جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل/ كلية العلوم.

القسم / علم الأرض التطبيقي

استخدام تقنية رادار اختراق الارض (GPR) في الكشف عن الاثار المدفونة في تل الاصيلع

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

من الطالب

تحسين علي بريبر حميني

أشراف الدكتور

احمد مسلم عطا الله الخواجة

٢٠٢٤

The Republic of Iraq

Ministry of Higher Education and Scientific Research

University of Babylon/ College of Science

Department of Applied Earth Science

Using Ground Penetrating Radar (GPR) Technique to Investigate Buried Archaeological Features in Tel Al-Aseleah

Graduation research submitted to the Department of Applied Earth Science, College of Science, University of Babylon

From the student

Tahseen Ali Briber Hamini

The supervisor

Dr. Ahmed Muslim Attalla Al-Khawaja

2024

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 و توجيهاته العلمية النظرية القيمة ومساعدته العملية المتواصلة وخروجه معي في العمل الحقلي وتعاونه في تشغيل جهاز GPR واخذ البيانات من منطقة البحث بشكل صحيح وسليم بالإضافة الى توفير المصادر العلمية المفيدة في البحث.

كما أود أن أشكر رئيس قسم علم الارض التطبيقي **الدكتور مهند راسم عباس العوادي** 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 الزملاء الذين دعموني في انجاز العمل الحقلي لبحث التخرج.

واقدم الشكر والتحية لجميع المعيدين والموظفين في القسم لجهودهم العلمية والعملية الرائعة طيلة فترة دراستي في القسم.

الفهرست

ت	الفصل الاول	رقم الصفحة
1-1	المقدمة	10
2-1	موقع منطقة الدراسة	11
3-1	الخلفية النظرية لطريقة عمل الرادار المخترق الارضي	13
	الفصل الثاني	
	العمل الحقلي لمسح رادار اختراق الارض	21
	الفصل الثالث	
1-3	تحليل وتفسير البيانات الحقلية الرادارية GPR	24
2-3	تفسير راداركرام لمسار رقم L1	24
3-3	تفسير لمسار L2راداركرام	25
4-3	تفسير راداركرام لمسار L3	26
5-3 6-3	الموديل الاثري لواقع لمنطقة البحث. المستخلص.	27

قائمة الاشكال

ت	اسم الشكل	رقم الصفحة
1	موقع تل الاصيلع الاثري بالقرب من جامعة بابل.	12
2	موقع منطقة الدراسة فوق المنطقة الوسطية من تل الاصيلع	12
3	الاساس النظري لعمل جهاز GPR في تسجيل البيانات الحقلية	13
4	تسجيل الرادار كرام..... الجهة اليمنى تمثل العمق بالمتر ، والجهة اليسرى تمثل الزمن ثنائي السير بالنانو ثانية.	14
5	عمل جهاز (GPR) في الكشف عن الفجوات والانابيب.	16
6	الفرق بين الهوائيات المستخدمة في هذا البحث.	17
7	طريقة تسجيل الانعكاسات الراديوية على شكل قطع زائد للنقطة.	19
8	تسجيل مقطع ثنائي الأبعاد	19

	(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	
9	استخدام جهاز الثيوديلايت والرادار في العمل الحقلي لمنطقة الدراسة.	21
10	تحديد مسارات الرادار الثلاثة في منطقة الدراسة.	22
11	ردارکرام المسار L1	23
12	ردارکرام المسار L2	23
13	ردارکرام المسار L3	23
14	تفسير الرادارکرام L1 وطبعة الشذوذ الموجودة ثحت السطح.	24
15	تفسير رادارکرام مسار L2 يوضح لنا الآثار الموجودة فيه	25
16	تفسير **رادارکرام لمسار** L3 يوضح الآثار الموجودة فيه	26
17	موديل مقطع عرضي يمثل الوضع الاثري التحت سطحي للأثار المدفونة في منطقة الدراسة	27

الخلاصة:

ان الهدف الرئيسي من البحث هو استخدام تقنية رادار اختراق الارض للكشف عن الآثار المدفونة في تل الاصيلع الاثري. الذي يبعد 10 كم الى جنوب مركز محافظة بابل, قرب جامعة بابل وضمن الاحداثيات N 32 25 23, E 44 24 69 . تبلغ مساحة تل الاصيلع الكلية بحدود 6000 متر مربع ويرتفع عن منسوب الارض المجاورة بحدود 2 متر تغطية تربة ناعمة من الطين السلتي. وسطح التل قليل التموج وخالي من الغطاء النباتي ومن قطع الاثار القديمة وغير منقب او محفور سابقا. تم اختيار المنطقة الوسطية او مركز التل للمسح الراداري والبالغة مساحتها 405 متر مربع حيث قسمت المنطقة الى ثلاث مسارات يطول 25 متر لكل مسار والمسافة بين مسار واخر 5 متر. استخدمنا جهاز الثيوديلايت المساحي لتحقيق الدقة في تحديد منطقة المسح واستقامة المسارات التي حددت بالاوتاد والحبال لضمان استقامة سير الجهاز عند عملية المسح. استخدم رادار اختراق الارض نوع مالا مع هوائي بتردد 450 MHz للحصول على أعماق ضحلة بما يتناسب مع عمق آثار منطقة الدراسة. تم تحليل بيانات (GPR) بواسطة برنامجين هما (GroundVision RAMAC, Reflex2Dquike). وبعد اجراء عمليات المعالجة والفلترة الترددية للبيانات الرادارية الحقلية من اجل التخلص من الضوضاء والتشويش قمنا بتفسير بيانات راداركرام المستحصلة. بينت نتائج تحليل وتفسير البيانات الحقلية الرادارية وجود اثار مدفونة تحت تربة سطحية (soil cover) سمكها 90 سم تقريبا مكونة من الطين السلتي الناعم . و أظهرت وجود جسمين اثرين واضحين في منطقة البحث, الأول عباره عن جدار مبني من الطابوق المحروق (fired bricks) بعرض 2 m موجود في منتصف منطقة البحث وعند عمق 1 m تحت سطح الأرض ويمتد بالعمق 3 m تقريبا. أما الجسم الثاني فيمثل طبقة افقيه من الطابوق الطيني (اللبن) (Horizon mud bricks) موجوده عند الجزء الشرقي من منطقة المسح وعند عمق 1 m تقريبا تحت سطح الأرض ويمتد افقيا بحدود 4 m, ويمكن ان يمثل أرضية غرفه قديمة. واستنادا لهذه النتائج تم رسم مقطع عرضي يظهر وضع الاثار المدفونة في منطقة البحث,

Conclusion:

The main goal of the research is to use ground penetrating radar technology to detect buried antiquities in the archaeological hill of Al-Aslaa. Which is 10 km south of the center of Babylon Governorate, near the University of Babylon and within the coordinates N 32 25 23, E 44 24 69. The total area of Tell Al-Aslaa is approximately 6,000 square metres, and It is approximately 2 meters above the level of the surrounding land, covered with soft silt clay soil. The surface of the hill Is slightly undulating, devoid of vegetation and pieces of ancient antiquities, and has not been previously excavated or excavated. The central area, or center of the hill, was chosen for the radar survey, with an area of 405 square metres. The area was divided Into three paths, 25 meters long for each path, and the distance between one path and anotherr was 5 metres. We used the theodelite surveying device to achieve accuracy in determining After performing frequency processing and filtering of field the survey area and straightening the paths that were marked with pegs and ropes to ensure the straightness of the device's operation during the surveying process. The Mala type ground penetrating radar was used with an antenna at a frequency of 450 MHz to obtain shallow depths commensurate with the depth of the traces of the study area. GPR data were analyzed using two programs: (GroundVision RAMAC, Reflex2Dquike). radar data In order to get rid of noise and disturbance, we interpreted the obtained radar data. The results of the analysis and interpretation of radar field data showed the presence of traces buried under a surface soil (soil cover) approximately 90 cm thick, composed of fine silt clay. It showed the presence of two clear archaeological objects in the search area. The first was a wall built of fired bricks, 2 m wide, located in the middle of the search area, at a depth of 1 m below the surface of the ground, and extending to a depth of approximately 3 m. The second body

represents a horizontal layer of Horizon mud bricks located in the eastern part of the survey area, at a depth of approximately 1 m below the ground's surface, extending horizontally by approximately 4 m, and could represent the floor of an old room. Based on these results, a cross-section was drawn showing the location of the buried antiquities in the search area.

