

## تحديد تلوث المياه الجوفية باستخدام تقنية تصوير المقاومة الكهربائية السميتي ثنائي البعدين

علاء عزت حسن

نادية احمد عزيز

زيدون طه عبد الرزاق

وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة الفضاء والاتصالات

بغداد - العراق

## الخلاصة

تضمنت الدراسة تطبيق تقنية المسح التصويري السميتي الثنائي الأبعاد ( 2D Azimuthal Resistivity Survey Imaging) باستخدام ترتيب فنر (Wenner Array) في محافظة بابل/ مدينة الحلة بالمنطقة المحددة بخطي طول (44° 25' 2" - 44° 25' 3.5") وخطي عرض (32° 27' 12.8" - 32° 27' 15.5").

استخدم جهاز (ABEM Terrameter LS) لجمع البيانات واعتمد تصميم المسح على اختيار طريقة ترتيب الأقطاب مع الأخذ بنظر الاعتبار المعلومات المتوفرة عن الموقع بالإضافة الى ايجابيات تقنية تصوير المقاومة الكهربائية. استحصلت مقاطع صور مقاومة كهربائية ثنائية الأبعاد ومن ثم تحليل وتفسير البيانات بواسطة برنامج RES2DINV حيث حلت النتائج وصنع النموذج ثنائي الأبعاد تحت الأرض. تم إجراء القياسات على طول 4 مسارات بزوايا 45° وبطول 80 م وبمسافة 2 م بين الأقطاب لتحديد اتجاه الجريان تحت سطحي للمياه الملوثة. تم تحديد التوزيع تحت سطحي للملوثات في موقع المسح، ولوحظ أن الكمية العظمى للمياه الملوثة الجارية تحت السطح تتحرك باتجاه الجنوب الغربي بينما لم نجد حركة في باقي الاتجاهات واقتصرت على المناطق القريبة جدا من النطاق الملوث. من نتائج تطبيق هذه التقنية وجد انها ناجحة وفعالة في تحديد حركة واتجاه الجريان تحت سطحي للملوثات.

**الكلمات المفتاحية:** التصوير ثنائي الأبعاد، التلوث، المسوحات الكهربائية السميتية وتصوير المقاومة الكهربائية.

## Mapping the Groundwater Contamination Using 2D Azimuthal Resistivity Imaging Technique

Zaidoon Tasha Abdurazzaq Nadia Ahmed Aziz Alaa Ezzat Hassan

Ministry of Science and Technology/ Space Technology and Communication-

Directorate

Baghdad - Iraq

E-mail: Zaidoon.taha@live.com

### Abstract

The current study includes applying 2D Azimuthal resistivity imaging using Wenner configuration in the area which located in Babylon, between longitudes (44° 25' 2" - 44° 25' 5.3") and latitudes (32° 27' 12.8" - 32° 27' 15.5").

ABEM Terrameter LS used for data collection. The survey design based on choosing the electrode configuration taking into account available information about the site and the advantages of the ERI technique. 2D electrical resistivity imaging sections have been obtained. The data analysis comprises of 2D inversions using the RES2DINV software. The measurements conducted with total length 80 meters to give the possibility depth to study surface changes in values of resistivity and to determine the direction of subsurface flow for contaminated water along 4 tracks at 45°.

It was noted that the major quantitative of contaminated water moving toward the south-west, while it is found that there isn't any movement in other direction. It is found that 2D Azimuthal resistivity imaging is an effective tool for detecting the movement direction of groundwater contamination.

**KEY WORDS:** 2D Resistivity Imaging, Contamination and Azimuthal Resistivity Survey.

تهدف الدراسة الى تحديد اتجاه جريان الملوثات اضافة الى تحديد التوزيع التحت السطحي للملوثات.

