

الفصل الثالث

التنقيب التناقلي (الجاذبي)

Gravity Prospecting

1.3 مقدمة Introduction:

تختص هذه الطريقة بالكشف والقياس للتغير الجانبي للجاذبية الأرضية والتي تكون مصاحبة للتغير في الكثافة القريبة للسطح. وتعطى كثيرا من التركيبات الجيولوجية تحت سطحية الهامة في البحث عن البترول أو الخامات حيث أن التغير في توزيع الكثافات الأرضية سببه شادات وصفية في المجال الجاذبي الأرضي.

2.3 أساسيات الطريقة والوحدات Fundamental Principles and Units:

1.2.3 قانون نيوتن للجاذبية Newton's Law of Gravitational Attraction:

تعتمد نظرية التنقيب التناقلي (الجاذبي) على تغيير قانون نيوتن لقوى الجذب بين كتلتين والمسافة بينهما.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3-1)$$

حيث F القوة بين الكتلتين m_1 & m_2 ووحداتها بالداين والكتل بوحدات القياس الكتلي

r المسافة بينهما بوحدات القياس الطولي

γ ثابت الجاذبية العالمي وأبعاده $L^3 M^{-1} T^{-2}$ (الطول = L ، الكتلة = M ، الزمن = T)، ويعتمد قيمته العددية على نظام الوحدات المستخدمة.

2.2.3 ثابت الجاذبية العالمي The Universal Gravitational Constant:

في عام 1790 برهن كافندش Cavendish من خلال تجربته على أن القيمة العددية لهذا الثابت عند استخدام $cm^3 gm^{-1} sec^{-2}$ تساوي تقريبا $10^{-8} \times 7.754$ بينما حددها هايلن Heylin 1930 بقيمة قدرها $10^{-8} \times 6.67$ c.g.s.

3.2.3 الجاذبية The Gravitation:

يمكن تعريفها عامة كقوة بواسطتها تجذب الكتل كل للأخرى. ربما يستخدم تعبير قوى الجاذبية (الجاذبية) كتطبيق في الجيوفيزياء عادة كجذب بين الأرض ووحدات الكتل التي عليها أو القريبة من سطحها.

4.2.3 عجلة الجاذبية The Gravitational Acceleration:

يمكن الحصول على عجلة الجاذبية الأرضية (a) لكتلة m_2 بسبب جذب كتلة الأرض m_1 بواسطة استخدام قانوني نيوتن.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{أ}) \text{ قانون الجذب السابق}$$

حيث $m_1 =$ كتلة الأرض $m_1 =$ جرم ١

$r =$ نصف قطر الأرض

$$F = a m_2 \quad (\text{ب}) \text{ قانون الحركة}$$

من أ، ب

$$\therefore a m_2 = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \therefore a = \gamma \frac{m_1}{r^2} \quad (3-2)$$

وتوضح العجلة القوة المؤثرة على وحدات الكتل معطية قياس المجال الجاذبي المؤثر على أى نقطة. فى نظام وحدات القياس سم.جم.ث فإن أبعاد العجلة يكون سم/ث^٢، وتشير هذه الوحدة فى الجيوفيزياء بالمجال Gal (نسبة لجاليليو Galileo)، وتكون عندئذ قيمة الجاذبية على سطح الأرض حوالى 980 جال. ولكن هذه القيمة كبيرة فى التنقيب الجيوفيزيائى ولذلك فإن وحدات عجلة الجاذبية المستخدمة فى التنقيب الجيوفيزيائى هى وحدة من الألف من الجال (ميلي جال) أو وحدة من المليون من الجال (ميكروجال).

5.2.3 الجهد Potential:

يعرف الجهد عند أى نقطة فى المجال الجاذبي بالطاقة المطلوبة لتحريك وحدات الكتل من نقطة مرجعية اختيارية (عادة فى البعد اللانهائى) إلى النقطة المطلوبة. وإذا كانت وحدات الكتلة محضرة من البعد اللانهائى فمن الممكن ملاحظة أن الطاقة المطلوبة لتحريكها إلى المكان المطلوب عند مسافة r من المصدر الجاذبي للكتلة $m_1 = \gamma \frac{m_1}{r}$ ويكون هذا هو الجهد المصاحب للكتلة والمسافة.

3.3 العوامل المؤثرة فى تغير الجاذبية Factors Causing Variation in Gravity:

تعتمد قيمة الجاذبية عند أى نقطة على سطح الأرض على:

- (أ) خطوط العرض
- (ب) شكل الأرض
- (ج) تأثير المد والجزر
- (د) الظواهر الطبوغرافية (التضاريس حول نقطة القياس)
- (هـ) توزيع الكثافات تحت سطح الأرض
- (و) الإرتفاع عن مستوى سطح البحر

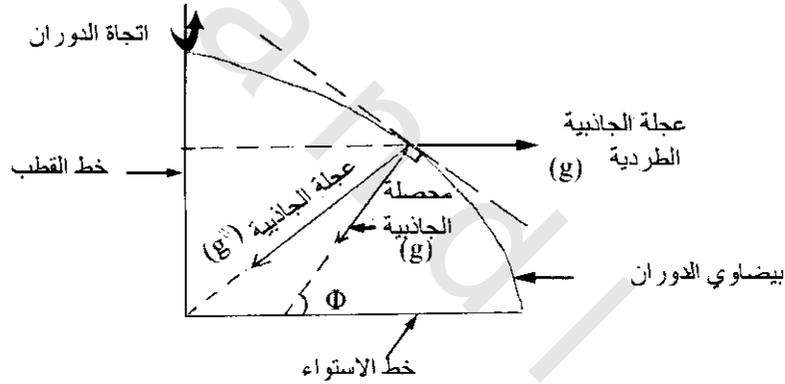
من هذا يتضح أن قيمة الجاذبية والتي مقدارها 980 جال غير ثابتة بل تختلف اعتباريا لكل من الإتجاه والقيمة من مكان لآخر على طول سطح الأرض وذلك لأن الأرض غير ثابتة وغير كروية وغير متجانسة.

1.3.3 التغير مع خطوط العرض* Variation of Gravity with Figure of the Earth

حيث أن الأرض تدور حول محورها الرأسى فإن تأثير قوى الجاذبية عند أى مكان سوف يكون نتيجة تأثير جاذبية كتلة الأرض ناقص تأثير قوة الطرد المركزية للدوران والمؤثرة فى الإتجاه العكسى لقوة جذب الأرض لذلك فإن مركبة قوة الطرد سوف تؤثر على قوة الجذب المتغيرة مع خط العرض ما بين صفر عند الأقطاب وتقل بمقدار 3 جال عند خط الإستواء عنها عند الأقطاب والتي تبلغ 980 جال^{**}.

2.3.3 تغير الجاذبية مع شكل الأرض: Variation of Gravity with Figure of the Earth

جاذبية الأرض لأى كتلة عليها تكون مختلفة من مكان لآخر على سطحها لأن هذه الأماكن لاتكون متساوية الأبعاد من مركز الأرض وهذا يدل على إبتعاد شكل الأرض من الكروية التامة والتي تسبب التغير فى الجاذبية بأكبر قيمة مقدارها 2 جال من مكان لآخر. وهذا يعتبر نتيجة مباشرة لدوران الأرض حول محورها الرأسى، والتي تؤثر على محصلة مجال الجاذبية F_g (النتيجة من قوة جذب الأرض F_a والمتجه إلى مركز الأرض ناقص قوة الطرد المركزية E_c والمتجه للخارج) تجريبياً، بواسطة جسم عند نقطة على سطح الأرض، وجد أن محصلة جاذبيته تختلف فى القيمة والإتجاه عن وضعه فى نقطة أخرى شكل (1-3). ومجموع الخطوط المماسية العمودية لمحصلة الجاذبية تثبت بوضوح الشكل.



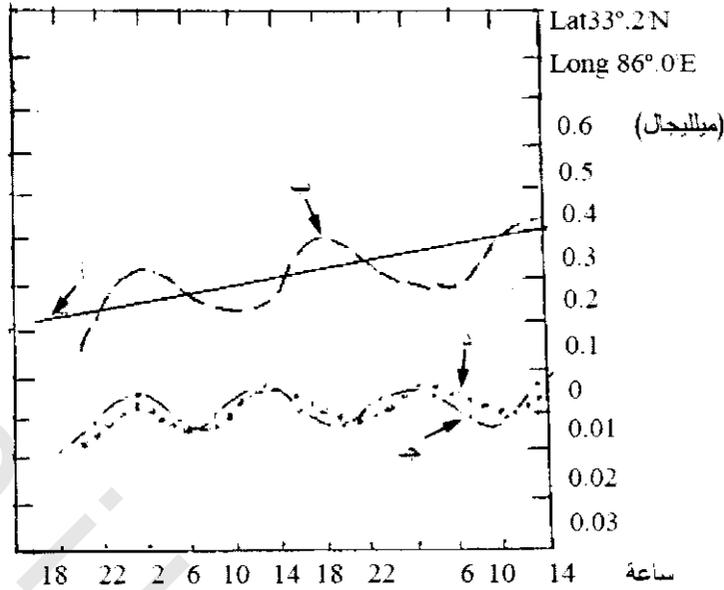
شكل (1-3):

3.3.3 تغير الجاذبية مع تأثير المد Variation of Gravity with Tidal Effect

ينتج هذا التغير من تأثير جاذبية الشمس والقمر على الأرض. ومن المعروف أن الأرض ليست صلبة تماماً ولذلك فإن سطحها يتشوه بسهولة بواسطة جذب الشمس والقمر وبالتالي بتأثير سطح الماء عليها برغم عدم تساوى الإمتداد. ولذلك فإن الإرتفاع والإنخفاض لنقطة على سطح الأرض أصغر بكثير من التذبذب فى مستوى الماء والذي يبلغ فقط قليل من البوصات. هذه الحركة والمعروفة بالمد برغم أنها صغيرة ولكن تغير فى قياس الجاذبية وذلك لتغير المسافة بين هذه النقطة ومركز الأرض. وقيمة هذا التغير يتغير مع خطوط العرض ودورة الزمن ويكون ما بين 0.2 إلى 0.3 مللجال شكل (2-3).

* المسافة بين خطى عرض وكذلك خطى طول حوالى 110 كم.

** بتطبيق قانون نيوتن حيث تكون الكتل ثابتة والمتغير أطوال خط الأقطاب وخط الإستواء، وبما أن طول خط الأقطاب 6357 كم أى طول خط الأقطاب يقل بمقدار 21 كم عن طول خط الإستواء لذلك فقد وجد أن القيمة المطلقة للجاذبية عند الأقطاب 980 جال وعند خط الإستواء 977 جال أى أن القيمة المطلقة للجاذبية عند الأقطاب أكبر منها بمقدار 3 جال عن قيمتها عند خط الإستواء.



شكل (2-3): مقارنة بين المنحنى النظري والملاحظ لتغير الجاذبية مع المد: (أ) قراءة جهاز قياس الجاذبية، (ب) منحنى الانحراف، (ج) الجاذبية الملاحظة من منحنى الانحراف (فرق أ & ب)، (د) تغير الجاذبية المحسوب*

4.3.3 تغير الجاذبية مع الظواهر الطبوغرافية

Variation of Gravity with Topographical Features:

بالرجوع إلى قانون نيوتن $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$ يرى أن التغير بالنسبة للارتفاع أو الانخفاض (تضاريس) عن

مستوى سطح البحر ينتج تغير في قوة الجذب. وأيضا من السهولة ملاحظة أن التلال المرتفعة فوق نقطة الرصد وكذلك الوديان المنخفضة تحت نقطة الرصد تشارك في التغير في المركب العادية بقيمة الجاذبية. وهذا المتغير في الحقيقة بسبب جذب مثل هذه الظواهر الطبوغرافية والتي تحيط بنقطة الرصد.

5.3.3 تغير الجاذبية مع توزيع الكثافات

Variation of Gravity with Density Distribution:

الإختلاف في كثافة مواد الأرض تساهم كثيرا في تغير الجاذبية حيث أن أي كتلة عامة لها مجال جاذبي متناسب شدته مع كثافتها. هذه الظاهرة والتي توصف بتغير الجاذبية بسبب توزيع الكثافة، فإنها حقيقة تقدم الأساس الفيزيائي لطرق الجاذبية للبحث والتنقيب حيث أن الكثافة خاصة تختلف بواسطة أنواع الخامات الجيولوجية موضحة كل نوع عن الآخر.

* معادلة هيلاند Heiland's formula للمركبة الرأسية لقوة المد (g) التسمية بواسطة الشمس والقمر عند أي نقطة للأرض مشوهة تماما لمسافة (r) عندما يعمل مع جسم سماوي زوايا مقدارها α_m & α_s مع محطة الأرض

$$\Delta g = \frac{3\gamma M_m}{2D_m^3} \left(\cos 2\alpha_m + \frac{1}{3} \right) - \frac{3\gamma M_s}{2D_s^3} \left(\cos 2\alpha_s + \frac{1}{3} \right)$$

= حيث γ = ثابت الجذب العالمي & M_m = كتلة القمر & M_s = كتلة الشمس، D_m = مسافة القمر من الأرض & D_s = مسافة الشمس من الأرض، α_m = زاوية محطة الرصد مع القمر & α_s = زاوية محطة الرصد مع الشمس.

4.3 مشاهدات فى الجاذبية: Observations in Gravity:

تشمل هذه المشاهدات خمس نقاط أساسية منها الطرق التى تقاس بها الجاذبية فى الحقل والأخرى لتحويل النتائج لصورة جيولوجية نافعة.

1.4.3 خواص الجاذبية: Properties of Gravity:**1.1.4.3 الجاذبية النسبية: Relative Gravity:**

وهى عبارة عن فرق قيم الجاذبية عند محطة الرصد ومحطة أخرى ثابتة فى منطقة المسح. وعادة ما تقاس مباشرة بواسطة البندول ومقياس الجاذبية.

2.1.4.3 المجال أو معدل التدرج: Gradient:

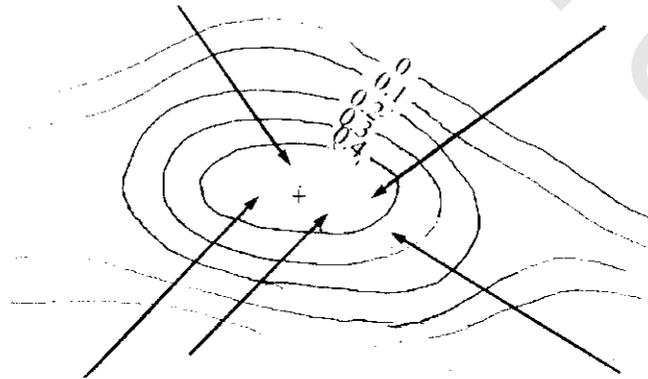
تدرج الجاذبية هو معدل تغيرها مع المسافة الأفقية لمركبة الجاذبية الرأسية. وفى المستوى الرأسى يكون التدرج ببساطة هو ميل بروفييل (قطاع) الجاذبية على طول أثر هذا المستوى على السطح.

ومن الممكن تحديد معدل التدرج على خرائط الجاذبية ثنائية الأبعاد من خطوط كنتور* الجاذبية بنفس الطريقة التى تحدد بها معدل تدرج الخرائط الطبوغرافية. وعادة ما يشار إلى معدل التدرج على الخرائط بواسطة أسهم تكون فى إتجاه أسرع تغير للجاذبية الرأسية الشكل (3-3). ومعدل الإتجاه له الخواص الآتية:

$$(أ) \text{ قيمة} = \frac{\text{فرق قيم كنتورين متتالين}}{\text{المسافة} \times \text{مقياس الرسم}}$$

(ب) إتجاه = بالنسبة للاتجاهات الأصلية (شمالى - جنوب - شرق - غرب)

(ج) إشارة = إذا كان فى إتجاه تزايد القيمة تكون الإشارة موجبة وإذا كان فى إتجاه تناقص القيمة تكون الإشارة سالبة.



شكل (3-3): تشير الأسهم لإتجاه معدل التدرج (المسافة الكنتورية 0.1 ميللجال)

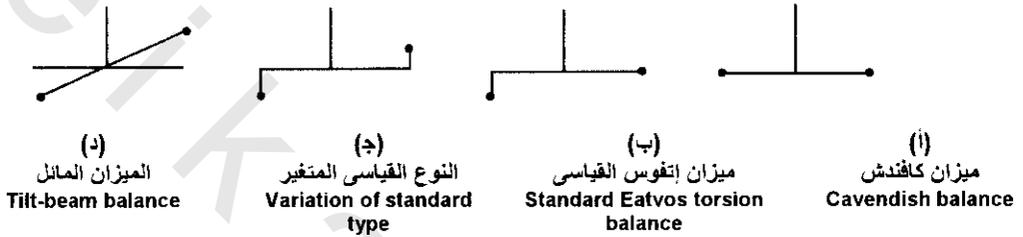
* خطوط تسامقية أو خطوط مقفلة ذات قيمة متساوية.

2.4.3 أجهزة قياس الجاذبية على الأرض Instruments for Measuring Gravity on land:

في التنقيب الجاذبي (التثاقلي)، تستخدم ثلاثة أنواع من الأجهزة هي:

1.2.4.3 ميزان اللي Torsion Balance:

يتكون من وزنين متساويين متصلين بقضيب صلب ويعلق هذا النظام بواسطة سلك لي وبهذه الطريقة يكون النظام حر للدوران في المستوى الأفقي حول السلك. ولإستخدام هذا النظام لقياس الجاذبية يجب أن يكون سلك اللي في حالة إتزان لكي تكون حركة الكتل رأسية. ويوضح شكل (3-4) أنواع موازين الل تستخدم ميزان كافندش Cavendish أساسا لتعيين قيم الجاذبية الثابتة (المطلقة)، ولأن ميزان لي إتفوس Eatvos به وزن رأسى لذلك يمكنه قياس معدل التدرج.



شكل (3-4): أنواع ميزان اللي

2.2.4.3 بندول الجاذبية The Gravity Pendulum:

يوجد عدة أنواع من هذا البندول لقياس كلا من قيم الجاذبية المطلقة والنسبية.

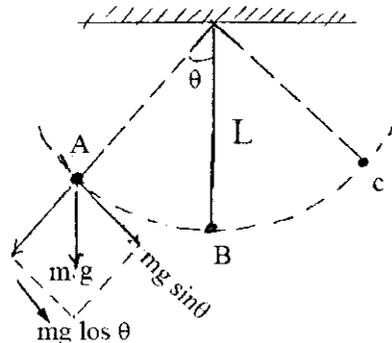
1.2.2.4.3 البندول البسيط Simple Pendulum:

يتكون من كتلة صغيرة ثقيلة معلقة بواسطة خيط مرن تماما، قابل لتغير الطول شكل (3-5)، ويكون زمن الذبذبة الكاملة

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (3-3)$$

حيث ℓ = طول الخيط & g = عجلة الجاذبية.

ملحوظة: θ زاوية الحركة يجب أن تكون صغيرة جدا



شكل (3-5): البندول البسيط

2.2.2.4.3 البندول المركب The Compound Pendulum :

عبارة عن جسم صلب (متوازي مستطيلات سمكه صغير) وبه عدة ثقوب ويعلق بواسطة محور أفقي في أحد ثقوبه ويتحرك من خلال زاوية صغيرة مع إهمال الاحتكاك شكل (6-3)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgA}} \quad (3-4)$$

حيث $A =$ كمية عزم القصور الذاتي للبندول حول نقطة التعليق

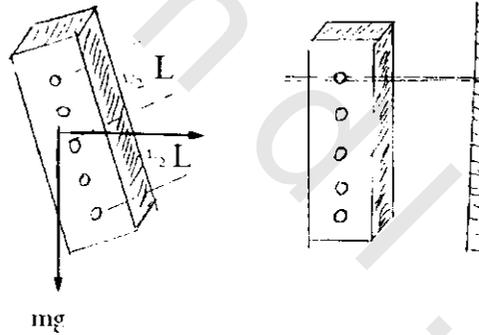
$$m = \text{الكتلة، } l = \text{الطول من نقطة التثبيت لمركز كتلة البندول، } g = \text{عجلة الجاذبية}$$

$$\frac{4\pi^2 I}{9AT^2} = g$$

لقياس الفرق (Δg) في الجاذبية بين محطتين يقاس فرق الزمن (ΔT) بين المحطتين المرصودتين، حيث T_1 الزمن عند المحطة الأولى، T_2 الزمن عند المحطة الثانية.

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2c \frac{\Delta g}{\sqrt{g_1 g_2}} \quad (3-5)$$

$$c = \frac{2\pi \sqrt{I}}{\sqrt{mA}} \quad \text{حيث}$$

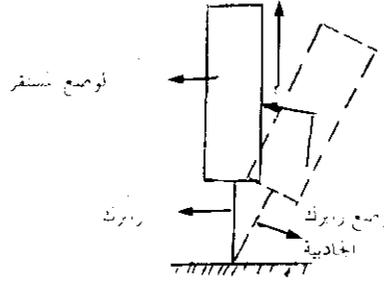


شكل (6-3): البندول المركب

3.2.2.4.3 بندول هولويك -ليجوى Holweck-Lejoy Pendulum :

هو بندول معكوس مكون من قضيب رأسى مدعم من أسفل بواسطة زنبرك صلب. فعندما يجذب أعلى القضيب جانباً كما في شكل (7-3) فإن القوة المردودة للزنبرك تعاكس قوة جاذبية القضيب وتكون الأخيرة في اتجاه الإزاحة. وكلما زادت الإزاحة زادت مركبة الجاذبية المعاكسة القوة المردودة. وتكون النتيجة زيادة الفترة، ولذلك تعتبر أكبر من إذا استخدم القضيب كبندول فيزيائى. ويمكن ملاحظة أن الفترة الزائدة تصنع حساسية كبيرة لتغير صغير في الجاذبية من المحصول عليها كبندول فيزيائى. يستعمل في تحديد جيودسياء الجاذبية وفي التنقيب البترولى.

تجاة القوة المرودده الزبرك



شكل (7-3): بندول هولويك - ليجوى المعكوس

3.2.4.3 الجرافيمترات (مقياسات التثاقيل): The Gravimeters

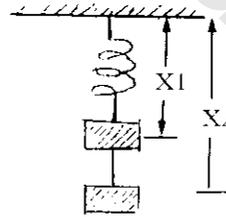
تقيس هذه الأجهزة بدقة حوالى جزء من المليون من قيمة الجاذبية المطلقة ويوجد نوعان من مقاييس التثاقيل:

1.3.2.4.3 الجرافيمتر الثابت (مقياس التثاقيل الثابت): Stable Gravimeter

يتكون من كتلة ثقيلة وصلبة (m) متصلة بزبرك مرن ليتجاوب مع التغير فى الجاذبية والإزاحة من وضع الإتزان، حيث تتناسب مباشرة مع التغير فى الجاذبية كما فى شكل (8-3). والمعادلة المستخدمة للقوة المرودده للوزن من الزبرك تكون

$$F = -c (X_2 - X_1) = mg \quad (3-6)$$

حيث $(X_2 - X_1)$ = فرق إمتداد الزبرك & C = ثابت الزبرك.

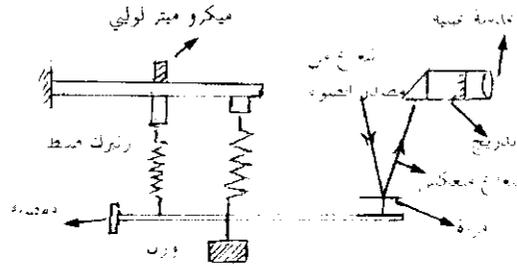


شكل (8-3):

وحيث أن الكتلة ثابتة فإن أى تغير فى الجاذبية تتناسب مع التغير فى إستطالة الزبرك ومن أمثلة هذا النظام:

2.3.2.4.3 هارتلى جرافيمتر Hartly Gravimeter

يوضح شكل (9-3) هذا الجهاز وفيه تكبير الحركة الرأسية للكتلة المعلقة حوالى 50,000 مرة. وعندما يطول أو ينقص طول الزبرك الأساسى بواسطة تغير الجاذبية الناتجة من تغير حركة الكتلة والتي يمكن رجوعها لوضعها الأصىلى بواسطة الميكروميتر اللولبى. وتقرأ كمية حركة الميكروميتر اللولبى على التدرج والتي تعطى اختلاف الجاذبية من حركة الوزن هذه القياسات لها دقة فى حدود 1 ميللجال.



شكل (9-3): قطاع لمقياس جاذبية هارنلي

3.3.2.4.3 الجرافيمتر المتغير (مقياس التثاقل المتغير) Unstable Gravimeter:

هذه الأنواع من مقاييس التثاقل صممت لتلاشى الزيادة في قوى أخرى ناتجة عن الإزاحة القياسية في مكان الإيزان بسبب التغير في الجاذبية ومن أمثلة هذا النظام:

4.3.2.4.3 مقياس تسين التثاقل Tyssen Gravimeter:

يوضح شكل (10-3) أساس هذا الجهاز حيث أنه بالنسبة لإزاحة قليلة ينتج ثلاث قوى.

1- قوة الجذب والتي تميل الكتلة = $A(g-g_1)$.

2- قوة المرونة = $\bar{n}BX$ حيث X إزاحة الكتلة في محطة القياس من المحطة الأساسية (الأولية).

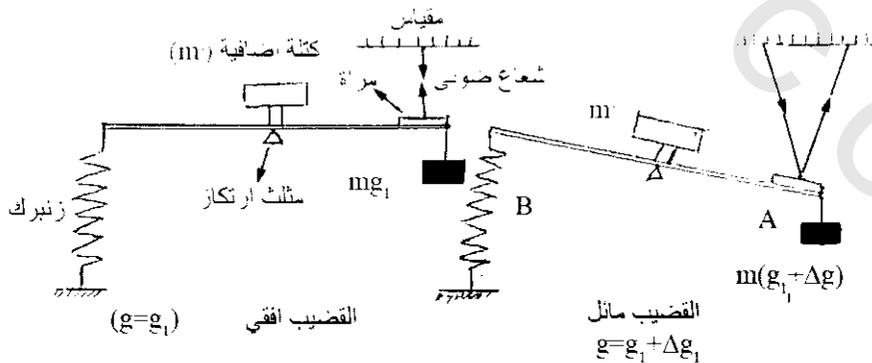
3- القوة الناتجة من الكتلة الإضافية ($m'X$) عندئذ تكون محصلة هذه القوى على الكتلة في حالة الإيزان.

ومن الواضح أنه إذا كانت $B = m'$ فان حساسية الجهاز A يمكن زيادتها إلى أي قيمة مرغوب فيها.

ودقة هذا الجهاز في حدود 0.25 ميللجال.

$$A(g-g_1) - \bar{n} X(B-m') = \text{zero}$$

$$A(g-g_1) = X(B-m')$$

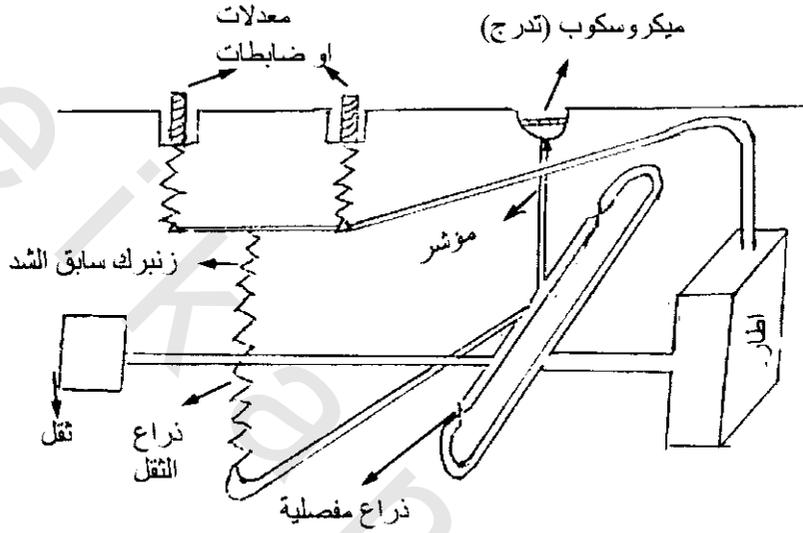


شكل (10-3): مقياس تسين التثاقل

$$\therefore X = \frac{A}{(B - m')} (g - g_1) \quad (3-7)$$

5.3.2.4.3 جرافيمتر ووردن (مقياس ووردن التثاقلي) Worden Gravimeter:

من أهم وأوسع الأجهزة استخداماً، وهو جهاز ملائم، خاصة في أغراض البحث والتنقيب (وزنه حوالى 6.9 كجم ودقته حوالى 0.01 ميلي جرام) ويجب ملاءمته لدرجة الحرارة* وخواص الانحراف. ويوضح شكل (11-3) رسم خطى لقطاع في هذا الجهاز



شكل (11-3): قطاع خطى لجهاز ووردن (قاعدة تشغيل مقياس ووردن للجاذبية)

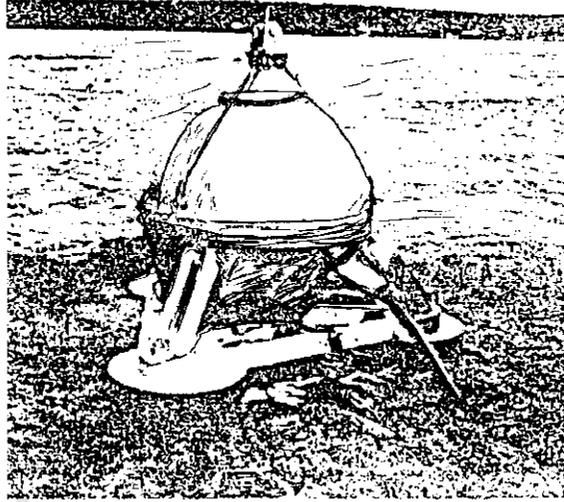
4.2.4.3 أجهزة لقياس الجاذبية فى البحر Instruments for Measuring Gravity at Sea:

يوجد نوعان من هذه الأجهزة نوع مغطى بغلاف ضد الماء ويتدلى من المركب إلى قاع الماء وتقرأ القراءة على ظهر المركب. والآخر يقيس الجاذبية على ظهر المركب حيث يركب على قاعدة ثابتة ويضاف له معدات أخرى لتقليل حركة المركب على القيمة المقاسة.

1.4.2.4.3 أجهزة الأعماق Bottom Meters:

استخدمت فى الرصد البحرى من مدة طويلة من عام 1941 وما تزال تستخدم حيث أن الشاذة المقاسة بها يكون لها إمتداد مساحى صغير (مثل الناتجة من قبة ملحية) وينتج بذلك مساحات لها قراءات بأكبر دقة ممكنة. ويعتبر جهاز لاکوست ورمبرجى Lacoste and Romberg type من أكثر الأجهزة إنتشاراً. ويوضح شكل (12-3) هذا الجهاز أثناء إنزاله فى الماء، يضاف له نظام يعادل الحركة الرأسية للقاع ويعطى قراءة الجاذبية أوتوماتيكياً إلى وحدة رقمية على ظهر الباخرة والدقة لهذا النظام فى ظروف بحرية جيدة تكون 0.1 ميلي جال.

* اختلاف درجة حرارة مقدارها 0.002° تسبب تغير مقدارها 0.025 ميللجال.



شكل (12-3) جهاز لاقوست ورمبرج لقاع الماء حين إنزاله في الماء من باخرة Lacoste & Romberg

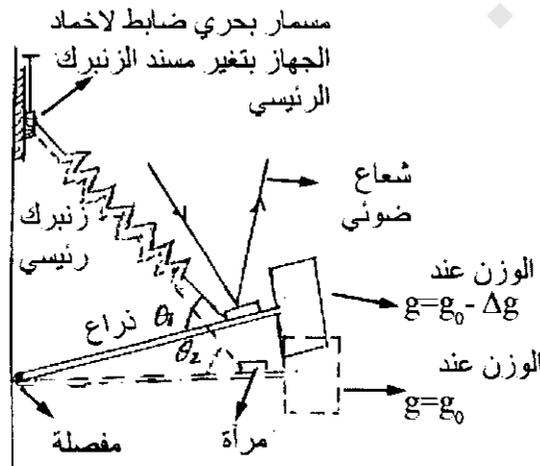
2.4.2.4.3 أجهزة محمولة على الباطرة Shipborne Meters:

المشكلة الرئيسية في هذه الحالة هي حركة الباطرة لذلك فإنه يلزم معادلة العجلات المصاحبة لحركة الباطرة، وهذه تتوقف على نوع الباطرة وحالة البحر حيث يكون هناك مركبتين أفقيتين ومركبة رأسية وتأتي الحركة الأفقية من التموج وتمايل المركب والرأسية تأتي من البحر. وعادة يمكن فصل الحركات الأفقية بواسطة قاعدة ثابتة جيروسكوبية وذلك باستخدام سرعات تعمل على حفظ القاعدة أفقية لوضع ثوان. والحركة الرأسية يمكن إزالتها بإدخال جهاز تخميد يؤدي إلى ثبات الجهاز لوقت طويل (حوالي خمس دقائق).

3.4.2.4.3 مقياس لاقوست ورمبرج المحمول على الباطرة

LaCost, Romberg Shepborne Gravimeter:

له نفس التركيب الأساسي لجهاز القياس على اليابسة شكل (13-3) بالإضافة لتزويده بجهاز معوق لحركة الزنبرك (damping device) وهو بذلك يقيس عجلة الجاذبية بالإضافة لعجلة الحركة الرأسية الناتجة من التموج ثم يفصل عجلة التموج من العجلة الكلية المقاسة وبذلك يمكن الحصول على العجلة التفاضلية الأرضية.



شكل (13-3): تشغيل مقياس لاقوست ورمبرج الأرضي (تخطيطي)

5.2.4.3 قياس الجاذبية فى الآبار Gravity Measurements in Wells :

يتم هذا القياس بنوعين من الأجهزة.

1.5.2.4.3 مقياس جاذبية اسو للآبار Esso Borehole Gravimeter :

يتكون هذا الجهاز من كتلة بلاستيكية تعلق فى خيط من التنجستن (بندول) فى فراغ. ويركب فى علبة اسطوانية ذات أبعاد تسمح لها لتبقى رأسية فى الآبار التى تنحرف عن الرأس حتى 4° والقطر الخارجى للجهاز 10.2 سم، وتحفظ ترموستات درجة الحرارة عند 125° درجة مئوية وهى درجة أعلى من درجة الحرارة المحيطة والمتوقعة عند أى عمق فى البئر وتقاس اختلاف الجاذبية بتحديد الزمن الدقيق المطلوب لعدد محدد من الذبذبات 10⁵، 10²×5، 10³×5... إلخ وكلما زادت فترة القياس زادت الدقة فى قيمة الجاذبية ويلزم 20 دقيقة لأخذ قراءة جاذبية جيدة إلى 0.01 ميللجال.

2.5.2.4.3 جرافيمتر USGS :

أنتجت شركة لاكوست-رومبيرج بالتعاون مع المساحة الجيولوجية الأمريكية U.S. Geological Survey ومصمم بنفس أسلوب الأجهزة الأرضية والمحمولة بالبخارة ويركب على ذات المحورين المركب عليهم الجزء الحساس زنبك صغير أطول من الجزء الحساس ومسمار محورى للضبط الخاص ليعطى مدى واسع للقراءات، ويمكن تسويته لانحراف البئر حتى 6.5° مع الرأسى. وتحفظ درجة الحرارة بواسطة ترموستات عند درجة 101°م. وتقاس الجاذبية بتصغير الجهاز ويلزم 5 دقائق للحصول على القراءة بدقة 0.01 ميللجال. وحيث أن زيادة درجة الحرارة تكون عادة منتظمة مع عمق الجهاز فإن هذا التأثير يمكن أن يدخل فى الأطراف ويمكن فصله بنفس الطريقة مثل باقى تأثيرات الانحراف.

