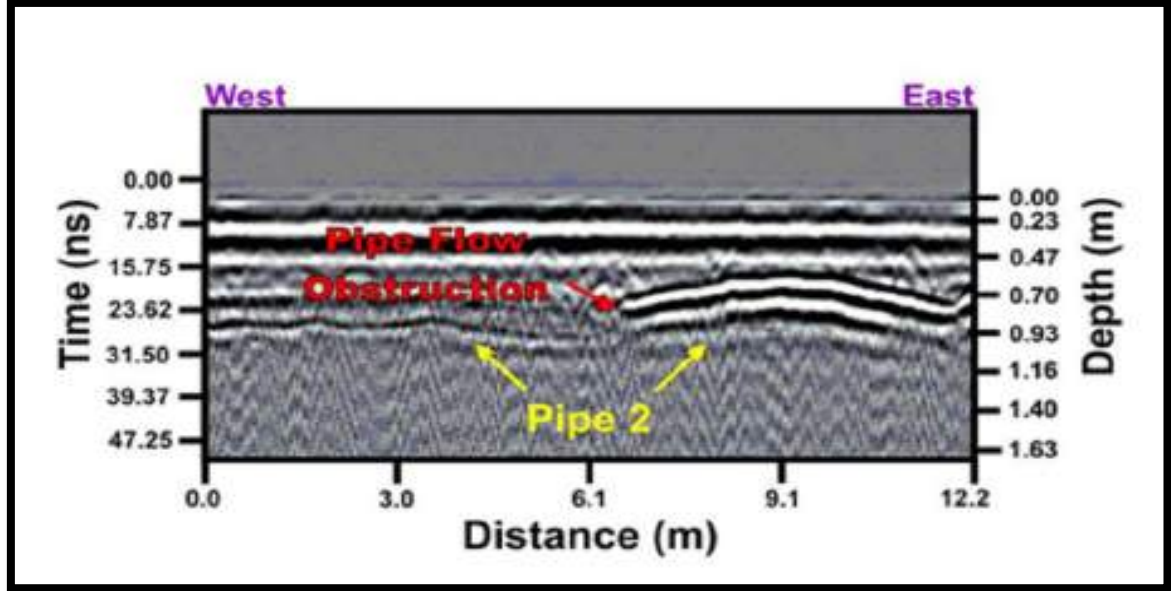
الشكل رقم (13) يوضح قراءة الرادار المار بمراكز 9 جذور بأقطار مختلفة

(3) مسح بواسطة جهاز GPR على مسار يمر عبر مركز تسعة جذور مدفونة على أعماق تتراوح من (15-15 cm) (منبارتون ومونتاجو ٢٠٠٤) كما في الشكل رقم (14)



الشكل رقم (14) يوضح قراءة الرادار لمسار يمر بمركز 9 جذور بأعماق مختلفة

4) يُظهر ملف تعريف GPR هذا من البيانات التي تم جمعها على طول الاتجاه مباشرة أعلى أنبوب تصريف في تربة مشبعة الانتقال المفاجئ من أنبوب مملوء بالمياه (الجانب الغربي) إلى أنبوب مملوء بالهواء (الجانب الشرقي). يرجع هذا الانتقال المفاجئ في استجابة GPR إلى انسداد الأنبوب الذي يمنع تدفق المياه تمامًا. كما في الشكل رقم (15)



الشكل رقم (15)

١١- عمق الاختراق والدقة

ان العمق الذي يمكن أن تخترقه طاقة الرادار ومقدار التعريف التي يمكن توقعها في باطن الأرض يتم التحكم فيها جزئياً بواسطة تردد طاقة الرادار المرسل.

