

## نتائج استخدام المركبة الشاقولية للحقل المغنطيسي في قياسات التردد المنخفض جداً البروفيلية

زياد سلوم<sup>(1)</sup>

تاريخ الإيداع 2014/11/12

قبل للنشر في 2015/03/09

### الملخص

بيّن البحث أهمية استخدام المركبة الشاقولية للحقل المغنطيسي في قياسات بروفيلية الترددات المنخفضة جداً بهدف تحديد نطاقات عدم التجانس (فالق، تشقق.....). أدى استخدام تدرج قيم المركبة الشاقولية Hz إلى ازدياد دقة تحديد هذه الشواذ. حُسبت القيم النظرية Hz وتدرجاتها من أجل نموذج نظري محدد، ومن ثم طُبّق ذلك حقلياً على منطقتين، الأولى هي منطقة بازلتية، والأخرى رسوبية. كانت النتائج مشجعة في كلتا الحالتين المدروستين.

**الكلمات المفتاحية:** التردد المنخفض جداً، نطاقات عدم التجانس المركبة المغنطيسية الشاقولية، الحقل المغنطيسي، التدرج.

---

<sup>(1)</sup> قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

## **The results of using the Vertical component of magnetic field in the very low frequency (VLF) Profiling measurements**

**Z. Salloum<sup>(1)</sup>**

Received 12/11/2014  
Accepted 09/03/2015

### **Abstract**

The research demonstrates the importance of using the Vertical component of the magnetic field in the very low frequency Profiling measurements for the determination of inhomogeneity zones (fault, fractures ... ).

The use of the gradient of Hz values increases the accuracy of determination of the anomalies .The theoretical of Hz values and their gradient are calculated for certain anomaly (body) and field measurements of Hz have been executed in two areas 1:in basalt area and 2:in sedimentary area. The results were encouraging in both studied cases.

**Key words:** Very low frequency, Vertical component, Magnet field, Gradient

---

<sup>(1)</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

## المقدمة

تستخدم تقنية قياسات التردد المنخفض جداً (Very Low Frequency) VLF ومركباتها الكهرطيسية [1] في تحديد الأجسام تحت السطحية في مجالات تحديد المياه الجوفية، والينابيع ضمن نطاقات تشققات الصخور [2] وتحديد الفوالق والينابيع المرتبطة بها [3]، وفي المسح الجيولوجي [4]، وتحديد نطاقات الفجوات الكارستية والتشققات [5]، وكذلك في حل بعض المسائل الجيولوجية. يمكن من خلال قياس المركبات المغنطيسية للشاذ تحديد تغيرات البنى الجيولوجية والتكتونية الأفقية، المرتبطة ارتباطاً وثيقاً بتغيرات الصفات البتروفيزيائية للصخور؛ وأهمها مقاومتها الكهربية  $\rho$  (الناقلية الكهربية). لكن حساب التدرج Gradient لقياسات هذه المركبات المغنطيسية يساعد على تحديد كل من التغيرات الأفقية والشاقولية للشاذ من جهة، ومن جهة أخرى يساعد على التخلص من التأثير الطبوغرافي، فضلاً عن المساعدة في تحديد الشواذ الأفقية والشاقولية الناتجة عن أجسام وبنى جيولوجية تحت سطحية من مثل الفوالق والشقوق والتكهفات [6].

## هدف البحث

إظهار إمكانية استخدام القياسات الحقلية للمركبة المغنطيسية الشاقولية Hz البروفيلية المقيسة بطريقة التردد المنخفض جداً في تحديد نطاقات التشقق والنطاقات الفالقية تحت السطحية.

## مواد البحث وطرائقه

1- المبدأ النظري: تعتمد قياسات التردد المنخفض على الإفادة من الحقول الكهرطيسية الصناعية الصادرة من محطات إرسال تعمل بتيار متناوب [7] ضمن مجال تردد (15-25) kHz.

