الأسبوع الأول (١-١٢)

الجامعة الســـورية الخاصة
كلية هندسة البترول- السنة الرابعة
الفصل الثاني

جيو فيزيا

د.زياد سلوم

السعر: ٧٠٠

٢٠١٥/٢/١٤

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

الفهرس

	الصفحة
الفهرس	2
الجيوفيزياء التطبيقية	4
الفصل الأول: طرائق الجاذبية	6
1-1- مقدمة	7
1-2- جاذبية الأرض	7
1-3- كثافة الصخور والفلزات	9
1-4- شواذ بوغيه	10
1-5- مقاييس الجاذبية	14
1-6- المسح الجاذبي	16
1-7- تفسير المعطيات	16
1-8- الأجسام اللامنتظمة	21
1-9- أمثلة على تفسير المسح الجاذبي	22
الفصل الثاني: طرائق المغنطيسية	29
2-1- مقدمة	30
2-2- أصل الحقل المغنطيسي الأرضي	30
2-3- وحدات قياس الشدة المغنطيسية	32
2-4- تغيرات الحقل المغنطيسي الأرضي	33
2-5- المبادئ الأساسية	36
2-6- العناصر والفلزات المغنطيسية	38
2-7- المتأثرية المغنطيسية في الصخور	38
2-8- مغنطيسية الصخور	39
2-9- التأثير المغنطيسي للأجسام المغنطيسية هندسية الشكل	39
2-10- مقاييس المغنطيسية	48
2-11- طرائق المسح المغنطيسي	50
2-12- تفسير المعطيات المغنطيسية	54
2-13- أمثلة على تفسير المسح المغنطيسي	67
الفصل الثالث: طرائق الكهربائية	72
3-1- مقدمة	73
3-2- نظرية المسح بطريقة المقاومية الكهربائية	73
3-3- معدات العمل الحقلي بطريقة المقاومية الكهربائية	75
3-4- توزيع المساري والإجراءات الحقلية	76

3-5- تشكيلات المساري 76
3-6- الإجراءات الحقلية في طريقة المقاومية الكهربائية 79
3-7- تفسير معطيات المقاومية الكهربائية 80
3-8- أمثلة حقلية 86
الفصل الرابع: طرائق السيسمية 90
4-1- مقدمة 91
4-2- توليد الأمواج المرنة وانتشارها 91
4-3- مسار الشعاع في وسط متطبق 96
4-4- مخطط الرحيل-الزمن لوسط متطبق 99
4-5- العلاقات بين السرعات السيسمية وخواص مرونة الصخور 104
4-6- القياسات السيسمية وتفسيرها 105
4-7- أجهزة المسح السيسمي الحقلية 106
4-8- الطريقة الانعكاسية 108
4-9- تحديد السرعات 113
4-10- الطريقة الانكسارية 114
4-11- الإجراءات الحقلية 116
4-12- أمثلة حقلية 118
الفصل الخامس: طرائق جيوفيزيائية أخرى 123
5-1- مقدمة 124
5-2- الطرائق الإشعاعية 124
5-3- الطرائق الكهرطيسية 125
5-4- الطرائق البئرية 126

المراجع 129
جدول المصطلحات العلمية 131

الجيوفيزياء التطبيقية

تهتم الجيوفيزياء بكل مواضيع الخواص الفيزيائية وعملياتها للأرض والأجسام الكونية وتفسيرها، ويتضمن ذلك على سبيل المثال السيسمولوجيا والجاذبية والمغنطيسية والتدفق الحراري .....إلخ.

يهدف المسح الجيوفيزيائي إلى اكتشاف وجود البنيات الجيولوجية تحت السطحية، وتحديد أماكنها وأبعادها وخواصها الفيزيائية. تنشأ لذلك الحاجة للحصول على كافة المعلومات عن هذه البنيات لارتباط ذلك بالقلزات الاقتصادية، والمثال الكلاسيكي على ذلك هو التجمعات النفطية في الصخور الرسوبية للمحدبات الجيولوجية.

يتألف المسح الجيوفيزيائي من مجموعة من القياسات الأرضية أو الجوية وأحياناً البئرية للتغيرات المكانية والزمانية لواحدة أو أكثر من الخواص الفيزيائية لصخور المنطقة الممسوحة. إن الخواص الأكثر استخداماً في المسح هي الكثافة، المتأثرية المغنطيسية، المرونة والناقلية الكهربائية، بينما تكون الخواص الأقل استخداماً درجة التفكك الإشعاعي والناقلية الحرارية ...إلخ.