### المواد وطرائق العمل

#### جيولوجية وهيدروجيولوجية المنطقة

تقع مدينة بابل ضمن لوحة كربلاء والذي يتكون الخزان العلوي فيها من ترسبات الرمل والحصى بصورة رئيسية مع قليل من الطين في بعض الاحيان والتي تشكل منطقة المسطح الصحراوي ضمن المنطقة المحصورة بين كربلاء والنجف والذي يصل سمك ترسباته الى 70 متر في اجزائه الوسطى. بصورة عامة تتكون ترسبات السهل الرسوبي في المنطقة من تتابع طبقات الطين والغرين والرمل والحصى. تتكون الطبقات الحاملة للمياه بصورة عامة من طبقات الرمل وخليط من الحصى والذي يتراوح بين الناعم والخشن، اما طبقات الطين والطين الغريني فانها تشكل طبقات قليلة النفاذية تفصل بين الطبقات الحاملة للمياه. ربما يختلف توزيع هذه الطبقات ضمن السهل الرسوبي من منطقة الى اخرى ولكن بصورة عامة فان الطبقات العليا ضمن مناطق السهل الرسوبي تمثل طبقات قليلة النفاذية وقليلة المحتوى المائي والتي تتراوح في سمكها ما بين 10-20 متر بصورة عامة بينما الطبقات الحاملة للمياه تكون أعمق من ذلك. في المناطق الشمالية الشرقية من منطقة لوحة كربلاء وحسب المعلومات المتوفرة من الابار الجيولوجية المحفورة تؤكد على وجود خزانات مائية تصل في سمكها الى عشرات الامتار والتي تتكون بصورة رئيسية من طبقات الرمل والتي تعود الى ترسبات حوض نهر دجلة ضمن مناطق بغداد والكوت (Krasny, 1982).

#### الخزان الجوفي ضمن ترسبات السهل الرسوبي

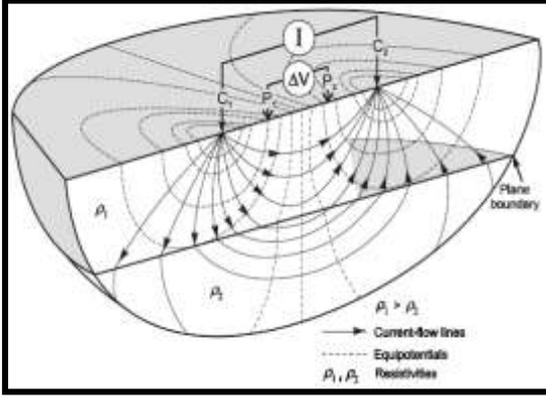
بشكل عام تتكون الترسبات الحديثة في منطقة الدراسة من تعاقب طبقات الطين والغرين والرمل والطفل وقليل من الحصى حيث تغطي هذه الترسبات غالبية المنطقة وخاصة مناطق شرق نهر الفرات. من الناحية

تعد تقنية تصوير المقاومة الكهربائية (ERI) اداة فعالة في الدراسات البيئية والتحريات الهندسية، وهي شائعة الاستخدام في تحديد التلوث في التربة (Daily et al., 1998) (Goes and Meekes, ) (2004).

شهدت طرق المقاومة النوعية تطوراً ملحوظاً في بداية القرن العشرين، ولكنها أصبحت واسعة التطبيق منذ السبعينات. حيث استخدمت هذه التقنيات على نحو واسع في البحث عن مصادر المياه الجوفية وكذلك في رصد نوع تلوث المياه الجوفية، كما استخدمت أيضاً في المسوحات الهندسية لتحديد التكهفات تحت السطحية، والتشققات والفوالق، وفي دراسات علم الآثار لوضع خرائط مناطق بقايا الأسس المدفونة للمباني التاريخية (Reynolds, 1997).

يعتبر قياس المقاومة الكهربائية من أفضل الطرق الجيوفيزيائية الحديثة لتحديد مصادر المياه الجوفية ومكانها وذلك لدقتها في تحديد المقاومة للطبقات تحت الأرضية مع إعطائه تصور لطبيعة الطبقات بشكل ثنائي البعد ويصل إلى أعماق كبيرة نسبياً وذلك على حسب التمديدات الأرضية ولكن من الممكن نظرياً أن يصل إلى حدود 140 متر.