تعرض هذه الحقول المتناوبة تيارات كهربية تحريضية في الأجسام الشاذة (بنى جيولوجية) التي تتمتع بناقلية كهربية جيدة، تختلف عن ناقلية الأجسام المحيطة بها في الجزء السطحي من القشرة الأرضية المتأثر بالبنى التكتونية والجيولوجية، وفقاً لمعادلات مكسويل المعروفة في الكهرطيسية، تؤدي هذه الحقول الكهرطيسية إلى نشوء حقل مغنطيسي ثانوي متعرض Hs يحمل في طياته معلومات عن البنى الجيولوجية [8].

يقاس الحقل المغنطيسي الثانوي المتعرض الناتج عن الجسم الشاذ غير المتجانس، وعلى وجه الخصوص تقاس مركبته الشاقولية  $H_z^s$  المناسبة جداً لأغراض الاستكشاف والبحث عن أجسام عدم التجانس الجيولوجية والتكتونية [6].

بيّنت الدراسات النظرية أنه من أجل نموذج مبسط لجسم جيولوجي قليل السماكة، يتمتع بناقلية كهربية جيدة، على سبيل المثال صفيحة ذات ناقلية كهربية جيدة تتوضع شاقولياً

بحيث يكون عمق حافتها العلوية عن سطح الأرض  $Z$ ، يمكن عدُّ هذا نموذجاً لعروة تيار مستطيلة تبعد حافتها العلوية مسافة  $Z$  عن السطح وفقاً لقانون بيو وسافار [1] بولد هذا التيار حقلاً مغنطيسياً متحرضاً ناجماً عن الحقول الكهرومغناطيسية الصناعية المرسله من السطح يعطى بالعلاقة الآتية:

$$H = \frac{I}{2\pi r} \dots\dots\dots(1)$$

إذ  $I$  شدة التيار المار في الجسم الناقل، و  $r$  بعد النقطة التي يقاس فيها الحقل المغنطيسي عن الناقل التي تعطى بدورها بالعلاقة  $r = \sqrt{X^2 + Z^2}$  إذ  $X$  البعد الأفقي،  $Z$ : عمق الحافة العلوية للجسم الشاذ، أي البعد الشاقولي، كما يبين الشكل (1). فضلاً عن ذلك يمكن تحليل الحقل المغنطيسي هذا إلى مركبتين أفقية وأخرى شاقولية تعطى بالعلاقة:

$$H_z = H \cos \theta \dots\dots(2)$$

$$\cos \theta = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \quad \text{ولما كان}$$

من ذلك ينتج أن المركبة الشاقولية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$H_z = C \frac{Z}{X^2 + Z^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$C = \frac{I}{2\pi} \quad \text{إذ:}$$

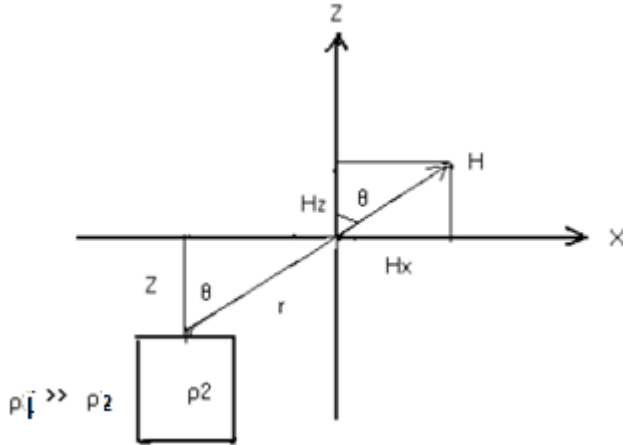
على نحو مماثل تعطى المركبة المغنطيسية الأفقية  $H_x$  بالأخذ بالحسبان أن  $H_x = H \sin \theta$  بالعلاقة الآتية:

$$H_x = C \frac{X}{X^2 + Z^2} \dots\dots\dots(4)$$

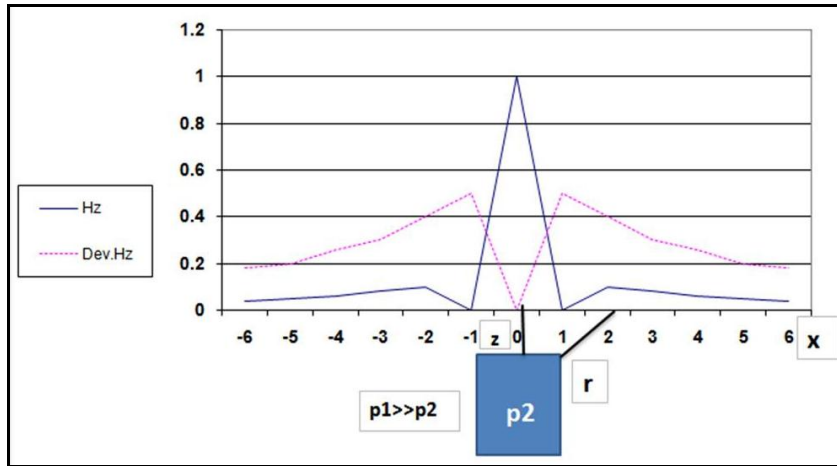
يؤخذ تدرج المركبتين  $H_x$ ،  $H_z$  من المعادلتين (3) و(4) بالنسبة إلى كلٍ من المتحولين  $x$ ،  $Z$  ينتج أن:

$$\frac{\partial H_x}{\partial Z} = \frac{\partial H_z}{\partial X} \dots\dots\dots (5)$$

تبيّن العلاقة (5) أن تدرج المركبة الشاقولية  $H_z$  بالنسبة إلى البعد الأفقي  $X$  يساوي تدرج المركبة الأفقية بالنسبة إلى العمق  $Z$ .



الشكل (1) الحقل المغنطيسي المتعرض H ومركباته  $H_x$ ،  $H_z$  الناتج عن عروة تيار مستطيلة



الشكل (2) منحنيات نموذجية محسوبة لكل من  $H_z$ ، وتدرج  $H_z$  بالنسبة إلى المتحول  $X$  وفقاً للعلاقة (5)؛ وذلك من أجل عروة تيار مستطيلة مقاومتها النوعية الكهربائية  $\rho^2$  أصغر بكثير من المقاومة النوعية للوسط المحيط  $\rho^1$ .

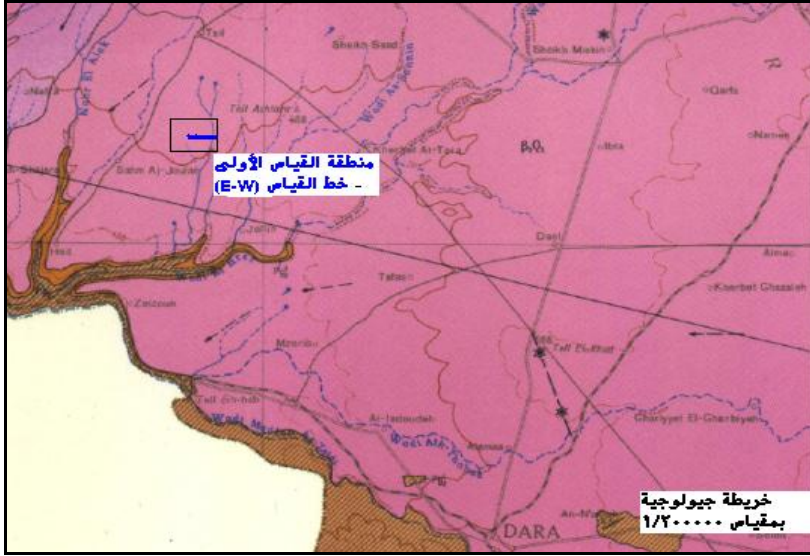
يبين الشكل (2) علاقة المركبة الشاقولية  $H_z$ ، وتدرجها بالبعد الأفقي  $X$ . استناداً إلى معطيات الشكل (2) يمكن استنتاج ما يأتي:

- 1- يحدد منحنى تدرج المركبة  $H_z$  موقع الجسم الشاذ بدقة كبيرة.
- 2- يتناقص منحنى التدرج بازدياد بعد الجسم الشاذ أكثر من تناقص قيم  $H_z$  نفسها.

