----- المجلة العراقية لعلوم الأرض، المجلد٩، العدد٢، ص ٤١-٥٨، ٢٠٠٩------

ألتطوير البرمجي في معالجة وتفسير الجس ألمقاومي الأرضي

مروان متعب
قسم علوم الأرض
كلية العلوم
جامعة الموصل

زهير داؤد الشيخ
قسم علوم الأرض
كلية العلوم
جامعة بغداد

(تاريخ الاستلام ٢٠٠٨/٦/٢٤ ، تاريخ القبول ٢٠٠٩/٦/١١)

الملخص

يشمل البحث توضيح واستثمار وتطوير التقنية الرقمية في تصميم النماذج التقشـيرية والتجزيئيـة والتحويرية لبيانات الجس المقاومي الأرضي وفق عملية حساب تحويلة المقاومية للقيم الملاحظـة حقليـا بعملية الفلترة ألخطية التي تعتمد على تحويلة فورييه والاحتواء لدالتين.

يتم معايرة وضبط المعاملات النطاقية بالاعتماد على الترابط القوي بين الفرع ألمقاومي للقيم الحقلية ومقطع المعاملات النطاقية المرتبطة به، ثم يحسب النموذج النهائي بموجب قواعـد التكـافؤ والأسـلوب الذاتي.

تـم وضـع ثلاثـة اسـتمارات، وفـق البرنـامج المصـمم الحـالي (MAK)، تتضـمن ٦ و٨ و١٢ قياسا حقليا في الدورة اللوغاريتمية العشرية الواحدة والتي تعتمد بدورها علـى طـول الفلتـر. إن طبيعـة الدراسـة الجيوكهربائيـة سـواء كانـت بيئيـة أو هندسـية او هايدروجيولوجيـة او جيولوجية هي التي تحدد نوع الاستمارة للفلتر المراد استخدامه.

The Programming Development for Processing and Interpretation of the Earth Resistivity Sounding

Marwan Mutib
Geology Department
College of Science
Mosul University

Zuhair D. AL-shaikh
Geology Department.
College of Science
Baghdad University

ABSTRACT

The research contains the explanation, exploitation and development of igital technique in design of stripping, partial and modification modeling or resistivity sounding data. Resistivity transforms of field observations are determined from the digital linear filtering operation which depends on fourier transform and convolutions of two functions.

The calibration and adjustment of zonal parameters are conducted with the rule of excellent relationship between each field observations branch and associated zonal parameter section.The final model is computed according to equivalence rules with automate approach.

The present designed program (MAK) has got three formats with 6 , 8 and 12 field measurements per the logarithmic decade depends on filter length.The type of geoelectrical study (environmental, engineering, hydrogeology, stratigraphy …etc) is defined the format of the chosen filtar

---

المقدمـــة

بالرغم من تطور تكنولوجيا الحاسوب في الحجم والسعة والسرعة ودقتها، فان احتكار برمجيات تفسير قياسات المقاومه الأرضية هي السمة التي تتبعها الشركات للتمويه في حجب المفاهيم والنظريات التي تعتمد عليها هذه البرامج. إن افتقار المكتبات الوطنية والعالمية لمثل هذه البرامج غير المشفرة قد أبرزت الحاجة الماسة إلى تصميم برنامج متكامل يعتمد على استثمار خلاصة الدراسات والتقنيات النظرية والتطبيقية المستخدمة في هذا المجال والتغلب على الصعوبات البالغة التي تواجه الباحثين والمتخصصين في المتابعة الدقيقة لكيفية تنفيذ هذه البرمجيات ومحاولة لكسر وتحطيم تكنولوجيا التعليب التي تتسم بها كافة البرمجيات المباعة والمستخدمة حاليا.

إن احد أهم الأهداف للبرنامج المصمم الحالي وسيرمز له هنا MAK والتي تمثل الأحرف الأولى من أسماء الباحثين وKoefoed الذي كانت برامجياته الأساس والمنبع الذي بني عليه البرنامج المصمم الحالي وتفرعاته (Koefoed, 1979). البرنامج متوفر في قسم الجيولوجي-جامعة ألموصل يمثل إسهام وإضافة في الحصول على كيفية الفهم والتعامل مع جمع ومعالجة وتفسير المعلومات الجسية الكهربائيه السطحية المستحصلة مباشرة من القياسات الحقليه للمقاومة الارضيه وذلك باستخدام الحاسوب المحمول. كما يهدف البرنامج إلى معالجة مشكلة عدم التجانس القريب من السطح ذات الطبيعة والامتدادات المجهولة والتي تؤدي عادة إلى تجزئة المنحنى الحقلي في ترتيب شلمبرجر. أما الأخطاء التي يمكن أن تظهر في نتائج النموذج الطباقي فهي تعود إلى تغايرات أفقية خطيرة بالمقاوميه الكهربائية، ولا يعد ميل الطبقات التي تقل عن$10°$ قرب منطقة المسح الكهربائي ذو تأثير كبير على دقة نتائج التفسير الكمي للمعاملات النطاقية.

الطرائق الأساسية

أولا: تقنـــية التقـشيـر الـرقـمي (Digital Stripping Technique)

تتطلب هذه التقنيه تقدير قـيم تحويلـة المقاوميـه (Resistivity transform) مـن المعطيـات الحقليه الملحوظة على وفق أساليب عديدة انسبها وأكثرها شـيوعاً اسـتعمال طريقـة، الفلاترالرقميـة

(Sharma, ٢٠٠٤). والاخيره يمكن حسابها بأساليب متنوعة منها نظرية تحويلـة فوريـه (Fourier transform) والاحتواء (Convolution) لدالتين أو بإتباع أسلوب المربعات الأدنى (Least squares) أو التحويل الأسي (Exponential transform).

