التماثلية والتجانسية لمقاومية طبقة تحت الأساس لطرق مختارة في محافظة نينوى، شمالي العراق

علي سعد الدين عباس الموالي	مروان متعب	محمد ياسين طه
قسم هندسة المكامن النفطية	قسم هندسة التعدين	قسم الهندسة المدنية
كلية هندسة النفط والتعدين	كلية هندسة النفط والتعدين	كلية الهندسة
جامعة الموصل	جامعة الموصل	جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2018/11/4 ، تاريخ القبول 2019/3/4)

الملخص

لغرض التعرف على طبيعة نطاق طبقة تحت الأساس (Sub-base) للطرق المنشأة، اجريت الدراسة الحالية في ستة مواقع (بردرش، روفيا، المحلية 1 و 2، الكوير وبعشيقه) اعتمادا على وجود مشاريع لطرق قيد الانجاز من قبل مديرية الطرق والجسور، واستخدم أسلوب واتسن-باركر لنشر الاقطاب في تطبيق المسح المقاومي الاتجاهي بواقع ستة فاصلات قطبية وبسته اتجاهات بزاوية 30 درجة، كما تم تنفيذ مسح عكسي حول نفس نقطة الجس بالاتجاهات الستة.

تم حساب بيانات نسب المقاومة (R_{d1} , R_{d2}) ورسمت المخططات القطبية الاتجاهية، كما مثلت بمرتسمات كارتيزية اتجاهية، ثم درست العلاقة بين الطور والسعة والتردد والانعكاس للمرتسمات الكارتيزية. كما لوحظ من خلال دراسة المخططات القطبية لقيم المقاومة المعدلية، وجود تغاير مقاومي مع العمق واتجاه النشر، ويظهر بالتغاير الواضح لقيم اللاتماثل والذي يعزى الى تأثير تباين المكونات الصخرية لمواد طبقة تحت الأساس فضلا عن آلية الرصف والرص تحت النقاط المركزية للمسح الاتجاهي. قورنت قيم معامل اللاتماثل مع قيم دليل التجانس الذي يرتبط بتشتت قيم المقاومة المقاسة تحت نقطة القياس وذلك باستخدام أسلوب الانحراف المعياري والتي تميز تأثير اللاتجانس للمكونات الصخرية.

الكلمات الدالة: الاتجاهية، المقاومة، الممرتسمات الكارتيزية، الاهليلجي، التجانس، اللاتماثل.

Resistivity Isotropy and Homogeneity for Sub-base Layer of Selected Roads in Ninevah Governorate, Northern Iraq

Ali S. Abass Almwalay
Reservoir Engineering
Dept.
College of Petroleum and
Mining Engineering
Mosul University

Marwan Mutib
Mining Engineering
Dept.
College of Petroleum and
Mining Engineering
Mosul University

Mohammed Y. Taha
Civil Engineering
Dept.
College of
Engineering
Mosul University

ABSTRACT

Field surveys of electrical resistance are achieved in order to study the sub-base layer of the under constructive roads where the present study is conducted in six locations (Bardarash, Rovya, Mahalabyia 1 and 2, Al-Gwair and Bashiqa) based on the existence of projects for roads under construction by the Directorate of Roads and Bridges. Furthermore, Azimuthal resistivity survey is applied using Parker-Watson array with an electrode spacing and azimuth depending on road directions. Also a reverse surveys are performed on the same points of sounding.

The resistance ratios (R_{d1} , R_{d2}) are then calculated and represented as polar diagrams and cartesian curves. Moreover, analysis relationships are done between the phases, amplitudes, frequencies and their reflections. It is observed from the polar diagrams of the mean resistance values, there is a resistivity variation with the depths and directions of the spread. It is also noticed that there are changes of the Anisotropy Coefficient (AC) values reflecting the effect of the lithofacies contrasts of the sub-base layer belonging to the paving and compacting mechanism underneath the central point of the azimuthal survey. A comparison between AC and Homogeneity Indices (HI) are determined, and the latest values are detected using the standard deviation approach which is thought to reflect the dispersion of measured resistances due to the heterogeneity constitutes.

Keywords: Azimuth, Anisotropy, Homogeneity, Resistivity.

المقدمة

تقع محافظة نينوى في الجزء الشمالي من العراق وتحدها محافظات دهوك شمالاً، اربيل شرقاً، كركوك جنوب شرقاً، تكريت جنوباً والانبار في الجنوب الغربي وترتبط بشبكة من الطرق الرئيسية فضلاً عن تفرعات من الطرق المحلية بين تسعة أفضية ثلاثة منها واقعة غربي نهر دجلة وستة منها شرقي النهر. تلعب مشاريع الطرق المعبدة دوراً مهماً في ربط وتوسع المدن وتطورها، ومن مقتضيات نجاح وديمومة تلك المشاريع هو القيام بدراسات وبحوث علمية تطبيقية بأساليب جديدة لطبقة طرق تحت الأساس (Sub-base) قبل الشروع في تنفيذها وذلك من خلال استثمار تطور التقنيات الجيوفيزيائية.

تعد تحريات المقاومة الجيوكهربائية (Goelectrical Resistivity Investigations) واحدة من الطرق الجيوفيزيائية سريعة التنفيذ وقليلة الكلفة وصديقة للبيئة وغير مدمرة (Non-Destructive Technology; NDT) والمستخدم عالمياً لتحديد التشققات والتخسفات تحت السطحية (Subsurface Fractures and Sinkholes) واتجاهاتها في الترب الطبيعية والأساسات الصخرية.

اعتماداً على الهدف الأساس للدراسة ويتوفر جهاز راسم المقاومة الكهربائية (Land Mapper ERM-02)، فقد تم اختيار المسح المقاومي ألاتجاهي (Azimuthal Resistivity Survey; ARS) بطريقة واتسن-باركر (Watson-Barker Array) لنشر الأقطاب لمواقع متعددة قيد الإنشاء من طرق محافظة نينوى.

تعد الدراسة الحالية مشروعاً ريادياً يخص دراسة طبقة تحت الأساس الترابي (Sub-base Soil) المستهدفة في الدراسة الحالية. أشارت بعض المصادر المحلية والعالمية إلى بعض التطبيقات للتقنيات الجيوفيزيائية في هندسة الطرق والتي تخص طبقة التبليط (Pavement) وطبقة الأساس الترابي (Sub-grade).

أجرى متعب وآخرون (2018) مضاهاة بين معاملات المقاومة الكهربائية وبعض الخواص الهندسية لطبقة الأساس الترابي للطرق في محافظة نينوى، شمالي العراق. كما أجرى (Osinowoet *al.*, 2011) دراسة باستخدام تقنية التحري الجيوكهربائي المقاومي وبأسلوب وينر لنشر الاقطاب وتم التعرف على ليثولوجية اساسات الطرق (Road Basements) ومقدار المحتوى المائي (Water Content) لطبقات الطريق جنوبي غربي نيجيريا.

وضع (Victor and Mamah, 2014) موديلاً تقريبياً لمقاومة الصخور تحت سطح طريق (UHIELE – OPOJI) المبلط في مقاطعة (EDO STATE) في نيجيريا بالتحريات الجيوفيزيائية، وقد كان الهدف الرئيس هو دراسة اسباب فشل طبقة التبليط على طول الطريق (Road Surface Failure). أثبت (Rasul *et al.*, 2015) أهمية تقنيات المسح الجيوفيزيائي الجيوكهربائي في مشاريع شق وتنفيذ الطرق (Construction) من مرحلة التخطيط (Planning) وإلى مرحلة الصيانة الدورية (Maintained Regularly)، حيث تعد من الطرق سريعة التنفيذ وقليلة الكلفة وغير المشوهة لمنطقة المشروع وذات نتائج متميزة وقد تقلل ايضاً من كلفة المنشأ نفسه.

هدف الدراسة هو اجراء تقييم لأسلوب ترتيب واتسن-باركر باستخدامه في المسح المقاومي الاتجاهي فواصل قطبية صغيرة فوق طبقة تحت الأساس (Sub-base)، وتحليل البيانات وفق الدراسات العالمية في محاولة لفصل وتمييز التراكب بين اللاتماثل وعدم التجانس، وبالتالي محاولة إلغاء الطرق العشوائية في اختيار مواقع النماذج الهندسية في مشاريع الطرق والمأخوذة إلى المختبرات الإنشائية لغرض اجراء الفحوصات اللازمة عليها.

