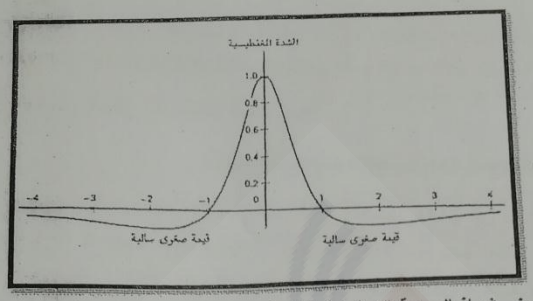
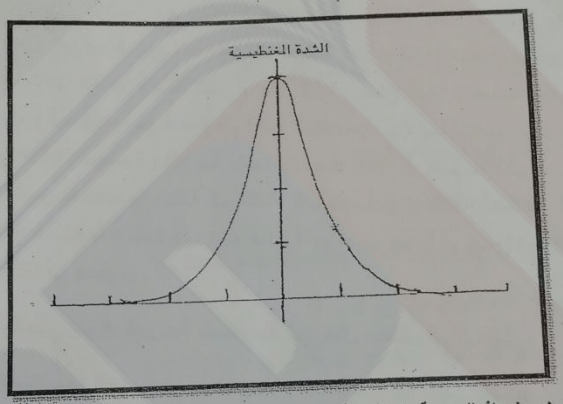
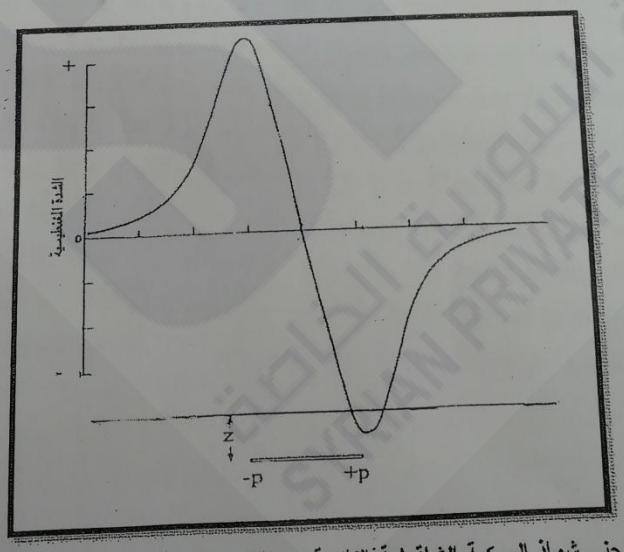
الأسبوع السابع (٥٥-٧١)



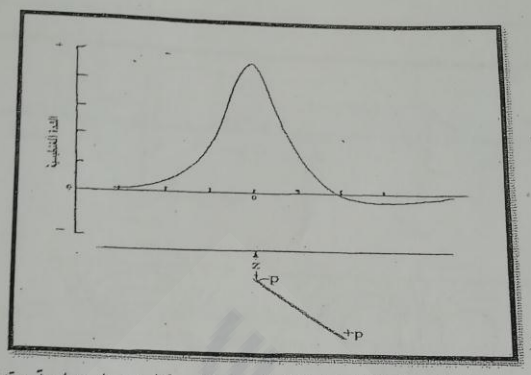
الشكل (2-19). منحني شواذ المركبة الشاقولية الناتجة عن ثنائي قطب شاقولي قصير.



الشكل (2-20). منحني شواذ المركبة الشاقولية الناتجة عن ثنائي قطب شاقولي طويل.



الشكل (2-21). منحني شواذ المركبة الشاقولية الناتجة عن ثنائي قطب أفقي.



الشكل (2-22). منحني شواذ المركبة الشاقولية الناتجة عن ثنائي قطب يميل بزاوية مقدارها 45 درجة عن الأفق.

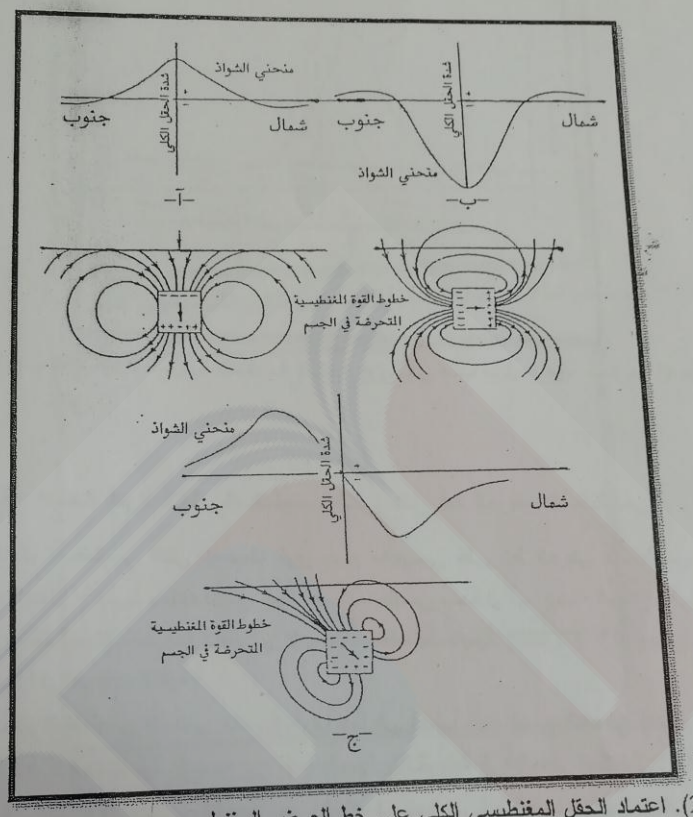
2-12-1-2- اعتماد شواذ الحقل المغنطيسي الكلي على خط العرض المغنطيسي:

تعتمد شواذ الحقل المغنطيسي الكلي المسجلة فوق جسم مغنطيسي على خط العرض المغنطيسي، فإذا كان الطيران باتجاه شمالاً – جنوباً ومتعامداً مع اتجاه جسم مغنطيسي متطاول أي يتجه شرقاً – غرباً ومقطعه العرضي مربع ومغنطيسيته متحرضة فقط، أي لا يحمل مغنطيسية متبقية (الشكل 2-23) وواقع في خطوط عرض مختلفة كما في الحالات التالية:

عندما يكون الحقل المغنطيسي الأرضي الكلي شاقولياً كما في القطب المغنطيسي الشمالي (الشكل 2-23-آ) نجد أن خطوط القوة المغنطيسية الناتجة عن المغنطيسية المتحرضة في الجسم المغنطيسي متناظرة حول محور شاقولي يمر من مركز الجسم ومتجهة نحو الأسفل في مستوى خط الطيران، فهي بالتالي تعزز الحقل المغنطيسي الأرضي وتعطي شواذاً مغنطيسية موجبة. أما عندما تكون خطوط القوة المغنطيسية مماسة لخط الطيران كما في حالة المناطق الواقعة على جانبي الجسم تصبح الشواذ مساوية للصفر، وعندما تكون خطوط القوة المغنطيسية شاقولية ومتجهة نحو الأعلى نجد أن الشواذ سالبة كما في حالة المناطق البعيدة عن الجسم.