3- يتحدد عمق الحافة العلوية Z للجسم الشاذ بأنه يساوي نصف عرض القيمة العظمى لمنحنى التدرج.

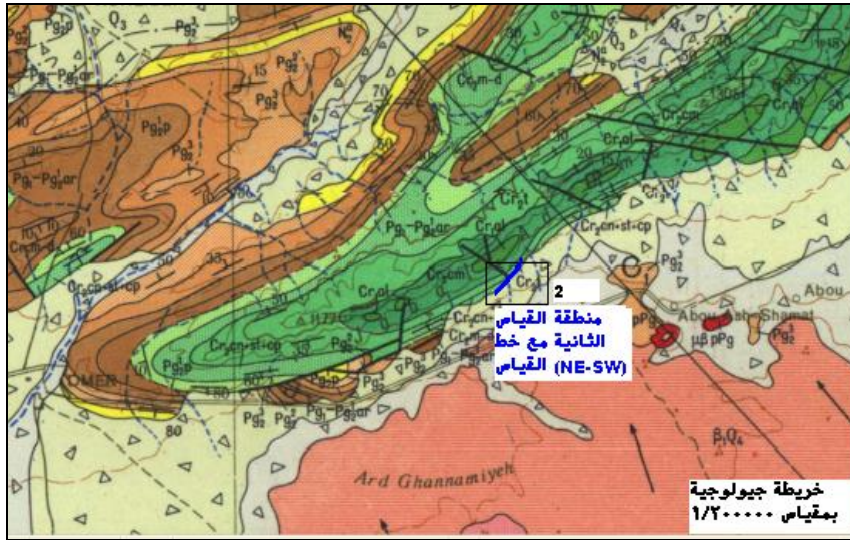
## 2- الوضع الجيولوجي:

نفذت القياسات الحقلية لقيم  $H_z$  (المركبة المغنطيسية الشاقولية) في مناطق مختلفة الطبيعة الجيولوجية، مثل المعقدات البازلتية، والمتتابعات الرسوبية الفالقية على النحو الآتي:  
 A- نفذت قياسات المركبة المغنطيسية الشاقولية فوق معقد بازلتي في المنطقة الجنوبية شمال غرب درعا بالقرب من منطقة (سحم الجولان) (منطقة القياس الأولى) الشكل (a-3) تعود لعمر  $B_1Q_1$  (Pleistocene) (الرباعي الأسفل) المؤلفة صخره من أناميزيت ودولوريت وبازلت وسكوريا والأغلوميرات التي تتميز بقساوتها العالية واحتوائها على نطاقات تشقق ذات ناقلية كهربائية تختلف عن الصخور الموجودة ضمنها.



الشكل (a-3) خريطة جيولوجية ممثل عليها منطقة القياس الأولى وخط القياس —

B- المثال الثاني منطقة فالقية: نفذت القياسات في منطقة فالقية مؤلفة من صخور رسوبية تقع على امتداد السلسلة التدمرية شمال شرق ضمير (منطقة القياس الثانية) شكل (b-3)، حيث المنطقة مؤلفة من صخور كلسية-كلسية دولوميتية تعود لعمر الكريتاسي، وهي مخلعة بمجموعة من الفوالق. نفذ القياس فوق المنطقة لتحديد الفالق فيها، وأنه يتجه شمال شرق-جنوب غرب بخطوة قياس  $\Delta X=10m$ . استُخدم الحقل المغنطيسي المتولد عن محطة الإرسال GBR بتردد  $F1=16000Hz$ ؛ وذلك لتحديد حدود نطاق التشقق الفالقي.



