تحريات جيولوجية موقعية بين سدي الموصل وبادوش (شمال العراق) في ضوء مقاطع التصوير المقاومي

مروان متعب مصطفى[1] و يونس جاسم عليان[2]

الاستلام: 04/ 11/ 2012، القبول: 28/ 03/ 2013
الكلمات الدالة: سد بادوش، التصوير المقاومي، تقنية الدحرجة المستمرة، العراق

المستخلص

تقع منطقة الدراسة بين سدي الموصل وبادوش على بعد 35 كم شمال غرب مدينة الموصل في شمال العراق، حيث تغطي المنطقة صخور تكوين الفتحة المتكونة من الطفل والجبس والحجر الجيري وترسبات العصر الرباعي الفيضية والطموية. تتميز المنطقة بوجود طيتين باتجاه شرق – غرب، الأولى طية مسرة تقع في جنوب المنطقة، حيث ينتهي غاطسها الغربي عبر نهر دجلة، أما الثانية فهي طية طيرة، حيث يمثل غاطسها الغربي الكتف الشرقي من سد الموصل.

ولغرض التعرف على أنطقة الضعف التحت سطحية، اختيرت سبعة مواقع في منطقة الدراسة وأجريت تحريات جيوفيزيائية ضحلة وعميقة باستخدام مقاطع التصوير المقاومي بمنظومة وينر – شلمبرجر، وذلك بإجراء واحد وثلاثين مسارا كهربائيا وبأطوال مسارات تتراوح بين (290 – 3075) متر وبمستويات تتراوح بين (4 – 13) مستوى. وطبقت تقنية الدحرجة المستمرة بأسلوب حقلي جديد في تغطية القطعة مثلثة الشكل.

أبرزت نتائج مقاطع التصوير المقاومي في مسارات الموقع باحتمالية وجود أربعة قنوات وفالق. أما مسار موقع سد الموصل، فقد أوضح

وجود قناتين متجاورتين تعد من أهم مناطق الضعف المسببة للخسفات والتي أكدتها عمليات التحشية التي حصلت في الفترة الأخيرة. وفي بقية مواقع الدراسة (كرج، دواسة، مسطاح، شيحية، فلفيل)، فقد تم تشخيص فوالق وأنطقه تكهفات وقنوات إذابة ضمن صخور تكوين الفتحة، تمثل مناطق ضعف يمكن أن تؤدي إلى تطورات ومشاكل خطيرة يصعب السيطرة عليها وبالتالي تعالج بكلف باهظة، كما يحدث الآن في سد الموصل. يجب تلافي تلك المشاكل في سد بادوش، حيث ستغطي بحيرته منطقة الدراسة مما يعطي للتحريات الموقعية الحالية أهمية بالغة. كما أوضحت المسارات السبعة بفاصلة 100 متر، حدوث انطقة ضعف تمتد من سطح الأرض والى عمق 99 متر ضمن ترسبات العصر الرباعي وصخور تكوين الفتحة. ولوحظ في ستة مسارات وجود تجانس للتطبقات الأفقية الصخارية العميقة التي تمثل تكوين الفرات – الجريبي (المايوسين الأسفل – الأوسط، تباعا)، أما المسار السابع (ERT19) في موقع دواسة، فقد ابرز حدوث تغيرات صخارية واضحة (عدم تجانس) تحت عمق 134 متر، ضمن صخور الفرات – الجريبي.

GEOLOGICAL SITE INVESTIGATION BETWEEN MOSUL AND BADOOSH DAMS (NORTH IRAQ) FROM RESISTIVITY TOMOGRAPHY

Marwan M. Mustafa and Younis J. Alian

ABSTRACT

The studied area is located between Mosul and Badoosh dams, 35 Km northwest of Mosul city, in north Iraq. The area is covered by rocks of the Fatha Formation, which are marl, gypsum and limestone, in addition to the Quaternary sediments (fluvial, alluvial and Tigris river terraces). The area is distinguished by the presence of two anticlines extending E – W, the first is Masarra anticline with western plunge located across Tigris River. The second one is Taira anticline, whose western plunge represents the eastern embankment of Mosul dam.

[1] أستاذ، جامعة الموصل، كلية الهندسة والتعدين، قسم هندسة المكامن النفطية،
البريد الالكتروني: drmarwanmutib @yahoo.com
[2] مدرس، جامعة الموصل، الكلية التقنية، الحمدانية

For the detection and delineation of subsurface defects, seven sites were chosen in the studied area. Deep and shallow geophysical investigations using Electrical Resistivity Tomography (ERT) via Winner – Schlumberger system was conducted along 31 electrical profiles with lengths ranging between (290 – 3075) m and (4 – 13) levels. The continuous rolling-along technique was applied with new procedure in covering the triangular segments.

The ERT results of "Wana" site display four suggested channels and a fault. The profile of Mosul dam, points out two contiguous channels, which are being the most significant defects that have caused the development of the sinkholes, which are grouted nowadays. In the other sites (Dawasa, Kirj, Mostah, Sheheya, Filfale), many features of karst caverns were identified, beside dissolution channels and faults within rocks of the Fatha Formation. Those defect zones may lead to serious problems and developments, which could not be controlled and consequently the remedy may be costly as it is the case in Mosul dam project. Those problems must be taken into consideration in Badoosh project dam, where the up-stream lake will cover the studied area; leading to the importance of the present site investigation. Moreover, the seven profiles of the ERT (100 m spacing) covering the studied sites, have shown weakness zones extending from the ground surface to a depth of 99 m (the Quaternary sediments and Fatha Formation). Six profiles, indicated the homogeneity of the deep horizontal stratified rocks within Euphrates – Jeribe Formation (Lower – Middle Miocene respectively), while the seventh profile (ERT19) of "Dawasa" site, displays deeper changes (Heterogeneity) below 134 m, within the rocks of the Euphrates – Jeribe Formation.

المقدمة

يعد سد الموصل من أهم المنشآت الهندسية المقامة على نهر دجلة وهو عبارة عن سد ركامي انشئ لأغراض الري وتوليد الطاقة الكهربائية ودرأ مخاطر الفيضانات، فضلا عن ذلك فهناك سد بادوش (كان قيد الإنشاء) الذي يقع جنوب منطقة الدراسة إذ من المؤمل أن تغمر بحيرته أجزاء واسعة منها. كما أن هناك مقترح لإنشاء جسر في المنطقة يربط الضفة الشرقية بالضفة الغربية للنهر(الشكل 1).

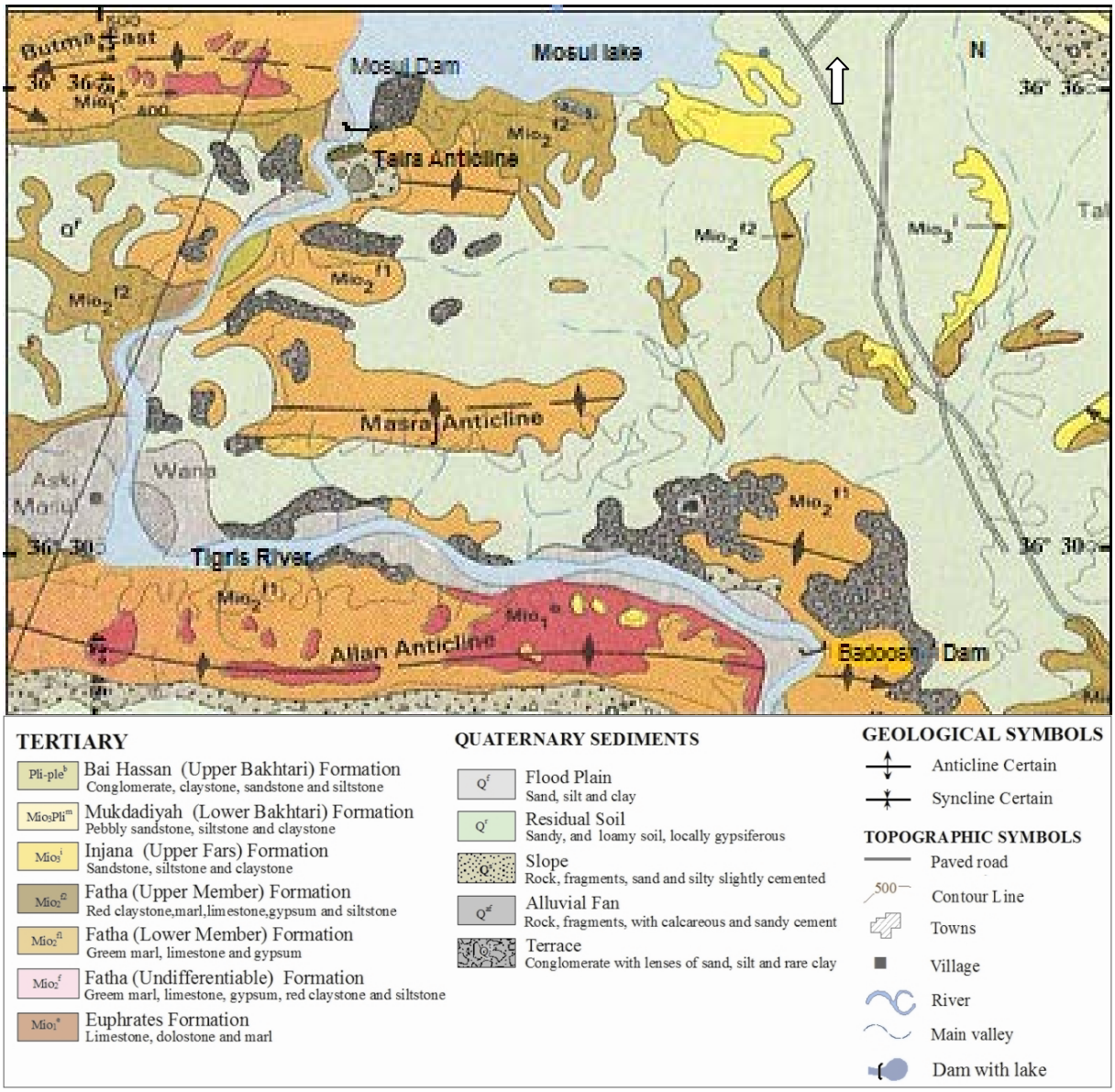
أوضح Al-Ansari *et al*. (1984)، انتشار الحفر البالوعية (Sinkholes) بشكل كثيف في موقع سد الموصل والمناطق المجاورة لها. كما لوحظ ظهور فتحات الكارست والفجوات والانهيارات خلال الأعوام الخمسة الماضية (لغاية عام 2012) قرب المدينة السياحية وإدارة المشروع، بسبب الإسراع في ذوبان صخور الطبقات الجيرية والجبسية بسبب ازدياد سرعة المياه الجارية في الموقع بحركتها من البحيرة باتجاه أسفل المجرى (Down stream).

تقع منطقة الدراسة جنوب – جنوب شرق سد الموصل وشمال – شمال غرب سد بادوش (كان قيد الإنشاء) في شمال العراق بين خطي طول '45 °42 – '03 °43 وخطي عرض '30 °36 – '36 °36 على بعد حوالي 35 كم شمال غرب مدينة الموصل. يحد منطقة الدراسة من الغرب والجنوب نهر دجلة، فيما يحدها من الشرق طريق موصل – دهوك ومن الشمال بحيرة سد الموصل. تبلغ مساحة منطقة الدراسة التي تضم المواقع المختارة المدروسة حوالي 275 كيلومترا مربعا، وترتفع عن منسوب سطح البحر حوالي 450 متر في شمال المنطقة، في حين أن أدنى ارتفاع يبلغ حوالي 245 متر في غرب وجنوب المنطقة قرب مجرى نهر دجلة (الشكل 1).

- **جيولوجية المنطقة**

تركيبيا، تتميز المنطقة بوجود طيتي "طيرة ومسرة" المحدبتين (الشكل 1)، تتميزان بتضاريس قليلة تفصل بينهما طية مقعرة ضحلة يوازي محورها محوري الطيتين أنفتي الذكر، حيث تخضع تلك الطيات لنظام طي طوروس (Taurus Folding System). يقع تركيب طيرة في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة وهو عبارة عن طية محدبة غير متناظرة ثنائية الغطس يمتد محورها العام باتجاه شرق – غرب ويكون ميل جناحها الجنوبي بحدود 15 درجة، في حين يبلغ ميل الجناح الشمالي 7 درجات (الحمداني، 1997). يبلغ طول الطية حوالي 5.5 كم وعرضها 1.8 كم. تظهر الطية بترتيب متبادل (En-echelon) مع طية بطمة الشرقية الواقعة غرب نهر دجلة. تغطس الطية من جهة الشرق، أما الغاطس الغربي للطية فانه غير واضح لأنه يقطع بواسطة نهر دجلة. أما تركيب مسرة، فيقع إلى الجنوب من تركيب طيرة وموازي له، حيث يمثل هذا التركيب طية محدبة غير متناظرة ثنائية الغطس، إذ يقع غاطسها الشرقي قرب قرية الشيحية،

في حين يمتد غاطسها الغربي إلى الضفة الغربية من نهر دجلة. يتجه محور الطية شرق – غرب وبطول 15 كم وعرض 2.5 كم تقريبا. تشكل صخور تكوين الفتحة لب وجناحي الطية ويميل طرفها الجنوبي 25 درجة، في حين يكون الطرف الشمالي أقل ميلا ويصل إلى 10 درجات.



