

## تقنيات جديدة للمقاومة الاتجاهية في دراسة كسور الترسبات الحديثة لمواقع مختارة قرب سد الموصل

مروان متعب  
قسم هندسة النفط والتكرير

محمود سلمان أحمد الفاضل  
قسم هندسة المكامن النفطية

كلية هندسة النفط والتعدين  
جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2020/1/23 ، تاريخ القبول 2020/5/2)

### الملخص

شملت الدراسة الحالية تطبيق أسلوب جديد في المسح الاتجاهي وذلك بالتقاط قيم المقاومة الظاهرية من المقطع التصويري الكاذب في سبعة مستويات عميقة ولتسعة اتجاهات بزاوية  $20^\circ$  حول النقطة المركزية الوسطية لطول نشر مقداره 200 مترا. يتألف النظام الذي سمي بنظام متعب والفاضل الاتجاهي من ثلاثة أنماط لترتيب الأقطاب الأول تقنية المقاومة الشعاعي الاتجاهي الذي يشمل قياسات المقاومة ( $\rho D1$  &  $\rho D2$ )، والثاني تقنية المقاومة ألتجاهي الأمامي المتضمن قياسات المقاومة ( $\rho D0$  &  $\rho D2$ ) والثالث تقنية المقاومة الاتجاهي الخلفي لقياسات المقاومة ( $\rho D1$  &  $\rho D0$ ).

استخدمت آلية جديدة في الدراسة الحالية تضمنت سلسلة من الخطوات لمعايرة فواصل القياس للنشر المستخدم مع مستويات العمق الظاهري ووسط عمق الاختراق وذلك لعدم امكانية التقاط قيم المقاومة لمستويات العمق الحقيقي من مقاطع التصوير المقاومي الكهربائي لوجود مدى تدرج طيفي واسع للألوان، فضلا عن عدم وجود مضاهاة لقيم المستويات العميقة مع الفواصل القطبية في برنامج تفسير بيانات مسح المقاومة الكهربائية ثنائي البعد (RES2DINV). بناء على ما تقدم فقد حددت ثلاثة قيم لمستويات العمق الظاهري المفقودة مع تأكيد تطابق قيم تلك المستويات الموجودة في مقاطع التصوير الكهربائي للفواصل القطبية الثمانية والمستويات المفقودة.

تم تمثيل البيانات باستخدام التقنيات الشعاعية والامامية والخلفية في موقعين باستخدام مرسمات المنحنيات القطبية والمخططات الكارتيزية الاتجاهية وفق الآليات المستخدمة في الدراسات والبحوث العالمية والمحلية من خلال تحديد قيم واتجاهات اللاتماثل الكهربائي لرواسب العصر الرباعي والطبقات العليا من تكوين الفتحة المايوسيني في منطقة الدراسة الحالية.

أبرزت الدراسة الحالية نجاحاً واضحاً في تطبيق نظام متعب والفاضل بالمضاهاة بين آلياته الثلاث والتي استنبطت ظهور عدد من الاتجاهات لمضارب كسور شديدة وقصية أولية وثانوية في موقعين قرب جسم سد الموصل والتي تخترق الرواسب النهرية والظومية للعصر الرباعي.

**الكلمات الدالة:** الاتجاهي، اللاتماثل الكهربائي، سد الموصل، المقاومة الكهربائية.

## New Azimuthal Resistance Techniques in the Study of Fractures of the Recent Deposition for Selected Sites near Mosul Dam

Mahmood Salman Al-Fadhel

Marwan Mutib

Reservoir Engineering Dept.

Petroleum & Refining Engineering Dept.

College of Petroleum and Mining Engineering

University of Mosul

### ABSTRACT

The present study involves applying a new system by picking the apparent resistivity values from the pseudo-tomography at seven depth's levels and nine orientations with an angle of 20 ° around the mid central point of a 200 m array lengths. The system, which is called the Azimuth Mutib and Al-Fadhel System (AMAS), consists of three types of the electrode arrangement patterns, the first is the Azimuthal Radial Resistance Technique (ARRT) for measurements of resistivity ( $\rho_{D1}$  &  $\rho_{D2}$ ), the second is the Azimuthal Forward Resistance Technique (AFRT) for measurements of resistivity ( $\rho_{D0}$  &  $\rho_{D2}$ ), and the third is the Backward Resistance Technique (ABRT) for measurements of resistivity ( $\rho_{D0}$  &  $\rho_{D1}$ ).

A new mechanism is used in this study that includes a series of calibration steps of the electrode spacing intervals with the apparent depth's levels and median of the depth of investigation, due to the inability of picking the resistivity values of the true depth's levels from electrical resistivity imaging because there is a wide spectral gradient range of colors. As well, the absence of correlating the values of the depth's levels with the electrode spacing in the RES2DINV software. Accordingly, three values were determined for the missing apparent depth's levels with confirmation of the accordant values of the eight levels of the tomography.

The data of the ART are represented using radial, forward and backward techniques at four sites using polar graphs and Cartesian curves. According to the mechanisms used in global and local studies and researches, the results are analyzed and for determining the values and trends of the electrical anisotropy for Quaternary deposits and the upper layers of Fatha Formation in the present study area.

The study displays a notable success in applying AMAS by matching between its three mechanisms and deduced the presence of six directions for the strikes of tension and shear fractures (primary and secondary) at two sites near the Mosul Dam penetrating fluvial and alluvial deposits of the Quaternary age.

**Keywords:** Azimuth, Anisotropy, Dam, Mosul, Resistivity Imaging.

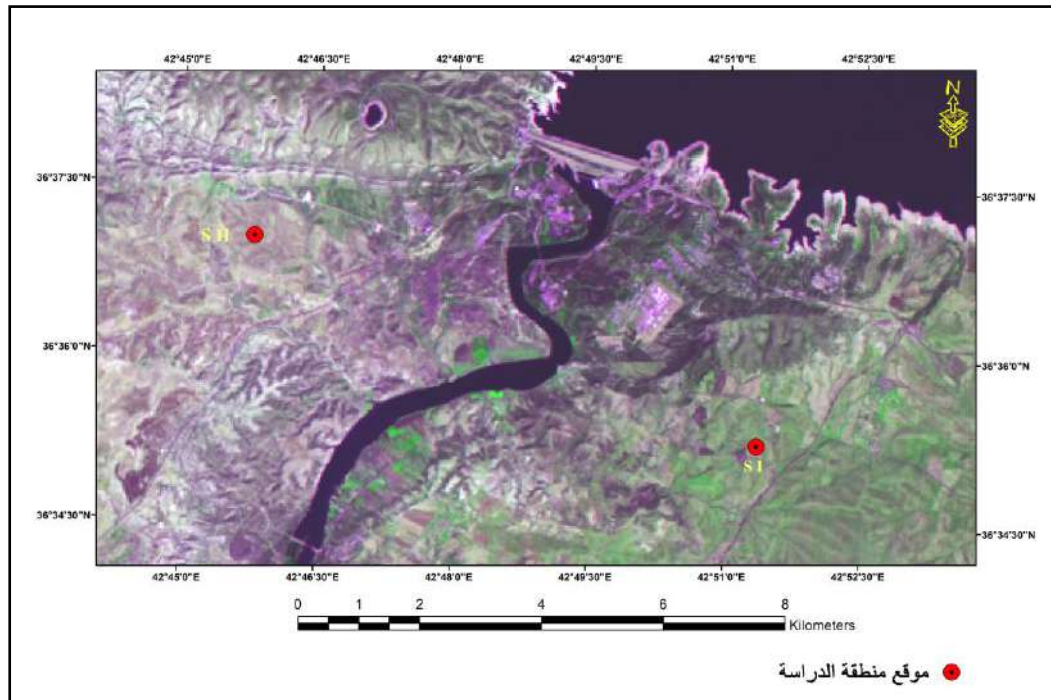
### المقدمة

إن من أهم التحديات في طريقة الجس المقاومي هي عدم الأخذ بالاعتبار التغيرات الجانبية للمقاومية لما تحت سطح الأرض وذلك من خلال ثبات مركز الترتيب وتحريك الأقطاب إلى الخارج. وبهدف إيجاد الموديل الأكثر دقة لما تحت سطح الأرض، يتم استخدام طريقة تمثيل النتائج بشكل ثنائي البعد ( Two dimensional Sequential overlapping model; 2DM ) من خلال تحريك الأقطاب الأربعة بأسلوب متداخل متسلسل ( approach )

يعرف اللاتماثل الكهربائي (Electric Anisotropy) بخاصية الصخور التي تظهر قياسات مختلفة لقيم المقاومة عند أخذ القراءات باتجاهات متنوعة إذ تمثل طريقة المقاومة الاتجاهية أسلوباً محسناً لتقدير مقدار واتجاه اللاتماثل الكهربائي (George and Abong, 2014). في هذه التقنية يتم تدوير الأقطاب حول مركزها وتسجل قيمة المقاومة الظاهرية باتجاهات مختلفة حيث يعتقد بشكل عام إن اللاتماثل الكهربائي ينتج بفعل الكسور المليئة بالمحاليل (fluid-filled fractures) أو المواد المهشمة. أوضح (Sheriff, 2013) ان الصخور ذات اللاتماثل الكهربائي هي التي تكون ذات قياس اتجاهي (Vector measurement) بقيم مقاومات متغايرة اتجاهياً.

بين (Asare et al., 2015) ان اللاتماثل تحت السطحي يعكس الظواهر التركيبية المتمثلة بأنظمة الكسور والتطبق (Layering) والفوالق (Faults) والفواصل (Joints) كما أشار إلى أهمية اللاتماثل في المشاكل الهندسية والجيوتكنيكية (Engineering and geotechnical problems) والتطبيقات الهيدروجيولوجية والبيئية (Hydrogeological and environmental practice)، فضلاً عن الأهمية الاقتصادية في النفط والحرارة الأرضية وخزانات مصادر المياه (Geothermal and water supply reservoirs) وانتشار الملوثات الكيميائية (Chemical contaminants). أشار (Ungbesan et al., 2012) من خلال استخدام المسح المقاوم الاتجاهي إلى أن أي تغير ملحوظ في المقاومة الظاهرية يمكن تفسيره على أنه لا تماثلية بسبب الكسور (Fracture anisotropy) وذلك لأن المسار الكهربائي وحركة المياه الجوفية كلاهما يتمان من خلال الكسور في الصخور.

تقع منطقة تطبيق البحث الحالي (Study Area) في موقعين (Two sites) على بعد 60 كيلومتراً شمال مدينة الموصل على جانبي نهر دجلة قرب جسم سد الموصل (الشكل 1).