تم اختيار مناطق الدراسة الحالية اعتماداً على وجود طرق قيد الإنشاء ضمن محافظة نينوى شمالي العراق، إذ تضمنت ستة مواقع غطت الجهات الشرقية والجنوبية والغربية من الطرق الرابطة بين مدينة الموصل واقضيتها والتي تم تسميتها اعتماداً على المناطق الجغرافية وهي موقع بردرش (Bardarash site; BRD) وموقع روفيا (Rovya site; ROV) وموقع المحلية (Mahalabiya 1and2 site; MHB1 and MHB2) وموقع الكوير (Gwair site; GWR) وبعشيق (Bashiqa site; BSH) (الشكل 1).

الشكل 1: الجزء الشمالي من العراق مثبتا عليه مواقع البحث.

منهجية البحث والقياسات الحقلية (Methodology and Field Observations)

لقد أوصت العديد من الدراسات العالمية الى ضرورة اعتماد تقنية المسح المقاومي الاتجاهي لتحديد وتقدير الاتجاهات الرئيسية للاتماثل الكهربائي (Electrical Anisotropy) على وفق كل من (Watson and Sheriff, 2013) و (Odoh and Onwuemesi, 2009) الى أن الصخور غير المتماثلة تتغير مقاومتها مع اتجاه النشر. وبذلك فإن أي تغير ملحوظ في المقاومة الظاهرية مع الاتجاه يفسر دليلا على اللاتماثل و/ او عدم التجانس الجانبي (Lateral Variation Inhomogeneity).

يعد المسح الاتجاهي (ARS) تقنية معدلة من طرق المسح المقاومي الجيوكهربائي حيث يتم بتدوير النشر حول مركزه وتسجيل قيم المقاومة الظاهرية المقاسة لعدة اتجاهات (Taylor and Fleming, 1988). قام (Watson and Barker, 1999) بتطوير تطبيق ترتيب باركر (Barker Array) في تمييز اللاتماثل وعدم التجانس الكهربائي بالاعتماد على المسح المقاومي الاتجاهي، إذ يتم الحصول على دالة زاوية الاتجاه لنشر الاقطاب بترتيب واتسن-باركر خماسي الاقطاب متمثلة بقيم المقاومة الظاهرية (R_{d1} و R_{d2}) قبل

وبعد مركز الدوران على التوالي (الشكل A-2). أكد (Abdullahi *et al.*, 2012) ان أفضل تقنية نشر للأقطاب للجس بطريقة (ARS) لتحديد مصدر اللاتماثل الكهربائي هي تقنية باركر (الشكل B-2).

الشكل 2: A-تقنية جس واتسن-باركر خماسي الاقطاب، B-تقنية نشر باركر واسلوب قياس R_{d1} و R_{d2}

تعد المقاومة الطولية (Longitudinal Resistivity; ρ_L) المعامل الاول المؤثر في حساب قيم اللاتماثل للصخور المتطبقة او المكسرة والتي تحدث عبر مستوياتها، اما العامل الثاني المؤثر فهو المقاومة المستعرضة (Transverse Resistivity; ρ_T). ان معامل اللاتماثل الحقيقي (Coefficient of Anisotropy; λ) يعتمد على المعاملين اعلاه (ρ_T and ρ_L Parameters) في حين ان معامل اللاتماثل الظاهري (λ_a) يعتمد على المقاومة الظاهرية الطولية والمستعرضة.

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}} \dots \dots (1),$$

$$\lambda_a = \frac{\rho_{aL}}{\rho_{aT}} \dots \dots (2)$$

ان التباين بين قيم المقاومة المقاسة (Measured Resistance) في المرتسم الكارتيزي لاتجاهات النشر المختلفة يمكن ان يميز تأثير اللاتجانس للوحدة الصخرية تحت نقطة القياس (Watson and Barker, 2002). كما أشار (Busby, 2000) الى ان التشتت (Dispersion) في قيم المقاومة المقاسة قد ينتج من اللاتجانس في الوحدة الصخرية عندما تكون قيمة التشتت المقاسة أصغر من قيمة اللاتماثل. ويمكن تمثيل هذه الفرضية بالعلاقة الرياضية:

$$HI = \frac{\sigma(|R_d|)}{\sigma(|R_{d1} - R_{d2}|)} \dots \dots (3)$$

إذ أنَّ $\sigma(|R_d|)$ يمثل الانحراف المعياري (Standard Deviation) لمتوسط قيمة المقاومة المقاسة ويمثل $\sigma(|R_{d1} - R_{d2}|)$ الانحراف المعياري لقيمة الفرق المطلق بين قيمتي المقاومة المقاسة. وتعرف العلاقة الرياضية الأخيرة بدليل التجانس (Homogeneity Index; HI) (Busby, 2000; Abdullahi *et al.*,) (George and Abong, 2014).

يعرف التجانس (Homogeneity) بأنه نوعية انتظام للمادة، فإذا كانت العشوائية موزعة بشكل متساوٍ في خليط المادة فإنها تعتبر متجانسة، أما عدم التجانس (Heterogeneity) فهو نوعية الاختلاف في صفات الصخرة مع الموقع في التكوين الصخري أو في طبقة معينة، حيث يؤدي إلى حدوث ضوضاء غير منتظمة وتشويه قيم المقاومة الكهربائية المقاسة، ويمكن تمييزها بالمخططات القطبية (Polar Plots) (Busby, 2000).

جمعت بيانات المقاومة الكهربائية الحقلية باستخدام جهاز (LandMapper-ERM02) المطور من شركة (Landviser) ذو تقنية حديثة صديق للبيئة يتميز بسهولة استخدامه وخفة وزنه (250غم) وصغر حجمه قياساً بأجهزة المسح الجيوكهربائي المعروفة. صنع الجهاز خصيصاً ليتلاءم مع التقنيات المختلفة لنشر الاقطاب في مسوحات المقاومة الكهربائية. ويمتاز أيضاً بسرعه ودقته الفائقة (99%) في المسوحات الضحلة التفصيلية (0-10 متر) وذلك لحساسيته العالية للمقاومة الكهربائية والتغيرات الجانبية والعمودية (LandMapper, 2012).

يتصف الجهاز بسهولة استخدامه وتتم معايرته مرة واحدة لكل فاصلة قطبية أي أنه لا يحتاج إلى معايرة مستمرة عند القياس (One Calibration For Each Probe Size)، ويتم تسجيل القراءات في 4 ثوان لكل نقطة وخرن ما يقارب 1000 قراءة في ذاكرة الجهاز.

تم تهيئة كافة مستلزمات العمل الحقلية مع مراعاة ضوابط الاستكشاف الجيوكهربائي مثل الابتعاد عن مصادر الضوضاء كأبراج الطاقة الكهربائية عالية الفولتية والابنية الهندسية. كما تم مراقبة أداء الجهاز والتحقق من فولتية البطارية وتثبيت الاقطاب والتأكد من سلامة الاسلاك وجودة توصيل الاقطاب. استخدم جهاز تحديد الموقع العالمي (GPS) لتحديد الموقع الجغرافي لمناطق الدراسة ولتوثيق احداثيات نقاط المركز ومسارات الجس الكهربائي.

اجريت الدراسة الحالية في ستة مناطق متفرقة من محافظة نينوى اعتماداً على وجود مشاريع لطرق قيد الانجاز من قبل مديرية الطرق والجسور في محافظة نينوى، تم استخدام أسلوب واتسن-باركر لنشر الاقطاب في قياس المقاومة الكهربائية وتطبيق المسح المقاومي الاتجاهي. تم تثبيت الفاصلة القطبية بواقع ستة فواصل (0.25، 0.5، 0.75، 1.0، 1.25 و 1.5 متر) اعتماداً على هدف الدراسة.

ابتدأ المسح الاتجاهي بأصغر فاصلة مسافية (0.25m) وباتني عشر اتجاهها زاوياً مقداره (30°) فوق طبقة الركاب (طبقة تحت الاساس) هي (0°، 30°، 60°، 90°، 120°، 150°، 180°، 210°، 240°، 270°، 300°، 330°) مع تثبيت مركز النشر، كما تم وضع اتجاهي النشر 0° و 180° بشكل عمودي على الطرق في كافة مواقع الدراسة بينما وضع اتجاهي 90° و 270° بموازاة الطرق. وتم تسجيل القراءات الحقلية للمقاومة الاتجاهية (Azimuthal Resistances) (R_{d1} و R_{d2}) وكانت نقطة قياس R_{d2} إلى اليمين من R_{d1} دائماً.