إن المسطحات المائية وخاصة الأنهار والبحيرات أكثر عرضة للتلوث من مصادر المياه الأخرى لأنها على تماس مباشر مع النشاطات المختلفة للإنسان تحديداً منها الزراعية والصناعية. فالقطاع الزراعي يعد من أكثر القطاعات الأخرى استهلاكاً للماء وبالتالي فإن مياه صرفه تكون أكبر حيث لا تقتصر ملوثاتها على الأملاح المنحلة من التربة وإنما على ما تحمله من ملوثات ناتجة عن استخدام الأسمدة والمبيدات، ومياه الصرف للقطاع الصناعي تتسرب هي الأخرى إلى مجاري الأنهار. وتتعرض الطبقات السطحية الحاملة للمياه للتلوث بدرجة كبيرة وكلما كان مستوي الماء في تلك الطبقات قريب من سطح الأرض كلما ازدادت قابليتها للتلوث.



شكل (1) تدفق التيار الكهربائي وتوزيع الجهد (Seidel and Lange, 2007).

إن الأساس الذي تعتمد عليه العلاقات الكهربائية هو قانون اوم (Ohm law) كما ورد في (Keller and Frischknecht, 1970) و (Griffiths and King, 1981).

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

حيث إن:

$\Delta V$ : فرق الجهد المقاس بين أي نقطتين ويقاس بالفولت.

1: التيار المتدفق في الوسط بين هاتين النقطتين ويقاس بالأمبير.

R: مقاومة الوسط بين هاتين النقطتين وتقاس بالأوم ( $\Omega$ ).

أما المقاومة النوعية ( $\rho$ ) لأية مادة فتعرف بأنها المقاومة (R) بين وجهين متقابلين لأسطوانة موصلة لها طول قدره (L) ومساحة مقطع عرضي قدره (A) وتقاس بـ ( $\Omega.m$ )، شكل 2.

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

الهيدروجيولوجية فإن ترسبات السهل الرسوبي في جزئها العلوي تتألف من تتابع طباقي غريني والطفل بصورة رئيسية حيث تشكل هذه الترسبات طبقات قليلة النفاذية ربما يصل سمكها الى حدود 20 م أو أكثر تحتجز تحتها طبقات الرمال والحصى المخلوطة في اغلب الاحيان مع الغرين والطفل والتي تؤلف في مجملها الخزان الجوفي ضمن ترسبات السهل الرسوبي والذي قد يصل سمكه الى عشرات الامتار.

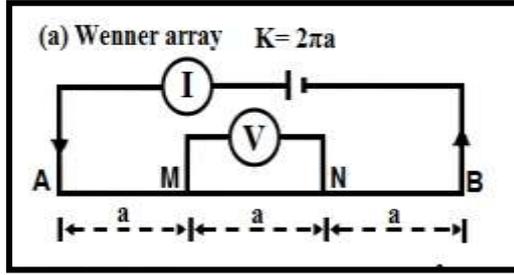
ذكر السام (Al-Al-Sam, 1979) ان قيم الناقلية ضمن منطقة بابل تصل الى (300-400) م<sup>2</sup>/يوم وان معامل الخزان قد تتراوح ما بين (0,13-0,0004).

بينما ذكر كراسني (Krasny, 1982) ان قيم معامل الناقلية (Transmissivity) في المناطق الواقعة على طول نهر الحلة ضمن ترسبات السهل الرسوبي تتراوح عادة بين (100-200) م<sup>2</sup>/يوم و الى عمق يصل الى بعض العشرات من الامتار.

