جامعة البعث

كلية العلوم

قسم الجيولوجيا

مقرر

الجيوديزيا

Geodesy

القسم النظري

لطلاب السنة الأولى

د. أحمد العمر

1

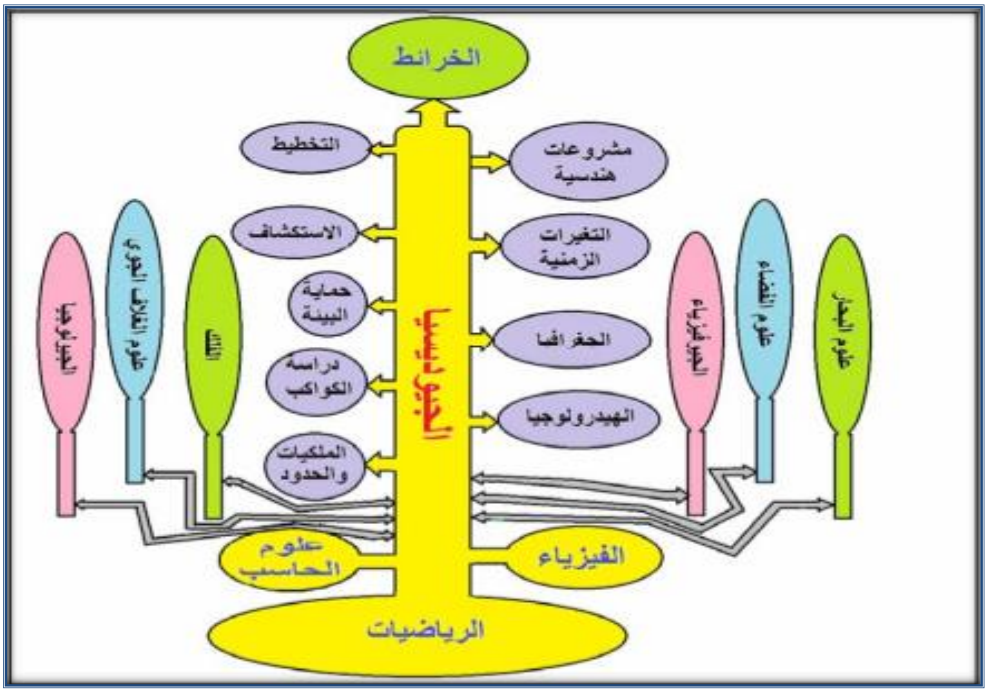
علم الجيوديزيا

Geodetic Science

كلمة الجيوديزيا Geodesy هي كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: **جيو Geo** بمعنى الأرض **وديزيا Desy** بمعنى القياس ورسم الخرائط، وبالتالي فإن الترجمة الحرفية لمصطلح "**جيوديزيا**" إنه علم القياس ورسم الخرائط لسطح الأرض.

ومازال هذا التعريف البسيط سارياً حتى الآن مع إن الجيوديزيا أصبحت تتعلق بعدة أنواع من القياسات، فحيث أن سطح الأرض يتكون من الماء واليابسة فإن الجيوديزيا تهتم بالقياس على سطح الأرض اليابسة وأيضا بالقياس في أعماق البحار والمحيطات. أيضا الأرض في حد ذاتها كوكب متحرك في إطار المجموعة الشمسية، مما ينتج عن حركتها قوى جاذبية بينها وبين الكواكب الأخرى وهذه القوى توثر في القياسات على الأرض مما يستلزم أن يمتد علم الجيوديزيا ليدرس أيضا قوى الجاذبية وتأثيراتها. بل إن الجيوديزيا– في السنوات الأخيرة– أصبحت تهتم أيضاً بالقياس على أسطح الأجرام السماوية الأخرى مثل القمر ليضاف إليها فرع جديد يسمى جيوديزيا الأجرام السماوية. مع انطلاق عصر الأقمار الصناعية في سبعينات القرن العشرين الميلادي واستخدامها في القياسات الجيوديزية فقد نتج عن ذلك فرع آخر من فروع الجيوديزيا وهو جيوديزيا الأقمار الصناعية.

يُصنف علم الجيوديزيا في قائمة علوم الأرض Geo–Sciences كما أنه يصنف أيضاً في قائمة العلوم الهندسية لتطبيقاته المتعددة في أعمال الهندسة المدنية وإنشاء المشروعات. ويرتبط علم الجيوديزيا ارتباطاً وثيقاً بعدد كبير من العلوم الأخرى كما في الشكل (1–1):



الشكل (1–1) العلاقة بين علم الجيوديزيا والعلوم الأخرى

1– الجيوديزيا والمساحة:

يتساءل الكثيرون عن العلاقة بين علم المساحة وعلم الجيوديزيا، فكلاهما في تعريفه البسيط هو علم القياس وإنتاج الخرائط على سطح الأرض. يرى البعض أن المساحة هي جزء أو فرع من فروع علم الجيوديزيا. فعلم الجيوديزيا ينظر إلى كوكب الأرض بكامله أو على الأقل لأجزاء كبيرة منه (قارة أو دولة) ويضع القوانين الرياضية والمعادلات التي تعتمد على القياس على الشكل الكامل أو الحقيقي لهذه الأرض. بينما علم المساحة يتعامل–غالباً– مع أجزاء صغيرة من الأرض بحيث من الممكن منطقياً أن نرى هذا الجزء البسيط كأنه مستوي

وليس كوكباً مجسماً وبالتالي يتم تبسيط المعادلات الرياضية وطرق الحساب. ومن هنا يُمكننا القول أن المساحة هي تبسيط لطرق القياس في جزء صغير من الأرض بدلاً من الطرق والنظريات الجيوديزية التي تتعامل مع مجسم الأرض كله. بينما يرى البعض الآخر أن علم المساحة (القياس في مساحة صغيرة من الأرض) قد عرفته البشرية أولاً ثم تلاه ظهور علم الجيوديزيا لاحقاً (القياس في مساحة كبيرة من الأرض) حيث يمكن القول أن المساحة الجيوديزية هي أحد أفرع علم المساحة. وكلا الرأيين جدير بالاحترام طالما كانت الفروق النظرية والرياضية واضحة عند تطبيق كلا من المساحة والجيوديزيا.

قديماً كانت الفروق واضحة بين أجهزة الرصد المساحية وأجهزة الرصد الجيوديزية. فعلى سبيل المثال كانت هناك أجهزة الثيودليت (أجهزة قياس الزوايا) المخصصة للعمل المساحي لعدة كيلومترات وأجهزة ثيودليت أخرى مخصصة للعمل الجيوديزي الذي يصل مداه لعدة عشرات من الكيلومترات. حديثاً زاد انتشار تطبيقات التقنيات التي تعتمد على الأقمار الصناعية في القياس على سطح الأرض وخاصة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم الجي بي أس GPS. هذه التقنيات (أو الأجهزة) تستطيع القياس على سطح الأرض لمسافات صغيرة جداً (عدة أمتار) أو لمسافات كبيرة جداً (عدة ألاف من الكيلومترات)، أي أنها تصلح للعمل المساحي وللعمل الجيوديزي أيضاً. من هنا أصبح هناك كثير من المستخدمين يتعاملون مع هذه التقنيات باعتبارها تقنيات مساحية مع أنهم في أحيان كثيرة يقومون بقياسات جيوديزية دون أن يدروا ذلك! الفرق بين القياسات المساحية والقياسات الجيوديزية يكون في مساحة منطقة الدراسة، فان كان المنطقة صغيرة (أقل من 50 كيلومتر مربع) فيكون الافتراض الأساسي للمساحة مازال منطقياً ومن الممكن أن نعتبر أننا نقيس على سطح مستوي. إما أن كانت منطقة الدراسة أو المشروع أكبر من هذه القيمة فنحن ننتقل من علم المساحة ونظرياته ومعادلاته إلى علم الجيوديزيا ونظرياته ومعادلاته. إن لم يكن المستخدم مدركاً لهذه الحقيقة فسيقع في مشاكل تقنية تؤثر بشدة على النتائج النهائية للمشروع (القياسات والخرائط). من هنا أصبح لازما على كل مساح أو مهندس مساحة (خاصة مع من يتعامل مع أجهزة الرصد بالأقمار الصناعية مثل تقنية GPS) إن يعرف ويدرس أساسيات ونظريات علم الجيوديزيا حتى يستطيع أن يصل للدقة المطلوبة لمشروعه.

أيضاً فان دراسة أنواع الارتفاعات يعد من أهم مبادئ الجيوديزيا التي يجب على مهندس أو أخصائي المساحة إن يلم بها. فعلى سبيل المثال فان تقنية GPS تعطي نوع من الارتفاعات يسمى الارتفاعات الجيوديزية أي قياس ارتفاع النقطة المرصودة عن السطح الرياضي الذي يمثل كوكب الأرض. بينما في المساحة التقليدية والمشروعات المدينة والخرائط الطبوغرافية فننا نتعامل مع المنسوب وهو الارتفاع النقطة المرصودة عن مستوى سطح البحر. أي أن هناك نوعين مختلفين من الارتفاعات، وبالتالي يجب أن يعرف مهندس المساحة هذه الحقيقة ويعرف أسس وطرق التحويل بينها. فان لم يعرف ذلك فانه سيعتمد الارتفاع الناتج من تقنية GPS كأنه هو المنسوب مما ينتج عنه أخطاء قد تصل إلى عدة أمتار.

إن أهمية دراسة أساسيات علم الجيوديزيا قد زادت في السنوات الحديثة مع انتشار تطبيقاته واستخدامات تقنية GPS (أحد تقنيات تحديد المواقع أو الإحداثيات بالرصد على الأقمار الصناعية) في مشروعات الهندسة المدنية والمشروعات البيئية.

2- تاريخ علم الجيوديزيا:

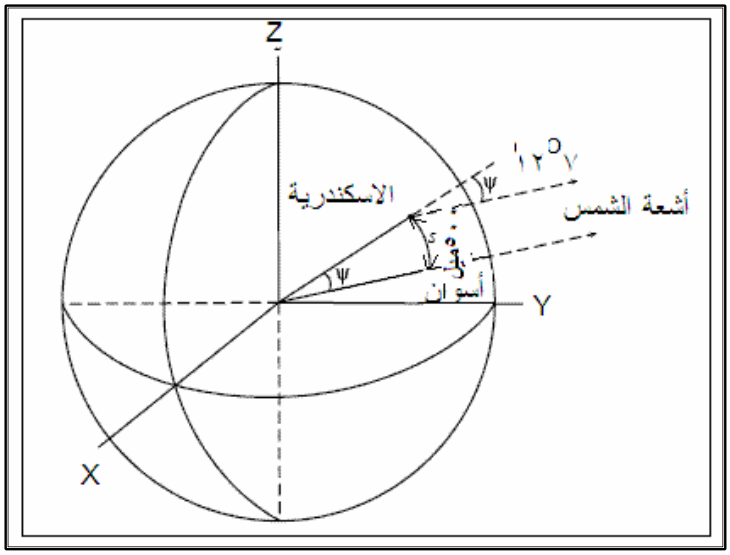
تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن والأجسام الأرضية الخاصة– مثل الجبال– كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلى مساعدة نهارية من الشمس والظل، وبالتالي استطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخرى. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد إلا وهو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعة واتجاهه أثناء السفر ليلا، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy. وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام– وأشهرهم فنار الإسكندرية في مصر وفنار جزيرة رودس اليونانية– كعلامة ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهاراً أو ضوء مصدر آخر ليلاً لإرشاد السفن المبحرة في البحار. لاحقاً بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به على قطع من الورق لتظهر للوجود "الخرائط" Maps.

وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع– بأبعاد ثلاثة– للمعالم الطبيعية والبشرية على أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي 1400 عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصاً وتعمقاً في عملية تحديد المواقع إلا وهو علم الجيوديزيا.

بدأت المعرفة البشرية لتكوين فكرة عن شكل كوكب الأرض عبارة عن قرص يطفو فوق سطح الماء. ومن العلماء والفلاسفة الأوائل الذين قالوا بذلك كلا من فيثاغورث (580–500 قبل الميلاد) وأرسطو (384–322 قبل الميلاد)، واستمرت هذه النظرية لعدة قرون.

من أولى بدايات التفكير الإنساني العلمي والتجريبي في معرفة شكل وحجم الأرض تلك التجربة الرائدة التي قام بها العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthenes (276–196 ق.م) والذي كان يشغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية التي كانت تعتبر أرقي معهد علمي في العالم في ذلك الوقت. لاحظ أراتوستين أن الشمس في يوم 21 حزيران من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان، أي أنها تكون عمودية تماماً في هذا الموقع، وبعد ذلك افترض أن الإسكندرية تقع إلى الشمال مباشرة من أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل الشمس عند الإسكندرية ووجدها 7.2 درجة، وقدر أن هذا الجزء– بين الإسكندرية وأسوان– يعادل 50/1 من الدائرة التي تمثل الأرض، الشكل (1–2). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت 5000 استادياً (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) إي ما يعادل 500 ميل أو 800 كيلومتر، ومن ثم تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (50 ضعف المسافة المقاسة بين أسوان والإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي 25000 ميلاً. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديزية في ذلك الزمن البعيد وباستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلاً عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو 24901 ميلاً.

استمرت نظرية أن الأرض كروية الشكل (لها نصف قطر ثابت في جميع الاتجاهات) عشرات القرون حتى القرن السابع عشر الميلادي حينما طور اسحق نيوتن (1643–1727) نظرية تفلطح الأرض، أي أن الأرض شبه كروية مفلطحة قليلاً عن القطبين الشمالي والجنوبي وليست كروية تماماً.



الشكل (1-2) تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض

3- تطبيقات علم الجيوديزيا:

يُصنف بعض العلماء علم المساحة على أنه التطبيق العملي لعلم الجيوديزيا لتحديد المواقع (الإحداثيات) اللازمة لإنشاء الخرائط. إلا أن دور الجيوديزيا في التطبيقات الهندسية لا ينحصر فقط في إنشاء الخرائط وخاصة في العقود الماضية حيث تستخدم الجيوديزيا في العديد من المجالات منها:

- **إنشاء الخرائط:** أول الأعمال المطلوبة لإنشاء الخرائط هو إقامة شبكة مثلثات جيوديزية مكونة من عدد من المحطات الجيوديزية وتحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية.
- **المساحة الجوية والاستشعار عن بعد:** تُستخدم الطرق الجيوديزية في تحديد إحداثيات نقط التحكم الأساسية التي تلعب الدور الأساسي في الحصول على خرائط وبيانات مساحية من تقنيات التصوير الجوي والأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الموارد الطبيعية.
- **المشروعات الهندسية:** عند إقامة أية مشروعات هندسية (مثل الطرق، الجسور، السدود، المصانع، الأقنية،.....الخ) فانه من الضروري تحديد مواقعها بدقة عن طريق تحديد إحداثيات العناصر المختلفة للمشروع. وتستخدم هذه الإحداثيات في التخطيط للمشروع وكذلك في متابعة التنفيذ طوال مرحلة المشروع.

- **نظم المعلومات الجغرافية:** الإحداثيات الجيوديزية هي العامل المشترك الأساسي الذي يمكن من خلاله الربط بين المصادر المختلفة للمعلومات لإنشاء نظم المعلومات الجغرافية.
- **الملاحة الجوية والبحرية:** تعتمد الطائرات والسفن على الإحداثيات الجيوديزية للوصول إلى الهدف طبقاً لخط السير المحدد.
- **التخطيط العمراني:** تساعد الجيوديزيا في تعيين الإحداثيات اللازمة لإعمال التخطيط العمراني والبحث عن المصادر والثروات الطبيعية.
- **تعيين الحدود:** تلعب الجيوديزيا الدور الأساسي في تحديد وتوثيق إحداثيات العلامات الحدودية بين الدول أو الحدود الإدارية بين المحافظات داخل الدولة.
- **دراسة تحركات القشرة الأرضية:** تستخدم الأرصاد الجيوديزية المتكررة في الحصول على قيم دقيقة لتحركات القشرة الأرضية في المناطق الغير مستقرة ديناميكياً (مناطق الفوالق تحت سطح الأرض المسببة للزلازل) وخاصة حول المنشآت الهندسية الضخمة كالسدود والخزانات.
- **علوم البيئة:** تلعب الجيوديزيا دوراً مؤثراً في دراسة المتغيرات البيئية عن طريق تحديد إحداثيات المناطق ذات التغير المستمر في التركيب البيئي.
- **علوم الفضاء:** تحديد إحداثيات محطات إطلاق المركبات القضائية وكذلك إحداثيات الأقمار الصناعية في الفضاء طبقاً لمدارها المحدد.
- **دراسة البحار:** تستخدم الأرصاد الجيوديزية في تحديد معدلات ارتفاع سطح البحر لتجنب غرق المناطق الساحلية.
- **الجيولوجيا:** يعتمد علم الجيولوجيا على الإحداثيات الجيوديزية لإعداد الخرائط الجيولوجية.

4- أقسام الجيوديزيا:

توجد عدة تقسيمات أو تصنيفات لأفرع علم الجيوديزيا بناءً على وجهة النظر في التقسيم ذاته.

فإذا قسمنا الجيوديزيا بناءً على منطقة العمل أو حدود منطقة القياسات الجيوديزية نجد ثلاثة أقسام:

أ) الجيوديزيا العالمية Global Geodesy:

الفرع المسؤول عن تحديد شكل وحجم ومجال جاذبية الأرض.

ب) المساحة الجيوديزية الوطنية National Geodetic Surveys:

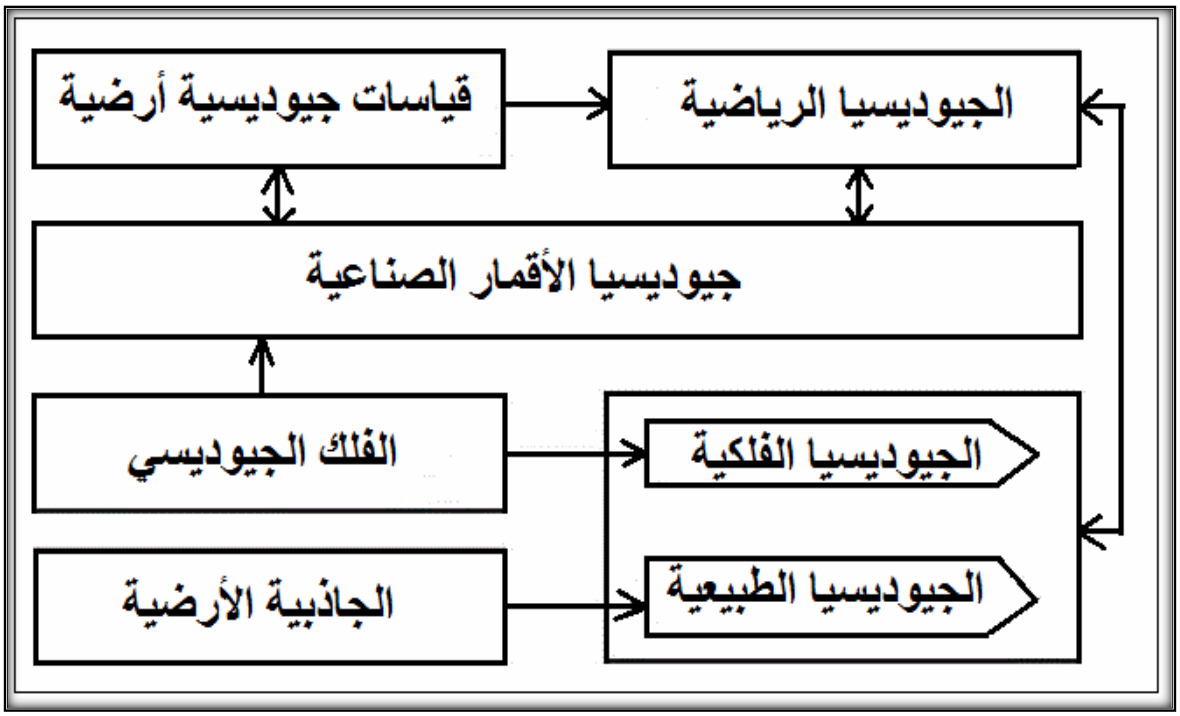
الفرع المسؤول عن تحديد شكل ومجال جاذبية دولة معينة، وذلك عن طريق إنشاء شبكات من العلامات (الثوابت) الأرضية المعلومة الإحداثيات وقيمة الجاذبية الأرضية لها. وفي هذا القسم من أقسام الجيوديزيا يجب اخذ كروية الأرض في الاعتبار ومالها من تأثيرات على القياسات والأرصاد.

ج) المساحة المستوية Plan Surveying:

الفرع المسؤول عن القياسات التفصيلية اللازمة للرفع التفصيلي والرفع الطبوغرافي والأعمال الهندسية لمساحة صغيرة من الأرض.

العلاقة قوية بين هذه الفروع الثلاثة لعلم الجيوديزيا، فالجيوديزيا العالمية تحدد عناصر شكل ومجال جاذبية الأرض ككل، ومن ثم تبدأ الجيوديزيا الوطنية في اعتماد هذه القيم في عمل شبكات جيوديزية (ثوابت) لكل دولة ثم تبدأ المساحة المستوية في الاعتماد على هذه الثوابت لقياس تفاصيل معالم سطح الأرض لإنتاج الخرائط.

أما من حيث طبيعة العمل (القياسات) الجيوديزية ذاتها فيمكن تقسيم علم الجيوديزيا إلى خمسة أقسام رئيسية وان كان لا توجد حدود فاصلة أو قطيعة بين كل قسم وآخر، الشكل (1-3).



الشكل (1-3) أشكال الجيوديزيا الرئيسية

1- الجيوديزيا الأرضية أو الهندسية Terrestrial Geodesy:

يتم فيها إجراء القياسات الجيوديزية (الزوايا الأفقية والرأسية والمسافات وفروق المناسيب) بهدف إنشاء شبكات الثوابت الأرضية وحساب الإحداثيات ثلاثة الأبعاد (X,Y,Z) لكل نقطة منها لإنشاء الهيكل الجيوديزي للدولة الذي ستعتمد عليه جميع أعمال المساحة وإنشاء الخرائط.

2- الجيوديزيا الطبيعية أو الفيزيائية Physical Geodesy:

يتم فيها قياس وتحديد مجال الجاذبية الأرضية ومن ثم تحديد تأثيرها على القياسات الجيوديزية وأيضا تحديد الشكل الحقيقي للأرض (الجيوئيد) وعلاقته بالشكل الهندسي المستخدم في إنشاء الخرائط (الاليبسويد). تتم هذه العمليات إما باستخدام أرصاد الجاذبية الأرضية أو باستخدام الأرصاد الفلكية أو حديثاً باستخدام القياسات على الأقمار الصناعية.

3- جيوديزيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy:

تشمل الأرصاد والقياسات الجيوديزية المعتمدة على الأقمار الصناعية التي بدأت في الظهور منذ عام 1957 م. تستخدم تطبيقات جيوديزيا الأقمار الصناعية في الجيوديزيا الهندسية وأيضا الجيوديزيا الطبيعية والفلكية.

4- الجيوديزيا الفلكية Astronomical Geodesy:

يتم فيها قياس الإحداثيات الفلكية (خط الطول الفلكي ودائرة العرض الفلكية) لنقاط شبكات الثوابت الأرضية بالإضافة للانحراف الفلكي لخطوط شبكات الثوابت الأرضية للدولة من خلال الرصد على النجوم. يُعد هذا النوع من أقسام الجيوديزيا من أقدم الأنواع الجيوديزية وكان مهم جداً في الماضي لتوجيه الشبكات الجيوديزية وتحديد موقعها بدقة على سطح الأرض، وإن كان الاعتماد على الأرصاد الفلكية قد قل كثيراً في الوقت الراهن بعد انتشار تطبيقات الرصد على الأقمار الصناعية.

5- الجيوديزيا الرياضية Mathematical Geodesy:

فرع الجيوديزيا الذي يهتم بالنظريات الرياضية والمعادلات وطرق الحسابات وتحليل الأرصاد المستخدمة في كافة أفرع الجيوديزيا الأخرى.

2

الجيوديزيا الهندسية

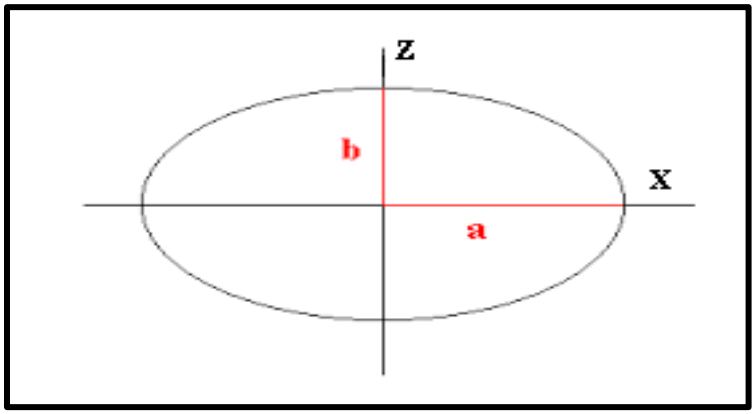
Engineering geodesy

يُنظر إلى الجيوديزيا الهندسية كونها القسم من علم الجيوديزيا المتخصص في الحسابات الخاصة بأبعاد الأرض الهندسية وتعين فيها المعاملات المحددة لشكل الأرض رياضياً.

1-الخواص الهندسية للمجسم الأرضي:

لقد تغيرت نظرة الإنسان إلى شكل الأرض إلى أن وصلنا إلى القطع الناقص الدوراني الذي له أهمية خاصة في علم الجيوديزيا الهندسية.

يتولد القطع الناقص الدوراني من دوران قطع ناقص حول محوره الثانوي كما هو مبين في الشكل (2-1)، حيث يرسم محيط القطع الناقص في الفضاء سطحاً فراغياً يمثل السطح الخارجي للقطع الناقص الدوراني.



الشكل (2-1)

من الشكل (2-1)، يتبين لنا أن القطع الناقص المرسوم في المستوي X-Z يتحدد بأنصاف الأقطار a،b حيث يمثل البعد a نصف قطر الدائرة الواقعة في المحور X وY، أما البعد b فهو نصف قطر الدائرة الواقعة في المستوي العمودي على المستوي السابق ويحوي المحور Z في المستوي X-Z. إذا طبقنا معادلة القطع الناقص فإننا نكتب:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1 \qquad (1\text{-}2)$$

فإذا دار القطع المذكور حول محور Z فانه يرسم بالفضاء قطعاً ناقصاً فراغياً معادلته:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{a^2}+\frac{z^2}{b^2}=1 \qquad (2\text{-}2)$$

2-معاملات القطع الناقص الدوراني:

التفلطح: ينتج التفلطح بسبب اختلاف أنصاف القطع الناقص الدوراني حيث a≠b ويعرف التفلطح رياضياً بالعلاقة:

$$f=\frac{a-b}{a} \qquad (2\text{-}3)$$

ومن الملاحظ ان عامل التفلطح f لا واحدة له وهو أحد المقادير الهامة جداً في الجيوديزيا الهندسية.

اللامركزية الرئيسية: من الملاحظ إذا رسم المماس للقطع الناقص عند أية نقطة ورسم الناظم عليه فان هذا الناظم لا يمر من مركز الإحداثيات X-Y-Z إذ يقطع المحور X بعيداً عن نقطة البدء وهذا ناتج عن وجود لامركزية تعرف رياضياً:

$$e=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}} \qquad (2\text{-}4)$$

اللامركزية الثانوية: وهي نسبة شبيهة في تعريفها باللامركزية الرئيسية غير أن تعريفها الرياضي:

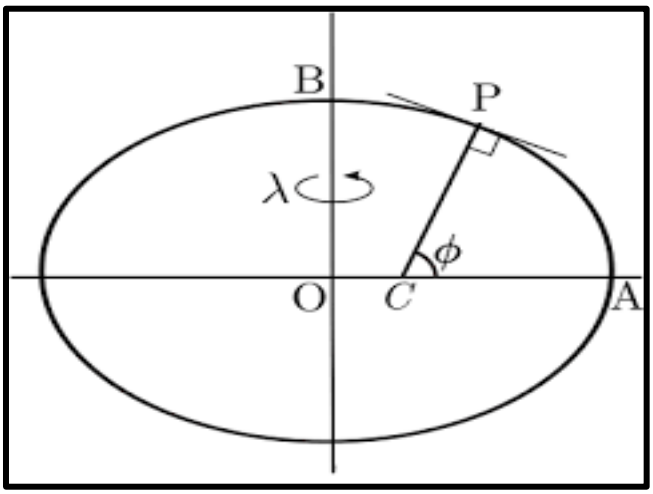
$$e'=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}} \qquad (2\text{-}5)$$

إن اللامركزية الرئيسية مقدار لا واحدة له ويكثر استخدامه في العلاقات الجيوديزية. ويمكن كتابة العلاقة بين a وb بدلالة التفلطح كما يلي:

$$b=a(1-f) \qquad (2\text{-}6)$$

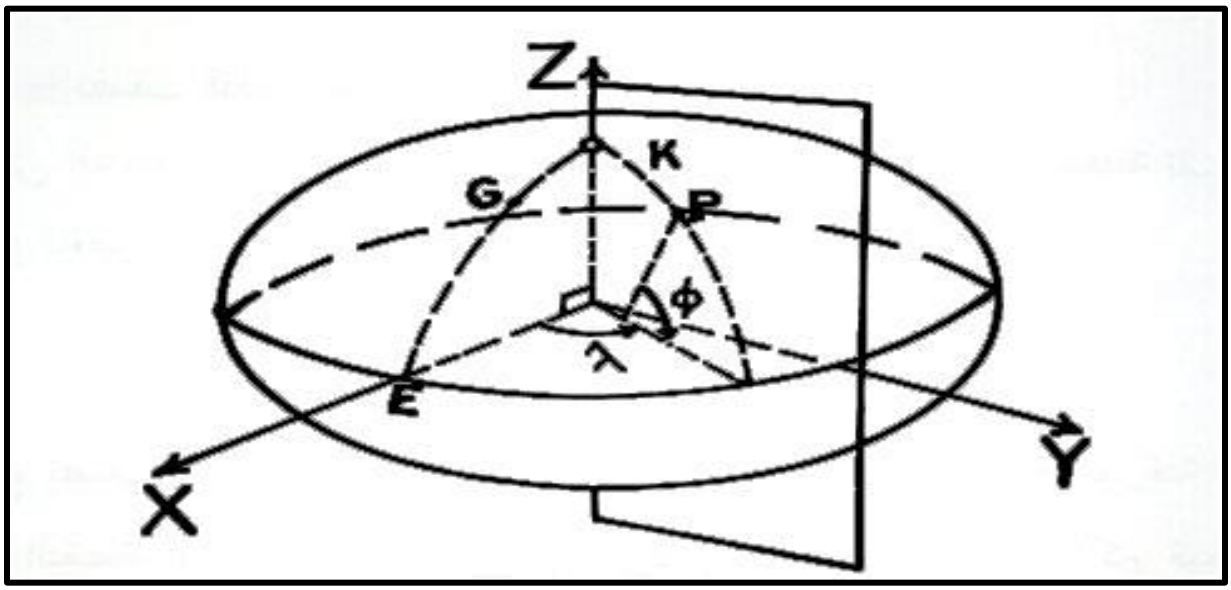
3-المحاور الجيوديزية المركزية والقطع الدوراني الناقص:

إذا رسمنا مماسا للقطع الناقص المبين بالشكل (2-2) عند النقطة P وأقمنا الناظم عند تلك النقطة فان الناظم سوف يقطع المحور X ويصنع الزاوية Ø التي تسمى بزاوية خط العرض للنقطة P. وتتراوح هذه الزاوية بين: $-\frac{\pi}{2} < \emptyset < \frac{\pi}{2}$، حيث أن النقاط الواقعة إلى شمال خط الاستواء ذات قيم موجبة بينما النقاط الواقعة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية فان لها زاوية خط عرض سالبة.



