مسح المواقع الاثرية باستخدام
الـGPR

م.رؤى زهير زيدان الكروي[1]
جامعة بغداد- العراق

مقدمة:

يتطرق هذا البحث الى استعراض تقنية الرادار الأرضي GPR كواحدة من التقنيات الجيوفيزيائية المعتمدة في عمليات المسح الاثري والتي تعتمد في عملها على موجات الاشعة الكهرومغناطيسية القابلة للانعكاس على الاسطح والمتميزة بسرعتها الفائقة ، والتي برزت نتيجة الحاجة لتطوير وسائل حقلية علمية جديدة لحل قضايا ومشاكل المسح الاثري واعمال التنقيب وتسهيل مهمة العمل الحقلي، وتجنب المواقع الاثرية التعرض لاي تلف او ضياع.

مشكلة البحث:

لاعداد أي بحث لابد من وجود دافع أساسي لعرض البحث وتمثلت مشكلة هذا البحث بما يأتي:

أولا : هل يمكن استعمال الرادار الأرضي في مسح المواقع الاثرية بشكل فعال؟

ثانيا: ما الأسلوب الأمثل لاستعمال ال GPRبما يضمن نجاح عملية المسح الأثري؟

ثالثا: ما النتائج التي يمكن استحصالها بمسح المواقع الاثرية بتقنية الGPR؟

أسئلة البحث:

1. ما المسح الاثري وما اهم فوائده؟
2. الى كم نوع تقسم عمليات المسح الاثري المنظم؟
3. ما الGPR وما أسلوب عمله وماعلاقته بأعمال المسح الاثري؟
4. كيف يمكن ان نلخص مميزات استعمال تقنية ال GPRفي مسح المواقع الاثرية؟

1. تدريسية في جامعة بغداد في كلية الاداب قسم الاثار مختصة بالتقنيات الاثارية- العراقruaa.z@sc.uobaghdad.edu.iq

أهداف البحث:

يهدف البحث الى معرفة مفهوم المسح الاثرية وانواعه واهميته في إنجاح أعمال التنقيب في أي موقع اثري، ومدى ضرورة استعمال الوسائل العلمية الحديثة؛ حفاظا على سلامة الموقع وعدم الاضرار بالآثار المدفونة، والتاكيد على أهمية تقنية الرادار الأرضي الGPR كواحدة من التقنيات الجيوفيزيائية التي تكشف حقيقة ما يحويه الموقع من بقايا اثرية، وتحدد المعوقات التي من الممكن ان تواجه اعمال التنقيب وتؤخر تقدمها، ومعرفة الية عمل ال GPR وطريقة استعماله بما يضمن نجاح عملية المسح الاثري، وما أهم مميزاته كبديل او مساعد لطرق المسح التقليدية.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في إيضاح العلاقة بين التقنيات الحديثة وتحديدا ال GPR وعمليات المسح الاثري ومدى تاثيرها على نتائج المسح ، و التأكيد على اهمية اعتماد المنهج التقني العلمي في عمليات المسح والتنقيب للحصول على نتائج ادق واسرع وباقل جهد ممكن.

منهج البحث:

اعتمد المنهج العلمي عند تقديم هذا البحث بوصفه ضرورة علمية وقد عني بالجانب النظري وجمع المعلومات وتحليلها والتعرف على الدراسات الأجنبية في هذا المجال، لتوضيح أهمية تقنية الGPR بوصفه واحدة من تقنيات الجيوفيزياء المعتمدة على الاشعة الكهرومغناطيسية وعلاقتها بالمسح الاثري واهم مميزات استخدام هذه التقنية في اعمال المسح الحديثة.

الكلمات المفتاحية: مسح – اشعة– GPR– التنقيب – الجيوفيزياء

Survey of Archaeological Sites Using GPR

Ruaa Zuheir Zidan AL Kurwi

Abstract:

This research deals with the review of GPR ground radar technology as one of the geophysical techniques adopted in modern archaeological surveys based on waves of electromagnetic rays. That are reflective from surfaces and characterized by their high speed ، and after addressing the general concepts of archaeological survey and its benefits in completing field excavation work ، the geophysical radar technology ، its working principles and the beginnings of its use in the field of archaeology as one of the modern scientific methods adopted in archaeological surveys ، which emerged as a result of the need to develop new scientific field means to solve the issues and problems of archaeological survey and excavation work ، facilitate the task of field work and avoid exposing archaeological sites to any damage or loss ، as a large amount of accurate and integrated scientific information has become possible to collect with the least possible effort and time using this scientific technology. The study concludes that the advantages of using ground radar technology in surveying archaeological sites were summarized with a number of points that determined the goal and significance of the need to ensure the use of this non-destructive technology in the any archaeological site selected and prior to the commencement of excavation work.

Keywords: Survey ، Radiation ، GPR ، Excavation ، Geophysics**.**

مفهوم المسح الاثري

يطلق على عملية القاء نظرة شاملة على مواقع العمل الاثري المختار للتنقيب فيه بطريقة يدوية وتقليدية أو باستعمال التقنيات والآلات الحديثة بالمسح الأثري، فهو اللبنة الاولى لأي مشروع أثري (الصادق، 1993، صفحة 2)، وكلمة المسح Survey انتشرت في الجزء الاخير من القرن التاسع عشر وشارك العديد من العلماء في وضع اسلوب علمي صحيح لطرق المسح الاثري، والذي غالباً ما كان يعتمد على جرد وتسجيل وحصر الأماكن الاثرية، ومثال على العلماء الذين ساهموا في هذا المضمار نذكر أركل وساندفورد وإسلوب مسحهم لموقع الأقصر اذا كانوا مهتمين بعصور ما قبل التاريخ وبالآت الصوان.

