

دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية ثنائية البعد

محمود سلمان أحمد الفاضل

قسم هندسة المكامن النفطية

كلية هندسة النفط والتعدين

جامعة الموصل

مروان متعب

قسم هندسة النفط والتكرير

كلية هندسة النفط والتعدين

جامعة الموصل

تاريخ الإستلام 2020/1/28 ، تاريخ القبول 2020/5/2

المستخلص

تضمن البحث إجراء مسح لثلاثة مسارات جيوكهربائية في الجهة الشرقية من نهر دجلة موازية لمحور طيرة وعمودية عليها في سبعة مواقع لمقاطع التصوير الكهربائي الاتجاهي واقعة فوق ترسبات العصر الرباعي في الجناح الجنوبي للطية، بالإضافة إلى مسارين في الضفة الغربية لنهر دجلة موازيين لطية بطمة الشرقية وعموديين عليها في أربعة مواقع تقع فوق الترسبات الحديثة في الجناح الجنوبي للطية، بعد الأخذ بنظر الاعتبار اختيار تلك المواقع اعتماداً على المعطيات الجيولوجية والطبوغرافية للدراسات السابقة والجولات الحقلية الحالية.

تم إجراء التحليل البنائي للمقاطع التصويرية في تسعة اتجاهات لكل موقع من المواقع المذكورة آنفاً وذلك باستخدام خمس عشرة محاولة معالجة تكرارية وتراوحت قيم مربع الخطأ التربيعي بين 5.8%-11.7%. أظهرت تلك المقاطع في الجهة الشرقية من منطقة الدراسة بالاتجاهات المختلفة ثلاثة انطقه كهربائية، يعكس النطاق الأول مدى مقاومة متغيراً يمثل تراكمات التربة السطحية. أما النطاق الثاني ذو المقاومة العالية فيعكس المكونات الصخرية للمصاطب النهرية، بينما يمثل النطاق الثالث الامتداد الواضح للترسبات الطينية والجيرية لتكوين فتحة مع وجود نطاق موصل عمودي على الطبقات الصخرية في بعض المسارات. بينما ابرزت المقاطع التصويرية الاتجاهية في الجهة الغربية من منطقة الدراسة وجود ثلاثة انطقه كهربائية: النطاق الأول ذو مقاومة عالية يعكس طبقة التربة السطحية، والنطاق الثاني قليل المقاومة يمثل ترسبات المنحدرات المتركة على الجناح الجنوبي لطية بطمة، أما النطاق الثالث الذي يمثل قيماً مقاومة متغيرة فيعكس مكونات ترسبات تكوين فتحة الذي ينكشف في لب الطيتين ويقع في أعماق متباعدة تحت مسارات البحث.

استنتجت الدراسة الحالية من خلال تطبيق تقنية المقاطع التصويرية بتسعة اتجاهات حول نقطة مركزية في احد عشر موقعاً فوق الترسبات الحديثة المتمثلة بالمصاطب النهرية والرواسب الطموية على كتفي سد الموصل إمكانية التقنية في التقاط الفواصل والكسور والتي تعد ذات أهمية كبيرة في التأثير على جسم السد ورواسب تكوين فتحة الحاضنة له.

الكلمات الدالة : سد الموصل، المقاومة، الاتجاهي، المقاطع التصويرية.

Study of the Quaternary Deposits at the East and West Shoulders of Mosul Dam Using Azimuthal 2D Resistivity Imaging

Mahmood Salman Al-Fadhel

*Reservoir Engineering Dept.
Coll. of Petroleum and Mining Engin.
University of Mosul*

Marwan Mutib

*Petroleum & Refining Engineering Dept.
Coll. of Petroleum and Mining Engin.
University of Mosul*

ABSTRACT

The field survey included three geoelectric traverses on the eastern side of the Tigris River parallel and perpendicular on the axis of the Tairah anticline consisting of seven sites of (Azimuthal Resistivity Tomography; ART) located above the Quaternary depositions in the southern flank. Two traverses were also conducted in the western side of the river parallel and perpendicular on the east Butmah anticline consisting of four sites located above the recent sediments in the southern flank of it. The sites are chosen taking into account the consideration of the geological, tectonic and topographic data of previous studies and current field reconnaissance trips.

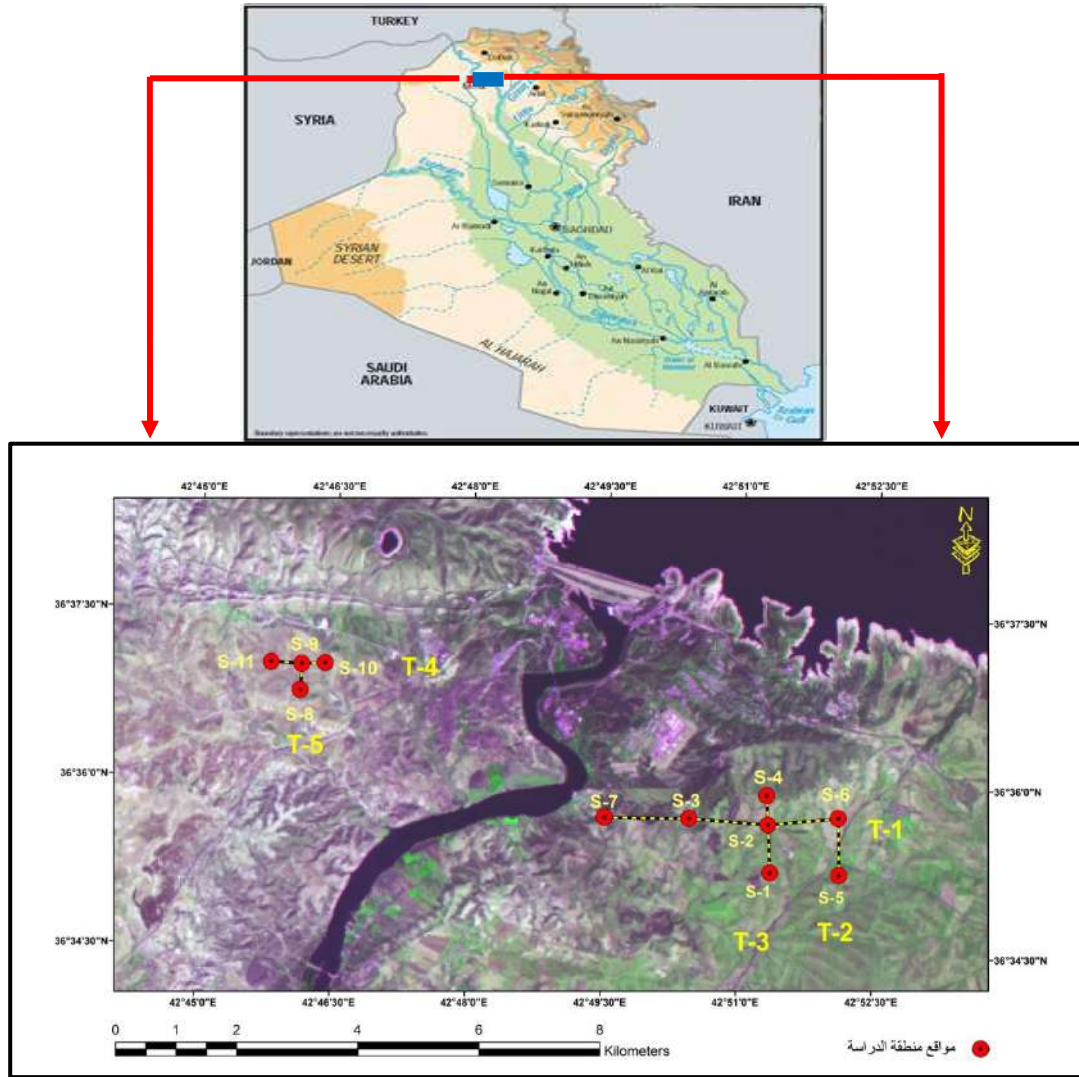
A sympathetic analysis of the resistivity tomography is performed in nine azimuths of the above mentioned locations using fifteen repetitive processing attempts and the mean root squares ranged between 5.8% -11.7%. The eastern side of the study area with different directions indicates electrical horizons, the first reflects a variable resistivity which represents accumulations of top soil, the second band of high resistivity which reflects the river terraces constitutes, while the third horizon represents the clear extension of the mud and limestone deposits of Fatha Formation with a vertical conductive zones in the rock layers at some traverses. As well as the ART on the western side of the study region identified three electric horizons: the first with high resistivity reflecting the surface soil layer, and the second domain of low resistivity representing the sediments of the valley slopes and concentrating on the southern limb of Butmah anticline. The third of heterogeneous resistivity values reflects Fatha Formation deposits covering its exposures at the core of the two anticlines and locating beneath the research traverses.