6.2.4.3 المسح الثقالى (الجاذبى) الجوى Airborne Gravity Surveying :

هناك بعض الصعوبات لتصميم وعمليات المسح الجوى يجب أن تحل لجعله ممكنا. وهذه الصعوبات تشبه المواجهة فى عمليات المسح البحرى، ولكن أكثر مبالغة للسرع الكبيرة للطيران. مثل ذلك، تصحيح إتفوس Eotvos يكون أكثر من 1000 ميللجال عندما تكون سرعة الطيران حوالى 400 كم/ساعة.

تم عمل أول جهاز (جرافيمتر طيرانى) لقياس الجاذبية الجوية عام 1958. وقد تم أول اختبار للمسح الجوى فى كاليفورنيا حيث كانت القياسات تتم بواسطة محطة رصد أرضية. ولضبط قياسات الجاذبية بعناية يجب التحكم فى الطيران خلال 10 ميللجال. فى الإختبارات المتتالية تحسنت أجهزة الطيران بواسطة جرافيمتر وجرو المتزن، بحيث يكون ضبط الدقة لمدى قليل من الميللجالات التى يحصل عليها خلال طقس هادئ على طول طرق جيدة للعلامات.

فى عام 1971 بدأت عملية الحركة بطائرة هليكوبتر حيث يكون الطيران بسرعة بطيئة وذلك لإقلال تصحيح أتفوس وأخطاء الطيران. وقد وجد أنه مازال، عند سرعة 100 كم/ساعة يكون تصحيح اتفوس أكثر من 375 ميللجال، معتمدا على خطوط العرض وإتجاه الطيران تبعا للمعادلة

$$E = 7.508 V \cos \varphi \sin \beta + 0.00405 V^2 \quad (3-8)$$

حيث $E =$ تصحيح انقوس & $V =$ السرعة & $\beta =$ زاوية الطيران بالنسبة للشرق والغرب ، E تكون موجبه لإتجاه الشرق ($0 < \beta < 180$) وتكون سالبة لاتجاه الغرب ($180 < \beta < 0$).

عند أخذ قياسات الجاذبية أثناء عبور منطقة قريبة من خط الإستواء عند إتجاه السرعة شرقا وغربا فإنها تختلف بمقدار 750 ميللجال بدون تصحيح انقوس المناسب.

وبسبب الصعوبات فى حسابات التغير من دقيقة لدقيقة فى الإتجاه والسرعة يكون هناك أخطاء لعدة ميللجالات فى تصحيح انقوس ويكون هذا الخطأ محتمل إلا فى حالات مسح نموذجي.

هناك تأثيرين لاشتراط حدين آخرين على المسح الجاذبي الجوى.

الأول: تأثير تحرك الجرافيمتر أبعد من مصادر لتغير شذوذ الجاذبية على سطح الأرض وهذه تودى لتقليل عشرات الميللجال عند مستوى مسح جوى ربما عند إرتفاع قدره 1000 متر.

الثانى: يكون تأثير التضاريس، حيث يكون للظواهر الطبوغرافية والقريبة لها على سطح الأرض جذب قوى أكثر من نفس الظواهر الأبعد، ويتلاشى الإختلاف عند إرتفاع مستوى الطيران، لذلك لا بد من عمل مجهود كبير للحساب المناسب لأكثر بعدا عن التضاريس.

بالرغم من هذه الصعوبات فإن المسح الجاذبي الجوى بطائرات الهليكوبتر أحدث مسح اكتشافى جاذبي نافع عندما تكون الدقة خلال عدة ميللجال قليلة مطلوبة. للعمليات الحديثة، يثبت جرافيمتر خامد كبير على اطار جيرو ثابت ويحمل بواسطة طائرة هليكوبتر كبيرة. وتقوم أجهزة الملاحة الجوية الإلكترونية بإعطاء تسجيلات مستمرة لتغيرات المكان، والمقياس الرادارى يقيس باستمرار الإرتفاع من على سطح الأرض.

3.4.3 قياس المجال الثقالي وتحويل (تصحيح) قراءات الجاذبية لمستوى سطح البحر

Gravity Field Measurements and Reductions (Corrections) of Gravity Readings to Sea Level:

حيث أن قياس الثقالية تتم عند نقطة مختلفة بعض منها فى أراضى منخفضة عن سطح البحر والأخرى على الجبال وبعضها فى البحار والمحيطات فهى بذلك تكون غير مقارنة لذلك فمن الضرورى قبل إستخدام مثل هذه القياسات الثقالية للأغراض العملية يجب تحويلها (تصحيحها) إلى موافقة لمستوى إسناد واحد، عادة ما يكون سطح البحر.

1.3.4.3 قياس الثقالية على الأرض Measurement of Gravity on Land:

1.1.3.4.3 تحديد أماكن المحطات Determing Station Locations:

يعتمد تحديد أماكن المحطات والمسافة بينهما على الآتى:

(1) سهولة الإنتقال لأماكن المحطات ويعتمد هذا العامل على طبيعة الأرض وتوزيع الطرق والعوائق الطبيعية (مثل الأنهار والمستنقعات والأماكن الوعرة). لذلك فإنه تجرى عمليات المسح بحيث يمكن الوصول للأهداف على الطرق السهلة لى تكون عملية المسح أكثر اقتصادا.

2) النظام النسقى للمحطات: يصمم بحيث يكون المسح أقرب لتكوين شبكة مربعات كلما أتاحت الظروف ذلك. وتخضع هذه الشبكة للعمق والامتداد الجانبى للظواهر الجيولوجية المطلوب البحث عنها. فمثلا فى حالة البحث عن التركيبات البترولية (طيه محدبة) قبة ملحية، فالق) والموجودة على أعماق تتراوح لأكثر من ميل فإن المسافة بين المحطات المكونة لشبكة العمل تكون من ميل إلى نصف ميل أو من كيلومتر إلى نصف كيلومتر. أما إذا كان البحث يختص بخامات معدنية مثل كتل الكروميت فإن المسافة بين محطات الشبكة يكون من 10 م إلى 100 م. وإذا كان البحث خاص بالأعمال الهندسية مثل بناء السدود والكبارى والطرق والأبنية الضخمة والمصانع والمحطات النووية والبحث والتنقيب عن المياه الجوفية فإن المسافة بين المحطات تكون من 5 م إلى 20 م. فى حالة البحث والتنقيب عن الآثار فإن المسافة بين محطات الشبكة تتراوح من 1 م إلى 10 م.

2.1.3.4.3 المسح الأرضى Ground Survey:

عند إجراء عملية المسح يجب معرفة مكان المحطة وارتفاعها بدقة. وتعتمد طرق المسح على مقياس الرسم لكل من الخرائط الجيولوجية والطوبغرافية وشبكة الإرتفاعات. وتعتمد درجة الدقة المطلوبة لحساسية قراءة الجاذبية إلى الإرتفاع وخط العرض، ويمكن أن تتم الدقة المطلوبة لإرتفاع 0.1 قدم لإرتفاع المحطة النهائية (للقياس) بواسطة تقريب المسافات لأماكن القياس وتقصير الأطوال على الميول. وعادة ما يكون فى أى دولة نقطة قياس دولية غالبا ما تكون فى أرض أحد المطارات أو فى المرصد الجيوفيزيقي، أو يكون هناك عدة نقط مفاصة أوعدها المشتغلون بالقياسات الثقالية. وعند بدء المسح تؤخذ محطة أولية عند أقرب نقطة أساس دولية أو محلية وتسمى محطة الأساس (Base station) ثم بعد ذلك تؤخذ نقطة أصل (Base point) مختارة فى الموقع المراد إجراء المساحة الثقالية له. عند هذه النقطة تؤخذ القراءة أكثر من مرة فى أوقات مختلفة من النهار أثناء إجراء القياسات فى محطات أخرى لمعرفة إنحراف الجهاز Instrumental drift، أما فى مشاريع القياس الجاذبى على الشواطئ فإنه يتطلب نظام راديو أو رادارى متقن لتحديد أماكن المحطات.

3.1.3.4.3 ضبط الإنحراف Adjustment for Drift:

قراءة الجهاز للقيمة الثقالية فى الحقل يتطلب تصحيح الإنحراف له وذلك لاختلاف القراءة لنفس المحطة على طول يوم المسح بتغير الزمن ودرجة الحرارة، ويتم هذا التصحيح كالاتى:

- 1- تؤخذ قراءة أو محطة وتعتبر هذه المحطة محطة الأساس.
- 2- تؤخذ قراءة المحطات التالية بمسافات حسب طريقة البحث والمادة الخام المراد البحث عنها.
- 3- بعد أخذ قراءة عدة محطات (ولتكن 5 محطات) يعاد مرة ثانية إلى أخذ قراءة أول محطة.
- 4- ثم بعد أخذ عدة قراءات لمحطات أخرى (حوالى 5 محطات أخرى) يعاد مرة ثانية لأخذ قراءة أول محطة (محطة الأساس).
- 5- تكرر هذه العملية عدة مرات إلى أن ينتهى خط المسح أو ينتهى يوم المسح.
- 6- تسجل هذه القراءات فى علاقة بيانية، المحور الأفقى فيها يمثل الزمن (التغير اليومي) والمحور الرأسى يمثل قراءة الجهاز (شكل 3-16).

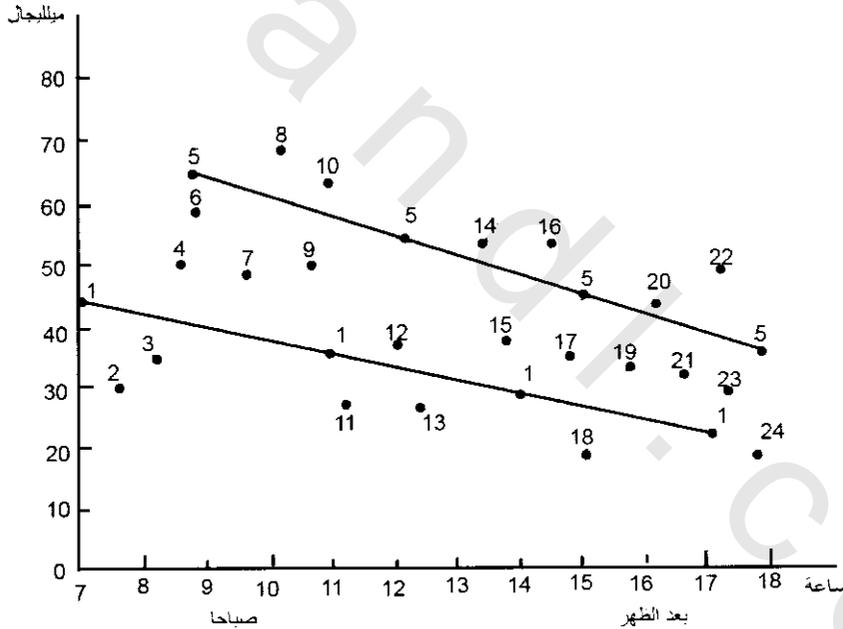
7- لزيادة التأكد من ضبط الإنحراف تؤخذ محطة أخرى كأساس آخر ولتكن المحطة رقم 5 ويعاد إليها القراءات أيضا وتسجل هذه القراءات في علاقة بيانية كما شكل (3-16) ثم توصل هذه القراءات ويمثل الخط الناتج من التوصيل إنحراف أيضا للجهاز. إذا كان هذا الخط الناتج (للمحطة رقم 5) يوازي أو تقريبا يوازي محطات الخط رقم (1) فهذا يدل على أن إنحراف الخط رقم (1) مضبوط تقريبا.

8- لضبط الإنحراف من الشكل (3-16) تعاد جميع القراءات المأخوذة طول اليوم إلى خط الإنحراف للمحطة رقم (1).

2.3.4.3 قياس الجاذبية في المساحات المغطاة بالمياه

Measurement of Gravity in Water-Covered Areas:

قياس الجاذبية في المساحات المغطاة بالمياه يكون صعبا نوعا ما حيث أن الجهاز الموضوع على سطح المركب يتأثر بعجلة حركة المركب المتأثرة بحركة المياه والتي لايمكن فصلها عن عجلة الجاذبية. أما الأجهزة التي تقيس في قاع المياه فإذا كانت المياه ضحلة فإنها تتأثر بحركة الأمواج أما إذا كانت المياه عميقة فإن ضغط الموجه وتأثيرها ينقص بزيادة العمق ونقصان زمن الموجه، وللتغلب على هذه الصعوبات فالأجهزة السابق عرضها صممت بحيث تتلاقى بقدر الإمكان هذه الصعوبات. هناك طريقتين لقياس الجاذبية في المساحات المغطاة بالمياه:



شكل (3-16): العلاقة بين تغير الزمن اليومي والتغير في قراءة الجهاز

1.2.3.4.3 قياسات بمقاييس محمولة على الباخرة:

تؤخذ قراءات الجاذبية في هذه الحالة باستمرار أثناء سير الباخرة وتعتمد دقة هذه القراءات على الآتي:

- 1- ثبات سرعة الباخرة.
- 2- مسارها في طريق مستقيم كلما أمكن ذلك ، بعيدة عن الإتجاه شرق-غرب حيث أن هذا الإتجاه يحدث زيادة أو نقصان في العجلة المركزية للأرض تبعاً ما إذا كانت حركة السفينة في إتجاه أو ضد دوران الأرض.

3- إستخدام معادلة Eotvos لتصحيح قراءة الجاذبية والتي تعتمد على سرعة الباخرة وخط عرضها ϕ وإتجاه مسارها α بالنسبة لإتجاه شمال-جنوب حيث

$$\Delta g_z = 7.487 V \cos \phi \sin \alpha \quad (3-9)$$

حيث V السرعة بالعقدة، Δg_z بالمليجال. هذا التصحيح موجب عند مسار السفينة فى إتجاه الشرق وسالب عند مسارها غربا. كذلك خطأ واحد عقدة فى سرعة تحرك السفينة شرق-غرب على خط الإستواء ينتج خطأ مقداره 7.5 ميللجال، وهذا كبير فى الأغراض الإستكشافية.

4- حالة البحر:

- (أ) هادئ جدا: يجب عدم زيادة الخطأ عن 0.5 ميللجال عند نقاط تقاطع القياس لشبكة المسح.
 (ب) بحار عنيفة الحركة: يجب عدم زيادة الخطأ عن 1-0.7 ميللجال عند نقاط تقاطع القياس لشبكة المسح.
 (ج) بحار عنيفة جدا: يجب وقف عملية المسح.

2.2.3.4.3 قياس بمقاييس القاع:

عندما يصل مقياس القاع (جهاز لاكوست) للقاع تتم تسويته بنظام موازر داخلى وتؤخذ القراءة من لوحة متصلة بالجهاز وموضوعة فى حجرة دفة المركب. وتعتمد دقة القراءة على حركة قاع البحر الذى يتأثر بحركة الأمواج المائية وضغط الماء عليه وهذا التأثير يقترب لفترات طويلة (مثل فترات المد والجزر). خلال المدى المعتاد فإن ضغط الموجه وتأثيرها ينقص بزيادة العمق ونقصان زمن الموجه. لذا فتأثير الموجه لا يؤخذ فى الإعتبار إلا فى المياه الضحلة، والقاع الرخو سوف ينقل حركة الموجه إلى المقياس أكثر من القاع الصلب.

4.4.3 تحويل أو تخفيض (تصحيح) قراءات الجاذبية لمستوى سطح البحر:

Transformation of Reduction (Correction) of Gravity Reading to the Sea Level:

قبل إستخدام قياسات الجاذبية المنظورة (الملاحظة) للأغراض التطبيقية يجب تحويلها أو تخفيضها (تصحيح) بطريقة ملائمة لمستوى الإسناد (سطح البحر) والتصحيحات هي:

1.4.4.3 تصحيح خط العرض Latitude Correction:

حيث أن الأرض بيضاوية الشكل لذلك يلاحظ أن الجاذبية تزيد فى إتجاه الأقطاب*، ويلاحظ وجود اختلاف فى الجاذبية بين محطة القياس ومحطة الأساس بسبب اختلاف خطوط العرض بينهم ويكون التصحيح.

$$\Delta g_\phi = 0.81 \sin 2 \phi \quad \text{م (فى إتجاه شمال-جنوب)}$$

$$= 0.024 \sin 2 \phi \quad \text{م (فى إتجاه شمال-جنوب)}$$

حيث ϕ مرجع مستوى خط العرض (الأساسى)*. إذا كانت المحطة على خط عرض عالى** (تكون شمال محطة القاعدة وكلاهما فى نصف الكرة الشمالى فإن هذا التصحيح يكون سالب. أما إذا كانت المحطة فى إتجاه

* بما أن الأرض بيضاوية الشكل فإن أطوال الأقطاب تكون أقصر من خط الإستواء وتطبيق قانون نيوتن تكون الجاذبية أكبر عند الأقطاب من خط الإستواء.

** يمكن أن تشتق هذه من المعادلة العامة $(\phi - 0.000059 \sin^2 \phi + 0.0052884 \sin^2 \phi) = 978.079$ جال
 عمليا يختار خط العرض المرجعى بحيث تصحح جميع القراءات إليه.

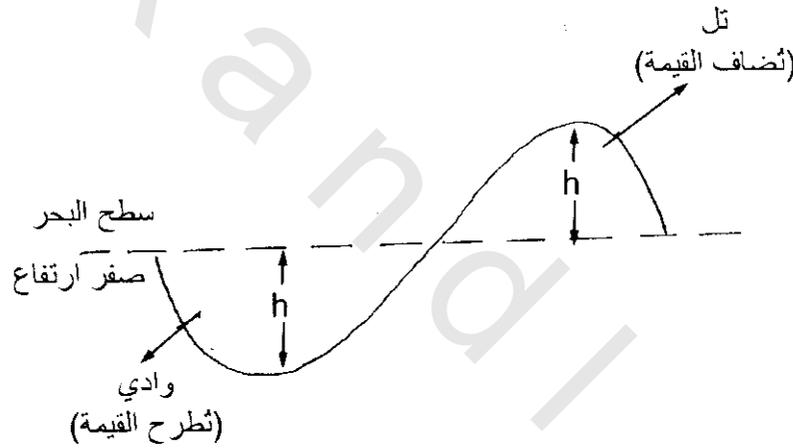
جنوب محطة القاعدة وكلاهما في نصف الكرة الجنوبي فإن هذا التصحيح يكون أيضا سالب)، وإذا كانت الحالة كما سبق يجب إضافة التصحيح. المعادلة السابقة لا تستخدم لحساب تصحيح خط العرض وراء المسافة شمال-جنوب قرب ٢ ك على جانبي محطة الأساس لأن فرق الجاذبية عندئذ يكون غير متناسب بدقة مع المسافة للوصول للدقة المطلوبة. والتصحيح المضبوط في هذه الحالة يعطى بواسطة $\Delta g\varphi = 51723(\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_0)$ ميللجال، حيث φ_0, φ_1 خطوط العرض للمحطة المقاسة والمحطة الأساسية بالتتابع.

2.4.4.3 تصحيح الارتفاع Elevation or Free-Air Correction:

يلاحظ أن قوة الجذب الأرضية تقل مع الارتفاع لذلك فإن أي محطة بارتفاع (h) فوق مستوى الإسناد (سطح البحر = صفر) ستكون لها تأثير جاذبي أقل من الموجودة على مستوى سطح البحر بمقدار يساوي تقريبا h/R حيث R نصف قطر الأرض. ويمكن حساب قيمة معامل هذا التصحيح كالآتي:

0.3086 ميللجال (ارتفاع بالمتر)

0.9406 ميللجال (ارتفاع بالقدم)



شكل (17-3):

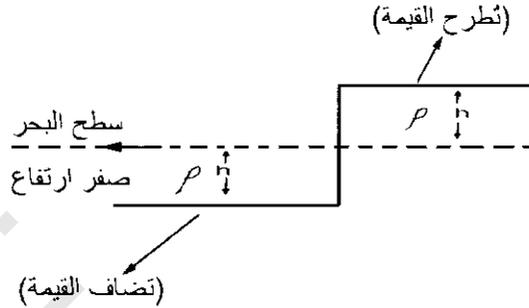
من شكل (17-3) يتضح أن التصحيح يجب إضافته لقياس الجاذبية للمحطة الواقعة فوق مستوى سطح البحر وتطرح من قياس الجاذبية للمحطة الواقعة أسفل مستوى سطح البحر.

3.4.4.3 تصحيح بوجير Bouguer Correction:

بالأخذ في الاعتبار كتل المواد المؤثرة على الجاذبية والموجودة بين مستوى المحطة ومستوى سطح البحر فإنه يلاحظ أن كتل هذه المواد الصخرية تسبب زيادة في الجاذبية عند موقع المحطة الموجودة فوق مستوى البحر ولهذا تشير إلى زيادة فروق الجاذبية بينهم.

*** يمكن إيجاد قيمتها من القانون العام للجاذبية.

أما إذا كانت تحت مستوى سطح البحر فإن هذا يؤدي إلى خفض فروق الجاذبية بسبب نقص كتل المواد الصخرية بينهما وبين مستوى سطح البحر كما فى شكل (3-18). فى هذا الشكل إذا اعتبرت المادة كلوح له امتداد جانبي بسمك h وهذا السمك يساوى فرق الارتفاع فإن تصحيح الجاذبية عند المحطة تعطى كالاتى ميلجال $0.4191h = (h \text{ الارتفاع بالمتر})$ ، ميلجال $0.1277 \rho h$ (الارتفاع بالقدم) حيث أن ρ هى كثافة المادة اللوحية بـ كجم/م³ وهذا التصحيح دائما عكس إشارة تصحيح الارتفاع.

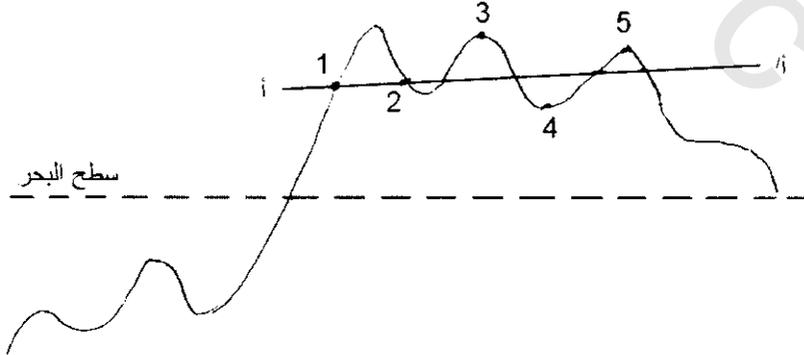


شكل (3-18):

4.4.4.3 تصحيح التضاريس Terrian Correction:

التصحيحين السابقين 2 & 3 متوافقين مع التضاريس المتجاورة للمحطة إذا كانت أفقية. أما إذا وجد اختلاف فى الارتفاعات (التضاريس) خاصة القريبة من المحطة فإن هذا الاختلاف المحلى للتضاريس يكون له تأثير ملاحظ على قيم الجاذبية المقاسة، ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار تصحيح هذه القيم عند هذه المحطة.

يوضح شكل (3-19) حالة محطة واقعة فوق مستوى سطح البحر ويتضح عند تطبيق تصحيح بوجير للوح الصخرى ρ ومستوى سطح البحر فإنه يفترض أن النقط 1, 2, 4, والتي تمثل الإنخفاضات تكون ممتلئة بمواد صخرية. وفى نفس الوقت نفترض أن الارتفاعات مثل 3, 5 لا يكون لها تأثير جاذبى. فإن غرض تصحيح التضاريس يعوض هاتين الفرضيتين. والتصحيح العائد للإنخفاض يضاف إلى قيم الجاذبية المقاسة وأيضاً التصحيح العائد للارتفاع يضاف إلى قيم الجاذبية عند المحطة. ولذلك فإن تصحيح التضاريس دائما موجب بصرف النظر سواء وجد إنخفاض بجوار المحطة أو الارتفاع، ولعمل هذا التصحيح يستخدم خريطة شكل (20-3) ومجموعة من الجداول نشرها همر 1939 Hammer* وتطبع هذه الخريطة على لوحة شفافة.

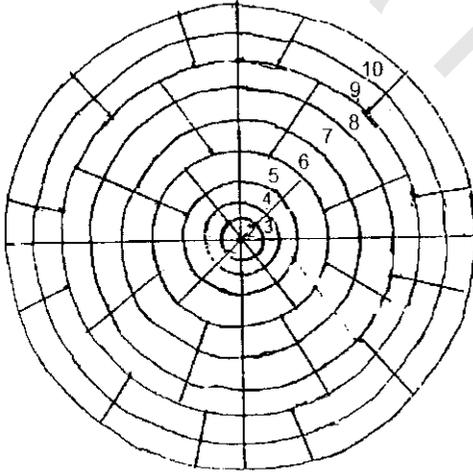


شكل (3-19):

* تمثل هذه الخريطة مجموعة من الدوائر ذات مركز واحد وتمثل هذه الدوائر مناطق حول المركز. وتقسّم هذه الدوائر إلى حجرات.

جدول (1-3) تصحيح الدراسات التضاريس (همر 1939 Hammer)

نطاق 7 12 حجرات 55.8-54.6		نطاق 6 8 حجرات 55.8-54.6		نطاق 5 8 حجرات 55.8-54.6		نطاق 4 6 حجرات 55.8-54.6		نطاق 3 6 حجرات 55.8-54.6		نطاق 2 4 حجرات 65.6-6.56	
تصحيح (3)	ارتفاع ± قدم (2)	تصحيح	ارتفاع ± قدم								
0	58-0	0	57-0	0	18-0	0	7.7-0	0	4.3-0	0	1.1-0
0.1	100-58	0.1	96-27	0.1	30-18	0.1	13.4-7.7	0.1	7.5-4.3	0.1	1.9-1.1
0.2	129-100	0.2	60-46	0.2	39-30	0.2	17.3-13.4	0.2	9.9-7.5	0.2	2.5-1.9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1046-1009	15	983-466	15	331-318	15	152-146	15	110-104	15	30-27



شكل (20-3): (نقطة المركز هي رقم 1)

- (1) نصف قطر النطاق بالقدم.
- (2) ارتفاع التضاريس بالقدم (بصرف النظر عن الإشارة) ، في كل حجرة المقابلة لمستوى المحطة.
- (3) التصحيح لكل حجر بسبب تراوح تصحيح التضاريس في وحدات تبلغ 1/100 ميلجبال لكثافة مقدارها 2.0 جم/سم³. وعندما يطبق هذا التصحيح لقيمة شاذة بوجير والمحسوبة بتصحيح بوجير تكون دائما موجبة.

لإجراء هذا التصحيح يتم الآتي:

- 1- يوضع مركز الخريطة الشفافة (شكل 20-3) على النقطة الممثلة للمحطة على الخريطة الطبوغرافية للمنطقة ويلاحظ أن الخريطة (شكل 20-3) تغطي المناطق المجاورة للمحطة على الخريطة الطبوغرافية.
- 2- باستخدام الحاسب الآلي لتقدير متوسط ارتفاع التضاريس خلال كل حجرة والاختلاف بينه وبين ارتفاع المحطة وتحديد التأثير الجاذبي أيضا من خلال الحجرات من جدول همر 1939 Hammer.

الاستنتاج Conclusion:

من التصحيحات السابقة يتضح أن التصحيح النهائي لتغير الجاذبية لا تعتمد فقط على الانحراف الأفقى من ثبات الكثافات للصخور تحت سطحية أسفل مستوى الإسناد (سطح البحر)، حيث أن عدم التحقق للتصحيحات يرجع عادة لإختيار الكثافة القريبة من السطح لاستخدامها فى تصحيحات البوجير والتضاريس، خاصة عندما تكون الخواص للتكوينات القريبة من السطح غير منتظمة. وعادة ما يعرف تصحيحات الإرتفاع، البوجير والتضاريس بصافى تصحيح الإرتفاعات (Net Elevation Correction) وعادة ما تحدد كالتالى:

$$N.E.C = K h + T = \pm(0.09406 \bar{n} - 0.1277 \rho)h + T \quad (3-10)$$

5.4.3 تحويل معلومات التثاقلية (المخففة) أو التصحيحات إلى شواذ تثاقلية**Conversion of (Reduced) or Correction Gravity Information Into Gravity Anomalies:**

حتى بعد تخفيض أو تصحيح قراءات الجاذبية الملاحظة سابقا عند أى محطة من أجل صافى تصحيح الإرتفاعات. فما زال يلاحظ إنحراف خفيف لتصحيح قيمة قراءة الجاذبية النظرية بالنسبة لقيمة الجاذبية الكروية عند خطوط العرض والطول عند المحطة. هذا الإنحراف والذي عين سابقا كشذوذ جاذبى والمصاحب واقعيا لمكان القياس يرجع إلى حقيقة أن الأرض ليست متجانسة ولكن مختلفة اعتباريا فى توزيعها الأفقى لتغير الكثافة رأسيا.

1.5.4.3 شذوذ بوجير Bouguer Anomaly:

إذا كانت قراءة جهاز الجرافيمتر عند المحطة S_1 وعند مستوى سطح البحر S_0 فإن الإختلاف الملاحظ هو $K(S_1 - S_0)$ حيث K ثابت معيارى للجهاز (وحدات جاذبية لكل قسم من المقياس)، وهذا الفرق الملاحظ هو Δg (القيمة المقاسة). وبفرض أن القراءة قد صححت بالنسبة لانحراف الجهاز كما تم سابقا فبتطبيق التصحيحات السابقة (تصحيح خط العرض، الإرتفاع، بوجير، التضاريس) فإن إختلاف الجاذبية السابق يصبح

$$\Delta g = \Delta g_{obs} \pm \Delta g_p \pm (0.9406 \bar{n} - 0.1277 \rho)h + T \rho \quad (3-11)$$

إشارة الموجب أو السالب لتصحيح خط العرض Δg_p تؤخذ كما فسرت سابقا. ويطلق على إختلاف التصحيح الكلى و Δg شذوذ بوجير النسبى عند المحطة المقاسة.

6.4.3 تحديد الكثافة Density Determination:

يعتمد شذوذ بوجير فى تطبيقه كثيرا على فروض كثافات الصخور أو بالأحرى على فروق الكثافات بين الصخور. عامة، وبرغم صغر هذه الفروق فمن المهم تحديد الكثافات خلال مسح المنطقة بدقة كلما أمكن ذلك، حيث يتضح من المعادلة (3-11) أن كل معلومات الإرتفاعات وخطوط العرض تكون متاحة ببساطة ماعدا الكثافة. وتوجد عدة طرق لتحديد الكثافات.

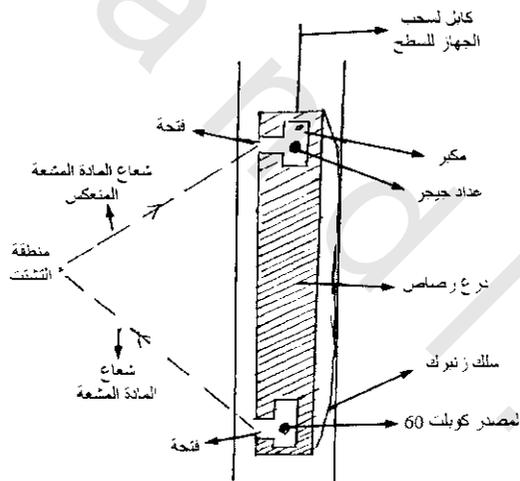
1.6.4.3 طرق مباشرة Direct Methods:

1.1.6.4.3 عينات صخرية:

فى بعض المسوح يكون من الضرورى قياس الكثافة مباشرة وذلك إما بعينات صخرية من المنكشفات الصخرية، من المناجم، من حفر الآبار، وذلك بواسطة بيكنومتر Bcnometer (مقياس الكثافة) أو ميزان تشوازر أوجالى Schwars or Jally Balance وفيه يتم تحديد الكثافة بواسطة إحلل الماء.

2.1.6.4.3 ثقل الكثافة Density Logger:

هذه الآلة ملائمة لصناعة البترول لقياس كثافة التكوينات فى الآبار. وهى تتكون من مصدر مشع (كوبالت 60) فى أسفل الجهاز وأعلى الجهاز يوضح كاشف (عداد جيجر Geiger Counter) ومكبر والمسافة بين المصدر والكاشف حوالى 18 بوصة كما فى شكل (3-21)، وتتكون الحوائط الخارجية للجهاز من درع رصاص والذى يكون له فتحتان أحدهما للأشعاع من المصدر والذى يصل للكشاف (عداد جيجر) بعد انحرافه من التكوين الجيولوجى بواسطة التشتت. وتعتمد سعة التشتت على تركيز الإلكترونات فى التكوين والذى بدوره يتناسب مع كثافة مادة التكوين وتتناسب درجة التشتت مع $(1-\theta)$ حيث θ هى الزاوية بين سقوط وتشتت الأشعة، وتشير هذه العلاقة إلى أن أكبر قيمة للطاقة $\theta = 90^\circ$ تبعاً لطاقة وعودة الأشعة والتي تعمل زاوية مقدارها 45° مع جدار البئر.



شكل (3-21): منظر مقطعى لثقل الكثافة

2.6.4.3 الطرق الغير مباشرة Indirect Methods:

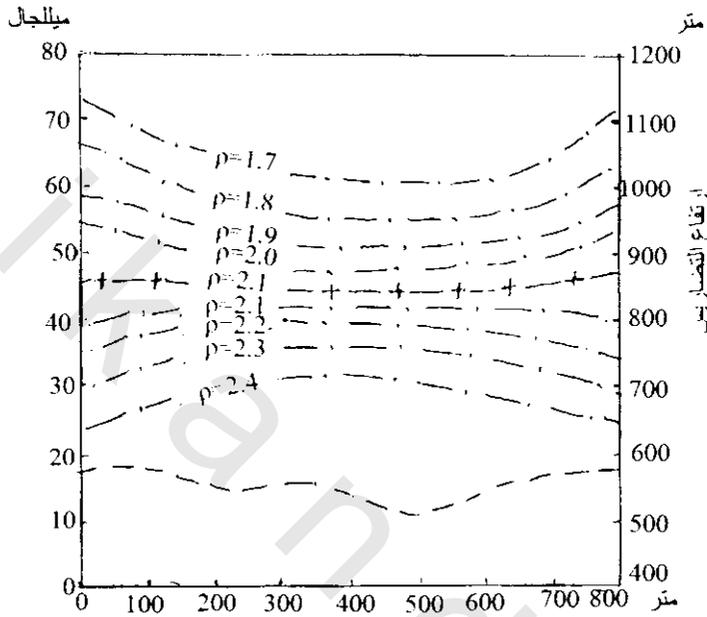
1.2.6.4.3 طريقة البروفيل The Profile Method:

بحسب شدوذ بوجير على طول خط لمجموعة من القيم الإفتراضية للكثافة ويرسم شكل منحنيات للشاذات من هذه القيم الإفتراضية ثم تقارن هذ المنحنيات مع بروفيل التضاريس على طول هذا الخط. والكثافة الإفتراضية التابعة للمنحنى والذى يوضح أقل مقارنة مع التضاريس (تقريباً خط مستقيم)، تكون هذه الكثافة هى الصالحة للوح الصخرى بمنطقة الدراسة (نيتلتون 1939 Nettelton) كما فى شكل (3-22) وتمتاز هذه الطريقة بإعطائها معدل كثافة حقيقية فى مناطق من الصعب أخذ عينات سطحية منها. ولكن هذه المعلومات الكثافية تكون لأعماق ضحلة نسبياً، لذا فإن إستخدامها يكون للصخور القريبة من السطح المتجانس.