ان عملية المسح لم تعد مقتصرة على البحث عن المواقع الأثرية ومعرفة فتراتها الزمنية بل تعدت ذلك بالوصول الى نتائج تتعلق بالحياة الاقتصادية والتجارية والعلاقات الاجتماعية في ما بين المدن من دون الحاجة للجوء الى اعمال التنقيب فقد تكون الشواهد الاثرية التي على سطح الارض كافية لإعطاء مثل هذه النتائج (علي، 1993، صفحة 510)،وتختلف المواقع الأثرية في حالتها وطبيعة سطحها اذ ليس كل المواقع الأثرية هي واضحة ويسهل تمييزها من قبل الآثاريين كالعمائر الدينية والمدنية واسوار المدن، فقد تتأثر المواقع بالعوامل المختلفة لسطح الأرض وعوامل الطقس الجوي والنمو الزراعي وتوسع المدن وامتدادها، مما يجعل المواقع الأثرية القديمة تبدو بشكل تلال اثرية مهجورة تنتشر عليها قطع الفخار المكسورة في مختلف ارجاءها لتكون هذه القطع الدليل الوحيد والعلامة البارزة على أثرية الموقع (رزق، 1996، صفحة 93)، ولا بد لعمليات المسح الأثري ان تكون شاملة كاملة يتم فيها فحص الموقع الممسوح بدقة ومعاينة كل ما يحيط به من ظواهر طبيعية وبشرية مع الوقوف على كل ما جرى في الماضي في الموقع من أعمال تنقيب فضلاً عن الأخذ بالاعتبار طبيعة الظواهر الجيولوجية ونوع التربة والنباتات العشبية الموجودة ونوع الزراعة المعتمدة في المنطقة وطبيعة المحاصيل المنتشرة في الموقع (رزق، علم الأثار بين النظرية والتطبيق، 1996، صفحة 94)، ولهذا السبب يتطلب من المساح الأثري ان يكون ذو خبرة تدريبية وقدرة على فهم الخرائط بأنواعها مثل الخرائط التضاريسية والكونية وخرائط النباتات

والتربة والجيولوجيا الأرضية وغيرها من انواع الخرائط التي ستعطينا صورة مفصلة عن الموقع وهي التي ستوجه الآثاري الى اختيار الموقع الاثري الانسب والاغنى بالآثار للمباشرة بعملية التنقيب (الفخراني، الرائد في التنقيب عن الأثار، 1993، صفحة 161). ويضم العمل المسحي الآثاري فريق عمل مكون من مجموعة من الاعضاء عددهم ثلاثة اواكثر، يبحث كل عضو في منطقة محددة من الموقع المنتخب وتوضح حدود الموقع ضمن خريطة تخصص لهذا الغرض ويتركز عمل المساح على ايجاد البقايا الاثرية المبعثرة في الموقع، والتي تسجل وتوصف لحظة العثور عليها، ولا يحتاج المساح الى الكثير من الأدوات والآلات عند القيام بالمسح إذ لا بد ان تكون قليلة وخفيفة الوزن ويسهل حملها كالبوصلة وشريط القياس لتحديد الابعاد ومعرفة الاتجاه ومعول صغير للحفريات المستعجلة، فضلاً عن آلة التصوير والفرشة لتنظيف القطع الاثرية واكياس لجمع القطع الأثرية، ولا يقتصر واجب المساح الاثري على جمع القطع وتصويرها بل لا بد من إعطاء معلومات تفصيلية عن الموقع عند القيام بجولة المسح (حيدر، منهج البحث الأثري التاريخي، 1995، صفحة 37).

ان المسح الاثري ضرورة لازمة لكل موقع أثرى قبل المباشرة بعمليات الحفر والتنقيب فيه، ولا بد من الأخذ بالاعتبار القدرة المالية وعامل الوقت كجزء هام من عملية التحقيقات (رزق، علم الأثار بين النظرية والتطبيق، 1996، صفحة 94).

فوائد المسح الاثري

يعد المسح الأثري تخصصاً قائماً بذاته كغيره من التخصصات في علم الآثار، بعد ان كان مجرد اجراء أولي يسبق عمليات الحفر ويفضله الكثير من الآثاريين لسهولة وسرعة انجازه مقارنة بعمليات التنقيب التي تحتاج الى إمكانيات كبيرة وتستغرق عدة سنوات. وسع المسح الاثري من مجال نظرة الباحث الاثري أكثر من عمليات التنقيب التي تهتم بموقع واحد محدد ومعزول عن باقي المحيط الا ثري، لكن لا يمكن القول ان المسح اهم من عمليات الحفر والتنقيب لكن هما متكاملين (العنابي، 1993، صفحة 50).

أدت نتائج التبذير التي حدثت بسبب اعمال التنقيب للبعثات الاجنبية في الماضي الى اهتمام الدول الغنية بالآثار مثل العراق وايران ومصر وتركيا بتعديل اصول الحفر والتنقيب عن الآثار بأجراء اعمال المسح الأولية، واشترطت ضرورة قيام البعثات بأجراء مسح كامل للموقع الاثري، ولهذا السبب تركز الاهتمام في القرن الحالي على تطوير مناهج البحث الأثري لفوائده ولاعتباره أقرب الوسائل المتاحة للأبحاث الأثرية (رزق ع.، 1996، صفحة 95)، ويمكن حصر فوائد المسح الأثري بعدد من النقاط نذكر منها:

أولاً: يساعد المسح الأثري على تثبيت المواقع الأثرية وتحديدها على الخرائط إذ يتم توقيع جميع المواقع الأثرية المكتشفة على الخرائط الجغرافية واعداد خرائط نهائية للمسح تكون مساعدة في الدراسات الآثارية المستقبلية، وللتعرف على مواقع المدن والأدوار والعصور القديمة (الفخراني، الرائد في التنقيب عن الأثار، 1993، صفحة 161).

