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

علي سعد الدين عباس الموالي
قسم هندسة المكامن النفطية
كلية هندسة النفط والتعدين
جامعة الموصل

مروان متعب
قسم هندسة التعدين
كلية هندسة النفط والتعدين
جامعة الموصل

محمد ياسين طه
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة
جامعة الموصل

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

الملخص

لغرض التعرف على طبيعة نطاق طبقة تحت الاساس (Sub-base) للطرق المنشأة، اجريت الدراسة الحالية في ستة مواقع (بردرش، روفيا، المحلبية 1 و2، الكوير وبعشيقة) 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 وبستة 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 مُثلت 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 الصخارية لمواد طبقة تحت الاساس 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 اسلوب الانحراف المعياري والتي تميز تأثير اللاتجانس للمكونات الصخارية.

الكلمات الدالة: الاتجاهية، المقاومية، المرتسمات الكارتيزية، الاهليليجي، التجانس، اللاتماثل.

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

Ali S. Abass Almwaly
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.

المقدمــة

تقع محافظة نينوى في الجزء الشمالي من العراق وتحدها محافظات دهوك شمالاً، اربيل شرقا، كركوك جنوب شرق، تكريت جنوبا والانبار في الجنوب الغربي وترتبط بشبكة من الطرق الرئيسة فضلا عن تفرعات من الطرق المحلية بين تسعة أقضية ثلاثة منها واقعة غربي نهر دجلة وستة منها شرقي النهر. تلعب مشاريع الطرق المعبدة دورا مهما 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 المقاومية الجيوكهربائية (Geoelectrical Resistivity Investigations) واحدة من الطرق الجيوفيزيائية سريعة التنفيذ وقليلة الكلفة وصديقة للبيئة وغير مدمرة (Non-Destructive Technology; NDT) والمستخدمة عالميا لتحديد التشققات والتخسفات تحت السطحية (Subsurface Fractures and Sinkholes) واتجاهاتها في الترب الطبيعية والأساسات الصخرية.

اعتمادا على الهدف الأساس للدراسة وبتوفر جهاز راسم المقاومية 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.

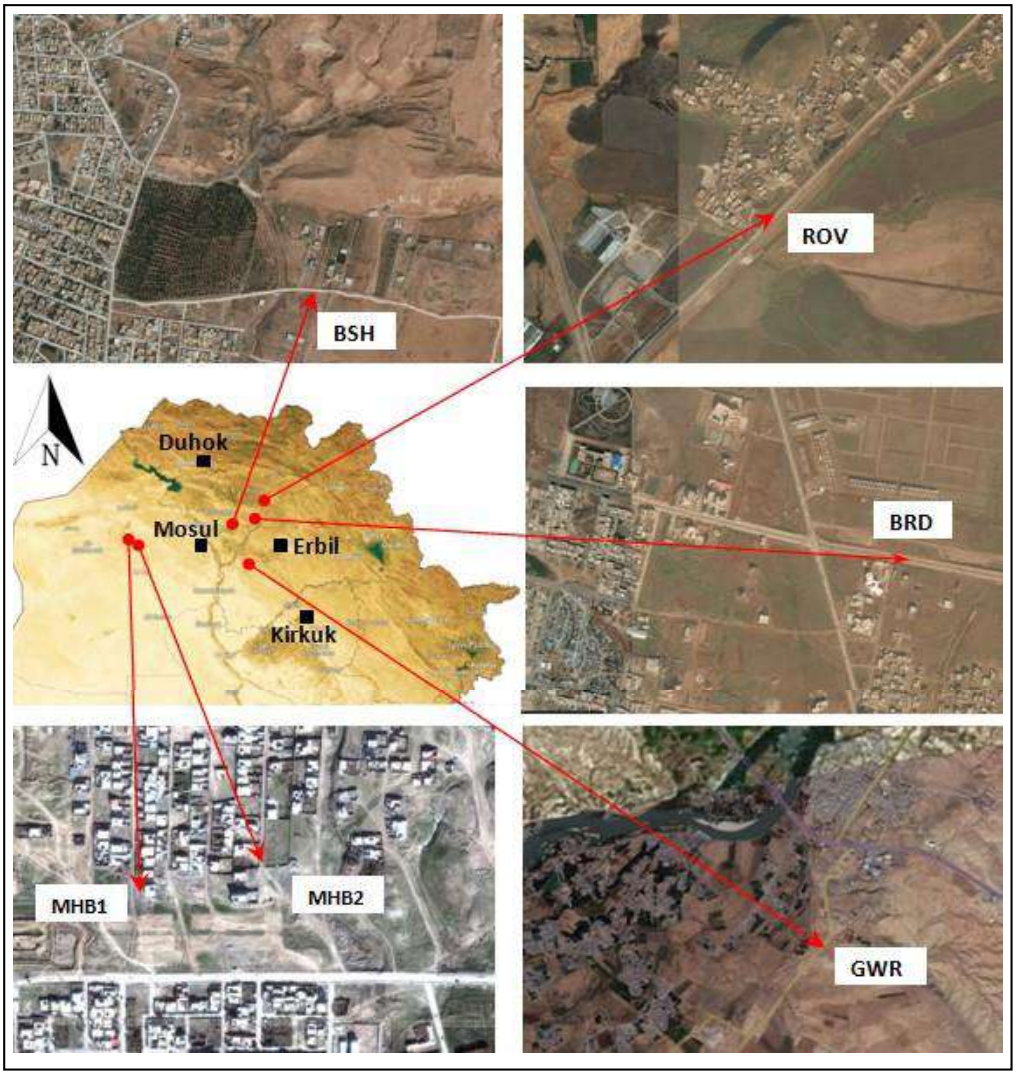
تعد الدراسة الحالية مشروعاً ريادياً يخص دراسة طبقة تحت الاساس الترابي (Sub-base Soil) المستهدفة في الدراسة الحالية. أشارت بعض المصادر المحلية والعالمية إلى بعض التطبيقات للتقنيات الجيوفيزيائية في هندسة الطرق والتي تخص طبقة التبليط (Pavement) وطبقة الاساس الترابي (Sub-grade).

أجرى متعب وآخرون (2018) مضاهاة بين معاملات المقاومية الكهربائية وبعض الخواص الهندسية لطبقة الأساس الترابي للطرق في محافظة نينوى، شمالي العراق. كما أجرى (Osinowo*et al.*, 2011) دراسة باستخدام تقنية التحري الجيوكهربائي المقاومي وباسلوب 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) موديلا تقريبيا لمقاومية 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) والى مرحلة الصيانة الدورية (Maintained Regularly)، حيث تعد من الطرق سريعة التنفيذ وقليلة الكلفة وغير المشوهة لمنطقة المشروع وذات نتائج متميزة وقد تقلل ايضا 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 اعتمادا 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 اعتمادا على المناطق الجغرافية وهي موقع بردرش (Bardarash site; BRD) وموقع روفيا (Rovya site; ROV) وموقع المحلبية (Mahalabiya 1and2 site; MHB1 and MHB2) وموقع الكوير (Gwair site; GWR) وبعشيقة (Bashiqa site; BSH) (الشكل 1).