عندما يكون الحقل المغنطيسي الكلي أفقياً كما في خط الاستواء المغنطيسي (الشكل 2-23-ب) نجد أن خطوط القوة المغنطيسية تعاكس الحقل المغنطيسي الأرضي فوق المركز السطحي للجسم مؤدية إلى ظهور شواذ مغنطيسية سالبة. وتكون الشواذ مساوية الصفر في النقطتين الواقعتين على خط الطيران وحيث تتقاطع خطوط القوة المغنطيسية مع خط الطيران بزاوية قائمة وتعزز خطوط القوة المغنطيسية الحقل المغنطيسي الأرضي بعيداً عن هاتين النقطتين مما يعطي شواذ موجبة.

عند وجود الجسم في خط عرض مغنطيسي (45°) شمالاً نلاحظ أن الوجهين القريبين من القطب الشمالي الأرضي يكتسبان مغنطيسية سالبة، بينما يكتسب الوجهان البعيدان مغنطيسية موجبة، وهكذا تتناظر خطوط القوة المغنطيسية حول قطر المربع (الشكل 2-23-ج) وتتعامد مع الحقل المغنطيسي الأرضي في المركز السطحي للجسم، لذا تكون محصلة الشواذ مساوية الصفر ويأخذ منحني الشواذ الشكل الظاهر في الشكل (2-23-ج) بعيداً عن المركز السطحي للجسم.

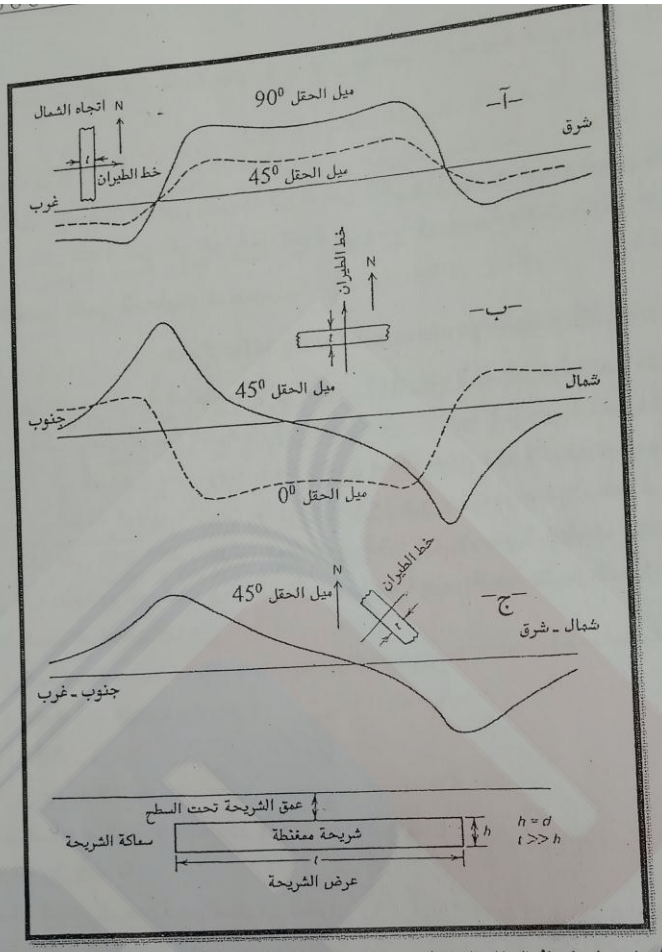


الشكل (2-23). اعتماد الحقل المغنطيسي الكلي على خط العرض المغنطيسي.
آ- الجسم في القطب المغنطيسي الشمالي.
ب- الجسم في خط الاستواء المغنطيسي.
ج- الجسم في خط عرض مغنطيسي 45° شمالاً.

2-12-1-3- اعتماد شواذ الحقل المغنطيسي على توجيه الجسم المغنطيسي:

تعتمد شواذ الحقل المغنطيسي الكلي على توجيه الجسم المغنطيسي المتطاول بالنسبة لخط الزوال المغنطيسي، إذ يزداد تفسير الشواذ المغنطيسية تعقيداً فيما لو شَكَلَ اتجاه الجسم المغنطيسي المتطاول زاوية مع خط الزوال المغنطيسي.

فلو كان الجسم شريحة مغنطيسية رقيقة بحيث يكون وجهها الطويل أفقياً وعرضها أكبر بكثير من سماكتها، وليكن خط الطيران عمودياً دوماً على اتجاه الشريحة. يعطي الشكل (2-24) منحنيات شواذ الحقل الكلي في الحالات الثلاث التالية:



الشكل (2-24). اعتماد شواذ الحقل المغنطيسي الكلي على اتجاه خط الطيران.

آ- اتجاه الجسم شمالاً-جنوباً.

ب- اتجاه الجسم شرقاً-غرباً.

ث- اتجاه الجسم شمالاً 45° غرباً - جنوباً 45° شرقاً.

1- اتجاه الشريحة شمالاً - جنوباً:

تكون الشواذ موجبة فوق الشريحة نفسها وسالبة خارجها وتزداد سعة الشواذ كلما ازداد خط العرض المغنطيسي، كما يبدو عندما تكون الشريحة في القطب المغنطيسي وفي خط عرض مغنطيسي 45 درجة (الشكل 2-24-آ).

2 - اتجاه الشريحة شرقاً-غرباً:

تعتمد الشواذ على قيمة الميل المغنطيسي ففي خط عرض مغنطيسي مقداره (45°) تكون الشواذ غير متناظرة بحيث تكون موجبة فوق القطب السالب للحقل المحرض، وتكون سالبة فوق القطب الموجب للحقل المحرض،

وإذا كان الحقل المحرض أفقياً تكون الشواذ سالبة فوق الشريحة مباشرة وموجبة على جانبيها (الشكل 2-24-ب).

3 - اتجاه الشريحة شمالاً 45° غرباً-جنوباً 45° شرقاً:

تكون الشواذ مشابهة لتلك الملاحظة فوق الشريحة في الوضع الثاني وفي خط عرض مغنطيسي (45)، لكن سعة الشواذ أقل وتختلف النقطة التي تتغير فيها قيمة الشواذ من سالبة إلى موجبة (الشكل 2-24-ج).

