

"إضاءات على التفسير الكمي لمنحنيات السبر الكهربائي الشاقولي"

الدكتور فواز الأزكي*

(تاريخ الإبداع 10 / 4 / 2014. قُبل للنشر في 3 / 9 / 2014)

□ ملخص □

يتوصل البحث إلى إمكانية تفسير منحنيات السبر الكهربائي الشاقولي لمنحنيات حقلية حقيقية، بعد أن تم التوصل إلى حساب المقاومة الظاهرية من خلال معادلة صالحة لجميع التشكيلات.

$$V(r) = 1/2 \pi r [C_1 \rho_n + \sum_{i=1}^{m-1} C_i T(\frac{\lambda_i}{r}) + C_2 \rho_1]$$

نتائج البحث توفر الكثير من الوقت والجهد في معالجة و تفسير المعطيات الجيوكهربائية، وتنعكس ايجابيا على تفسير السبر الكهربائي الشاقولي أكاديمياً و تطبيقياً.

الكلمات المفتاحية: التفسير الجيوكهربائي ، المقاومة الظاهرية

* أستاذ مساعد - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة تشرين - سورية.

"Illumination on quantitative interpretation of the vertical electrical sounding curves"

Dr. Fawaz Azki*

(Received 10 / 4 / 2014. Accepted 3 / 9 / 2014)

□ ABSTRACT □

Paper Find the possibility of interpreting the vertical electrical sounding curves in real field , having been reached resistivity virtual account through the equation is valid for all configurations

$$V(r)=I/2 \pi r [C_1 p_n + \sum_{i=1}^{m-1} C_i T(\frac{\lambda_i}{r}) + C_2 p_1]$$

Search results provide a lot of time and effort in processing and interpretation of the geoelectrical data , and reflected positively on the interpretation of the vertical electrical sounding academic and an applied.

Keywords: Geoelectrical interpretation, Apparent resistivity

*Associate Professor, Dep. of Geology , Faculty of Sciences ,Tishreen university, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يتميز السبر الجيوفيزيائي الكهربائي عن السبر الجيوفيزيائية الأخرى بطرق القياسات الحقلية، حيث تتوفر تشكيلات السبر الكهربائي الشاقولي حسب الطبيعة التضاريسية و عمق الاختراق، و ينتج عن ذلك العديد من نماذج نظرية لمنحنيات المقاومة الظاهرية، التي تؤدي إلى العديد من التفسيرات المتوافقة مع كل نموذج نظري، و تتعدد أهداف المسح الجيوكهربائي لكن الفعالية القصوى تكون في الأعمال الهيدروجيولوجية و الجيولوجيا الهندسية و كلما كان العمق المطلوب استكشافه جيوفيزيائياً قليلاً كلما كانت معطيات المقاومة أكثر دقة، و لتقادي الارتياح مع ازدياد العمق، يتم تغيير المسافة بين الالكترودين M,N طرداً مع ازدياد المسافة بين المسارين A,B و لهذا فإن معادلة حساب المقاومة الكهربائية هي $R = \Delta V / I$ حيث ΔV هي فرق الكمون المقاس في الحقل و I هي شدة التيار المعروفة من خلال جهاز التنقيب الكهربائي، و من توزيع الالكترودين M,N والمسارين A,B على سطح الأرض ينتج معنا تشكيل جيوكهربائي، هذا التشكيل ينتج عنه ثابت التشكيل K و لذلك فإننا نسمي جداء المقومية الكهربائية بثابت التشكيل بالمقاومية الظاهرية ρ_a حيث :

$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$ و التي تقاس بالأوم.متر، إنَّ تغيير M,N مع كل تغيير ل A,B يتطلب الكثير من الجهد والوقت والتكلفة، بالإضافة إلى ضياع شدة التيار والمعطيات التي تنفقر إلى الدقة المطلقة. الذي ينعكس على معالجة المعطيات وعلى تفسير النتائج.

يدرس البحث امكانية تحسين التشكيلات الجيوكهربائية بحيث تساهم في اعطاء نتائج أدق في كل من القياس والمعالجة والتفسير.