النتائج والمناقشة Results and Discussion

• موقع بردرش (Bardarash; BRD)

تقع نقطة المسح المقاومي الاتجاهي في مركز ناحية بردرش شرق نهر الخازر والتي تبعد عن مدينة الموصل 50 كم شرقاً (الشكل 1) حيث تم اختيارها على طبقة تحت الأساس في مشروع طرق قيد الانجاز. يقع جبل بردرش الى غرب الطريق المدروس اذ تمثل ترسبات طبقة الأساس (Sub-grade) المواد المنقولة من اعالي الجبل المذكور.

مُثلت قيم نسبة المقاومة الظاهرية (R_{d1} , R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بمفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الشكل (X-3)، (Y و Z) على التوالي.

يتضح مما تقدم وجود لاتماثل احتوائي ظاهري (Apparent Convolved Anisotropy) متباين يكون أكثر وضوحا بسعة عظمى مقدارها 118% باتجاه ($240^\circ - 60^\circ$) لكل من المسافتين 0.25 و 0.75 بينما يقل وضوح اللاتماثل الالتقافي في الفاصلات القطبية الاخرى. حيث يصبح اتجاهها ($270^\circ - 90^\circ$) في الفاصلة القطبية 0.5 متر بينما تكون باتجاه ($210^\circ - 30^\circ$) للفواصل 1.0 و 1.25 و 1.5 متر على التوالي (الشكل X-3). أشار كل من (Watson and Barker, 1999) و (اقليمس، 2010) الى ان المرسمات الكارتيزية تعمل على ازالة الالتباس الناتج بفعل اللاتماثل الحقيقي والظاهري والتميز بين الكسور والتغايرات الجانبية باستخدام نشر واتسن-باركر.

تعد العلاقة بين الطور والسعة والتباين بين منحنيات تمثيل واتسن-باركر الكارتيزية ذات اهمية كبيرة في تمييز اللاتماثل الاحتوائي ضمن الزوايا الواقعة بين $0^\circ - 180^\circ$ فضلاً عن الزوايا التي تقع بين $180^\circ - 360^\circ$. ان التشابه والاختلاف بين كلا المجموعتين بخصائص التردد والسعة والطور والانعكاس (Frequency, Amplitude, Phase and Inflection) للمرسم الكارتيزي يمثل التمييز في اللاتماثل الاحتوائي الظاهري.

تعكس المرسمات الكارتيزية للفاصل القطبية 0.25 متر و 0.5 متر و 1.25 متر تصرفا متشابهها نوعا ما في الطور مع اختلاف واضح في السعة حيث بلغت اقصى قيمة للمقاومة النسبية (R_{d1} و R_{d2}) عند الاتجاه $240^\circ - 60^\circ$ في الفاصلات القطبية 0.25 و 0.75 و 1.0 متر وباتجاه $270^\circ - 90^\circ$ للفاصل القطبية 0.5 متر، وكانت عند الفاصل القطبية 1.25 متر بالاتجاهين 330° و 60° على التوالي (الشكل Y-3-a, b, c, d). يلاحظ من تصرف المنحنيات الكارتيزية تذبذباً في قيم المقاومات مما ينعكس على نمط المرسم الكارتيزي ويظهر عدم انتظام السعات بشكل متميز في اتجاهات النشر كافة. كما وتظهر المرسمات الكارتيزية للفواصل القطبية 1.25 و 1.5 متر نمطاً مغايراً للفاصلات القطبية السابقة مع اختلاف واضح في السعات وعدم انتظام تصرف المنحنيات الكارتيزية (الشكل Y-3-e, f).

الشكل 3: X، Y، Z تمثل المخططات القطبية لقيم (R_{d1} , R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرسومات الكارتيزية على التوالي لموقع بدرش.

بالرجوع الى دليل التجانس (HI) (الجدول 1) المحسوب وفقا للمعادلة (3)، حيث كانت محصورة بين 0.31 – 0.68 أي أنها ($1.0 >$) للأعماق كافة، وعلى وفق (Busby, 2000) عندما يكون دليل التجانس أقل من 1.0 فإن الاختلافات في قيم المقاومة الكهربائية مع اتجاهات النشر تكون نتيجة للتغايرات الجانبية (Heterogeneity) أكثر من تأثير اللاتماثل الكهربائي الناتج بفعل وجود الشقوق، كما وتشير قيم المقاومة العالية الى ازدياد الانضغاط التدريجي باتجاه أكبر تغاير جانبي.

الجدول 1: قيم دليل التجانس واللاتماثل واتجاهها لكل موقع مع الفاصلات القطبية

Location	Spacing/m	λ	direction	HI	Effects due to:
BRD	0.25	1.18	NE-SW	0.68	<i>Inhomogeneity</i>
	0.5	1.24	E-W	0.39	
	0.75	1.11	NE-SW	0.38	
	1	1.1	NE-SW	0.38	
	1.25	1.04	NE-SW	0.59	
	1.5	1.03	NE-SW	0.31	
ROV	0.25	1.45	N-S	1.1	<i>Anisotropy</i>
	0.5	1.3	E-W	0.56	<i>Inhomogeneity</i>
	0.75	1.13	N-S	0.94	
	1	1.9	NW-SE	1.93	<i>Anisotropy</i>
	1.25	1.03	NE-SW	0.59	<i>Inhomogeneity</i>
	1.5	1.45	N-S	0.77	
MHB1	0.25	1.14	NE-SW	0.39	<i>Inhomogeneity</i>
	0.5	1.14	NE-SW	0.52	
	0.75	1.01	NE-SW	0.41	
	1	1.02	NE-SW	0.57	
	1.25	1.05	NE-SW	0.62	
	1.5	1.14	NE-SW	0.36	
MHB2	0.25	1.1	NE-SW	0.4	<i>Inhomogeneity</i>
	0.5	1.11	NE-SW	0.55	
	0.75	1.07	NE-SW	0.87	
	1	1.09	NW-SE	1.02	<i>Anisotropy</i>
	1.25	1.05	NW-SE	1.39	
	1.5	1.08	NW-SE	0.72	<i>Inhomogeneity</i>
GWR	0.25	1.87	N-S	1.05	<i>Anisotropy</i>
	0.5	1.31	NW-SE	0.51	<i>Inhomogeneity</i>
	0.75	1.35	N-S	0.7	
	1	1.86	NW-SE	1.85	<i>Anisotropy</i>
	1.25	1.06	NE-SW	0.49	<i>Inhomogeneity</i>
	1.5	1.38	N-S	0.68	
BSH	0.25	1.87	N-S	1.05	<i>anisotropy</i>
	0.5	1.48	NW-SE	1.29	
	0.75	1.23	NW-SE	1.23	
	1	1.36	NW-SE	2.16	
	1.25	1.16	NW-SE	1.54	
	1.5	1.26	NW-SE	1.64	

• موقع روفيا (Rovya; ROV)

تقع نقطة المسح بين ناحية بردرش وناحية روفيا حيث تم اختيارها على طبقة تحت الأساس في مشروع طرق قيد الانجاز على الطريق الرئيسي الرابط بين مدينتي الموصل وعقرة (الشكل 1). مثلت قيم نسبة المقاومة الظاهرية (R_{d1} , R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية واتجاهية ومرسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الاشكال (4-X و Y و Z) على التوالي.

تشير المرسمات القطبية الناتجة من تمثيل قيم (R_{d1} , R_{d2}) الى وجود تغاير في قيم المقاومة مع اتجاه النشر يظهر جلياً في تغاير اتجاهات وانماط الاشكال الإهليجية بزيادة الفاصلة القطبية (الشكل 4-X). تميزت

الاشكال القطبية بالتصرف التطابقي المعكوس (Reverse Matching) الواضح في جميع الفواصل القطبية مع اختلاف اتجاه محور المقاومة الاعظم، وقد كانت في الفاصلات القطبية 0.25 و 0.75 و 1.5 متر في الاتجاه $180^\circ-0^\circ$ وقيمة لاتماتلية بلغت 1.13 في الفاصلة 0.75 متر بينما تطابقت قيمة اللاتماتل في الفاصلات 0.25 و 1.5 متر لتبلغ 1.45 (الشكل 4-X-a، c و f). يتضح تغير اتجاهات المحور الاعظم للمقاومة المقاسة في الشكل (4-X-b، d و e) للفاصلات القطبية 0.5 و 1.0 و 1.25 متر حيث سجلت باتجاه $270^\circ-90^\circ$ و $150^\circ-330^\circ$ ، وقد بلغت قيمها اللاتماتلية 1.3 و 1.9 و 1.03 على التوالي.