تملك كافة الأجسام تأثيراً جاذبياً وتغيرات جانبية في الكثافة مما ينتج تغيراً ضئيلاً، لكن يمكن قياسه، في حقل الجاذبية على سطح الأرض، وهو ما تسعى إلى قياسه طرائق الجاذبية.

وبالمثل فإن العديد من الصخور تحتوي على ذرات مغنطيسية، مما يؤدي لاكتسابها مغنطيسية دائمة خلال تاريخها الجيولوجي أو مغنطيسية متحرضة في الحقل المغنطيسي الأرضي الحالي. يؤدي الاختلاف في المغنطيسية بين الصخور المتجاورة نتيجة اختلاف المتأثرية المغنطيسية والتغير في اتجاه المغنطيسية وشدتها إلى تغيرات مغنطيسية ملموسة على سطح الأرض يمكن قياسها بواسطة أجهزة المغنطيسية الحساسة، وهو ما تسعى إليه الطرائق المغنطيسية.

من الممكن أن تؤدي معرفة تغيرات حقلي الجاذبية والمغنطيسية على السطح لاستنتاج ماهية البنية تحت السطحية للمنطقة الممسوحة. لكن نظراً لتعددية الحلول التي تقدمها طرائق الجاذبية والمغنطيسية للبنية تحت السطحية تنشأ الحاجة لاستخدام كافة المعلومات الجيولوجية المتوفرة، وأحياناً كثيرة اللجوء إلى طرائق جيوفيزيائية أخرى للوصول إلى حل وحيد صحيح يعطي صورة حقيقية عن الوضع الجيولوجي تحت السطحي للمنطقة المدروسة.

يمرر التيار الكهربائي المستمر أو منخفض التردد جداً في بعض الطرائق الكهربائية إلى الأرض بواسطة مساري. يتحكم، جزئياً، توزع المقاوميات الكهربائية في صخور ما تحت السطح بشكل تدفق التيار وشدته على السطح، وهو ما يقاس بهذه الطرائق.

من الممكن أيضاً إمرار الطاقة الكهربائية إلى الأرض بالتحريض، وذلك بتمرير تيار كهربائي عالي التردد في وشيعة غير متصلة مباشرة بالأرض. تتشوه بالطرائق الكهرطيسية سعة الحقل الكهرطيسي المرسل واتجاهه وطوره نتيجة مروره على الأجسام تحت السطحية الناقلة كهربائياً، هذا التشوه هو ما يقاس بهذه الطرائق بواسطة وشيعة لاقطة.

تعتبر الطرائق السيسمية هي الأكثر تطوراً حالياً، وهي الأكثر عطاء عندما يتم تطبيقها. نظراً لاختلاف خواص مرونة الصخور وكثافاتها، تنتشر الأمواج المرنة عبرها بسرعات مختلفة، وتنعكس وتنكسر على السطوح الفاصلة بين الصخور مختلفة الصفات. هكذا تنكسر وتنعكس جزئياً الأمواج المرنة المولدة على السطح عائدة

إلى السطح، ومن معرفة أزمنة الرحيل في عدد من النقاط، يمكن استنتاج كمية كبيرة من المعلومات عن طبيعة الصخور تحت السطحية. يوجد نوعان متميزان من التقانات التي تستخدم الأمواج المنعكسة والمنكسرة. يطبق عادة أكثر من طريقة جيوفيزيائية لمعالجة نفس المشكلة. ففي التنقيب النفطي مثلاً، يجرى مسح مغنطيسي جوي للمنطقة المدروسة وقد يتبع بمسح جاذبي للمنطقة كمقدمة لتحديد المناطق التي يجب أن يجرى بها المسح السيسمي. غالباً ما يتحسن التفسير بتطبيق أكثر من طريقة جيوفيزيائية.

