الجاذبيـة الأرضيـة

أ.د. عبدالله بن محمد العمري
قسم الجيولوجيا- كلية العلوم - جامعة الملك سعود

سلسلة إصدارات علمية ثقافية (٦)
١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤ م

ح عبدالله محمد سعيد العمري، ١٤٣٥هـ
فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
العمري، عبدالله محمد
الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها./ عبدالله محمد العمري الرياض، ١٤٣٥هـ
٣٦ص؛ ١٧× ٢٤سم (سلسلة العمري العلمية : ٥)
ردمك: ٧ - ١٨٣٩- ٠١- ٦٠٣ - ٩٧٨
١- الجاذبية الأرضية أ- العنوان
ديوي ٦٢٤,١٥ ٣٢٠٩ / ١٤٣٤
رقم الإيداع: ٣٢٠٩ / ١٤٣٤
ردمك: ٧ - ١٨٣٩ - ٠١ - ٦٠٣ - ٩٧٨

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

يطلب الإصدار الورقي من المؤلف على العنوان التالي
قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء- جامعة الملك سعود
ص.ب ٢٤٥٥ - الرياض ١١٤٥١
والاصدار الإلكتروني من الموقع
www.a-alamri.com
وللإستفسارات والملاحظات الاتصال على :
جوال: ٥٠٥٤٨١٢١٥ ٩٦٦ + - هاتف: ٤٦٧٦١٩٨ ١١ ٩٦٦ +
البريد الإلكتروني: alamri.geo@gmail.com
amsamri@ksu.edu.sa

كوكب الأرض

الأرض عبارة عن كرة ضخمة يتكون سطحها من صخور وتربة وماء ويحيط بها الهواء وهي أحد الكواكب السيارة التسعة التي تسير حول الشمس عبر الفضاء وعلى طول مسارات تسمى المدارات. وتقع في المدار الثالث من المجموعة الشمسية. أما الشمس فهي نجم واحد من ملايين النجوم التي تشكل مجرة تسمى درب اللبانه وللأرض ثلاث حركات دورانية :

حركة سريعة حول محورها

حركة حول الشمس

حركة عبر درب اللبانه مع بقية النظام الشمسي كل ٢٥٠ مليون سنة.

تدور الأرض حول محورها وهذا المحور عبارة عن خط وهمي يصل القطبين الشمالي والجنوبي. هذه الحركة الدورانية السريعة تجعل الشمس وكأنها تتحرك من الشرق إلى الغرب مسببة حدوث النهار والليل على الأرض. وتستغرق الأرض زمناً قدره ٢٣ ساعة و ٥٦دقيقة و٤,٠٩ ثانية مرة واحدة حول نفسها وهذا الطول الزمني يطلق عليه اليوم النجمي.

تسير الأرض مسافة قدرها ٩٥٨ مليون كم حول الشمس في زمن قدره ٣٦٥ يوم و٦ ساعات و ٩ دقائق و ٩,٥٤ ثانية. هذا الطول الزمني يطلق عليه السنة النجمية. خلال هذه الفترة تسير الأرض بمعدل سرعة قدرها ١٠٧،٢٠٠كم/س ويسمى مسار الأرض حول الشمس المدار الأرضي. ويقع هذا المدار على سطح وهمي منبسط (المستوى المداري الأرضي).

تأخذ الارض شكلا إهليجيا (بيضاويًا) يبلغ نصف قطرها الأفقي عند خط الإستواء ٦٣٧٨,١كم ونصف قطرها العمودي عند الأقطاب ٦٣٥٦,٧ كم أي أن هناك زيادة قدرها ٢١,٤ كم عند خط الإستواء وهذه تمثل الشكل الإهليجي أو ثابت التفلطح والذي يقدر بـ ٠,٠٠٣٣ والذي تم حسابه من المعادلة :

ثابت التفلطح = نصف القطر الاستوائي – نصف القطر القطبي مقسوما على نصف القطر الاستوائي.

قال تعالى) : أو لم يروا أنَّا نأتي الأرض ننقصها من أطرافها (الرعد الآية 41 وهذا يعني أن سطح الأرض غير مستو ففيه قمم عالية، وسفوح هابطة وسهول وهى أطراف طبقًا للتباين في المناسيب، ومن ناحية أخرى فإن الأرض كما ذكرنا شبه كره)مفلطحة(، فلها قطبان ولها خط إستواء فتعتبر هذه أطرافًا لها، والسطح كله يعتبر أطرافًا للأرض.

ولقد فسر العلم الحديث أن الأرض تنكمش بإستمرار، تنكمش على ذاتها من كل أطرافها أو من كل أقطابها .وسبب الإنكماش الحقيقي هو خروج الكميات الهائلة من المادة والطاقة على هيئة غازات وأبخرة ومواد، سائلة وصلبة تنطلق عبر فوهات البراكين بملايين الأطنان بصورة دورية فتؤدي إلى إستمرار إنكماش الأرض، ويؤكد العلماء أن الأرض الإبتدائية كانت على الأقل مائتي ضعف حجم الأرض الحالية.

القوى المؤثرة على الجاذبية

درس الفلكيون القدامى حركة القمر والكواكب ولكن هذه الحركة لم تفسر بشكل صحيح إلا في أواخر القرن السابع عشر عندما أوضح العالم الإنجليزي أسحاق نيوتن (١٦٤٢ – ١٧٢٧م) أن هناك ارتباطاً بين القوى الجاذبة للأجسام نحو الأرض وأسلوب حركة الكواكب.

بنى نيوتن دراسته على الدراسة الدقيقة لحركة الكواكب والتي قام بها اثنان من الفلكيين في أواخر القرن السادس عشر الميلادي وهما تيخو براهي الدنماركي ويوهان كيبلر الألماني. ومن القوانين الثلاثة التي اكتشفها كيبلر أوضح نيوتن كيف أن قوة الجذب للشمس لابد أن تقل بزيادة المسافة وأفترض أن جذب الأرض لابد أن تسلك ذات السلوك فتمكن من حساب القوة التي تجذب القمر إلى الأرض عند سطحها.

أما عالم الطبيعة الإيطالي غاليليو غاليلي (١٥٦٤-١٦٤٢م) فقد قدم مساهمات جيدة في مراقبة الأجسام الساقطة تجاه الأرض وإستنتج أن معدل السرعة المتزايد (عجلة الجاذبية الأرضية) ثابتة بالنسبة لكل الأجسام وأن سرعة الجسم الساقط تساوي في الثانية الأولى نصف قيمة عجلة الجاذبية في مكان سقوطه إلى سطح الأرض.