الشكل (2-2)

ويبين الشكل (2-3) Z،Y،X التي تمثل ثلاثة محاور متعامدة تلتقي في مركز الثلاثية، أما النقطة P فهي تقع على سطح القطع الناقص الدوراني، أما الناظم عند النقطة P فهو يقع في مستوي عمودي على مستوي الاستواء ويمر بالنقطة P وبالقطبين الشمالي والجنوبي أما الفصل المشترك بين المستوي والقطع الناقص الدوراني فهو المنحني K الذي هو قطع ناقص يسمى بمستوى الزوال أو الميريديان.



الشكل (2-3)

4-زاوية خط الطول الجيوديزي:

يُلاحظ من الشكل (2-3) إن الزاوية الكائنة بين مستوي الزوال عند غرينتش ومستوي الزوال المار بالنقطة P هي الزاوية الدورانية λ والتي تقاس عكس عقارب الساعة تسمى هذه الزاوية بزاوية خط الطول الجيوديزي للنقطة P وتتراوح قيمتها ما بين: $0 \leq \lambda \leq 2\pi$.

5-نصف قطر التقوس للمجسم الأرضي:

يمكن البرهان رياضياً انه عند أية نقطة على سطح فراغي فانه يوجد نصفا قطر تقوس أحدهما رئيسي والآخر ثانوي وبناءً عليه فان سطح قطع الناقص الدوراني ينطبق عليه أن لكل نقطة تقع على سطحه نصفي قطر تقوس وهما:

1- نصف قطر التقوس الرئيسي N:

يمكن البرهان على أن نصف قطر التقوس الرئيسي عند أية نقطة تقع على سطح قطع ناقص دوراني لها القيمة :

$$N= \frac{a}{\sqrt{1-e^2\,sin^2\emptyset}} \qquad (2\text{-}7)$$

ويقع نصف قطر التقوس الرئيسي في المستوي المتعامد مع الورقة بالشكل ومركزه في النقطة K ويمر بالنقطة P. ويتضح من العلاقة (2-7) أن أكبر قيمة له هي عند خط العرض $\emptyset = 90°$، أي في القطبين أما أصغر قيمة له فهي عند خط الاستواء حيث $\emptyset = 0$.

2- نصف قطر التقوس الثانوي M:

يُمكن البرهان رياضياً إن نصف قطر التقوس الثانوي M يقع في مستوي الورقة ويعطى بالعلاقة:

$$M=\frac{a(1-e^2)}{[1-e^2sin^2\emptyset]^{3/2}} \qquad (2\text{-}8)$$

ومن الواضح إن أكبر قيمة لنصف قطر التقوس الثانوي عند القطبين أما أصغر قيمة له فهي عند خط الاستواء.

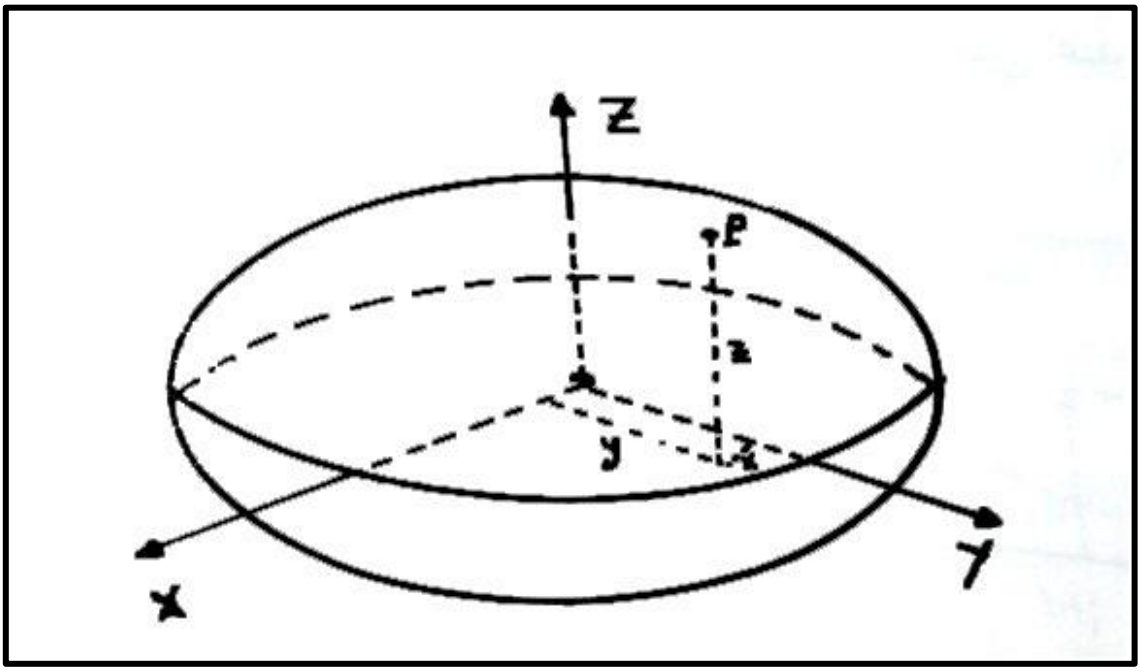
6-الإحداثيات الجيوديزية المركزية:

يمكن البرهان وبالاعتماد على الشكل (2-4) بان الإحداثيات المركزية الجيوديزية لها علاقة مع زاويتي خط الطول والعرض للنقطة المعتمدة P وتعطى كما يلي:

$$X=N\cos(\emptyset)\cos(\lambda)$$

$$Y=N\cos(\emptyset)\sin(\lambda) \qquad (2\text{-}9)$$

$$Z=\frac{b^2}{a^2}Nsin(\emptyset)$$



الشكل (2-4)

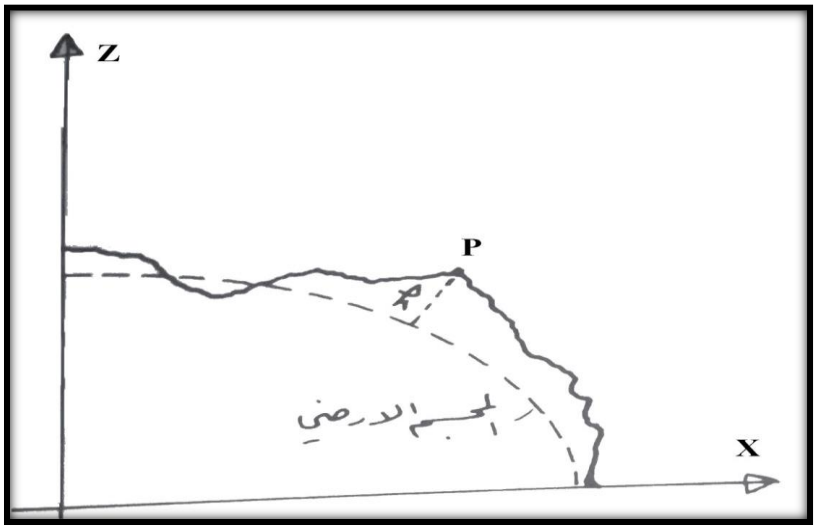
ومن الملاحظ أن هذه الإحداثيات هي الإحداثيات المركزية X،Y،Z وتتغير مع تغير الزوايا الجيوديزية (خط طول، خط عرض)، أما N فهو نصف قطر التقوس الرئيسي عند النقطة P والمعادلات (2-9) صالحة لكل نقطة تقع على سطح المجسم الأرضي، غير إن وجود نقطة تقع على سطح المجسم أمراً نادراً جداً وبالرجوع إلى الشكل (2-5) يتبين لنا أن أي نقطة على المجسم يمكن أن تقع فوق سطح المجسم الرياضي وربما تقع أسفل منه والبعد بين النقطة P وسطح المجسم الأرضي الرياضي المتعامد معه هو ارتفاع النقطة الجيوديزية عن المجسم الأرضي ويسمى h وهو موجب إذا كانت النقطة فوق سطح القطع الناقص الدوراني وسالب إذا كانت غير ذلك.

وفي هذه الحالة تصبح المعادلات (2-9) كما يلي:

$$X=(N+h)\cos(\emptyset)\cos(\lambda)$$

$$Y=(N+h)\cos(\emptyset)\sin(\lambda) \qquad (2\text{-}10)$$

$$Z=(\frac{b^2}{a^2}N+h)sin(\phi)$$



الشكل (2-5)

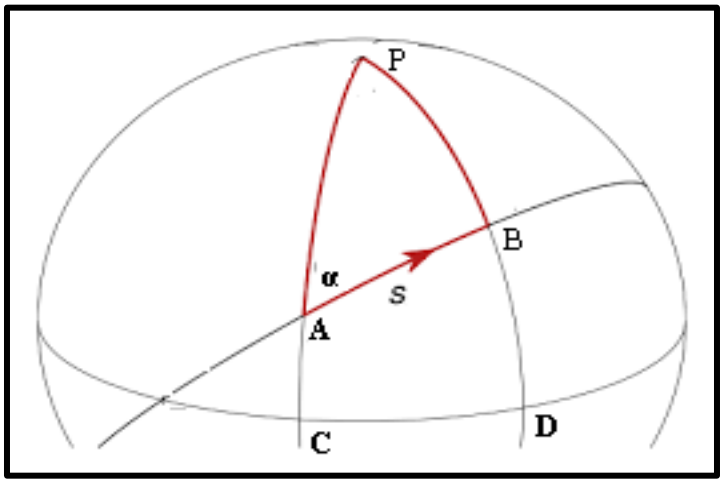
7-السمت الجيوديزي:

ليكن المجسم الأرضي المبين بالشكل (2-6)، فإذا قطعنا هذا المجسم بمستوي الزوال المار بالنقطة A فأنه يقطع مستوي الاستواء في C بينما يمر مستوي الزوال الأخر بالنقطة B ويقطع مستوي الاستواء في D.

فإذا تمركز مساح فوق النقطة A ونظر في افقه إلى النقطة B فانه عملياً يتجه نحو الشمال ولهذا فان مستويات الزوال هي دالة إلى الشمال وكل مستوي زوال يعني زاوية خط طول محدد فإذا افترضنا وجود مستو مار بالنقطتين A وB يحوي ما أسميناه بالمسافة الجيوديزية، عندها إذا تمركز مساح فوق النقطة A واتجه في منظاره إلى النقطة B فان الزاوية α المبينة بالشكل انما تدل على اتجاه يصنع مع الشمال هذه الزاوية التي تدعى بالسمت الجيوديزي بين A وB ويرمز عاده بـ Az.

حيث يقاس السمت الجيوديزي مع عقارب الساعة ويتراوح في قيمته بين $0 < Az < 360°$. مما سبق نستنتج أن السمت الجيوديزي يشابه بتعريفه السمت المعتبر في الأعمال الطبوغرافية ولكن على خلاف المبادئ المعروفة في الطبوغرافيا فان:

$$Az_{BA} - Az_{AB} \neq \pi \qquad (2\text{-}11)$$



الشكل (2-6)

أي أن مجموع السمت بين A إلى B مع السمت من B إلى A لا تساوي π أو 200 G وهذه ملاحظة في غاية الأهمية وسبب الاختلاف يعود إلى كون الحسابات تعتمد على اتجاهات على سطح فراغي وليس بالمستوي.

إذا أخذنا المثلث الفراغي وبالاعتماد على بعض العمليات الرياضية فانه يمكن البرهان على ما يلي:

$$d\alpha = \frac{1}{N}\sin\alpha.\tan\emptyset.ds \qquad (2\text{-}12)$$

حيث N نصف قطر التقوس و α الزاوية السمتية، ∅ زاوية خط العرض وأما ds فهي المسافة الصغرية التي تمثل قوساً على سطح المجسم الأرضي متناهياً في الصغر.

وبالحقيقة اعتمد العالم كليروس على العلاقة السابقة للحصول على العلاقة الشهيرة التالية:

$$N_1\cos(\emptyset_1)\sin(\alpha_1)=N_2\cos(\emptyset_2)\sin(\alpha_2)=\text{constant} \qquad (2\text{-}13)$$

وتفيد العلاقة (2-13) بأنه عند أي نقطة على سطح المجسم الأرضي فان الجداء السابق يبقى ثابتاً لا يتغير.

8-المسافة بين نقطتين على سطح المجسم الأرضي:

لقد كانت مسألة حساب المسافة الجيوديزية بين نقطتين تقعان على سطح المجسم الأرضي تحدياً رياضياً انبرى كبار الرياضيين لحله وبالحقيقة قام معظم علماء الرياضيات باقتراحات مختلفة وسبب الصعوبة في هذا الأمر كون حساب أطوال أقواس القطوع الناقصة من الحسابات الصعبة رياضياً وتتطلب جهداً حسابياً وسيتم هنا الاقتصار على الطرائق الرياضية البسيطة لحساب المسافة بين نقطتين جيوديزيتين وذات درجة مقبولة من الدقة. ومعظم الطرائق المذكورة هنا طرائق مناسبة للأعمال والحسابات الجيوديزية حيث أن المسافات بين النقاط الجيوديزية ليست كبيرة لا تتجاوز مئة كيلو متر على أية حال.

9-المسألة الجيوديزية:

من أجل معالجة مسألة المسافة بين نقطتين على المجسم الأرضي وحساب السموت الجيوديزية بين النقاط المختلفة يتم تقسيم العمليات الرياضية إلى نوعين من العمليات أطلق عليها علماء الرياضيات اسم المسألة الجيوديزية المباشرة والمسألة الجيوديزية غير المباشرة.

9-1 المسألة الجيوديزية المباشرة:

وهي حالة تمركز المساح فوق نقطة معلومة $(\emptyset, \lambda, h)$ وسمت جيوديزي معلوم فإذا استطاع المساح معرفة المسافة بين نقطة التمركز ونقطة التمركز ونقطة أخرى كذلك السمت الجيوديزي بينهما فانه بالإمكان معرفة الإحداثيات الجيوديزية للنقطة المرصودة المجهولة أي أن:

المعلوم
- ϕ_A (خط عرض نقطة الوقوف)
- λ_A (خط طول نقطة الوقوف)
- $A_{z_{AB}}$ (السمت الجيوديزي للاتجاه بين A وB)
- S (المسافة الجيوديزية بين A وB)

المجهول $\left\{\begin{array}{l}\phi_{\mathrm{B}}\\ \lambda_{\mathrm{B}}\\ A_{z_{\mathrm{BA}}}\end{array}\right.$

9-2 المسألة الجيوديزية غير المباشرة :

وهي حالة كون الإحداثيات الجيوديزية لنقطتين على سطح المجسم الأرضي معروفة ويراد معرفة المسافة الجيوديزية الكائنة بين النقطتين وكذلك السمت الجيوديزي الكائن بينهما أي أن:

المعلوم $\left\{\begin{array}{l}\phi_{\mathrm{A}}\\ \lambda_{\mathrm{A}}\\ \phi_{\mathrm{B}}\\ \lambda_{\mathrm{B}}\end{array}\right.$ ، المجهول $\left\{\begin{array}{l}\mathrm{A}_{z_{AB}}\\ A_{z_{\mathrm{BA}}}\\ \mathrm{S}\end{array}\right.$

حسابات المسألة الجيوديزية المباشرة:

يمكن معرفة الإحداثيات الجيوديزية لنقطة مجهولة بالتمركز فوق نقطة معلومة ورصد المسافة بين النقطتين (المسافة الجيوديزية) ومن معرفة إحداثيات نقطة التمركز والمسافة الجيوديزية والسمت يمكن تحديد إحداثيات النقطة المجهولة. وبالحقيقة توجد عدة طرائق مبسطة وأخرى تأخذ جهداً ووقتاً بالحسابات وقد انبرى لحساب المسألة الجيوديزية المباشرة عدة علماء رياضيات منهم بسل، هلمرت، غوص، لاجاندريه وغيرهم وسيتم اختيار أسهل الطرق في هذه المحاضرة نظراً لنتائجها المقبولة.

طريقة لاجاندريه:

لنفرض وجود نقطتين جيوديزيتين A وB ولنفرض كون التمركز فوق النقطة المعلومة B وتم حساب سمت الاتجاه من A إلى B وقيست المسافة الجيوديزية بين النقطتين المذكورتين S عندها يكون اعتماد طريقة لاجاندريه وهي:

$$\frac{d\emptyset}{ds} = \frac{\cos(A)}{M}$$

$$\frac{d\lambda}{ds} = \frac{\sin(A)}{N.\cos(\phi)} \qquad (2\text{-}14)$$

$$\frac{dA}{ds} = \frac{t.\sin(A)}{N}$$

حيث:

ϕ : خط عرض النقطة.

λ : خط طول النقطة.

A : السمت الجيوديزي بين النقطتين.

N: نصف قطر التقوس عند النقطة A.

t : ظل زاوية العرض إي : $t=\tan\phi$

s : المسافة بين النقطتين.

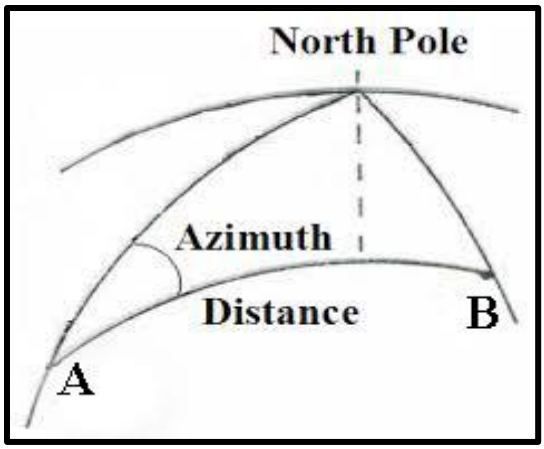
M : نصف قطر التقوس الثانوي عند A.

باستخدام سلسلة لاجاندريه المعتمدة على سلسلة تايلر يمكن أن نكتب:

$$\phi_2 = \phi_1 + \left(\frac{d\phi}{ds}\right)s + \frac{1}{2}\left(\frac{d2\phi}{ds^2}\right)s^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{d3\phi}{ds^3}\right)s^3 + \cdots \ldots$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \left(\frac{d\lambda}{ds}\right)s + \frac{1}{2}\left(\frac{d2\lambda}{ds^2}\right)s^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{d3\lambda}{ds^3}\right)s^3 + \cdots \quad (2\text{-}15)$$

$$Az_{21} = Az_{12} + \left(\frac{dA}{ds}\right)s + \frac{1}{2}\left(\frac{d2A}{ds^2}\right)s^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{d3A}{ds^3}\right)s^3 \pm 180°$$



من أجل حسابات دقيقة ومقبولة ضمن 50 كم يمكن اختصار المشتقين الثاني والثالث في العلاقات السابقة ونكتفي بالحدود الأولى حيث أن مساهمة الحدود العليا بالجواب تكون أقل من ثانية ستينية على مسافات اقل من 50 كم وهذه دقة مقبولة جداً لنا، ومنه نكتب:

باستخدام سلسلة لاجاندريه المعتمدة على سلسلة تايلر يمكن أن نكتب:

$$\phi_2 = \phi_1 + \left(\frac{d\phi}{ds}\right)s$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \left(\frac{d\lambda}{ds}\right)s \quad (2\text{-}16)$$

$$A_{21} = A_{12} + \left(\frac{dA}{ds}\right)s \pm 180°$$

حسابات المسألة الجيوديزية غير المباشرة:

كما ذكرنا سابقاً فانه في حالة حصولنا على الإحداثيات الجيوديزية لأي نقطتين على سطح المجسم الأرضي يمكننا حساب المسافة الجيوديزية الكائنة بينهما بالإضافة إلى حساب السمت من إحدى النقطتين باتجاه الأخرى.

كما هو الحال بالنسبة للمسألة الجيوديزية المباشرة فان العمليات الرياضية تتم بوساطة عمليات تكامل الأقواس من قطع ناقص وهي صعبة ولا تحسب إلا بالطرائق العددية أو بشكل سلاسل منشورة بجوار نقاط محددة. وبالفعل قام العديد من علماء الرياضيات بمحاولات لحل المسألة الجيوديزية غير المباشرة وظهرت معظم هذه الطرائق في القرن التاسع عشر وسنذكر هنا فقط طريقة واحدة بسيطة صالحة لعدة مئات من الكيلومترات وذات دقة مقبولة. وهذه الطريقة هي طريقة العالم الرياضي Ewing، حيث تعتمد طريقة العالم Ewing على إجراء بعض العمليات التقريبية للمسألة الجيوديزية الحقيقية مثل تحويل قوس منحن إلى خط مستقيم، نفرض وجود نقطتين A وB واقعتين على سطح المجسم الأرضي (قطع ناقص دوراني) وليكن القوس (S) هو المسافة الجيوديزية بين A وB مقربة بخط مستقيم d ويمكن البرهان رياضياً أن طول هذا المستقيم يعطى كما يلي:

$$d = \sqrt{C_3^2 + C_1 . C_2} \qquad (2\text{-}17)$$

حيث:

$$C_1 = 2N_1 \, Cos \, \phi_1 \, Sin \frac{\Delta\lambda}{2}$$

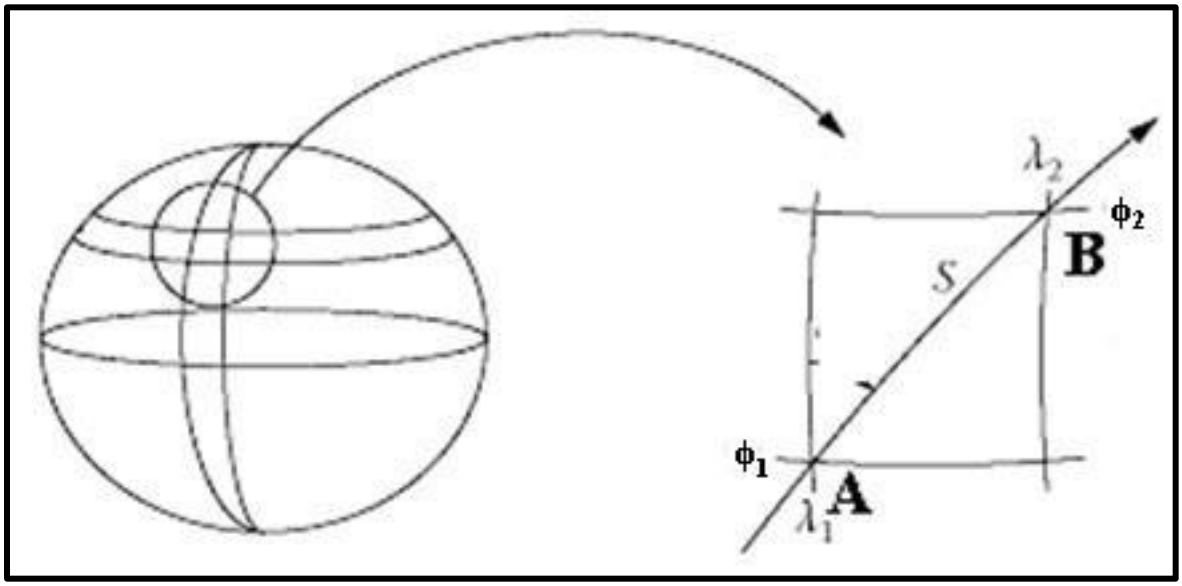
$$C_2 = 2N_2 \, Cos \, \phi_2 \, Sin \frac{\Delta\lambda}{2}$$

$$C_3 = \sqrt{(N_1 Cos\phi_1 - N_2 Cos\phi_2)^2 + [(1 - e^2)(N_1 Sin\phi_1 - N_2 Sin\phi_2)]^2}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

أما السمت الجيوديزي بين A وB فهو يحسب باستخدام العلاقة التالية:

$$\cot(Az_{AB})=\left[\frac{\tan \emptyset_2}{(1+e'^2)\tan\phi_2}+e^2\frac{N_1\cos(\phi_1)}{N_2\cos(\phi_2)}-\cos\Delta\lambda\right]\frac{\sin\phi_1}{\sin\Delta\lambda}$$
$$\cot(Az_{BA})=\left[\frac{\tan \emptyset_1}{(1+e'^2)\tan\phi_2}+e^2\frac{N_2\cos(\phi_2)}{N_1\cos(\phi_1)}-\cos\Delta\lambda\right]\frac{\sin\phi_2}{\sin\Delta\lambda} \quad (2\text{-}18)$$



في نهاية هذه المحاضرة يكفي أن تكون لدى الطالب القناعة بأهمية الخواص الهندسية للمجسم الأرضي حيث أن هذه الخواص نفسها سوف يتم استخدامها عند صنع الخريطة الطبوغرافية من جهة ومن جهة أخرى فان حسابات القواعد الجيوديزية وتصحيحها تعتمد على المجسم الأرضي المختار وخواصه الهندسية.

3

الجيوديزيا الفيزيائية

Physical Geodesy

يهدف فرع الجيوديزيا الطبيعية أو الفيزيائية Physical Geodesy لدراسة الخصائص الفيزيائية (وليست الهندسية) لشكل الأرض وخاصة خصائص الجاذبية الأرضية وتأثيراته على أعمال المساحة وإنشاء الخرائط.

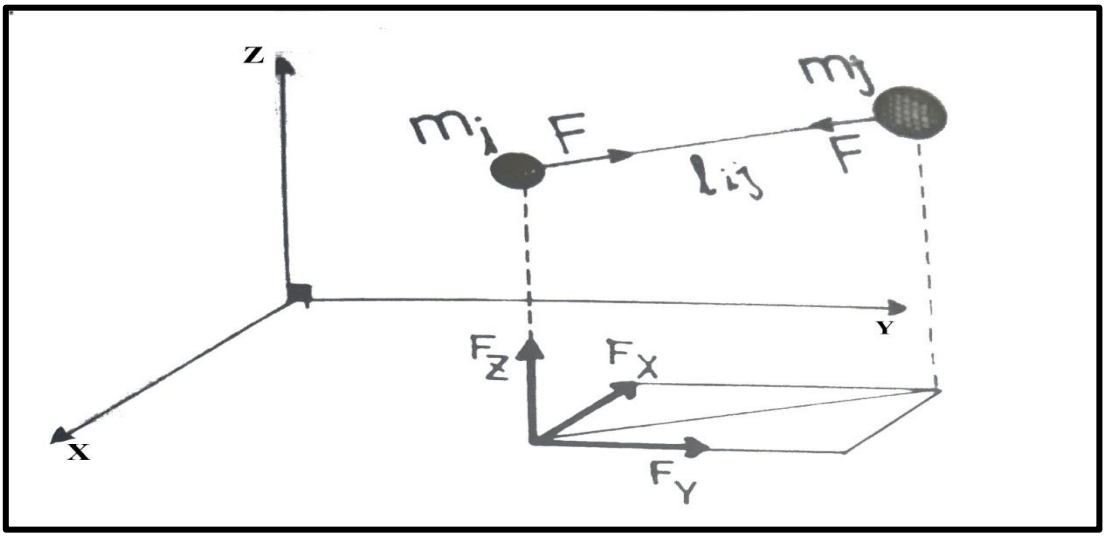
1-الجاذبية الأرضية:

كوكب الأرض عبارة عن مجسم شبه كروي يوجد على سطحه العديد من المعالم الطبيعية والبشرية، فلماذا لا تقع الأشياء من على سطح الأرض؟ السبب وجود قوة تربط بين كل ما على سطح الأرض تجعلهم جميعا منجذبين لهذا الكوكب ولا يتناثرون منه إلى الفضاء الخارجي. هذه القوة– التي هي من أسباب الحياة على الأرض– هي المعروفة باسم الجاذبية الأرضية. أما عن سبب وجود هذه القوة فيرجع إلى ما أكتشفه العالم الكبير اسحق نيوتن من أن أي جسمين بينهما قوة جذب متبادل تعتمد على كتلة كلا الجسمين والمسافة بينهما. تنص نظرية نيوتن على أن قوة الجذب بين أي جسمين تتناسب طرداً مع كتلة كلا منهما وتتناسب عكساً مع مربع المسافة بين مركزي الثقل للجسمين، الشكل (3-1)، حسب العلاقة التالية:

$$|F| = K \frac{m_i . m_j}{l_{ij}^2} \qquad (3-1)$$

حيث m_i، m_j كتلة الكتلتان i و j في الفراغ.

l_{ij} المسافة بين مركزي ثقل الكتلتين.



الشكل (3-1)

تجدر الملاحظة أن النظرية تتحدث عن كتلة الجسم وليس وزنه، حيث أن وزن أي جسم يعتمد على قوة جذب الأرض له ويتغير الوزن من مكان لأخر بينما كتلة الجسم تكون ثابتة في أي مكان. قام نيوتن بوضع نظريته في معادلة رياضية كالتالي:

$$F= K M m/R^2 \qquad (3-2)$$

حيث:

F قوة الجذب.

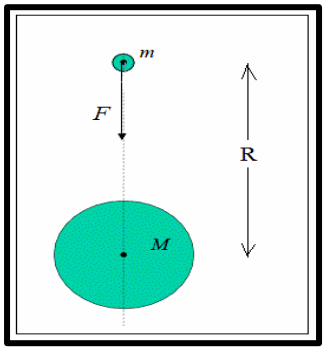
M كتلة الأرض.

m كتلة الجسم.

R المسافة بين الجسمين.

K معامل ثابت يسمى ثابت الجاذبية الأرضية = $6.67\times10^{-11}\ m^3\ kg^{-1}\ sec^{-2}$

$66.7\times10^{-9}\ cm^3\ g^{-1}\ sec^{-2}$ =



شكل (3-2) الجذب بين كتلتين

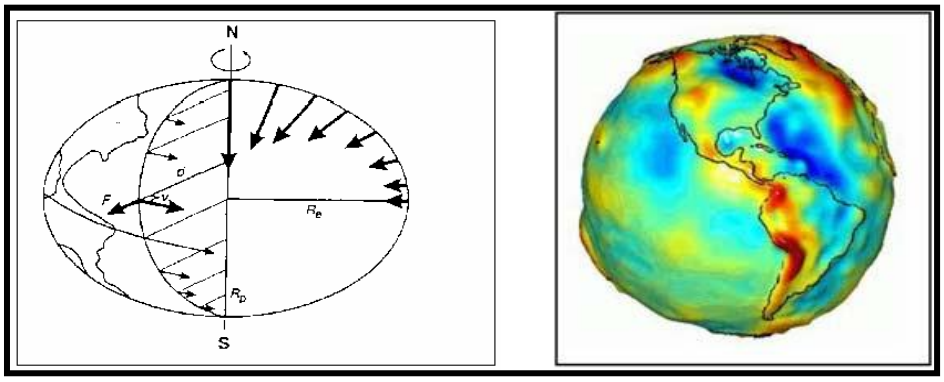
حيث أن كتلة أي جسم على الأرض m ستكون صغيرة جداً بالمقارنة بكتلة الأرض ذاتها M فيمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخرى:

$$g=KM/R^2 \qquad (3-3)$$

حيث: g معدل تسارع جذب الأرض (الجاذبية الأرضية).

إن كانت الأرض كرة تامة الاستدارة (حيث نصف قطرها يساوي 6370 كم) وكان توزيع المواد والكثافات داخل باطن الأرض توزيعاً منتظماً فان قوى الجاذبية ستكون متساوية في أي جزء من سطح الأرض (g في المعادلة السابقة)، وقد قدرها نيوتن بقيمة 9.82 متر/ثانية^2.