تظهر المخططات القطبية لقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) بشكل إهليلجي قريب الى الدائري للفاصلات القطبية (0.5 و 0.75 و 1.25) متر (الشكل 4-Y-b، c و e)، وتغير اتجاهي المحور الاعظم للأشكال الإهليلجية للفواصل القطبية سابقة الذكر من الاتجاه ($270^\circ-90^\circ$) عند الفاصلة القطبية 0.5 متر الى الاتجاه ($180^\circ-0^\circ$) عند الفاصلة القطبية التالية بفارق اتجاهي يبلغ 90° . يتجه المحور الاعظم عند الفاصلة القطبية 1.25 متر بالاتجاه ($210^\circ-30^\circ$) مما يعكس تغير المقاومة النسبية المقاسة مع العمق واتجاه النشر على الرغم من كون النسبة بين المحورين الاعظم والاصغر ليست عالية. كما وتظهر المخططات القطبية للفاصلات الاخرى (الشكل 5-Y-d، a و f) لموقع روفيا تغيرا في نمط الشكل الإهليلجي واتجاهه ايضا بتعقيد أكثر من سابقتها، حيث يتجه المحور الاعظم للشكل الإهليلجي عند الفاصلة القطبية الاولى (0.25 متر) باتجاه $180^\circ-0^\circ$ ويظهر الشكل الإهليلجي انضغاطاً واضحاً وبشكل معقد نسبياً في الفاصلة القطبية 1.0 متر باتجاه $150^\circ-330^\circ$.

يتضح من تصرف المخططات القطبية لقيم المقاومة المعدلية، وجود تغير مقاومي مع العمق واتجاه النشر ويظهر بشكل واضح بتغير قيم (λ) وقد يعزى ذلك الى تأثير أنظمة معقدة ومتراكبة من الشقوق وباتجاهات متعاكسة ومتراكبة من جهة والى التغير الجانبي نتيجة الانضغاط للمواد الموجودة تحت نقطة الجس من جهة اخرى.

تدل المنحنيات الكارتيزية في الشكل (4-Z) على ان طبقات الطريق المستكشفة تتصف بالتعقيد غير المنتظم اتجاهياً وعمقاً حيث يتبين من المرسوم الكارتيزي (الشكل 4-Z-d، a) للفاصلات القطبية 0.25 و 1.0 متر وقيمة (λ) (1.45 و 1.9) على التوالي، وجود لاتماتل متجانس (homogeneous anisotropic) للوسط المستكشف نوعاً ما ويظهر ذلك بالتقارب الجزئي لنمط تصرف المنحنيين مع الاتجاه لنسبة المقاومة المقاسة R_{d1} و R_{d2} . تبلغ اقصى نسبة للمقاومة الاتجاهية عند الاتجاه $180^\circ-0^\circ$ عند الفاصلة القطبية 0.25 متر وقيمة قصوى لكل من R_{d1} و R_{d2} باتجاه $150^\circ-330^\circ$ عند الفاصلة القطبية 1.0 متر مشيرة بذلك الى اتجاه اللاتماتل العمودي المتراكب (الشكل 4-Z-d، a)، بمقارنة قيم معامل اللاتماتل عند الفاصلات القطبية 0.25 و 1.0 متر مع قيم دليل التجانس (HI) للفاصلات القطبية نفسها والتي كانت 1.01 و 1.93 يتضح أن التغير المقاومي عند هذه الاعماق ناتج من تأثير اللاتماتل المتجانس اكثر من تأثير التغيرات الجانبية إشارة الى قيمة دليل التجانس $HI > 1$ (الجدول 1).

يظهر الشكل (4-Z-b، c، f) تصرفاً متذبذباً غير منتظم للمنحنيات الكارتيزية في الفاصلات القطبية 0.5 و 0.75 و 1.5 متر في الاتجاهات كافة مختلفة في الطور والسعة وباختلاف قيمة معامل اللاتماتل. يعزى الاختلاف في تصرف المنحنى الكارتيزي غير المنتظم الى تأثير التغيرات الجانبية او الانضغاط التدريجي للمواد

المكونة لطبقات الطريق، كما يظهر تأثير اللاتجانس واضحاً من قيم دليل التجانس في والتي كانت على التوالي (0.5 و 0.94 و 0.77) في حين يقل التصرف التذبذبي في الطور للمنحنيات الكارتيزية عند الفاصلة القطبية 1.25 متر مع وجود فرق واضح بين قيم المقاومة R_{d1} و R_{d2} . بالإشارة الى قيم (λ) و HI للفاصلة القطبية 1.25 متر، يظهر تأثير التغيرات الجانبية على قيم المقاومة في الاتجاهات كافة عدا الاتجاهين $(60^\circ - 240^\circ)$ حيث تتساوى قيم المقاومة عندها (الشكل 4-Z-e). تعكس قيم معامل اللاتماثل المحصورة بين (1.03 - 1.90) الى وجود تباين متذبذب للاتماثل مع اتجاه نشر الاقطاب من جهة واختلاف الفاصلة القطبية من جهة اخرى، وقد سجلت اعلى قيمة لمعامل اللاتماثل (1.90) عند الفاصلة القطبية 1.0 متر باتجاه نشر $(150^\circ - 330^\circ)$ درجة في حين كانت اقل نسبة لها (1.03) عند الفاصلة القطبية 1.25 متر وباتجاه $(30^\circ - 210^\circ)$ وبحسب (Bayewu et al., 2014) فإن القيم العالية لمعامل اللاتماثل تنتج من وجود شقوق بأنظمة معقدة ومتراكبة.

• موقع المحلبة-1 (Mhalabiya; MHB-1)

تقع نقطة المسح المقاومي الاتجاهي في مركز ناحية المحلبة على مسافة 40 كم غربي محافظة نينوى (الشكل 1) في الساحل الغربي لنهر دجلة حيث تم اختيار نقطة المسح على طبقة تحت الاساس في مشروع انشاء الطرق الفرعية في المنطقة. يقع جبل شيخ ابراهيم بالقرب من الطريق المدروس وتمثل ترسباته المنقولة من اعالي الجبل المذكور مواد طبقة الاساس وتحت الاساس.

تم تمثيل قيم نسبة المقاومة المقاسة (R_{d1} and R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرتسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الاشكال (5-X و Y و Z) على التوالي.

يوضح الشكل (X-5) ستة مخططات قطبية لمسح نسب المقاومة الاتجاهي في موقع المحلبيّة-1، حيث يلاحظ في الشكل (a-X-5) وجود تناغم محوري أعظم في الاتجاه $30^\circ-210^\circ$ في الفاصلة القطبية 0.25 متر ويتكرر التطابق ذاته في سعة قيم R_{d1} و R_{d2} عند الفاصلات 0.5 و 0.75 متر بينما كانت باتجاه $(60^\circ-240^\circ)$ في الفاصلة 1.0 متر في الشكل (b-X-5 و c و d) على التوالي. أما الفواصل القطبية 1.25 و 1.5 متر فيوضح الشكل (e-X-5 و f) اختلاف قيم سعة المقاومة النسبية المقاسة مع اختلاف طوري معكوس واضح بين R_{d1} و R_{d2} على الرغم من تطابق اتجاه المحور الأعظم مع الفاصلات القطبية السابقة والتي كانت باتجاه $(30^\circ-210^\circ)$.