وتنص نظرية نيوتن للجاذبية على أن قوة الجذب بين جسمين تتناسب طردياً مع كتلة كل منهما ومعنى ذلك أنه كلما زادت كتلة أي من الجسمين زادت قوة الجذب بينهما. وتشير النظرية للكتلة وليس للوزن. ووزن جسم ما على الأرض هو في الواقع قوة

جذب الأرض التي تؤثر على هذا الجسم ويكون لنفس الجسم أوزان مختلفة على سطوح كواكب مختلفة ولكن كتلته تظل ثابتة. وتتناسب قوة الجاذبية تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي ثقل الجسمين، فمثلاً إذا تضاعفت المسافة بين جسمين فإن قوة التجاذب بينهما تصبح ربع قيمتها الأصلية.

$$\text{القوة} = \text{ثابت الجاذبية } (G) \times \frac{\text{كتلة الأرض } (M) \times \text{الكتلة } (m)}{\text{مربع نصف قطر الأرض } (R)}$$

حيث ثابت الجاذبية (G) = ٦,٦٧ ×١٠ kg / Nm

وبما أن كتلة الجسم الآخر (m) بالنسبة لكتلة الأرض (M) صغير جداً وبالتالي فان المعادلة السابقة يمكن كتابتها على النحو التالي :

$$g = G \, M / R^{٢}$$

حيث g هو تسارع جذب الأرض للجسم وتم تقديرها على حسب المعادلة بـ ٩,٨٢ م/ث^{٢} ، إذا افترضنا أن متوسط نصف قطر الأرض R هو ٦٣٧٠ كم.

وإذا إفترضنا أن الأرض كرة ساكنة (تامة الكروية) وإن توزيع كثافة صخورها متماثلة. فإن القوة المؤثرة في جسم ما على مسافة ما من مركز الأرض تكون واحدة في كل مكان، بمعنى أن قيمة عجلة الجاذبية تكون واحدة. ونظرًا لأن الأرض ليست تامة الكروية كما أن لها حركة دوران فإن هذا يعني تغير قيمة عجلة الجاذبية على سطح الأرض.

تسمى وحدة تسارع الجاذبية الأرضية بوحدات s.g.c ($cm^{١}$ / $s^{٢}$) جال laG تشريفاً للعالم جاليليو. مقاييس الجاذبية الحديثة ممكن أن تقيس التغيرات الصغيرة جداً

في تسارع الجاذبية إلى جزء واحد من $١٠^{٩}$ (تكافئ قياس المسافة بين الأرض والقمر بدقة ١ متر) .

تصل حساسية الأجهزة الحديثة إلى ١٠ أجزاء في المليون ، مثل هذه القياسات الصغيرة أدت إلى استنتاج وحدات صغيرة مثل المليجال (Gal ١٠$^{-٣}$ = mGal١) والميكرو جال = ١٠$^{-٦}$ جال .

ولإن قيم الجاذبية المطلوبة في التطبيقات الجيولوجية والمساحية تتفاوت دقتها من ± 0.05مليجال إلى ± 0.03 مليجال، ونظراً لصغر هذه القيمة فان أجهزة الجرافيميتر يجب أن تكون دقيقة جداً في تصميمها وطرق عملها.

يرى بعض المختصين إستخدام مسمًى "التثاقلية" بدلاً من الجاذبية إشتقاقًا من المصطلح اللاتيني Gravis والتي تعني ثقيل بينما كلمة جذب فهى Attraction.

ولقد ورد ذكر كلمة «ثقل» في الآية (٢) من سورة الزلزلة « وأخرجت الأرض أثقالها » وكذلك في الآية (٦) من سورة القارعة « فأمًا من ثقلت موازينه » وكذلك في الآية (٣٧) من سورة التوبة « أثاقلتم إلى الأرض ». وفي قوله تعالى « وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد ومنافع للناس » فالحديد عنصر وافد من الكون ولم يخلق في الأرض لأن تكوين ذرة واحدة من الحديد قد تحتاج إلى طاقة أكبر من طاقة الشمس بأربع مرات.

ولقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية الحديثة أن كثافة الصخور تزداد تدريجيًا مع إزدياد العمق حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب (حديد و نيكل) أثقل منهافي الوشاح، وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. حيث تبلغ كثافة الصخور حوالى ١٢جم/س^{٣} في اللب بينما في الوشاح ٣,٥جم/سم^{٣} وفي صخور القشرة تصل إلى ٢,٧ جم/سم^{٣}.

تم حساب قيم الجاذبية عند الأقطاب بـ ٩٨٣,٢١٨ جال بينما قيست عند خط الاستواء بـ ٩٧٨,٠٣٢ جال واستنتج ان هناك فرق قدره ٥,٢ جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظريًا عندما إفترضنا أن الارض كروية الشكل وفي حالة سكون وتوزيع كثافتها متماثل والذي يبلغ ٣,٤ جال. وهذا الاختلاف ما بين القيمة المحسوبة بواسطة الأجهزة (٥,٢ جال) والقيمة النظرية (٣,٤ جال) يدل على أن

الأرض تأخذ شكلاً إهليجيًا أو بيضاويًا قال تعالى « والأرض بعد ذلك دحاها » النازعات الآية ٣٠.

التغيرات في قيم الجاذبية

زيادة الجاذبية مع خطوط العرض:

تزداد قيم الجاذبية بزيادة خط العرض، نظراً لأن سطح الأرض عند القطبين أقرب لمركز الأرض منه عند خط الاستواء بمقدار21 كم تقريباً، وبالتالي فأن قيمة الجاذبية عند القطبين أكبر)بحوالي (**0.7%** من قيمة الجاذبية عند خط الاستواء.وتأثير قوى جذب الأرض وقوى الطرد المركزية يؤدي إلى تغيير في قيمة الجاذبية لتغير خط العرض.

أن زاوية خط العرض عند القطبين ٩٠ درجة وعند خط الاستواء صفر درجة وبالتالي ليس هناك تأثير لاختلاف خط العرض في قيمة الجاذبية عند القطبين أو خط الاستواء لان جا صفر = جا ١٨٠= صفر . وتصل القيمة القصوى لتغير قيم الجاذبية مع خط العرض عند ٤٥ درجة حيث جا ٩٠ = ١.

نقص الجاذبية مع زيادة الارتفاع فوق سطح البحر

كلما زاد الإرتفاع عن سطح البحر كلما أبتعدنا عن مركز الأرض، وبالتالي فإن قانون حساب الجاذبية يصبح

$$g) = G M / R + h)$$

حيث **h** تمثل الارتفاع عن سطح البحر وتم حساب هذا التغير بـ **h (m/mgal)** ٠,٣٠٨٦ .