Using the technology of 2D resistivity imaging reveals that the nine orientations around a central point in eleven locations above recent sediments are represented by river terraces and alluvial deposits on the shoulders of the Mosul Dam. The current study concludes the ability to capture fractures, which is of great importance due to their effect on the displacements of the dam's body and Fatha sediments surrounding it.

Keywords: Azimuth 2D imaging, Resistivity, Mosul Dam.

المقدمة

تقع منطقة الدراسة على بعد 60 كيلومترا شمال مدينة الموصل والتي تقسم إلى جزئين: الأول الجانب الشرقي لنهر دجلة متمثلا بالمنطقة الجنوبية لجبل طيرة. أما الجانب الغربي للنهر فيمثل المنطقة الجنوبية لجبل بطمة الشرقي حيث تمثل منطقتا الدراسة الأكتاف الرئيسة التي يستند عليها جسم سد الموصل (الشكل-1).



الشكل 1: صورة فضائية لمسارات (T) ومواقع (S) منطقة الدراسة الحالية.

تغطي منطقة الدراسة سهلا طمويا (Alluvial Plain) تنوعت فيه الوحدات الجيومورفولوجية، إذ يعد مجرى نهر دجلة من اهم المظاهر المؤثرة على طبوغرافية المنطقة. يسير النهر بالاتجاه الجنوبي الغربي للمجرى السفلي (Down stream) لبحيرة سد الموصل (Lake of Mosul Dam).

يقسم نهر دجلة منطقة الدراسة إلى قسمين هما الضفة الشرقية للنهر والضفة الغربية منه، ويعد السهل الفيضي (Flood Plain) وحدة جيومورفولوجية ذات منشأ نهري متكونة من الرمل والصلت وكميات قليلة من الحصى بشكل شريط يحيط بنهر دجلة يختلف عرضه من منطقة لأخرى. درس الداغستاني وآخرون (2006) المصاطب النهرية (River terraces) التي تمتد على جانبي نهر دجلة وقام بتصنيفها إلى نوعين: النوع الأول يمثل المصاطب النهرية ذات المستوى الواطئ (Low-level river terraces) وهي عبارة عن رواسب نهريّة حديثة التكوين تتكون من الحصى والرمل والغرين توجد بمحاذاة السهل الفيضي للنهر وذات ارتفاعات قليلة تتراوح بين 2-4 متراً عن مستوى النهر. والنوع الثاني يمثل المصاطب استخدمت تقنية التصوير المقاومي الاتجاهي في العراق من قبل عدد من الباحثين. أجرى (متعب وعليان، 2013) تحريات جيوكهربائية موقعية عميقة لدراسة الفوالق وقنوات الإذابة في تكويني فتحة وجريبي (عمر المايوسين) بين سدي الموصل وبادوش شمالي العراق باستخدام مقاطع التصوير المقاومي وذلك بترتيب ونر- شلمبرجر أحادي البعد من خلال 31 مسارا كهربائيا بأطوال تتراوح ما بين 290-3075 متراً وبمستويات 4-13 مستوى في سبع مواقع. أوضح (Thabit and Al-Hameedwaei, 2014) تحديد خزانات المياه الجوفية باستخدام تقنية الجس الكهربائي العمودي وتقنية ثنائي البعد في شمال منطقة بدرة شرقي العراق. درس (Al-Zubedi, 2015) تحديد خصائص الكسور تحت السطحية باستخدام تقنية التصوير الزاوي ثنائي البعد للمقاومة النوعية في خزان الدمام الجوفي داخل وخارج نطاق فالق ابو جبر جنوب غرب مدينة كربلاء المقدسة وسط العراق. بين (Al-Zubedi and Thabit, 2016) استخدام تقنية التصوير المقاومي الاتجاهي في تحديد خصائص الكسور في خزان دمام الجوفي في نطاق فالق ابو جبر وسط العراق. استخدم (Al-Menshed and Thabit, 2016) مسح المقاومة الاتجاهي في تحديد اتجاه جريان الهيدروكربونات في المنطقة غير المشبعة في محافظة كربلاء العراق. وضع (الموالي وآخرون، 2019) التماثلية والتجانسية لمقاومة طبقة تحت الأساس لطرق مختارة من محافظة نينوى. بالإضافة إلى العديد من الدراسات والبحوث العالمية التي استخدمت تقنية التصوير المقاومي الاتجاهي فقد استخدم (Ungureanu et al., 2017) المقاطع التصويرية للمقاومة الكهربائية للكشف عن الفراغات تحت الأرض في مواقع البناء الحضرية في مدينة بوخارست في رومانيا. بين (Mita et al., 2018) أن تقنية المقاطع التصويرية المقاومة الكهربائية في التحري فعالة في التحري عن الانزلاقات الأرضية. أوضح (Udosen and George, 2018) خواص التلائم الكهربائي باستخدام الترتيب المربعي والتصوير المقاومي الكهربائي وتم تحديد خصائص الكسور في صخور الحجر الجيري في إنجلترا.

النهرية ذات المستوى العالي (High-level river terraces) وهي مدرجات نهريّة أقدم عمراً من النوع الأول وأكثر ارتفاعاً تقع بعيدة عن الموقع الحالي لمجرى النهر يصل ارتفاعها 15 متراً، إذ تشمل منطقة الدراسة الحالية بضفتها الشرقية لمنطقة سد الموصل هذا النوع من المصاطب التي تقع على الطرف الجنوبي لجبل طيرة.

تستهدف الدراسة الحالية إمكانية الاستدلال على العناصر التكتونية الحديثة لترسبات العصر الرباعي المتمثلة بالمصاطب النهرية والرواسب الطموية الواقعة على الكتفين الشرقي والغربي لسد الموصل والذي يعد من أخطر السدود وفق الدراسات المحلية والعالمية إذ تمثل تلك الترسبات وما تحتويها من كسور وفجوات عوامل يمكن أن تؤثر على جسم السد وما يحيط به من صخرية تكوين فتحة إذ أشارت دراسة (Perissin, 2016) بدعم من وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) بمراقبة الصور الفضائية لمدة اثني عشر عاماً وقد تم اكتشاف عدم استقرار جسم

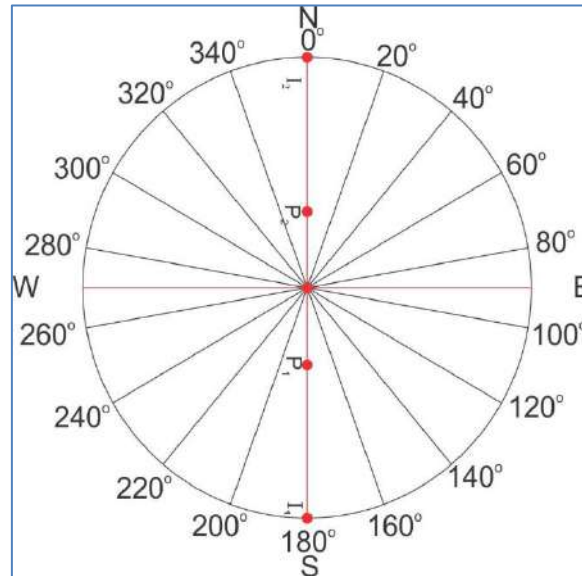
دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية... 5

سد الموصل وتعرضه الى ازاحة مقدارها 100 ملمتراً بالإضافة الى استنتاج (Abed, 2014) بوجود حركة في جسم سد الموصل تصل الى 80 سنتمترأ تشكل خطراً على جسم السد.