يتبين من الفحص البصري للأشكال الإهليجية لقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) (الشكل Y-5)، الانتظام والاتجاه الموحد عند الفاصلات القطبية كافة (NE-SW). ويظهر التطابق التقريبي الواضح للشكل الإهليجي للفاصلات القطبية 0.25 و 0.5 (الشكل a-Y-5 و b) وبنفس قيم معامل اللاتماثل (1.14) مما يدل على عدم وجود تغاير يذكر عند هذه الأعماق وقد كانت أعلى نسبة للمقاومة المقاسة R_{d1} و R_{d2} في الاتجاه $(30^\circ-210^\circ)$. تقترب المخططات القطبية للفاصلات 0.75 و 1.0 متر إلى الشكل الدائري أكثر من الإهليجي (الشكل c-Y-5 و d) وبقيمة وبفارق صغير جداً في اللاتماثلية بلغ 0.01، حيث كانت قيم اللاتماثل 1.01 و 1.02 على التوالي. تزداد قيم اللاتماثل بزيادة الفاصلة القطبية (1.25 و 1.5) لتبلغ على التوالي 1.05 و 1.14، وتنعكس هذه الزيادة في اللاتماثل على نمط المخططات الإهليجية للفاصلتين الأخيرتين وباختلاف واضح في النمط والسعة (الشكل e-Y-5 و f).

يشير الجدول (1) إلى قيم معامل اللاتماثل المحسوبة على وفق المعادلة (2) ودليل التجانس المحسوب وفقاً للمعادلة (3) لجميع الفواصل القطبية وبالاتجاهات كافة، وقد انحصرت (λ) بين (1.01 - 1.14) مما تشير إلى غياب تأثير الشقوق تحت نقطة القياس بينما كان دليل التجانس ($HI > 1$) مما يؤكد غياب تأثير الشقوق وبروز تأثير عدم التجانس والتغاير الجانبي على كافة قياسات موقع المحلبيّة-1 فضلاً عن الانضغاط التدريجي للمواد المكونة للانطقة واختلافها مع العمق.

تظهر المرسّمتان الكارتيّزيّة تصرفاً غير منتظم في السعة مع تشابه جزئي في الطور على الرغم من عدم انتظامه حيث يظهر الانقلاب في قيم المقاومة بعد الاتجاه 150° للفاصل القطبية 0.25 متر (الشكل a-Z-5) والتي تعكس نقطة التقاطع (Cross-Over point)، كما يتضح عدم انتظام السعات أيضاً في المرسّم الكارتيّزي للفاصل القطبية 0.5 متر (الشكل b-Z-5) والتشابه الجزئي في الطور رغم انقلاب المقاومة عند نقطة التقاطع (90°) .

• موقع المحلبيّة-2 (Mhalabiya-2; MHB2)

تقع نقطة المسح المقاومي بالقرب من موقع المحلبيّة-1 في مركز ناحية المحلبيّة (الشكل 1) حيث مُثلت قيم R_{d1} و R_{d2} على هيئة مخططات ومرسّمتان قطبية اتجاهية وكرتيّزيّة فضلاً عن تمثيل قيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية أيضاً.

يوضح الشكل (X-6) ستة مرسّمتان قطبية لمسح نسب المقاومة الاتجاهي في موقع المحلبيّة-2، إذ يلاحظ في الشكل (a-X-6) تباين في سعة قيم R_{d1} و R_{d2} عند الفاصلة القطبية 0.25 متر وباتجاه محوري

أعظم (210° - 30°)، مع اختلاف واضح في نمط الشكل الإهليجي. يتناغم الاتجاه المحوري الاعظم في الاتجاه (240° - 60°) بزيادة الفاصلة القطبية (0.5 متر) مع تطابق جزئي لسعة نسب المقاومة المقاسة فضلاً عن انتظام تقريب في الشكل الإهليجي لنسب المقاومة (الشكل b-X-6). يظهر عدم الانتظام في الشكل الإهليجي في الفاصلة القطبية 0.75 متر (الشكل c-X-6) باتجاه 210° - 30° وبشكل متطابق معكوس، كما ويظهر عدم الانتظام في الشكل القطبي (d-X-6) عند الفاصلة القطبية 1.0 متر مع تطابق السعات في بعض الاتجاهات السمتية. يوضح الشكل (e-X-6 و f) زيادة التعقيد والتراكب في الانماط القطبية في الفاصلة القطبية 1.25 و 1.5 متر على التوالي، حيث يلاحظ عدم انتظام الشكل الإهليجي واختلاف سعة نسب المقاومة في اتجاهات متعددة.

يوضح الشكل (Y-6) المخططات القطبية المعدلية لنسب المقاومة الاتجاهي حيث يظهر فيها تغير نمط الشكل الإهليجي المنتظم تقريباً في الفاصلات القطبية 0.25 و 0.5 متر (الشكل a-Y-6 و b)، الى انماط غير منتظمة عند الفاصلات القطبية 0.75 و 1.0 متر (الشكل c-Y-6 و d). يزداد تعقيد المخططات القطبية بزيادة الفاصلات القطبية لتتراكب عند 1.25 و 1.5 متر كما في الشكل (e-Y-6 و f). يتضح مما تقدم تداخل وتراكب تأثير عدم التجانس مع تأثير اللاتماثل عند الفاصلات القطبية 1.0 و 1.25 و 1.5 متر والذي قد يعزى الى تداخل ترسبات طبقة الأساس مع ترسبات التربة نتيجة لازدياد الضغط التدريجي مع وجود التغيرات الليثولوجي بين النطاقين.

يمثل الجدول (1) قيم اللاتماثل ودليل التجانس لموقع المحلية-2، اذ يلاحظ من قراءة قيم (λ) المحصورة بين 1.05 - 1.11 أن هنالك تأثير ضعيف في سلوك اللاتماثل الكهربائي الناتج من التشققات بشكل طفيف مع العمق.

يعكس الشكل (Z-6) المرسمات الكارتيزية الستة لموقع المحلية-2، حيث يشير الشكل (a-Z-6) للفاصل القطبية 0.25 متر الى وجود تغير واضح في الطور لمعظم الاتجاهات مع اختلاف في السعة في جميع الاتجاهات تقريباً. تم قياس أعلى مقاومة (R_{d1} 120Ω) عند الاتجاه 30° في حين كانت أعلى قيمة للمقاومة (R_{d2} 133Ω) في اتجاه 210° . على وفق (Busby, 2000) يستدل من خلال الاتجاهات العظمى لنسب المقاومة المقاسة على اتجاه أعظم تغير جانبي من قيمة دليل التجانس اقل من 1.0، حيث كانت $HI=0.4$ في الفاصلة القطبية 0.25 متر و 0.52 و 0.5 متر بينما بلغ دليل التجانس 0.85 عند الفاصلة 0.75 متر.

تشير المنحنيات الكارتيزية للفاصل القطبية 0.5 متر (الشكل b-Z-6) الى التشابه الطوري التقريبي مع بقاء اختلاف السعة بتغير اتجاه النشر، ويظهر ايضاً تغير موقع نقطة التقاطع كما في الفاصلة القطبية السابقة والتي تتساوى عندها قيم المقاومة الى الاتجاهين 90° و 270° وقد بلغت (100/110 اوم) على التوالي والذي يكون بموازاة الطريق وقيمة لاتمائلية بلغت 1.11، فضلاً عن التطابق النسبي الملحوظ في تسجيل أعلى قيمة لنسب المقاومة الاتجاهي (R_{d1} و R_{d2}) في اتجاهين متعاكسين (60° و 240°) على التوالي. يظهر المرسم الكارتيزي للفاصل القطبية 0.75 متر (الشكل c-Z-6) اختلافاً واضحاً في الطور والسعة مع تغيير اتجاه النشر كما تتقاطع المنحنيات الكارتيزية في خمسة مواقع مشيرة الى تنذب قيم المقاومات وعدم انتظامها مع اتجاه نشر الاقطاب. حسبت قيمة دليل التجانس عند الفاصلة القطبية 0.75 متر ($HI=0.87$)، وتظهر زيادة دليل التجانس

مع العمق ازديادا في الانضغاط باتجاه التغيرات الجانبي الغير منتظم يقابلها انخفاضاً في قيمة معامل اللاتماثل (1.07) عما كانت عليه في الفاصلات القطبية السابقة.

يمثل الشكل (e,d-Z-6) المرتسم الكارتيبي للفاصلات القطبية 1.0 و 1.25 متر وبفارق بسيط جداً في قيمة معامل اللاتماثل (1.09 و 1.05) على التوالي، حيث يظهر التشابه في الطور وتقارب السعة بين منحنيات نسب المقاومة في الفاصلتين مع وجود زحف في قيم R_{d1} و R_{d2} مع اتجاه النشر. سجلت أعظم مقاومة (124 اوم) في الاتجاه 60° و 90° لقيم R_{d1} و R_{d2} على التوالي عند الفاصلة القطبية 1.0 متر، بينما اختلفت قيمة المقاومة العظمى للفاصله القطبية 1.25متر لتكون (135 اوم) في الاتجاه $90^\circ/30^\circ$ على التوالي.