الشكل 1: موقع تطبيق البحث الحالي (Study Area) للتقنيات الاتجاهية الجديدة

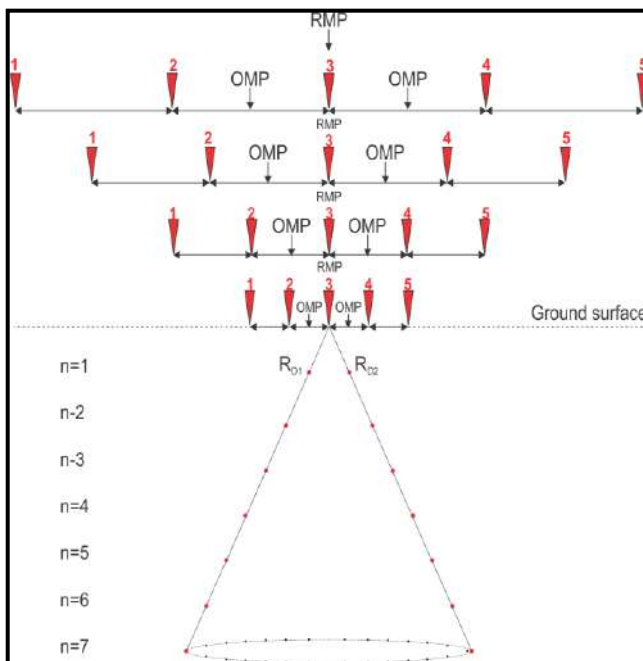
بفعل العوامل التضاريسية ومرور نهر دجلة ترسبت المصاطب النهرية والترسبات الطموية (Alluvial accumulations) التي تعكس ترسبات العصر الرباعي الموجودة ضمن مساحة واسعة من منطقة الدراسة وتكون بشكل عدم توافق زاوي (Angular unconformity) مع ترسبات تكوين الفتحة بسبب فقدان تكويني انجانة وياي حسن، حيث تمثل المنطقة الترسبات الفيضية والطموية لأقدام الجبال والتي تتكون من أنواع مختلفة من الحصى والرمل وفتات الحجر الجيري والطيني المختلفة الأشكال والمتكتلة والصلبة أحيانا.

### منهجية البحث وجمع البيانات الحقلية

#### مسح المقاومة الاتجاهية (Azimuthal Resistance Survey):

#### 1- مسح واتسن وباركر الاتجاهي (Azimuthal Watson-Barker Survey):

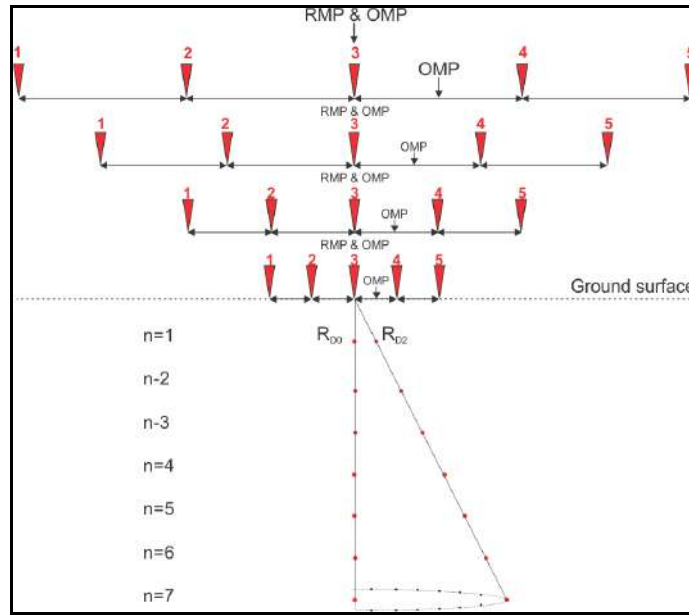
أشار (Watson and Barker, 1999, 2005, 2010) إلى أن هذا المسح يعتمد على مفهوم الجس الكهربائي احادي البعد (1D Electrical Sounding survey) في قياس المقاومة الكهربائية (Electric Resistance) وذلك بتحويل ترتيب ونر الازاخي (Offset Wenner array) المكون من خمسة أقطاب مع تحريكهم بفاصلة مسافية متساوية (a) ومضاعفاتها (1a, 2a, 3a, 4a...etc.). كما يشترط هذا المسح الثبات الدائم لموقع قطب الجهد الثالث (P3) والذي يمثل النقطة الوسطية الدورانية (Rotational Mid Point; RMP). تمثل القياسات للأقطاب الأربعة الأولى الواقعة إلى يسار المسح (Left four electrodes) قيم المقاومة الأولى (RD1)، أما الأقطاب اليمينية الأربعة (Right four electrodes) فتعكس قيم المقاومة (RD2). وبذلك تكون مواقع القيم المقاسة على شكل مخروط تلتقي على سطح الأرض وتشكل قاعدة دائرية عندما تكون فاصلة النشر في أقصى قيمة وذلك ناتج بفعل تغير مواقع النقاط الوسطية المقاسة (Observational Mid Points; OMP) وكما يوضح الشكل (2). إن تحليل التصرف النسبي (Analysis of the relative behavior) لـ (RD2, RD1) كدالة للاتجاه بزواوية مناسبة والفاصلة القطبية يمكن إن تميز بين اللاتماثل الحقيقي والكاذب (True and Pseudoanisotropy).



الشكل 2: محور وفق الدراسة الحالية  
عن مسح واتسن وباركر الاتجاهي  
(Watson and Barker, 2010)

## 2- مسح متعب واقليمس ألتجاهي (Azimuthal Mutib- Eclimes Survey)

يعتمد هذا النظام على التطبيق الذي قاما به متعب واقليمس (2012) في تسجيل قيم المقاومة ( $R_{D0}$ ) باستخدام ترتيب ونر الجسي التقليدي وذلك بتحريك الأقطاب الخارجية الأربعة بفاصلة متساوية (a) ومضاعفاتها ( $1a, 2a, 3a, 4a...etc.$ ) مع ثبات مركز الترتيب. أما المقاومة ( $R_{D2}$ ) فتمثل قياس الأقطاب اليمينية الأربعة بإزاحة الترتيب بالفاصلة القطبية للمستويات الاختراقية المطلوبة مع الأخذ بنظر الاعتبار تطابق موقعي النقاط الوسطية المقروءة (OMP) مع النقطة الوسطية الدورانية (RMP) في قياس  $R_{D0}$  وافتراقهما في قياس  $R_{D2}$  كما يلاحظ في الشكل (3) والذي يبين أسلوب نشر نظام متعب-اقليمس على سطح الأرض ومحطتي الجس (Sounding station) ومواقع القياسات الجسية المتعاقبة (Sequential measurements sounding) للمقاومة الظاهرية العمقية الكاذبة (Pseudo-depth).

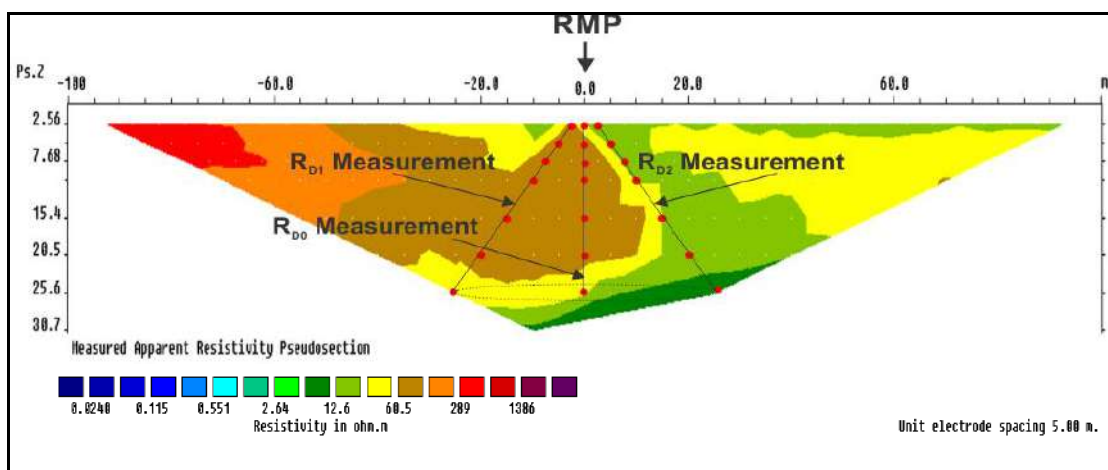


الشكل 3: محور عن مسح متعب واقليمس الألتجاهي (2012) وفق الدراسة الحالية.

## 3- نظام متعب والفاضل ألتجاهي AMAS (Azimuthal Mutib and Al-Fadhel System)

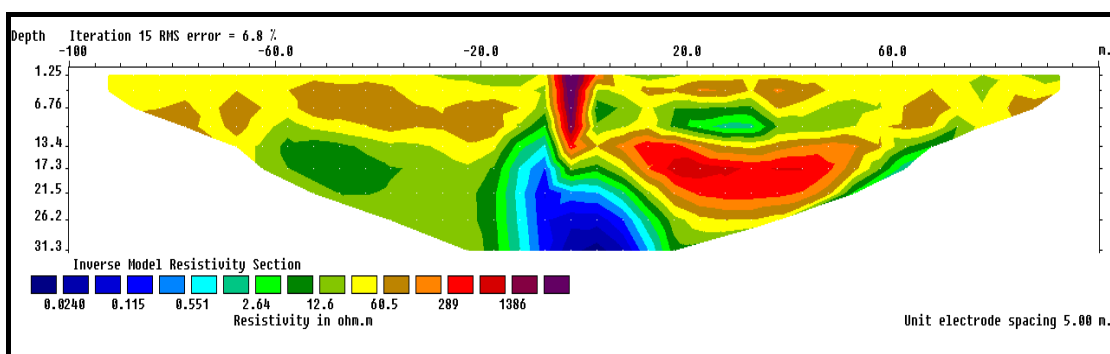
تم تطبيق هذا النظام في الدراسة الحالية ولأول مرة عالمياً وذلك بالنقاط (Picking) قيم المقاومة ( $\rho_{D0}$ ,  $\rho_{D1}$  &  $\rho_{D2}$ ) من المقطع التصويري الكاذب (Pseudo-tomography)، إذ تمثل المقاومة المقاسة ( $\rho_{D0}$ ) تحت مركز خط النشر (0) للأقطاب الأربعة المحيطة والذي يمثل النقطة الوسطية المقروءة (OMP) والنقطة الوسطية الدورانية (RMP) وبمستويات متعددة. بينما تعكس المقاومة ( $\rho_{D2}$  &  $\rho_{D1}$ ) القيم اليسارية واليمينية بثبات القطب الثالث ولفواصل متعددة ( $1a, 2a, 3a, etc.$ ) بنظام مسح واتسن باركر. وبتدوير المقطع التصويري المقاومي حول النقطة الوسطية الدورانية، يتم الحصول على قيم المقاومة الظاهرية المذكورة اعلاه بهيئة مخروط رأسه المدبب في النقطة الوسطية الدورانية والقاعدة الدائرية في أعماق مستوى من المقاطع التصويرية الاتجاهية (Azimuthal tomography) للمستوى الأعماق للجس المقاومي ثنائي البعد (2D-Resistivity sounding). ويوضح الشكل (4) احد المقاطع التصويرية للمقاومية الكهربائية في منطقة الدراسة وطريقة النقاط القيم ومواقعها العمقية، إذ يتألف نظام متعب والفاضل الألتجاهي من ثلاثة أنماط لترتيب الأقطاب (Electrode

(arrangement pattern), الاول هو مسح باركر واتسن الاتجاهي من الان فصاعدا (Henceforth) يطلق عليه مسح المقاومة الشعاعي الاتجاهي (Azimuthal Radiation Resistance Survey) الذي يشمل قياسات المقاومة الظاهرية ( $\rho_{D2}$  &  $\rho_{D1}$ ) والثاني مسح متعب اقليمس الاتجاهي (من الان فصاعدا يطلق عليه مسح المقاومة الاتجاهي الامامي (Azimuthal Forward Resistance Survey) والمتضمن قياسات المقاومة ( $\rho_{D0}$  &  $\rho_{D2}$ )، والثالث مسح المقاومة الاتجاهي الخلفي (Azimuthal Backward Resistance Survey) لقياسات المقاومة الظاهرية ( $\rho_{D0}$  &  $\rho_{D1}$ ). اضافة الى ما تقدم يوضح الشكل (4) مستويات العمق الظاهري (Apparent Depth Level; ADL) في موقع SI.



