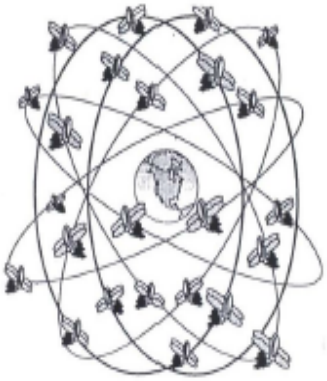
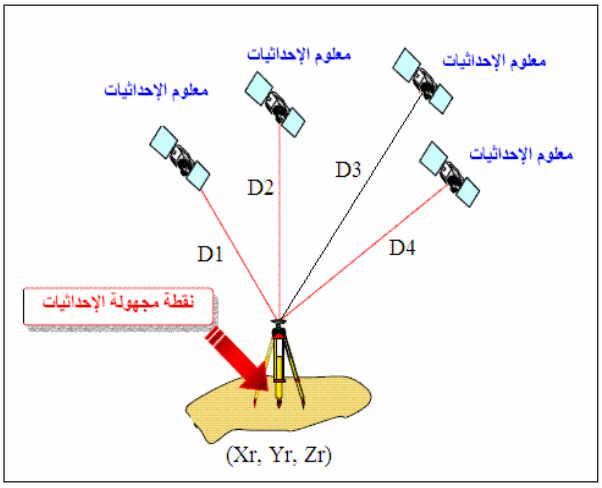
محاضرات مجمعة فى مادة

المساحة الجيوديسية





قسـم الجغرافيـا

شعبة المساحة والخرائط

الفرقـة الثالثـة

2022 / 2023

اعداد

د/ محمـد حبيـب

فهرس الكتاب

م	الباب وعنوانه		الصفحة
1	**الباب الاول**	مقدمة فى علم الجيوديسيا والاحداثيات	2
2	**الباب الثانى**	شبكة المثلثات والميزانية الجيوديسية	26
3	**الباب الثالث**	الاشتراطات والمتانة	46
4	**الباب الرابع**	جيوديسيا الأقمار الصناعية	74
5	**الباب الخامس**	النظام العالمى لتحديد المواقع	78
6	**الباب السادس**	العمل المساحى لجى بى اس	93
7	**الباب الثامن**	نظرية الأخطاء	108
8	المراجع		144

الباب الأول

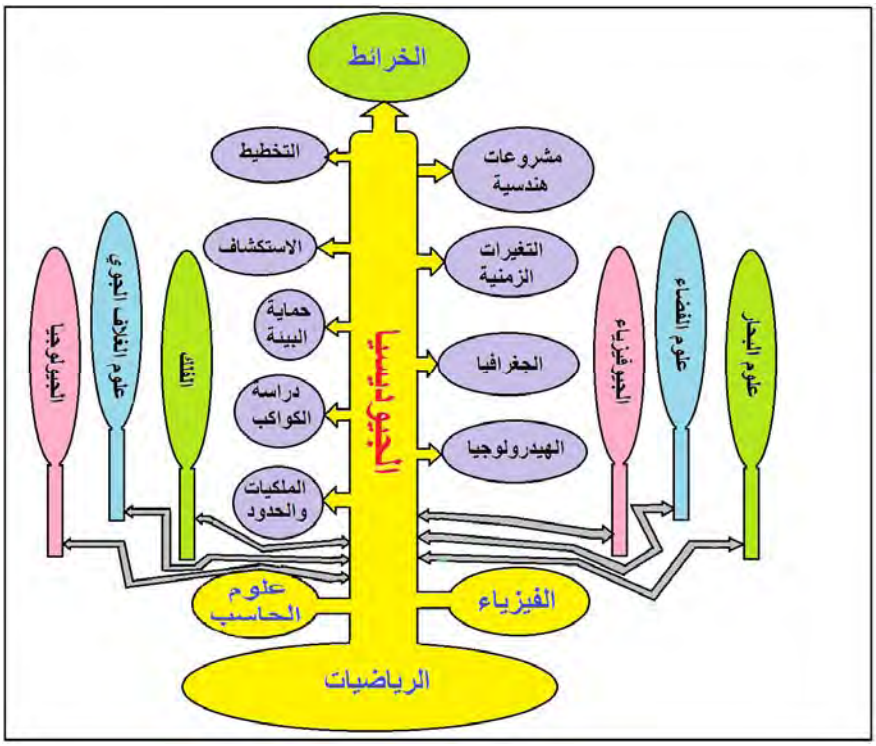
مقدمة في علم الجيوديسيا والأحداثيات

علم الجيوديسيا

كلمة الجيوديسيا Geodesy هي كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: جيو Geo بمعني الأرض و ديسيا Desy بمعني القياس ورسم الخرائط، وبالتالي فأن الترجمة الحرفية لمصطلح "جيوديسيا" أنه علم القياس ورسم الخرائط لسطح الأرض.

مازال هذا التعريف البسيط ساريا حتى الآن مع أن الجيوديسيا أصبحت تتعلق بعدة أنواع من القياسات، فحيث أن سطح الأرض يتكون من الماء و اليابسة فأن الجيوديسيا تهتم بالقياس علي سطح الأرض اليابسة وأيضا بالقياس في أعماق البحار و المحيطات. أيضا الأرض في حد ذاتها كوكب متحرك في إطار المجموعة الشمسية، مما ينتج عن حركتها قوي جاذبية بينها و بين الكواكب الأخرى وهذه القوي تؤثر في القياسات علي الأرض مما يستلزم أن يمتد علم الجيوديسيا ليدرس أيضا قوة الجاذبية و تأثيراتها. بل أن الجيوديسيا – في السنوات الأخيرة – أصبحت تهتم أيضا بالقياس علي أسطح الأجرام السماوية الأخرى مثل القمر ليضاف إليها فرع جديد يسمي جيوديسيا الأجرام السماوية. مع انطلاق عصر الأقمار الصناعية في سبعينات القرن العشرين الميلادي واستخدامها في القياسات الجيوديسية فقد نتج عن ذلك فرع آخر من فروع الجيوديسيا وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية.

يصنف علم الجيوديسيا في قائمة علوم الأرض Geo-Sciences كما أنه يصنف أيضا في قائمة العلوم الهندسية لتطبيقاته المتعددة في أعمال الهندسة المدنية و إنشاء المشروعات. ويرتبط علم الجيوديسيا ارتباطا وثيقا بعدد كبير من العلوم الأخرى كما هو موضح في الشكل التالي.



العلاقة بين علم الجيوديسيا والعلوم الأخرى

الجيوديسيا و المساحة

يتساءل الكثيرون عن العلاقة بين علم المساحة و علم الجيوديسيا، فكلاهما في تعريفة البسيط هو علم القياس وإنتاج الخرائط علي سطح الأرض. يري البعض أن المساحة هي جزء أو فرع من فروع علم الجيوديسيا. فعلم الجيوديسيا ينظر إلي كوكب الأرض بكامله أو علي الأقل لأجزاء كبيرة منه (قارة أو دولة) ويضع القوانين الرياضية و المعادلات التي تعتمد علي القياس علي الشكل الكامل أو الحقيقي لهذه الأرض. بينما علم المساحة يتعامل – غالبا – مع أجزاء صغيرة من الأرض بحيث من الممكن منطقيا أن نري هذا الجزء البسيط كأنه مستوي وليس كوكبا مجسما وبالتالي يتم تبسيط المعادلات الرياضية و طرق الحساب. ومن هنا يمكننا القول أن المساحة هي تبسيط لطرق القياس في جزء صغير من الأرض بدلا من الطرق و النظريات الجيوديسية التي تتعامل مع مجسم الأرض كله. بينما يري البعض الآخر أن علم المساحة (القياس في مساحة صغيرة من الأرض) قد عرفته البشرية أولا ثم تلاه ظهور علم الجيوديسيا لاحقا (القياس في مساحة كبيرة من الأرض) حيث يمكن القول أن المساحة الجيوديسية هي أحد أفرع علم المساحة. وكلا الرأيين جدير بالاحترام طالما كانت الفروق النظرية و الرياضية واضحة عند تطبيق كلا من المساحة و الجيوديسيا.

قديما كانت الفروق واضحة بين أجهزة الرصد المساحية و أجهزة الرصد الجيوديسية. فعلي سبي المثال كانت هناك أجهزة الثيودليت (أجهزة قياس الزوايا) المخصصة للعمل المساحي لعدة كيلومترات وأجهزة ثيودليت أخري مخصصة للعمل الجيوديسي الذي يصل مداه لعدة عشرات من الكيلومترات. حديثا زاد انتشار تطبيقات التقنيات التي تعتمد علي الأقمار الصناعية في القياس علي سطح الأرض وخاصة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم الجي بي أس. هذه التقنيات (أو الأجهزة) تستطيع القياس علي سطح الأرض لمسافات صغيرة جدا (عدة أمتار) أو لمسافات كبيرة جدا (عدة آلاف من الكيلومترات)، أي أنها تصلح للعمل المساحي و للعمل الجيوديسي أيضا. من هنا أصبح هناك كثير من المستخدمين يتعاملون مع هذه التقنيات باعتبارها تقنيات مساحية مع أنهم في أحيان كثيرة يقومون بقياسات جيوديسية دون أن يدروا ذلك! الفرق بين القياسات المساحية و القياسات الجيوديسية يكون في مساحة منطقة الدراسة، فان كان المنطقة صغيرة (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) فيكون الافتراض الأساسي للمساحة مازال منطقيا ومن الممكن أن نعتبر أننا نقيس علي سطح مستوي. أما إن كانت منطقة الدراسة أو المشروع أكبر من هذه القيمة فنحن ننتقل من علم المساحة و نظرياته و معادلاته إلي علم الجيوديسيا و نظرياته و معادلاته. إن لم يكن المستخدم مدركا لهذه الحقيقية فسيقع في مشاكل تقنية تؤثر بشدة علي النتائج النهائية للمشروع (القياسات و الخرائط). من هنا أصبح لزاما علي كل مساح أو مهندس مساحة (خاصة من يتعامل مع أجهزة الرصد بالأقمار الصناعية مثل تقنية الجي بي أس) أن يعرف و يدرس أساسيات ونظريات علم الجيوديسيا حتى يستطيع أن يصل للدقة المطلوبة لمشروعه.

أيضا فأن دراسة أنواع الارتفاعات يعد من أهم مبادئ الجيوديسيا التي يجب علي مهندس أو أخصائي المساحة أن يلم بها. فعلي سبيل المثال فأن تقنية الجي بي أس تعطي نوع من الارتفاعات يسمي الارتفاعات الجيوديسية أي قياس ارتفاع النقطة المرصودة عن السطح الرياضي الذي يمثل كوكب الأرض. بينما في المساحة التقليدية والمشروعات المدنية والخرائط الطبوغرافية فأننا نتعامل مع المنسوب وهو ارتفاع النقطة المرصودة عن مستوي سطح البحر. أي أن هناك نوعين مختلفين من الارتفاعات، وبالتالي يجب أن يعرف مهندس المساحة هذه الحقيقية ويعرف أسس و طرق التحويل بينهما. فان لم يعرف ذلك فأنه سيعتمد الارتفاع الناتج من تقنية الجي بي أس كأنه هو المنسوب مما ينتج عنه أخطاء قد تصل إلي عدة أمتار.

تعريف المساحة الجيوديسية

هى العلم الذى يبحث فى دراسة شكل الأرض الحقيقى بواسطة القياسات المباشرة والموضوعات التى تتصل بالعلوم المعنية بدراســة الفلك وحركة الأجرام السماوية وحركة دوران الأرض حول نفســها وحول الشمس والقشرة الأرضية

تطبيقات علم الجيوديسيا

- إنشاء الخرائط: أول الأعمال المطلوبة لإنشاء الخرائط هو إقامة شبكة مثلثات جيوديسية مكونة من عدد من المحطات الجيوديسية وتحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية٠
- المساحة الجوية والاستشعار عن بعد: تستخدم الطرق الجيوديسية في تحديد إحداثيات نقط التحكم الأساسية التي تلعب الدور الأساسي في الحصول على خرائط وبيانات مساحية من تقنيات التصوير الجوى والأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الموارد الطبيعية٠
- المشروعات الهندسية: عند إقامة أية مشروعات هندسية (مثل الطرق ، الكباري ، السدود ، الترع ، المصانع ٠٠٠ الخ) فانه من الضروري تحديد مواقعها بدقة عن طريق تحديد إحداثيات العناصر المختلفة للمشروع٠ وتستخدم هذه الإحداثيات في التخطيط للمشروع وكذلك في متابعة التنفيذ طوال مراحل المشروع٠
- نظم المعلومات الجغرافية: الإحداثيات الجيوديسية هي العامل المشترك الأساسي الذي يمكن من خلاله الربط بين المصادر المختلفة للمعلومات لإنشاء نظم المعلومات الجغرافية٠
- الملاحة الجوية والبحرية: تعتمد الطائرات والسفن على الإحداثيات الجيوديسية للوصول إلى الهدف طبقا لخط السير المحدد٠
- التخطيط العمراني : تساعد الجيوديسيا في تعيين الإحداثيات اللازمة لأعمال التخطيط العمراني والبحث عن المصادر والثروات الطبيعية ٠
- تعيين الحدود: تلعب الجيوديسيا الدور الأساسي في تحديد وتوثيق إحداثيات العلامات الحدودية بين الدول أو الحدود الإدارية بين المحافظات داخل الدولة٠
- دراسة تحركات القشرة الأرضية: تستخدم الأرصاد الجيوديسية المتكررة في الحصول على قيم دقيقة لتحركات القشرة الأرضية في المناطق الغير مستقرة ديناميكيا (مناطق الفوالق تحت سطح الأرض المسببة للزلازل) وخاصة حول المنشئات الهندسية الضخمة كالسدود والخزانات٠
- علوم البيئة : تلعب الجيوديسيا دورا مؤثرا في دراسة المتغيرات البيئية عن طريق تحديد إحداثيات المناطق ذات التغير المستمر في التركيب البيئى٠
- علوم الفضاء: تحديد إحداثيات محطات إطلاق المركبات الفضائية وكذلك إحداثيات الأقمار الصناعية في الفضاء طبقا لمدارها المحدد٠
- دراسة البحار: تستخدم الأرصاد الجيوديسية في تحديد معدلات ارتفاع سطح البحار لتجنب غرق المناطق الساحلية ٠
- الجيولوجيا: يعتمد علم الجيولوجيا على الإحداثيات الجيوديسية لإعداد الخرائط الجيولوجية٠

وكذلك من اهمية علم الجيوديسيا

1 – اختيار نقاط المثلثات وتحديدها بدقة على خرائط لتكون أساساً لباقي أنواع الأعمال المساحية.

2 – الرصد الفلكي لتحديد خطوط الطول والعرض للنقاط على سطح الأرض.

3 – عمل الميزانيات الدقيقة والجيوديسية لإنشاء الروبيرات المساحية.

4 – رسم الخرائط بأقل تشويه ممكن.

5 – دراسة المد والجزر وتضاريس قاع البحر لتعيين مستوى المقارنة المستخدم في أعمال الميزانية وعمل الخرائط الملاحية.

أقسام الجيوديسيا

توجد عدة تقسيمات أو تصنيفات لأفرع علم الجيوديسيا بناءا علي وجهة النظر في التقسيم ذاته.

فإذا قسمنا الجيوديسيا بناءا علي منطقة العمل أو حدود منطقة القياسات الجيوديسية فنجد ثلاثة أقسام:

(أ) الجيوديسيا العالمية Global Geodesy

الفرع المسئول عن تحديد شكل و حجم ومجال جاذبية الأرض.

(ب) المساحة الجيوديسية الوطنية National Geodetic Surveys

الفرع المسئول عن تحديد شكل ومجال جاذبية دولة معينة، وذلك عن طريق إنشاء شبكات من العلامات (الثوابت) الأرضية المعلومة الإحداثيات و قيمة الجاذبية الأرضية لها. وفي هذا القسم من أقسام علم الجيوديسيا يجب أخذ كروية الأرض في الاعتبار و مالها من تأثيرات علي القياسات والأرصاد.

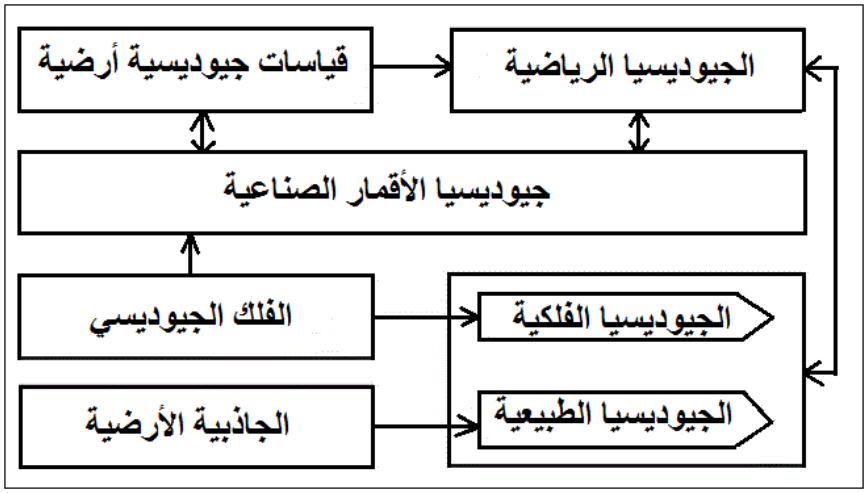
(ج) المساحة المستوية Plan Surveying

الفرع المسئول عن القياسات التفصيلية اللازمة للرفع التفصيلي و الرفع الطبوغرافي و الأعمال الهندسية لمساحة صغيرة من الأرض.