شكل 1: خريطة موقعية وجيولوجية لمنطقة الدراسة (after Sissakian, 1995)

طباقيا، تتمثل أقدم التكوينات المتكشفة على السطح في منطقة الدراسة بتكوين الفتحة (المايوسين الأوسط)، حيث يقع تحته تكويني الفرات – الجريبي (المايوسين الأسفل – الأوسط) ولا تتكشف صخور التكوين في منطقة الدراسة، بينما تلاحظ صخوره في لب طية بطمة الشرقية ولب طية علان في جنوب منطقة الدراسة (الشكل 1). أما تكوين الفتحة فيتكشف في معظم أجزاء منطقة الدراسة، حيث يشغل لب وأجنحة طيتي طيرة ومسرة وشمال طية مسرة، أما في جنوبها فنادرا ما تتكشف صخور التكوين. يعد تكوين الفتحة من أهم التكوينات الموجودة في منطقة سد الموصل، حيث أنشئ جسم السد على صخور هذا التكوين، تتألف مكوناته من دورات تتابع طبقي من صخورالطفل والحجر الجيري والجبس والقليل من الصخور الغرينية والطينية في أعلى التكوين. أما سمك التكوين في منطقة الدراسة الحالية فهو غير معروف وذلك لعدم تكشف حده السفلي.

تغطي ترسبات العصر الرباعي مساحة واسعة من منطقة الدراسة، حيث تأتي بشكل غير متوافق مع تكوين الفتحة لتشغل مناطق أقدام التلال والمنحدرات والأجزاء المستوية، فضلا عن انتشارها على امتداد نهر دجلة. وتشمل هذه الترسبات أنواع مختلفة من الترسبات الفيضية. وفق المشاهدات الحقلية الحالية، تمثل الترسبات الفيضية كلا من ترسبات المدرجات النهرية وترسبات السهل الفيضي وتشكل حزاما متقطعا يمتد بشكل محاذي لمسار نهر دجلة الحالي. تتميز مكونات المدرجات النهرية بكونها مدملكات متكتلة ومتماسكة وقسم منها بشكل مفكك. لوحظ خلال الجولات الحقلية في الدراسة الحالية، إن المصاطب النهرية تحتوي على فجوات يزيد قطر البعض منها على 3 أمتار وقسم منها تكون على شكل تجمعات من الفجوات الصغيرة باقطار تتراوح بين (20 – 50) سم. تكونت التربة السطحية نتيجة تفتيت وتجوية الصخور، وتنتشر بعد ذلك بعيدا بواسطة الأنهار والرياح، وقد لوحظ في منطقة الدراسة الحالية الأنواع الثلاثة من التربة وهي الرملية والمزيجية والطينية.

هيدرولوجيا، يؤدي خزن كميات من المياه والبالغة 11.110 مليار مترا مكعبا بارتفاع مستوى سطح الماء 330 متر فوق مستوى سطح البحر إلى اختلافات في الضغط الهيدروليكي بين منطقة أعلى وأسفل الجريان، مما قد يسبب تسرب المياه إلى الجهة الأخرى والمناطق المحيطة بها عن طريق انطقة الضعف في الصخور والتي تشمل الفوالق والفواصل والكسور والفجوات التحت سطحية ومناطق التماس بين الطبقات التي تختلف في خواصها الفيزيائية. إن مليء البحيرة وتفريغها يؤدي إلى ارتفاع وانخفاض المياه وهذا يسبب إذابة قسم من صخور الجبس فتظهر الفجوات وقنوات الإذابة أو قد تملأ هذه الفراغات بالمواد الطينية، وفق الشواهد الحقلية الحالية.

- **أهداف الدراسة**

تأتي الأهمية البالغة للدراسة الحالية في وضع تصور للمشاكل التي يمكن أن تحدث بفعل إقامة مشاريع إستراتيجية في منطقة الدراسة والوصول إلى معالجتها باستخدام التحريات الموقعية الجيوفيزيائية (Geophysical site investigations) وذلك باعتماد تقنية مقاطع التصوير المقاومي الكهربائي (Electrical Resistivity Tomography; ERT).

منهجية البحث

نتيجة للتطورات في تقنيات التصوير الكهربائي ثنائي البعد (2D-Electrical Imaging)، فقد تم استحداث نشر ترتيب وينر – شلمبرجر (Wenner – Schlumberger array)، حيث يتحول النشر عمليا إلى ترتيب شلمبرجر عندما يصبح عامل n أكبر من 2. إن العامل n لهذا الترتيب هو النسبة بين المسافة الفاصلة بين الأقطاب C1 – P1 أو C2 – P2 إلى المسافة بين زوج أقطاب الجهد P1 – P2 (Sharma, 2004). كما يلاحظ إن ترتيب وينر هو حالة خاصة من ترتيب وينر – شلمبرجر والذي فيه العامل n يساوي 1. إن ترتيب وينر – شلمبرجر يتحسس بشكل معتدل (Moderately Sensitive) التراكيب الأفقية لقيم n الواطئة والتراكيب العمودية لقيم n العالية. ففي المساحات التي يتوقع فيها وجود كلا النوعين من التراكيب الجيولوجية، فان هذا الترتيب يعد حلا وسطيا جيدا بين ترتيب وينر وثنائي القطب (Dipole – Dipole array). كما يعطي ترتيب وينر – شلمبرجر تغطية أفقية أفضل من ترتيب وينر، لأن الترتيب الأخير يقل ثلاث نقاط قياس في كل مستوى عن المستوى السابق له، في حين أن ترتيب وينر – شلمبرجر يفقد نقطتي قياس مع كل مستوى أعمق للبيانات. إضافة إلى ما تقدم، فإن التغطية الأفقية للبيانات تكون أعرض قليلا من مثيلتها لترتيب وينر، ومن ناحية أخرى فان ترتيب وينر – شلمبرجر يقدم تمييزا يتمثل في ان أقصى عمق للاختراق يكون أكبر 15% من ترتيب وينر (Loke, 2009). إن كل الميزات والخصائص آنفة الذكر لنشر وينر – شلمبرجر قد وضعت بنظر الاعتبار في تطبيقه في الدراسة الحالية.

تم استخدام برنامج RES2DINV وفق Loke (2007) لتحديد نموذج المقاومية ثنائي البعد لما تحت السطح، وذلك للبيانات التي تم الحصول عليها من مسوحات مقاطع التصوير المقاومي. تستخدم تقنية الدحرجة (Roll-along) لتغطية المنطقة جانبيا بالمسح المقاومي ثنائي البعد، حيث يتم تحقيق هذه التقنية بالأجهزة الحديثة ذات الأقطاب المتعددة عن طريق إجراء القياسات اللازمة لتشكيل المقطع الكاذب والمؤلف من عدد معين من نقاط القياس (Data points)، ويعتمد العدد على نوع النشر المستخدم وعدد الأقطاب وعدد مستويات القياس. بعد إكمال تسلسل القراءات اللازمة، تبدأ الخطوة الثانية وذلك بنقل القابلو وراء إحدى نهايات خط المسح بمسافة تعادل عدة وحدات من الفواصل القطبية (Electrode spacing) ويعاد قياس كل النقاط (أو تعاد القراءات) على الأقطاب التي لا تتداخل مع النهاية الأصلية من خط المسح. إن تغطية منطقة واسعة بشكل مستمر بمسح مقاومي ثنائي البعد يعد أمرا صعبا، وإجراء دحرجة من خلال إحدى نهايتي القابلو بفواصل قطبية (1, 2, 3 ... الخ) غير قابل للتطبيق، لأن ذلك يتطلب كلفة كبيرة، فضلا عن الوقت المستغرق والذي قد يصل إلى عدة سنين، لذلك هناك تقنية نصف الدحرجة (Half roll – along technique)

وتتم بتحريك نصف عدد القابلوات (أي تزحيف نصف الطول الكلي للنشر) إلى موقع جديد للجس التالي (Subsequent sounding) والتي اعتبرت اختصارا للوقت المستغرق لغرس أقطاب الجس التالي إلى نصف الوقت.

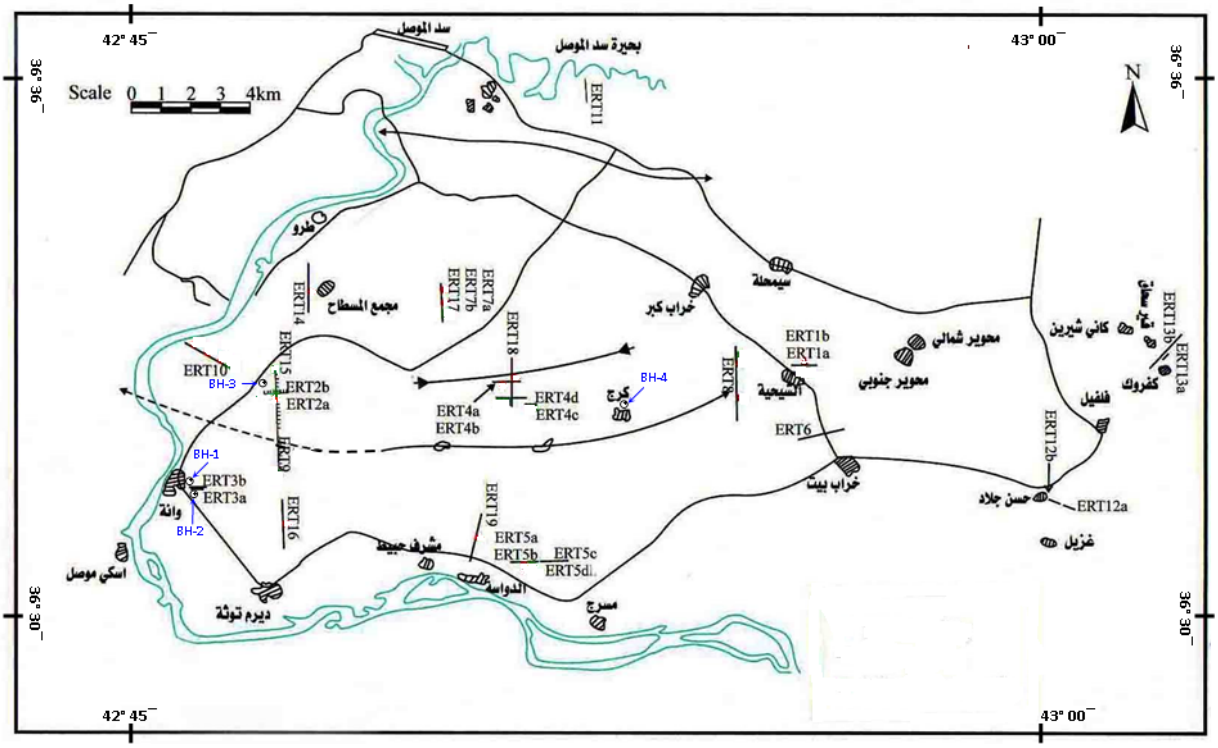
ان عدم تغطية قطعة مثلثة الشكل (Triangular segment) تحت السطح بين موقعين متجاورين للجس (Two neighboring sounding) يعتبر أحد أهم المساوئ لتقنية نصف الدحرجة، على الرغم من أن برنامج (RES2DINV) له القدرة على حل هذه المشكلة من خلال Constrain – least square optimization والذي يقوم بحساب مقاومية القطعة الخالية من البيانات من خلال قياسات نقاط البيانات المجاورة والمحيطة. ولكن لا تزال هناك مشكلة كبيرة فيما إذا كانت مضاهاة البيانات للقطعة الفارغة هي واقعية وتنطبق مع الوضع الجيولوجي الحقيقي أو العكس.

يتضح مما ورد في أعلاه، إن لاستخدام أجهزة قياس المقاومية الغير متعددة الأقطاب ميزة بسبب محدودية عدد الأقطاب، إذ انه بالإمكان تطبيق الدحرجة المستمرة بسهولة. وتتم هذه العملية حقليا بتشكيل مقطع كاذب لنقاط القياس بتوسيع مستمر للفاصلة بين الأقطاب إلى عدد معين من قيم n مساوي لمستويات القياسات مع الحفاظ دائما على ثبات موقع أحد قطبي التيار لكل مقطع تصويري قبل عمليات الدحرجة. إن أسلوب الدحرجة المطبق في الدراسة الحالية قد قدم ميزتين: الأولى هي عدم وجود قراءات متكررة لنفس نقاط القياس التي أجريت في مرحلة سابقة وذلك عندما يكون التباعد أو التزحيف بفواصل قطبية قليلة، كأن تكون 1 ,2 ,3 ... الخ كما يجري في الأجهزة الحديثة والتي تؤدي إلى بذل جهود كبيرة في غرس الأقطاب لقراءات متكررة لا مبرر لقراءتها، وبالتالي ضياع الوقت والكلفة في انجاز الأعمال الحقلية. أما الميزة الثانية، فتكمن في تلافي مشكلة القطعة الفارغة من خلال تسجيل بيانات حقلية ترسم في المقطع التصويري والتي تعكس الوضع الجيولوجي الواقعي التحت سطحي.