تعتمد الفلترة الخطية (Linear filtering) في الدورات العشرية اللوغاريتمية على مقدار تغاير التعاقب المقاومي (Resistivity sequence variation)، فالانحدار الطويل صعوداً أو نزولاً لقيم المقاوميه الظاهرية المقاسه تقتضي أربع فواصل للنمذجة (Sampling intervals) بالدورة العشرية الواحدة بالمعاملات الوزنية للفلتر الرقمي (Digital filter coefficients) الأربعة عشر بينما تلبي مسافة النمذجة الثلاثية للدورة العشرية ذات التسع معاملات النتائج المتوخاة للتغايرات المقاوميه القصيرة. إن عدد قيم قياسات المقاوميه الظاهرية المستكملة (Extrapolation) إلى اكبر من فاصلة القياس القصوى (Maximum measuring interval) معتمد على مقدار الانحدار لعدد من القيم الاخيره الملحوظة حقلياً والأخير معتمد على عدد ألمعاملات الوزنية للتنبؤ الفلتري (Prediction filter coefficients) والتي تمثل عدد النقاط السالبة فضلا عن نقطة الصفر إن وجدت. أما مسافة استكمال قيم ملحوظة قبل أدنى فاصلة قياس فتحدد بنصف أو ثلث دورة عشرية والتي تعني تردد ألقطع لطيف ألفلتر الثنائي (Filter spectrum) لمعكوس الدورة العشرية أللوغاريتمي (Mutib, 2006). وبذلك ينبغي وضع عامل محدد يعتمد على طول الفلتر الخطي (Linear filter length) حيث يمكن تقدير نقطة النمذجة الأولى لتحويلة ألمقاوميه نسبة إلى النقطة المستحدثة الأولى للمقاومية الظاهرية والتي تعتمد في الطريقة الحالية كمقاوميه حقيقية للنطاق السطحي الأعلى (TR).

إن الحصول على سلسلة قيم فواصل القياس المطلوبة في الحسابات ضمن الدورات العشرية المتعاقبة يتطلب حساب معامل النمذجة (Sampling parameter) والذي يعتمد عدد النقاط للدورة العشرية للفلتر (N) وأدنى فاصلة قياس مستكملة (Si). ويتم حساب سلسلة الفواصل في الدورة العشرية على وفق التعبير الرياضي الآتي:

$$S_{i+1} = [(\ln 10)/2N]S_i \quad \text{...١}$$

حيث أن $[(\ln 10)/2N]$ تمثل قيمة معامل النمذجة .

إن حساب قيم تحويلة المقاومية من القياسات الملحوظة حقلياً يعتمد على طول الفلتر الرقمي المستخدم ومديات تثبيت قيم المقاوميه الظاهرية الداخلة في الحسابات. وتتم تلك العمليات حسب نظريتي فورييه والاحتواء كالآتي:

$$RT_i = \sum FC_j \times AR_k \quad \text{...2}$$

FC_j قيم معاملات الفلتر الخطي، AR_k القيم المنمذجة لدالة المقاومية الظاهرية Rt_i قيم متغير التحويلـة. j موسومة عدد المعاملات ألوزنية ألمعتمدة على طول ألفلتر المستخدم، k موسومة عدد قياسات المقاومية المقاسة والمستكملة، i موسومة عدد قيم التحويلة.

ومن اجل توضيح المفاهيم والعلاقات الرياضية السابقة سيتم إعطاء مثال بكيفية إجراء الخطـوات العملية. فعلى سبيل المثـال إذا استخدم فلتر خطي ذو أربع نقاط واثنتان وعشرون نقطة قياس حقلية مـع عشر قيم مستحدثه وأدنى فاصلة قياس تساوي 0.75 مترا (Mutib, 2006) فتتشكل بذلك سلسلة فواصل القياس المتساوية ضمن الدورات العشرية المتعاقبة والمعتمدة على معامل النمذجة وكالآتي:

0.75	**1.00**	**1.33**	**1.78**	**2.37**	**3.16**	**4.21**	**5.62**	**7.5**
10.0	**13.3**	**17.79**	**23.72**	**31.63**	**42.18**	**56.24**	**75.0**	**100**
133.37	**177.85**	**237.17**	**316.27**	**421.75**	**562.41**	**750.0**		

أما سلسلة فواصل التحويلة للفلتر الرقمي الرباعي الذي يمتلك المعامل الرقمي2.16 متـرا لتقريـر أدنى فاصلة للتحويلة فيمكن حسابها بالأسلوب السابق نفسه حيث تكون على النحو الآتي:

1.62	**2.16**	**2.88**	**3.84**	**5.12**	**6.83**	**9.11**	**12.15**	**16.20**
21.6	**28.8**	**38.42**	**51.23**	**68.31**	**91.1**	**121.48**	**162.0**	**216.03**
288.07	**384.2**	**512.27**	**683.13**					

يتم تطبيق المعادلة (2) في حساب القيمتين الأولى والثانية لتحويله لمقاوميه على سبيل المثال لسـت قيم من المقاوميه الظاهرية المقاسة حقلياً مع ملاحظة الإزاحة المتتالية لها:

$$RT(1) = FC(1)AR(1) + FC(2)AR(1) + FC(3)AR(1) + \text{---------} + FC(9)AR(1) + FC(10)AR(2) + FC(11)AR(3) + \text{---------} + FC(14)AR(6)$$

$$RT(2) = FC(1)AR(2)+FC(2)AR(2)+ FC(3)AR(2)+\text{---------} + FC(9)AR(2) + FC(10)AR(3)+ FC(11)AR(4) + \text{---------} + FC(14)AR(7)$$

الجـــدول1 يوضـــح مثـــالا لإحـــدى محطـــات الجـــس الكهربـــائي (ES60) والمـــأخوذة من (Mutib, 2000) حيث تم استخدام البرنامج المصمم الحالي فـي إيجـاد قـيم تحويلـة المقاوميـة باستخدام فلتر خطي ذي أربع نقاط للدورة العشرية الواحدة فضلا عـن مقـدار مربـع معيـار الخطـأ (Square of error criterion).