لكن لان الأرض ليست كرة تامة (وإنما اليبسويد) وأيضاً تختلف كثافات موادها تحت السطح فان الجاذبية الأرضية لن تكون متساوية للأرض بأكملها، فهي تبلغ 9.78 متر/ثانية^2 عند خط الاستواء وتبلغ 9.83 متر/ثانية^2 عند القطبين. أي أن قيمة الجاذبية الأرضية تكون أكبر عند القطبين منها عند خط الاستواء ويرجع السبب في ذلك إلى أن سطح الأرض عند القطبين يكون أقرب لمركز الأرض بينما يكون أبعد من مركز الأرض عند خط الاستواء. أي أن الجاذبية الأرضية تزيد مع زيادة دوائر العرض. ومن هنا فيجب قياس قيم الجاذبية الأرضية عند منطقة العمل المطلوب من سطح الأرض.

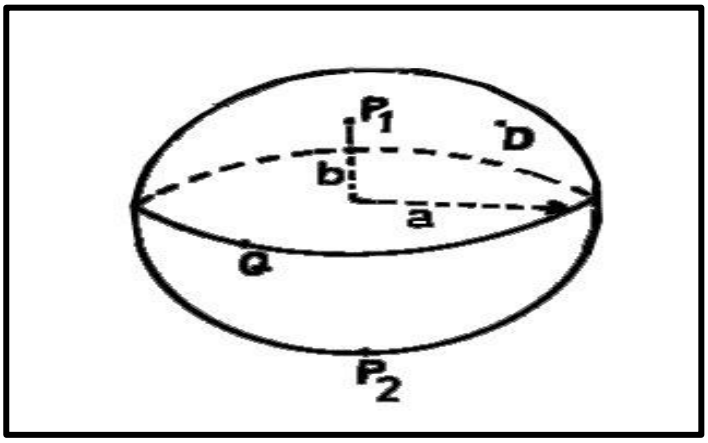


الشكل (3-3) عدم انتظام شكل الأرض ومجال جاذبيتها

لقد افترضنا في المعادلات السابقة أن شكل الأرض هو كرة، وبالاعتماد على الصفات الهندسية للمجسم الأرضي (قطع ناقص دوراني) فان دقة حقل الجاذبية هو تابع لهذه المواصفات، وبتطبيق ذلك نحصل على قيم أكثر دقة في قياس حقل الثقالة. لنأخذ القطع الناقص الدوراني ونحسب قيم التسارع لنقاط على سطحه، الشكل (3-4)، ففي هذه الحالة نسمي التسارع على المجسم الأرضي بالتسارع الناظمي ونرمز له بالرمز γ وعليه فان النقطة P (القطب الشمالي) لها تسارع ناظمي هو γ_b اما النقطة q التي تقع في مستوي الاستواء فان لها تسارع ناظمي γ_a. اما إذا اخذنا نقطة عشوائية ما تقع على سطح المجسم الارضي مثل النقطة D التي لها زاوية خط عرض $\emptyset_d$ فان قيمة التسارع الناظمي يُبرهن على أنها مساوية:

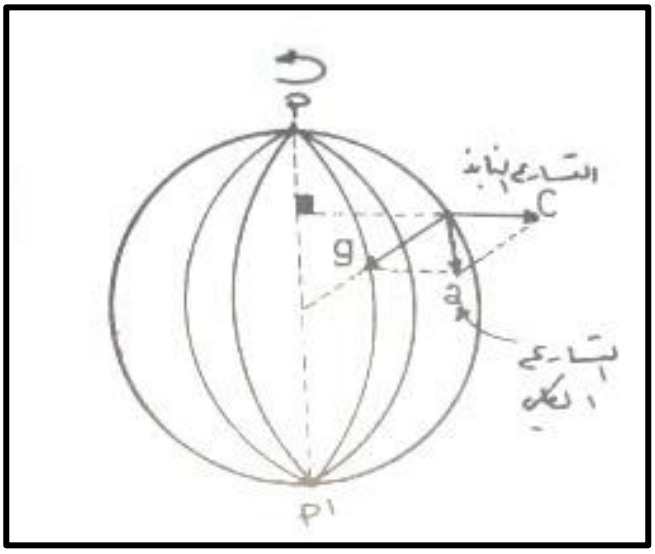
$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\emptyset + b\,\gamma_b\, sin^2\emptyset}{\sqrt{a^2\cos^2\emptyset + b^2\sin^2\emptyset}} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث γ_a هي قيمة التسارع الناظمي الحاصل لنقطة على خط الاستواء وتساوي عملياً 978.049 غال



الشكل (3-4)

ولدراسة حقل الجاذبية بشكل أدق لابد من الانتباه إلى أن القطع الناقص الدوراني المذكور ليس ثابتاً في الفضاء بل إنه يدور حول محوره ونتيجة دورانه تنتج قوة إضافية هي القوة الطاردة، الشكل (3-5) مما يجعل محصلة القوى هي قوى الجذب g والقوة الطاردة وتساوي هذه المحصلة الكلية القيمة a.



الشكل (3-5)

ونظراً لان التحليل الرياضي معقد إلى حد ما فأننا سنحصر نقاشنا هنا فقط على النتائج. من العلاقة (3-4) يتبين لنا أن قيمة التسارع الناظمي هي تابع بشكل رئيسي إلى زاوية خط عرض النقطة ولتسهيل الحسابات يمكن البرهان على أن التسارع الناظمي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\gamma_o = 978.049(1 + 0.0052884 \sin^2\emptyset - 0.0000059 \sin^2 2\emptyset) \quad \text{gal} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث γ هي التسارع الناظمي لأي نقطة تقع على سطح المجسم الأرضي مقدرة بالغال ولكن الحقيقة تقول إن وجود نقطة تقع تماماً على السطح الرياضي للمجسم الأرضي هو أمر نادر جداً وفي الحالة العامة تكون النقطة بعيدة عن سطح المجسم الأرضي بعداً نظريا h ولهذا فان القيمة الأكثر واقعية للتسارع الناظمي هي تابعة أيضا لـ h ولهذا:

$$\gamma_h = \gamma_o - (0.30877 - 0.00045 \sin^2 \emptyset)h + 0.000072\, h^2 \qquad (3\text{-}6)$$

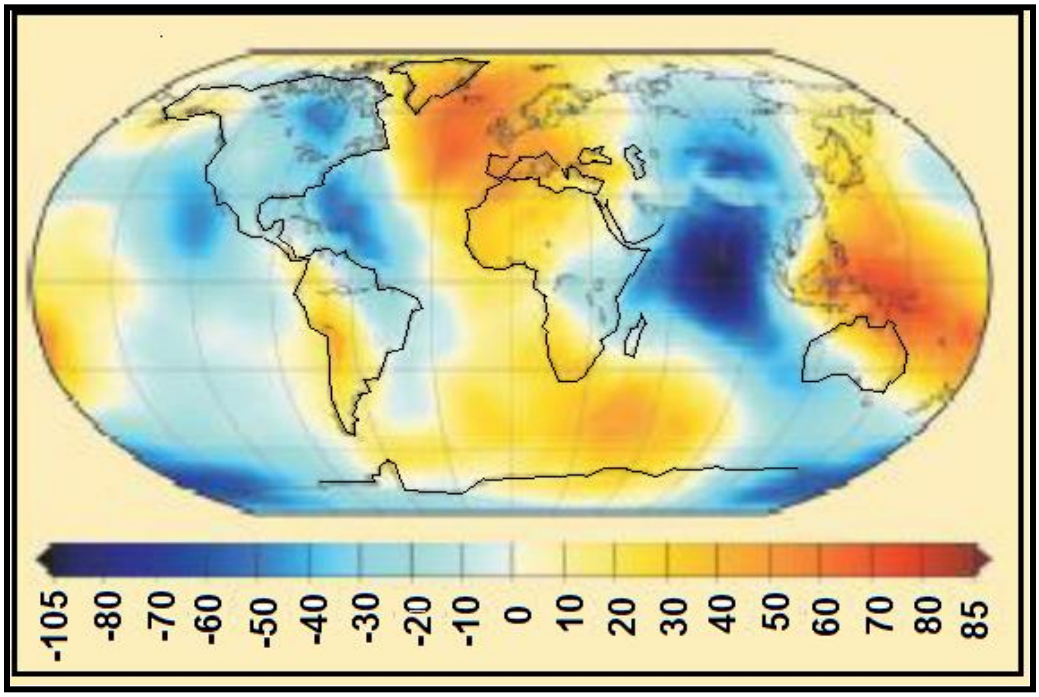
حيث h تقدر بالكيلومتر والتسارع الناظمي يقدر بالغال.

2-تطبيقات الجاذبية الأرضية:

تستخدم قياسات الجاذبية الأرضية في العديد من التطبيقات منها:

1. تحديد شكل الأرض.
2. البحث عن البترول.
3. الدراسات الجيولوجية مثل التغير في سمك القشرة الأرضية وطبقاتها الجيولوجية وتحديد كثافات المادة الصخرية للطبقات.
4. الكشف عن الرواسب المعدنية.
5. الكشف عن الفجوات التحت السطحية.
6. تحديد مواقع الوديان الصخرية المدفونة.
7. تحديد سمك الطبقات الجليدية.
8. مراقبة تذبذبات المد والجزر.
9. الكشف عن الآثار القديمة المدفونة.
10. مراقبة النشاطات البركانية.

ترجع أهمية قياسات الجاذبية الأرضية في تطبيقات المساحة إلى أن العمل المساحي الحقلي الذي يتم على سطح الأرض يكون تحت تأثير هذه القوة. فعندما نضبط أفقية أي جهاز مساحي (ثيودوليت أو محطة شاملة) فان الجهاز يصبح عموديا على اتجاه قوة الجاذبية الأرضية، وهكذا في النقطة التالية ثم النقطة التالية وهكذا. لكن اتجاه الجاذبية الأرضية عند أي نقطة ليس موازيا لاتجاهها عند النقطة التالية (لان اتجاهات قوى الجاذبية تتجه نحو مركز الأرض) وبالتالي يكون هناك تأثير للجاذبية الأرضية على كل القياسات المساحية التي تتم على سطح الأرض. ثم أن الخرائط المساحية تعتمد على شكل الاليبسويد في الحسابات وهو شكل مختلف عن شكل الأرض الحقيقي (الجيوئيد الذي لا يمكن استخدامه في الحسابات بسبب انه متعرج ولا يمكن وصفه بمعادلات رياضية). أي أننا نحتاج لمعرفة الفروق بين شكل الأرض الحقيقي (وهو الجيوئيد) وشكل الاليبسويد الذي تتم عنده الحسابات، وهذه الفروق يمكن تحديدها وقياسها من خلال قياس قيمة الجاذبية الأرضية. هذه الفروق تختلف من مكان لأخر على سطح الأرض فتبلغ **105**- متر في الهند بينما تبلغ **73**+ متر في غينيا الجديدة.



شكل (3-6) الفروق بين الجيوئيد والالبيسويد

3-وحدات قياس الجاذبية الأرضية:

تقاس قيم الجاذبية الأرضية بوحدة رئيسية تسمى "**غال Gal**"- تكريماً للعالم الإيطالي الكبير غاليليو الذي قام بأول تجربة لقياس عجلة الجاذبية الأرضية حيث:

1 غال=100/1 متر/ثانية^2.

أي أن:1 غال=1 سنتيمتر/ثانية^2.

وتتفرع منها وحدات فرعية منها:

مللي غال mGal= جزء من ألف من الغال، أي جزء من مائة ألف متر/ثانية^2.

ميكرو غال µGal= جزء من مليون من الغال، أي =جزء من مائة مليون متر/ثانية^2.

ويطلق أيضا على الميكروغال اسم وحدة الجاذبية gravity unit أو اختصاراً g.u.

بمعنى إذا قلنا أن الجاذبية الأرضية المتوسط للأرض=9.82 متر/تانية^2، فهي تساوي 982 غال، أو982000 مللي غال.

4-أجهزة قياس الجاذبية الأرضية: تنقسم أجهزة قياس الجاذبية الأرضية إلى مجموعتين:

1) أجهزة قياس الجاذبية المطلقة Absolute Gravity Meters:

أجهزة تقيس قيمة الجاذبية المطلقة عند نقطة محددة. يعتمد تحديد الجاذبية الأرضية المطلقة على طريقتين: طريقة الجسم الساقط وطريقة تأرجح البندول. في الطريقة الأولى يتم مراقبة ورصد حركة جسم (صغير جداً) يسقط لمسافة 1-2 متر في إطار معزول تماماً عن أية مؤثرات، ومن خلال قياس الزمن ومسافة السقوط في هذا

المسار يمكن حساب الجاذبية الأرضية في هذا الموقع. بينما الطريقة الثانية تعتمد على تعليق مادة(صغيرة جداً) في خيط غير قابل للاستطالة وكتلته مهملة ويكون مرن تماما، ثم تتأرجح هذه المادة في مستوي رأسي باتساع صغير جداً ومن ثم يمكن حساب قيمة الجاذبية الأرضية المطلقة في هذا الموقع من خلال قياس الفترة الدورية لاهتزاز (تأرجح) البندول.

هذه الأجهزة ذات مواصفات تقنية عالية وبالتالي فان سعرها باهظ للغاية، كما أنها تحتاج لتدريب كبير وعدد من المعدات المتصلة بها أثناء إجراء القياسات والتي قد تستمر لمدة 24-48 ساعة للنقطة الواحدة. ولذلك فان عدد أجهزة قياس الجاذبية المطلقة يعد عدداً بسيطاً في العالم ولا تمتلك هذه الأجهزة إلا الجهات العالمية المتخصصة في الجاذبية الأرضية مثل هيئة المساحة الأمريكية مثلا. وتصل دقة قياس الجاذبية المطلقة إلى 0.1 ميكرو غال أو ما يعادل 0.0001 مللي غال.

2) أجهزة قياس الجاذبية النسبية Relative Gravity Meters:

أجهزة تقيس فرق الجاذبية بين نقطتين. من أشهر أجهزة قياس الجاذبية الأرضية النسبية جهاز الجرافيميترGravimeter والتي بدأت في الظهور عام 1950م. تعتمد نظرية الجرافيميتر على سلك متعادل متوازن داخل إطار معزول تماماً عن أية مؤثرات خارجية. يتغير توازن هذا السلك بتأثير أي قوة إضافية مهما صغرت قيمتها.

هذه المجموعة من الأجهزة هي الأرخص والأشهر والمتوافرة بكثرة حول العالم، ومن أشهر الشركات المصنعة لها شركات LaCoaste and Romberg الأمريكية وشركة Scintrex الكندية.

4

جيوديزيا الأقمار الصناعية

Satellites Geodesy

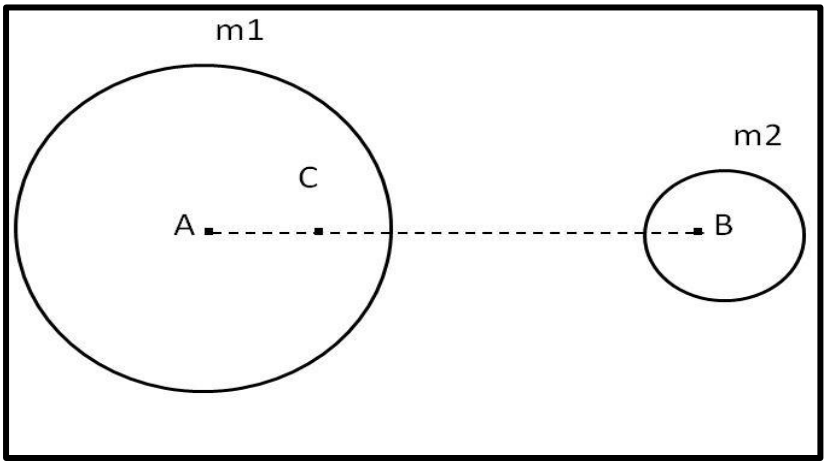
مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنياً جديداً حيث استطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلى خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض. وهي الأجسام التي اصطلح على تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites.

وبدورهم أسهم الجيوديزيون بشكل واضح بتقدم علوم الفضاء واستفادت بدورها العلوم الجيوديزية من هذا التقدم. لقد استخدمت مبادئ العلوم المساحية والجيوديزية لدراسة الأجرام الفضائية ولاسيما تلك القريبة من كوكب الأرض ولاسيما القمر مما نتج عنه إنتاج خرائط عالية الدقة، كما استفاد علم الجيوديزيا من علوم الفضاء في استخدام حركة الأقمار الصناعية في تحديد المواقع على سطح الأرض الذي هو من أهم مهمات العلوم المساحية والجيوديزية بشكل عام.

1-الأقمار الصناعية:

تم التطرق إلى مفهوم حقل الثقالة في محاضرة سابقة وتعرفنا على القوانين الطبيعية الفيزيائية مثل قانون نيوتن للجذب الكوني وغيره، أما هنا فإننا سننظر إلى المسالة بوجه أخر ونفترض للتسهيل في فهم هذه المبادئ الأساسية وجود كتلة جاذبة وكتلة مجذوبة في فضاء كوني رحب وكبير جداً وبدون البرهان على أن كلتا الكتلتين سوف تدور حول بعضهما بعضاً وحول نقطة يتناسب بعدها عن الكتلتين عكسياً مع قيمة الكتلتين. فإذا افترضنا

وجود كتلتين فقط، الشكل (4-1). حيث الكتلة التي مركزها A أكبر من الكتلة التي مركزها B فإذا تركت هاتان الكتلتان في وضع عشوائي في الفضاء فان الكتلتان سوف تدوران حول النقطة C باستمرار ونظرياً لمدة زمنية لا منتهية.



الشكل (4-1)

إن تصرف الكواكب بدورانها حول الشمس يماثل حركة كتلة صغيرة تدور قريبة من الأرض. أما الزمن اللازم لإتمام دورة كاملة حول الكتلة الجاذبة فإنه يعطى بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \qquad (4-1)$$

حيث:

$\mu = M.G$ معامل الجذب.

M: كتلة الأرض.

G: ثابت التجاذب الكوني.

a: نصف قطر المسار حول الأرض.

ويبين الجدول التالي بعض الثوابت بالنسبة للمجموعة الشمسية:

الجسم الفضائي	دوران ذاتي	نصف قطر الجسم	معامل الجذب	نصف قطر المسار	مدة المسار	اللامركزية
الشمس	27	6.98×10^{5}	1.333×10^{11}	–	–	–
القمر	27.322	1.74×10^{3}	4.9×10^{3}	3.84×10^{5}	27.322	0.0549
الأرض	$23^{h}56^{m}4^{sec}$	6.37816×10^{3}	3.98169×10^{5}	1.496×10^{8}	1	0.0167

2-تصنيف الأقمار الصناعية:

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية –بصفة عامة– إلى ثلاث مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites: يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام GPS.

ب-أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites: وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي والتلفزيوني) وتوزيعها على أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب على مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات والعرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.

ت-أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resource Satellites: ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار وأخرى خاصة بدراسة الطقس وثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

3-جيوديزيا الأقمار الصناعية:

يهتم فرع جيوديزيا الأقمار الصناعية بطرق الرصد والحساب التي تسمح بتقديم حلول للمشاكل الجيوديزية من خلال أرصاد (قياسات) دقيقة إلى أو من أو بين الأقمار الصناعية التي تكون غالباً قريبة من سطح الأرض.

من أسياسيات جيوديزيا الأقمار الصناعية الإلمام بطبيعة وقوانين حركة الأجسام (الأقمار الصناعية هنا) داخل أو خارج نطاق الجاذبية الأرضية لكوكب الأرض والقوى المؤثرة على هذه الأقمار في مداراتها وأيضاً كيفية تحديد العلاقات الفراغية (المواقع) بين هذه الأقمار الصناعية والمحطات الأرضية (نقاط الثوابت الجيوديزية) في إطار (نظام إحداثيات) مناسب.

تستخدم جيوديزيا الأقمار الصناعية في عدة مجالات أساسية تشمل:

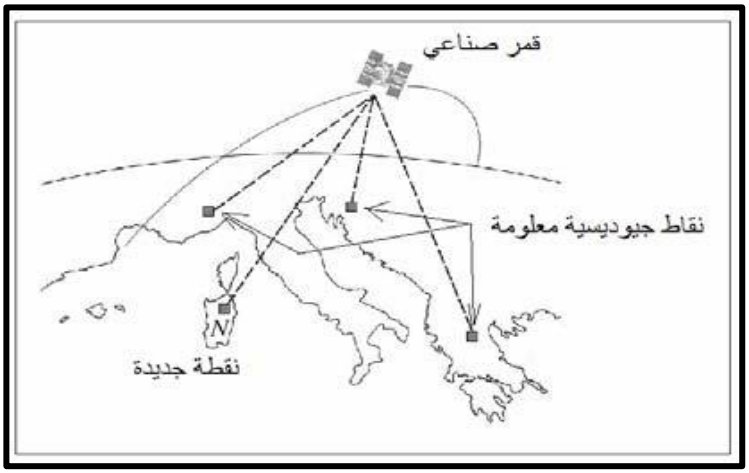
- التحديد الدقيق للإحداثيات ثلاثية الأبعاد بهدف إنشاء نقاط الثوابت الجيوديزية سواءً على المستوى العالمي أو القاري أو الوطني.
- تحديد مجال الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد شكل الأرض الحقيقي (الجيوئيد) بدقة.
- قياس ونمذجة التغيرات الديناميكية (التغيرات مع مرور الزمن أي رباعية الأبعاد) مثل تحركات القشرة الأرضية وحركة الصفائح التكتونية والتغير في عناصر دوران الأرض.

4-ميزات جيوديزيا الأقمار الصناعية:

تأتي أهمية فرع جيوديزيا الأقمار الصناعية من عدة مبادئ أساسية تقدم حلولاً مبتكرة للعمل الجيوديزي وطرق الرصد:

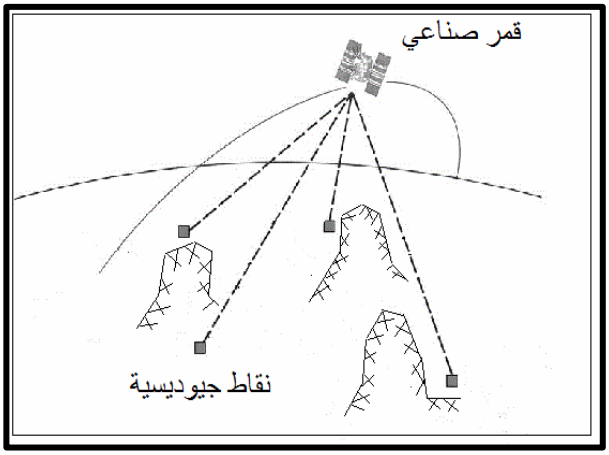
أ) يمكن التعامل مع الأقمار الصناعية كأنها أهداف على ارتفاعات عالية تكون مرئية من مسافات كبيرة جداً. أي أنها تعد كنقاط تحكم (ثوابت) Control Points يمكن رصدها في شبكات عالمية أو إقليمية، فإذا تم رصد القمر الصناعي (انظر الشكل-4-2) في نفس اللحظة من عدة نقاط أرضية- تبعد عن بعضها

البعض مئات أو أحيانا آلاف الكيلومترات– فيمكن اعتبار القمر الصناعي كما لو كان هدف فقط (شاخص مثلاً في المساحة الأرضية) دون الحاجة لمعرفة موقعه الدقيق ومن هذه الأرصاد يمكن حساب المسافات– مثلاً– بين هذه النقاط الأرضية. هذه الخاصية أو المبدأ هو ما أنشأ الطريقة الهندسية Geometrical Method في جيوديزيا الأقمار الصناعية.



الشكل (4-2) استخدام الأقمار الصناعية كأهداف رصد عالية الارتفاع

ب) في الطرق الجيوديزية التقليدية (شبكات المثلثات) كان من الضروري للرصد توافر عنصر الرؤيا المتبادلة بين نقاط الثوابت الأرضية حيث أن الرصد يعتمد على الأجهزة البصرية (الثيودليت). ومن هنا كانت أطوال أضلاع شبكات المثلثات قصيرة نسبياً وكان العمل الحقلي صعباً ويتم في أوقات معينة يتوافر بها الطقس المناسب وصفاء الرؤيا بين النقاط. هذا المبدأ تم تخطيه تماماً في جيوديزيا الأقمار الصناعية حيث أن كل نقطة أرضية تستقبل إشارات الأقمار الصناعية فقط وليس هناك حاجة لرؤية النقاط الأخرى. وبالتالي زادت أطوال أضلاع الشبكات الجيوديزية لدرجة مئات الكيلومترات في الشبكات العالمية ولم يعد الرصد معتمداً على الظروف المناخية وأيضاً أصبح العمل الحقلي أسهل وأقل تكلفة.



الشكل (4-3) انتقاء شروط الرؤية المبادلة بين نقاط الرصد الأرضية

ج) يمكن اعتبار الأقمار الصناعية كمجسات أو أجهزة استشعار Sensors لمجال الجاذبية الأرضية للأرض، ومن خلال متابعة ورصد القمر الصناعي في مداره يمكن معرفة التغير في مجال الجاذبية الأرضية المؤثر على القمر الصناعي لحظة بلحظة. وبالتالي تستخدم الأقمار الصناعية في رصد وقياس قيم الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد شكلها الحقيقي (الجيوئيد). وهذه الخاصية أو المبدأ هو ما أنشأ الطريقة الديناميكية Dynamical Method في جيوديزيا الأقمار الصناعية.

د) بالتكامل بين كلا من الطريقة الهندسية والطريقة الديناميكية تمكنت جيوديزيا الأقمار الصناعية من رصد ومتابعة وتحديد قيم التغيرات التي تحدث بمرور الزمن وخاصة في العناصر الأساسية للأرض مثل عناصر دوران الأرض وحركة القطب الشمالي Polar Motion.

5-تاريخ جيوديزيا الأقمار الصناعية :

يمكن تقسيم تاريخ جيوديزيا الأقمار الصناعية إلى عدة فترات تشمل:

(أ)- من 1957م إلى 1970م:

مع إطلاق القمر الصناعي الأول في عام 1957م والقمر الصناعي الثاني في عام 1958م بدأت المرحلة العلمية لدراسة هذا التخصص الجديد من تخصصات الجيوديزيا. لم يمر عام واحد إلا وبدأت نتائج جيوديزيا الأقمار الصناعية في الظهور حيث قام العالم O'Keefe في عام 1958م بتحديد قيمة تفلطح الأرض (1/f) بقيمة 298.3 من أرصاد الأقمار الصناعية. وفي عام 1960م نشر العالم Kaula نظرية مدارات الأقمار الصناعية، وفي عام 1962م قامت هيئة الأرصاد الفرنسية IGN بربط الشبكات الجيوديزية بين كلاً من فرنسا والجزائر من خلال أرصاد الأقمار الصناعية.

(ب)- من عام 1970م إلى 1980م:

تميزت هذه الفترة بالمشروعات العلمية وتم ابتكار تقنيات جديدة مثل الرصد على القمر الطبيعي وتقنية الرصد بالليزر على الأقمار الصناعية. كما بدأت الحكومة الأمريكية في تطوير تقنية عالمية لتحديد المواقع تحت مسمى TRANSIT (أو تقنية الدوبلر) التي شاع استخدامها في أعمال المساحة والجيوديزيا في عدة دول حول العالم. أيضاً قام الاتحاد السوفيتي سابقاً (روسيا حالياً) في إطلاق النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم غلوناس GLONASS، كما بدأت مرحلة تطوير نماذج عالمية أكثر دقة للجيوئيد.

(ج)- من 1980م إلى 1990م :

تعد هذه المرحلة هي التطبيقية لجيوديزيا الأقمار الصناعية على نطاق عالمي واسع، وخاصة مع بدء تشغيل تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) في منتصف الثمانينات. زادت دقة أصاد وقياسات جيوديزيا الأقمار الصناعية كثيراً وبدأت في إحلال الطرق الجيوديزية التقليدية في أعمال المساحة والخرائط.

(د)- من 1990م إلى 2000م:

تميزت هذه المرحلة بالأعمال والتطبيقات الجيوديزية على المستوى العالمي، فظهرت المنظمة العالمية لدراسة دوران الأرض International Earth Rotation Service (اختصاراً IERS) في عام 1987م وظهر أيضاً الإطار

العالمي المرجعي الأرضي International Terrestrial Reference Frame (أو اختصاراً ITRF) وكذلك المنظمة العالمية للجي بي أس International GPS Service (أو اختصارا IGS). وكل هذه المنظمات الدولية تعتمد على تقديم خدمات تقنية لمستخدمي جيوديزيا الأقمار الصناعية على المستوى العالمي وبدون مقابل مادي.

(ذ) من 2000م إلى الآن:

مازالت الانجازات العلمية لجيوديزيا الأقمار الصناعية مستمرة حيث زادت دقة الأرصاد بصورة كبيرة. مع إطلاق الأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الجاذبية الأرضية (مثل القمر CHAMP والقمر GRACE والقمر GOCE) أمكن تطوير نماذج جيوئيد عالمية دقيقة. كما بدأت الحكومة الأمريكية في إطلاق الجيل الثاني من أقمار الجي بي أس وبدأ الاتحاد الأوربي في إطلاق النظام الأوربي لتحيد المواقع غاليليو، وكذلك الحكومة الصينية التي بدأت في تنفيذ نظامها الخاص لتحديد المواقع والذي سيكون متاحا للاستخدام العالمي أيضاً.

6-تطبيقات جيوديزيا الأقمار الصناعية:

في الجيوديزيا العالمية:

- تحديد الشكل العام للأرض ومجال جاذبيتها.
- تقدير أبعاد الاليبسويد الممثل للأرض.
- إنشاء إطار مرجعي ارضي عالمي.
- تحديد الجيوئيد الدقيق كإطار لتمثيل سطح الأرض.
- الربط بين المراجع الجيوديزية المختلفة.
- ربط المراجع الوطنية بالمراجع العالمية.

في شبكات الثوابت الأرضية:

- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الجيوديزية للدول.
- إنشاء الشبكات ثلاثية الأبعاد.
- تحديث وزيادة دقة الشبكات الجيوديزية القائمة.
- ربط الشبكات الجيوديزية بين اليابسة والجزر.
- تكثيف الشبكات الجيوديزية القائمة.

في الجيوديزيا الديناميكية:

- نقاط متابعة تحركات القشرة الأرضية.
- التحليل المستمر لحركة دوران الأرض.
- تحديد حركة دوران القطب الشمالي.

في الجيوديزيا التطبيقية:

- الرفع المساحي التفصيلي لمشروعات المساحة والخرائط والتخطيط الإقليمي وتخطيط المدن ونظم المعلومات الجغرافية.
- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية للمشروعات الهندسية.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد.
- تحديد مواقع (إحداثيات) كاميرات التصوير الأرضي والجوي.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية لمشروعات الزراعة والغابات والتعدين والجيولوجيا .... الخ.

في الملاحة:

- الملاحة الدقيقة البرية والبحرية والجوية.
- تحديد مواقع دقيقة لمشروعات المسح البحري والهيدروغرافي والجيوفيزياء.

- ربط محطات قياس المد والجزر (لقياس مستوى سطح البحر).
- توحيد المرجع الجيوديزي الرأسي بين الدول.

في مجالات أخرى:

- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيائية مثل المسح المغناطيسي سواء في البر أو البحر.
- متابعة ورصد ذوبان الجليد في القطبين الشمالي والجنوبي.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية على اختلاف تطبيقاتها.
- دراسة طبقات الغلاف الجوي.

7-أنواع الارتفاعات:

يستخدم الاليبسويد كأحسن شكل هندسي (معلوم المعادلات ويمكن إجراء الحسابات عليه) لتمثيل شكل الأرض. فان كانت الكرة تختلف عن شكل الأرض في حدود 21 كم فان الاليبسويد لا يختلف عن شكل الأرض إلا في حدود مائة متر تقريبا فقط. هذا على المستوى الأفقي (تحديد الإحداثيات الأفقية مثل خط الطول ودائرة العرض) بحيث يكون الاليبسويد هو المرجع الأفقي Horizontal Datum للأرض. لكن على المستوى الرأسي (الارتفاع) فان الاليبسويد غير مناسب لقياس الارتفاعات حيث انه يختلف عن شكل الأرض الحقيقي، الشكل (4-4- أ).