الشكل (3-ب) خريطة جيولوجية ممثل عليها منطقة القياس الثانية وخط القياس

### 3- مواقع القياسات الحقلية:

من الضروري عند تنفيذ القياسات الحقلية مراعاة الشروط الآتية:

- 1- وجود الحقل المغنطيسي الأولي للمرسل.
- 2- أن يكون الحقل المغنطيسي الأولي موازياً للاتجاه الجيولوجي المراد كشفه قدر الإمكان.
- 3- تنفيذ القياس على طول خطوط عمودية على اتجاه البنية الجيولوجية.

**منطقة القياس الأولى:** قيست المركبة الشاقولية  $H_z$  على خط قياس باتجاه E-W الشكل (3-أ) بخطوة انتقال  $\Delta X=5m$ ، باستخدام جهاز قياس الترددات المنخفضة (T-VLF) باستخدام الحقل المغنطيسي المتولد عن محطات إرسال عالمية، مثل محطة إرسال Rugby, Great Britain (Rugby)، وهي محطة إرسال تصدر من بريطانيا من Rugby، وهي عبارة عن سلك شاقولي يغذى بتردد  $F1=16000Hz$  وطاقته  $(750) kw$  [9]. وذلك بهدف تحديد نطاقات التشقق المذكورة عن طريق حساب المشتق (تدرج)  $Dev.Hz$ .

**منطقة القياس الثانية:** نُقِّدَ القياس فوق المنطقة لتحديد الفالق فيها على خط قياس يتجه شمال شرق-جنوب غرب الشكل (3-ب)، بخطوة قياس  $\Delta X=10m$ . استُخدم الحقل المغنطيسي المتولد عن محطة الإرسال GBR بتردد  $F1=16000Hz$ ؛ وذلك لتحديد حدود نطاق التشقق الفالقي. ومثلت نتائج القياس بالشكل (6). الشكل يبين قيم المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  وقيم  $Dev.Hz$  المحسوبة من قيم  $H_z$ .

#### 4- تفسير نتائج القياسات الحقلية والمناقشة:

فسرت نتائج القياسات الحقلية اعتماداً على قيم المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  و  $Dev.H_z$  كما يأتي:

**منطقة القياس الأولى:** مثلت نتائج القياس بالشكل (4). الشكل يبين قيم المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  وقيم  $Dev.H_z$  المحسوبة من قيم  $H_z$ ، مع مقطع تفسيره الجيولوجي.

من تفسير هذه النتائج تبين ما يأتي:

1- توجد قيم عالية لـ  $H_z$  و  $Dev.H_z$  في بداية المنحنيات عند نقاط الانتقال (0-15)م ناتجة عن وجود ناقل صناعي، وهو أنبوب معدني.

2- هناك مناطق شواذ مميزة لقيم  $H_z$  و  $Dev.H_z$  عند نقاط الانتقال الآتية: (25-40)م، (45-65)م، (75-85)م، (105-135)م تدل على وجود نطاقات تشقق.

3- بوجود منطقتي شواذ طبيعية مميزة عند نقاط الانتقال التالية (25-40)م و (105-135)م، إذ يلاحظ وجود قيم مميزة لـ  $Dev.H_z$  بأنها ضيقة وذات حدية أكثر من قيمة  $H_z$  متركزة فوق الجسم الشاذ عند نقاط الانتقال نفسها.