الجدول ١: قيم تحويلة المقاومية المحسوبة ومربع معيار الخطأ

فاصلة القياس (م)	قيم المقاومية الظاهرية(أوم.م)	فاصلة التحويلة (م)	قيم التحويلة (أوم، م)	قيم مربع معيار الخطأ
٠.٧٥	٥٠			
١.٠٠	٤٩			
١.٣٣	٤٢			
١.٧٨	٣٨	١.٦٢	٤٠.٤	٠.٠١
٢.٣٧	٣٦	٢.١٦	٣٦.٦	٠.٠٠٥
٣.١٦	٣٠	٢.٨٨	٣٣.٠	-٠.٠٠٧
٤.٢١	٢٥	٣.٨٤	٢٩.٣	-٠.٠١
٥.٦٢	٢١	٥.١٢	٢٦.٣	-٠.٠١
٧.٠٥	١٨	٦.٨٣	٢٣.٤	-٠.٠٠٢
١٠.٠	١٦	٩.١٠	٢٠.٩	٠.٠٢
١٣.٣٠	١٥	١٢.١٠	١٩.٦	٠.٠٢
١٧.٧٩	١٥	١٦.٢٠	١٨.٧	٠.٠٤
٢٣.٧٢	١٥	٢١.٦٠	١٩.٥	٠.٠٢
٣١.٦٣	١٨	٢٨.٨٠	٢١.٤	٠.٠١
٤٢.١٨	٢٣	٣٨.٤٠	٢٤.٣	-٠.٠٣
٥٦.٢٤	٢٩	٥١.٢٣	٣١.٣	-٠.٠٣
٧٥.٠٠	٣٩	٦٨.٣١	٣٨.٤	-٠.٠٣
١٠٠.٠	٦٤	٩١.٠	٤٦.٦	-٠.٠٣
١٣٣.٣٧	٨٢	١٢١.٠	٦٠.٢	-٠.٠٤
١٧٧.٨٥	٩١	١٦٢.٠	٧١.٣	٠.٠١
٢٣٧.١٧	١١١	٢١٦.٠	٨٣.٦	٠.٠٩
٣١٦.٢٧	١٢٦	٢٨٨.٠	٩٤.٢	٠.٠١
٤٢١.٧٥	١٣٠	٣٨٤.٢	١٠٥.٢	٠.٠٤
٥٦٢.٤١	١٣٤	٥١٢.٣	١١٢.٥	٠.٠٠٩
٧٥٠.٠	١٤٢	٦٨٣.١٥	١٢٠.٥	-٠.٠١

إن السيطرة على العمليات الحسابية بالتقنية الحالية يتطلب حساب الحدود العليا والدنيا للمتغيرات المستخدمة كافة. ويعتمد ذلك على دقة ونوعية القياسات الحقلية ويمكن تحديد تلك القيم لتحويلة المقاومية على النحو الآتي:

$$RT_i = RT_i \pm (RT_i \times C_j) \quad \text{٣}$$

C_j تمثل متغير النسبة المئوية المقترحة وتحدد على وفق الدقة المشار إليها. أمـا الإشـارة التـي تسـبق الأقواس فهي التي تحدد مديات التحويلة، فالإشارة الموجبـة تحقـق حسـاب القيمـة العليـا للتحويلـة (UR) بينما تمكن الإشارة السالبة الحصول على القيمة الدنيا للتحويله (LR) وبالتالي يمكن حساب القـيم الأصـــلية والعليـــا والـــدنيا لمتغيـــرات كيـــر نـــل المحـــورة (Modified Kernel variables) MK ، UK ، LK على التوالي ولكل فاصلة تحويلة (D_i) وعلـى النحو الآتي:

$$MK = \ln[(RT - TR) / (RT + TR)] \quad \text{.......} ٤$$

ومن حسـاب متغيـر العامـل ألـوزني WF (Weight factors) ومتغيـر القيمـة المعدليـة AK (mean values) لدالة كير نل المحورة مع قيمها العليا والدنيا يمكن حساب قيمة سـمك الطبقـة السطحية الأولى (TL) ومعامل الانعكاس للسطح الفاصل بين النطاق الأول والثاني ومقاوميـه النطـاق الثاني TR_2 باستخدام التعابير الرياضية آلاتية:

$$WF_i = (Uk_i - Lk_i)^{-2} \quad \text{.......} 5$$

$$AK = 0.5\,(Uk_i + Lk_i) \quad \text{.......} 6$$

$$V_i = X_i / D_i \;,\; X_i = WF_i / D_i \;;\; Y_i = WF_i \times Mk_i \;;\; Z_i = X_i \times Mk \quad \text{.......} 7$$

$$TL = -\,0.5\,[\sum WF_i \sum Z_i - \sum Y_i \sum X_i] / [\sum V_i \sum WF_i - \sum X_i \sum X_i] \quad \text{.......} 8$$

$$RC_1 = e^{[2TL(\sum Xi) + \sum Yi][\sum Xi]^{-1}} \quad \text{.......} 9$$

$$TR_2 = TR_1\,(1 + RC_1) / (1 - RC_1) \quad \text{.......} 10$$

حيث أن i موسومة للمتغيرات أعلاه وتسـاوي 1، 2، 3، 4 أو اقـل مـن ذلـك فـي حسـاب TL، RC_1، TR_2 وان أي افتراق لقيمتي كير نل المحورة العليا والدنيا عن القيمـة المحسـوبة للدالـة نفسها(SK) بطريقة زارنيك (Szaraniec, 1976) يوجب إعادة حساب القيم الثلاث الأخيرة بعد طـرح القيمة الاخيره للمعاملات WF، X، Y، Z، V

$$SK = (\ln RC_1) - 2TL / D_i \quad \text{.......} ١١$$

إن المرحلة اللاحقة من الحسابات هي إزالة تأثير النطاق السطحي الأعلى من قيم تحويلة المقاومية الحقلية العليا والدنيا. ويتم ذلك باستخدام العلاقـات التكراريـة (Recurrence relations) فـي مجـال التحويلة ويمكن تحديد قيمها المختزلة (RR) وحدود مصداقيتها على وفق الآتي:

$$H = [e^{2TL/Di} - 1] / [e^{2TL/Di} + 1] \quad \text{.......} ١٢$$

$$RR = [RT - H \times TR] / [1 - H \times RT \times TR^{-1}] \quad \text{.......} ١٣$$

ويمكن حساب معامل الانطقة (Zonal parameter) اللاحقة بتكرار العمليـات الحسـابية التـي ذكرت أعلاه ومن ثم تدقق صحة ومنطقية المعلومـات المسـتنتجة بحسـاب قـيم التحويلـة للنمـوذج الرياضي(Mathematical model) باستخدام العلاقات التكرارية RT_i^m ومقارنتها مع قـيم التحويلـة ألمشتقه من القياسات الحقلية RT_i^f . وبعبارة أخـرى مقارنـة دوال سـليكتر-كيرنـل المشـتقة مـن سلسلةالمعاملات النطاقية مع تلك المشتقة من المعطيات المقاسة.