حيث أن ثلاثة أرباع سطح الأرض مغطى بالمياه (في المحيطات والبحار) فان شكل متوسط سطح البحر Mean Sea Level (أو اختصاراً MSL) يكاد يمثل شكل الأرض الحقيقي. أما من ناحية الجاذبية الأرضية للأرض فهو يتكون من ألاف الأسطح متساوية الجهد، وهناك أحد هذه الأسطح الذي يكاد يطابق شكل متوسط سطح البحر وقد أطلق على هذا السطح أسم الجيوئيد Geoid. أي أن الجيوئيد هو سطح من أسطح مجال الجاذبية الأرضية الذي يكاد ينطبق مع سطح متوسط سطح البحر، وبالتالي فإنه الشكل الحقيقي لكوكب الأرض وفي معظم دول

العالم فقد تم الاعتماد على الجيوئيد ليكون مستوى المقارنة أو المرجع الرأسي Vertical Datum لقياس الارتفاعات.

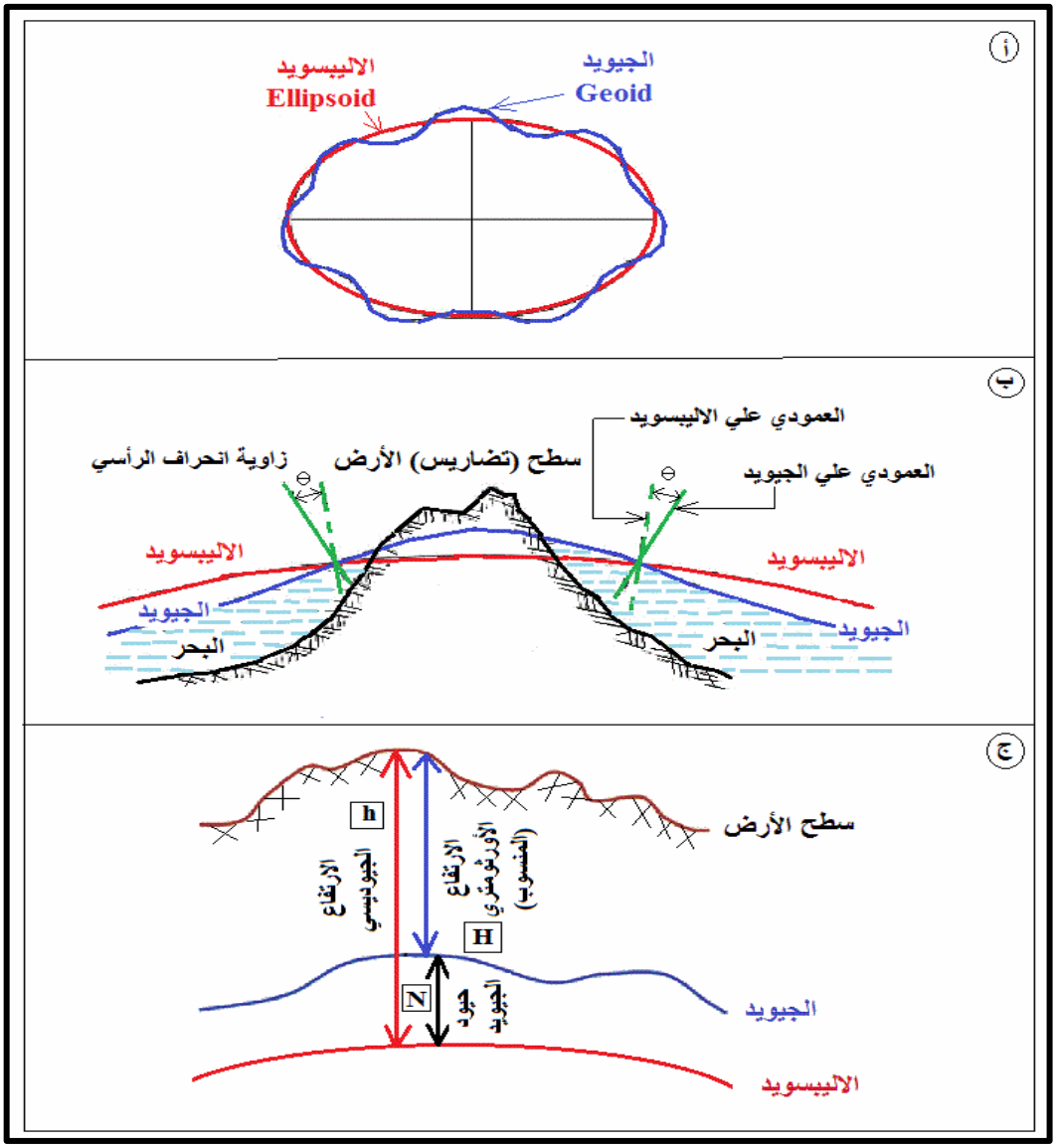
نظراً لعدم انطباق سطح الجيوئيد مع سطح الاليبسويد فإن الاتجاه العمودي على الجيوئيد (اتجاه خيط الشاقول Plumb Line في أجهزة المساحة) لا ينطبق مع الاتجاه العمودي على الاليبسويد عند أي نقطة، لكن توجد زاوية صغيرة بين كلا الاتجاهين ويطلق عليها أسم زاوية انحراف الرأسي Deflection of the Vertical ويرمز لها بالرمز اللاتيني θ (تنطق: ثيتا) كما في (الشكل 4-4- ب).

قديماً عند البدء في إنشاء الشبكات الجيوديزية لدولة ما كان يتم اختيار أنسب اليبسويد ليمثل سطح الأرض عند النقطة الأساسية للشبكة الجيوديزية، وكان يتم فرض أن الاليبسويد ينطبق على الجيوئيد في هذا الموضع، وبالتالي نكون قد غيرنا من وضع الاليبسويد ذاته.

(عدلنا وضعه الفراغي لكي ينطبق مع الجيوئيد عند هذه النقطة) ومن ثم لم يعد هو نفس الاليبسويد العالمي المعروف. هنا نطلق عليه اسم المرجع Datum للدولة.

في المستوي الرأسي فان ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد لا يساوي ارتفاعها عن سطح الجيوئيد حيث إن كلا السطحين لا ينطبقان. يسمى ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد بالارتفاع الجيوديزي Geodetic Height ويرمز له بالرمز h، بينما يطلق اسم الارتفاع الارثومتري على ارتفاع النقطة عن سطح الجيوئيد ويرمز له بالرمز H (وهو المعروف أيضا في المساحة باسم المنسوب). الفرق بين كلا من الارتفاع الجيوديزي والمنسوب هو ما يسمى ارتفاع الجيوئيد Geoid Height ويرمز له بالرمز N (الشكل 4-4-ج). العلاقة بين هذه الأنواع الثلاثة للارتفاع تعبر عنها المعادلة:

$$h=H+N \qquad (4-2)$$



الشكل(4-4) الجيوئيد وأنواع الارتفاعات

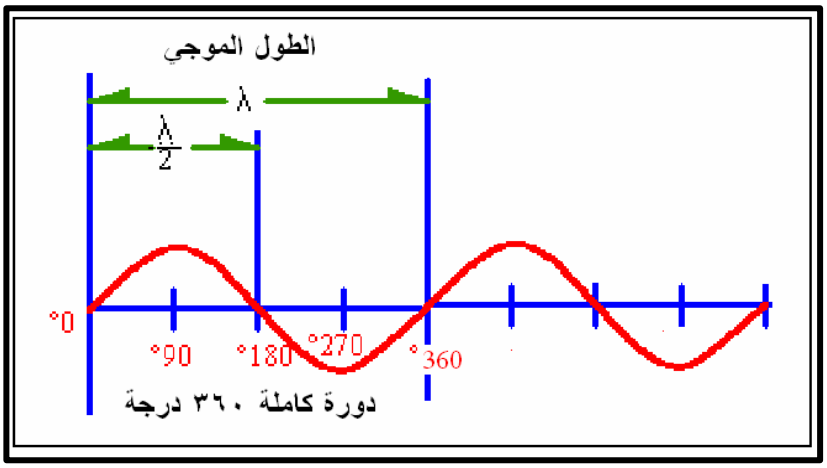
لاحظ أن المعادلة تفترض أن سطح الجيوئيد يقع أعلى من سطح الاليبسويد وهذه هي الحالة العامة. أما إن كان سطح الجيوئيد يقع أسفل سطح الاليبسويد فالمعادلة ستصبح :

$$h=H-N \qquad (4-3)$$

المعادلة السابقة من أهم معادلات الجيوديزيا حيث منها يمكن تحويل الارتفاع الجيوديزي (المقاس بتقنيات جيوديزيا الأقمار الصناعية مثل GPS) إلى الارتفاع الأرثومتري أو المنسوب المستخدم في المساحة الأرضية والخرائط في معظم دول العالم.

8-إشارات الأقمار الصناعية :

ينتشر الضوء (أي موجة كهرومغناطيسية) في الفراغ على هيئة منحني اقرب ما يكون لمنحني جيب الزاوية المعروف، والذي يحدد طول الموجه الواحدة Wavelength (نرمز لها بالرمز λ) وزاوية الطور Phase Angle التي تبلغ 360 درجة للدورة الكاملة (نرمز لها بالرمز θ).



الشكل (4-5) انتشار الضوء

تعد المعادلة الأساسية للضوء هي:

$$V = \lambda . f \qquad (4\text{-}4)$$

حيث- V : سرعة الموجة بوحدات المتر/ثانية.

λ :طول الموجة بوحدات المتر.

f :التردد بوحدات الهرتز (عدد الدورات في الثانية).

9-الغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي للأرض من عدة طبقات تختلف في خصائصها الفيزيائية والكيميائية وأيضاً في تأثيراتها على الموجات الضوئية المارة بها.

من وجهة نظر جيوديزيا الأقمار الصناعية فإن التأثيرات على الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية تأتي غالباً من طبقتي:

طبقة التروبوسفير:

الجزء الأسفل من الغلاف والذي يمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع 40 كم تقريباً، إلا أن ما يقرب من 90% من كتلة طبقة التروبوسفير موجود على ارتفاع أقل من 16 كم. في هذه الطبقة تتأثر إشارات الأقمار الصناعية بناءً على كمية الرطوبة ودرجة حرارة طبقة التربوسفير، فعلى سبيل المثال فان درجة حرارة الغلاف الجوي تنقص بمعدل 6.5 درجة مئوية لكل كيلومتر في الارتفاع.

طبقة الايونوسفير:

الجزء العلوي من الغلاف الجوي والذي يمتد تقريباً بين ارتفاع 70 و1000 كم من سطح الأرض. تؤثر هذه الطبقة على إشارات الأقمار الصناعية من خلال إطلاق شحنات كهربائية (ايونات) حرة في الغلاف الجوي. يرجع السبب في وجود هذه الايونات (الشحنات) الحرة إلى شدة النشاط الإشعاعي للشمس والذي يختلف من وقت إلى أخر في اليوم وأيضاً يختلف مع مرور الزمن.

يتغير النشاط الإشعاعي الشمسي في دورة تبلغ تقريبا 11 سنة، وكانت أقصى ذروة (أكبر قيمة) له في عام 2011م.

10-حركة الأقمار الصناعية:

تعد دراسة حركة وديناميكية الأجرام السماوية تخصصاً علمياً يجمع بين عدة أفرع أو علوم في إطار علوم الأرض بصفة عامة، إلا أن هذا الفرع يسمى الميكانيكا السماوية أو الفلكية Celestial Mechanics. تعود بداية هذا الفرع إلى العالم الكبير اسحق نيوتن عندما نشر كتاباً في عام 1687م يصف به قوانين الجاذبية الأرضية والحركة بين أي جسمين يتعرض كلا منهما لقوة جاذبية الأخر طبقا لكتلته. أيضاً شكّل العالم يوهان كيبلر(1571-1630م) قوانينه الثلاثة المعروفة باسمه (قوانين كيبلر للحركة Keplarian Motion) التي تعطي وصفاً رياضياً لحركة الكواكب بصورة مبسطة (عن نظرية نيوتن) حيث يمكن إهمال كتلة أي كوكب بالمقارنة بكتلة الشمس ذاتها. تستعمل قوانين كيبلر لوصف حركة الأقمار الصناعية أيضاً حيث يمكن إهمال كتلة القمر الصناعي بالمقارنة بكتلة الأرض ذاتها.

قانون كيبلر الأول:

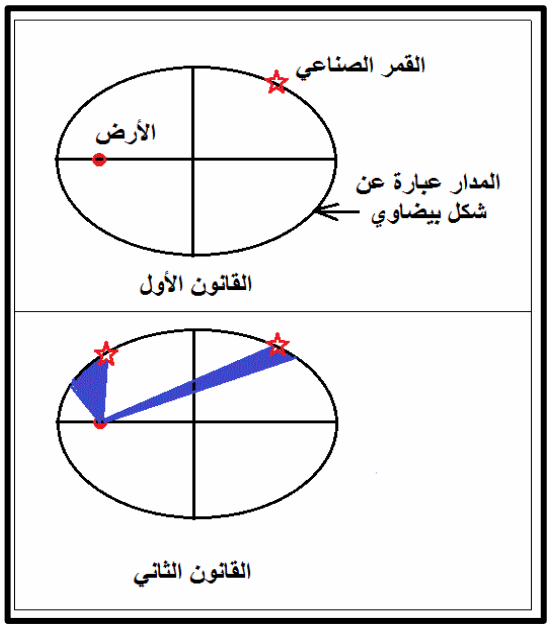
إن مسار الكوكب (أو القمر الصناعي) هو قطع ناقص Ellipse تقع الشمس (الأرض) في إحدى بؤرتيه. تأتي أهمية هذا القانون من أنه يحدد نوع المدار (قطع ناقص وليس دائرة) ومن ثم المعادلات التي يمكننا استخدامها فيما بعد.

قانون كيبلر الثاني:

الخط الواصل من الشمس (الأرض) إلى أي كوكب (قمر صناعي) يقطع مساحات متساوية من الفضاء خلال أزمن متساوية، ولذلك يسمى هذا القانون بقانون المساحات. نستنتج من هذا القانون إن سرعة الكوكب (القمر الصناعي) ستزيد كلما اقترب من الشمس (الأرض) وتقل كلما ابتعد عنها. تأتي أهمية هذا القانون من أنه يمكننا من تحديد موقع أي قمر صناعي- في مدار البيضاوي- في أي لحظة زمنية معينة.

قانون كيبلر الثالث:

إن مكعب أنصاف المحور الأكبر لمدارات الكوكب (الأقمار الصناعية) تتناسب مع مربع طور دورانها.



الشكل (4-6) قوانين كيبلر لحركة الأقمار الصناعية

تشكل قوانين كيبلر الحالة العامة (النظرية) لحركة الأقمار الصناعية في الفضاء بافتراض أن القمر الصناعي لن يتأثر بأي قوى خارجية أخرى ويحافظ على دورانه في المدار البيضاوي.

لكن بالطبع فان الواقع الحقيقي يختلف عن هذه الحالة المثالية (فمثلاً قيمة مجال الجاذبية الأرضية تختلف من مكان إلى أخر كما تختلف شدة الإشعاع الشمسي من زمن لأخر) مما يخلق مدارات غير مثالية أو مدارات مضطربة قليلاً للأقمار الصناعية.

من هنا يأتي مراكز المراقبة والتحكم في كل منظومة من منظومات أو تقنيات جيوديزيا الأقمار الصناعية (مثل مركز المراقبة والتحكم الخاص بتقنية GPS) حيث يقوم المركز بمراقبة حركة ومدارات كل قمر صناعي– من خلال محطات المراقبة الأرضية– ليقدر ويحسب مدى شذوذ المدار الحقيقي للقمر الصناعي عن مداره المفترض.

11-ارتفاع مدارات الأقمار الصناعية:

تختلف ارتفاعات الأقمار الصناعية عن سطح الأرض طبقاً لوظيفة كل قمر صناعي، لكن بصفة عامة يمكن تقسيم ارتفاعات مدارات الأقمار الصناعية إلى عدة فئات تشمل:

(أ)- المدارات قليلة الارتفاع حتى 2000 كم Low Orbits:

هذه المدارات تكون عادة دائرية ومن أنواع الأقمار الصناعية التي تتبع هذه الفئة أقمار دراسة الجاذبية الأرضية مثل أقمار CHAMP وGRACE وGOCE التي تدور على ارتفاع تقريباً 400 كم. أما الأقمار غير الجيوديزية التي تنتمي لهذه الفئة تكون مداراتها بيضاوية مثل أقمار الاستشعار عن بعد SPOT وLANDSAT وERS التي تبلغ ارتفاعاتها ما بين 800 إلى 1000 كم. كما تنتمي أقمار الاتصالات إلى هذه الفئة من المدارات. في هذه الفئة تتراوح مدة دوران القمر الصناعي لدورة كاملة حول الأرض ما بين 90 دقيقة وساعتين. تتميز هذه المدارات قليلة الارتفاع بانخفاض تكلفة إطلاق الأقمار الصناعية وأيضاً بقوة إشارة القمر الصناعي عند وصولها لسطح الأرض، لكن من أهم عيوبها إن فترة ظهور القمر الصناعي في أي منطقة على الأرض تتراوح بين 15 و20 دقيقة مما لا يجعل هذه الأقمار مستخدمة في تحديد المواقع.

(ب)- المدارات متوسطة الارتفاعات من 5000 إلى 20000 كم Medium Orbits:

من أهم أنواع الأقمار الصناعية في هذه الفئة من المدارات أقمار تقنيات تحديد المواقع (مثل تقنيات الجي بي أس الأمريكي والغلوناس الروسي والغاليليو الأوربي) والتي تبلغ ارتفاعاتها حوالي 20 ألف كم، وأيضاً القمر LAGEOS-2 المستخدم في القياس بالليزر والذي يبلغ ارتفاعه حوالي 24 ألف كم. تتميز هذه الفئة أن القمر الصناعي يظل مرئياً (متاحاً) لعدة ساعات في نفس المنطقة الجغرافية على الأرض كما يقل تأثير طبقات الغلاف الجوي على القمر الصناعي. لكن تكلفة إطلاق هذه الفئة من الأقمار الصناعية يكون اكبر من الفئة الأولى.

(ج)- المدارات الثابتة مع الأرض حتى 36000 كم Geo-Stationary:

حتى يكون القمر الصناعي مخصص للاتصالات (متل النايل سات وعربسات على سبيل المثال) يغطي إرساله منطقة جغرافية محددة بصفة دائمة فانه يتم وضع القمر الصناعي في مدار دائري ثابت مع الأرض. فإذا تم وضع القمر الصناعي في مدار على ارتفاع 35800 كم وبزاوية ميل تساوي الصفر فانه سيكمل دورة كاملة-في المدار- في فترة زمنية 24 ساعة وبالتالي فانه يدور بنفس سرعة دوران الأرض مما يجعله كما لو كان ثابتاً أعلى هذه المنطقة الجغرافية على مدار اليوم ويستطيع قمر صناعي واحد- على هذا الارتفاع- أن يغطي حوالي ثلث سطح الأرض.

(د)- المدارات المائلة على الأرض Inclined Geo-Synchronous:

تُماثل هذه الفئة الفئة السابقة من حيث أن مدة دوران القمر تبلغ 24 ساعة إلا أنها تختلف في مقدار ميل المدار على دائرة الاستواء. وجود زاوية ميل لمدار القمر الصناعي من هذا النوع يجعل إرساله يغطي بصورة أوضح المناطق القريبة من القطبين الشمالي والجنوبي.

(ذ)- المدارات شديدة الشكل البيضاوي Highly Elliptical:

هذه الفئة من مدارات الأقمار الصناعية تكون على ارتفاع منخفض من سطح الأرض إلا أن مدارها البيضاوي يكون أكبر، والهدف من ذلك تغطية مجال اتصالات القمر الصناعي بصورة أوضح في الأجزاء القريبة من القطبين.

5

نظام التوضع العالمي GPS

Global Positioning System

1-مقدمة:

إن نظام التوضع العالمي GPS (Global Positioning System) هو نظام ملاحي يعتمد على الأقمار الصناعية لتزويد المستخدم ببيانات عن الموقع (Position) والسرعة (Velocity) والوقت (Time) سواءً على الأرض أو في البحر أو في الجو وتحت أي ظروف جوية كانت.

ووسيلته الأساسية هي استخدام ترددات الراديو التي يمكن إرسالها بواسطة منظومة الأقمار الصناعية.

2-التطور التاريخي لنظام التوضع العالمي:

لقد قامت البحرية العسكرية الأمريكية بإطلاق أول منظومة من الأقمار الصناعية في عام 1960م وذلك بهدف استخدامها في عمليات الملاحة العسكرية. وكانت هذه التجربة تشمل خمسة أقمار صناعية فقط. وقد برهنت التجربة على صلاحيتها للاستخدام في تحديد موقع السفينة أو الطائرة في أي ساعة من الزمن.

وفي العام 1967م تم استخدام ساعات متقدمة ومتطورة لحفظ الوقت في الفضاء وهي التقنية التي بنيت عليها نظم التوضع العالمي. ثم توالى تطوير هذه المنظومة خلال العقود الثلاثة الأخيرة وبلغ عددها أربع وعشرون قمراً في العام 1994م، يحمل كل منها أربع ساعات ذرية دقيقة. وقد كانت تعمل المنظومة بإشارتين أحداهما خاصة

بالأغراض العسكرية وهي التي تعطي دقة عالية والأخرى تعطي دقة أقل متاحة للأغراض المدنية. وفي عام 2000م أصبح العمل بنظام الإشارة الخاصة متاحاً حتى للأغراض والاستعمالات المدنية.

وفي العام 2007م أصبح عدد الأقمار الصناعية الفاعلة في هذه المنظومة ثلاثون قمراً.

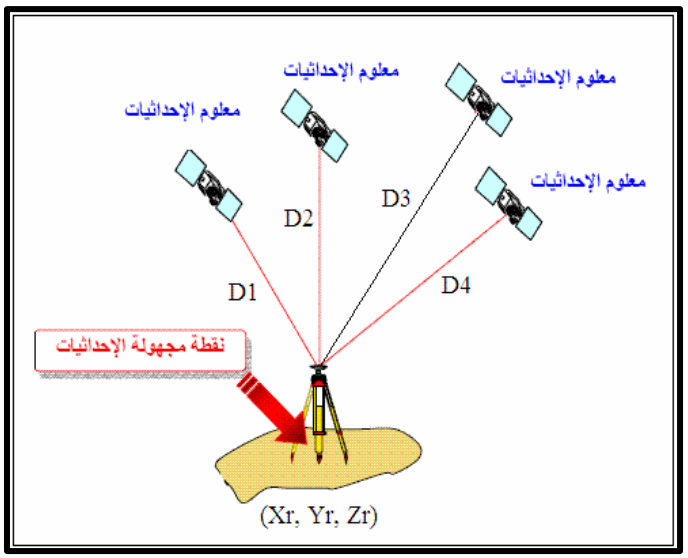
3-كيفية عمل نظام التوضع العالمي:

تقوم أجهزة الاستقبال بتحديد موقعها على سطح الأرض اعتماداً على مبدأ التقويم، الشكل (5-1).

والذي يتطلب معرفة:

(أ) - إحداثيات أكثر من ثلاثة أقمار صناعية.

(ب) - البعد بين المستقبل وبين كل قمر من هذه الأقمار المرصودة .



الشكل(5-1) مبدأ التقويم لتحديد الموقع

أما إحداثيات القمر الصناعي فيرسلها القمر نفسه كبيانات رقمية ضمن الإشارة المرسلة إلى الأرض. وأما البعد بين محطة الاستقبال والقمر الصناعي فيقوم بحسابها جهاز الاستقبال من خلال معرفة سرعة الإشارة والتي هي عبارة عن موجة راديوية والمعروفة سرعتها (وهى سرعة الضوء التي تساوى بالتقريب 300000 كم/الثانية) ومعرفة

الفترة الزمنية التي تستغرقها الإشارة في رحلتها من القمر الصناعي إلى المستقبل. ولمعرفة هذه الفترة الزمنية لابد من استخدام ساعات عالية الدقة (تستخدم ساعات ذرية عالية التكلفة مع كل قمر صناعي وساعات أقل تكلفة على وحدات الاستقبال يمكن ضبطها مع الوقت الذي نحصل عليه من إشارات الأقمار الصناعية).

4-مكونات نظام الـ GPS:

يتكون نظام التوضع العالمي من ثلاثة عناصر رئيسية هي:

- القسم الفضائي Space Segment: الأقمار الصناعية الفعالة.
- قسم التحكم Control Segment: لمراقبة النظام والزمن وحساب المسارات.
- قسم المستخدم User Segment: أنواع مختلفة من اللواقط.

هناك نظام روسي مشابه لـ GPS يدعى GLONASS ونظام أوروبي يدعى GALILYO إن المعلومات المفصلة المتوفرة عن هذا النظام قد تم تداولها منذ فترة ليست بعيدة.

يطرح عدّة من منتجي أجهزة الاستقبال Receivers الآن في الأسواق أجهزة تلتقط إشارات كلا النظامين للاستفادة من تغطية مثالية باستخدام إشارات أقمارها.

- **القسم الفضائي (Space Segment):**

وهو عبارة عن منظومة الأقمار الصناعية والتي يزن القمر الواحد منها ما بين ثلاثة آلاف إلي أربعة آلاف رطلاً تعمل بالطاقة الشمسية وتدور في ست مدارات حول الكرة الأرضية بارتفاع 20200 كيلومتر عن سطح الأرض وبزاوية ميل خمس وخمسون درجة عن خط الاستواء. وقد صُممت هذه المدارات بحيث يكون من الممكن مشاهدة ورصد ستة أقمار صناعية على الأقل في آن واحد من أي مكان على سطح الكرة الأرضية وبحيث يعمل كل قمر دورتين حول الأرض في كل يوم. ويحمل كل قمر من هذه الأقمار ست ساعات ذرية

عالية الدقة. ويقوم كل قمر بإرسال إشارة راديوية باتجاه الكرة الأرضية تحمل بيانات تستخدم في حساب بعد القمر الصناعي عن الأرض وإحداثيات القمر الصناعي وزمن الإرسال.

- **قسم التحكم (Control Segment):**

يتكون من محطة التحكم الرئيسية (Master Control Station MCS) تقع في سبوينغر بولاية كولورادو الأمريكية وخمس محطات مراقبة (Monitor Station) متوضعة على الشكل التالي اثنتان في المحيط الهادي وأخرى في المحيط الهندي، واحدة في المحيط الأطلسي والخامسة تقع بالقرب من محطة التحكم الرئيسية. بالإضافة إلى أربع هوائيات أرضية (Antenna Ground) متوضعة على الشكل التالي اثنتان في المحيط الهادي وأخرى في المحيط الهندي، واحدة في المحيط الأطلسي.

وظيفة محطة التحكم الرئيسية هو استقبال ومعالجة البيانات الواردة من محطات المراقبة وإعادتها مرة أخرى إليها، أما محطات المراقبة فوظيفتها تتبع الأقمار التي تمر مرتين على الأقل فوق كل محطة يومياً لجمع البيانات من كل قمر، ثم إرسالها لوحدة التحكم الرئيسية لمعالجتها من أجل تحديث الرسائل الملاحية لتغذية أقمار نظام تحديد المواقع العالمي وتتم المعالجة عن طريق إجراء حساب دقيق جداً لمدارات الأقمار ومساراتها، وما ينتج عن تلك المعالجة يعتبر معلومات محدثة لكل قمر حيث تتم تغذية الأقمار بها عن طريق الهوائيات الأرضية.

- **قسم المستخدم (User Segment):**

هذه الوحدة تتكون من مجموعة من التجهيزات والبرمجيات التي تعرف بعتاد المستخدم (User Equipment) ومهمة هذه الأجهزة والبرامج هي انجاز الاتصال مع وحدة الفضاء للحصول على البيانات.

ويجب أن يشمل عتاد المستخدم (User Equipment) الأجزاء الرئيسية التالية:

- هوائي (Antenna) لالتقاط الإشارات القمرية المرسلة.
- مستقبل (Reserves) لتتبع الإشارات وعمل القياسات.
- معالج للبيانات (Process).
- وحدة للتخزين داخلية (Internal Memory) وخارجية (External Memory).
- وحدة إدخال ووحدة عرض للنتائج.

5-طرق تنفيذ الرصد (Operation Type):

- الرصد الساكن (Static Survey).
- الرصد الساكن السريع (Rapid Static Survey).
- الرصد المتحرك (Kinematic).

- **الرصد الساكن (Static Survey):**

تستخدم هذه الطريقة لقياس القواعد الطويلة (Long Baselines) من Km (20-100) حيث يتم الرصد بين نقطتين الأولى معلومة الإحداثيات (Reference Station (Fixed Point والأخرى غير معلومة الإحداثيات (Rover Station (Unknown Point وزمن الرصد منhr (2-4) وتتم معالجة نتائج الرصد بإحدى الطريقتين:

- Post Processing عن طريق جهاز الحاسب بواسطة برمجيات GPS.
- Real Time بتأمين الاتصال اللاسلكي بين المحطتين.

والجدول التالي يبين الزمن اللازم للرصد تبعاً لطول القاعدة (البعد بين النقطتين المعلومة وغير المعلومة):

Baseline Length	Observation Time
20–50 km	2–3 hr
50–100 km	minimum 3 hr
>100 km	minimum 4 hr

- الرصد الساكن السريع (Rapid Static Survey):

تستخدم هذه الطريقة لقياس القواعد القصيرة (Short Baselines) حتى Km (20) حيث يتم الرصد بنفس الطريقة السابقة لكن زمن الرصد يكون أقل حيث يتراوح من min (30–5) مع الإشارة هنا إلى أن زمن الرصد يتعلق بطول خط القاعدة من نقطة المرجع إلى النقاط المرصودة والجدول التالي يوضح ذلك.

Baseline Length	Observation Time
0–5 km	5–10 min
5–10 km	10–15 min
10–20 km	10–30 min

- **الرصد المتحرك (Kinematic):**

تستخدم هذه الطريقة لإجراء المسح التفصيلي (Detail Surveying) ومسح المسارات (Trajectories) تتم عملية الرصد بهذه الطريقة بسرعة عالية وذلك لكون زمن الوقوف على النقطة قليل جداً sec (30–2).

6-استخدامات نظام التوضع العالمي GPS :

هنالك العديد من الجهات التي تستفيد من بيانات نظام التوضع العالمي. بعض هذه الجهات تحتاج إلى دقة منخفضة مثل الأعمال الملاحية البرية والجوية وتستخدم هذه الجهات أجهزة استقبال قليلة التكلفة، كما توجد جهات تحتاج لدقة عالية في تطبيقاتها مثل الأعمال المساحية التي تتطلب إيجاد إحداثيات النقاط على سطح الأرض ومن ثم استخدامها في إيجاد المسافات بينها والاتجاهات وإيجاد المساحات المسطحة وغير ذلك من المعلومات.

- المساهمة في حل المسائل الجيوديزية الخاصة في حساب الانتقالات الأرضية والفضائية والتي تعتبر من الأهمية البالغة في عصر الصواريخ والطيران.
- إنشاء حقل جديد من نقاط المراقبة الجيوديزية (شبكة جديدة) وفق معطيات هذا النظام ودقته.
- تكثيف أو توسيع الشبكات الجيوديزية الموجودة .
- فحص وتحليل وتحسين الشبكات الموجودة .
- المساهمة في تعيين الارتفاع والجيوئيد.
- تأمين المعطيات الطبوغرافية الخاصة في المشاريع الهندسية.
- في مجال مراقبة تحركات القشرة الأرضية والتنبؤ عن الزلازل.
- تحليل تشوهات وتحركات الصفائح Plates القارية.
- تحليل تحركات القشرة الأرضية الإقليمية.
- مراقبة محلية للتشوهات والهبوطات.