العلاقة قوية بين هذه الفروع الثلاثة لعلم الجيوديسيا فالجيوديسيا العالمية تحدد عناصر شكل و مجال جاذبية الأرض ككل، ومن ثم تبدأ الجيوديسيا الوطنية في اعتماد هذه القيم في عمل

شبكات جيوديسية (ثوابت) لكل دولة ثم تبدأ المساحة المستوية في الاعتماد علي هذه الثوابت لقياس تفاصيل معالم سطح الأرض لإنتاج الخرائط.

أما من حيث طبيعة العمل (القياسات) الجيوديسية ذاتها فيمكن تقسيم علم الجيوديسيا إلي خمسة أقسام رئيسية وان كان لا توجد حدود فاصلة أو قطعية بين كل قسم و آخر:



أقسام الجيوديسيا الرئيسية

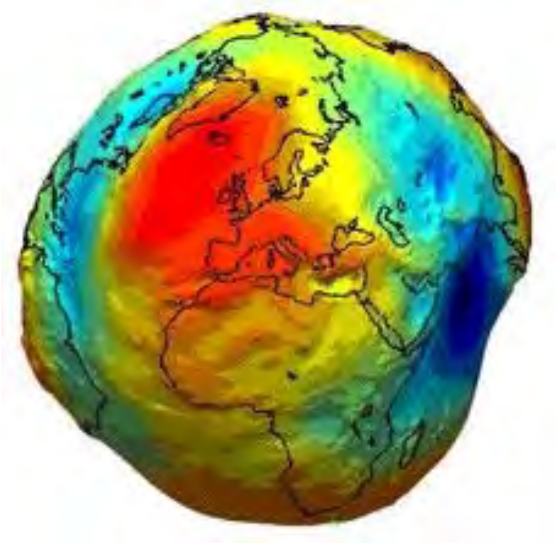
١- الجيوديسيا الأرضية أو الهندسية Terrestrial Geodesy

يتم فيها إجراء القياسات الجيوديسية (الزوايا الأفقية و الرأسية والمسافات و فروق المناسيب) بهدف إنشاء شبكات الثوابت الأرضية وحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (س،ص،ع) لكل نقطة منها لإنشاء الهيكل الجيوديسي للدولة الذي ستعتمد عليه جميع أعمال المساحة و إنشاء الخرائط.

التيودليت البصرى

٢- الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy

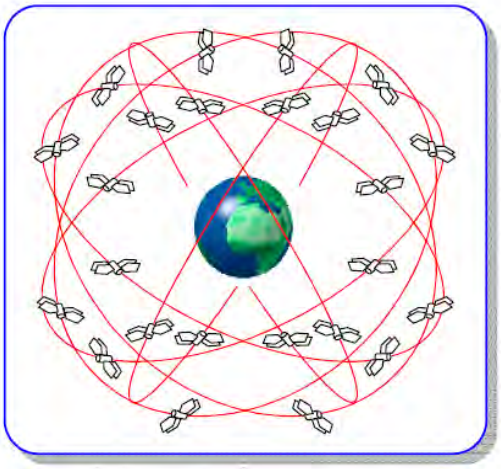
يتم فيها قياس و تحديد مجال الجاذبية الأرضية ومن ثم تحديد تأثيرها علي القياسات الجيوديسية وأيضا تحديد الشكل الحقيقي للأرض (الجيويد) وعلاقته بالشكل الهندسي المستخدم في إنشاء الخرائط (الاليبسويد). تتم هذه العمليات إما باستخدام أرصاد الجاذبية الأرضية أو باستخدام الأرصاد الفلكية أو حديثا باستخدام القياسات علي الأقمار الصناعية.



الشكل الحقيقي للأرض (الجيويد)

٣- جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy

تشمل الأرصاد و القياسات الجيوديسية المعتمدة علي الأقمار الصناعية التي بدأت في الظهور منذ عام ١٩٥٧م. تستخدم تطبيقات جيوديسيا الأقمار الصناعية في الجيوديسيا الهندسية وأيضا الجيوديسيا الطبيعية و الفلكية.



استخدام الأقمار الصناعية في تحديد المواقع

٤- الجيوديسيا الفلكية Astronomical Geodesy

يتم فيها قياس الإحداثيات الفلكية (خط الطول الفلكي و دائرة العرض الفلكية) لنقاط شبكات الثوابت الأرضية بالإضافة للانحراف الفلكي لخطوط شبكات الثوابت الأرضية للدولة من خلال الرصد علي النجوم. يعد هذا النوع من أقسام الجيوديسيا من أقدم الأنواع الجيوديسية وكان مهم جدا في الماضي لتوجيه الشبكات الجيوديسية وتحديد موقعها بدقة علي سطح الأرض، وان كان الاعتماد علي الأرصاد الفلكية قد قل كثيرا في الوقت الراهن بعد انتشار تطبيقات الرصد علي الأقمار الصناعية.

استخدام الرصد الفلكي في تحديد المواقع

٥- الجيوديسيا الرياضية Mathematical Geodesy

فرع الجيوديسيا الذي يهتم بالنظريات الرياضية و المعادلات و طرق الحسابات وتحليل الأرصاد المستخدمة في كافة أفرع الجيوديسيا الأخرى.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & & & G_1 \\ & X_2 & & G_2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & X_K & G_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_K \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_K \end{bmatrix}$$

نموذج لمعادلات الجيوديسيا الرياضية

أما الأرصاد أو القياسات الجيوديسية ذاتها فيمكن أيضا تقسيمها إلي أربعة أنواع طبقا للهدف منها:

أ- الأرصاد الجيوديسية الأفقية أو ثنائية الأبعاد Horizontal 2D

قياسات الزوايا الأفقية والرأسية والمسافات و الانحرافات التي تهدف إلي تحديد الموقع الأفقي خط الطول و دائرة العرض) لنقاط الثوابت الأرضية. قديما ومع استخدام الأجهزة المساحية التقليدية (مثل جهاز الثيودليت) بإمكانياتها البسيطة كانت هذه النقاط تقام علي رؤوس الجبال و المرتفعات ليسهل رصد الزوايا علي مسافات كبيرة ولم يكن من السهل رصد فروق المناسيب بين هذه النقاط المرتفعة، ومن هنا كانت شبكات الثوابت الجيوديسية شبكات أفقية فقط Two-Dimensional or 2D منفصلة عن الشبكات الجيوديسية الرأسية.

ب- الأرصاد الجيوديسية الرأسية أو أحادية البعد Vertical 1D

قياسات فروق المناسيب بين مجموعة من النقاط التي تحدد البعد الثالث (المنسوب) لشبكة جيوديسية تغطي الدولة One-Dimensional or 1D. أي أن الشبكة الجيوديسية الرأسية

(شبكة الروبيرات) كانت منفصلة عن الشبكة الجيوديسية الأفقية.

ج- الأرصاد الجيوديسية ثلاثية الأبعاد 3D

مع دخول عصر جيوديسيا الأقمار الصناعية أصبح من الممكن تحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع) Three-Dimensional or 3Dمجموعة من النقاط التي تكون شبكة جيوديسية ثلاثية الأبعاد تغطي الدولة.

د- الأرصاد الجيوديسية رباعية الأبعاد (الجيوديسيا الديناميكية Dynamic 4D Geodesy)

حيث أن مجال جاذبية الأرض غير ثابت وأيضا بسبب حركة الصفائح الجيولوجية التي يتكون منها كوكب الأرض فأن إحداثيات أي نقطة لن تكون ثابتة مع مرور الزمن. تهتم الجيوديسيا الديناميكية برصد ودراسة التغير في الإحداثيات ثلاثية الأبعاد مع مرور الزمن (الذي يعد البعد الرابع) بحيث يتم تعريف إحداثيات أي نقطة جيوديسية (س،ص،ع) عند لحظة زمنية معينة وليست كإحداثيات مطلقة ثابتة Four-Dimensional or 4D.

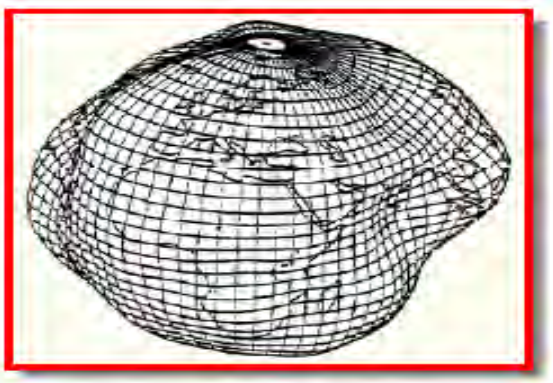
شكل الأرض والمراجع الجيوديسية ونظم الإحداثيات

إن تحديد المواقع علي سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه ، و ما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض أنه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا و خرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "الإحداثيات Coordinates" علي اختلاف أنواعها و نظمها. لذلك يجب علي دارس الجيوديسيا أن يلم بأساسيات هذه الموضوعات الثلاثة ، وهو ما سنقوم بعرضه في هذا الفصل.

شكل الأرض

في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح – شكله و حجمه – لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة.



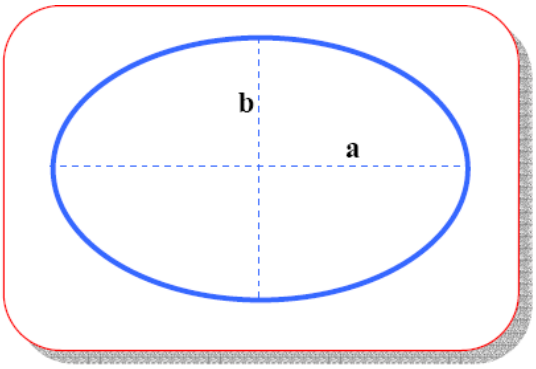
الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.

الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي 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 Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل ١٢-٣ نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

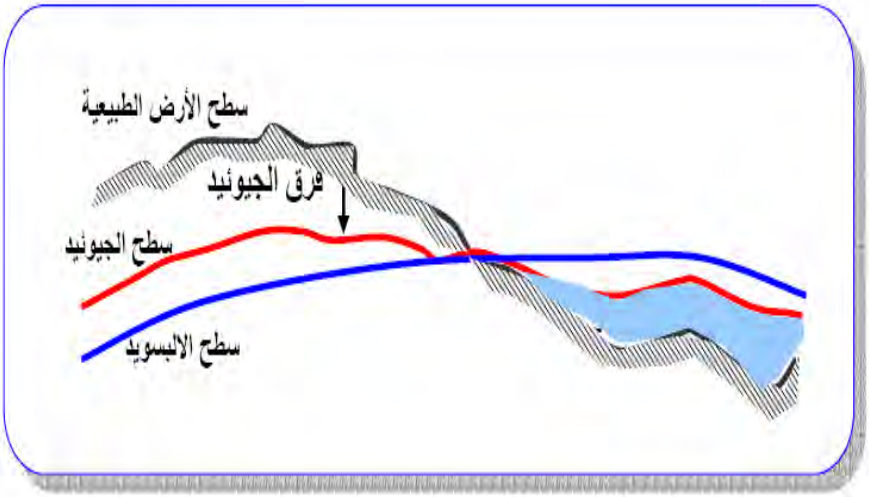
- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b



الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل:

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).
ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

الإحداثيات

تعتبر الإحداثيات بأنواعها المختلفة من أهم الموضوعات التي يجب على دارس علوم المساحة التعرف عليها فالإحداثيات ثلاثية الأبعاد المستخدمة لتحديد موقع نقطة في الطبيعة سواء الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات الجغرافية أصبحت شائعة الاستخدام وخاصة بعد انتشار أساليب تحديد المواقع بالرصد على الأقمار الصناعية. كذلك تعتبر الإحداثيات المستوية (ثنائية الأبعاد) الأساس في تحديد موضع نقطة على الخريطة المساحية. وسنتعرف فيما يلي على أنواع نظم الإحداثيات المستخدمة في الأعمال المساحية وأيضاً سنتعرف على عمليات تحويل الإحداثيات من نظام إلى آخر، بالإضافة إلى تدريبات وتمارين على كيفية التحويل بين نظم الإحداثيات المختلفة.

جملة الإحداثيات

هي مجموعة الأعداد التي يمكن بواسطتها التعرف على موقع النقاط ،وتنقسم الإحداثيات إلى:

- جملة الإحداثيات الفراغية.
- جملة الإحداثيات الجغرافية.
- جملة الإحداثيات المسقطة (المستوية).

الشروط الواجب توافرها في جملة الإحداثيات هي:

1. أن يكون هناك نقطة محددة تسمى بمبدأ الإحداثيات (نقطة الأصل).
2. أن يكون لها محاور محددة تماماً وتعريفها واضح وغير قابل للالتباس مع محاور أخرى.
3. أن يكون هناك نظام واضح يبين العلاقة بين الموقع الأرضي والمحاور الإحداثية (نظام الإسقاط).

جملة الإحداثيات الفراغية

أ – مبدأ الإحداثيات :

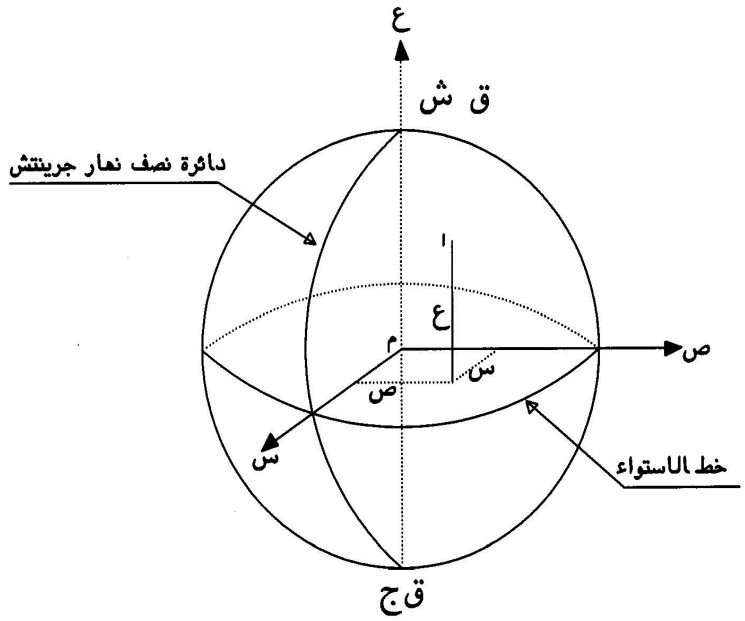
مبدأ الإحداثيات في جملة الإحداثيات الفراغية هو مركز الأرض،وهي نقطة محددة ولكن لا يمكن الوصول إليها.

ب – محاور الإحداثيات :

1 – محور السينات (المحور الأول) وهو تقاطع دائرة نصف نهار جرينتش مع دائرة خط الاستواء.

2 – محور الصادات (المحور الثاني) وهو المحور المتعامد مع كل من محور السينات والعينات ويتجه بالنسبة لمحور السينات نحو الشرق .

3 – محور العينات (المحور الثالث) وهو عبارة عن محور دوران الأرض وهذا المحور يمر بمركز الأرض وهو الذي يعرف لنا القطبين الشمالي والجنوبي



محاور الإحداثيات الفراغية س، ص ، ع وإحداثيات نقطة أ

جملة الإحداثيات الجغرافية

تعتبر من أكثر نظم الإحداثيات شهرة وتطبيقاً لارتباطها مباشرةً بسطح الأرض، ونتعرف عليها من خلال:

أ – مبدأ الإحداثيات :

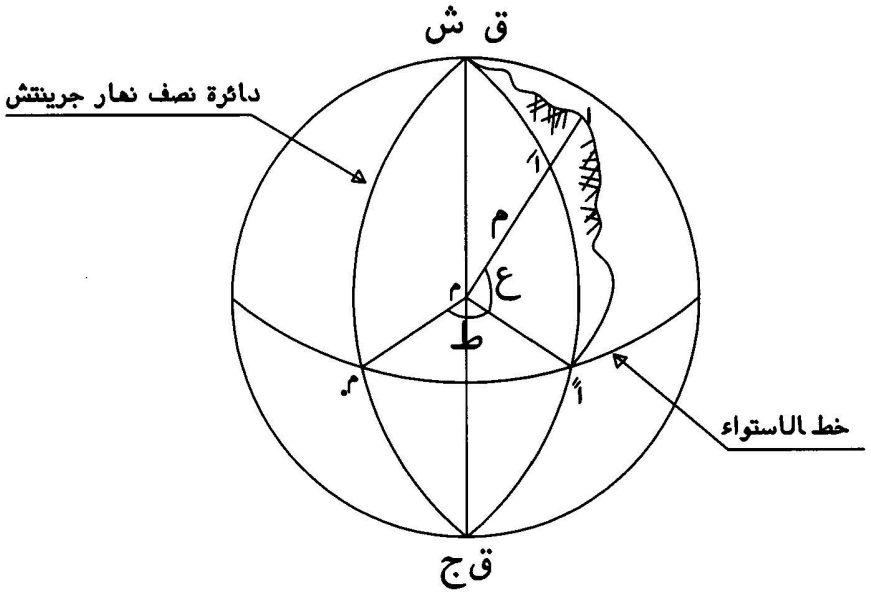
هو نقطة تقاطع خط الاستواء مع دائرة نصف نهار جرينتش وهي نقطة موجودة على سطح الأرض.