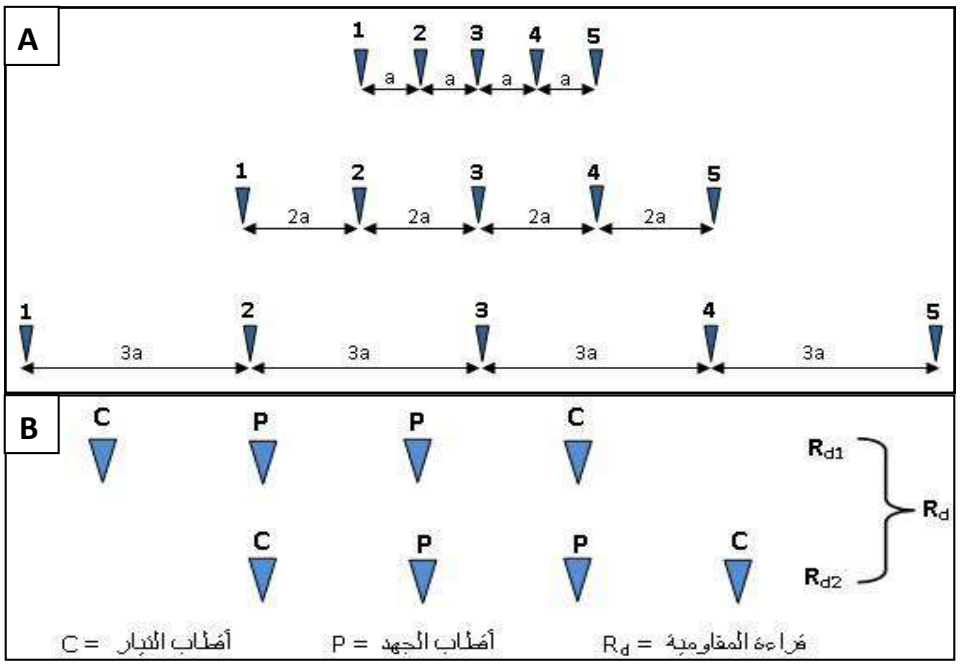
الشكل 1: الجزء الشمالي من العراق مثبتا عليه مواقع البحث.

منهجية البحث والقياسات الحقلية (Methodology and Field Observations)

لقد أوصت العديد من الدراسات العالمية الى ضرورة اعتماد تقنية المسح المقاومي الاتجاهي لتحديد وتقدير الاتجاهات الرئيسة للاتماثل الكهربائي (Electrical Anisotropy) على وفق كل من (Watson and Barker, 1999 and 2002; Boadu *et al*., 2005; Slater *et al*., 2006)، كما أشار (Sheriff, 2013) و (Odoh and Onwuemesi, 2009) الى أن الصخور غير المتماثلة تتغاير مقاوميتها مع اتجاه النشر. وبذلك فإن أي تغير ملحوظ في المقاومية الظاهرية مع الاتجاه يفسر دليلا على اللاتماثل و/ او عدم التجانس الجانبي (Lateral Variation Inhomogeneity).

يعد المسح الاتجاهي (ARS) تقنية معدّلة من طرق المسح المقاومي الجيوكهربائي حيث يتم بتدوير النشر حول مركزه وتسجيل قيم المقاومية 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 المقاومية الظاهرية (R_{d1} و R_{d2}) قبل

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



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

تعد المقاومية 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 المقاومية 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 المقاومية الظاهرية الطولية والمستعرضة.

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}} \dots\dots (1), \qquad \lambda_a = \frac{\rho_{aL}}{\rho_{aT}} \dots\dots (2)$$

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:

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

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.*, 2012; George and Abong, 2014).

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

جمعت بيانات المقاومية الكهربائية الحقلية باستخدام جهاز (LandMapper-ERM02) المطوّر 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 المقاومية الكهربائية. ويمتاز أيضاً بسرعته ودقته الفائقة (99%) في المسوحات الضحلة التفصيلية (0–10 متر) وذلك لحساسيته العالية للمقاومية الكهربائية والتغايرات الجانبية والعمودية (LandMapper, 2012).

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

تم تهيئة كافة مستلزمات العمل الحقلي 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) لتعيين الموقع الجغرافي لمناطق الدراسة ولتوثيق احداثيات نقاط المركز ومسارات الجس الكهربائي.

اجريت الدراسة الحالية في ستة مناطق متفرقة من محافظة نينوى اعتمادا على وجود مشاريع لطرق قيد الانجاز من قبل مديرية الطرق والجسور في محافظة نينوى، تم استخدام أسلوب واتسن–باركر لنشر الاقطاب في قياس المقاومية الكهربائية وتطبيق المسح المقاومي الاتجاهي. تم تثبيت الفاصلة القطبية بواقع ستة فواصل (0.25، 0.5، 0.75، 1.0، 1.25 و1.5 متر) اعتمادا على هدف الدراسة.

ابتدأ المسح الاتجاهي بأصغر فاصلة مسافية (0.25m) وباثني عشر اتجاها زاوياً مقداره (30°) فوق طبقة الركام (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° و180° بشكل عمودي على الطرق في كافة مواقع الدراسة بينما وضع اتجاهي 90° و270° بموازاة الطرق. وتم تسجيل القراءات الحقلية للمقاومة الاتجاهية (Azimuthal Resistances) (R_{d1} و R_{d2}) وكانت نقطة قياس R_{d2} الى 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 50كم شرقاً (الشكل 1) حيث تم اختيارها على طبقة تحت الاساس في مشروع طرق قيد الانجاز. يقع جبل بردرش الى غرب الطريق المدروس اذ تمثل ترسبات طبقة الاساس (Sub-grade) المواد المنقولة من اعالي الجبل المذكور.

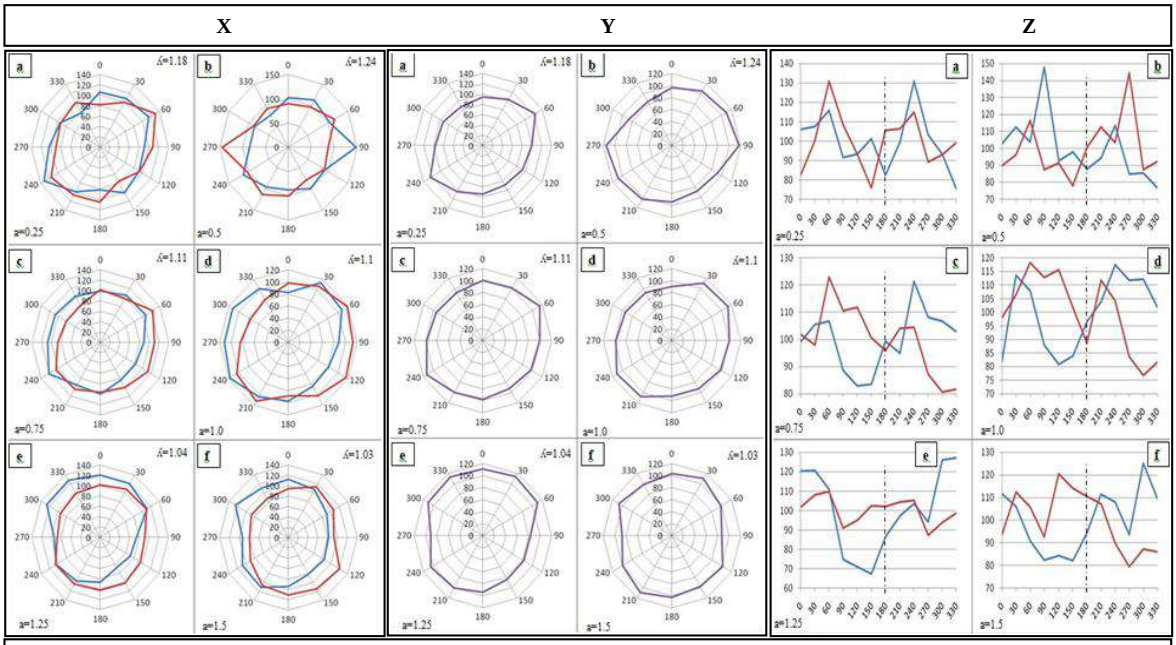
مُثلت قيم نسبة المقاومة الظاهرية (R_{d1}, R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرتسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بمفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الشكل (3-X، Y و Z) على التوالي.