يتحكم التردد في:

- الطول الموجي لانتشار الموجة .
- مقدار انتشار وتوهين الطاقة في الارض.
- دقة ووضوح الاجسام والتراكيب المستهدفة

١٢ - مكونات جهاز (GPR) والادوات المستعملة في الحقل

الأدوات المستخدمة في هذه الدراسة هي من نوع MALA / السويدي. تتكون من وحدة تحكم بالرادار ببطارية 12 فولت. تتميز وحدة التحكم بمعالج 32 بت مرتبط بجهاز عرض تخزين من جانب وبهوائي على الجانب الآخر. توفر هذه الهوائيات مصدر طاقة خارجياً اختياريًا بجهد 12 فولت للإلكترونيات ولكنها تستخدم أيضاً نفس حزم البطاريات القابلة لإعادة الشحن المستخدمة في وحدة التحكم. يتم تثبيت شاشة خاصة على وحدة التحكم. الجانب في هذه الشاشة هو جهاز كمبيوتر للحصول على البيانات والتحليلات الوصفية الأولية. يمكنه تخزين كمية هائلة من البيانات. يتم حمل النظام بأكمله بواسطة عربة خاصة مزودة بمقياس للمسافة. يمكن إجراء معايرة عداد المسافة والتحقق منها بواسطة كمبيوتر الشاشة. تتمثل إحدى مزايا نظام في القدرة على استخدام نطاق واسع من ترددات الهوائيات مع MALA GPR في نفس وحدة التحكم. يمكن توصيل الهوائيات المحمية وغير المحمية بترددات تتراوح من 25 ميغاهرتز إلى 2.7 جيجاهرتز مباشرةً بوحدة التحكم نفسها. يمكن التغيير من هوائي إلى آخر في الميدان بطريقة سهلة للغاية. الهوائيات المستخدمة في هذه الدراسة من النوع المحمي. تم تصميم الهوائيات المحمية للاستخدام في المناطق الحضرية أو المواقع التي يوجد بها الكثير من الضوضاء. يتكون الهوائي المحمي من عناصر هوائي المرسل والمستقبل في مبيت واحد (الهوائيات أحادية السكن). في هذا البحث تم استخدام هوائيات 250 ميغاهرتز. تم سرد أوصاف موجزة لهذه الهوائيات في الشكل (6) وبالإضافة إلى جهاز الـ GPR نحتاج بعض الادوات في العمل الحقلية ومن ضمنها التالي

- a. جهاز رادار اختراق الأرض GPR
- b. نظام تحديد المواقع العالمي GPS
- c. شريط قياس.
- d. اوتاد .
- e. ذاكرة فلاش USB
- f. آلة تصوير

١٣- العمل الحقلی

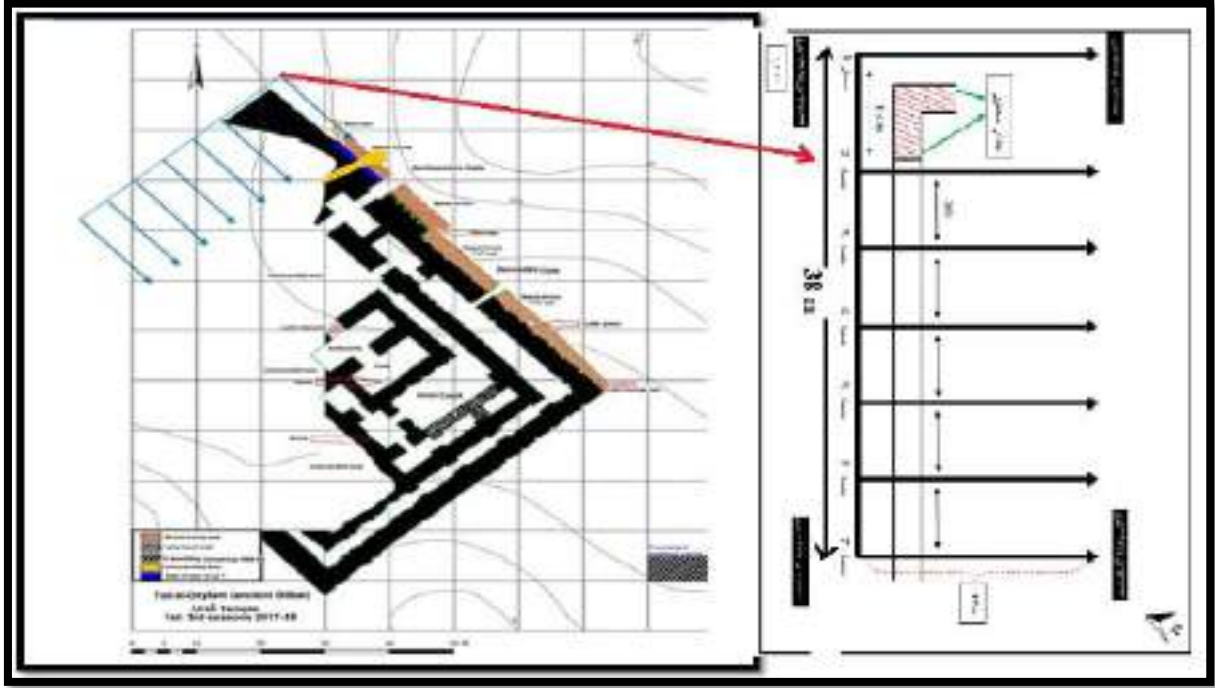
تم مسح منطقة الدراسة في (قصر دلبات الاثري) الواقع ضمن منطقة تل الديلم جنوب محافظة بابل تم تحديد منطقة المسح بناء على طلب قسم الاثار للتعرف على الامتداد الجدار الرئيسي للقصر المدفون تحت التربة والواقع حصرا في الجهة الشمالية . كما موضح بالشكل رقم (16)