الفصل الاول

1-1:المقدمة:

جهاز رادار اخترق الأرض والذي يعرف اختصار(GPR) والمشتق من الحروف الاولى من اسم الجهاز باللغة الانكليزية ((Ground Penetrating Radar)هو تقنية جيوفيزيائية تستخدم الاشعة الكهرومغناطيسية ذات التردد العالي (١) – ١٠٠٠ ميكاهرتز) للكشف عن التراكيب والاجسام الضحلة او القريبة من السطح. ان GPR يسمح باكتشاف المعالم الأثرية المدفونة تحت السطح وتحديد موقعها وعمقها وابعادها ورسم خرائط لها بطريقة سريعة واكثر امانا من تلك الأساليب الميدانية التقليدية المستخدمة في التنقيب عن الآثار مثل الحفر المباشر والتي يمكن ان تسبب ضرر للأجسام الاثرية المدفونة (Conyers, 2004). 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 (Daniels, 1996). ان من اهم العوامل التي تؤثر في قابلية استكشاف عمق الاجسام المدفونة وتحديد نوعية سطح الانقطاع المسبب لانعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية بشكل جزئي هو تردد frequency الاشعة المرسلة . فالمرسلة ذات التردد المنخفض ١٠٠-٤٠٠) ميكاهرتز) قد تصل الى عمق من ١٥-٢٠ متر في التربة الرملية الجافة ، والى ٥-١٠ متر في التربة الطينية. اما المرسلة ذات التردد العالي (١٠٠٠-٥٠٠ ميكاهرتز) قد تصل من ٢ – ١ متر في التربة الرملية الجافة ، والى اقل من 1 متر في التربة الطينية. وبشكل عام يقل عمق اختراق الامواج الرادارية المرسلة الارض بزيادة التوصيل الكهربائي للتربة وزيادة تردد الموجة (Cassidy, 2009).

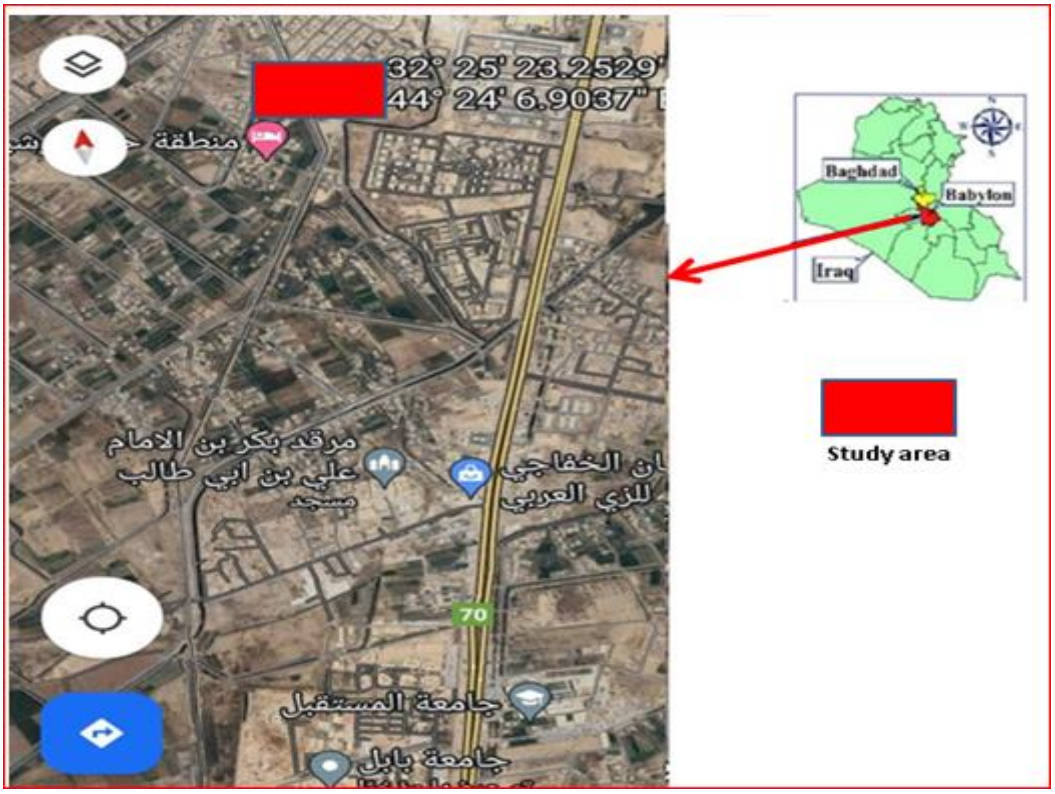
ان رادار اختراق الأرض هو أكثر فاعلية في المواقع المدفونة حيث توجد القطع الأثرية والمعالم ذات الأهمية على بعد 0.5 – 3.0 أمتار من السطح، ولكن بعد تطور التقنية الصناعية والبرمجيات التحليلية تم استخدامها أيضا للأجسام المدفونة بعمق أكبر يستخدم علماء الآثار نتائج

رادار اختراق الأرض (GPR) كإجراء ميداني روتيني لتحليل الواقع الطبيعي الاثري المدفون تحت السطح. اذ تعمل خرائط وصور ونتائج GPR كبيانات أولية يمكن استخدامها لتوجيه موضع الحفريات وتحديد المناطق الحساسة التي تحتوي على بقايا آثار ومخلفات بشرية حضارية ولتجنب الاضرار والتدمير في المواقع الأثرية ووضعها في سياقها التاريخي والبيئي الصحيح. ان GPR يعطي أفضل النتائج في المسوحات الأثرية حيث تكون المعالم المستهدفة كبيرة بالقرب من السطح وتتناقض او تختلف بشدة مع التربة المحيطة بها يستخدم رادار اختراق الأرض (GPR لرسم خرائط مواقع الافران والمواقد 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 والمواقد المدفونة (Annan, 2009) . يمكن أن يكون المسح الجيوفيزيائي هو أفضل طريقة للاستكشاف الاثري في المواقع الاثرية في العراق ومنها مناطق محافظة بابل الاثرية الكثيرة والغير منقبة لحد الان . لذلك فان الهدف من هذا البحث هو استخدام تقنية رادار اختراق الارض للكشف عن الاثار المدفونة في منطقة غير منقبة وغير محفورة سابقا لنعطي صوره تعريفية واضحة لطبيعة ونوع الاجسام الاثرية المدفونة تحت السطح, لتكون دليل للآثاريين لعمليات التنقيب المستقبلية مما يقلل المال والجهد والوقت وعمليات الحفر الفاشلة.

