

تكامل تقنيات المقاومة الكهربائية أحادية وثنائية البعد في تحديد سمك وامتداد الخزان الجوفي الرئيسي في منطقة الرهيمية، محافظة النجف، وسط العراق

زيدون طه عبد الرزاق¹، أحمد جدوع الهيتي² و زينب مصدق شنشل³

الاستلام: 2018 / 1 / 15، القبول: 2018 / 8 / 16

الكلمات الدالة: الجس الكهربائي العمودي، المقاومة النوعية، التصوير ثنائي البعد، الخزان الجوفي، منخفض النجف

المستخلص

تم إجراء مسح كهربائي بتقنيتي الجس الكهربائي العمودي (VES) والمسح المقاومي التصويري (ERT) ثنائي البعد في مزرعة تقع في منطقة الرهيمية ضمن منخفض بحر النجف، وسط العراق، بهدف تحديد سمك وامتداد الخزان الجوفي الرئيسي في المنطقة. نفذ الجس باستخدام ترتيب شلمبرجر في عشرة نقاط موزعة على مسارين طول كل منهما 4 كم وبواقع خمسة نقاط جس في كل مسار وبفاصلة متساوية بين النقاط. وصلت أقصى مسافة نشر بين أقطاب التيار إلى 1600 متر ($AB/2 = 800 \text{ m}$)، كما نفذت تقنية المسح المقاومي التصويري في ثلاثة مسارات متوازية طول كل واحد منها 400 متر وبمسافة فاصلة بين الأقطاب 10 متر و 15 متر بين مسار وآخر باستخدام ترتيب فرن-شلمبرجر (Wenner-Schlumberger). عولجت وفسرت بيانات الجس العمودي باستخدام برنامج IPI2win، فيما استخدم برنامج RES2DINV لمعالجة وتفسير بيانات المقاومة ثنائية البعد. وصل عمق الاختراق في الجس الكهربائي إلى ما يقارب 350 متر وإلى 70 متر بالنسبة لمقاطع المقاومة الكهربائية ثنائية البعد. بينت نتائج المسح وجود أربعة أنطمة جيوكهربائية تراوحت قيم المقاومة فيها بين 2 - 80 أوم. يمثل النطاق الأول التربة السطحية والتي تغطي أغلب منطقة الدراسة وتم تمييزها بامتلاكها مقاومة منخفضة نسبياً وبسمك تراوح بين 1 - 4,5 متر، النطاق الثاني طبقة غير نفاذة تتألف من صخور المارل والحجر الجيري المارلي معاد التبلور تمثل العضو العلوي من تكوين الدمام الذي امتاز بامتلاكه قيم مقاومة متوسطة نسبياً وتراوح سمكه بين 9 - 152 متر. يمثل النطاق الثالث خزان المياه الجوفي الرئيسي المتمثل بالعضو السفلي من تكوين الدمام والمتألف من صخور الحجر الجيري والحجر الدولوميتي الذي تراوح سمكه بين 125 - 250 متر، أما النطاق الرابع فقد ظهر في الجس الكهربائي العمودي فقط لعمقه الكبير نسبياً وتمثل بطبقة كاتمة صماء متمثلة بتكوين الرص مكونة من المارل والمتبخرات. كما بينت النتائج أن عمق مستوى المياه الجوفية هو 23 متر من خلال الاستعانة بالمعلومات الجيولوجية ومعلومات الآبار المحفورة في المنطقة التي أظهرت توافقاً كبيراً ودعمًا لنتائج تقنية المسح المقاومي التصويري في تحديد الصخرية تحت السطحية للمنطقة وتحديد مستوى المياه الجوفية في الخزان.

INTEGRATION OF 1D AND 2D ELECTRICAL RESISTIVITY TECHNIQUES TO DETERMINE THE THICKNESS AND EXTENSION OF THE MAIN AQUIFER IN AL-REHAEMIA AREA, AL-NAJAF GOVERNORATE, CENTRAL IRAQ

Zaidoon T. Abdulrazzaq¹, Ahmed J.R. Al-Heety², Zainab M. Shanshal³

Key words: VES, Resistivity, 2D Tomography, aquifer, Bahr Al-Najaf Depression

ABSTRACT

An electrical survey is carried out at Al-Rehaemia area within Bahr Al-Najaf Depression by applying Vertical Electrical Sounding (VES) and 2D Electrical Resistivity Tomography (ERT) techniques to determine the thickness and extension of the main aquifer used for irrigation purposes. A total of ten VESs are measured using liner Schlumberger array

¹ دائرة الفضاء والاتصالات، وزارة العلوم والتكنولوجيا، البريد الإلكتروني: zaidoon.taha@live.com

² شركة الاستكشافات النفطية، وزارة النفط

³ جامعة الموصل، كلية العلوم، قسم علوم الأرض

configuration with maximum $AB/2 = 400$ m along two traverses of 4km length, each traverse has five VES points of 1km spacing interval. The ERT survey is conducted along three parallel traverses, 400 m long each, using Wenner-Schlumberger array. The electrode separation for the data measurements is 10 m, whereas the distance between the traverses is 15 m. The VESs data are processed and interpreted using IPI2win software, whereas RES2DINV software is used for the 2D resistivity data. The penetration depth of the VES is about 350m, and it is closed to 70m for the 2D electrical resistivity sections. The results show the presence of four geoelectrical zones and the resistivity range is 2 – 80 ohm.m. The first zone is 1 – 4.5 m thick, characterized by relatively low resistivity and represents top soil. The second zone is 9 – 152 m. thick impermeable layer of marl and recrystallized marly limestone of the upper member of the Dammam Formation, and it is characterized by moderate values of resistivity. The third zone is 125 – 250 m thick carbonate rocks of the lower member of the Dammam Formation and represents the main aquifer in the area. The fourth zone is detected by VES only as an impermeable layer (Aquiclude) which consists of marl and evaporates and represents the Rus Formation. The results show that the depth of the groundwater level is about 23 m. They also showed a good agreement with the 2D electrical resistivity technique in determining the subsurface lithology of the area and the level of groundwater in the main aquifer as indicated by the geological data available.