تم اجراء المسح الموقعي وتنبيت رقعة الدراسة من حيث الاحداثيات والمساحة وتوزيع المسارات . تم تقسيم منطقة البحث الى 7 مسارات ، طول المسار الواحد 17 m والمسافة الفاصلة بين مسار واخر 5 m كما موضح بالشكل رقم (17)، وتحديدها باوتاد خشبية وحرصنا ان تكون المسارات على استقامة واحدة ولا يوجد فيها تغير طبغرافي كبير تم تنبيت 14 وتد في منطقة المسح يكون وتد بداية ونهاية كل مسار كما في الشكل رقم (18) وتم اختيار منطقة البحث قريبة على المجس الاثري المحفور لیتسنا لنا مقارنة نتائج البحث مع الواقع الاثري المحفور

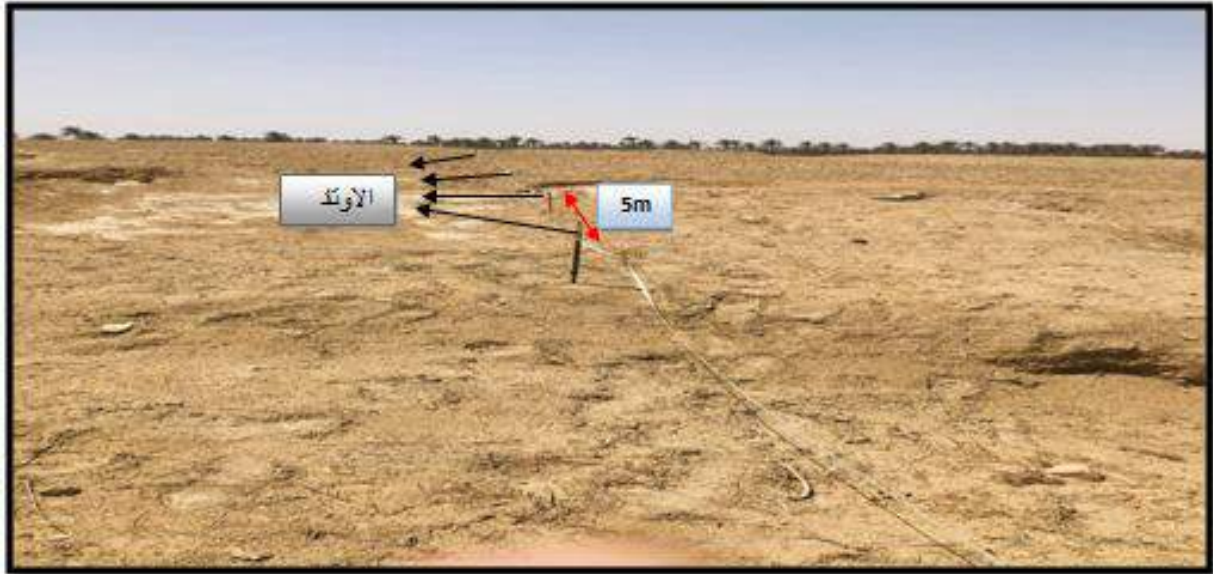
بعدها قمنا بتنبيت المرسله ذات (250 mHz) على الجهاز وجعلها ملاسمة للارض وبدء مسح المسارات .