الشكل 5: Z,Y,X تمثل المخططات القطبية لقيم (R_{d1} , R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرتسمات الكارتيبية على التوالي لموقع الحليبة-1.

الشكل 6: Z,Y,X تمثل المخططات القطبية لقيم (R_{d1} , R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرتسمات الكارتيبية على التوالي لموقع الحليبة-2.

تزداد نسبة الانضغاط التدريجي للمواد مع التغيرات الجانبية بزيادة العمق ويظهر ذلك عند الفاصلة القطبية 1.5 متر، حيث يلاحظ اختلافا متميزا في الطور والسعة للمنحنيات الكارتيذية مع اتجاهات النشر (الشكل f-Z-6). كما ويعزز دليل التجانس (0.72) ومعامل اللاتماثل (1.08) تأثير التغيرات الجانبية والانضغاط التدريجي للترسبات تحت نقطة القياس والتي ادت الى تشوه الشكل الإهليجي بشكل واضح في المخططات القطبية لقيمة المقاومة R_{d1} و R_{d2} و R_{dm} (الشكل f-X-6) و (الشكل f-Y-6) وقد يعزى ذلك الى تراكم تأثير التغيرات الليثولوجي والجانبية مع الانضغاط التدريجي للترسبات عند هذا العمق.

• موقع الكوير (Gwair; GWR)

تقع نقطة القياس قرب ناحية الكوير شرق نهر الزاب الكبير (الشكل 1) شرقي محافظة نينوى، تم اختيار نقطة المسح على طبقة تحت الأساس على الطريق المنشأ لربط القرى القريبة من جبل قرة جوق بالطريق الرئيسي (الموصل-كركوك) في ناحية الكوير.

تم تمثيل قيم المقاومة النسبية المقاسة (R_{d1} و R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الاشكال (X-7) و (Y-7) و (Z-7) على التوالي. فضلا عما تقدم تم حساب مقدار اللاتماثل ودليل التجانس في موقع الكوير عند كل فاصلة مسافية.

يوضح الشكل (X-7) ستة مرسمات قطبية للمسح النسبي للمقاومة الاتجاهية في موقع الكوير، اذ يلاحظ عدم انتظام الاشكال الإهليجية لقيم (R_{d1} و R_{d2}) في جميع الفاصلات القطبية في هذا الموقع. فضلا عن التطابق المعكوس ماعدا الفاصلة القطبية 1.25 متر (الشكل e-X-7) والذي يظهر اختلافا بسيطا في التطابق العكسي عن الانماط القطبية للفاصلات الاخرى.

تشير الاشكال (a-X-7، c و f) الى وجود تناغم محوري أعظم في الاتجاه $0^\circ-180^\circ$ في الفاصلات القطبية 0.25 و 0.75 و 1.5 متر على التوالي، بينما يكون التناغم المحوري الاعظم في الفاصلة 1.0 متر في اتجاه $150^\circ-330^\circ$ (الشكل d-X-7). يظهر الاختلاف في ساعات نسب المقاومة المقاسة في الاتجاه $90^\circ-270^\circ$ في الفاصلات القطبية 0.25 و 1.5 متر ويكون في الاتجاه $120^\circ-300^\circ$ في الفاصلات القطبية 0.5 و 0.75 متر وفي الاتجاه (الاشكال a-X-7، f و b-X-7، c).

تبرز اتجاهات اللاتماثل بشكل واضح في المخطط القطبي لقيم المقاومة المعدلية R_{dm} (الشكل Y-7-a) وباتجاهين $(180/0)^\circ$ و $(300/120)^\circ$ وقيمة لاتمائلية بلغت 1.87، كما تشير قيمة دليل التجانس (HI=1.05) (الجدول 1) الى وضوح تأثير اللاتماثل المتجانس نوعاً ما الى في بعض الاتجاهات المذكورة اعلاه يمكن ملاحظة الاختلاف الطوري بشكل واضح في المخطط القطبي لقيم نسب المقاومة (الشكل a-X-7) عند الاتجاهات المذكورة والناتج من تأثير اللاتماثل الكهربائي غير منتظم.

يظهر المخطط القطبي لقيم المقاومة المعدلية شكلا مركبا باتجاه متعامد ناتج من تغيرات المقاومة مع اتجاهات النشر بفعل تأثير اللاتجانس (الشكل b-Y-7). كما وتشير قيمة دليل التجانس (0.51) الى ان سبب عدم انتظام الشكل الإهليجي واختلافات السعة يعزى الى تأثير التغيرات الجانبية والانضغاط التدريجي للمواد على وفق (Busby, 2000; George and Abong, 2014).

يتضح من المخطط القطبي المعدلي للفاصلية القطبية 0.75 متر (الشكل c-Y-7) اتجاه التغيرات الجانبية باتجاهين مختلفين $(180/0)^\circ$ و $(300/120)^\circ$ اشارة اختلاف التغيرات الجانبية في اتجاهين مختلفين وبدليل

تجانس بلغ 0.7، يعزى سبب عدم انتظام تصرف مرتسمات القيم المقاسة الى عدم تجانس تأثير التغيرات الجانبية في المقاومة الكهربائية الواضح في المخطط القطبي لقيم R_{d1} و R_{d2} كما في الشكل (7-X-c). سجلت اقصى قيم للمقاومة عند $330^\circ/150^\circ$ حيث بلغت 240 و 250 اوم لقياسات R_{d1} و R_{d2} على التوالي كما هو واضح في الشكل القطبي لقيم المقاومة المعدلية (الشكل 7-Y-d)، ويظهر ايضاً اتجاه اللاتماثل (330/150).

بحسب (Watson and Barker, 1999) فإن هيئة الشكل الإهليجي ذو الحافات الحادة تؤكد وجود شقوق عمودية تحت نقطة القياس، كما تشير قيمة دليل التجانس والتي بلغت 1.85 الى زيادة تأثير اللاتماثل المتجانس على تأثير التغيرات الجانبية كما هو واضح من التطابق النسبي في الشكل الإهليجي الحاد في اتجاهات النشر لقيم المقاومات النسبية في المخطط القطبي لقياسات R_{d1} و R_{d2} (الشكل 7-X-d).

يتضح من الشكل (7-Y-e) عدم انتظام المخطط القطبي لقيم المقاومة المعدلية في الفاصلة القطبية 1.25 و 1.5 متر، وبالرجوع الى معامل اللاتماثل (1.06 و 1.38) وبدليل تجانسي بلغ (0.49 و 0.68) يتضح ان عدم الانتظام الإهليجي واختلافات السعة يعزى الى تأثير التغير الجانبي والانضغاط التدريجي وفق (Busby, 2000; George and Abong, 2014).

بشكل عام يتضح تأثير معامل اللاتماثل وعدم التجانس بشكل تردد عمودي دوري اتجاهي واضح من مراجعة قيم اللاتماثل وعدم التجانس المذكور في الجدول (1) من جهة ومقارنتها مع المخططات القطبية لنسب المقاومة المقاسة (الشكل 7-X) والمرتسمات القطبية لمعدل المقاومة (الشكل 7-Y) من جهة اخرى، على الرغم من الاختلاف البسيط في الفاصلة القطبية 1.25 متر.

يعكس الشكل (7-Z) ستة مرتسمات كارتيزية لقيم نسب المقاومة المقاسة (R_{d1} و R_{d2}) مع الاتجاه وبفاصلات مسافية متعددة، حيث يمكن معاينة تصرف منحنيات نسب المقاومة بصريا للتعرف على تأثير اللاتماثل او عدم التجانس من خلال ملاحظة انتظام الاطوار والسعات او اختلافها فضلا عن ملاحظة نقاط الانقلاب ومواضعها نسبة الى اتجاهات النشر والفاصلات القطبية (Watson and Barker 1999).