المقدمة

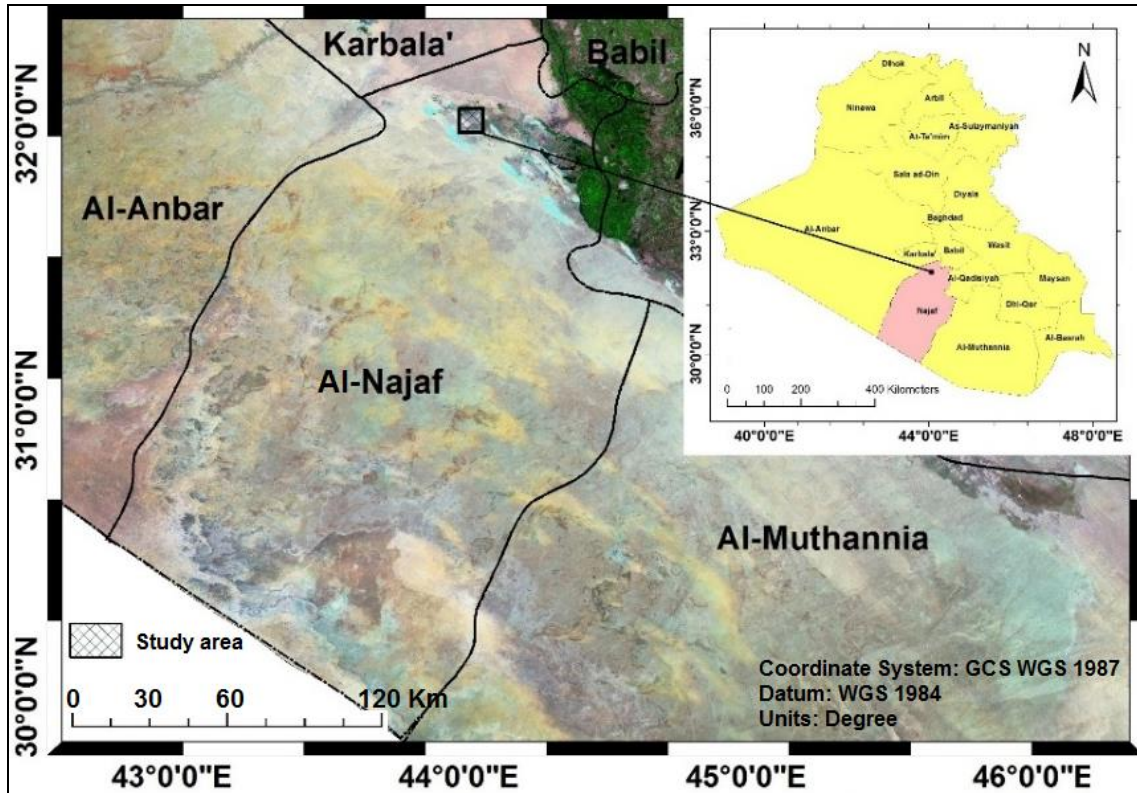
تعد السياحة الدينية رافدا مهما ومصدرا أساسيا لتعزيز الدخل القومي ودعم الاقتصاد الوطني حيث أنها تفتح مجالات عديدة للعمل واستثمار الطاقات البشرية، ومدينة النجف 160 كم جنوب غربي العاصمة بغداد تعتبر واحدة من أهم مراكز السياحة الدينية لوجود مرقد الامام علي ابن ابي طالب (عليه السلام). من اسباب نجاح السياحة هو توفير وتلبية احتياجات السائحين الوافدين الى مضيف المرقد من وجبات الطعام، ولغرض تنوعه نحو الأفضل ليصل إلى مستوى الطموح المأمول أطلقت إدارة العتبة العلوية في محافظة النجف مشروع مزرعة فدك، أحد أهم المشاريع التنموية، والذي يبعد 45 كم باتجاه الجنوب الغربي من مدينة النجف، لكون طبيعة التربة والمياه والظروف المناخية ذات العلاقة المباشرة بالإنتاج الزراعي. تبلغ المساحة الكلية للمزرعة 8000 آلاف دونم، ويتضمن المشروع محورين أساسيين، الأول الإنتاج الحيواني ويضم تربية المواشي (الأغنام والأبقار والعجول)، فضلا عن الإنتاج النباتي الذي يضم إنتاج الأعلاف الخضراء مثل البرسيم والجبث والجافة مثل الشعير. أما المحور الثاني فيتضمن الإنتاج البستني المتضمن زراعة الخضروات في البيوت البلاستيكية خلال فصلي الصيف والشتاء. ولأجل نجاح هذا المشروع لابد من وضع خطط مستقبلية لإدارة موارد المزرعة المائية التي تشمل مياه العيون والمياه الجوفية فيها الذي يمثل المصدر الرئيسي للمياه في المناطق الصحراوية الجنوبية من العراق.

استخدمت الطرق الجيوفيزيائية، ومن ضمنها طريقة المقاومة الكهربائية ومنها المسح الكهربائي العمودي Vertical Electrical Sounding (VES) أحادي البعد، ولعقود عديدة للكشف عن عمق المياه الجوفية، وخاصة بعد التقدم الكبير الذي حصل لهذه الطريقة عن طريق استخدام تقنيات مسح المقاومة النوعية التصويري Electrical Resistivity Tomography (ERT) ثنائي وثلاثي الأبعاد، الذي أعطى لطريقة المقاومة بعدا جديدا من خلال قياس عدد كبير من القراءات ودمجها لتفسير مقطع تحت السطح يبين سمك الطبقات الصخرية وامتداداتها المختلفة. تعتبر تقنية الجس الكهربائي العمودي VES وتقنية المقاومة الكهربائية التصويري (ERT) التقنيات الأكثر كفاءة في الدراسات البيئية والتحريات الهيدروجيولوجية (Muchingami et al., 2012)، لما تعطيه من سرعة في استحصال البيانات ودقة عالية في تحديد مصادر المياه الجوفية ومكانها وعمقها. ولقد ازداد في العقد السابق من الزمن استخدام هذه التقنيات بسبب تطور الأجهزة متعددة الأقطاب (Slater et al., 2000)، وذلك لسرعة تنفيذ القياسات الحقلية وتطور البرمجيات وطرق العرض الذي ساعد على تطور وانتشار التصوير الكهربائي (Loke, 2010). طبقت تقنيات المقاومة داخل العراق في دراسات بيئية وهيدروجيولوجية على نطاق واسع، ومن هذه الأدبيات (Abdulrazzaq et al., 2015؛ Al-Shemmari, 2012؛ Ahmed et al., 2012؛ Al-Menshed, 2011 و Al-Zubedi, 2009) يهدف البحث الى تحديد سمك الخزـان الجوفي في المنطقة لاستغلال أكبر سمك ممكن حفره والاستفادة منه مستقبلا من خلال حفر آبار عميقة موزعة بشكل جيد، ومعرفة مستوى المياه الجوفية فيه لغرض تقدير كمية المياه الجوفية في المنطقة واعماقها لوضع خطط مستقبلية لإدارة المياه في المزرعة وفق احتياجاتها، وذلك بسبب نقص مصادر المياه السطحية، ومع زيادة الطلب على المياه خلال السنوات الأخيرة لقلة الأمطار، وكثرة الحفر العشوائي في

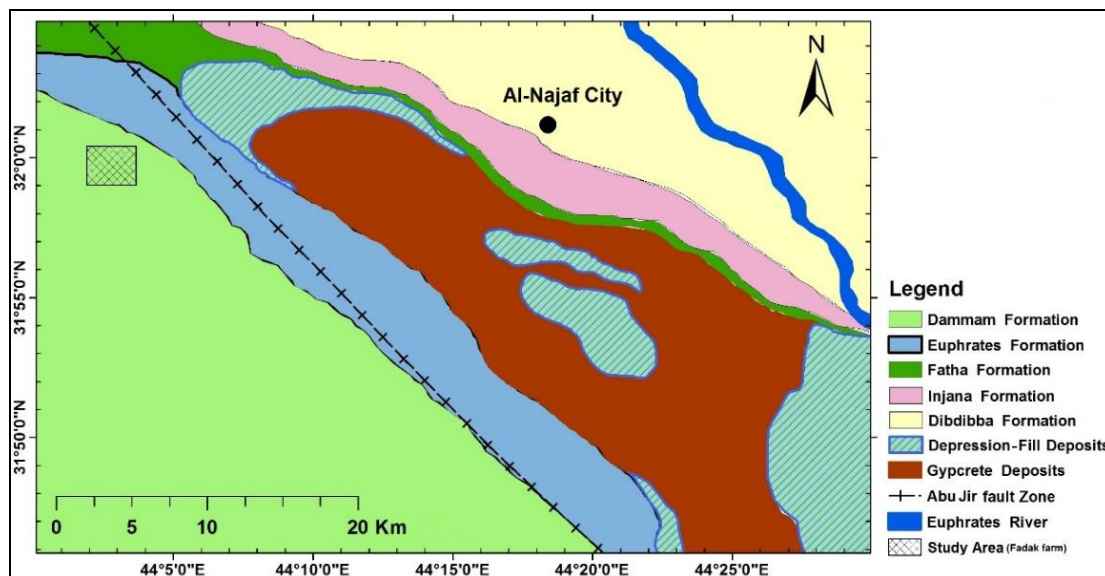
المناطق المحيطة بهذه المزرعة والذي يقود الى الاستغلال السيء للمياه الجوفية، نحن بحاجة إلى زيادة الأبحاث والدراسات حول مواقع وسمك طبقات المياه الجوفية، وهذه الدراسة واحدة منها.