إن الأسلوب الأفضل في معرفـة دقـة التفسـير هـو تطبيـق صـيغة مربـع معيـار الخطـأ (Square of error criterion; E.C.):

$$E.C.=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[(RT_i^m - RT_i^f)/RT_i^f]^2 \quad \text{...} \quad ١٤$$

تطوير ألتطبيق ألبرمجي لتقنية التقشير الرقمي

إن الضرورة ألعلميه والعملية تقتضي عدم فقدان أية معلومات حقليه والاسـتفادة القصـوى منهـا لإيجاد الحل الأكثر تفصيلاً. ويتم ذلك باستعمال أقصى متغير للنسبة المئوية المقترحة (Cj) ثـم تخفـض تدريجياً بمقدار 0.3% خطوه بعد خطوه إلى أدنى قيمة لها . إن ظهور أية قيمة سالبة لسمك إحدى ألانطقة يعني أن النسبة المئوية ألمستعمله قد أثرت في النموذج النطاقي المقترح. لذلك ينبغي إزالة الموديل وبنـاء معاملات نطاقية جديدة ضمن حدود الموثوقية الأفضل والحل التفسيري الأنسب وذلك بزيـادة تدريجيـه بمقدار 0.1%. ويتم ذلك تلقائيا في البرنامج المصمم الحالي حيث تعتبر هذه ألمعالجه أحـدى الإضـافات المهمة التي تم القيام بها وفق هذه الدراسة.

إن عملية استحداث قيم للمقاوميه الظاهرية للفواصل التي تقع خارج مدى فواصل القياس ألحقليـه تتم بشكل عشوائي اعتماداً على التدرج الانحداري للقيم الأولى والاخيره ألمقاسه حقلياً. لذلك فقد تم معالجة القيم المستحدثة بشكل تلقائي في البرنامج المصمم الحالي وذلك بإجراء عمليات ضـبط متكـررة حتـى الوصول إلى القيم المناسبة والدقيقة للتفسير.

إن تغذية البرنامج تعتمد على معطيات حقلية ملوثه متأثرة عادة بعدم التجانس القريب من السـطح (Near surface inhomogeneity) أو عدم تشابه الخواص الكهربائية للمكونات الصخرية بالاتجاهات المختلفة (Electrical anisotropy) حيث يؤدي ذلك إلى تشتت وعدم انتظامية القياسات وظهور نقـاط شاردة (Cusps) عند تمثيلها. عليه فان من مزايا البرنامج المصمم الحالي مراقبة مربع معيـار الخطـأ النهائي وتقدير إعادة حساب النتائج بتهذيب قيم ألمقاوميه ألمقاسه حقلياً.

لقد وضع البرنامج الحالي الاستفادة الكاملة من إمكانيات التقنية التقشيرية فـي تحديـد فواصـل التحويلة لتتابع المعاملات النطاقية وذلك بتقطيع المعطيات الحقلية بصيغة رقمية متسلسلة تعبر عـن قـيم المقاومية الحقيقية والسمك للتوزيع النطاقي (Zonal distribution) فضلا عن قيمة المقاوميـة للنطـاق الأساسي الأخير (Substratum zone) لتنقل هذه المعلومات إلى المرحلة اللاحقة من البرنامج.

إن إمكانية التقنية في حساب قيم مقاومية عالية لطبقة تعلوها أخرى ذات مقاوميـة واطئـة جـداً أو العكس من ذلك، جعلت المرحلة الأولى من البرنامج المصمم الحالي تمتلك مزية ناجحة مسـتنبطة وفـق الدراسة الحالية في حساب قيم سمك انطقة جديرة بالمصداقية الجيولوجية وفي القدرة ألتحليليه العالية فـي فصل الانطقة وزيادة إعدادها.

لقد وضعت صيغة مطورة للتغلب على مشكلة التراكب في قيم معاملات النطاق الأول والتي تحصل بفعل أخطاء عامل التجسيم (Errors of magnification factor) الناتج عن العمليات المتتالية للتقشير وذلك باستخدام أسلوب الضبط التكراري الذاتي (Automatic iterative adjustment).

لقد استوعب البرنامج الحالي تطبيق ثلاثة فلاتر رقمية لتحويل القيم المنمذجه للمقاوميه الظاهرية (ترتيـب شـلمبرجر) إلـى قـيم تحويلـة المقاوميـة باسـتخدام ثلاثـة نقـاط للـدورة العشـرية (Ghosh, 1971) وستة نقاط للدورة العشرية (Oneill, 1975) وثمانيـة نقـاط للـدورة العشـرية (Koefoed, 1979). ويتم اختيار احدهم اعتماداً على نوعية الدراسة المطلوب تنفيذها وكيفية تصرف القيم الحقلية وقد تم في الدراسة الحالية تصميم استمارات ثلاثة (ألأشكال ١ و٢ و٣) لتلك ألفلاتر لجمع المعلومات الحقلية التي تلبي دقة العمليات الحسابية وتفسيرها وتسـريع وتسـهيل تغذيـة المعطيـات للحاسوب حقلياً.

ثانيا: تقـنية ألنمذجة ألتجزيئية ألرقمية (Digital Partial Modelling Technique)

لقد أشار مارسدن (Marsden, 1973) إلى إمكانية ضبط ألمعاملات النطاقية تباعاً استناداً إلى مفهوم الارتباط الوثيق بين كل نطاق كهربائي للتتابع ألمقاومي والمجموعة الجزئية ألمعبره عنه بـالقيم المقاسة حقلياً والمتحسسة جداً بقيمة معامل ذلك النطاق. لقد تم اسـتثمار هـذه الخاصـية باسـتخدام التقنية الرقميـة (Digital technique) فبعـد اسـتلام النمـوذج الرياضـي النطـاقي الابتـدائي (Initial mathematical zonal model) مـن تقنيـة ألتقشـير الرقمـي يـتم حسـاب قـيم التحويلة كالأتي:

$$RT_k^r = (RT_N + H \times TR) \big/ (1 + H \times RT_N \times TR^{-1}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; 15$$

RT_N تمثل تحويلة المقاومية للنطاق اللاحق وهي قيمة مقاوميه للنطاق الأساسي الأخير عندما تصل فاصلة التحويلة مداها الأكبر فضلا عن أنها تساوي مقاوميه النطاق السطحي عندما تكون (D_i) صغيرة جداً. وبعبارة أخرى فان سمك النطاق الأول بمقاوميته المحددة يمكن أن تمتلك العديد من قـيم التحويلـة بفواصلها التي تعتمد على ألفلتر المستخدم وبالتالي فان حساب قيمة المقاومية الظاهرية ألمشتقه من تأثير النطاق الأول يمكن استحصاله بطريقة ألفلترة الخطية حسب آلاتي:

$$R_i = \sum FC_j \times RT_k \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; 16$$