#### الخلفية النظرية لطريقة المقاومة النوعية الكهربائية

هناك عدة طرق لمرار التيار الكهربائي في الأرض لغرض التحري عن التراكيب تحت السطحية، والشائع هو استخدام قطبين لتمرير التيار ويتم قياس فرق الجهد بواسطة قطبين آخرين، وتكون هذه الاقطاب موزعة بترتيب معين (شكل 1). فالتيار الكهربائي سوف يتدفق بشكل خطوط شعاعية من القطب تحني كلما تقدمت باتجاه القطب الثاني وتكون عمودية على خطوط تساوي الجهد. وان وجود أي تغيير في طبقات تحت السطحية في التوصيل الكهربائي يؤدي الى تغيير هيئة سريان التيار داخل الارض وهذا بدوره يؤثر على توزيع الجهد الكهربائي اعتماداً على شكل وحجم وموقع ومقاومة الطبقات او الاجسام تحت السطحية، لذلك فمن الممكن الحصول على معلومات عن الطبقات تحت السطحية من قياسات الجهد الكهربائي على السطح (Telford et al., 1976) و (Sharma, 1976).

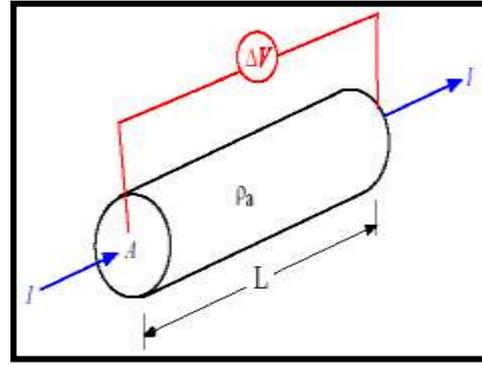
المسافة بين الأقطاب متساوية  
(Zohdy, 1974 and Yungul, 1996).



شكل (3) ترتيب فنر للأقطاب.

### العمل الحقلّي

تم اختيار منطقة الدراسة في محافظة بابل (شكل 4). تم نشر كيبيل القياس ذو الأربعين قطب (40 Electrodes) بترتيب فنر (Wenner) وبطول 80 متر بأربعة مسارات وبفاصلة 2 متر بين مسار وآخر (شكل 5)، بعدها تم امرار التيار الكهربائي لأقطاب الجهاز لدراسة التغيرات لقيم المقاومة وبيان مدى انتظام أو شواذ قيمها ضمن معطيات تنصيب الجهاز. يتم جمع البيانات لكل مسار ليجري معالجتها مختبرياً بجهاز الحاسوب وبرنامج معالجة البيانات ثنائية البعد RES2DINV الذي يوفر إمكانية توزيع قيم المقاومات لأعماق الجس ولمختلف طبقات الأرض حيث يمكن مشاهدة توزيع القيم ومقدار شواذها ان وجدت ضمن مخطط توزيع قيم المقاومات الظاهرية مع العمق. يعمل البرنامج على اخذ القيم العكسية لقيم المقاومات الظاهرية وتوزيعها خطياً ونسبة خطأ مقبولة، بعدها تجري الحسابات التراكمية للتحليل النهائي الحاصلة من نتائج المعالجة.



شكل (2) تعريف المقاومة النوعية وتعبيرها الرياضي (Dobrin, 1976).

### ترتيبات الأقطاب

هناك عدة ترتيبات مقترحة لتنفيذ المسح الكهربائي، ويستخدم في معظمها أربعة أقطاب مثبتة على الأرض، وتكون على هيئة منظومات خطية ولا خطية، إلا أن المنظومات الخطية هي الأكثر استخداماً (Sharma, 1976). إن الاختلاف بين هذه المنظومات يعتمد على مواقع الأقطاب، والذي يؤثر بدوره على قيمة العامل الهندسي (K)، وإن من أهم المنظومات المستخدمة في المسح الكهربائي هي: (Wenner, Schlumberger, and Dipole-dipole).  
ترتيب فنر

تكون المسافات بين الأقطاب في هذا الترتيب متساوية (شكل 3)، وتدعى المسافة الفاصلة بين القطبين المتجاورين بالتباعد (a) (Bhattacharya and Parta, 1968).  
بحيث تكون:

$$AM = MN = NB = a$$

فيصبح العامل الهندسي (K) لهذا الترتيب كالآتي:

$$K = 2\pi a$$

عندها تختزل معادلة المقاومة النوعية الظاهرية كما ورد في (Kunetz, 1966) لهذا الترتيب إلى:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