الأعمال الحقلية وقياس البيانات (Field works and data measurements)

تم جمع البيانات الحقلية للمقاومية الظاهرية باستخدام جهاز ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM Instruction Manual, 2010). وتحديد خمسة مسارات (Traverses) تتكون من احد عشرة موقعا (Sites) لمقاطع التصوير المقاومي الكهربائي (ERT). ابتدأت عمليات المسح التفصيلي بتاريخ 2018-1-17 واستمرت لغاية 2018-4-18 حيث تميزت هذه الفترة بكميات مناسبة من الإمطار وتوفير الرطوبة المناسبة للتوصيل الكهربائي دون الاستعانة بالترطيب الاصطناعي. استخدم أسلوب قياسات مقاطع التصوير المقاومي الاتجاهي (ART) بزاوية مقدارها 20° حول النقطة المركزية (Mid Point) وابتدأ القياس لجميع المقاطع التصويرية من الاتجاه شمال جنوب (S-N) الذي يمثل اتجاها عموديا على محور الطيات في منطقة الدراسة، وشمل المسح ثلاثة مسارات في الجهة الشرقية من نهر دجلة موازية وعمودية على محور الطية في سبعة مواقع وهي (Site-1)، (Site-2)، (Site-3)، (Site-4)، (Site-5)، (Site-6)، (Site-7) واقعة فوق ترسبات العصر الرباعي في الجناح الجنوبي لطية طيرة، بالإضافة الى مسارين في الضفة الغربية لنهر دجلة موازيين وعموديين على طية بطمة الشرقية في أربعة مواقع تقع فوق الترسبات الحديثة في الجناح الجنوبي لطية بطمة الشرقية وهي (Site-8)، (Site-9)، (Site-10)، (Site-11) وكما مبين في الشكل (1).

أخذت قياسات (ART) بتسعة اتجاهات هي $(000^\circ/180^\circ)$ ، $(200^\circ/020^\circ)$ ، $(220^\circ/040^\circ)$ ، $(240^\circ/060^\circ)$ ، $(260^\circ/080^\circ)$ ، $(280^\circ/100^\circ)$ ، $(300^\circ/120^\circ)$ ، $(320^\circ/140^\circ)$ ، $(340^\circ/160^\circ)$ ، حيث تمثل (I_2, I_1) مواقع أقطاب التيار بينما تمثل (P_2, P_1) مواقع أقطاب الجهد على طول خط المسح وكما مبين في الشكل (2).



الشكل 2: النمط الهندسي لمقاطع التصوير المقاومي الكهربائي الاتجاهي (Azimuthal 2D Resistivity Imaging) في مواقع الدراسة الحالية.

يتطلب العدد الكبير من البيانات الحقلية التي تم الحصول عليه من المسح التصويري ثنائي الأبعاد تقنيات متقدمة من أجل معالجة هذه البيانات وتحويلها من قيم مقاومات وأعماق ظاهرية إلى مقاومات وأعماق حقيقية باستخدام تقنيات العكس (Inverse Modeling)، حيث تم استخدام برنامج RES2DINV الذي يرسم اليأ مقطعاً كاذباً (Pseudo-section) يعتمد على المعلومات الحقلية مثل طول خط المسح (200) متر وبمسافة فاصلة (5) متر بين الأقطاب الذي يمثل المحور الأفقي، بينما يمثل المحور العمودي المستويات العميقة، وتوزيع قيم المقاومة وتمثيلها على شكل تدرج لوني، تمت معالجة البيانات في تصميم الموديلات العكسية باستخدام خمس عشرة محاولة تكرارية تلقائية لجميع المواقع والتي تتراوح فيها قيم مربع الخطأ التربيعي (RMS) بين (6.6-11.3) والتي تعكس أفضل تطابق بين المقطع التصويري الكاذب المحسوب مع المقطع الكاذب الحقلية.

النتائج والمناقشة

إضافة إلى ما تقدم لوحظ بأن هذه الظاهرة القريبة من السطح والتي تمثل زيادة في قيم المقاومة تقع في مركز النشر، حيث تم تحسين جودة البيانات المعكوسة باستخدام ايقونات المحاكاة المختلفة الموجودة في برنامج RES2DINV.

ومن الجدير بالذكر ان هذه الظاهرة قد لوحظت في العديد من البحوث العالمية الحديثة التي استخدمت تقنية مقاطع التصوير المقاومي ثنائي الأبعاد، (Loke, 2018)، (ABEM Instruction Manual, 2010)، (Al- (Amoush, et al., 2017)، (Ungureanu et al., 2017)، (Osinowo and Falufosi, 2018).

- المسار الاول T-1

يقع هذا المسار جنوب بحيرة وجسم سد الموصل بمسافة 3940 م في الضفة الشرقية لمجرى نهر دجلة في الجناح الجنوبي وموازيا لمحور طية طيرة ويتجه شرق - غرب وبطول 3859 م. شمل المسار أربعة مواقع (Sites; S) لمقاطع التصوير ألتجاهي هي S-6، S-2، S-3، S-7 كما موضح في الشكل (1).

يقع مركز النشر (Array center) للموقع S-6 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^{\circ} 52' 5''$) وخط العرض ($36^{\circ} 35' 43''$). يبين الشكل (3) موديلات المقاومة المعكوسة ثنائية البعد لمقاطع التصوير الاتجاهي (2D) (inverted resistivity model of azimuthal tomography at study site) في S-6 بالاتجاهات التسعة والتي تظهر تشابها واضحا في التصرف المقاومي (Resistivity behavior) مع وجود تباين عموديا وأفقيا يعكس وجود ثلاثة انطقه كهربائية. يمثل النطاق الأول السطح العلوي (Superficial zone) بمدى مقاومي قليل يتراوح ما بين 2-30 اوم.م وبعمق يصل إلى 7م تقريبا ويمثل طبقة التربة وترسبات التجوية والتعرية (Erosional and weathered deposits) والتي تتألف من الطين وقطع من الحجر الجيري متنوع الاشكال والأحجام.

اما النطاق الثاني والذي يتسم بزيادة قيم المقاومة والتي تصل إلى 2000 اوم.م يمتد ما بين 100-180 متراً وبعمق من 7-26 متراً، يعكس هذا الانتشار المقاومي (Resistivity distribution mesh) صخرية المصاطب النهرية مع وجود انخفاض جانبي واضح يمتد من بداية المسار إلى 100م، حيث يلاحظ انه يتصل ويتصف بالخصائص المقاومة (Resistivity characteristics) للنطاق الكهربائي الثالث المتمثل بالطبقات التحتية

دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية... 7

(Substratum layers) لتكوين فتحة ذي المقاومة الكهربائية التي تتراوح بين 1.0 الى 20 اوم.م. وبمقارنة الظواهر التركيبية والجيومورفولوجية لمكاشف صخور المصاطب النهرية في الوديان القريبة التي تقع جنوب هذا الموقع يتضح بشكل جلي وجود فالق على مسافة 80 م بعمق 7م ادى الى ظهور هذا التباين الحاد (Sharp contrast) في قيم المقاومة الكهربائية.

يقع مركز الترتيب للموقع S-2 بمسافة 1165م غرب S-6 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^{\circ} 52' 19''$) وخط عرض ($36^{\circ} 35' 40''$) وكما مبين في الشكل (1)

توضح الاشكال (a,b,c,d,-4) بالاتجاهات $0^{\circ}, 20^{\circ}, 40^{\circ}, 60^{\circ}, 80^{\circ}$ صعوبة تميز نطاق عمر الهولوسين (Holocene) الذي يمثل طبقة التربة السطحية عن نطاق عمر البليستوسين (Pleistocene) الذي يعكس ترسبات المصاطب النهرية ذات قيم المقاومة العالية والتي تصل الى 1332 اوم.م والتي تمتد الى عمق متغاير من 7 م الى 26.2 م. اما النطاق الثالث فيمثل ترسبات تكوين فتحة التي تتألف من الترسبات الجيرية والطينية بنطاق توصيلي (Conductive layer) اقل من 30 اوم.م والذي يمثل طيفي اللونين الازرق والاخضر، كما يلاحظ تموج (Undulation) السطح العلوي لترسبات فتحة (Upper surface of Fatha formation) في المقاطع التصويرية للاتجاهات المختلفة.