الجيوئـد Geoid

الجيوئد هو السطح المتساوي الجهد **surface potential-Equi** والذي ينطبق مع مستوى سطح البحر اذا لم يتغير بالرياح أو المد والجزر وارتفاعه يساوي الصفر. وتكمن أهميته في المسح الجاذبية لأنه أفقي ويشكل زاوية قائمة على اتجاه التسارع الناتج عن الجاذبية في إي مكان من هذا السطح أي أن العلاقة بين اتجاهات السطح والقوى الثلاث (التجاذب وقوة الطرد المركزية والجاذبية) هي ما يعرف بالجيوئد. ويستخدم كمرجع لعمليات التسوية والتحديد الفلكي للانحراف الرأسي بين مستوى الجيوئد والاسفيرويد باستخدام تكامل ستوك **integral Stokes** في أي محطة.

التغيرات في قيم الجاذبية

زيادة الجاذبية مع خطوط العرض:

تزداد قيم الجاذبية بزيادة خط العرض، نظراً لأن سطح الأرض عند القطبين أقرب لمركز الأرض منه عند خط الاستواء بمقدار21 كم تقريباً، وبالتالي فأن قيمة الجاذبية عند القطبين أكبر)بحوالي (**0.7%** من قيمة الجاذبية عند خط الاستواء.وتأثير قوى جذب الأرض وقوى الطرد المركزية يؤدي إلى تغيير في قيمة الجاذبية لتغير خط العرض.

أن زاوية خط العرض عند القطبين ٩٠ درجة وعند خط الاستواء صفر درجة وبالتالي ليس هناك تأثير لاختلاف خط العرض في قيمة الجاذبية عند القطبين أو خط الاستواء لان جا صفر = جا ١٨٠= صفر . وتصل القيمة القصوى لتغير قيم الجاذبية مع خط العرض عند ٤٥ درجة حيث جا ٩٠ = ١.

نقص الجاذبية مع زيادة الارتفاع فوق سطح البحر

كلما زاد الإرتفاع عن سطح البحر كلما أبتعدنا عن مركز الأرض، وبالتالي فإن قانون حساب الجاذبية يصبح

$$g) = G M / (R + h$$

حيث h تمثل الارتفاع عن سطح البحر وتم حساب هذا التغير بـ h (m/mgal) ٠,٣٠٨٦ .

الجيوئـد Geoid

الجيوئد هو السطح المتساوي الجهد surface potential-Equi والذي ينطبق مع مستوى سطح البحر اذا لم يتغير بالرياح أو المد والجزر وارتفاعه يساوي الصفر. وتكمن أهميته في المسح الجاذبية لأنه أفقي ويشكل زاوية قائمة على اتجاه التسارع الناتج عن الجاذبية في إي مكان من هذا السطح أي أن العلاقة بين اتجاهات السطح والقوى الثلاث (التجاذب وقوة الطرد المركزية والجاذبية) هي ما يعرف بالجيوئد. ويستخدم كمرجع لعمليات التسوية والتحديد الفلكي للانحراف الرأسي بين مستوى الجيوئد والاسفيرويد باستخدام تكامل ستوك integral Stokes في أي محطة.

طر ق قياس الجاذبية

هناك طريقتان لقياس قيمة الجاذبية في أي نقطة على سطح الأرض وهما الجاذبية المطلقة والجاذبية النسبية (الطرق الديناميكية)، وكلاهما يتطلب دقة عالية في القراءات المرصودة باستخدام اجهزة الجاذبية المطورة.

الجاذبية المطلقة

يحتاج تحديد تسارع الجاذبية (عجلة الجاذبية الأرضية) كقيمة مطلقة إلى طرق معملية دقيقة وعادة تنفذ فقط تحت الظروف المعملية وتستخدم طريقتين للقياس هما ، طريقة الجسم الساقط وطريقة تأرجح البندول. وتستخدم أجهزة قياس الجاذبية المطلقة للحصول على الجاذبية بدقة عالية في نقاط محددة فوق سطح الأرض وذلك لتعيين نقاط ضبط أساسية ومعايرة أجهزة قياس الجاذبية النسبية وذلك لأن أجهزة قياس الجاذبية المطلقة ثقيلة وقد يصل وزنها إلى ٣٠٠ كجم ، ومن الصعوبة نقلها من نقطة إلى أخرى. ومن هذه الأجهزة على سبيل المثال Hammon Faller ويستخدم في

طريقة السقوط الحر. وحديثاً أمكن قياس الجاذبية المطلقة لدقة تتراوح ما بين ± ٠,٠٥ إلى ٠,٠٠٥ مليجال بعد أخذ سلسلة من القراءات لعدة أيام.

الجاذبية النسبية

في الاستكشاف الجاذبي، ليس من الضروري تحديد القيمة المطلقة للجاذبية بل الأكثر هو قياس التغيرات النسبية . فيتم اختيار محطة أساسية (وهي التي ترجع إلى الـ IGSN٧١) وتنشأ محطات جاذبية لشبكة ثانوية .

جميع بيانات الجاذبية التي تجمع من هذه المحطات خلال المسح تنقص بالنسبة للمحطة الأساسية . واذا لم يكن من الضروري حساب القيم المطلقة لـ g فيعتبرقيمة الجاذبية عند المحطات الاساسية المحلية تساوي صفر. المسافات البينية بين محطات الجاذبية هامة بالنسبة لتفسير البيانات في الدراسات الاقليمية ، قد توضع المحطات بكثافة من ٢ إلى ٣ محطة كل كيلو متر مربع ، بينما في استكشافات البترول، قد تزيد كثافة المحطات إلى ١٠ - ٨ لكل كيلو متر مربع . في مسح الدراسات المحلية ، نحتاج إلى دقة عالية للخصائص السطحية ولذلك فان محطات الجاذبية قد توضع في شبكة طول ابعادها من ٥ إلى ٥٠ متر . أما عند اجراء الجاذبية الدقيقة Microgravity ، فقد تصل المسافة بين المحطات إلى نصف المتر .

الجرافيميتر Gravimeters

الجرافيميتر عبارة عن جهاز صغير وسهل الإنتقال من نقطة لأخرى في موقع الرصد. وتعتمد فكرته على سلك زنبركي متعادل يتغير تعادله (توازنه) بتأثير أى قوة إضافية مهما صغرت قيمتها ويمكن قياس مقدار التغيرالذي يحدث ومن مميزات جهاز الجرافيميتر سهولته وصغر حجمه وسرعة القراءة ودقته وتنقسم أجهزة الجرافيميتر إلى :

أولاً: الساكن Stable

ثانياً: الغير الساكن Unstable

اجهزة قياس الجاذبية عبارة عن اتزان زنبركي متطور يعلق في اخره كتله ثابتة. وزن الكتلة هي حاصل ضرب الكتلة في تسارع الجاذبية (عجلة الجاذبية الأرضية).