جمع البيانات الحقلية والنتائج

تم إجراء 31 مسارا باستخدام تقنية مقطع التصوير المقاومي الكهربائي والتي وزعت على منطقة الدراسة (الشكل 2) لغرض تغطيتها بشكل معقول، حيث يتعذر القيام بشبكة منتظمة لوجود بعض الصعوبات التي حالت دون تحقيق هذا الهدف والتي تمثلت بعوائق سطحية وتضاريسية طبيعية وأخرى اصطناعية وضعت تقيدا شديدا في أطوال النشر واتجاهاته ومواقع المسارات.

وقد أجريت مسارات المقاطع التصويرية بفاصلات قطبية (Electrode spacing) مختلفة (5، 10، 20، 25، 40، 50 و 100 متر). أما مقدار أقصى مسافة نشر، فكان 1300 متر وذلك باعتماد الفاصلة 100 متر لسبعة من المسارات أعلاه. فضلا عما تقدم، فقد تم استخدام أسلوب الدحرجة في التنفيذ الحقلي، وبذلك أمكن الحصول على مسارات بأطوال كبيرة تجاوز بعضها الكيلومترين أو ثلاث وذلك لتغطية المنطقة جانبيا لمسافات طويلة دون إعادة الخطوات الأولية لتشكيل المقطع الكاذب باختيار مسار آخر. احتلت هذه المسارات مواقع مختلفة من طيتي مسرة وطيرة وباتجاهات مختلفة وكان أغلبها باتجاه شرق – غرب وشمال – جنوب. وفي أدناه وصف للمواقع المدروسة:



شكل 2: مواقع التصوير المقطعي للمقاومية الكهربائية للدراسة الحالية

- **موقع وانة (Wana Site)**

يتمثل هذا الموقع بستة مسارات (ERT9, ERT3b, ERT3a, ERT2b, ERT2a وERT10) إضافة إلى مسارين (ERT16 و ERT15) بفاصلة 100 متر (الشكل 2). يقع المساران ERT2a و ERT2b واللذان يبعدان مسافة 3.5 كم شمال شرق قصبة وانة في الجناح الشمالي لطية مسرة المتعرضة الى عمليات التعرية، أزيلت خلالها بعض صخور تكوين الفتحة وغطت بترسبات العصر الرباعي. يشترك المساران أعلاه في النقطة الوسطية، ويختلفان في الطول والفاصلة القطبية. تم اختيار فاصلة مقدارها 10 متر للمسار ERT2a وفاصلة 25 متر للمسار ERT2b. أما أطوالهما فكانت 350 متر و 650 متر، على التوالي. يبين العمود الصخاري للبئر BH-3 الذي حفر قرب موقع المسارين بعد عملية المسح الحالي، بأن 32 متر من ترسبات العصر الرباعي (الطين والحصى والرمل والغرين) تغطي منطقة وانة.

يبين المسار ERT2a (الشكل 3) حدوث تموجا على السطح الأعلى لتكوين الفتحة، والذي يتفق مع دراسات جيوفيزيائية سابقة تمت في سد الموصل ومنطقة الموصل والتي أظهرت مثل هذه الظواهر (متعب والشيخ، 2005 والجريسي، 1992 والصائغ والجريسي، 2010). بينما لا يتضح ذلك التموج في المسار ERT2b بسبب استخدام فاصلة أكبر مع ظهور ميل لسطوح تطبقات صخور الفتحة العميقة في الجزء الشرقي منه.

يقع المسار ERT3a على بعد 350 متر شرق وانة وبطول 350 متر، وأجريت قياساته بفاصلة قطبية مقدارها 10 متر بين الأقطاب. أما المسار ERT3b فيبعد مسافة مقدارها 200 متر شرق وانة وبذات الإتجاه وبطول 650 متر، ويشترك مع الأول بنقطة المنتصف ويختلف الاثنان في الفاصلة القطبية، حيث بلغت 25 متر للمسار الثاني. يظهر التصوير المقطعي للمسار ERT3a ترسبات العصر الرباعي، إذ تصل أعماقه الى 26 متر بالاعتماد على العمود الطباقي للبئر BH-2 (تم حفره بعد جمع البيانات)، يليها سطح صخور الفتحة والذي يتكون من تعاقب الحجر الجيري المتطبق والطفل مع طبقات من الجبسم. وتتماثل المعلومات أعلاه للمسار ERT3a مع تلك للمسار ERT3b، إلا أن الأخير يتميز بتغايرات جانبية ذات أهمية كبيرة في الدراسة الحالية عند المسافة 450 متر من النهاية الغربية للمقطع التصويري، حيث تتغير الصفات من صخور الفتحة إلى ترسبات العصر الرباعي والمتمثلة بالحصى والرمل والغرين، ضمن ترسبات السهل الفيضي والى أعماق تتجاوز معدل عمق الترسبات الأخيرة بجوار المسار. إن هذا التغير ربما يشير إلى احتمالية وجود فالق في هذا الموقع (الشكل 3)، حيث يتوافق ذلك مع امتداد إحدى الفوالق التي أشار إليها الصائغ وآخرون (1998) والواقعة على طية علان جنوب نهر دجلة. كما تشير بحوث علمية

(Hoover and Finger, 2006، Ramachandra *et al*., 2011 و Lappema *et al*., 2012) إلى تأكيد ظهور تأثير الفوالق في مقاطع التصوير المقاومي.

يمتد المسار ERT9 من بداية الجناح الجنوبي لطية مسرة مرورا بمحورها ووصولا الى جزء من جناحها الشمالي، وينتهي المسار عند الطريق الواصل بين سد الموصل وقصبة وانة قرب مفرق السد التنظيمي. ويعد هذا المسار الأطول وفق المسح المنجز للدراسة الحالية، حيث يبلغ طوله 3075 متر بامتداد شمال - جنوب وبفاصلة قطبية مقدارها 25 متر ولثماني مستويات. توضح نتائج المقطع التصويري (الشكل 3) للمسار أعلاه وجود قناتين في النهايتين الشمالية والجنوبية من المسار ملئت بترسبات العصر الرباعي، وتتميز هذه الترسبات بتغاير طفيف في صفاتها الرسوبية وتبعا لذلك صفاتها الكهربائية. إضافة إلى ما تقدم، يبين المقطع التصويري أعلاه تحت المسافتين 600 و2100 متر من نهايته الجنوبية تغايرات جانبية عميقة (تحت عمق 33.6 متر و إلى عمق 78.2 متر) واضحة تعكس تموجا على السطح الأعلى لتكوين الفتحة يمكن أن تشكل أنطقة ضعف مستقبلية. وتؤكد دراسات علمية (Reynolds, 2011 و Genelle *et al*., 2012) إلى ظهور تأثير أنطقة الضعف (Defects and Weakness Zones) في المقاطع التصويرية للمقاومية الكهربائية.

أما أهم الشذوذ، فيمكن ملاحظتها ضمن المدى المسافي (2450 – 2700) متر تقريبا وإلى عمق يتجاوز 75 متر، فهي تمثل وجود ترسبات ذات قيم مقاومية واطئة تعكس وجود قناة تحيط بها من الجهتين الشمالية والجنوبية ترسبات ذات قيم مقاومية عالية. إن تأكيد موثوقية الاستنتاج أعلاه هو وجود ظواهر بالوعية (Sinkholes) على امتدادها تم تشخيصها وفق المشاهدات الحقلية للدراسة الحالية، حيث يلاحظ حفرتين يزيد قطر الأولى عن 29 متر والثانية بقطر 21 متر يفصل بين هاتين الحفرتين مسافة مقدارها 22 متر. كما تشير بعض الدراسات العلمية (Advanced Geosciences, 2011، Adamu *et al*., 2012 و Van Schoor, 2002) إلى تأكيد ظهور تأثير القنوات في مقاطع التصوير المقاومي الكهربائي.

يبدأ المسار ERT10 من مسافة 300 متر تقريبا من الضفة اليسرى لنهر دجلة ويمتد باتجاه °26 جنوب شرق وبطول 1410 متر ويبعد مسافة مقدارها 3.2 كم تقريبا شمال وانة وبفاصلة قطبية مقدارها 5 متر وبثمانية مستويات. يوضح التصوير المقطعي للمسار أعلاه تغايرا جانبيا عميقا في صخور تكوين الفتحة ويعكس تموجات على سطح التكوين الأعلى (تحت عمق معدلي 7 متر)، إلا أن الأهم هو بروز قيم مقاومية واطئة ضمن المدى المسافي (160 – 280) متر وبعمق يصل إلى 17.3 متر يمثل قناة تحتوي على ترسبات ذات قيم مقاومية واطئة محاطة بصخور تكوين الفتحة ذات المقاومية العالية ويتوافق ذلك مع الملاحظات الحقلية للدراسة الحالية والتي أكدتها احد الآبار التي حفرت بعد عملية جمع البيانات بالقرب من هذا الموقع.

- **موقع سد الموصل (Mosul Dam Site)**

تكونت عدة حفر بالوعية حديثا عن طريق عمليات الإذابة لطبقات الجبس السميكة، وخصوصا قرب المدينة السياحية المطلة على بحيرة سد الموصل. لذا تم اختيار موقع المسار ERT11 على بعد 3.8 كم شرق جسم السد وشمال محور طية طيرة، ويبلغ طول المسار 285 متر ويمتد باتجاه شمال – جنوب، حيث يماثل هذا المسار ERT10 في فاصلته القطبية وعدد مستويات القياس. بينت الملاحظات الحقلية أن المنطقة المحيطة بهذا المسار تتمثل بالجزء السفلي من سلسلة الطفل الأعلى لتكوين الفتحة، حيث لوحظت طبقة من الصخور الطينية الحمراء تليها الطفل الأخضر ثم الجبس.

أظهرت نتائج تفسير المقطع التصويري (الشكل 4) وجود قناتين متجاورتين لمواد صخرية ذات مقاومية واطئة يمكن أن تندمج بقناة واحدة مستقبلا، حيث تبدأ القناة الأولى من المسافة 155 متر تقريبا عن النهاية الجنوبية للمسار ERT11 وتنتهي عند المسافة 200 متر تقريبا، ويتجاوز عمقها 17.3 متر. أما القناة الثانية التي تجاورها أقل عمقا تقع في المدى المسافي (220 – 275) متر. وبمقارنة هذه الأعماق مع معدل ارتفاع المقطع عن مستوى سطح البحر مع أعلى وأوطأ منسوب لمياه البحيرة، يتضح أن هذه القناة ناتجة بفعل عمليات الإذابة لصخور الجبس.

تعد القناتين من أهم مناطق الضعف المسببة للخسفات التي حصلت على الجانب الأيسر من النهر قرب المدينة السياحية والتي أكدتها عمليات التحشية التي حصلت في الفترة الأخيرة وخصوصا عام 2010. ابتدأت تلك العمليات من موقع استعلامات مشروع سد الموصل واستمرت لمسافة 1500 متر تقريبا شرقا (أي باتجاه المسار ERT11) على طول خط يقع على الامتداد الاستقامي لهاتين القناتين وكانت المسافة بين آبار التحشية لا تتجاوز عشرة أمتار. حاليا تجرى عمليات التحشية على الاستقامة ذاتها وابتدأت من جسم السد وباتجاه هذا المسار وهذا يضيف تأكيد آخر على وجود القناتين. إضافة الى ما تقدم، يلاحظ حدوث عدد من قنوات الإذابة على سطح تكوين الفتحة تعكسها التعرجات على سطحه الأعلى في التصوير المقطعي ويعد أبرزها القناة في الامتداد المسافي (20 – 80) متر وبعمق يصل الى 17 متر.

- **موقع دواسة (Dawasa Site)**

تقع في هذه المنطقة أربعة مسارات هي ERT5a، ERT5b، ERT5c و ERT5d عدا مسار ERT19 ذو الفاصلة 100 متر، إذ تمتد جميعها باتجاه شرق – غرب ويبعد موقعها مسافة مقدارها 1.25 كم شمال شرق قرية الدواسة قرب الجناح الجنوبي لطية مسرة. يبدأ المسار ERT5a من مسافة 100 متر من بداية المسار ERT5b وينتهي الاثنان بنقطة واحدة من جهة الشرق. أما طولي المسارين أعلاه فهما 740 متر للأول و840 متر للثاني، في حين بلغت الفواصل لهما 20 متر للأول و 40 متر للثاني.