كان ترتيب فنر هو الأكثر استخداماً في بدايات استخدام طريقة المقاومة النوعية. وما يزال يستخدم لتحديد الأعماق المتوسطة والتغيرات الجانبية والفوالق (Faults). ويستخدم عادة في التحري الأفقي لكون

(Self-potential) من جهود التيارات المباشرة الطبيعية، وتكون النتائج المستحصلة ضمن مدى يتراوح (0.1 ملي فولت - 500 فولت) يعد الجهاز مقياساً للمقاومة النوعية للأرض اذ انه يولد تياراً مناسباً يمكن إيصاله إلى أعماق كبيرة ولمسافات تحت ظروف مسح جيدة .



شكل (6) جهاز قياس الكهربية Terrameter LS.



شكل (4) موقع العمل في محافظة بابل.

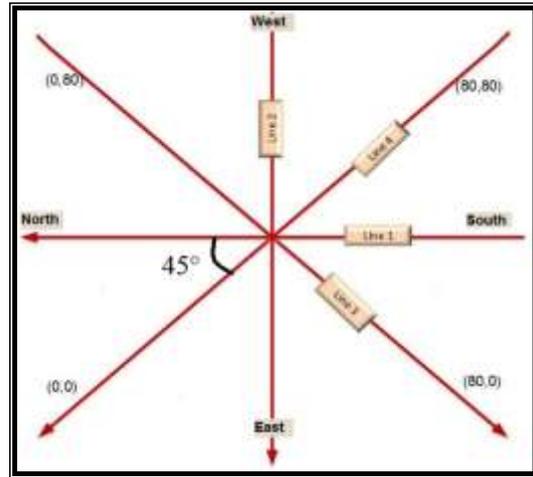
#### النتائج والمناقشة

##### المسار الاول (Line 1)

أظهرت النتائج بعد تحليل المقطع خطياً " (Liner) إن قيم المقاومة الكهربية تراوحت بين 7-2 اوم.م وكان معدل الخطأ للقراءات (RMS) بحدود 2.3% للمحاولة الثانية بطريقة المربعات الصغرى (Least square method) وعمق الاختراق بحدود 13.2 م (شكل 7).

بعد تحليل مقطع المقاومة الكهربية، نلاحظ ظهور نطاق بقيم مقاومة اعلى من باقي المقطع 7 اوم.م والذي يقع على مسافة الخط الطولي بين 80-50 م، بينما تراوح عمقه بين 3-7م، فسر هذا النطاق على انه نطاق التلوث وتم التحقق منه موقعياً عن طريق سحب عينة من المياه ومن ثم تحليلها مختبرياً.

ان ظهور التلوث بقيم عالية يعزى الى زيادة تراكيز الاملاح وترسبها على شكل نطاق جبسي ضمن التربة بعمق اقل من عمق المياه الجوفية في منطقة الدراسة، كما نلاحظ ان اتجاه انتشار التلوث يبدأ من يمين المقطع باتجاه اليسار.



شكل (5) توزيع واتجاهات خطوط المسح السمطي.

#### الأجهزة المستخدمة

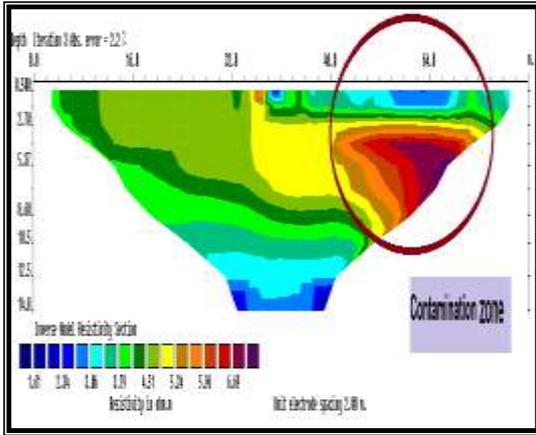
أنجز العمل الحقل باستخدام جهاز (Terrameter LS) (شكل 6) مع بكرتين فضلاً عن مجموعة من الاوتاد الفولاذية (Steel Electrodes).