أهمية البحث وأهدافه:

للبحث أهميتان: أهمية أكاديمية من خلال التوصل إلى معادلة متطورة عن معادلة حساب المقاومة الظاهرية الكلاسيكية، و أهمية تطبيقية من خلال تسهيل عملية التنقيب الجيوكهربائي بواسطة السبر الكهربائي الشاقولي. و يهدف البحث إلى محاولة التوصل إلى معادلة تخدم حساب المقاومة الكهربائية الظاهرية

طرائق البحث و مواده:

يعتبر البحث بحثاً نظرياً، مع امكانية اجراء تطبيقات عملية، لذلك فهو يعتمد على الأسس النظرية الرياضية و الفيزيائية للحقل الجيوفيزيائي الكهربائي، و قوانين حساب المقاومة الكهربائية للأوساط الجيولوجية المتجانسة، و قانون حساب المقاومة الكهربائية الظاهرية، بمساعدة بعض المعادلات و استخدام برنامج IPI2Win المتخصص في معالجة و تفسير المعطيات الجيوكهربائية.

III- تحديث في حساب المقاومة الكهربائية الظاهرية لأي من التشكيلات:

حساب المقاومة الظاهرية من أجل أي تشكيل يعتمد على حساب الكمون عند السطح لحالة حقل ذو توضع طبقي أفقي، و الناتج عن مصدر نقطي متوضع على سطح الحقل أيضاً. أول معادلة رياضية لهذا الكمون وضعها سابا شتيفانيسكو عام 1930:

$$V(r) = I \rho_1 / 2\pi \int_0^{\infty} [1 + 2\theta_1(\lambda)] j_o(\lambda r) d\lambda \quad (1)$$

حيث: p_1 : المقاومة الظاهرية للطبقة الأولى.

$\theta_1(\lambda)$: تابع نواة سابا شتيفانيسكو ، r : المسافة بين مصدر التيار و نقطة قياس الكمون

حيث:

ا: شدة التيار

J_0 : تابع بيسل من المرتبة 0

λ : متحول التكامل

في عام 1970 قام كوفويد باستخدام العلاقة: $T(\lambda) = p_1(1 + 2\theta_1(\lambda))$ (نواة Schlichtes) و اقترح العلاقة

$$\text{المكافئة: } V(r) = 1/2\pi \int_0^\infty T(\lambda) j_0(\lambda r) d\lambda \quad (2)$$

حيث: $T(\lambda)$ هي تابع مسمّى من كوفويد محوّلة المقاومة

التابع $T(\lambda)$ يتم تعيينه استثنائياً باستخدام علاقة باكيريس (1940) المتكيفة من قبل كوفويد (1979)

$$T(\lambda) = T_1(\lambda), \quad T_1(\lambda) = p_1$$

$$T_i(\lambda) = \frac{T_{i+1}(\lambda) + p_i \tanh(\lambda h_i)}{p_i + T_i + \lambda_i \tanh(\lambda h_i)} \quad p_i \quad (3)$$

$$T_n(\lambda) = p_n$$

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

n يرمز لعدد الطبقات، أما p_i ترمز للمقاومية الظاهرية و h_i ترمز لسماكة الطبقة i

في المعادلة (2) يمكن اجراء تعويض $\lambda = \lambda/r$ لنحصل على علاقة الكمون $V(r)$:

$$V(r) = 1/2\pi r \int_0^\infty T\left(\frac{\lambda}{r}\right) j_0(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

من وجهة النظر العددية، يمكن تحديد قيمتين x_1, x_2 بحيث:

إذا كان $x < x_1$ ، $\tanh(x) = 0$ ، من اجل $h_i/r < x_1$ ($i=1, 2, \dots, n-1$) لدينا: $T(\lambda) = p_n$

أخذين بالاعتبار القيم الحدية للنسبة h_1/r والتي هي 10^{-4} و 10^4 يمكن تحديد قيمتين: λ_{\min} و λ_{\max}

حيث :

$$T(\lambda/r < \lambda_{\max}/r) = p_1 \implies T(\lambda/n > \lambda_{\max}/r) = p_1, T(\lambda/r < \lambda_{\min}/r) = p_n$$

و باستخدام هذه النتائج يمكن كتابة:

$$V(r) = 1/2\pi r [C_1 p_n + \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} T(\lambda/r) j_0(\lambda) d\lambda + C_2 p_1] \quad (5)$$

حيث:

$$C_1 = \int_0^{\lambda_{\min}} j_0(\lambda) d\lambda, \quad C_2 = \int_{\lambda_{\max}}^\infty j_0(\lambda) d\lambda = 1 - \int_0^{\lambda_{\max}} j_0(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