يتضح مما تقدم وجود لاتماثل احتوائي ظاهري (Apparent Convoluted Anisotropy) متباين يكون أكثر وضوحا بسعة عظمى مقدارها 118% باتجاه (60°-240°) لكل من المسافتين 0.25 و0.75 بينما يقل وضوح اللاتماثل الالتفافي في الفاصلات القطبية الاخرى. حيث يصبح اتجاهها (90°-270°) في الفاصلة القطبية 0.5 متر بينما تكون باتجاه (30°-210°) للفواصل 1.0 و1.25 و1.5 متر على التوالي (الشكل 3-X).

أشار كل من (Watson and Barker, 1999) و (اقليمس، 2010) الى ان المرتسمات الكارتيزية تعمل على ازالة الالتباس الناتج بفعل اللاتماثل الحقيقي والظاهري والتمييز 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° - 180° فضلاً عن الزوايا التي تقع بين 180° - 360°. ان التشابه والاختلاف بين كلا المجموعتين بخصائص التردد والسعة والطور والانعكاس (Frequency, Amplitude, Phase and Inflection) للمرتسم الكارتيزي يمثل التمييز في اللاتماثل الاحتوائي الظاهري.

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



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

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 المقاومية الكهربائية مع اتجاهات النشر تكون نتيجة للتغايرات الجانبية (Heterogeneity) أكثر من تأثير اللاتماثل الكهربائي الناتج بفعل وجود الشقوق، كما وتشير قيم المقاومية 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	*inhomogeneity*
	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	*Anisotropy*
	0.5	1.3	E-W	0.56	*Inhomogeneity*
	0.75	1.13	N-S	0.94	
	1	1.9	NW-SE	1.93	*Anisotropy*
	1.25	1.03	NE-SW	0.59	*Inhomogeneity*
	1.5	1.45	N-S	0.77	
MHB1	0.25	1.14	NE-SW	0.39	*Inhomogeneity*
	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	*Inhomogeneity*
	0.5	1.11	NE-SW	0.55	
	0.75	1.07	NE-SW	0.87	
	1	1.09	NW-SE	1.02	*Anisotropy*
	1.25	1.05	NW-SE	1.39	
	1.5	1.08	NW-SE	0.72	*Inhomogeneity*
GWR	0.25	1.87	N-S	1.05	*Anisotropy*
	0.5	1.31	NW-SE	0.51	*Inhomogeneity*
	0.75	1.35	N-S	0.7	
	1	1.86	NW-SE	1.85	*Anisotropy*
	1.25	1.06	NE-SW	0.49	*Inhomogeneity*
	1.5	1.38	N-S	0.68	
BSH	0.25	1.87	N-S	1.05	*anisotropy*
	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 الاساس في مشروع طرق قيد الانجاز على الطريق الرئيسي الرابط بين مدينتي الموصل وعقرة (الشكل 1). مُثلت قيم نسبة المقاومة الظاهرية (R_{d1}, R_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرتسمات كارتيزية لاتجاهات النشر بفاصلات مسافية متعددة وكما موضحة في الاشكال (X−4 و Y و Z) على التوالي.

تشير المرتسمات 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 X−4). 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 و0.75 و1.5 متر في الاتجاه 0°−180° وبقيمة لاتماثلية بلغت 1.13 في الفاصلة 0.75متر بينما تطابقت قيمة اللاتماثل في الفاصلات 0.25 و1.5 متر لتبلغ 1.45 (الشكل 4−X−a، c وf). يتضح تغاير اتجاهات المحور الاعظم للمقاومة المقاسة في الشكل (4−X−b، d وe) للفاصلات القطبية 0.5 و1.0 و1.25 متر حيث سجلت باتجاه 90°−270° و150°−330° و30°−210°، وقد بلغت قيمها اللاتماثلية 1.3 و1.9 و1.03 على التوالي.

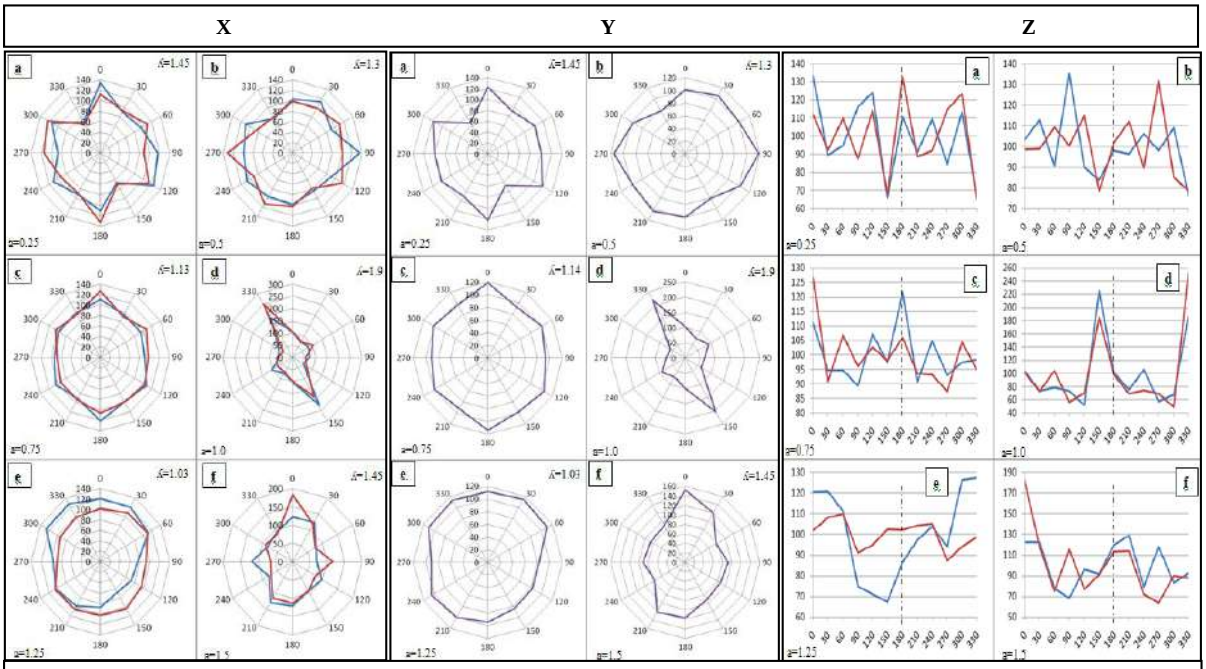
تظهر المخططات القطبية لقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) بشكل إهليلجي قريب الى الدائري للفاصلات القطبية (0.5 و0.75 و1.25) متر (الشكل 4−Y−b،c وe)، وبتغير اتجاهي المحور الاعظم للأشكال الإهليجية للفواصل القطبية سابقة الذكر من الاتجاه (90°−270°) عند الفاصلة القطبية 0.5 متر الى الاتجاه (0°−180°) عند الفاصلة القطبية التالية بفارق اتجاهي يبلغ 90°. يتجه المحور الاعظم عند الفاصلة القطبية 1.25 متر بالاتجاه (30°−210°) مما يعكس تغاير 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−a،d وf) لموقع روفيا تغايرا في نمط الشكل الإهليجي واتجاهه ايضا بتعقيد أكثر من سابقتها، حيث يتجه المحور الاعظم للشكل الإهليجي عند الفاصلة القطبية الاولى (0.25 متر) باتجاه 0°−180° ويظهر الشكل الإهليجي انضغاطاً واضحا وبشكل معقد نسبيا في الفاصلة القطبية 1.0 متر باتجاه 150°− 330°.