ب- المحاور الإحداثية :

1 – منحنى خط الاستواء ونعين عليه الإحداثي الأول ويسمى الطول الجغرافي (ط).

2 – منحنى دائرة نصف نهار النقطة ونعين عليه الإحداثي الثاني ويسمى العرض الجغرافي (ع).

3 – ارتفاع النقطة فوق الكرة (طول العمود المسقط على سطح الكرة) ونرمز له بالرمز م،



الإحداثيات الجغرافية لنقطة أ (ط، ع ، م)

جملة الإحداثيات المستوية

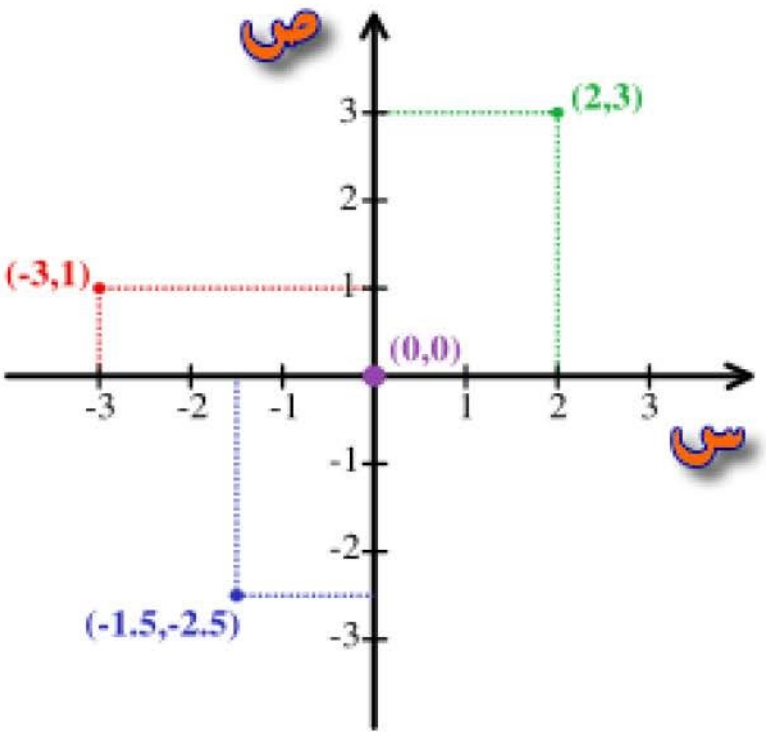
هذا النوع من الإحداثيات هو المستخدم لتعريف موضع أي نقطة على الخريطة بعد تحويل الإحداثيات من ثلاثية الأبعاد إلى ثنائية الأبعاد وهي عملية الإسقاط ولها محوران متعامدان:

1- المحور الصادي موجب في اتجاه الشمال وسالب في اتجاه الجنوب.

2- المحور السيني موجب في اتجاه الشرق وسالب في اتجاه الغرب.

وتكون نقطة م هي نقطة الأصل وهي الركن الجنوبي الغربي للخريطة وتأخذ القيمة (صفر . صفر) وتكون إحداثيات النقطة هي (س . ص).

وعند رسم الخرائط يلزم التعامل مع الإحداثيات ثنائية الأبعاد حيث إن الخريطة ما هي إلا سطح مستو لها بعدان لذلك يتم تحويل الإحداثيات ثلاثية الأبعاد إلى ثنائية الأبعاد باستخدام طرق وأساسيات علم إسقاط الخرائط



محاور الإحداثيات المستوية (س ، ص)

العلاقة بين الإحداثيات الفراغية والجغرافية :

كما سبق وأن عرفنا أن الإحداثيات الجغرافية للنقطة هي (ط ، ع ، م)، وأن الإحداثيات الفراغية للنقطة هي (س ، ص ، ع). فإذا تم قياس خط الطول ط وخط العرض ع والمنسوب م فيمكن الحصول على الإحداثيات الفراغية للنقطة (س ، ص ، ع) من العلاقات التالية :-

$$س = (نق + م) \times جتا ع \times جتا ط$$

$$ص = (نق + م) \times جتا ع \times جا ط$$

$$ع = (نق + م) \times جا ع$$

حيث :

نق = نصف قطر الأرض = 6367650 متر

حساب طول وانحراف خط بمعلومية الإحداثيات المستوية

إذا كانت الإحداثيات المستوية لأي نقطتين أ (س$_{أ}$ ، ص$_{أ}$) ، ب (س$_{ب}$ ، ص$_{ب}$) معلومتين ، فإنه يمكن حساب طول الخط الواصل بينهما وكذلك انحراف هذا الخط باستخدام المعادلتين التاليتين:

$$طول\ الخط\ أ\ ب = \sqrt{\Delta س^2 + \Delta ص^2}$$

$$انحراف\ الخط\ أ\ ب = ظا^{-1} \left(\frac{\Delta ص}{\Delta س} \right)$$

حيث إن:

Δ س = س$_{ب}$ - س$_{أ}$ ،

Δ ص = ص$_{ب}$ - ص$_{أ}$

مثال 1 :

إذا كانت الإحداثيات الجغرافية لنقطة أ :

ط = 12″ 41 ′ 42° ، ع = 22″ 53 ′ 29° ، م = 600 متر.

احسب الإحداثيات الفراغية للنقطة أ، علماً بأن نصف قطر الكرة الأرضية (نق) = 6367650 متر.

الحـل

س = (نق + م) × جتا ع × جتا ط

س = (6367650 + 600) × جتا 22 ″ 53 ′ 29 ° × جتا 12″ 41 ′ 42°

س = 4058481.65 م

ص = (نق + م) × جتا ع × جا ط

ص = (6367650 + 600) × جتا 22 ″ 53 ′ 29 ° × جا 12″ 41 ′ 42°

ص = 3743310.79 م

ع = (نق + م) × جا ع

ع = (6367650 + 600) × جا 22 ″ 53 ′ 29 °

ع = 3173477.44 م

مثال 2

احسب طول وانحراف الخط الواصل بين النقطتين أ ، ب إذا كانت إحداثياتهما المستوية: أ (100 ، 250) متر ، ب (200 ، 400) متر

الحـل

Δ س = س ب − س أ = 200 − 100 = 100 متر

Δ ص = ص ب − ص أ = 400 − 250 = 150 متر

الطول أ ب = $\sqrt{(\Delta \text{ س})^2 + (\Delta \text{ ص})^2}$

= $\sqrt{(100)^2 + (150)^2}$ = 180.28 متر

انحراف الخط أ ب = ظا$^{-1}$ (Δ س / Δ ص)

= ظا$^{-1}$ $(\frac{100}{150})$ = 24.24″ 41′ 33°

مـسقط ميريكـاتور المـستعرض العـالمي Universal Transverse Mercator Projection

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب أنه أحد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

- يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي **٦ درجات** من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.

- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا.

- ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند ١٧٧° غرب.

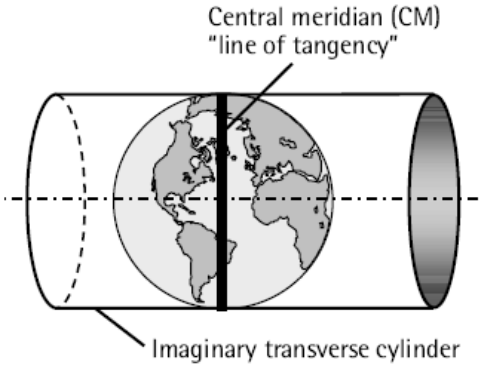
- تقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل **٨ درجات** من دوائر العرض.

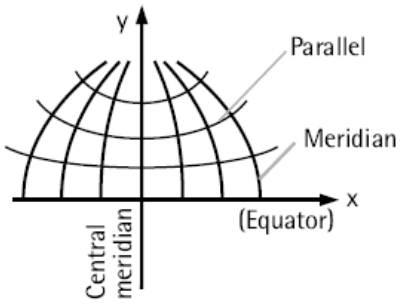
- يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف **C** جنوبا إلي حرف X شمالا مع **استبعاد** حرفي I و O (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانجليزية!).

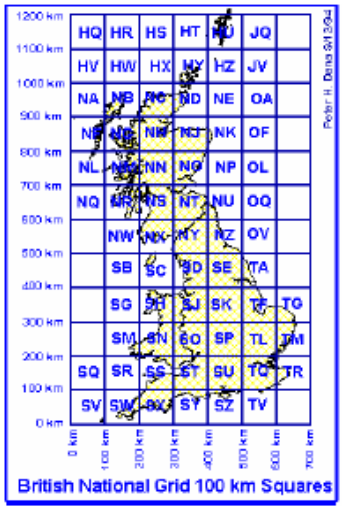
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

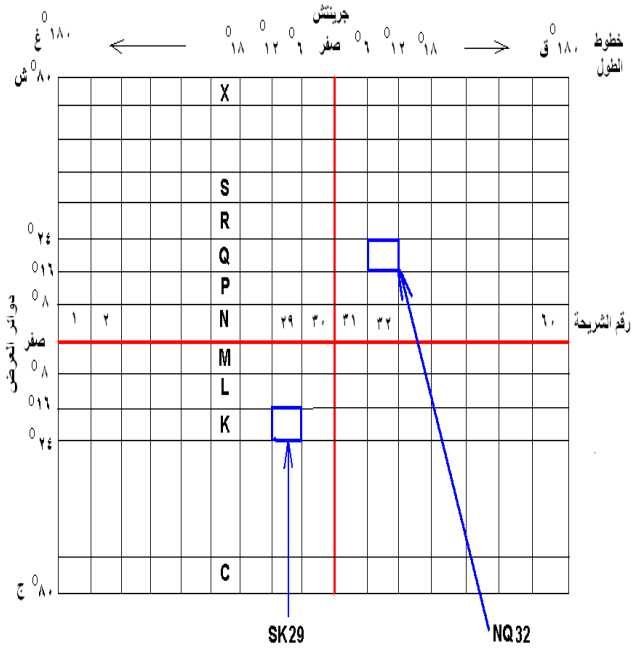
- يكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش.

مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا









مسقط ميريكاتور المستعرض

لتحديد رقم شريحة UTM لأي موقع جغرافي:

$$\text{ترتيب الحرف} = \left(\frac{\text{دائرة العرض} + ٨٠}{٨} \right) + ١$$

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

ترتيب الحرف = (دائرة العرض - ٨٠) ÷ ٨

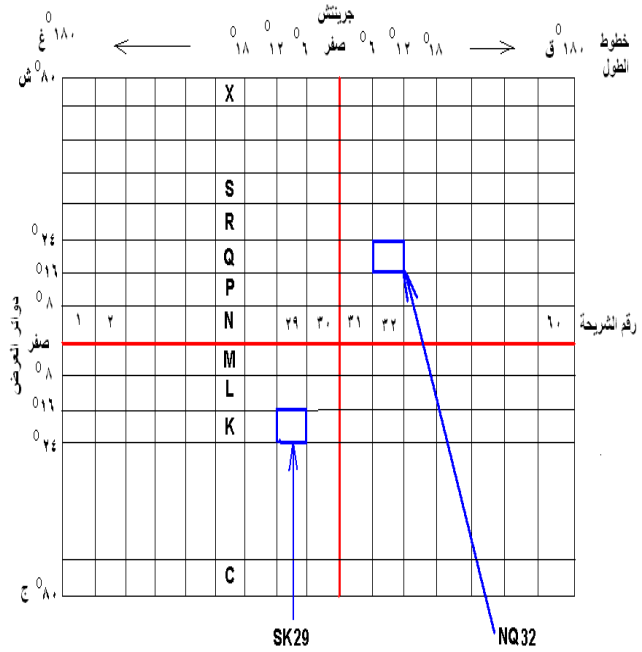
ولحساب رقم الشريحة:

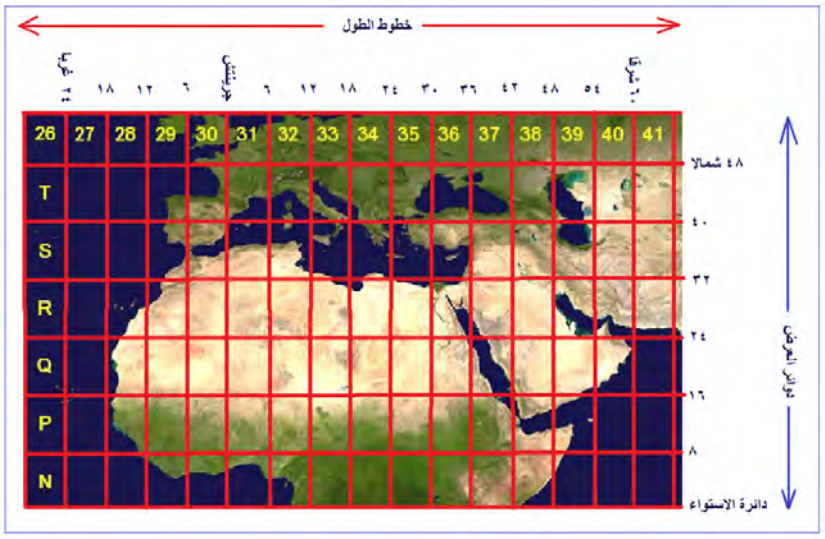
$$\text{رقم الشريحة} = \left(\frac{\text{خط الطول}}{٦} \right) + ٣١$$

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

رقم الشريحة = (خط الطول ÷ ٦) - ٣٠

علي أن يتم في كلتا المعادلتين أخذ الرقم الصحيح للناتج فقط ودون تقريب (بخلاف طريقة حساب الخرائط المليونية).





شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض للدول العربية

مثال:

حدد رقم شريحة UTM التي تقع بها مدينة جدة: خط الطول ١٧" ١٠' ٣٩° شرقا و دائرة العرض ٥٥" ٢٩' ٢١° شمالا؟

أولا: نحول خط الطول و دائرة العرض إلي وحدات الدرجات ليسهل التعامل معها:

خط الطول = (١٧/٣٦٠٠) + (١٠/٦٠) + ٣٩ = ٣٩.١٧١ درجة
دائرة العرض = (٥٥/٣٦٠٠) + (٢٩/٦٠) + ٢١ = ٢١.٤٩٩ درجة

ثانيا: لتحديد الشريحة العرضية (الحرف):

ترتيب الحرف = ((دائرة العرض + ٨٠) ÷ ٨) + ١
= ((٢١.٤٩٩ + ٨٠) ÷ ٨) + ١
= (١٠١.٤٩٩ ÷ ٨) + ١
= ١٢.٧ + ١
= ١٣.٧

أي الحرف رقم ١٣ (مع إلغاء الكسر الناتج خلافا لطريقة الشرائح المليونية).

الحرف رقم ١٣ في الحروف الانجليزية (بدءا من حرف C مع استبعاد حرفي I, O) هو: **Q**

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

ثالثا: لتحديد رقم الشريحة:

رقم الشريحة = (خط الطول ÷ ٦) + ٣١
= (٣٩.١٧١ ÷ ٦) + ٣١
= ٦.٥ + ٣١
= ٣٧.٥

أي أنها الشريحة رقم **٣٧** (مع إلغاء الكسر الناتج خلافا لطريقة الشرائح المليونية).

إذن:

رقم شريحة UTM لمدينة جدة هو : **Q37**

يتكون نظام الإحداثيات المسقطة في UTM من:

- نقطة الأصل (صفر ، صفر) للشريحة تقع في تقاطع خط الطول المركزي للشريحة مع دائرة الاستواء.
- الاحداثي السيني X في اتجاه الشرق.
- الاحداثي الصادي Y في اتجاه الشمال.
- تعطي قيمة إحداثيات شرقية زائفة False Easting لنقطة الأصل بقيمة ٥٠٠،٠٠٠ متر (لذلك فأن الاحداثي السيني لا يزيد عن ٦ خانات).
- لا تعطي أي قيمة إحداثيات شمالية زائفة False Easting لنقطة الأصل، أي أن قيمة الصفر في اتجاه الشمال تكون بالفعل عند دائرة الاستواء (وبذلك فأن الاحداثي الصادي قد يصل إلي ٧ خانات).

لا يمكن ضم شريحتين من شرائح UTM في خريطة واحدة (أو في ملف رقمي واحد) والسبب في ذلك أن نقطة أصل كل شريحة تأخذ الاحداثي السيني المفروض وهو ٥٠٠،٠٠٠ متر، مما سيجعل الإحداثيات الشرقية X للمعالم (المختلفة) علي كلا الخريطتين تتكرر في كلا الشريحتين.