أخذين بالاعتبار تجزئة المجال $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ من الشكل:

$$\lambda_1 = \lambda_{\max} [\lambda_{\min} / \lambda_{\max}]^{i/m} \quad i=0, \dots, m$$

الآن يمكن كتابة:

$$\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} T(\lambda/r) j_0(\lambda) d\lambda = \sum_{i=0}^{m-1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_{i+1}} T\left(\frac{\lambda}{r}\right) j_0(\lambda) d\lambda = \sum_{i=0}^{m-1} T(\lambda_i/r) C_i \quad (7)$$

حيث:

$$\lambda_i = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2} \quad \text{و} \quad C_i = \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} j \lambda_0(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

J0 : تابع بييسيل Ci : عامل يتم حسابه من التكامل العددي.

و أخيراً من (5) و (6) ينتج من خلال تعويض (6) في (5):

$$V(r) = 1/2\pi r [C_1 \rho_n + \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} T(\lambda/r) J_0(\lambda) d\lambda + C_2 \rho_1]$$

$$V(r) = 1/2\pi r [\int_0^{\lambda_{\min}} j_0(\lambda) d\lambda \rho_n + \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} T(\lambda/r) J_0(\lambda) d\lambda + \{1 - \int_0^{\lambda_{\max}} j_0(\lambda) d\lambda\} \rho_1]$$

نصل إلى العلاقة:

$$V(r) = 1/2\pi r [C_1 \rho_n + \sum_{i=0}^{m-1} C_i T(\frac{\lambda_i}{r}) + C_2 \rho_1] \quad (9)$$

مع الأخذ بالاعتبار أن:

$$V = \text{كمون التيار الكهربائي المستقبل من الحقل}$$

$$r = \text{المسافة بين مساري التشكيل}$$

$$\rho_1 = \text{المقاومية الكهربائية للطبقة الأولى}$$

$$\rho_n = \text{المقاومية الكهربائية للطبقة الأخيرة}$$

$$T(\lambda) = \text{نواة (Schlichtes)}$$

يلاحظ تشابه العلاقة الأخيرة (9) مع عبارة المقاومة الظاهرية بطريقة الفلتر الخطي (جونسون 1975) ، مع اختلاف أن العلاقة (9) لها ميزة تمثيلها لنموذج عام لحساب المقاومة الظاهرية والتي تتوافق مع أي نوع من تشكيلات السبر الكهربائي الشاقولي مستخدمة العامل Ci نفسه. والذي يتم حسابه مرة واحدة حسب الدقة المطلوبة.

المقاومية الظاهرية المتوافقة مع تشكيل حقلي تعطي من خلال العلاقة:

$$p_a = k \cdot \Delta V / I$$

حيث: K: العامل الهندسي لتشكيل القياس الحقلي

$$\Delta V = \text{فرق الكمون بين الكترودي القياس ، يحسب من العلاقة (9)}$$

I : شدة التيار المرسل في التربة بواسطة الكترودي التيار.

استخدام الطريقة العكسية في تفسير منحني المقاومة الظاهرية التي وضعها جونسون (1975)، من الممكن

استخدامها في العلاقة (9) في التفسير الآلي للمعطيات الجيوكهربائية الحقلية.

IV- تحديث في تفسير منحنيات السبر الكهربائي الشاقولي المنفذ بتشكيل حقلي:

خلال المسح الكهربائي للحقل المتطبق، تقنية القياس العامة المطبقة هي طريقة السبر الكهربائي الشاقولي (V.E.S) . تفسير المقاوميات الظاهرية الناتجة يتم من خلال مقارنتها مع القيم النظرية المحسوبة من خلال فرضية تشكيل قياس (شلومبرجير) حيث المسافة بين الكترودي القياس M,N بحدها الأصغري.

في الواقع العملي لا يمكن إجراء السبر بمسافة صغيرة جدا بين الكترودي القياس، بسبب أن فرق الكمون بين الكترودي الكمون يتم تحديده من التيار المرسل في التربة من خلال التشكيل يصبح مقارن مع فرق الكمون الناتج عن التيارات التيلورية أو مصادر أخرى غير متعلقة بالتشكيل المستخدم والتي لا يمكن التقليل منها من خلال التصحيحات السابقة.