موقع وجيولوجية منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في بحر النجف المتمثلة تحديدا بمزرعة فدك العائدة للعتبة العلوية المقدسة في منطقة الرهيمة التابعة لمحافظة النجف الاشرف، ضمن خطي طول $44^{\circ} 5'$ و 44° شرقا وخطي عرض 32° و $32^{\circ} 2'$ شمالا على بعد 35 كم عن مركز مدينة النجف (شكل 1)، وهي أرض مفتوحة ومنبسطة بشكل عام مع تموجات قليلة ومغطاة بالتربة. سطح الأرض ذو انحدار تدريجي قليل (بحدود 4 درجات باتجاه الشرق) من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي وأعلى ارتفاع للمنطقة هو 60 متر فوق مستوى سطح البحر. تقع منطقة الدراسة حسب التقسيم الجيولوجي والتكتوني ضمن نطاق السلمان الواقع في منطقة الرصيف المستقر (Stable Shelf) وهي منطقة تحول بين الرصيف المستقر والرصيف غير المستقر (Jassim and Goff, 2006). المنطقة متأثرة بالعديد من أنظمة الفوالق العميقة وباتجاهات مختلفة أغلبها من النوع الاعتيادي والتي ظهر تأثيرها بوضوح في المنطقة (Al-Amiri, 1978)، والتي أكد وأثبت أحدها Abdel Razak (1980) من خلال المسح المغناطيسي في منطقة الرهيمة ومن أهم هذه الفوالق هو فالق هيت – ابو جبر (فالق الفرات) الذي يمتد باتجاه شمال غرب – جنوب شرق (شكل 2) وتظهر على امتداده العديد من العيون المائية. ان التكوينات الجيولوجية المتكشفة في المنطقة هي صخور رسوبية فتاتية وغير فتاتية من العصر الثلاثي (Tertiary)، مغطاة على الأغلب بالترسبات الحديثة (شكل 2). ينكشف في منطقة الدراسة تكوين الدمام (Dammam Formation – Middle Eocene) الذي يتكون من صخور الحجر الجيري والدولومايت ويعتبر مكمنا مائيا مهما لتغذية العيون في المنطقة وفي مناطق الصحراء الغربية. يعتبر اغلب سمك التكوين سمكا مشبعاً للمكمن المائي وذلك لوفرة الفجوات والتشققات فيه نتيجة تأثير العوامل التركيبية وعوامل التجوية التي ساعدت على توسيع هذه الفجوات وتكوين الخسافات على سطحه والتكهفات في داخله (Ali, 2012).



شكل 1: خريطة العراق ومرئية فضائية تبينان موقع منطقة الدراسة



شكل 2: خريطة جيولوجية لمنخفض بحر النجف (عن Barwary and Slaiwa, 1996)

منهجية البحث

تعاني منطقة الدراسة من نقص شديد لمصادر المياه السطحية مع شحة هطول الأمطار خلال السنوات الأخيرة، لذا استوجب البحث عن مورد مائي بديل وهو المياه الجوفية الموجودة في المنطقة وتم حفر ابار عميقة من قبل الأهالي موزعة بشكل منتظم لسد احتياجات المزرعة. لغرض اعطاء صورة واضحة عن الخزين المائي في الموقع فقد تم اعتماد طريقة المقاومة النوعية الكهربائية، التي تعتبر من أهم الطرق المعتمدة في الاستكشافات السريعة للمياه الجوفية، وذات الكلفة الرخيصة مقارنة بكلفة حفر الآبار (Kosinski and Kelly, 1981). من جهة أخرى فإن الحفر العشوائي قد يؤدي إلى الحصول على آبار غير منتجة أو قليلة الإنتاجية أو قد تكون ذات مواصفات هيدروليكية ضعيفة، مما يؤدي إلى ضياع جهد ومبالغ كبيرة. لذا يفضل القيام بمسوحات جيوفيزيائية قبل حفر الآبار لتحديد سمك وامتداد الخزانات الجوفية في المنطقة (Abdulrazzaq, 2011).

تعتمد الطرق الكهربائية على تباين المقاومة النوعية (resistivity contrasts) للمواد تحت السطحية. اذ يتم إمرار التيار الكهربائي في الأرض من خلال أربعة أقطاب، والشائع هو استخدام قطبين لتمرير التيار ويتم قياس فرق الجهد (Potential difference) بواسطة قطبين آخرين، وتكون هذه الأقطاب موزعة بترتيب معين، عندها يتدفق التيار بشكل خطوط شعاعية من القطب الموجب وتتحنى كلما تقدمت باتجاه القطب السالب وتكون عمودية على خطوط تساوي الجهد (Sharma, 1976). ان وجود أي تغير تحت سطحي في التوصيل الكهربائي يؤدي الى تغير هيئة سريان التيار داخل الارض وهذا بدوره يؤثر على توزيع الجهد الكهربائي اعتمادا على شكل وحجم وموقع ومقاومة الطبقات، عندها يمكن الحصول على معلومات عن الطبقات تحت السطحية من قياسات الجهد الكهربائي على السطح (Telford et al., 1976). هناك عدة تقنيات لأخذ قياسات المقاومة النوعية الكهربائية، إلا أن اختيار الطريقة المناسبة والترتيب المناسب لأخذ القياسات يعتمد على نوع المشكلة والهدف من الدراسة (Bhattacharya and Parta, 1968). استخدمت في هذه الدراسة تقنية الجس الكهربائي العمودي وبترتيب شلمبرجر (Schlumberger) احادي البعد لتحديد عمق مستوى المياه الجوفية (الخزان الجوفي الرئيسي)، وسمك ومقاومة الطبقات الصخرية الأفقية ذات الميل القليل. إن طريقة عمل هذه التقنية مبنية على الفكرة القائلة بان التيار يخترق مسافات أعمق مع ازدياد التباعد بين قطبي التيار، إذ تؤخذ عدة قياسات للمقاومة النوعية لكل مسافة جديدة بين الأقطاب، مع ثبوت مركز واتجاه النشر (Telford et al., 1976). لغرض الحصول على صورة واضحة ونتائج دقيقة فقد تم تكامل تقنيتي VES مع ERT ثنائية البعد اذ استخدمت الاخيرة بترتيب فئر-شلمبرجر (Wenner-Schlumberger) كونه يخدم هدف البحث في الاستقصاء عن المقاومة النوعية للطبقات المدروسة ويعد اختيار الترتيب المناسب في هذه التقنية من الامور المهمة جدا (Loke, 2010)، ويعتمد على نوع التركيب او الهدف المراد تحديده، وحساسية الجهاز ومستوى الضوضاء في المنطقة (Dahlin and Zhou, 2004). من بين خصائص الترتيب التي يجب النظر فيها هي (1) حساسية الترتيب للتغيرات العمودية والجانبية في المقاومة تحت السطحية، (2) عمق التحري، (3) تغطية البيانات الأفقية و (4) قوة الإشارة (Loke, 2004)، وعلى غرار ذلك اختير ترتيب فئر-شلمبرجر لكونه حساس إلى حد ما لكل من التراكيب الأفقية والعمودية (Loke, 2010).

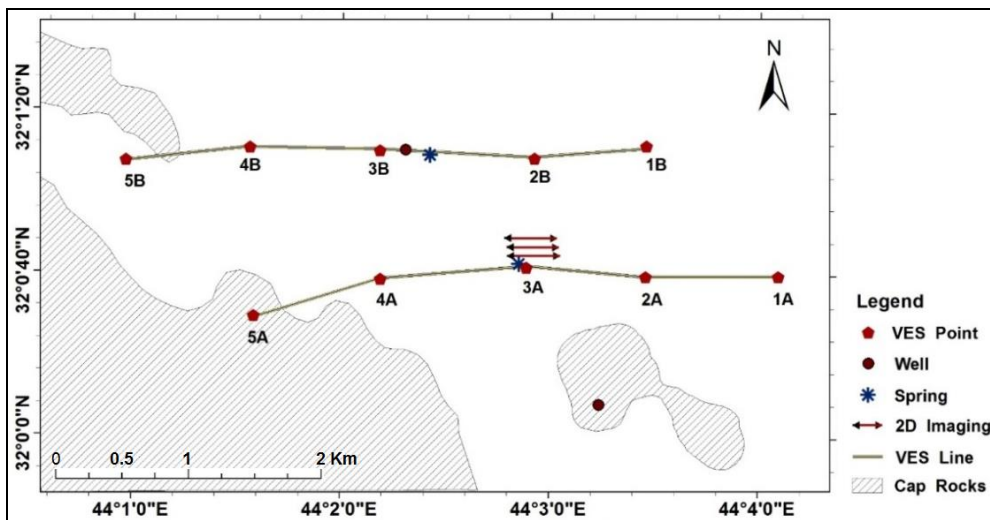
تجميع البيانات وتفسيرها

■ الجس الكهربي العمودي (VES)