يتضح من تصرف المخططات القطبية لقيم المقاومة المعدلية، وجود تغاير مقاومي مع العمق واتجاه النشر ويظهر بشكل واضح بتغاير قيم (λ) وقد يعزى ذلك الى تأثير أنظمة معقدة ومتراكبة من الشقوق وباتجاهات متعاكسة ومتراكبة من جهة والى التغاير 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 اتجاهاً وعمقاً حيث يتبين من المرتسم الكارتيزي (الشكل 4−Z−a،d) للفاصلات القطبية 0.25 و1.0 متر وبقيمة (λ) (1.45 و1.9) على التوالي، وجود لاتماثل متجانس (homogeneous anisotropic) للوسط المستكشف نوعا ما ويظهر ذلك بالتقارب الجزئي لنمط تصرف المنحنيين مع الاتجاه لنسبة المقاومة المقاسة R_{d1} وR_{d2}. تبلغ اقصى نسبة للمقاومة الاتجاهية عند الاتجاه 0°− 180° عند الفاصلة القطبية 0.25 متر وبقيمة قصوى لكل من R_{d1} و R_{d2} باتجاه 150°− 330° عند الفاصلة القطبية 1.0 متر مشيرة بذلك الى اتجاه اللاتماثل العمودي المتراكب (الشكل 4−Z−a،d)، بمقارنة قيم معامل اللاتماثل عند الفاصلات القطبية 0.25 و 1.0متر مع قيم دليل التجانس (HI) للفاصلات القطبية نفسها والتي كانت 1.01 و 1.93 يتضح أن التغاير المقاومي عند هذه الاعماق ناتج من تأثير اللاتماثل المتجانس اكثر من تأثير التغايرات الجانبية إشارة الى قيمة دليل التجانس HI > 1 (الجدول 1).

يظهر الشكل (4−Z−b،c،f) تصرفا متذبذبا 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 اللاتماثل. يعزى الاختلاف في تصرف المنحنى الكارتيزي غير المنتظم الى تأثير التغايرات الجانبية او الانضغاط التدريجي للمواد

المكونة لطبقات الطريق، كما يظهر تأثير اللاتجانس واضحا من قيم دليل التجانس في والتي كانت على التوالي (0.5 و0.94 و0.77) في حين يقل التصرف التذبذبي في الطور للمنحنيات الكارتيزية عند الفاصلة القطبية 1.25 متر مع وجود فرق واضح بين قيم المقاومة R_{d1} وR_{d2}. بالإشارة الى قيم (λ) و HI للفاصلة القطبية 1.25متر، يظهر تأثير التغايرات الجانبية على قيم المقاومة في الاتجاهات كافة عدا الاتجاهين (240°–60°) حيث تتساوى قيم المقاومة عندها (الشكل 4–e–Z). 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°–330°) درجة في حين كانت اقل نسبة لها (1.03) عند الفاصلة القطبية 1.25 متر وباتجاه (30°–210°) وبحسب (Bayewu *et al.*, 2014) فإن القيم العالية لمعامل اللاتماثل تنتج من وجود شقوق بأنظمة معقدة ومتراكبة.



الشكل 4: X، Y، Z تمثل المخططات القطبية لقيم (R_{d1}, R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرتسمات الكارتيزية على التوالي لموقع روفيا.

- **موقع المحلبية–1 (Mhalabiya; MHB-1)**

تقع نقطة المسح المقاومي الاتجاهي في مركز ناحية المحلبية على مسافة 40كم 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 المحلبية–1، حيث يلاحظ في الشكل (a–X–5) وجود تناغم محوري أعظم في الاتجاه °30–°210 في الفاصلة القطبية 0.25متر ويتكرر التطابق ذاته في سعة قيم R_{d1} وR_{d2} عند الفاصلات 0.5 و0.75 متر بينما كانت باتجاه (°60–°240) في الفاصلة 1.0 متر في الشكل (b–X–5 وc وd) على التوالي. اما الفواصل القطبية 1.25 و1.5 متر فيوضح الشكل (e–X–5 و f) اختلاف قيم سعة المقاومة النسبية المقاسة مع اختلاف طوري معكوس واضح بين R_{d1} وR_{d2} على الرغم من تطابق اتجاه المحور الاعظم مع الفاصلات القطبية السابقة والتي كانت باتجاه (°30–°210).

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 و0.5 (الشكل a–Y–5 وb) وبنفس قيم معامل اللاتماثل (1.14) مما يدل على عدم وجود تغاير يذكر عند هذه الاعماق وقد كانت اعلى نسبة للمقاومة المقاسة R_{d1} وR_{d2} في الاتجاه (°30–°210). تقترب المخططات القطبية للفاصلات 0.75 و1.0 متر الى الشكل الدائري أكثر من الإهليجي (الشكل c–Y–5 وd) وبقيمة وبفارق صغير جدا في اللاتماثلية بلغ 0.01، حيث كانت قيم اللاتماثل 1.01 و1.02 على التوالي. تزداد قيم اللاتماثل بزيادة الفاصلة القطبية (1.25 و1.5) لتبلغ على التوالي 1.05 و1.14، وتنعكس هذه الزيادة في اللاتماثل على نمط المخططات الإهليجية للفاصلتين الاخيرتين وباختلاف واضح في النمط والسعة (الشكل e–Y–5 وf).

يشير الجدول (1) الى قيم معامل اللاتماثل المحسوبة على وفق المعادلة (2) ودليل التجانس المحسوب وفقا للمعادلة (3) لجميع الفواصل القطبية وبالاتجاهات كافة، وقد انحصرت (λ) بين (1.01 – 1.14) مما تشير الى 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 المحلبية–1 فضلا عن الانضغاط التدريجي للمواد المكونة للانطقة واختلافها مع العمق.