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

الفصل الأول

طرائق الجاذبية

Gravity Methods

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

1-1- مقدمة:

عرفت خاصة التجاذب المتبادل بين الكتل المختلفة منذ عرف العالم الإنجليزي نيوتن "Newton" علاقة الأرض-التفاحة، وبأن كل جسم يطلق بالقرب من الأرض سيسقط عليها بسرعة متزايدة مع الزمن وهو ما يدعى تسارع الجاذبية. لقد أثبت العالم الإيطالي غاليليو "Galileo" بأن هذا التسارع واحد لكل الأجسام المتساقطة في منطقة معينة، ويختلف من منطقة لأخرى نتيجة تغير كثافة المواد المشكلة للقشرة الأرضية من مكان إلى آخر.

* إن الحقل الجاذبي حقل محافظ، حقل كمون (potential field)، أي أن العمل اللازم لتحريك كتلة لا يتوقف على الطريق الذي تسلكه الكتلة وإنما على نقطي البداية والنهاية، بحيث أنه لو عادت الكتلة في النهاية إلى نقطة البداية لكان العمل المصروف مساوياً للصفر. يُعرف الكمون في نقطة واقعة في حقل جاذبي بأنه العمل اللازم لقوة الجاذبية لتحريك واحدة الكتلة من اللانهاية إلى نقطة القياس.

* يعتبر تسارع الجاذبية (gravitational acceleration) مشتق الكمون الجاذبي بالنسبة للمسافة r، ويمكن الحصول على مركبة التسارع في أي اتجاه باشتقاق الكمون بالنسبة للمسافة بهذا الاتجاه. لقد استُغلت الفروق الصغيرة في تسارع الجاذبية لدراسة تغيرات كثافة الصخور تحت السطحية، وبالتالي للكشف عن المكامن الاقتصادية، وهذا ما يدعى التنقيب الجاذبي (gravitational prospecting).

1-2- جاذبية الأرض:

وجد العالم الفرنسي بيير بوجيه Pierre Bouguer بأن الأرض ليست كرة تامة، وبالتالي فالجاذبية ليست ثابتة في كل مكان من سطح الأرض، وثبت الآن بأنها عبارة عن اهليلج مجسم (ellipsoid) ذو انتفاخ (bulge) في خط الاستواء وتسطح في القطب الجغرافي، بحيث يكون نصف قطر الأرض القطبي أقصر بـ 21 كيلومتراً من نصف القطر الاستوائي. يعبر عن الاهليلجية (ellipticity) بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{a-c}{a} \qquad (1-1)$$

حيث ε هي الاهليلجية.

a نصف قطر الأرض الاستوائي.

c نصف قطر الأرض القطبي.

لقد اعتمدت مؤخراً القيمة $\varepsilon = 1/298.25$

يُعَرف سطح الأرض بأنه شكل رياضي يدعى الكرواني المرجع (reference spheroid) ويوافق هذا السطح المستوي الوسطي لسطح البحر، أي أن سطح الأرض هو سطح تساوي كمون. تكون خطوط قوة الجاذبية متعامدة معه في أية نقطة، أي أن فادن البناء متعامد معه في كل مكان.

لقد اعتمد الاتحاد الدولي للجيوديزيا والجيوفيزياء في عام 1930 الصيغة التالية:

$$g = g_0 (1 + \alpha \sin^2 \phi + \beta \sin^2 2\phi) \qquad (1\text{-}2)$$

وأعطيت القيم التالية للثوابت:

$g_0 = 978.049$, $\alpha = 0.000528849$, $\beta = -0.0000059$

ϕ هي قيمة خط العرض الذي يجرى فيه القياس.

تقوم الطريقة على قانون نيوتن في التجاذب (Newton's Law of gravitation)، الذي ينص على أن كل جسم من المادة يطبق قوة جذب على كل الأجسام الأخرى في الكون، ويتناسب هذا طرداً مع جداء كتل الأجسام وعكساً مع مربع المسافة بينهما.

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

حيث: F القوة المطبقة بين جسمين كتلتاهما m_1 و m_2.

r البعد بين الجسمين.

G ثابت الجاذبية العالمي (Universal gravitational constant) وقيمته المقبولة 6.670×10^{-8} c.g.s. units.

من قانون الحركة الثاني، يعطى تسارع الجسم الذي كتلته m_1 والواقع تحت تأثير جذب الكتلة m_2 بالعلاقة:

إذا عوضنا F من ① في ②

$$a = \frac{F}{m_1} = G\frac{m_2}{r^2} \quad (1\text{-}4)$$

وعلى هذا تقوم طريقة الجاذبية

لذلك يعادل التسارع القوة بواحدة الكتلة المطبقة على الجسم. إذا وضعنا m_2 مساوية لكتلة الأرض و r مساوية لنصف قطر الأرض يكون التسارع الناتج مساوٍ لتسارع الجاذبية على سطح الأرض، ومطبق بشكل ناظمي على السطح.