2.2.6.4.3 طريقة الخط المستقيم :Straight Line Method

يفترض في هذه الطريقة أن شذوذ بوجير (المعادلة 3-11) عند المحطات على طول الخط يكون صفر عندئذ يمكن كتابة المعادلة السابقة (3-11) مع ترتيب صغير لحدودها كالاتي:

$$\begin{aligned} \Delta g_{obs} \pm \Delta g_p &= -0.9406 h + 0.1227 h \rho + T\rho \\ &= +(0.1227 h + T) \rho - 0.9406 h \end{aligned} \quad (3-12)$$



شكل (22-3): منحنيات الكثافات المفروضة مع منحنى التضاريس، -- منحنى التضاريس، -- منحنيات ممثلة للكثافة المفروضة، - المنحنى الممثل للكثافة المفروضة والملائمة للوح الصخري بمنطقة الدراسة +

وبوضع هذه المعادلة في صورة المعادلة العامة للخط المستقيم

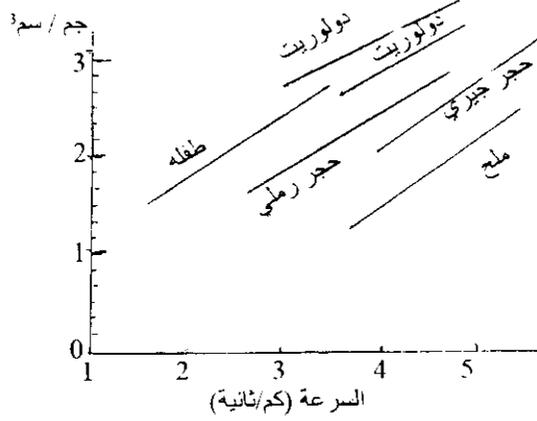
$$Y = X \rho - C$$

أى أن Y تمثل $\Delta g_{obs} \pm \Delta g_p$ و X تمثل $(0.1227 h + T)$ فإن ρ تمثل الميل ، C تمثل الجزء المقطوع (-) $0.9406 h$. وعلى ذلك إذا رسمت قيم هذا الخط المستقيم X, Y كقيم من المعادلة (3-12) فيكون ميل هذا الخط هو الكثافة. وعمليا لن تقع القيم السابقة على خط مستقيم بالضبط لأن قيم شذوذ بوجير عامة لاتساوى صفر. لذلك يستخدم المد الإحصائي لأقل تربيعات (Least squares) للحصول على أحسن خط مستقيم.

3.6.4.3 تعيين الكثافة من الطريق السيزمية

Density Determination from Seismic Methods:

من المعروف أن سرعات الموجات السيزمية تعتمد على كثافة الصخور وترتبط معها بعلاقة طردية خطية، ويوضح شكل (23-3) هذه العلاقة.



شكل (23-3): العلاقة بين سرعة الموجات السيزمية وكثافات الصخور

4.6.4.3 إختيار الكثافة Choice of Density:

فى تفسير الشذوذ الجاذبى يكون من الضرورى تقييم الكثافات للصخور التحت سطحية قبل إفتراض تركيبها. ولهذا السبب فمن المرغوب فيه إعطاء بعض نتائج الكثافات لصخور ممثلة فى مناطق المسح الجاذبى الإعتيادى. وكما أشير سابقا فإنها لا تكون كثافات مطلقة ولكن فروق الكثافات تكون هى الهامة والمطلوبة. ويشير الجدول رقم (2-3) لمعدل كثافات حصل عليها من عدد كبير من القياسات المعملية على عينات سطحية وأبارية.

جدول (2-3)

الصخر	معدل الكثافة	مدى الكثافة	الصخر	معدل الكثافة	مدى الكثافة
حجر رملى	2.32	2.76-1.61	دولوميت	2.7	2.93-2.36
طفل نضيدى طين	2.4	2.45	نارية قاعدية	2.61	3.17-2.09
صفحي متحجر طفله			نارية حمضية		
حجر جبرى	2.45	2.9-1.93	صخور متحولة	274	3.1-2.4

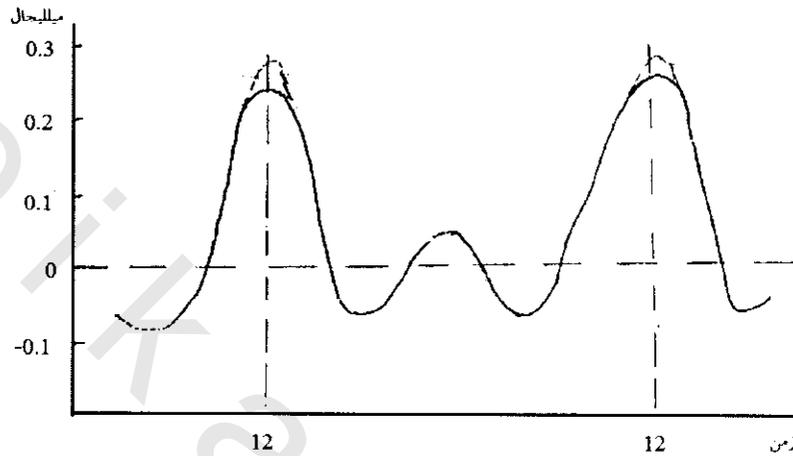
من هذا الجدول يتضح أن الصخور النارية لها كثافة أعلى من التكوينات الرسوبية. والفروق الكثافية بين الصخور الرسوبية صغيرة ولا تزيد عن 0.25 جم/سم³. ويوجد تراكب (تداخل) أساسى بين كثافات الصخور النارية والرسوبية وكذلك بين الأنواع المختلفة من الصخور النارية نفسها. وفى كثير من المناطق يوجد زيادة منتظمة للكثافة مع العمق للقطاعات الرسوبية على أساس زيادة الضغط بزيادة العمق. أما الصخور المحلية فكثافتها حوالى 2.2 جم/سم³ حيث أنها أخف من الصخور الرسوبية المحيطة بها عند أعماق أقل من 2500 قدم.

7.4.3 عوامل أخرى تؤثر على عجلة الجاذبية Other Factors Effect on Gravity Accleration:

1.7.4.3 تأثير المد والجذر Tidel Effect:

يؤخذ هذا العامل فى الإعتبار عندما يكون قيمة شاذات بوجير صغيرة وكما ذكر سابقا فى صفحة 119 أن هذه الخاصية تنتج بسبب تغير وضع القمر والشمس للأرض وبالتالي تتغير قوة جذبهم للأرض وأيضا تتغير قيمة

هذا الجذب حسب الوضع النسبى للموقع على سطح الأرض. وهناك جداول لحساب مقدار التغير فى عجلة الجاذبية الناتج من المد والجزر وحسابها رياضيا من معادلة هيلند Heiland السابقة. فى شكل (24-3) مثال محسوب للتغير فى قيمة التناقلية الأرضية (Δg) الناتجة من المد والجزر من القمر عند إكتماله وكما نرى فإن أقصى تغير هو 0.3 ميللجال وهى قيمة مهمة وخصوصا إذا كانت شاذات بوجير صغيرة أما إذا كانت كبيرة فيمكن أهمل المد والجزر.



شكل (24-3): التغير فى عجلة الجاذبية للمد والجزر خلال يوم كامل

مما سبق يكون التصحيح النهائى كالاتى:

$$\Delta g = \Delta g_{\text{observed}} \pm \text{latitude correction} \pm (\text{elevation corr.} \mp \text{Bouguer corr.}) + \text{Terrian corr.} + \text{Tidal effect.}$$

2.7.4.3 تأثير توازن القشرة الأرضية Isostasy* :

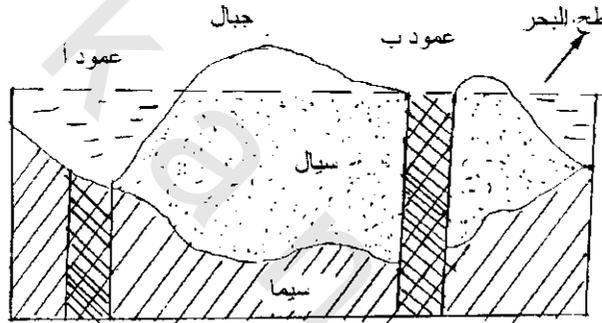
يعتبر التوازن الأيزوستى عامل يشارك فى تغير الجاذبية المشتقة من التغير الأفقى لها فى السمك العمودى للقشرة الأرضية. ويكون أكبر قيمة لهذا التغير هو قليل من الميللجال ولذا فهو يعتبر تغير اقليمى (Regional) وليس محلى (local) ولذلك لا يؤخذ هذا التغير فى الإعتبار فى المسح المحلى أو الصغير. لذا يجب فصل الشاذات المحلية (الناتجة من التراكيب التحت سطحية والخامات) والمستخدممة فى حالة التنقيب عن الشاذات المناطقيه regional anomalies المؤثرة فيها إتزان القشرة الأرضية) وهذه الشاذات هامة عند دراسة تكتونية المنطقة وما يصاحبها من إقتراب لب الأرض وخروج مواد كثيفة.

* أطلق العالم الأمريكى دوتن Dutton 1861 على إتزان القشرة الأرضية كلمة أيزوستسى Isostasy وهذه الخاصية تشير إلى أن الأماكن المرتفعة مثل سلسلة الجبال والقارات تقترب من حالة الإتزان (الإتزان الطافى Flotational equilibrium) مع الأماكن القليلة الإرتفاع مثل المنخفضات وأعماق المحيطات أو بمعنى آخر تشير إلى أن الكتل الثقيلة تغوص والأخرى الخفيفة ترتفع فى داخل الأرض اللدن وقد تناول تفسير هذه الظاهرة كل من (إيرى 1855)، (برات 1859).

5.3 توازن القشرة الأرضية Isostasy:

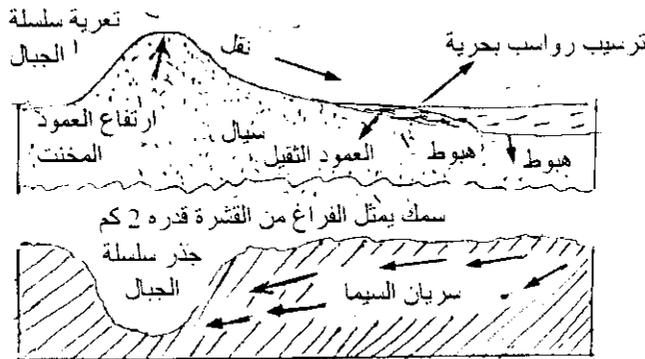
أثبتت آلاف القياسات الجاذبية أن الجبال العالية في مناطق الإنشاء وهي التي بنيت نتيجة تقوس وقذف الرواسب التي كانت تتجمع في متقابلات الميل الأرضية Geosynclines (تتكون من مواد خفيفة مشابهة لتلك المكونات لأسطح القارات) بينما يتكون قاع المحيط من مواد صخرية. ويعزى سبب الإرتفاع الشاهق لأحزمة الإنشاءات الجبلية (وهي التي تحوى المواد الصخرية الخفيفة) وكذلك سبب انخفاض قيعان المحيطات إلى خاصية من أهم خواص القشرة الأرضية وهي خاصية توازن هذه القشرة. وتعنى هذه الخاصية (والتي تشير إلى أن القشرة الأرضية متوازنة) أن الأعمدة الصخرية ذات القطاعات العرضية المتساوية الواقعة فوق مستوى معين يعرف بمستوى التوازن level of compensation والذي يقع بين 50-100 كم تحت سطح البحر تكون كتلتها واحدة مهما اختلفت أطوالها شكل (3-25).

ويوضح هذا الشكل أن كتلة العمود القصير أ تساوى كتلة العمود الطويل ب، وكذلك فإن القارات المكونة من السيل الخفيف تطفو على السيماء الثقيلة.



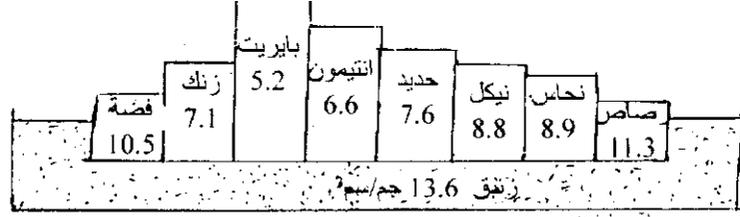
شكل (3-25): توازن القشرة الأرضية (ريد 1949 Reid)

يتوازن الضغط الاختلافي differential pressure على الأجزاء السفلية من القشرة الأرضية بسريان بطيء للمادة الصخرية السائلة المرتفعة الكثافة الموجودة في السيماء Sima والتي تعمل كمادة لزجة plastic substance من السيماء الواقعة تحت منطقة الترسيب إلى قاعدة أو جذر المنطقة التي حدث فيها التفتيت (وهي منطقة الإنشاء الجبلي) فترتفع هذه المنطقة وتعلو شكل (3-26) وهذا السريان الذي يتحقق به التوازن بين أجزاء القشرة الأرضية يعرف بإعادة الترتيب التوازني isostatic readjustment.



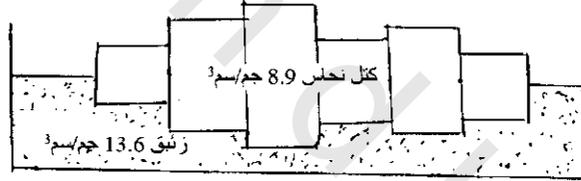
شكل (3-26): قطاع يبين إعادة الترتيب التوازني تبعا للتعرية والترسيب (هولمز 1956 Holms)

ويمكن توضيح توازن القشرة الأرضية وإعادة الترتيب التوازني بطريقة عملية بإعداد كتل معدنية متساوية الوزن والقطر ولكنها مكونة من مواد مختلفة وذات أطوال متباينة، ثم توضع هذه الكتل في حوض زئبق، فيلاحظ أن كتل المواد الخفيفة (الأقل كثافة) ترتفع على سطح الزئبق أعلى من ارتفاع كتل المواد الكثيفة شكل (27-3).



شكل (27-3): تجربة توضح توازن القشرة الأرضية وأن الاختلافات في ارتفاعات الأجزاء الكبيرة من القشرة الأرضية تتعادل باختلاف الكثافة (الكتل المعدنية لها قطاعات عرضية واحدة وهي متساوية في الوزن وعلى ذلك تغطس الأعماق متساوية، الكثافة جم/سم³) (أمونزوئيل 1955 Amonzothel)

وفي تجربة أخرى توضع كتل من مادة نحاسية واحدة ومختلفة الأطوال في حوض زئبق، فيلاحظ أن الكتل الطويلة تنغمس في الزئبق لأعماق أبعد من الكتل القصيرة، وتعلو كذلك على سطح الزئبق إلى ارتفاعات أكثر من الكتل القصيرة شكل (28-3) إذا ما اقتطعت أجزاء من الكتل الطويلة وأضيفت إلى الكتل القصيرة فإن الكتل الأولى يزداد علوها بينما يزداد انغماس الكتل الثانية حيث أضيفت الأثقال إليها.



شكل (28-3): يوضح الكتل النحاسية ذات القطاعات العرضية الواحدة بأطوال مختلفة، ترتفع الكتل الطويلة أكثر وتغوص أعماق من الكتل القصيرة (أمونزوئيل 1955 Amonzothel)

ولقد حدث هذا التعديل في ارتفاعات الكتل المتباينة الأطوال، والذي يمكن مقارنته بما يحدث تحت سطح الأرض، نتيجة لسريان الزئبق من تحت الكتل التي اقتطع من أوزانها.

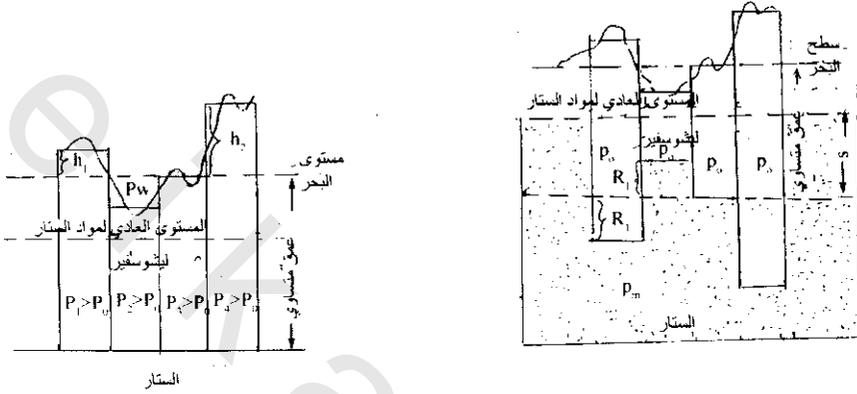
قد لاحظ العالمان برات وإيري Pratt and Airy أن قياسات الجاذبية فوق مناطق الألب وساحل الأطلنطي بعد كل التصحيحات للوصول لشاذة بوجير Bouguer أكبر من معدلها المفروض أن تكون عليه فوق المناطق الساحلية وأقل مما يجب أن تكون عليه فوق المناطق الجبلية. وقد وضع كل منهما نظرية يعللها هذه الظاهرة. فعلى برت Pratt ذلك بالتجربة الأولى شكل (27-3) بينما علل إيري Airy ذلك بالتجربة الثانية شكل (28-3). وقد طور هاتين النظريتين من بعدهما علماء آخرون وأهمهم دوتون Dutton أول من نادى بنظرية توازن القشرة الأرضية وأطلق عليها أيزوستاسي Isostasy، ثم وضع هيسكانن Heiskanen نظريتي برات وإيري موضع التحليل وقام بحساب ما يجب أن يكون عليه سمك القشرة لكلا النظريتين شكل (29-3)، ويمكن وضع نموذج رياضي لكلا النظريتين شكل (30-3).

في نموذج ايرى Airy فإن عمق مستوى التعديل يعتمد على سمك جذور الجبال والمرتفعات. وباستخدام دلائل (3-3) فإن السمك الإضافي للقشرة h_a (المثل للجذر) يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية:

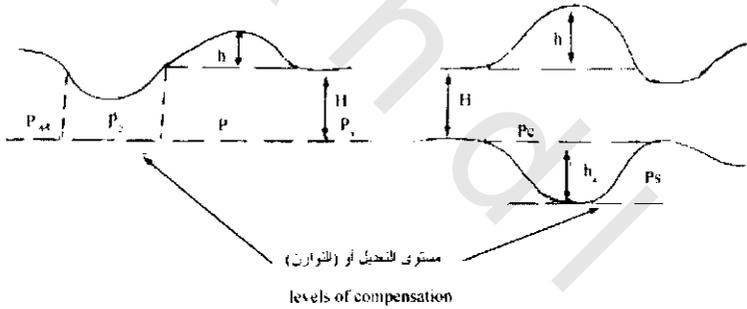
$$\rho_c (h + H + h_a) = \rho_c H + \rho_s h_a$$

أو

$$h_a = h \rho_c (\rho_s - \rho_c) \quad (3-13)$$



شكل (3-29): توازي القشرة الأرضية لكلا من نظريتي ايرى وبراوت



شكل (3-30): نماذج رياضية لتوازن القشرة لكلا من نظريتي ايرى وبراوت

حيث h_a = سمك الجذور، h = الارتفاع المقابل للجذور على سطح البحر، ρ_c = كثافة أعلى القشرة، ρ_s = كثافة باطن القشرة.

إذا كانت ρ_c متوسطة كثافة عمود أعلى القشرة 2.8 جم/سم³ ومتوسط كثافة باطن القشرة 3.30 جم/سم³ فإن

$$h_a = 6.3 h \quad (3-14)$$

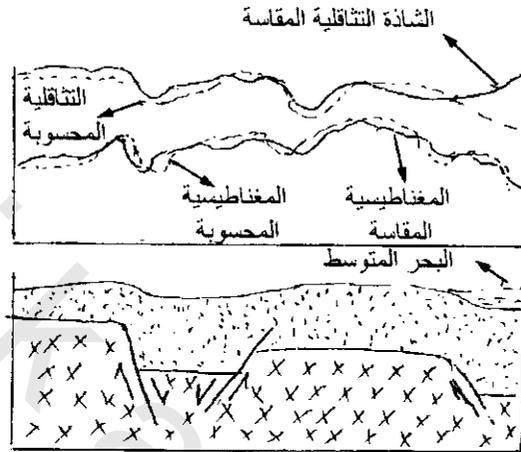
وتكون قاعدة القشرة كمرآة للتضاريس.

في نموذج برات Pratt فإن ارتفاع تضاريس القشرة (فوق سطح البحر) h ، ويكون علاقتها بالكثافة كالاتي:

$$\rho_1 (H + h) = \rho_n H \quad (3-15)$$

حيث ρ_n متوسط كثافة عمود القشرة، H الإمتداد من سطح البحر إلى عمق مستوى التعديل.

هذا بالإضافة للقياسات السيزمية والجيوديسية أمكن توضيح عملية التوازن ومعرفة تكون القشرة الأرضية فمن القياسات السيزمية وجد أن كلا من نظريتي إيرى وبرات Airy and Pratt صحيحتين لحد ما. فالقشرة الأرضية تحت سطح المحيط (oceanic crust) أكبر كثافة بالفعل وهي أقل سماكا والموهو* Moho أقرب لسطح الأرض أما القشرة تحت القارات (continental crust) فهي أقل كثافة وسرعة الموجات السيزمية بها أقل منها تحت المحيطات وهي أكبر سماكا.



شكل (3-31): تغير الشاذة الثقالية لاقترب البحر المتوسط (شمال مصر)

وهناك سؤال ما علاقة توازن القشرة الأرضية بالقياسات الجرافيمترية. نجد أن القياس بالقرب من البحار والمحيطات تعطى شاذات ثقالية أكبر من القيم المفروض أن تكون عليها شكل (3-31). لذا يجب تصحيح القراءات الناتجة من طبيعة المنطقة سواء كانت جبلية أو ساحلية، ويجب في هذه الحالة فصل الشاذات المحلية local anomalies عن الشاذات المنطقية regional anomalies حيث أن لكل منهما استخدام. فالشاذات المحلية تستخدم للتقيب والاستطلاع الجيوفيزيائي بينما الشاذات الإقليمية أهميتها في دراسة تكتونية المنطقة وما يصاحبها من اقتراب لب الأرض وخروج مواد كثيفة.

6.3 تفسير شاذات الجاذبية Interpretation of Gravity Anomalies:

يستكمل العمل الحقلى عادة بإعداد الشاذات عبر خطوط Gravity profile أو عبر شبكة من المحطات منتجة بما يسمى بخريطة الجاذبية (Gravity map or isogal map) وذلك بعد إجراء التصحيحات السابق ذكرها. وأى إنحراف عن تجانس هذه الشاذات يدل حقيقة على إنحراف ناتج عن عدم تجانس فى توزيع الكثافة فى داخل الأرض، وهذه تدل بالتالى على تغير فى التركيبات الجيولوجية، وهناك طريقتين للتفسير هما الطريقة النوعية qualitative method والطريقة الكمية quantitative method.

* الموهو هو الخط الفاصل بين الستار والقشرة.

1.6.3 الطريقة النوعية Qualitative Method:

في هذه الطريقة يتم التعرف على نوع الجسم المسبب للشاذة هل هو جسم كثيف أو قليل الكثافة أو صدع أو طيه... الخ، بدون التعرف على الأبعاد والأعماق. وتعتمد هذه الطريقة على معرفة شكل الشاذات التثاقلية الناتجة من أجسام وتكوينات جيولوجية. وتحدد عادة شكل هذه الأجسام والتكوينات الجيولوجية من القراءة الجيدة للخرائط التثاقلية. عادة ما تعكس الأجسام وأغلب التكوينات الجيولوجية خطوط كنتورية مغلقة على خرائط الجاذبية وهناك تفسيرين لهذه الخطوط الكنتورية المغلقة (شكل 3-32).

1- إذا أشارت الخطوط الكنتورية المغلقة بالموجب في اتجاه الداخل فعادة ما تدل على زيادة في الكثافة مثل وجود ركاز كثيف كالماجنتيت والرصاص وغيرها (شكل 3-32ج) أو لتركيب جيولوجي كطية محدبة* Anticline (32-3د): أو لنتق Horst (32-3ه).

2- عندما تشير الشاذة للنقصان في اتجاه الداخل فإنها تعكس نقص في الكثافة كتداخل قبة ملحية** (شكل 33-3) في صخور أكبر منها في الكثافات شكل (32-3ج) كهف أو ما إلى ذلك أما من ناحية شكل التركيبات فهي غالبا ما تكون طيه مقعرة syncline شكل (32-3د) أو حوض تركيبى شكل (32-3ه).

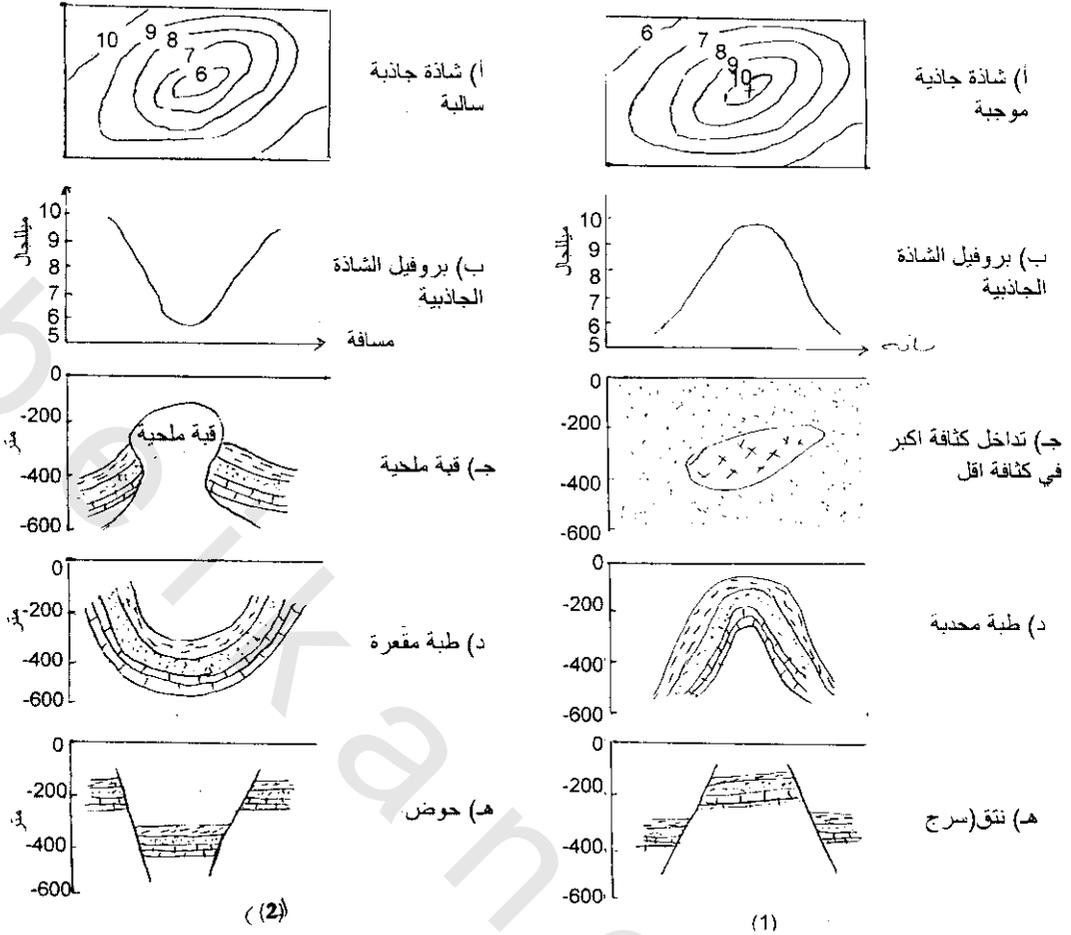
أما في حالة تراكيب صدعية (فوالق) فيلاحظ على خرائط الجاذبية تغير مفاجئ في خطوط الكنتور وتقاربها سواء في الشاذات المغلقة أو المفتوحة ويوضح شكل (34-3) شاذة تثاقلية فوق صدع.

2.6.3 الطريقة الكمية Quantitative Method:

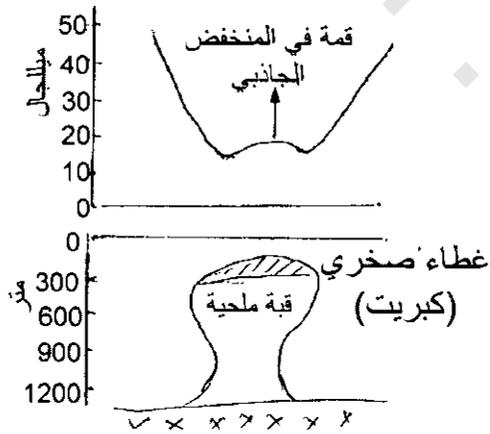
في هذه الطريقة يمكن الحصول على مواصفات الجسم المسبب للشاذة التثاقلية أي إمتداده وعمقه وحجمه بالأرقام لذلك نلجأ لدراسة الشاذات التثاقلية الناتجة من أجسام هندسية منتظمة.

* تظهر الطيه المحدبة في صورة جاذبية عالية إذا كانت كثافة التكوين أكبر من متوسط الكثافات الموجودة بالقرب من سطح قمة الطيه المحدبة حيث يكون خط القمة هو محور القيمة العليا للجاذبية وعكس هذه الظاهرة يكون مصاحب للطيه المقعرة.

** القبة الملحية Salt Dome: من أكبر المسح الجاذبي الذي يتم عمله على شواطئ الخليج للبحث عن خواص جانبية منخفضة لمصاحبتها للقيب الملحية (مصدر أساسي لتجمع البترول). وفي القيب الملحية عادة ما تكون قمة القبة مغطاة بصخور أكثر كثافة (كبريت) من القبة الملحية وتسبب هذه الصخور إرتفاع جانبي في الإنخفاض الجاذبي للقبه الملحية (شكل 33-3).



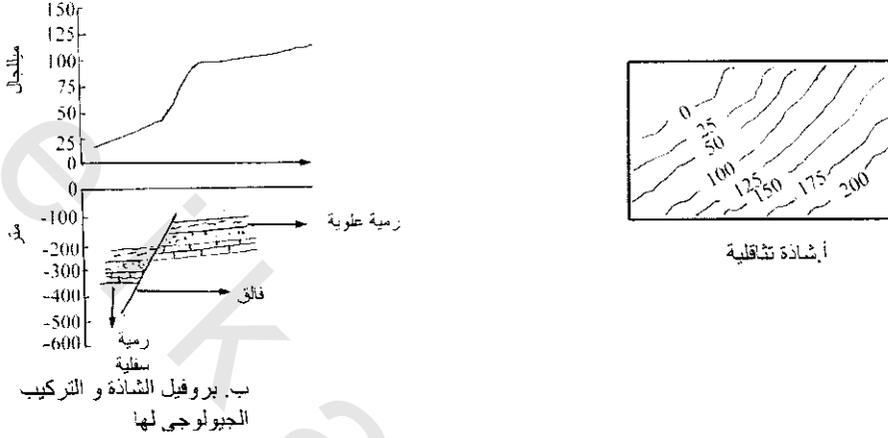
شكل (32-3):



شكل (34-3):

1.2.6.3 التأثير الجاذبي لأشكال كتلية بسيطة :Gravity Effects of Simple Shapes

إن تأثير حساب الجاذبية لبعض النماذج الهندسية تستخدم كمرشد جيد لتقدير قيمة وشكل الشاذات الجاذبية المتوقعة من التركيبات الجيولوجية حتى ولو كانت الأشكال الحقيقية للتركيبات نادرا ما ترى تقريبا مشابهة للأشكال الهندسية البسيطة. وهناك خمسة أشكال هندسية غالبا ما تستخدم تقريبا كمدي واسع للتركيبات الجيولوجية وهي الكرة، الأسطوانة الأفقية، الصفيحة الأفقية، المنشور الرباعي، الأسطوانة الرأسية.



شكل (3-34):

1.1.2.6.3 الكرة Sphere

ليس العديد من التركيبات الجيولوجية (ماعدا بعض القباب الملحية) يكون شكلها كروي تقريبا ومع ذلك يستخدم هذا النموذج البسيط غالبا كتقدير أولى لأجسام مدمجة (مضغوطة)، وغير متساوية الأبعاد والتي يكون شذوذها تقريبا دائري الشكل في الخرائط التناقلية. وعندما تكون الكتلة الداخلية متمركزة عند المركز فإن جاذبية الكرة عند أى نقطة خارجية تكون متساوية وبدلالة شكل (3-35) فإن الشاذات الجاذبية للكرة تعطي عند النقطة P كالآتي:

$$\Delta g_2 = \gamma \frac{M}{r^2} = \gamma \frac{4/3 \pi R^3 \rho}{r^2} \quad (3-16)$$

$$r = \sqrt{Z^2 + X^2}$$

وحيث أن

$$\therefore \Delta g_2 = 4/3 \frac{\gamma \pi R^3 \rho}{(Z^2 + X^2)}$$

وحيث أن المركبة الرأسية

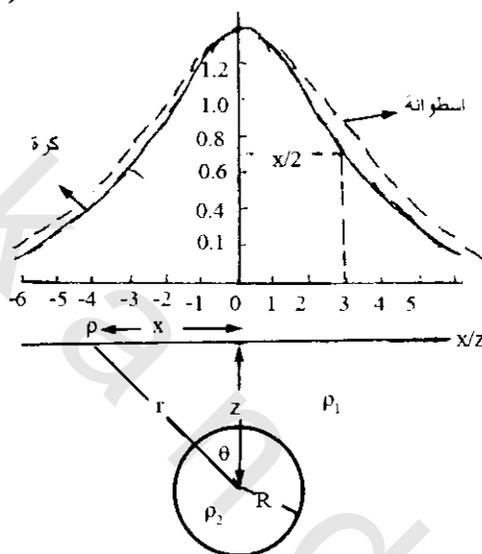
$$\Delta g_z = g \cos \theta = g \cdot \frac{Z}{r}$$

$$\therefore \Delta g_z = 4/3 \frac{\gamma \pi R^3 \rho}{(Z^2 + X^2)} \cdot \frac{Z}{(Z^2 + X^2)^{3/2}}$$

$$= 4/3 \frac{\gamma \pi R^3 \rho}{Z^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{X^2}{Z^2}\right)^{3/2}} \gamma \quad (3-17)$$

ويتضح من المنحنى أنه عندما تكون $X = 0$ تكون الجاذبية أكبر ما يمكن

$$\therefore \Delta g_z = \frac{\Delta g_{\max}}{\left(1 + \frac{X^2}{Z^2}\right)^{3/2}} \quad (3-18)$$



شكل (3-35): التغير الأفقي في الجاذبية بسبب الكرة ومقطع الإسطوانة الأفقية بتباين كثافة $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$ ، وأكبر قيمة عنده $X = 0$ ونقل للنصف عند $X = \frac{X}{2}$

ويتضح من المنحنى أيضا تغير الجاذبية مع المسافة الأفقية وذلك للقيمة الخاصة $\frac{X}{Z}$. وتصل Δg لقيمة

تساوى $g_{\max}/2$ عند منتصف المسافة الأفقية X . وفي هذه الحالة تسمى المسافة الأفقية X/Z منتصف العرض Half width للشاذة التناقلية. هذه الإحداثيات تكون دالة نافعة لتقييم العمق. وبالنسبة للكرة فإن العمق للمركز Z_0 يساوى $1.305 X_{1/2}$. ويكون بذلك من الممكن تقييم العمق مباشرة لمركز جسم شبه كروي من بروفيل الشاذة الملاحظة بدون حسابات. وإذا أمكن تقييم تباين الكثافة $\Delta \rho$ فإنه يمكن تحديد حجم وكتلة الجسم من المعادلة السابقة.

2.1.2.6.3 الإسطوانة الأفقية Horizontal Cylinder:

يمكن حساب جاذبية التركيب المطول في اتجاه المضرب كحدود لتأثير عنصر الخط الأفقي أو إسطوانة أفقية طويلة، حيث يمكن تشبيه الطيات المحدبة شديدة الانحدار والأحرف المدفونة كإسطوانة أفقية طويلة. وباستخدام الدالات لشكل (3-35) تكون شاذة الجاذبية بسبب الطول اللانهائي للإسطوانة (مضربها عمودي على مستوى الورقة) هي

$$\Delta g = \frac{2\pi\gamma R^2 \Delta\rho}{Z} \left(\frac{1}{1 + \frac{X^2}{Z^2}} \right) \quad (3-19)$$

وفي هذه الحالة لا يكون منحني الشاذة حاد كما في حالة الكرة عند نفس العمق. وعندئذ تختلف Δg هنا عكسياً مثل Z (مخالف لـ Z^2 للكرة) والتي تميز لكل بعدى التركيب وبالنسبة للاسطوانة الأفقية يكون العمق Z_0 مساوياً لنصف العرض $X_{1/2}$.