كلما زاد الوزن الذي يعمل على الزنبرك ، فإن كمية الأستطالة في الزنبرك تتناسب طرديا مع قوة التمدد أي مع زيادة وزن الكتلة (الوزن يساوي الكتلة ضرب عجلة الجاذبية

الأرضية). ثابت التناسب هو ثابت مرونة الزنبرك **K** هذه العلاقة تعرف بقانون هوك **Hooke** وحيث أن الكتلة ثابتة ، فإن التغيرات في الوزن يكون سببها التغيرات في الجاذبية **δg** وبقياس التمدد في الزنبرك **δl** يمكن تحديد اختلافات الجاذبية . وبما ان الأختلافات في الجاذبية صغيرة جدا فان التمدد في أي زنبرك صغير للغاية.

الاجراءات الحقلية في الجاذبية

(1) تأثير المد والجزر

يؤثر جذب كل من القمر والشمس على قياسات الجاذبية الأرضية، حيث تقع القياسات تحت تأثير تغير دوري (كل ١٢ ساعة) في مجال الجاذبية الأرضية يصل الى ٠,٢ ميلليجال. وجذب القمر أكبر تأثيرًا من جذب الشمس على مجال الجاذبية الأرضية. وهناك طريقتان لالغاء تأثير المد والجزر على قياسات اجهزة "جرافيميتر".

الطريقة الأولى هي التكرار الدوري لقياسات الجاذبية الارضية عند نقطة او اكثر من محطات الجاذبية المطلقة او الاساسية، وفي زمن يقل عن ٦ ساعات. وفي هذه الحالة فان تصحيح انحراف الجهاز يشمل في الوقت نفسه تصحيح تأثير المد والجزر.

اما الطريقة الثانية فهي استخدام جداول المد والجزر. وتصحيح تأثير المد والجزر، يمكن حسابه بعد اجراء التكرار الدوري للقياسات على نقطتين او اكثر من محطات الجاذبية المطلقة او الاساسية واستخدام الرسم البياني للعلاقة بين تغير قيم الجاذبية الأرضية عند محطات تكرار القياسات وزمن القياسات او باستخدام الحاسبات وبرامج خاصة بتقويم بيانات قياسات الجاذبية الأرضية. ويتيح استخدام الحاسبات وبرامج تقويم البيانات حساب قيم التصحيحات وحساب القيم الصحيحة للجاذبية الارضية عند نقط القياسات. ويجرى تقويم بيانات عجلة الجاذبية الارضية قبل إجراء اى نوع آخر من التصحيحات.

تغييرات المد والجزر تؤثر على كتلة الجرافيميتر التي عادة تتغير في مدى ٠,١٥ mgal ± من القيمة المتوسطة وقد يصل معدل التغير إلى ٠,٠٥ h/mgal ونظرًا لأن هذه القيم تعتبر كبيرة بالنسبة لدقة معظم أجهزة الجرافيميتر (٠,٠١) لذلك يجب التصحيح.

(٢) تأثير إزاحة الجهاز

قراءة الجرافيميتر عند أى نقطة تعتمد على (scale dial) وتعتمد على العلاقة بالقيمة المطلقة للجاذبية عند هذه النقطة. إذا نقل الجرافيميتر لبضع ساعات أو حتى ترك في مكان واحد ثم يقرأ مرة أخرى فيما بعد عند نفس المكان يلاحظ تغير في القراءة. إذا أخذت قراءات إضافية عبر فترة من الساعات في نفس المكان ثم رسمت الجاذبية مقابل الزمن سوف نجد أن النقط تميل للسقوط على منحني أملس. هذا التغير المستمر في قراءات الجاذبية مع الزمن يعرف بـ الإزاحة " drift" نظراً لأن زنبرك الجرافيميتر ليس مرنًا عامًا ولكنه معرض لتغيير بطيء عبر الفترات الطويلة.

الطريقة المعتادة لتصحيح الإنحراف التدريجي هو تكرار القراءات عند محطة الأساس في فترات من ١-٢ ساعة. من منحنى الإنحراف نحصل على قراءة الأساس والتي نطرحها من قراءة المحطة لنحصل على فرق الجاذبية.

بما أن جميع قراءات الجرافيميتر ذات تدريج عشوائي لذلك تكون المعايرة ضرورية لكي نعبر عن هذه التدريجات بالملليجال. الطريقة المعتادة لإختبار ثابت المعايرة هي قراءة الجرافيميتر عند محطتين يكون فرق الجاذبية بينهما معروف بدقة من قياسات البندول.

بعد تصحيح الإنحراف التدريجي، نحصل على فرق الجاذبية بين نقطة المشاهدة ومحطة الأساس بضرب القراءة في معامل المعايرة للجرافيميتر وبمعلومية الفرق في الجاذبية يمكن حساب الجاذبية المطلقة عند نقطة المشاهدة من الجاذبية عند محطة الأساس المعروفة.

(٣) المسافة بين المحطات

يخطط لوضع محطات الجرافيميتر، كلما أمكن، في أركان مربع، طول الشبكة (S) تعتمد أساسًا على العمق (H) بحيث (S ≥ H). في المسح الواسع، تتراوح S من بضع كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات، أما في المدى الصغير تتراوح S من ١٠ إلى ١٠٠ متر وبالنسبة لإستكشافات البترول يكون المدى حوالي ١ كيلومتر. نحاول أن نتجنب وضع المحطات بالقرب من الاشكال الطبوغرافية التي قد تؤثر بشكل كبير على قراءات الجرافيميتر.

(٤) إنشاء محطة القاعدة

عادة من المفضل ربط قياسات الجاذبية بنوع ذو جاذبية مطلقة معروفة بدقة لذلك يجب أن نجد أقرب IGSN٧١ أو FGBS المحلية ثم ننسب القياسات إلى قيم IGSN٧١ أو FGBS بالرغم من أن ذلك ليس ضروريًا للمسوحات المحدودة المحلية لأن هذه المسوحات تبحث عن تغييرات الجاذبية. ولكن بالنسبة للأغراض البحثية، يفضل ربط المحطات بالـ IGSN٧١ لعمل ذلك، نفترض معدل إنحراف تدريجي خطي والفترات الزمنية البينية قصيرة بحيث أن تغييرات المد والجزر تدخل في منحنيات الإنحراف التدريجي كتغييرات خطية.

طريقة التكرار تبدأ عند محطة IGSN٧١ وبعد الحصول على قراءة هناك تعتبر محطة القاعده ١ ثم تتابع بالعودة إلى محطة IGSN التسلسل يعطي فروق الجاذبية النسبية بين المحطتين بعد تصحيح الإنحراف التدريجي. وبما أن قيم الجاذبية المطلقة معروفة في محطة ألـ IGSN٧١ إذن نعرف القيمة المطلقة للجاذبية في محطة القاعده ٢ .وهكذا نحدد قيمة الجاذبية المطلقة عند محطة القاعده ٣ . العملية النهائية تستخدم محطة القاعده ٣ لمعرفة قيمة المحطة ألـ IGSN٧١ .نادرًا ما تكون هذه القيمة مثل القيمة المنشأة أصلاً والفرق يعطي مؤشر لكمية الخطأ في قياسات محطة القاعده من ١ إلى ٣.