2-12-2- التفسير الكمي للمعطيات المغنطيسية

:Quantitative interpretation of magnetic data

في كثير من الأحيان تقتصر الدراسة المغنطيسية على التفسير الكيفي لشواذ المغنطيسية لتكون دليلاً لتطبيق دراسات جيوفيزيائية أخرى مثل الدراسة السيسمية. لكن عندما تتطلب الدراسة المغنطيسية تفسيراً كمياً دقيقاً، فلا بد من الاستمرار في الموضوع حتى نهايته، وهذا يقتضي معرفة جميع متحولات الجسم المغنطيسي أو الأجسام الموجودة في المنطقة المدروسة للتمكن من وضع نموذج بنيوي لما تحت السطح. يعتمد حسن اختيار المتحولات من البداية على الإلمام الكافي بالتأثير المغنطيسي الناتج عن الأجسام المغنطيسية منتظمة الشكل والتحولات التي تطرأ عليها مع تغير خط العرض المغنطيسي واتجاه الجسم بالنسبة للشمال المغنطيسي. يمكن تلخيص متحولات الجسم المغنطيسي كما يلي:

1- عمق السطح العلوي (z_1) Depth of the upper surface.

2- طول الاتجاه (L) Strike length.

3- الميل Dip.

4- التغريق Plunge.

5- عمق السطح السفلي (z_2) Depth of the lower surface.

6- العرض (b) Width.

7- مساحة المقطع العرضي لجسم أسطواني شاقولي (A) Cross-section area of a vertical cylindrical body.

8- شدة المغنطة (I_T) Intensity of magnetization.

2-12-2-1- التفسير الكمي لمعطيات المركبة المغنطيسية الشاقولية:

يعتبر التفسير الكمي لمعطيات المركبة الشاقولية أسهل بكثير من التفسير الكمي لمعطيات الحقل الكلي، لكن تطبيقه محدود جداً في المناطق التي يبتعد فيها الحقل الكلي كثيراً عن الوضع الشاقولي. لكن يمكن تطبيقه عند استخدام مقاييس المركبة الشاقولية المغنطيسية، مع العلم بأن استخدام هذه المقاييس أقل انتشاراً من مقاييس الحقل المغنطيسي الكلي.

يمكن، عند دراسة عرق شاقولي أو قريب من الشاقولي وطويل جداً بالنسبة لعمق طرفه العلوي إهمال تأثير طرفه السفلي ومعاملة الطرف العلوي وكأنه قطب مغنطيسي معزول. يعطي هذا القطب المعزول تغير شواذ المركبة المغنطيسية الشاقولية مع المسافة الأفقية كما في الشكل (2-11)، ويمكن حساب عمق الطرف العلوي لهذا القطب المعزول Z من طريقة نصف عرض الشواذ (Half width rule) حسب العلاقة التجريبية:

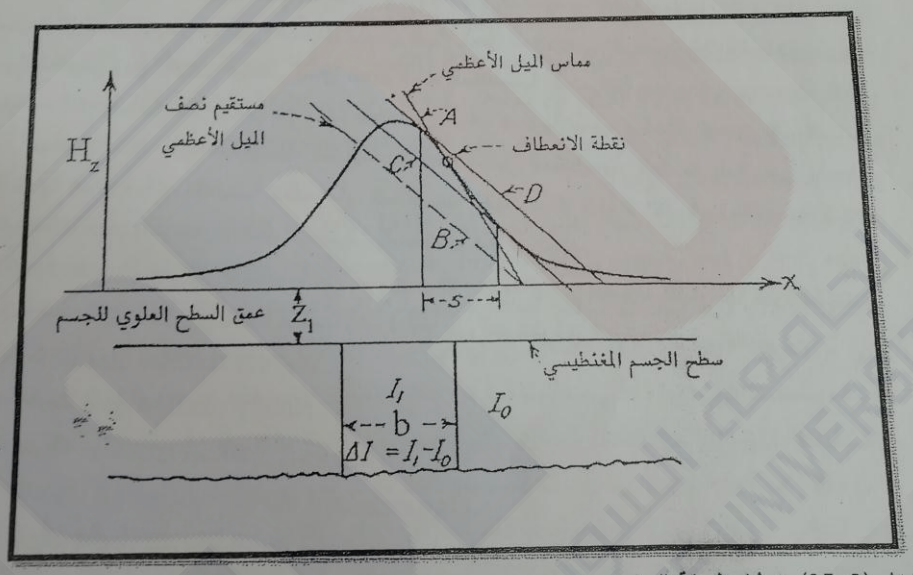
$$z = f.x_{1/2}$$

يجب معالجة الجسم القصير وكأنه ثنائي قطب مطمور أو مغنطيس بسيط، أما إذا كان طول ثنائي القطب وميله كبيرين بحيث يمكن عزل تأثير القطب الموجب عن تأثير القطب السالب فيمكن حساب العمق لكل من الأقطاب بشكل منفرد باستخدام معادلة القطب المعزول.

نورد فيما يلي الطريقة الأكثر استخداماً في حساب عمق السطح العلوي لجسم مغنطيسي مستقطب شاقولياً وهي طريقة الميل أو طريقة بيترز (Peters,1949) الأولى.

طريقة الميل Slop method:

لتطبيق طريقة الميل يفرض أن الجسم المغنطيسي هو صفيحة شاقولية عرضها (b) لا محدودة الامتداد نحو الأسفل ولها امتداد أفقي عمودي على المنحني (أو الصفحة) أي أنها ثنائية الأبعاد. يفرض أن متأثريتها (k) وأنها لا تحتوي مغنطيسية متبقية وكذلك الوسط المحيط بها، وتقع قمتها على عمق (z_1) لذا تعد مغنطيسيتها (I_1) متحرضة حيث ($I_1 = k.Z$) ومغنطيسية المواد المحيطة بها (I_o)، وهكذا فالمغنطيسية الفعالة الناتجة عن الصفيحة هي ($\Delta I = I_1 - I_o$). من الواضح أن هذا الوصف مطابق لحالة جدار قاطع شاقولي عرضه b ومتأثريته أعلى من متأثرية الصخور المحيطة (الشكل 2-25).



الشكل (2-25). تمثيل طريقة الميل.