الشكل 4: نظام متعب والفاضل الاتجاهي الجديد (AMAS) لنموذج مقطعي تصويري للمقاومية ومستويات العمق الظاهري (ADL) في موقع SI من الدراسة الحالية.

كما يبين الشكل (5) مستويات العمق الحقيقي (True Depth Levels; TDL) لنفس الموقع السابق لمقطع تصويري مقاومي كهربائي محسوب باستخدام برنامج RES2DINV. ولعدم امكانية التقاط قيم المقاومة لمستويات العمق الحقيقي من مقاطع التصوير المقاومي الكهربائي لوجود مدى تدرج طيفي واسع للألوان (Wide spectrum range) في البرنامج المستخدم أعلاه، فقد تم ايجاد الية مستحدثة وفق الدراسة الحالية تتضمن سلسلة من الخطوات التي تؤدي الى معايرة فواصل القياس (a) مع مستويات العمق الظاهري والمحور ( $MDL_i$ ) وكما يوضح الجدول (1).



الشكل 5: مقطع تصويري مقاومي كهربائي في موقع SI من الدراسة الحالية يبين مستويات العمق الحقيقي ( $TDL_i$ ).

تم استخدام المعادلة (1) في تحديد قيم عوامل معايرة العمق (Calibration Depth Factor:  $CDF_i$ ) وكما يوضح الجدول (1).

$$CDF_i = TDL_i / ADL_i \dots \dots \dots (1)$$

ومن ثم تم استنباط القيمة المعدلية لعوامل معايرة العمق ( $CDF_M$ ) والتي تساوي 1.016 وتم حساب قيم مستويات العمق المحور باستعمال المعادلة (2).

$$MDL_i = ADL_i \times CDF_M \dots \dots \dots (2)$$

الجدول 1: تحديد الفواصل القطبية (a) للمستويات العمقية الظاهرية ( $ADL_i$ ) واوساط عمق التحري ( $Z_e$ ) لمقاطع التصوير المقاومي في نظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) وفق الدراسة الحالية.

| $ADL_i$ | $TDL_i$ | $CDF_i$ | $MDL_i(Z_e)$ | DC1   | DC2    | $ADL_i$ | a(m) |
|---------|---------|---------|--------------|-------|--------|---------|------|
| -----   | -----   | -----   | 2.60         | 0.173 | 0.1707 | 2.56    | 5    |
| -----   | -----   | -----   | 5.20         | 0.173 | 0.1707 | 5.12    | 10   |
| 7.68    | 6.76    | 0.88    | 7.80         | 0.173 | 0.1707 | 7.68    | 15   |
| -----   | -----   | -----   | 10.40        | 0.173 | 0.1707 | 10.24   | 20   |
| 15.40   | 17.30   | 1.123   | 15.60        | 0.173 | 0.1707 | 15.40   | 30   |
| 20.50   | 21.50   | 1.048   | 20.80        | 0.173 | 0.1707 | 20.50   | 40   |
| 25.60   | 26.20   | 1.023   | 26.00        | 0.173 | 0.1707 | 25.60   | 50   |
| 30.70   | 31.30   | 1.0099  | 31.20        | 0.173 | 0.1707 | 30.7    | 60   |

وبمقارنة مفهوم قيم العمق المحور السابق مع ما ذكر من قبل في (Loke, 2018) يتضح أنها تمثل قيم الوسط العمقي للتحري ( $Z_e$ ; Median Depth of Investigation)، إذ تم تأكيد ذلك وفق الدراسة الحالية من خلال إجراء حساب حاصل قسمة هذه القيم على الطول الكلي لنشر ونر الاعتيادي (Total length of Wenner Alpha array; L) المستخدم في الدراسة الحالية. بعبارة أخرى فإن  $Z_e/L$  يمكن ان تحدد قيمة المعامل الوزني لعمق التحري (Depth Coefficient; DC1) والتي تكرت في المصدر السابق بمقدار 0.173. كما تم حساب المعامل الوزني للعمق الظاهري (DC2).

واستنادا إلى المعلومات السابقة فقد تم تحديد ثلاثة قيم لمستويات العمق الظاهري المفقودة مع تأكيد تطابق قيم تلك المستويات الموجودة في مقاطع التصوير الكهربائي للفواصل القطبية الثمانية والمستويات المفقودة.

#### - آلية التقاط البيانات الحقلية (Picking mechanism of field data)

اعتمدت آلية التقاط المسح المقاومي الاتجاهي على بيانات مقاطع التصوير المقاومي الكهربائي المقاسة حقليا في موقعي SI و SII بتسعة اتجاهات حول النقطة المركزية وذلك بتطبيق نظام متعب والفاضل الاتجاهي المذكور سابقا، إذ تم استخدام البرنامج الحاسوبي (RES2DINV) باختيار أيقونة ملف قراءة البيانات (Reading data file) والذي يحدد موقع الملف المراد قراءته متضمنا مجموعة البيانات المقاسة حقليا. تشمل تلك البيانات مواقع الأقطاب بين المسافات 100 و 100- مترا لواحد وأربعين قطبا بفاصلة قطبية 5 أمتار، إضافة إلى قيم المقاومة الظاهرية المحسوبة آليا من حاصل ضرب العامل الهندسي ( $2\pi a$ ; Geometric factor) مع المقاومة الكهربائية (Electric resistance) وبترتيب ونر الاعتيادي. ويوضح الجدول (2) نموذجا للبيانات المقاسة حقليا في موقع الدراسة الحالية في الاتجاه شمال-جنوب في SI.

الجدول 2: نموذج للبيانات المقاسة حقليا لمقطع تصويري اتجاه شمال-جنوب في موقع SI.

| Measurement center (m) | Electrodes spacing (m) | $\rho_a(\Omega.m)$ | Measurement center (m) | Electrodes spacing (m) | $\rho_a(\Omega.m)$ |
|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| -92.50                 | 5.00                   | 28.44              | -45.00                 | 10.00                  | 31.32              |
| -87.50                 | 5.00                   | 24.88              | -40.00                 | 10.00                  | 35.84              |
| -82.50                 | 5.00                   | 28.68              | -35.00                 | 10.00                  | 35.71              |
| -77.50                 | 5.00                   | 24.15              | -30.00                 | 10.00                  | 32.98              |
| -72.50                 | 5.00                   | 25.05              | -25.00                 | 10.00                  | 33.97              |
| -67.50                 | 5.00                   | 29.32              | -20.00                 | 10.00                  | 37.40              |
| -62.50                 | 5.00                   | 19.61              | -15.00                 | 10.00                  | 17.59              |
| -57.50                 | 5.00                   | 29.14              | -10.00                 | 10.00                  | 16.99              |
| -52.50                 | 5.00                   | 23.53              | -5.00                  | 10.00                  | 229.00             |
| -47.50                 | 5.00                   | 21.04              | 0.00                   | 10.00                  | 217.32             |
| -42.50                 | 5.00                   | 24.41              | 5.00                   | 10.00                  | 102.79             |
| -37.50                 | 5.00                   | 22.40              | 10.00                  | 10.00                  | 95.48              |
| -32.50                 | 5.00                   | 21.74              | 15.00                  | 10.00                  | 210.74             |
| -27.50                 | 5.00                   | 22.26              | 20.00                  | 10.00                  | 187.11             |
| -22.50                 | 5.00                   | 22.41              | 25.00                  | 10.00                  | 179.06             |
| -17.50                 | 5.00                   | 22.97              | 30.00                  | 10.00                  | 161.76             |
| -12.50                 | 5.00                   | 24.28              | 35.00                  | 10.00                  | 130.81             |
| -7.50                  | 5.00                   | 10.05              | 40.00                  | 10.00                  | 114.20             |
| -2.50                  | 5.00                   | 242.82             | 45.00                  | 10.00                  | 124.64             |
| 2.50                   | 5.00                   | 89.87              | 50.00                  | 10.00                  | 110.04             |
| 7.50                   | 5.00                   | 217.74             | 55.00                  | 10.00                  | 96.72              |
| 12.50                  | 5.00                   | 176.85             | 60.00                  | 10.00                  | 100.19             |
| 17.50                  | 5.00                   | 182.09             | 65.00                  | 10.00                  | 83.87              |
| 22.50                  | 5.00                   | 142.63             | 70.00                  | 10.00                  | 64.06              |
| 27.50                  | 5.00                   | 119.23             | 75.00                  | 10.00                  | 58.51              |
| 32.50                  | 5.00                   | 98.66              | 80.00                  | 10.00                  | 57.54              |
| 37.50                  | 5.00                   | 68.87              | 85.00                  | 10.00                  | 56.40              |
| 42.50                  | 5.00                   | 69.24              | -77.50                 | 15.00                  | 46.30              |
| 47.50                  | 5.00                   | 79.05              | -72.50                 | 15.00                  | 43.88              |
| 52.50                  | 5.00                   | 58.94              | -67.50                 | 15.00                  | 42.90              |
| 57.50                  | 5.00                   | 66.98              | -62.50                 | 15.00                  | 43.69              |
| 62.50                  | 5.00                   | 54.99              | -57.50                 | 15.00                  | 42.79              |
| 67.50                  | 5.00                   | 40.29              | -52.50                 | 15.00                  | 43.53              |
| 72.50                  | 5.00                   | 37.24              | -47.50                 | 15.00                  | 42.37              |
| 77.50                  | 5.00                   | 32.45              | -42.50                 | 15.00                  | 44.51              |
| 82.50                  | 5.00                   | 34.38              | -37.50                 | 15.00                  | 44.00              |
| 87.50                  | 5.00                   | 31.42              | -32.50                 | 15.00                  | 43.92              |
| 92.50                  | 5.00                   | 31.79              | -27.50                 | 15.00                  | 45.25              |
| -85.00                 | 10.00                  | 39.23              | -22.50                 | 15.00                  | 18.58              |
| -80.00                 | 10.00                  | 36.67              | -17.50                 | 15.00                  | 20.76              |
| -75.00                 | 10.00                  | 38.01              | -12.50                 | 15.00                  | 22.73              |
| -70.00                 | 10.00                  | 36.09              | -7.50                  | 15.00                  | 205.31             |



|        |       |       |       |       |        |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| -65.00 | 10.00 | 33.26 | -2.50 | 15.00 | 189.17 |
| -60.00 | 10.00 | 34.44 | 2.50  | 15.00 | 190.37 |
| -55.00 | 10.00 | 38.14 | 7.50  | 15.00 | 92.42  |
| -50.00 | 10.00 | 32.60 | 12.50 | 15.00 | 90.38  |