تمارين

س1 عرّف المساحة الجيوديسية.

س2 تبحث المساحة الجيوديسية في مواضيع رئيسة اذكرها.

س3 ما هي أقسام المساحة الجيوديسية ؟ اشرح بالتفصيل كل قسم.

س4 عرف جملة الإحداثيات.

س5 اذكر أنواع جملة الإحداثيات.

س6 في جملة الإحداثيات الفراغية عرف كلاً مما يأتي:

- مبدأ الإحداثيات.
- المحاور الإحداثية.

س7 ما هي الشروط الواجب توافرها في جملة الإحداثيات ؟

س8 احسب طول وانحراف الخط الواصل بين النقطتين أ ، ب علماً بأن إحداثياتهما المستوية كما يلي:

أ (132 ، 517) متر ، ب (214 ، 932) متر.

س9 إذا علمت أن الإحداثيات الجغرافية للنقطة أ هي كما يلي:

ط = 15 ″ 35 ′ 33 ° ، ع = 13″ 10′ 25° ، م = 650 م

المطلوب حساب الإحداثيات الفراغية للنقطة أ علماً بأن نصف قطر الكرة الأرضية نق = 6367650 متر.

البـــاب الثانى

شبكة المثلثات والميزانية الجيوديسية

شبكات المثلثات والميزانية الجيوديسية

شبكات المثلثات

مقدمة

شبكات المثلثات عبارة عن مجموعة نقاط متباعدة تكوّن رؤوس شبكة من المثلثات تثبت في الطبيعة ثم تقاس جميع زوايا الشبكة ويتم قياس خط يسمى خط القاعدة في بداية الشبكة أو قياس خطي قاعدة في بداية ونهاية الشبكة. باستخدام الزوايا الداخلية المصححة للشبكة وانحراف وطول خط القاعدة المقاس نحسب جميع أطوال أضلاع الشبكة وانحرافاتها ثم نحسب بعد ذلك مركبات أضلاع شبكة المثلثات ثم إحداثيات نقط رؤوس شبكة المثلثات. ويتم رسم شبكات المثلثات على الخريطة لتكون هذه النقاط

شبكات المثلثات والميزانية الجيوديسية

الهدف العام

تهدف هذه الوحدة إلى تمكين المتدرب من تحديد أنواع ودرجات شبكات المثلثات ، وكذلك أنواع الميزانية الجيوديسية ، والأجهزة المستخدمة في الميزانية الجيوديسية واحتياطات تنفيذ الميزانية الجيوديسية.

(نقاط المثلثات) هي الأساس لجميع الأعمال المساحية التفصيلية والطبوغرافية وغيرها. وسميت شبكة المثلثات بهذا الاسم لأن جميع الأشكال داخل الشبكة تتكون من مثلثات وذلك لأن شكل المثلث يعتبر من أسهل الأشكال الهندسية في الضبط والتصحيح . وستظل هذه الطريقة هي الأنسب في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية وتكلفة بسيطة . ومع اختراع أجهزة القياس الإلكتروني الحديثة ونظام تحديد المواقع العالمي (GPS) أصبح من الممكن استعمال طرق أخرى لإنشاء شبكات المثلثات بمختلف درجاتها.

أهمية شبكات المثلثات:

تستخدم شبكات المثلثات في العديد من التطبيقات والمجالات ومنها :

1. تعيين شكل الأرض الحقيقي .
2. تشكيل وتوقيع أساس دقيق لأعمال المساحة المستوية والجيوديسية لمناطق شاسعة من سطح الأرض.
3. تشكيل وتوقيع نقاط الربط الأرضي لأعمال المساحة الجوية.
4. التوقيع الدقيق للأعمال الهندسية الكبيرة مثل الطرق والسدود والجسور والمنشآت الضخمة .

درجات الشبكات المثلثية :

تنقسم شبكات المثلثات إلى أربع درجات وهي تتدرج من حيث أطوال الأضلاع ودقة الأرصاد والقياسات المطلوبة كما تختلف أيضاً في طريقة أخذ الأرصاد وتصحيحها وحسابها وكذلك دقة الأجهزة المستخدمة في كل درجة من درجات شبكات المثلثات:

1. شبكة مثلثات الدرجة الأولى .
2. شبكة مثلثات الدرجة الثانية .
3. شبكة مثلثات الدرجة الثالثة .
4. شبكة مثلثات الدرجة الرابعة .

وسوف نتعرف فيما يلي على مواصفات وخصائص كل درجة من درجات شبكات المثلثات:

شبكات مثلثات الدرجة الأولى :

هي أدق الدرجات الأربع وتسمى بالمثلثات الجيوديسية حيث إنها تستعمل لتعيين شكل الأرض بالإضافة إلى أنها تشكل أدق مجموعة من نقط الضبط في الأعمال المساحية، وتعتبر شبكات مثلثات الدرجة الأولى المرجع لضبط شبكات مثلثات الدرجة الثانية وما يليها من درجات.

شبكات مثلثات الدرجة الثانية :

وهي تلي مثلثات الدرجة الأولى في الدقة ونقط مثلثات الدرجة الثانية أكثر عدداً من الدرجة الأولى وأطوال أضلاعها أقصر وتشترك نقط مثلثات الدرجة الأولى في تكوين مثلثات الدرجة الثانية. وتعتبر شبكات مثلثات الدرجة الثانية مرجعا وضابطا لشبكات مثلثات الدرجة الثالثة والرابعة.

شبكات مثلثات الدرجة الثالثة :

تنشأ شبكات مثلثات الدرجة الثالثة لتصل بين نقاط شبكات مثلثات الدرجة الثانية ويتم ضبطها وتصحيحها على شبكات مثلثات الدرجة الثانية، وعدد نقاط شبكات مثلثات الدرجة الثالثة أكثر من نقط شبكات مثلثات الدرجة الثانية.

شبكات مثلثات الدرجة الرابعة :

تستعمل شبكات مثلثات الدرجة الرابعة في الأراضي الجبلية والمناطق الوعرة، ونصل بين مثلثات الدرجة الثالثة بمجموعة أخرى من النقط تكون أكثر عدداً وأقصر بعداً فنحصل منها على شبكة مثلثات الدرجة الرابعة وهذه هي أقصر المثلثات طولاً في الأضلاع وأقلها دقة في الأرصاد والحسابات وتكون أطوال الأضلاع حسب ما تسمح به طبيعة سطح الأرض في الموقع.

مواصفات درجات شبكات المثلثات.

وجه المقارنة/ درجة الشبكة	درجة أولى	درجة ثانية	درجة ثالثة	درجة رابعة
طول خط القاعدة	5 – 30 كم	1 – 3 كم	أقل من ا كم	أقل من ا كم
طول الضلع في الشبكة	20 - 160 كم	10 – 40 كم	أقل من 10 كم	أقل من 10 كم
عدد الأقواس	12 – 16	8	4	2
الحد الأقصى المسموح في قفل القوس	"2	"6	"15	"30
الحد الأقصى المسموح في قفل المثلث	"3	"5	"10 - "12	"30
الحد الأدنى للفرق بين الطول المحسوب والمقاس لقاعدة التحقيق	1 : 25000	1 : 10000	1 : 5000	1 : 2500
الخطأ المحتمل في قياس خط القاعدة	1 : 1000000	1 : 500000	1 : 200000	1 : 100000

ترقيم نقاط شبكات المثلثات:

لتمييز نقاط شبكات المثلثات تبعاً لدرجاتها المختلفة يتم وضع علامة مثلث بداخله نقطة (Δ) لتمييز نقط المثلثات عموماً ثم يدون رقم النقطة ودرجتها إلى جوار المثلث على هيئة كسر بسطه درجة المثلث ومقامه رقم هذه النقطة ، فمثلاً :

نقطة المثلثات رقم $\frac{3}{9}$

فأن الرقم 9 يمثل رقم النقطة في شبكة المثلثات من الدرجة الثالثة .

أنواع الشبكات المثلثية

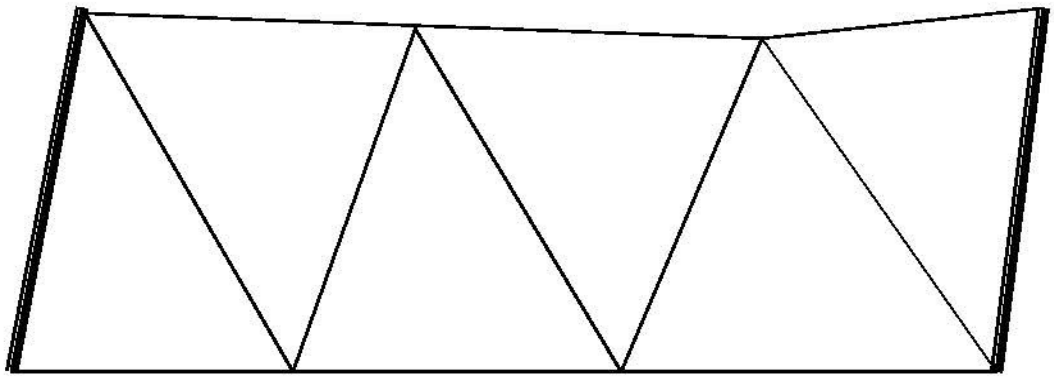
يجب أن يراعى عند اختيار مواقع نقاط شبكات المثلثات أن تكوّن مع بعضها أشكالاً هندسية سهلة كالمثلثات أو الأشكال الرباعية ذات القطرين أو أشكالاً ذات نقطة مركزية بحيث تكون الشبكة ذات متانة عالية وبها عدد كافٍ من الشروط الهندسية التي تساعد على كفاءة عملية الضبط والحساب . والأشكال الهندسية التي يتم اختيارها لتشكيل شبكات المثلثات تتوقف غالباً على شكل المنطقة المراد عمل مساحة لها وعلى الدقة المطلوبة وطبيعة الأرض .

أنواع الشبكات المثلثية من حيث الشكل:

1. سلسلة المثلثات الفردية .
2. سلسلة الأشكال الرباعية (الشبكات المزدوجة).
3. سلسلة الأشكال ذات المركز .

أولاً : سلاسل شبكات المثلثات الفردية:

تتكون سلاسل المثلثات الفردية من مثلثات بسيطة متجاورة . وهذه المثلثات تبدأ من خط قاعدة يقاس طوله وتحسب منه أطوال خطوط السلسلة ثم تنتهي بخط قاعدة آخر يقاس طوله للتحقيق وتعتبر السلاسل الفردية أبسط الأشكال وأقلها دقة وذلك لقلة الاشتراطات . ويفضل أن لا تقل قيم الزوايا عن 40° . وأحسن أنواع السلاسل الفردية هي المكونة من مثلثات متساوية الأضلاع وتستعمل غالباً في المناطق الساحلية والصحراوية ،



سلاسل المثلثات الفردية

أنواع الشبكات المثلثية

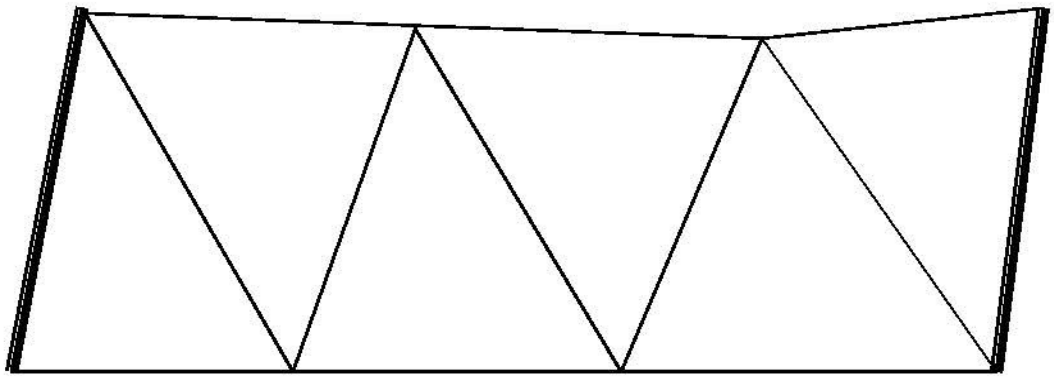
يجب أن يراعى عند اختيار مواقع نقاط شبكات المثلثات أن تكوّن مع بعضها أشكالاً هندسية سهلة كالمثلثات أو الأشكال الرباعية ذات القطرين أو أشكالاً ذات نقطة مركزية بحيث تكون الشبكة ذات متانة عالية وبها عدد كافٍ من الشروط الهندسية التي تساعد على كفاءة عملية الضبط والحساب . والأشكال الهندسية التي يتم اختيارها لتشكيل شبكات المثلثات تتوقف غالباً على شكل المنطقة المراد عمل مساحة لها وعلى الدقة المطلوبة وطبيعة الأرض .

أنواع الشبكات المثلثية من حيث الشكل:

1. سلسلة المثلثات الفردية .
2. سلسلة الأشكال الرباعية (الشبكات المزدوجة).
3. سلسلة الأشكال ذات المركز .

أولاً : سلاسل شبكات المثلثات الفردية:

تتكون سلاسل المثلثات الفردية من مثلثات بسيطة متجاورة . وهذه المثلثات تبدأ من خط قاعدة يقاس طوله وتحسب منه أطوال خطوط السلسلة ثم تنتهي بخط قاعدة آخر يقاس طوله للتحقيق وتعتبر السلاسل الفردية أبسط الأشكال وأقلها دقة وذلك لقلة الاشتراطات . ويفضل أن لا تقل قيم الزوايا عن 40° . وأحسن أنواع السلاسل الفردية هي المكونة من مثلثات متساوية الأضلاع وتستعمل غالباً في المناطق الساحلية والصحراوية ،

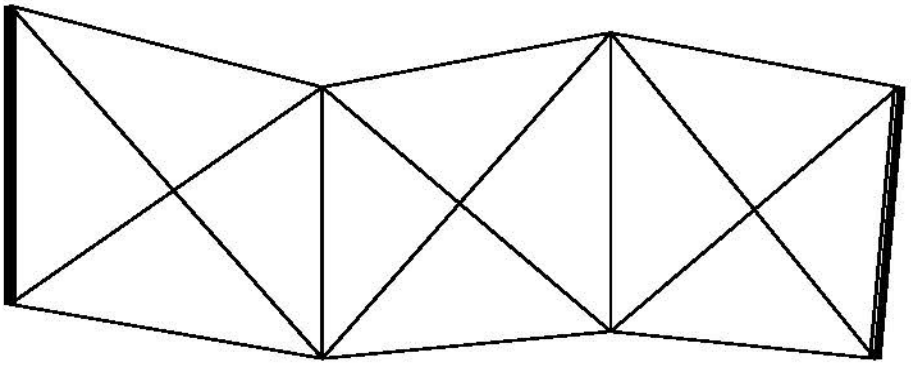


سلاسل المثلثات الفردية

ثانياً : سلاسل شبكات المثلثات ذات الأشكال الرباعية (المزدوجة)

تعتبر أكثر الأشكال استعمالاً وتمتاز بمتانتها ودقتها رغم كثرة التكاليف في العمليات المساحية والحسابية . وهي تتكون من أشكال رباعية مرصودة القطرين ويفضل أن تكون

الزوايا محصورة بين 30° ، 120° والسلسة تبدأ بخط قاعدة وتنتهي بخط قاعدة آخر وتستعمل في الأراضي ذات القيمة المرتفعة لدقتها ومتانتها ،



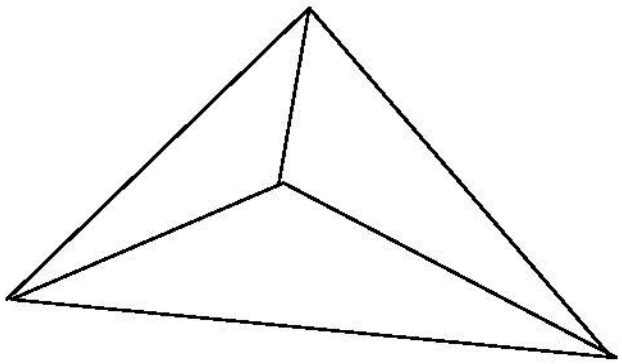
سلاسل شبكات المثلثات ذات الأشكال الرباعية (المزدوجة)

ثالثاً : سلاسل شبكات المثلثات المكونة من أشكال هندسية ذات المركز

وهي تبدأ بخط قاعدة وتنتهي بخط قاعدة آخر للتحقيق وتستعمل في المناطق المنبسطة الواسعة وتعتبر من الأشكال المتينة وذات اشتراطات كثيرة وقد تكون بسيطة أو متداخلة وهذا النوع يحتاج إلى مجهود مساحي وعمل مكتبي كبير مما يزيد الوقت والتكاليف المطلوبة للعمل . والأشكال ذات المركز أربعة أنواع :-

(أ) شكل مثلث ذو مركز

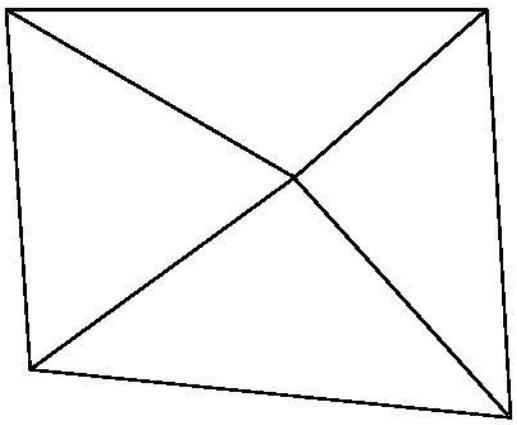
وهو أفضل من المثلث البسيط لزيادة عدد الشروط الهندسية فيه مما يساعد على دقة ضبطه،



شكل مثلث ذو مركز.