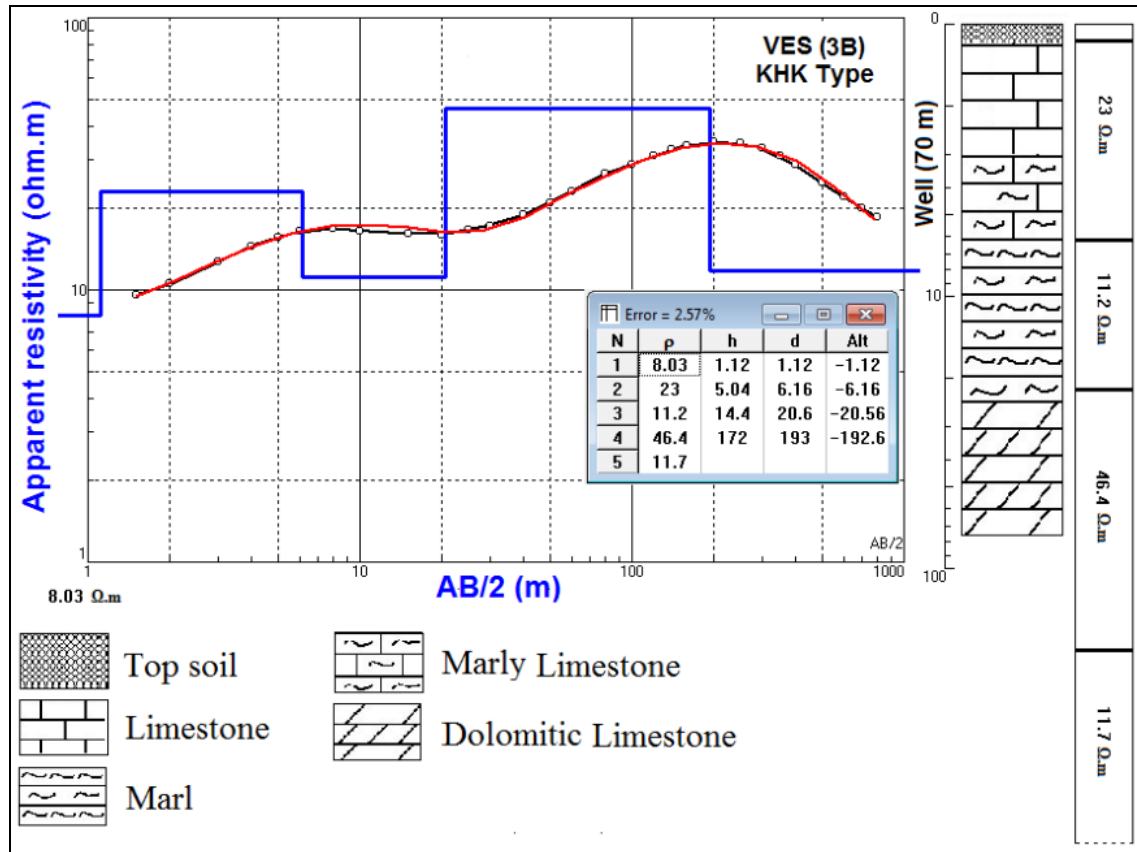
نفذ الجس الكهربي العمودي في عشرة نقاط وزعت على مسارين، وباتجاه شرق – غرب (E – W) اختيرت لتمر بالعيون المائية والبئر المحفور في المزرعة كما موضح في الشكل (3). وكانت المسافة الفاصلة بين نقطة جس واخرى كيلومترا واحدا. وصل طول نشر أقطاب التيار إلى 1600 متر ($AB/2 = 800 \text{ m}$)، وذلك للوصول الى عمق اختراق كبير لتحديد سمك الخزان الجوفي ضمن تكوين الدمام لغرض حفر آبار عميقة في أكثر المناطق سمكا، أما مسافة نشر أقطاب الجهد فقد وصلت إلى 200 متر ($MN/2 = 100 \text{ m}$). أخذت القياسات وفقا للجدول المعدل من قبل Bhattacharya and Patra (1968) لغرض تجنب نسبة MN/AB مساوية 3/1 و 4/1، للحد من زيادة الازاحة النظري في فروع المنحنيات الحقلية. استخدم في هذه الدراسة برنامج (IPI2win) لتفسير جميع نقاط الجس الكهربي، وفُسرت المنحنيات بطريقة النمذجة العكسية (Inverse modeling) لتقليل النسبة المئوية لخطأ معدل الجذر التربيعي (RMS%) (Root Mean Square Error) التي تمثل دالة للتطابق بين المنحني الحقل مع المنحني النظري (شكل 4)، إذ كلما كانت قيمة (RMS%) قليلة كان التطابق أفضل ما يمكن بين المنحني الحقل والمنحني النظري (Zohdy, 1989). يبين الجدول (1) نتائج تفسير نقاط الجس الكهربي العمودي ويوضح شكل (5) المنحنيات الحقلية لنقاط الجس الكهربي العمودي في منطقة الدراسة.

■ مسح المقاومة التصويري ثنائي البعد

أُجريت قياسات مسح المقاومة التصويري ثنائي البعد لغرض الحصول على تفاصيل دقيقة، حيث طبقت في ثلاثة مسارات باستخدام جهاز (ABEM Terrameter LS) متعدد الأقطاب (Multi-electrode system) بكيبل القياس ذو الأربعين قطب وبطول نشر 400 متر باتجاه شرق غرب، وبفاصلة قطبية 10 متر وبمسافة 20 متر بين مسار وآخر كما موضح في الشكل (6). استخدم برنامج (RES2DINV) لمعالجة بيانات مسح المقاومة التصويري وتفسيرها وتمثيلها على شكل نموذج جيوفيزيائي ارضي او ما يسمى نماذج مقاومة (Resistivity models) وتعرف ايضا بمسارات المقاومة، وذلك بعد إزالة البيانات الرديئة (Bad data) وبطريقة يدوية لكونها قليلة جدا. للحصول على نموذج دقيق لما تحت السطح، يتم استخدام النموذج ثنائي البعد لكون قيم المقاومة تتغير مع العمق في اتجاه افقي واحد (عادة يؤخذ اتجاه X) في حين تكون ثابتة في الاتجاه (Y) (Loke, 2010). نفذت عملية النمذجة العكسية (Inversion) في برنامج (RES2DINV) التي تعتمد على طريقة التهذيب الاجباري للجذر الأدنى (smoothness-constrained least-squares method) (DeGroot-Hedlin and Constable, 1990)، حيث ان من اهم مزايا هذه الطريقة هو إمكانية تغيير معامل الإخماد والمرشحات المستوية لكي تتلائم مع مجموعة البيانات المستخدمة للحصول على النتائج الافضل. يقوم البرنامج بتنفيذ طريقة المربعات الأدنى (least-squares method) بالاعتماد على طريقة (Gauss-Newton method) التقليدية المحددة بالبرنامج بشكل افتراضي (Loke, 2002). حيث ان طريقة كاوس-نيوتن المستخدمة لحل معادلة المربعات الأدنى تقوم بإعادة حساب مصفوفة جاكوب للاشتقاق الجزئية لكل عملية تكرار، وتعطي هذه الطريقة نتائج أكثر دقة في المناطق التي فيها تباين واسع في قيم المقاومة أكثر من 1:10 من طرق العكس الاخرى (Loke and Dahlin, 2002).