2-1-موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة فوق تل الاصيلع الاثري الذي يبعد بحدود 10 km جنوب غرب مركز محافظة بابل, ويبعد 3 km الى الشمال الغربي من جامعة بابل. تبلغ مساحة التل الكلية حوالي 6000 m^2 تقريبا. يرتفع التل 2 m عن منسوب سطح الارض المجاورة ويرتفع عن مستوى سطح البحربحدود 21 متر. غطت منطقة البحث مساحة 405 m^2 في الجزء الوسطي من تل الاصيلع , كما في شكل -1 . يغطي التل تربة طينية سلتيه. خالي من النباتات وسطح الارض أفقي

تقريبا وغير متموج. لا توجد بقايا اثاريه على أرض الموقع مثل قطع الجرار القديمة والطابوق الاثري، كما لاتوجد اثار ظاهره على السطح ولا محفورة أيضا, كما في شكل -2.

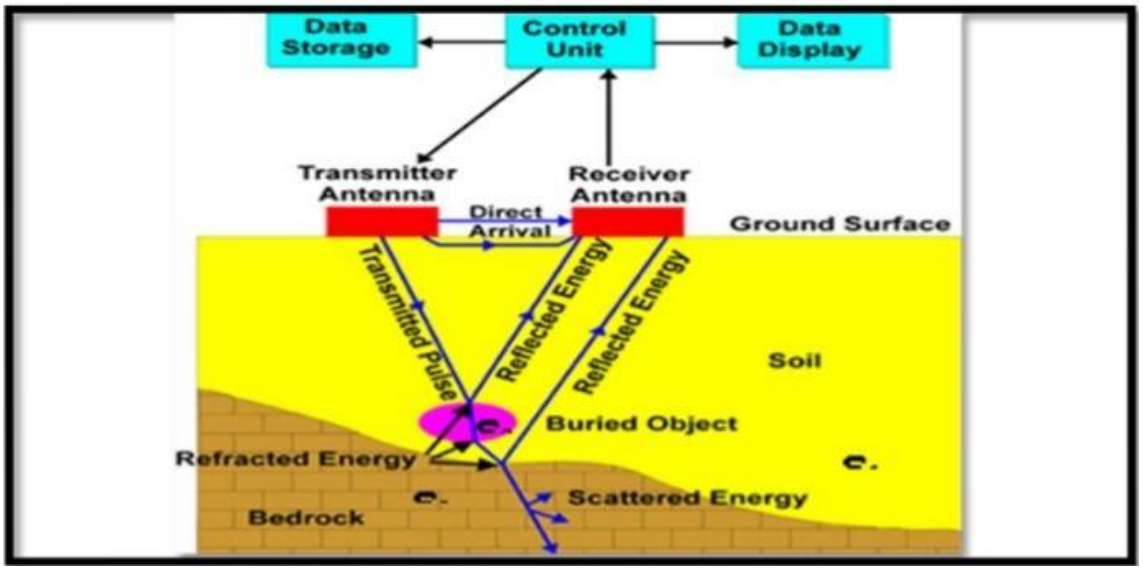


شكل رقم (١) يبين موقع تل الاصيلع الاثري بالقرب من جامعة بابل.

شكل -2 يبين موقع منطقة الدراسة فوق المنطقة الوسطية من تل الاصيلع

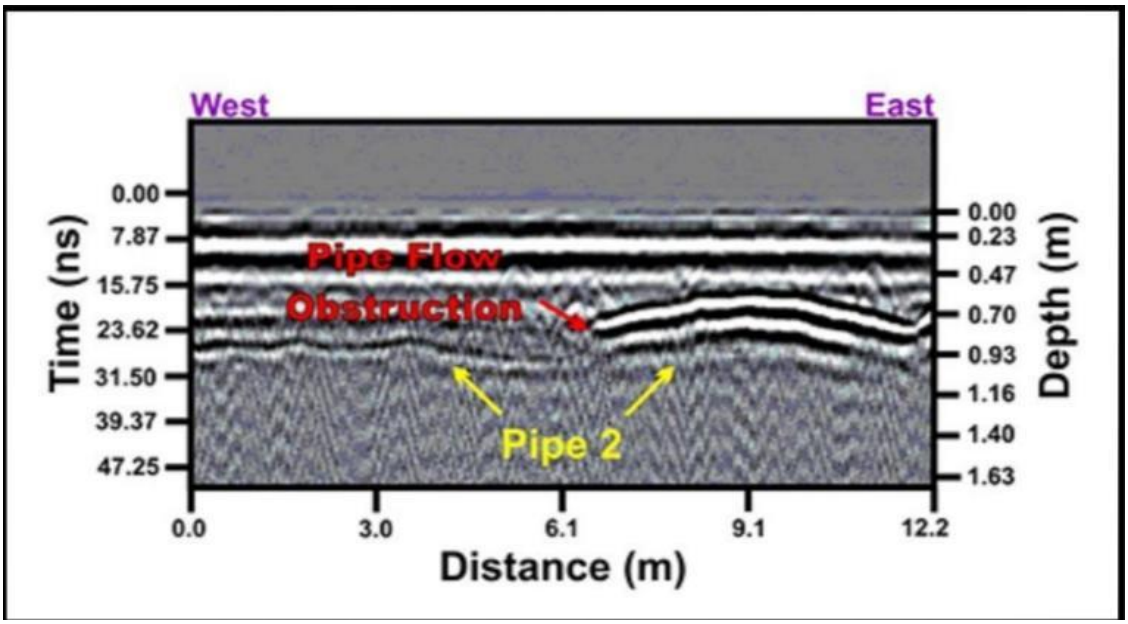
3-1– الخلفية النظرية لطريقة عمل الرادار المخترق الارضي

تعتمد طريقة عمل الرادار المخترق الارضي على قياس الوقت المنقضي بين لحظة اطلاق الموجات الراديوية الكهرومغناطيسية من هوائي الرادار على سطح الأرض لتنتقل في الارض واستلام الموجات المنعكسة عند الانقطاعات الفيزيائية الكهرومغناطيسية المدفونة والراجعة مرة أخرى الى السطح (Conyers and Goodman, 1997) . يرسل جهاز جي بي آر موجات كهرومغناطيسية من المرسلة (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 المرسلة اي زمن الذهاب والاياب ويسمى زمن الطريقين (Two Way Time). فاذا تم معرفة سرعة الموجة المرسلة خلال التربة فيمكن قياس عمق الجسم المسبب لانعكاس الموجة الرادارية (المسافة = السرعة × الزمن) ، كما هو واضح في شكل رقم (3)