يعد جهاز (Terrameter LS) احد الاجهزة التابعة لمجموعة اجهزة (ABEM) والذي يستخدم بصورة واسعة في المسوحات الجيوكهربائية، حيث يستخدم في قياسات المقاومة النوعية الكهربية (Electrical Resistivity) والاستقطاب بالحث (Induce Polarization) إضافة إلى الجهد الذاتي

**المسار الثالث ( Line 3 )**

اظهرت النتائج ان قيم المقاومة الكهربائية تراوحت بين 1 الى 7 اوم.م وكانت نسبة الخطأ RMS بحدود 2.2 % للمحاولة الثالثة بطريقة المربعات الصغرى (Least Square) واقصى عمق للاختراق 15 متر (شكل 9).

نلاحظ في هذا المقطع ظهور نفس النطاق الذي ظهر سابقا في المسار الاول (Line 1) وبنفس اتجاه الانتشار ولكن بنطاق اقل.

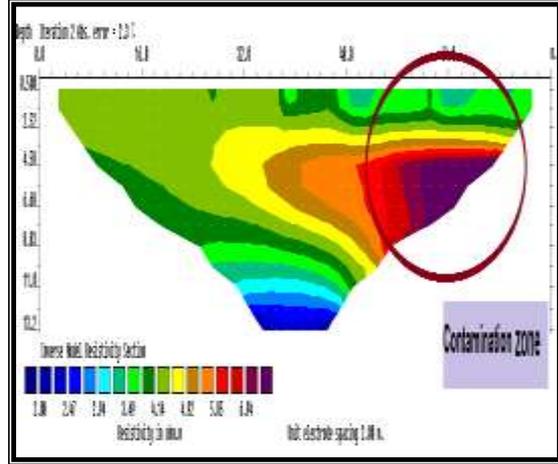


شكل (9) التحليل النهائي الحاصلة من نتائج المعالجة الخطية (Line 3).

**المسار الرابع ( Line 4 )**

أظهرت النتائج بعد تحليل المقطع خطيا" ان قيم المقاومة الكهربائية تراوحت بين 1-7 اوم.م وكان معدل الخطأ للقراءات (RMS) بحدود 2.3% للمحاولة الثانية بطريقة المربعات الصغرى (Least Square) وعمق الاختراق بحدود 15 متر (شكل 10).

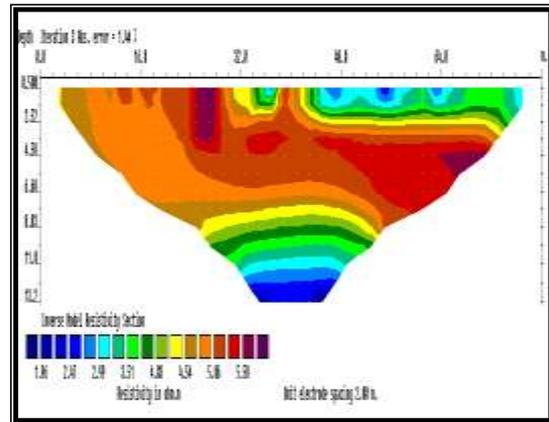
هذا المقطع يمكن ملاحظة ظهور نفس النطاق الذي ظهر سابقا في المسار الاول وبنفس اتجاه الانتشار ولكن بنطاق اوسع.



شكل (7) التحليل النهائي الحاصلة من نتائج المعالجة الخطية للمسار الاول (Line 1).

**المسار الثاني ( Line 2 )**

أظهرت النتائج بعد تحليل المقطع الطولي ان قيم المقاومة الكهربائية تراوحت بين 1-5 اوم.م وكان معدل الخطأ للقراءات (RMS) بحدود 1% للمحاولة الثالثة بطريقة المربعات الصغرى (Least Square) وعمق الاختراق بحدود 13.2 متر (شكل 8). في هذا المقطع يظهر التلوث منتشر بقيم مقاومة متوسطة مما يدل على انخفاض الملوثات بشكل تدريجي وان سبب انتشار الملوث على طول المسار هو ان المسار متعامد على المسار الاول ويقطع المسارات الاخرى (لاحظ الشكل رقم 5).