إذا كانت الكتلة dm يكون التسارع مساوياً:

هذا القانون مع الرسمي

$$a = G\frac{dm}{r^2} \quad (1\text{-}5)$$

صممت الأجهزة المستخدمة في المسح لقياس التغيرات في قيمة التسارع الجاذبي. تكون شواذ الجاذبية صغيرة جداً بالمقارنة مع متوسط قيمة الحقل الجاذبي الأرضي، ومتعامدة مع سطح الأرض. لذلك تقيس الأجهزة المركبة الشاقولية لتسارع الجاذبية الناتج عن معلم تحت سطحي محلي، وتعطى هذه المركبة بالعلاقة:

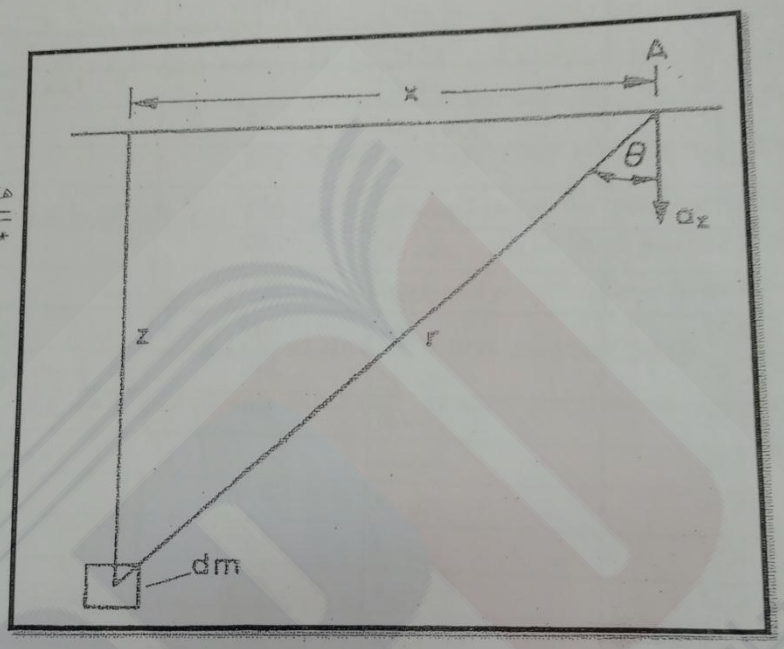
البعد الشاقولي للنقطة الموجودة في باطن الأرض.

$$** \; a_z = G\frac{dm.\ \cos\ \theta}{r^2} = G\frac{z.\ dm}{r^3} = G\frac{z.\ dm}{(x^2+z^2)^{3/2}} \qquad (1\text{-}6)$$

حيث θ, r, z معرفة في الشكل (1-1). إذا كان الجسم كبيراً يعطى تأثيره الكلي بالعلاقة التالية:

$$** \; a_z = G\int\frac{z.\ dm}{r^3} \qquad (1\text{-}7)$$

هذه الرسمة **



الشكل (1-1). التأثير الجاذبي لعنصر الكتلة في نقطة A.

إذا كان للجسم شكلاً هندسياً بسيطاً، يمكن الحصول على التعبير الدقيق للتكامل. خلافاً لذلك يمكن الحصول على التأثير الكلي بشكل عددي بتقسيم الجسم إلى عناصر صغيرة ، ثم يحسب التسارع بشكل منفرد لكل عنصر صغير، ثم يحسب المجموع. تعطى واحدة التسارع بالغال "gal" نسبة إلى العالم الإيطالي غاليليو ويساوي 1 سنتيمتر بالثانية كل ثانية "1سم/ثانية^2"، لكن الغال واحدة كبيرة، لذا يعبر عن الجاذبية بالميليغال "mgal". يساوي تسارع الجاذبية 980000 mgal تقريباً. تكون شواذ الجاذبية من مرتبة عدة ميليغالات، وتحتاج لفصل التغيرات الناتجة عن التراكيب الجيولوجية التي يجري البحث عنها عن تلك الناتجة عن مصادر مختلفة بهدف تحديد البنيات تحت السطحية.