الشكل رقم (3) يوضح الاساس النظري لعمل جهاز GPR في تسجيل البيانات الحقلية

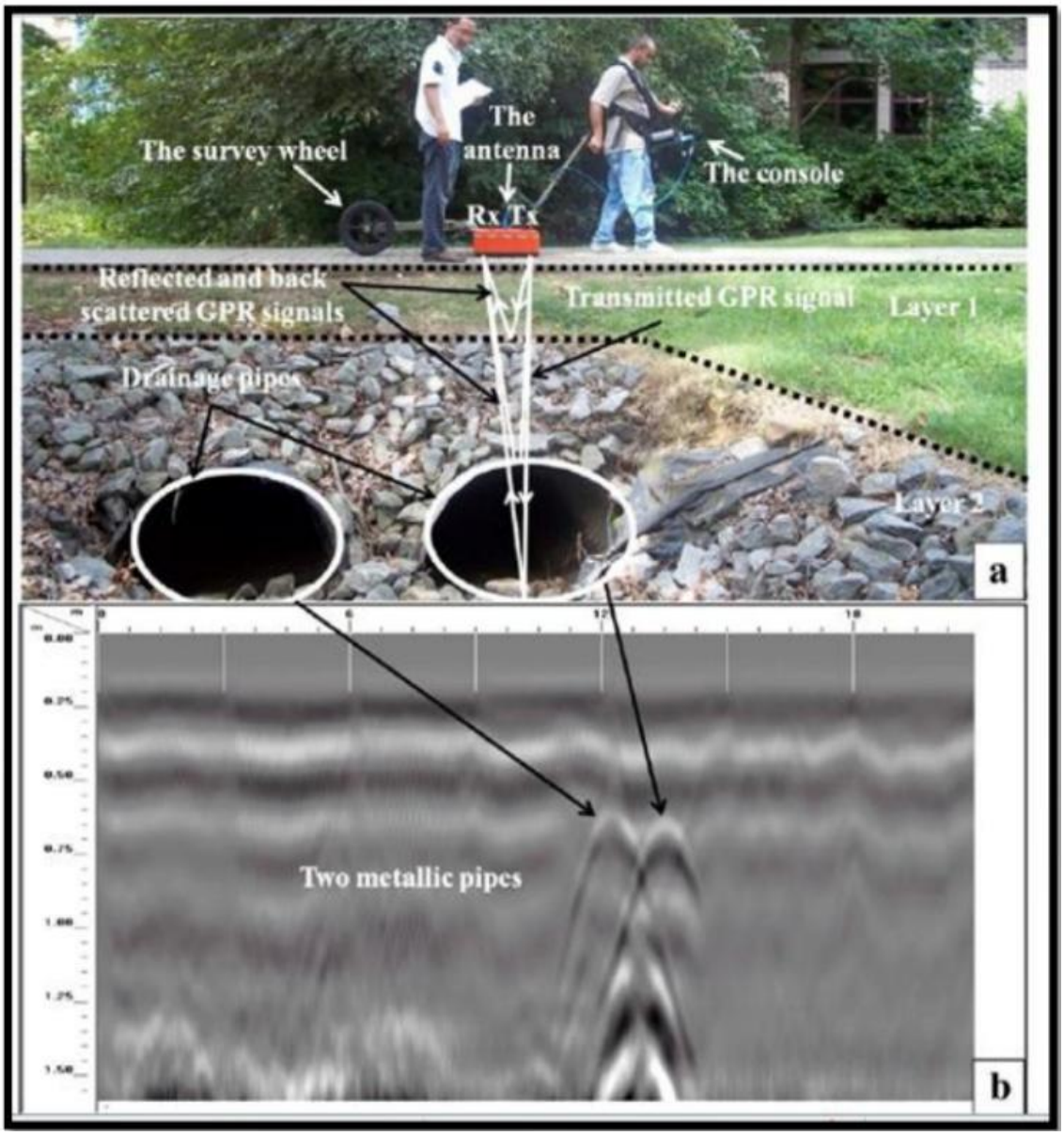
يتلخص عمل رادار الارض بأرسال موجات كهرومغناطيسية (EM) عالية التردد إلى الأرض بواسطة المرسلة Antenna من أجل تحديد اعماق واشكال ومواقع الأجسام الموجودة تحت السطح. عندما تواجه الموجة الكهرومغناطيسية المرسلة تغيرات في المواد تحت السطحية تتغير خصائص الموجة وينعكس جزء من الموجة مرة أخرى إلى السطح حيث يتم جمع 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 تسجيل الرادار كرام..... الجهة اليمنى تمثل العمق بالمتر ، والجهة اليسرى تمثل الزمن ثنائي السير بالنانو ثانية.

ويتم عرض سعة الموجات المنعكسة المتراصة أثناء إرسال نبضات الرادار - من خلال مواد التربة في طريقهم إلى الأهداف المدفونة تتغير سرعتها اعتمادا على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة التي يتم من خلالها الرحله (Conyers and Goodman 1997 2004 Conyers). 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 سرعتهم عبر الأرض فأن 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 أو 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 أيضًا 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 أيضًا 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 الاشجار أو الأنفاق التي أنشأتها الحيوانات لتختبئ فيها. هذه النقاط هي القطوع الزائدة (Hyperbola) تم إنتاجه لأن هوائيات GPR تولد حزمة رادار مرسلة 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.

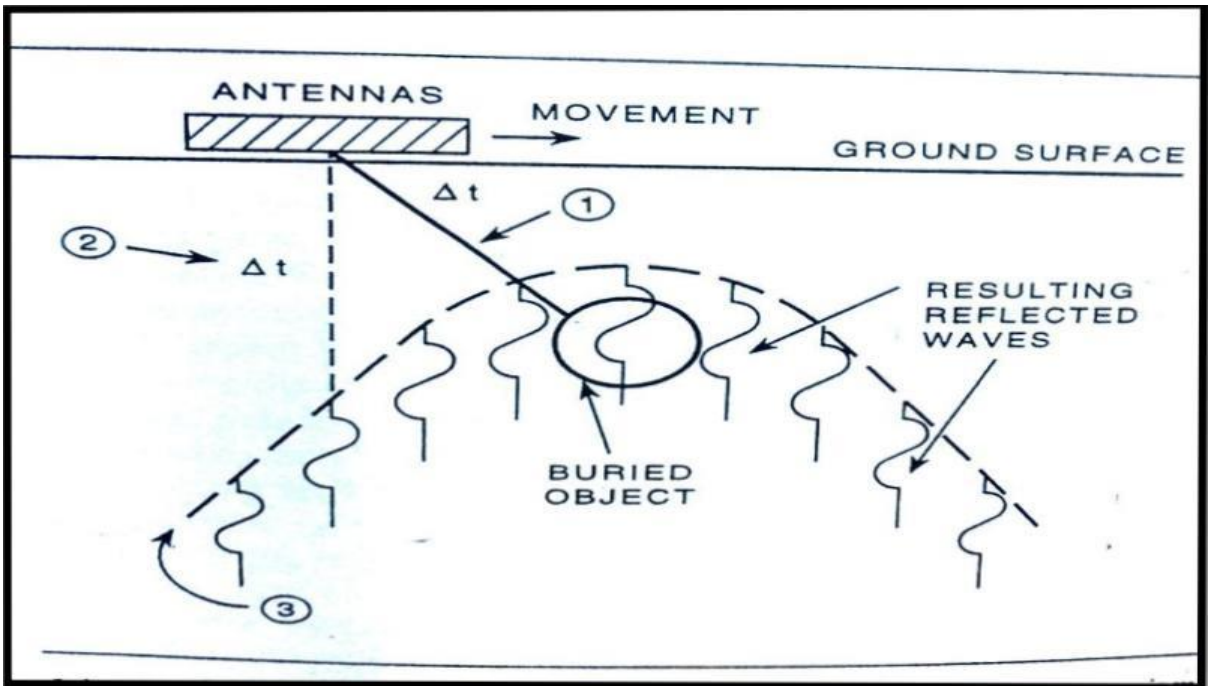
تعتمد قابلية استكشاف عمق الاجسام المدفونة وتحديد نوعية سطح الانقطاع المسبب لانعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية بشكل جزئي على تردد الاشعة المرسلة في الارض وان تردد الاشعة سوف تتحكم بالطول الموجي ومقدار التوهين للطاقة الموجية في الارض ان كل مرسلة اشعة مرفقة مع الجهاز لها مركز تردد واحد معلوم يبدا ١٠٠,٣٠٠,٥٠٠,٨٠٠,١٠٠٠ ميكاهرتز، كما في شكل(6) . فكلما زاد تردد الموجات المرسلة كان عمق الاستكشاف قليل وقريب من السطح والعكس صحيح. كلما زاد التردد قل حجم الهوائي .