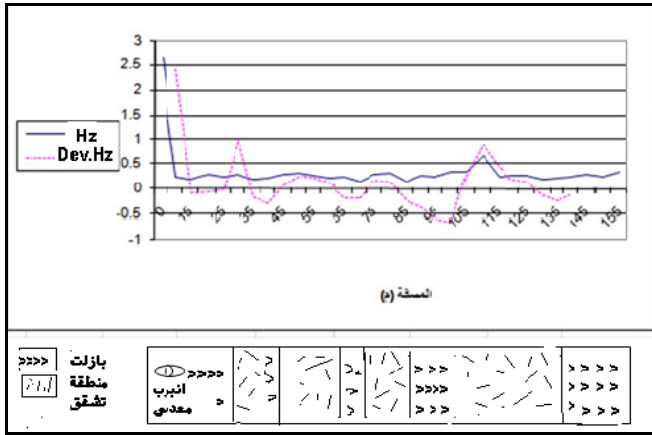
4- يعزى عدم حدية قيم  $Dev.H_z$  عند نقاط الانتقال (45-65)م (75-85)م إلى ما يأتي:

a. عدم توافر شرط التعامد لخط القياس على مكان وجود الجسم الشاذ.

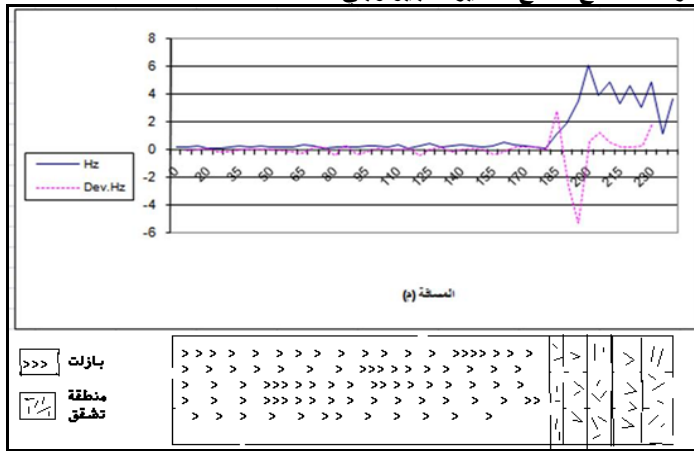
b. عدم توافر شرط التوازي بين امتداد الجسم الشاذ الطبيعي مع الحقل المغنطيسي الأولي، أو عدم التوافق بين المرسل وخط الاتجاه الجيولوجي.

قيست المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  على خط القياس نفسه من المنطقة الأولى، ولكن باستخدام الحقل المغنطيسي المتولد عن محطة إرسال أخرى NAA، وهي محطة إرسال تصدر من أمريكا من Culter, Main. وهي عبارة عن سلك شاقولي يغذى بتردد  $F_2=24000Hz$  وطاقتها  $9[1000kw]$ ، وحسبت قيم التدرج  $Dev.H$ ، ومثلت نتائج القياس في الشكل (5) مع مقطع تفسيره الجيولوجي، إذ يظهر الشكل اختلاف معطيات القياس ونتائجه باختلاف محطة الإرسال المستخدمة، ويؤكد ذلك اختلاف نتائج القياسات في الشكلين (4) و (5)، ويعزى السبب إلى اختلاف التردد المستخدم في كل محطة إرسال، ومن ثم اختلاف عمق الاختراق ونطاق الاستكشاف.





الشكل (4) خط قياس ممثل بقيم Hz و Dev.Hz شمال غرب درعا في منطقة (سحم الجولان) بتردد F1 مع مقطع تفسيره الجيولوجي.



الشكل (5) خط قياس ممثل بقيم Hz و Dev.Hz في منطقة (سحم الجولان) بتردد F2 مع مقطع تفسيره الجيولوجي.