الشكل رقم 16 يوضح مسح منطقة الدراسة



الشكل رقم 17 يوضح مسارات المسح في منطقة الدراسة

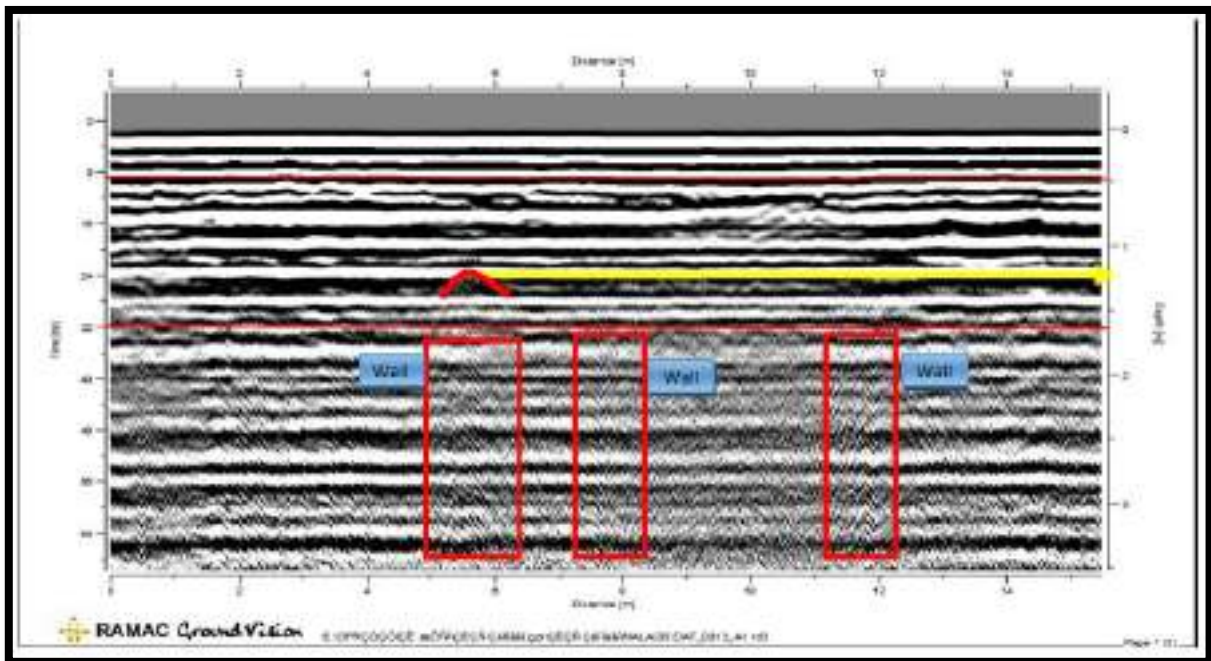


الشكل رقم (18) يوضح نشر الوتاد في منطقة الدراسة

١٤ - تفسير صور الرادار للعمل الحقلي

• التفسير الاول

يوضح الرادار كرام شنوذ على شكل قطع مكافئ يمثل الجدار الرئيسي والذي يقع على مسافة ٥ متر وعلى عمق (1.3 m) وكذلك يبين جدارين اخرين على مسافة (8-11.7 m) على التوالي وعلى عمق (1.5 m) كما موضح في الشكل رقم (19)