في هذه الشروط، حقلياً يتم استخدام تشكيلات بحيث النسبة AB/MN متغيرة بين 10 و 3 ، أحياناً يكون هذا المجال أوسع. انظر الجدول (1)

جدول (1): مجموعة من قيم $AB/2$ ، $MN/2$ مستخدمة في السبر الكهربائي الشاقولي

AB/2	2	3	3	5	7	10	10	15	20	30	40	50	50	70	70	100
MN/2	0.5	0.5	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20

ينتج من هنا أن التفسير الكمي للمعطيات الحقلية يكون محققاً مع وجود أخطاء القياس و الأخطاء الناتجة عن اعتبار الحقل وسط متطبق، والأخطاء الناتجة عن الاختلاف بين تشكيلات شلمبرجير المستخدمة في التفسير وتلك المستخدمة في الحقل.

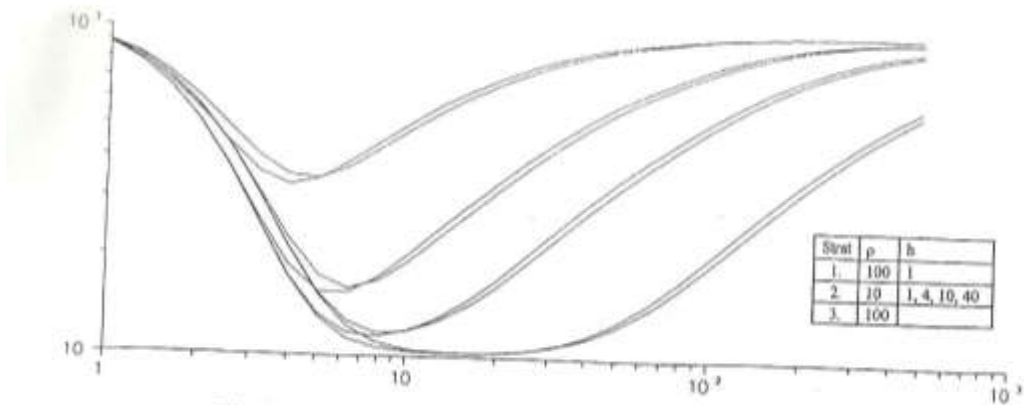
من أجل التخلص من هذه الأخطاء الناتجة عن القيم المقاسة بتشكيلة مستخدمين النسبة AB/MN بقيمة صغيرة ، يجب تحويلها الى قيم متوافقة مع تشكيل شلمبرجير.

أو الأخطاء الناتجة عن المعطيات الحقلية، يجب مقارنتها مع القيم النظرية المحسوبة من أجل كل توزع للتشكيل المستخدم في الحقل.

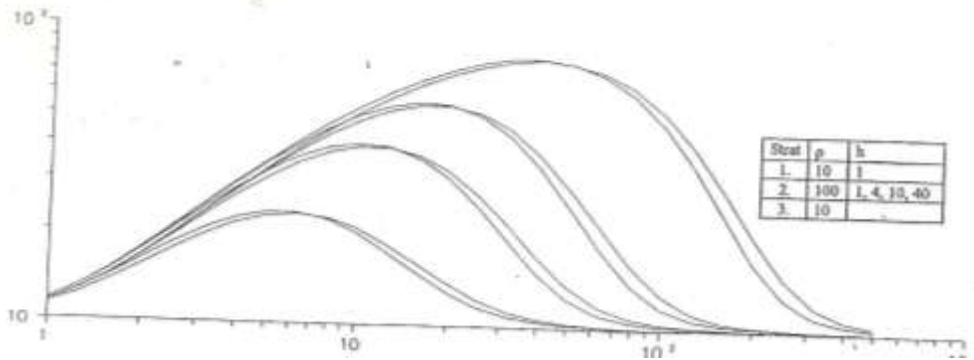
من أجل تقدير قيمة الأخطاء الناتجة عن التقريب بين تشكيل القياس الحقلي مع التشكيل من نوع شلمبرجير أو وينير، تم وضع برنامج لحساب المقاومة الظاهرية المتوافقة مع تشكيل بحيث الالكتروادات تتوزع في أي وضع فراغي، و بشكل خاص تلك التي تتوافق مع التشكيل المستخدم حقلياً.