بينما توضح الاشكال (f,g,h,i,-4) بالاتجاهات $100^{\circ}, 120^{\circ}, 140^{\circ}, 160^{\circ}$ بروز مقاومات عالية بين المسافة من بداية المسار الى 85 متر بمدى مقاومي يصل الى 1463 اوم.م وبعمق متغاير مع وجود نطاق قليل المقاومة يقع بين المسافة 35-45 متر قد يعكس نطاقا من التكررات العمودية التي تمتد من السطح والى عمق 17.2 متر وبمدى مقاومي اقل من 30 اوم. م.

يقع مركز الموقع S-3 غرب S-2 بمسافة 1298 م عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^{\circ} 50' 27''$) وخط العرض ($36^{\circ} 35' 42''$) وكما مبين في الشكل (1).

تشخص الاشكال (a,b,c-5) ظهور نطاق المصاطب النهرية ذات المقاومة العالية التي تصل الى 2237 اوم.م على طول المقاطع التصويرية الثلاثة وبعمق متباين يصل الى 8 أمتار من بداية المسار الى مسافة 120 متراً ليزداد عمقه تحت المسافة 135 متراً ليصل الى 26 متراً. اما المقاطع التصويرية (d,e-5) فتبين ارتفاعا كبيرا في قيم التوصيلية الكهربائية (Electrical conductivity) خاصة في المسافة بين 0-80 متراً مع بروز ارتفاعات مقاومة ضحلة محدودة (Localized shallow resistivity patches) والتي يمكن ان تعكس وجود تكتلات من الحصى والرمل للمصاطب النهرية. بينما يتضح النطاق السفلي الذي يمثل الترسبات الطينية والجيرية من خلال التناقص الكبير لقيم المقاومة الكهربائية التي تصل الى اقل من 1.0 اوم.م المتمثلة بطيف اللون الازرق. اما المقاطع التصويرية في الاشكال (h,i-5) فتبرز تماهايا واضحا (Good matching) مع المقاطع في الاشكال (a,b,c-5) مع ملاحظة وجود نطاق تزايد التوصيل الكهربائي واقع بين المسافة 125-140 م والذي يظهر في معظم المقاطع التصويرية في هذا الموقع.

يقع مركز المقاطع التصويرية للموقع S-7 غرب S-3 بمسافة 1396 م عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^{\circ} 49' 29''$) وخط العرض ($36^{\circ} 35' 42''$) عند الغاطس الغربي لطية طيرة ويبعد مسافة 643 م شرق مجرى

نهر دجلة وكما مبين في الشكل (1). يتصف هذا الموقع بتضاريسية متموجة اذ يحتوي العديد من التلال والوديان (Hills and valleys) التي يمكن ان تعكس تكتونيا نطاق الفوالق المضربية الموازية لنهر دجلة والتي ادت الى زحف الغاطس الغربي لطية طيرة باتجاه الجنوب.

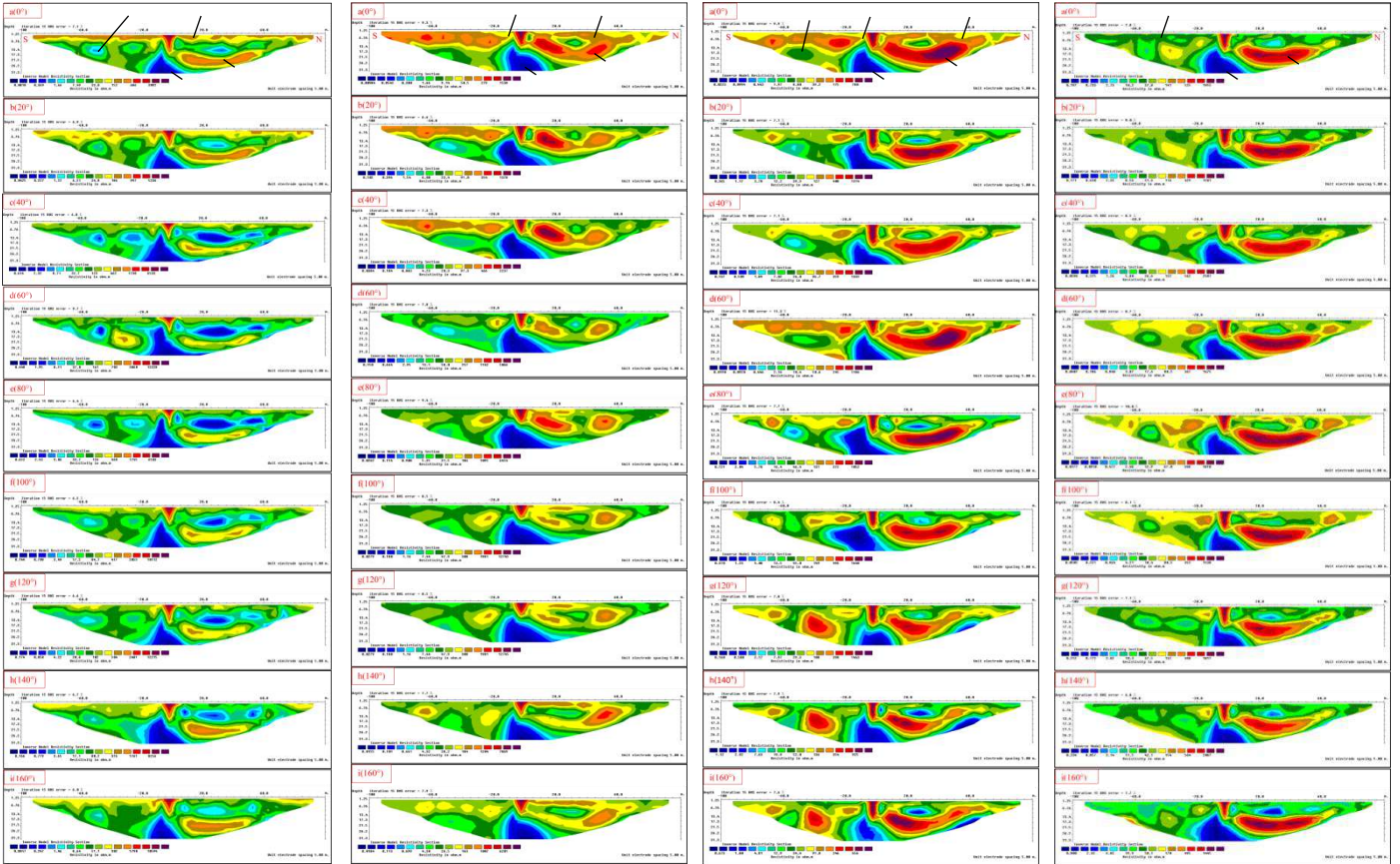
بناء على ما تقدم فقد كان من الصعوبة اختيار موقع ذات تضاريسية مستوية للمحطة الكهربائية لقياس المقاطع التصويرية بنشر 100م حول مركزها بالاتجاهات المختلفة في هذا الموقع، وبعد اجراء عدد من الجولات الحقلية تم اختيار هذا الموقع المناسب الذي تتوافق فيه متطلبات وشروط القياسات الحقلية السليمة (Field measurement) والتي يمكن ان تؤدي الى عدم ظهور شواذ كهربائية كاذبة (False electric anomalies) والتي تتطلب قياسات طبوغرافية دقيقة لمسارات المقطع التصويري وجهوداً كبيرة تم تجاوزها باختيار مواقع المسح المستوية الملائمة.