ثانياً: تحديد نوع الاستيطان والعلاقات السكانية والتجارية والسياسية بين المدن القديمة وربط المواقع الاثرية بهذه العلاقات وبالاعتماد على الدلائل والآثارية من الكسر الفخارية المكتشفة في عملية المسح (حسن، الموجز في علم الأثار، 1993، صفحة 69).

ثالثاً: انقاذ المواقع الاثرية المعرضة للأوضاع الطارئة مثل المشاريع المدنية وعمليات انشاء السدود والمشاريع الزراعية ومد الطرق وسكك الحديد بما يسمى بالعمليات الانقاذية (رزق ع.، 1996، صفحة 95).

رابعاً: حصر المواقع التنقيبية ببقعة محددة ضمن المنطقة المسموحة بدلاً من ضياع الجهود على عدة مناطق عشوائية لا حاجة لها (حيدر، منهج البحث الأثري التاريخي، 1995، صفحة 38).

خامساً: تعطينا عمليات المسح فكرة كافية عن نوع الآثار والبقايا الاثرية الموجودة في الموقع الممسوح، فعمليات المسح تكون مكملة لعمليات التنقيب وأحد اركانها الاساسية (Michael، 1978، p. 4).

سادساً: يساعد المسح على التعرف الى نوع التطور البشري والحركة العمرانية ونوع الاستيطان وتوزيعه الجغرافي والعوامل المتحكمة فيه (قادوس، 2008، صفحة 43).

طرائق المسح الاثري

تسبق عملية الحفر والتنقيب قيام المختصين من الآثاريين بوضع خطة عامة للحفر بعد اتمام عمليات البحث والتفتيش الدقيق في المنطقة المراد الحفر فيها ومثل هذه العمليات لا بد ا تتم بإحدى الطريقتين (حيدر، منهج البحث الأثري التاريخي، 1995، صفحة 37):

أولاً: الطريقة التقليدية اليدوية

منذ القرن الماضي وبداية القرن الحالي وعلماء الآثار والمختصون يسعون لوضع منهج علمي واضح لإتمام عمليات المسح التي كانت في البداية تعتمد على حصر وجرد وتسجيل المواقع الاثرية بالاعتماد على الظواهر الاثرية المنتشرة على سطح المواقع (رزق ع.، علم الأثار بين النظرية والتطبيق، 1996، صفحة 97)، وتعيين طبيعتها وتحديد تاريخها للوصول الى القرار المناسب لاختيار الموقع الاغنى بالآثار والاقل مصروفات، وتتلخص الطريقة التقليدية في المسح على تقسيم هيئة المسح الى مجموعات تتألف من عضوين او ثلاثة وأكثر ويعهد لكل مجموعة بالبحث عن قسم معين في الموقع وحفظ وتسجيل المعاثر الأثرية المكتشفة عند المسح وتصويرها (حيدر، منهج البحث الأثري التاريخي، 19958، صفحة 38). وكانت الآلات والأدوات المستخدمة في المسح قليلة وصغيرة و يلتزم المساح الأثري بجمع المعلومات الضرورية عن الموقع اثناء جولته التفتيشية، فضلاً عن اعطاء وصف تفصيلي للموقع وتقدير الحدود الجغرافية له وارتفاعه عن مستوى سطح البحر وذكر نوع النباتات المنتشرة في فيه وحالته اذا ما كان قد تعرض للاعتداء أو حوادث طبيعية وتحديد نوع التربة السطحية للموقع ونوع الآثار البارزة فيه فضلاً عن الاشارة الى ذكر المصادر القديمة التي تحدثت عن الموقع ، كالكتب والمقالات مع جرد قائمة بالقطع المكتشفة (Ammerman، 1981، p. 64) من البقايا الأثرية المنتشرة على السطح، ولا بد للمساح الاثري من اخذ الحيطة والحذر وتجنب الحاق الاضرار بالمزارع وأي ممتلكات أخرى، والحفاظ على العلاقات الطيبة مع السكان القرويين الموجودين ضمن حدود الموقع الممسوح (Mallawan، 1956، p. 55).

ثانياً: الطريقة العلمية التقنية

ادى التطور الحاصل في العلوم والتقنيات والاجهزة في عالمنا اليوم الى تطوير اساليب جديدة في أجراء البحوث الأثرية والاستكشافات، اذ طرأت افكار جديدة طورت منهج البحث والمسح الاثري، ووضع علماء الآثار جل اهتمامهم في تعميق ابعاد البحث الاثري بجذب العلوم والاختصاصات المختلفة للتعاون مع علم الآثار حتى انبعث اسلوب علمي جديد مطور لمنهج المسح الاثري، واصبح عالم الآثار يعمد عند معالجة أي ادلة اثرية أو مشكلة عليمة بالنظر اليها من خلال الاطار الكامل المحيط بها وبكل ما يتعلق بالإنسان الذي سكنها، من تضاريس ومواد طبيعية وتربة ومناخ ونبات وحيوان وهذا جعل من الضروري التكاتف وبذل الجهود مع كافة العلوم والتخصصات الاخرى للمساعدة في حل المشاكل الأثرية (حسن، الموجز في علم الأثار، 1993، صفحة 71).