طريقة الحساب تم شرحها في الفصل السابق، حساب المقاومات الظاهرية من أجل تشكيل شلمبرجير ، نظرياً يعتمد على طريقة الفلتر الخطي (كريفويد 1979).

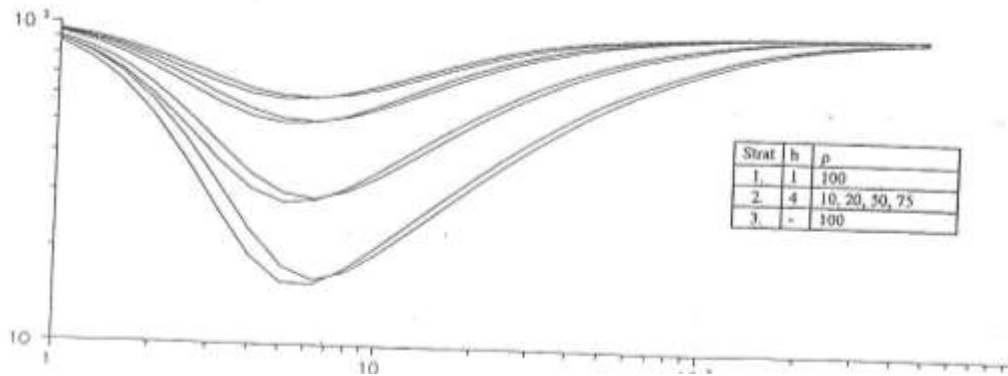
تم استخدام البرنامج من أجل إنشاء سلسلة من منحنيات VES من نوع K,H,Q بحيث AB/MN يبقى ثابتاً، الأشكال (1-4) و كذلك لبعض منحنيات VES الأشكال (5-6) المتوافقة مع سلسلة الأطوال $AB/2, MN/2$ الموجودة في جدول (1) أي بقيم متغيرة للنسبة $AB/2, MN/2$



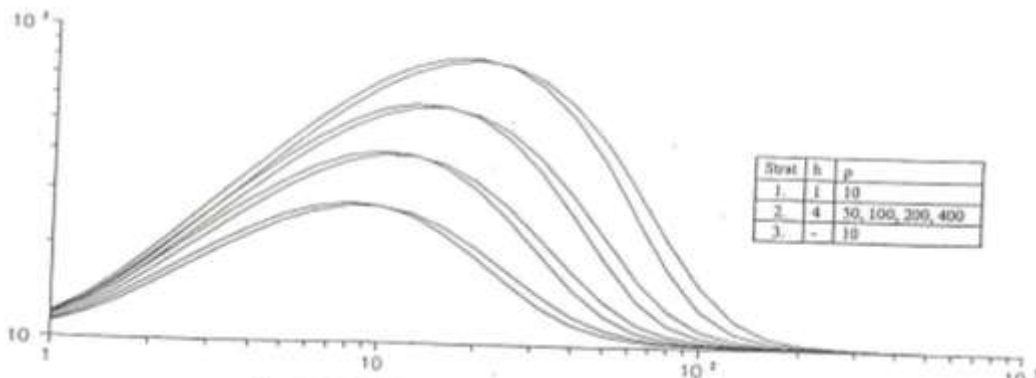
الشكل (1): منحنيات VES من نمط $K(AB/MN=10 \text{ \& } AB/MN=3)$ من 3 طبقات من أجل سماكات مختلفة للطبقة الثانية



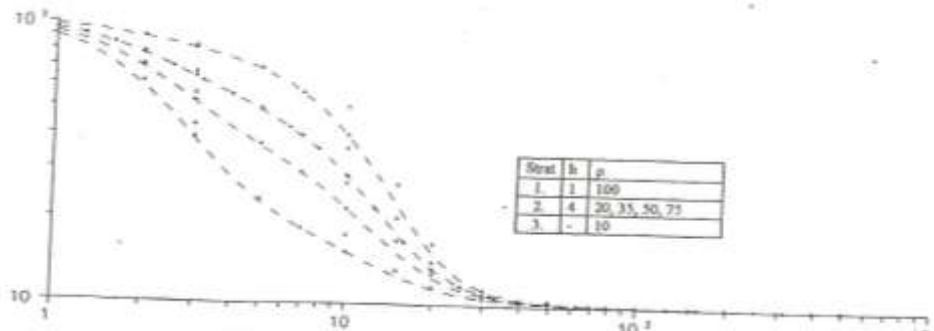
الشكل(2): منحنيات VES من نمط K(AB/MN=10 & AB/MN=3) من 3 طبقات من أجل سماكات مختلفة للطبقة الثانية