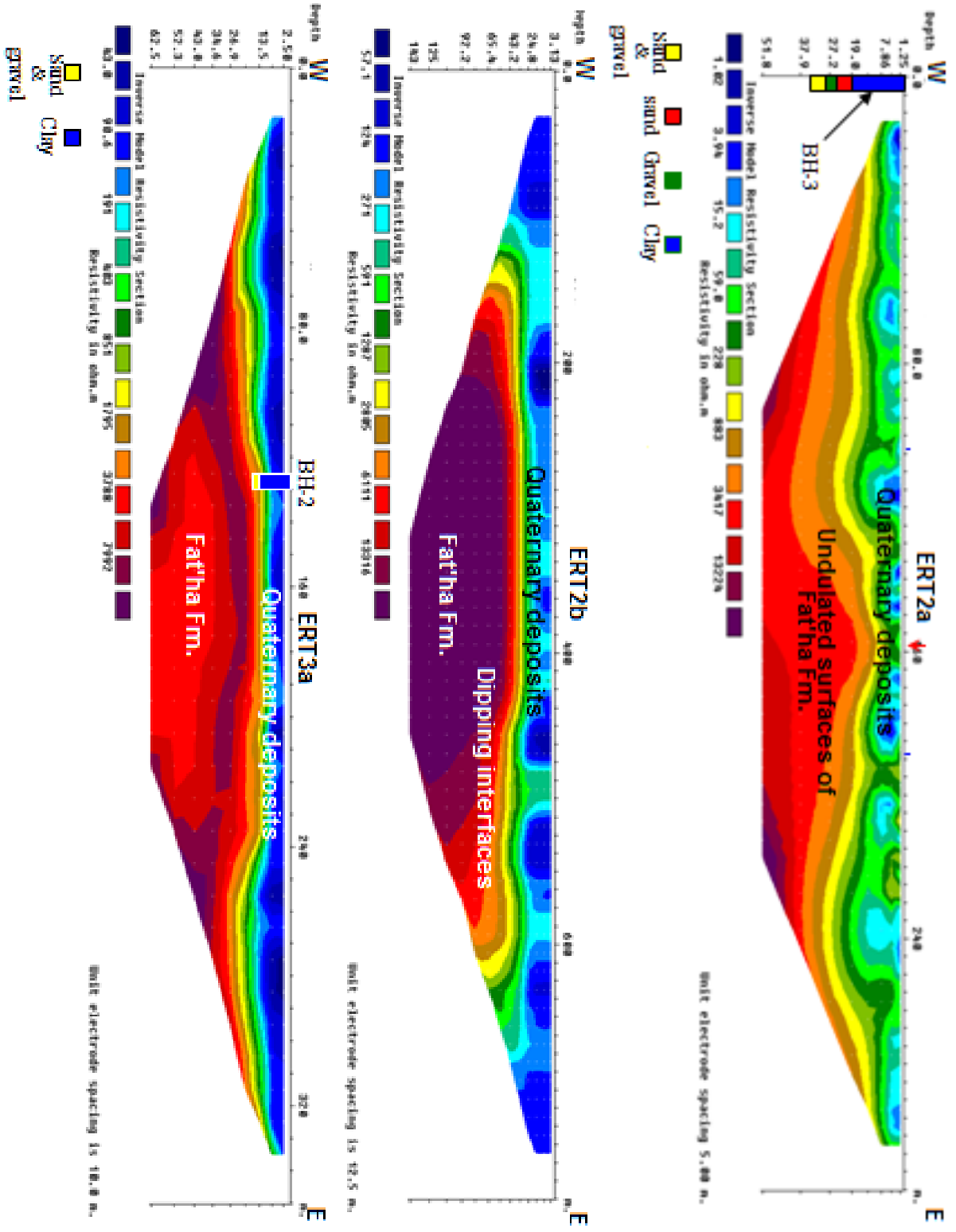
يفصل أحد الأودية الرئيسية المنحدرة من طية مسرة والمتجهة جنوبا نحو قرية مسرج بين المسارين ERT5b و ERT5a من جهة والمسارين ERT5c و ERT5d من جهة أخرى، ويشترك المساران الأخيران بنقطتي البداية والنهاية وبطول 480 مترا لكل منهما وبثمانية مستويات للأول وأربعة مستويات للثاني وبفاصلة مقدارها 20 متر للأول و40 متر للثاني. تتميز منطقة الدواسة بتباين صخاريتها من خلال طيف واسع من السحنات الرسوبية الصخرية ضمن مسافة لا تتجاوز الأمتار، وقد أكدت المشاهدات الحقلية للدراسة الحالية ذلك قرب قرية مسرج، حيث لوحظ تغايرا جانبيا تحت مصاطب الضفة اليسرى لنهر دجلة مع وجود قنوات على السطح الأعلى لصخور تكوين الفتحة، فضلا عن الاختلاف الواضح في أحجام وطبيعة رواسب المصاطب القديمة والحديثة. في دراسة لتأثير بعض العناصر التركيبية على الامتداد الجنوبي الشرقي لصمام الأمان في سد الموصل، أشار Al-Dabbagh and Al-Naqib (2009) إلى استمرار تأثير الحركة الاوروجينية الألبية خلال البلايستوسين والزمن الحاضر.

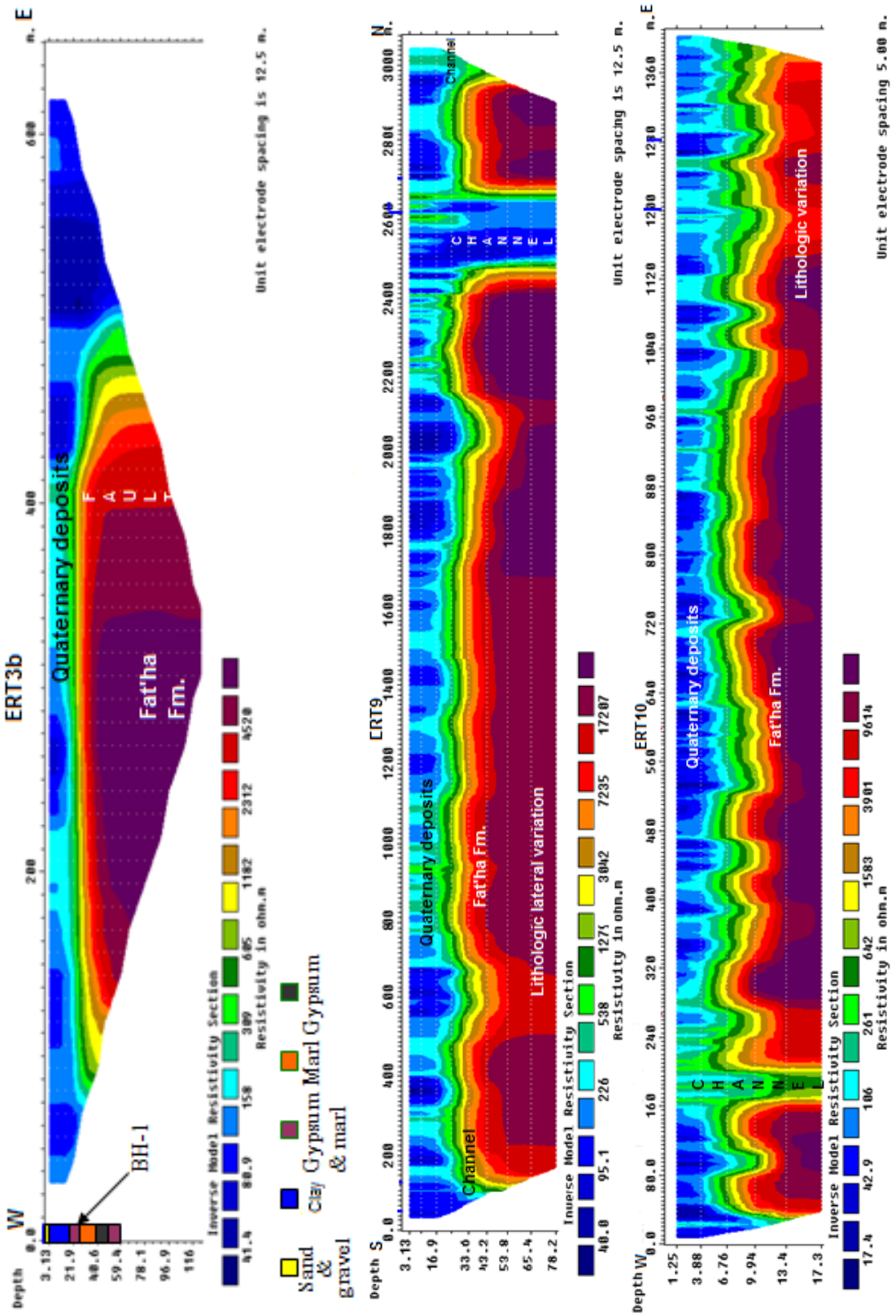
لقد انعكست تأثيرات التباين الصخاري والتركيبي وعدم انتظام طبوغرافية المصاطب على الخواص الكهربائية للترسبات التي تقع تحت المسار ERT5a، حيث يبين المقطع التصويري (الشكل 5) تغايرات جانبية وعمودية ضحلة وعميقة في مقاوميتها. يمثل المدى العمقي (28 – 62.5) متر صخور تكوين الفتحة والتي تكون في النهاية الشرقية من المسار أضحل من عمقها من النهاية الغربية. وتؤكد دراسة قام بها Rene *et al*. (2012) و(2012) Omosanya *et al*. الى ظهور ميل التطبقات الصخرية في المقاطع التصويرية للمقاومية الكهربائية والمشابهة للمقطع ERT5a.

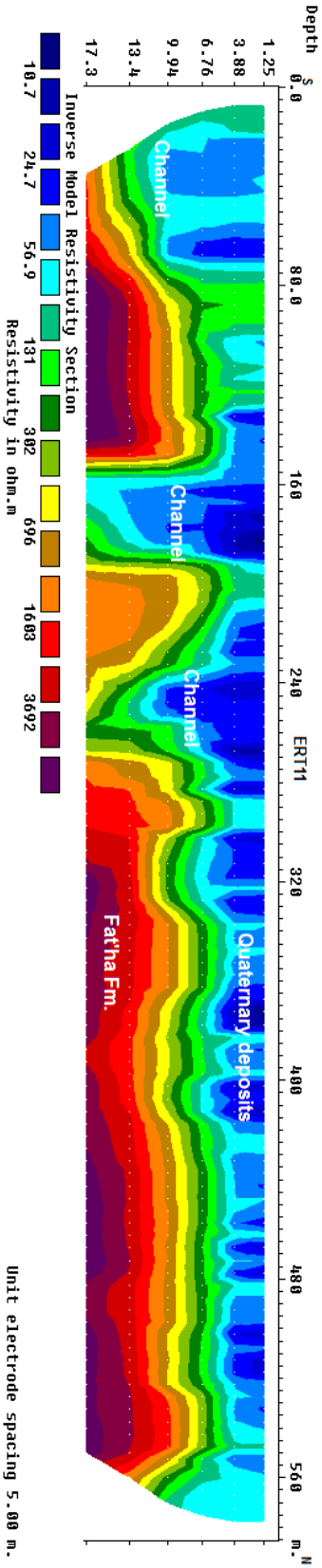
أظهر المسار ERT5b والذي تبتعد نهايته الغربية عن مثيلتها للمسار ERT5a بمسافة مقدارها 100 متر تطابقا في نتائج التفسير. إن أهم خصائص المقطع التصويري للمسارين ERT5c و ERT5d هو تمييز تغاير الأنطقة الجانبية الضحلة دون وجود انعكاس لها ضمن الصخور العميقة وبمدى مقاوميات ذات قيم واطئة تبدأ من سطح الأرض والى عمق 25 متر تقريبا والتي تعكس تجمعات حديثة للرواسب الطينية من الجناح الجنوبي لطية مسرة. كما يتصف المسارين تحت الأعماق 54 متر بالتكرار الجانبي للأنطقة مما يؤكد تكرار الطبقات الصخرية.

- **موقع كرج (Kirj Site)**

يشغل هذا الموقع أربعة مسارات هي: ERT4a، ERT4b، ERT4c، ERT4d وتمتد جميعها باتجاه شرق غرب حيث يبعد موقع المسارات مسافة 2.5 كم غرب قرية كرج إضافة الى مسار ERT18 بفاصلة 100 متر باتجاه شمال – جنوب. نفذت المسوحات الحقلية للمسار ERT4a بفاصلة 20 متر وتم مضاعفتها للمسار ERT4b، حيث يشترك المساران في نقطة البداية من جهة الغرب، إذ بلغ طول الأول والثاني 880 متر و 760 متر، على التوالي وبثمانية مستويات. يشترك المساران ERT4c و ERT4d في الفاصلة القطبية والتي بلغ مقدارها 10 متر وبتسعة مستويات ويختلفان في الطول، إذ كان مقداره 290 متر للأول و 540 متر للثاني.


ERT2a
BH-3
Quaternary deposits
Undulated surfaces of Fatha Fm.
Sand & gravel
Sand
Gravel
Clay
ERT2b
Quaternary deposits
Dipping interfaces
Fatha Fm.
BH-2
ERT3a
Quaternary deposits
Fatha Fm.
Sand & Gravel
Clay


ERT3b
W
E
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
FAULT
BH-1
Unit electrode spacing is 12.5 m.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Sand & gravel
Clay
Gypsum
Marl
Gypsum & marl
ERT9
S
N
Channel
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Lithologic lateral variation
Unit electrode spacing is 12.5 m.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
ERT10
W
E
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Lithologic variation
Unit electrode spacing 5.00 m.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m


Depth
1.25
3.88
6.76
9.94
13.4
17.3
0.0
80.0
160
240
320
400
480
560
m.
S
N
ERT11
Channel
Channel
Channel
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Inverse Model Resistivity Section
10.7
24.7
56.9
131
302
696
1603
3692
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing 5.00 m.