(ب) شكل رباعي ذو مركز

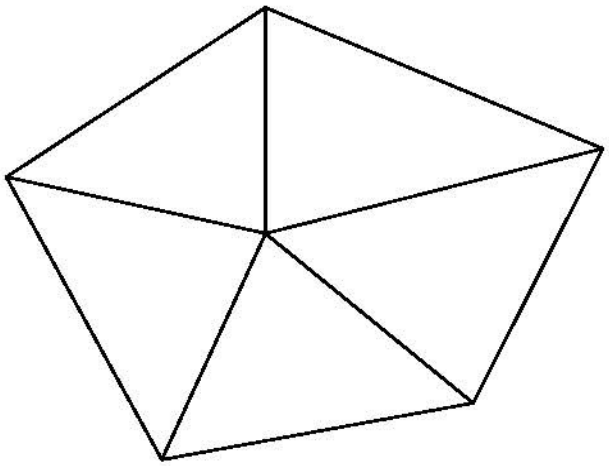
ويعتبر أقل قوة ومتانة من الشكل الرباعي المرصود القطرين ولكنه أسهل في الرصد ويجب أن تكون الزوايا المبينة بالرسم لا تقل عن 30° ولا تزيد عن 120° ،



شكل رباعي ذو مركز

(ج) شكل متعدد الأضلاع ذو مركز

الشكل الخماسي أحسن أشكال هذا النوع وتضعف قوة الشكل كلما زاد عدد الأضلاع عن ستة، بالإضافة إلى صعوبة الضبط والتصحيح ويجب تجنب ذلك بقدر الإمكان،

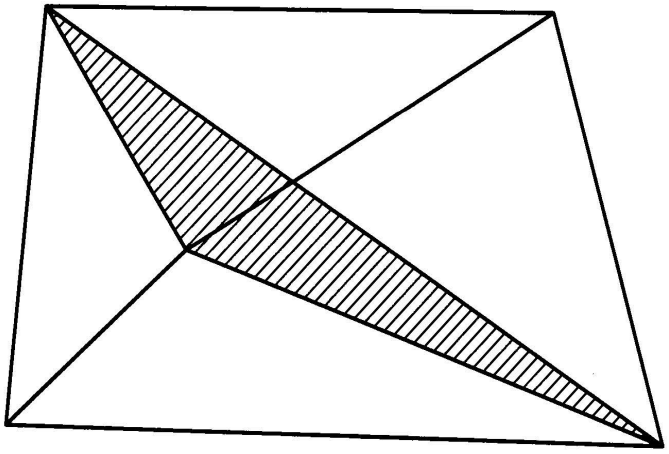


شكل متعدد الأضلاع ذو مركز

(د) الأشكال المتداخلة

الأشكال المتداخلة متينة جداً من الناحية النظرية لأن المثلثات المشتركة تربط الأشكال مع بعضها بقوة تامة ويكون لها نفس القوة من الناحية العملية كما لو ضبطت الشبكة كلها

متكاملةً. ولكن هذه الأشكال تحتاج لحسابات معقدة ولذلك يجب تجنبها بقدر الإمكان،



شكل رباعي متداخل ذو مركز

أنواع الشبكات المثلثية من حيث طريقة العمل

1 – شبكات مقاسة الزوايا

في هذه الطريقة يتم قياس جميع زوايا الشبكة ويقاس طول خط قاعدته وانحرافه وإحداثيات إحدى نقاطه في بداية الشبكة ومثله في نهايتها للتحقيق .

2 – شبكات مقاسة الأضلاع

وهي طريقة استحدثت بعد تطور الأجهزة الإلكترونية لقياس المسافات ، حيث يتم قياس جميع أطوال أضلاع شبكة المثلثات، ومن عيوبها قلة عدد الاشتراطات.

3 – شبكات المثلثات المزدوجة

في هذه الطريقة يتم قياس جميع أضلاع وجميع زوايا شبكة المثلثات بغرض الحصول على دقة أعلى في ضبط وتصحيح الشبكة وحساب إحداثيات نقاطها.

استكشاف وتثبيت نقاط شبكة المثلثات

إن نجاح تصميم شبكة المثلثات يتوقف كثيراً على عملية الاستكشاف التي تعتبر من العمليات الأساسية في مراحل تنفيذ شبكة المثلثات. والغرض من عملية الاستكشاف هو التعرف على طبيعة الأرض لاختيار أفضل المواقع لتثبيت نقاط شبكة المثلثات بما لا يتعارض مع مواصفات النقاط ومتانة شبكة المثلثات وكذلك لاختيار أفضل المواقع لإنشاء خطوط قواعد شبكة المثلثات ،وتعطى عملية الاستكشاف عناية كبيرة حيث تتوقف عليها تكاليف العمل، ومن المعلومات التي يتم الحصول عليها أثناء عملية الاستكشاف البيانات التالية :

1. المنسوب التقريبي لنقاط شبكة المثلثات.
2. العقبات التي قد تعترض مسار الرؤية بين نقاط شبكة المثلثات.
3. وسائل المواصلات الضرورية للانتقال بين النقاط المختلفة.
4. وسائل الإمداد بالتموين والمياه.
5. رسم تخطيطي للمنطقة عند عدم وجود خريطة سابقة.
6. توفير كل ما يحتاجه العمل لضمان عدم تعطيل العمل أو فشله.

وتستخدم مع عملية الاستكشاف الأجهزة البسيطة مثل الثيودوليت البسيط والبوصلة المغناطيسية والشريط وأدوات الرسم وبعض وسائل النقل التي تساعد على التنقل في أرجاء الموقع حسب طبيعة الأرض .

تلي مرحلة الاستكشاف عملية تثبيت نقط شبكة المثلثات في الطبيعة ورسم كروكيات الشبكة وعمل بطاقة وصف لكل نقطة من نقاط شبكة المثلثات وتربط بثلاثة أهداف واضحة ومحددة في الطبيعة، ويجب التأكد من أن نقاط شبكة المثلثات المختارة توافق الشروط الواجب مراعاتها عند اختيار نقاط المثلثات وإلا يجب تغيير موقعها في نطاق محدود. ويجب الحرص عند تعيين مواقع النقاط في الطبيعة والتأكد من ثباتها وعدم تأثرها بأي عامل من العوامل، ولضمان سلامة نقط شبكة المثلثات نتبع الطريقة الآتية:

- تدفن النقطة الأصلية تحت سطح الأرض على مسافة مناسبة وتعلم بعلامة حديدية وتوضع علامة أخرى فوق سطح الأرض للاستدلال على مكان النقطة الأصلية .

خطوات انشاء شبكة المثلثات

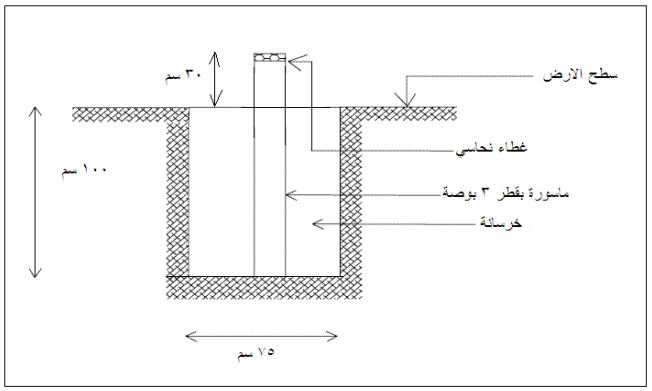
يعد الاستكشاف أول خطوة في إنشاء شبكة مثلثات وهو إن كان أشق عملية للمساحات الشاسعة إلا أن نجاح تشكيل الشبكة يعتمد علي دقة الاستكشاف. تهدف عملية الاستكشاف إلي اختيار مواقع نقاط المثلثات و مواقع خطوط القواعد وأيضا تحديد المعوقات (أية معوقات تمنع الرؤية وخط النظر بين النقاط) المطلوب إزالتها. يمكن الاعتماد علي الخرائط القديمة للمنطقة (أو المرئيات الفضائية الآن) في أعمال الاستكشاف و اختيار مواقع نقاط المثلثات.

عند اختيار مواقع نقاط المثلثات يجب مراعاة الآتي:

١. كل نقطة تري النقاط التي حولها بكل وضوح.
٢. أن تتراوح الزوايا بين أضلاع المثلثات (التي تكونها هذه النقاط) بين ٣٠ و ١٢٠ درجة بقدر الإمكان وتفضل المثلثات متساوية الأضلاع تقريبا.
٣. تجنب النقاط القريبة من سطح الأرض وذلك تفاديا لتأثير الانكسار الضوئي عند الرصد.
٤. اختيار مواقع النقاط في مواقع مرتفعة و مشرفة علي مناطق واسعة لسهولة رؤية الهدف من مسافات بعيدة.
٥. أن تكون مواقع النقاط في أماكن ثابتة غير معرضة للضياع أو للعبث بها.
٦. أن تكون أضلاع المثلثات متناسقة فلا توجد أضلاع طويلة جدا وأخري صغيرة جدا.
٧. أن تكون العقبات المراد إزالتها (تعيق خط النظر بين النقاط) أقل ما يمكن تفاديا لارتفاع تكلفة المشروع.

لإنشاء نقط المثلثات يتم بناء مواقع النقاط بعلامات خاصة تدل على النقطة وتساعد في سهولة الوصول اليها٠ وتختلف هذه العلامات طبقا لدرجة نقط المثلثات وطبيعة المكان المنشأة به، ومن هذه العلامات:

- البراميل الخراسانية بقطر ٦٠ سم وارتفاع ١١٠ سم وتستخدم في نقاط مثلثات الدرجة الاولى٠
- القضبان الحديدية التي يتراوح طولها بين ١٥٠ ، ٢٠٠ سم بقطر ٤ بوصة ويظهر منها حوالي ١٠ سم فوق سطح الأرض ويمكن صب جزء حرساني حول قاعدتها لضمان ثباتها٠ ويستخدم هذا النوع في مثلثات الارياف٠
- قطع الخشب المربعة ١٥×١٥ سم وبوسطها ثقب به مسمار نحاسي يحدد مركزها وتوضع أعلى أسطح المباني في المدن٠



نموذج لبناء علامة مثلثات

- يتم ربط هذه النقطة بثلاثة أهداف وعمل (بطاقة الوصف) وتكون هذه الأهداف محددة وثابتة ويمكن تمييزها بسهولة حتى يمكن الرجوع إليها والاستعانة بها في حالة فقد النقطة الأصلية.

شروط اختيار نقاط شبكة المثلثات

1. أن تكون النقط في أماكن ثابتة غير معرضة للعبث بها أو الضياع مع سهولة الوصول إليها.
2. أن تكون النقط في أماكن مرتفعة وتطل على مناطق واسعة لتجنب بناء الأبراج بقدر الإمكان .
3. أن ترى كل نقطة النقاط التي حولها بوضوح .
4. أن لا تزيد الزوايا بين أضلاع شبكة المثلثات عن 120° ولا تقل عن 30°
5. تجنب النقط القريبة من سطح الأرض لتفادي التأثير السلبي للانكسار الضوئي.
6. أن تكون عملية إزالة الأشجار وما شابهها من عقبات تعترض خطوط المثلثات محصورة في أقل قدر ممكن.

شروط اختيار خط القاعدة

يقاس خط القاعدة في بداية الشبكة ونهايتها للتحقيق ويراعى عند اختيار أماكن خطوط قاعدة شبكات المثلثات ما يلي:

1. أن تسمح المنطقة بربط أو اتصال جيد بين خط القاعدة وشبكة المثلثات لإنشاء شبكة من المثلثات المتينة.
2. أن تكون المنطقة مكشوفة وليس بها عوائق.
3. **ان تسمح بقياس خط القاعدة مباشرة**
4. أن لا يزيد الانحدار على طول خط القاعدة عن 2/1 .
5. أن تكون نقطة الأساس أحد طرفي خط القاعدة .
6. يجب أن يكون خط النظر بين طرفي خط القاعدة بعيداً عن سطح الأرض بمسافة مناسبة على مدى طوله كله حتى لا يتأثر بالانكسار الضوئي .

الميزانية الجيوديسية

الميزانية الجيوديسية هي إحدى أنواع الميزانيات التي تجرى للمساحات الكبيرة و يدخل في إجرائها اعتبار تأثير الانكسار وكروية الأرض وهي نوعان :

1 – الميزانية الدقيقة ، 2 – الميزانية المثلثية

الميزانية الدقيقة

تستعمل الميزانيات الدقيقة في الأعمال التي تتطلب تعيين المناسيب بدقة عالية مثل (تحديد مناسيب الروبيرات) وتستعمل في الميزانية الدقيقة موازين مساحية دقيقة ذات مواصفات خاصة وقامات دقيقة.

والغرض الأساسي من الميزانية الدقيقة (ميزانية الدرجة الأولى) هو تعيين مناسيب مجموعة نقط بدقة عالية بالنسبة لمستوى المقارنة أو المنسوب المتوسط لسطح البحر. وهذه النقط تسمى روبيرات الدرجة الأولى، وتوضع على مسافات كبيرة من بعضها قد تصل إلى 60 كيلومتر، وتتفرع منها حلقات لربط نقط أخرى ثابتة تسمى روبيرات الدرجة الثانية ثم تتفرع منها حلقات أخرى لربط روبيرات الدرجة الثالثة ، وروبيرات الدرجتين الثانية والثالثة. تستخدم الروبيرات في ضبط مناسيب التفاصيل عند تنفيذ وتصميم المشروعات وكل من هذه الروبيرات لها دقة خاصة في القياس وفي الخطأ المسموح. ويجب تعيين مناسيب نقط خطوط قواعد شبكات المثلثات بواسطة الميزانية الدقيقة.

والميزانية الدقيقة وإن كانت تشابه الميزانية العادية في كثير من أوجه إجرائها إلا أنه يلزم اتخاذ بعض الاحتياطات واتباع طرق خاصة في الرصد والتصحيح مع استعمال أجهزة عالية الدقة للحصول على الدقة المطلوبة .

مصادر الأخطاء في الميزانية الدقيقة

1 – هبوط الميزان أو القامة تدريجياً وباستمرار عند وضعها على أرض رخوة.

2 – تمدد أجزاء الميزان تمدداً غير متساوٍ عند تعرضه للشمس أو التغيير في درجات الحرارة.

3 – التغير في الانكسار الجوي.

4 – اختلاف بعد الميزان عند كل من المقدمة أو المؤخرة.

5 – وضع نقطة الدوران في أرض غير صلبة.

6 – عدم وضع القامة رأسية تماماً.

أغراض الميزانية الدقيقة

1 – عمل هيكل ثابت للميزانيات العادية وذلك بإنشاء شبكات روبيرات الدرجة الأولى.

2 – في البحوث الجيوديسية التي تتناول الجاذبية الأرضية والمقارنة بين سطوح البحار والمحيطات.

3 – بحث تحركات المباني والمنشآت الضخمة وهبوطها.

4 – توقيع مناسيب المشاريع الهندسية الدقيقة كالجسور والسدود.

5 – بحث الارتفاع والانخفاض الناتج عن تحرك القشرة الأرضية.

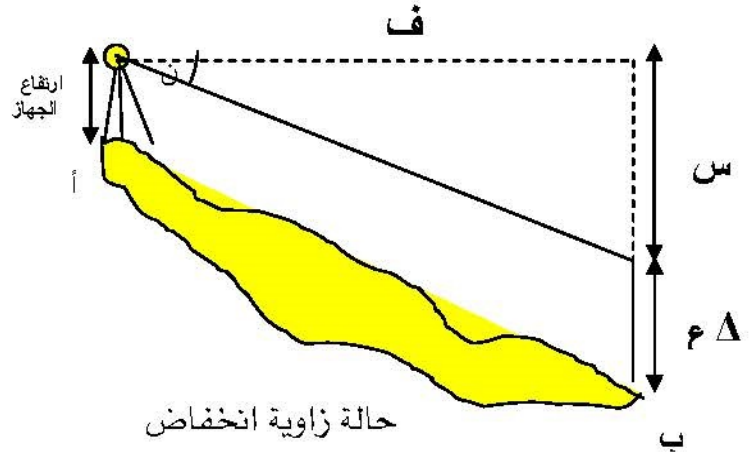
الميزانية المثلثية

يصعب استخدام الميزانيات الدقيقة والعادية في بعض المناطق الجبلية ذات التضاريس الوعرة ويفضل استخدام الميزانية المثلثية التي تقاس فيها الزوايا الرأسية باستخدام أجهزة المحطة الشاملة أو جهاز الثيودوليت مع قياس المسافات المائلة أو الأفقية بين النقاط. وتعتبر المناسيب المعينة بطرق الميزانية المثلثية أقل دقة من الميزانية الدقيقة والعادية . وتتطلب

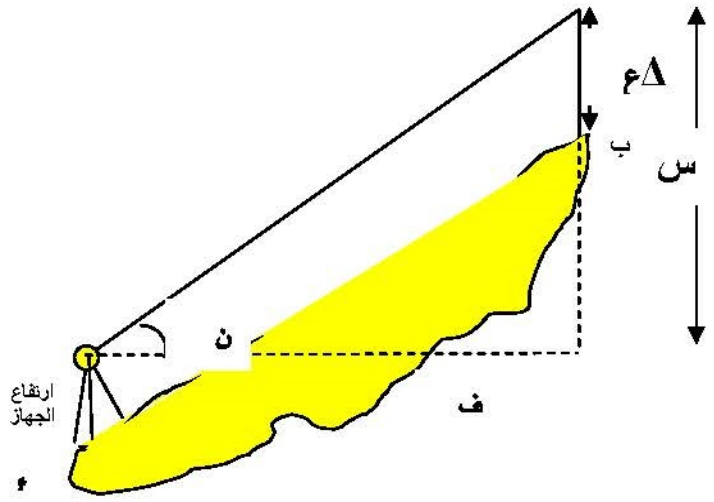
الميزانية المثلثية طرق واحتياطات خاصة أثناء عملية الرصد ، وتستعمل عندما يتعذر استعمال الميزانية الدقيقة بسبب الاختلاف الكبير في المناسيب. وتستخدم الميزانية المثلثية لتعيين مناسيب نقط شبكات المثلثات.