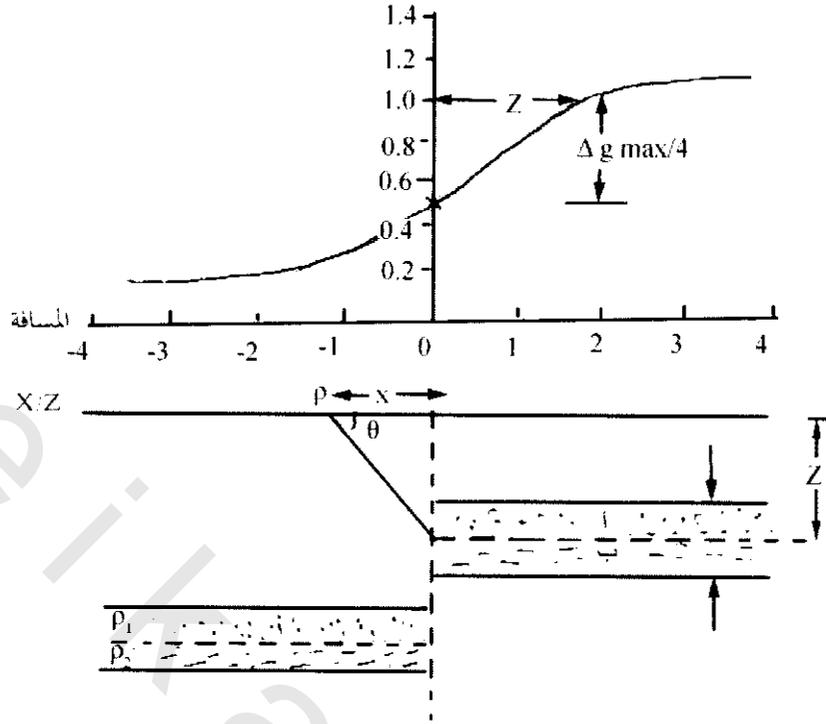
3.1.2.6.3 اللوح الأفقي Horizontal Slab:

هذا النموذج يكون نافع لتقريب تأثير الجاذبية للفوالق أو تركيب شبه درجي. في الحالة البسيطة شكل (3-36)، الحد الأفقي بين الطبقة العلوية ذات كثافة ρ_1 والطبقة السفلية التي كثافتها ρ_2 أزيحت رأسياً بمسافة t (رمية الفالق). ولذلك تكون شاذة الفالق مساوية لنصف امتداد الصفيحة والتي سمكها t وتباين الكثافة $\Delta\rho = (\rho_2 - \rho_1)$ والمنتهية عند درجة الفالق $(X=0)$. وبالنسبة لفالق صغير ($t < Z$) فمن الممكن اعتبار ان كتلة شذوذ اللوح ضغطت إلى لوح رفيع عند منتصف مستوى اللوح عند عمق Z ، ولذلك فإن الزيادة في الكتلة $\Delta\rho t$ لكل وحدة مساحة من اللوح وتكون $\gamma\Delta\rho t$ هي محصلة تأثير الجاذبية مضروبة في الزاوية المجسمة المقابلة بواسطة اللوح عند نقطة القياس. وبالنسبة لنصف امتداد اللوح وباستعمال دالة الشكل (3-35) فإن الزاوية المجسمة تكون θ_2 والتي تكون مرتين الزاوية المقاسة في مستوى الشكل وتبعاً لذلك يصبح تأثير الجاذبية كالآتي:

$$\Delta g = 2\gamma t \Delta\rho \theta = 2\gamma t \Delta\rho \left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{X}{Z} \right) \quad (3-20)$$

حيث $2\pi\gamma t \Delta\rho$ هي التغير الكلي لشاذة الجاذبية عبر الفالق بدون اعتبار (النظر) إلى عمق الصفيحة. وبالنسبة للفالق الراسي فإن تغير الجاذبية عبر جانبي أثر الفالق يكون نصف التغير الكلي لشاذة الجاذبية. عندئذ فإن محصلة $(t \cdot \Delta\rho)$ للصفحة يحدد مباشرة من شذوذها الجاذبي. ويعطى عمق منتصف مستوى الصفيحة بواسطة المسافة الأفقية التي لها تغير جاذبي $\frac{1}{4}$ التغير الكلي للشاذة. وشدة إنحدار Δg من منحني الشاذة يدل على عمق ضحل Z .

ومن الملاحظ أن التقريب لتكثيف كتلة اللوح إلى لوح رفيع فإنه يقترب من تطبيق هذه الطريقة حتى على الأجسام التي لها سمك اعتباري مثل أحواض الترسيب العميقة. وبالنسبة للألواح السمكية، والتي تمتد إلى السطح ($t = 2Z$) والتي لها امتداد أفقي من مرتبة ثلاث مرات السمك فإن نيتلتون 1971 Nettleton أعطى عدد عملي وسهل التذكر لـ 100 قدم (حوالي 30 متر) مواد سمكية بتباين كثافة ($\Delta\rho = 1 \text{ gm/cm}^3$) فإنها تسبب تأثير جاذبي مقداره واحد ميللجال وتبعاً للقيمة النظرية للوح ذا امتداد لانهاى (لوح بوجير) فإن 24 متر تعطى شاذة مقدارها واحد ميللجال.



شكل (36-3): شذوذ الجاذبية عند فالق، عبر أثر الفالق فإن التغير الكلي في الجاذبية (Δg_{max}) يقل إلى نصف قيمته والمسافة الأفقية (التي عبرها تتغير الشاذة من $0.5\Delta g_{max}$ إلى $0.2\Delta g_{max}$ تعبر عن العمق Z)

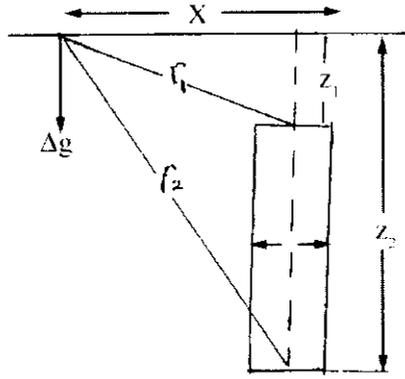
4.1.2.6.3 المنشور الرباعي الطويل Long Rectangular Prism:

يستخدم غالباً نموذج اللوح الرفيع الراسي كتقريب لتأثير الجاذبية للأجسام اللوحية (مثل سد Dike) الممتدة في اتجاه المضرب. وباستخدام دلالة شكل (37-3) فإن معادلة شذوذ الجاذبية للوح راسي رفيع ($t < Z_1$) والذي مضربه عمودي على سطح الورقة تكون:

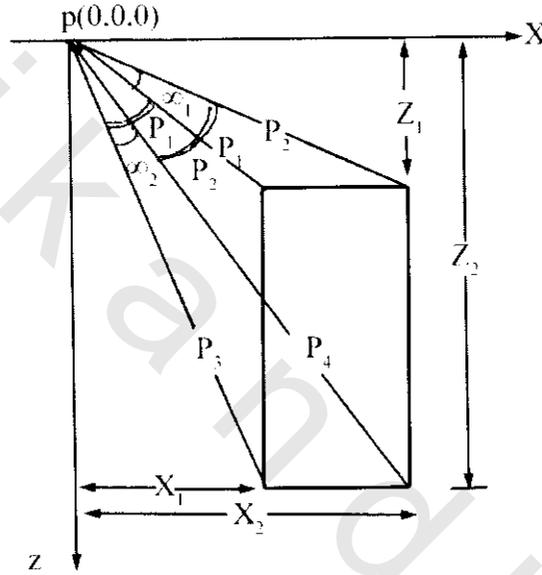
$$g = 2 \gamma t \Delta \rho \ln (r_2/r_1) \quad (3-21)$$

وبالنسبة للطول اللانهائي لمنشور رباعي سميك أو سد سميك ($t \leq Z_1$) فإن المعادلة التقريبية السابقة لا تكون كافية الإنضباط. وباستخدام دلالات شكل (38-3) فإن تأثير الجاذبية عند نقطة $P(0, 0, 0)$ بسبب منشور رباعي سميك هي:

$$\Delta g = 2\gamma\Delta\rho(X_2 \ln r_4/f_2 - X_1 \ln r_3/r_2 + (Z_2\alpha_2 - Z_{12}\alpha_1)) \quad (3-22)$$



شكل (37-3): نموذج للوح راسي غالبا يستخدم كتقريب لتأثير سد رفيع



شكل (38-3): الحساب الكمي لشذوذ الجاذبية عبر جسم لוחي طويل ومضربة عمودي على الصفحة

2.2.6.3 الإسطوانة الرأسية Vertical Cylinder:

هذا الشكل غالبا ما يكون ملائما لتقريب تأثير الجاذبية للقبب الملحية والمتداخلات (الرقاب) البركانية وباستخدام دلالة شكل (39-3) فإن شاذة الجاذبية بسبب اسطوانة قصيرة ($t < Z$) تكون ببساطة

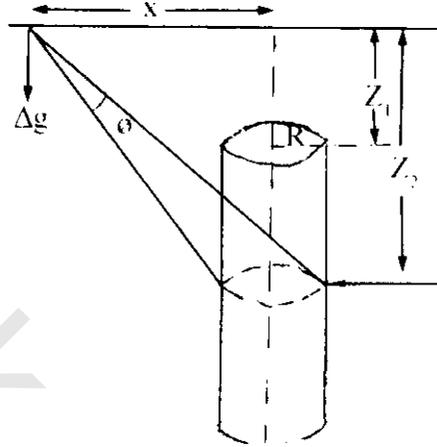
$$\Delta g = \gamma t \delta \rho \phi \quad (3-23)$$

حيث ϕ زاوية مجسمة وممتدة إلى نقطة القياس بواسطة مقطع الإسطوانة (في وسط المستوى)، ويمكن تحديد ملائم للزاوية المجسمة وأطوال الأجسام شبه المدخلة (مثل رقاب البراكين والسداد الملحية الرفيعة). من اللوحة الخطية لنيتلتون 1971 Nettelton باستخدام نموذج بسيط لإسطوانة رأسية طويلة ($t > Z_1 > R$)، في هذه الحالة فإن تأثير الجاذبية يكون قريبا لمعادلة عنصر الخط الراسي وتعطى بواسطة

$$\Delta g = \pi R^2 \gamma \Delta R / \sqrt{X^2 + Z_1^2} \quad (3-24)$$

وبالنسبة لعنصر الخط الرأسى فان العمق

$$Z_1 = X_1 \sqrt{3} \quad (3-25)$$

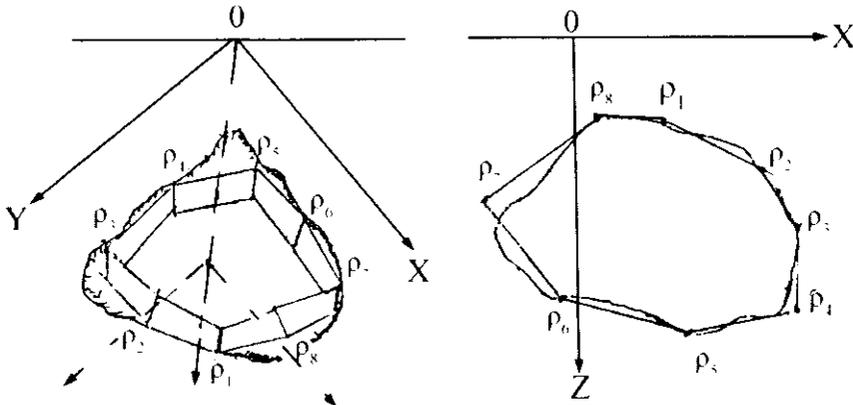
حيث $X_{1/2}$ نصف عرض الشاذة كما ذكر سابقا.

شكل (3-39): نموذج الاسطوانة الرأسية وتستخدم لتقريب تأثير جاذبية القبة الملحية والرقاب البركانية

مما سبق يتضح أن الطرق السابقة تفسر الطريقة الأولى فى عملية تفسير الشواذ الجاذبية. أما الطريقة الثانية فتتناول الظواهر الجيولوجية المعقدة لأشكال جيولوجية غير منتظمة والتي لا تقترب من أى شكل هندسى، وفى هذه الحالة يمكن إضافة تقريبين آخرين، فتتناول الظواهر الجيولوجية المعقدة لأشكال جيولوجية غير منتظمة والتي لا تقترب من أى شكل هندسى، وفى هذه الحالة يمكن إضافة تقريبين آخرين، الأول استخدام الطرق الخطية والثانى التقريب التحليلي.

فى الطرق الخطية توضع لوحات معايرة (والتي تقسم إلى قطع) على أى مقطع غير منتظم لنموذج ظاهرة جيولوجية وبذلك يمكن حساب الجاذبية عند أى نقطة على السطح بواسطة تأثير جميع القطع المغطية لقطاع الظاهرة الجيولوجية ويمكن استخدام الطرق الخطية (المرسومة) للأجسام ثلاثية الأبعاد، وفى هذه الحالة توضع لوحة معايرة ملائمة على خطوط كنتور الظاهرة الجيولوجية فى المستوى الأفقى وتقسّم إلى مجموعات من الألواح الأفقية كل له سمك يساوى مسافة كنتورية.

أما الطرق التحليلية فمعظم حساباتها الموضوعية (بوت 1960) وضعت على المقدمة المقترحة بواسطة تلوان وآخرين (Talwan et al 1959)، والتي فيها يمكن تقريب المقطع لجسم ذى بعدين وذلك بتمثيله بواسطة مضلع متعدد الجوزانب شكل (3-40 أ) وتطور هنا إلى أجسام ثلاثية الأبعاد شكل (3-39ب) وفى هذه الحالة فان تأثير الجاذبية يحسب لكل شريحة رقيقة ويجمع هذا ليعطى الشاذة الجاذبية الكلية، وتستخدم برامج الحاسب الألى لسهولة تطبيق هذه الطرق (بوسبى 1987).



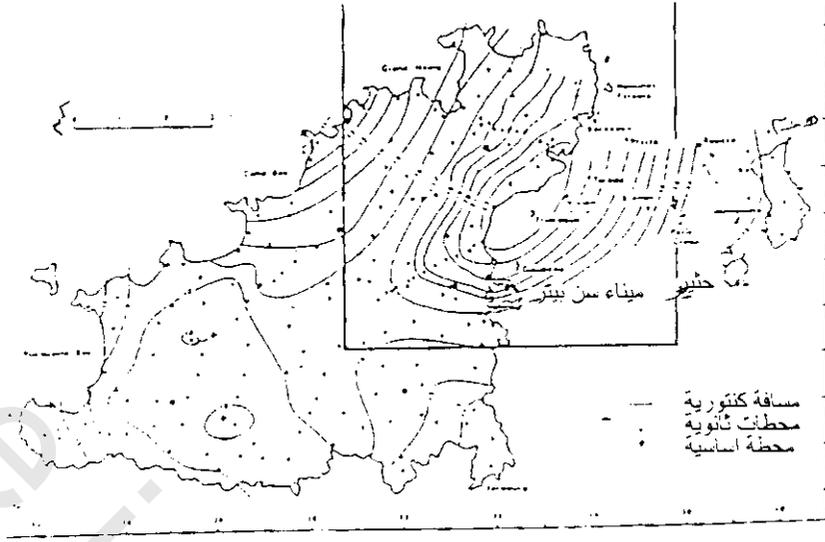
شكل (3-40 أ): مضلع يمثل قطاع رأسي غير منتظم شكل (3-40 ب): تمثيل لظاهرة جيولوجية ثلاثية الأبعاد لبعدي ظاهرة جيولوجية بواسطة مضلع رقيق الشرائح

ولتطوير التوصل إلى ثلاثي الأبعاد فيعتبر الجسم الجيولوجي صفوف من بلوكات مكعبة متساوية الأحجام ولها تباين كثافي. حيث يعتبر كل مكعب صغير كإشارة كتلية ولذلك فإن الشاذة الجاذبية الكلية للجسم الكلي يحصل عليها بواسطة تجميع مكونات مركبات الجاذبية لكل مكعب صغير. وتُقارن شذوذ الجاذبية المحسوبة مع المقاسة ويضبط النموذج بواسطة طرق التكرار الأوتوماتيكي. إلى أن يقل الفرق بين الشاذات المحسوبة والمقاسة إلى قيمة مقبولة بواسطة مستوى إحصائي محدد. واضبط مقارنة تتم بواسطة إقلال الحجم وزيادة عدد المكعبات الفردية خلال النموذج. يعتبر حساب الشاذات النظرية سهلا بواسطة حجم مكعب منتظم شكل (3-41).

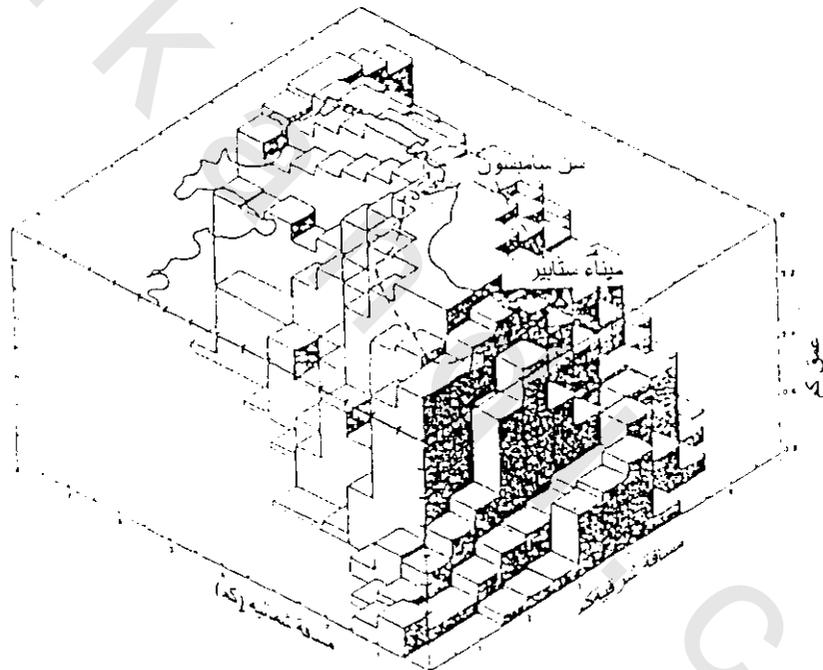
3.2.6.3 تحديد العمق Depth Determination:

من أهم تفسيرات نتائج الجاذبية هو تحديد العمق لمركز الكتل أو إلى قمة الجسم المسبب للشاذة. وتعتمد طرق الحصول على هذه المعلومة على استخدام أسلوب تفسير تقني ونماذج. والطرق العامة للتطبيق تتفق مع استخدام نصف العرض للشذوذ ($X_{1/2}$) حيث السعة تكون نصف القيمة العظمى شكل (3-42).

وتحدد بعض الأعمال نصف العرض كعرض كلي عند منتصف قمة (ذروة السعة وصيغة معادلة العمق وتحديد الكتلة سوف تختلف تباعا. وأيضا كانت الصيغة المستخدمة يجب الأخذ في الاعتبار الإهتمام عند حساب العمق المحدد وذلك عندما يكون الجسم المسبب للشذوذ له حجم محدود وكتلته غير متمركزة عند المركز، حيث سيكون أي تقدير للعمق فوق التقدير. وأيضا ستعطي قيمة تقريبية للعمق في حالات أخرى، عندما تكون جميع المركبات المكونة للصخور لها تقريبا نفس فروق الكثافة (جميعها سالبة أو جميعها موجبة). وأيضا هذه المعادلات لا تكون مؤثرة للأجسام المعدنية المضغوطة كما في جدول (3-3) هذا الجدول يمثل صيغ رياضية لأشكال هندسية مختارة. هناك عدة طرق لتحديد العمق منها

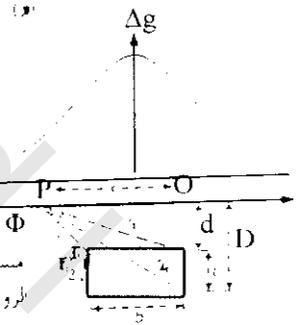
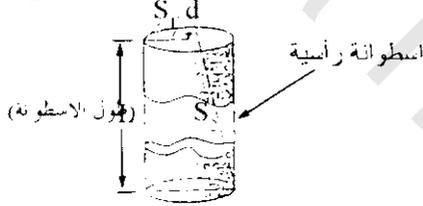
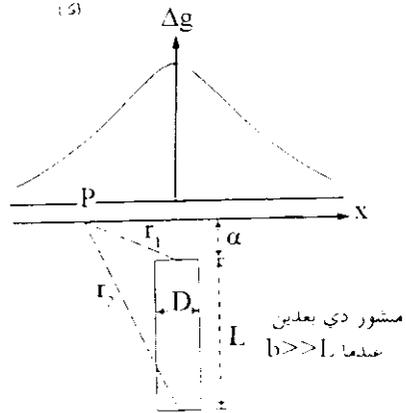
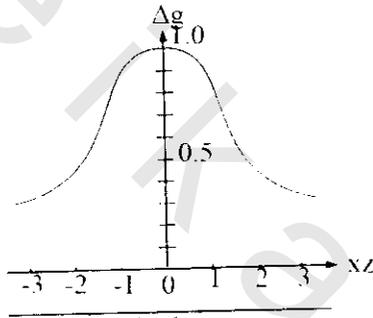
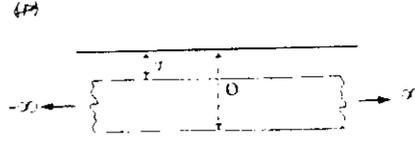
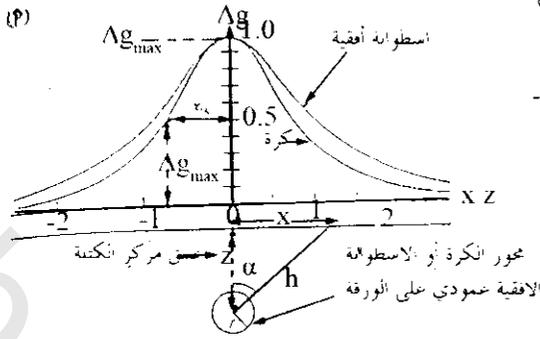


(أ)



(ب)

شكل (3-41 أ): خريطة شاذة بوجير لـ جيرني، هيرم، وجيتيو، قناة الجزر، (ب) نموذج ثلاثي الأبعاد لشكل أساسي (تلاسلها) ميناء ست بيتز (تباين كثافة 0.27 جم/سم³) تكبير التجمع الرأسى 1:5. استدل على خط الساحل وحدود منكشف الجابرو، لذلك فسر الجابرو كاكوليت (تداخل قبي) قطرة تقريبا 4 كم وسمكه 0.8 كم (بردن وآخرين Briden et al 1982)



شكل (3-42): تمثيل شادات جاذبية عبر أشكال هندسية (أ) كرة أو أسطوانة أفقية محورها الطويل عمودي على الورقة، (ب) أسطوانة رأسية، (ج) نصف لوح أفقي لانتهائي (شادة بوجير تكون مسطحة عندما $s' \text{ cord}$ رأسى قائم الزوايا، (هـ) مشور أفقى قائم للزوايا

1.3.2.6.3 المثال الآتى يوضح حساب عمق نموذج للكرة:

من شكل (3-43) وجدول (3-3)

$$\Delta g_{\max} = 0.048 \text{ ميللجال}$$

$$X_{1/2} = 2.2 \text{ متر}$$

$$\delta \rho = 2.5^3 \text{ جم/سم}^3$$

$$\therefore Z = 1.305 \times 2.2 = 2.87 \text{ متر}$$

(3-26)

إيجاد نصف قطر الكرة

$$r^3 = 0.048 \times (2.87)^2 / (0.0286 \times 2.5)$$

$$= 5.53 \text{ متر}^3$$

$$\therefore r = 1.77 \text{ متر}$$

(3-27)

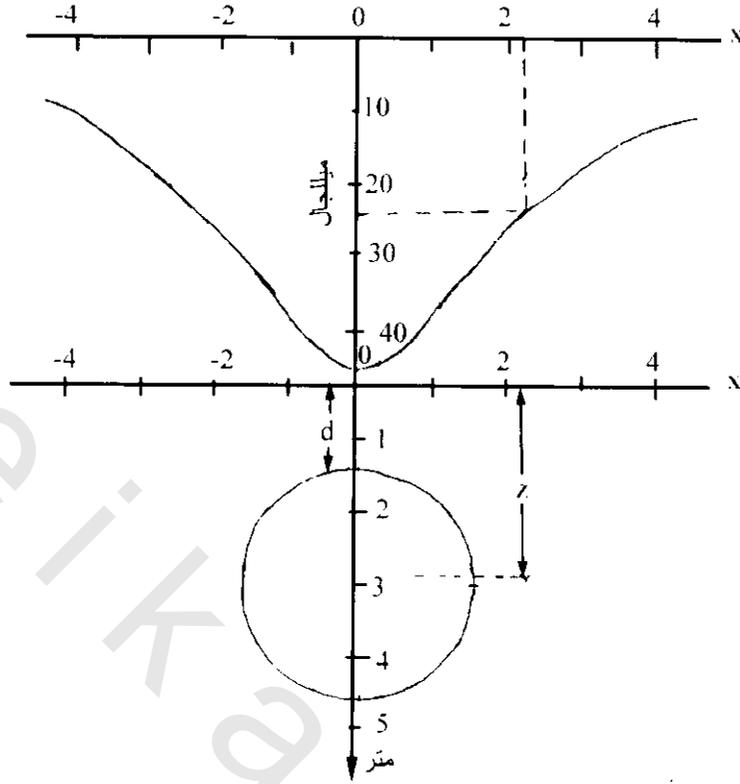
من المعادلتين (3-26)، (3-27)

$$\therefore \text{متر } 1.1 = 1.77 \bar{n} \times 2.87 = \text{العمق لقمة الكرة (d)}$$

جدول (3-3) تحديد أعماق لبعض اشكال هندسية

ملاحظات	الصيغة	الشكل
Z العمق لمركز الكرة، d العمق لقمة كرة نصف قطرها r $r^3 = Dg_{max}(Z^2/0.028dr)^{***}$	$Z = 1.305 X_{1/2}$ $d = Z - r$	كرة Sphere
Z العمق لمحور الأسطوانة، d العمق لقمة اسطوانة نصف قطرها r $r^2 = \Delta g_{max}^{****} (Z/0.042\delta\rho)$	$Z = X_{1/2}$ $d = Z - r$	الأسطوانة الأفقية Horizontal cylinder
Z العمق لقمة النهاية	$Z = 1.732 X_{1/2}$	الأسطوانة الرأسية Vertical cylinder
Z العمق لقمة اللوح عندما Z ميل الطول للوح، << Z ميل الطول للوح. عندما يكون الطول كبير جدا أو ميل اللوح أقل من 60°، لا يكون الحل ممكنا.	$Z = 0.7 X_{1/2}$	لوح رفيع مائل Thin dipping sheet
Z عمق قمة المنشور = عرض المنشور والعمق لقاعدة المنشور تكون ضعف العرض، وذلك عندما يكون عمق قاعدة المنشور عشرة مرات عرض المنشور	$Z = 0.067 X_{1/2}$ $Z = 0.033 X_{1/2}$	المنشور السميك Thick prism

* في كلا الحالات تدبير Z يكون غير معتمد عليه جيدا.
... جميع المسافات بالمتري إذا لم يوجد حالات خلاف لذلك
... كيلوجرام/متر³
... بالميليجال



شكل (3-43): نموذج شذوذ جاذبي عبر فجوة مملوءة هواء ذات نصف قطر 1.77 متر وعمق 2.87 متر للمركز في صخور ذات كثافة 2.5 جم/سم³

2.3.2.6.3 طرق سميث Smith Rules:

بعد إعادة تنظيم ما يعرف بقواعد سميث 1959، 1960، أصبحت هذه القواعد ملائمة لحساب الأعماق المحددة وفيما يلي هذه القواعد:

(i) عزل الشذوذ الكلي Isolated Entire Anomaly:

$$\Delta g'_{\max} / \Delta g_{\max} \times C \geq d \text{ (العمق)}$$

حيث $\Delta g'_{\max}$ = الميل، Δg_{\max} = أكبر قيمة للشاذة، $C = 0.65$ للبعد الثنائي، $C = 0.86$ للبعد الثلاثي.

(ii) عزل جزء عن الشذوذ الكلي عند نقطة X: Isolated Part of an Anomaly for Any Point X:

$$\Delta g_x / \Delta g'_x \times K \geq d$$

حيث Δg_x قيمة الشاذة عند النقطة المحددة، $\Delta g'_x$ = الميل عند هذه النقطة، $K = 1.00$ للبعد الثنائي، $K = 1.5$ للبعد الثلاثي.

(iii) عند أكبر قيمة لفرق الكثافة وأكبر قيمة للميل الأفقي الثاني

For a Maximum Density Contrast $\delta\rho_{\max}$ and Maximum Value of the Second Horizontal Gradient:

$$\delta\rho_{\max} / \Delta g''_{\max} \times G \ 5.4 \geq d$$

حيث $\delta\rho_{\max}$ = فرق أكبر كثافة، Δg_{\max} = أكبر قيمة للميل الأفقى الثانى الطريقة i, ii, تستعمل طريقة نسبة التدرج السعوى. شكل (3-46) يعتبر أن أى جسم جيولوجى يعطى قيمة الشذوذ الجاذبى المستخلص الكلى لأى إشارة (سالبة أو موجبة) بقيمة جاذبية عظمى Δg_{\max} ، والذى يتغير على طول خط البروفيل، ولهذا فإن التدرج الأفقى يصل لأبزر قيمة عند Δg_{\max} . وتوضح طرق سميث العلاقات المختلفة بين العمق المحدد d لقمة أى جسم جيولوجى وأبزر قيمة للجاذبية Δg_{\max} وتدرجها الأفقى Δg_{\max} كما هو موضح فى i, ii, iii.

4.2.6.3 تحديد الكتلة Mass Determination:

الشذوذ الكتلنى هو الإختلاف فى الكتلة بين الظاهرة الجيولوجية (المراد حسابها مثل الكرة) والصخور المحيطة. وهناك طريقتين أساسيتين للحساب. أحدهما من زيادة الكتلة إلى الكثافة العالية للجسم والأخرى لنقص الكتلة بسبب جسم له كثافة منخفضة.

الطريقة الأولى: تستخدم طريقة تقريبية على أساس شذوذ جاذبى لنصف العرض ($X_{1/2}$) وبفرض أن الظاهرة الجيولوجية تقريبا لها شكل هندسى مثل الكرة (الكتلة الكلية M = ثابت \times شذوذ جاذبى لنصف العرض \times مربع نصف العرض، والثابت = 255). فى المثال الآتى، الكتلة الحقيقية لهواء يملأ كهف مهمل، لذلك حساب نقص الكتلة يساوى كتلة الصخر الناقص.

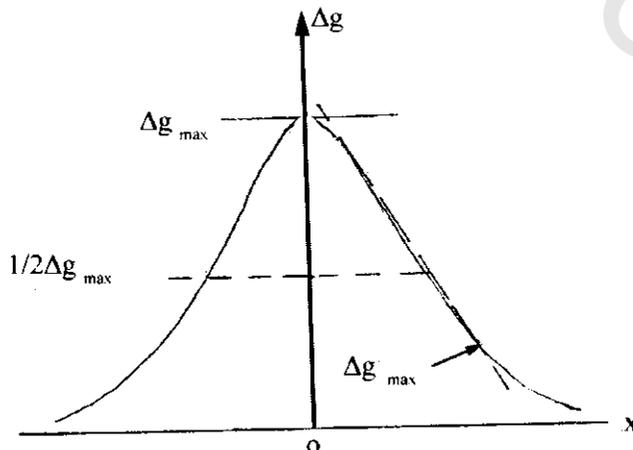
مثال: من المثال السابق لحساب العمق، فإن النقص الكلى لكتلة الكرة يساوى كتلة الصخر فى التجويف مضروبا فى كثافته (2.5 جم/سم³)

$$\text{الكتلة} = \text{الكثافة} \times \text{الحجم} = 1.77 \times \pi/3 \times 12.5 = (\text{نصف القطر}) = 58 \text{ طن}$$

$$\text{وباستخدام نتائج الجاذبية فإن الكتلة} = 255 \times 0.048 \times (2.2)^2 = 59 \text{ طن.}$$

الطريقة الثانية: موضوعة على نظرية جاوس Gauss's theorem فى نظرية الجهد (جرانت وست Grant & West 1965) وهى مهمة للسببين التاليين:

(1) الشذوذ الكتلنى الكلى للظاهرة الجيولوجية (مثل الكرة) يمكن حسابه من الشذوذ الجاذبى المصاحب بدون أى افتراضات.



شكل (3-44): حساب العمق، طريقة نصف العرض وطريقة نسبة التدرج السعوى

2) الشذوذ الكتلي الكلي مهم في تحديد الوزن بالطن لخامات المعادن (همر 1945 Hammer) ولكي تكون هذه الطريقة مؤثرة فمن المهم إزالة المجال الإقليمي الجاذبي وعزل الشواذ المتبقية بوضوح. وتقسّم المنطقة الممسوحة جاذبيا إلى سلسلة من الحلقات وكل منها يقسم إلى قطع من المساحات δA . ويحدد التأثير الجاذبي لكل قطعة ثم يجمع هذا التأثير الكلي لجميع القطع ولتحديد الكتلة الزائدة (M) فأبسط طريقة لحسابها يجب معرفة كثافة الصخور المحيطة ρ_0 وكثافة جسم الكتلة ρ_1 .

مثال:

1) الشاذة الكلية للكتلة (Total Anomalies Mass M_E):

$$M_E = 23.9 \sum (\Delta g \delta A) \text{ طن}$$

حيث Δg ميللجال & δA قطع المساحات بالمتر.

2) الكتلة الحقيقية للجسم الجيولوجي (M):

$$\therefore M = M_E \frac{\rho_1}{(\rho_1 - \rho_0)} (\rho_1 > \rho_0) \text{ طن}$$

7.3 تحليل وتفسير نتائج الجاذبي Analysis and Interpretation of Gravity Data

النتائج النهائية للمسح الجاذبي (بعد تطبيق جميع التصحيحات) عادة ما توضع في صورة خرائط شذوذ جاذبية أو خرائط شذوذ بوجير (Gravity anomaly map or Bouguer anomaly map) وغاية تفسير خرائط الجاذبية هو إستنتاج التركيبات الجيولوجية التحت سطحية. وتعني شاذات بوجير الموجبة والسالبة أكثر من مجرد دلالة على زيادة أو نقص الكتلة. والهدف النهائي للجيوفيزيائي هو أن يستنتج من الخواص المختلفة للشذوذ (السعة - الشكل - الحدة) مكان وشكل التركيب الجيولوجي التحت سطحي الذي ينتج الإضطراب الجاذبي. لذلك يجب تحليل نتائج الجاذبية بطرق تفسيرية ملائمة. ومن المهم لكل من يستخدم نتائج الجاذبية (خاصة الجيولوجيين) أن يتحقق بأنه بالرغم من الإستخدام الجيد لطرق ملائمة لتفسير النتائج فإنها ليست عملية قاطعة الوضوح والتي لايعتمد عليها لإجابة واحدة*.