تظهر المرتسمات الكارتيزية تصرفاً غير منتظم في السعة مع تشابه جزئي في الطور على الرغم من عدم انتظامه حيث يظهر الانقلاب في قيم المقاومية بعد الاتجاه °150 للفاصلة القطبية 0.25 متر (الشكل a–Z–5) والتي تعكس نقطة التقاطع (Cross-Over point)، كما يتضح عدم انتظام السعات ايضا في المرتسم الكارتيزي للفاصلة القطبية 0.5 متر (الشكل b–Z–5) والتشابه الجزئي في الطور رغم انقلاب المقاومية عند نقطة التقاطع (°90).

- **موقع المحلبية–2 (Mhalabiya-2;MHB2)**

تقع نقطة المسح المقاومي بالقرب من موقع المحلبية–1 في مركز ناحية المحلبية (الشكل 1) حيث مُثلت قيم R_{d1} وR_{d2} على هيئة مخططات ومرتسمات قطبية اتجاهية وكارتيزية فضلا عن تمثيل قيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية ايضاً.

يوضح الشكل (X–6) ستة مرتسمات قطبية لمسح نسب المقاومة الاتجاهي في موقع المحلبية–2، اذ يلاحظ في الشكل (a–X–6) تباين في سعة قيم R_{d1} وR_{d2} عند الفاصلة القطبية 0.25متر وباتجاه محوري

أعظم (°30–°210)، مع اختلاف واضح في نمط الشكل الإهليجي. يتناغم الاتجاه المحوري الاعظم في الاتجاه (°60–°240) بزيادة الفاصلة القطبية (0.5 متر) مع تطابق جزئي لسعة نسب المقاومة المقاسة فضلا عن انتظام تقريب في الشكل الإهليجي لنسب المقاومة (الشكل 6–b). يظهر عدم الانتظام في الشكل الإهليجي في الفاصلة القطبية 0.75متر (الشكل 6–c) باتجاه °30–°210 وبشكل متطابق معكوس، كما ويظهر عدم الانتظام في الشكل القطبي (6–d) عند الفاصلة القطبية 1.0 متر مع تطابق السعات في بعض الاتجاهات السمتية. يوضح الشكل (6–e وf) زيادة التعقيد والتراكب في الانماط القطبية في الفاصلة القطبية 1.25 و1.5 متر على التوالي، حيث يلاحظ عدم انتظام الشكل الاهليجي واختلاف سعة نسب المقاومة في اتجاهات متعددة.

يوضح الشكل (6–Y) المخططات القطبية المعدلية لنسب المقاومة الاتجاهي حيث يظهر فيها تغاير نمط الشكل الإهليجي المنتظم تقريبا في الفاصلات القطبية 0.25 و0.5 متر (الشكل 6–Y a وb)، الى انماطا غير منتظمة عند الفاصلات القطبية 0.75 و1.0متر (الشكل 6–Y c وd). يزداد تعقيد المخططات القطبية بزيادة الفاصلات القطبية لتتراكب عند 1.25 و1.5 متر كما في الشكل (6–Y e وf).

يتضح مما تقدم تداخل وتراكب تأثير عدم التجانس مع تأثير اللاتماثل عند الفاصلات القطبية 1.0 و1.25 و1.5 متر والذي قد يعزى الى تداخل ترسبات طبقة الاساس مع ترسبات التربة نتيجة لازدياد الضغط التدريجي مع وجود التغاير الليثولوجي بين النطاقين.

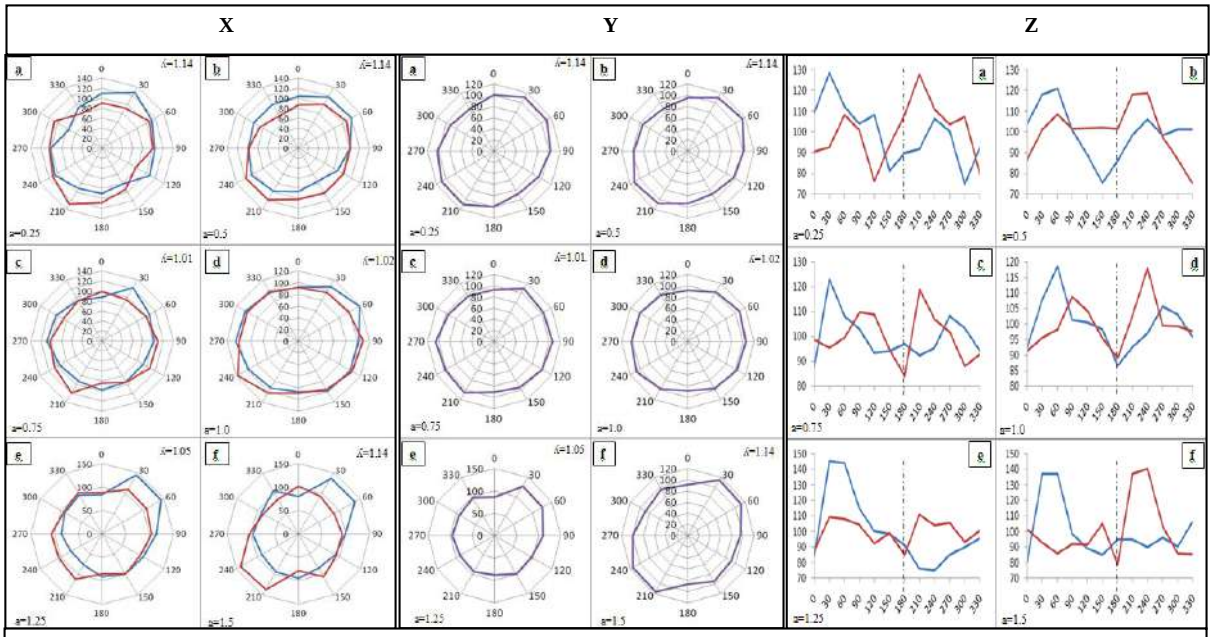
يمثل الجدول (1) قيم اللاتماثل ودليل التجانس لموقع المحلبية–2، اذ يلاحظ من قراءة قيم (λ) المحصورة بين 1.11 – 1.05 أن هنالك تأثير ضعيف في سلوك اللاتماثل الكهربائي الناتج من التشققات بشكل طفيف مع العمق.

يعكس الشكل (6–Z) المرتسمات الكارتيزية الستة لموقع المحلبية–2، حيث يشير الشكل (6–a Z) للفاصلة القطبية 0.25 متر الى وجود تغاير واضح في الطور لمعظم الاتجاهات مع اختلاف في السعة في جميع الاتجاهات تقريبا. تم قياس اعلى مقاومة R_{d1} (120 Ω) عند الاتجاه °30 في حين كانت اعلى قيمة للمقاومة R_{d2} (133 Ω) في اتجاه °210. على وفق (Busby, 2000) يستدل من خلال الاتجاهات العظمى لنسب المقاومة المقاسة على اتجاه أعظم تغاير جانبي من قيمة دليل التجانس اقل من 1.0، حيث كانت HI=0.4 في الفاصلة القطبية 0.25 متر و0.52 للفاصلة 0.5 متر بينما بلغ دليل التجانس 0.85 عند الفاصلة 0.75 متر.