تتسم المقاطع التصويرية في هذا الموقع بتغير واضح عن المقاطع التصويرية في المواقع السابقة في كافة الاتجاهات وكما يلاحظ في الشكل (6) وبأنها تحتوي على اربعة انطقة كهربائية. يعكس النطاق الاول ترسبات المصاطب النهرية بسمك 6 م وقيم مقاومة عالية كما مبين في الشكل (7)، بينما يمثل النطاق الثاني بسمك 15م قيما ذات ايصالية عالية يمكن ان تعكس تغييرا صخريا من مكونات الرمل والحصى الناعم واحيانا طبقات رملية تتخلل ترسبات المصاطب النهرية مع وجود انقطاعات مقاومة (Resistivity discontinuities) قد تعكس ظواهر جيولوجية او جيومورفولوجية كالكسور والتكهفات.

فضلا عما تقدم يلاحظ وجود النطاق الثالث الذي يتشابه تماما مع النطاق الثاني في بقية المواقع والذي يمتاز بقيم المقاومة العالية التي تصل الى 997 اوم.م على طول المسافة الواقعة بين 100 م والى نهاية المسار في المقاطع التصويرية كافة، اما في بداية المسار ومنتصفه فيلاحظ انخفاض في قيم المقاومة في النطاق الثالث، بينما يتصف النطاق الرابع بمدى مقاومي يتراوح من اقل من 1.0 اوم.م الى 34.8 اوم.م ليمثل الترسبات الطينية والجيرية لتكوين فتحة.

بشكل عام ومن خلال المقارنة بين المواقع الاربعة للمقاطع التصويرية للمقاومة الاتجاهية في T1 يتضح وجود تباين جانبي وعمودي في المقاومة الكهربائية للمصاطب النهرية مع انخفاض واضح في قيمها في مقاطع الموقعين S7 و S2 حيث تتراوح قيم المقاومة ما بين 600-1000 اوم.م، بينما تتزايد هذه القيم في الموقعين S3 و S6 لتكون بمدى مقاومي يتراوح ما بين 1400-3000 اوم.م، ويعتقد ان ذلك ناجم عن تباين طبيعة ومكونات الرواسب النهرية في منطقة الدراسة كما مبين في الشكل (7). اضافة الى احتمالية وجود عدد من الفوالق والكسور والتكهفات المقترحة وفق الدراسة الحالية ويمكن ان تؤثر على التباين الواضح في قيم المقاومة الكهربائية وكما يلاحظ في الشكل (8).

دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية... 9



الشكل 6: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-7.

الشكل 5: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-3.

الشكل 4: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-2.

الشكل 3: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-6.



الشكل 7: مقطع صخاري لترسبات المصاطب النهرية في منطقة الدراسة.



الشكل 8: التكهفات والكسور في احد مواقع منطقة الدراسة.

- المسار الثاني T-2

يقع هذا المسار جنوب بحيرة سد الموصل بمسافة 2992 م وفي الضفة الشرقية لمجرى نهر دجلة جنوب الغاطس الشرقي لطية طيرة، اذ تم اختيار اتجاهه شمال جنوب وبشكل عمودي على محور الطية وبطول 924 م. يتكون المسار من موقعين لمقاطع التصوير الاتجاهي وهما S-5 و S-6 والموقع الاخير مشترك مع T1 اذ يقع شمال S5 بمسافة 924 م.

يقع مركز النشر (Spread center) للموقع S-5 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^{\circ} 52' 6''$) وخط العرض ($36^{\circ} 35' 13''$) وكما مبين في الشكل (1).

يوضح الشكل (9) المقاطع التصويرية في تسعة اتجاهات، حيث يلاحظ وجود تغيرا عموديا وافقي يعكس وجود اربعة انطقة كهربائية، اذ يبرز النطاق السطحي مدى مقاومي يتراوح 40-100 اوم.م وبعمق يصل الى 13م تقريبا ويمثل طبقة التربة وترسبات التجوية والتعرية التي تتألف من الطين وقطع من الحجر الجيري متنوع الاشكال بالإضافة الى انواع من الحصى المختلفة الاحجام وخاصة في موقع بداية المسار الى مسافة 100 م.

اما النطاق الثاني والذي يتسم بزيادة قيم المقاومة التي تصل الى 2000 اوم.م والذي يمتد من المسافة بين 100-180 مترا وبعمق من 13-26 مترا فيعكس التغيرات المقاومي فيه صخرية المصاطب النهرية مع وجود انخفاض واضح جانبي يمتد من بداية المسار الى 100 م اذ يلاحظ انه يتصل ويتصف بالخصائص المقاومة للنطاق الكهربائي الثالث المتمثل بتكوين فتحة ذي المقاومة الكهربائية التي تتراوح بين اقل من 1.0 الى 30 اوم.م وبأعماق

دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية... 11

متغايرة والتي تعكس ظاهرة تموج السطح العلوي لتكوين فتحة، بالإضافة الى انها تحتوي على انطقة تكسرات او فجوات مملوءة بالمواد الطينية، كما لوحظ وجود تباين حاد في قيم المقاومة الكهربائية في وسط المسار وعلى اعماق مختلفة قد يعكس ظاهرة تركيبية او فالق.

تم بناء الموديلات المعكوسة للمقاطع التصويرية التسعة في هذا الموقع بالتحليل البنائي واستخدمت خمسة عشر محاولة للمعالجة التكرارية وتراوحت قيم مربع الخطأ التربيعة ما بين 6.1%-9.4% وكما مبين في الشكل (9). وبمقارنة مقاطع التصوير الكهربائي في الاتجاهات المختلفة بين الموقعين يتضح تصرف متماثل في انماط الانطقة الكهربائية (Electrical style zones) مع اختلاف في قيم المقاومة اذ يلاحظ اختزالا لها في المقاطع التصويرية للموقع S5 ويعتقد ان سبب ذلك ناتج بفعل ميل الطبقات الصخرية (Dipping of layers) وانحدار تضاريسية المنطقة (Topographic slopping) والتي يمكن ان تؤدي الى تباين في رطوبة المكونات الصخرية تحت السطح (Subsurface lithologic moisture).

كما يتضح وجود نطاق كهربائي موصل من مسافة 0-100 م وبروز ظواهر ضيقة محدودة (Localized narrow features) ذات مقاومة قليلة يمكن ان تعكس انطقة من الكسور كما يلاحظ في الشكل (9).

- المسار الثالث T-3

يقع هذا المسار الذي يمتد شمال جنوب بطول 1345 م في الجهة الشرقية من نهر دجلة جنوب شرق حاجز سد الموصل بمسافة 3897 م وفي جنوب الجناح الجنوبي وعمودي على محور طية طيرة والى الغرب من المسار T2 وبمسافة 1165 م. يتألف المسار من ثلاثة محطات كهربائية S1, S2, S4 والتي تم فيها اجراء التصوير المقاومي الاتجاهي، والموقع S-2 مشترك مع T1 وكما موضح في الشكل (1).