(٥) تحديد الإرتفاعات

يجب معرفة إرتفاع المحطات في مدى من ٢٥-٣٠ سم لكي تحتفظ قيم شذوذ بوجير **Bouguer** بدقة أفضل من ٠,١ ملليجال. تبين الخرائط الطبوغرافية مواقع علامات المنصات **(Benchmarks)** وهى نقط مقاسة الإرتفاع بدرجة عالية من الدقة. علامات المنصات هى أنبوب إسطواني من النحاس الأصفر مثبتة في خرسانة وتعتبر نقطة مرجعية للمسح المتنقلة. نقاط أخرى (تسمى نقط الإرتفاع) توضح على معظم الخرائط الطبوغرافية وهي نقط تم تحديد الإرتفاعات عندها. بالرغم من أن هذه النقط توضع في مواقع سهلة التعريف مثل تقاطع الطرق إلا أن النقطة نفسها لا تعرف في الحقل وبالتالي فهناك إحتمال خطأ كبير. حديثاً يستخدم نظام تحديد المواقع العالمي **GPS**.

تصحيح بيانات الجاذبية الأرضية

تتأثر الأرض بقوى التجاذب من القمر والشمس وعلى ضوء ذلك يحصل لها تشوهات من فترة لأخرى. مما يترتب عليه تأثر قيم الجاذبية عند أى نقطة بهذه التشوهات. علاوة على ذلك تتغير قيمة الجاذبية من موقع لآخر. وتتغير القراءات أيضًا في نفس الموقع. وهذا الفرق يعرف بشذوذ الجاذبية وضروري تفسيره لمعرفة مكونات باطن الأرض. على ضوء هذه التغيرات تصحح قراءات الجاذبية الأرضية للعوامل التالية:

قوة جذب الأرض.

قوة الطرد المركزية (تكون أعلى ما يمكن عند خط الإستواء).

نصف قطر الأرض عند خط الإستواء أكبر منه عند الأقطاب.

شكل الكتل الأرضية وتغير طبوغرافية الأرض من موقع لآخر.

موقع جهاز الرصد من مستوي سطح البحر.

تغير كثافة الأجسام بين جهاز الرصد ومستوى سطح البحر.

الجذور الخفيفة الكثافة للقارات والجبال العالية.

الجذور العكسية العالية الكثافة للمحيطات.

بعد الإنتهاء من إجراء قياسات الجاذبية الأرضية، فإنه لمقارنة هذه القياسات مع قيم الجاذبية القياسية عند نقطة القياس يلزم اجراء بعض التصحيحات على قيم الجاذبية الأرضية المقاسة قبل استخدامها في الأغراض العلمية وتشمل ما يلي :

أولاً تصحيحات لانحراف الأجزاء المرنة باجهزة القياسات وكذلك تأثير المد والجزر وهى ما يلزم اجراؤها قبل ارجاع قيمة الجاذبية الارضية الى المستوى المرجعي الثابت.

ثانياً تصحيحات تساعد في حساب قيم الجاذبية الارضية وارجاع قيمها الى مستوى ثابت تم اختياره لهذا الغرض (تصحيح خط العرض – الهواء الحر – بوجيير – التضاريس).

(١) تصحيح خط العرض

يعمل هذا التصحيح لإزالة زيادة الجاذبية من خط الإستواء إلى الأقطاب .تتغير الجاذبية مع خط العرض بسبب الشكل الإهليجي للأرض وبسبب السرعة الزاوية لأى نقطة على سطح الأرض تصل الحد الأعلى عند خط الإستواء وتصل إلى الصفر عند الأقطاب.

وكما سبق ذكره أن هناك زيادة قدرها ٢١ كم في نصف القطر الإستوائي عنه عند الأقطاب وبالتالي نجد أن النقاط بالقرب من خط الإستواء أبعد من مركز الأرض عنها عند الأقطاب مسببة زيادة في الجاذبية من خط الإستواء بإتجاه الأقطاب. والكتل الأرضية تحت المناطق الإستوائية أكبر منها تحت المناطق القطبية وعلى ضوء ذلك نجد أن تصحيح خط العرض = ٠,٨١٢ $\sin^2 Ø$ ملليجال/كم حيث Ø تمثل زاوية خط العرض. هذا التصحيح يطرح أو يجمع لفرق الجاذبية المقاسة إعتمادًا على موقع خط عرض المحطة من محطة القاعدة (يجمع التصحيح إذا كانت المحطة شمال محطة القاعدة ويطرح إذا كانت المحطة جنوب محطة القاعدة).

(٢) تصحيح الهواء الحر

يهدف تصحيح الهواء الحر على العودة بقيم الجاذبية الأرضية، التي قلت قيمتها مع زيادة الارتفاعات، على قيمتها الحقيقية. وتؤخذ فقط قيمة الارتفاع (ع) في الاعتبار عند اجراء هذا التصحيح. وتضاف قيمة هذا التصحيح الى القيمة المقاسة قبل مقارنتها مع القيمة القياسية لعجلة الجاذبية الارضية.

وقد أخذ في الاعتبار لحساب قيمة هذا التصحيح كروية الأرض وتجانسها ووجد ان قيمة الجاذبية الارضية تقل بمقدار ٠,٣٠٨٦ ميليجال/م. أى انه يلزم اضافة تصحيح قدره ٠,٣٠٨٦ X ع ميلليجال لقيمة عجلة الجاذبية الارضية المقاسة، حيث ع هي قيمة الارتفاع عن متوسط سطح البحر مقدرة بالمتر.

يضاف تصحيح الهواء الحر إلى الجاذبية المقاسة إذا كان موقع المحطة فوق مستوى سطح البحر (أو السطح المرجعي أو محطة القاعدة) وتطرح إذا كان العكس. يتغير تصحيح الهواء الحر قليلا مع تغير خط العرض من القيمة ٠,٣٠٨٦ ملليجال/ م عند خط الإستواء إلى ٠,٣٠٨٨ ملليجال/م عند القطبين.

بعد اجراء تصحيح الهواء الحر يمكن حساب ما يسمى بشاذات الفراغ بطرح قيمة عجلة الجاذبية النظرية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية المقاسة بعد التصحيح كما يمكن انشاء خرائط تسمى خرائط الهواء الحر.