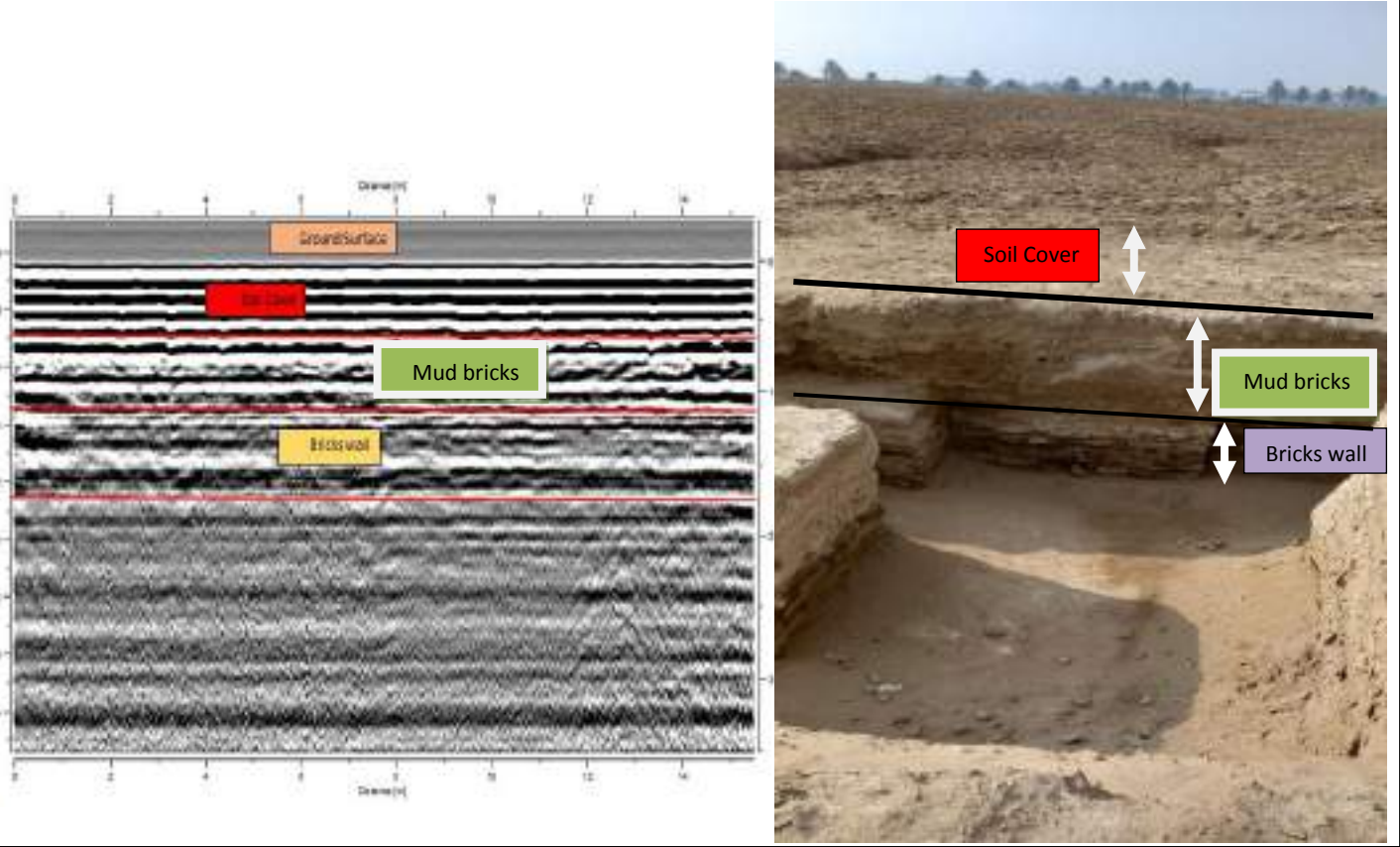
الشكل رقم 19 يوضح تفسير صورة الرادار للعمل الحقلي (في قصر دلبات)

• التفسير الثاني

مسار الرادار كرام الثاني كما في الشكل رقم (19) الذي يبين ان هناك جدار رئيسي بسمك (2 m) وعلى عمق (1.3 m) من خلال الشنوذ في صورة الرادار كرام الموشره في الشكل رقم (19) وكذلك يوضح هنالك شنوذ لجدار اخر موجود على مسافة (7m) اصغر من الجدار الاول وموازي اليه ومن خلال تفسير صورة الرادار كرام يمكن اعطاء الوضع الجيولوجي للمنطقة .