ونتيجة لهذا برزت الحاجة لتطوير وسائل حقلية علمية لحل قضايا ومشاكل المسح والتنقيب وتسهيل مهمة العمل الحقلي وانجازها في أسرع وقت حتى اصبح عالم الآثار قادر على الحصول على صورة تحليلية كاملة لكل ما موجود من اثار مدفونة في الموقع الأثري، وذلك بالكشف عن باطن الأرض من دون الحاجة للحفر والضرر بالموقع الأثري، مما جعل عمليات المسح لا تقتصر على دراسة ومسح سطح الموقع بل شمل دراسة وتحليل باطن الموقع الأثري ليكون الآثاري على اكمل استعداد وعلى معرفة بكل ما موجود ولحصر منطقة التنقيب في الموقع الاغنى بالآثار (Brotdwell، 1960، p. 100).

ومن اكثر الطرائق شيوعاً في عمليات المسح الاثري الطرائق الكيميائية والطرائق الجيوفيزيائية، مثل الطريقة الكهربائية أومقياس شدة الكهربائية الارضية والطريقة المغناطيسية التي تقيس قوة وشدة المجال المغناطيسي في الموقع، وطريقة الرادار الارضي المخترق للتربة GPR والذي سنتفصل في شرحه في هذا البحث (Clement، 2003، p. 3).

نبذة تاريخية عن GPR

في أوائل القرن العشرين استطاع المخترع الألماني كريستيان هولسماير اختراع جهاز بسيط يساعد السفن على تجنب الارتطام في الضباب، واعتمد على خاصية الموجات الراديوية وقدرتها على الانعكاس عن الاجسام الصلبة، وبعد عقدين من الزمن جرى تطوير هذا النظام حتى اصبح قادراً على انتاج ذبذبات قصيرة من الطاقة الراديوية مما جعل نظام الرادار اكثر فائدة وعملية في الاستخدام (Baker، 2007، p. 10)، فيما بعد اصبح بالإمكان تحديد المدى وتسجيل وقت الذبذبات باستخدام راسم للإشارة وهوائي للكشف عن الأهداف، وفي الفترة التي ما بين 1934-1939م طورت ثمان دول وبشكل سري انواع من انظمة الرادار مثل ألمانيا، أمريكا و الاتحاد السوفيتي واليابان وهولندا وفرنسا وايطاليا والصين وبمرور الوقت انظمت الكثير من الدول للسعي الى تطوير هذا النظام، بعد اثبات فاعليته في كثير من التطبيقات العسكرية والعلمية حتى امتلكت الكثير من الدول المتطورة العديد من الرادارات البرية والبحرية والجوية (طه، هندسة النظم الرادارية وتطبيقاتها، 2020، صفحة 20)، ومما ساعد على تطوير نظام الرادار احداث الحرب العالمية الثانية والحاجة الماسة الى التنافس بين الدول العظمة لامتلاك التقنيات الحديثة حتى انتشر بعد الحرب استخدام الرادار ليدخل العديد من المجالات كالملاحة البحرية والطيران المدني ونظام عمل الشرطة والرصد الجوي وحتى في الطب وعلم الجيوفيزياء، وسخر فيما بعد لخدمة العمل الآثاري، وساهم تطور علم الحاسوب وانتشار استخدامه الى تطوير اسلوب عمل الرادار وتفسير اشاراته ومعالجة بياناته (الله، 2006، صفحة 15).

أسلوب عمل الـ GPR

يرمز الرمز GPR الى الحروف الأولى لأسم الجهاز المستخدم باللغة الانكليزية Ground penetrating Radar وهي تقنية جيوفيزيائية يعتمد عملها على الاشعة الكهرومغناطيسية ذات التردد ما بين 1-1000 ميكا هيرتز وتستخدم للكشف عن الأجسام القريبة من السطح، وتعتمد طريقة عمل ال GPR المخترق للأرض على قياس المدة أو الوقت الذي تقطعه الموجة من لحظة الاطلاق من هوائي الرادار وانتقالها عبر سطح

الأرض ثم انعكاسها والى لحظة معاودة الاستلام بعد تأثرها بالخواص الكهربائية والمغناطيسية للتراكيب المدفونة في الأرض، الشكل رقم(1) (Ferrara Grond penetrating Radar as remote Sensing technique to investigate the root system 2014 p. 696) وتؤثر نسبة التردد Frequency للأشعة المرسلة في تحديد نوعية وعمق الاجسام المدفونة في الأرض، فالترددات المرسلة بنسبة منخفضة أي بحدود 100الى 400 ميكا هرتز تصل الى اعماق من 15–20 م في التربة الجافة الرملية ومن 5–10م في التربة الطينية وتساعد قابلية التربة على التوصيل الكهربائي في زيادة تردد الموجة وتقليل عمق اختراق الامواج الرادارية المرسلة، (Shokri N. H. 2016 p. 2) ويعتمد جهاز الرادار في عمله على التفاصيل الهندسية للجسم وعلى طبيعة ونوع الوسط المحيط وعلى طول الهوائي المستخدم للأرسال Transmitter وللاستقبال Receiver ويقاس زمن ارسال واستلام الاشارة الكهرومغناطيسية بالنانو ثانية، وتعبر هذه المدة المستهلكة في عملية الانتقال عن كثافة المحيط والاجسام المدفونة وعن عمقها وتعزز هذه التقنية من سرعة مسح المساحات الممسوحة ومن دقة نتائج المسح وتحديدا عند الحصول على صورة مسح راداري شاملة للموقع تظهر فيها مستوى امتداد الاجسام الأكثر أو الاقل كثافة بشكل يسهل تفسيره وتحليل طبقته (نعناعة، الجيوفيزياء الأثرية تقنياتها واستخدامها وافاقتها، 2023، صفحة 252)، ان الاشارات المنعكسة من الهدف المدفون لا تصل الى الهوائي المستلم كاملة وواضحة بل تكون متداخلة مع الموجات المنعكسة من التربة المحيطة بالهدف المدفون مما يسبب نوع من التشويش في الصورة بحيث يؤثر على طبيعة البيانات المستلمة ووضوحها مما يتطلب تحليل البيانات المستلمة وتصفيتها باستخدام البرامج مثل Rad Explorer أو Ground Visions بأسلوب المعالجة الرياضية وتحسين خصائص البيانات وعادة ما ينخفض وضوح البيانات المستلمة عند طول المسار الناقل للأشعة فلابد من زيادة قوة الإشارة، ولهذا يفضل استخدام جهاز GPR في التربة الرملية التي لا تحتوي على صخور أو احجار أو جذور نباتات كبيرة (Mohammed 2016 p. 2176).