7-نظم ملاحية أخرى لتحديد المواقع:

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوفر حالياً لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية، فتوجد عدة نظم شبيهة سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة).

وسنلقي الضوء على بعض هذه النظم:

1) النظام الروسي غلوناس GLONASS:

GLObal **N**avigation **S**atellite **S**ystem

تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام غلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في 24 أيلول 1993. ويتكون نظام غلوناس من 21 قمراً صناعياً موزعة في 3 مدارات حول سطح الأرض، وتدور على ارتفاع 19100 كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل 64.8 درجة. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد 4 محطات مراقبة أخرى داخل الأراضي الروسية.

2) النظام الأوروبي غاليليو:

يتكون نظام غاليليو من 30 قمر صناعي موزعين في ثلاث مدارات تميل بزاوية 56 درجة وعلى ارتفاع 23616 كم من سطح الأرض، تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة غاليليو في 28 أيلول 2005 وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني في عام 2008 لوضع اللمسات النهائية على النظام ومواصفاته والتأكد من تشغليه بجودة عالية.

3) النظام الصيني بيدو:

بدأ نظام بيدو كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط، إلا انه تطور لاحقاً بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلى التغطية العالمية. يتكون النظام من 5 أقمار صناعية ثابتة المدار بالإضافة إلى 30 قمراً صناعياً متوسطة المدار موزعين في 6 مدارات على ارتفاع 21500 كم من سطح الأرض وبزاوية ميل 55 درجة.

4) نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس وغلوناس وغاليليو وبيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخرى تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من 3 أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي– يسمى IRNSS– ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.

6

شكل الأرض والمراجع الجيوديزية ونظم الإحداثيات

Earth Shape, Geodetic References and Coordinates

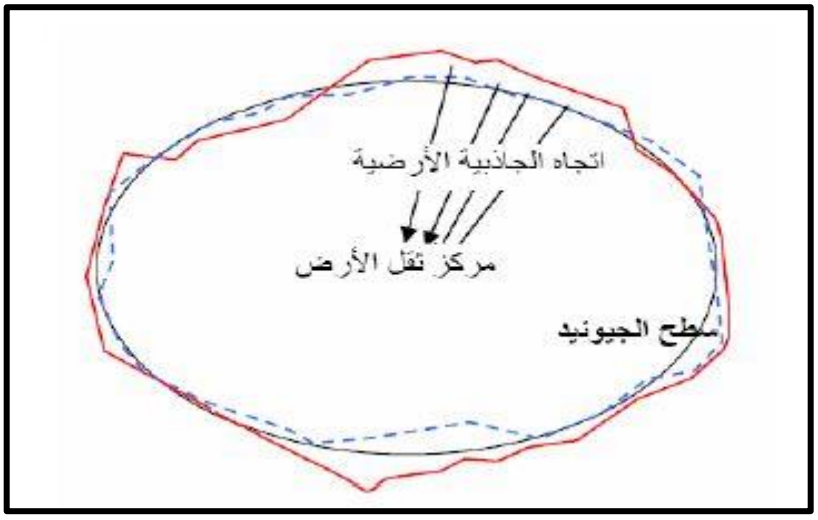
1-مقدمة:

إن تحديد المواقع على سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه، وما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض انه الأنسب لتمثيل الأرض رياضياً وخرائطياً. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "**الإحداثيات Coordinates**" على اختلاف أنواعها ونظمها. لذلك يجب على دارس الجيوديزيا أن يلم بأساسيات هذه الموضوعات الثلاث، وهو ما سنقوم بعرضه في هذه المحاضرة.

2-شكل الأرض:

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيداً واهتدوا إلى فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات والبحار تشكل حوالي 70% من مساحة الأرض فإن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية والمد والجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصاراً بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل على شكل متكامل فإن هذا الشكل

سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيوئيد Geoid على هذا الشكل الافتراضي (يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL والجيوئيد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضى عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم). ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فإن شكل هذا الجيوئيد لن يكون منتظماً لان سطح الجيوئيد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر على سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من 6 إلى 60 كيلومتر). وبذلك نخلص إلى أن الجيوئيد، الشكل (6-1)، هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا ويصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط وتحديد المواقع عليه.



الشكل (6-1) الجيوئيد: الشكل الحقيقي للأرض

لتعقد الجيوئيد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية اتجه العلماء إلى البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب. فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipse or Ellipsoid.

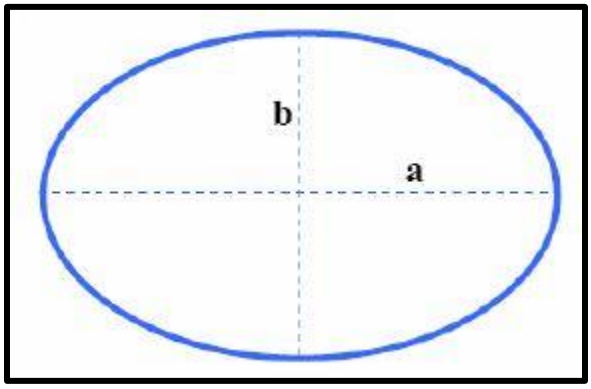
للتعبير عن الالبيسويد يلزمنا معرفة عنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a.
- نصف المحور الأصغر (المحور بين القطبين) ويرمز له بالرمز b.

ويقوم البعض بالتعبير عن الالبيسويد بطريقة أخرى من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a.
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f=(a-b)/a \quad \text{or} \quad f=1-(b/a)$$

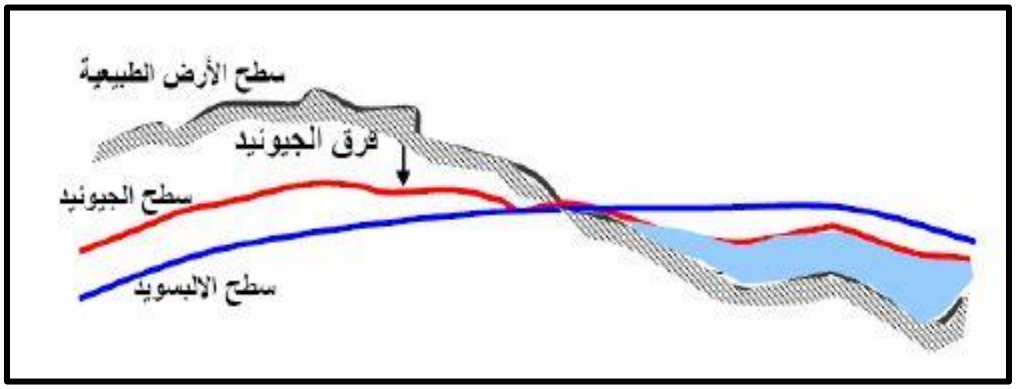


الشكل (6-2) الالبيسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل:

أ- سهولة إجراء الحسابات على سطحه (حيث انه شكل هندسي معروف).

ب-لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيوئيد الفيزيائي كثيراً (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدى 100 متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيوئيد والكرة يصل إلى 21 كيلومتر).



الشكل (6-3) العلاقة بين الجيوئيد والاليبسويد

3-المراجع:

لكي يمكن تحديد المواقع على سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل وحجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة التي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن 1: مليون. أيضا للمساحات الصغيرة جداً (أقل من 50 كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلاً مرجعياً وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فإن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديزيا لتحديد انسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنة. وكلما تجمعت قياسات جيوديزية جديدة لدى احد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر الاليبسويد (سواءً a,b أو a,f) مما أدى لوجود العديد من نماذج الاليبسويد.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديزي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالباً ما تختار أحدث اليبسويد- في ذلك الوقت- لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسود آخر لم يكن ممكناً- لأسباب تقنية ومادية- أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها وإعادة إنتاج وطباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟. من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح

الأرض على المستوى العالمي، أي إن الفروق بينه وبين الجيوئيد تختلف من مكان لمكان على سطح الأرض لكنا أقل ما يمكن على المستوى العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه وبين الجيوئيد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخرى من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلاً لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة– أي بعد أجراء هذا التعديل البسيط– فلم يعد هذا الاليبسويد كما في الأصل لكنه صار في وضع مختلف، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديزي أو مرجع وطني:

.A Geodetic Datum, a Local Datum, or a Datum

أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تعديل وضعه بصورة أو بأخرى ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيوئيد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة.

4–نظم الإحداثيات:

الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين على سطح الأرض أو على الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي الأفقي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فان الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلى أن كل نقطة– على الخريطة مثلاً– يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا X,Y. بينما عن اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فإننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة X,Y,Z لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمى الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمى بالإحداثيات الجيوديزية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد–One

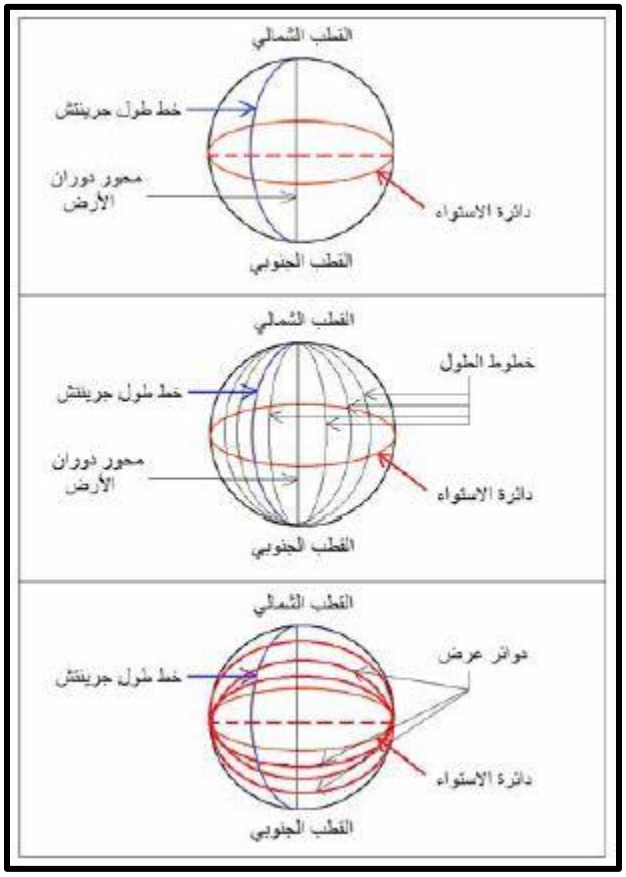
Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالباً التي تعبر عن فقط ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديزية والجيوفيزيائية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد–Four Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي X,Y,Z,t حيث أن البعد الرابع "t" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات في الأجزاء التالية:

منذ قرون مضت ابتكر العلماء طريقة لتمثيل سطح الأرض (باعتباره أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمى (أي التي بمركز الأرض) والتي تقع في منصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.

  اتخذ الخط الأساسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي والجنوبي وتمر ببلدة غرينتش بانكلترا.
- قسمت دائرة الاستواء إلى 360 قسماً متساوياً ورسم على سطح الأرض 360 نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بإحدى نقاط التقسيم على دائرة الاستواء، وكل نصف دائرة تسمى خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي 1 درجة. وتم ترقيم خط طول غرنيتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق 1° شرق، ثم 2° شرق، .... إلى 180° شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب غرينتش.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي إلى 180 قسماً متساوياً ورسم على الأرض دوائر صغرى وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بإحدى نقاط التقسيم. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي 1° لان 180 درجة تقابل 180 قسماً، وأطلق على هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم 90 دائرة شمال خط الاستواء و90 دائرة

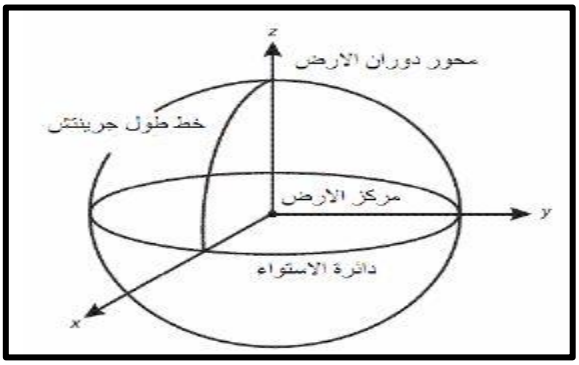
جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاورة لها من الشمال 1° شمال، 2° شمال، ..... إلى 90° شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء.



زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول ورأسها عند مركز الدائرة وضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء والضلع الأخر يمر في دائرة من دوائر العرض.

4-1 الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديزية:

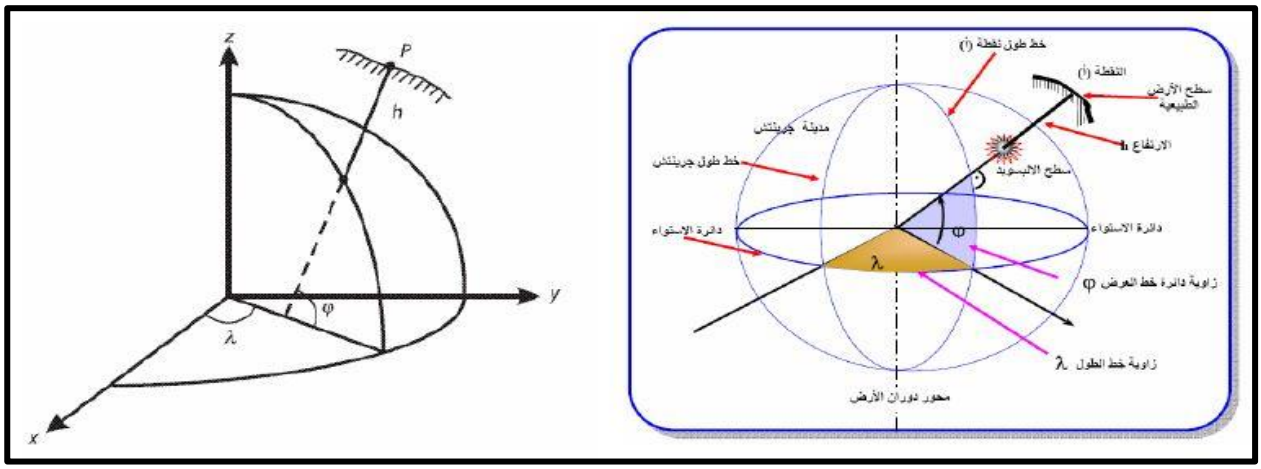
نظام الإحداثيات الجيوديزية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبتة مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth –Centered Earth-Fixed أو اختصاراً ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الراسي Z مع محور دوران الأرض، يتجه محوره الأفقي الأول X ناحية خط غرينتش بينما محوره الأفقي الثاني Y يكون عمودياً على محور X، الشكل (6-4).



الشكل (6-4) نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديزية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D، الشكل(6-5):

- خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا)، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط الطول غرينتش (وهو خط الطول الذي اصطلح دولياً أن يكون رقم صفر) وخط النقطة المطلوبة.
- دائرة العرض Latitude ويرمز لها بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي)، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء.
- الارتفاع من سطح الالبيسويد ويرمز له بالرمز h ويسمى الارتفاع الجيوديزي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height.



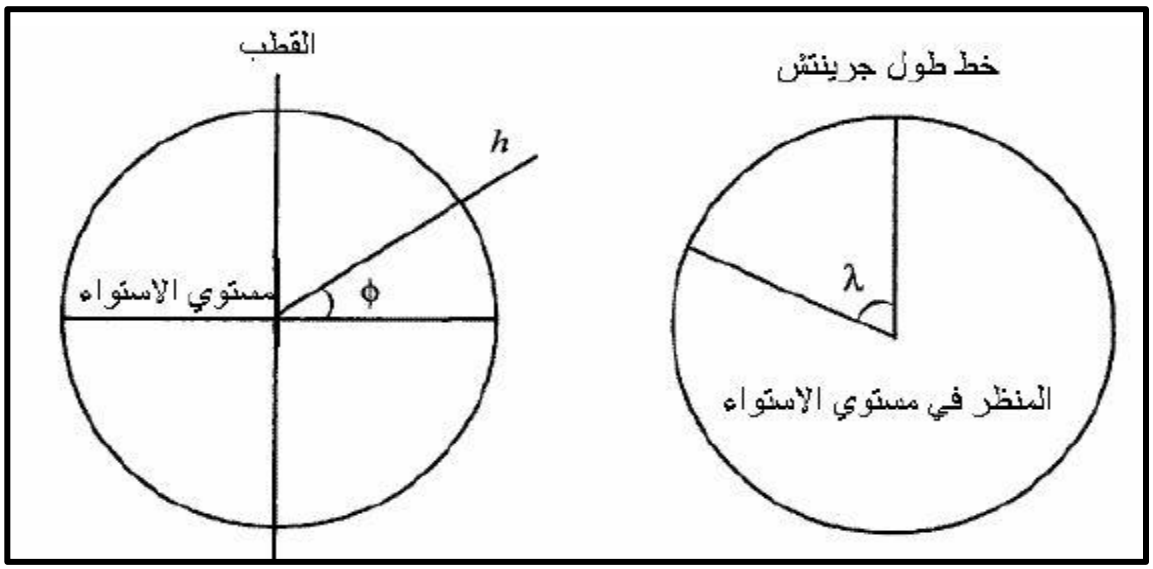
الشكل(6-5) الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديزية

وتوجد عدة نظم للواحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول ودوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني.

تكون خطوط الطول أما شرق خط غرينتش (يرمز لها بإضافة حرف E) أو غرب غرينتش (يرمز لها بإضافة حرف W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف S).

4-2 الإحداثيات الكروية:

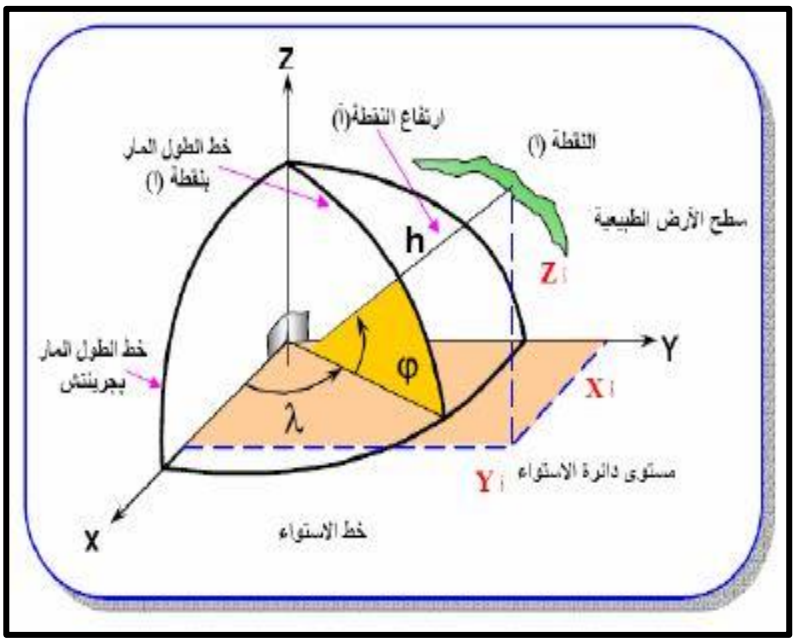
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinate نظام الإحداثيات الجيوديزية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة وليس الاليبسويد، الشكل (6-6). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي على سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي على سطح الاليبسويد بمركزه.



الشكل(6-6) الإحداثيات الكروية

3-4 الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية:

هو نظام إحداثيات مشابه تماماً في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديزية إلا انه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) وليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات، وقد ابتكر العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بغرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي على محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض والذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن كل موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X,Y,Z، الشكل (6-7).



الشكل (6-7) الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية

4-5 التحويل بين الإحداثيات الجغرافية:

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات (6-1) تحويل الإحداثيات الجيوديزية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلى الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية او الديكارتية (X,Y,Z):

$$X=(N+h)\cos\phi\cos\lambda$$

$$Y=(N+h)\cos\phi\sin\lambda \qquad (6\text{-}1)$$

$$Z=[h+N(1-e^2)]\sin\phi$$

حيث يُسمى N نصف قطر التقوس الرئيسي، e تُسمى اللامركزية الرئيسية ويتم حسابهما كالتالي:

$$N=\frac{a}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\phi)}}$$

$$e=[\sqrt{(a^2-b^2)}]/a \qquad (6\text{-}2)$$

أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديزية الكارتيزية (X,Y,Z) إلى الإحداثيات الجيوديزية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan\lambda=Y/X$$

$$\tan\phi=\frac{Z/\sqrt{(X^2+Y^2)}}{1-e^2(N/(N+h))} \qquad (6\text{-}3)$$

$$h=\frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos\phi}-N$$

أيضاً يمكن استخدام:

$$\tan\emptyset = \frac{Z}{D(1-e^2)} \qquad (6-4)$$

حيث:

$$D = (X^2 + Y^2)^{0.5} \qquad (6-5)$$

نلاحظ في المعادلات (6-3) أننا نحتاج لمعرفة قيمة N لكي نستطيع حساب قيمة ϕ وh، لكن لنحسب قيمة N من المعادلة:

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2\,sin^2\phi)}} \qquad (6-6)$$

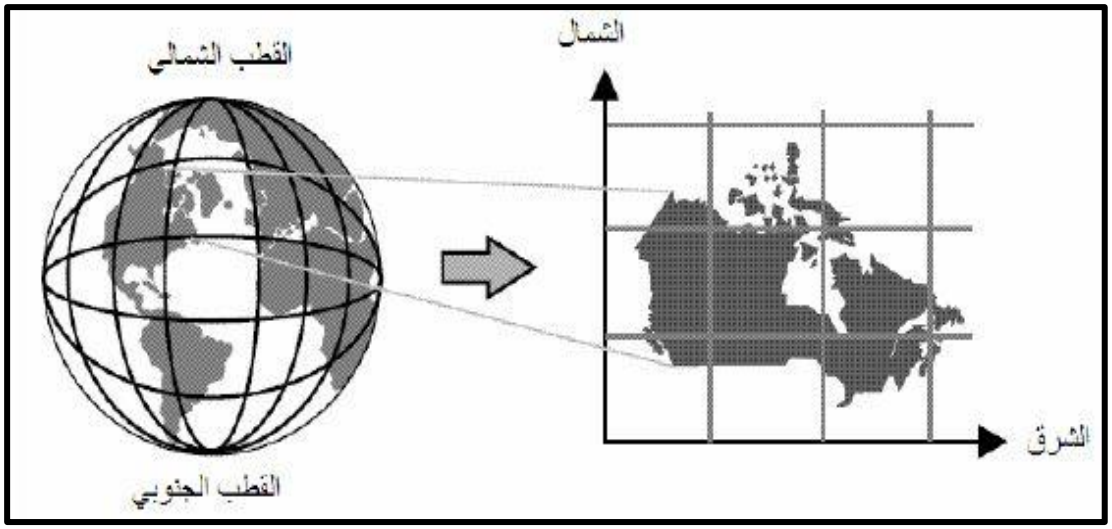
فإننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التقوس الرئيسي N ثم نأخذ قيمة N هذه لنحسب منها قيمة جديدة لـ ϕ وهكذا لعدد من المرات إلى أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

7

إسقاط الخرائط

Map Projection

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات على مجسم الأرض – سواء كان الشكل الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد– (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلى إحداثيات ممثلة على سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعنى آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول ودائرة العرض لموقع إلى الإحداثي الشرقي والإحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع على الخريطة، الشكل (7–1). ويسمى الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



الشكل (7–1) عملية إسقاط الخرائط

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلى شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه "**التشوه Distortion**" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة إسقاط الخرائط أن تحافظ على واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي على الأرض وصورته على الخريطة (مرة أخرى لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات.
- تطابق في المسافات.
- تطابق في الاتجاهات.
- تطابق في الزوايا.
- تطابق في الأشكال.

هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ على المسافات وتسمى مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ على الأشكال والزوايا معا لكن مساحات محدودة وتسمى مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ على المساحات وتسمى مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection.

تنقسم مساقط الخرائط إلى 4 مجموعات رئيسية:

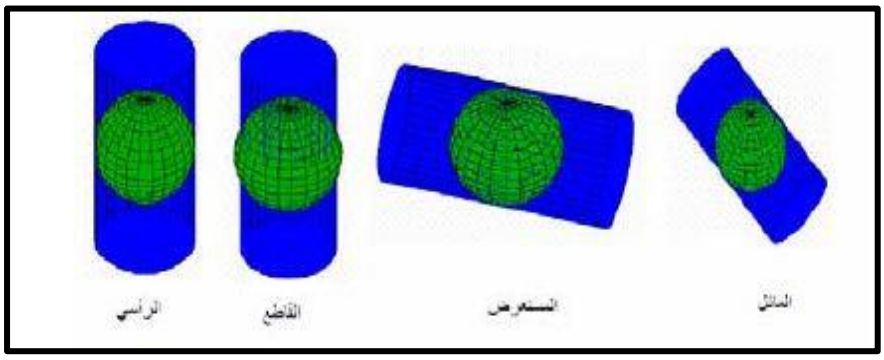
أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض على اسطوانة والتي تمس الأرض رأسياً أو تقطعها أو تمس الأرض عرضياً أو بصورة مائلة، الشكل (7-2).

ب-المساقط المخروطية Conical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض على مخروط والذي إما يمس الأرض رأسياً أو يقطعها، الشكل (7-3).

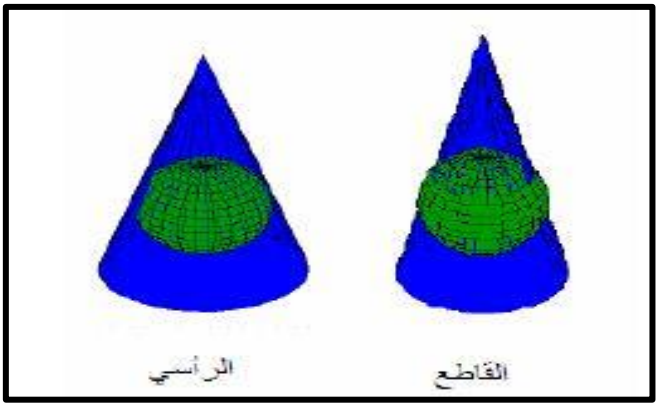
ت-المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض على مستوي والذي يمس الأرض رأسياً عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة، الشكل (7-4).

ث-مساقط أخرى خاصة.

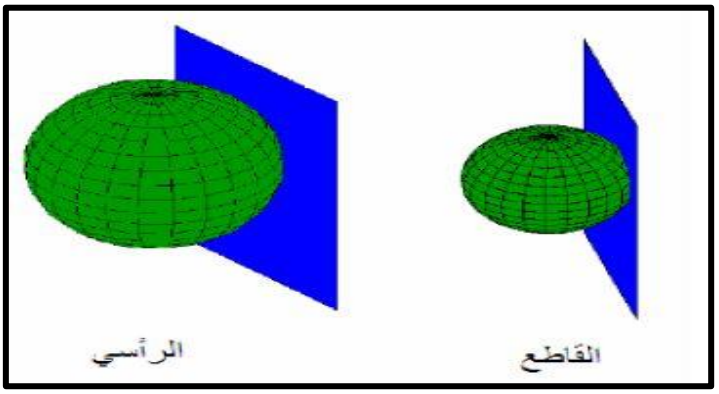
غالباً يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دوراً مهماً في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة، فمثلا نختار طريقة إسقاط سمتية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري وطريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة وطريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية.



الشكل (7-2) طرق الإسقاط الاسطواني



الشكل (7-3) طرق الإسقاط المخروطي

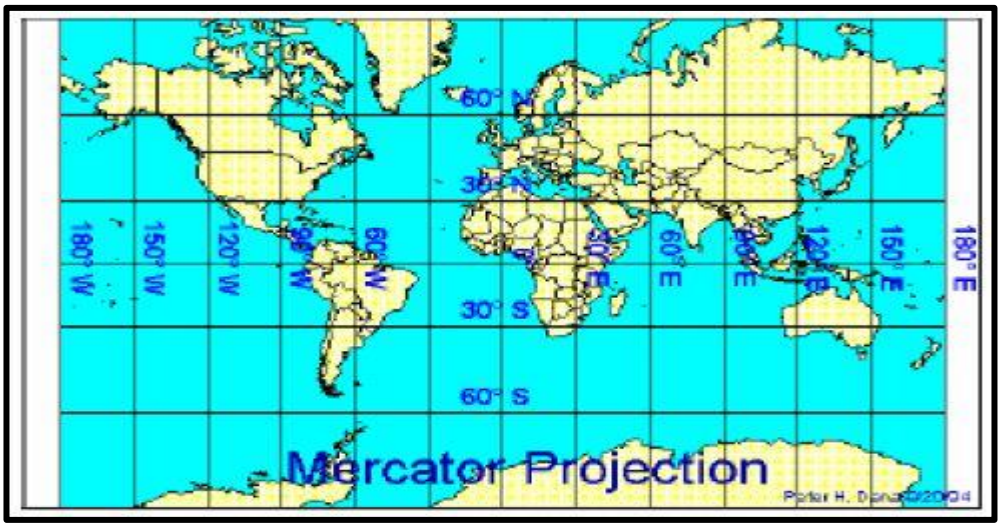


الشكل (7-4) طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:

1) مسقط ميريكاتور Mercator Projection:

مسقط اسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول ودوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماماً. يكون المقياس Scale صحيحاً عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين Standard Parallels على مسافات متساوية من الاستواء. غالباً يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية، الشكل (7-5).



الشكل (7-5) مسقط ميريكاتور

2) مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض على اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالباً يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال- جنوب اكبر من امتدادها في اتجاه شرق- غرب. يزداد التشوه (في المقياس والمسافة والمساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي، ولذلك نلجأ إلى فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة- في اتجاه الشرق- ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيراً عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل سورية ومصر وبريطانيا.

3) مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط على المستوى العالمي ويرمز له اختصاراً بأحرف UTM.

كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب انه احد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

- يعتمد مسقط UTM على إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم إلى 60 شريحة Zones كلا منها يغطي 6 درجات من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.
- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض 80 جنوباً إلى دائرة العرض 84 شمالاً.
- ترقم الشرائح من رقم 1 إلى رقم 60 بدءاً من خط الطول 180° غرب، بحيث تمتد الشريحة الأولى من 180° غرب إلى 174° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند 177° غرب.
- تقسم كل شريحة طولية إلى مربعات كل 8 درجات من دوائر العرض.
- يكون هناك حرف خاص– كاسم– لكل مربع من المربعات، وتبدأ الحروف من حرف C جنوباً إلى حرف X شمالاً مع استبعاد حرفي I وO (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانكليزية).

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم، الشكل (7–6).