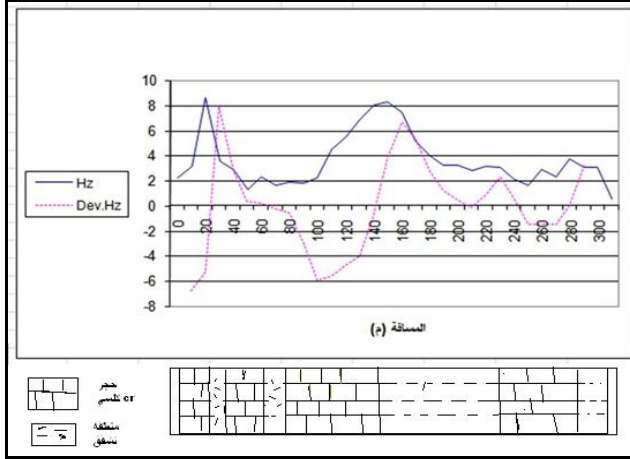
**منطقة القياس الثانية:** منطقة فالقية: فسرت نتائج القياسات الحقلية اعتماداً على قيم المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  و  $Dev.H_z$ ، ومثلت نتائج القياس بالشكل (6). الشكل يبين قيم المركبة المغنطيسية الشاقولية  $H_z$  وقيم  $Dev.H_z$  المحسوبة من قيم  $H_z$  مع مقطع تفسيره الجيولوجي. من تفسير هذه النتائج تبين ما يأتي:

- 1- وجود مناطق شواذ على منحنى  $H_z$  تمثل نقاط الانتقال الآتية (20-30)م (60-70)م (110-190) (230-280)م.

2. وجود مناطق شواذ على منحنى Dev.Hz مطابقة لمناطق شواذ قيم Hz، ولكن بانزياح واضح عند نقاط الانتقال الآتية (40-50)م (110-190)م (230-245)م (290)م. هناك تطابق بين القيم الحقلية المقيسة وتلك المحسوبة نظرياً.

وبمقارنة قيم Dev.Hz وقيم Hz يمكن التوصل إلى ما يأتي:

- وجود أكثر من جسم شاذ، وعلى أعماق مختلفة على طول خط القياس.
- عدم تعامد بروفيل القياس مع الاتجاه الجيولوجي تحت السطحي.
- عدم توازي الحقل المغنطيسي الأولي مع الاتجاه الجيولوجي.
- عدم تعامد خط القياس على نحو كامل مع الجسم الشاذ.

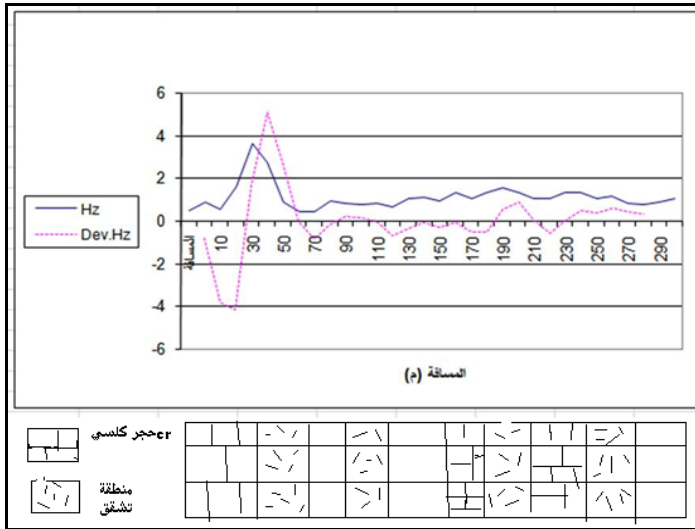


الشكل (6) خط قياس ممثل بقيم Hz و Dev.Hz شمال شرق ضمير في (منطقة القياس الثانية) تردد F1 مع مقطع تفسيره الجيولوجي.

قيست المركبة المغنطيسية الشاقولية Hz على خط القياس نفسه، ولكن باستخدام الحقل المغنطيسي المتولد عن محطة إرسال أخرى NAA بتردد 24000Hz، وبخطوة قياس  $\Delta X=10m$ ، وحسبت قيم التدرج Dev.Hz ومثلت نتائج القياس في الشكل (7) مع مقطع تفسيره الجيولوجي.