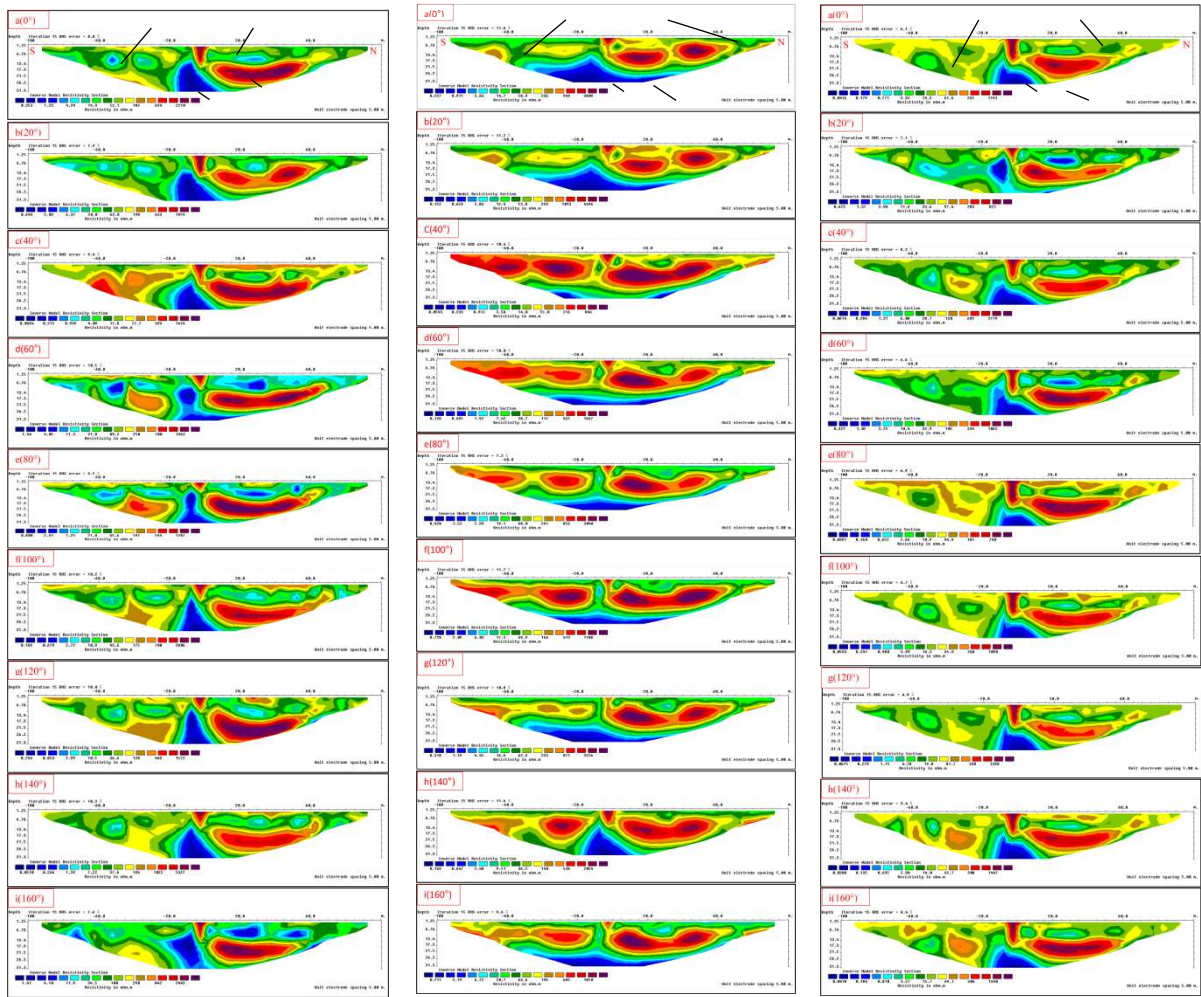
يقع مركز الترتيب للموقع S-1 عند تقاطع احداثي خط الطول (21° 51' 42") وخط العرض (36° 35' 13") وكما مبين في الشكل (1). يوضح الشكل (10) موديلات المقاومة المعكوسة ثنائية البعد لمقاطع التصوير الاتجاهي في موقع الدراسة، وبشكل عام تظهر المقاطع التصويرية بالاتجاهات المختلفة ثلاثة انطقة كهربائية: اذ يعكس النطاق الاول تراكمات التربة السطحية التي تكثر فيها القطع الصخرية الجيرية بالأحجام والاشكال المختلفة الناتجة بفعل عوامل التجوية والتعرية من اعالي طية طيرة ذات مدى مقاومي متغاير وبسمك يصل الى 6 أمتار. اما النطاق الثاني ذو المقاومة العالية التي تصل الى 4690 اوم.م فيعكس المكونات الصخرية للمصاطب النهرية وبسمك 15مترا، بينما يمثل النطاق الثالث الامتداد الواضح للترسبات الطينية والجيرية لتكوين فتحة.

اضافة الى ما تقدم يلاحظ وجود نطاق موصل عمودي على الطبقات الصخرية عند المسافة 45 متراً يكون واضحاً بشكل كبير في الاتجاهين 20° و 0° كما يظهر تأثيره في بقية المقاطع التصويرية. كما يبرز وجود نطاق مقاومي ذي مقاومة اقل نسبياً عما يحيطه ضمن نطاق عالي المقاومة عند المسافة 135م من بداية المسار والذي يمتد الى عمق 21م، مع ملاحظة امتداد هذه الظواهر التركيبية الى السطح العلوي لتكوين فتحة مما يدل على نشوء الترسبات في العصر الرباعي وكما مبين في الشكل (10).

يقع مركز النشر للموقع S-4 بمسافة 504 م الى الشمال من S-2 عند تقاطع احداثي خط الطول (42° 51' 18") وخط العرض (36° 35' 55") وكما مبين في الشكل (1)، ويبين الشكل (a,b-11) تشابها واضحاً في قيم المقاومة وتوزيع الانطقة الكهربائية التي تمثل طبقة ترب التجوية ثم تليها طبقة المصاطب النهرية وترسبات

تكوين فتحة مع وجود احتمالية نطاق عمودي للتكررات عند المسافة 55 متراً من بداية المسار. اما بقية المقاطع التصويرية في الاتجاهات السبعة فيلاحظ وجود تباين واضح من المسافة 0-80 م والذي يمتد الى عمق 26 متراً بمقاومية عالية تصل الى اكثر من 400 اوم.م أحيانا، والتي يمكن ان تعزى الى تداخل ترسبات المصاطب النهرية مع الطبقات الجيرية لتكوين فتحة وكما مبين في (11).

وبمقارنة المقاطع التصويرية في S-4 مع S-6 يتضح وجود تشابه بين التصرف والقيم لمقاومية الانطقة لهما نظرا لوقوع هذين الموقعين على مسار شرق - غرب للجناح الجنوبي لطية طيرة. وبأجراء المضاهاة بين المقاطع التصويرية S-4 وS-2 يتضح وجود اختلاف بين توزيع الانطقة جانبيا، مع تباين بارز في قيم المقاومة في المقاطع التصويرية في كافة الاتجاهات للموقع S2.



الشكل 11: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-4.

الشكل 10: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-1.

الشكل 9: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-5.

- المسار الرابع T-4

يقع هذا المسار الذي يمتد شرق- غرب وبطول 907م، في الضفة الغربية من نهر دجلة جنوب غرب بحيرة وحاجز سد الموصل بمسافة 4533 م (الشكل 1). اما من الناحية الجيولوجية فيقع المسار بمسافة 1076 م عن الجناح الجنوبي المنكشف لطية بطمة الشرقية والذي يميل 90° ، كما يتجه المسار بشكل مواز لمحور التركيب. اذ يتألف المسار من ثلاثة مواقع كهربية هي S10, S9, S11. تم اجراء المسح الاتجاهي لها باستخدام تقنية مقاطع التصوير المقاومي الاتجاهي.

يقع مركز المقاطع التصويرية المقاومة الاتجاهية للموقع S-10 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^\circ 46' 22''$) وخط العرض ($36^\circ 37' 1''$) وفي الجهة الشرقية من المسار بمسافة 3233م عن الضفة الغربية لنهر دجلة. يوضح الشكل (12) المقاطع التصويرية التسعة مع وجود ثلاثة انطقة كهربية: النطاق الاول بمقاومية عالية اكثر من 70 اوم.م ليعكس طبقة التربة السطحية التي يصل عمقها الى اكثر من 6 أمتار ناتجة بفعل عمليات التجوية الفيزيائية لصخور تركيب بطمة الشرقية والتي تتألف من الاطيان والقطع الصخرية الجيرية المتشظية، اما النطاق الثاني الذي يمتلك مقاومة قليلة اقل من 10 اوم. م والتي تكون بعمق متغاير يصل الى 17.3 متراً فيمثل ترسبات المنحدرات (Slope deposits) وفق دراسة (الحديثي، 1990) الذي اشار الى ان هذه الترسبات توجد على جانبي طية بطمة الشرقية وتتركز على الجناح الجنوبي للطية بفعل الجاذبية الارضية وتأثير مياه الامطار في تجميع هذه الرواسب ذات الاحجام والاشكال المختلفة كالسلت والمارل والجبس والصخور الجيرية حيث تكون فيها عمليات الفرز ضعيفة (Poorly sorted) ودرجة الاستدارة ضعيفة (Poorly rounded). ويعتقد ان ضالة قيم مقاومة النطاق ناجمة عن تخلل مياه الامطار (Infiltration of water) من النطاق المحيط به.