ان التفاعل بين الاهداف والموجات الكهرومغناطيسية ينتج صور مشابهة لصور الموجات فوق الصوتية، ويمكن تحويل صور الـ GPR الى صور ثلاثية الأبعاد وبشكل خرائط عالية الدقة والوضوح (Ferrara، Ground penetrating Radar as remote sensing technique to investigate root system، 2014، p. 697)، وذلك بتحويل الاشارات المرتدة من الهدف من شكل الترددات الراديوية الى شكل الترددات الصوتية ومن مسح الاشارات المستلمة وانتاج ملف خرائط جديد يقوم المفسر بتفسيره وتكون هذه الملفات عادة معقدة بحيث يصعب تفسيرها فيختلف المفسرون في تفسيرها ولذلك يلجأ المفسرون الى برامج الذكاء الاصطناعي للوصول الى التفسير الأمثل (Smith، 1993، p. 13) . وتعد الاسطح العاكسة المستوية أفضل انعكاسية للموجات من الاسطح غير المستوية وتكون الاسطح المستوية فعالة اكثر مع الترددات اذا كانت متعامدة على اتجاه الموجه المرسلة من الرادار اما اذا كانت مائلة عن الاتجاه العمودي فلن تصل الموجة المنعكسة من الهدف المستوي الى الرادار ابداً ولن يكون من الممكن اكتشافها، ويضاف الى ذلك ان طول الموجة اذا كان اكبر من ابعاد جسم الهدف فلن تنعكس الموجة بل ستحيد وستكمل مسارها بسبب ظاهرة الحيود (الحمودي ع.، 2020، صفحة 389).

وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسية في اجهزة الرادار بدلاً من الموجات الصوتية لمميزاتها وقابليتها العملية اذ ان لها القابلية على الانعكاس بشكل كبير اذ لها سرعة انتقال مساوية لسرعة انتقل الضوء ولا تحتاج الى وسط ناقل لتنتقل اذ تنتقل في الفراغ ولمسافات طويلة ولا تسبب ازعاج مثل الموجات الصوتية، ويمكن ملاحظتها بالرغم من كونها غير مرئية وهي ثابتة السرعة (Annan، 2009، p. 35). وتؤثر طبيعة مادة الهدف المدفون في مقدار انعكاس الاشعة المنبعثة من الرادار فالأجسام المصنوعة من المعادن كالحديد والألمنيوم من السهل اكتشافها، وذلك لزيادة درجة انعكاسها، وهنالك بعض المواد ذات مقاومة كهربائية عالية ومن الصعب على اجهزة الرادار الكشف عنها وتستخدم هذه المواد في طلي اجسام الآلات الحربية لمنع اكتشافها بأجهزة الرادار (Muhsin، 2014، p. 81)، وتؤثر قيمة تردد الاشارة الرادارية وطبيعية الوسط الناقل في مقدار اختراق الرادار للطبقات الأرضية فكلما

زاد تردد الموجات الرادارية كلما قل عمق الاختراق الراداري وبالعكس اذا قلت الترددات للإشارة زاد عمق الاختراق، فضلاً عن ان الموجات الرادارية تكون ذات قدرة على اختراق الاوساط ذات المقاومة العالية اكثر من الاوساط القابلة للتوصيل العالي بسبب كثرة أيوناتها (عطار، دراسة استخدام رادار الأختراق الأرضي في الكشف عن الهياكل العظمية، 2013، صفحة 87) وطبقت طريقة الرادار الأرضي في عدد قليل من المواقع الاثرية في العراق، منها موقع حصن الاخيضر في دراسة علمية اجراها طالب دكتوراه في علم الأرض في جامعة بغداد بعنوان(دراسة اثارية لموقع الاخيضر باستخدام المرئيات الفضائية ورادار الاختراق الأرضي)، وتوصل الى تحديد مواقع وتخطيط عدد من جدران العمائر الاثرية المدفونة في عمق 3 م من سطح الأرض ضمن حدود حصن الاخيضر .

وتتلخص صفات بيانات الرادار المثالي وفي احسن الاحوال بـ

1. التأكد من وجود الهدف أو عدمه.
2. نوع الهدف وطبيعته.
3. تحديد موقع الهدف وبدقة عالية وبدون حفر.
4. تحديد سرعة الهدف واتجاهه اذا كان متحركاً (الحمودي ع.، 2020، صفحة 388).