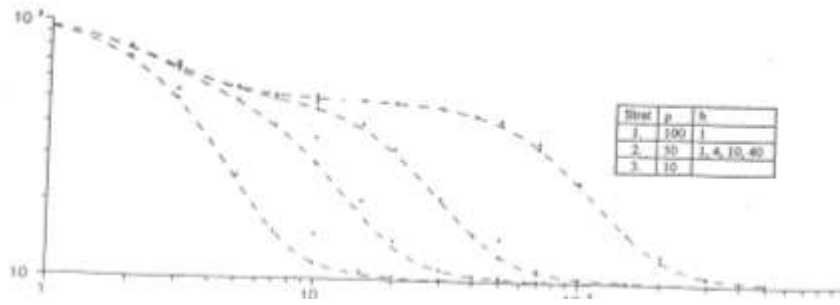
الشكل(1): منحنيات VES من نمط H(AB/MN=10 & AB/MN=3) من 3 طبقات من أجل سماكات مختلفة للطبقة الثانية



الشكل(4): منحنيات VES من نمط K(AB/MN=10 & AB/MN=3) من 3 طبقات من أجل سماكات مختلفة للطبقة الثانية



الشكل(5): منحنيات VES من نمط Q (حيث AB/MN متغير حسب الجدول 1) من 3 طبقات بسماكات مختلفة للطبقة الثانية



الشكل(6): منحنيات VES من نمط Q (حيث AB/MN متغير حسب الجدول 1) 3 طبقات بسماكات مختلفة للطبقة الثانية

يمكن التأكد من وجود اختلاف ملحوظ بين منحنيات VES منفذة من أجل نسب AB/MN مختلفة. يلاحظ أن بقدر ما يكون AB/MN أصغر يكون منحنى VES الناتج مزاح نحو الخارج أكثر بالمقارنة مع منحنى VES شلمبرجير النظري، حيث الاختلاف بسيط حيث لم يعد من الضروري رسم المنحنى AB/MN=10 مدى الانتقال لفاصلة نقطة من المنحنى يزداد بشكل أكبر مع ازدياد فرق المقاومة بين طبقتين، خاصة الأجزاء المتناقصة من منحنى VES. هذه الحقيقة من وجهة النظر العملية يمكن استخدامها في تنفيذ VES حيث تتم ملاحظة تغير طول MN فقط في الأجزاء المتزايدة من منحنى VES. و يتم تجنب التغير في الجزء المتناقص من المنحنى من خلال تكبير تيار الإرسال.

كذلك انحراف منحنى VES شلمبرجير عن منحنى الحقل أكبر في حال منحنيات VES من نوع H و Q. الأخطاء التي تظهر في التفسير من خلال تجاهل هذا المظهر يجعلنا نحصل على سماكات طبقات أكبر من السماكات الحقيقية.

من خلال التفسير الكمي لمنحنيات VES من نوع H حيث تشكيل القياس له النسبة AB/MN=3 و كأنه تم تنفيذه بتشكيل شلمبرجير تم الحصول على النتائج التالية جدول(2)

جدول(2): منحنى VES بثلاث طبقات - نوع H

الطبقة	التشكيل		
	شلمبرجير	AB/MN=10	AB/MN=3
1	100[Ω m]/1[m]	100[Ω m]/1[m]	97[Ω m]/1.1[m]
2	10[Ω m]/4[m]	10[Ω m]/4.1[m]	11[Ω m]/5[m]
3	100[Ω m]	100[Ω m]	00[Ω m]

من منحنيات VES في الشكلين 1 و 3 يمكن ملاحظة تناقص واضطلل الحد الأعظمي والأصغري مع تناقص النسبة AB/MN. يؤدي ذلك إلى أن التشكيلات ذات النسبة AB/MN بقيمة كبيرة يمكن أن تقدر بشكل جيد التباينات الصغيرة للمقاومية، كذلك تشكيل شلمبرجير هو الأكثر فعالية حين يكون البحث عن طبقات ذات تباين خفيف في المقاومة.