لتحديد رقم شريحة UTM لأي موقع جغرافي:

$$\text{ترتيب الحرف} = 1 + \left(\frac{80 + \text{دائرة العرض}}{8}\right) \qquad (7-1)$$

المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شمال خط الاستواء، أما إن كان الموقع يقع جنوب خط الاستواء فيتم استخدام معادلة أخرى هي:

$$\text{ترتيب الحرف} = \left(\frac{80 - \text{دائرة العرض}}{8}\right) \qquad (7-2)$$

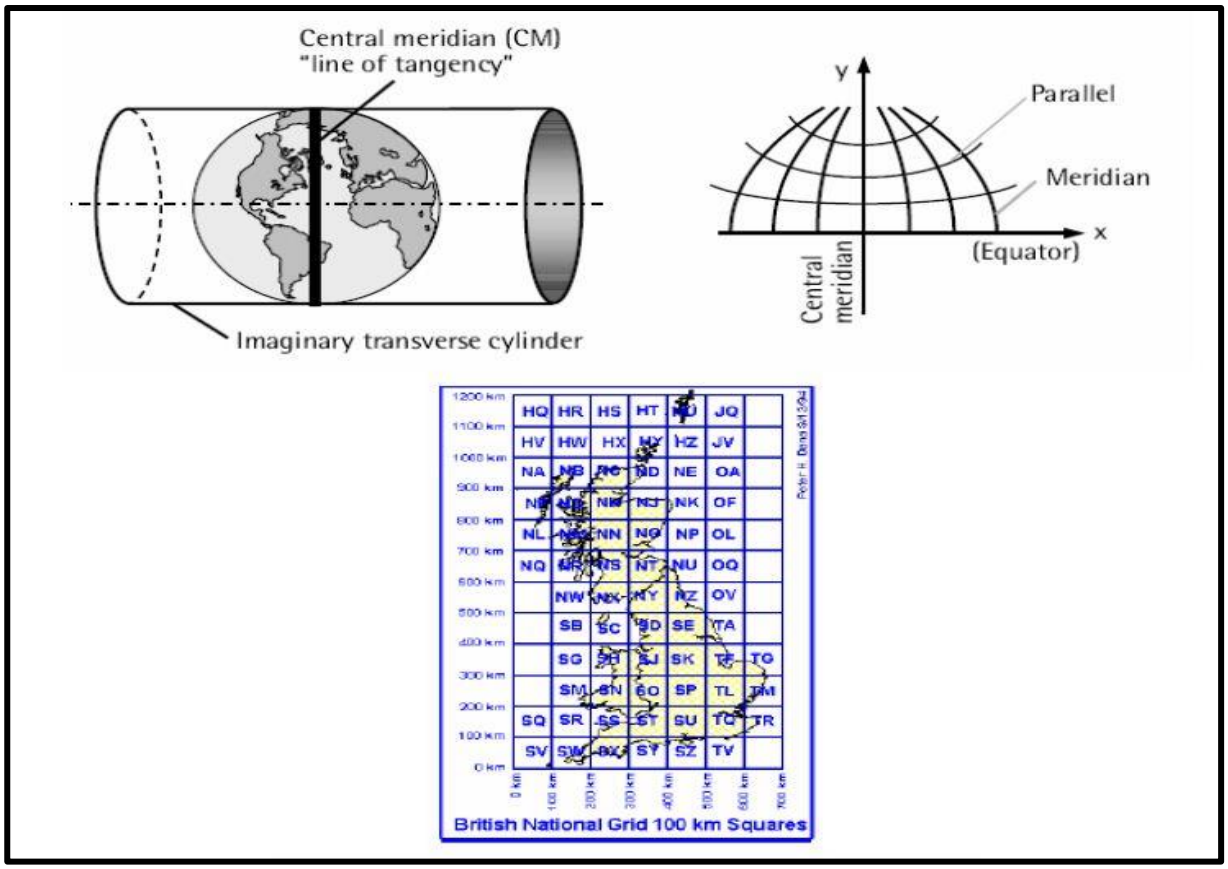
ولحساب رقم الشريحة :

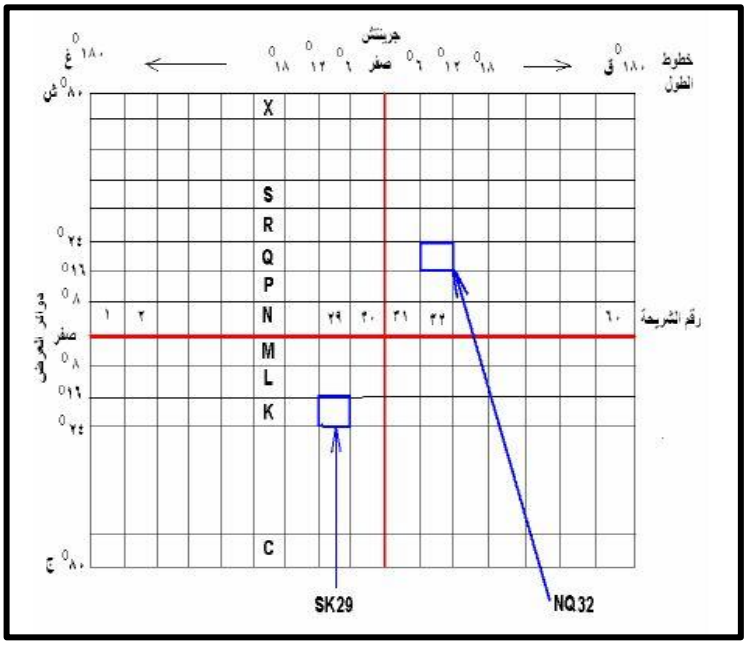
$$\text{رقم الشريحة} = 31 + \left(\frac{\text{خط الطول}}{6}\right) \qquad (7-3)$$

المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شرق غرينتش، أما إن كان الموقع يقع غرب غرينتش فيتم استخدام معادلة أخرى هي:

$$\text{رقم الشريحة} = 30 - \left(\frac{\text{خط الطول}}{6}\right) \qquad (7-4)$$

على أن يتم أخذ الرقم الصحيح للناتج ودون تقريب.

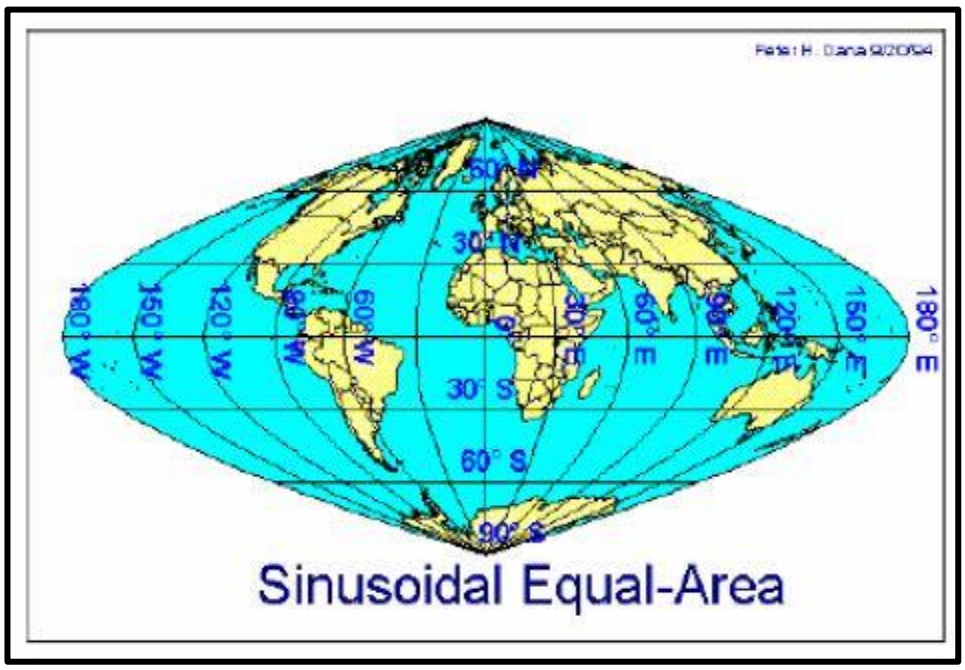




الشكل (7-6) مسقط ميريكاتور المستعرض

4) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection:

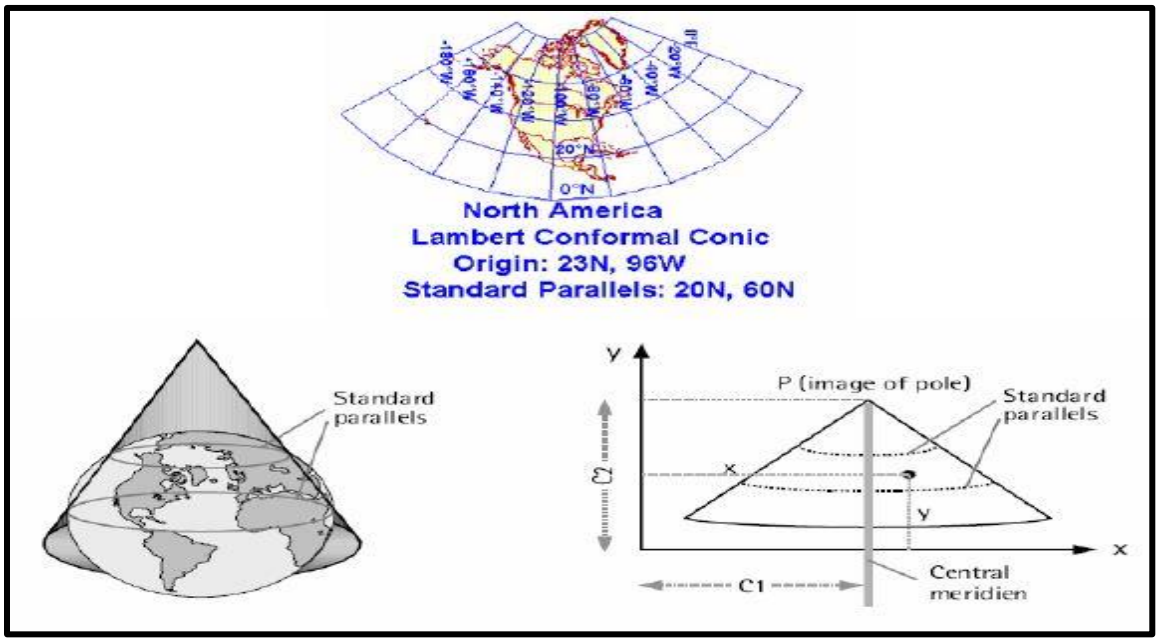
في هذا المسقط الذي يحافظ على المساحات تتعامد دوائر العرض على خط الطول المركزي فقط، بينما مع باقي خطوط الطول فان دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحاً فقط عند خط الطول المركزي ودوائر العرض، ويستخدم هذا المسقط، الشكل (7-7)، للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال- جنوب.



الشكل (7-7) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

5) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection:

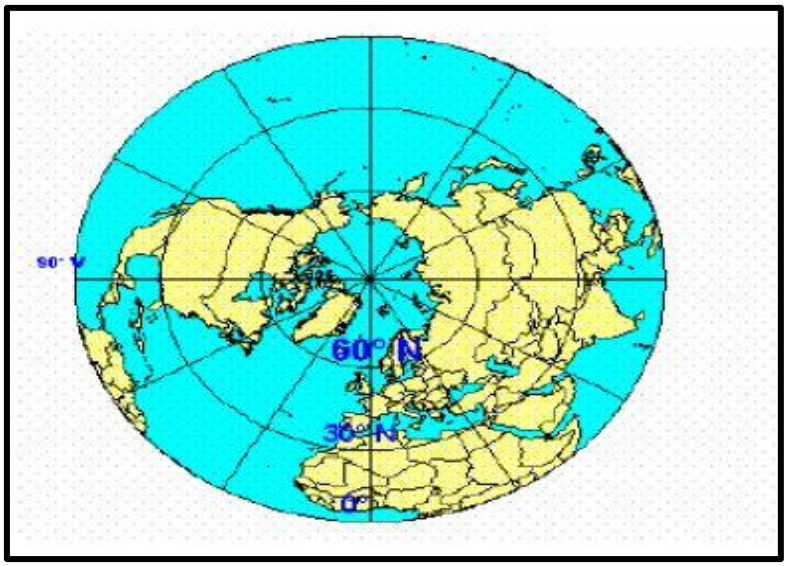
يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات والأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. وهذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية، الشكل (7-8).



الشكل (7-8) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

6) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:

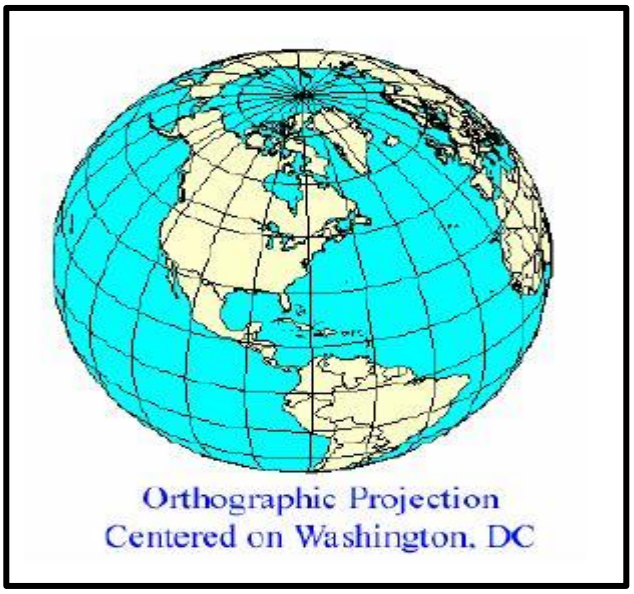
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالباً لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطاً مستقيماً بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية، الشكل (7-9).



الشكل (7-9) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

7) المسقط الارثوغرافي أو المتعامد Orthographic Projection:

مسقط سمتي أيضاً (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالباً لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية، الشكل (7-10). وبه يوجد تشوه لكلا المساحات والأشكال وتكون المسافات صحيحة على دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.



الشكل (7-10) المسقط الارثوغرافي أو المتعامد

8

القياسات المساحية

Field Measurements

1- قياس المسافات الأفقية

طرق قياس المسافات الأفقية:

هنالك طرق مختلفة لقياس المسافات الأفقية:

1- طرق القياس المباشر والتي يستخدم فيها الجنزير أو الشريط.

2- طرق غير مباشرة وتستخدم فيها أدوات قياس بصرية أو أدوات قياس إلكترونية.

الأدوات المستخدمة في القياس المباشر للمسافات:

1- الجنزير.

2- الشريط.

وهنالك ثلاث أنواع من الشريط حسب المادة التي يصنع منها:

1) الشريط التيل أو الكتان.

2) الشريط الفايبر.

3) الشريط الصلب.

الأدوات المساعدة في قياس المسافات:

1- الشوكة أو السهم. 2- الشاخص. 3- الوتد. 4- الشاقول.

قياس المسافات بواسطة الأجهزة الكهرومغناطيسية:

منذ بداية الخمسينات للقرن الماضي أصبح بالإمكان استخدام الأجهزة الإلكترونية أو الكهرومغناطيسية لقياس المسافات بسرعة فائقة ودقة عالية. وتعتمد نظرية استخدام الأجهزة الكهرومغناطيسية لقياس المسافة على سرعة الضوء أو الموجات الكهرومغناطيسية الثابتة (299792.48 كيلومتر في الثانية) وقياس الفترة الزمنية التي تستغرقها الموجة الكهرومغناطيسية في قطع المسافة المطلوب قياسها. إن سرعة ودقة أجهزة قياس المسافات الإلكترونية كانت عوامل مهمة للإقبال على استخدامها خصوصاً في أعمال مسح المناطق الشاسعة التي تتطلب قياس مكثف لمسافات طويلة.

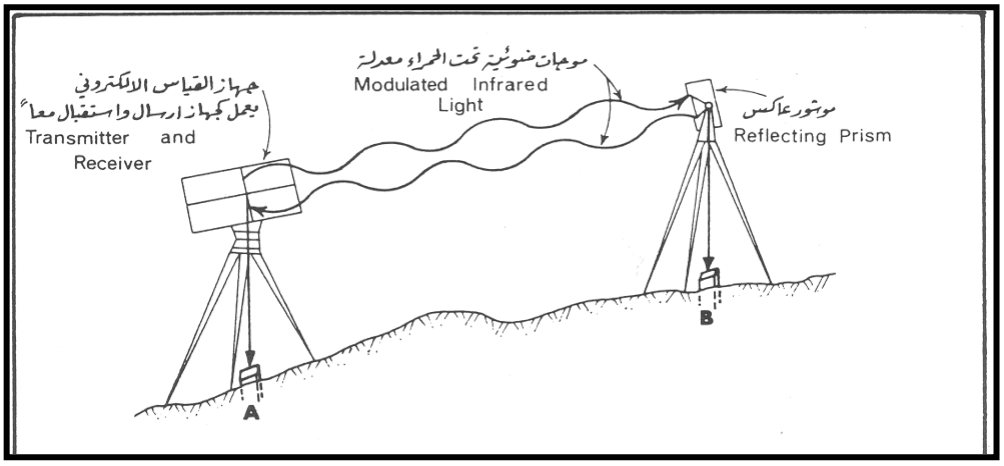
وترتبط سرعة الموجة C بترددها f وطولها λ من خلال العلاقة التالية:

$$C = f.\lambda \qquad (8-1)$$

وتجدر الإشارة إلى أن سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ ثابتة ولا تتغير بطول الموجة أو ترددها.

مبدأ عمل الجهاز الإلكتروني لقياس المسافة:

لقياس المسافة الأفقية بين النقطتين A وB يتم وضع الجهاز مع ملحقاته الأساسية من ثيودوليت وحاسب وبطارية على إحدى النقطتين، ولنفترض أنها النقطة A ويثبت العاكس على النقطة الأخرى B، الشكل (8-1).



الشكل (8-1) وضع الجهاز والعاكس لقياس المسافة الأفقية AB

- يتم ضبط أفقية جهاز قياس المسافة الإلكتروني وجهاز قياس الزاوية (الثيودوليت) فوق النقطة A ومن ثم قياس ارتفاع مركز الجهاز فوق هذه النقطة A وقياس ارتفاع مركز العاكس فوق النقطة الأخرى B.
- يتم رصد مركز العاكس بحيث تكون نقطة تقاطع الشعيرات الأفقية والرأسية لجهاز الثيودوليت منطبقة تماماً مع مركز العاكس.
- بتشغيل جهاز القياس تطلق حزمة كهرومغناطيسية ذات تردد معدل باتجاه مركز العاكس الذي يقوم بعكس هذه الحزمة إلى الجهاز مرة أخرى فيستقبل الجهاز الحزمة المنعكسة من العاكس ويقوم بقياس الزمن الذي استغرقته الحزمة في قطع المسافة بين مركز الجهاز ومركز العاكس ذهاباً و إياباً (t) ثانية. فإذا افترضنا أن سرعة الحزمة الضوئية في الهواء هي v كيلومتر في الثانية فيمكن حساب المسافة S التي قطعتها الحزمة في مسيرها بين المركزين، وهي المسافة المائلة بين A وB، من العلاقة التالية:

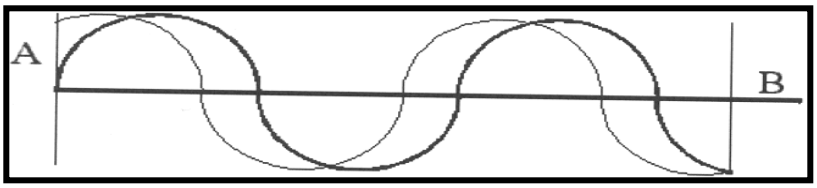
$$S = \frac{1}{2}.v.t \qquad (8-2)$$

ومن المعلوم أن سرعة الموجة المغناطيسية في الفراغ قد تم حسابها بدقة عالية في المختبرات العلمية، ووفقاً للاتحاد الدولي للجيوديزيا والجيوفيزياء فإن القيمة التي اعتمدت عام 1957 لسرعة كل من الموجات الضوئية المرئية والموجات الدقيقة اللاسلكية في الفراغ هي: 0.4 ± 299792.5 كيلومتر في الثانية.

ولإيجاد سرعة الحزمة في الهواء فلا بد من القيام بتصحيح هذه السرعة على حسب تأثير العوامل الجوية (الحرارة والضغط الجوي وضغط بخار الماء).

كما يتضح من العلاقة (8-2) أنه لإيجاد المسافة بين المركزين لا بد من قياس الفترة الزمنية التي استغرقتها الحزمة في الذهاب والإياب بين المركزين (t)، كما وأنه لا بد من مراعاة الدقة القصوى في قياس هذه الفترة الزمنية. وبما أن سرعة الحزمة عالية جداً فإنه من الصعوبة أن تقاس الفترة الزمنية بدقة عالية. ولذلك فإن معظم أجهزة قياس المسافات الإلكترونية تستخدم طرقاً غير مباشرة لقياس الفترة الزمنية تتلخص في قياس فرق الطور

بين الموجات المرسلة والمستقبلة. ويمكن تعريف فرق الطور بأنه الفترة الزمنية، معبراً عنه بالدرجات الكهربائية، التي تتقدم أو تتأخر فيها موجة عن أخرى كما هو موضح، الشكل (8-2).



الشكل (8-2) فرق الطور بين الموجة المرسلة (الخط الثقيل) والموجة المستقبلة (الخط الخفيف) يقاس عند نقطة الإرسال A

ويمكن تحويل فرق الطور الذي يسجله الجهاز بالدرجات إلى الفترة الزمنية t بالثواني ومن ثم حساب المسافة من العلاقة السابقة.

ولتحويل المسافة التي تم قياسها بين مركز الجهاز ومركز العاكس وهي المسافة المائلة بين النقطتين A وB إلى المسافة الأفقية بين النقطتين تظهر فائدة استخدام جهاز الثودوليت في قياس الزاوية الرأسية بين خط الأفق والخط المائل الذي يصل بين المركزين (α). وإذا افترضنا أن مركز الجهاز ينطبق على مركز الثيودوليت فإن المسافة الأفقية (D) بين النقطتين A وB تحسب من العلاقة التالية:

$$D = S.\cos\alpha \qquad (8-3)$$

وهنا تجب الإشارة إلى أن معظم أجهزة القياس الإلكتروني للمسافات تقوم بإنجاز قياسات الطور لمختلف الترددات بشكل ذاتي وتظهر نتيجة القياس على شاشة خاصة بالجهاز بشكل نهائي ومباشر.

وقد تم دمج مكونات أجهزة القياس الإلكتروني السريع في جهاز واحد هو جهاز المحطة الشاملة Total Station، الشكل (8-3)، والتي تستخدم لجمع بيانات تشتمل على مسافات أفقية وزوايا وفروق مناسيب وإحداثيات وتستخدم في تطبيقات عديدة مثل جمع البيانات لرسم الخرائط الطبوغرافية ولأعمال المساحة التفصيلية ولعمل النماذج الرقمية لسطح الأرض ولحساب كميات الحفر والردم في تشييد وتنفيذ المنشآت المختلفة وخاصة الطرق والخطوط الحديدية وقنوات الري.

الشكل (8-3) جهاز المحطة الشاملة

مميزات القياس الإلكتروني مقارنة بالقياس بالشريط

يتميز القياس بالأجهزة الكهرومغناطيسية على القياس بالشريط أو الجنزير بأمور عديدة، نذكر منها ما يلي:

1- سهولة استخدامها في قياس المسافات القصيرة والطويلة على حد سواء مهما كان نوع تضاريس الأرض وخاصة عند وجود العوائق التي تشمل الأنهار والبحيرات والأودية والهضاب العالية وغير ذلك.

2- سهولة تكامل الرصد بها مع استخدام الحاسوب في العمليات المساحية المختلفة.

3- السرعة في استخراج المعلومات وإظهارها على شاشة الجهاز.

4- سهولة تخزين البيانات وإجراء الحسابات.

5- التصحيح الذاتي للكثير من مصادر الأخطاء.

6- لا تحتاج لعدد كبير من العاملين في الميدان.

2- قياس الانحرافات

تاريخياً تطورت أعمال الرفع المساحي لتشمل قياس الانحرافات المغناطيسية للمعالم مع اختراع أجهزة البوصلة المغناطيسية. مع أن البوصلة أصبحت غير مستخدمة الآن في القياسات المساحية الدقيقة إلا أنها ربما تستخدم في أعمال الاستكشاف المبدئي للمنطقة المراد رفعها.

قياس الزوايا:

تعد قياس الزوايا من أهم أنواع القياسات المساحية، تقاس الزوايا بواسطة جهاز التيودوليت.

يمكن تقسيم أجهزة الثيودليت الى مجموعتين: الأجهزة البصرية والأجهزة الرقمية.

1) الثيودليت البصري.
2) الثيودليت الرقمي .

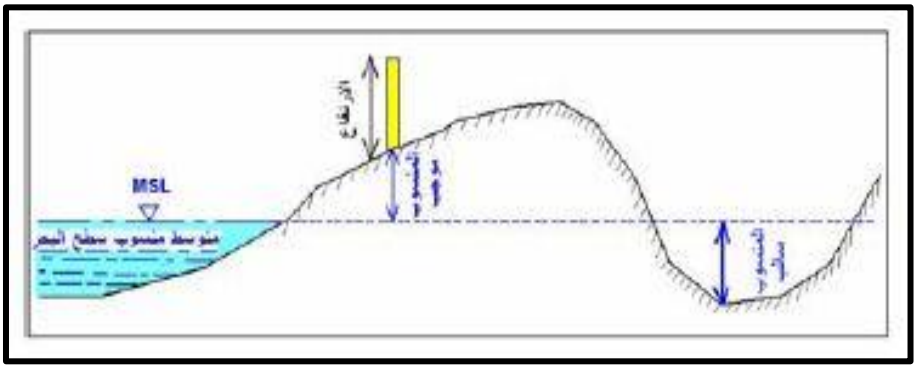
3- قياس المناسيب

تستخدم تطبيقات المساحة مثل الشريط والثيودليت في تحديد مواقع (إحداثيات) المعالم الجغرافية في المستوي، أي من خلال تحديد بعدين (X,Y) لكل نقطة. إلا أن الأرض ليست مستوي إنما هي مجسم شبه كروي وسطحه ليس مستويا بل تتخلله الجبال والوديان والمنخفضات، ولتمثيل أي معلم على الأرض يلزمنا ثلاثة أبعاد وليس اثنين فقط. هذا البعد الثالث (البعد الراسي Z) هو الهدف الذي تسعى الميزانية لقياسه. الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية على سطح الأرض. وتعد الميزانية (أو التسوية) من أهم تطبيقات علم المساحة في كافة المشروعات المدنية والعسكرية على الأرض، فهي العمل المساحي في تنفيذ مشروعات البناء والجسور والطرق والسكك الحديدية والسدود وتسوية الأراضي ..... الخ.

المنسوب والارتفاع:

لتحديد البعد الراسي (الارتفاع أو الانخفاض) لمجموعة من النقاط يلزم سطح مرجعي أو مستوي مقارنة تنسب إليه جميع القياسات، أي سطح يكون الارتفاع عنده مساوياً للصفر. يتكون كوكب الأرض من مياه (بحار ومحيطات) تغطي 75% من إجمالي سطح الكوكب بينما تمثل اليابسة (القارات) الجزء المتبقي. لذلك اتخذ علماء المساحة منذ مئات السنين مستوى سطح البحر (وامتداده الوهمي تحت اليابسة) كسطح مرجعي لقياس الارتفاعات. بما أن مياه البحار والمحيطات تتأثر على سطحها بالتيارات البحرية اليومية وتأثيرات المد والجزر فان مستوي المقارنة هو متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصاراً MSL .فإذا تم قياس البعد الراسي لأي معلم بدءاً من مرجع فنطلق على هذا القياس اسم "**الارتفاع Height**" بينما إذا تم القياس بدءاً من متوسط منسوب سطح البحر MSL فنطلق على هذا البعد اسم "**المنسوب Level**". أي أن المنسوب هو ارتفاع من نوع خاص تم قياسه أو تحديده بدءاً من متوسط سطح البحر. يكون المنسوب موجباً إن كان أعلى من منسوب متوسط سطح البحر، ويكون سالباً إن كان أقل منه.

قامت كل دولة بتحديد متوسط منسوب سطح البحر MSL في نقطة محددة ومن ثم تم اعتبار تلك النقطة هي أساس كل القياسات الرأسية (المناسيب) في هذه الدولة.



الشكل (8-4) الارتفاع والمنسوب

وبعد تحديد متوسط منسوب سطح البحر للدولة يتم بناء نقطة (علامة أرضية) ويتم قياس ارتفاع هذه النقطة عن متوسط منسوب سطح البحر (أي يتم تحديد منسوب هذه النقطة). أطلق اسم Bench Mark أو اختصاراً "**BM**" أو

"**الروبير**" على هذه النقطة وعلى كل نقطة معلومة المنسوب. وبطريقة معينة (الميزانية) تم بناء مجموعة من علامات BM الروبيرات بحيث تغطي كافة أنحاء المعمورة من الدولة، وهذا ما يطلق عليه اسم شبكة الثوابت الرأسية أو شبكات الميزانية أو الشبكات المساحية الرأسية. وبالتالي فان من مهام الجهة الحكومية المسؤولة عن المساحة في الدولة توفير نقاط روبيرات داخل كل مدينة في هذه الدولة بحيث يمكن لأي مشروع هندسي أن يبدأ من نقطة BM معلومة المنسوب بالقرب من موقع المشروع. تكون الروبيرات إما مثبتة في حائط أي مبنى (غالباً مبنى حكومي) وتسمى روبيرات الحائط أو مثبتة في الأرض وتسمى روبيرات أرضية. ويتم الحصول على معلومات أي روبير (موقعة بالتحديد وقيمة منسوبة) من الجهة المسؤولة عن أعمال المساحة في هذه الدولة.

4- حساب المساحات

في كثير من الأحيان تكون هنالك حاجة ماسة لمعرفة مساحة قطعة أرض ذات حدود معينة. وربما تكون حدود هذه الأرض موقعة على خريطة بمقياس رسم معلوم. وهنالك طرق مختلفة لإيجاد مساحة قطعة الأرض: بعضها يستخدم في إيجاد المساحة من الخريطة وبعضها يستخدم عند القياس المباشر على الطبيعة. وبعضها يناسب الحدود ذات الخطوط المستقيمة التي تشكل أشكال هندسية منتظمة وبعضها يناسب الحدود ذات الخطوط غير المنتظمة.

أما إيجاد المساحة من الخريطة فهي الطريقة الأكثر استعمالاً إذ أن القياسات المطلوبة كلها تتم من على لوحة الخريطة واستخدام مقياس رسم الخريطة إن كان معلوماً دون الرجوع إلى الموقع. إلا أن عيب هذه الطريقة هو تراكم الأخطاء التي تنتج من توقيع الخريطة نفسها ومن القياس على الخريطة. ومع أن هذه المشكلة يمكن علاجها باستخدام الطريقة الثانية وهي أخذ القياسات من الموقع مباشرةً إلا أن ذلك يتطلب تكلفة مادية وجهد عملي أكبر، ولذلك تظل الطريقة الأولى هي الأكثر استعمالاً.

أما التصنيف الآخر لإيجاد المساحة فهو الذي يتم بالنظر إلى طريقة حساب المساحة. وذلك يمكن أن يتم بالطرق الرياضية والتخطيطية والآلية. أما الطرق الرياضية فيمكن استخدامها مع القياسات التي تتم في الموقع

على الأرض كما يمكن استخدامها مع القياسات التي تتم على الخريطة، وأما الطريقتين الأخريين وهما التخطيطية والآلية فلا بد من استخدامهما مع الحدود الموقعة على الخريطة بالمقياس المعلوم.