يعكس المقطع التصويري للمسار ERT4a (الشكل 6) تباينا عموديا وجانبيا للخواص الكهربائية للترسبات المختلفة تحت هذا المسار. يلاحظ تغاير جانبي بوجود منخفضات مقاومية ضمن المدى المسافي عند الأعماق والتي تزيد عن 28 متر والذي يعكس وجود أنطقة تهشم وتكسر وإذابة في الصخور الجيرية والجبسية ضمن تكوين الفتحة. وابرز ما يؤكد ذلك فضلا عن المشاهدات الحقلية لهذه الظواهر في الصخور المتكشفة على جناحي الطية هو العمود الطباقي للبئر BH-4 في قرية كرج، حيث يبين التقرير الخاص بهذا البئر تعذر الحصول على النماذج الصخرية من البئر وذلك لوجود شقوق بأعماق مختلفة من البئر تمتد من عمق 17 متر من سطح الأرض وتستمر إلى أسفل البئر عند العمق 170 متر. وكما أشارت دراسات علمية مثل Lagmanson (2005)، Robert *et al*. (2010)، Putiska *et al*. (2012)، Ismail (2012) و Adamu *et al*. (2012) إلى إبراز المقاطع التصويرية للمقاومية للكهوف وأنطقة الكسور والفراغات. أما المقطع التصويري للمسار ERT4b والذي يشترك في نقطة بدايته مع المسار السابق، فيظهر الظواهر المقاومية للمسار ERT4a بوضوح أقل بسبب مضاعفة الفاصلة القطبية للمسار ERT4b (الشكل 6) مع احتمالية وجود نطاق تكسر وتهشم للصخور عند المسافة 470 متر.

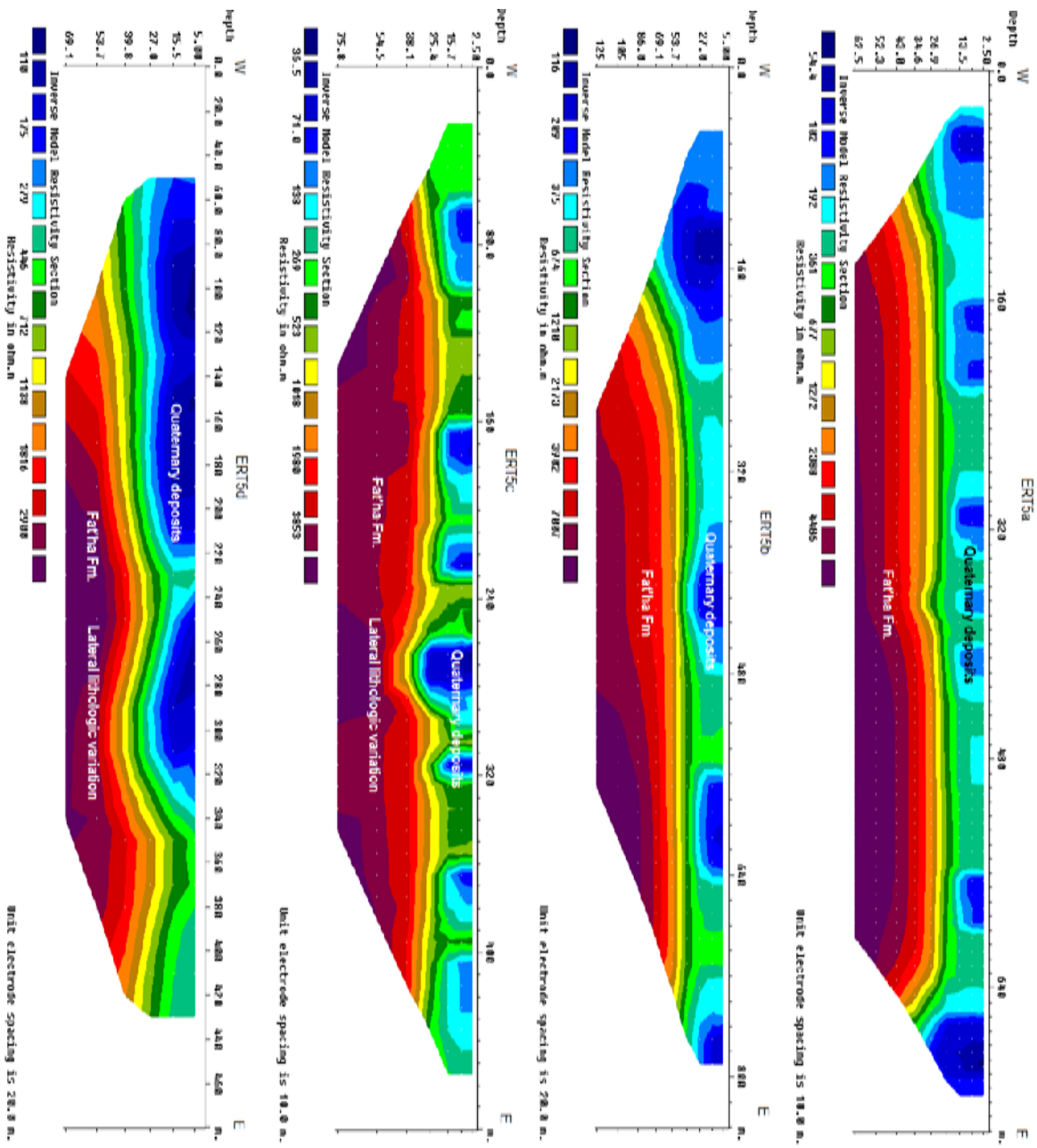
يوضح المقطع التصويري للمسار ERT4c (الشكل 6) التغايرات الكهربائية الجانبية والتي تظهر وجود منخفض مقاومي (Resistivity low) محصور بين المدى المسافي (45 – 125) متر من النهاية الغربية للمسار قد يعكس وجود أنطقة تهشم وتكسر وإذابة في الصخور الجيرية والجبسية ضمن تكوين الفتحة. كما يبين المقطع التصويري للمسار ERT4d وجود تغايرات جانبية تعكس منخفض مقاومي يبدأ من المسافة 460 مترا ومن النهاية الغربية للمسار ويستمر الى نهاية المسار الشرقية، وهو ذات المنخفض الذي لوحظ في المسار ERT4c بوجود مدى تداخل مسافي مقداره 125 مترا تقريبا بين المسارين. كما أظهر منخفضا آخرا يبدأ من المسافة 300 متر ويستمر إلى 360 متر والذي يعكس وجود قناة ناتجة بفعل حفر بالوعية سببها عمليات إذابة صخور الحجر الجيري والجبس العائدة لتكوين الفتحة، حيث يتوافق ذلك مع دراسة عالمية معدة من قبل Van Schoor (2002)، كما لوحظ حقليا وجود عدد من هذه الحفر البالوعية على جناحي طية مسرة زاد قطر البعض منها على 30 متر. أما أهم الشذوذ المقاومي الجانبي، فيمكن ملاحظته في المقطع التصويري للمسار ERT4d فيتمثل في الانقطاع المفاجئ والواضح جدا عند المسافتين 145 و 470 متر من النهاية الغربية، على التوالي ويعكسان عدم استمرارية الصخور تحت هذا المقطع، إذ قد يمثلان تأثير امتداد فالقين.

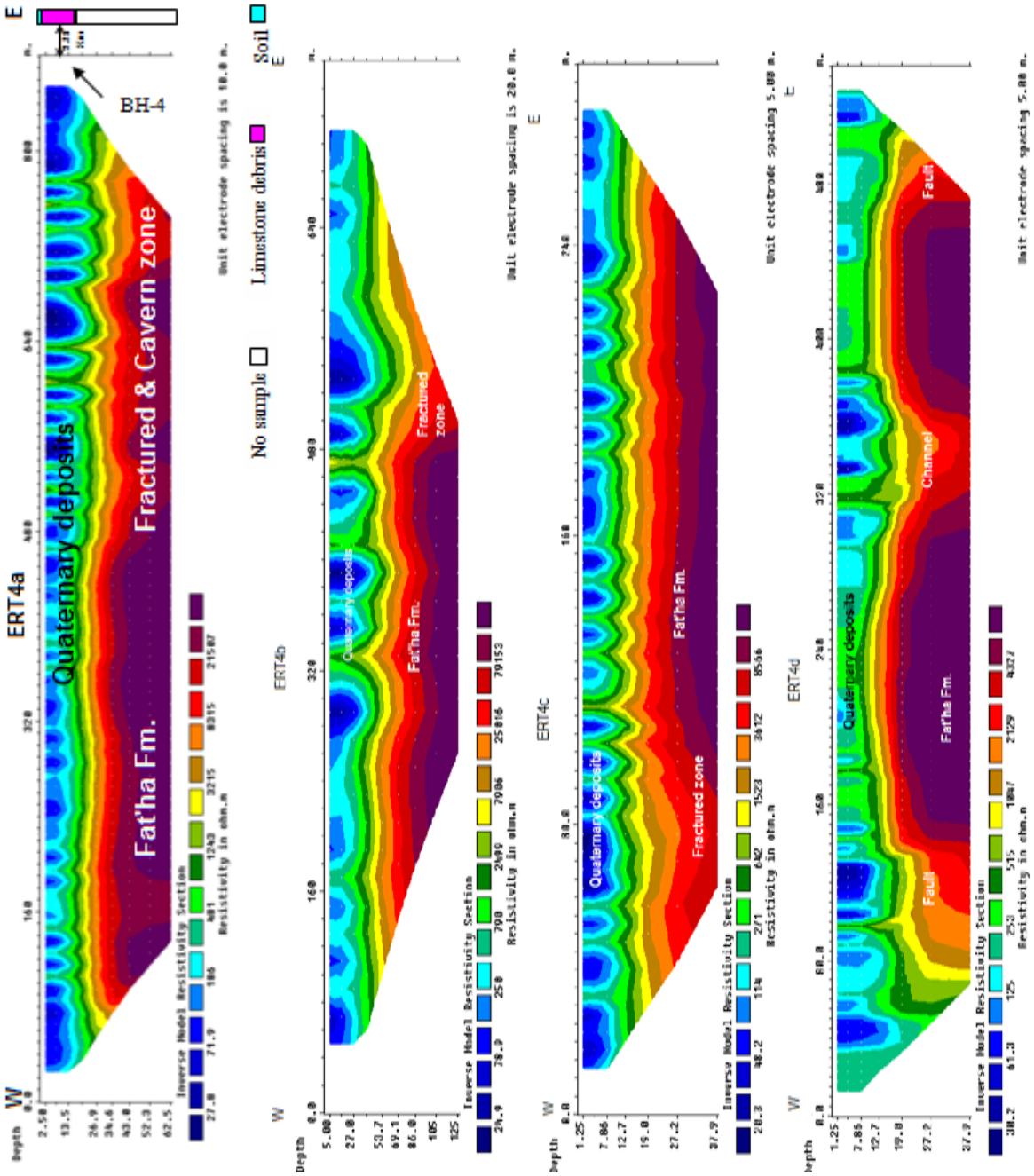
- **موقع المسطاح (Mostah Site)**

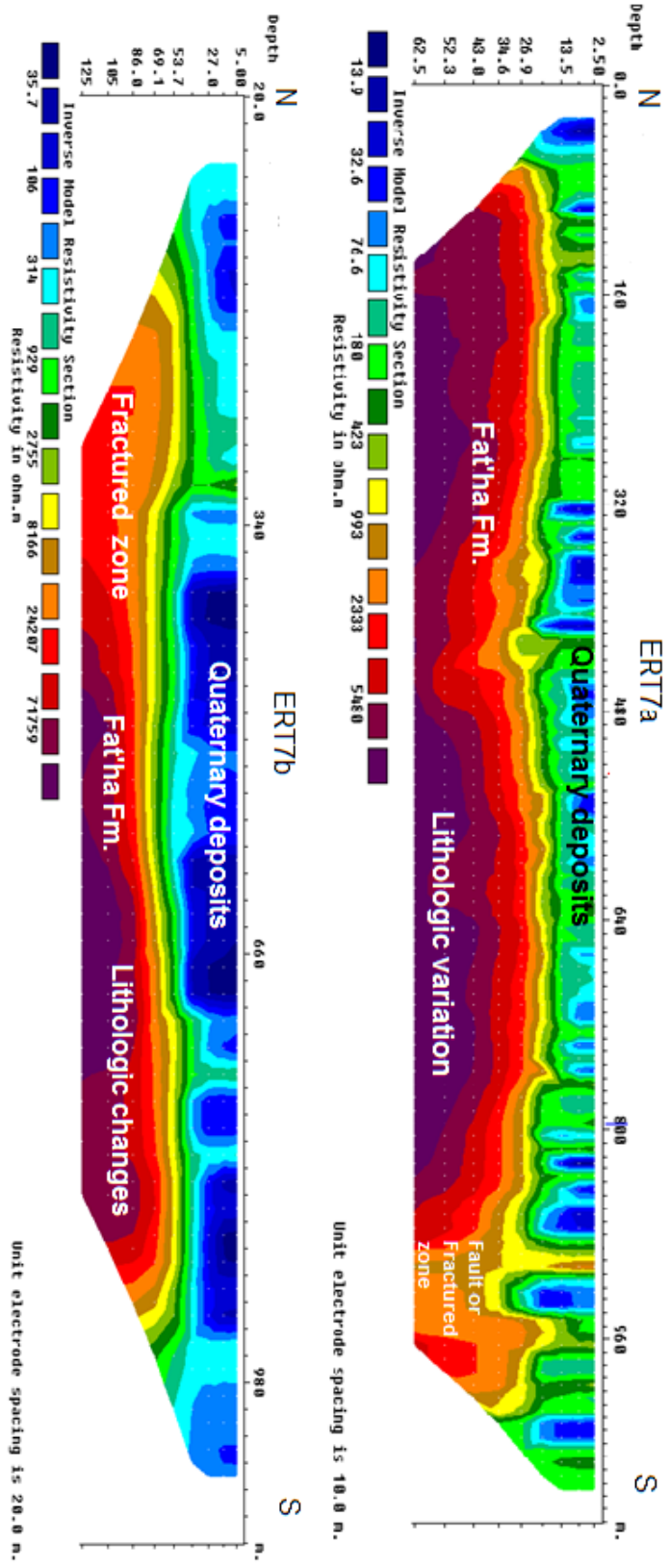
يتضمن هذا الموقع المسارين ERT7a و ERT7b ويمتدان باتجاه شمال – جنوب وعلى بعد 3.2 كم شرق مجمع المسطاح وبطول 1100 متر لكل منهما، حيث يختلفان في الفاصلة القطبية، إذ كانت 20 مترا للمسار الأول و 40 مترا للمسار الثاني، إضافة إلى المسارين ERT17 و ERT14 بالفاصلة 100 متر.