1.7.3 صعوبات في تفسير الجاذبية Difficultie sin Gravity Interpretation

يوجد خاصيتين للمجال الجاذبي تجعل التفسير الواحد غالبا مستحيل:

الأول: أن قيمة القياسات للجاذبية (g)، وبالتالي أيضا قيمة الشاذة المخففة (المصححة) Δg_B عند أي محطة تمثل تأثير كتل إضافية موزعة من أسفل لأعلى. وغالبا لا تكون خريطة الجاذبية (أو البوجير) في صور مبسطة لشاذة مفردة معزولة (أو مستخلصة) ولكن عمليا دائما ما تكون مجمعة من الشاذات الحادة نسبيا والعريضة والتي يكون مصادرها عند أعماق مختلفة. ولذلك يكون التفسير المقدم والملائم يأتي بعد فصل هذه المصادر المختلفة بواسطة طرق مختلفة كما سيأتي بعد. ومن المشاكل

* نفس هذه المسألة تواجه عند تطبيق طريقة المغناطيسية ولذا فإن ما يطبق في طريقة الجاذبية يطبق أيضا على طريقة المغناطيسية.

لأى طريقة تستخدم يكون من الصعوبة عملية فصل الشواذ عن حقيقة الواقع لأنه لا يمكن تقسيم الوحدة إلى أجزاء مدون حصر حالات الوضع.

الثانى: وهو أكثر أهمية حيث الصعوبة فى تفسير الجاذبية لتحديد المصدر من تأثيرها والتي يكون عكس مشكلة نظرية مجال الجهد. فمثلا لتوزيع كتلة معطاة (أو مصدر كتلى بسيط) يكون من السهولة تحديد التأثير الجاذبى لها ولكن عكس المشكلة (وجود مجال جهد ويراد تفسير مصدره) لا يوجد حل واحد. فمثلا إذا كان هناك توزيع شذوذ جاذبى على الأرض اوفوقها فإن هذا الشذوذ يكون له أكثر من توزيع كتلى ينتج هذا الشذوذ. شكل (3-45).

يوضح ميل لشاذة جاذبية لها أكثر من توزيع كتلى فى شكل (3-45) يمثل طبقة من الصخور لها كثافة أكبر من الصخور المحيطة بها. فى شكل (3-45 ب) يمثل تركيب سرج (نتق). Horst st.، حيث الرميح العليا بين الفالقين لها كثافة أكبر كما أنها أقرب من السطح. فى شكل (3-45 ج) يمثل تركيب طيه محدبة Anticline حيث قمة الطيه ذات كثافة أكبر من الصخور المحيطة بها وقريبة من السطح، وعامة فى تفسير خرائط الجاذبية (خريطة الجاذبية أو خرائط المتبقيات) أو البروفيلات عبر المساحات حيث التركيب تحت سطحى لا يكون معروف فإن المحاولة الوحيدة لاتعكس النتيجة. وهذه العملية لاتكون عكسية كلية فبينما تعطى الكتلة المدفونة تأثير جاذبى واحد متوقع عند أى نقطة مختارة على السطح فإن أى بروفيل جاذبى سينتج (بسبب فيزيائية فقط) بواسطة عدد من توزيعات الكتل الممكنة.

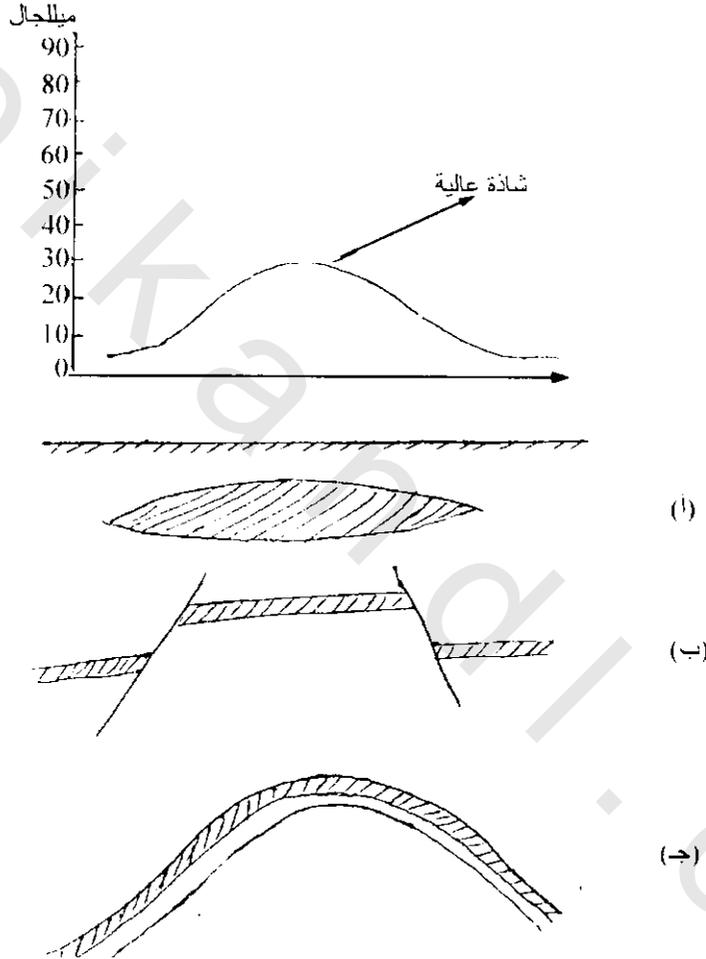
فى شكل (3-46) يلاحظ تركيبين مختلفين من التركيبات التحت سطحية (نفس الشاذة الجاذبية وذلك لغياب المعلومات الجيولوجية، حيث أنه فى النموذجين التركيبين (3-46أ)، (3-46 ب) نجد أن فرق الكثافة بين الصخور ثابت. فى (3-46 أ) يشير النموذج لصخور قاعدة تعلوها صخور رسوبية بفرق كثافة بينهما 0.2، أما فى (3-46 ب) فإنه يدل على وضع جيولوجى مختلف حيث يخترق الشيست بواسطة تداخل صخرى ذا كثافة أعلى من كثافة الشيست ويعلوهم الصخور الرسوبية ومع ذلك يعطى هذا الشكل نفس الشاذة لأن فروق الكثافة بين الصخور 0.2. لذلك يكون نادرا أن يقوم الجيوفيزيقي بتفسير التركيب التحت سطحى من قيم الجاذبية فقط لهذا فإن الإعتقاد على نتائج الحفر أو النتائج السيزمية يقلل من غموض التفسير.

بالإضافة لذلك، فإن هناك غموض آخر فى التفسير ناتج من عدة شاذات لشكل هندسى واحد، فمثلا كتلة كروية لها حجم معين وتباين كثافى فإنها من الممكن أن تعطى مجموعة من الشاذات من خلال قياسات مضبوطة. أى إذا كان هناك كرة لها حجم كبير وتباين كثافة نسبيا صغير فإنها تعطى مجموعة شاذات متساوية بوضوح تام مع كرة لها حجم صغير وتباين كثافى نسبيا كبير، أى أنه يوجد عدد من الشاذات لمثل هذه الكرات. وعن غموض التفسير للجاذبية (أو المغناطيسية) أن بعض الأشكال الهندسية لتوزيع الكتل تعطى نفس الشاذات. لذلك يجب تعيين هذا الغموض مسبقا بالإستعانة بالعاملين المؤثرين أحدهما تباين الكثافة والآخر حجم الأجسام المسببة لشاذات الجاذبية.

8.3 فصل الشاذات: الإقليمية والمتبقيات (المحليات)

Isolation of Anomalies: Regional and Residuals (Locals):

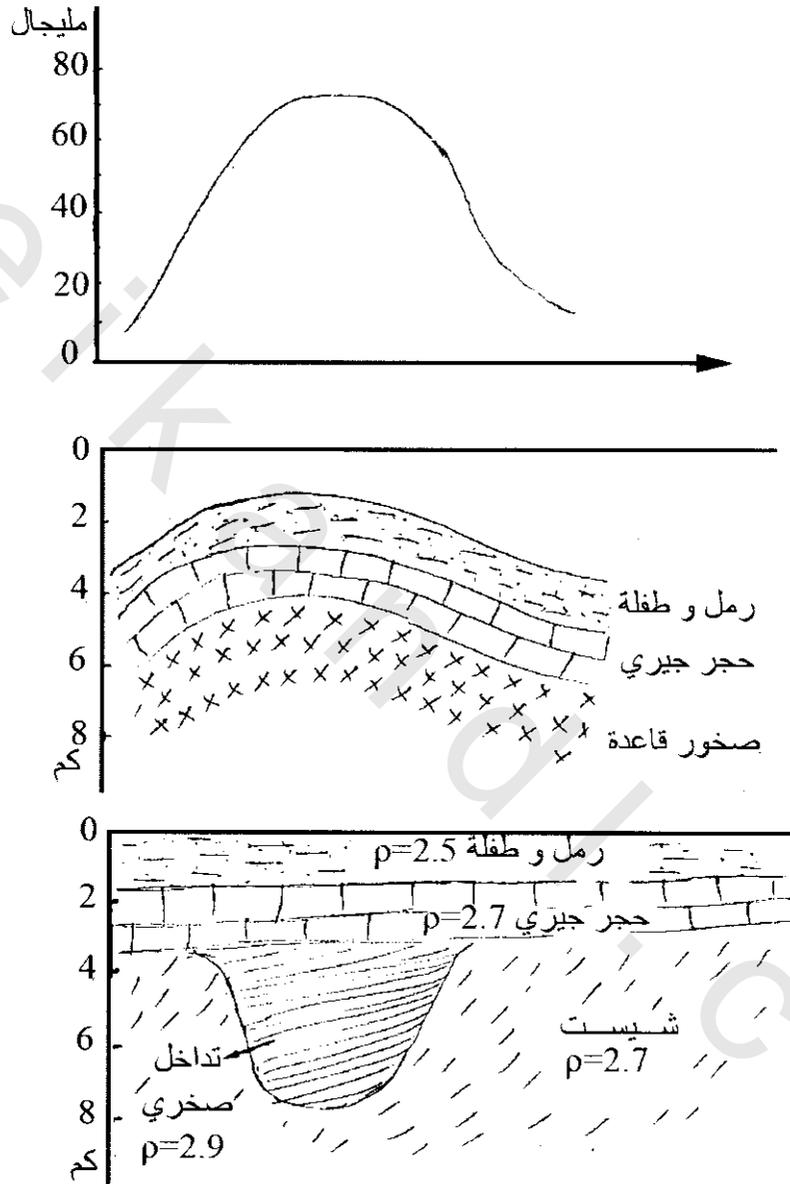
حيث أن الشاذات الجاذبية المفتوحة تدل على تركيبات جيولوجية مفتوحة ومن الصعب دراسة الجيولوجية تحت سطحية المحلية منها والتنبؤ بالخامات الموجودة بها. لذا نلجأ إلى طرق فصل الشاذات للحصول على شاذات جاذبية مغلقة (طيات - فوالق - قباب ملحية وغيرها) والتي تحتوى على المواد البترولية والخامات المعدنية والمياه الجوفية شكل (3-47).



شكل (3-45)

وعندما تكون الشاذة الجاذبية لظاهرة جيولوجية نسبياً صغيرة تظهر كتشوه (التواء) صغير لمجال الشاذة بسبب إتساع التركيب القشري. وهذا التأثير الأخير يمكن ملاحظته عبر مسافات كبيرة ولذلك يكون ما يسمى بالشواذ الإقليمية Regional anomalies، وعلى النقيض (على العكس) فإن الشواذ للتركيبات الصغيرة تكون ما يسمى بالشاذة المحلية (local anomalies). وفصل الشاذة المحلية من أهم الأوليات في التطبيق التنقيبي بينما الشواذ الإقليمية غالباً ما تكون هامة لدراسة القشرة الأرضية. ويوجد عدة مصادر للشواذ الإقليمية بالإضافة إلى التركيبات الجيولوجية ذات المقاسات الكبيرة يوجد تأثيرات للكثافات الناتجة من التغير الليثولوجي لصخور

القاعدة، وفى مساحات معينة ربما يكون التغير الإقليمي بسبب تأثيرات توازن القشرة الأرضية isostatic المصاحبة لشواذ الكثافات العميقة والتي تنتج من سطح المو هو Moho (هو السطح الفاصل بين الستار والقشرة الأرضية).



شكل (3-46): تفسير تبادلى فرضى لشواذ جاذبى

- (أ) شكل سطح صخور القاعدة والتي حسب منها الشاذة إذا فرض أن تباين الشاذة ($\rho = 0.21$) عند الخط الفاصل
 (ب) تفسير آخر والذي يتفق مع نفس النتائج، تباين الشاذة ($\rho = 0.2$)
 (ج) خريطة شاذات جاذبية مقلدة المسافة الكنتورية 10 ميليجال

وغالبا ما تنتج صعوبات عندما تكون الشاذات لعدة كثافات إما من التركيبات المحلية أو الإمتدادات الإقليمية وتحدث تقارب لبعضها البعض ولذلك لا يمكن تحليل تأثيراتها الفردية بسهولة.



شكل (3-47):

(أ) خريطة شاذات جاذبية مفتوحة

في أغلب مناطق المسح الجاذبي للمساحات الممتدة والتي يكون بها ظواهر تركيبية عميقة مسببة بذلك تغيرات في الجاذبية على السطح أكبر من التركيبات العادية الهامة في التنقيب. والتدرج الإقليمي غالبا يشوه تأثيرات التركيبات المحلية مثل القبة الملحية أو المنحدرات المدفونة (الطيح المدببة) والتي تعتبر مصابيد بترولية هامة. ولهذا السبب يجب فصل التأثيرات الإقليمية لتوضيح الظواهر التركيبية المحلية الهامة من خرائط الجاذبية. يوجد عدة طرق لإزالة هذه الجاذبية الإقليمية لكي تظهر المتبقيات Residuals (تمثل الجاذبية المحلية)، بعض هذه الطرق خطي Graphical والآخر تحليلي Analytical.

1.8.3 الطريقة الخطية Graphical Method:

تعرف أحيانا كتصحيح إقليمي، وهي واحدة من أقدم وأكثر الطرق تقليدية لعمل هذا الفصل أو التصحيح، ويكون بتسوية خطوط كنتور الشذوذ ذات القيمة الواحدة، وذلك برسم خطوط كنتورية متساوية (تقريبا خطوط مستقيمة) وطرح قيمة مجموعة الكنتور المتساوية من خطوط الكنتور الملاحظة بالخريطة وذلك لإظهار خطوط الكنتورات المتبقية، وترسم بعد ذلك كنتورات جديدة بين تقاطعات الكنتورات الملاحظة والإقليمية ويمثل الفرق المتساوي كنتورات المتبقيات. وتمثل هذه الكنتورات الناتجة أشكال مقلدة منخفضة القيمة شكل (3-48).

إذا رسم مقطع جاذبي عبر مركز الشاذة الممثلة في شكل (3-47) فإن الإتجاه الإقليمي يمثل بواسطة خط مستقيم متصل بنهائي البروفيل على جانبي ظاهرة الشاذات وهذا واضح في شكل (3-49). وفي هذا الشكل يرسم بروفيل المتبقيات أسفل بروفيل المقطع الملاحظ (المقاس) وذلك بواسطة طرح القيمة الإقليمية المقدره من الجاذبية الملاحظة عند كل النقط على طول البروفيل.

2.8.3 طرق التحليل Analytical Methods:

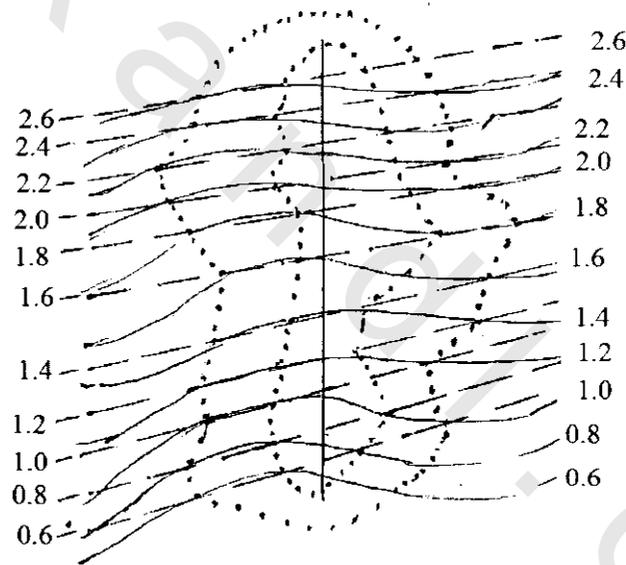
1.2.8.3 الطريقة المباشرة لحساب المتبقيات Direct Computation of Residuals:

إحدى هذه الطرق وصفت بواسطة جرفن Griffen وتشمل متوسط قيم الجاذبية على طول محيط دائرة أو ثماني منتظم (Regular Polyhedron) مركزها عند النقطة المراد حساب المتبقيات عندها. هذه الطريقة موضحة بشكل (3-50)، o النقطة المراد حساب المتبقيات عندها.

(قيمة الجاذبية عند المركز المراد حساب المتبقيات عندها) $\Delta g = g_o$ (المتبقيات)

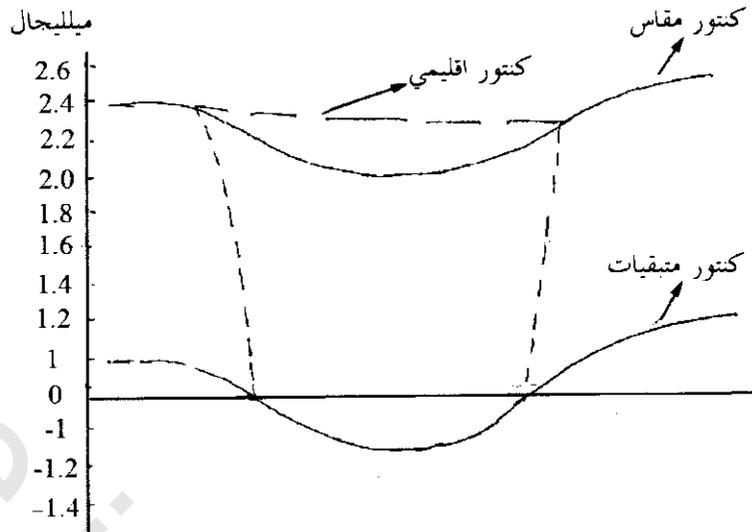
$$-(g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8)/8 \quad (3-28)$$

وبعد ذلك تنقل الدائرة إلى نقطة أخرى وهكذا إلى أن تنتهي نقط البروفيل الأفقى، ثم يبدأ نفس العمل على البروفيل الذى يليه إلى أن تنتهى الخريطة. ثم توصل نقط المتبقيات وتنتج بذلك خريطة المتبقيات Residual .map



— الكنتور الملاحظ (المقاس) ميللجال
 --- الكنتور المتساوى للاتجاه الإقليمى
 كنتور متبقيات الجاذبية
 0.6 ، ، 2.6 قيم بالميللجال

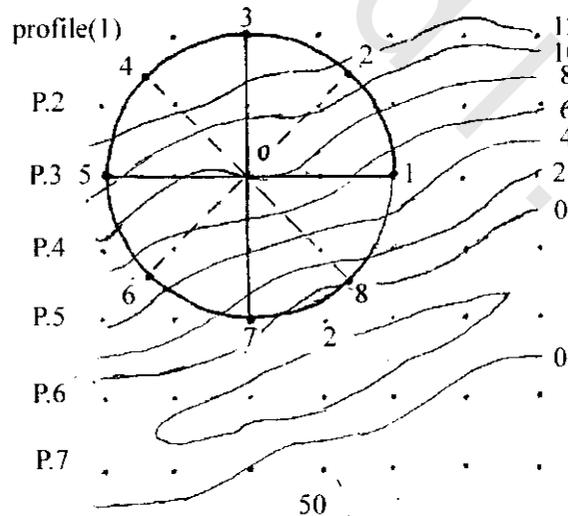
شكل (3-48):



شكل (3-49):

2.2.8.3 خرائط جاذبية المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية Second Vertical Derivative Gravity Map

تستخدم هذه الطريقة مباشرة لتعيين المتبقيات (الشاذات المحلية) من معدل التغير في الشاذة الإقليمية حيث أن معدل التغير فيها يكون ثابت تقريبا بينما يكون معدل التغير في الشاذة المحلية سريع، ذلك فإن المصادر القريبة حتى ولو كانت صغيرة يكون لها تأثير كبير على التدرج الجاذبي أكثر من الجاذبية نفسها. وهذا يعنى أنه لو حسب معدل التغير بالنسبة للمسافة لكان كبيرا للشاذة المحلية وصغيرا جدا للشاذة الإقليمية ولذلك فإن المشتقة الأولى أو الثانية تعتبر وسيلة جيدة للتخلص من الشاذة الإقليمية شكل (3-51).



شكل (3-50):

0 = النقطة المراد حساب المتبقيات عندها

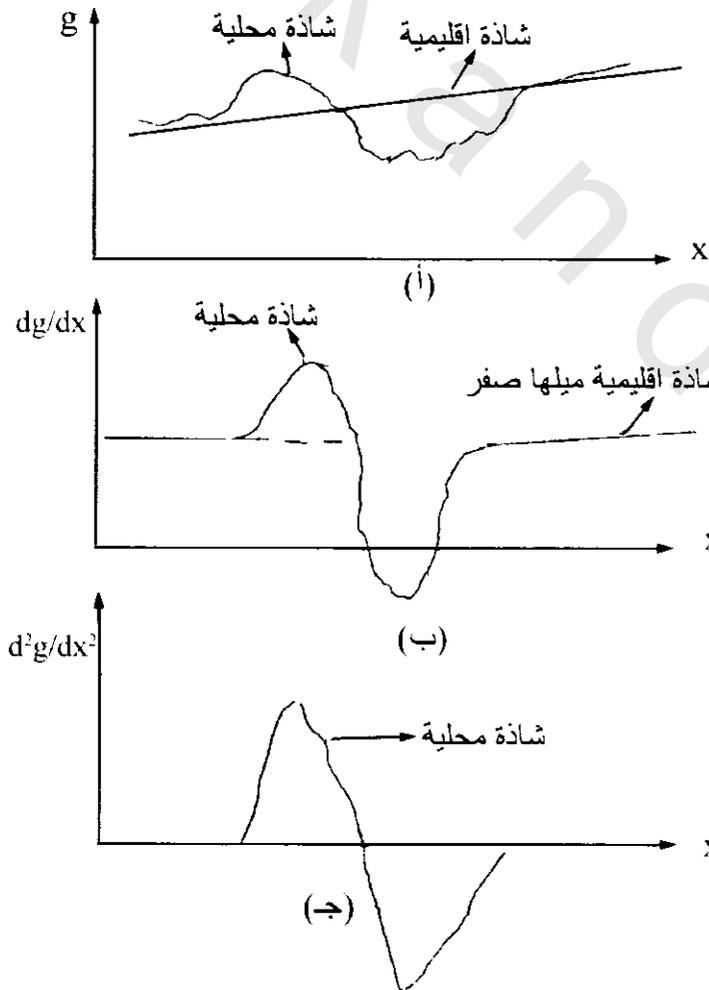
~ = الكنتور بالمليجال.

1, 2, 3, 8O النقطة التي أخذت عندها القراءات

وتبعاً لذلك يوجد سبب جيد للتوقع بأن الظواهر المحلية local features سوف تكون أكثر سيادية على الخريطة الواحدة من مشتقات الجاذبية عن خريطة الجاذبية نفسها، ولهذا تشير خرائط المشتقات للأماكن الموجود بها الشواذ المتبقية. وتقوم أهمية هذه الطريقة على حقيقة أن تتابع التفاضل للمركبة الرأسية للجاذبية مع العمق تشير للتأكد بوضوح أكثر للشاذات الجيولوجية الصغيرة والضحلة عبر الإمتداد الكبير للظواهر الإقليمية. وتوجد عدة أنظمة لحساب هذه الطريقة بواسطة تطبيق نظرية الجهد للمجال الجاذبي حول النقطة المراد الحساب عندها، والأنواع الشاملة للصيغ الرياضية اختزلت إلى خطط عملية للحساب. وتبعاً لهذه الخطط فإن القيم من الشبكة المنتظمة للنقط تستخدم لتحديد المتوسطات حول الدوائر المختلفة الأقطار من نقطة المركز كما في شكل (3-52) وأساس حساب معادلات الطرق المختلفة هي

حيث: D = قيمة المشتقة، C = ثابت لكل طريقة عملية، S = مسافة الشبكة، g_0 = قيمة الجاذبية عند o (نقط الحساب) g_2, g_1 = متوسط قيم الجاذبية حول حلقات المتتابعة.

ومن أهم أمثلة الطرق المطبقة لحساب المشتقة الرأسية الثانية هي طريقة بيتر 1949 Peteris



شكل (3-51):

أ- شاذة تناقلية محلية وإقليمية، ب- المشتقة الأولى جعلت الشاذة الإقليمية ثابتة، ج- المشتقة الثانية ألغت الشاذة الإقليمية وجعلتها تساوى صفر وكبرت الشاذة المحلية

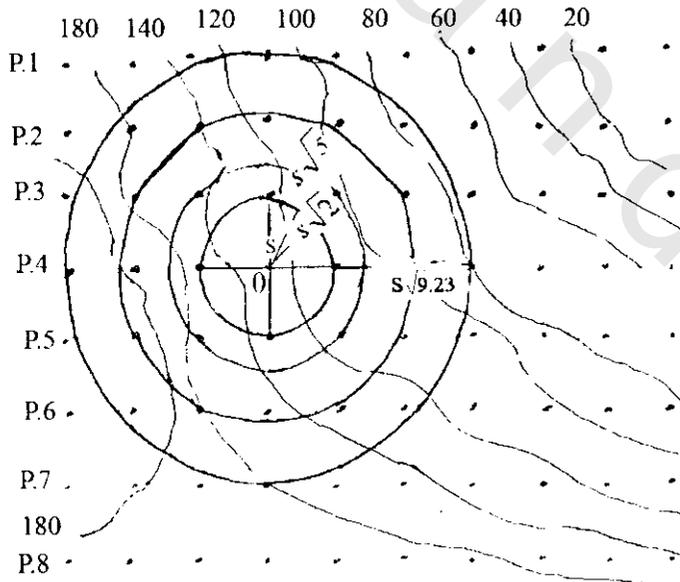
$$D = C/S^2(w_0g_0 + W_1g_1 + \dots W_n g_n)$$

method

$$\begin{aligned} \frac{\delta^2 g}{\partial Z} = & 1.156 g(o) + 0.2569 g_1(s) \\ & - 0.4459 g_2(S\sqrt{2}) - 1.359 g(S\sqrt{S}) \\ & + 0.392 g_4(S\sqrt{9.23}) \end{aligned} \quad (3-29)$$

حيث $\frac{\partial^2 g}{\partial Z^2}$ هي المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية عند نقطة o (المتبقيات) o , 1.156 , 0.2569 ثوابت ،

g_o = قيمة الجاذبية عند نقطة o المراد حساب المشتقة عندها، $g_1 S$ = متوسط قيمة الجاذبية لأربع نقط عند الدائرة التي نصف قطرها S ، $g_2 S\sqrt{2}$ = متوسط قيمة الجاذبية أربع نقط عند الدائرة التي نصف قطرها $S\sqrt{2}$ وبعدها $g_4 S\sqrt{9.23}$ = متوسط قيمة الجاذبية لأربع نقط عند الدائرة التي نصف قطرها $S\sqrt{9.23}$ ونقل ذلك تنقل إلى نقطة أخرى إلى أن تنتهي نقط البروفيل الأفقي الأول، ثم يجرى نفس العمل على البروفيل الذي يليه وبعد إنتهاء حساب الخريطة توصل قيم النقط المحسوبة من معادلة المشتقة الرأسية الثانية فنتج بذلك خريطة المشتقة الرأسية التفاضلية الثانية (المتبقيات).

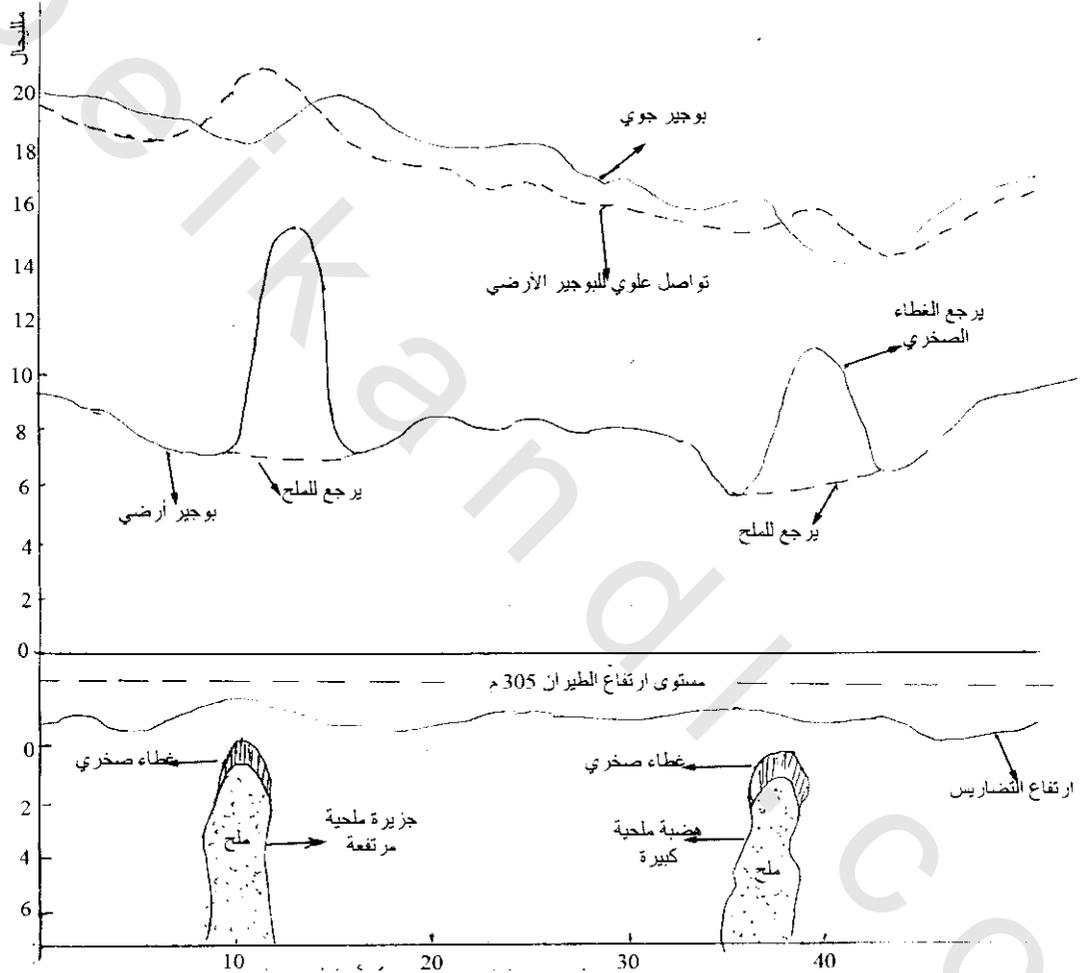


شكل (3-52): طريقة بيتر Petter لحساب المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية، = النقطة المراد حساب المتبقيات عندها، S = نصف قطر الدائرة الأولى، $S\sqrt{2}$ = نصف قطر الدائرة الثانية، $S\sqrt{5}$ = نصف قطر الدائرة الثالثة، $S\sqrt{9.23}$ = نصف قطر الدائرة الرابعة، - = الكنتور بالميليجال (المسافة الكنتورية 20 ميليجال)

3.2.8.3 تحليل إستمرارية المجالات :Analytic Continuation of Field

بواسطة عمليات رياضية يمكن تحليل المجالات (جاذبية ومغناطيسية) إلى مستويات مجالية أعلى أو أسفل. وعادة ما يعطى تحليل الإستمرارية العلوية (upward continuation) خريطة تعميمية (smoothly map) للخريطة الأصلية وبذلك يمكن استعمالها كطريقة تعميمية مؤثرة لفصل الشاذات الناتجة من مصادر عميقة (في المسح الجاذبي والمغناطيسي الجوى فإن التواصل العلوى يستخدم لحساب المجال عند المستوى الأعلى والنتائج

المحسوبة توافق باعتماد جيد للقياسات الحقيقية المأخوذة عند هذا المستوى). المثال الآتى شكل (3-53) يبين استخدام التواصل العلوى فى مقارنة شاذات المسح الجاذبى الأرضى مع نتائج مسح الطيران وعادة تتواصل النتائج الأرضية لأعلى أكثر من عملها للتواصل السفلى حيث لاتكبر التشوهات (نتوءات) ويلاحظ من الشكل أنه يوجد قيمتين منخفضتين المصاحبتين لكثافة الملح المنخفضة لها موجات طولية قصيرة يعلوها (يركب عليها) قيم عالية والتي ترجع لوجود غطاء صخرى ذا كثافة عالية فوق القرب الملحى. هذه الزيادة فى الشذوذ تقل بزيادة الإرتفاع ويتفق هذا بين الفواصل العلوى لنتائج المسح الأرضى والمسح الجوى ماعدا التجاور المباشر للغطاء الصخرى.



شكل (3-53): مقارنة بين المسح الجوى والتواصل العلوى لنتائج المسح الأرضى

أما التواصل السفلى downward continuation فيستخدم لتحويل نتائج المجال المقاس فيه كقياسات إلى مستوى قريب أو غير شاذة المصادر ولذلك فإنه تستخدم خاصة فى تفريق (تحليل أو حل) التأثيرات المترابطة للمصادر القريبة من بعضها، وربما إذا استمر التواصل لأعماق أكبر من العمق للظاهرة الكبيرة المحددة، فإن مجال التواصل سوف يبدأ فى إظهار تغيرات (تذبذب) قصوى. وربما يكون المستوى عند بداية هذه التذبذبات (التغيرات) فى حالات معينة تعطى دلالة مباشرة لعمق قيمة ظاهرة الشاذات منتجة المجال المعطى ولكن حقيقة فإنها تمتد حدود لأكبر عمق مقبول (بيتر 1949 Peter، همر 1963 Hammer، ريو 1966 Roy، أندرسون

Anderson 1966، كونستنتنسكو 1966 Constantinsco) وبهذه الطريقة يمكن حساب المجال عند العمق الحقيقي للتركيب المدفون. وحساب هذه الطريقة تشبه طريقة حساب المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية (S.V.D) مع نفس اختيار الدوائر (شكل (3-52) مع تغير ثوابت الوزن كما في معادلة كونستنتنسكو Constantinsco 1966.

$$g(-d) = -8.395745 g(0) + 6.90410 \sum_{i=1}^4 g(s) - 4.51741 \sum_{i=1}^4 g(s\sqrt{2}) \quad (30)$$

حيث $g(-d)$ هي نتيجة الإستمرارية السفلى عند نقطة o ، 8.395745 & 6.90410 ثوابت

$g(0)$ = قيمة الجاذبية عند نقطة الحساب والمراد حساب التواصل السفلى عندها

$$\sum_{i=1}^4 g(s) = \text{متوسط قيمة الأربع نقط حول النقطة الأصلية والموجودة عند أطراف منتصف قطر الدائرة}$$

والذي مقداره S .

$$\sum_{i=1}^4 g S\sqrt{2} = \text{متوسط قيمة الأربع نقط حول النقطة الأصلية والموجودة عند أطراف منتصف قطر الدائرة}$$

الذي مقداره $S\sqrt{2}$.