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

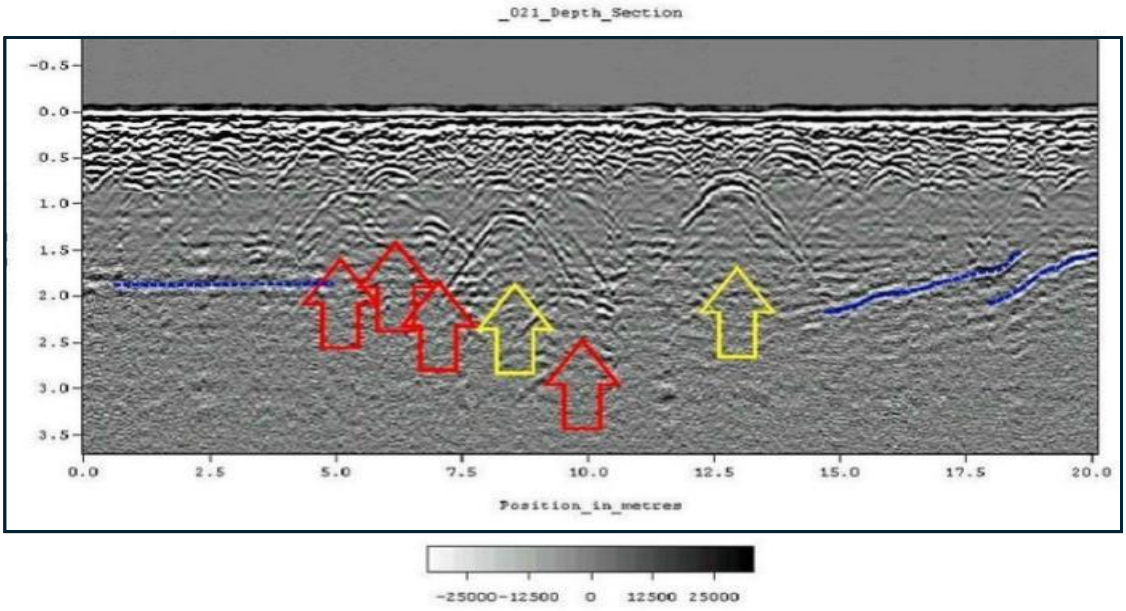
أحد أهم المتغيرات في استطلاعات GPR هو اختيار antenna بتردد التشغيل الصحيح للعمق المطلوب حيث تتراوح هوائيات GPR العاملة والمرفقة مع الجهاز من ١٠ إلى ١٢٠٠ ميغاهرتز (ميجاهرتز) مركز التردد ان الاختيار الصحيح لتردد الهوائي في معظم الحالات يساعد في تحقيق الفرق بين النجاح والفشل في مسح GPR لذا يجب التخطيط له مقدما بشكل صحيح عموما كلما زاد عمق البحث الضروري للهدف كلما انخفض تردد المرسلة (Antenna) التي ينبغي استخدامها. ان هوائيات التردد المنخفض (أقل من ١٠٠ ميجا هرتز) هي كبيرة وثقيلة ويصعب نقلها إلى الميدان ولكن تصل الى اعماق اكبر ، لذا يتم جرها خلف مركبة على مقطورة أو مزلجة أو حملها يدويًا. في المقابل أن هوائي ٩٠٠ ميجاهرتز 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 (١٠-١٢٠

ميجاهرتز) تولد طاقة بأطوال موجية من عدة أمتار لها القابلية اختراق اعماق اكبر والكشف عن اهداف كبيرة ايضا . ان ورادار الاختراق الأرضي تخترق ما يصل إلى ٥٠ مترا في ظروف معينة ولكنها قادر على حل المشاكل الجوفية الكبيرة والكشف عن الاهداف الاثرية والهندسية المدفونة عميقا بجداره. في المقابل فإن أقصى عمق للاختراق يبلغ تردد هوائي ٩٠٠ ميجاهرتز حوالي 1 متر أو أقل في تربة نموذجية ، ولكن انعكاساتها المتولدة يمكن أن تكون قادره للكشف عن اجسام اثرية يصل حجمها إلى بضعة سنتيمترات

ان انعكاس الاشعة من الأجسام المدفونة تحت السطح سوف تسجل في خطوط موجية (Traces) في كل لحظة ثم تجمع وتعرض على مقطع ثنائي الأبعاد 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 طبقية (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 (source (point) 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 Hyperbolan) 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 المستقبلة (Receiver) او تسجل الانعكاس للنقطة المصدرية قبل ان تكون فوقها مباشرتا، وتستمر بالتسجيل للنقطة حتى بعد ان تتجاوزه) ,1997 (Conyers and Goodman، كما في شكل (7 و 8).



شكل رقم (7) يوضح طريقة تسجيل الانعكاسات الراديوية على شكل قطع زائد للنقطة.



شكل رقم (8) تسجيل مقطع ثنائي الأبعاد (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.

بالإضافة ان من اهم العوامل التي تؤثر على نجاح مسح GPR هي:

معلومات جمع البيانات المستخدمة والتي يتتحكم في خصائص الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة والطرق التي يتم بها تذكر انعكاساتها على السطح

نوع التربة التربة الرملية تعطي وضوح وعمق استكشاف افضل من التربة الطينية).

الرواسب ونوعية المعادن الموجودة فيها.

محتوى الطين او كمية الطين الموجودة في الرواسب التي تمر فيها الاشعة الرادارية (كلما زاد محتوى الطين زاد تشتت الاشعة وبالتالي تقل وضوحيه الهدف ويقل عمق الاستكشاف للأشعة الرادارية) (Al-Khersan et al., 2016).

1. ورطوبة الأرض.
2. عمق الدفن.
3. تضاريس السطح.
4. كثافة الغطاء النباتي.

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

يتحكم التردد في:

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

الفصل الثاني

العمل الحقلي لمسح رادار اختراق الارض

ابتدأ العمل الحقلي في الشهر كانون الثاني من سنة 2024 وقد تضمن ثلاث طلعات متعاقبة لموقع منطقة الدراسة لتحديد افضل رقعة في التل وخالية من الانقاض والضوضاء المغناطسية من اجل سلامة وتحسين اجراء مسح GPR . تم اجراء العمل المساحي بواسطة جهاز الثيودلايت . وتم تحديد اماكن مسارات المسح وتعينها بأوتاد خشبية موصلة بحبال من اجل استقامة عملية مسح الرادار وتثبيت احداثيات رقعة الدراسة و احداثيات المسارات كما في شكل-9.

الشكل رقم (9) يوضح استخدام جهاز الثيوديلايت والرادار في العمل الحقلي لمنطقة الدراسة

تم اختيار المنطقة الوسطية او مركز التل للمسح الراداري والبالغة مساحتها 405 متر مربع حيث قسمت المنطقة الى ثلاث مسارات يطول 25 متر لكل مسار والمسافة بين مسار واخر 5