ويتم حساب القيم المتتالية للمقاومية الظاهرية بتبديل قيم التحويلة الفردية إلى قيم زوجيه وبالعكس في الخطوات اللاحقة ثم تكرر العمليات الحسابية ويحسب في كل منها الانحراف النسـبي (Relative Deviation; $R.D._i$) بين قيم المقاومية الظاهرية الحقليه وتلك ألمشتقه من الحسابات النظرية كالآتي:

$$R.D._i = (AR_i^M - AR_i^f) / AR_i^f \quad \ldots\ldots 17$$

إن حساب معامل ضبط ألمعامل النطاقي الأولي لكل مجموعة فرعية (AC) يتطلب تحديد متوسط قيم المقاومية الظاهرية المقاسة حقلياً لتلك المجموعة (AR_a) مع مقـدار $R.D._i$ المحسـوب لعـدد تلـك المجموعة حسب المعادلة الاتية:

$$AC = (-1/N \sum R.D._i)(AR_a \times TR^{-1}) + 1 \quad \ldots\ldots 18$$

وتكرر تلك العمليات أنفة الذكر باستخدام المعاملات النطاقية الجديدة لإيجاد معامـل ضـبط آخـر (AF) يعتمد على صيغة التناسب الخطي (Linear proportionality mode) على وفق الآتي:

$$AF = ((AC-1) \times M_2) / (M_1 - M_2) \quad \ldots\ldots 19$$

M_1,M_2: متغير القيمة المعدلية للانحراف النسبي للعمليات الحسابية الأولى والثانية.

إن حاصل ضرب معامل الضبط (AF) والمعاملات النطاقية المحسوبة من العمليات الحسابية الأخيرة يمثل المعاملات الجديدة التي يمكن استعمالها لإيجاد الحل النهائي للنموذج الرياضي الأول (Final mathematicl model). فضلاً عما تقدم فان مربع معيار الخطأ الكلي يتم حسابه بتطبيق المعادلة (١٤) في مجال قيم المقاومية الحقلية وتلك القيم المشتقة من النموذج النطاقي.

ويتم إيجاد أفضل نموذج نطاقي بتكرار المحاولة الأولى السابقة المتكونة من تغيير النموذج لابتدائي مرتين حيث تعتمد عدد المحاولات المتكررة في إعادة الحسابات على مقدار مربع معيار الخطأ الكلي الذي يتم تغذيته. كما تتم تلك المحاولات على وفق مراحل حسابية.

باستخدام أسلوب معايرة المعاملات النطاقية (Zonal parameter calibration) على وفق قواعد التكافؤ(Equivalence rules) وبعمليات ذاتية(Automate processes) للوصول إلـى أفضـل وأدق الحلول الملائمة للحقيقة الجيولوجية.

رقم محطة الجس: **اتجاه نشر الاقطاب:**

ارتفاع المحطة عن مستوى سطح البحر( ) تاريخ القياس( )

No.	S/2 m.	L/2 m.	L/2 m.	R1 Ω	R2 Ω	ρ_{a1} Ω.m	ρ_{a2} Ω.m	I m.A
1.	0.75	0.3						
2.	1.1	0.3						
3.	1.62	0.3						
4.	2.37	0.3						
5.	3.48	0.3						
6.	5.11	0.3	1.0					
7.	7.5	0.3	1.0					
8.	11	1.0						
9.	16.16	1.0	3.0					
10.	23.72	1.0	3.0					
11.	34.81	3.0						
12.	51.10	3.0	10					
13.	75.0	3.0	10					
14.	110	10						
15.	161.58	10	30					
16.	237.17	10	30					
17.	348.12	30	45					
18.	510.97	30	45					
19.	750	45						

النموذج الطباقي الابتدائي

N.	T(m)	R	E.C.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

النموذج الطباقي النهائي

N	T(m)	R	E.C.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

الشكل ١: جمع القياسات الحقلية للفلتر الثلاثي.

رقم محطة الجس : **اتجاه نشر الاقطاب :**

ارتفاع المحطة عن مستوى سطح البحر( ) تاريخ القياس ( )

No.	S\2 m.	L\2 m.	L\2 m.	R1 Ω	R2 Ω	ρ_{a1} Ω.m	ρ_{a2} Ω.m	I m.A
1.	0.75	0.3						
2.	1.0	0.3						
3.	1.33	0.3						
4.	1.78	0.3						
5.	2.37	0.3						
6.	3.16	0.3						
7.	4.22	0.3						
8.	5.62	0.3	1.0					
9.	7.50	0.3	1.0					
10.	10.0	1.0						
11.	13.34	1.0						
12.	17.79	1.0	3.0					
13.	23.72	1.0	3.0					
14.	31.63	3.0						
15.	42.18	3.0						
16.	56.29	3.0	10					
17.	75.0	3.0	10					
18.	100	10						
19.	133.35	10						
20.	177.83	10	30					
21.	237.14	10	30					
22.	316.23	30	45					
23.	421.70	30	45					
24.	562.34	45						
25.	750.0	45						

النموذج الطباقي الأبتدائي

No.	Thick.	Resist.	E.C.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			

النموذج الطباقي النهائي

No.	Thick.	Resist	E.C.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

الشكل ٢: جمع القياسات الحقلية للفلتر الرباعي.

رقم محطة الجس : **اتجاه نشر الاقطاب :**

ارتفاع المحطة عن مستوى سطح البحر( )) تاريخ القياس ( )

No.	S/2 m.	L/2 m.	L/2 m.	R1 Ω	R2 Ω	ρ_{a1} Ω.m	ρ_{a2} Ω.m	I m.A
1	0.91	0.3						
2	1.1	0.3						
3	1.33	0.3						
4	1.62	0.3						
5	1.96	0.3						
6	2.37	0.3						
7	2.87	0.3						
8	3.48	0.3						
9	4.22	0.3						
10	5.11	0.3						
11	6.19	0.3	1.0					
12	7.5	0.3	1.0					
13	9.09	1.0						
14	11.0	1.0						
15	13.34	1.0						
16	16.16	1.0	3.0					
17	19.58	1.0	3.0					
18	23.72	3.0						
19	28.74	3.0						
20	34.81	3.0						
21	42.18	3.0						
22	51.10	3.0						
23	61.91	3.0	10					
24	75.0	3.0	10					
25	90.87	10						
26	110.1	10						
27	133.38	10						
28.	161.59	10	30					
29	195.77	10	30					
30	237.18	30						
31	287.35	30	45					
32	348.14	30	45					
33	421.78	45						
34	510.99	45						
35	619.08	45						
36	750.0	45						

النموذج الطباقي الابتدائي

No	Thick	Resist	E.C.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

النموذج الطباقي النهائي

No.	Thick	Resist	E.C.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

الشكل ٣: جمع القياسات الحقلية للفلتر السداسي.