يلاحظ في الفاصلة القطبية 0.25 متر تطابق نسبي في الطور والسعة لمنحنيات القياس في معظم اتجاهات النشر ماعدا الاتجاهات 90° و 240° و 270° حيث يظهر الاختلاف الطوري واضحا في المرتسم الكارتيزي (الشكل 7-Z-a). كما وتشير قيمة دليل التجانس (0.51) الى ان سبب عدم انتظام الشكل الإهليجي واختلافات الطور والسعة في المرتسم الكارتيزي يعزى الى تأثير التغير الجانبي والانضغاط التدريجي للمواد على وفق (Busby, 2000; George and Abong, 2014).

يبدأ التراكب والتعقيد في القياسات الحقلية مع توسيع الفاصلة القطبية الى المسافة 0.5 متر، حيث يظهر المرتسم الكارتيزي (الشكل 7-Z-b) عدم توافق الاطوار والسعات بشكل مركب ومعقد مع اتجاهات النشر وبقيمة لاتماثلية اقل من الفاصلة القطبية السابقة بلغت 1.31 على وفق (Watson and Barker, 1999). يمثل الشكل (7-Z-c) المرتسم الكارتيزي لقيم المقاومة المقاسة عند الفاصلة القطبية 0.75 متر، ويظهر اختلافاً في تصرف قيم المقاومة R_{d1} و R_{d2} بشكل واضح من مقارنة اطوار وسعات المنحنيات الناتجة منها والمحصورة عند الاتجاهات ($60^\circ-180^\circ$) و ($240^\circ-330^\circ$) وبلغت قيمة اللاتماثل 1.35.

يظهر الاختلاف واضحا عند مقارنة المرتسم الكارتيزي الحالي مع المرتسمات الكارتيزية للفاصلات القطبية السابقة، وقد يعزى الى ترافق تأثير اللاتماثل الناتج من الشقوق المائلة كما هو واضح عند الاتجاه ($180/0$) وتأثير التغيرات الجانبية في بقية الاتجاهات. يظهر التوافق الجزئي لقيم R_{d1} و R_{d2} بشكل واضح في المرتسم الكارتيزي للفاصلية القطبية 1.0 متر، حيث ترتفع وتتنخفض قيم المقاومة (R_{d1} و R_{d2}) سوية مع الاتجاهات

وباختلاف بسيط في السعة عند اتجاه 330/150 درجة مع تسجيل اختلاف طوري بسيط عند الاتجاه 240/60 درجة (الشكل 7-d-Z).

تظهر المرسومات الكارتيزية للفواصل القطبية 1.25 و 1.5 متر (الشكل 7-e-Z و f) ان الارض لا تتصف باللاتماثل بل يعزى عدم الانتظام في قياسات المقاومة (R_{d1} و R_{d2}) مع الاتجاهات السمتية الى التغيرات الجانبية في المقاومة. ويبدو في المرسوم الكارتيزي للفاصلة 1.25 متر أن أقصى تغير بيني قيم المقاومة (R_{d1} و R_{d2}) المقاسة عند الاتجاهات 60° و 120° مع ظهور عدة نقاط تقاطع وهي على التوالي 30 و 80 و 140 و 150 و 205 و 260 و 310 درجة. بينما كانت نقاط التقاطع للمرسوم الكارتيزي للفاصلة القطبية 1.5 متر عند الاتجاهات 50 و 65 و 110 و 240 و 285 درجة وسجل أكبر فرق بين (R_{d1} و R_{d2}) عند الاتجاه 270/90 درجة وقد كانت قيمة اللاتماثل 1.06 و 1.38 على التوالي للفواصل المذكورة، في حين حسبت قيمة دليل التجانس لهما وكانت على التوالي 0.49 و 0.68 مشيرة الى تأثير التغيرات الجانبية للمقاومية بشكل غير متجانس مع اتجاهات النشر.

• موقع بعشيقية (Bashiq; BSH).

تقع نقطة القياس المقاومي الاتجاهي في ناحية بعشيقية وعلى طبقة تحت الاساس للطريق الرابط بين مركز الناحية وقرية آجي جوخ غرب نهر الخازر شمالي شرق مدينة الموصل (الشكل 1). يقع جبل بعشيقية غرب نقطة المسح اذ تمثل ترسبات طبقتي الاساس وتحت الاساس المواد المنقولة من اعالي الجبل المذكور.

رسمت قيم نسب المقاومة المقاسة (R_{d1} و R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على شكل مخططات قطبية ومنحنيات كارتيزية لكافة اتجاهات النشر بفواصل مسافية متعددة وكما موضحة في الاشكال (8-X) و (8-Y) و (8-Z) على التوالي.

يوضح الجدول (1) قيم معامل اللاتماثل ودليل التجانس المحسوبة لنقطة القياس في موقع بعشيقية للفواصل القطبية كافة على وفق التعابير الرياضية (1 و 2 و 3) والتي يمكن ان تعطي تصورا اوليا لمدى تأثير العاملين المذكورين على قياسات المقاومة النسبية المقاسة.

يوضح الشكل (8-X) ستة مخططات قطبية لمسح نسب المقاومة الاتجاهي (R_{d1} و R_{d2}) في موقع بعشيقية، اذ يلاحظ وجود تناغم محوري اعظم في الاتجاه ($0^\circ-180^\circ$) وتناغم جزئي في الاتجاه ($120^\circ-300^\circ$). تختلف سعة المقاومة عند الاتجاه ($90^\circ-270^\circ$) في الفاصلة القطبية 0.25 متر بوجود تطابق عكسي جزئي لقيم المقاومة باتجاه المحور الاعظم (الشكل 8-X-a) وقد بلغت قيم معامل اللاتماثل ودليل التجانس المحسوبة 1.87 و 1.05 على التوالي. يظهر التطابق العكسي في الشكل (8-X-b) حول الاتجاه المحوري ($30^\circ-210^\circ$) في الفاصلة القطبية 0.5 متر وبمعامل لاتماثل 1.48 بينما كان دليل التجانس 1.29، وكان اتجاه أعظم مقاومة ($120^\circ-300^\circ$). يلاحظ في الشكل (8-X-c) زيادة حافات الشكل الإهليجي غير المنتظم على الرغم من تطابق معظم اجزائه في الفاصلة القطبية 0.75 وعلى وفق (Watson and Barker, 1999) فإن هيئة الشكل الإهليجي ذو الحافات الحادة يؤكد وجود شقوق عمودية تحت نقطة القياس، كما تشير قيمة دليل التجانس والتي بلغت 1.23 الى زيادة تأثير اللاتماثل المتجانس على تأثير التغيرات الجانبية كما هو واضح من التطابق النسبي في الشكل الإهليجي الحاد في اتجاهات النشر لقيم المقاومات النسبية. يظهر الانطباق شبه التام لتصرف مرسومات المقاومة النسبية (R_{d1} و R_{d2}) في الاشكال (8-X-d و e و f) في الفواصل القطبية 1.0 و 1.25 و 1.5 متر على التوالي، وبالرغم من عدم انتظام الاهليج القطبي الا ان التناغم المحوري واضح في

الاتجاه (150° – 330°) في الفاصلات الثلاثة مع اختلاف قيم الدليل التجانسي ومعامل اللاتماثل حيث كانت على التوالي (2.16 و 1.54 و 1.64) (1.36 و 1.16 و 1.26) (الجدول 1).

يلاحظ في الشكل (8-Y) التأثير المترافق لللاتماثل وعدم التجانس من ملاحظة المخططات القطبية الستة لقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) اذ يظهر تشوه وعدم انتظام الشكل الإهليجي واختلاف السعات مع اتجاهات النشر باختلاف الفاصلات القطبية.