نلاحظ وجود المنطقة العليا للرادار عبارة عن موجات طويلة بامتداد واحد وسعة واحدة تدل على التربة السطحية بسمك نصف متر وتحتها موجات غير مستمر بالسعة والموجة تدل على وجود طبقة بناء بطابوق طيني بسمك (50 cm) والشنوذ الاخير يمثل طبقة السياج الرئيسي الذي تظهر على شكل

موجات قطع مكافئ وتدل على وجود بناء جدار بطابوق مفخور (محروق) وهذا يتناسب مع الواقع الاثري المحفور بمنطقة البحث . كما في الشكل رقم (20)



الشكل رقم 20 مقارنة بين صورة الرادار كرام وبين الجزء الاثري المكتشف

١٥- الاستنتاج

بعد تحليل بيانات الرادار كرام للمسارات ال 7 تم التعرف على شاذة رئيسية من نوع نقطي (قطع مكافئ) يمكن ان تمثل جدار الرئيسي للقصر وعلى عمق (1.3m) من سطح الارض ومسافة (5.5m) من بداية المسار وهذا يتطابق مع بيانات الجزء المحفور في الموقع الاثري وكذلك بين GPR وجود جداران على مسافة (8-11.7 m) على التوالي وعلى عمق (1.5 m) من سطح الارض يمكن ان يمثل جدار احد الغرف المدفونة .

References

- Al-Khersan, E.H., Al-Ani, J.M. and Abraham, S.N., 2016. Integrated GPR and ERT as enhanced detection for subsurface historical structures inside Babylonian houses site, Uruk City, southern Iraq. *Pure and Applied Geophysics*, 173(3), pp.963-982.
- Khawaja, A. M., & Thabit, J. M. (2021). Interpretation of 3D Seismic Reflection Data to Reveal Stratigraphic Setting of the Reservoir of Mishrif Formation in Dujaila Oil Field, Southeast of Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 2250-2261.
- Khawaja, A. M., & Thabit, J. M. (2021). Predicting the Depositional Environments of Mishrif Formation from Seismic Isopach Map in the Dujaila Oil Field, Southeast-Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 1943-1955.
- Annan, A.P., 2009. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. *Ground penetrating radar: theory and applications*, 1, pp.1-37.
- Annan, A.P., 2005. Ground-penetrating radar. In *Near-surface geophysics* Society of Exploration Geophysicists. pp. 357-438.
- Annan, A.P. and Cosway, S.W., 1992, April. Ground penetrating radar survey design. In *5th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems* European Association of Geoscientists & Engineers. pp. cp-210.
- Conyers, L.B. (2004) Ground-penetrating radar for archaeology. *AltaMira Press, Walnut Creek, California*, 205 p.
- Conyers, L.B. (2016) Ground-Penetrating Radar Mapping Using Multiple Processing and Interpretation Methods. *Remote Sensing*, 8, 562.
- Cassidy, N.J. and Jol, H.M., 2009. Ground penetrating radar data processing, modelling and analysis. *Ground penetrating radar: theory and applications*, pp.141-176.

- Conyers, L.B. and Goodman D. (1997) *Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*. Altamira Press, London, 232 p
- Conyers, L.B., Pierre, E., Sutton, M. and Walker, C. (2019) Integration of GPR and magnetics to study the interior features and history of earth mounds, Mapoon, Queensland, Australia. *Archaeological Prospection*, 26(1), 3-12.
- Daniels, D.J. (1996) Surface Penetrating Radar. *Electronics & Communication Engineering Journal*, 8(4), 165–182.
- Davis, J.L. and Annan A.P. (1989) Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.