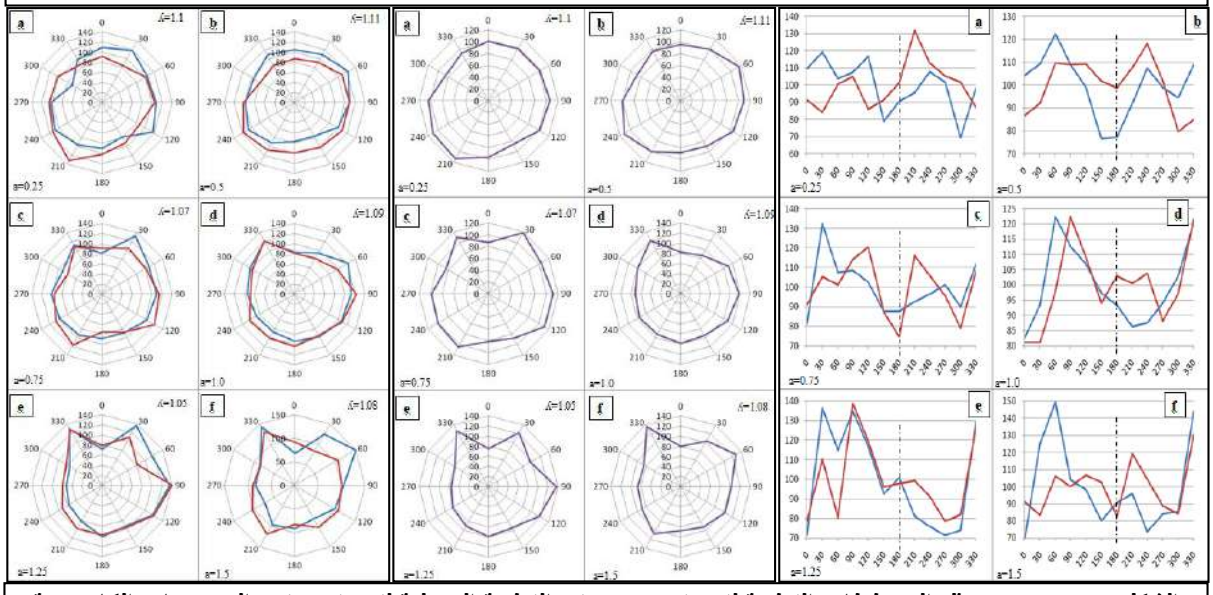
تشير المنحنيات الكارتيزية للفاصلة القطبية 0.5 متر (الشكل 6–Z b) الى التشابه الطوري التقريبي مع بقاء اختلاف السعة بتغير اتجاه النشر، ويظهر ايضا تغير موقع نقطة التقاطع كما في الفاصلة القطبية السابقة والتي تتساوى عندها قيم المقاومية الى الاتجاهين °90 و°270 وقد بلغت (100/110 اوم) على التوالي والذي يكون بموازاة الطريق وبقيمة لاتماثلية بلغت 1.11، فضلاً عن التطابق النسبي الملحوظ في تسجيل اعلى قيمة لنسب المقاومة الاتجاهي (R_{d1} وR_{d2}) في اتجاهين متعاكسين (°60 و°240) على التوالي. يظهر المرتسم الكارتيزي للفاصلة القطبية 0.75 متر (الشكل 6–Z c) اختلافاً واضحاً في الطور والسعة مع تغيير اتجاه النشر كما تتقاطع المنحنيات الكارتيزية في خمسة مواقع مشيرة الى تذبذب قيم المقاوميات 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 التغاير الجانبي الغير منتظم يقابلها انخفاضاً في قيمة معامل اللاتماثل (1.07) عما كانت عليه في الفاصلات القطبية السابقة.

يمثل الشكل (6-Z،d،e) المرتسم الكارتيزي للفاصلات القطبية 1.0 و1.25 متر وبفارق بسيط جداً في قيمة معامل اللاتماثل (1.09 و1.05) على التوالي، حيث يظهر التشابه في الطور وتقارب السعة بين منحنيات نسب المقاومة في الفاصلتين مع وجود زحف في قيم R_{d1} وR_{d2} مع اتجاه النشر. سجلت أعظم مقاومة (124 اوم) في الاتجاه 60° و90° لقيم R_{d1} وR_{d2} على التوالي عند الفاصلة القطبية 1.0 متر، بينما اختلفت قيمة المقاومة العظمى للفاصلة القطبية 1.25متر لتكون (135 اوم) في الاتجاه 30°/90° على التوالي.



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



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

تزداد نسبة الانضغاط التدريجي للمواد مع التغايرات الجانبية بزيادة العمق ويظهر ذلك عند الفاصلة القطبية 1.5متر، حيث يلاحظ اختلافا متميزا في الطور والسعة للمنحنيات الكارتيزية مع اتجاهات النشر (الشكل f–Z–6). كما ويعزز دليل التجانس (0.72) ومعامل اللاتماثل (1.08) تأثير التغايرات الجانبية والانضغاط التدريجي للترسبات تحت نقطة القياس والتي ادت الى تشوه الشكل الإهليجي بشكل واضح في المخططات القطبية لقيمة المقاومية R_{d1} وR_{d2} وR_{dm} (الشكل f–X–6) و (الشكل f–Y–6) وقد يعزى ذلك الى تراكب تأثير التغاير الليثولوجي والجانبي 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 الاساس 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} وR_{d2}) وقيم المقاومة المعدلية (R_{dm}) على هيئة مخططات قطبية اتجاهية ومرتسمات 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 مرتسمات قطبية للمسح النسبي للمقاومة الاتجاهي في موقع الكوير، اذ يلاحظ عدم انتظام الاشكال الإهليجية لقيم (Rd_1 وRd_2) في جميع الفاصلات القطبية في هذا الموقع. فضلا عن التطابق المعكوس ماعدا الفاصلة القطبية 1.25متر (الشكل e–X–7) والذي يظهر اختلافا بسيطا في التطابق العكسي عن الانماط القطبية للفاصلات الاخرى.

تشير الاشكال (a–X–7، c وf) الى وجود تناغم محوري أعظم في الاتجاه °0–°180 في الفاصلات القطبية 0.25 و0.75 و1.5 متر على التوالي، بينما يكون التناغم المحوري الاعظم في الفاصلة 1.0 متر في اتجاه °150–°330 (الشكل d–X–7). يظهر الاختلاف في سعات نسب المقاومة المقاسة في الاتجاه °90–°270 في الفاصلات القطبية 0.25 و1.5 متر ويكون في الاتجاه °120–°300 في الفاصلات القطبية 0.5 و0.75 متر وفي الاتجاه (الاشكال a–X–7 وf، b–X–7 وc).

تبرز اتجاهات اللاتماثل بشكل واضح في المخطط القطبي لقيم المقاومة المعدلية R_{dm} (الشكل Y–7–a) وباتجاهين (180/0)° و(300/120)° وبقيمة لاتماثلية 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 تغاير المقاومية 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 التغاير الجانبي والانضغاط التدريجي للمواد على وفق (Busby, 2000; George and Abong, 2014).