مميزات المسح الاثري باستخدام ال GPR

تحقق تقنيات الرادار الارضي نتائج واعدة في عمليات المسح الاثري وبالاعتماد على ارسال واستلام الموجات الكهرومغناطيسية وفي اتجاهات مختلفة وبتسجيل ارتدادات هذه الموجات وقياس مدتها وشدتها بالإمكان الحصول على الكثير من المعلومات عن المدفونات التي في باطن الارض في الموقع الأثري، ويمكن تلخيص مميزات المسح الاثري باستخدام الـ GPR بهذه النقاط:

1. تعزز هذه التقنية من مساحة وحجم المنطقة الممسوحة وخاصة عند وجود حاجة للقيام بمسح شامل للموقع الاثري (Vogner، 2022، p. 10).

2. بإمكان الرادار الارضي ان يميز قيمة كثافة الاجسام الأثرية المدفونة مما يسهل من تفسيرها وبالتنبؤ بطبيعتها وتمييز ما اذا كانت نتيجة نشاط بشري او غير ذلك (نعناعة، الجيوفيزياء الأثرية وتقنياتها استخداماتها وافاقها، 2023، صفحة 252).
3. يمكن تمييز الانعكاسات الموجية الناتجة عن البقايا الاثرية عن الانعكاسات الشاذة الناتجة عن التربة المحيطة والرواسب في الموقع الممسوح، وهذا ما يميز هذه الطريقة عن الطرائق الجيوفيزيائية الأخرى (Conyers، 2004، p. 205).
4. الدقة في تحديد موقع الهدف المدفون وتعيين المكان مع اعطاء احداثيات دقيقة للموقع المحدد، كون الرادار الأرضي يكون مرتبط بالأقمار الاصطناعية (Muhsin، 2014، p. 81).
5. الموجات الراديوية الأرضية قادرة على الكشف عن المقابر المجهولة القديمة في المناطق النائية الشكل رقم(2) (عطار، دراسة استخدام رادار الاختراق الا|رضي في الكشف عن الهياكل العظمية، 2003، صفحة 88).
6. اعداد خرائط كاملة لكل ما موجود في الموقع الاثري دون الحاجة الى الحفر، الشكل رقم (3).
7. يمكن انتاج خرائط ثلاثية الابعاد 3D للأهداف الاثرية المكتشفة بالرادار (Shokri، 2016، p. 6) .N. a.
8. يستخدم الرادار للكشف عن مواقع جذور الاشجار الكبيرة والصخور الضخمة في الموقع الاثري اثناء عملية المسح حتى يمكن تجنبها اثناء القيام بأعمال التنقيب، الشكل رقم(4) (Serrara، 2014، p. 697).
9. يمكن الكشف عن الأهداف الأثرية المدفونة في اعماق كبيرة قد يكون من الصعب الوصول اليها بإعمال الحفر الاعتيادية لأنها ستكون مكلفة (Akhter، 2018، p. 346).
10. سهولة حمل جهاز الـ GPR والتنقل به في الموقع الأثري عند القيام بإعمال المسح.

11. بالإمكان الاعتماد على برامج الحاسوب المعتمدة على الذكاء الاصطناعي مثل برنامج الـ Arc GISلتحليل صور الميزات الأثرية المدفونة (بتة، 2018، صفحة 30).
12. باختيار المفسر الصحيح ذو الخبرة مع جهاز الرادار الدقيق والحديث يمكن الحصول على نتائج تكاد تكون اقرب الى الرؤية الحقيقية.

الاستنتاجات:

1. لا يمكن الاستغناء عن عمليات المسح التقليدية عند مسح المواقع الاثرية لكن لا بد من استخدام الاساليب التقنية الحديثة كمساعدة ومكملة لعمليات المسح الأثري المنظم.
2. لابد من انجاز اعمال المسح الأثري قبل الشروع والمباشرة بإعمال التنقيب ولأيمكن مسح المواقع الاثرية اثناء أو بعد الشروع بعمليات التنقيب المنظمة.
3. الرادار الأرضي افضل خيار من بين الطرق الجيوفيزيائية المعتمدة في اعمال المسح والكشف في المواقع الأثري لسهولة توفره وحمله والتنقل به على ارض الموقع.
4. عملية المسح باستخدام الـ GPR لا تحتاج الى فريق عمل كبير اذ يمكن لشخصين على الأكثر انجاز العمل المطلوب.
5. لا يمكن الاعتماد على صور الرادار الارضي من دون خضوعها للمعالجة والتفسير باستخدام البرامج التطورة والمعتمدة على الذكاء الاصطناعي.
6. ان اساس عمل الرادار الارضي GPR هو موجات الأشعة الكهرومغناطيسية التي لها القابلية الى النفاذ والانتقال بسرعة مخترقة السطوح.
7. قد يتوفر جهاز GPR في كثير من المراكز والوحدات البحثية العملية في الجامعات العراقية ولكن المعوقات الامنية وصعوبة استحصال الموافقات الادارية جعلت من استخدامه للأغراض الدراسية العلمية أمراً أشبه بالمستحيل.
8. عند الاطلاع على كل مميزات جهاز الرادار GPR في مسح المواقع الأثرية سنلاحظ أهمية وضرورة واستخدام جهاز الرادار قبل المباشرة بأي اعمال تنقيب للحصول على عمل منظم ولتقليل الخسائر ولتلافي ضياع الجهد والمال.
9. اصبح بالإمكان انجاز خرائط اثرية لأي موقع اثري من دون الحاجة لاستظهاره وقبل الشروع بالتنقيب بالاعتماد فقط غلى صور3D الخاصة بالـ GPR.