اما النطاق الثالث الذي يمثل قيما مقاومة متغايرة فيعكس مكونات ترسبات فتحة الذي يغطي مساحة واسعة في منطقة الدراسة والذي يتألف من طبقات المارل والطين ذات التوصيل الكهربائي العالي وطبقات الحجر الجيري والجبس ذات التوصيل الرديء والمقاومية العالية. فضلا عما تقدم، فان عمليات الجغرافية القديمة (Paleogeography procedures) أدت الى تكون سطح عدم توافق (Unconformity) بين العصرين الرباعي والثلاثي وظهور تموجات تضاريسية تحت سطحية انتجت تغاييراً كبيراً في سمك الترسبات الحديثة البلستوسينية والهولوسينية.

يقع مركز الموقع S-9 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^\circ 46' 5.94''$) وخط العرض ($36^\circ 37' 1''$) وفي وسط المسار بمسافة 403 م عن S-10. يبين الشكل (12) تشابهاً واضحاً مع الانطقة التي تم تشخيصها في الموقع S-10 مع ظهور نطاق توصيلي عمودي (High vertical conducted) يقع في المسافة ما بين 40-50 متراً من بداية خط النشر (الشكل a-13) ويتغاير مدى مسافته اعتماداً على اتجاه المقطع التصويري وامتداد هذا النطاق الذي يمكن ان يعكس ظاهرة ضعف جيولوجي او جيومورفولوجي كما يلاحظ في الاشكال (b,c,d-13).

يقع مركز النشر للمقاطع التصويرية المقاومة الاتجاهية للموقع S-11 عند تقاطع احداثي خط الطول ($42^\circ 46' 45''$) وخط العرض ($36^\circ 37' 2''$) وفي الجهة الغربية من الموقع 9 بمسافة 3733 م عن الضفة الغربية لنهر

دجلة وكما مبين في الشكل (1). وتوضح الاشكال (c,d-14) امتدادا لظاهرة وجود نطاق عالي للتوصيلية في الموقع السابق حيث تكون قيم المقاومة اقل من 20 اوم.م.

يظهر الشكل (14) بروز ثلاثة انطقة كهربائية في المقاطع التصويرية التسعة. يبرز النطاق الاول الذي يمتاز بمقاومية عالية ومتغيرة القيم تتراوح ما بين 50-500 اوم.م لتمثل طبقة التربة السطحية التي يصل عمقها الى 6.70 امتار والتي تتألف من الاطيان والقطع الصخرية الجيرية المتنوعة الاحجام. اما النطاق الثاني الذي يمتلك مقاومة قليلة اقل من 20 اوم. م والذي يكون بعمق متغاير يصل الى 13.4 متراً من المسافة 100 متراً والى نهاية المسار مع امتداد النطاق الاول ليمثل التربة السطحية عمقا من بداية المسار الى المسافة 100 متراً في الاتجاهات ($0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$) مع ظهور نطاق كهربائي موصل ذات مقاومة اقل من 20 اوم.م في الاتجاهات ($60^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 140^\circ$) بين المسافة 40-50 متر ليزداد اثره المسافي على طول المسار بسبب التغاير الاتجاهي وكما مبين في الشكل (14).

وبمقارنة المقاطع الكهربائية في المواقع الثلاثة S11, S9, S10 يلاحظ التشابه الواضح بين عدد الانطقة الكهربائية وطبيعتها الصخرية في الاتجاهات التسعة مع وضوح وجود تناقص كهربائي يمثل انطقة توصيل جيدة خاصة في الاتجاه 60° في الموقع S-10 والاتجاه 60° في الموقع S-11، فضلا عن احتمالية وجود انطقة موصلة عمودية بالاتجاه 60° في S-9 والاتجاه 60° في S-11.

- المسار الخامس T-5

يقع هذا المسار في الضفة الغربية من نهر دجلة جنوب غرب بحيرة سد الموصل ويكون عموديا على المسار T-4 ويمتد شمال - جنوب بشكل عمودي على محور الطية بطول 454 م. يتألف المسار من موقعين هما S8, S9. تم اجراء المسح الاتجاهي له بأسلوب تقنية مقاطع التصوير المقاومي حيث يمثل الموقع S-9 موقعا مشتركا مع T-4 وكما مبين في الشكل (1).

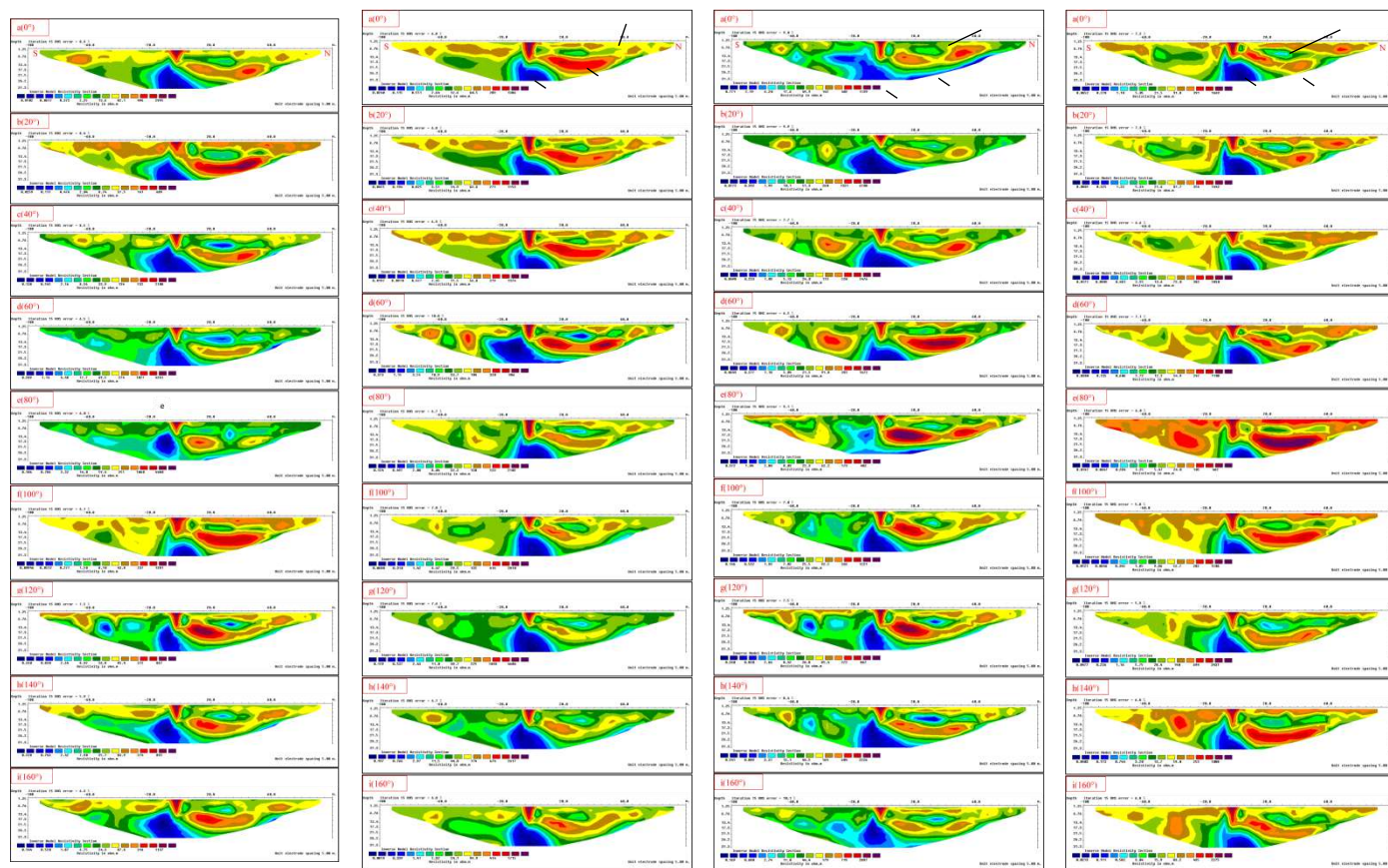
يقع الموقع S-8 عند تقاطع خط الطول ($42^\circ 46' 38''$) وخط العرض ($42^\circ 36' 47''$) والى الجنوب من الموقع S-9 وبمسافة 454 م.