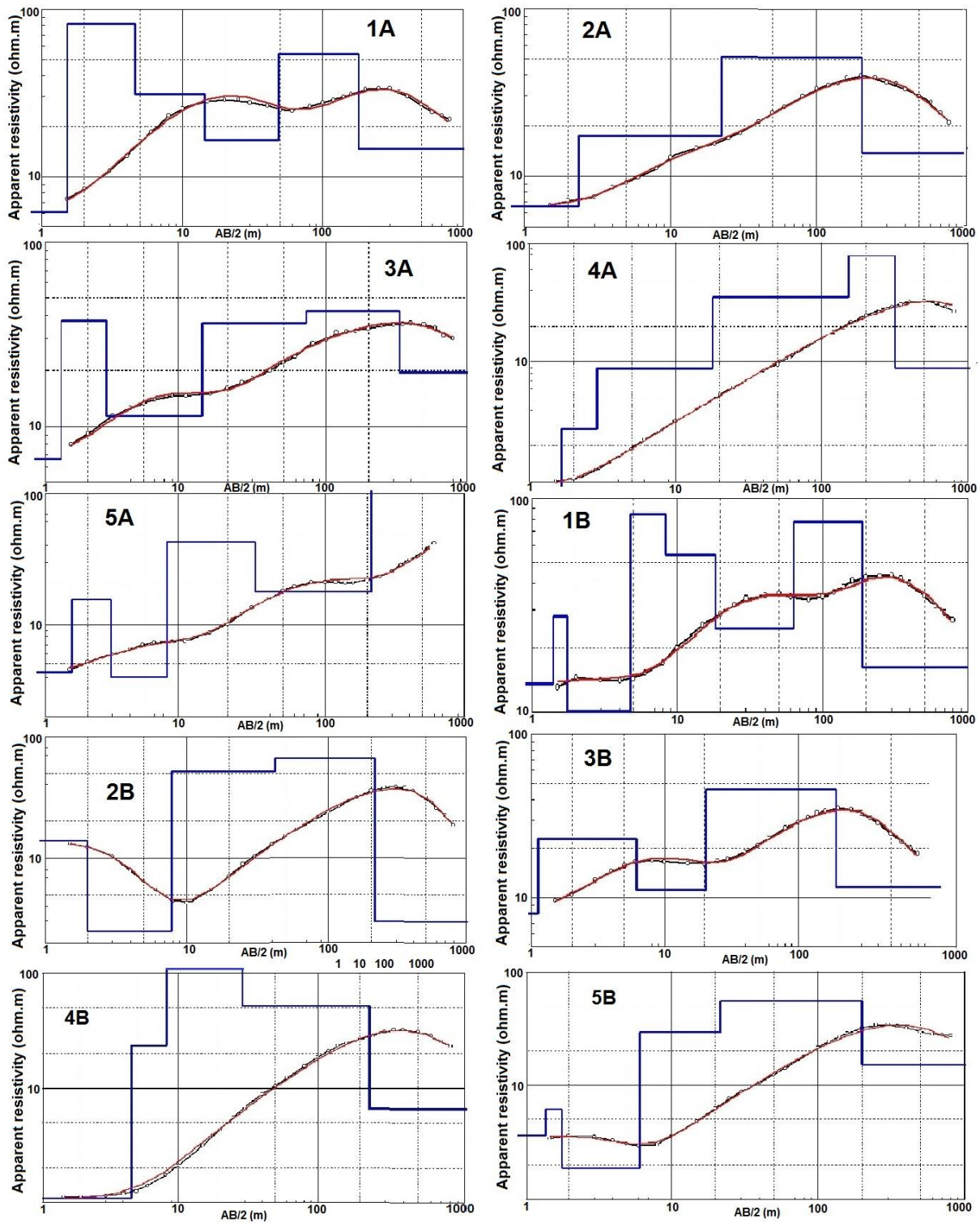
شكل 3: توزيع نقاط الجس العمودي (VES) ومسارات المسح التصويري ثنائي البعد في منطقة الدراسة



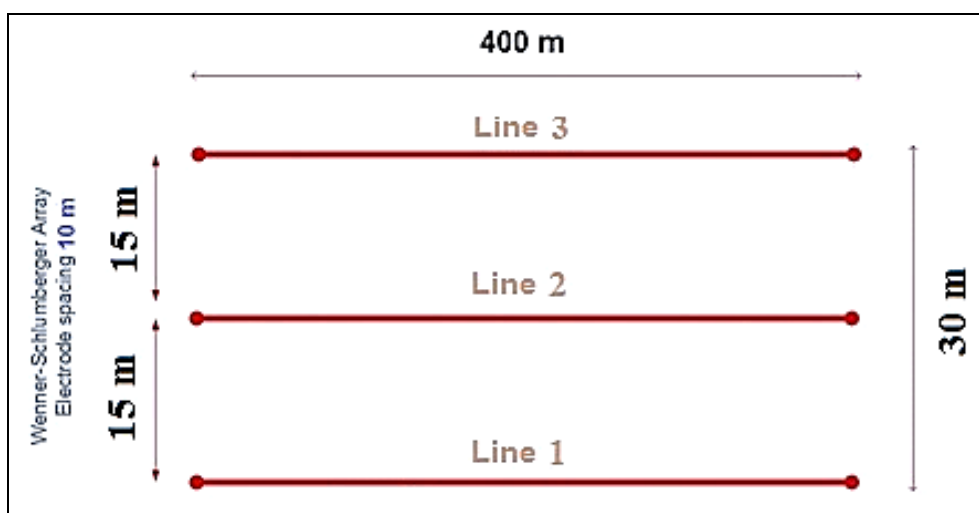
شكل 4: المنحني الحثلي (VES) لنقطة الجس (3B) وتفسيره الصخاري

جدول 1: نتائج تفسير نقاط الجس الكهربائي العمودي VES

VES No.	ρ_1	h_1	ρ_2	h_2	ρ_3	h_3	ρ_4	h_4	ρ_5	h_5	ρ_6	h_6	ρ_7	h_7	ρ_8	RMS %
1A	6.13	1.5	81.8	3.13	31	9.85	16.6	34	53.9	132	14.9					3.32
2A	6.56	2.34	17.5	19.9	51.2	181	13.8									2.31
3A	6.68	1.3	37.4	1.43	11.4	10.3	36.3	60.8	42.2	257	19.6					2.19
4A	0.89	1.65	2.78	1.23	8.91	15	35.2	135	78.4	163	9					3.44
5A	4.37	1.55	15.8	1.4	4.01	4.5	42.5	24.3	18	181	190					2.63
1B	13.5	1.4	28	0.369	10.1	3	85.4	3.58	54.4	10.1	24.6	45	77.9	125	16.2	2.89
2B	14	2	2.49	5.85	51.7	34.2	66.5	172	2.95							2.41
3B	8.03	1.12	23	5.04	11.2	14.4	46.4	172	11.7							2.57
4B	1.09	4.63	23.5	3.56	114	20.6	51.8	205	6.55							4.43
5B	3.58	1.4	6.16	0.42	1.87	4.32	29.1	15.6	54.8	179	15.1					3.88



شكل 5: تفسير منحنيات الجس الكهربائي ببرنامج (IPI2win)



شكل 6: هندسية النشر لتسجيل خطوط المسح المقاومة التصويري ثنائي البعد

النتائج والمناقشة

■ نتائج الجس الكهربائي العمودي (VES)