ان عدد نقاط الفلتر في الدورة العشرية المستخدم لهذه التقنيه يجب أن يتطابق مع ذلك المستعمل في التقنية السابقة مع مراعاة اختلاف قيم المعاملات حيث يبلغ عـددها 9، 14، 25 فـي الفلاتـر الثلاثيـة والرباعية والسداسية على التوالي.أما قيمة فاصلة التحويلة فتعتمد على المقدار المستحصل مـن حاصـل قسمة فاصلة القياس الأولى على عامل ضرب النقطة الأولى للتحويله المحدد في التقنيه السابقة.

خلافا للطريقة المألوفة في إيجاد نموذج نطاقي ابتدائي بفحص المنحنى الحقلي أو بمطابقته مع المنحنيات النظرية لتعيين أجزائه، فان التطوير في البرنامج الحالي هو قيام تقنية النمذجة التجزيئية باستلام المعاملات النطاقية مع أجزاء مجموعه القيم المقاسة والمترابطة (Associated section) بكل معامل نطاقي مع الأخذ بنظر الاعتبار أمرين. اولهما إهمال عدد من القيم المحصورة بين القطع المتأثرة بسمك ومقاوميه الانطقة لأنه ليس من الضروري أو المحبذ أن ترتبط كل القيم المنمذجة بالنطاق تحت السطح. أما الأمر الثاني فهو عدم جواز تراكب وتداخل مجموعات القيم المقاسة حقلياً (Koefoed, 1979).

إن القيمة القصوى المعطاة لمقدار مربع معيار الخطأ الكلي والتي تعتمد علـى دقـة المعطيـات المقاسة هي التي تحدد عدد المحاولات لإيجاد الانسجام المناسب بين قيم المقاومية الملحوظة وتلك المشتقة من النموذج الرياضي في كل مرحلة من المراحل الحسابية. لذلك فان تغذية المرحلة الثانية من البرنـامج بقيمة مربع معيار خطأ قليلة يمكن أن تؤدي إلى تنفيذ تكرار المحاولة لعشرات المـرات دون أي تغييـر جدي في قيم المعاملات النطاقية. ولقد أمكن حل هذه المعضلة في البرنامج المصمم الحالي بإتبـاع احـد الخيارين: الأول هو إجراء عمليات تهذيب (Smoothing) لقيم المقاومية الظاهرية المقاسـة ثـم إعـادة التفسير بتقنية التقشير الرقمي للحصول على نموذج ابتدائي جديد ونقله إلى المرحلة اللاحقة من البرنـامج لمعالجته، أما الخيار الثاني فهو رفع قيمة مربع معيار الخطأ الكلي مع وضع آلية حسابية بإضافة وطـرح حافة خطأ نسبي (Relative error margin) متغير لسمك الانطقة ومقاومياته المختلفة وإيجـاد أفضـل وانسب التماهي (Matching) بين القيم الحقلية والمحسوبة. ان أحدى أهم الميزات في تطبيـق الخيـار الثاني هي عدم التلاعب في القيم الحقلية الاصليه وقيام التقنيات المختلفة على وفق نظرية المربعات الأولى (least squares) باتخاذ الحل المناسب الأفضل للنموذج المقترح. ولقد تم تطوير آخـر لهـذه الفكـرة لتحسـين قيمـة مربـع معيـار الخطـأ الكلـي وذلـك بزيـادة العمليـات التكراريـة التلقائيـة (Loke, 2007). لذلك فان الخيارالثاني هو الأفضل في إظهار النتائج المتوافقة مع الشواهد الجيولوجية.

إن التقنية الحالية لا تحتاج إلى استحداث أو استكمال قيم للمقاومية الظاهرية ألمقاسه حقليـا خـارج مديات فواصل القياس. لذلك يتم إهمال تلك القيم المستكملة مع تغيير تسلسل القيم الملحوظة بما يتلاءم مع القيم التي تمثل المعلومات الحقلية الاصليه حيث تتم هذه العمليات ذاتيا على وفق البرنامج المصمم في هذه الدراسة.

لقد تم التقاط تسلسل المجاميع (Group indices) التي تمثل أجزاء المنحني الحقلي (Sections of the field curve) وذلك باستثمار تقارب فواصل القياس (Si) لقيم المقاومية الظاهرية الحقلية مع الفواصل المحسوبة لقيم التحويلة (Di) المشتقة من الأولى. ولتوضيح ذلك نأخذ مثالاً باستخدام الفلتر الرباعي للدورة العشرية وكالآتي:

Di	**1.62**	**2.16**	**2.88**	**3.84**	**5.12**	**6.83**	**9.11**	**12.15**
Si	**1.77**	**2.37**	**3.16**	**4.21**	**5.62**	**7.5**	**10.0**	**13.33**
indices	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

مما تقدم يتبين أن تسلسل قيم التحويلة المحسوبة من التقنية السابقة تمثل فعلاً تسلسل مجاميع القيم الملحوظة حقلياً والمرتبطة والمتأثرة بالتوزيع النطاقي. وبذلك تم تجاوز العائق الرئيس الناتج بفعل التأثير المتراكب لمعامل النطاق على أكثر من مجموعة رقمية من قيم المقاومية الملحوظة الذي قد يحدث أخطاء في العمليات الحسابية التكرارية (Kearey and Brooks, 1987). ويضاف هذا الأسلوب بوصفه ميزة جديدة في تطوير التقنيه الحالية.

بعد انتهاء المرحلة الثانية من البرنامج (تقنية النمذجة التجزيئية) تم وضع عدة خيارات. أهمها تسجيل معامل النموذج الرياضي المقترح أو الانتقال إلى المرحلة اللاحقة لغرض ضبط قيم المعاملات النطاقية على وفق المعلومات المتوفرة في منطقة الدراسة سواء من خلال الآبار المحفورة أو المكاشف الصخرية القريبة من المسح الجيوكهربائي أو إعادة ضبط الحل المقترح بتطبيق صيغة المقارنة بين القيم النظرية والحقلية للمقاومية الظاهرية.