يتبع ←

| Measurement center (m) | Electrodes spacing (m) | a( $\Omega$ .m) | Measurement center (m) | Electrodes spacing (m) | a( $\Omega$ .m) |
|------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| 17.50                  | 15.00                  | 92.09           | -30.00                 | 30.00                  | 22.42           |
| 22.50                  | 15.00                  | 212.21          | -25.00                 | 30.00                  | 24.46           |
| 27.50                  | 15.00                  | 178.35          | -20.00                 | 30.00                  | 26.93           |
| 32.50                  | 15.00                  | 160.37          | -15.00                 | 30.00                  | 118.88          |
| 37.50                  | 15.00                  | 139.28          | -10.00                 | 30.00                  | 115.39          |
| 42.50                  | 15.00                  | 131.55          | -5.00                  | 30.00                  | 126.89          |
| 47.50                  | 15.00                  | 137.42          | 0.00                   | 30.00                  | 130.89          |
| 52.50                  | 15.00                  | 145.72          | 5.00                   | 30.00                  | 125.13          |
| 57.50                  | 15.00                  | 128.60          | 10.00                  | 30.00                  | 120.65          |
| 62.50                  | 15.00                  | 113.68          | 15.00                  | 30.00                  | 74.96           |
| 67.50                  | 15.00                  | 92.72           | 20.00                  | 30.00                  | 61.36           |
| 72.50                  | 15.00                  | 77.53           | 25.00                  | 30.00                  | 50.44           |
| 77.50                  | 15.00                  | 73.68           | 30.00                  | 30.00                  | 45.35           |
| -70.00                 | 20.00                  | 49.06           | 35.00                  | 30.00                  | 42.38           |
| -65.00                 | 20.00                  | 48.27           | 40.00                  | 30.00                  | 32.41           |
| -60.00                 | 20.00                  | 50.02           | 45.00                  | 30.00                  | 122.51          |
| -55.00                 | 20.00                  | 47.15           | 50.00                  | 30.00                  | 116.34          |
| -50.00                 | 20.00                  | 53.06           | 55.00                  | 30.00                  | 122.77          |
| -45.00                 | 20.00                  | 50.53           | -40.00                 | 40.00                  | 27.15           |
| -40.00                 | 20.00                  | 49.30           | -35.00                 | 40.00                  | 24.05           |
| -35.00                 | 20.00                  | 52.18           | -30.00                 | 40.00                  | 29.88           |
| -30.00                 | 20.00                  | 19.00           | -25.00                 | 40.00                  | 32.61           |
| -25.00                 | 20.00                  | 20.72           | -20.00                 | 40.00                  | 89.74           |
| -20.00                 | 20.00                  | 23.85           | -15.00                 | 40.00                  | 89.92           |
| -10.00                 | 20.00                  | 173.95          | -10.00                 | 40.00                  | 87.98           |
| -5.00                  | 20.00                  | 167.15          | -5.00                  | 40.00                  | 86.24           |
| 0.00                   | 20.00                  | 165.27          | 0.00                   | 40.00                  | 78.30           |
| 5.00                   | 20.00                  | 159.19          | 5.00                   | 40.00                  | 63.89           |
| 10.00                  | 20.00                  | 96.49           | 10.00                  | 40.00                  | 48.41           |
| 15.00                  | 20.00                  | 99.99           | 15.00                  | 40.00                  | 22.58           |
| 20.00                  | 20.00                  | 89.63           | 20.00                  | 40.00                  | 47.19           |
| 25.00                  | 20.00                  | 78.05           | 25.00                  | 40.00                  | 43.48           |
| 30.00                  | 20.00                  | 159.31          | 30.00                  | 40.00                  | 40.29           |
| 35.00                  | 20.00                  | 141.81          | 35.00                  | 40.00                  | 32.40           |
| 40.00                  | 20.00                  | 141.44          | 40.00                  | 40.00                  | 25.40           |
| 45.00                  | 20.00                  | 132.16          | -25.00                 | 50.00                  | 66.40           |
| 50.00                  | 20.00                  | 149.87          | -20.00                 | 50.00                  | 61.17           |

|        |       |        |        |       |       |
|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 55.00  | 20.00 | 154.62 | -15.00 | 50.00 | 58.90 |
| 60.00  | 20.00 | 135.08 | -10.00 | 50.00 | 48.84 |
| 65.00  | 20.00 | 122.69 | -5.00  | 50.00 | 46.00 |
| 70.00  | 20.00 | 97.56  | 0.00   | 50.00 | 35.95 |
| -55.00 | 30.00 | 58.47  | 5.00   | 50.00 | 20.98 |
| -50.00 | 30.00 | 55.88  | 25.00  | 50.00 | 36.56 |
| -45.00 | 30.00 | 24.40  | -10.00 | 60.00 | 29.76 |
| -40.00 | 30.00 | 21.30  | -5.00  | 60.00 | 16.57 |
| -35.00 | 30.00 | 22.46  |        |       |       |

يبين الجدول السابق قيم المقاومة الظاهرية ( $\rho_a$ ) ومراكز القياس (Measurement centers) التي تمثل المسافات بين موقع القطب (21) ومراكز الأقطاب الأربعة للترتيب ولكافة الفواصل القطبية (Electrodes spacing) للمستويات العميقة الظاهرية المذكورة في الجدول (1). يبرز الجدول (3) نموذجاً من قيم المقاومة الملتقطة ( $\rho_{a1}$  &  $\rho_{a2}$ ) وفق الدراسة الحالية في SI وذلك باستخدام نظام متعب والفاضل وبإجراء المسح المقاومي الشعاعي الاتجاهي (ARRS) للفواصل القطبية 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 متراً التي تمثل سبعة مستويات للعمق الظاهري (Apparent depth levels) وموقع قطب حقن التيار (Injection current electrode; I) للقياسين السابق واللاحق ( $I_{D1}$  &  $I_{D2}$ ) بالاتجاهات التسعة.

بينما يظهر الجدول (4) نموذج للبيانات الملتقطة ( $\rho_{a0}$  &  $\rho_{a1}$ ) في الموقع السابق (SI) وفق الية نظام متعب والفاضل باستخدام المسح المقاومي الخلفي (ABRS) لمواقع قطب التيار الأول للقياسين السابق واللاحق ( $I_{D0}$  &  $I_{D1}$ ) لخمس مستويات عميقة للفواصل المسافية 10, 20, 30, 40, 50 متراً ولكافة الاتجاهات. ويوضح الجدول (5) تطبيق نظام متعب الفاضل باستخدام آلية المسح المقاومي الاتجاهي الامامي (AFRS) باختيار نموذج للقيم الملتقطة ( $\rho_{a0}$  &  $\rho_{a2}$ ) لخمس مستويات وبفواصل 10, 20, 30, 40, 50 متراً في SI بالاتجاهات التسعة واستخدام موقع قطب التيار للقياسين السابق واللاحق ( $I_{D0}$  &  $I_{D2}$ ).

الجدول 3: نموذج لآلية النقاط قيم المقاومة الظاهرية في الدراسة الحالية باستخدام نظام متعب والفاضل الشعاعي

(ARRS) لتسعة اتجاهات في (SI).

| Injection Current Electrode | Azimuth  |      | 0°          |             | 20°         |             | 40°         |             | 60°         |             | 80°         |             | 100°        |             | 120°        |             | 140°        |             | 160°        |             |
|-----------------------------|----------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | Spacing  | a(m) | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a2}$ |
| $I_{D1}$                    | $I_{D2}$ |      |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| -10                         | -5       | 5    | 242.82      | 89.87       | 241.4       | 100.2       | 64.5        | 12.9        | 120.7       | 26.1        | 91.1        | 17.7        | 78.1        | 13.2        | 89.2        | 21.2        | 110.2       | 21.8        | 83.6        | 13.4        |
| -20                         | -10      | 10   | 229         | 102.79      | 237.2       | 121.8       | 84.6        | 20.9        | 130.1       | 30.5        | 116.6       | 25.2        | 103.1       | 22.8        | 117.1       | 32.2        | 146.1       | 26.9        | 111.2       | 22.6        |
| -30                         | -15      | 15   | 205.31      | 92.41       | 213.5       | 106.9       | 95.1        | 23.3        | 130.1       | 34.1        | 129.1       | 31.4        | 118.1       | 25.3        | 127.3       | 38.1        | 156.5       | 30.7        | 127.4       | 27.1        |
| -40                         | -20      | 20   | 173.95      | 96.49       | 178.4       | 103.9       | 104.5       | 24.1        | 139.8       | 30.3        | 133.9       | 32.6        | 121.9       | 30.2        | 126.9       | 39.9        | 151.3       | 35.3        | 129.1       | 28.7        |
| -60                         | -30      | 30   | 118.88      | 74.76       | 113.1       | 73.6        | 100.3       | 27.1        | 131.1       | 26.1        | 136.4       | 29.3        | 117.3       | 32.3        | 117.6       | 36.5        | 136.8       | 40.1        | 124.4       | 29.4        |
| -80                         | -40      | 40   | 89.73       | 47.18       | 76.9        | 54.2        | 71.1        | 23.2        | 93.1        | 23.5        | 156.7       | 31.4        | 119.1       | 31.1        | 121.3       | 31.3        | 120.8       | 31.1        | 103.6       | 28.5        |
| -100                        | -50      | 50   | 66.4        | 36.55       | 54.5        | 35.2        | 48.1        | 8.3         | 62.1        | 20.1        | 88.4        | 33.2        | 84.6        | 22.2        | 107.1       | 26.1        | 106.3       | 25.4        | 82.3        | 24.6        |