1- الطرق الرياضية لإيجاد المساحة:

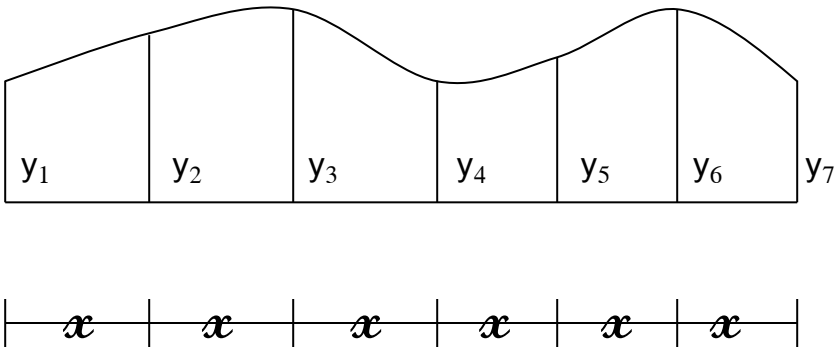
إذا كانت المنطقة تحد بحدود هندسية منتظمة فيمكن استخدام النموذج الرياضي المناسب للشكل الهندسي للحدود، أما إذا كانت لا تشكل حدوداً هندسية منتظمة فيمكن استخدام طرق رياضية يتم تطبيقها لإيجاد المساحة تقريبياً.

i- النماذج الرياضية للأراضي ذات الحدود المنتظمة:

هنالك نماذج رياضية تناسب المنطقة ذات الحدود الهندسية المنتظمة مثل تلك التي تشكل شكل مثلث أو مربع أو مستطيل أو معين أو متوازي أضلاع أو شبه منحرف أو أي شكل محدد بخطوط مستقيمة أو دائرية أو قطاع من دائرة أو أي تركيب من هذه الأشكال. وهي وإن كانت معلومة للطالب من دراسته للعلوم الرياضية.

ii- النماذج الرياضية للأراضي ذات الحدود غير المنتظمة:

في الكثير من الحالات تكون لقطعة الأرض حدود لا تتشكل من خطوط مستقيمة أو أقواس دائرية بحيث يمكن تطبيق النموذج الرياضي المناسب كما تم في الفقرة السابقة. في هذه الحالة نقوم بمد محور على طول المنطقة ونقيم عليه أعمدة- على مسافات متساوية- إلى حدود الأرض كما يتضح في الشكل (8-5).



الشكل (8-5) قطعة أرض ذات حدود غير منتظمة

إذا علمنا المسافة بين كل عمود والذي يليه (x مثلاً) وبقياس أبعاد هذه الأعمدة من حدود المنطقة (y_i) لكل عمود i من 1 إلى n عمود (n=7 في الشكل 8-5) يمكن حساب المساحة حساباً تقديرياً بالطريقة التي توائم شكل حدود المنطقة من الطرق التالية:

1) طريقة متوسط أطوال الأعمدة:

نحسب أولاً متوسط أطوال الأعمدة Y من العلاقة:

$$Y = \frac{[y_1 + y_2 + y_3 + \cdots \ldots \ldots \ldots + y_{n-1}]}{n} \qquad (8-4)$$

ومن ثم نحسب المساحة A من العلاقة التالية:

$$A = Y[x(n-1)] \qquad (8\text{-}5)$$

ويمكن صياغتها لفظياً على النحو التالي:

المساحة الكلية= متوسط أطوال الأعمدة [Y] × طول المحور $[x(n-1)]$

2) طريقة أشباه المنحرفات:

وهذه الطريقة أكثر دقة من الأولى، ونعتبر فيها أن كل مساحة بين عمودين هي مساحة شبه منحرف، فمثلاً مساحة الجزء الأول من اليسار هي:

$$A_1 = \frac{x(y_1 + y_2)}{2}$$

ومساحة الجزء الثاني هي:

$$A_2 = \frac{x(y_2 + y_3)}{2}$$

ومساحة الجزء الأخير هي:

$$A_{n-1} = \frac{x(y_{n-1} + y_n)}{2}$$

وبجمع مساحات كل الأجزاء التي تكون المنطقة نوجد المساحة:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \cdots \ldots \ldots \ldots + A_{n-1}$$

$$A = \frac{x}{2}[y_1 + 2y_2 + 2y_3 + \cdots \ldots \ldots \ldots + 2y_{n-1} + y_n] \qquad (8-6)$$

ويمكن صياغتها لفظياً على النحو التالي:

المساحة=(x/2)*(طول العمود الأول+ طول العمود الأخير+ ضعف مجموع باقي الاعمدة).

3-طريقة سيميسون:

وتعتبر أكثر دقة من سابقتيها إذا كانت حدود المنطقة منحنية أو أشبه بالمنحنى من الخط المستقيم، ويراعى عند تطبيقها أن يكون عدد الأعمدة n عدداً فردياً.

$$A = \frac{x}{3}[y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + \cdots \ldots \ldots + 4y_{n-1} + y_n] \qquad (8-7)$$

ويمكن صياغتها لفظياً على النحو التالي:

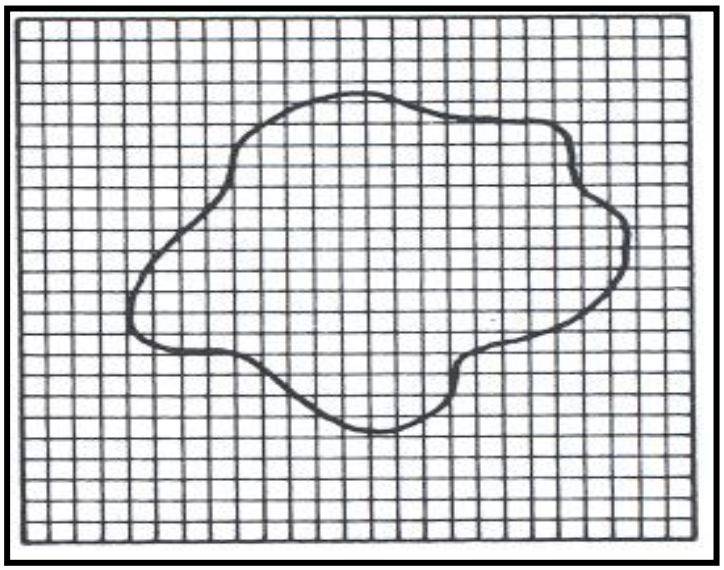
المساحة=(x/3)*(طول العمود الأول+ طول العمود الأخير+ ضعف مجموع الأعمدة الفردية غير الأول والأخير+ أربعة أضعاف مجموع الأعمدة الزوجية).

ملاحظة: يلاحظ أن الطريقة الثانية يمكن استخدامها لتقدير مساحة القطعة التي تشكل حدودها خطوطاً مستقيمة بين الأعمدة، في حين أن الطريقة الأخيرة تعبر أكثر عن الحدود التي تكون في شكل منحنى بين الأعمدة.

2- الطرق التخطيطية لإيجاد المساحة:

وهذه الطرق تعتبر تقديرية ولا يلجأ إليها إلا في حالة تجنب إجراء الحسابات وأن تكون حدود المنطقة موقعة على خريطة ذات مقياس رسم معلوم. وسنقدم طريقة واحدة منها هي طريقة المربعات.

ونستخدم هنا ورقة رسم بياني شفاف توضع على الخريطة مغطية الجزء الذي تقع فيه المنطقة المراد إيجاد مساحتها (الشكل 8-6). ونقوم بتعداد المربعات الصغيرة داخل حدود المنطقة. ونحتاج للقيام بتقدير لكسر المربعات الغير كاملة. وإذا علمنا عدد المربعات الكلية بكسورها وإذا علمنا المساحة على الأرض التي يغطيها المربع الواحد من مقياس الخريطة يمكن إيجاد المساحة الكلية.



الشكل (8-6) طريقة المربعات التخطيطية لحساب المساحة

3- الطريقة الآلية لإيجاد المساحة (جهاز قياس المساحة):

ومن الطرق المستخدمة في إيجاد المساحة الأرضية للمنطقة ذات الحدود غير المنتظمة والموقعة على الخريطة الطريقة الآلية التي يتم فيها استخدام جهاز يسمى جهاز قياس المساحة (البلانيميتر). ومن أنواع هذا الجهاز جهاز مقياس المساحة الميكانيكي والجهاز الرقمي.

9

مبادئ المساحة الأرضية

Principles of Terrestrial Surveying

1-مقدمة:

علم المساحة هو العلم الذي يبحث في تحديد المواقع للمظاهر الطبيعية والبشرية الموجودة على أو تحت سطح الأرض وتمثيل هذه المظاهر على خرائط تقليدية (مطبوعة) أو رقمية (باستخدام الحاسب الآلي). أيضا يمكن تعريف علم المساحة بأنه العلم الذي يبحث في الطرق المناسبة لتمثيل سطح الأرض على خرائط بحيث يشمل هذا التمثيل بيان جميع المحتويات القائمة والموجودة على سطح الأرض، سواء أكانت طبيعية (مثل الهضاب والجبال والصحارى والأنهار والبحار والمحيطات) أو كانت صناعية (مثل السدود والجسور والمنشآت والمباني والمدن والطرق والسكك الحديدية وحدود الدولة السياسية)، وكذلك حدود الملكيات الخاصة والعامة. ومن الواجب أن تكون الخريطة صورة صادقة مصغرة للطبيعة التي تمثلها، وان تؤدي الغرض الذي عملت من أجله كاملاً.

2-أقسام المساحة :

توجد عدة تقسيمات لأنواع تطبيقات المساحة سواءً من حيث الاستخدام أم من حيث الهدف من العمل المساحي أو من حيث الجهاز المساحي المستخدم ... الخ إلا أن أقسام المساحة هي:

أ- المساحة الأرضية Terrestrial Survey:

تشمل المساحة الأرضية تطبيقات وقياسات علم المساحة على سطح الأرض من خلال أجهزة موضوعة على سطح الأرض، وتنقسم طبقاً لطبيعة هذه القياسات إلى نوعيين أساسيين:

أ-1 المساحة الجيوديزية Geodetic Survey:

في هذا النوع من علوم المساحة يتم الاعتماد على الشكل الحقيقي شبه الكروي للأرض- والذي هو شكل غير مستوي- ومن ثم تعتمد الأجهزة وطرق الحسابات المستخدمة في المساحة الجيوديزية على هذا المبدأ. غالباً يتم استخدام المساحة الجيوديزية في تمثيل مساحة كبيرة من سطح الأرض.

أ-2 المساحة المستوية Plane Survey:

عند إجراء القياسات المساحية في منطقة صغيرة من سطح الأرض (عدة كيلومترات مربعة) يمكن إهمال الشكل الحقيقي للأرض والاكتفاء بافتراض أن هذا الجزء الصغير يمكن تمثيله كمستوي، ومن هنا جاء اسم المساحة المستوية.

تنقسم المساحة المستوية إلى فرعين: (1) المساحة التفصيلية Cadastral Survey والتي تهتم بتوضيح الملكيات العامة والخاصة ويكون هذا التمثيل باستخدام بعدين فقط (الطول والعرض) لكل هدف ولذلك يسمى هذا النوع من أقسام المساحة بالمساحة ثنائية الأبعاد، (2) المساحة الطبوغرافية Topographic Survey والتي تهتم بقياس البعد الثالث (الارتفاع أو الانخفاض) لكل هدف بحيث يتم تمثيله من خلال ثلاثة أبعاد: الطول والعرض والارتفاع. ولذلك تسمى المساحة الطبوغرافية باسم المساحة ثلاثية الأبعاد.

كما توجد بعض التقسيمات الأخرى للمساحة المستوية حيث يقسمها البعض إلى عدة أنواع طبقاً للهدف من المشروع المساحي ذاته مثل:

- المساحة الأرضية أو التفصيلية Land or Cadastral Survey: تهتم بالتحديد الدقيق للمواقع والحدود لقطع الأراضي في منطقة صغيرة.
- المساحة الطبوغرافية Topographic Survey: تهتم بجمع الأرصاد والقياسات الأفقية وكذلك الارتفاعات للمظاهر الطبيعية والبشرية لتطوير الخرائط ثلاثية الأبعاد.
- المساحة الهندسية أو الإنشائية Engineering or Construction Survey: تهتم بجمع القياسات لكل مراحل تنفيذ المشروعات الهندسية.
- مساحة الطرق Route Survey: تهتم لتنفيذ العمل المساحي المطلوب لإنشاء مشروعات النقل مثل الطرق والسكك الحديدية ومد الأنابيب وخطوط الكهرباء.

ب- المساحة التصويرية أو الجوية Photogrammetry:

تتكون المساحة الجوية من عمل قياسات من الصور الملتقطة بكاميرات موضوعة على طائرات ثم استخدام هذه القياسات في إنتاج الخرائط المساحية.

ت- المساحة البحرية أو الهيدروغرافية Hydrographic Survey:

تهتم المساحة البحرية بتحديد مواقع الظاهرات الموجودة على أو تحت سطح المياه في البحار والأنهار والمحيطات. ومن أمثلة منتجات المساحة البحرية الخرائط الهيدروغرافية التي تمثل قاع البحر.

ث- المساحة الفلكية Astronomical Survey:

يعتمد هذا الفرع من أفرع المساحة على رصد الأجرام السماوية واستخدام هذه القياسات في تحديد مواقع الظاهرات الجغرافية الموجودة على سطح الأرض. وكانت المساحة الفلكية احد أهم تطبيقات علم المساحة في إنشاء شبكة الثوابت الأرضية قديماً، إلا أن هذا التطبيق أصبح يعتمد على استخدام الأقمار الصناعية بدلاً من النجوم الطبيعية. مازال الاعتماد على المساحة الفلكية قسماً هاماً في من أقسام علم المساحة وخاصة في التطبيقات المساحية التي تتطلب دقةً عاليةً جداً– مثل دراسة تحركات القشرة الأرضية– إلا أن تقنياته

وأجهزته قد تغيرت وتطورت كثيراً في الفترة الماضية، مثل تقنية VLBI (تقنية قياس خطوط القواعد الطويلة جداً باستقبال أشعة الأجرام السماوية).

الأجهزة المساحية

توجد العديد من أنواع الأجهزة المساحية إلا أن أشهرها وأكثرها استخداماً: جهاز الثيودوليت لقياس الزوايا، جهاز المحطة الشاملة لقياس الزوايا والمسافات، جهاز الميزان لقياس فرق المنسوب.

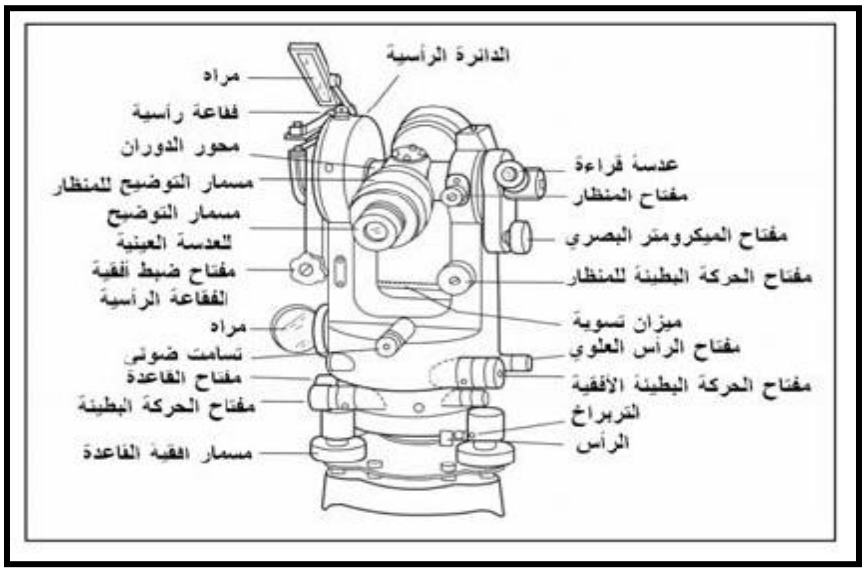
1-جهاز الثيودوليت:

يمكن تقسيم أجهزة الثيودوليت إلى مجموعتين: الأجهزة البصرية والأجهزة الرقمية. كما توجد أنواع خاصة من أجهزة الثيودوليت مثل جهاز الجيرو- ثيودوليت Gyro-Theodolite المستخدم للقياسات تحت سطح الأرض (في المناجم والأنفاق).

الثيودوليت البصري:

يتكون الثيودوليت البصري (التقليدي) من عدد من الأجزاء الأساسية تشمل:

- التربراخ (قاعدة التسوية) Tribrach: القاعدة التي تجمع فوقها كل أجزاء الجهاز والتي بها ثلاثة مفاتيح لضبط أفقية ميزان التسوية (فقاعة الماء) المثبت عليها، بالإضافة لمنظار تسامت ضوئي لضمان وقوع محور الجهاز أعلى النقطة الأرضية.
- الجزء السفلي: يحتوي الدائرة الأفقية لقياس الزوايا الأفقية ولها مفتاحين للحركة أحدهما للحركة الأفقية السريعة والآخر للحركة الأفقية البطيئة.
- الجزء العلوي: يحتوي الدائرة الرأسية لقياس الزوايا الرأسية بالإضافة لميزان تسوية (فقاعة) رأسي.
- المنظار (التلسكوب) المجهز أيضا بمفتاحين للحركة الرأسية (السريعة والبطيئة) بالإضافة لعدستين عينية (القريبة من عين الراصد) وشيئية (الموجهة للهدف) ومعهما مفتاح لتوضيح الرؤية لكل عدسة.



الشكل (9-1) أجزاء الثيودوليت

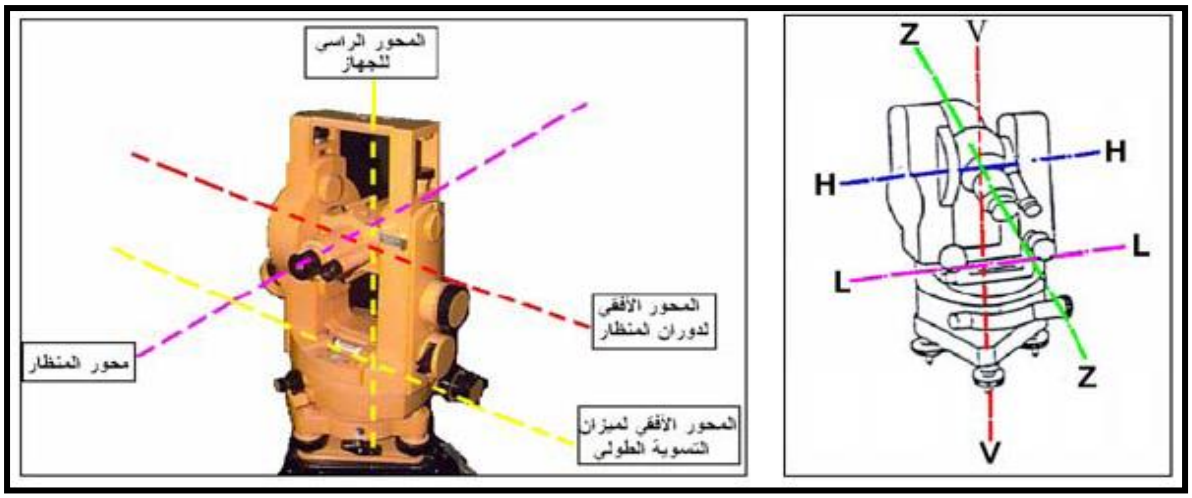
لجهاز الثيودوليت 4 محاور تتكون من:

1- المحور الرأسي V-V: يمر بمركز الدائرة الأفقية ويدور الجهاز حوله في مستوي أفقي.

2- المحور الأفقي H-H: يمر بمركز الدائرة الرأسية ويدور الجهاز حوله في مستوي رأسي.

3- محور ميزان التسوية الطولي L-L: الخط المستقيم المماس لميزان التسوية الطولي عند المنتصف.

4- محور خط النظر Z-Z: الخط الواصل بين نقطة تقاطع حامل الشعرات للعدسة العينية والمركز الضوئي للعدسة الشيئية.



الشكل (9-2) محاور الثيودوليت

الثيودوليت الرقمي:

الثيودوليت الرقمي أو الالكتروني هو ثيودوليت عادي تم إضافة شاشة الكترونية له لتظهر عليها الزاوية المرصودة بدلاً من قراءتها يدوياً في الثيودوليت العادي. يحتاج الثيودوليت الرقمي لبطارية لتشغيله وبعض أنواعه تحتوي على كارت ذاكرة لتخزين القياسات ثم نقلها مباشرة للحاسب الآلي.

الشكل(9-3) الثيودوليت الرقمي

ويتميز الثيودوليت الرقمي بسهولة تشغيله وسرعته في انجاز العمل المساحي إلا انه أغلى سعراً من الثيودوليت العادي.

2-جهاز المحطة الشاملة:

يعد جهاز المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة Total Station أكثر الأجهزة المساحية استخداماً وتكاملاً ودقة في الوقت الراهن. يدل اسم الجهاز على انه يشمل داخله عدد من الأجهزة والإمكانيات في إطار متكامل كجهاز واحد.

ويتكون جهاز المحطة الشاملة من مجموعة من الأجهزة (تم جمعها في إطار واحد) تشمل:

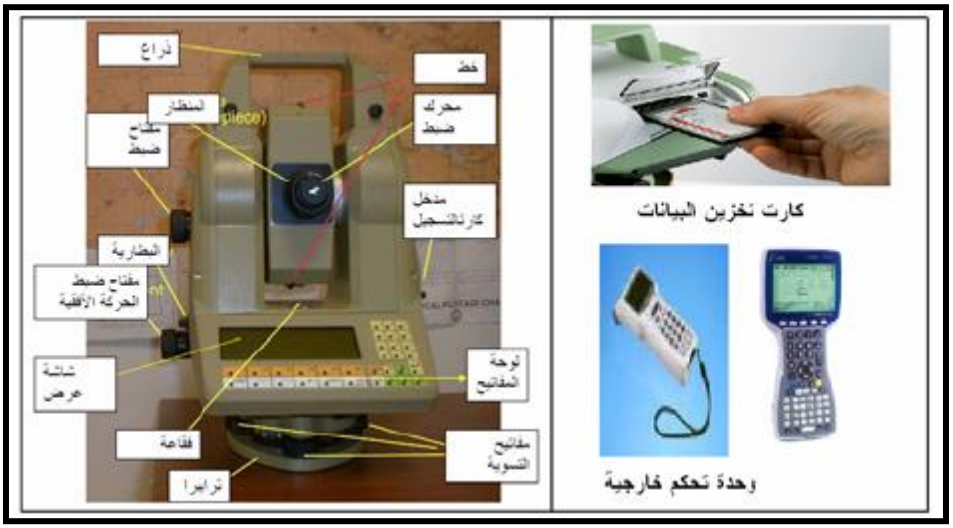
1- جهاز ثيودوليت رقمي.

2- جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM.

3- ذاكرة الكترونية لتسجيل القياسات.

4- وحدة كمبيوتر Micro-Processor لتشغيل البرامج الحسابية.

5- أجهزة ملحقة مثل البطارية ومجموعة العواكس والحامل الثلاثي وكابل التوصيل بالكمبيوتر.



الشكل (9-4) مثال لجهاز المحطة الشاملة

وتتميز أجهزة المحطات الشاملة بالعديد من المميزات والمواصفات مثل:

1- الدقة في قياس الزوايا الأفقية والرأسية (قد تصل إلى ثانية واحدة).

2- الدقة في قياس المسافات (عدة ملليمترات).

3- الرصد لمسافات كبيرة (تتعدى كيلومترات).

4- منظار له قوة تكبير عالية لإمكانية رصد المعالم البعيدة.

5- تسمح وحدة الكمبيوتر بأداء الحسابات في الموقع والحصول على الإحداثيات آنياً.

6- إمكانية قياس المسافات بدون عاكس (بالليزر) لعدة مئات من الأمتار.

7- سرعة في قياس المسافات الكترونياً (ثانية واحدة أو أقل).

8- التحقق من أخطاء ضبط أفقية الجهاز وتعديلها أو تصحيح القياسات حسابياً.

9- البطارية تمد الجهاز بالطاقة اللازمة لعدة ساعات.

10-نظام تشغيل مثل نوافذ Windows لسهولة العمل (بعض الأجهزة تدعم اللغة العربية).

11-ذاكرة تخزين كبيرة لتخزين القياسات بالجهاز (ذاكرة داخلية أو كرت تخزين).

12-بعض الأجهزة تسمح بتوصيل وحدة تحكم خارجية Control Unit أو وحدة تجميع البيانات Data Collector لسهولة العمل.

13-سهولة نقل البيانات للكمبيوتر (من خلال كابل أو وحدة بلوتوث).

14-القدرة على تحمل ظروف الطقس المختلفة في الموقع (حتى حرارة تصل 50 درجة مئوية).

15-بعض الأجهزة فيها كاميرا رقمية داخلية لتصوير مواقع الرصد كنوع من أنواع توثيق بيانات المشروع.

16- صغر الحجم وخفة الوزن مما يسهل التنقل بها بين المواقع المختلفة.

3-جهاز الميزان:

الميزان Level هو الجهاز المساحي المستخدم للحصول على مستوي أفقي وهمي يوازي متوسط منسوب سطح البحر. تتكون أجهزة الميزان بصفة عامة من مجموعتين الميزان البصري والميزان الالكتروني أو الرقمي. تشمل أجهزة الميزان البصري فئتين: (أ) ميزان كوك Cook's Level والذي كان منظاره مركب على طوقين أو حلقتين بحيث يمكن فك المنظار وعكس اتجاهه ثم تركيبه على قاعدته مرة أخرى، (ب) ميزان دمبي Dumby's Level وهو الأحدث والشائع حالياً حيث منظاره غير قابل للعكس.

الشكل (9-5) أجهزة ميزان بصري من نوع دمبي

يتكون جهاز الميزان البصري من: المنظار أو التلسكوب ويوجد على أحد طرفيه العدسة العينية وعلى الطرف الأخر العدسة الشيئية ومثبت أعلاه أداة التوجيه نحو الهدف ومركب على جانبه مسمار توضيح الرؤيا المسمى مسمار التطبيق، على التربراخ يوجد مسمار الحركة الأفقية البطيئة للميزان بالإضافة لميزان التسوية الدائري وثلاثة مسامير لضبط أفقية الجهاز. ويركب الميزان على قاعدته التي توضع على الحامل الثلاثي (الخشبي أو الألمونيوم) عند الرصد.

تعد القامة Staff أهم الأدوات المستخدمة مع جهاز الميزان لإجراء أعمال الميزانية (قياس فرق الارتفاع) في الطبيعة. القامة هي مسطرة مدرجة لأمتار وسنتيمترات يتراوح طولها بين 3 و5 أمتار. تصنع القامة من الخشب أو من الألمنيوم وتوجد عدة أنواع من القامات– القامة المطوية– القامة التلسكوبية– القامة المنزلقة– القامة ذات القطعة الواحدة.

وقد تطورت أجهزة الميزان لتظهر مجموعة أخرى منها تسمى الميزان الرقمي أو الالكتروني والذي يتميز بإمكانية تسجيل القراءات في ذاكرة الجهاز وأيضاً وجود لوحة مفاتيح على الجهاز لتسجيل أية بيانات متعلقة بالمشروع.

10

وحدات ونظم القياس

Units and Measurement Systems

ينصب العمل المساحي على إجراء قياسات طولية (مسافات) وزاوية في الطبيعة، لذلك فمن المهم الإلمام بالنظم والوحدات المختلفة المستخدمة في تنفيذ هذه القياسات أو الأرصاد وطرق التحويل بينها.

1- وحدات القياسات:

1-1 وحدات القياس الطولية:

يوجد نظامين مستخدمين في قياس المسافات والأطوال وهما النظام الدولي والنظام الانجليزي.

في النظام الدولي (يسمى أيضا النظام الفرنسي) ويرمز له بالرمز SI يتم استخدام وحدات المتر ومشتقاته كالآتي:

1 متر (م) = 10 ديسيمتر (دسم).

1 ديسيمتر (دسم) = 10 سنتيمتر (سم).

1 سنتيمتر (سم) = 10 ملليمتر (مم).

1 كيلومتر (كم) = 1000 متر (م).

أي أن:

1 متر (م) = 100 سنتيمتر (سم).

1 متر (م) = 1000 ملليمتر (مم).

1 كيلومتر (كم) = 10.000 ديسيمتر (دسم).

1 كيلومتر (كم) = 100.000 سنتيمتر (سم).

1 كيلومتر (كم) =1.000.000 ملليمتر (مم).

أما في النظام الانكليزي فيتم استخدام وحدات القدم ومشتقاته كالآتي:

1 ميل =3.2808 قدم.

1 ياردة =39.37 بوصة.

1 متر = 3 ياردة.

1 كيلومتر = 0.62127 ميل.

1 بوصة =2.54 سنتمتر.

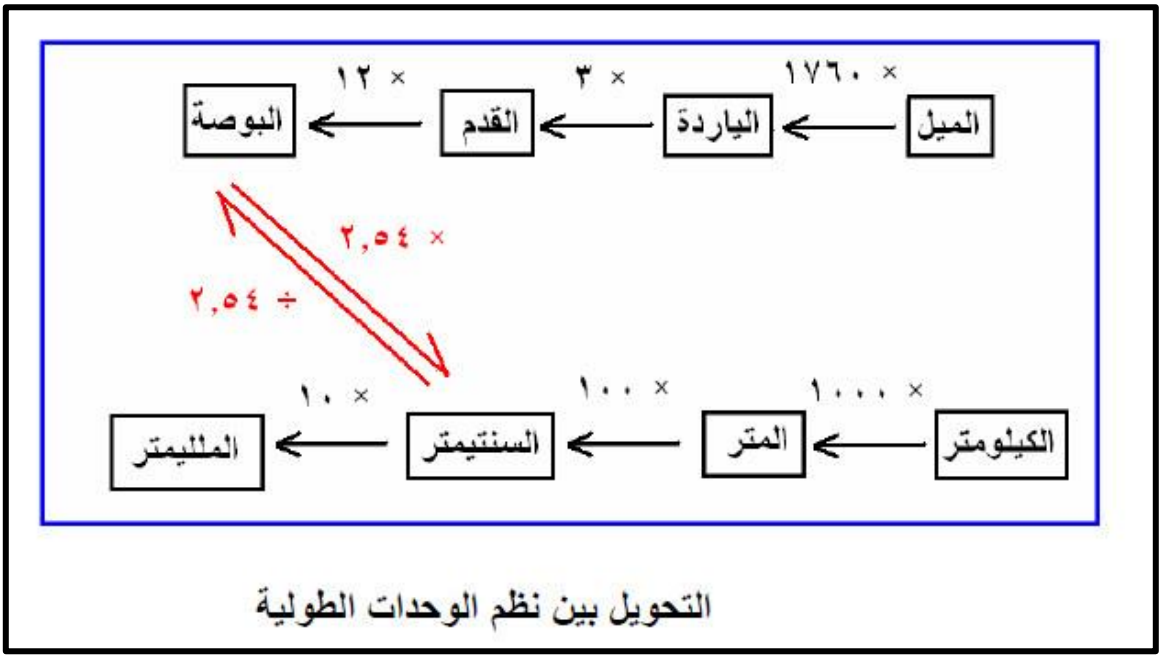
1 قدم = 30.48 سنتمتر.

1 ياردة = 0.9144 متر.

1 ميل = 1609.35 متر.

1 ميل = 1.60935 كيلومتر.

للسهولة يمكن الاكتفاء بعرفة علاقة رياضية واحدة للتحويل بين كلا النظامين كما في المثال التالي:



التحويل بين نظم الوحدات الطولية

مثال:

احسب طول الطريق بين مدينتين بالميل إذا علمت أن طوله يبلغ 880 كيلومتر؟

الجواب: الطول = 880= 546.806 ميل.

احسب طول ملعب كرة قدم بالمتر إن كان طوله يساوي 100 ياردة؟

الجواب: الطول = 91.44 متر.

1-2 وحدات قياس المساحات:

1 متر مربع = 100×100 = 10000 سنتمتر مربع.

1 كيلومتر مربع = 1000×1000 = 1000000 متر مربع.

نظام وحدات قياس المساحات (وخاصة الزراعية).

1 دونم = 1000 متر مربع.

1 هكتار = 10 دونم.

1 هكتار = 10000 متر مربع.