يوضح الشكل (15) ظهور ثلاثة انطقة كهربائية: يمثل النطاق الاول تربة التجوية السطحية بمقاومية تتراوح ما بين 30-500 اوم.م وبعمق يصل الى 17.3 مترا كما يلاحظ في الاتجاه 20° ، فضلا عن تناقص قيم المقاومة في الاتجاهين 80° و 60° لتصل الى 14 مترا. اما النطاق الثاني فيمثل ترسبات المنحدرات ويتميز بتناقص قيم المقاومة الكهربائية لتصل الى اقل من 1.0 اوم. م وبسمك يصل الى 8 امتار كما يلاحظ في الاتجاهات $40^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 140^\circ$. أما بقية الاتجاهات فتزداد فيها قيم مقاومة هذا النطاق وتقل سماكته كما يلاحظ في الاتجاهات $0^\circ, 20^\circ, 100^\circ, 160^\circ$ ، بينما يمثل النطاق الثالث ترسبات فتحة ذات الطبيعة الصخرية المتباينة والتي تعكس تغايراً حاداً في قيم المقاومة الكهربائية تتراوح ما بين 1-2000 اوم. م وكما يلاحظ في اتجاه 80° .

وبمقارنة المقاطع التصويرية في الموقعين S-8, S-9 يلاحظ التغاير الواضح بين قيم المقاومة خاصة في الاتجاهات $120^\circ, 140^\circ, 100^\circ, 20^\circ$ التي يغلب عليها تناقص واضح لكافة الانطقة الكهربائية. اذ يعتقد ان سبب

دراسة الترسبات الرباعية في الكتفين الشرقي والغربي من سد الموصل باستخدام مقاطع تصوير المقاومة الاتجاهية... 15

ذلك ناتج بفعل الميل الطباقى والانحدار الطبوغرافى كلما ابتعدنا عن قمة تركيب بطمة الشرقية وباتجاه ميل الجناح الجنوبي لها حيث يؤثر عامل سريان واختراق الامطار لهذه الترسبات.



الشكل 15: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في >S-8

الشكل 14: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-11.

الشكل 13: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-9.

الشكل 12: موديلات المقاومة المعكوسة لمقاطع التصوير الاتجاهي في S-10.

الاستنتاجات

استنتجت الدراسة الحالية من خلال تطبيق تقنية المقاطع التصويرية بتسعة اتجاهات حول نقطة مركزية في احد عشر موقعاً فوق الترسبات الحديثة المتمثلة بالمصاطب النهرية والرواسب الطموية على كتفي سد الموصل امكانية التقاط الفواصل والكسور التي تعد ذات اهمية كبيرة في التأثير على جسم السد ورواسب تكوين فتحة الحاضنة له، وهذا يتوافق مع ما ذهب اليه الدراسات التي قامت بها وكالة ناسا الفضائية بمراقبة التغيرات الحاصلة في جسم سد الموصل من خلال الاقمار الفضائية للفترة بين (2004-2016) والتي اشارت الى وجود ازاحة تفاضلية مقدارها 100 ملمتراً ووصف سد الموصل بأخطر سد في العالم.

المصادر العربية

- الحديثي، عبد الخالق عبد الملك عبد الجبار، 1990. تركيبية وطباقية طية بطمة الشرقية. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، 126 صفحة.
- الداغستاني، حكمت صبحي، رمضان، محمود فتحي، الطائي، بسمان يونس، 2006. دراسة وتحليل اشكال سطح الارض واستخداماتها في المنطقة المحصورة بين تركيبي طيرة وعلان شمال العراق باستخدام معطيات التحسس النائي، المجلة العراقية لعلوم الارض، المجلد 6، العدد 1، الصفحة 1-16.
- الموالي، علي ومتعب، مروان، وطه، محمد ياسين، 2019. التماثلية والتجانسية لمقاومية طبقة تحت الأساس لطرق مختارة في محافظة نينوى، شمالي العراق. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، المجلد 19، العدد 1، الصفحة 59-79.
- متعب، مروان وعليان، يونس، 2013. تحريات جيولوجية موقعه بين سدي الموصل وبادوش (شمال العراق) في ضوء مقاطع التصوير المقاومي، مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية، المجلد 9، العدد 3، الصفحة 23-46.

المصادر الاجنبية

- Abed, R. S. (2014). Investigation into Deformation Monitoring of Mosul Dam. Eng. &Tech. Journal, Vol.32, No.9.
- ABEM Terrameter SAS4000 / SAS 1000., 2010. ABEM Instrument AB, Instruction Manual.148p. www.abem.se
- Al-Amoush, H., Abu Rajab, J., Al-Tarazi, E., Al-Shabeeb, A., Al-Adamat, R. and Al-Fugara, A . 2017. Electrical Resistivity Tomography Modeling of Vertical Lithological Contact using Different Electrode Configurations. Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol.8, No.1, ISSN 1995-6681, PP.27–34.
- AL-Menshed, F. H. and Thabit, J. M. 2016. The use of an azimuthal resistivity survey to detect the flow direction of hydrocarbons in the unsaturated zone at Karbala Governorate, Iraq. Environ Earth Sci 75:1328.
- Al-Zubedi, A.S. 2015. Delineation of Subsurface Fracture Characteristics Using 2D Azimuthal Resistivity Imaging in Dammam Aquifer Within and Out of Abu-Jir Fault Zone, Southwest of Karbala City, Central Iraq. Ph.D. Thesis(Unpublished), University of Baghdad, College of Science.147P.
- Al-Zubedi, A.S. and Thabit, J.M. 2016. Use of 2D azimuthal resistivity imaging in delineation of the fracture characteristics in Dammam aquifer within and out of Abu-Jir fault zone, central Iraq. Arab J Geo sci. 9: 22.
- Loke, M.H., 2018. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. 213p. www.geotomosoft.com
- Mitai, M., Glazer, M., Kaczmarzyk, R., and Dabrowski, M. 2018. Case study of electrical resistivity tomography measurements used in landslides investigation, Southern Poland. Contemp. Trends. Geosci, Vol.7, No.1 PP.110-126.

- Osinowo, O. O., Akanji, A. O., and Falufosi, M.O., 2018. 3D Electrical Resistivity Imaging (ERT) for subsurface evaluation in pre-engineering construction site investigation. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Voi.8, pp. 309-317.
- Perissin, D. (2016) . Satellite data: Iraq's Mosul Dam in danger- Lyles School of Civil Engineering - Purdue University.
- Thabit, J. M. and AL-Hameedawie, M.M. 2014. Delineation of groundwater aquifers using VES and 2D imaging techniques in north Badra area, Eastern Iraq. Iraqi Journal of Science, , Vol.55, No.1, pp.174-183.
- Udosen, N. I., and George, N. J.2018. Characterization of electrical anisotropy in North Yorkshire England using square arrays and electrical resistivity tomography. Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour. Springer International publishing AG.
- Ungureanu, C. , Priceputu, A., Bugea, A. L., and Chirica, A. 2017. Use of electric resistivity tomography (ERT) for detecting underground voids on highly anthropized urban construction sites. Procedia Engineering, Vol.209, pp.202–209.