حساب المناسيب باستخدام الميزانية المثلثية

- يتم حساب المناسيب بمعلومية منسوب إحدى نقاط خط القاعدة وأطوال أضلاع الشبكة المحسوبة والزوايا الرأسية المرصودة (ارتفاع أو انخفاض) ، انظر الشكل



حالة زاوية انخفاض



حالة زاوية ارتفاع

الميزانية المثلثية

من الرسم أعلاه يلاحظ أن :

ف = المسافة الأفقية

س = المسافة الرأسية

ن = زاوية الارتفاع أو الانخفاض

Δع = ارتفاع التهديف

م ب = منسوب الهدف

م أ = منسوب المرصد

المسافة الرأسية = المسافة الأفقية × ظل الزاوية الرأسية

$$س = ف \times ظا\ ن$$

منسوب الهدف = منسوب المرصد+ ارتفاع الجهاز ± المسافة الرأسية – ارتفاع التهديف

$$م_ب = م_أ + ل \pm س - \Delta ع$$

حيث الإشارة + عندما تكون المسافة الرأسية في حالة زوايا الارتفاع

والإشارة - عندما تكون المسافة الرأسية في حالة زوايا الانخفاض.

ارتفاع التهديف = صفر في حالة التهديف أسفل الهدف.

مثال

الجدول التالي يوضح أرصاد الميزانية المثلثية للأهداف B ، C ، D من المرصد A ، المطلوب حساب مناسيب النقط B ، C ، D علماً بأن منسوب نقطة A = 150 متر فوق مستوى سطح البحر وارتفاع الجهاز فوقها = 1.65 م

جدول أرصاد الميزانية المثلثية (النقطة المحتلة: A)

الهدف	وضع الجهاز	القراءة الرأسية	مقدار الزاوية الرأسية	متوسط الزاوية الرأسية	نوع الزاوية	ارتفاع التهديف
B	س	°89 ′53 ″20	°00 ′06 ″40	°00 ′06 ″36	ارتفاع	1.16
	م	°270 ′06 ″32	°00 ′06 ″32			
C	س	°89 ′30 ″28	°00 ′29 ″32	°00 ′29 ″25	ارتفاع	0.00
	م	°270 ′29 ″18	°00 ′29 ″18			
D	س	°90 ′19 ″50	°00 ′19 ″50	°00 ′19 ″44	انخفاض	1.16
	م	°269 ′40 ″22	°00 ′19 ″38			

الحل

المسافة الرأسية = المسافة الأفقية × ظا الزاوية الرأسية

س = ف × ظا ن

منسوب الهدف = منسوب المرصد + ارتفاع الجهاز ± المسافة الرأسية - ارتفاع التهديف

$م_B$ = $م_A$ + ل ± س - Δ ع

- حساب المسافات الرأسية للأهداف الثلاثة : B ، C ، D

$س_B$ = 381.874 × ظا (36" 06' 00°) = 0.733 متر

$س_C$ = 389.861 × ظا (25" 29' 00°) = 3.336 متر

$س_D$ = 535.254 × ظا (44" 19' 00°) = 3.072 متر

- حساب المناسيب للأهداف الثلاثة : B ، C ، D

$م_B$ = 150 + 1.65 + 0.733 - 1.16 = 151.223 متر

$م_C$ = 150 + 1.65 + 3.336 - 0.00 = 154.986 متر

$م_D$ = 150 + 1.65 - 3.072 - 1.16 = 147.418 متر

ملحوظات:

- يمكن الاستعانة بالجدول التالي إذا كانت الأهداف عديدة وذلك لتنظيم وترتيب عملية حساب المناسيب.

منسوب سطح الجهاز = منسوب المرصد + ارتفاع الجهاز = ($م_A$ + ل)

المرصد	الهدف	الزاوية الرأسية	المسافة الأفقية (متر)	منسوب سطح الجهاز(متر)	المسافة الرأسية (متر)	ارتفاع التهديف (متر)	المنسوب (م) (متر)
A	B	+36" 06' 00°	381.874	151.65	0.733+	1.16	151.223
	C	+25" 29' 00°	389.861	151.65	3.336+	0.0	154.986
	D	- 44" 19' 00°	535.254	151.65	3.072 -	1.16	147.418

تمارين

س1 اذكر أهمية شبكات المثلثات؟

س2 اذكر أنواع شبكات المثلثات من حيث الشكل.

س3 قارن بين درجات شبكات المثلثات.

س4 ما هي أنواع الميزانية الجيوديسية ؟

س5 اذكر مصادر الأخطاء في الميزانية الدقيقة؟

س6 اذكر الاحتياطات الواجب مراعاتها في عمل الميزانية الدقيقة؟

س7 ما هي أهم مميزات القامة الدقيقة ؟

س8 متى تستعمل الميزانية المثلثية ؟ وما هو الجهاز المستخدم في الرصد ؟

س9 احسب مناسيب النقاط B ، C ، D بطريقة الميزانية المثلثية ، إذا كانت قياسات الميزانية المثلثية كما هو مسجل في الجدول التالي:

المرصد	الهدف	المسافة الأفقية	الزاوية الرأسية المقاسة	ارتفاع التهديف	نوع الزاوية
A	B	400.567 متر	°00 ′05 ″19	1.52 متر	ارتفاع
	C	327.512 متر	°01 ′00 ″12	1.52 متر	ارتفاع
	D	451.912 متر	°00 ′39 ″49	1.52 متر	انخفاض

علماً بأن منسوب النقطة A = 941.115 متر.

وارتفاع الجهاز فوق نقطة A = 1.68 متر.

البـــاب الثالث

الأشتراطات والمتانة

الإشتراطات

الأرصاد الشرطية وغير الشرطية

(CONDITIONED)

(& UNCONDITIONED OBSERVATIONS)

تقسم الأرصاد عامة إلى نوعين :

١ ــ أرصاد شرطية

فى هذا النوع تكون الأرصاد أزيد من الحاجة ــ والأرصاد الشرطية مطلوبة دائماً فى الأعمال الجيوديسية الدقيقة ففيها تكون الأرصاد كافية لتحديد المجاهيل ، بالإضافة إلى أرصاد زائدة عن الحاجة لتساعد على تكوين الشروط . ويكون عدد الشروط فى الشكل يساوى عدد الأرصاد الزائدة . وهى تستعمل لزيادة دقة تصحيح الأرصاد .

٢ ــ أرصاد غير شرطية :

وهى الأرصاد التى تكفى فقط لتعيين المجاهيل المطلوبة ، وبذا فهى غير خاضعة لشروط ما ، وهذه الأرصاد لا تكون موضع ثقة حيث لا توجد شروط من شأنها عمل تحقيق وإكتشاف ما يحدث من أخطاء أثناء الرصد .

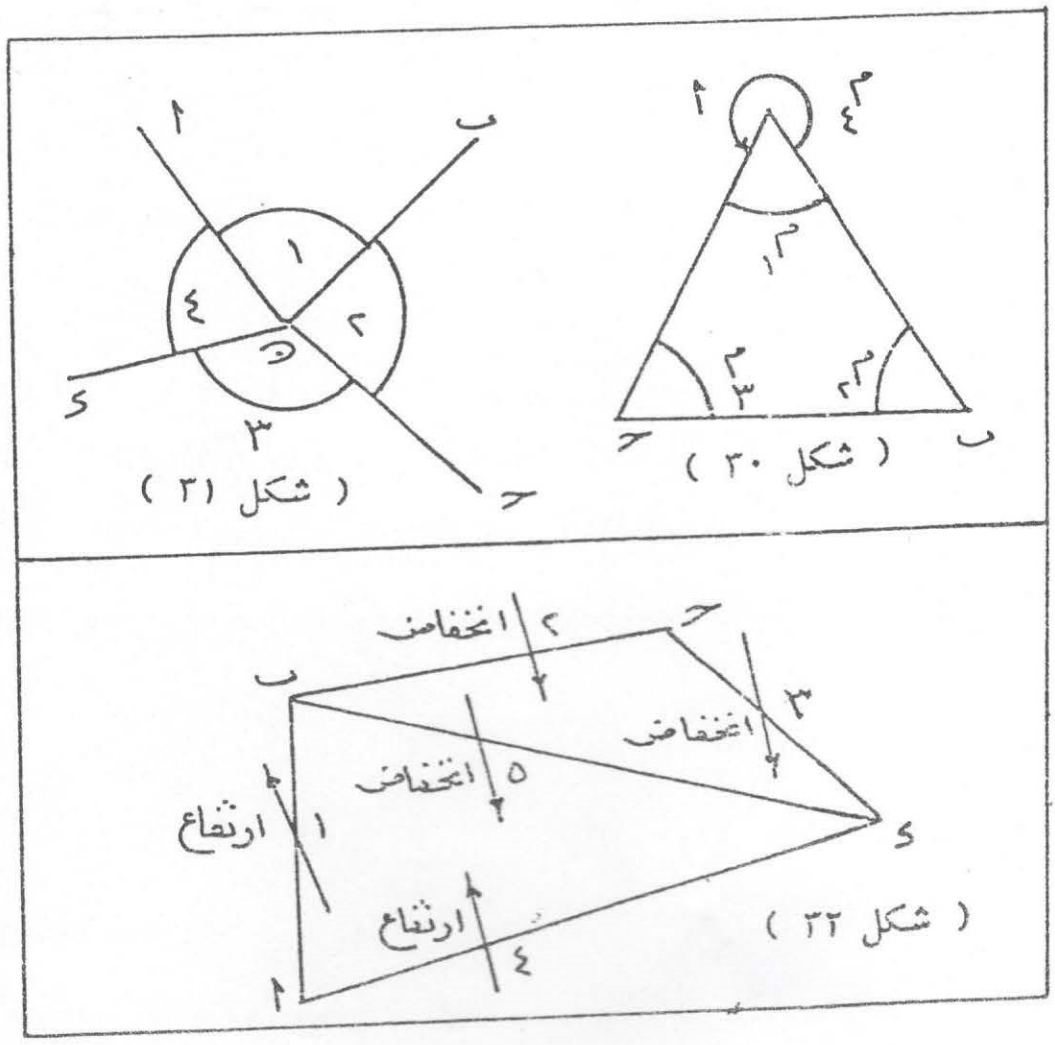
أمثلة على الأرصاد الشرطية :

١ ــ فى شكل (٣٠) ا ب حـ مثلث معلوم فيه طول ا ب ، وقيست زواياه الثلاث م١ ، م٢ ، م٣ . الأرصاد الضرورية لرسم الشكل هى ضلع وزاويتان فقط م١ ، م٢ ، وبما أننا قسنا أزيد من الضرورى ، لذلك فإن الأرصاد فى هذه الحالة تكون شرطية لزاوية م٣ الزائدة عن الحاجة إذا أنه من الممكن استنتاجها

حيث أن مجموع زوايا المثلث يساوى ١٨٠° . وبذلك يكون عدد الشروط شرط واحد .

وإذا قسنا الزاوية م٤ بالاضافة إلى ما سبق فإن الشروط تزيد لأن م٤ يمكن استنتاجها أن مجموع م١ ، م٤ = ٣٦٠° وبذا فيكون لدينا شرطان .

٢ ــ فى شكل (٣١) قيست الزوايا ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ حول النقطة (ن) ومعنى ذلك أننا قفلنا الأفق حول هذه النقطة وحيث أنه كان يلزم ثلاث زوايا فقط لتعيين الإتجاهات فنكون قد قمنا بعمل أرصاد تزيد عن الحاجة ، وتكون فى هذه الحالة الأرصاد شرطية لشرط واحد . فمثلا كان يكفى قياس الزوايا ١ ، ٢ ، ٣ وتستنتج الزاوية ٤ من شرط قفل الأفق وهو أن مجموع الزوايا الأربع يساوى ٣٦٠° .



أما إذا قيست زاويتان فقط فى المثال الأول ، وثلاث زوايا فى المثال الثانى تصبح الأرصاد غير شرطية ولا يوثق بها بالمرة .

٣ ــ فى شكل (٣٢) عملت ميزانية دقيقة من الروبير لتعيين ثلاثة روبيرات ب ، حـ ، د وأوجدنا عمليا فروق المناسيب (١) ، (٢) ، (٣) ، (٤) ، (٥) الضرورى هنا ثلاثة فروق فقط وبما أننا قسنا أكثر من ذلك فإن الأرصاد تصبح شرطية .

أنواع الاشتراطات العامة فى الشبكات المثلثية

هناك نوعان من الأشتراطات فى أى شبكة مثلثية وهما :

أولا ــ الأشتراطات الخارجية

وهى عبارة عن اشتراطات خاصة بربط شبكة المثلثات مع خطوط القواعد أو مع شبكات مجاورة سبق ضبطها وتصحيحها وهذه الأشتراطات هى :

١ ــ شروط طول قاعدة التحقيق :

وهو أن الطول المحسوب لقاعدة التحقيق من قاعدة أخرى عن طريق حل المثلثات بعد إضافة التصحيحات اللازمة للزوايا إضافة جبرية ، يجب أن يساوى الطول المقيس لها .

٢ ــ شروط الانحراف :

الأنحراف المحسوب لأى قاعدة من قاعدة أخرى بعد إضافة التصحيحات اللازمة للزوايا ، يجب أن يساوى الانحراف المرصود لهذه القاعدة .

٣ ــ شروط خط الطول والعرض :

إن خط الطول المحسوب لأحد طرفى القاعدة بعد إضافة التصحيحات اللازمة للزوايا يجب أن يساوى خط الطول المرصود فلكيا لهذا الطرف ، وبالمثل لخط العرض . وهذا الشرط مطلوب فى مثلثات الدرجة الأولى فقط .

ثانيا ــ الأشتراطات الداخلية

هى علاقة يجب تحقيقها لضمان ثبات قيمة الإحداثيات التى يتم الحصول عليها من حساب الشبكة المثلثية .

١ ــ عدد الأشتراطات الداخلية :

كلما زاد عدد الأشتراطات بصورة مقبولة كلما زاد ضمان صحة ودقة العمل وزادت ثقتنا بهذه الأرصاد ، ويعين عدد الأرصاد اللازمة أو الضرورية فقط لرسم أى شكل كما يلى :

عدد الأرصاد اللازمة لأى شكل معين = ٢ (عدد النقط ــ ٢)	(١)

عدد الأشتراطات الكلية = عدد الأرصاد التى أجريت ــ عدد الأرصاد الضرورية لرسم الشكل	(٢)

أمثلـــة

مثال (١) :

مثلث أ ب حـ رصدت زواياه الثلاث ومعلوم طول ضلع منه

عدد الأرصاد الضرورية للشكل (معادلة ١) = ٢ (٣ ــ ٢) = ٢

عدد الأشتراطات (معادلة ٢) = ٣ ــ ٢ = ١

وهذا الشرط هو وجوب مساواة مجموع الأرصاد بعد تصحيحها للمقدار ١٨٠° + الزيادة الكرية (ن) ، فإذا كانت ف١ ، ف٢ ، ف٣ هى قيم التصحيحات الواجب إضافتها إلى الأرصاد م١ ، م٢ ، م٣ على التوالى ليكون مجموعها = ١٨٠ + ن فتكون المعادلة الشرطية هى :

$$(م_{١} + ف_{١}) + (م_{٢} + ف_{٢}) + (م_{٣} + ف_{٣}) = ١٨٠^{\circ} + ن$$

وهذا ما يطلق عليه الشرط المثلثى

وفى شكل (٣٠) إذا كان عدد الزوايا المرصودة هو ٤ (م١ ، م٢ ، م٣ ، م٤) فإن عدد الأشتراطات يساوى ٤ ــ ٢ = ٢

الشرط الأول هو الشرط المثلثى السابق أما الشرط الثانى السابق ذكره فهو ما يطلق عليه الشرط المحلى أى أن مجموع الزوايا حول نقطة يجب أن يساوى ٣٦٠° وبذا يكون هذا الشرط المحلى هو :

(م١ + ف١) + (م٤ + ف٤) = ٣٦٠°

مثال (٢) :

دائرة الميزانية الدقيقة (شكل ٣٢) .