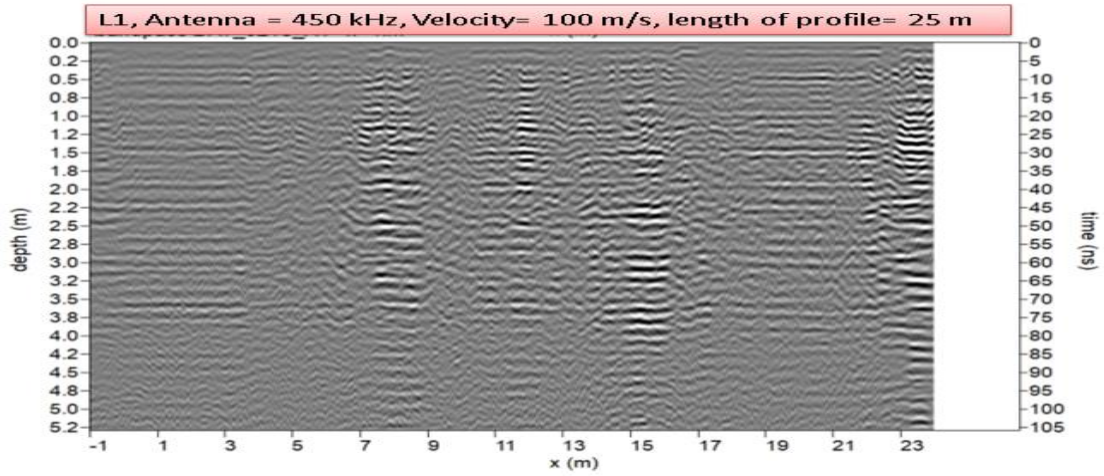
متر كما في شكل -10-. استخدم رادار اختراق الارض نوع مالا مع هوائي بتردد 450 MHz للحصول على أعماق ضحلة بما يتناسب مع عمق آثار منطقة الدراسة. . تم تغذية الجهاز بالمعلومات الضرورية لعملية المسح . ادخلت للجهاز السرعة للموجات داخل التربة 100متر/ثانية اعتمادا على نوع التربة المكون من سلتي كلي لأغلب المناطق الاثرية العراقية (AL-Hameedawi et al., 2022) , (Al-khafaji and Thabit, 2018). بالاضافة الى المعلومات الضلرورية الاخرى وبما يتناسب مع عمق الهدف وحجمة وامتدادة وطبيعة التربة المحيطة به , وتتضمن العوامل التالية:

1. Velocity of the wave in soil= 100 mls
2. Time window = 80 ns
3. Stacking = 4
4. Frequency = 450 MHz.
5. Sampling frequency =2600

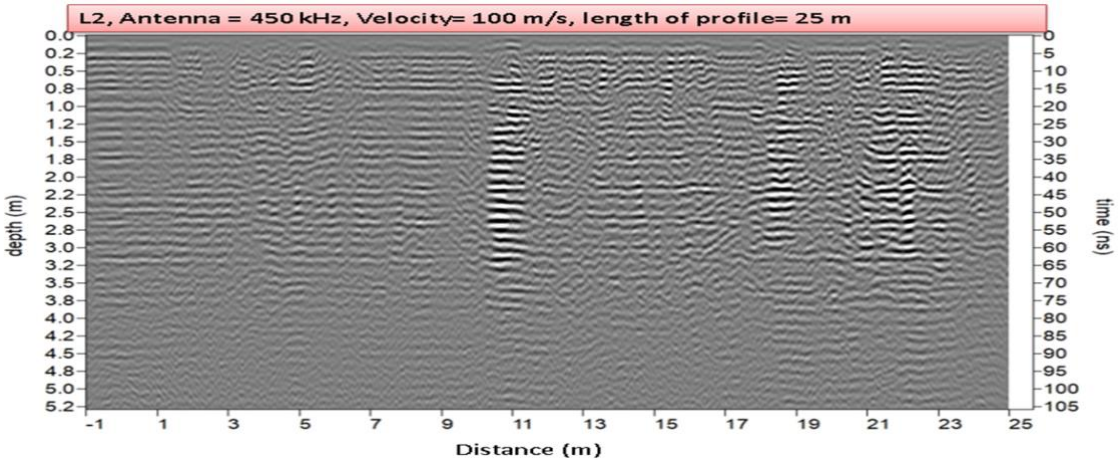
واجريت عملية المسح الراداري على ثلاث مسارات (L1,L2 , L3) .

الشكل رقم -10- يوضح تحديد مسارات الرادار الثلاثة قي منطقة الدراسة .

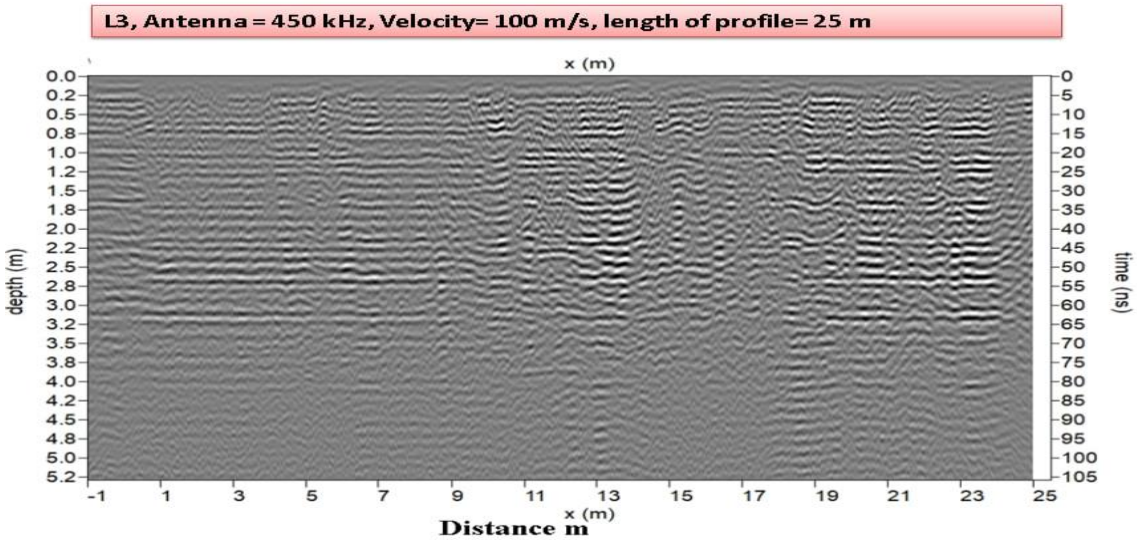
وبعد اجراء عمليات المعالجة والفلترة الترددية للبيانات الرادارية الحقلية من اجل التخلص من الضوضاء والتشويش بواسطة البرنامج المرفق مع الجهاز RAMAC Ground Vision حصلنا على افضل صوره للراداركرام للمسارات الثلاثة قابلة للتفسير كما في الاشكال 11-12-13,



شكل -11- رداركرام المسار L1



شكل -12 - رداركرام المسار L2



شكل – 13 - راداركرام لمسار L3

الفصل الثالث

3-1:تحليل وتفسير البيانات الحقلية الرادارية GPR

تم تحليل بيانات (GPR) بواسطة برنامجين هما (GroundVision RAMAC, Reflex2Dquike). وبعد اجراء عمليات المعالجة والفلترة الترددية للبيانات الرادارية الحقلية من اجل التخلص من الضوضاء والتشويش قمنا بتفسير بيانات راداركرام المستحصلة للمسارات الثلاثة من اجل الحصول على صوره واضحة لواقع الاثار المدفونة في منطقة البحث, كالاتي:

3-2 :(تفسير راداركرام لمسار رقم L1)