المصادر والمراجع:

1. Akhter، H. (2018). The methods and recent invented tools and techniques used in Archeeology for delicately reserving the past for the future، Archaeological discovery. No. *6*.
2. Ammerman، A. J. (1981). sarveys and Archaeological research، Annal Review of anthropology. *Vol. 10*.
3. Annan، A. P. (2009). *Electromagnatic principles of Ground penetrating Radar، Theory and application.*
4. Baker، G. S. (2007). *Antroduction to Ground Paentrating radar (GPR).* The Gealogical Society of American Special Paper 432.
5. Brotdwell. (1960). *Science in Archaeology.* London.
6. *Clement، W.P (2003). GPR Surveys Across aprototype Surface Barrier to determine Temporol and Spatial variation in soil moisture center of Geophysical investtigation of the shallaw subsurface.* University Boise.
7. Conyers، L. B. (2004). *Ground penetrating radar for Archaeology.* California.
8. Ferrara، C.، & others، (2014). *Ground penetrating Radar as remote Sensing technique to investigate the root system.* Italy، July: University of Roma.
9. Ferrara، C. & others. (2014). *Ground penetrating Radar as remote sensing technique to investigate root system.* Italy، July: University of Roma.
10. Mallawan، M. (1956). *Twenty five years of mesopatamian Discovery.*
11. Michael، B. & others (1978). The Design od Archaeological Surveys، world Archaeology.VOL. 10. *No. 1*.

12. Mohammed A. A. & Mahdi A. S. (2016). Detection of umarked graves using Ground ppenetrating Radar. *Iraqi Jaurnal of Science Vol. 57. No. 3B*.

13. Muhsin I. J. & Mahdi H. S. (2014). Automated Method for buried object detecting using groud penetrating radar GPR survrey. *Iraqi Journal of Sience No. 23*.

14. Ferrara C. a.and others (2014). *Ground penetrating Radar as Remote sensing technique to investigate the root system.* Italy: Unversity of Roma.

15. Shokri N. a. and Amin Z. M. (2016). Ground penetrating radar (GPR) Application Archaeology IGCESH Augest.

16. Shokri N. H. and Amin Z. M. (2016). *Ground penetrating radar (GPR) Application in Archaeology IGCESH Augest.*

17. Smith S.S. and Scllion. (1993). *Develiopment of Ground penetrating Equipment for Detecting Pavement condition for preventive maintenance.* Washington: National Research Council.

18. Vagner P. M. and others (2022). Application of Geaphysical methods in arcgaeological Survey of early medieval fortifcation. *Remotesens VOL. 14. No. 10*.

19. توامة نعناعة، (1993)، المسح الأثري وتوضيح المفاهيم في: المسح الاثري في الوطن العربي *المؤتمر الثاني عشر للاثار في الوطن العربي*، تونس، المنظمة العربية للتربية والثقافة.

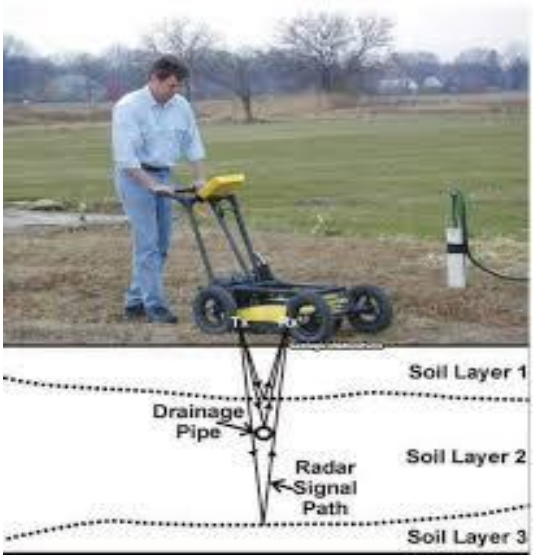
20. توامة نعناعة، (2023)، الجيوفيزياء الأثرية تقنياتها واستخدامها وافاقها، *مجلة الإنسان والمجال*،(مجلد9، عدد 1).

21. توامة نعناعة. (2023). الجيوفيزياء الأثرية وتقنياتها استخداماتها وافاقها. *مجلة الإنسان والمجال*،(مجلد9، عدد 1).

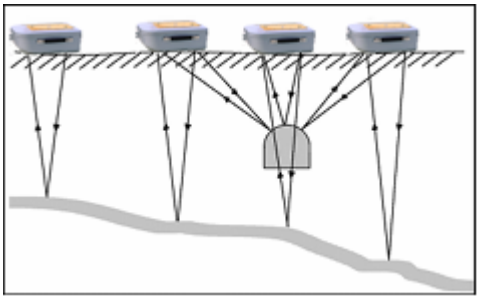
22. حسن علوان عطار. وآخرون (2003). دراسة استخدام رادار الاختراق الارضي في الكشف عن الهياكل العظمية. *مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، عدد2*.

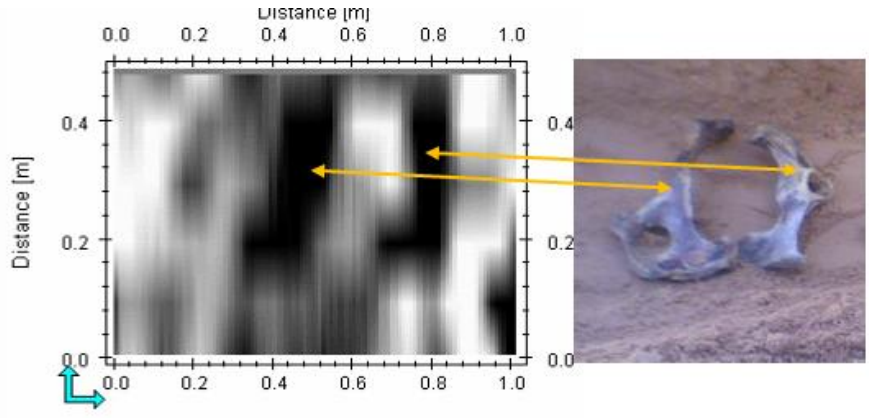
23. حسن علوان عطار. وآخرون (2013). دراسة استخدام رادار الأختراق الأرضي في الكشف عن الهياكل العظمية. *مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية، عدد 2*.