(٣) تصحيح بوجير

يهدف تصحيح البوجير الى العودة بقيمة الجاذبية الأرضية المقاسة الى قيمتها الحقيقية آخذًا في الاعتبار جذب المادة الصخرية بين محطة القياس وسطح الجيوئيد (متوسط سطح البحر) بالاضافة الى تأثير الارتفاع نفسه. وقد سمي هذا التصحيح بتصحيح بوجير نسبة الى العالم الرياضي الفرنسي بيير بوجير (١٦٩٨-١٧٥٨) الذي حاول تعيين شكل الارض. وتطرح قيمة التصحيح الى القيمة المقاسة في حالة انخفاض محطة القياس عن سطح الجيوئيد. فهذا تصحيح تمثل قيم سالبة فوق المناطق الجبلية وقيم موجبة في قيعان البحر عكس تصحيح الهواء الحر.

بعد اجراء تصحيحات البوجير يمكن حساب ما يسمى شاذات البوجير بطرح قيمة عجلة الجاذبية العيارية من قيمة عجلة الجاذبية الارضية المقاسة بعد اجراء كل من تصحيحى الفراغ والبوجير كما يمكن انشاء خرائط تسمى خرائط البوجير.

(٤) تصحيح التضاريس

لاجراء قياسات دقيقة لعجلة الجاذبية الارضية، ينبغي وضح تصحيح قيمة عجلة الجاذبية ارضية المقاسة بالنسبة لطبوغرافية المنطقة المحيطة في الاعتبار. ويسمى ذلك تصحيح التضاريس وتستلزم الضرورة اجراء هذا التصحيح للوصول بقياسات عجلة الجاذبية الارضية الى دقة عالية تتطلبها بعض الدراسات. وتأتي أهمية هذا التصحيح نظرا لأن قيمة تصحيح البوجير تكون عالية نسبيا في حالة قرب محطات قياس الجاذبية الارضية من الوديان، نظرا لاشتمال تصحيح البوجير على جذب المادة الصخرية. وحيث أن المادة الصخرية غير موجودة، فانه يلزم اضافة تصحيح التضاريس لالغاء جذب المادة الصخرية. ايضا في محطات القياس القريبة من الجبال تكون قيمة الجاذبية الارضية المقاسة أصغر من قيمتها الحقيقية، وبالتالي فانه يلزم اضافة تصحيح التضاريس للحصول على القيمة الصحيحة.

ويجرى حساب تصحيح التضاريس بإستخدام تنظيم خاص يمكن من حساب متوسطات الارتفاعات من الخرائط الطبوغرافية واستخدام معادلات خاصة. ويضاف تصحيح التضاريس لقيمة تصحيح البوجير ويتم انشاء خرائط البوجير بعد اجراء هذه التصحيات.

(٥) تصحيح EOTVOS

عندما يثبت جهاز قياس الجاذبية على ظهر سفينة أو هليكوبتر يتأثر تسارع الجاذبية التي تقاس بالمركبة الرأسية للتسارع **Coriolis** الذي هو دالة في السرعة وإتجاه حركة المركبة ولمعادلة ذلك، تضبط بيانات الجاذبية بتطبيق تصحيح **Eotvos** والتي سميت على إسم مخترعها الفيزيائي **Eotvos Von** الذي وصف تأثيرها في نهاية الثمانينات.

توجد مركبتين لهذا التصحيح، الأولى تسارع طردي مركزي تعمل للخارج مصاحبة لحركة العربة أثناء سفرها فوق السطح المنحني للأرض والثانية هى التغيير في تسارع الطرد المركزي الناتج عن حركة العربة بالنسبة لحركة دوران الأرض حول محورها. في الحالة الثانية، الجسم الثابت على سطح الأرض يسير بسرعة سطح الأرض عند هذه النقطة ويدور حول محور دورانها في إتجاه شرق-غرب. إذا إنتقل هذا الجسم تقل سرعته في إتجاه الشرق **(X)** وتزيد سرعته بالنسبة للسرعة الدورانية بنفس القيمة. وبالعكس إذا إنتقل بسرعة **(Y)** في إتجاه الغرب تقل سرعته النسبية بنفس القيمة وبالتالي أى نقل لجهاز قياس الجاذبية والتي لها مركبة في الإتجاه شرق-غرب يكون له تأثير كبير على قياس الجاذبية. بالنسبة لأجهزة قياس الجاذبية المنقولة على السفن يكون تصحيح **Eotvos** في حدود **٣٥٠ gu** أما بالنسبة لقياس الجاذبية المنقولة جوًا، حيث تزيد السرعة عن **٩٠ h/km** (حوالي **٥٠** عقدة)قد يصل تصحيح **Eotvos** إلى **٤٠٠٠** وحدة جاذبية.

التفسير النوعي والكمي للجاذبية

يهدف التفسير الجيولوجي لشاذات الجاذبية الارضية الى التعرف على سمك وعمق وكثافة التراكيب الجيولوجية المحدثة لهذه الشاذات بالاضافة الى الوحدات التركيبية (التكتونية) السائدة وينقسم التفسير الجيولوجي لشاذات الجاذبية الارضية الى تفسير وصفي وتفسير كمي.

ويقوم التفسير الوصفي لشاذات الجاذبية الارضية على وصف الشاذات ومدلولاتها الجيولوجية من حيث:

هيئة وشكل الشاذات وامتدادها الاقليمي والمحلي والتراكيب الجيولوجية المحتما تمثيلها لها.

تغير قيم شاذات الجاذبية الارضية والتراكيب الجيولوجية المحتمل وجودها.

أما التفسير الكمي لشاذات الجاذبية الارضية فيقوم على تحديد وتعيين نوعية التراكيب الجيولوجية المحدثة لهذه الشاذات من الفوالق واحواض الترسيب وخلافه ولاجراء هذا النوع من التفسير يجب ان يوضع في الاعتبار عنصران مهمان يتميز بهما مجال

الجاذبية الارضية وهما:

مجال الجاذبية الارضية عند نقطة، محصلة لجميع التراكيب تحت السطحية والتي تؤثر في هذا المجال والتي يتم رصدها بأجهزة قياس الجاذبية الارضية.

لا يوجد حل أوحد يمكن الحصول عليه من تغير شاذات الجاذبية الارضية.

تعرف شاذة الجاذبية **Anomaly Gravity** في الدراسات الجيوديسية بأنه الفرق بين قيم الجاذبية المقاسة عند محطة ما و قيمة الجاذبية النظرية حسب المعادلة الدولية عند خط إرتفاع تلك النقطة. وعلى ضوء الهدف من الدراسة هناك نوعان من شاذة الجاذبية :-

شاذة الهواء الحر **Anomaly Air Free**

شاذة الهواء الحر = قيمة الجاذبية المحسوبة – الجاذبية النظرية + تصحيح الهواء الحر.