تطبق طريقة الميل لحساب العمق إلى السطح العلوي للجسم المغنطيسي باستخدام منحني تغير الشدة المغنطيسية الشاقولية. تحدد نقطة الانعطاف (Inflection point) (الشكل 2-25) المقابلة للميل الأعظمي للمنحني ثم يرسم مماس (المستقيم A) للمنحني في نقطة الانعطاف بعده يرسم مستقيم (المستقيم B) ميله يساوي نصف الميل الأعظمي ينطلق من نقطة تلاقي المستقيم A مع المحور x، ثم يُرسم مماسان (المستقيمين

C و D) موازيين للمستقيم B. يمر الأول (المستقيم C) بنقطة التماس الدنيا ويمر الثاني (المستقيم D) بنقطة التماس العليا. ثم تسقط نقطتا التماس الدنيا والعليا على المحور x، ويرمز للمسافة الفاصلة بين المسقطين بـ S وترتبط مع عمق السطح العلوي للجسم z_1 بالعلاقة:

$$S = 1.6\ z_1$$

$$z_1 = S/1.6 = 0.625\ S \qquad (2\text{-}21)$$

2-12-2-2- التفسير الكمي لمعطيات الحقل المغنطيسي الكلي:

تشكل معطيات الحقل المغنطيسي الكلي الغالبية العظمى من معطيات المسح المغنطيسي لكونها ناتجة عن المسح الجوي والبحري، كما إن تفسير معطيات الحقل المغنطيسي الكلي أكثر تعقيداً من تفسير معطيات المركبة المغنطيسية الشاقولية، إلا في الحالات التي يمكن بها تمثيل الجسم المغنطيسي بشكل هندسي بسيط أو نموذجي، لذا دُرست بالتفصيل الشواذ المغنطيسية الناتجة عن شرائح ذات سطوح متوازية وامتداد جانبي كبير مع درجات مختلفة من الميل وتلك الناتجة عن مواشير عمودية أو أجسام ذات مقطع مستطيل. نظراً لأن اتجاه المغنطيسية المتبقية لا يتوافق مع اتجاه المغنطيسية المتحرضة بالحقل المغنطيسي الأرضي الذي سيطر أثناء القياس، ولأن معرفة اتجاه وميل المغنطيسية الكلية والمغنطيسية المتحرضة ضرورية لتفسير الشواذ المغنطيسية وتحليلها، فقد جرت محاولات كثيرة لمعرفة اتجاه المغنطيسية الكلية وميلها. لذا يستخدم حالياً الحقل المغنطيسي الأرضي المرجع (IGRF) لحساب اتجاه الحقل المغنطيسي الأرضي وميله واتجاهه للمنطقة المدروسة وفي زمن القياس، وبالتالي يمكن تحديد اتجاه المغنطيسية المتحرضة مما يُمكن من معرفة اتجاه المغنطيسية المتبقية، فيما لو لم يكن بالإمكان تحديدها من عينات صخرية بسبب استحالة الوصول إلى الصخر. نظراً لصعوبة تحديد ميل المغنطيسية المتبقية واتجاهها تعتبر المغنطيسية المقاسة فعلاً هي محصلة المغنطيسية المتحرضة والمغنطيسية المتبقية أي المغنطيسية الكلية. كذلك لا تأخذ الأجسام المغنطيسية أشكالاً هندسية منتظمة مما يدعو لتقريب شكل الجسم إلى أقرب شكل هندسي ممكن.

لهذه الأسباب نجد أن الطرائق المستخدمة في التفسير معقدة وتحتاج إلى حاسوب للقيام بها نظراً لضخامة كمية الحسابات اللازمة للخروج بنتيجة صحيحة. نورد فيما يلي أهم الطرائق المستخدمة في التفسير:

1- طريقة ورنر Werner method.

2- طريقة نودي Naudy method.

3- طريقة هوتشيسون Hotchison method.

4- منحنيات غي النموذجية Gay standard curves.

5- طريقة المشتق الثاني Second derivative method.

6- طريقة التتابع: آ- التتابع نحو الأعلى Upward continuation method.

ب- التتابع نحو الأسفل Downward continuation method.

7- طريقة الإرجاع إلى القطب Reduction to the pole method .

8- طريقة التجريب والخطأ Trial and error method.

9- حساب شواذ المغنطيسية الكلية الناتجة عن مصادر ثلاثية الأبعاد لا منتظمة الشكل.

وضعت طريقتا ورنر ونودي لحساب العمق إلى الجسم المغنطيسي باستخدام الحاسوب، لكن هذه الطرائق تحتاج لجهد كبير وحذر شديد في تطبيقها على مساحة واسعة، نظراً لضرورة تحديد العمق بالنسبة لكل شاذ مغنطيسي على حده. على كل حال تحتاج هذه الطرائق للكثير من التطوير لتعطي أفضل النتائج المطلوبة.

2-12-2-2-1- طريقة المشتق الثاني:

يعتبر المشتق الثاني الشاقولي للحقل المغنطيسي الأرضي مفيداً جداً في تفسير الشواذ المغنطيسية بسبب قدرته التحليلية العالية، لذلك تم تطوير الصيغ الرياضية التي تسمح بالحساب العددي أو الكمي. لقد طورت هذه الطريقة لزيادة القدرة التحليلية الكمية للمغنطيسية وللتخفيف من الغموض في التفسيرات المغنطيسية. لذا يمكن جعل التفسيرات النوعية والكمية أكثر موضوعية بوضع خرائط المشتق الثاني الشاقولي للحقل المغنطيسي. يعتبر المشتق الثاني قياساً لتقوس أو تحدب (curvature) الحقل المغنطيسي. فكلما زاد تقوس منحني الشواذ المغنطيسي (أي نصف قطر التقوس صغيراً) يزداد المشتق الثاني قيمةً وعندما لا يوجد تقوس (نصف القطر لا نهائي) يكون المشتق الثاني مساوياً للصفر.

فإذا وجد جسم مغنطيسي ضحل ذو امتداد محدود ومغنطيسية أعلى من الوسط المحيط يكون تقوس منحني الشواذ المغنطيسية الناتج عنه أكبر من تقوس الحقل المغنطيسي الإقليمي، وبالتالي يكون المشتق الثاني أكبر فوق الجسم الضحل منه فوق الحقل الإقليمي المحيط. لذا يكون منحني المشتق الثاني أكثر بروزاً فوق الجسم الضحل منه فوق الخلفية الناتجة عن الحقل الإقليمي. هكذا تعمل خرائط المشتق الثاني المغنطيسية كعامل تضخيم للمظاهر المغنطيسية المحلية وتخفيض للشواذ الإقليمية، أي أنها جيدة للاستعمال في التنقيب الفلزي ولتعزيز تأثير الأجسام المفيدة القريبة من السطح، مثل وجود صخور عالية المغنطيسية في وسط من صخور رسوبية منخفضة المغنطيسية، كما تساعد على تعيين المنخفضات (intrabasement) أو البروزات (suprabasement) في الركيزة.