\*  $I_{D1}$  &  $I_{D2}$ : موقع قطب حقن التيار للقياسين السابق واللاحق

الجدول 4: نموذج لألية التقاط قيم المقاومة الظاهرية في الدراسة الحالية باستخدام نظام متعب والفاضل الخلفي (ABRS) لتسعة اتجاهات في (SI).

| Injection Current Electrode |          | Azimuth spacing | 0°          |             | 20°         |             | 40°         |             | 60°         |             | 80°         |             | 100°        |             | 120°        |             | 140°        |             | 160°        |             |
|-----------------------------|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $I_{D0}$                    | $I_{D1}$ | a(m)            | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a1}$ |
| -15                         | -20      | 10              | 217.32      | 229         | 237         | 237         | 82.9        | 84.6        | 114.9       | 130.1       | 10.8        | 116.6       | 30.9        | 103.1       | 116.1       | 117.1       | 132.6       | 146.1       | 104.3       | 111.2       |
| -30                         | -40      | 20              | 165.26      | 173.95      | 162.8       | 178.4       | 95.5        | 104.5       | 120.3       | 139.8       | 121.7       | 133.9       | 110.8       | 121.9       | 122.1       | 126.9       | 130.3       | 151.3       | 117.9       | 129.1       |
| -45                         | -60      | 30              | 130.88      | 118.88      | 118         | 113.1       | 95.1        | 100.3       | 108.3       | 131.1       | 113.2       | 136.4       | 107.1       | 117.3       | 107.1       | 117.6       | 111.1       | 136.8       | 104.6       | 124.4       |
| -60                         | -80      | 40              | 78.29       | 89.73       | 76.9        | 76.9        | 73.7        | 71.1        | 86.8        | 93.1        | 94.4        | 156.7       | 91.3        | 119.1       | 91.3        | 121.3       | 91.2        | 120.8       | 79.1        | 124.4       |
| -75                         | -100     | 50              | 35.95       | 66.4        | 38.5        | 54.5        | 30.1        | 48.1        | 39.1        | 62.1        | 57.9        | 88.4        | 62.2        | 84.6        | 62.2        | 107.1       | 80.8        | 106.3       | 95.9        | 82.3        |

\*  $I_{D0}$  &  $I_{D1}$ : موقع قطب حقن التيار للقياسين السابق واللاحق

الجدول 5: نموذج لألية التقاط قيم المقاومة الظاهرية في الدراسة الحالية باستخدام نظام متعب والفاضل الامامي (AFRS) لتسعة اتجاهات في (SI).

| Injection Current Electrode |          | Azimuth spacing | 0°          |             | 20°         |             | 40°         |             | 60°         |             | 80°         |             | 100°        |             | 120°        |             | 140°        |             | 160°        |             |
|-----------------------------|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $I_{D0}$                    | $I_{D2}$ | a(m)            | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ | $\rho_{a0}$ | $\rho_{a2}$ |
| -15                         | -10      | 10              | 217.32      | 102.79      | 237         | 121.8       | 82.9        | 20.9        | 114.9       | 30.5        | 110.8       | 25.2        | 30.9        | 22.8        | 116.1       | 32.2        | 132.6       | 26.9        | 104.3       | 22.6        |
| -30                         | -20      | 20              | 165.26      | 96.49       | 162.8       | 103.9       | 95.5        | 24.1        | 120.3       | 30.3        | 121.7       | 32.6        | 110.8       | 30.2        | 122.1       | 39.9        | 130.3       | 35.3        | 117.9       | 28.7        |
| -45                         | -30      | 30              | 130.88      | 74.76       | 118         | 73.6        | 95.1        | 27.1        | 108.3       | 26.1        | 113.2       | 29.3        | 107.1       | 32.3        | 107.1       | 36.5        | 111.1       | 40.1        | 104.6       | 29.4        |
| -60                         | -40      | 40              | 78.29       | 47.18       | 76.9        | 54.2        | 73.7        | 23.2        | 86.8        | 23.5        | 94.4        | 31.4        | 91.3        | 31.1        | 91.3        | 31.3        | 91.2        | 31.1        | 79.1        | 28.5        |
| -75                         | -50      | 50              | 35.95       | 36.55       | 38.5        | 35.2        | 30.1        | 8.3         | 39.1        | 20.1        | 57.9        | 33.2        | 62.2        | 22.2        | 62.2        | 26.1        | 80.8        | 25.4        | 95.9        | 24.6        |

\*  $I_{D0}$  &  $I_{D2}$ : موقع قطب حقن التيار للقياسين السابق واللاحق

لقد اجريت هذه الالية (Resistivity picking mechanism) في موقعين اتجاهيين (Azimuthal sites) مع تسجيل مواقع اقطاب التيار وفق الاليات الثلاثة السابقة. تم حساب قيم  $RD_0, RD_1$  و  $RD_2$  التي تمثل النسب المئوية للمقاومة المعدلية (Mean Resistance Percentage; MRP) ولكافة الاتجاهات وفي كل فاصلة قطبية مقاسة وعلى وفق (Watson and Barker, 1999) وللموقعين التي تمثل مراكز (مواقع الاقطاب 21) للمقاطع التصويرية الاتجاهية وكما يوضح الجدول (6) الذي يمثل نموذج لقيم نسب المقاومة المعدلية المحسوبة بالاتجاهات المختلفة للموقع SII وفق الدراسة الحالية.

الجدول 6: نموذج لقيم نسب المقاومة المعدلية لسبعة مستويات للعمق الظاهري في احد مواقع الدراسة الحالية (SII).

| Spacing | 5 m             |                 |                 | 10 m            |                 |                 | 15 m            |                 |                 | 20 m            |                 |                 | 30 m            |                 |                 | 40 m            |                 |                 | 50 m            |                 |                 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|         | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> | R <sub>D1</sub> | R <sub>D2</sub> | R <sub>D0</sub> |
| 0°      | 85.1            | 66.8            | 75.9            | 87.6            | 70.8            | 92.8            | 98.3            | 77.5            | 87.9            | 106.1           | 80.6            | 104.2           | 101.4           | 91.3            | 101.5           | 101.3           | 103.1           | 96.7            | 103.7           | 101.3           | 96.0            |
| 20°     | 81.1            | 56.7            | 68.9            | 95.1            | 76.2            | 92.6            | 108.3           | 77.9            | 93.1            | 112.2           | 91.8            | 107.4           | 112.0           | 94.2            | 114.0           | 111.7           | 94.1            | 102.0           | 109.2           | 99.7            | 93.9            |
| 40°     | 82.3            | 71.9            | 77.1            | 96.1            | 76.5            | 96.9            | 108.8           | 80.3            | 94.5            | 115.0           | 109.1           | 103.0           | 113.3           | 98.2            | 109.6           | 115.4           | 91.1            | 102.1           | 109.0           | 101.7           | 95.9            |
| 60°     | 109.9           | 78.4            | 94.1            | 106.5           | 92.4            | 99.9            | 113.3           | 83.7            | 98.5            | 114.8           | 84.0            | 98.4            | 101.4           | 96.5            | 100.4           | 103.6           | 98.7            | 93.3            | 99.7            | 101.7           | 93.4            |
| 80°     | 117.5           | 99.8            | 108.6           | 111.6           | 106.9           | 101.5           | 106.3           | 117.3           | 111.8           | 100.3           | 98.4            | 104.0           | 105.4           | 98.6            | 95.2            | 94.4            | 110.1           | 99.9            | 91.7            | 99.4            | 92.9            |
| 100°    | 99.4            | 170.3           | 134.8           | 109.7           | 162.0           | 120.8           | 102.5           | 137.4           | 119.9           | 93.2            | 103.6           | 104.5           | 95.6            | 106.8           | 97.4            | 92.4            | 103.8           | 101.4           | 94.8            | 93.7            | 99.2            |
| 120°    | 139.3           | 199.9           | 169.6           | 112.3           | 143.3           | 111.3           | 92.9            | 129.1           | 111.0           | 92.8            | 103.2           | 91.9            | 92.5            | 93.2            | 95.9            | 93.4            | 92.9            | 103.7           | 90.7            | 89.7            | 105.0           |
| 140°    | 98.7            | 87.9            | 93.3            | 94.4            | 99.5            | 97.8            | 85.9            | 100.8           | 93.4            | 82.1            | 107.9           | 94.4            | 90.0            | 115.7           | 93.6            | 92.9            | 104.1           | 100.8           | 95.8            | 99.8            | 110.8           |
| 160°    | 86.9            | 68.7            | 77.8            | 86.4            | 73.6            | 86.4            | 83.1            | 96.4            | 89.8            | 82.5            | 117.5           | 91.6            | 86.9            | 102.1           | 93.6            | 96.9            | 105.2           | 96.1            | 102.6           | 99.6            | 110.6           |
| 180°    | 85.1            | 66.8            | 75.9            | 87.6            | 70.8            | 92.8            | 98.3            | 77.5            | 87.9            | 106.1           | 80.6            | 104.2           | 101.4           | 91.3            | 101.5           | 101.3           | 103.1           | 96.7            | 103.7           | 101.3           | 96.0            |
| 200°    | 81.1            | 56.7            | 68.9            | 95.1            | 76.2            | 92.6            | 108.3           | 77.9            | 93.1            | 112.2           | 91.8            | 107.4           | 112.0           | 94.2            | 114.0           | 111.7           | 94.1            | 102.0           | 109.2           | 99.7            | 93.9            |
| 220°    | 82.3            | 71.9            | 77.1            | 96.1            | 76.5            | 96.9            | 108.8           | 80.3            | 94.5            | 115.0           | 109.1           | 103.0           | 113.3           | 98.2            | 109.6           | 115.4           | 91.1            | 102.1           | 109.0           | 101.7           | 95.9            |
| 240°    | 109.9           | 78.4            | 94.1            | 106.5           | 92.4            | 99.9            | 113.3           | 83.7            | 98.5            | 114.8           | 84.0            | 98.4            | 101.4           | 96.5            | 100.4           | 103.6           | 98.7            | 93.3            | 99.7            | 101.7           | 93.4            |
| 260°    | 117.5           | 99.8            | 108.6           | 111.6           | 106.9           | 101.5           | 106.3           | 117.3           | 111.8           | 100.3           | 98.4            | 104.0           | 105.4           | 98.6            | 95.2            | 94.4            | 110.1           | 99.9            | 91.7            | 99.4            | 92.9            |
| 280°    | 99.4            | 170.3           | 134.8           | 109.7           | 162.0           | 120.8           | 102.5           | 137.4           | 119.9           | 93.2            | 103.6           | 104.5           | 95.6            | 106.8           | 97.4            | 92.4            | 103.8           | 101.4           | 94.8            | 93.7            | 99.2            |
| 300°    | 139.3           | 199.9           | 169.6           | 112.3           | 143.3           | 111.3           | 92.9            | 129.1           | 111.0           | 92.8            | 103.2           | 91.9            | 92.5            | 93.2            | 95.9            | 93.4            | 92.9            | 103.7           | 90.7            | 89.7            | 105.0           |
| 320°    | 98.7            | 87.9            | 93.3            | 94.4            | 99.5            | 97.8            | 85.9            | 100.8           | 93.4            | 82.1            | 107.9           | 94.4            | 90.0            | 115.7           | 93.6            | 92.9            | 104.1           | 100.8           | 95.8            | 99.8            | 110.8           |
| 340°    | 86.9            | 68.7            | 77.8            | 86.4            | 73.6            | 86.4            | 83.1            | 96.4            | 89.8            | 82.5            | 117.5           | 91.6            | 86.9            | 102.1           | 93.6            | 96.9            | 105.2           | 96.1            | 102.6           | 99.6            | 110.6           |