شكل (8) التحليل النهائي الحاصلة من نتائج المعالجة الخطية (Line 2).

## References

**Al-Sam, S.** (1979) Preliminary Study about the Possibility of Lowering the Underground Water Level in Babylon. Library SOM, Baghdad, Iraq.

**Battacharya, P.K. and patra,H.P.**(1968) Direct Current Geoelectrical Sonading Elsevier Pblishing Co., Amsterdam, 131 P .

**Daily, W.;** Ramirez, A. and Johnson, R. (1998) Electrical Impedance Tomography of A Perchloroethelyne Release, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2, 189–201.

**Dobrin, M. B.,** (1976) Introduction to Geophysical Prospecting, 3th Edition, McGraw-hill, New York, 630.

**Griffiths, D. H. and King, R. f.,** (1981) Applied Geophysics for Geologist and Engineers, Pergamon Press, Second Edition, 223

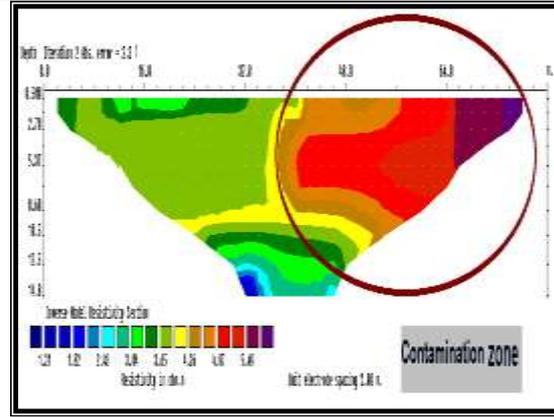
**Goes, B. and Meekes , J.** (2004) An Effective Electrode Configuration For The Detection of DNAPLs with Electrical Resistivity Tomography, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 9, 127–141.

**Keller, G. V., and Frischknecht, F.C.,** (1970) Electrical Method in Geophysical Prospecting, Pergamon Press, Oxford, 517.

**Krasny, J.,** (1982) Hydrogeology of the Hilla Area, Mesopotamian Plain Project, Geosurv Lib. Rep. 1333, Baghdad.

**Kunetz, G.** (1966) Principle of Direct Current Resistivity Prospecting. Borntrager, Berlin, 106.

**Reynolds, J. M.,** (1997) An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, 796.



شكل (10) التحليل النهائي الحاصلة من نتائج المعالجة الخطية (المسار الرابع).

## الاستنتاجات

1- تراوحت قيم المقاومة لجميع مقاطع خطوط المسح بين 1-7 اوم.م، ونسبة الخطأ لا تتجاوز 3%.

2- م تحديد نطاق التلوث وتم التحقق منه موقعا عن طريق سحب عينة من المياه ومن ثم تحليلها مختبريا.

3- ان ظهور التلوث بقيم عالية يعزى الى زيادة تراكيز الاملاح وترسبها على شكل نطاق جبسي ضمن التربة بعمق اقل من عمق المياه الجوفية في منطقة الدراسة، كما نلاحظ ان اتجاه انتشار التلوث باتجاه الجنوب الغربي.

**Telford**, W. M.; Gelderd, L. P. Sheriff, R. E.; and Keys, D. A., (1976) Applied Geophysics, Cambridge University press.

**Yungul**, S. H., (1996): Electrical Methods in Geophysical Exploration of Deep Sedimentary Basins. Chapman and Hall, London, 208.

**Seidel**, T. and Lange, G., (2007) Geophysics (Direct Current Resistivity Methods). Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer-Verlag, Berlin. 205-238.

**Sharma**, P. V., (1976) Geophysical Methods in Geology. Amsterdam, Elsevier Scientific Pub. Co. Netherland.