يوضح المسار ERT7a (الشكل 7) وجود انقطاعا ومنخفضا مقاوميا عند المسافة 880 متر تقريبا من النهاية الشمالية ويستمر إلى نهايته الجنوبية، ويعزى ذلك إلى وجود فالق ونطاق كسور انعكس تأثيرها السطحي على نمط التصريف للجناح الجنوبي للطية، حيث يلاحظ أن الأودية التي تقع على هذا الجناح تتبع من خط واحد على استقامة تأثير هذا الفالق ويمكن أن تكون قد ملئت فراغاته بالمواد الطينية التي تقلل مقاومية النطاق. أشارت دراسات علمية مثل Nguyen *et al*. (2005) و Loke (2007) إلى وجود مثل هذه الظواهر. فضلا عما سبق، يلاحظ وضوح تغايرات جانبية عميقة أخرى في بقية المسار ضمن مدى عمقي يتراوح بين (25 – 62.5) متر.

إن طبيعة التغايرات الجانبية أعلاه، انعكست على المقطع التصويري للمسار ERT7b كما يوضحه الشكل (7) والذي سجلت قياساته من مسافة 40 متر للمسار السابق، حيث يلاحظ انقطاع في قيم المقاومية عند النهاية الجنوبية من المسار (فالق أو نطاق كسور) وضمن الأعماق التي لوحظ فيها الانقطاع للمقطع التصويري آنف الذكر والذي يزداد وضوحا مع زيادة العمق. إضافة إلى ما تقدم، يظهر منخفض مقاومي عميق بصورة واضحة من الحافة الشمالية والى مسافة 400 متر ضمن صخور تكوين الفتحة.


ERT5a
Quaternary deposits
Fatha Fm.
Unit electrode spacing is 10.0 m.
ERT5b
Quaternary deposits
Fatha Fm
Unit electrode spacing is 20.0 m.
ERT5c
Quaternary deposits
Fatha Fm.
Lateral lithologic variation
Unit electrode spacing is 10.0 m.
ERT5d
Quaternary deposits
Fatha Fm.
Lateral lithologic variation
Unit electrode spacing is 20.0 m.


ERT4a
W
E
BH-4
Quaternary deposits
Fractured & Cavern zone
Fat'ha Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 10.0 m.
No sample
Limestone debris
Soil
ERT4b
Fractured zone
ERT4c
Fractured zone
ERT4d
Fault
Channel


ERT7a
N
S
Depth
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Lithologic variation
Fault or Fractured zone
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 10.0 m.
ERT7b
N
S
Depth
Quaternary deposits
Fractured zone
Fat'ha Fm.
Lithologic changes
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 20.0 m.

- **موقع شيحية (Sheheya Site)**

أنجزت أربعة مسارات هي ERT1a، ERT1b، ERT6 و ERT8 قرب قرية شيحية لقربها من بحيرة سد الموصل مما قد يكون لهذه البحيرة تأثيرا في إذابة صخور الفتحة والمتكشفة على السطح وما ينتج عن هذه العملية من تأثير سلبي على كل من البحيرة وجسم السد إضافة إلى ذلك، فإن هذه المنطقة تتميز بوجود ظاهرة الكارست المندثر. يقع المسار ERTIa على بعد 500 متر تقريبا شمال قرية الشيحية بطول 310 متر وأجريت قياساته بفاصلة قطبية مقدارها 10 متر، يشترك المسارERT1b مع المسار ERT1a بالنقطة الوسطية وبالامتداد الذي كان شرق – غرب وتبلغ فاصلته 25 مترا وبطول 725 متر.

فضلا عن التغايرات العمودية (صخور تكوين الفتحة) للمسار ERT1a، فإن المقطع التصويري (الشكل 8) يظهر تغايرات جانبية في قيم مقاومية الصخور ويتوضح ذلك من بداية المسار والى المسافة 65 مترا تقريبا والتي تمثل قناة، حيث يلاحظ امتداد لترسبات الطين والمارل ذات المقاوميات الواطئة الى عمق 26 متر ويفسر ذلك بوجود الكارست المندثر. يحدث هذا النوع بسبب انهيار الطبقات الجيرية الواقعة فوق الطبقات الجبسية الحاوية على تجاويف، تتطور الى أشكال قمعية تعرف بالحفر البالوعية، نتيجة لدخول الترسبات التي تعلوها الى داخل هذه الحفر فإنها تؤدي الى تغطيتها وغلقها (جبرائيل، 1995). وقد أكدت المشاهدات الحقلية للدراسة الحالية وجود هذا النظام من الكارست وفي عدة مواقع محيطة بالمسار أعلاه. كما أشارت الدراسات العالمية الى حدوث هذه الظاهرة كما في الأعمال التي أنجزت من قبل Hatchinson and Barta (2004) الذي ابرز المسار المنجز في تلك الأعمال الى وجود شذوذ مقاومي واطئ فوق أجزاء ذات مقاومية عالية وعزى ذلك الى حصول انهيار وملئ الفجوات بالترسبات التي تعكس مقاومية واطئة. أبدى المقطع التصويري للمسار ERT1b (الشكل 8) تشابه التوزيع العمودي والجانبي لقيم مقاوميات الصخور ضمن مدى المسافة والعمق المتداخلة بين المقطعين في أعلاه.

يقع المسار ERT6 على بعد 650 متر غرب قرية خراب بيت وبلغ طوله 1300 متر وفاصلته القطبية 50 متر ويمتد باتجاه شمال °13 شرق. يوضح المقطع التصويري انحدار تدريجي لقيم المقاومية العالية تبدأ من المسافة 850 مترا تقريبا ويستمر هذا الانحدار إلى النهاية الغربية للمسار.

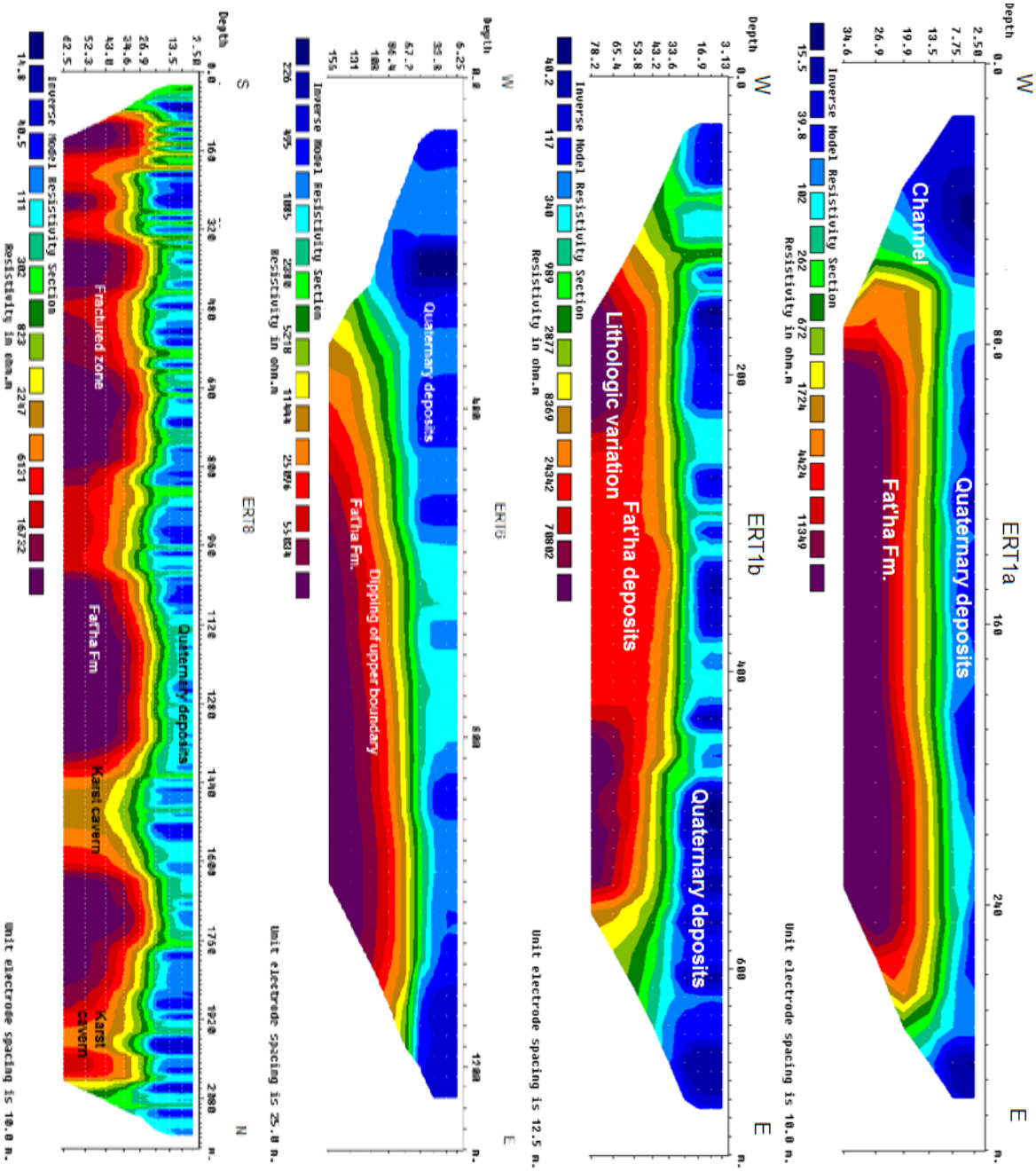
أما المسار ERT8 فيقع قرب الغاطس الشرقي لطية مسرة بين قريتي الشيحية وكرج ويبعد عن الأولى مسافة مقدارها 1300 متر غربا. يبلغ طوله 2180 متر ويمتد باتجاه شمال – جنوب وبفاصلة قطبية مقدارها 20 متر، أما عدد مستويات قياسه فكانت 8 مستويات. يلاحظ في المقطع التصويري عدد من المنخفضات المقاومية ضمن صخور تكوين الفتحة ويعزى ذلك لوجود أنطقة تكسر وتكهفات كارستية وفراغات. وتتكرر هذه الحالات عالميا، حيث يلاحظ وجود انطقه التكهفات الكارستية والفجوات والتي تشير إلى أنطقه ذات مقاوميات واطئة ملئت بالمواد الطينية أو الماء.