تم استخدام برنامج Excel في فرز البيانات السابقة وتصنيفها اعتمادا على سبعة مستويات (Plots and Graphs) باستخدام اليات المسح المقاومي الاتجاهي (الشعاعي والامامي والخلفي) لموقعين اختباريين. والجدول (6) يمثل نموذج فهرسة البيانات السابقة في موقع الدراسة (SII) ثم استخدمت كافة البيانات المفهومة لموقعي الدراسة في رسم المنحنيات القطبية الاتجاهية (Azimuthal Polar Plots; APP) والمخططات الكارتيزية الاتجاهية (Azimuthal Cartesian Graphs; ACG) وفق الآليات المستخدمة في الدراسات والبحوث العالمية والمطبقة.

## النتائج

- مواقع التطبيق لتقنيات المقاومة الاتجاهية الجديدة

الموقع الاول (SI):

يوضح الشكل (6) عموما التمثيل الكارتيزي والقطبي لنظام متعب والفاضل بالمسوحات الشعاعية (ARRS) والامامية (AFRS) والخلفية (ABRS). كما يبين الشكل (6-a,b,c) للمستوى العمقي الاول الذي يمثل الفاصلة القطبية 5 أمتار وباستخدام المسوحات الثلاثة السابقة، ظهور ثلاث ساعات لمنحنيات نسب المقاومة

(Percentage resistances curves) منطبقة الأطوار (Compatible phases)، إذ يبرز المدى الاتجاهي  $020^\circ/220^\circ$  وجود ساعات عالية وواطئة (High and low amplitude) في المسوحات الثلاثة. كما يبين الشكل (d,e,f-7) اتجاهها مقداره  $020^\circ/200^\circ$  مع ظهور أفضل اتجاه لا تماثلي كهربائي (Anisotropy Direction; A.D.) بسعة كبيرة (300%) بالمسح الامامي ( $\lambda_F$ ) بمقدار 2.56 كما مبين في الجدول (7).

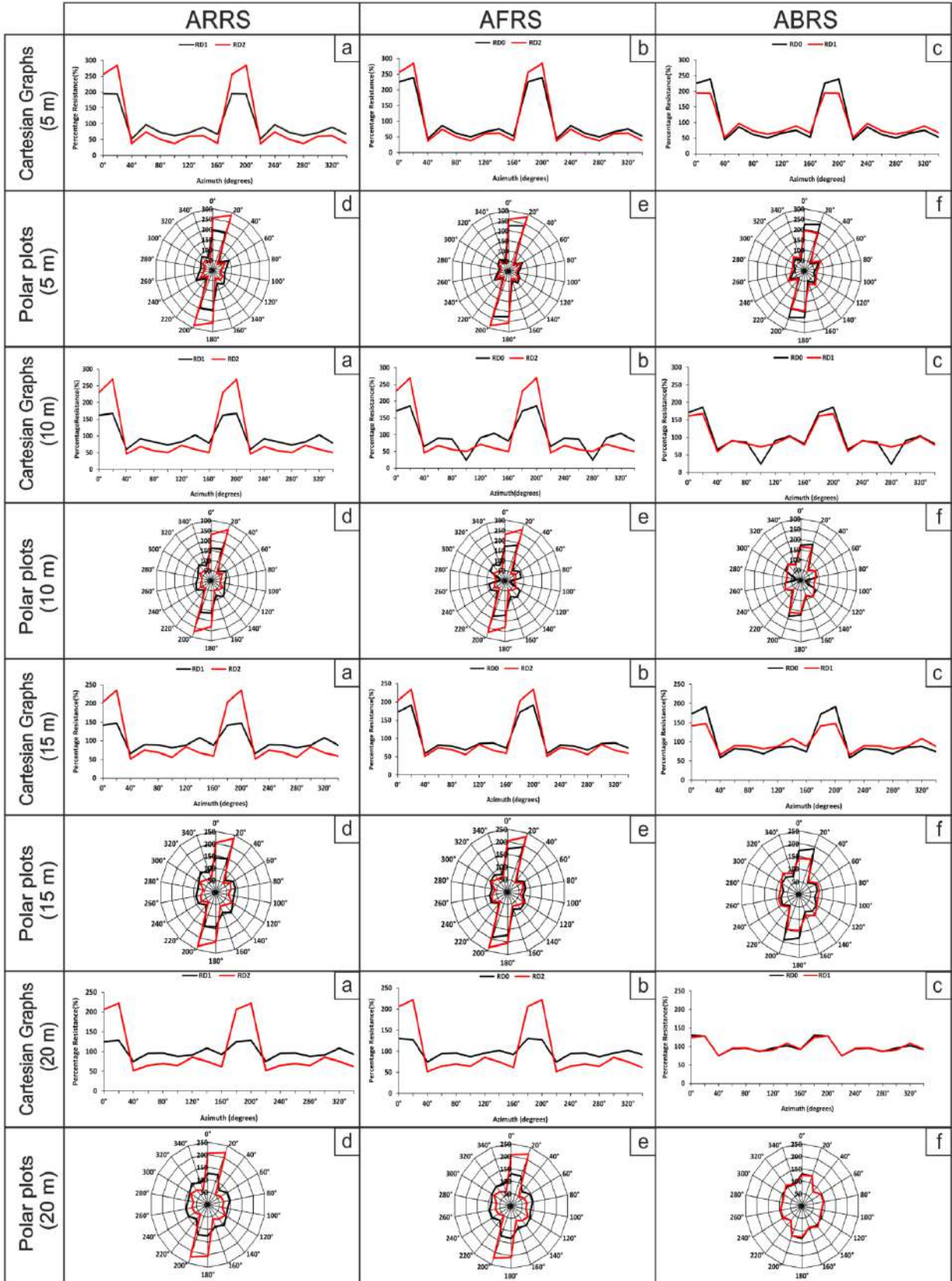
الجدول 7: قيم معاملات اللاتماثل الكهربائي واتجاهاتها للمسوحات الاتجاهية الثلاثة الشعاعي والامامي والخلفي في SI وفق الدراسة الحالية.

| a(m) | $\lambda_R$ | A.D.                  | $\lambda_F$ | A.D.  | $\lambda_B$ | A.D.                  |
|------|-------------|-----------------------|-------------|---|-------------|-----------------------|
| 5    | 2.36        | $020^\circ/200^\circ$ | 2.56        | $020^\circ/200^\circ$<br>$060^\circ/240^\circ$<br>$120^\circ/300^\circ$ | 2.13        | $020^\circ/200^\circ$ |
| 10   | 2.04        | $020^\circ/200^\circ$ | 2.05        | $020^\circ/200^\circ$<br>$060^\circ/240^\circ$<br>$120^\circ/300^\circ$ | 1.68        | $020^\circ/200^\circ$ |
| 15   | 1.82        | $020^\circ/200^\circ$ | 1.97        | $020^\circ/200^\circ$<br>$060^\circ/240^\circ$<br>$120^\circ/300^\circ$ | 1.65        | $020^\circ/200^\circ$ |
| 20   | 1.69        | $020^\circ/200^\circ$ | 1.70        | $020^\circ/200^\circ$<br>$060^\circ/240^\circ$<br>$120^\circ/300^\circ$ | 1.31        | -                     |
| 30   | 1.43        | $000^\circ/180^\circ$ | 1.43        | $000^\circ/180^\circ$<br>$140^\circ/320^\circ$                          | 1.17        | -                     |
| 40   | 1.51        | $020^\circ/200^\circ$ | 1.33        | $020^\circ/200^\circ$<br>$080^\circ/260^\circ$                          | 1.31        | -                     |
| 50   | 1.79        | $000^\circ/180^\circ$ | 1.96        | $080^\circ/260^\circ$<br>$120^\circ/300^\circ$                          | 1.65        | -                     |

كما يلاحظ وجود اتجاهين لللاتماثل الكهربائي (بسعات صغيرة)  $060^\circ/240^\circ$ ,  $120^\circ/300^\circ$ . حيث يعزى عدم التراكم الكلي (Cumulative overlapping) للمنحنيات والمخططات في مرسمات الشكل (6) الى تأثير التربة السطحية التي تحيط الترسبات الرباعية الذي يخترقه اللاتماثل الكهربائي أعلاه وكما يظهر ذلك في المقطع الصخري قرب منطقة الدراسة (الشكل 8).