24. علي حسن. (1993). *الموجز في علم الأثار*. القاهرة.
25. خير الدين العنابي. (1993). مسح المواقع الاثرية في: المسح الأثري في الوطن العربي. تونس: المنظمة العربية للتربية والثقافة.
26. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الأثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي للنشر.
27. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الأثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي.
28. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الأثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي.
29. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الاثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي للنشر.
30. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الأثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي للنشر.
31. عاصم محمد رزق. (1996). *علم الأثار بين النظرية والتطبيق*. مكتبة مدبولي.
32. عبد الله بن محمد العمري. (2020). *الجيوفيزياء التطبيقية* (المجلد 1). الرياض: جامعة الملك سعود.
33. عزت زكي حامد قادوس. (2008). علم الحفائر وفن المتاحف. جامعة الاسكندرية.
34. علي حسن. (1993). *الموجز في علم الأثار*. القاهرة.
35. علي حسن. (1993). *الموجز في علم الأثار.القاهرة*.
36. علي خليفة الحمودي. (2020). الرادار البحري وجهاز التوقيع الراداري الآلي ARPA. *مجلة القرطاس، العدد 7*.
37. علي خليفة الحمودي. (2020). الرادار البحري وجهاز التوقيع الراداري الآلي RPA. *مجلة القرطاس، العدد7*.
38. علي محمد طه. (2020). *هندسة النظم الرادارية وتطبيقاتها*. دمشق.
39. فوزي عبد الرحمان الفخراني. (1993). الرائد في التنقيب عن الأثار.بنغازي: جامعة قار يونس.
40. فوزي عبد الرحمان الفخراني. (1993). *الرائد في التنقيب عن الأثار*. بنغازي: جامعة قار يونس.
41. كامل حيدر. (1995). *منهج البحث الأثري التاريخي*. بيروت.
42. كامل حيدر. (1995). *منهج البحث الأثري التاريخي*. بيروت.
43. كامل حيدر. (19958). *منهج البحث الأثري التاريخي*. بيروت.
44. مرزوق بتة. (2018). *وسائل الكشف عن المخالفات الأثرية الطرق الجيوفيزيائية – نموذجاً-* (المجلد مجلد7، عدد 27). العصور الجديدة.
45. مؤتمن مرغني دفع الله. (2006). *مبادئ الرادار*. الخرطوم: أكاديمية كرري للتقنية.

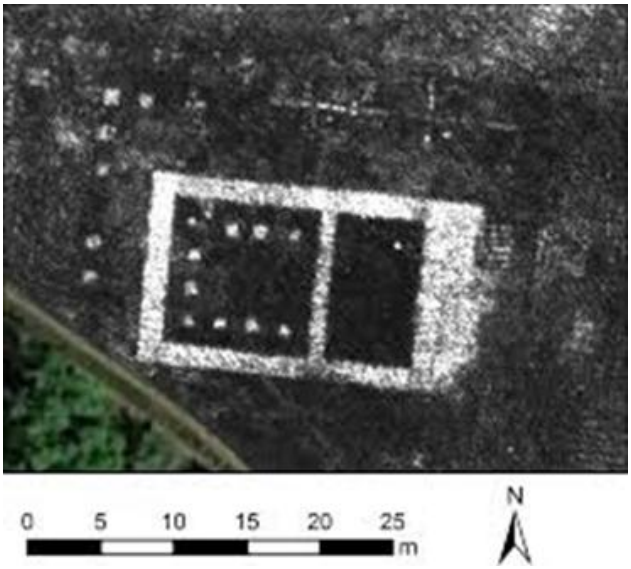


الشكل رقم(1) الاشعة المرسلة والمنعكسة في طبقات الأرض بجهاز GPR

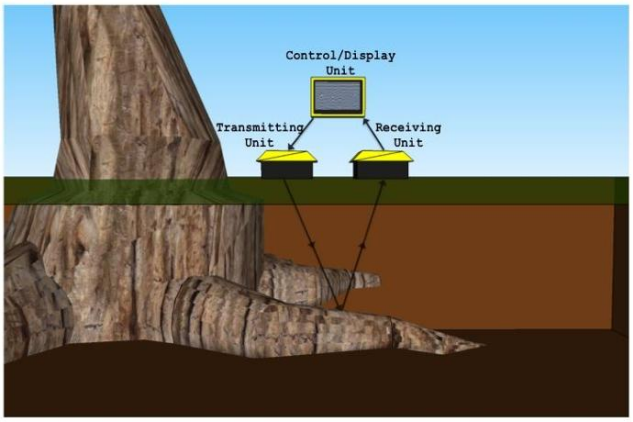




الشكل (2) الكشف عن المقابر والعظام القديمة باستخدام GPR



الشكل رقم (3) خارطة موقع أثرى مدفون باستخدام GPR



الشكل (4) الكشف عن جذور الأشجار في موقع المسح الاثري باستخدام GPR