في الشكلين 5 و 6 يمكن ملاحظة الفروق الذي يمكن أن تظهر نتيجة استخدام التشكيلات الحقيقية بنسبة AB/MN متغيرة بالمقارنة مع منحنيات VES لشلمبرجير.

يجب وضع خط تحت القفزات الكبيرة في الأجزاء ذات التقوس الكبير لمنحنيات VES الحقلية، و التي يجب أن لا تأخذ بالاعتبار بعض التباينات المكانية قرب الكترودي القياس، بل فقط تلك الناتجة عن الأسباب الوادة أعلاه. بشكل عام فإن منحني VES يبدأ بقيم صغيرة للنسبة AB/MN . قيم المقاومة الظاهرية المتوافقة مع أطوال صغيرة لـ $AB/2$ تكون قريبة من قيم شلمبرجير، لأن عمق الاختراق في التشكيل يكون مقارن مع سماكة الطبقة الأولى. حين يزداد طول $AB/2$ مع المحافظة على طول MN فإنّ المقاومات الظاهرية المقاسة ستكون قريبة من شلمبرجير، و بالتالي أول قطعة من منحني VES الحقلي و المعبرة عن أول طول لـ MN يجب عدم تعديلها. بدءاً من أول تغيير لـ MN ، منحني الحقل سوف يبدأ بالابتعاد عن منحني VES لشلمبرجير بتناسب عكسي مع $AB/2$. من هنا خلال إنشاء منحني VES الحقلي، و حين سيتم تجنب النقاط المضاعفة عند تغيير MN ، القيم من احد القطع التالية لأول قطعة يجب تفاضلها بحيث تتسع قطعة منحني VES.

من المقبول أن يتم تحويل معطيات الحقل و تعديلها بحيث تصبح قريبة من منحني شلمبرجير VES. لكن يجب الانتباه بدقة إلى خبرة الجيوفيزيائي المفسر. من أجل التفسير الكمي للمعطيات الحقلية الأكثر دقة يجب استخدام برامج لحساب المقاومة الظاهرية التي تتبع شروط القياس.

تلك البرامج تجنبنا من الحذر الذي يجب اتخاذه من قبل مهندس الحقل الذي يجري القياسات السبرية حول مواقع الالكترودات و توافقها مع احداثيات الالكترودات الافتراضية في التشكيل النظري. الالكترودات يمكن وضعها بأي شكل، المطلوب فقط تدوين احداثياتها من أجل امكانية استخدامها لاحقاً في حساب المقاومة الظاهرية. طريقة حساب المقاومة المباشرة و التي تسمح أيضاً بالحساب العكسي للمعطيات المقاسة، هذه الطريقة تم توضيحها في الفقرة IV من البحث

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- المعادلة المعدلة التي توصل لها البحث لحساب كمون المقاومة الكهربائية تتيح المجال للجيوفيزيائي باختيار احداثيات الالكترودات القياس بحرية، بما يتناسب مع الطبيعة التضاريسية لمنطقة الدراسة.
- 2- تحديث آلية التفسير الآلي للمعطيات الجيوكهربائية يوفر الكثير من الجهد و الوقت و التكلفة في أعمال السبر الكهربائي الشاقولي.
- 3- يوصى بإجراء دراسات نظرية أخرى لجميع طرائق التنقيب الكهربائي.
- 4- يوصى بإجراء تطبيق عملي لنتائج البحث ضمن بحث تطبيقي آخر.
- 5- من المفيد أن تتوسع الدراسة لتشمل جميع الطرائق الجيوفيزيائية التي تتطلب التفسير الآلي عبر برامج متخصصة.

المراجع:

- 1- Johansen, H.K.,1975, An Interactive computer/graphic-display terminal system for interpretation of resistivity sounding. Geophysical Prospecting, 23, 449-458
- 2- Koefoed,O., 1970, A fast method for determining the layer distribution from raised Kernal function in geoelectrical sounding, Geophysical Prospecting, 18, 564-570
- 3- Koefoed,O., 1979, Geosounding Principles, I – Resistivity Sounding Measurement : Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- 4- Pekeris,C.L., 1940, Direct Method of Interpretation in Resistivity Prpspecting, Geophysics, 5, 31-42
- 5- Stefanescu, S.S., Schlumberger, C. and M., 1930, Sur la distribution electriquepotentielleautour d un prise de terreponctuelledans terrain a couches horizontals, homogenes et isotropes, J.Phys.Radium,7, 132-141