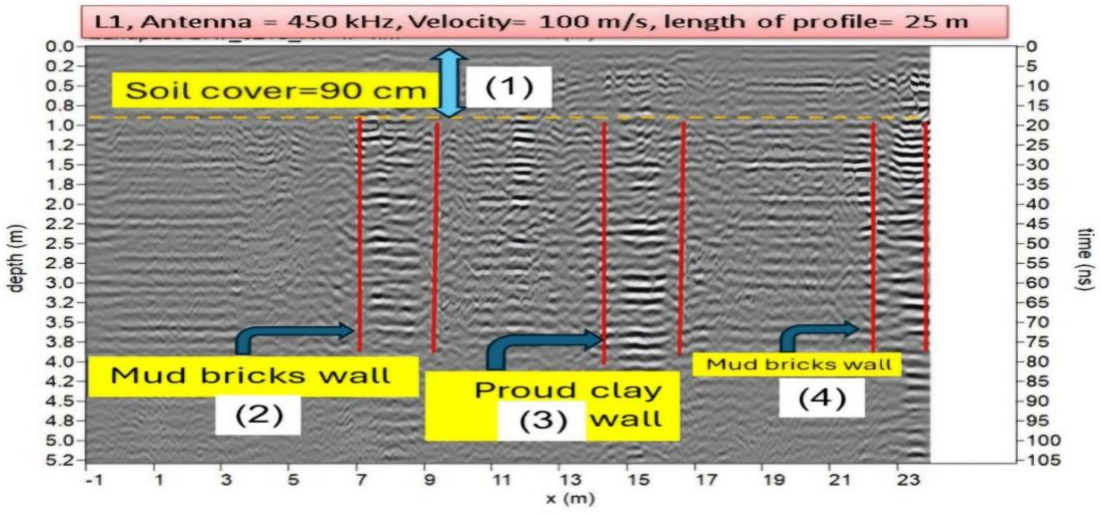
أظهر الرادار كرام لمسار رقم L1 كما في الشكل رقم (14) عدد من الشذوذ :

١-الشذوذ رقم (١)الآثار مغطاة بتربة (silt clay) يبلغ سمكها cm90 مصدرها اما من تعرية الآثار نفسها أو من ترسبات هوائيه .

٢-يشير الشذوذ رقم (٢) الى وجود جدار عند عمق m1 ويمتد الى عمق m3.8 على المسافة الافقية من(9_7) اي ان عرضه يساوي m2 مبني من (mud bricks) .

٣-الشذوذ رقم (٣) وجود جدار عند عمق m1 ويمتد الى عمق m4 على المسافة الافقية من (16_14) اي ان عرضه يساوي m2 مبني من الطابوق المحروق (fired bricks) يكون شذوذه عالي بسبب تركز المعادن الحديدية فيه .

٤- شذوذ رقم (٤) وجود جدار عند عمق m1ويمتد الى عمق m4 على المسافه الافقيه من(23.5_22) اي ان عرضه يساوي m1.5 مبني من (mud bricks).



شكل -14- تفسير الراداركرام L1 وطبعة الشذوذ الموجودة تحت السطح

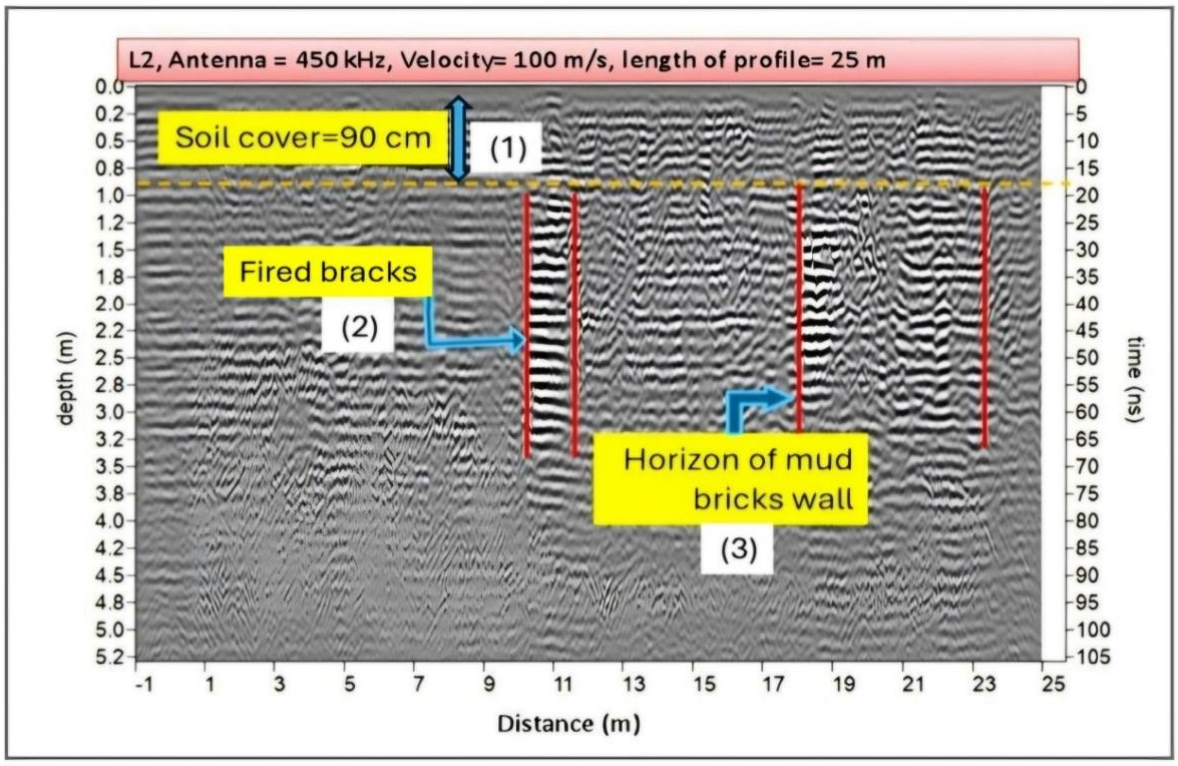
3-3:(تفسير راداركرام لمسار L2)

اظهر الراداركرام لمسار رقم (٢) كما في الشكل رقم (15) ثلاثة شذوذ:

١-الشذوذ رقم(١) التربة السطحية يبلغ سمكها cm90 مصدرها اما من تعرية الآثار نفسها أو من ترسبات هوائية.

٢-الشذوذ رقم (٢) يشير الى وجود جدار من عمق m1 ويمتد الى عمق m3.5 على المسافة الافقية من (10_11.5) اي ان عرضه يساوي m1.5 مبني من الطابوق المحروق (fired bricks)وهذا الطابوق يكون شذوذه عالي جدا بسبب تركيز المعادن الحديدية فيه بسبب الحرق.

٣- الشذوذ رقم(٣) وجود (Horizon of mud bricks wall) عند عمق m1 ويمتد الى عمق m3.2 تقريبا على المسافه الافقيه من (18_23) اي ان عرضه يساوي m5 .



الشكل رقم (15) تفسير راداركرام مسار L2 يوضح لنا الآثار الموجودة فيه

4-3:(تفسير راداركرام لمسار L3)

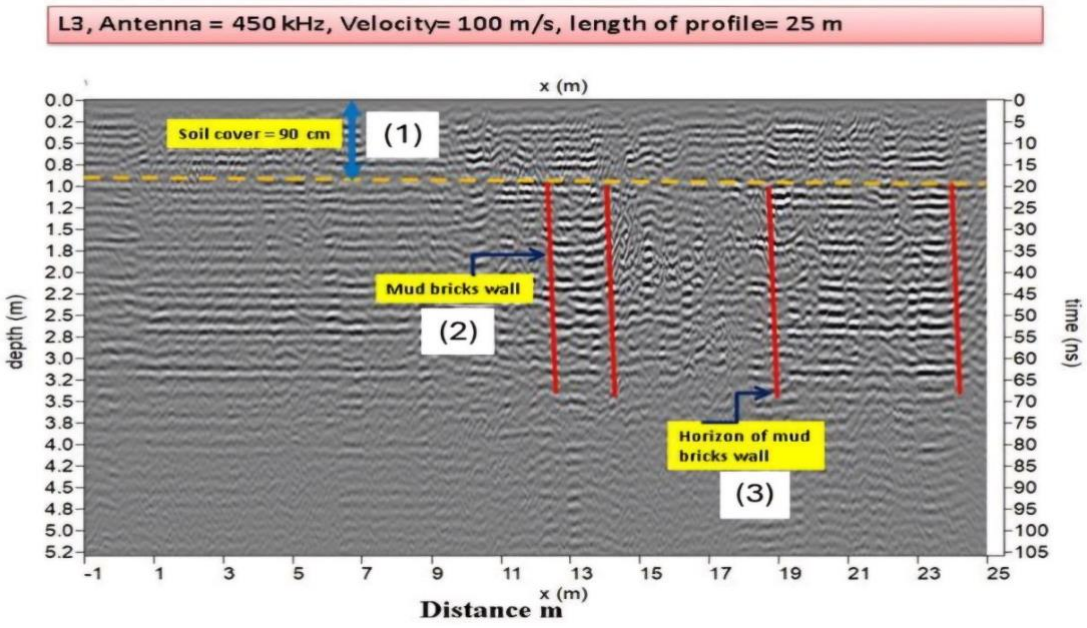
يظهر الرادار كرام لمسار رقم (٢) كما في الشكل (16) أيضا ثلاثة شذوذ:

١-الشذوذ رقم (١) التربه السطحيه بسمك cm90 مصدرها اما من تعرية الآثار نفسها أو من ترسبات هوائية .

٢-يشير الشذوذ رقم (٢) اوجد جدار مبني من (mud bricks)موجود عند المسافة m1 من ويمتد الى عمق m3 تقريبا وعلى المسافه من (14_ 12)m اي ان عرضه يساوي m2.

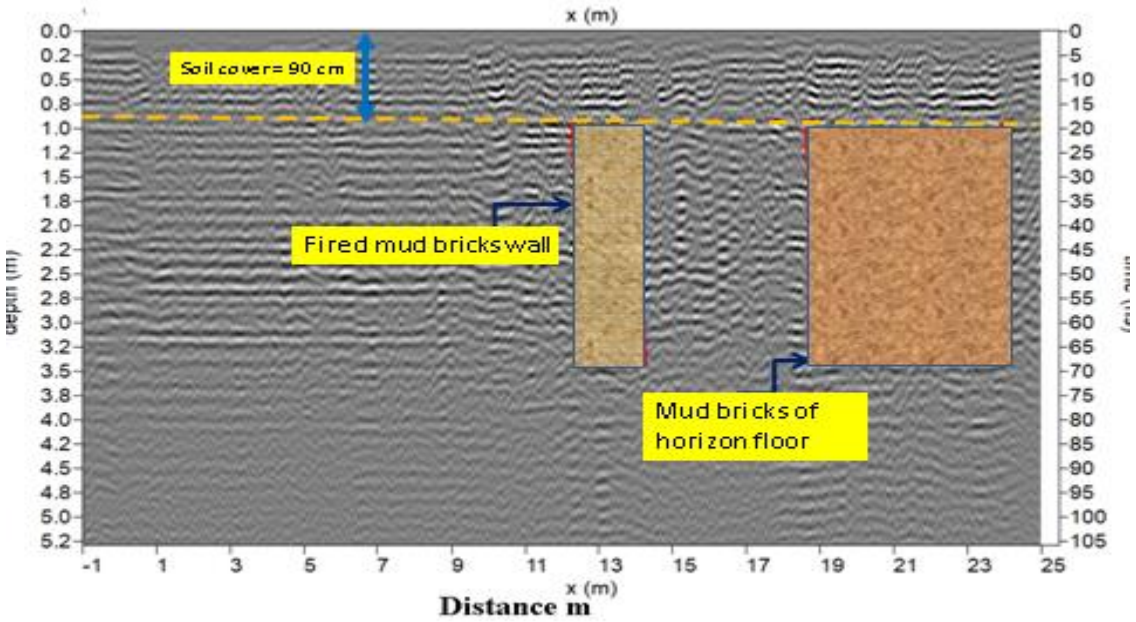
٣-كما ان الشذوذ رقم (٣) اوجد جدار (Horizon of mud bricks wall) موجود من عمق m1 ويمتد الى عمق m3 وعلى المسافه الأفقية من (24_ 19)m اي ان عرضه يساوي m5.

الشكل رقم(16) تفسير **راداركرام لمسار** L3 يوضح الآثار الموجودة فيه



5-3:الموديل الاثري لواقع لمنطقة البحث

بينت نتائج تحليل وتفسير البيانات الحقلية الرادارية لمنطقة الدراسة في تل الاصيلع وجود اثار مدفونة تحت تربة سطحية (soil cover) سمكها 90 سم تقريبا مكونة من الطين السلتي الناعم . و أظهرت وجود جسمين اثرين واضحين في منطقة البحث, الأول عباره عن جدار مبني من الطابوق المحروق (fired bricks) بعرض 2 m موجود في منتصف منطقة البحث وعند عمق 1 m تحت سطح الأرض ويمتد بالعمق 3 m تقريبا. أما الجسم الثاني فيمثل طبقة افقيه من الطابوق الطيني (اللبن) (Horizon mud bricks) موجوده عند الجزء الشرقي من منطقة المسح وعند عمق 1 m تقريبا تحت سطح الأرض ويمتد افقيا بحدود 4 m, ويمكن ان يمثل أرضية غرفه قديمة. تم رسم مقطع عرضي يظهر وضع الاثار المدفونة في منطقة البحث, كما في شكل -17-.



شكل -17- موديل مقطع عرضي يمثل الوضع الاثري التحت سطحي للأثار المدفونة في منطقة الدراسة

6-3:المستخلص:

أظهر تفسير نتائج مسح ال GPR هناك آثار مدفونه تحت تربه سطحية بسمك 90 cm و ممتده 4 m متمثله بجدار من الطابوق الطيني (mud bricks)على المسافه الافقيه من (7_9) mوجدار اخر مبني من الطابوق المحروق () fired bricksعلى المسافه الافقيه(14-12)m و كذلك وجود طبقه افقيه من الطابوق الطيني (Horizon of mud bricks wall)على المسافه من (19- 24) m وهذا قد يمثل أرضية لغرفه قديمه .

References

-Al-Khersan, E.H., Al-Ani, J.M. and Abrahem, S.N., 2016. Integrated GPR and ERT as enhanced detection for subsurface historical structures inside Babylonian houses site, Uruk City, southern Irag. Pure and Applied Geophysics, 173(3), pp.963-982.

-AL- Hameedawi, M.M., Thabit, J.M., AL- Menshed, F.H. and Conyers, L. 2022. Integrating electrical resistivity tomography and ground-penetrating radar methods to map archaeological walls near northern Ishtar gate, ancient Babylon city, Irag. Archaeological Prospection, 29(2), pp.293-304.

-AL- Hameedawi, M.M., Thabit, J.M. and AL- Menshed, F.H., 2022. Electrical resistivity tomography and ground- penetrating radar methods to detect archeological walls of Babylonian houses near Ishtar temple, ancient Babylon city, Iraq. Geophysical Prospecting.

- Abdulrazzaq, Z.T., ThAbiT, J.M. and Al-KhAfAJi, A.J., 2021 Performance of GPR attribute analysis to detect and characterise buried archaeological targets near Ukhaidir palace, Iraq. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 62(1).

- .Annan, A.P., 2009. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. Ground penetrating radar: theory and applications, I, pp.1-37

- Annan, A.P., 2005. Ground-penetrating radar. In Near-surfaces 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. "Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis in Ground Penetrating Radar Theory and Applications, edited by HM Jol." (2009): 144-176.

- Conyers, L.B. and Goodman D. (1997) Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaelogists. 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.