عالج العديد من الباحثين الموضوع (هندرسون وزايتز (Henderson & Zietz, 1949) وبيترز (Peters, 1949) وآلكنز (Elkins, 1951) وروزنباخ (Rosenbach, 1953) وهندرسون وزايتز (Henderson & Zietz, 1967))، ووضع كل من الباحثين العلاقة الرياضية المناسبة لحساب المشتق الثاني للحقل المغنطيسي الكلي أو للمركبة الشاقولية للحقل المغنطيسي. ثم تم تحويل العلاقات الرياضية المعقدة إلى طرائق عملية للحساب باستخدام قيم مأخوذة على شبكة منتظمة من النقاط لتحديد المتوسطات على محيط دوائر لها أنصاف أقطار مختلفة ومتمركزة حول النقطة المركزية التي يحسب بها المشتق الثاني كما في الشكل (2-26)، الذي يعطي مثالاً على شبكة مربعة منتظمة وقد استخدمت ثلاث دوائر لحساب المشتق الثاني حيث أخذت أنصاف أقطار الدوائر $S, S\sqrt{2}, S\sqrt{5}$ بحيث يحسب المتوسط على الدائرة الأولى التي نصف قطرها S من أربع قيم، وعلى الدائرة الثانية التي نصف قطرها $S\sqrt{2}$ من أربع قيم، وعلى الدائرة الثالثة التي نصف قطرها $S\sqrt{5}$ من ثماني قيم.

تشترك الصيغ التي نشرت بالصيغة العامة التالية، لكنها يختلف بعضها عن بعض بالمعاملات العددية $w_0, w_1, \ldots$. ويمكن تطبيقها لحساب المشتق الثاني للمغنطيسية أو للجاذبية:

$$g_{zz} = \frac{C}{S^2}(w_o g_o + w_1 g_1 + w_2 g_2 + \ldots\ldots + w_n g_n) \qquad (2\text{-}22)$$

حيث :

g_{zz} : المشتق الثاني في نقطة الحساب المركزية.

C : ثابت لصيغة معينة.

S : المسافة الشبكية.

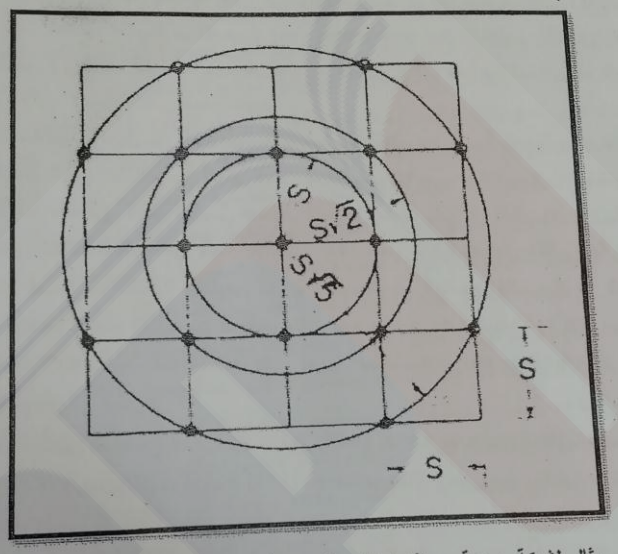
w_o , w_1 : معاملات عددية.

g_o : شدة المغنطيسية أو الجاذبية في نقطة الحساب المركزية.

g_1 , g_2.... : متوسط قيم الشدة المغنطيسية أو الجاذبية في نقاط تقاطع الدوائر مع عقد الشبكة.

تأخذ المعاملات العددية القيم السالبة والموجبة بحيث تكون العلاقة بينها كالتالي:

$$w_o + w_1 + w_2 ..... + w_n = 0 \qquad (2\text{-}23)$$



الشكل (2-26). مثال لشبكة مربعة مسافتها الشبكية S تتألف من خمسة صفوف وخمسة أعمدة وثلاث دوائر.

2-12-2-2-2- طريقة التتابع Continuation method:

ساهم تطوير مقاييس المغنطيسية الجوية واستخدامها في المسح المغنطيسي الجوي لمناطق شاسعة وبسرعة كبيرة، بتطوير طريقة التتابع نحو الأعلى بالإضافة لطريقة التتابع نحو الأسفل. وكل من الطريقتين تهدف لمعرفة الصيغة التي يتحول لها حقل كمون فيما لو قيس على مستوى أعلى أو أخفض من مستوى القياس الفعلي.

وكما في طريقة المشتق الثاني يتم استخدام قيم على شبكة منتظمة واستعمال معاملات مناسبة، مجموعها يساوي الواحد، عند أخذ المتوسطات على دوائر متزايدة نصف القطر، إلا أن طريقة التتابع تحتاج إلى عدد

أكبر من القيم الموزعة على مساحة أكبر من حالة طريقة المشتق الثاني فيستعمل بعضهم حتى عشر دوائر من القيم حول نقطة القياس.

1- طريقة التتابع نحو الأعلى:

تعطى طريقة التتابع نحو الأعلى خريطة أقل تعقيداً من الخريطة المقاسة في المستوى المنخفض، وقد استخدمت لإزالة التعقيد الناتج عن الأجسام السطحية، وبالتالي لفصل الشواذ، واستخدمت لمعاملة نتائج المسح الجوي وقورنت الخرائط المقاسة على المستويات المختلفة مع خرائط التتابع نحو الأعلى على المستويات ذاتها، فلوحظ تشابهاً كبيراً بينها.

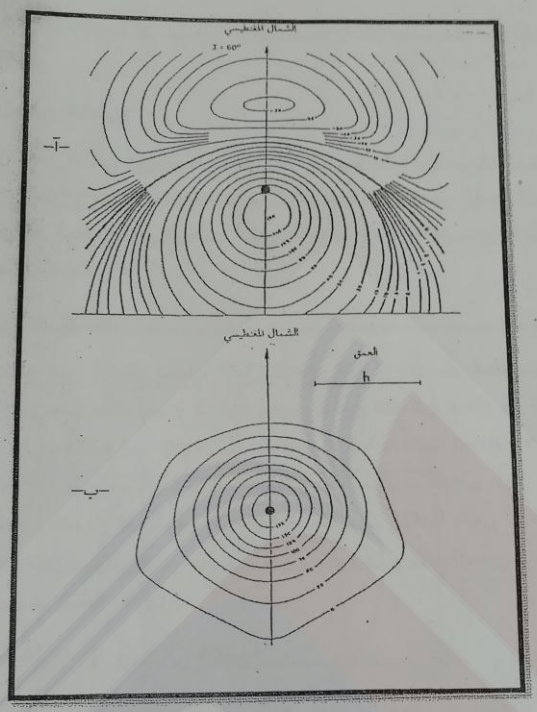
2- طريقة التتابع نحو الأسفل:

تستعمل طريقة التتابع نحو الأسفل لحساب عمق السطح العلوي للأجسام المغنطيسية ولفصل الشواذ المغنطيسية الناتجة عن أجسام متقاربة، إذ أنه عند وجود جسمين منفصلين ومتقاربين تحت غطاء متجانس من الصخور يمكن إجراء التتابع نحو الأسفل حتى مستوى قريب جداً من السطح العلوي للجسمين بحيث ينفصل تأثيراهما عن بعض، بينما كان تأثيراهما متصلين عند مستوى القياس. تعتبر طريقة التتابع نحو الأسفل مناسبة لتفسير الشواذ المغنطيسية في التنقيب البترولي، عندما تكون الركيزة البلورية عالية المغنطيسية ومغطاة بطبقة سميكة من الرسوبيات الأقل مغنطيسية، وهذا ما يسمح باستخدام هذه الطريقة لحساب سماكة الرسوبيات المغطية للركيزة.

2-12-2-2-3- طريقة الإرجاع إلى القطب:

يقوم مبدأ هذه الطريقة على إرجاع الشواذ التي تنتج عن جسم ما موجود في أي خط عرض مغنطيسي إلى القطب المغنطيسي (Baranov 1957, Baranov and Naudy, 1964)، أي تحويل خريطة شواذ المغنطيسية المقاسة فوق جسم ما موجود في حقل مغنطيسي أرضي وله ميل ما وانحراف ما إلى خريطة لشواذ المغنطيسية فيما لو كان الجسم نفسه موجوداً في حقل مغنطيسي أرضي شاقولي فقط. وكما في الطرائق الأخرى تستخدم هذه الطريقة شبكة من القيم منقولة من خريطة تساوي الشدة المغنطيسية، وقد استخدم بارانوف شبكة بشكل مسدس تزداد أنصاف أقطار الدوائر المارة من رؤوسه بشكل منتظم.

تختلف المعاملات العددية المستخدمة باختلاف زاوية ميل الحقل المغنطيسي الأرضي في نقطة القياس، وقد اشتقت مجموعات عددية من المعاملات بحيث تطبق كل مجموعة منها ضمن حدود معينة من تغير زاوية الميل. يظهر الشكل (2-27-آ) خريطة تساوي الشدة المغنطيسية فوق كرة ممغنطة في حقل مغنطيسي أرضي ميله 60°، بينما يعطي الشكل (2-27-ب) خريطة تساوي الشدة المغنطيسية للكرة نفسها بعد إرجاعها إلى القطب، ويلاحظ كيف أزيل عدم التناظر الموجود في الشكل (2-27-آ) وأصبح الشكل متناظراً بشكل دوائر متمركزة كما يتوقع عندما تكون الكرة ممغنطة شاقولياً.



الشكل (2-27). آ- خريطة الشدة المغنطيسية الكلية لكرة ممغنطة في حقل مغنطيسي أرضي ميله 60°.
ب- خريطة الشدة المغنطيسية الكلية للكرة بعد إرجاعها إلى القطب.
h – عمق مركز الكرة المغنطيسية الواقعة تحت النقطة السوداء.

2-12-2-2-4- طريقة التجريب والخطأ:

وضعت هذه الطريقة من قبل مونيك تالواني وجيمس هيرتزلر (Talwani and Heirtzler, 1964) ورافقها برنامج للحاسوب بلغة فورتران، لكنها كتبت بلغات أخرى ومازالت تستخدم في العديد من المخابر العالمية. تعتبر هذه الطريقة غير مباشرة (indirect method) في تفسير الشواذ المغنطيسية، وهي مملة ومتطلبة للوقت، لكن تطور الحواسيب وازدياد سرعاتها في المعالجة جعل الطريقة أكثر شعبية وانتشاراً.

يمثل مقطع الجسم ثنائي الأبعاد وبشكل اختياري بمتعدد أضلاع غير منتظم، وثم حساب المركبات المغنطيسية الأفقية، والشاقولية، والحقل الكلي الناتجة عن هذا الجسم متعدد الأضلاع. وتتم مقارنة الشواذ المحسوبة مع الشواذ المقاسة، ومن ثم يغير شكل مقطع الجسم ويجري الحساب من جديد حتى يتم الحصول على أفضل تطابق بين المنحنيين المحسوب والمقاس، عندئذ يمكن قبول أن الجسم المسبب للشواذ هو النموذج الذي حقق أفضل تطابق بين المنحنيين. وعموماً يفرض في هذا الحساب أن الجسم متجانس المغنطيسية ويمتد من اللانهاية إلى اللانهاية بالاتجاه المعامد للمسار الذي تم القياس عليه.

2-13- أمثلة على المسح المغنطيسي:

يستخدم المسح المغنطيسي في الاستكشاف الفلزي والنفطي والجيوحراري والأجسام المغنطيسية غير الفلزية (Dobrin and Savit, 1988). يسعى الاستكشاف الفلزي إلى واحد من الأهداف الثلاثة التالية:

أ- البحث عن الفلزات المغنطيسية مثل خامات الحديد الغنية بالمغنيتيت.

ب- استخدام الفلزات المغنطيسية المرافقة كدليل على الفلزات غير المغنطيسية.

ت- لحساب عمق النطاقات الفلزية، وحجمها وبنيتها، نظراً لغياب الدلائل السطحية بسبب وجود الغطاء الرسوبي أو النباتي. كما يمكن اكتشاف الفوالق أو المعالم البنيوية ذات التأثير على عمق التوضعات الفلزية.

يستخدم المسح الجيوحراري كل تقنيات التفسير المتوفرة لتحديد قاعدة المصدر المغنطيسي. هذا ما يدعى خط تساوي درجة حرارة كوري، أي الحرارة التي تفقد فيها الصخور مغنطتها نتيجة التسخين. تعتبر المناطق ذات خط تساوي درجة حرارة كوري الضحل مناطق مؤملة لإنتاج الطاقة الجيوحرارية.