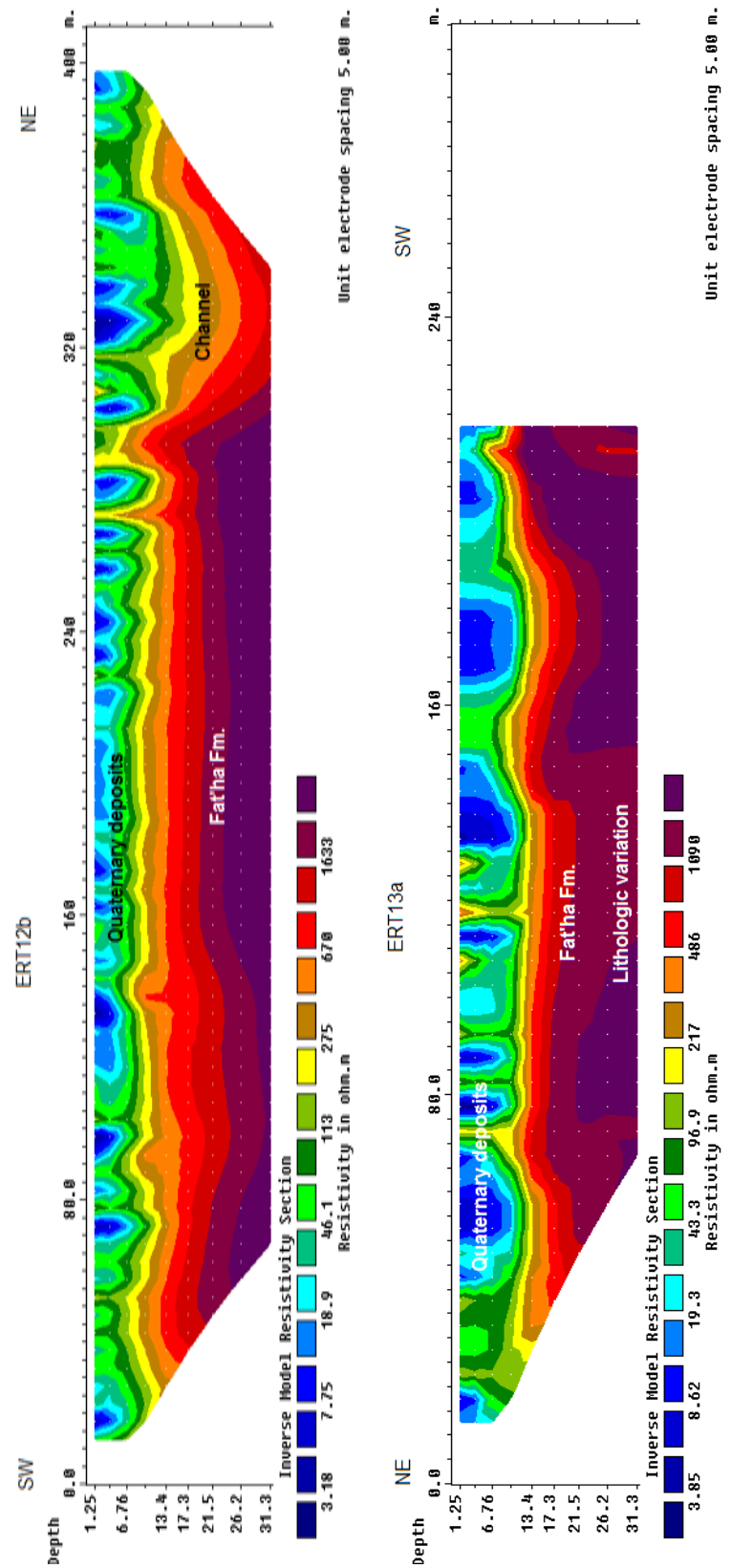
- **موقع فلفيل (Filfale Site)**

تغطي هذه المنطقة ثلاثة مسارات هي ERT12a، ERT12b و ERT13a، عدا مسار ERT13b بفاصلة قطبية 100 متر. يقع المساران ERT12a و ERT12b على جانبي وادي الملح قرب قرية حسن جلاد وباتجاه شرق °40 جنوب. بدأ المسار ERT12a من الكتف الأيسر للوادي وامتد باتجاه قرية غزيل بطول 360 متر، في حين بدأ المسار ERT12b من الكتف الأيمن وباتجاه قرية حسن جلاد وبطول 410 متر. يتماثل المساران في الفاصلة القطبية وعدد مستويات القياس، حيث بلغتا 10 متر و8 مستويات لكل منهما.

يظهر المقطع ERT12a (الشكل 9) وجود قناة تمتد من بداية المسار والى المسافة 70 متر والى عمق 27 متر، إضافة الى تغايرات عميقة ضمن صخور تكوين الفتحة. كما يبين المقطع التصويري (الشكل 9) للمسار ERT12b الإنخفاض المقاومي الملاحظ عند المسافة (300 – 400) متر والذي قد يعكس وجود قناة إذابة ناتجة بفعل تسرب المياه من بحيرة سد الموصل، حيث أشار أهالي هذه المنطقة إلى وضوح تأثير ذلك من خلال زيادة كميات المياه الجارية في الوادي أثناء فترات الخزن العالي لمياه البحيرة.

ولغرض إجراء مضاهاة بين معطيات المواقع التصويرية التي تقع قرب سد الموصل وبين المناطق البعيدة والتي تقع قرب منطقة فلفيل، تم اختيار موقع المسار ERT13a والذي يقع على بعد 750 متر تقريبا جنوب شرق قرية قير سحاق ويمتد باتجاه شرق °60 شمال ويبلغ طوله 300 متر وفاصلة قطبية 10 متر، وقد بين وجود تغايرات مقاومية جانبية في الأعماق والتي تصل إلى أكثر من 2 متر والتي تعزى إلى تغاير في طبيعة صخور تكوين الفتحة.

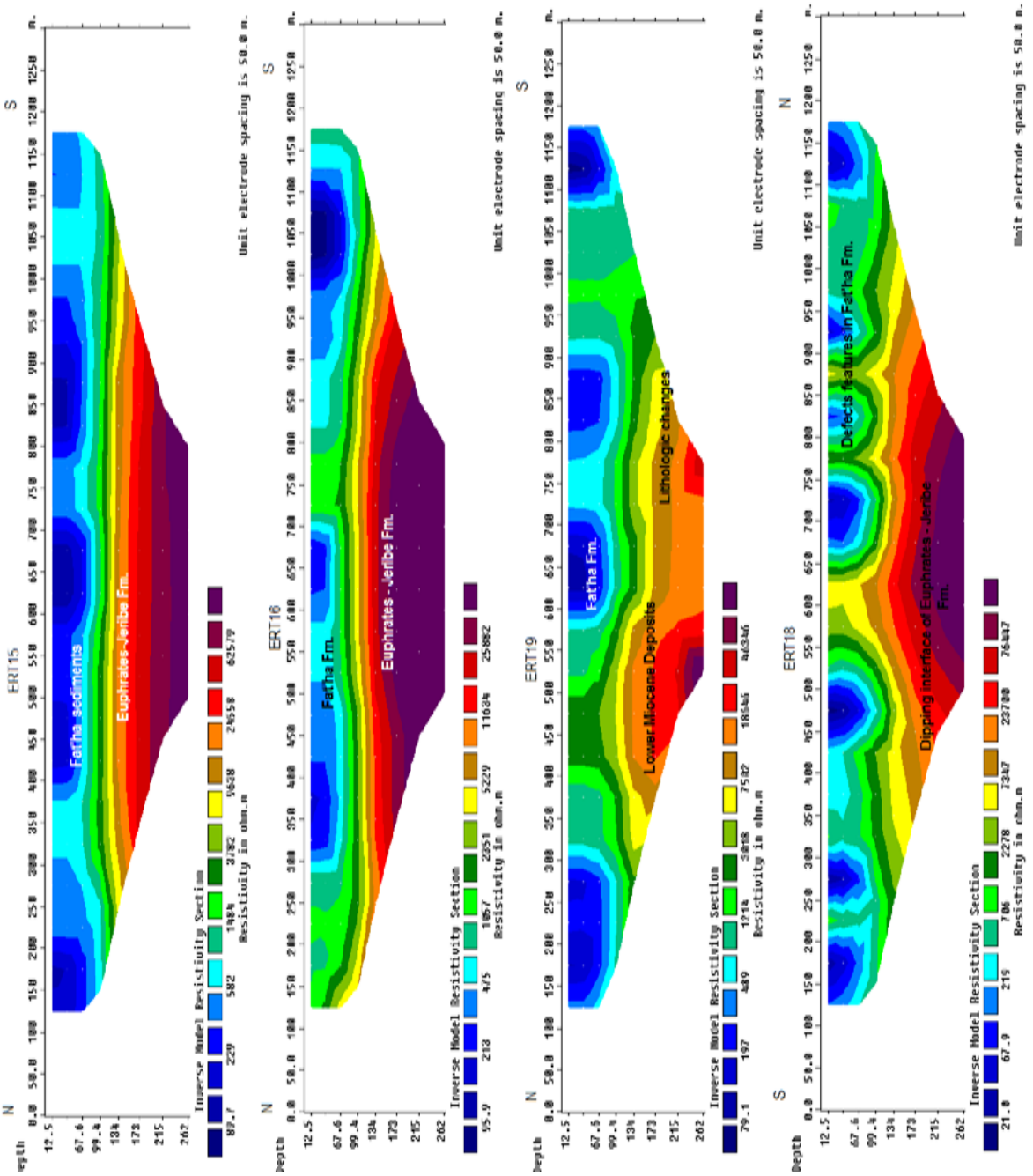

W
E
ERT1a
Depth
Channel
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 10.0 m.
ERT1b
Lithologic variation
Fat'ha deposits
Unit electrode spacing is 12.5 m.
ERT6
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Dipping of upper boundary
Unit electrode spacing is 25.0 m.
S
N
ERT8
Fractured zone
Karst cavern
Unit electrode spacing is 10.0 m.

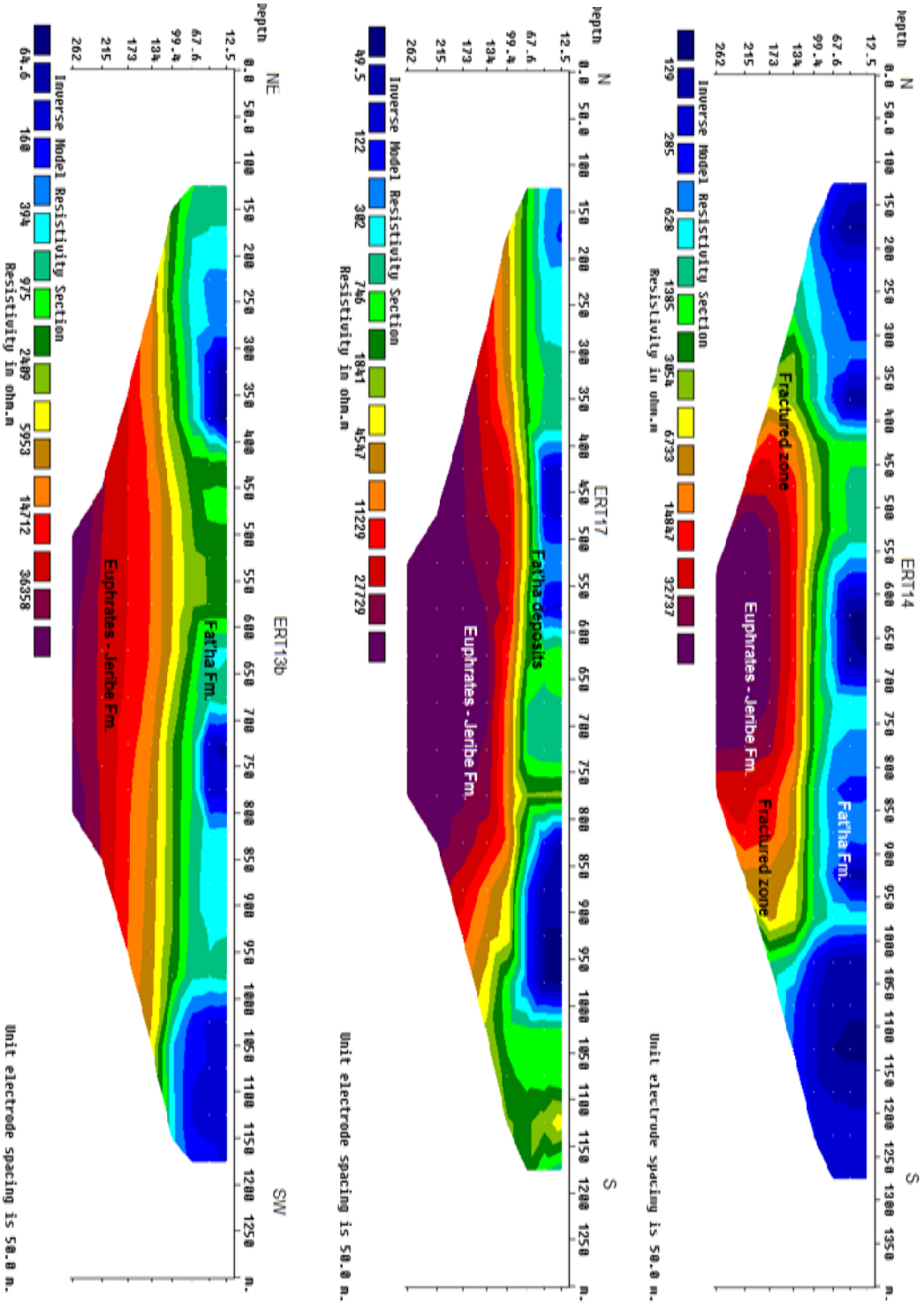

SW
NE
ERT12b
Depth
0.0
1.25
6.76
13.4
17.3
21.5
26.2
31.3
80.0
160
240
320
400 m.
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Channel
Unit electrode spacing 5.00 m.
Inverse Model Resistivity Section
3.18
7.75
18.9
46.1
113
275
670
1633
Resistivity in ohm.m
NE
SW
ERT13a
Depth
0.0
1.25
6.76
13.4
17.3
21.5
26.2
31.3
80.0
160
240
m.
Quaternary deposits
Fat'ha Fm.
Lithologic variation
Unit electrode spacing 5.00 m.
Inverse Model Resistivity Section
3.85
8.62
19.3
43.3
96.9
217
486
1090
Resistivity in ohm.m

مسارات الفاصلة القطبية (100 متر) (Profiles of hundred meter electrode spacing)

أجريت القياسات الحقلية لسبعة مسارات هي ERT13b، ERT14، ERT15، ERT16، ERT17، ERT18 و ERT19 بفاصلة 100 متر والتي تعد أكبر فاصلة تم اختيارها في الدراسة الحالية (الشكل 2)، وتمتد باتجاه شمال – جنوب عدا المسارين ERT13b و ERT19 باتجاهين شمال °60 شرق، شمال °15 شرق، على التوالي. أما أطوالها فكانت 1300 متر، عدا المسار ERT14، حيث بلغ طوله 1400 متر.