شاذة بوجير **Anomaly Bouguer**

شاذة بوجير = قيمة الجاذبية المحسوبة – الجاذبية النظرية + تصحيح الهواء الحر – تصحيح بوجير + تصحيح التضاريس.

عمومًا شاذة الهواء الحر أصغر من شاذة بوجير. وشاذة بوجير على اليابسة في معظم الأحيان تكون قيمها سالبة وفي المحيطات تكون موجبة. شاذة الهواء الحر تعطي معلومات جيدة عن الجاذبية الفعلية على سطح الأرض، بينما تعطي شاذة بوجير معلومات عن الكتل التحت سطحية.

وللحصول على نتائج مرضية من تفسير شاذات الجاذبية الارضية فانه يلزم فصل مجال الجاذبية الارضية الى مجال اقليمي **(Regional)** يمثل التراكيب الجيولوجية العميقة والتي لها امتداد اقليمي، ومجال محلي **Residual** أو **Local** يمثل التراكيب الجيولوجية ذات الامتداد المحلي والتي تتواجد غالبا بالطبقات الرسوبية للقشرة الارضية. وتستخدم لفصل مجال الجاذبية الارضية طرق مختلفة (يعتمد بعض منها على تسوية خطوط الكنتور) على خرائط أو قطاعات الجاذبية، ويعتمد البعض الآخر على طرق رياضية واحصائية. وتجدر الاشارة هنا الى ان مجالات الجاذبية الارضية المفصولة تختلف وتتباين تبعا للطريقة المستخدمة واختلاف الفروض والمعطيات

ويجرى تحليل كل من المجالين الاقليمي والمحلي على حدة لدراسة التراكيب الجيولوجية الاقليمية والمحلية على الترتيب.

أيضا يجب الاستعانة بكل البيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية المتاحة للحصول من تفسير شاذات الجاذبية الارضية على نتائج تمثل بدرجة من الدقة التراكيب الجيولوجية المحدثة لهذ المجال.

وينقسم التفسير الكمي لمجال الجاذبية الارضية الى قسمين: الأول منها يشتمل على تطبيق عدد من طرق التحليل لشاذات الجاذبية الارضية مع البيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية المتاحة للحصول منها على عمق وسمك وامتداد التراكيب الجيولوجية تحت السطحية، ويسمى ذلك بالتفسير المباشر لشاذات الجاذبية الارضية اما القسم الثاني فيقوم على مقارنة شاذات الجاذبية الارضية المحسوبة لعدد من الاشكال المنتظمة او غير المنتظمة والتي يمكنها ان تمثل التراكيب الجيولوجية المحتمل تواجدها تحت السطح، مع شاذات الجاذبية الارضية المقاسة، ويسمى ذلك بالتفسير غير المباشر لشاذات الجاذبية الارضية.

الضغط المتوازن (إيزوستاسي)Isostasy

قال تعالى « ألم نجعل الأرض مهادًا (٦) والجبال أوتادًا (٧) » النبأ تشير الآية إلى أن الجبال أوتاد للأرض. ومن المعروف أن جزء بسيط من الوتد ظاهر على السطح والجزء الآخر معظمه تحت السطح. لقد أثبتت الدراسات العلمية الحديثة أن للجبال جذورًا ممتدة داخل المنطقة العالية الكثافة لضمان ثباتها وإستقرارها.

وقد أصبحت نظريتى أيري وبرات (١٨٥٥ م) حقيقة ملموسة مع تقدم المعرفة بتركيب الأرض الداخلي عن طريق إنعكاس وإنكسار الموجات الزلزالية. فقد أصبح معلومًا أن للجبال جذورًا مغروسة في الإعماق قد تصل إلى ٨ مرات من إرتفاعها فوق سطح الأرض أو ٥ مرات بالنسبة للمحيطات أو البحار.

قال تعالى "وألقى في الأرض رواسي أن تميد بكم" لقمان ١٠ وقال تعالى: " وجعلنا في الأرض رواسي أن تميد بهم " الأنبياء ٣١. وكما تُثَبتُ السفن بمراسيها التي تغوص في الماء، كذلك تُثَبتُ قشرة الأرض بمراسيها الجبلية التي تميد جذورها في طبقة لزجة نصف سائلة تطفو عليها القشرة الأرضية.

عندما خلق الله القارات بدأت في شكل قشرة صلبة رقيقة تطفو على مادة الصهير الصخري فأخذت تميد وتضطرب فخلق الله الجبال البركانية التي كانت تخرج من تحت تلك القشرة فترمي بالصخور خارج سطح الأرض ثم تعود فتجذبه إلى الأرض وتتراكم بعضها فوق بعض مكونة الجبال وتضغط بأثقالها المتراكمة على الطبقة اللزجة فتغرس فيها جذرًا من مادة الجبل. الذي يكون سببًا لثبات القشرة الأرضية وإتزانها.

حساب عمق التعويض

من المتعارف عليه أن قيم الجاذبية المحسوبة عند أى محطة تتأثر بـ :

قوة جذب الكتل الجبلية.

كثافة الكتل الجبلية.

وتزداد كثافة الكتل الجبلية تحت المحيطات والمكونة في الغالب من صخور بازلتية عنها تحت القارات والمكونة في الغالب من صخور جرانيتية.

ويفترض التصحيح المتوازن أن الكتل الأرضية متوازنة وثابتة رغم النتوءات البارزة في بعضها كالجبال والأعماق مثل المحيطات ولكن هناك وعلى عمق يتراوح من ١٠٠ إلي ١١٥ كم تقريبًا تحت سطح الأرض يوجد المستوى الذي تتوازن فيه كل التأثيرات رغم إختلاف كثافة المكونات فوق هذا المستوى حتى سطح الأرض وأطلق عليه عمق التعادل **Depth of Compensation** (**d**)فعلى سبيل المثال لو إفترضنا أن صخور القشرة الأرضية كثافتها f (٢,٦٧جم/سم^{٣}) تطفو على مواد أكثر كثافة $f_{١}$ (٣جم/س^{٣}) كما هو موضح بالشكل. وإرتفاع الجبال فوق سطح الأرض (**h**) نجد أن العمق الذي تتوازن عنده الكتل تحت القارات (**d**) يعادل تقريبًا ٨ أضعاف إرتفاع الجبال فوق سطح الأرض.

$$d = (٢,٦٧ - ٣,٠) / ٢,٦٧ \sim ٨\ h$$

أما بالنسبة لحساب عمق التعادل (**d**) تحت المحيطات فنجد أن كثافة مياه البحار ١,٠٣جم/سم^{٣} وفرق الكثافة بين مياه البحار وصخور القشرة تحسب على النحو التالي كما في الشكل أعلاه.

$$h_{٥} \sim (٢,٦٧ - ٣,٠) / (١,٠٣ - ٢,٦٧) = d$$

نستنتج من ذلك أن عمق التعويض تحت المحيطات $h_{٥}$ بينما تحت القارات $h_{٨}$.