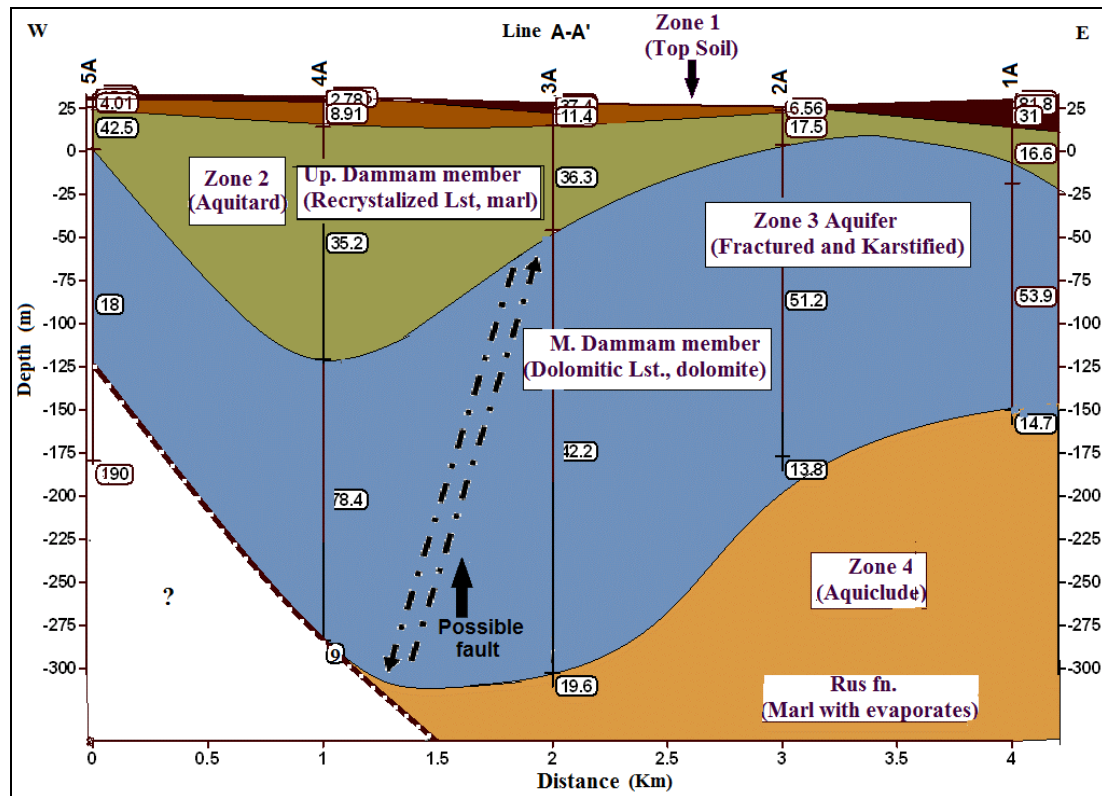
رسمت المقاطع الجيوكهربائية اعتماداً على فروقات قيم المقاومة (Resistivity contrast) بين الطبقات المختلفة، بالإضافة إلى الاستعانة بالمعلومات الجيولوجية المتوفرة من معلومات البئر (شكل 3). إذ تتم عملية الربط بين قيم المقاومات لنقاط الجس على طول المقطع بالاعتماد على القيم المتقاربة لتمثل نطاق كهربائي يكافئ الطبقة صخرية معينة من الطبقات الظاهرة في مقطع البئر، ويكافئ أحياناً أكثر من طبقة. أما عملية الفصل بين الأنطقة الكهربائية فتعتمد على فروقات المقاومة النوعية، إذ تظهر صعوبة في الفصل بين الأنطقة الكهربائية في حالة تقارب المقاومة النوعية ضمن النقطة الواحدة لوجود تداخل كبير بين مقاومات الصخور نتيجة تشابه خواصها الكيميائية والفيزيائية. تم رسم مقطعين جيوكهربائيين للمسارين (A-A' و B-B') كما في الشكلين (7) و (8)، كما عولجت مشكلة مبدأ الإخماد باستخدام الآبار المحفورة في المنطقة، وفيما يأتي وصف للمسارات المدروسة:

– **النطاق الجيوكهربائي الأول:** يمثل طبقة التربة السطحية (Top soil) ويمتد من مستوى الأرض الطبيعية الى عمق تتراوح بين 1 – 4.5 متر وبقيم مقاومة كهربائية تتراوح بين 1 – 14 اوم.م، باستثناء المناطق التي تنكشف فيها صخور الغطاء التي تصل قيم مقاومتها النوعية الى 81 اوم.م. كما تألف هذا النطاق من عدة انطقة ثانوية لامتلاكها مقاومات متقاربة نتيجة لاختلاف رطوبة التربة مع العمق وتغاير خصائصها الفيزيائية جانبياً، لذا يتم دمجها واعتبارها نطاق واحد يشمل جميع انطقة التربة.

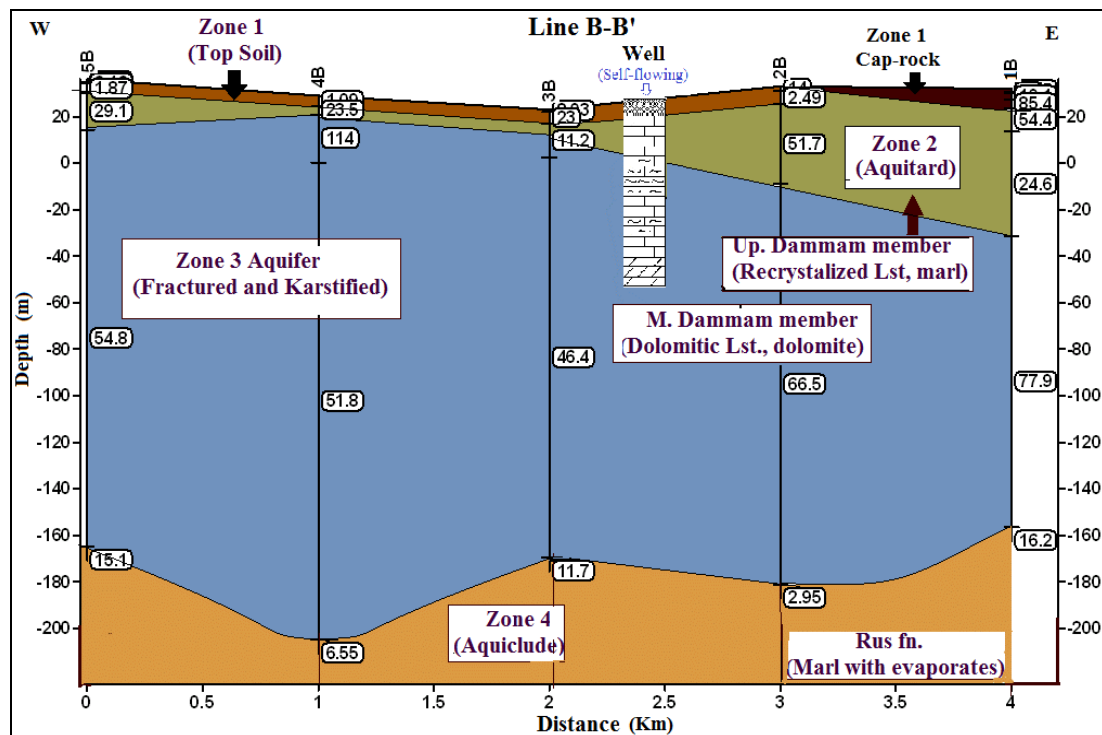
– **النطاق الجيوكهربائي الثاني:** يمثل طبقة كاتمة شبه نفاذة (Aquitard) مكونة من المارل والحجر الجيري معاد التبلور (Recrystallized limestone and marl) بسمك يتراوح بين 9 – 152 متر، وقيم مقاومة كهربائية تتراوح بين 11 – 52 اوم.م.

– **النطاق الجيوكهربائي الثالث:** يمثل نطاق الخزان المائي الجوفي الرئيسي لتكوين الدمام (Dammam Formation) بسمك يتراوح بين 125 – 250 متر بمقاومة كهربائية تتراوح بين 18 – 78 اوم.م. يلاحظ في هذا النطاق تغاير جانبي واضح ولمسافة قريبة وبأعماق كبيرة نسبياً بين نقاط الجس (VES3, VES4) للمسار (A-A)، حيث يوجد في المنطقة العديد من الفوالق ويعتقد انها من الفوالق الفرعية التابعة لفالق هيت – أبو جبر وكما أشرنا سابقاً في جيولوجية المنطقة، وهذه الفوالق منتشرة في المنطقة مسببة العيون المائية الموضحة مواقعها في شكل (3).

– **النطاق الجيوكهربائي الرابع:** يمثل طبقة كاتمة صماء (Aquiclude) تعود الى تكوين الرص (Rus Formation) وتتكون من المارل والمتبخرات (Marl with evaporates) بقيم مقاومة تتراوح بين 9 – 20 اوم.م.