1-3- كثافة الصخور والفلزات:

* أعلى قيم للكثافات موجودة في الزيركون والفلزات النادرة.

إن التغيرات المحلية في الكثافة هي العامل الهام في وجود شواذ الجاذبية. يرد في الجدول (1-1) متوسط كثافات بعض الصخور والفلزات:

- الصخور الرسوبية تملك أقل كثافات من الصخور الاندفاعية والتحولية.
- الصخور النارية تملك أعلى وأكبر قيم لكثافات البريدوتيت (كابرو + بازلت).

الجدول (1-1). يعطي متوسط كثافات بعض الصخور والفلزات:

اسم الصخر	الكثافة غ/سم^3	اسم الفلز	الكثافة غ/سم^3
صخور رسوبية		آلبيت	1.05
حجر رملي	2.24	ليغنيت	1.19
حجر كلسي	2.11	الفحم اللين	1.32
حجر دولوميتي	2.30	انتراسيت	1.50
صخور اندفاعية		غرافيت	2.15
اوبسيديان	2.30	ملح صخري	2.22
ريوليت	2.52	جص	2.35
غرانيت	2.64	بوكسيت	2.45
بازلت	2.99	كاولانيت	2.53
غابرو	3.03	كوارتز	2.65
بيريدوتيت	3.15	تالك	2.71
الصخور الحامضية	2.61	انهيدريت	2.93
الصخور الأساسية	2.79	بيوتيت	2.92
صخور متحولة		مغنيزيت	3.03
كوارتزيت	2.60	فلوريت	3.14
شيست	2.64	الماس	3.52
رخام	2.75	كورندم	4.00
سليت	2.79	باريت	4.47
الصخور المتحولة	2.74	زيركون	4.57

- ٣- المتوسطات الكثافات هي الاسعالية.

1-4- شواذ بوغيه Bouguer Anomaly (δg_B):

تنتج شواذ الجاذبية من تغير الكتلة تحت السطحية، وتعرف بشواذ بوغيه "نسبة للعالم الفرنسي بوغيه".لحساب هذه الكمية يجب الأخذ بعين الاعتبار تغير الجاذبية مع خط العرض والارتفاع وجذب الطبوغرافيا المحيطة بمحطة القياس.

ستناقش هذه التصحيحات فيما يلي:

1-4-1- تصحيح خط العرض Latitude Correction (dg_L):

تعتبر الأرض كرة غير متجانسة، دوارة وأفضل تقريب لشكلها هو اهليلج مجسم دوار، يزيد نصف قطره الاستوائي بمقدار 21 كيلومتراً عن نصف قطره القطبي. هذا ما يدعى بالاهليلج المرجع (reference

ellipsoid) وهو عملياً مستوى سطح البحر. نظراً لأن الأقطاب الجغرافية أقرب إلى مركز الأرض من خط الاستواء، فتزداد الجاذبية مع ازدياد خط العرض. يمكن التعبير عن تغير الجاذبية مع خط العرض على سطح الأرض بالصيغة التالية:

$$g = 978.0490(1+0.0052884 \sin^2 \Phi - 0.0000059 \sin^2 2\Phi) \text{ gal} \qquad (1\text{-}8)$$

هذه هي صيغة الجاذبية العالمية، المعتمدة حالياً من الاتحاد الدولي للجيوديزيا والجيوفيزياء (International Union of Geodesy and Geophysics) وتعطي الجاذبية في أي خط عرض على سطح الأرض. وبالتالي تعطي التصحيح الذي يجب تطبيقه على أية قيمة في محطة قياس بشكل يسمح بازدياد الجاذبية من خط الاستواء إلى الأقطاب. تقترب هذه القيم من واحد ميليغال بالميل في خطوط العرض الوسطى. لهذا يجب معرفة مواقع محطات القياس ضمن حدود عدة مئات من الأقدام.

1-4-2- تصحيح الارتفاع Elevation Correction:

تتغير الجاذبية مع الارتفاع، لذلك يجب تصحيح كل القياسات إلى مستوى مرجع، الذي غالباً ما يكون مستوى سطح البحر (مثلاً سطح الاهليلج المرجع).

يتألف هذا التصحيح من جزئين: الأول هو تصحيح الهواء الحر، والثاني هو تصحيح بوغيه.