اشار (Matias, 2008) الى ان التشوه والتراكب في الشكل الإهليجي مع اتجاه النشر ينتج من تداخل تأثير اللاتماثل الكهربائي مع التغيرات الجانبية وزيادة نسبة اللاتماثل الى عدم التجانس يمكن اعتبار التأثير ناتج

من اللاتماثل غير المتجانس (Inhomogeneously Anisotropic). يمثل الشكل (8-Z) المرتسمات الكارتيزية لموقع بعشيقية حيث تظهر منحنيات الفاصلة 0.25 متر تطابقاً واضحاً بالطور والسعة مع ازاحة بسيطة في الاتجاه ($90^\circ - 270^\circ$) الموازي لاتجاه الطريق، ويلاحظ تصرف نسب المقاومة المقاسة (R_{d1} و R_{d2}) بالارتفاع والهبوط معاً ويتوافق جزئي مع اتجاه النشر بشكل واضح في الشكل (8-Z-a). سجلت أعلى مقاومة مقاسة عند اتجاهين مختلفين ($0^\circ - 180^\circ$) و ($120^\circ - 300^\circ$) لمعدل قيم نسب المقاومة مشيرة الى اتجاه اللاتماثل عند الفاصلة القطبية اعلاه وبقيمة لاتماثلية بلغت 1.87، على الرغم من توافق تصرف قيم المقاومة المقاسة والتي اظهرت ارتفاعاً وهبوطاً متناغماً الا ان تأثير اللاتماثل يظهر مترافقاً بتأثير عدم التجانس ويبدو واضحاً من حساب قيم دليل التجانس والتي كانت 1.05 والتي تشير الى تساوي نسبي بين تأثير اللاتماثل وعدم التجانس حيث ذكر (Abdullahi et al., 2012) عند تساوي قيم اللاتماثل والتشتت فإن ناتج العلاقة الرياضية (3) تساوي 1.0 وتكون التغيرات نتيجة اللاتماثل وتلك الناتجة من عدم التجانس متساوية. تظهر المنحنيات الكارتيزية للفاصل القطبية 0.5 متر في الشكل (8-Z-b) توافقاً طورياً للقيم المقاسة مع اتجاهات النشر عدا الانعكاس الطوري عند الاتجاه (0°) مع الاخذ بنظر الاعتبار اختلاف السعة مع الاتجاه.

يظهر تأثير عدم التجانس واضحاً على المرتسم الكارتيزي للفاصل القطبية 0.75 متر ليتراكب تأثير التغيرات الجانبية غير المتجانسة مع تأثير اللاتماثل بدليل تجانس بلغ 1.23، وعلى الرغم من تسجيل تباين طفيف في السعات مع الاتجاه الا ان التوافق الطوري واضح جداً (الشكل 8-Z-c).

يشير المرتسم الكارتيزي للفاصلات القطبية 1.0 و 1.25 و 1.5 متر (الشكل 8-Z-d و e و f) الى استمرار التناغم الطوري بالإضافة الى التوافق في السعة مع اتجاهات النشر رغم وجود اختلاف طوري عند الاتجاه 45° للفاصل القطبية 1.25 متر، وقد كانت أعلى قيمة للمقاومة عند الاتجاه 150° للفاصلات القطبية الثلاثة وكانت قيم معامل اللاتماثل 1.36 و 1.66 و 1.38 بينما كانت قيم دليل التجانس 2.1 و 1.54 و 1.64 للفاصلات القطبية المذكورة على التوالي.

الاستنتاجات

أظهرت نتائج الدراسة الحالية لطبقة تحت الأساس لطرق مختارة في محافظة نينوى إمكانية استخدام تقنية ARS باستعمال ترتيب واتسن-باركر خماسي الاقطاب في تحديد التغيرات الجانبية الناتجة من عدم التجانس وتمييز وجود اللاتماثل الكهربائي فيها من خلال مقارنة معطيات المخططات القطبية والمرتسمات الكارتيزية بفاصلات مسافية متعددة للمواقع الستة في المنطقة المدروسة.

ابرزت المخططات القطبية الناتجة من تمثيل قيم (R_{d1} , R_{d2}) لمواقع الدراسة ان معظم الاشكال القطبية الاتجاهية تظهر شكلاً اهليلجياً وليس دائرياً لكن تبقى نسبة المحور الطويل الى المحور القصير أكبر من الواحد بقليل وبذلك فإنها تشير الى غياب الشقوق عند تلك الاعماق المستكشفة. بشكل عام يظهر بوضوح ان هنالك تغيراً غير منتظم في المقاومة في اتجاهات النشر كافة وللفاصلات القطبية جميعها وقد يعزى ذلك الى اللاتماثل الغير متجانس (Inhomogeneous anisotropy) بينما اكدت هيئة الشكل الإهليجي ذو الحافات الحادة وجود شقوق عمودية بامتدادات واتجاهات مختلفة.

وتوصي الدراسة باستثمار تقنيتي ARS و ART قبل عملية اكساء الطرق بطبقة التبليط فضلا عن استخدامها لأعمال الصيانة الدورية لدورها البارز في الكشف عن مقدار اللاتماثل وتحديد وإيجاد مناطق التغيرات الجانبية غير المتجانسة المتسببة في رداءة الطرق وحدوث التخسفات والتشققات فيها.

المصادر العربية

- إقليمس، يوسف فرنسيس 2010. مسح مقاومي سمطي عميق في سهل القوش-عين سفني/ شمال العراق. أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، 146 صفحة.
- متعب، مروان، طه، محمد ياسين وصالح الدين، نبراس 2018. امكانية استخدام المقاومة الارضية في تقدير بعض المعاملات الهندسية لطبقة الاساس الترابي، محافظة نينوى. المجلة العراقية لعلوم الارض، المجلد 18، العدد 1، الصفحة 135-148.

المصادر الاجنبية

- Abdullahi, N.K., Batu, M.A. and Masanawa, A.A., 2012. Fracture determination using azimuthal, Schlumberger and offset Wenner array in basement complex of Northern Nigeria. Research Journal of Environment and Earth Sciences, Vol.4, No.7, pp.747-755.
- Bayewu, O.O., Oloruntola, M.O., Mosuro G.O., Folorunso, I.O. and Kolawole, A., 2014. Evaluation of resistivity anisotropy of parts of Ijebu Igbo, Southwestern Nigeria using azimuthal resistivity survey (ARS) Method. Journal of Geography and Geology, Vol. 6, No. 4.
- Boadu, F.K., Gyamfi, J. and Owusu, E., 2005. Determining subsurface fracture characteristics from azimuthal resistivity surveys: A case study at Nsawam, Ghana. Journal of Geophysics, Vol.70, No.5, pp. 35-42.
- Busby, J. P., 2000. The effectiveness of azimuthal apparent resistivity measurements as a method for determining fracture strike direction. Journal of Geophysical Prospecting, Vol.48, pp. 677-695.
- George, A.M. and Abong, A.A., 2014. DC Resistivity investigation of anisotropy and lateral effect using azimuthal offset wenner array. A case study of the University of Calabar, Nigeria. Journal of Environment and Earth Science, ISSN 2225-0948 (Online), Vol.4, No.1.
- LandMapper Manual, 2012. Measuring Electrical Properties of Natural Systems with LandMapper® ERM-02. 68 p. www.landvisor.com
- Odoh I.B. and Onwuemesi A.G. 2009. Estimation of anisotropic properties of fractures in Presco Campus of Ebonyi State University Abakaliki, Nigeria using azimuthal resistivity survey method. Journal of Geology and Mining Research, Vol. 1, No. 8, pp. 172-179.
- Osinowo, O.O., Akanji, A.O. and Akinmosin, A., 2011. Integrated geophysical and geotechnical investigation of the failed portion of a road in basement complex terrain, Southwest Nigeria. RMZ-Materials and Geo-Environment, Vol. 58, No. 2, pp. 143-162.

- Rasul, H., Karlson, C., Jamali, I., Earon, R. and Olofsson, B., 2015. Geophysical methods for road construction and maintenance. *Geophysical Research*, Vol. 17, EGU2015-10603, 2015 EGU.
- Sheriff, E. R., 2013. *Encyclopedic dictionary of applied geophysics*. Fourth edition.
- Slater, L.D., Wishart, D.N. and Gates, E.A., 2006. Self-potential improves characterization of hydraulically active fracture from azimuthal geoelectrical measurements. *Geophysical Res. Lett.*, 33, L17314.
- Taylor, R.W., and Fleming, A.H., 1988. Characterizing jointed systems by azimuthal resistivity surveys. *Journal of Ground water*, Vol. 26, pp. 464-474.
- Victor, E. and Mamah, L., 2014. Geophysical investigation of road failure the case of Opoji in Nigeria. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 5, Issue 1, pp.1769-1779.
- Watson, K.A. and Barker, R.D., 2002. Use the offset Wenner technique to characterize a single dipping interface. *European Journal of Environment and Engineering Geophysics*, Vol. 7, pp.103-120.
- Watson, K.A. and Barker, R.D., 1999. Differentiation anisotropy and lateral effects using azimuthal resistivity offset Wenner soundings. *Journal of Geophysics*, Vol. 64, pp. 739-745. www.iiste.org.