يتضح من المخطط القطبي المعدلي للفاصلة القطبية 0.75 متر (الشكل c–Y–7) اتجاه التغاير الجانبي باتجاهين مختلفين (180/0)° و (300/120)° اشارة اختلاف التغايرات الجانبية في اتجاهين مختلفين وبدليل

تجانس بلغ 0.7، يعزى سبب عدم انتظام تصرف مرتسمات القيم المقاسة الى عدم تجانس تأثير التغايرات 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 ْ330/150 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 التغايرات الجانبية كما هو واضح من التطابق النسبي في الشكل الإهليجي الحاد في اتجاهات النشر لقيم المقاومات النسبية في المخطط القطبي لقياسات R_{d1} وR_{d2} (الشكل 7−X−d).

يتضح من الشكل (7−Y−e و f) عدم انتظام المخطط القطبي لقيم المقاومة المعدلية في الفاصلة القطبية 1.25 و1.5 متر، وبالرجوع الى معامل اللاتماثل (1.06 و1.38) وبدليل تجانسي بلغ (0.49 و0.68) يتضح ان عدم الانتظام الإهليجي واختلافات السعة يعزى الى تأثير التغاير 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 1.25متر.

يعكس الشكل (7−Z) ستة مرتسمات كارتيزية لقيم نسب المقاومة المقاسة (R_{d1} وR_{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 التغاير 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 المقاومية المقاسة عند الفاصلة القطبية 0.75 متر، ويظهر اختلافاً في تصرف قيم المقاومية R_{d1} وR_{d2} بشكل واضح من مقارنة اطوار وسعات المنحنيات الناتجة منها والمحصورة عند الاتجاهات (°60−°180) و (°240−°330) 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 التغايرات الجانبية في بقية الاتجاهات. يظهر التوافق الجزئي لقيم R_{d1} وR_{d2} بشكل واضح في المرتسم الكارتيزي للفاصلة القطبية 1.0متر، حيث ترتفع وتنخفض قيم المقاومة (R_{d1} وR_{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-Z-d).

تظهر المرتسمات الكارتيزية للفاصلات القطبية 1.25 و1.5 متر (الشكل 7-Z-e وf) ان الارض لا تتصف باللاتماثل بل يعزى عدم الانتظام في قياسات المقاومة (R_{d1} وR_{d2}) مع الاتجاهات السمتية الى التغايرات الجانبية في المقاومة. ويبدو في المرتسم الكارتيزي للفاصلة 1.25 متر أن اقصى تغاير بيني قيم المقاومة (R_{d1} وR_{d2}) المقاسة عند الاتجاهات °60 و°120 مع ظهور عدة نقاط تقاطع وهي على التوالي 30 و80 و140 و150 و205 و260 و310 درجة. بينما كانت نقاط التقاطع للمرتسم الكارتيزي للفاصلة القطبية 1.5 متر عند الاتجاهات 50 و65 و110 و240 و285 درجة وسجل أكبر فرق بين (R_{d1} وR_{d2}) عند الاتجاه 270/90 درجة وقد كانت قيمة اللاتماثل 1.06 و1.38 على التوالي للفاصلات المذكورة، في حين حسبت قيمة دليل التجانس لهما وكانت على التوالي 0.49 و0.68 مشيرة الى تأثير التغايرات الجانبية للمقاومية بشكل غير متجانس مع اتجاهات النشر.

- **موقع بعشيقة (Bashiqa; BSH).**

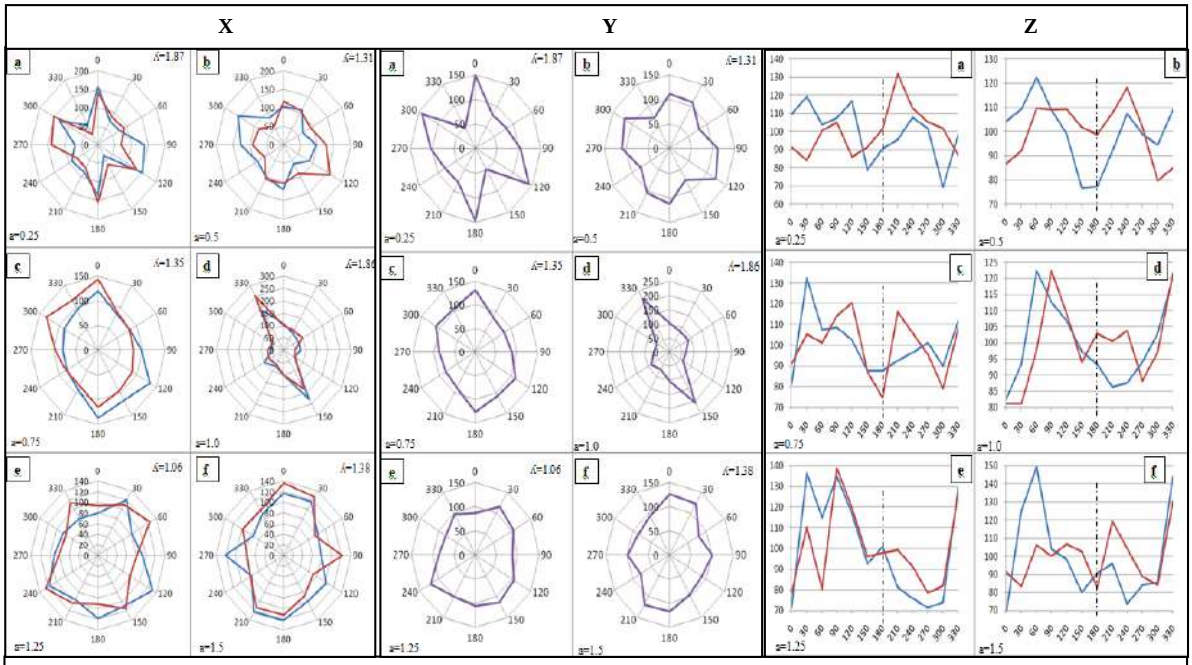
تقع نقطة القياس المقاومي الاتجاهي في ناحية بعشيقة وعلى طبقة تحت الاساس للطريق الرابط بين مركز الناحية وقرية آجي جوخ غرب نهر الخازر شمالي شرق مدينة الموصل (الشكل 1). يقع جبل بعشيقة غرب نقطة المسح اذ تمثل ترسبات طبقتي الاساس وتحت الاساس المواد المنقولة من اعالي الجبل المذكور.