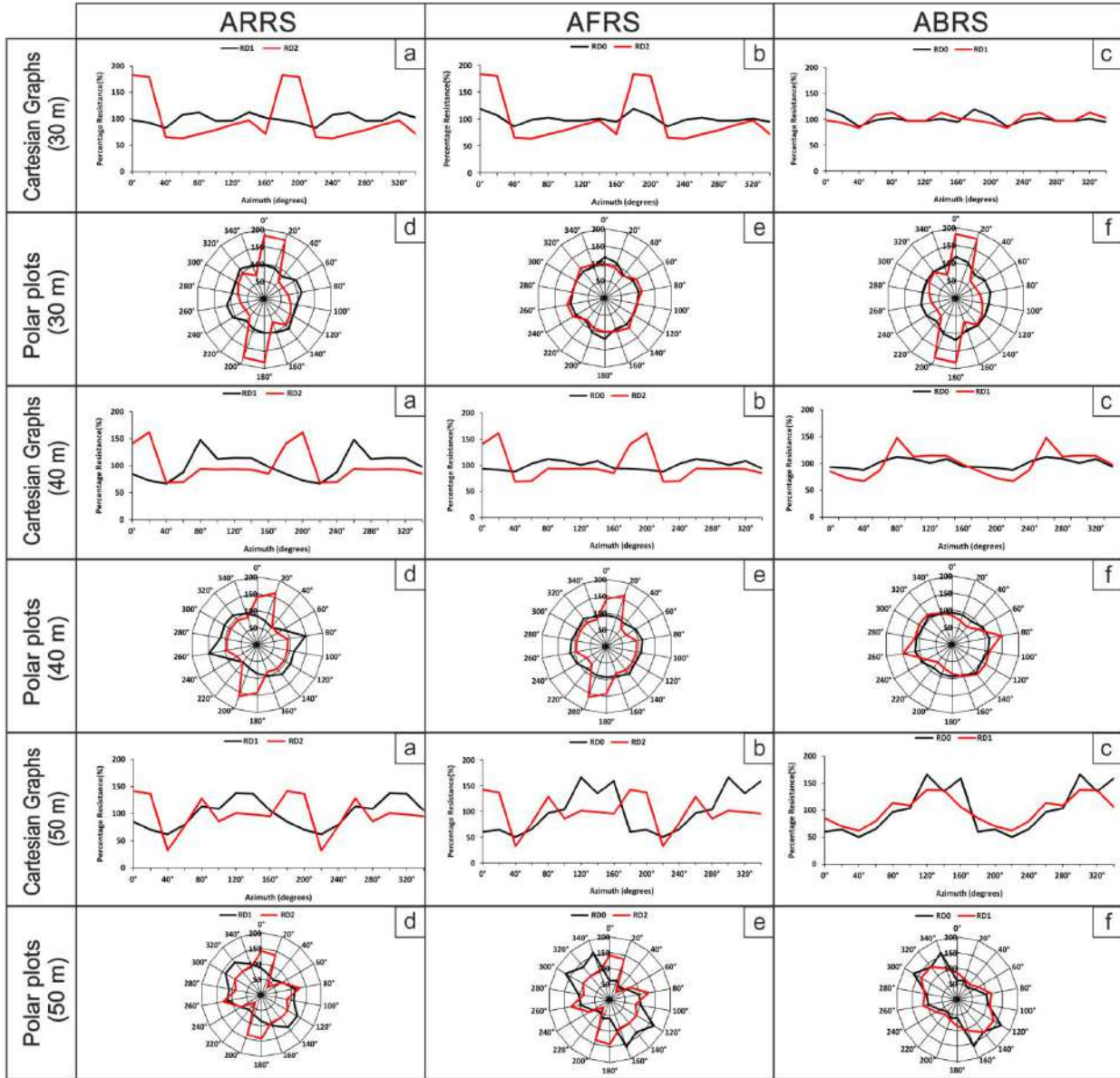
اما الاشكال (a,b,c,d,e,f-6) للمستويين 10 و 15 مترا فيتشابه التصرف الطوري والتردي للمنحنيات والمخططات القطبية والكارتيذية مع تناقص قيم السعة لهم مما ينعكس ذلك على انخفاض مقدار اللاتماثل الكهربائي لتصل قيمة  $\lambda_F$  الى 1.97.

اما المستويان العميقان 20 و 30 مترا (الاشكال a,b,c,d,e,f-7) فيشخصان عدم انسجامية تصرف المنحنيات والمخططات واطمحلل السعة في مسح المقاومة الاتجاهي الخلفي كما يلاحظ في الشكل (c-6) للمستوى العمقي 20 مترا ( $\lambda_B=1.31$ ) ومسح المقاومة الاتجاهي الامامي كما في الشكل (b-7) للمستوى العمقي 30 مترا ( $\lambda_F=1.43$ ). إضافة إلى ما تقدم فان الاقتران الكبير بين المنحنيات والمخططات يمثل عدم وجود اتجاه واضح لللاتماثل الكهربائي رغم قيمه التي تصل الى 1.70 في المسح الاتجاهي الامامي للفاصلة 20 مترا.



الشكل 6: التمثيل الكارتيزي والقطبي لنظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) للفواصل المسافية (5، 10، 15، 20) متر في (SI).

تبين المنحنيات الكارتيزية (a,b,c-7) للمستويين 50 و 40 مترا عدم انتظامها وتغاير أطوارها وتردداتها وسعاتها مع وضوح اتجاهي وارتفاع قيم اللاتماثل الكهربائي لتصل قيمة  $\lambda_F$  إلى 1.96 والتي يمكن ان تعكس انظمة اتجاهية ناتجة بفعل الفواصل في تكوين الفتحة وباتجاه  $120^\circ/300^\circ$  كما مبين في الشكل (7).



الشكل 7: التمثيل الكارتيزي والقطبي لنظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) للفواصل المسافية (30، 40، 50) متر في (SI)

مما تقدم يتضح استمرارية اتجاه لاتمائي سائد (Master anisotropy) في الترسبات الرباعية للمصاطب النهرية، اضافة الى ذلك فان المستويات الاربعة الأخرى تظهر عدم انسجام المنحنيات الكارتيزية بسعات ضئيلة وأطوار متباينة والتي تبين عدم وضوح اي اتجاهات لا تماثلية مع ملاحظة تدني قيم معامل اللاتماثل الكهربائي. وبناء على ما تقدم يلاحظ بروز لاتماثل كهربائي في الاتجاه  $020^\circ/200^\circ$  في ثلاثة مستويات للعمق الظاهري (5,10,15 متراً) في مسوحات المقاومة الاتجاهية الثلاث (الشعاعي والامامي والخلفي)، مع ملاحظة ان النسب المئوية للمقاومة المعدلية تصل الى 250% بينما تقل هذه النسبة في المستويات الاعمق الى 170% مع تبدل

واضح وتضائل السعات في المسح الاتجاهي الخلفي للعمق الظاهري 30,20 و 40 متراً وظهور اتجاه جديد بمقدار  $120^\circ/300^\circ$  في المستوى العمقي 50 متراً، ويمكن ان يعزى هذا التغير في اتجاه اللاتماثل الكهربائي وتناقص قيمه الى تباين خصائص ومكونات وعمر الترسبات الرباعية المتمثلة بالمصاطب النهرية وترسبات المايوسين لتكوين الفتحة، ويؤكد المقطع الصخاري (شكل 8) جنوب هذا الموقع تحليل وتفسير هذه المعطيات.



الشكل 8: ترسبات المصاطب النهرية في الدراسة الحالية.

### الموقع الثاني (SII):

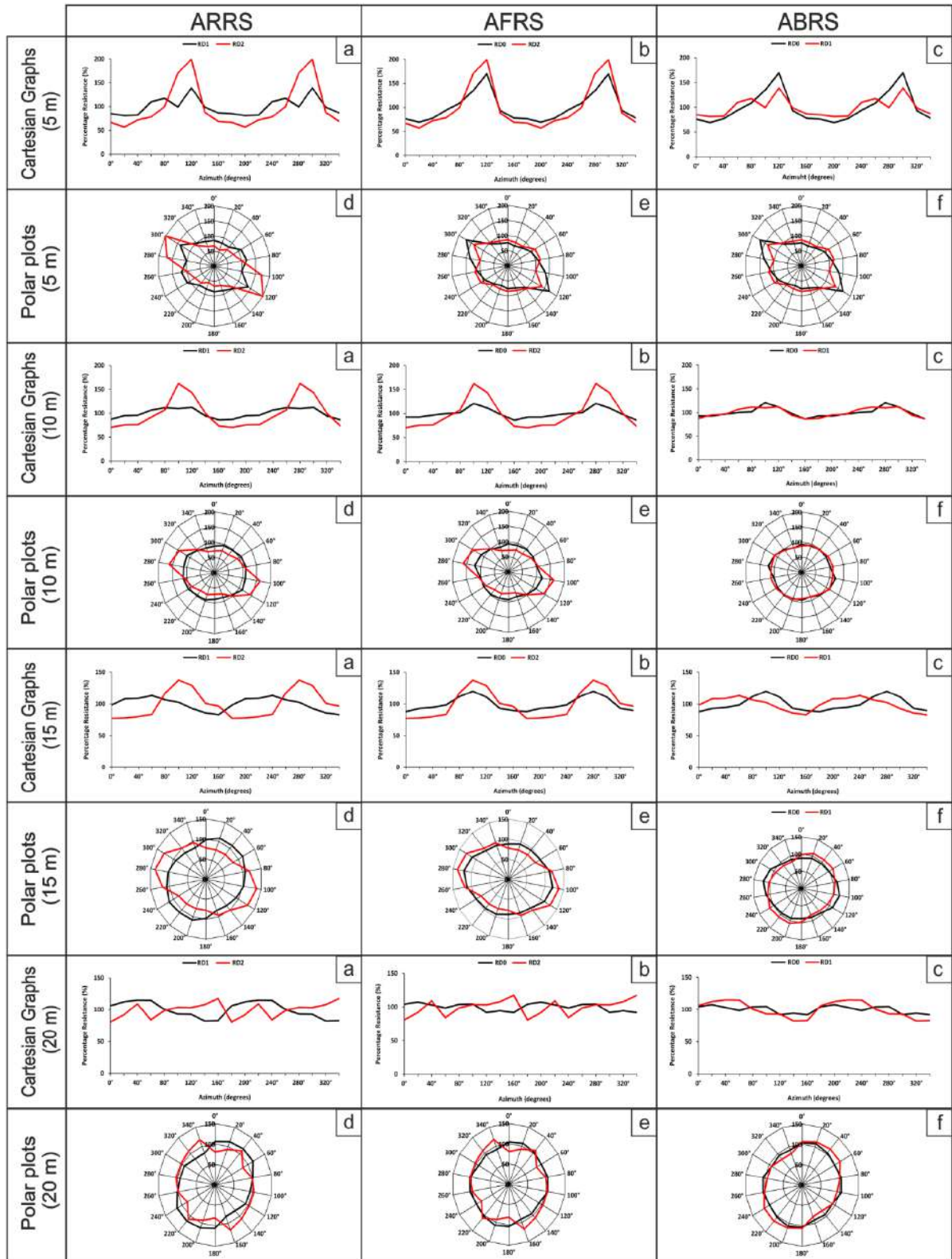
توضح الاشكال (b,e-9) للمستويات العمقية 5,10,15 مترا في المسح الاتجاهي الامامي تطابقا واضحا (Best Anisotropic Direction; B.A.D) للمنحنيات الكارتيزية والمخططات القطبية باتجاهين لا تماثلين هما  $160^\circ/340^\circ, 020^\circ/200^\circ$  بقيم  $\lambda_F$  مقدارها 1.72, 1.34, 1.25 على التوالي كما مبين في الجدول (8).

الجدول 8: قيم معاملات اللاتماثل الكهربائي وفضل الاتجاهات للمسوحات الاتجاهية الثلاثة الشعاعي والامامي والخلفي في SII وفق الدراسة الحالية.