يبين الشكل (6) والشكل (7) اختلاف معطيات القياس ونتائجه باختلاف محطة الإرسال المستخدمة ويمكن أن يعزى ذلك إلى ما يأتي:

- وجود مناطق شواذ ممثلة على منحنى Hz بنقاط الانتقال الآتية: (10)م، (30-60)م، (85-120)م، (140-210)م، (230-270)م.
- وجود مناطق شواذ ممثلة على منحنى Dev.Hz بنقاط الانتقال الآتية: (40-60)م، (100-110)م، (150-170)م، (200-210)م، (250-280)م.



الشكل (7) خط قياس ممثل بقيم Hz و Dev.Hz في (منطقة القياس الثانية) بتردد F2 مع مقطع تفسيره الجيولوجي.

### الاستنتاجات

- 1- أظهر البحث إمكانية استخدام تغيرات قيم المركبة الشاقولية للحقل المغنطيسي المتحرض في Hz في القياسات الكهرطيسية البروفيلية في تحديد نطاقات التشقق والفوالق، سواء في المناطق البازلتية أو الرسوبية.
- 2- يوجد تطابق بين نتائج القياسات الحقلية والمعطيات النظرية.
- 3- يعزى سبب تباين بعض نتائج القياسات إلى ظروف حقلية، مثل عدم توافر شرط التعامد لخط القياس مع مكان وجود الجسم الشاذ وكذلك إلى عدم توافر التوازي بين امتداد الجسم الشاذ مع الحقل المغنطيسي الأولي، وكذلك ميول الجسم الشاذ، ووجود أكثر من جسم شاذ على أعماق مختلفة.
- 4- تتمتع كل محطة إرسال بحقل مغنطيسي أولي يختلف عن حقل المحطة الأخرى، وتختلف كذلك جهة هذه الحقول ومقادير اختراقها، وكذلك اتجاهها بالنسبة إلى خط القياس الذي له علاقة وطيدة بالشواذ المكتشفة.
- 5- أعطى تدرج قيم DevHz دقة في تحديد الجسم الشاذ أكبر بكثير من تلك الدقة التي تعطىها قياسات قيم Hz .
- 6- حُدِّت النطاقات الفالقية، ونطاقات عدم التجانس في الصخور البازلتية أو الرسوبية.

## REFERENCES

- 1- Miltzer, H. und weber, F. (1984). *Angewandte geophysik band2 geoelektrik Geothermik-Radiometrie Aerogeophysik* H. Miltzer und F. weber Akademie- verlag Berlin.
- 2- Doner, F. a. (1987). *Freiberger Forschungshefte beitraege zur VLF – Methode C414 Leipzig 1987.*
- 3-Sharma, S. p. and v.c.Baranwai. (2004). Delineation of ground water bearing fracture zone in hard rock area integrating very low frequency. *Journal of applied geophysics.* 57:155-166 .
- 4-Bernand, j. valla, p. (1991). Ground water exploration in fissured media with electrical and VLF method. *Geoexploration.* 27:81-91.
- 5-Guetter, A. Bayrak, M. and Cutter, O. F. (2009). A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults zone Turkey. *Journal of applied geophysics.* 68: 437-447.
- 6-McNeill, j. Dauf Labson .V. V. (1990). Geological mapping using VLF radio field, in Nabighian, Med *Electromagnetic method in applied geophysics.* Society of Exploration Geophysicists. p. 521-640.
- 7-Eslam,E. Glwadi, E. and others. (2006). Integrated geophysical survey for site investigation at new dwelling area. *Egypt journal of Environmental and Engineering Geophysics.* II: 249-259.
- 8-Bosh, F. P. and Muller, I. (2001). Continuous gradient VLF measurements a new possibility for high resolution mapping of karst, *First break.* 19:343-350.
- 9-Paterson, N. R. and,V. Ronka. (1971). Five years of surveying with the very low frequency electromagnetic method. *Geoexploration.* 9:7-26.