9.3 التفسير بواسطة النماذج Interpretation by Models:

غالبا ما يكون جميع تفسيرات نتائج الجاذبية تتم بواسطة طرق غير مباشرة حيث لا توجد طريقة مباشرة لتحويل نتائج الجاذبية لجيولوجيا تحت سطحية. وتكون الطريقة العامة بفرض أشكال مختلفة بسيطة (موافقة مع القبول الجيولوجي) لمصدر الشاذة، وحساب تأثيرها الجاذبي عند السطح وتعديل هذه النماذج تدريجيا حتى يمكن الحصول على موافقة ملائمة مع الشاذة الملاحظة (المقاسة). وبدل التقارب الملائم فقط على أن النموذج المختار يكون الحل المقبول. وإذا كانت النتائج الجيولوجية غير كافية فربما لا يمكن عمل أكثر من محاولة تجارب (محاولات) لاختيار مدى الحل المتقاربة حتى يكون الحل الأكثر تشابه هو المطلوب.

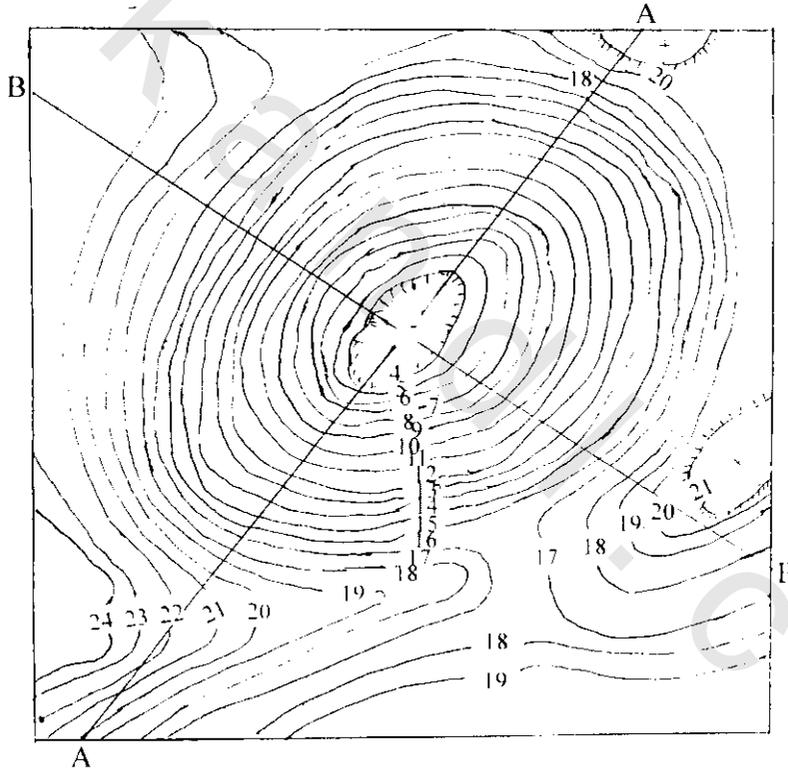
قبل إختيار النموذج لمحاولة الحسابات يكون من المهم فحص خريطة الشاذة الجاذبية بحرص لاستخراج لبعض الأدلة حول حجم وشكل الجسم الجيولوجي المسبب للشاذة. فعمليا الإستطالة لكنثور الشاذة يكون مفيد كدلالة لإتجاه وطول التركيب المسبب للشاذة. عند معرفة معلومات جيولوجية ملائمة لمساحة ما، لذلك عند إختيار نموذج لها يكون من العادة عمل شكل تقريبي هندسي بسيط للنموذج. وإستعمال نماذج معقدة للحصول على أحسن توافق بين الشاذة المحسوبة والمقاسة ربما تكون مبهمة إذا لم يوجد معلومات جيولوجية ملائمة أو تحكيمات معتمد عليها. والتفسير باستخدام النماذج البسيطة يمكن توضيحه جيدا بواسطة المثال الحقلى الآتى شكل (3-54) فعادة ما تتميز الأجسام الملحية بجاذبية منخفضة (تقريبا 2.2 جم/سم³) أقل من كثافات الصخور الرسوبية المحيطة بها. ومن الشكل نلاحظ أن الشاذة دائرية الشكل تقريبا لذلك يكون تأثير القبة الملحية سائدا حيث يلاحظ تأثيرها العام جيدا. وتكون السعة الكلية للشاذة Δg_{max} حوالى -16 ميللجال ومنتصف العرض $X_{1/2}$ تقريبا 3700 متر محددة من البروفيل NE-SW (A-A') وبفرض الشكل الكروي لجسم الشاذات فيكون العمق لمركز كتلة

الملح Z_c حوالى 4800 متر وذلك بواسطة قاعدة نصف عرض $X_{1/2} = 1.305$. ومن السعة الكلية للشاذة يمكن تقدير نصف القطر R المكافئ للكورة ولذلك يتطلب بعض المعلومات عن متوسط تباين الكثافات للملح مع صخور الكريتاوى والرسوبيات القديمة عند عمق Z_c وإذا افترضنا أن هذا التباين يساوى 0.25 جم/سم³.

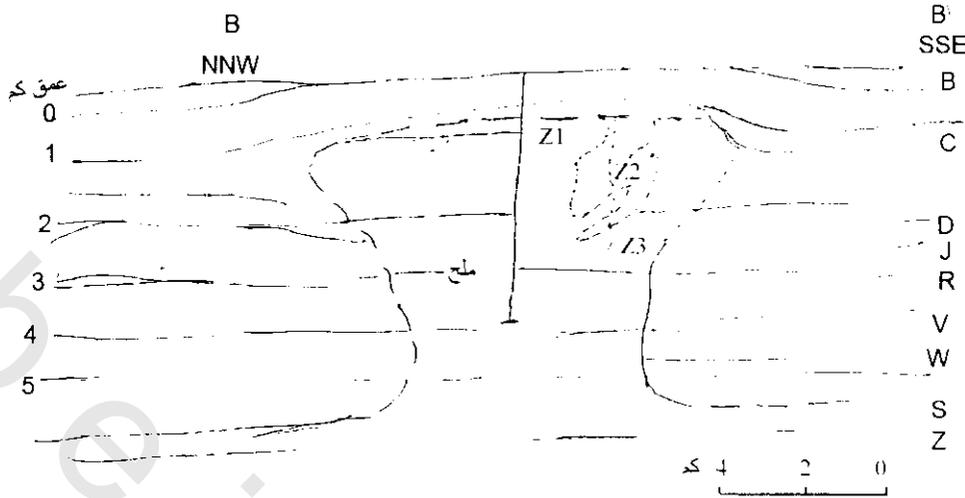
وباستعمال المعادلة

$$\Delta g = \frac{4\pi R^3 G \Delta \rho}{3Z^2} \frac{1}{(1 + X^2/Z^2)^{3/2}} = \frac{\Delta g_{\max}}{(1 + X^2/Z^2)^{3/2}}$$

يمكن الحصول على قيمة R والتي تساوى 3800 متر وقيمة العمق لقمة القبه المحية Z_T تعطى بواسطة $Z_c - R$ وفى هذه الحالة تساوى تقريبا 1000 متر. وإذا افترضنا أن تباين الكثافات = 0.2 جم/سم³ فإن $R = 4100$ متر والعمق للقمة $Z_T = 700$ متر. وهذا التفسير السابق من الجاذبية فقط يتفق مع نتائج طريقة الإنعكاس السيزمية شكل (55-3) التي تمت بعدها على طول البروفيل $B-B'$ فى شكل (54-3).



المسافة الكنتروولية = 1 ميللجال شكل (54-3):



شكل (3-55) البروفيل السيزمى عبر بروفيل A-A فى شكل (3-54) ويوضح عمق القطاع حيث B قاعدة الترشيرى، C قاعدة الكريتائى العلوى، D قاعدة الكريتائى السفلى، J قاعدة الجيوراسى، R قاعدة الرياتيك، V, W علامات الترياسك، S قمة زيشتاين، Z قاعدة زيشتاين

وهذا المثل يوضح أنه حتى بدون معلومات معينة على الكثافات أو على عمق القبة عند بعض النقاط (مثل التى يحصل عليها من الحفر أو النتائج السيزمية) فالحساب البسيط للنموذج الكروى قادر على مد معلومات جيولوجية معينة حول المكان والعمق التقريبي وقياس تقريبي للقطر الذى يحيط جوانب القبة الملحية.

10.3 استخدام الحسابات المساعدة وإعادة الطرق

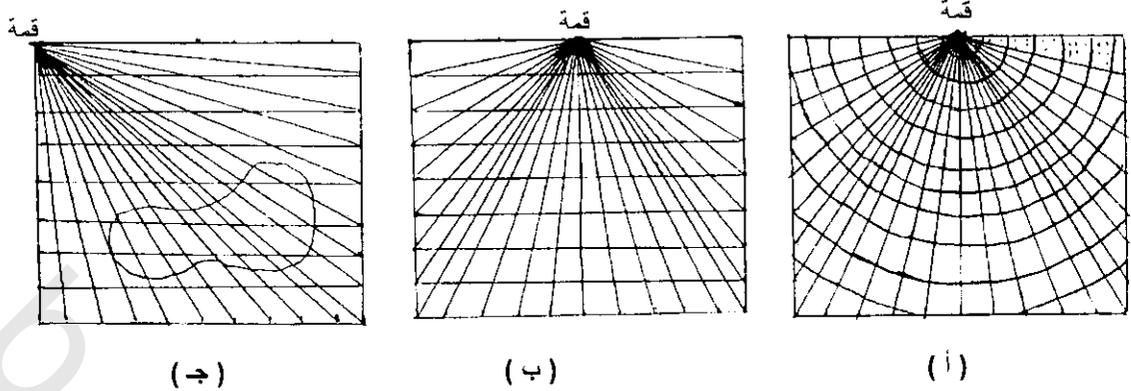
Use of Computational Aids and Iterative Techniques:

حساب الجاذبية لأجسام غير منتظمة الشكل تكون مطلوبة لتفسير مشاكل معينة. ويوجد عدد من الوسائل الخطية والطرق الميكانيكية القادرة على عمل تفسيرات حسابية بسرعة. وعامة تقسم الطرق المستخدمة كثنائى الأبعاد وثلاثى الأبعاد. وحسابات الثنائى الأبعاد تكون ملائمة لمواقع يكون شادات الكنتورات مستطيلة ويوجد عدة شبكات (graticules) لهذا الغرض وشكل (3-56) يوضح شبكات بسيطة والتي تستخدم لهذا الغرض.

11.3 الشبكات Graticules:

بمقارنة تأثير الجاذبية من التركيب التحت سطحى المفترض مع قيم الجاذبية الحقيقية الملاحظة (المقاسة) لاتكون دائما ممكنة لحساب جاذبية الكتل الغير منتظمة بواسطة الوسائل التحليلية ولذلك تستخدم طبقات شفافة تسمى شبكات (Graticules) والتي توضع عبر مقطع عرضى للتركيب الذى حسب تأثير جاذبيته.

وتتكون الطبقات عامة من نموذج شكل مروحي من خطوط مكونة سلسلة من الحجرات وعبرها تزيد المساحات كلما زادت المسافة من قمة الطابعة. وتوضع القمة على محطة الجاذبية على القطاع الذى يمكن تحديده بعدد الحجرات المغطاة له على الطابعة. وفي معظم الشبكات، كل حجرة تمثل كثافة ثابتة والتي تساوى المشاركة للجاذبية عند المحطة. أنواع الشبكات.



شكل (3-56):

- (أ) شبكة منقطة تستخدم لحساب التأثير الجاذبي عند أي نقطة على السطح من جسم مدفون ثنائي الأبعاد.
 (ب) شبكة لحساب التأثير الجاذبي من تركيب ثنائي الأبعاد.
 (ج) شبكة لحساب التأثير الجاذبي الرأسى لجسم غير متساوى الشكل.

1.11.3 في شكل (3-56) كل حجرة تمثل المشاركة الجاذبية الرأسية عند المحطة المقاس وقيمة التأثير تدل بواسطة عدد من النقط في الحجرة والدائرة (التي لا تكون كاملة في تغطيتها لجزء من التركيب) تمثل $1/10$ وحدة الجاذبية والحجرة المملوءة (التي تغطي تماما جزء من التركيب) تمثل وحدة جاذبية وقيمة كل وحدة بالميليجال تعتمد على مقياس القطاع العرضى والذى عليه وضعت الطابعة وأيضا على كثافة الجسم الذى يحدد تأثيره.

2.11.3 والشبكة الأخرى كما هي مبينة في شكل (3-56ب)، وجميع الحجرات لها شكل شبه منحرف والخطوط الإشعاعية تخرج من القمة Vertex، ولذلك فإن كل خط يعمل زاوية مع الخط الذى يليه. وتستخدم كالشبكة السابقة ماعدا أنه ليس فى الحجرات نقط لتساعد فى عملية التفسير ولكن كل حجرة $5 \times 10 \times p$ حيث p الكثافة وتكون الشاذة الكلية هي عدد الحجرات التى تقطع جزء من القطاع العرضى للنموذج الجيولوجى أى أن القيمة الكلية $t \times 10^5 \times t$ حيث t عدد الحجرات.

3.11.3 أما شكل (3-56ج) فتوضح استخدام الشبكة لحساب المجال الجاذبى الرأسى عند نقطة O لعينة جسم غير متساوى الشكل حيث تعد الحجرات المغطية للجسم وتقدر وتضاف للعدد الأصى للحجرات.

ملحوظة: تستخدم هذه الشبكات لتحديد شكل التركيب الجيولوجى المتوقع من افتراضات الأشكال المرسومة للبروفيلات المأخوذة من خرائط الجاذبية وذلك فى غياب المعلومات الجيولوجية كما فى شكل (3-45)، (3-46).

12.3 الشاذة الجاذبية والجيولوجيا التركيبية Gravity Anomalies and Geological Structures:

تستخدم القياسات لدراسة كثير من أنواع التراكيب الجيولوجية يتراوح مداها فى العمق والحجم من كتل قشرية عميقة إلى أجسام خامات قريبة من السطح. عامة فإن الاختلاف الإقليمى الكبير فى الجاذبية تتعلق مع التغير فى سمك القشرة الأرضية أو بسبب الفرق الكبير فى عدم تجانس الكتلة. ومن جهة أخرى فإن قيم شاذات الجاذبية المحلية تشترك مع كتلة السطح القريب للكتل الغير متجانسة. وتتطابق الشاذات السالبة مع أحواض

الترسيب، الملح، التركيبات الجرانيتية والأحواض بينما تتفق الشاذات الموجبة مع تقيب (نتوءات القشرة الأرضية العليا-إرتفاعات)، هضبات إرتفاعية (سراجات) (نتوقات))، الكتل المافية*، وسنتناول هنا بعض الأمثلة والتي توضح بعض دراسات الجاذبية لبعض المشاكل المتعلقة بالتركيبات الإقليمية والمحلية. وفي نفس الوقت فهذه الأمثلة سوف تدل بالرغم من مشاكل الغموض في التفسير على أن الشاذات الجاذبية تستطيع أن تعطى تفسيرات كافية حول التركيبات تحت سطحية وتوزيع الكثافات.

1.12.3 الأحواض الرسوبية أو البلوتن** الجرانيتي أو القباب الملحية

Sedimentary Basin or Granite Pluton or Salt Dome:

من المهم تفسير نتائج الجاذبية للبحث عن المواد الهيدروكربونية القدرة على التميز بين أحواض الترسيب (الحاوية على المواد الهيدروكربونية) والبلوتينات الجرانيتية (لاحتوى على مواد هيدروكربونية) حيث أن كلاهما ينتج شواذ جاذبية سالبة. وتوجد الأمثلة لبعض المواقع في العالم حققت هذه الظاهرة حيث وجد أن بعض الجرانيت الجوفي Granite pluton لها نفس القيمة المنخفضة المشتركة معها للأحواض الترسيبية. وقد اتفقت هذه الدراسات مع السيزمية الإنعكاسية. وفي عام 1962 وضع بوت Bott مقترحات لمجموعة من المعايير للتمييز بين الأحواض الرسوبية والكتل الجرانيتية كتفسيرات للجاذبية المنخفضة. وقد وضعت البراهين على أساس المشتقة الرأسية التفاضلية الثانية (S.V.D) للشاذات الجاذبية الناتجة من نصف إمتداد بعدين لانهاى للوح أفقى ذا حافة مسلوقة. وقد وجد أن وحدة قياس النسبة لقيمة العظمى والصغرى للمشتقة الرأسية التفاضلية الثانية تعطى معنى للتمييز بين التركيبين الجيولوجيين كآلاتى:

$$1- \text{ بالنسبة لأحواض الترسيب (جوانب الحوض تميل للداخل) } g_{\max}/g_{\min} \geq 1.0$$

$$2- \text{ بالنسبة للكتل الجرانيتية (جوانبها تميل للخارج) } g_{\max}/g_{\min} \leq 1.0$$

وشكل (3-57) يوضح كيفية حساب هذه الطريقة. وهذه الطريقة غير مناسبة في حالة امتداد النشاط التكتوني حيث تتشوه الأحواض الرسوبية بواسطة أحواض صغيرة وكذلك البلوتن الجرانيتي (الجرانيت الجوفي) بواسطة فوالق معقدة ولذلك يتغير التدرج لجرانيت كلا النوعين.

وبالإضافة إلى الأحواض الرسوبية ومقارنة نتائجها بنتائج الكتل الجرانيتية فيشترك معهم في خاصية الشواذ المنخفضة القباب الملحية كما في شكل (3-58) كما تشترك معهم في التركيبات الجيولوجية والانحداران.

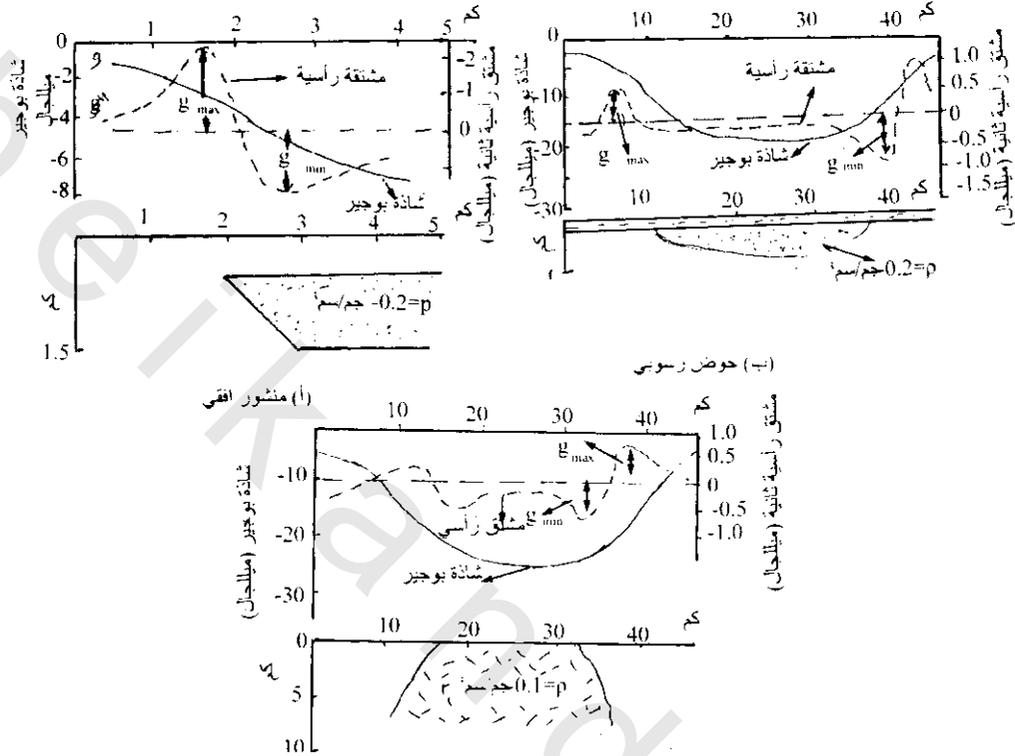
2.12.3 الوديان الخسيفة (الأخدودية) والأحواض الرسوبية Rift Valleys and Sedimentary Basins:

ويرى المسح الجاذبي شاذات سالبة كبيرة نسبيا تحدث محليا عبر الوديان الخسيفة. مثال ذلك في هضبة شرق أفريقيا فبعض الوديان الخسيفة يصل فيها الشذوذ الجاذبي إلى (-50 ميللجال) كما هو ملاحظ عبر بر وفيل شاذة بحيرة البرت (جلدر 1964 Gilder) والنموذج المحسوب لها شكل (3-59)، ويتضح من الشكل أن القيمة المقاسة تتفق مع النموذج المحسوب (المنحنى المشروط) للرواسب المائلة لوادى الخسف المتكون بواسطة فوالق عادية.

* الكتل التي يكثر فيها معادن الحديد والمغنسيوم mafic mass.

** أجسام الصخور النارية أو الشبيهة بالنارية تكون إما من تصلب الصهارة أو التأثر الصهاري في صخور قديمة أى هي صخور جوفية ذات حبيبات خشنة.

تتكون الأخاديد بواسطة شد جانبي بالقشرة الأرضية، ويوضح شكل (3-59) بروفيل الشاذة بوجير عبر جزء مركز الأخدود وبمقارنة شكل (3-59) بشكل (3-57 ب) يتضح أنهم يشتركان في إنخفاض قيمة الشاذة الجاذبية وكذلك شكل البروفيل.



شكل (3-57): معايير بوت Bott للتمييز بين بروفيل الجاذبية

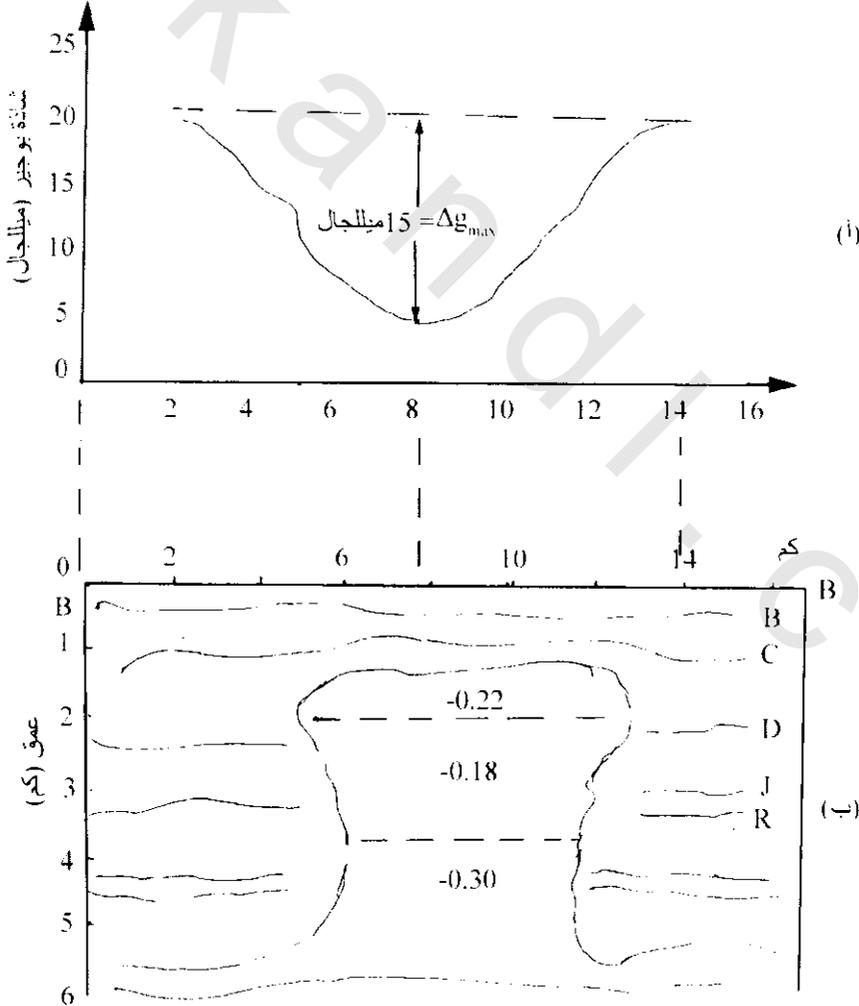
3.12.3 تركيبات الحواف الساحلية، نتوءات المحيطات، والأخاديد

Structure of Coastal Margins, Oceanic Ridges, and Trenches:

برهن المسح الجاذبي على أنه طريقة ملائمة لدراسة التركيبات العميقة للحواف الساحلية ووسط نتوءات المحيطات والأخاديد. ومن الأمثلة على ذلك دراسة الجاذبية مع نتائج الطريقة السيزمية والتي استخدمت لتجديد كيفية أن قشرة أنواع القارات والمحيطات اندمجت عند إنحدار الحافات. ويتضح التقارب العادي باستخدام محطات الإنكسارات السيزمية على جانبي الإنحدارات لتحديد سمك القشرة عند نقط قليلة. وعندئذ باستخدام نتائج الجاذبية لاستنتاج شكل الموهو (Moho) عبر الحافة، ويوضح شكل (3-60) قطاع قشري لحافة بهاماس (Bahamas) بجوار جزيرة اليثرا (Eleuthra Island) من نتائج الجاذبية، وفيه ترفع (thins) الحافة القارية القشرة فجأة إلى قشرة محيطية عادية خلال مسافة 150 كم. ويلاحظ أيضا التغير الحاد في الجاذبية (< 120 ميللجال) خلال مسافة 100 كم والميل الطوبوغرافي أحد الإنحدارات الحادة والمكتشفة في مساحات محيطية، ويبرهن أنه أحد أهم أمثلة المضارب اللافتة للنظر لقطاع قارى تغير فجأة لقطاع محيطي، أوضح تلوانى Talwani 1970 العلاقة بين شاذة الجاذبية للتركيب القشري عبر حافات منتصف المحيط حيث أن معظم الحافات تتميز بواسطة شاذات ارتفاعات صغيرة متسعة (موجبة الإتجاه) وبالعكس فإن شاذات بوجير تكون كبيرة وسالبة

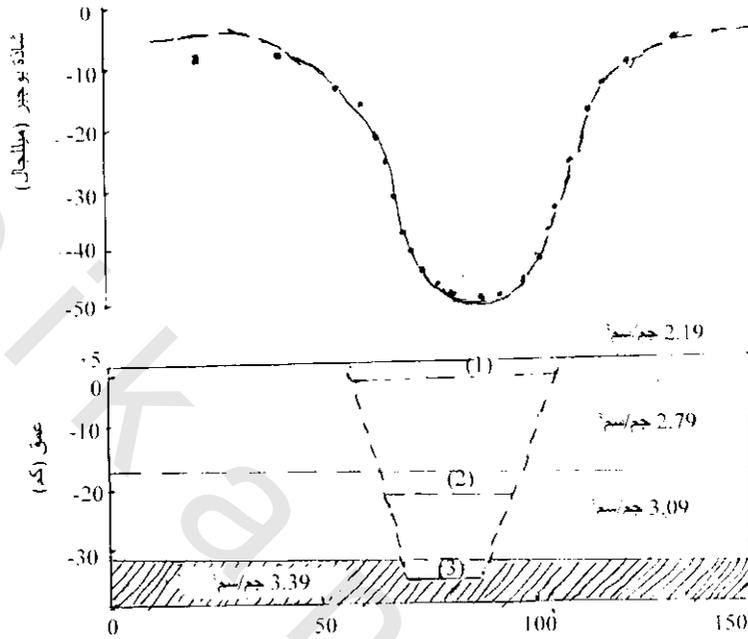
عبر قمم الحافات بسعات متشابهة مع الشاذات المقاسة عبر مناطق الجبال القارية. يوضح شكل (3-61) لشاذة عبر منتصف حافة الأطلنطي شمال 30° حيث يدل الصغر في شاذة بوجير عبر قمة الحافة عن التعويض الأيزوستس لها (للحافة)، ولكن الشاذة الجاذبية فقط لا تستطيع تعيين التعويض الميكانيكي. وعندما قام تلواني وآخرين Talwani et al 1965 لعمل نموذج للتركيب تحت الأخدود (ridg) وجدوا توافق لكلا من قراءات الجاذبية والسيزمية (المتاحة) مستخدمين العلاقة بين السرعة - الكثافة لناف ودرارك Nafe and Darke 1963. وفي هذا النموذج يعتقد أن المواد المنخفضة الكثافة تحت النتواء المرتفعة في المحيطات لها علاقة بارتفاع تيارات حمل الصهير في الستار.

وأدى كثيرا من المسح الجاذبي البحري (الذي تم قريبا نتاج جديدة. وقد تميزت النتائج التي توصل إليها تالواني Talwani 1970 عبر بروفيلات لترنشات (أخدودات) مختلفة بأن الجاذبية القريبة من محاور هذه الترنشات تكون قيمها منخفضة تتراوح من 150 إلى 350 ميللجال، وتكون مصاحبة لقيم جاذبية موجبة عبر الجزء البركانية المجاورة لهذه الترنشات (أخاديد) وتتراوح قيم الجاذبية ما بين +200 أو أكثر ميللجال. وعادة ما تكون النتائج السالبة للجاذبية عبر محاور الأخاديد راجعة إلى تواجد تجمعات رسوبية سميكة، والنتائج الموجبة ترجع إلى الكثافة العالية للوح القشرة الأرضية الممتدة عدة كيلومترات في داخل الستار كما يوضح شكل (3-62).

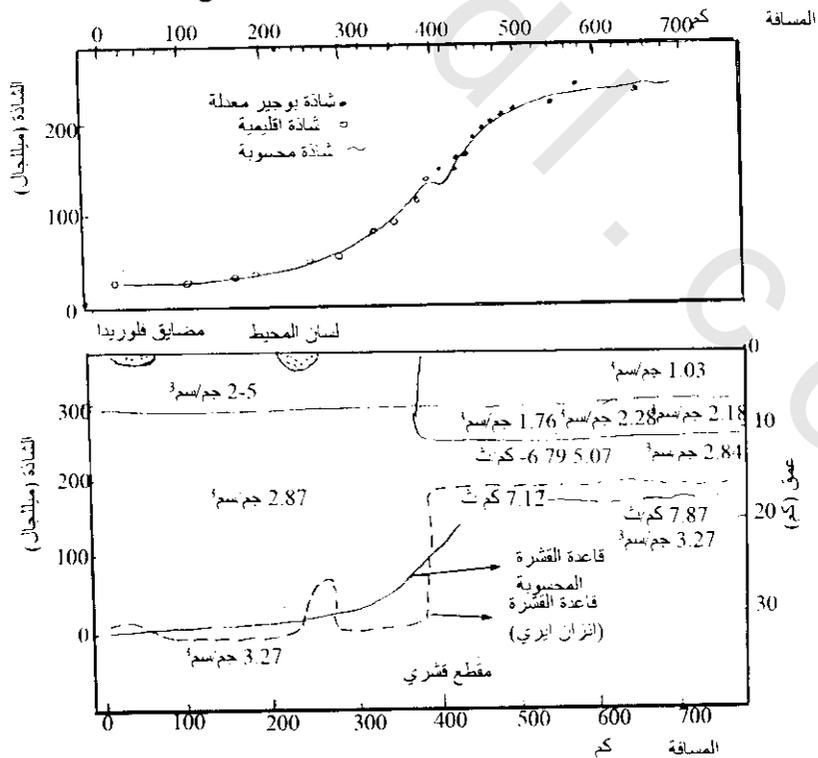


شكل (3-58): خط بروفيل الجاذبية (أ) والتابع له (ب) خط بروفيل السيزمي عبر B-B' في شكل (3-54, 3-55)

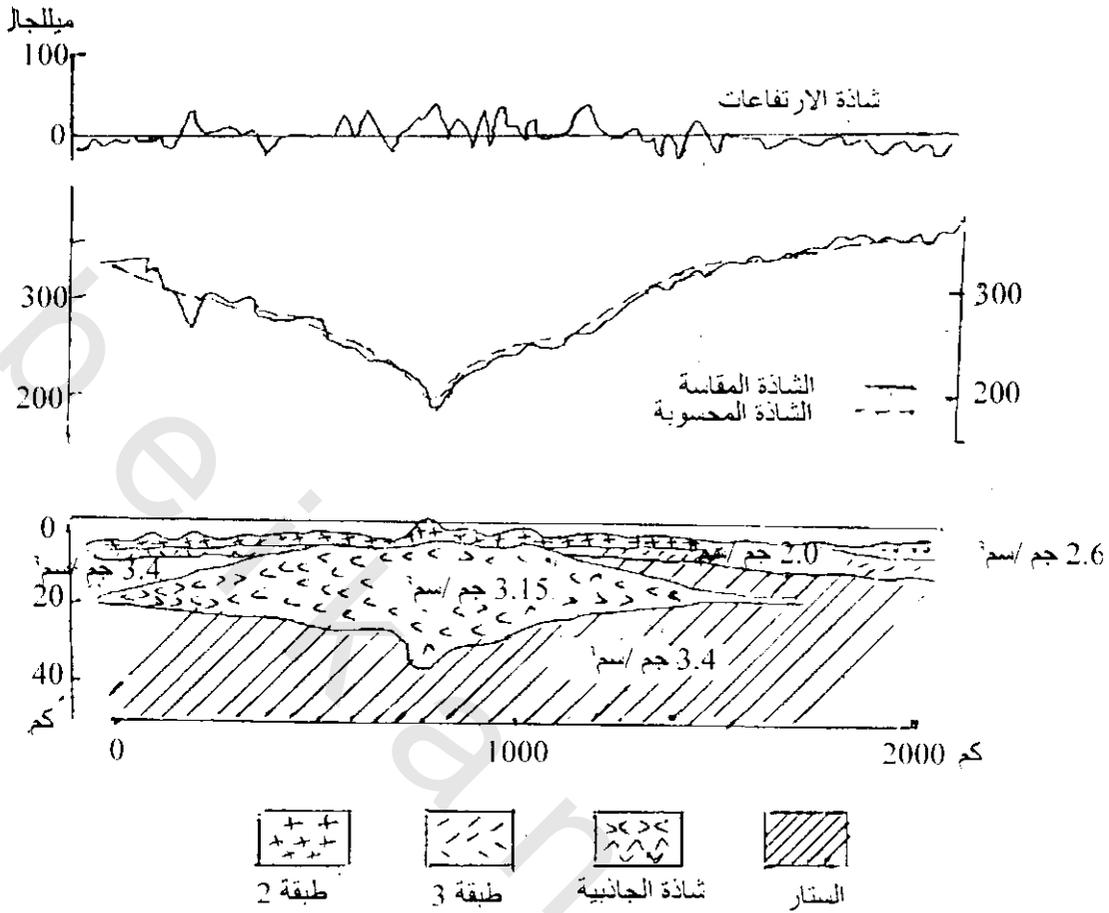
وقد لوحظ نماذج لشاذات شبيهة بالمثل السابق مصاحبة لتراكيب أخاديد اليتيان، يابان، تنجا، Aleutian, Jaban, Tonag في المحيط الهادى. وقد وضع النموذج أولا وجهة نظر الدلائل السيزمولوجية شكل (3-63) حيث أن الأماكن تكونت عند أماكن يهبط عندها اللوح ذا الكثافة العالية من القشرة الأرضية عدة كيلومترات داخل الستار، ويكون التأثير الأولى للوح إنتاج شاذات جاذبية موجبة عريضة.