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

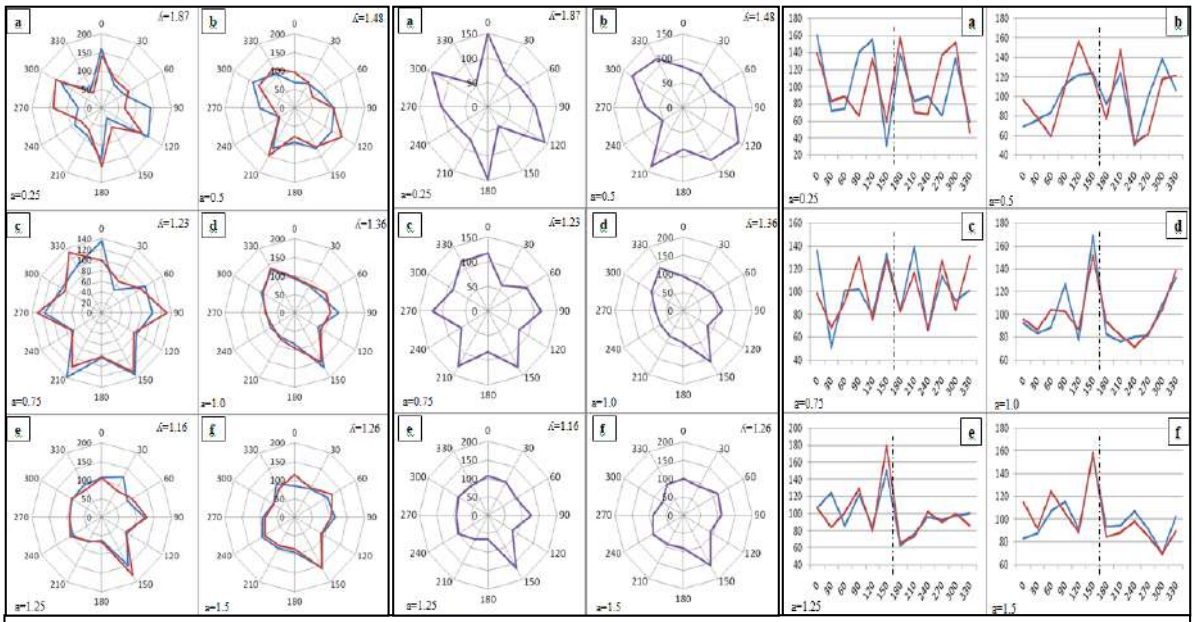
يوضح الجدول (1) قيم معامل اللاتماثل ودليل التجانس المحسوبة لنقطة القياس في موقع بعشيقة للفواصل القطبية كافة على وفق التعابير الرياضية (1 و2 و3) والتي يمكن ان تعطي تصورا اوليا لمدى تأثير العاملين المذكورين على قياسات المقاومة النسبية المقاسة.

يوضح الشكل (8-X) ستة مخططات قطبية لمسح نسب المقاومة الاتجاهي (Rd_1 وRd_2) في موقع بعشيقة، اذ يلاحظ وجود تناغم محوري اعظم في الاتجاه (°0-°180) وتناغم جزئي في الاتجاه (°120-°300). تختلف سعة المقاومة عند الاتجاه (°90-°270) 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 و1.05 على التوالي. يظهر التطابق العكسي في الشكل (8-X-b) حول الاتجاه المحوري (°30-°210) في الفاصلة القطبية 0.5 متر وبعامل لاتماثلي 1.48 بينما كان دليل التجانس 1.29، وكان اتجاه أعظم مقاومة (°120-°300). 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 التغايرات الجانبية كما هو واضح من التطابق النسبي في الشكل الإهليجي الحاد في اتجاهات النشر لقيم المقاومات النسبية. يظهر الانطباق شبه التام لتصرف مرتسمات المقاومة النسبية (R_{d1} و R_{d2}) في الاشكال (8-X-d و e و f) في الفاصلات القطبية 1.0 و 1.25 و1.5 متر على التوالي، وبالرغم من عدم انتظام الاهليلج 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).



الشكل 7: Z،Y،X تمثل المخططات القطبية لقيم (R_{d1}, R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرتسمات الكارتيزية على التوالي لموقع الكوير.



الشكل 8: Z،Y،X تمثل المخططات القطبية ولقيم (R_{d1}, R_{d2}) والقطبية المعدلية لقيم (R_{dm}) و المرتسمات الكارتيزية على التوالي لموقع بعشيقة.

يلاحظ في الشكل (8–Y) التأثير المترافق للاتماثل 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 التغايرات الجانبية وزيادة نسبة اللاتماثل الى عدم التجانس يمكن اعتبار التأثير ناتج

من اللاتماثل غير المتجانس (Inhomogeneously Anisotropic). يمثل الشكل (8–Z) المرتسمات الكارتيزية لموقع بعشيقة حيث تظهر منحنيات الفاصلة 0.25متر تطابقا واضحا بالطور والسعة مع ازاحة بسيطة في الاتجاه (90° –270°) الموازي لاتجاه الطريق، ويلاحظ تصرف نسب المقاومة المقاسة (R_{d1} وR_{d2}) بالارتفاع والهبوط معاً وبتوافق جزئي مع اتجاه النشر بشكل واضح في الشكل (8–a–Z). سجلت اعلى مقاومة مقاسة عند اتجاهين مختلفين (0°–180°) و (120°–300°) 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 ارتفاعا وهبوطا متناغماً الا ان تأثير اللاتماثل يظهر مترافقا بتأثير عدم التجانس ويبدو واضحا 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 التغايرات نتيجة اللاتماثل وتلك الناتجة من عدم التجانس متساوية. تظهر المنحنيات الكارتيزية للفاصلة القطبية 0.5 متر في الشكل (8–b–Z) توافقاً طوريا للقيم المقاسة مع اتجاهات النشر عدا الانعكاس الطوري عند الاتجاه (0°) مع الاخذ بنظر الاعتبار اختلاف السعة مع الاتجاه.

يظهر تأثير عدم التجانس واضحا على المرتسم الكارتيزي للفاصلة القطبية 0.75متر ليتراكب تأثير التغايرات 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–c–Z).

يشير المرتسم الكارتيزي للفاصلات القطبية 1.0 و1.25 و1.5 متر (الشكل 8–d–Z وe وf) الى استمرار التناغم الطوري بالإضافة الى التوافق في السعة مع اتجاهات النشر رغم وجود اختلاف طوري عند الاتجاه 45° للفاصلة القطبية 1.25 متر، وقد كانت اعلى قيمة للمقاومة عند الاتجاه 150° للفاصلات القطبية الثلاثة وكانت قيم معامل اللاتماثل 1.36 و1.66 و1.38 بينما كانت قيم دليل التجانس 2.1 و1.54 و1.64 للفاصلات القطبية المذكورة على التوالي.

الاستنتاجات

أظهرت نتائج الدراسة الحالية لطبقة تحت الاساس لطرق مختارة في محافظة نينوى إمكانية استخدام تقنية ARS باستعمال ترتيب واتسن–باركر خماسي الاقطاب في تحديد التغايرات 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 شكلا اهليليجيا 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 تغايرا 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 وART قبل عملية اكساء الطرق بطبقة التبليط فضلا عن استخدامها لأعمال الصيانة الدورية لدورها البارز في الكشف عن مقدار اللاتماثل وتحديده وايجاد مناطق التغايرات الجانبية غير المتجانسة المتسببة في رداءة الطرق وحدوث التخسفات والتشققات فيها.

المصادر العربية

إقليمس، يوسف فرنسيس 2010. مسح مقاومي سمتي عميق في سهل القوش–عين سفني/ شمال العراق. أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، 146 صفحة.

متعب، مروان، طه، محمد ياسين وصلاح الدين، نبراس 2018. امكانية استخدام المقاومة الارضية في تقدير بعض المعاملات الهندسية لطبقة الاساس الترابي، محافظة نينوى. المجلة العراقية لعلوم الارض، المجلد 18، العدد1، 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.