ثالثا: تقنية تحويرألنموذج (Technique of Model Modification)

تتطلب هذه التقنية إعادة استخدام الفلتر الخطي المطبق في تقنية النموذج التجزيئي فضلا عن القيام بإعادة القيم المستكملة لدالة المقاومية المقاسه حقلياً.

يتم تغيير المعاملات النطاقية وفقاً للمعطيات والشواهد الجيولوجية المتوفرة وذلك بصيغة اعطاء المقاومية الحقيقية لإحدى الانطقة التي تلي النطاق السطحي الأول والحصول على سمك نطاقي معول عليه (CT) على وفق الآتي:

$$CT = [\ln RC - \ln MK] / [2D_i^{-1}] \quad \text{......} 20$$

$$RC = [Tr_{i+1} - Tr_i] / [Tr_{i+1} + TR_i] \quad \text{......} 21$$

كما يمكن إعطاء معامل إحدى الانطقة (السمك TL والمقاومية TR) لإيجاد وضبط المقاوميات وسماكة الانطقة اللاحقة حسب الآتي: (TR_c)

$$A = [RT - TR][(\coth (TL \times D_i^{-1})) /2] \quad \text{......} 22$$

$$TR_c = [A^2 + RT \times TR]^{1/2} + A \quad \text{......} 23$$

فضلا عما تقدم فانه بالامكان إعطاء سمك إحدى الانطقة حسب المعطيات المتـوفرة ليـتم إعـادة حساب التتابع النطاقي المنقول من التقنية السابقة وكالاتي:

$$AA = [RT_i - R_{i+1}][(cotanh(TL \times (D_{i+1} - D_i)^{-1}))] \quad \ldots\ldots 24$$

$$TR_c = (AA^2 + RT_i \times RT_{i+1})^{1/2} + AA \quad \ldots\ldots 25$$

$$R_c = [(RT - TR_i) / (RT + TR_i)] \times e^{2TLDi-1} \quad \ldots\ldots 26$$

إن المعادلة الأخيرة تحدد معامل الانعكاس Rc وباستخدام قيمتها المحسوبة وتطبيق المعادلـة (21) يمكن إعادة حساب المقاومية للنطاق اللاحق.

وأخيـرا لا بـد مـن القـول بـان مفهـوم المقارنـة لقـيم حـدود الموثوقيـة (Confidence range) مع القيم المعدلية الأصلية وإجراء عمليات تقييم المعلومات واحتمالاتها كل ذلـك يتم تطبيقه وتكراره ذاتياً في جميع الخطوات الحسابية التي تنفذ الخيارات الثلاثة السابقة وفـق البرنـامج المصمم الحالي.

المناقشة

تم القيام بجمع ومعالجة وتفسير مئات القياسات لمحطات الجس المقاومي الكهربائي (Electrical Resistivity Sounding) لترتيب شلمبرجر باستخدام البرنامج (MAK) ومقارنته مع برامج عالمية مشفره وفق الدراسات الآتية (Mutib, 2000)، (Mutib and AL-Shaikh., 2002)، (Mutib and AL-Shaikh, 2005)،(Mutib and Salah, 2006)، (Mutib, 2006)، (Mutib and Eclims, 2008) ، (Mutib and Almwaly, 2008). حيث يلاحظ أن المرتسمات النظرية لمنحنيات المقاومية الظاهرية وتحويلاتها على المقياس اللوغاريتمي تبين وجوب الانحدار الصعودي والنزولي إلى اقل من°45 باستثناء الانحدار التنازلي لمنحنيات المقاومية فيمكن أن يكون اكبر من°45 (Keller and Frischknecht, 1982). إن هذه الحقيقة يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند تغذية البرنامج بالمعطيات الحقلية لان القياسات الملحوظة الملوثة بالأخطاء الناتجة من جراء التغيرات الجانبية القريبة من السطح (Reynolds, 2003) أو الميل الكبير للطبقات أو الفوالق أو عدم التماثل للخصائص ألكهربائية(Anisotropicity)، يمكن أن يعطي قيما سالبه لسمك الانطقة المحسوبة في النموذج ألابتدائي. ويتم عادةً معالجة هذا التلوث ذاتيا (Automatically eliminated) أو بإجراء التهذيب اللذين يؤثران في دقة النتائج فالخطأ المغذى يخلق وفق قاعدة التكافؤ تغيرا في قيم المقاومية وبالتالي ظهور نتائج لا علاقة لها بالحقيقة الجيولوجية. وقد تم معالجة هذه المعضلة في البرنامج المصمم الحالي باتخاذ متغير النسبة المئوية (Cj) المناسب مع معالجة القيم المستحدثة بعمليات ذاتية متكررة.

إن الغموض في تفسير المعطيات الحقلية يمكن أن ينتج بفعل العلاقة بين قيم تحويلـة المقاوميـة المقشرة والقيم الاصليه للتحويله في حصول ظاهرتي التكافؤ والإخمـاد للمعـاملات النطاقيـة. إن ذلـك

الغموض قد يظهر في ألنموذج الرياضي الابتدائي نتيجة استخدام العلاقات التكرارية حيث تتم معالجة هذه المشكلة في البرنامج المصمم الحالي وذلك باستخدام الأسلوب العكسي (Inversion approach) في تقطيع مجموعات قيم المقاومية وتحويلاتها وبتطبيق نظرية المربعات الأدنى لكل مجموعة متحسسة (Sensitive group) بمعاملات نطاق كهربائي معين. ويمكن إعادة ضبط وتدقيق تفسير تلك القطع (Segments) بالشكل الامثل من خلال القدرة الذاتية للتقنية التقشيرية أو بالإجراء التوصيفي (Prescription) لأحد ألمعاملات النطاقية أو لكليهما. كل ذلك يخضع لفحص وتدقيق على وفق نظرية الاحتمالات، قيم متغير كير نل وإجراء التقييمات اللازمة لها. وبذلك فان الدراسة الحالية قد قدمت معالجة للعيوب التي يمكن أن تظهر من تأثير العلاقة بين قيم المقاومية والتوزيع النطاقي كذلك بين قيم التحويلة وقيم اختزالها والتي يشير اليها (Koefoed, 1979).