شكل (3-59): بروفييل عبر وادى أخود البرت Albert يوضح شاذة بوجير



شكل (3-60):

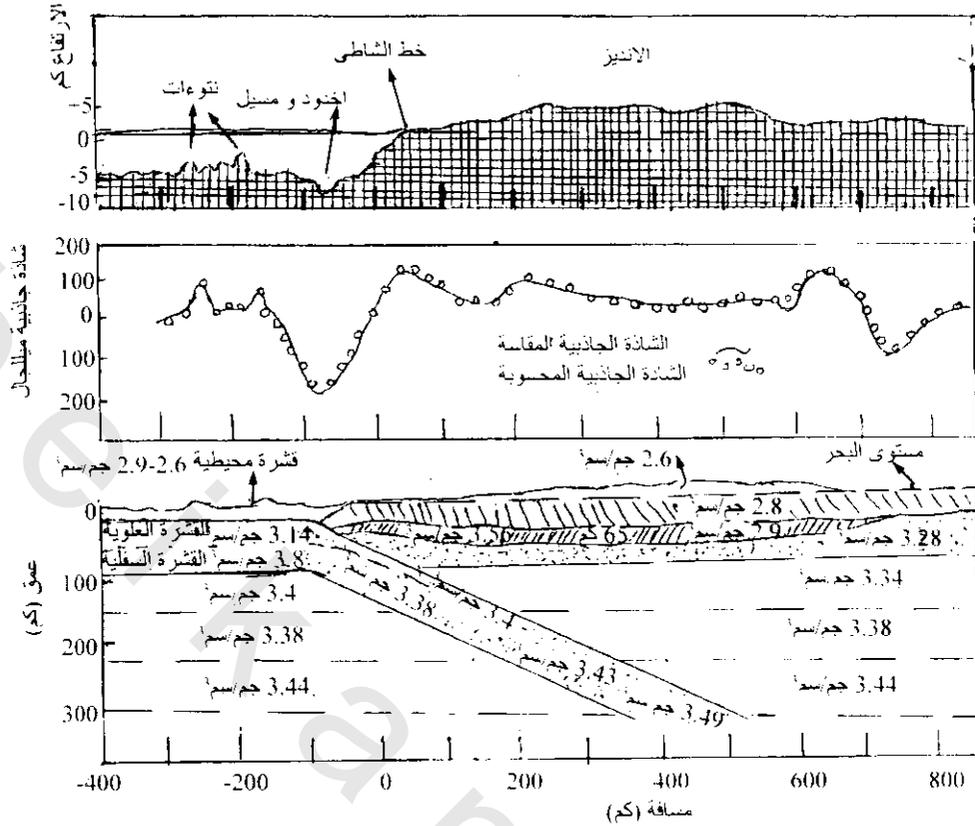


شكل (3-61):

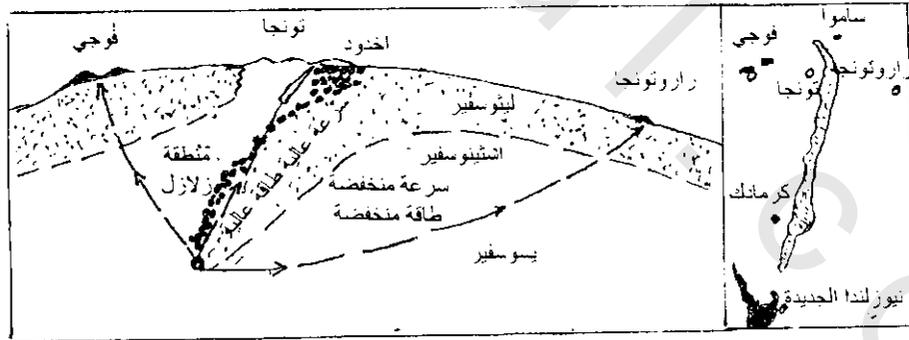
4.12.3 الجيولوجيا الإقليمية والتكتونية وRegional geology and Tectonics

عادة ما تعطى القياسات الجاذبية الإقليمية معلومات عن عناصر التركيبات الكبيرة وتعطى خلفية ممتازة لدراسة مناطق التركيبات الجيولوجية المتوسطة الواسعة. مثال لذلك شكل (3-64) والموضح لخريطة جاذبية مبسطة لمنطقة بحر الشمال. ومن هذه الخريطة يتضح وجود مناطق لجاذبية منخفضة ممثلة لثلاث أحواض رسوبية كما تشير إلى وجود ثلاث تركيبات مرتفعة فاصلة لهذه الأحواض الرسوبية كما أنها تدل على وجود صخور ما قبل الكامبري الضحلة وتتراوح قيم الجاذبية لمناطق أحواض بحر الشمال وحوض الشمال الغربي الألماني إلى حوالي 25- ميللجال وعلى المقابل تصل قيم الجاذبية الموجبة للمرتفعات ما بين 20-30 ميللجال وأما قيم الجاذبية والتي تتراوح ما بين 45-55 ميللجال فهذه مصاحبة لكتل رسوبية يتراوح سمكها ما بين 4500-5500 متر*

* حسبت الأسماك من تصحيح بروجير $\Delta g = 2\pi G t \rho_p$ للوح لانتهالي السمك t ويفرض أن فروق الكثافة هي 0.25 جم/سم³ وذلك ما بين أحواض الرسوبيات وصخور القاعدة المنضغطة.



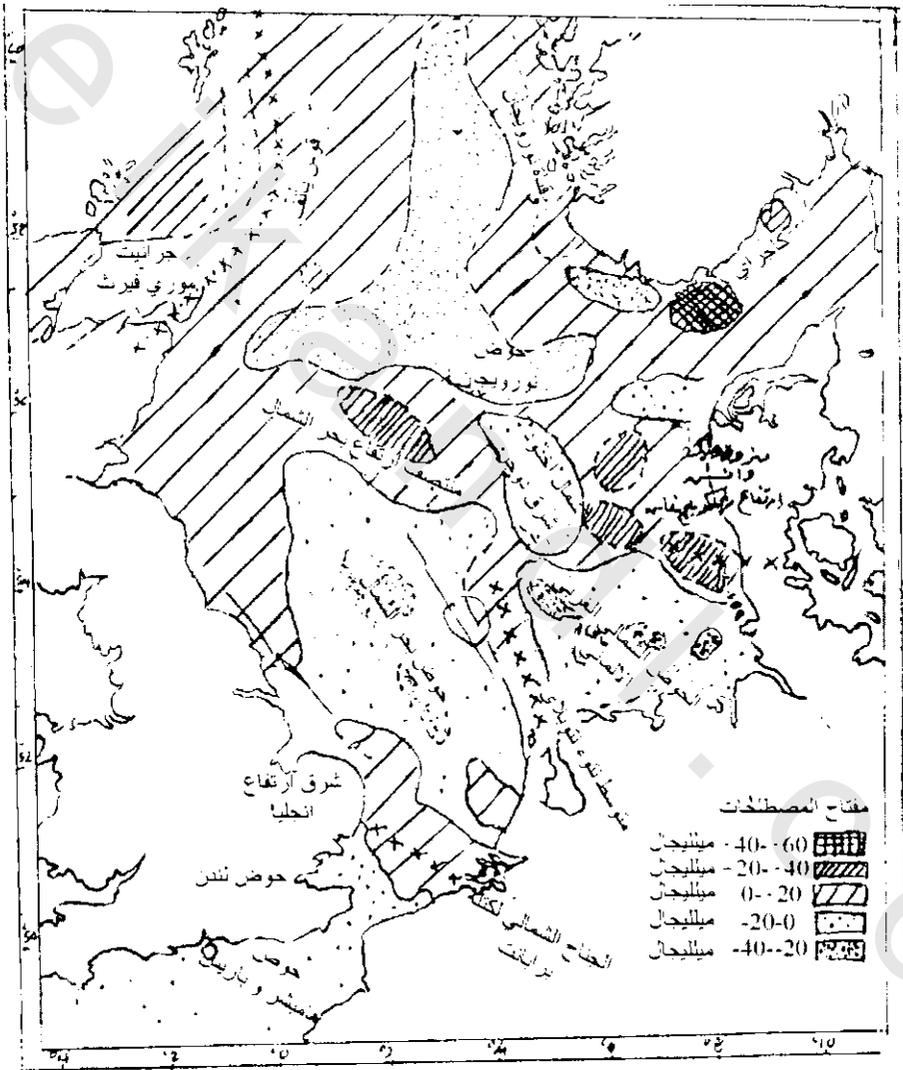
شكل (3-62): بروفيل لنتائج قياسات وحسابات جاذبية الإرتفاعات عبر أخدود شيل Chile وجبال الأنديز. وخذت الحدود داخل القشرة الأرضية على أساس النتائج السيزمية. واستدل على كثافات اللوح المتجه لأسفل بتقديرات الحرارة والضغط تبعاً للأعماق.



شكل (3-63):

والمثال الثاني لجزء من منطقة تركيب تشرشل Churchill في الدرع الكندي، شكل (3-65) يوضح خريطة جيولوجية بسيطة مع شاذة جاذبية. وتمثل الكتلة الكبيرة للحجر الرملي البروتوزوي والمعروف بتكوين أثاباسكا (Athabasca) ذات كثافة 2.4 جم/سم³ وسماك أقل من 1000 متر ظاهرة كبيرة. والظاهرة اللافتة للنظر بالخريطة هو الحزام المتوسط لشدة شاذية غير عادية باتجاه الشمال الغربي والجنوب الشرقي بمساحات حدود جاذبية منخفضة ويكون عرض الشاذات الجاذبية العالية والمنخفضة ما بين 40-70 كم وتدل على التغير في

كثافات الصخور القادة. توضح خريطة الجاذبية بالشكل (3-65) تغير في خصائص الصخور المتبلورة بطول موجى كبير ولا يدل هذا التغير على وجود مقياس صغير للخريطة الجيولوجية. ويكون ارتفاع ستونى رايدز (Stony Rapids) قيمة الجاذبية قريب جدا لعلاقة الظهور الكبير الجزئى لجسم النوريت ذات الكثافة العالية، ولهذا تعرضت المنطقة لنشاط اكتشافي لخامات معادن مثل النحاس والنيكل والكوبلت. ويدل النموذج الإقليمي لظهور جزء من النوراييت وامتداده جنوب غرب تحت ستونى رايدز. والشاذة الأخرى المشابهة فى القيمة هى بحيرة لسجر المرتفعة (the Lisger lakes high) والموجودة فى الجنوب الغربى ربما تدل على نفس التداخل من النوريت، وربما حدد بعض التمدن بها.



شكل (3-64):

ويختلف تأثير الجاذبية بسبب التغير فى سمك الحجر الرملى تقريبا بواسطة الشاذات الكبيرة الناتجة من خواص الصخور القاعدة فمثلا سمك 500 متر من الحجر الرملى فوق صخور القاعدة $\rho = 2.75 \text{ جم/سم}^3$ ينتج شاذة جاذبية 7 ميلليجال والتي تكون صغيرة جدا بالمقارنة للمدى الحقيقى 60 ميلليجال لصخور القاعدة.

الحسابات السابقة تتبع صيغة الجاذبية للوح لانهاى ($\Delta g = 2\pi Gt\Delta\rho$). وفي الحقيقة فإن هذه الاقتراحات تبين أن شاذات الجاذبية عبر الحجر الرملى لها علاقة بصخور القاعدة المتحولة فالجاذبية العالية ترتبط بصخور النوريت والبركانيات المتحولة، بينما الجاذبية المنخفضة تبدو علاقتها بالجرانيت القلوى. وهذا المثال يوضح وجهة نظر أنه بالإضافة لنتائج الجاذبية يكون من المستطاع استقراء مساحات جيولوجية لصخور قاعية غير معروفة من المساحات المعلومة.

13.3 الكشف المعدنى Mineral Exploration:

يستخدم المسح الجاذبى لوظيفتين فى التنقيب المعدنى.

- 1- البحث والكشف عن جسم الخام.
- 2- تعيين جسم الخام لتحديد وزن الخام بالطن.

اكتشاف رسوبيان فارو للرصاص والزنك فى يوكون بشمال كندا

Discovery of Faro Lead-Zinc Deposit, Yukon:

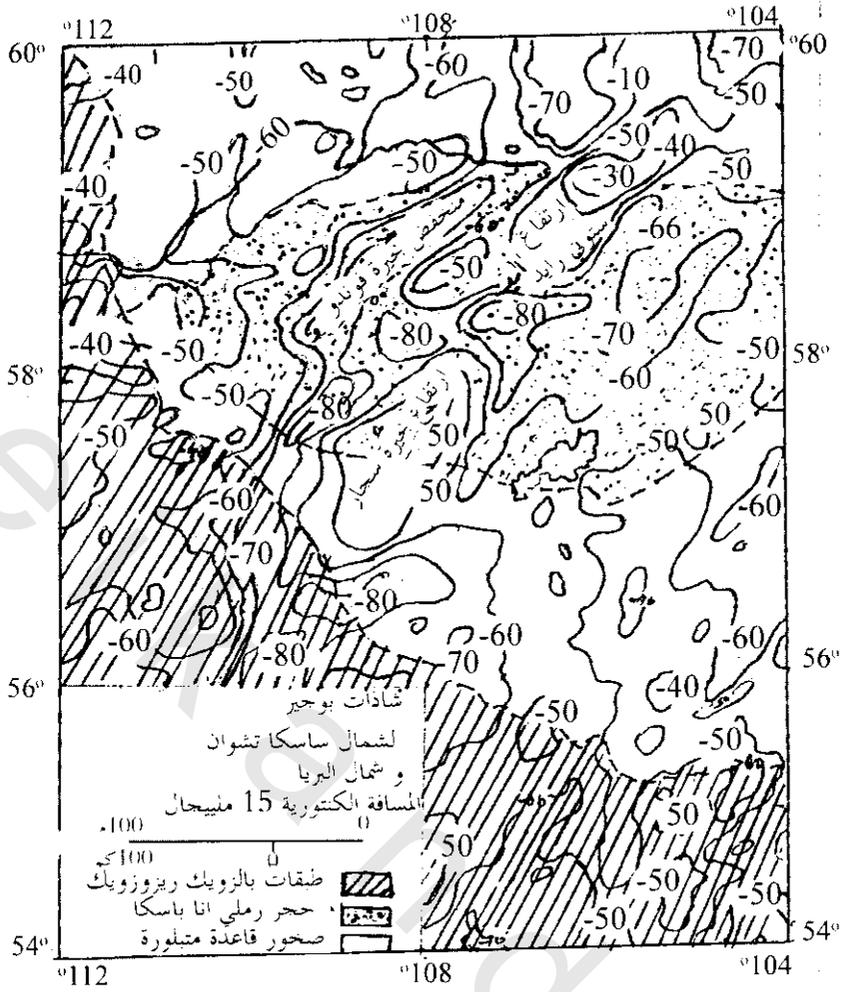
أدى التنقيب الجيوفيزيائى المجمع ما بين المسح الجوى والأرضى والتي منها المسح الجاذبى إلى إكتشاف رواسب فارو Faro للرصاص والزنك فى يوكون Yukon بشمال كندا. وقد وجد أن الجاذبية من أحسن الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة لتعيين أجسام الخامات شكل (3-66) وقد إستخدمت أيضا لتحديد وزن الخام بالطن والتي قاربت قيمتها من القيمة المستنتجة من الحفر ويلاحظ أنه فى بعض المناطق (سورتون تورز، وارتمور Sourton Tores, Dartmor) بجنوب غرب إنجلترا لم تنجح طريقة الجاذبية فى إكتشاف الخامات للأسباب الآتية:

- 1- أن مقياس التمعدين مركزة فى عروق ذات إتساع عدة أمتار قليلة شكل (3-67).
- 2- حساسية جهاز الجاذبية غير كاف لتوضيح فروق الكثافات الصغيرة بين تمعدن الكيريت والصخور المحيطة.

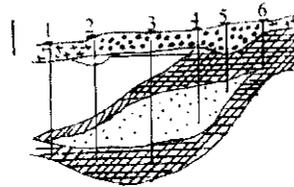
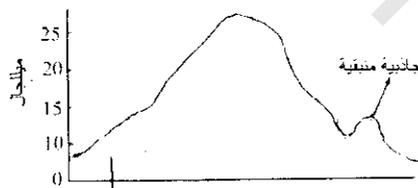
14.3 تحديد سمك التلاجات Glacier Thickness Determination:

للحصول على معلومات عن عمق وحجم الثلج فى مناطق مثل انترككتكا وجرين لاند (Antarctira and Greenland)، تم عمل مسح إقليمى جاذبى لها ثم عمل قياسات فوق الواح ووديان ثلجية، ويمكن بسهولة قياس الشاذات الجاذبية فوق هذه المناطق وذلك للفروق الكبير بين كثافة الثلج (0.92 جم/سم^3) ومتوسط كثافة الصخور المحيطة بها (2.67 جم/سم^3)، وبذلك يمكن قياس قاع بروفيل كتلة الثلج (تضاريس التلاجات السفلية) والتي تأخذ شكل تضاريس الصخور أسفلها.

ومثال لذلك تلاجت سالمون (Salmon) فى برتس كولومبيا (British Columbia) شكل (3-68) والتي فيها تم المسح الجاذبى للتأكد من قاعدة بروفيل التلاجات قبل حفر طريق نفق تحتها.

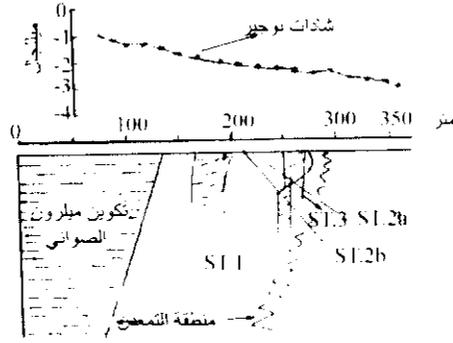


شكل (65-3):



- | | | | |
|---------------|--|---------------|--|
| كتلة كبريتية | | غطاء صخري | |
| جرافيتك شيبست | | جرانيت | |
| فيللايت | | سبركايت شيبست | |

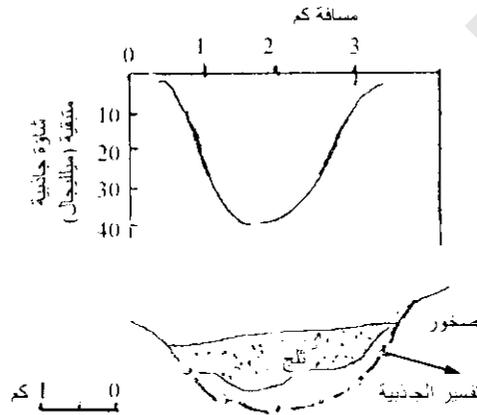
شكل (66-3): قطاع عرضي جيولوجي وبروفيل جانبي لرسوبيان فارو في يوكون Yukon بشمال كندا



شكل (3-67): بروفيلات شادات الجاذبية عبر منطقة تمعدن في حجر صوان منطقة (سورتن تورز ، وأرتمور Sourton Tores) Dartmor & بجنوب غرب إنجلترا توضح عدم تفرق الشادات

من شكل (3-68) يلاحظ أن الشادة المتبقية عبر الثلجة تصل إلى قيمة صغرى مقدارها 40- ميللجال بدقة تصل إلى $2 \pm$ ميللجال بسبب التقدير الغير مضبوط لتصحيح التضاريس والكثافة المقدرة للصخور المحلية 2.6 جم/سم³ والعمق الناتج من هذه الكثافة عبر بروفيل الثلجة يعطى 10% بالمقارنة من القيمة المقدرة من الحفر وباعتبار التقريب المأخوذ في الحساب تكون النتيجة ملائمة. وبالإضافة فإنه وجد أن متوسط الكثافة المجاورة للصخور منخفضة نوعا ما (2.55 جم/سم³). وهذا يدل على وجود سمك معين لكثافات رسوبيات جليدية منخفضة بين أسفل الثلجات والصخور أسفلها. وربما بإتخاذ نماذج يفسره على نتائج مصححة تماما للتضاريس فإن الفرق يقل. وباستخدام طرق جيوفيزيائية أخرى وبالمقارنة بين نتائجهم ونتائج الجاذبية* إتضح أن سمك الثلج يتراوح 10% من السمك الحقيقي. أما إذا إستخدمت طريقة الجاذبية عبر أسماك كبيرة للثلج فإنها تعطي نتائج أقل من الحقيقة للأسباب الآتية:

1- الأخطاء الكبيرة تعود إلى التحديد غير الدقيق لسطح الارتفاعات. وعموما هذه الارتفاعات يجب أن تحدد ما بين 5-10 متر.



شكل (3-68): بروفيل شادة متبقية عبر ثلجة سالمون (Salmon) بيرنش كولمبيا مع نتيجة بروفيل سمك الثلج (نتيجة الحفر)

* وحدة الجاذبية في هذه الحالة = 1/10 ميللجال.

2- فى التصحيحات المضبوطة للتضاريس السفلية للتلج تتغير بواسطة مئات الأمتار (فى المناطق التى لم يستخدم تحكم صدى موجات الراديو). وأى خطأ يحدد سمك الثلج لكل عمق 100 متر للقاعدة الصخرية فإنها تنتج خطأ مقداره ± 74 وحدة جاذبية**.

3- وكما فى جميع المسح الجاذبى فان تقدير تصحيح بوجير يكون ايضا ذات أهمية إنتقادية. وتعوق الألواح الثلجية جميع الصخور المحلية، ولكن محليات قليلة، وجيولوجية الثلج التحتية، والكثافات المصاحبة لها ربما تكون مهمة جدا.

ومن تطبيقات الجيولوجيا الثلجية الأخرى لطرق الجاذبية إستخدام مقياس الجاذبية (الجرافيمتر) لقياس نذبذبة المد المحيطى بواسطة الحركات الرأسية لألواح الثلج العائمة فى الدائرة القطبية الجنوبية.

15.3 التطبيقات الهندسية Engineering Application:

عادة ما تكون المواقع الهندسية المراد فحصها جيولوجيا مساحتها صغيرة لاتتجاوز مئات الأمتار المربعة وأعماقها ضحلة (أقل من 50 متر). وتبعاً لذلك يكون التحليل للقياسات الجاذبية المطلوبة من مرتبة ميكروجال. وعامة ما تستخدم الجاذبية لتحديد امتداد الإضطرابات الأرضية حيث تفشل الطرق الجيوفيزيقية الأخرى بسبب الكهربية العالية أو الشوشرة الصوتية أو بسبب وجود عدد كبير من المنفعة العامة تحت الأرض. وبالإضافة لذلك تستخدم الجاذبية لتقدير حجم الشواذ الأرضية مثل حجم الكهوف تحت الأرض أو العدسات الثلجية فى مناطق دائمة التجمد.

ومن ضمن مشاكل الجيولوجيا الهندسية التى شاركت طرق الجاذبية وبعض الطرق الجيوفيزيقية الأخرى هى:

- 1- تحديد مواقع المحاجر والمناجم القديمة وكذلك التجويفات والتى تعتبر مخاطر للناس والأماكن وخاصة عندما لاتوجد تسجيلات لهذه المواقع.
- 2- دراسة المساحات المراد إقامة منشآت سكنية كبيرة أو مشاريع كبيرة عليها لمعرفة الظواهر الجيولوجية التى ستقام عليها.

1.15.3 إكتشاف المحاجر المملوءة مؤخرًا Detection of Back-Filled Quarres:

إذا وجد فرق فى الكثافة بين المادة المألنة للمحاجر القديمة والصخور المحيطة بها فمن الممكن بنجاح إستخدام مسح جاذبى بمقياس صغير (مليجال أو ميكروجال) لتحديد تلك المحاجر والمثال التالى يبين ذلك. إقترح إنشاء خط حديدى بإنجلترا عبر منطقة تحتوى على عدة محاجر قديمة للحجر الرملى (من أواخر القرن التاسع عشر) وكانت مملوءة بالمواد الرخوة. وكتصميم القطاع للخط الحديدى يشمل قطع وتغطية نفق ولذلك كان من المهم جدا تحديد أوجه المحاجر بدقة جيدة.

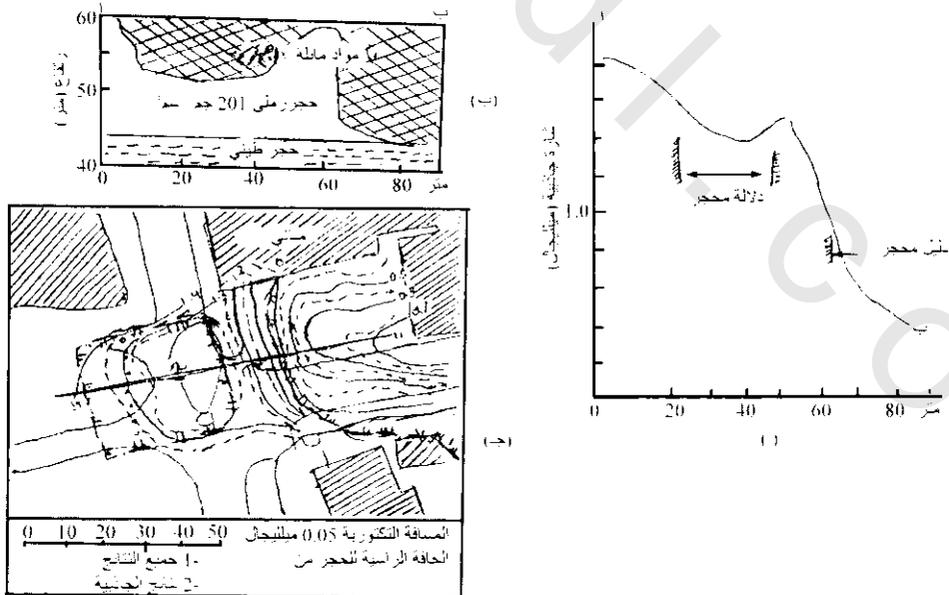
** وحدة الجاذبية فى هذه الحالة = 1/10 ميليجال.

كان للفرق الكبير للكثافة بين المواد المألوفة الرخوة للحجر (1.65 جم/سم³) والحجر الرملي المحلي (2.1 جم/سم³) وأيضاً كان للتقاطع الصليبي للموقع بواسطة عدد هائل من الأنابيب والكابلات تحت الأرض والمواد السطحية الحاوية على كميات كبيرة من الخردة المعدنية، لذلك كان من الناحية الغير عملية استخدام الطريقة الكهربائية أو الكهرومغناطيسية أو المغناطيسية وأيضاً استخدام الطريقة السيزمية غير مجدى لوجود مستويات عالية من الشوشرة الصوتية الناتجة من الحجم الكبير لحركة المرور أثناء العمل اليومي والنقص الفراغى بسبب إمتداد التغطية البنائية. وعليه اختيرت طريقة الجاذبية وأجريت بين ساعات منتصف الليل إلى الساعة 6 صباحاً وذلك لتجنب الذبذبات الناتجة من حركة المرور ومنشأة الصناعات الثقيلة. وأنتج الفرق في الكثافة بين المواد المألوفة والحجر الرملي المحلي (0.5 جم/سم³) شاذة ثقافية متبقية من رتبة (0.7 ميللجال). وقد وضحت شاذات نتائج الجاذبية المتبقية مع نتائج بئر بالمنطقة ودراسة الآثار بها مكان لوجهى المحجر كما فى شكل (3-69).

2.15.3 كشف الكتل الثلجية فى تضاريس تربة دائمة التجمد

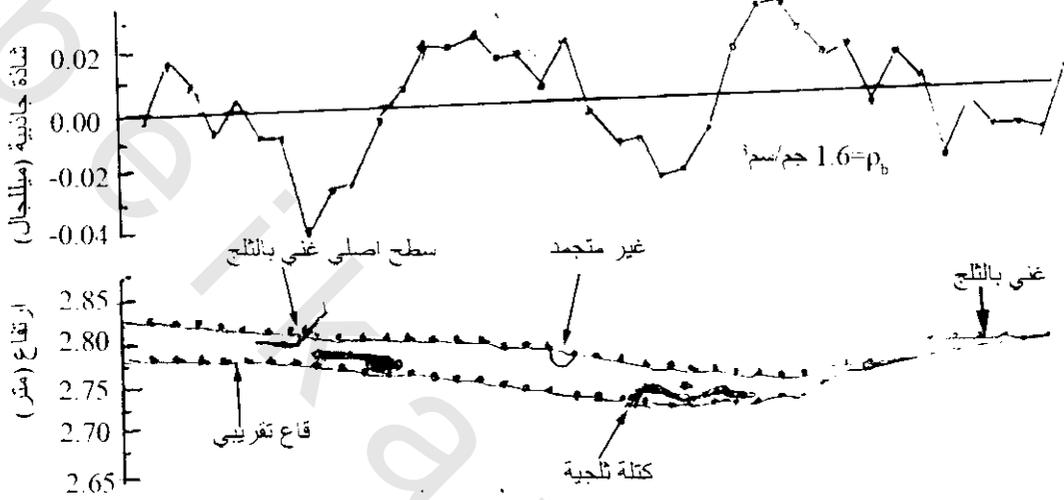
Detection of Massive Ice In Perma Frost Terrain:

عادة ما تشكل الكتل الثلجية المذابة المصاحبة للتربة المتجمدة مشاكل هندسية وبيئية حادة ولذلك فانه من المهم جدا تعيين مثل هذه الظواهر الأرضية. وضح كوساكي وآخرين Kawasaki et al. 1983 مثال لإستخدام المسح الجاذبي لكشف وجود حجم الكتل الثلجية فى مساحة من تربة متجمدة عند منطقة كريك Creek الهندسية بالقرب من فيربانكس Fairbanks بالاسكا Alaska على طول مسار قاطع لطريق مقترح. فمن المعلوم أن الأجسام الكبيرة من الكتل الثلجية مثل الموجودة خلال الهضبات الثلجية الكبيرة تعطى دلالة للشذات الجاذبية (ماكى 1967 Machay، ربتون وولكوت 1974 Ranptan and Walatt حيث أن التربة المتجمدة بدون تواصل تلجى متقاطع لها كثافة 1.6 جم/سم³ بالمقارنة بكثافة الثلج



شكل (3-69): أ) بروفيل متبقية جاذبية عبر محجر حجر رملي مملوء، ب) القطاع الجيولوجي، ج) رسم لحظة النفق

الصلب (0.88-0.9 جم/سم³) وبالنسبة للتربة الألسكن Alaskan النموذجية تكون الكثافة (1.35-1.7 جم/سم³) وهذا يعطى كشف الشاذات المتبقية إذا قيست بجرافيمتر ذات حساسية كافية. وقد وضح كواساكي Kawasaki وزملاءه أيضا أن الكتل الثلجية ممكن اكتشافها بواسطة المقارنة للجاذبية الصغيرة على طول البروفيل الموضح فى شكل (3-70) وأيضا كانت القياسات حساسة للتغير فى الكثافة خلال صخر الأساس (الشيست).



شكل (3-70): بروفيل جاذبى عبر كتلة ثلجية أرضية فى طريق مقطوع عند كريك الهندسى بالقرب من بالاسكا

وتعتبر طريقة الجاذبية أداة ممتازة لتفسير واضح لإنشاء مواقع لتوقعها وجود الكتل الثلجية ولكنها طريقة بطيئة جدا لإستخدامها كأداة إستطلاعية عبر البروفيلات الطويلة.

3.15.3 الكشف عن الكهوف التحت أرضية والآثار

Detection of Underground Cavities and Archeology:

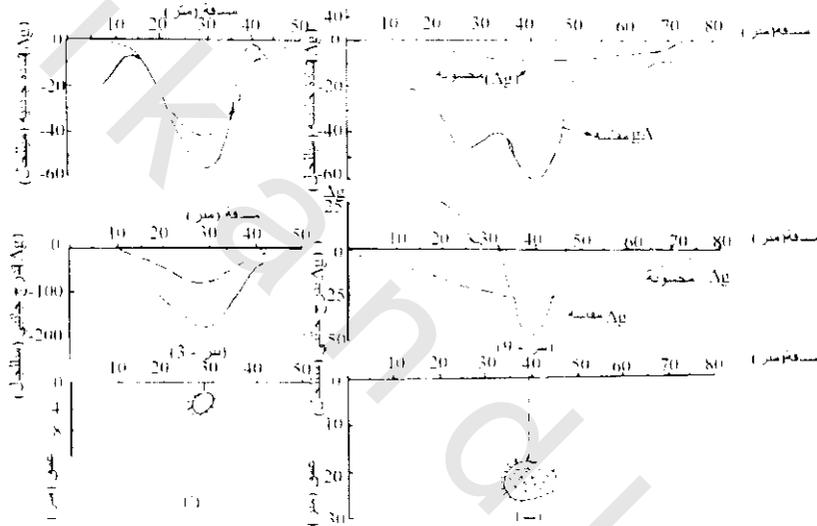
من الممكن أن تكون الفجوات الدقيقة القريبة من السطوح خطيرة جدا خلال أعمال الحفر فى مناطق غير معلومة أو إذا كانت واضحة بواسطة هبوط الأرض التى تعلوها. فى كثير من المسوح الهندسية والهيدروجيولوجية تم اكتشاف الكهوف المتوقعة بإستخدام طريقة الجاذبية (ميكوجرافتى) (كولى 1963 Kolley) وزادت أهمية هذه الطريقة فى البحوث الأثرية كما تم فى الكشف عن السرايب والممرات فى الأهرامات المصرية.

1.3.15.3 الكهوف الطبيعية المخفية Hidden Natural Cavities:

بواسطة مثال تطبيقى لمسح بالميكوجراف قام فكلفسز Fajklenaz 1986 باكتشاف كهف تحت أرضى. وكذلك عبر عدة سنوات فسر تأثير الجاذبية لكلا من الكهوف الطبيعية والصناعية وساعد فى تحسين طريقة للكشف، موضوعة على أساس التدرج الرأسى لمجال الجاذبية. وقد وجد أن سعة الشاذة الجاذبية عامة أكبر من المتوقعة ومازالت أسباب هذا غير واضحة. وتمت عملية المسح الميكوجرافيتى لإندروكلو Inowroclaw ببولندا شكل (3-71) حيث توجد كهوف أحجار جيرية ذات مجار جوفية واسعة على أعماق حوالى 40 م فى

الجبس والأنهيدريت والحجر الجيري والدولوميت وكان من نتائج نمو هذه الكهوف إتجاه سطح الأرض هو تلف وهدم حوالي 40 مبنى بالمدينة وفرق الكثافة الطفيف بين الكهوف والمواد المحيطة بها (1.8 جم/سم³، 1.0 جم/سم³) شكل (3-71) يرجع لوجود صخور البرشيا خلال الكهوف. وقد فسر فاجكفسز Faklewicz أن الكهف في شكل (3-71ب) لم يكتشف بفرض أن مجاله الجاذبي يرجع كلية إلى كهف كروي كما في الشكل.

وبرغم أن الشاذة الجاذبية النظرية من التدرج الجاذبي الرأسي مازالت غير كافية للدلالة على وجود كهف فإن شاذة الجاذبية الملاحظة لاتزال علامة كلية كافية. وينفس الإقتراح يمكن إستخدام التدرج الجاذبي الأفقي dg/dx ، $\Delta g/\Delta y$ ، وفي هذه الحالة تصل نقطة الجاذبية لأقل أو أعلى قيمة. وعندما تصل نقطة التدرج للصفر فإن هذا يدل على أن هذه النقطة تمر عبر مركز الجسم المسبب للشاذة (بوتلر 1984 Butler)، ومثال ذلك شكل (3-72) والمعطى بواسطة جاستن وجرام 1984 Gasten and Gram حيث نتاج الجاذبية في منجم



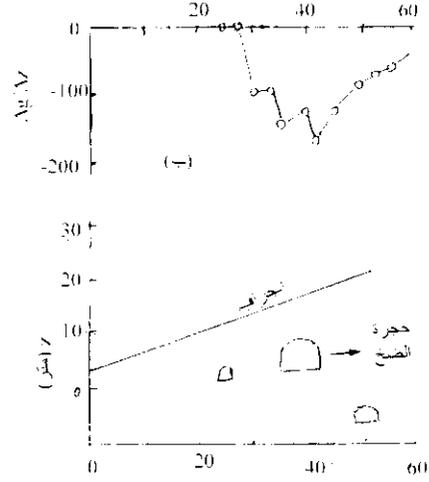
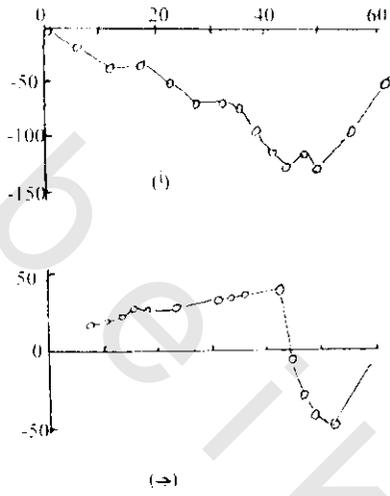
شكل (3-71): Δg_z ، Δg شاذات جاذبية (ميكروجال)، وشاذات تدرج جاذبي في شكل أ الكهف مملوء هواء (بتر-3) وفي شكل ب الكهف مملوء بفتات صخرى (بتر 4)، (فاجكفسز 1986 Fagkiewicz)

فحم عميق على طول ميل جرف يمر بزاوية قائمة عبر فجوة الضخ. وأكثر من هذا، يمكن إستخدام الميكروجرافتي لتحديد معدل وامتداد نمو القوى المتراخية حول أعماق الحفر شكل (3-73) فاجكفسز 1986 Fajkiewicz & Gluskoetal 1981 حيث أن تشقق الصخور ينشأ من تراخيها ميكانيكيا لذلك تقل كثافتها الحجمية وإذا استمرت ونمت التشققات فإن التغير في الكثافة كمعامل زمن ممكن كشفه باستخدام ميكروجرافيمتر حساس وعندئذ يعمل نموذج لذلك.