شكل 7: المقطع الجيوكهربائي للمسار A-A'



شكل 8: المقطع الجيوكهربائي للمسار B-B'

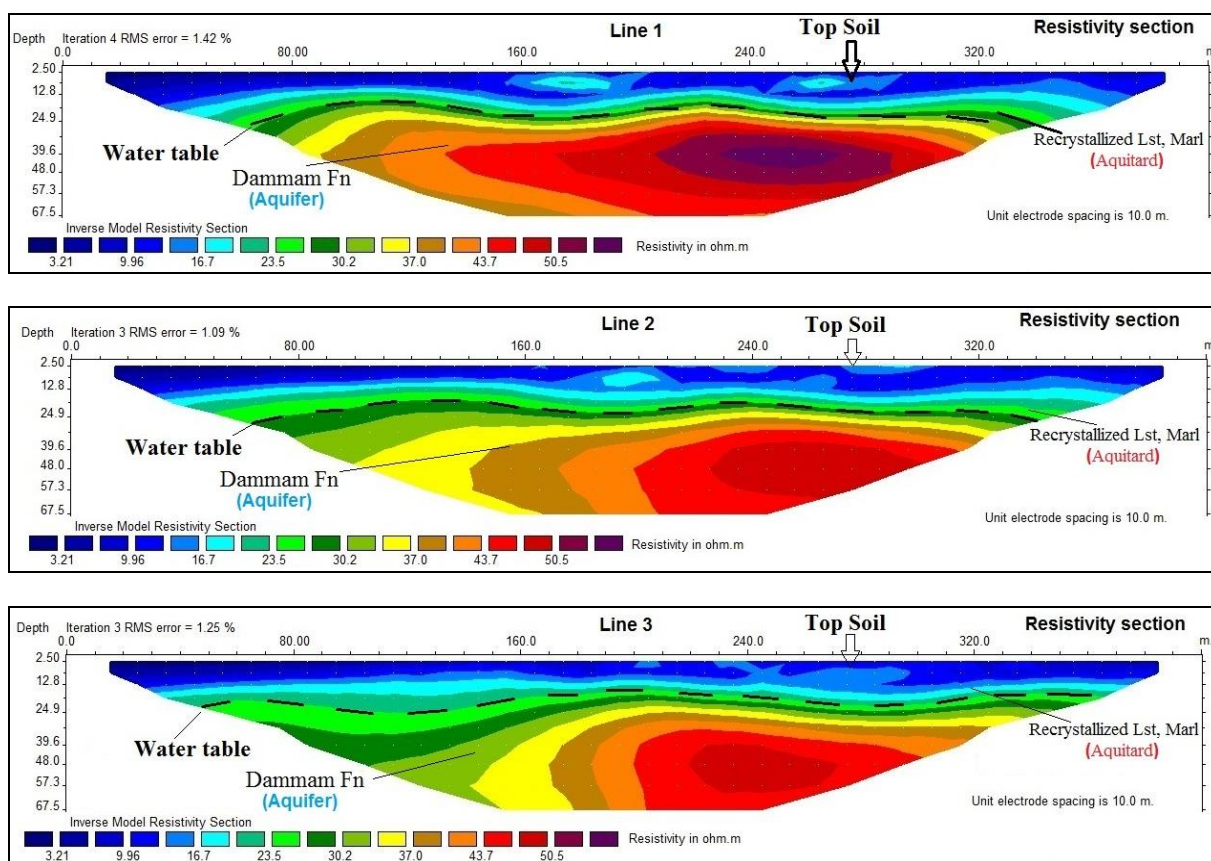
■ نتـائـج مسـح المقـاومـية التـصويري ثنائي البعد

أظهرت النتائج بعد تحليلها وعرض المقاطع بمقياس خطي (شكل 9)، ان عمق الاختراق وصل الى ما يقارب 70 متر، في حين تراوحت قيم المقاومة الكهربائية بين (2 – 58) اوم.م، ولزيادة جودة النموذج المحسوب تم استخدام الجذر التربيعي المتوسط (RMS) حيث كلما كانت القيمة أصغر يكون النموذج أفضل من حيث احتساب توزيع المقاومة الحقيقية وعادة عندما تكون قيمة RMS أقل من (5) % يعد نموذجاً جيداً في حين تعد القيم (RMS) التي تتجاوز (30) % نموذجاً سيئاً (Loke, 2012). في الدراسة الحالية كانت أعلى قيمة RMS أقل من (1.42) % كما في الشكل (9). استخدم برنامج (ZondRes3D) لدمج المقاطع الثلاثة وعرضها بشكل موديل ثلاثي الابعاد لغرض ملاحظة الأنطقة الفاصلة كما في الشكل (10). اظهرت النتائج ان الأنطقة الجيوكهربائية تتألف من الاتي:

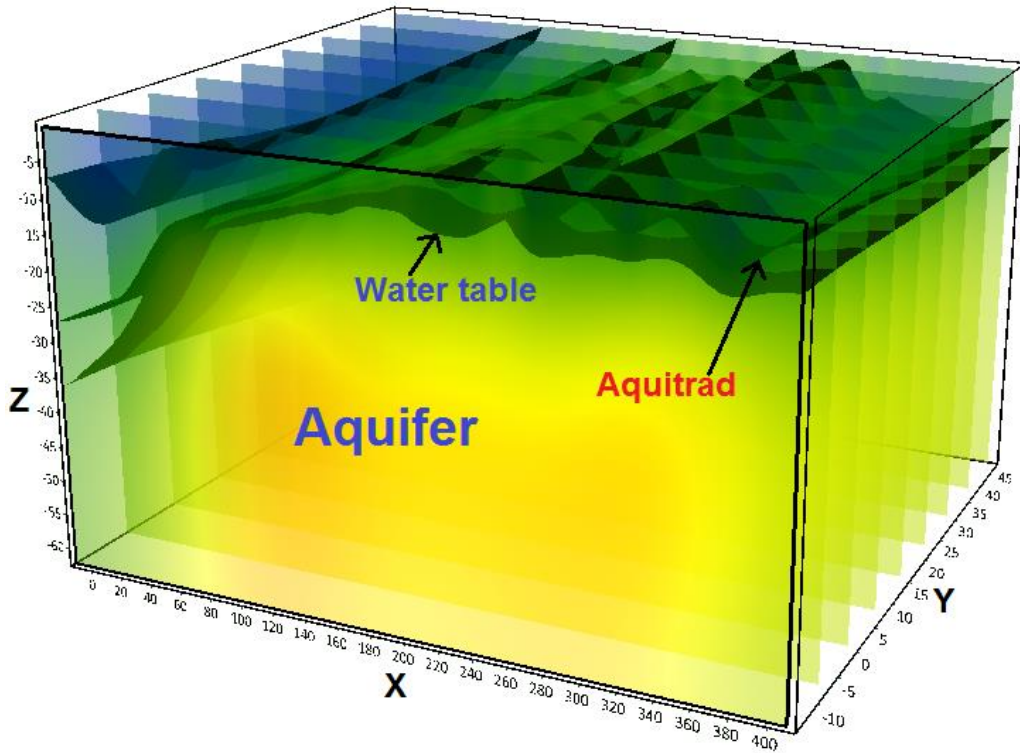
– **النطاق الجيوكهربائي الاول:** يمثل طبقة التربة السطحية (Top Soil) والمكونة من تربة جيبسية (Gypsiferous Soil) والمارل الاخضر (Green Marl) وتمتد من مستوى الارض الطبيعية الى عمق يتراوح بين 3 – 10 متر على طول المقاطع وبقيم مقاومة كهربائية تراوحت بين 2 – 10 اوم.م وذلك لاختلاف خصائص التربة الفيزيائية وتفاوت درجات الرطوبة فيها.

– **النطاق الجيوكهربائي الثاني:** يمثل طبقة كاتمة شبه نافذة (مكونة من المارل والحجر الجيري معاد التبلور) بسمك يتراوح بين 5 – 11 متر وبقيم مقاومة تراوحت بين (17 – 24) اوم.م.

– **النطاق الجيوكهربائي الثالث:** يمثل طبقة الخزان الجوفي الرئيسي المتمثل بتكوين الدمام (Dammam Formation) من عمق 23 متر الى نهاية عمق الاختراق والذي يبلغ 70 متر وبمقاومة كهربائية تراوحت قيمها بين 24 – 65 اوم.م.