فلو كان معدل عمق المحيطات في العالم ٤ كم تقريبًا فإن هذا يعني أن سمك القشرة المحيطية يجب أن تكون أقل سماكة من القشرة القارية بمقدار ٢٠ كم على الأقل.

ولو إفترضنا أن قشرة الأرض في وضع متوازن في الحالتين الموضحتين في الشكل المرفق الأولى وجود كتل جليدية والأخرى بدون كتل جليدية فإننا نجد أن:

في الحالة الأولى : وجود كتلة جليدية

$$\rho_{٣} D_{١} = \rho_{٢} h_{٢} + \rho_{١} h_{١} \qquad (١)$$

في الحالة الثانية : بدون كتلة جليدية

$$\rho_{٣} D_{٢} = \rho_{٢} h_{٢} \qquad (٢)$$

بطرح المعادلة (٢) من المعادلة (١) نجد أن

$$\rho_{٣} (D_{٢} - D_{١}) = \rho_{١} h_{١}$$

وبالتالي فإن سمك الكتل الجليدية

$$h_{١} = \rho_{٣} (D_{٢} - D_{١}) / \rho_{١}$$

$(D_{٢} - D_{١})$ تمثل كمية رفع الأرض.

يتضح مما سبق ذكره أهمية تصحيح الجاذبية للضغط المتوازن لحساب الشكل والحجم الحقيقي للأرض.

هناك عدة نظريات طبقت في جبال الهملايا عام ١٨٥٥م. لضبط وتصحيح الجاذبية أهمها:

(١) نظرية برات (Prat ١٨٥٥)

تفترض نظرية برات أنه كلما أزداد إرتفاع الجبال فوق سطح الأرض قلت كثافتها بسبب إرتفاع درجة الحرارة في باطن الأرض. ونظرًا لإختلاف الكثافة تنشأ الكتل الجبلية وعند عمق معين، والمعروف بعمق التوازن، تتوازن الكثافات والضغوط.

وعلى ضوء هذه النظرية نجد أن كثافة الكتل الأرضية تساوي ٢,٦٧ جم/سم^{٣} تحت الجبال و كثافة الكتل تحت المحيطات ٣جم/سم^{٣} وكثافة البحار ١,٠٣جم/سم^{٣} وإرتفاع الجبال فوق مستوى سطح البحر **h** وعمق البحار **`h** نجد أن :

$$(٢,٦٧ - ٣) D = (٢,٦٧) h$$

ويمكن حساب عمق التعادل تحت المحيطات حسب نظرية: **Prat**

$$D (٢,٦٧ - ٣) = (١,٠٣ - ٢,٦٧) \ `h$$

(٢) نظرية إيري هسكانين (S'Airy ١٨٥٥)

تفترض هذه النظرية أنه كلما كان إرتفاع الجبال عاليًا كلما كان عمق الجذور كبيرًا. وكذلك فإن المناطق الجبلية البارزة لها جذور إلى الداخل في شكل بروز الجبل والبحار لها جذور إلى أعلى في شكل عمق البحار.

وبتطبيق نظرية **Airy** في المناطق الجبلية نجد أن:

$$R (\rho - \rho_s) = h \rho$$

حيث تمثل ρ كثافة صخور القشرة و ρ_s كثافة الصخور البازلتية الأكثر كثافة والتي تقع تحت المحيطات و R سمك الجذور تحت الجبال و h إرتفاع الجبال. وفي حالة المحيطات تصبح المعادلة على النحو التالي:

$$`t\ (\rho - \rho_s) = h\ (١{,}٠٣ - \rho)$$

حيث $`t$ تمثل سمك جذور المياه

ولحساب عمق التعادل في المناطق الجبلية T_C

$$R + D + h = T_C$$

وعمق التعادل في المناطق البحرية T_S

$$L - `t - D = T^S$$

حيثL عمق المحيط

المراجع

Reynolds ،J .١٩٩٧ .An Introduction to Applied and Environmental Geophysics .John Wiley& Sons ٧٩٦ .p.

Tsuboi ،C – ١٩٨١ ،.Gravity .George Allen & Unwin Press٢٥٤ ،p.

العمري – عبدالله ١٤١٤هـ، المسح الجاذبي (التثاقلي). دورة معهد الدراسات المساحية والجغرافية العسكري – إدارة المساحة العسكرية – الرياض. ٦٦ صفحة.

تعيلب، على ١٩٦٦م. الجاذبية مفتاح دراسة القشرة الأرضية. مجلة علوم وتكنولوجيا. العدد ٣٦.

موقع الإيمان على شبكة الإنترنت – تصميم مركز البحوث – جامعة الإيمان – بإشراف الشيخ عبدالمجيد الزنداني.

نصر، محمد عبدالفتاح. الجاذبية الأرضية. ١٩٩١م. دورة معهد الدراسات المساحية والجغرافية العسكري – إدارة المساحة العسكرية – الرياض. ٨٣ صفحة.

السيرة الذاتية للمؤلف
أ.د. عبد الله بن محمد العمـــــــري

- حصل على درجة الدكتوراة في الجيوفيزياء عام ١٩٩٠م من جامعة منيسوتا- أمريكا
- أستاذ الجيوفيزياء-قسم الجيولوجياء- جامعة الملك سعود منذ عام ١٤٢٠هـ
- المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود منذ عام ١٤١٧ هـ
- المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي
- رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض منذ عام ١٤٢٧ هـ
- رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء – جامعة الملك سعود
- رئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية
- رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة اوريجون الحكومية الأمريكية
- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية
- مستشار هيئة المساحة العسكرية
- نشر أكثر من ١٠٠ بحث علمي وتقرير فني في مجلات علمية متخصصة
- ألقى أكثر من ١٥٠ ورقة عمل في ندوات محلية ومؤتمرات عالمية
- باحث رئيس مع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو
- باحث رئيس مع وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي
- باحث مشارك في جامعتي الاباما وبنسلفانيا الحكومية الامريكية
- ممتحن خارجي في عدد من رسائل الماجستير والدكتوراه
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل
- عضو الإتحاد الأمريكي للجيوفيزياء
- عضو الإتحاد الأوروبي للجيولوجيين والمهندسين
- عضو لجنة تخفيف المخاطر الزلزالية لشرق البحر الأبيض المتوسط
- حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام ٢٠٠٥ م
- حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم و التقنية عام ٢٠٠٦ م
- حصل على جائزة أبها التقديرية للاسهامات العلمية (٢٠٠٧م)
  - حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز البحثي (٢٠١٣)
  - حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للنشاط العلمي (٢٠١٣م)
  - حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للاسهامات العلمية (٢٠١٣م)