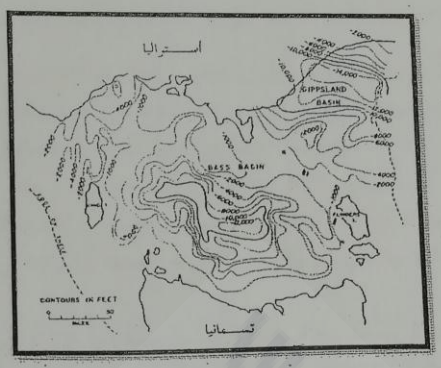
هنالك بعض الدراسات التي ربطت بين المصائد النفطية والشواذ المغنطيسية، مثل تجمع النفط في الرسوبات المغطية لعرف في الركيزة البلورية الذي يسبب شواذاً في الحقل المغنطيسي. كذلك تشكل شواذ مغنطيسي بسبب تشكل المغنيتيت القريب من السطح نتيجة التفاعل الكيميائي بين النفط والبيئة المحلية المحيطة. فيما عدا هذه الحالات، فإن معظم المسوح المغنطيسية مفيدة في الاستكشاف النفطي لتحديد عمق الركيزة البلورية ولتركيز الضوء على وجود الأحواض النفطية، خاصة في المناطق غير المكتشفة سابقاً.

نعرض في هذا الجزء من الفصل بعض الأمثلة على المسح المغنطيسي للاستكشاف النفطي، حيث تتوفر المعلومات عن العلاقة بين المعطيات المغنطيسية وجيولوجية المنطقة.

2-13-1- الاستكشاف المغنطيسي لتحديد عمق الركيزة تحت مضيق باس ستريت-أستراليا:

استخدم المسح المغنطيسي في استكشاف الهيدروكربون كثيراً بعد الحرب العالمية الثانية لتحديد امتداد الأحواض الرسوبية وسماكتها في مناطق غير مدروسة سابقاً، وذلك بتعيين العمق إلى الركيزة البلورية من المسح المغنطيسي الجوي أو البحري.

يعطي الشكل (2-28) خريطة عمق سطح الركيزة البلورية فوق مضيق باس ستريت (Bass Strait) الواقع بين أستراليا وتسمانيا بناء على المسح المغنطيسي. تم ذلك قبل إجراء المسح السيسمي للمنطقة وأشار إلى وجود حوضين تحت بحرية مؤملين بوجود النفط. وقد أكد المسح السيسمي لاحقاً وجود هذين الحوضين وتم اكتشاف كميات كبيرة من الغاز في المنطقة.

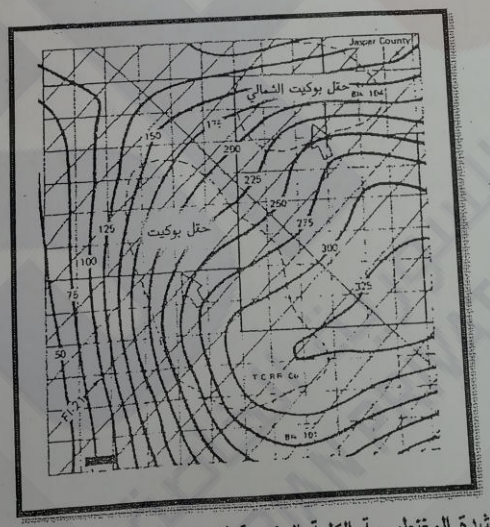


الشكل (2-28). خريطة عمق سطح الركيزة البلورية فوق مضيق باس ستريت الواقع بين أستراليا وتسمانيا.

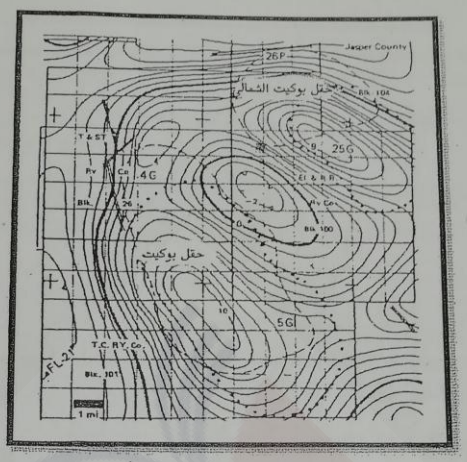
2-13-2- حقل بترول بوكيت بولاية تكساس Puckett field - Texas:

أجريت هذه الدراسة فوق حقل بترول منتج (Steenland, 1965) لمقارنة النتائج مع نتائج الآبار المحفورة سابقاً والمقارنة مع الدراسات المغنطيسية الاستطلاعية التي أجريت قبل بدء الحفر.

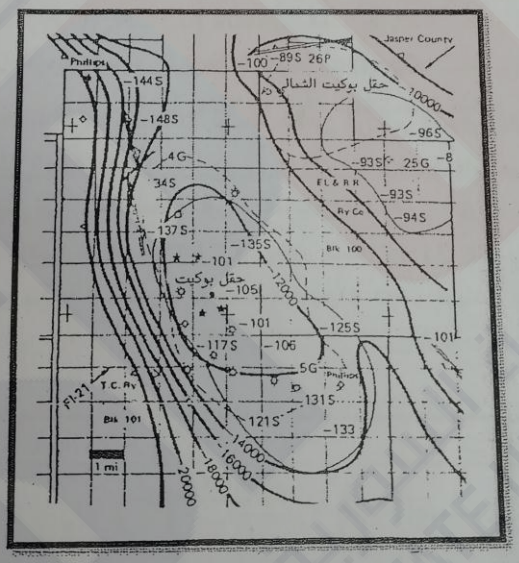
يظهر الشكل (2-29) خريطة مغنطيسية جوية بينما يعطي الشكل (2-30) خريطة المشتق الثاني للشدة المغنطيسية الكلية. أعطت التفسيرات خريطة طبوغرافية الركيزة (الشكل 2-31)، ويظهر بها التغير الكبير بالعمق مابين 22000 قدم في المنطقة الغربية إلى 12000 قدم في المنطقة الوسطى. بمقارنة خريطة طبوغرافية الركيزة الناتجة عن الدراسة المغنطيسية مع خريطة طبوغرافية الركيزة الموضوعة سابقاً بنتيجة أعمال الحفر (الشكل 2-32) يظهر التشابه الكبير بينهما.



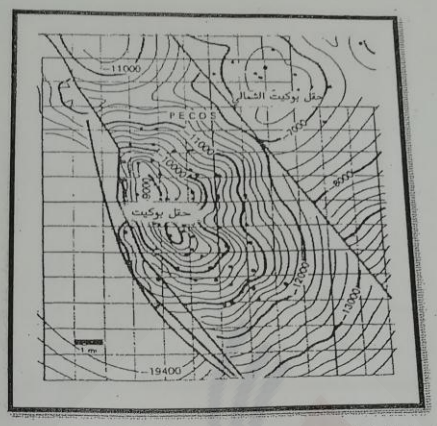
الشكل (2-29). خريطة الشدة المغنطيسية الكلية المقيسة فوق حقل بوكيت.
(قيم الشدة بالنانوتسلا).



الشكل (2-30). خريطة المشتق الثاني للشدة المغنطيسية الكلية فوق حقل بوكيت. وتظهر المناطق المغلقة السالبة والموجبة لقيم المشتق الثاني.