عدد الأرصاد اللازمة = ٣

عدد الأشتراطات = ٥ ــ ٣ = ٢

(وعلى العموم فإنه عند تكوين الأشتراطات لابد من ادخال أو احتواء كل الأرصاد فى مجموعة المعادلات الشرطية وهذا الشرط هام جدا)

مثال (٣) :

حالة سلسلة فردية بسيطة من المثلثات .

شكل (٣٣) يبين سلسلة من مثلثات مرصود فيها جميع زوايا المثلثات ١ ، ٢ ، ... ، ١٥ .

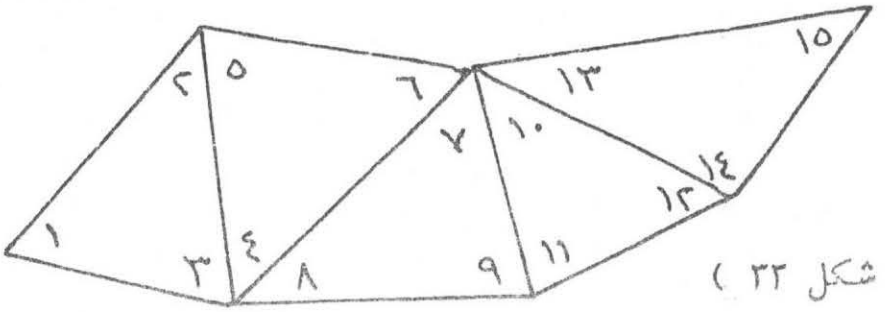
عدد الأرصاد الضرورية = ٢ (٧ ــ ٢) = ١٠

عدد الأشتراطات = ١٥ ــ ١٠ = ٥

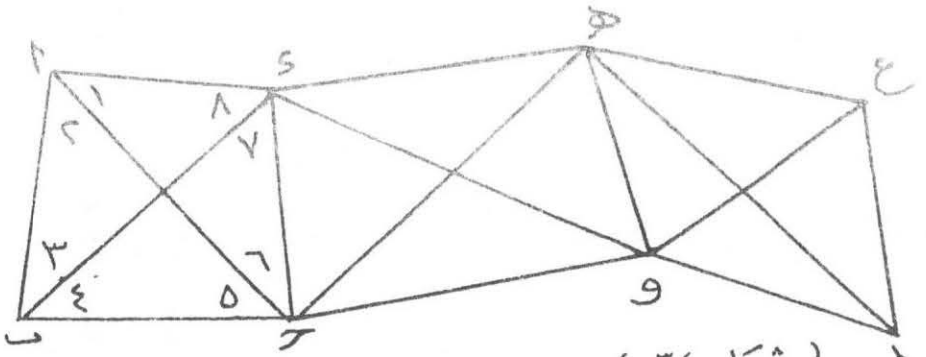
وهى خمسة شروط مثلثية لكل مثلث شرط يمكن كتابتها كما فى المثال (١)

مثال (٤) :

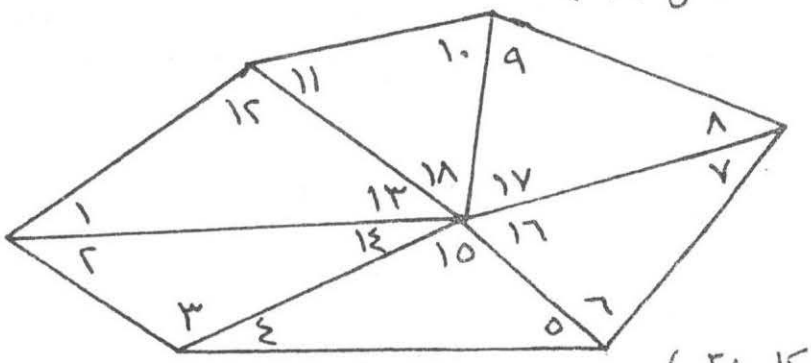
حالة السلسلة المكونة من أشكال رباعية مقاس فى كل شكل زواياه الثمانية (١ ــ ٨) فى شكل (٣٤) .



(شكل ٣٣)



(شكل ٣٤)



(شكل ٣٥)

عدد الأشتراطات = عدد الأشكال الرباعية × عدد الأشتراطات الخاصة بكل شكل رباعى

عدد الأرصاد فى الشكل الرباعى الواحد = ٨

لأرصاد الضرورية للشكل الرباعى الواحد = ٢ (٤ ــ ٢) = ٤

عدد الأشتراطات فى الشكل الرباعى الواحد = ٨ ــ ٤ = ٤

إذا فرض أن عدد الأشكال الرباعية فى السلسلة = ن

عدد الأشتراطات فى السلسلة كلها = ٤ ن

٢ ــ أنواع الاشتراطات الداخلية

عرفنا فيما سبق العدد الكلى للأشتراطات الداخلية ونبين فيما يلى أنواع هذه الأشتراطات .

١ ــ الشرط المحلى : (Local Condition)

ويطلق عليه أيضا شرط قفل الأفق ، وهذا الشرط هو أن مجموع الزوايا الأفقية المرصودة حول أى نقطة يجب أن يساوى ٣٦٠° . وإلا فإن الفرق يصحح بطريقة نظرية أقل مجموع لمربعات التصحيح فى الأعمال الدقيقة أو يوزع الخطأ على الزوايا إما بالتساوى بينها أو حسب أوزانها .

٢ ــ شروط القفل المثلثى :

وهو أن مجموع زوايا كل مثلث فى الشبكة المثلثية بعد تصحيح هذه الزوايا يجب أن يساوى ١٨٠ + الزيادة الكروية . وأحيانا قد يكون الشرط المثلثى فى صورة أن مجموع زوايا شكل رباعى = ٣٦٠° + الزيادة الكرية وأن مجموع زوايا أى مضلع = (٢ ن ــ ٢) + الزيادة الكرية ، حيث ن عدد النقط .

٣ ــ الشرط الضلعى (Side Equation)

ا ــ الشرط الضلعى فى الشكل الرباعى المرصود القطرين :

لشرح الشرط الضلعى نأخذ حالة الشكل الرباعى المقاس زواياه الثمانية : فى

٣ ــ تحديد أنواع الأشتراطات الداخلية

لمعرفة عدد كل نوع من أنواع الأشتراطات العامة الثلاثة تتبع القواعد الآتية :

الأولى ــ نعين نقط الشكل نقطة بنقطة ونوصل كل نقطة عينت بجميع النقط السابق تعيينها .

تنبيهات هامة :

ا ــ يجب عند البدء أن يكون أول خط مرصود الطرفين .

ب ــ أن تكون جميع زوايا الشبكة أما أن تكون مرصودة أو يمكن استنتاج قيمة كل منها

الثانية ــ نحذف الأشعة المارة بتلك النقطة والتى لم ترصد لا من طرف واحد ولا من طرفين .

الثالثة ــ نعين كل نوع من أنواع الأشتراطات بعد الخطوة السابقة كما يلى مع إضافة كل نوع من الأنواع عند النقط المختلفة .

عدد الاشتراطات المثلثية = عدد الاشعة المارة بتلك النقطة ورصدت من طرفيها - 1

عدد الاشتراطات الضلعية = عدد الاشعة المارة بتلك النقطة ورصدت من احد الطرفين او كليهما -2

عدد الاشتراطات المحلية = مجموع الاشتراطات الكلي - مجموع الاشتراطات المثلثية والضلعية

الاشتراطات في شبكات المثلثات

في حالة توافر أرصاد أكثر من العدد الفعلي للقياسات الضرورية لرسم شكل أو شبكة ، فيمكن القول أن هذا الشكل تتوافر به بعض الاشتراطات الهندسية٠ فكمثال فان رسم مثلث يتطلب قياس ٣ كميات فقط (زاويتين وضلع أو ضلعين وزاوية ٠٠٠ الخ) ، فإذا تم قياس الزاوية الثالثة فنقول أن هناك شرط هندسي لابد من تحقيقه (وهذا الشرط أن مجموع زوايا المثلث = ١٨٠^0)٠ وتسمى أرصاد الشبكة في هذه الحالة بالأرصاد الشرطية٠ بينما في حالة أن تكون الأرصاد مساوية للعدد الفعلي للقياسات الضرورية المطلوبة فتسمى بالأرصاد غير الشرطية وهى حالة غير مرغوب فيها في المساحة لعدم توافر الاشتراطات التي تساعد على عمل تحقيق واكتشاف أخطاء الرصد٠

أنواع الاشتراطات

يمكن تقسيم الاشتراطات في شبكات المثلثات إلى نوعين رئيسين وهما الاشتراطات الخارجية والاشتراطات الداخلية٠

الاشتراطات الخارجية ترتبط بربط شبكة المثلثات مع الشبكات المجاورة السابق ضبطها (تصحيحها) وهى:

- شرط طول خط القاعدة: طول خط القاعدة المحسوب من الزوايا المصححة يجب أن يساوى طول خط القاعدة المرصود٠
- شروط الانحراف: انحرافات أضلاع الشبكة المحسوبة من الزوايا المصححة يجب أن تساوى الانحرافات المرصودة ٠
- شروط خطى الطول والعرض: خطوط الطول والعرض المحسوبة لأحد طرفي خط القاعدة يجب أن تساوى خطوط الطول والعرض المرصودة فلكيا لهذا الطرف٠

الاشتراطات الداخلية وهى علاقات هندسية يجب تحقيقها لضمان دقة الإحداثيات المحسوبة لنقط المثلثات٠ وكلما زاد عدد الاشتراطات في الشبكة كلما زاد ضمان صحة الأرصاد ودقة العمل٠ وكما سبق الذكر فأن القاعدة العامة لحساب عدد الاشتراطات (ش) لأي شكل أو شبكة :

ش = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل أو الشبكة

مع ملاحظة أن:

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع أي شكل = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢)

أنواع الاشتراطات الداخلية

١- الشرط المحلي: ويسمى أيضا شرط قفل الأفق وهو أن مجموع الزوايا الأفقية المرصودة حول نقطة يجب أن يساوى ٣٦٠ ^{o} ٠

٢- الشرط المثلثي: وهو أن مجموع زوايا المثلث يجب أن يساوى ١٨٠ ^{o} (للمثلث المستوى)

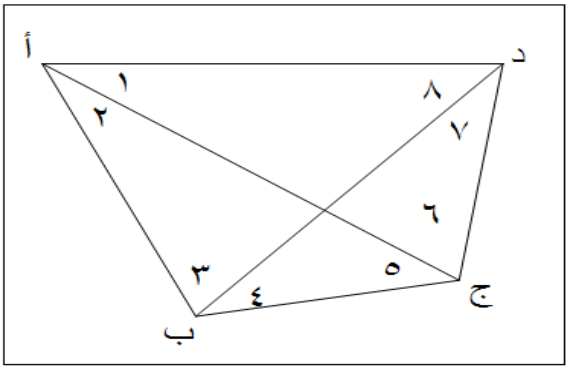
أو أن مجمــوع زوايــا المثلــث يجــب أن يــساوى ١٨٠ ° + ز (للمثلــث الجيوديسي) حيث ز = الزيادة الكرية٠

٣- الشرط الضلعي : لضمان ثبات أطوال الأضلاع المحسوبة بغض النظر عن المسار المتبع بدءا من الضلع المرصود٠ ويجب أولا تصحيح الزوايا المرصودة (أي تحقيق الشروط المحلية والمثلثية) قبل استخدام هذه الزوايا في تحقيق الشرط الضلعي ٠

ويمكن استخدام القوانين التالية لمعرفة عدد كل نوع من الشروط:

عدد الاشتراطات المثلثية = ل – ن ١ عدد
الاشتراطات الضلعية = ع – ٢ ن ٣
حيث:
ن = عدد نقط الشكل
ص = عدد الأرصاد
ل = عدد الأضلاع المرصودة من الاتجاهين
ع = عدد الأضلاع الكلية في الشكل

وتوجد العديد من الطرق لكتابة الشرط الضلعي سنتعرض لأبسطها في مثال الشكل الرباعي مرصود القطرين كما يلي :



الشرط الضلعي للشكل الرباعي

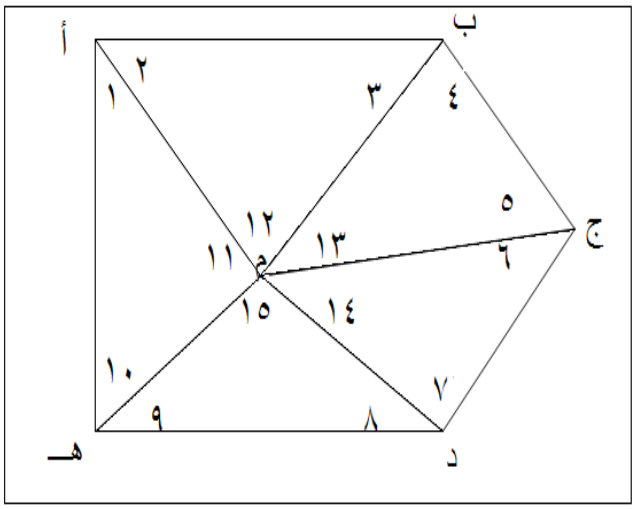
عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل الرباعي = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢) = ٤
عدد الأرصاد الفعلية في الشكل الرباعي = ٨
عدد الاشتراطات = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية = ٨ – ٤ = ٤
عدد الاشتراطات المحلية = صفر (لا يوجد قفل أفق في المثال)
عدد الاشتراطات المثلثية = ٣
عدد الاشتراطات الضلعية = عدد الاشتراطات الكلية – (الاشتراطات المحلية + الاشتراطات المثلثية) = ١

$$\frac{\text{جا (م٤)٠ جا (م٢)٠ جا (م٧+م٨)}}{\text{جا (م٧)٠ جا (م٣+م٤)٠ جا (م١)}} = ١$$

نأخذ لوغاريتم هذه المعادلة فنحصل على الشرط الضلعي المطلوب :

لو جا (م٤)+ لو جا (م٢)+ لو جا (م٧+م٨) = لو جا (م٧)+ لو جا (م٣+م٤)+ لو جا (م١)

مثال آخر لكتابة الشرط الضلعي للشكل المركزي : في الشكل التالي لا توجد أي نقطة تصلح لاختيارها كقطب إلا نقطة المركز م وبإتباع الخطوات السابقة نحصل على الشرط الضلعي الآتي:



الشرط الضلعي للشكل المركزي

لو جا (م١) + لو جا (م٣) + لو جا (م٥) + لو جا (م٧ + لو جا (م٩) =
لو جا (م١٠) + لو جا (م٢) + لو جا (م٤) + لو جا (م٦) + لو جا (م٨)

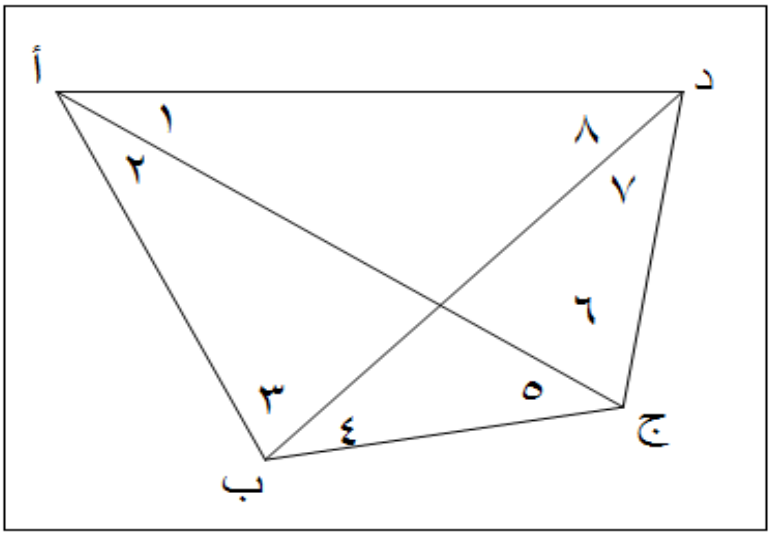
شروط ضبط شبكات المثلثات

من المعروف أن أية قياسات مهما بلغت دقتها تكون بها بعض الأخطاء مهما صغرت قيمتها٠ ولذلك فأن الهدف من إجراء عملية ضبط شبكات المثلثات هو تصحيح الزوايا المرصودة بحيث تحقق كافة الاشتراطات المتوفرة بالشبكة (الاشتراطات المحلية والمثلثية والضلعية)٠ وتوجد العديد من الطرق الرياضية لضبط الشبكات سنتعرض في هذا الباب لإحدى الطرق البسيطة٠

مثال لضبط الشكل الرباعي مرصود القطرين

يعرف الشكل الرباعي ذو القطرين بأنه من أمتن وأقوى الأشكال الهندسية المكونة لشبكات المثلثات وخاصة من الدرجة الأولى ، وفى هذا الشكل نجد أن :

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل الرباعي = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢) = ٤
عدد الأرصاد الفعلية في الشكل الرباعي = ٨
عدد الاشتراطات = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية = ٨ – ٤ = ٤
عدد الاشتراطات المحلية = صفر (إن لم يوجد قفل أفق)
عدد الاشتراطات المثلثية = ٣
عدد الاشتراطات الضلعية = عدد الاشتراطات الكلية – (الاشتراطات المحلية + الاشتراطات المثلثية) = ١



الشكل الرباعي المرصود القطرين

مثال (١) :

مثلث (ا ب حـ) قيست زواياه الثلاث ١ ، ٢ ، ٣

فى شكل (٤١) نفرض أن طول ب حـ معلوم : نعين ب أولا ، وحيث أنه لم يسبق تعيين نقط أخرى فلا توجد أشعة إطلاقاً ونعين حـ ونصلها بنقطة ب (أى أننا نبدأ بخط مرصود طرفيه) .