2.3.15.3 البحث عن الآثار Archeological Investigations:

أعطى بلزمكوفسكى Blizkovsky مثال كيف أن المسح الميكوجرافيتي بعناية أشار لوجود سراديب متوقعة في كنسية St. Venceslas بتوفاكوف بتشلوسيوفاكيا والتي ثبتت أخيرا بأعمال الحفر، تتكون النتائج من 262 قيمة مقاسة بدقة بلغت 11 ميكروجال على شبكة 1 م² أو 4 م² مصححة بالنسبة لجاذبية حوائط المبنى

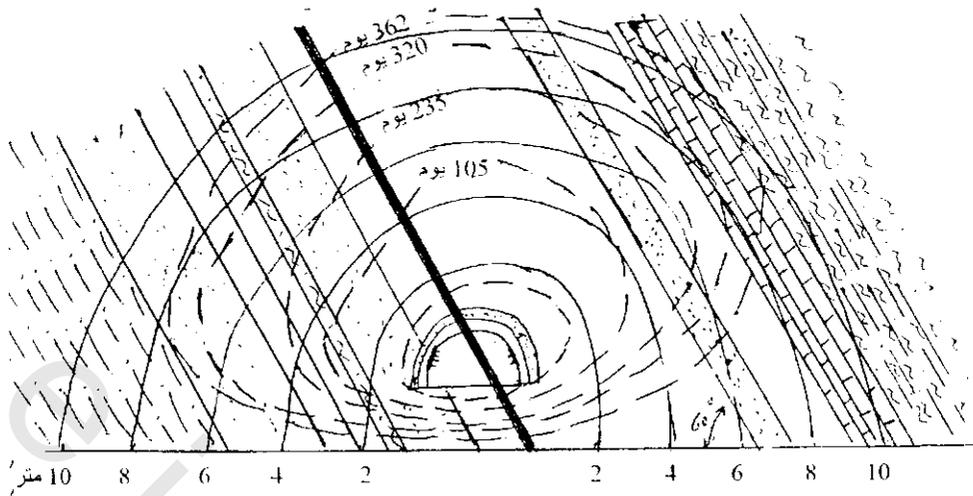
شكل (3-74) وحدد موقع جاذبيتين مهمتين منخفضتين بسعة نسبية قدرها 60 ميكروجال والتي دلت على قصور كتلي مصاحب للسرديب الغير معروفة سابقا.



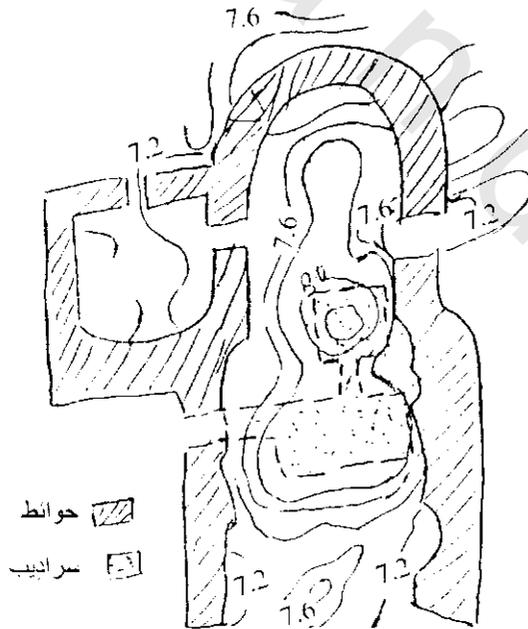
شكل (3-72): مسح ميكروجاذبي في منجم عميق للفحم مفاصة على طول جرف قاطع حجرة الضخ Pump room (أ) يوضح بروفيل لجاذبية ملاحظة متبقية، (ب) جاذبية رأسية مندرجة ملاحظة ومحسوبة، (ج) جاذبية أفقية مندرجة، (د) أماكن تحت أرضية لتجاويف معروفة من سطح المنجم (جاستن جرام 1984 Gasten and Gram)

16.3 التطبيق الهيدروجيولوجي: Hydrogeological Application

لاستخدم طرق الجاذبية بكثرة كالطرق الكهربائية في البحث والتنقيب عن المياه الجوفية ولكن مازالت تمثل أساس هام في ذلك (كارميشيل وهيني 1977 Carmichael and Henny). ويكون استخدامها العادي بكثرة للكشف عن الصخور ذات الكثافة المنخفضة والتي تعطي فكرة عن الطبقات الملائمة الحاملة للماء مثل الرواسب النهرية في صخور الوديان المدفونة (لوناكس وكاريسون 1967 Lonnx and Carison & فانأوفر ميرن Van Overmeern 1980). وقد عرفت وديان مدفونة والتي كانت مقطوعة مع صخور أساسية أخرى أو مع حدث جليدي مصاحبة لنهر ساسكششوان الجنوبي South Saskatchewan بواسطة تأثيراتها الجاذبية (هال وهاجنال Hall and Hajnal 1962). وتوضح الشاذة الجاذبية عبر مجرى وادي النهر أقل إتساع ملحوظ عن الموجود للوادي اليوم وأكثر من هذا يمكن إستخدام شاذات جاذبية الجرافيمتر كمراقب لتأثير تغير مستوى المياه الجوفية فمثلا يكون التغير في الجاذبية بمقدار 170 ميللجال ناتج عن صخور ذات مسامية 33% ومعامل احتباس 20% وتغير في مستوى الماء الجوفي مقداره 30 متر. ولهذا يمكن إستخدام الجرافيمتر لمراقبة هذا التغير الصغير في قيمة الجاذبية عند المكان المراد دراسته والتغير الوحيد في الجاذبية بعد تصحيح انحراف الجهاز والمد الأرضي يكون لكمية الماء المتخلخلة في الصخور. وتبعاً لذلك فإن أي طبقة حاملة للماء معروفة الشكل يكون تغير القياس في الجاذبية مع صلة ملاحظات محدودة لمستوى الماء الجوفي عند قليل من الآبار يمكن ترجمتها إلى تفجير معامل إنتاج الطبقات الحاملة للماء. وبالمثل يمكن إعادة قياسات الجاذبية لتقدير حجم الإنخفاض (الهبوط)، ودرجة تشبع منطقة المجرى (الس وهنت 1986 Allis and Hunt). وأمكن بنفس الطريقة تقدير حجم التغذية لحقل (وراكي Warakei الحراري بشمال نيوزيلاندا Newzealand هنت 1977 Hunt).

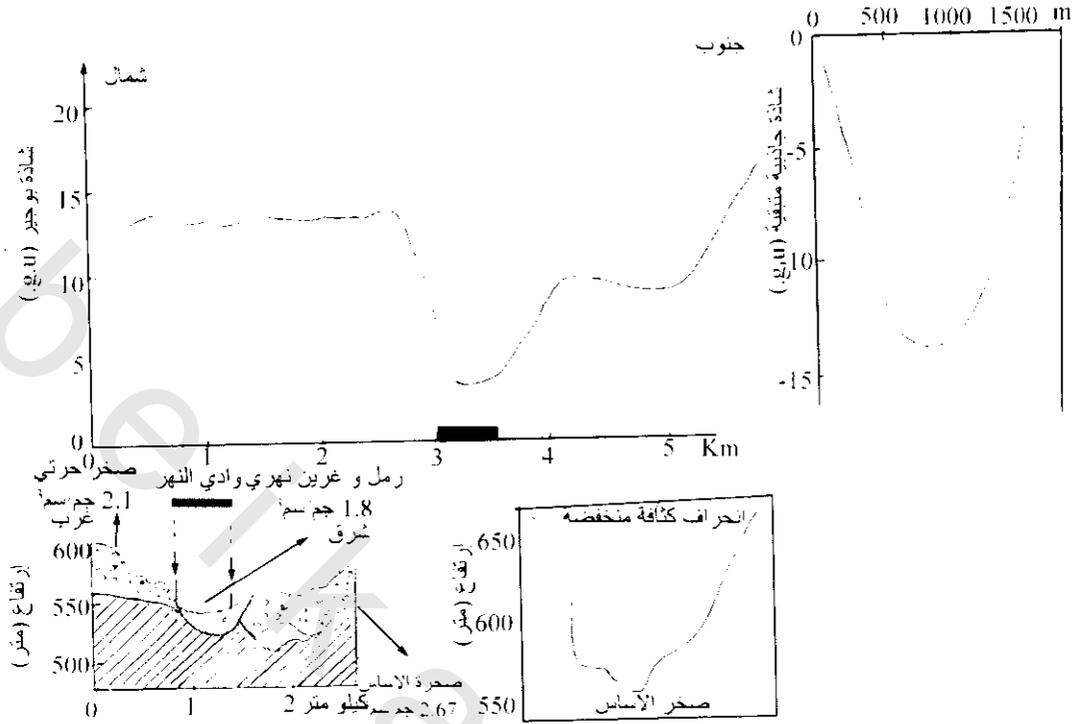


شكل (73-3): علاقة بين الوقت المعتمد على قوة تكسونكوف كليري في حوض دون الإرتخاء حول قاعة كبيرة تحت الأرض على عمق 540 متر والمستنتجة من مسح ميكروجرافيتي في Tckesnokov cColliery in the Don Basin عبر فترة بلغت 363 يوم (جليسكوتال 1981 ، فاجكسفز 1986 Fajklavicz)



شكل (74-3): خريطة ميكروجرافيتي على كنييسة Stivencelsas بنرفاكوف بتشيكوسلوفاكيا توضح علامات الشاذات

شكل (75-3) وهذا يدل على وجود مواد أقل كثافة حيث وجد تتابع صخري (غرين وطمى ورمل) بواسطة الحفر.

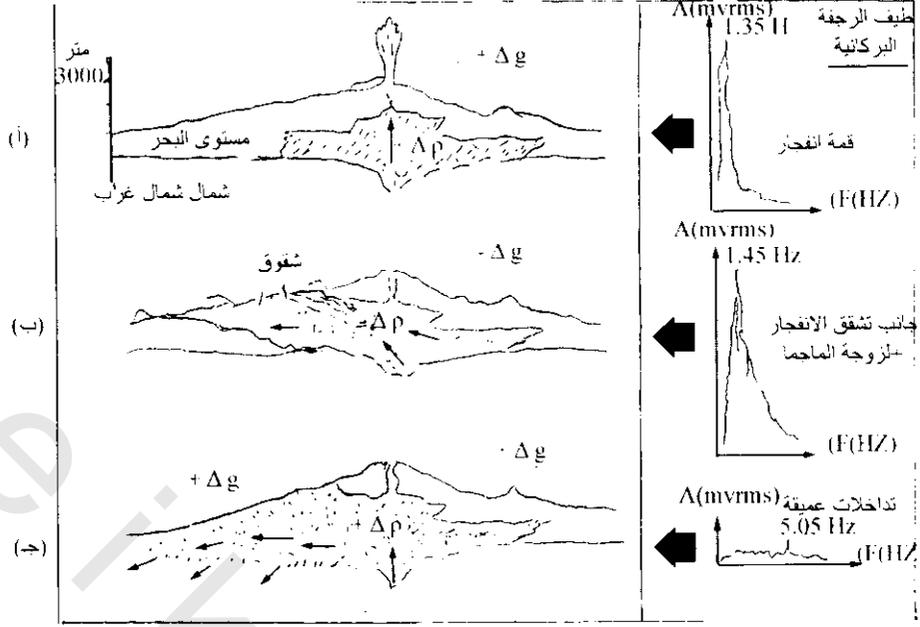


شكل (3-75): شاذة بوجير عبر وادي نهر جنوب ساسكاتشوان والقطاع الجيولوجي عبر الجاذبية المنخفضة (هال وهاجنال Hall and Hajnal 1962)

17.3 مخاطر البراكين Volcanic Hazards

بظهور أجهزة وطرق مسح عالية الدقة وبإمكانية جرافيمترات حساسة جدا أمكن مراقبة التغير في إرتفاع جوانب البراكين النشطة وأبعد من هذا يمكن توقع الإضطرابات المقبلة وغالبا ماتصاحب هذه الدراسة مراقبة سيزمية (كوسنتينو وآخرين 1989). وقد أجرى ساندerson وآخرين (Sanderson et al 1983) مثل هذه المراقبة الجاذبية مع برنامج قياس المناسيب على جبل إتنا Etna بـ Sicily خلال الفترة من أغسطس 1980 إلى أغسطس 1981 وخلال هذا الوقت أخذت جوانب الإضطراب البركاني مكانها (17-23 مارس 1981) وكان من نتائجها إنسياب الحمم وبالتضييق على إنسيابها لم تصل مدينة راندازو Randazzo. وقد وضع شكل (3-76) عدة قطاعات لرسم تخطيطي لثلاث مستويات من شقوق الإضطرابات.

وقد فسّر التغير في الجاذبية المصاحبة لزيادة الإرتفاع كحقل (إنيتاس) لصهارة جديدة على عمق 1.5 كم خلال تداخل سد حديد (شكل 176). ويلاحظ النقص في الجاذبية عندما تأخذ الإضطرابات مكانها بسبب النقص في المواد (شكل 76ب). وكذلك تفسر الزيادة في الجاذبية بدون أى زيادة في الإرتفاع بسبب زيادة كثافة الصهير بواسطة فرض قوة موضعية جديدة عند الأعماق (شكل 76ج). أما ازدواجية تغير الجاذبية (≈ 2-25 ميللجال) مع التغير الجديد في الإرتفاع (> ≈ 20 سم) فهذا يبرهن على معنى التحديد خلال انفجار البركان بتداخل مواد جديدة أو التغير في الكثافة التي تأخذ مكانها.



شكل (3-76): رسم تخطيطي لمراحل اضطرابات تشقق على جبل إتنا Etna بـ Sicily مع اتجاهات الجاذبية، ومع تطابق رجفة شعاعية بركانية (ساندرسون وآخرين 1938 Sanderson et al، كوسنتينو وآخرين Cosentino et al)

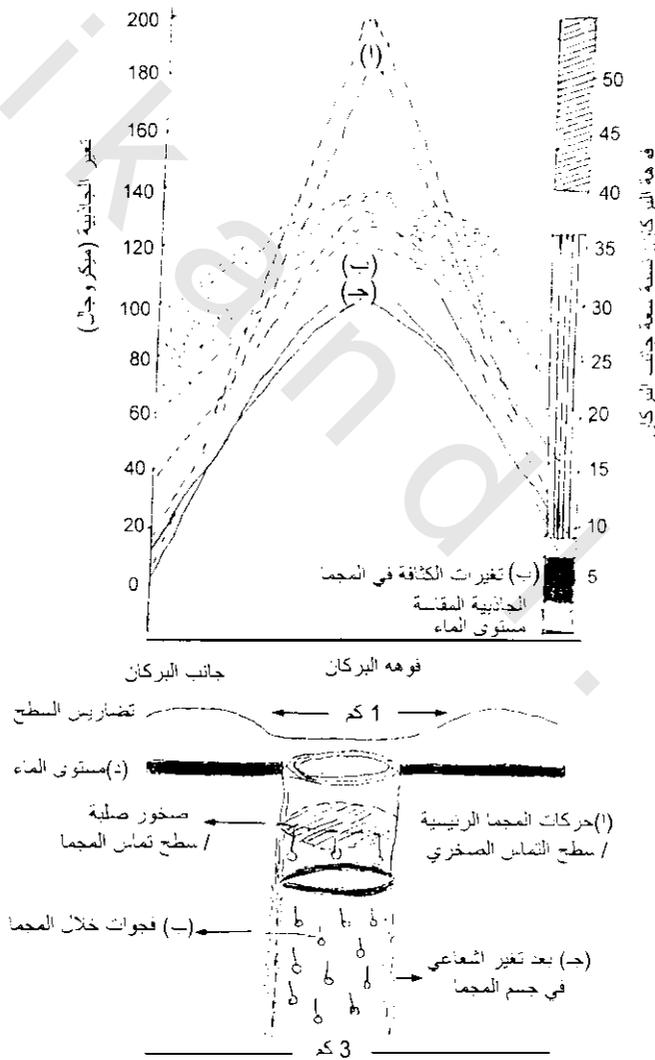
1989

لخص ريمر وبرو Rymer and Brow 1987 & 1989 تأثر الميكروجراف الناتج عن حركة الماجما على سطح التماس ودورة الفجوات مع عمود الماجما والتغير الشعاعي في أبعاد جسم الماجما لبركان بواس Poas في كوستاريكا Costa Rica في شكل (3-77). ويمكن تمييز العمليات الفردية الداخلية في هذه البراكين الخاصة بوضوح بواسطة استخدام نسبة تأثير الجاذبية عند كلا من جانب البركان والقمة، وأحيانا لا تكون كل الأنشطة تحت الأرض مصاحبة بعلامات سيزمية حيث دل تقرير الزيادة في الجاذبية عند جبل إتنا Etna بين يونيو 1990 و 1991 عن الزيادة الكبيرة في الجاذبية الملاحظة (من رتبة 10^{-7} ميللجال) حول قمة فوهة البركان وعلى طول منطقة استطلاعية تابعة لخط الشق المتكون أثناء الانفجار السابق 1989 حيث تداخلت المجما في الشقوق بعد ثورة هذا البركان (تحرك الماجما قبل وجود الشقوق يعتبر غير ذي فاعلية) لذلك لا يوجد تبعية للنشاط الزلزالي شكل (3-78) وذلك بدون الإعتماد على النشاط الزلزالي. وكان التغير في الإرتفاع السطحي بين 1990 & 1991 أقل من 3 سم وقيمة تغير الجاذبية أكبر من المتوقع على أساس تغير الإرتفاع فقط ويرجع ذلك لوجود بعض الزيادة في الكتلة تحت سطحية. وتبعاً لذلك فإن قياسات الميكروجرافتي مع مسح الإرتفاعات تنتج دليل على تواعد (تهديد) بثورة بركانية مثل ثورة بركان جبل إتنا Etna الأخير (16 شهر من 1991-1993) خلال هذا الوقت اندفعت الماجما خارجاً من قصبه البركان بمعدل 10 م³/ث ساعة هذا الثوران الهائل (ريمر 1993 Rymer & ريمر وآخرين 1993 Rymer et al). وبدأ تزويد مراقبة ثورة البراكين عن طريق وضع زوج مراقبة من جهاز ميكروجرافى مع نموذج واضح لتردد نشاط زلزالي (طيف رجفة بركانية) مثل الذى يحدث عند جبل إتنا Etna وذلك لمصاحبة عملياته. والآن كثير من البراكين الأخرى لها برامج مراقبة نشطة باستخدام تفسيرات الجاذبية، والسيزمية، والحرارية. أيضاً، يكون مراقبة انبعاث غازى اختبارى إضافة إرشادية ملائمة لقرب نشاط بركانى مثال لذلك (عمل بندك 1995 Penick على أعمال وليمز S. Williams).

إذا كان من الممكن الحصول على هذه النتائج المسابقة لبراكين مفردة مع الإتصال بالإنبعاث الحرارى المقاس بواسطة الأقمار الصناعية عندئذ يمكن إدراك احتمال تجديد إنذار لثورة بركانية وهذا يؤدي لتوقع أحسن للنشاط البركانى وبذلك يمكن تقليل المخاطر (ريمر وبراون & Rymer and Brown 1986 & Eggers 1987).

18.3 جاذبية بوجير وسك القشرة : Bouguer Gravity and Crustal Thickness

فى الجزء الأول من القرن العشرين اكتشف السيزمولوجيين المناطق الأساسية الداخلية للأرض ودلت الموجات الزلزالية الإنكسارية والإنعكاسية على أن الأربع طبقات متمركزة كما فى شكل (3-79) حيث تكون النواة من منطقتين الداخلية صلبة والخارجية سائلة ثم الستار الصلب ثم الغلاف الخارجى المسمى القشرة. وقد وضحت ظواهر جاذبية بوجير أساس التغير فى سمك القشرة



شكل (3-77): يوضح الشكل العلوى مقطع لتأثيرات الجاذبية المختلفة الناتجة عند جوانب وقمة بركان بواس بكوستريكا والظل يمثل معدل التغير فى تأثير الجاذبية) والنسبة للأثنين (واضحة جنباً بجنب فى الرواسب الحساوية الرأسية) والنتائج بواسطة عمليات جيولوجية مختلفة خلال البركان (الشكل السفلى) وهذه العمليات هي: أ) الحركة الرأسية لمجما على صخور التماس، ب) دورة الفجوات خلال عمود المجما ، ج) التغير الشعاعى للأبعاد فى عمود المجما، د) التغير فى منسوب المياه الجوفية (ريمر وبراون & Rymer and Brown 1987)

وبرغم أن الأفكار الأولية عن القشرة أنت أساسا من دراسة الموجات الزلزالية فقد عرف أن سمك القشرة تحت القارات يكون ما بين 30-60 كم والصخور المكونة للجزء العلوى يطلق عليها سيال (سيلكا والومنيوم) وكثافتها 2.1-3.8 جم/سم³ والصخور المكونة للجزء السفلى يطلق عليها سيما (حديد ومغنسيوم) وكثافتها 2.8-3.0 جم/سم³. وسمك القشرة تحت أحواض المحيطات ما بين 5-10 كم وتتكون كلية من صخور ماقنية mafic rocks (حديد - مغنسيوم). والحد بين القشرة والستار يسمى فاصل موهو ((Hohorovic (Moho)).

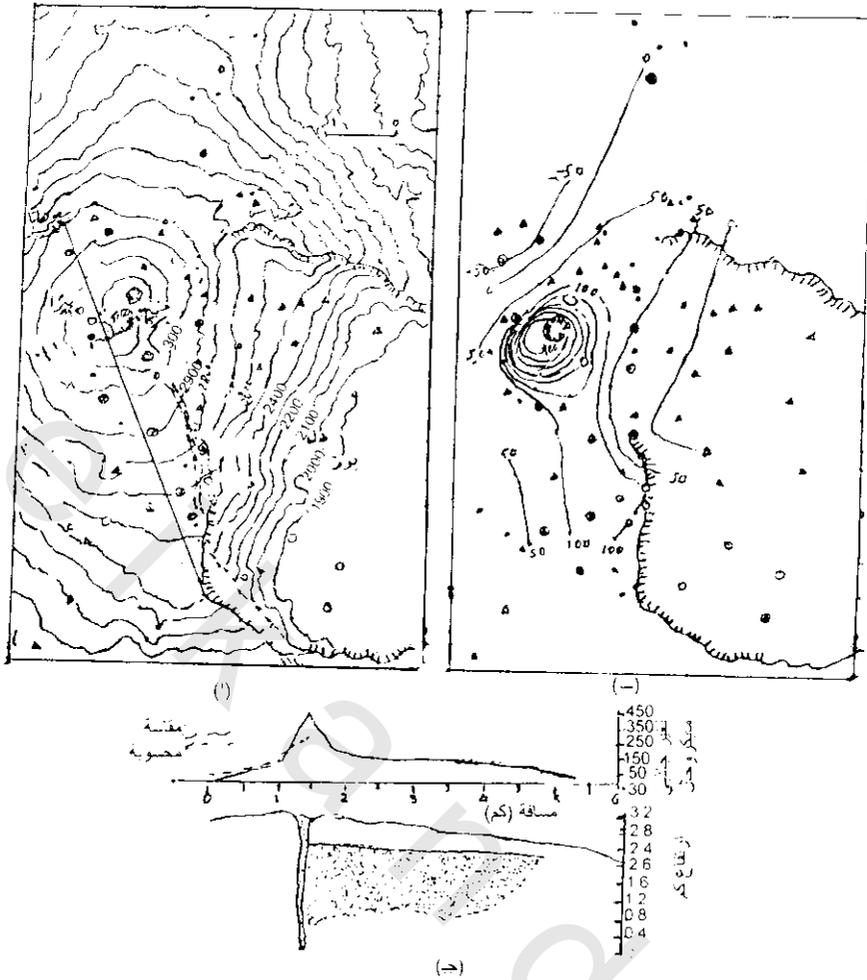
أهم ظاهرة للقشرة هي العلاقة بين متوسط السمك ومتوسط الإرتفاع عن سطح الأرض وهذه واضحة فى شكل (3-80 أ) والذى يوضح أن سطح القشرة يكون نموذجى مع مناطق الإرتفاعات. وأحيانا تكون القشرة رفيعة فى مساحات الأراضى المنخفضة وتصبح أقل سمكا تحت المحيطات حيث عند سطح الأرض الصلب عدة كيلومترات تحت مستوى سطح البحر. ويلاحظ أنه بالقرب من الشاطئ يقترب سمك القشرة إلى 32 كم. وتكون الظواهر المشاهدة فى شكل (3-80) نموذج للقشرة تحت القارات والمحيطات فى أجزاء أخرى من العالم.

من شكل (3-80) يلاحظ أن جاذبية بوجير تتأثر بواسطة التغير فى سمك القشرة، حيث أن الجاذبية المنخفضة (قيم سالبة كبيرة) تكون نموذج لمناطق القشرة السمكية والقيم الكبيرة والتي تقترب من صفر ميللجال موجودة فى مساحات الأراضى المنخفضة وتقترب إلى الشواطىء. وتميز القيم الموجبة الكبيرة مناطق المحيطات حيث تكون القشرة رفيعة جدا.

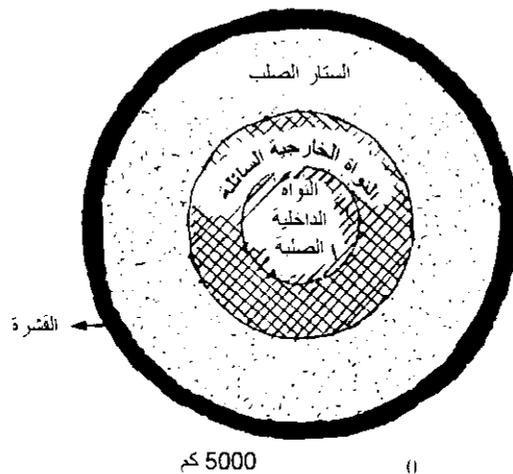
يساعد الشكل النموذجى شكل (3-81) فى كيفية تفسير أن الجاذبية تتجه للتغير العكسى مع سمك القشرة. وهنا وصفت القشرة كطبقة والتي تزيد فيها الكثافة من 2.67 جم/سم³ عند سطح الأرض إلى 3.0 جم/سم³ عند فاصل موهو وترتكز على ستار متجانس كثافته 3.3 جم/سم³. لذلك فإنه:

أولاً: بالنظر للقطاعات أ، ب والتي تقع عند إرتفاعات مختلفة لسطح الأرض فإن عملية حساب الجاذبية من القياسات الجاذبية عند هذه القطاعات تتم مع عمل الانضباطات التي تحسب لأى اختلافات ناتجة عن التسطح والدوران والإرتفاع والكتلة فوق مستوى البحر، ولكن لاتجرى أى انضباطات فالإختلافات الأخرى وهى متوسط الكثافة والتي تعتمد على التناسبات لكثافات صخور القشرة المنخفضة والكثافة العالية لصخور الستار تحت كل قطاع. لذلك فالخطوط الرأسية الممتدة لأسفل للقطاعات أ، ب لنفس العمق فى الستار أسفل مستوى سطح البحر، فيلاحظ أن الخط أ يمتد بنسبة أكبر خلال صخور القشرة من الخط ب دالا بذلك على متوسط كثافة أقل تحت أ عن ب، وهذا يوضح أن جاذبية التناقل الناتجة من اشتراك كل من القشرة والستار ستكون أصغر من أ عن ب ولهذا السبب فإن قيمة الجاذبية عند أ أقل من قيمتها عند ب.

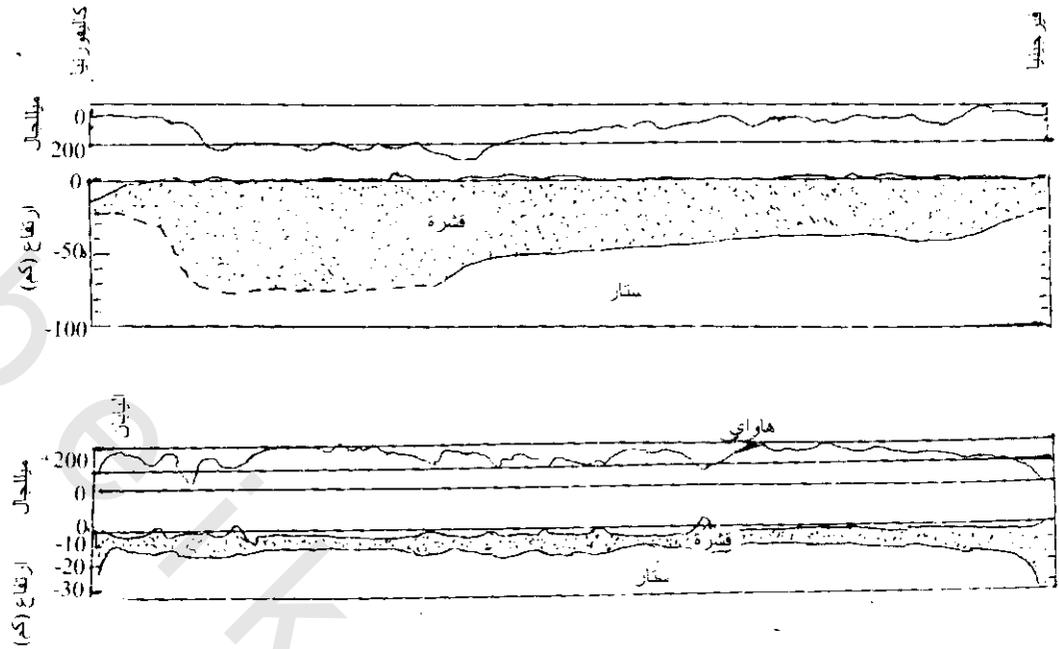
ثانياً: بالنظر بعد ذلك للقطاع د على جزء البروفيل عند المحيط وحيث أن القشرة رفيعة فإن الخط الرأسى يمتد خلال نسبة كبيرة من الكثافة العالية للستار. وينتج بذلك متوسط كثافة عالية لاشتراك القشرة والستار فيها بنسبة أقل للقشرة وأكبر للستار، وبالتالي تكون جاذبية بوجير عالية عند القطاع د بالمقارنة بقطاعى القارات أ، ب.



شكل (3-78): خرائط توضح: (أ) أماكن أجهزة الميكروجرافتي ومحطات مراقبة التشوه، (ب) خريطة ميكروجرافتي لمنطقة قمة بركان إتنا، المسافة الكنتورية 50 ميكروجال، (ج) أفضل نموذج لتغير الجاذبية المقاسة حيث تشمل 4 سدود وأنبوبة عميقة ذات قطر 50 متر مملوءة بالمجما عند بعض الوقت بين مجموعتين من القياسات في يونيو 1990 ويونيو 1991 (ريمر 1993 & ريمر وآخرين 1993)



شكل (3-79): النطاقات الداخلية للأرض.

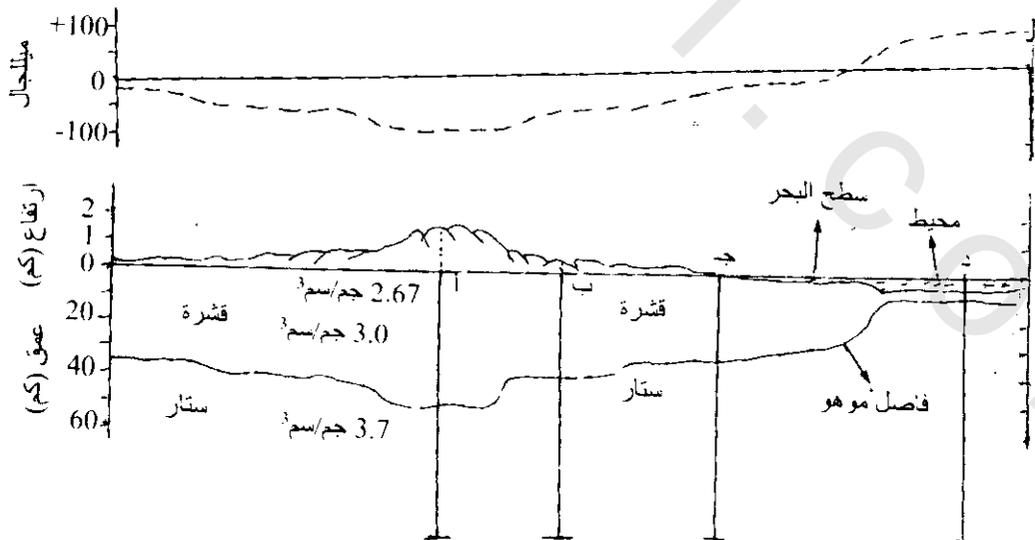


شكل (3-80): بروفيل لتغير جاذبية بوجير وسمك القشرة عبر (أ) الولايات المتحدة الأمريكية، (ب) شمال المحيط الهادى

ثالثاً: يقع المقطع ج على الشاطئ حيث يكون سمك القشرة حوالى 32 كم وتكون الجاذبية عنده مساوية للصفر لأن سطح الأرض يصل لمستوى سطح البحر عند الشاطئ ويختفى مصطلحى الكتلة والإرتفاع من معادلة بوجير.

$$\Delta g_B = \Delta g_{obs} + \Delta g_p \pm (0.3086 h \mp 0.04193 \rho h)$$

حيث g_p تصحيح خط العرض، h الإرتفاع بالمتر، ρ الكثافة (علاقتها بالكتلة).



شكل (3-81): بروفيل نموذجى يوضح العلاقة الإقليمية بين جاذبية بوجير وإرتفاع سطح الأرض وسمك القشرة. يوضح الإتجاه عبر مناطق كبيرة لجاذبية بوجير إلى التغير العكسى مع الإرتفاع وسمك القشرة

وقد دلت الدراسات السيزمية على أن سمك القشرة عند أغلب الشواطئ حوالى 32 كم وهذه توضح لماذا تتراوح قيم الجاذبية ما بين 20+ & 20- ميللجال حول الصفر عند المساحات الشاطئية، وعند بعض الأماكن الأخرى والتي تتراوح فيها سمك القشرة حوالى ٣٢ كم. وهذا يوضح أن القشرة لها تأثير عميق على تغير جاذبية بوجير الإقليمية. وقد تصل قيم الجاذبية إلى -2000 ميللجال أو أقل فى مساحات الأراضى العالية حيث يصل سمك القشرة لحوالى 60 كم ولكن تزيد قيمة الجاذبية إلى +200 ميللجال أو أكثر عند قشرة المحيط والتي يبلغ سمكها حوالى 5 كم. وتشارك ظواهر المقاييس الجيولوجية الكبيرة للقشرة فى تغير جاذبية بوجير الإقليمية حيث فروق الكثافة والتي لها علاقة بالفوالق الكبيرة والاختلاف الإقليمي فى سمك الرسوبيات المتجمعة فى أحواض واسعة ممكن أن تنتج نماذج لجاذبية بوجير كأنها عدة عشرات من الكيلومترات الواسعة.