شكل 9: النموذج المعكوس لمسح للمقاومية التصويري ثنائي البعد للمقاطع الثلاثة تباعاً (انظر الى الشكل 3 لغرض الموقع)



شكل 10: نموذج ثلاثي الابعاد لمسارات المقاومة التصويرية المدمجة

الاستنتاجات

يصل سمك الخزان الجوفي في منطقة الدراسة الى أكثر من 250 متر بينما لا يتجاوز عمق سطحه العلوي 70 متر على اقل تقدير باستثناء بعض المناطق مثل نقطة الجس 4A والتي تجاوز العمق فيها 125 متر لاحتمالية وجود فالق في المنطقة، وهذا يزيد من فرص احتواء الخزان على كميات كبيرة من المياه الجوفية القابلة للاستثمار والاستخدام. تميزت المنطقة بأربعة انطقة جيوكهربائية، الاول بمقاومية منخفضة نسبياً ويمثل طبقة التربة والمارل الاخضر والتي تظهر بتوزيع قيم غير متجانس بسبب الاختلاف في المحتوى المائي والثاني بقيم مقاومة متوسطة والتي تمثل طبقة كاتمة شبه نافذة (مكونة من المارل والحجر الجيري معاد التبلور). أما النطاق الثالث فيمثل الخزان الجوفي الرئيسي المتمثل بتكوين الدمام (Dammam Formation). النطاق الرابع ظهر في الجس الكهربائي العمودي (VES) فقط لعمقه البعيد والذي يمثل طبقة كاتمة صماء (Aquiclude) والعائدة الى تكوين الرص (Rus Formation) الذي يتكون اساساً من صخور المارل والمتبخرات. وصل عمق الاختراق في المسح التصويري ثنائي البعد (ERT) الى ما يقارب 70 متر، في حين تراوحت قيم المقاومة الكهربائية بين 2 – 65 اوم.م. ان تكامل الطرق الجيوفيزيائية وتعدد التقنيات المستخدمة أثمر عن دراسة متكاملة وتفسيرات ونتائج مدعمة وبموثوقية عالية وذات كلف زهيدة قياساً بطرق التحري الهيدروجيولوجي التقليدي، اذ بينت الدراسة ان طريقة التصوير المقاومة الكهربائية هي تقنية مفيدة لإعطاء صورة واضحة عن الوضع الجيولوجي للطبقات تحت السطحية. ان التصوير الكهربائي أداة فعالة لتمييز مستوى المياه الجوفية ولكن يفضل ان تكون النتائج معززة بالآبار الاختبارية للحصول على نتائج أكثر دقة او من الممكن ان تستخدم الطريقة الكهربائية للمسوحات الاستطلاعية الاقليمية. بينما الجس الكهربائي العمودي اظهر دقة عالية في تحديد امتداد وسمك الخزان الجوفي في المنطقة.

المصادر

- Abdel Razak, M.I., 1980. A Magnetic Investigation in Rehaima Area South West Al-Najaf, M.Sc. Thesis (unpublished), College of Science, University of Baghdad, 171pp.
- Abdulrazzaq, Z.T., 2011. Application of Vertical Electrical Sounding to Delineate and Evaluate of Aquifers Characteristics in Baiji – Tikrit Basin, M.Sc. Thesis (unpublished), College of Science, University of Tikrit, 148pp.
- Abdulrazzaq, Z.T., Aziz N.A. and Alwan H.A., 2015. Study of groundwater level in Samarra City by using 2D Resistivity Imaging Technique. Iraqi Journal of Science and Technology, Vol.6, No.1, p. 11 – 26.

- Ahmed, M.M., Abdulrazzaq Z.T. and Salih, S.A., 2012. Application of Vertical Electrical Sounding to delineate and evaluate the hydrological conditions in Baiji – Tikrit Basin. 6th edit. of the International Congress, GEO-TUNIS.
- Al-Amiri, M., 1978. Structural interpretation of the LANDSAT imagery for the Western Desert, Iraq. GEOSURV, int. rep. no. 923.
- Ali, B.M., 2012. Hydrogeological study of area between Najaf – Karbala cities. Iraqi Journal of Science, Vol.53, No.2, p. 353 – 361.
- Al-Menshed, F.H., 2011. Evaluation of Resistivity Method in Delineation Groundwater Hydrocarbon Contamination Southwest of Karbala City. Ph.D. Thesis (unpublished), University of Baghdad, College of Science. 210pp.
- Al-Shemmari, A.N.H., 2012. Establishing Relations Between Hydraulic Parameters and Geoelectrical Properties for Fractured Rock Aquifer in Dammam Formation at Bahr Al-Najaf Basin. Ph.D. Thesis (unpublished), University of Baghdad, College of Science. 149pp.
- Al-Zubedi, A.S., 2009. Application of Vertical Electrical Sounding and 2D Imaging for Delineation of Part of Aquifers South and Southwest Samawa City, Southern Iraq. M.Sc. Thesis (unpublished), University of Baghdad, College of Science, 125pp.
- Barwary A.M. and Slaiwa, N.A., 1996. Geological Map of Al Najaf Quadrangle, Sheet NH-38-2 of scale 1: 250 000, 1st edit. GEOSURV. Baghdad.
- Bhattacharya, P.K. and Patra, H.P., 1968. Direct Current Geoelectrical Sounding, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 131pp.
- Dahlin, T. and Zhou, B., 2004. A numerical comparison of 2D resistivity imaging with ten electrode arrays. Geophysical Prospecting, Vol.52, p. 379 – 398.
- DeGroot-Hedlin, C. and Constable, S., 1990. Occam's Inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric Data. Geophysics, Vol.55, No.12, p. 1613 – 1624.
- Jassim S.Z. and Goff J.C., 2006. Geology of Iraq. 1st edit., Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, Czech Republic, 408pp.
- Kosinski, W.K. and Kelly, W.E., 1981. Geoelectric soundings for predicting aquifer properties. Groundwater, Vol.19, p. 163 – 171.
- Loke, M.H., 2002. RES2DINV, Ver.3.50, Rapid 2D resistivity and IP inversion using the Least Square Method. Geotomo Software, Malaysia, 115pp.
- Loke, M.H., 2004. Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, 127pp.
- Loke, M.H., 2010. Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, 154pp.
- Loke, M.H., 2012. Tutorial: 2-D and 3D Electrical Imaging Surveys, 172pp.
- Loke, M.H. and Dahlin, T., 2002. A Comparison of the Gauss-Newton and Quasi-Newton Methods in Resistivity Imaging Inversion. Journal of Applied Geophysics, Vol.49, No.3, p. 149 – 162.
- Muchingami, I., Hlatywayo, D.J., Nel, J.M. and Chuma, C., 2012. Electrical resistivity survey for groundwater investigations and shallow subsurface evaluation of the Basaltic-Greenstone Formation of The Urban Bulawayo Aquifer. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Vol.50, No.52, p. 44 – 51.
- Sharma, P.V., 1976. Geophysical Methods in Geology. Amsterdam, Elsevier Scientific Pub. Co. Netherland, 428pp.
- Slater, L., Binley, A.M., Daily, W. and Johnson, R., 2000. Cross-Hole Electrical Imaging of a controlled saline tracer injection. Journal of Applied Geophysics, Vol.44, p. 85 – 102.
- Telford, W.M., Gelderd, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics, Cambridge University Press, 792pp.
- Zohdy, A.A.R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner Sounding Curves. Geophysics, Vol.54, No.2, p. 245 – 253.

About the authors

Zaidoon T. Abdulrazzaq, graduated from the Department of Applied Geology-University of Tikrit in 2008 and received a master's degree from the same university 2011 in the specialization of hydrogeophysics. Ph.D. student in the University of Baghdad (research stage) in the specialization of geophysics. He is working as Older Geologist in the Ministry of Science and Technology, Directorate of Space and Communications since 2012 until now. He was awarded the title of "scientific researcher" in 2016 for publishing several papers and participated in several conferences in the field of geophysics, water resources and remote sensing. Member of the national commission for identification of Iso-rainfall lines from 2016 to the present time.



e-mail: zaidoon.taha@live.com

Ahmed J.R. Al-Heety, B.Sc. in Geology in 2011, M.Sc. in Geophysics in 2014 from Mosul University-Iraq. He was working as a geologist with Baker Hughes Company; currently he is working as a Geologist/Geophysicist in Seismic processing Center/ Oil Exploration Company (OEC). His interests are in the Application of Geophysics, Geotechnical Geophysics, Seismic Data Processing, Static Correction issues, Seismic Refraction Tomography (SRT), Surface Wave Inversion Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) and Electrical Resistivity Tomography (ERT). He was published more than 15 papers in different Journal and participate in several conferences. Also, he is published Book entitles: "Encyclopedia of Geologist Flag in Iraq".



e-mail: ahmedalheety@gmail.com

Zainab M. Shanshal, graduated from Mosul University in 2005; B.Sc. degree in geology, get M.Sc. degree in Geophysics (Electrical Resistivity) from the Mosul University in 2012. She is worked Assistant lecturer in geology department in Mosul University, and became assistant Lecturer after getting M.Sc. degree. She had participate in two scientific conferences, one in Jordan and the second in Iraq. She have four scientific papers published in International and localized scientific journals. Her researches are concerned in two dimension Electrical Resistivity Tomography Survey (ERT), and Vertical Electrical Sounding (VES), and their applications in site and geotechnique investigation.