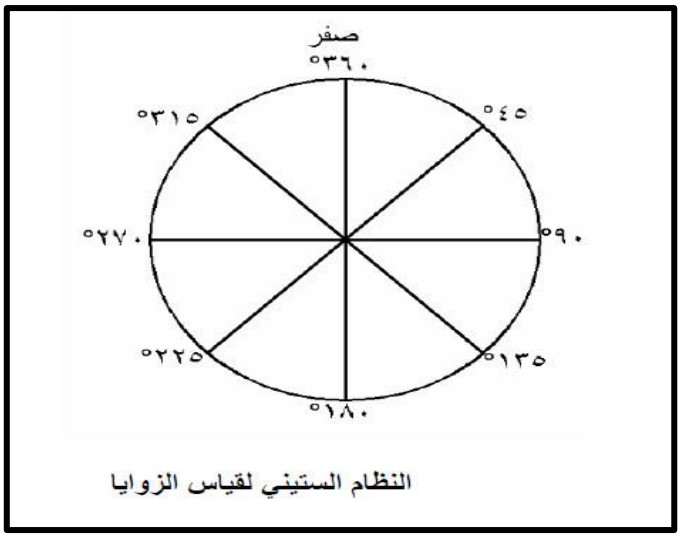
1 كيلومتر مربع = 100 هكتار.

2- نظم قياس الزوايا:

توجد ثلاثة أنظمة لقياس الزوايا (والاتجاهات) وهي النظام الستيني والنظام المئوي والنظام الدائري:

2-1 النظام الستيني لقياس الزوايا:

في النظام الستيني تقسم الدائرة إلى 360 قسماً يسمى الجزء الواحد منها الدرجة الستينية ويرمز لها بالرمز (°)، ثم تقسم الدرجة الستينية الواحدة إلى 60 جزء يسمى الواحد منها الدقيقة الستينية ويرمز لها بالرمز (´)، ثم تقسم الدقيقة الستينية الواحدة إلى 60 جزءاً يسمى الواحد منهم الثانية الستينية ويرمز لها بالرمز (").



النظام الستيني لقياس الزوايا

أي أن:

1 درجة ستينية ° = 60 دقيقة ستينية ´.

1 دقيقة ستينية ´ = 60 ثانية ستينية ".

1 درجة ستينية ° = 60×60 = 3600 ثانية ستينية ".

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: "45 ´52 °127 أي :127 درجة و52 دقيقة و45 ثانية.

مثال: الزاوية "45 ´52 °127

127° 52´ 45"=127° 52´+(45/60)

= 127° 52.75´

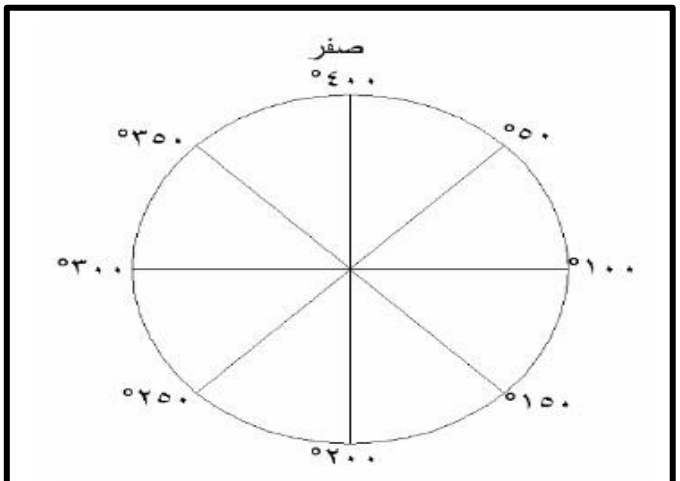
=127°+(52.75/60)

=127.879167°

=127°+(52/60)+(45/60)

2-2 النظام المئوي لقياس الزوايا:

في النظام المئوي (يسمى أيضا غراد) وتقسم الدائرة إلى 400 قسماً يسمى الجزء الواحد منها الدرجة المئوية أو الغراد ويرمز لها بالرمز (^{g})، ثم تقسم الدرجة المئوية الواحدة إلى 100 جزءاً يسمى الواحد منهم الدقيقة المئوية ويرمز لها بالرمز (^{c})، ثم تقسم الدقيقة المئوية الواحدة إلى 100 جزءاً يسمى الواحد منهم الثانية المئوية ويرمز له بالرمز (^{cc}).



النظام المئوي لقياس الزوايا

أي أن:

1 درجة مئوية^{g} = 100 دقيقة مئوية ^{c}.

1 دقيقة مئوية ^{c} = 100 ثانية مئوية ^{cc}.

1 درجة مئوية ^{g} = 100×100=10000 ثانية مئوية ^{cc}.

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: 85^{cc} 62^{c} 372^{g} أي : 372 درجة و62 دقيقة و85 ثانية

مثال :

الزاوية $372^{g}\ 62^{c}\ 85^{cc}$

$372^{g}\ 62^{c}\ 85^{cc}=372g\ 62^{c}+(85^{cc}/100)$

$=372.6285^{g}$

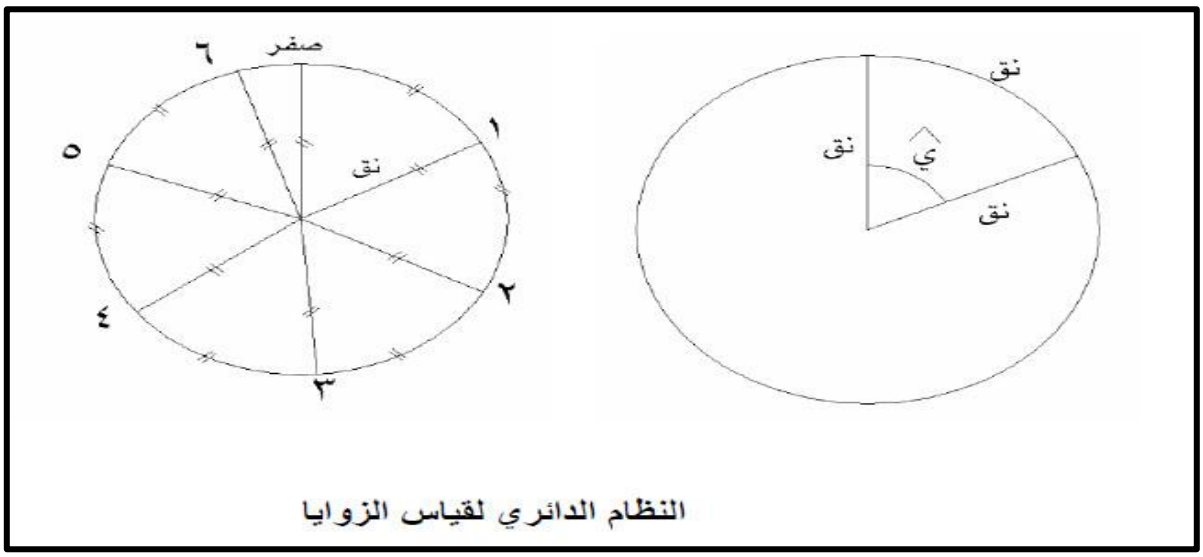
$=372^{g}+(62.85/100)^{c}$

$=372^{g}+(62^{c}/100)+(85^{cc}/100)$

2-3 النظام الدائري لقياس الزوايا:

يعادل التقدير الدائري لأي زاوية النسبة بين طول القوس الذي يقابل هذه الزاوية (المقطوع من دائرة مركزها رأس هذه الزاوية) ونصف قطر هذه الدائرة.

تقاس الزاوية الدائرية بوحدات تسمى "الراديان" ويرمز له بالرمز ^{r}– حيث يكون محيط الدائرة الكاملة = 2ط = 2×22÷7=6.283185307 راديان.



النظام الدائري لقياس الزوايا

أي أن :

1 راديان =°57.2957795

=" 57° 17′ 44.8

=" 206265

$=^{g}63.6619972$

3-التحويل بين نظم قياس الزوايا:

(أ) للتحويل بين النظام الستيني والنظام المئوي:

بما أن الدائرة تعادل 360 درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل 400 درجة مئوية، أي أن:

360 درجة ستينية= 400 درجة مئوية

إذن:

1 درجة ستينية =1.111111 درجة مئوية.

1 درجة مئوية =0.9 درجة ستينية.

(ب) للتحويل بين النظام الستيني والنظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل 360 درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل 2 ط راديان ، أي أن :

360 درجة ستينية = 2 ط راديان

أذن:

1 درجة ستينية = ط ÷180 راديان.

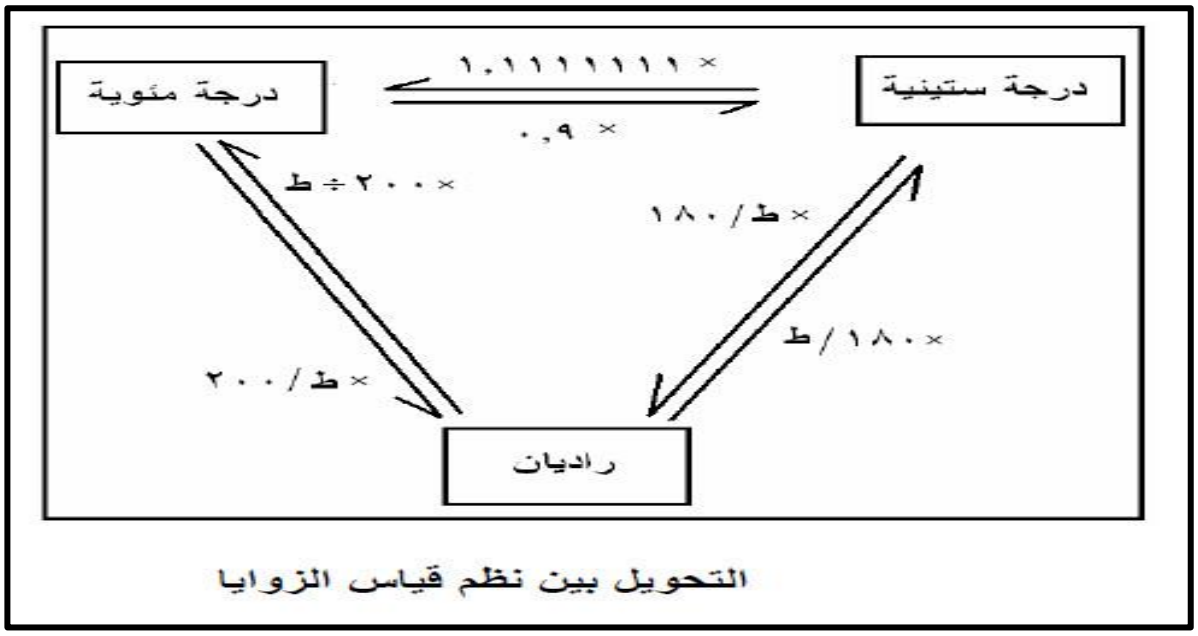
1 درجة دائرية = 180÷ ط درجة ستينية.

(ت) للتحويل بين النظام المئوي والنظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل 400 درجة مئوية وفي نقس الوقت تعادل 2 ط راديان، أي أن:

400 درجة مئوية = ط ÷200 راديان.

1 درجة دائرية =200 ÷ ط درجة مئوية.



التحويل بين نظم قياس الزوايا

4-أنواع اتجاه الشمال:

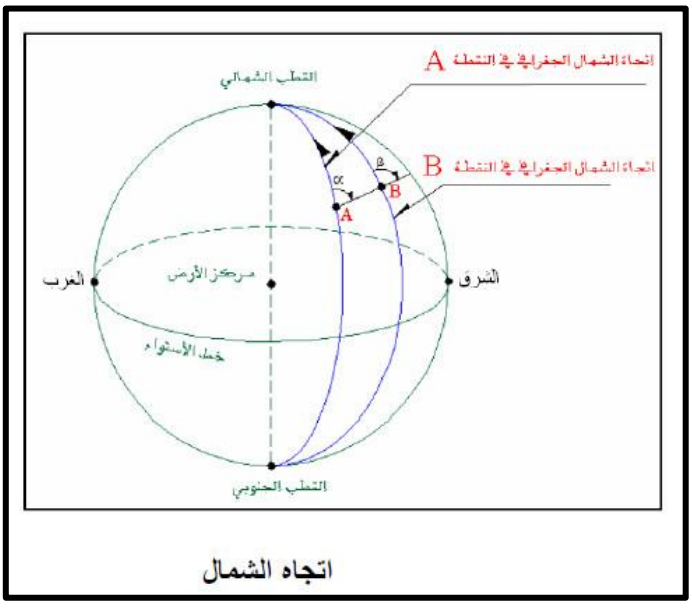
اتفق العاملون منذ مئات السنين على اعتبار اتجاه الشمال هو الاتجاه المرجعي Reference Direction عند قياس الاتجاهات على الطبيعة وأيضاً على الخريطة، لكن يوجد نوعين من اتجاه الشمال:

1) الشمال المغناطيسي Magnetic Meridian:

هو الاتجاه الذي تحدده إبره مغناطيسية حرة الحركة كاملة الاتزان وليست تحت أي تأثير مغناطيسي محلي. فإذا تركت هذه الإبرة حرة الحركة فإنها ستتجه نحو الشمال الذي يطلق عليه اسم الشمال المغناطيسي. وهذه هي الفكرة التي بنيت عليها أجهزة البوصلة المغناطيسية التي يمكن استخدامها في الطبيعة لتحديد اتجاه الشمال. لكن أهم مشاكل الشمال المغناطيسي انه غير ثابت (غير متوازي عند مجموعة من النقاط) بل انه يتغير عند نفس النقطة من عام لآخر.

2) الشمال الجغرافي Geographic or True Meridian:

هو الاتجاه أو الخط الواصل بين أي نقطة وكلا القطبين الشمالي والجنوبي للأرض. الشمال الحقيقي هو اتجاه ثابت غير متغير ويتم تحديده من خلال الأرصاد والدراسات الفلكية، وحيث انه ثابت وغير متغير فهو المستخدم في إنشاء الخرائط.



اتجاه الشمال

3) زاوية الاختلاف Declination Angle:

يطلق اسم زاوية الاختلاف على الزاوية المحصورة بين اتجاهي الشمال المغناطيسي والجغرافي عند نقطة معينة في زمن معين. فإذا كان الشمال المغناطيسي شرق الشمال الجغرافي فتكون إشارة زاوية الاختلاف موجبة، وإذا كان الشمال المغناطيسي غرب الشمال الجغرافي فتكون إشارة زاوية الاختلاف سالبة:

الانحراف الجغرافي= الانحراف المغناطيسي± زاوية الاختلاف

حيث:

+ إن كانت زاوية الاختلاف شرقاً.
- إن كانت زاوية الاختلاف غرباً.

وغالباً توضع زاوية الاختلاف على الخريطة لتحديد قيمتها واتجاها عند إنشاء الخريطة.

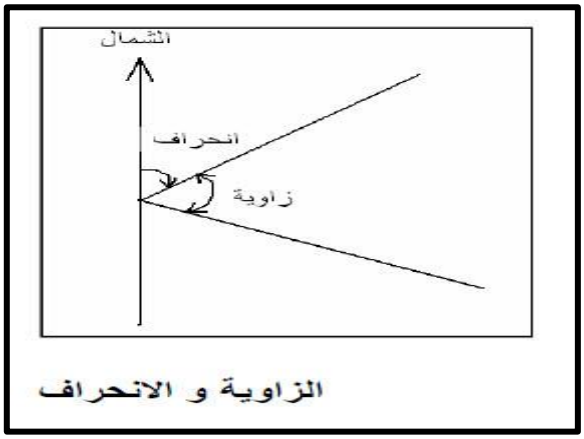
4) الشمال الاختياري أو المفروض Arbitrary or Assumed Meridian:

في حالة عدم معرفة الراصد لأي من اتجاهي الشمال المغناطيسي أو الجغرافي فانه يقوم بافتراض اتجاه شمال لكي يبدأ منه أعمال القياس المساحي (غالباً يكون احد اتجاه العمل المساحي) كاتجاه مرجعي مفروض لهذا العمل. ولاحقاً قد يتمكن الراصد من معرفة العلاقة بين هذا الشمال الاختياري والشمال الحقيقي ومن ثم يقوم بتصحيح قياساته لينسبها إلى اتجاه الشمال الحقيقي.

5-أنواع الانحرافات:

يطلق مصطلح "**الزاوية**" على الزاوية المقاسة بين خطين، بينما يطلق مصطلح "الانحراف Bearing or Azimuth" على الزاوية المقاسة بدءاً من الشمال إلى الخط المطلوب.

فان كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال المغناطيسي فنحصل على الانحراف المغناطيسي، بينما إن كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو اتجاه الشمال الجغرافي فنحصل على الانحراف الجغرافي أو الحقيقي.

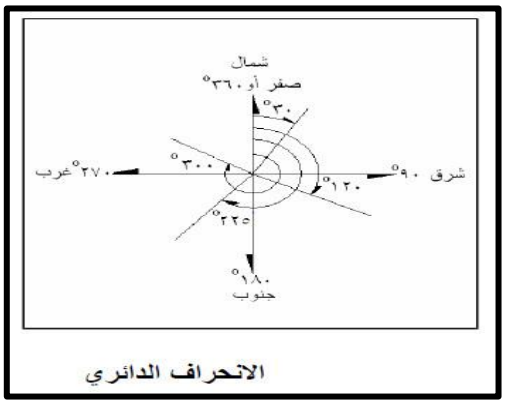


الزاوية و الانحراف

يوجد نوعين من أنواع الانحرافات المستخدمة في المساحة: الانحراف الدائري والانحراف المختصر.

1-الانحراف الدائري Azimuth:

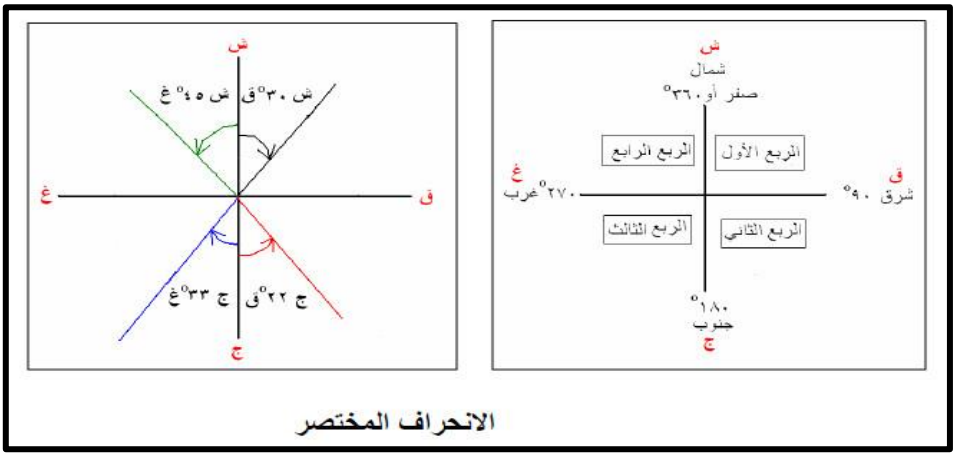
هو الزاوية المقاسة بدءاً من الشمال وباتجاه عقارب الساعة، وتتراوح قيمته بين الصفر و360 درجة ستينية.



الانحراف الدائري

2- الانحراف المختصر Bearing:

هو الزاوية المقاسة بدءاً من اتجاه الشمال أو اتجاه الجنوب وباتجاه عقارب الساعة أو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وتتراوح قيمته بين الصفر و90 درجة ستينية فقط. ولذلك فلا بد من ذكر ربع الدائرة الواقع به الانحراف المختصر.

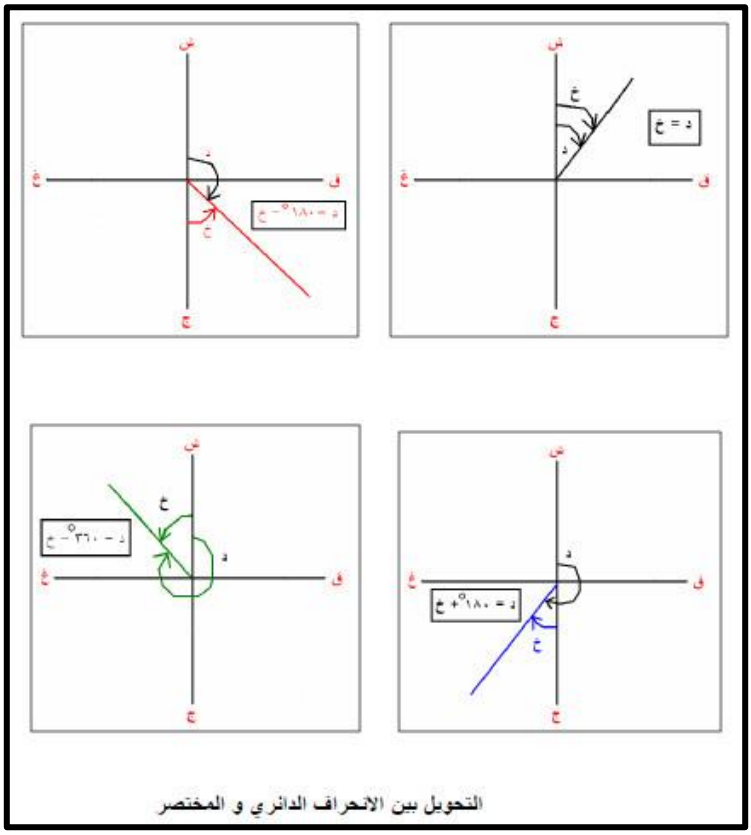


الانحراف المختصر

التحويل بين الانحراف الدائري والانحراف المختصر:

طبقاً للربع الواقع به الانحراف المختصر فيمكن استنباط المعادلات الأربعة التالية للتحويل بين الانحراف الدائري (د) والانحراف المختصر (خ) كما في الشكل التالي:

الربع	المعادلة
الأول	د = خ
الثاني	د = 180° − خ
الثالث	د = 180° + خ
الرابع	د = 360° − خ



التحويل بين الانحراف الدائري و المختصر

الانحراف الأمامي والانحراف الخلفي لخط:

يتكون أي خط من نقطتي البداية والنهاية، ولذلك فيكون له انحرافين: الانحراف الأمامي وهو الانحراف المقاس عند بداية الخط ، والانحراف الخلفي وهو الانحراف المقاس عند نهاية الخط.

والعلاقة بينهما هي :

الانحراف الخلفي= الانحراف الأمامي ± 180°

<u>حيث:</u>

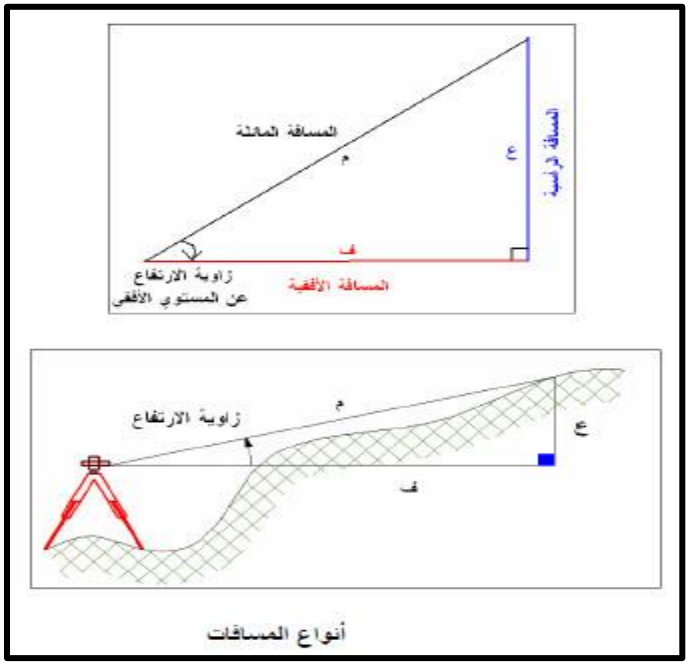
+ عندما يكون الانحراف المعلوم منهما اقل من 180°
- عندما يكون الانحراف المعلوم منهما اكبر من 180°

6-أنواع المسافات:

تنقسم المسافات إلى ثلاثة: أنواع الأفقية والمائلة والرأسية.

عند قياس المسافة بين نقطتين يقعان على مستوي أفقي واحد (لا يوجد فرق ارتفاع بينهما) فهذه المسافة تسمى المسافة الأفقية. بينما إذا كانت إحدى النقطتين مرتفعة عن الأخرى فالمسافة المقاسة بينهما يطبق عليها اسم المسافة المائلة. أما الفرق في المستوي بين هاتين النقطتين (فرق الارتفاع بينهما) فيسمى المسافة الرأسية.

يجمع مثلث قائم الزاوية بين المسافات الثلاث مما يمكننا من حساب مسافة من مسافة أخرى بعدة طرق:



أنواع المسافات

وبذلك يمكن حساب المسافة الأفقية (التي يتم توقيعها على الخرائط) بمعلومية قيمة المسافة المائلة (المقاسة في الطبيعة) وقيمة زاوية الارتفاع بين النقطتين.

7-مقياس الرسم

لا يمكن بأي حال من الأحوال رسم الأرض أو جزء منها بنفس الأبعاد الحقيقية على الخريطة، لذلك نحن بحاجة إلى نسبة تصغير محددة لرسم الخريطة وهذه النسبة هي ما يطلق عليها اسم مقياس الرسم. وهذه النسبة يجب أن تكون ثابتة في كافة أجزاء الخريطة.

يعرف مقياس الرسم على انه: "**النسبة العددية الثابتة بين طول أي بعد على الخريطة والطول الحقيقي المناظر له على الطبيعة**".

8-أنواع مقياس الرسم :

يكتب مقياس الرسم على الخريطة أو يرسم عليها، ولذلك فان مقاييس الرسم تصنف إلى نوعين رئيسيين وهما المقاييس الكتابية والمقاييس الخطية.

1) مقياس الرسم العددي:

يكتب مقياس الرسم العددي على الخريطة في إحدى ثلاثة صور: المقياس المباشر والمقياس النسبي والمقياس الكسري.

2) مقياس الرسم المباشر:

يُكتب هذا المقياس مباشرةً في جملة بسيطة ليدل على مقياس رسم الخريطة مثل:

السنتيمتر يمثل كيلومتر.

1 سنتيمتر= 500 متر.

1 سنتيمتر= 1000 متر.

ومع أن المقياس المباشر أسهل مقاييس الرسم الكتابية إلا انه لم يعد مستخدماً في الخرائط الآن.

3) مقياس الرسم النسبي:

يعد هذا المقياس هو الأكثر شيوعاً بين مقاييس الرسم الكتابية المستخدمة في كافة أنواع الخرائط، ويكتب في صورة نسبة الجزء الأول منها يساوي الواحدة المستخدمة في القياس على الخرائط بينما الجزء الثاني من النسبة يعبر عن الوحدة المناظرة على الطبيعة. فمثلاً عندما نكتب مقياس رسم الخريطة 1:1000.

فهذا يدل على أن:

كل وحدة قياس على الخريطة= 1000 وحدة (من نفس النوع) على الطبيعة، أي أن:

كل 1 سنتيمتر على الخريطة= 1000 سنتيمتر على الطبيعة.

كل 1 ملليمتر على الخريطة= 1000 ملليمتر على الطبيعة.

4) مقياس الرسم الكسري:

يختلف هذا المقياس عن المقياس النسبي في انه يكتب في صورة كسر حيث البسط يعبر عن الوحدة على الخريطة والمقام يعبر عن الوحدة المناظرة على الطبيعة، فالمقياس :$\frac{1}{1000}$

يساوي المقياس النسبي 1:1000.

أي أن:

كل وحدة قياس على الخريطة= 1000 وحدة (من نفس النوع) على الطبيعة، أي أن:

كل 1 سنتيمتر على الخريطة= 1000 سنتيمتر على الطبيعة.

والجدول التالي يمثل عدة أنواع من مقاييس الرسم المستخدمة في الخرائط:

المقياس المباشر	المقياس النسبي	نوع الخريطة
سنتيمتر= 10 كيلومتر	1:1000.000	خريطة مليونية (صغيرة المقياس)
سنتيمتر= 1 كيلومتر	1:100.000	خريطة متوسطة المقياس
سنتيمتر= 500 متر	1:50.000	
سنتيمتر= 250 متر	1:25.000	
سنتيمتر= 100 متر	1:10.000	خريطة كبيرة المقياس
سنتيمتر= 50 متر	1:5000	
سنتيمتر=25 متر	1:2500	
سنتيمتر= 10 متر	1:1000	مخططات (كبيرة المقياس جداً)
سنتيمتر= متر	1:100	

5) مقياس الرسم الخطي:

في هذا النوع من مقاييس الرسم يتم "رسم" المقياس على الخريطة في صورة خط مجزأ إلى عدد من الأقسام، بحيث تكون وحدات المقياس مرسومة بوحدات الخريطة (مثل السنتيمتر) ويكتب على كل جزء منها ما يمثله من أطوال حقيقية على الطبيعة. وتتميز مقاييس الرسم تلك من أنها ستصغر أو تكبر بنفس النسبة عندما يتم تصغير أو تكبير الخريطة ذاتها. وتتعدد مقاييس الرسم الخطية لتشمل المقياس البسيط والدقيق والشبكي والمقارن والزمني.

- **المقياس الخطي البسيط:**

وهو عبارة عن خط (أو مستطيل عرضه بسيط جداً) ويقسم إلى عدة أقسام متساوية ويكتب أعلى كل قسم ما يمثله على الطبيعة.

ومن الممكن رسم مقياس الرسم في صورة مستطيل عرضه قليل جداً (ملليمتر مثلاً) بدلاً من الخط المستقيم ليكون أكثر وضوحاً على الخريطة، مع تلوين أجزاؤه باللونين الأبيض والأسود بالتتابع ليكون أكثر جمالاً:

- **المقياس الخطي الدقيق:**

المقياس الخطي الدقيق هو مقياس خطي بسيط مضاف إليه وحدة واحدة على يسار الصفر مقسمة إلى عدد من الأقسام الفرعية الصغيرة. ويكون عدد هذه الأقسام الفرعية مناسبا للحصول على الدقة الجديدة المطلوبة للمقياس. أي أن المقياس الخطي الدقيق يتكون من مقياس خطي بسيط بالإضافة لجزء أدق على يسار صفر المقياس.

- **المقياس الخطي الشبكي:**

يعد هذا النوع من مقاييس الرسم الخطية أكثر الأنواع دقة، ويأخذ شكل شبكة من الخطوط. ويستعمل المقياس الخطي الشبكي عندما نحتاج دقة مقياس عالية لمقياس الرسم ولا يمكننا رسمها على المقياس الدقيق حيث أنها ستحتاج لعدد كبير من الأجزاء الفرعية مما لا يجعل شكل المقياس متناسقاً.

6) مقاييس خطية أخرى:

توجد أنواع أخرى من مقاييس الرسم الخطية وإن كانت لم تعد مستخدمة بكثرة الآن، ومنها على سبيل المثال مقياس الرسم المقارن ومقياس الرسم الزمني.

يتكون مقياس الرسم المقارن من مقياسين متلاصقين من مقاييس الرسم وان كانا يختلف في وحدات القياس على الطبيعة، فيمكن عمل مقياس رسم خطي يقرا المسافات على الطبيعة بالكيلومترات بينما المقياس الخطي الثاني يقرا المسافات على الطبيعة بالأميال.

تقوم فكرة مقياس الرسم الزمني على مقارنة وحدات قياس المسافات على الطبيعة مع الوحدات الزمنية، وكان يستخدم هذا النوع من مقاييس الرسم في الماضي في الخرائط العسكرية وخرائط الكشافة والرحلات. يتكون المقياس الزمني من مقياسي رسم احدهما لقراءة المسافات على الطبيعة والأخر مخصص للزمن الذي يتطلبه قطع هذه المسافة ويكون مدرجا بالدقائق أو الساعات.