يوضح المقطعين في منطقة وانة (ERT15 و ERT16) حدوث عدم التجانس من السطح والى عمق 90 متر والتي تمثل الترسبات الرباعية وصخور الفتحة مع وجود تجانس للتطبقات الأفقية الصخارية التي تمثل تكوين الفرات – الجريبي (الشكل 10). كما يبين المقطع التصويري في منطقة الدواسة (ERT19) (الشكل 10) تغيرات عميقة تحت 134 مترا تشمل تكوين الفرات – الجريبي، وتتوافق هذه النتائج مع تلك للمقاطع التصويرية ذات الفواصل الأصغر. أما المقطع ERT18 في منطقة كرج (الشكل 10) فيظهر حدوث عدم التجانس فوق العمق 99 متر مع وجود ميل للتطبقات الصخرية لصخور الفرات – الجريبي والذي يتماثل مع المقاطع التصويرية الضحلة المذكورة في المنطقة. ويلاحظ في منطقة المسطاح (الشكل 11) من خلال المقطع ERT14 حدوث التغايرات الجانبية فوق عمق 99 متر مع بروز تجانس تام للتطبقات الصخارية لتكوين الفرات – الجريبي الواقع تحت تلك التغايرات، بينما يبين المقطع ERT17 (الشكل 11) وجود ميل للأنطقة الكهربائية لصخور الفرات – الجريبي تحت العمق 99 متر. ويظهر المقطع ERT13b في منطقة فلفيل (الشكل 11) الخصائص التي تتمتع فيها أغلبية المقاطع التصويرية المذكورة آنفا، بوجود تطبقات صخارية متجانسة أفقية عميقة ضمن صخور المايوسين الأسفل مع تغايرات متنوعة في صخور المايوسين الأوسط.


ERT15
Fatha sediments
Euphrates-Jeribe Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 50.0 m.
ERT16
Fatha Fm.
Euphrates - Jeribe Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 50.0 m.
ERT19
Fatha Fm.
Lithologic changes
Lower Miocene Deposits
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 50.0 m.
ERT18
Defects features in Fatha Fm.
Dipping interface of Euphrates - Jeribe Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 50.0 m.


ERT14
N
S
Depth
Fractured zone
Euphrates - Jeribe Fm.
Fatha Fm.
Inverse Model Resistivity Section
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing is 50.0 m.
ERT17
Fatha deposits
Euphrates - Jeribe Fm.
ERT13b
NE
SW
Fatha Fm.
Euphrates - Jeribe Fm.

الاستنتاجات

أظهرت المقاطع التصويرية الكهربائية بالفواصل القطبية (5، 10، 20، 40، 25 و 50) متر في مواقع منطقة الدراسة المختلفة وجود قنوات إذابة على سطح تكوين الفتحة، ضمن ترسبات العصر الرباعي والتي قد تكون المسبب الأساسي لظهور الخسفات في تلك المنطقة، فضلا عن الاستدلال على أنطقة ضعف (فوالق وكسور وتكهفات كارستية وفجوات) ضمن صخور الفتحة والتي ملئت قسم منها بالترسبات الطينية، مما أدى ذلك إلى تناقص قيم مقاوميتها، أما القسم الآخر فقد تميزت بارتفاع قيم مقاوميتها لكونها فارغة أو ممتلئة بنواتج الصخور المتهشمة غير المتجانسة. إضافة إلى ذلك، فقد أوضحت العديد من المقاطع أنطقة ضعف مستقبلية والتي تمثل منخفضات مقاومية جانبية عميقة ضمن ترسبات صخور الفتحة بسبب عدم التجانس الصخري.

أبرزت ستة مقاطع تصويرية بالفاصلة الكبيرة (100 متر) لمواقع منتشرة في منطقة الدراسة وجود تطبقات صخارية متجانسة أفقية عميقة تخلو من أنطقة الضعف المشار إليها آنفا ضمن صخور المايوسين الأسفل والأوسط (تكوين الفرات – الجريبي، تباعا) مع ظهور أنطقه كهربائية متباينة متنوعة تعكس القنوات والتكهفات والكسور ضمن ترسبات العصر الرباعي وصخور المايوسين الأوسط. أما المقطع التصويري السابع في منطقة دواسة (ERT19) فقد أبرز تغايرات جانبية عميقة تحت 134 متر ضمن صخور تكوين الفرات - الجريبي يمكن أن تكون بسبب التأثير التكتوني لطية مسرة القريبة من المسارات المقاسة.

تؤكد الدراسة الحالية أن أنطقة الضعف بمختلف مظاهرها لها تأثيرات كبيرة على سد الموصل، وقد أدت إلى مشاكل وتطورات خطيرة، حيث يجب تلافيها في مشروع سد بادوش إذ من المؤمل أن تغطي بحيرته جزء كبير من منطقة الدراسة الحالية (في حالة إنشاء السد). كما توصي الدراسة بإجراء عمليات تحشية ضمن مشروع سد الموصل على الامتداد الاستقامي للقناة التي شخصها المقطع التصويري (ERT11)، على أن يكون ترتيب آبار التحشية بامتداد شمال – جنوب أي عموديا على الامتداد الطولي للقناة خلافا لما يتم إجراءه في الفترات الأخيرة من عمليات تحشية بامتداد شرق – غرب (موازي لاتجاه القناة) والتي تؤدي إلى ترك مجموعة من الفراغات بين مواد التحشية وحافتي القناة وبالتالي يمكن أن يسبب عدم السيطرة على التسربات بامتداد القناة.

بمقارنة قيم المقاومية في التصوير المقطعي للمسارات الصغيرة لصخور تكوين الفتحة يتضح أن تلك القيم تتراوح بين (10.7 – 14000) أوم.م، بينما يلاحظ من خلال المسارات الكبيرة زيادة المقاومية بشكل كبير ويعتقد أن التفاوت الكهربائي الذي تنحصر قيم المقاومية الحقيقية فيه بين (14712 – 27729) أوم.م تعكس السطح العلوي لتكوين الفرات – الجريبي في كافة المسارات المذكورة، إذ يعتقد بان هذا التزايد ناتج بفعل طبيعته الصخرية الصلدة.

تنويه من المحرر العلمي

ان العمل في انشاء سد بادوش توقف بعد عام 2003، وعليه فإن بعض المعلومات الواردة في مضمون البحث قد يتعارض احيانا مع ما هو موجود في الواقع الحالي حول المعلومات ذات الصلة بوجود السد والخزان.

المصادر

الجريسي، بشار عزيز محمود، 1992. دراسة زلزالية انكسارية لبعض مناطق سد الموصل. رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، 98 ص.

الحمداني، عادل علي بلال، 1997. تطور مقطع من نهر دجلة مابين سد الموصل ومدينة الموصل. اطروحة دكتوراه، غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد، 183 ص.

الصائغ، نبيل حميد، ورفيق، حميد رشيد، والكواز، حازم أمين، والداغستاني، حكمت صبحي، والنقيب، سالم قاسم واليوزبكي، قتيبة توفيق، 1998. المسح الجيوفيزيائي لمواقع الفوالق الموجودة في الكتف الأيمن لخزان سد بادوش، تقرير سري. مركز دراسات سد الموصل لبحوث السدود والموارد المائية، جامعة الموصل، 51 ص.

الصائغ، نبيل حميد والجريسي، بشار عزيز محمود، 2010. التحري عن القنوات المائية التحت سطحية في الجزء الغربي من سد الموصل بواسطة الإنكسار الزلزالي. المجلة العراقية لعلوم الأرض، المجلد 10، العدد 1، ص 81 – 90.

جبرائيل، انطوانيت شمعون، 1995. إستخدام التحسس النائي في دراسة ظاهرة الكارست في مدينة الموصل. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد، 172 ص.

متعب، مروان والشيخ، زهير داود، 2005. اضافات جديدة حول جيولوجية منطقة الموصل في ضوء التحري الجيوكهربائي. مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 2، خاص بعلوم الأرض، ص 132 – 147.

Advanced Geosciences, Inc., 2011. Locating Water Bearing Fracture Zones in Bedrock. Advanced Geosciences, Inc., Bucka Co.

Al-Ansari, N.A., Al-Barzanji, A., Al-Jabbari, M.H. and Gayara, A.D. , 1984. Geological Investigation of Mosul Dam Site. Very Confidential Report, University of Baghdad.

Al-Dabbagh, T.H. and Al-Naqib, S.Q., 2009. The impact of some geologic structural elements on Fuse Plug southern alignment of Mosul Dam. Iraqi Jour. Earth Sciences, Vol.9, No.2, p. 27 – 38.

Adamu, J., Fadele, S.L., Sule, P.O. and Lawal, K.M., 2012. Subsurface structures characterization of NAPRI, Zaria using 2D Electrical Imaging. New York Science Jour., Vol.5, ,No.10, p. 44 – 48.

Genelle, F., Colette, S., Joelle, R. and Veronique, N., 2012. Monitoring landfill cover by electrical resistivity tomography on an experimental site. Near Surface Geophysics, Engeo. 3404, p. 1 – 35.

Hoover, R.A. and Finger, J.L., 2006. P.G. Science Application International Corporation. American Geophysical Union.

Hatchinson, P.J. and Barta, L., 2004. Deep-Mine Void Detection Through Electrical Imaging, In: Interstate Technical Group on Abandoned Underground Mines; April 21 – 23, 2004, Tucson, Arizona.

Ismail, A., 2012. 2D and 3D resistivity imaging of karst sites in Missouri, USA. Association of Environment and Engineering Geosciences, Vol.18, No.3, p. 281 – 293

Lagmanson, M., 2005. Electrical Resistivity Imaging, Advanced Geosciences. Inc., 12700 Volente Rd. Bldg. A-Aust, Texas 78726.

Lappema,V., Piscitelli, S. and Soupios, P., 2012. Electrical imaging for geohazard and environmental monitoring. Jour. Geophysics, Vol.20, No.12, 1D 786060.

Loke, M.H., 2007. Rapid 2D Resistivity and IP Inversion, Using Least-Squares Method. Geotmo Software, 138pp.

Loke, M.H., 2009. 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, "Tutorial", Geotomo Software. www.geoelectical.com.

Nguyen, F., Garmbois, S., Jongmans, D., Pirard, E. and Loke, M.H., 2005. Image processing of 2D resistivity data for imaging faults. Jour. Applied Geophiscs, Vol.57, No.4, p. 260 – 277.

Omosanya, K.O., Mesuro, G.O. and Azeez, L., 2012. Combination of geological mapping and geophysical surveys from surface – subsurface structures imaging, Southwestern Nigeria. Jour. Geology and Mineral Researchs,Vol.4, No.5, p. 105 – 117.

Putiska, R., Nikolaj, M., Dostel, I. and Kusniak, D., 2012. Determination of cavities using electrical resistivity tomography. Contributions to Geophysics and Geodesy,Vol.42, No.2, p. 201 – 211.

Ramachandra, K.,Tapp, B., Rigsby, T. and Lewallen, E., 2011. Imaging of faults and fracture controls, Southern Oklahoma, USA, Through Electrical Resistivity Sounding and Tomography methods. International Jour. Geophysics, Vol. 2012, p. 1 – 10.

Reynolds, J.M., 2011. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. 2nd edit.,John Wiley Ltd, U.K., 712pp.

Rene, P., Ivan, D. and David, K., 2012. Determination of dipping contacts using Electrical Resistivity Tomography. Contribution to Geophysics and Geodesy, Vol.42, No.2, p. 161 – 180.

Robert, T., Dassargues, T. and Nguyen, F., 2010. Electrical Resistivity Tomography and Self-Potential Case Studies for Fractured Aquifer Characterization and Monitoring European Geosciences Union, Vienne.

Sharma, P.V., 2004. Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press, U.K., 475pp.

Sissakian, V.K., 1995. Geological Map of Mosul Quadrangle, scale 1: 250 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.

Van Schoor, M., 2002. Detection of sinkholes using 2D Electrical Resistivity Imaging. Jour. Applied Geophysics, No.50, p. 393 – 399.

About the Author

Prof. Dr. Marwan Mutib received his M.Sc. and Ph.D. degrees from University of Mosul in the geophysical investigations. He also obtained an Evaluation Certificate of Ph.D's (ECD) and Certificate of Achievement Efficiency (CAE) in teaching of ten post graduated courses. Furthermore, his scientific activities during thirty three years in the Geology Department included a long list of published papers in journals and conferences, in addition to the supervision, examination and evaluation of tens of Theses and occupying member of Department Council and Scientific Committee. Now, he is working as Department head of the Petroleum Reservoir Engineering – College of Petroleum Engineering, Mosul University.
e-mail: drmarwanmutib@yahoo.com
Mailing address: Iraq, Mosul, University of Mosul