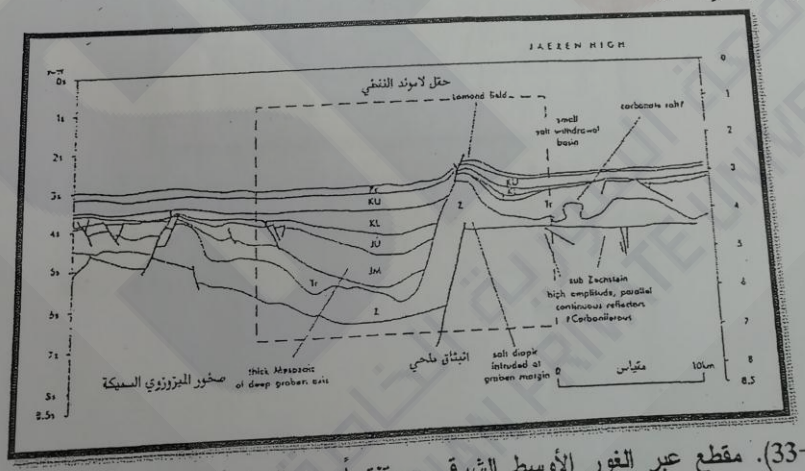
الشكل (2-31). خريطة طبوغرافية الركيزة المحسوبة من الدراسة المغنطيسية لحقل بوكيت. يحيط الخط المتقطع بمنطقة الأمل بوجود البترول والناتجة عن الدراسة المغنطيسية فقط. تعطي الأرقام العمق بالأقدام تحت سطح الأرض.



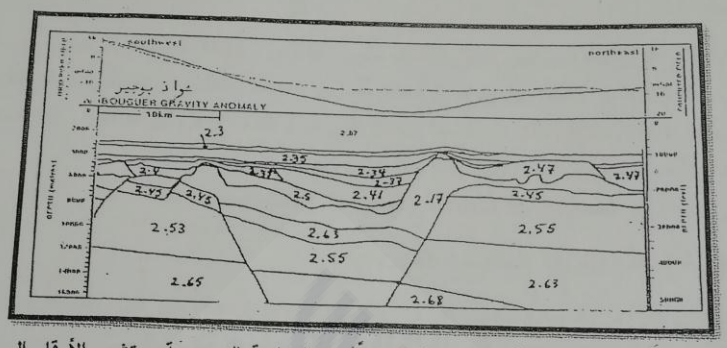
الشكل (2-32). خريطة طبوغرافية الركيزة الموضوعة سابقاً بنتيجة الحفر. تشير النقاط السوداء إلى الآبار المحفورة سابقاً. تعطي الأرقام العمق بالأقدام تحت سطح الأرض.

2-13-3- حوض بحر الشمال المركزي Central North Sea:

قام بلات وولتر (Platt and Walter , 1995) بدراسة مقطعين في بحر الشمال لتأكيد الفائدة الكبيرة التي تجنى من تقاطع الدراسات الجيوفيزيائية لمنطقة ما، وبخاصة المناطق المعقدة حيث تعجز طريقة واحدة عن تقديم نتيجة مؤكدة. لذا نورد المثال الذي أورده المؤلفان عن الغور الأوسط الشرقي (Eastern Central Graben) من حوض بحر الشمال المركزي. يظهر الشكل (2-33) التفسير السيسمي لمقطع الغور حيث أمكن التتبع بدقة للسطوح العاكسة لرسوبيات العصر الرباعي والثلاثي حتى الترياسي الأعلى. كانت الصعوبة في تمييز المستوى الملحي العلوي نظراً لأن التباين السرعي بين ملح البرمي والغضار الصفحي الترياسي صغير.



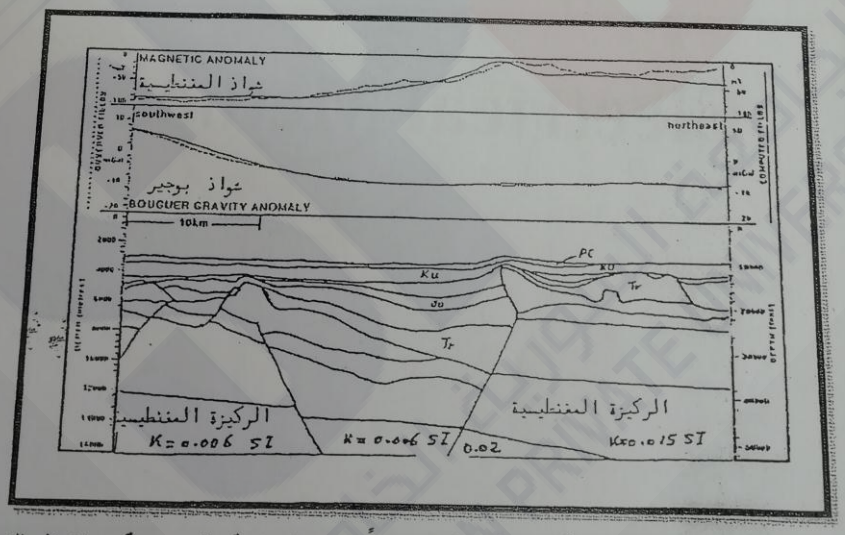
الشكل (2-33). مقطع عبر الغور الأوسط الشرقي مستنتجاً من الدراسة السيسمية، وتشير الرموز إلى الأعمار الجيولوجية للطبقات الرسوبية.



الشكل (2-34). مقطع عبر الغور الأوسط الشرقي معدلاً عن الدراسة السيسمية، وتشير الأرقام إلى قيم كثافة الصخور المستخدمة لحساب شواذ بوجيه.

استخدمت قيم الكثافة المبينة في الشكل (2-34) لحساب شواذ بوجيه فظهر اختلاف بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة لشواذ الجاذبية، كما يظهر في المنحنيين الظاهرين في القسم العلوي من الشكل (2-34).

تم تعديل المقطع واستخدمت قيم المتأثرية المغنطيسية الظاهرة في الشكل (2-35) لحساب شواذ المغنطيسية والجاذبية فتم التوصل إلى أفضل تطابق بين المنحنيات الظاهرة في القسم العلوي من الشكل (2-35). لذا تم التوصل إلى الاعتقاد بأن المقطع الحقيقي تحت الغور هو الظاهر في القسم السفلي من الشكل.



الشكل (2-35). مقطع عبر الغور الأوسط الشرقي معدلاً عن الدراسة السيسمية. يلاحظ التطابق بين المنحنيات المحسوبة للمغنطيسية والجاذبية.