1-4-2-1- تصحيح الهواء الحر Free air Correction (dg_{FA}):

تعتبر كتلة الأرض متمركزة في مركزها، لذلك تعطى قيمة الجاذبية على سطح البحر، بفرضها كرة تامة، كما يلي:

$$g_0 = G\frac{M}{R^2} \qquad (1\text{-}9)$$

حيث M كتلة الأرض.

R نصف قطر الأرض.

تعطى قيمة الجاذبية (g) على ارتفاع (h) فوق سطح البحر:

$$g = G\frac{M}{(R+h)^2} \qquad (1\text{-}10)$$

يمكن وضع العلاقة بالشكل:

$$g = g_0\,(1 - 2h/R)$$

$$g_0 - g = 2\,g_0 h/R \qquad (1\text{-}11)$$

يمكن استبدال g_0 بـ g_m التي تعتبر متوسط قيمة الجاذبية على سطح الأرض، و R هي قيمة نصف القطر المتوسط.

يتم الحصول على الثابت $2g_m/R_0$ الذي تضرب به h للحصول على تصحيح الجاذبية ويساوي:

0.09406 mgal/ft (0.3086 mgal/m) ويمكن استخدامه عند العمل في أي خط عرض.

هذا العامل هو تدرج الجاذبية في الفضاء. ونظراً لأن الجاذبية تتناقص مع الارتفاع فيجب إضافته للقيم المقاسة للتصحيح بالنسبة إلى مستوى سطح البحر. يعوض تصحيح الهواء الحر عن الجزء من التغير في الجاذبية الناتج عن الارتفاع.

1-4-2- تصحيح بوغيه Bouguer Correction (dg_B):

يوجد بين أية محطة مرتفعة ومستوى سطح البحر سماكة من الصخور التي تطبق جذباً جاذبياً على السطح، ويمكن اعتباره إضافياً بالنسبة لذلك المتولد عن كتلة الأرض الواقعة تحت الاهليلج المرجع. يؤخذ هذا الجذب على أنه ناتج عن صفيحة غير محدودة الامتداد وسماكتها مساوية لارتفاع المحطة و يساوي $2\pi G\ \sigma\ h$ حيث h ارتفاع المحطة و σ هي متوسط كثافة الصخور في المنطقة، ويأخذ القيمة التالية:

0.01276 σ h mgal/ft. (0.04193 σ h mgal/m).

عند إرجاع القياس إلى مستوى سطح البحر فيجب طرح التصحيح، لأننا نزيل جزءاً من الصفيحة بسماكة h.

يدعى هذا التصحيح تصحيح بوغيه (Bouguer correction). ويدمج مع تصحيح الهواء الحر لتشكيل ما يسمى تصحيح الارتفاع.

إذا كانت h مقاسة بالقدم فعندئذ يكون:

$$g_0 = g_h + (0.09406 - 0.01276\ \sigma)\ h \text{ mgal} \qquad (1\text{-}12)$$

إذا كانت h مقاسة بالمتر فعندئذ يكون:

$$g_0 = g_h + (0.3086 - 0.04193\ \sigma)\ h \text{ mgal}$$

حيث g_0 هي قيمة الجاذبية المرجعة إلى مستوى سطح البحر.

g_h هي قيمة الجاذبية المقاسة على الارتفاع h.

إذا كان متوسط الكثافة $2.5\ g/cm^3$ فيساوي هذا التصحيح 0.06 mgal/ft، لذلك يجب تحديد الارتفاع بدقة أقل من قدم واحد للحفاظ على دقة نسبية مقدارها 0.1 mgal، وتبقى المشكلة في معرفة قيمة متوسط الكثافة التي يجب استخدامها لتعيين تصحيح بوغيه.

1-4-3- تصحيح الطبوغرافيا Terrain Correction (dg_T):

إذا كانت طبوغرافية الأرض مسطحة نسبياً يمكن لتصحيح الارتفاع أن يقدم طريقة صحيحة بما يكفي لإرجاع المعطيات إلى مستوى سطح البحر. أما عندما يوجد تغير كبير بالارتفاع حول المحطة المقاسة، فلن يكون الفرض البسيط بأن صفيحة لانهائية من الصخر تمتد بين المحطة ومستوى سطح البحر كافياً. لذا يجب الأخذ