إن القدرة التوضيحية والتحليلية (Enhancement and resolution) للبرنامج المصمم الحالي تعتمد على اختيار طول الفلتر الخطي الملائم لنوعية القياسات الحقلية التي تمثل التغيرات الصخرية العمودية سمكا ومقاومية وعددا. لذلك فمن المفضل تمهيديا اخذ قياسات حقلية لمحطة جس واحدة باستعمال 6، 8، 12 فاصلة قياس للدورة العشرية الواحدة (ألأشكال ١ و ٢ و٣). إن تشخيص الفلتر الذي يمكن تعميمه للتطبيق في المنطقة المدروسة يعتمد كذلك على نوعية الدراسة وأهدافها. فالتحريات الموقعية الهندسية والاثارية وتحديد المكامن المائية الضحلة تتطلب استعمال سلسلة خواص القياس ألمتقاربة للاستدلال على التغيرات الدقيقة في النموذج النطاقي لذلك فان الفلتر السداسي والتطبيق المضاعف له هو الأنسب في مثل هذه التنقيبات. اما الدراسات التركيبية والطباقية والتحري عن المياه الجوفية العميقة فان الفلتر الثلاثي هو الأنسب اختزالا للجهد المادي والزمني مع تلبيته الدقه المتوخاة.

يمكن إيجاد عمق اختراقي اكبر لمعرفة المزيد من التفصيلات عن المعاملات النطاقية الاعمق مع الاحتفاظ بمعاملات الانطقة السابقة نفسها باستخدام متغير الفرق الرقمي بين عدد قيم المقاومية المقاسة وعدد قيم التحويلة. وبناءا على ذلك فان تصميم النموذج الابتدائي يمكن أن يقرر المتغير الأفضل من بين تلك المتغيرات المعتمده في البرنامج مع التنبيه على ضرورة زيادة مديات فاصلة القياس القصوى كدالة للعمق الظاهري لقيم المقاومية الظاهرية نفسها على وفق مبدأ التناهي (Asymptotic principle).

الاستنتاجات

توصل البحث إلى توضيح واستثمار وتطوير التقنية الرقميـة فـي تصـميم النمـاذج التقشـيرية والتجزيئية والتحويرية لبيانات الجس المقاومي الأرضي وفق عملية حسـاب تحويلـة المقاوميـة للقـيم الملاحظة حقليا بعملية الفلترة الخطية التي تعتمد على تحويلة فورييه والاحتواء لدالتين .

يحتوي البرنامج على قائمة خيارات (Optional menu) مستنتجة تتلخص بالتوقفات الآتية:

١ - تحديد الفلتر الرقمي المطبق حقليا وفق جمع المعلومات بالاستمارات المشار إليها سابقا(الفلتر الثلاثي أوالرباعي أوالسداسي).

٢ - إعطاء قيم المقاومة الأرضية المقاسه (Measured earth resistance).

٣ – معالجة مناطق التراكب (Overlapping regions)الناتجة بفعل عدم التجانس القريب من السطح .

٤ - تحديد احد الخيارات الثلاثة بتهذيب القياسات الحقلية أو حساب النموذج النهائي أوالدخول إلى المرحلة الثالثة بإعطاء الشواهد الجيولوجية المتوفرة.

٥ - خيار تحسين مربع معيار الخطأ الانحرافي ولعدد يحدده المفسر أو الاستمرار إلى نهاية البرنامج أو استخدام تقنية تحوير النموذج النطاقي.

٦ - خيار تهذيب المعلومات المقاسة وهو أسلوب لا يفضل اللجوء إليه إلا في الحالات الاسـتثنائية مثـل عدم قدرة البرنامج في المرحلة الأولى أو الثانية في إيجاد الحل المناسـب الامثـل بسـبب رداءة القياسات وشرذمتها.

المصادر الأجنبية

Ghosh, D.P., 1971. The Application of Linear Filter Theory to the Interpretation of Geoelectrical Resisitivity Sounding Measurements. Geophys. Pros.,Vol.19, pp. 192-217.

Loke, M. H., 2007. Rapid 2D Resistivity and IP Inversion Using Least-Squares method, Geotomo Software, www.geoelectrical.com, 129 p.

Kearey, P. and Brooks, M., 1987. An Introduction to Geophysical Rxploration. lackwell Scientific Publication, Oxford, U.K., 296p.

Keller, G.V., and Frischknecht, F.C., 1982. Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, NewYork, USA, 519 p.

Koefoed, O., 1979. Geosounding Principles, 1, Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherland, 276 P.

Marsden, D.,1973. The Automatic Fitting of a Resistivity Sounding by a Geometrical Progression of Depths. Geophys. Pros., Vol. 21, PP. 266-280.

Mutib,M.,2000. New Contributions to the Geology of Mosul area from Geoelectric Investigations. Unpub Ph.D. Thesis , Mosul University , Geology Dept., 166p.

Mutib,M and AL-Shaikh, Z.D., 2002. A Reconnaissance Geoelectric Traverse in the Mosul Depression. Iraq Jour.of Earth Sciences Special Issue, Part 1, PP. 74-87.

Mutib,M and AL-Shaikh,Z.D.,2005. New Contributions to the Geology of Mosul Area from Geoelectric Investigations. Iraqi Jour.of Earth Sciences, Vol. 16, No. 2, PP. 132-147.

Mutib,M. and Almwaly, A.S., 2008. Geological Study of the Southern Allans Plain-Northern Iraq Using the Geoelectrical Sounding.Iraqi. The 61 ST Geological Congress of Turkey , Ankara .

Mutib,M. and Salah,A.M., 2006. Geoelectrical Investigations between Atshan and Shaikh Ibrahm Anticlines-NW Iraq. Iraqi Jour.of Earth Sci.,Vol, 6, No.1, PP.17-32.

Mutib,M.,2006. Implications and Influences of Length Variations of the Forward Filter Using the Convolution Approach . Iraqi Jour.of Earth Sciences ,Vol.6, No.2, PP.1-10.

Mutib,M. and Eclims, Y.F., 2008. Geoelectrical Study of Tel-Abta area SW-Mosul. The 6 TH Periodical Scientific Conference For Dams and Water Research Center ,Mosul University,PP.149-159.

O'Neill, D.J.,1975. Improved Linear Filter Coefficients for Application in Apparent Resistivity Computations. Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.,Vol.6, PP.104-109 (cited by Koefoed, 1979).

Reynolds, J. M., ,2003. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, Wiley and Sons Ltd., England, 796 P.

Sharma, P. V.,2004. Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University press, U. K., 475P.

Szaraniec, E.,1976. Fundamental Functions for Horizontally Stratified Earth. Geophys. Prosp.,Vol.24, PP. 528-548 .

.