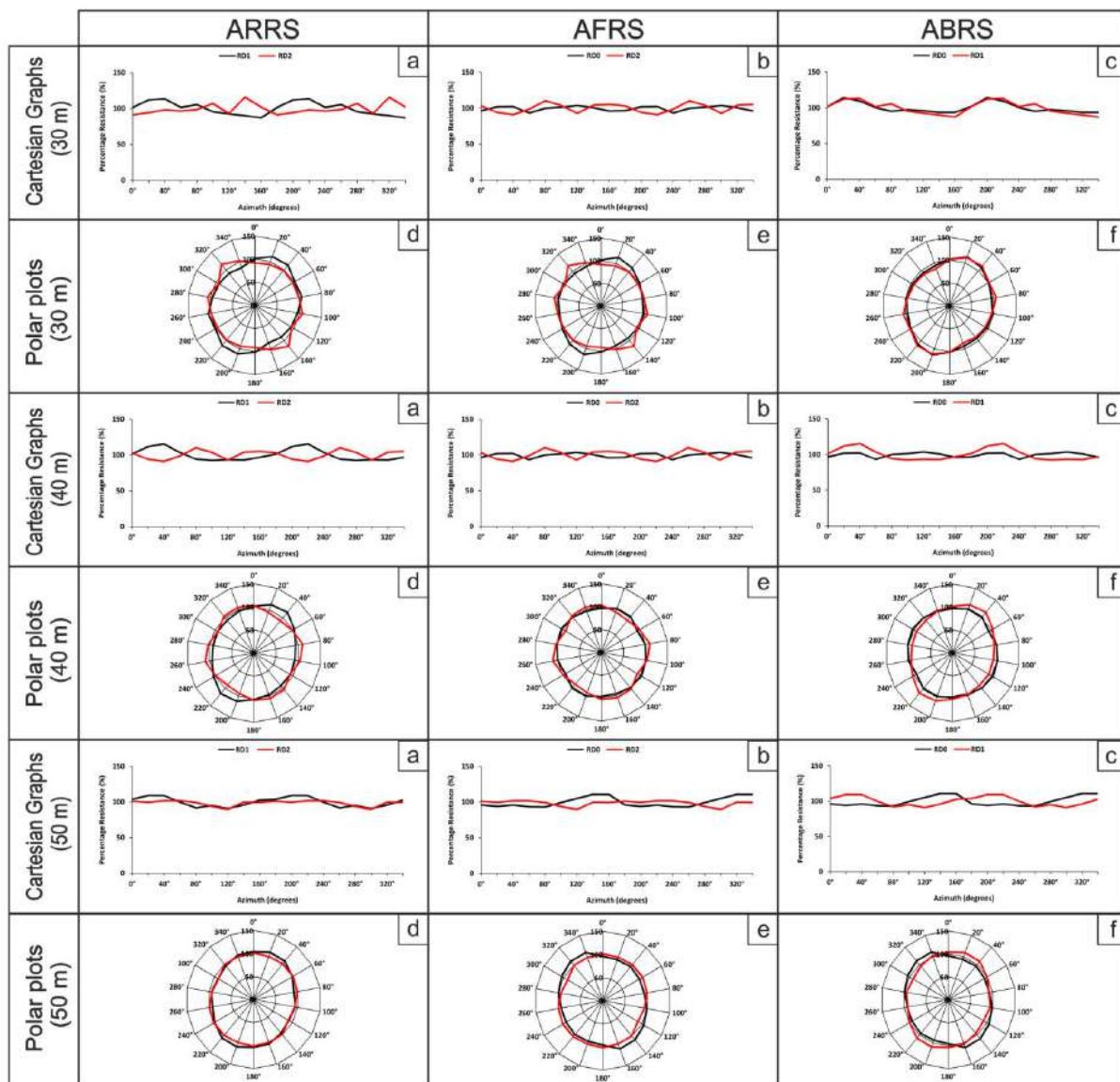
| a(m) | $\lambda_R$ | A.D | $\lambda_F$ | B.A.D  | $\lambda_B$ | A.D |
|------|-------------|-----|-------------|--|-------------|-----|
| 5    | 1.55        | -   | 1.72        | $020^\circ/200^\circ$<br>$160^\circ/340^\circ$ | 1.44        | -   |
| 10   | 1.32        | -   | 1.34        | $020^\circ/200^\circ$<br>$160^\circ/340^\circ$ | 1.16        | -   |
| 15   | 1.25        | -   | 1.25        | $020^\circ/200^\circ$<br>$160^\circ/340^\circ$ | 1.17        | -   |
| 20   | 1.19        | -   | 1.14        | $000^\circ/180^\circ$<br>$100^\circ/280^\circ$ | 1.13        | -   |
| 30   | 1.13        | -   | 1.11        | $000^\circ/180^\circ$                          | 1.12        | -   |
| 40   | 1.07        | -   | 1.08        | $080^\circ/260^\circ$                          | 1.08        | -   |
| 50   | 1.08        | -   | 1.08        | $080^\circ/260^\circ$                          | 1.09        | -   |

اضافة الى ما تقدم فان المستويات الاربعة الأخرى تظهر عدم انسجام المنحنيات الكارتيزية بسعات ضئيلة وأطوار متباينة والتي تبين عدم وضوح اي اتجاهات لا تماثلية مع ملاحظة تدني قيم معامل اللاتماثل الكهربائي.





الشكل 9: التمثيل الكارتيزي والقطبي لنظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) للفواصل المسافية (5، 10، 15، 20) متر في (SII).



الشكل 10: التمثيل الكارتيزي والقطبي لنظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) للفواصل المسافية (30، 40، 50) متر في (SII).

### المناقشة

تم اجراء تحليل متكامل لمفهوم جودة التطابق الطوري (Concept of phase matching goodness) لكافة المنحنيات الكارتيزية والمخططات القطبية للمستويات العمقية باستخدام المسوحات الاتجاهية الثلاثة في موقعي الدراسة. وقد تم حساب قيم التطابق الضعيف (Poor Matching;PM) والتطابق المتوسط (Moderate Matching;MM) والتطابق الجيد (Good Matching;GM) وكانت 23.8%، 40.4% و 35.7% على التوالي. كما تم حساب عدد افضلية جودة التطابق الطوري (Best phase matching goodness) في موقعي المسح الامامي والخلفي والشعاعي، فكانت بمقدار 10 و 3 على التوالي. وبذلك تبرز الدراسة الحالية افضلية التقنية الامامية (AFRS) في نظام متعب والفاضل الاتجاهي من خلال تحديد نسبة 71.4% في

اتجاهات ومقدار اللاتماثل الكهربائي بينما اظهرت الدراسة نسبة ضئيلة مقدارها 21.4% و 7.1% لتقنيتي المسح الخلفي والشعاعي على التوالي.

لغرض استثمار البيانات الجيوفيزيائية لمسح المقاومة الكهربائية وفق نظام متعب والفاضل الاتجاهي (AMAS) لمواقع منطقة الدراسة الحالية وتحويلها الى معطيات جيولوجية مفهومة في تحليل الكسور التركيبية (Structural fracture analysis)، فقد تم تحديد قيم مستويات الأعماق المحورة (MDL) وفق الدراسة الحالية والتي تمثل قيم وسط عمق التحري ( $Z_e$ ) حسب (Loke, 2018) وكما يلاحظ في الجدول(1).

وبناء على ما تقدم، فقد أظهرت الدراسة وجود مجاميع من الكسور المائلة (Oblique fracture) في SI وأبرزها كسر منفرد (Single fracture) باتجاه  $N70^{\circ}W$  ذو ميل شديد (Steep dipping) وكسور قسوية مقترنة (Conjugate Shear fractures) باتجاهين  $N30^{\circ}E$  و  $N30^{\circ}W$  ذات ميل قليل (Gentle dips) والتي يعتقد أنها تخترق ترسبات العصر الرباعي، بينما تميز SII بوجود أربعة اتجاهات شديدة منفردة هي E- $W, N50^{\circ}W, N10^{\circ}E, N30^{\circ}E$ .

### الاستنتاجات

- 1- تم استنتاج آلية جديدة وفق الدراسة الحالية تتضمن سلسلة من الخطوات التي تؤدي إلى معايرة فواصل القياس مع مستويات العمق الظاهري والمحور (وسط عمق التحري) وذلك لعدم إمكانية التقاط قيم المقاومة لمستويات العمق من الموديل العكسي للمقاطع التصويرية بسبب المدى الواسع للتدرج الطيفي للألوان، فضلا عن عدم توفر مضاهاة لقيم المستويات العمقية الظاهرية مع الفواصل القطبية في البرنامج RES2DINV.
- 2- أظهرت الدراسة الحالية ولأول مرة عالميا إمكانية استثمار مقاطع التصوير المقاومي الاتجاهي (ART) في النقاط البيانات الكارتيزية والقطبية لمسرحات المقاومة الاتجاهية (ARS) بالتقنيات الشعاعية والأمامية والخلفية وفق نظام متعب والفاضل ألتجاهي (AMAS).
- 3- أبرز نظام متعب والفاضل الاتجاهي الجديد في موقعي الدراسة الحالية أفضلية التقنية الأمامية في تطابق الاتجاهات العظمى مع مقدار القيم القصوى لللاتماثل الكهربائي.

### المصادر العربية

متعب، مروان واقليمس، يوسف فرنسيس، 2012. خصائص اللاتماثل (الكسور) والتأثيرات الجانبية في ضوء المسح المقاومي السمتي ضمن سهل القوش شمال العراق. المجلة العراقية لعلوم الأرض، المجلد 12، العدد 1، الصفحة 35-58.

### المصادر الاجنبية

Asare, V. S., Gyasi, E., and Okyere, B. F. 2015. Azimuthal resistivity sounding with the symmetric schlumberger and the alpha wenner arrays to study subsurface electrical anisotropy variation with depth. International Journal of Scientific and Research Publications, ISSN2250-3153, Vol.5, Issue 5.

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. [www.iiste.org](http://www.iiste.org).
- Loke, M.H., 2018. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.213p. [www.geotomosoft.com](http://www.geotomosoft.com)
- Sheriff, E.R. 2013. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Fourth Edition, Oklahoma, USA, 398p.
- Ungbesan, G.O., Afolabi, O.A .and Adesomi, T. 2012 Anisotropic Properties of Fracture in Pares of Ibadan, Southwestern Nigeria: Using Azimuthal Resistivity Survey (ARS). Research Journal of Environment and Earth Sciences, Vol.4, No.4, pp. 390-396.
- Watson, K. A., and Barker, R. D. 1999. Differentiation Anisotropy and Lateral Effects Using Azimuthal Resistivity Offset Wenner Soundings. Geophysics, Vol.64, pp. 739-74.
- Watson, K. A., and Barker, R. D. 2005. Modeling Azimuthal Resistivity Sounding over a Laterally Changing Resistivity Subsurface. Near Surface Geophysics, Vol.3, pp. 3-11.
- Watson, K. A., and Barker, R. D. 2010. Tank modelling of azimuthal resistivity surveys over anisotropic bedrock with dipping overburden. Near Surface Geophysics, Vol.8, pp. 297-309.