نعين ا ونصلها بجميع النقط السابق تعيينها أى ب ، حـ فلا يكون هناك حذف

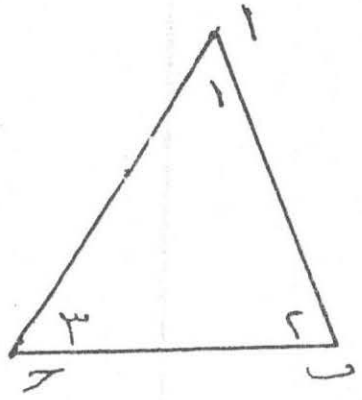
عدد الشروط المثلثية = ٢ ــ ١ = ١

عدد الشروط الضلعية = ٢ ــ ٢ = صفر

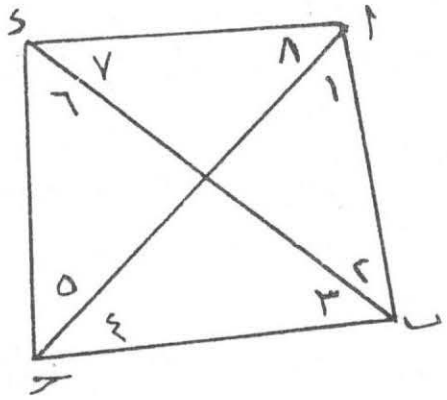
عدد الشروط المحلية = عدد جميع الإشتراطات ــ مجموع عدد الأشتراطات المثلثية والضلعية = ١ ــ (١ + ٠) = صفر

ويمكن وضع النتيجة على الصورة الآتية :

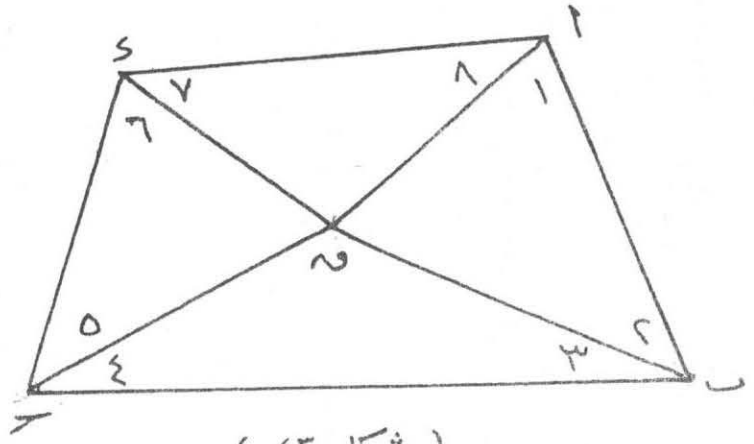
النقطة	المثلثية	الضلعية
ب	صفر	صفر
حـ	صفر	صفر
ا	١	صفر
المجموع	١	صفر



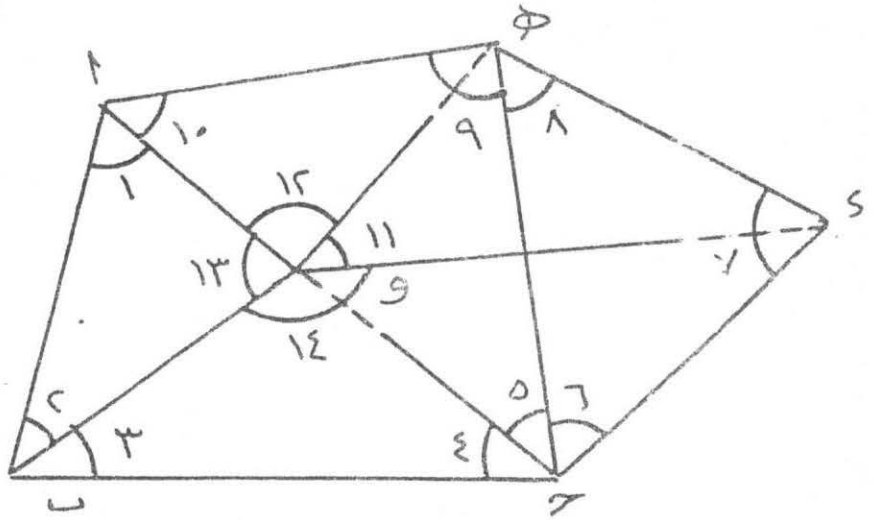
(شكل ٤١)



(شكل ٤٢)



(شكل ٤٣)



(شكل ٤٤)

مثال (٢) : شكل رباعى

شكل (٤٢) يبين شكل رباعى قيست زواياه الثمانية .

النقطة	المثلثية	الضلعية
ا	صفر	صفر
ب	١ ــ ١ = ٠	صفر
حـ	٢ ــ ١ = ١	٢ ــ ٢ = صفر
ء	٣ ــ ١ = ٢	٣ ــ ٢ = ١
المجموع	٣	١

الأشتراطات كلها = ٨ ــ ٢ [٤ ــ ٢] = ٤

الأشتراطات المحلية = ٤ ــ [٣ + ١] = صفر

مثال (٣) : شكل رباعى ذو مركز :

فى شكل (٤٣)

عدد الأشتراطات كلها = ١٢ ــ ٢ (٥ ــ ٢) = ٦

النقطة	المثلثى	الضلعى
ا	صفر	صفر
ب	١ ــ ١ = ٠	صفر
هـ	٢ ــ ١ = ١	صفر
حـ	٢ ــ ١ = ١	صفر
ء	٣ ــ ١ = ٢	٣ ــ ٢ = ١
المجموع	٤	١

عدد الأشتراطات المحلية = ٦ ــ (٤ + ١) = ١

الأشتراطات المثلثية : (أربعة)

(م$_{١}$ + ف$_{١}$) + (م$_{٢}$ + ف$_{٢}$) + (م$_{٩}$ + ف$_{٩}$) = ٥١٨٠ + ن

(م$_{٣}$ + ف$_{٣}$) + (م$_{٤}$ + ف$_{٤}$) + (م$_{١٠}$ + ف$_{١٠}$) = ٥١٨٠ + ن

(م$_{٥}$ + ف$_{٥}$) + (م$_{٦}$ + ف$_{٦}$) + (م$_{١١}$ + ف$_{١١}$) = ٥١٨٠ + ن

(م$_{٧}$ + ف$_{٧}$) + (م$_{٨}$ + ف$_{٨}$) + (م$_{١٢}$ + ف$_{١٢}$) = ٥١٨٠ + ن

الأشتراطات المحلية : (واحد)

(م$_{٩}$ + ف$_{٩}$) + (م$_{١٠}$ + ف$_{١٠}$) + (م$_{١١}$ + ف$_{١١}$)

+ (م$_{١٢}$ + ف$_{١٢}$) = ٥٣٦٠

الشرط الضلعى : (واحد)

لو جا (م$_{٢}$ + ف$_{٢}$) + لو جا (م$_{٤}$ + ف$_{٤}$) + لو جا (م$_{٦}$ + ف$_{٦}$)

+ لو جا (م$_{٨}$ + ف$_{٨}$)

= لو جا (م$_{١}$ + ف$_{١}$) + لو جا (م$_{٣}$ + ف$_{٣}$) + لو جا (م$_{٥}$ + ف$_{٥}$)

+ لو جا (م$_{٧}$ + ف$_{٧}$)

مثال (٤) : شبكة مثلثية

شكل (٤٤) يبين شبكة مثلثات قيست زواياها الأربعة عشر الاتجاهات المبينة بخطوط متقطعة لم ترصد .

عدد الأرصاد اللازمة = ٢ (٦ ــ ٢)

= ٨

عدد الأشتراطات كلها = ١٤ ــ ٨ = ٦

النقطة	مثلثية	ضلعية
ا	صفر	صفر
ب	صفر	صفر
و	٢ ــ ١ = ١	٢ ــ ٢ = صفر
هـ	١ ــ ١ = صفر	٢ ــ ٢ = صفر
حـ	٢ ــ ١ = ١	٣ ــ ٢ = ١
ء	٢ ــ ١ = ١	٣ ــ ٢ = ١
المجموع	٣	٢

الأشتراطات المحلية = ٦ ــ ٥ = ١

وهذا الشرط قفل الأفق حول و .

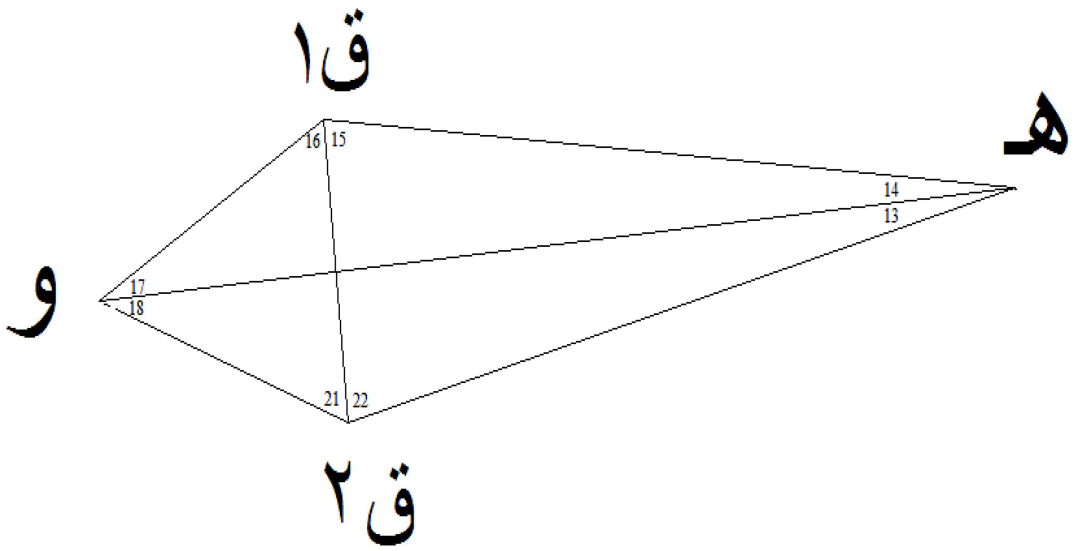
ملحوظة هامة :

١ ــ يجب أن تكون جميع الزوايا مرصودة أو يمكن استنتاجها وإلا فإن الشبكة تكون غير صالحة .

٢ ــ أن نبدأ بضلع مرصود الطرفين إذا أننا لو بدأنا بضلع مرصود بين طرف واحد فالنتيجة خاطئة .

مثال

شبكة مثلثات سداسى ذو مركز متداخل به رباعى مرصود القطرين مع شكل رباعى خط القاعدة



كروكى رباعى خط القاعدة

تصحيح زوايا الشكل الرباعي مرصود القطرين الخاص بخط القاعده

التصحيح إلي (٣٦٠)

الزاوية		القيمة الأكثر احتمالا			التصحيح	قيمة الزاوية بعد التصحيح		
١٣	ق٢ هـ و	٥٩	٣	١٠	+٢	١	٤	١٠
١٤	و هـ ق١	٥٥	٩	١٠	+٢	٥٧	٩	١٠
١٥	هـ ق١ ق٢	٣٦	٥٢	٧٩	–	٣٦	٥٢	٧٩
١٦	ق٢ ق١ و	٣٢	٤٢	٦٢	+١	٣٣	٤٢	٦٢
١٧	ق١ و هـ	٥٣	١٤	٢٧	+٢	٥٥	١٤	٢٧
١٨	هـ و ق٢	٣٧	١	٢٧	+٢	٣٩	١	٢٧
٢١	و ق٢ ق١	٤٨	٠٠	٦٣	–	٤٨	٠٠	٦٣
٢٢	ق١ ق٢ هـ	٣١	٥٣	٧٩	–	٣١	٥٣	٧٩
المجموع		٥١	٥٩	٣٥٩	+٩	٠٠	٠٠	٣٦٠

تصحيح الشرط المثلثي الخاص بخط القاعدة

م	الزاوية	الزاوية بعد التصحيح إلى ٣٦٠	أزواج الزوايا المتقابلة	الفرق	التصحيح	الزاوية بعد تصحيح الشرط المثلثي
١٨	هـ و ق٢	٣٩ ١ ٢٧	٢٧ ٢ ٩٠		٢	٤١ ١ ٢٧
٢١	و ق٢ ق١	٤٨ ٠٠ ٦٣		٦-	١	٤٩ ٠٠ ٦٣
١٤	و هـ ق١	٥٧ ٩ ١٠	٣٣ ٢ ٩٠		----	٥٧ ٩ ١٠
١٥	هـ ق١ ق٢	٣٦ ٥٢ ٧٩			٣-	٣٣ ٥٢ ٧٩
١٦	ق٢ ق١ و	٣٣ ٤٢ ٦٢	٢٨ ٥٧ ٨٩		----	٣٣ ٤٢ ٦٢
١٧	ق١ و هـ	٥٥ ١٤ ٢٧		٤-	٢	٥٧ ١٤ ٢٧
١٣	ق٢ هـ و	١ ٤ ١٠	٣٢ ٥٧ ٨٩		----	١ ٤ ١٠
٢٢	ق١ ق٢ و	٣١ ٥٣ ٧٩			٢-	٢٩ ٥٣ ٧٩

تصحيح الشرط الضلعي للشكل الرباعى مرصود القطرين الخاص بخط القاعده

الطريقة الأولى:

الزاوية		الزاوية بعد تصحيح الشرط المثلثى	لو جا الزاوية + ١٠	لو جا ١	التصحيح	لو جا الزاوية بعد التصحيح	الزاوية بعد تصحيح الشرط الضلعي
١٤	و هـ ق١	٥٧ ٩ ١٠	٩,٢٤٦٧٣٩٣٢٧	١٠*١,١٧٤١٩٩٠٦٩ $^{-٥}$	١٠*٧,٧٩٢٦٩٠٠٧٩ $^{-٥}$	٩,٢٤٦٨١٧٢٥٤	١٠ ١٠ ٣,٦٤
١٦	ق٢ ق١ و	٣٣ ٤٢ ٦٢	٩,٩٤٨٧٥٠٥٨٦	١٠*١,٠٨٦٣٠٦٤٠١ $^{-٦}$	١٠*٧,٢٠٩٣٨١٥٥٩ $^{-٦}$	٩,٩٤٨٧٥٧٧٩٥	٦٢ ٤٢ ٣٩,٦٤
١٨	هـ و ق٢	٤١ ١ ٢٧	٩,٦٥٧٤٦٣٨٧٦	١٠*٤,١٢٧٢٩١٧١٢ $^{-٦}$	١٠*٢,٧٣٩١١٨٦٠٧ $^{-٥}$	٩,٦٥٧٤٩١٢٦٧	٢٧ ١ ٤٧,٦٤
٢٢	ق١ ق٢ هـ	٢٩ ٥٣ ٧٩	٩,٩٩٣٢٠٥٤٩٢	١٠*٣,٧٥٣٧١٢٩٥ $^{-٧}$	١٠*٢,٤٩١١٨٩٣٠٨ $^{-٦}$	٩,٩٩٣٢٠٧٩٨٣	٧٩ ٥٣ ٣٥,٦٤
مج			٣٨,٨٤٦١٥٩٢٨	١٠*١,٧٣٣٠٩٦٠١ $^{-٥}$			
١٣	ق٢ هـ و	١ ٤ ١٠	٩,٢٤٢٥٣٨٢٢١	١٠*١,١٨٥٩٧٧٦٦٩١ $^{-٥}$	١٠*٧,٨٧٠٨٦٦٠٠٨٨ $^{-٥}$	٩,٢٤٢٤٥٩٥١٢	١٠ ٣ ٥٤,٣٦
١٥	هـ ق١ ق٢	٣٣ ٥٢ ٧٩	٩,٩٩٣١٨٤٤٥٤	١٠*٣,٧٥٩٦١١٣٢١ $^{-٧}$	١٠*٢,٤٩٥١٠٣٨٢٢ $^{-٦}$	٩,٩٩٣١٨١٩٥٩	٧٩ ٥٢ ٢٦,٣٦
١٧	ق١ و هـ	٥٧ ١٤ ٢٧	٩,٦٦٠٧٣٣٦٣٨	١٠*٤,٠٨٨٢٣٩٦١٢ $^{-٦}$	١٠*٢,٧١٣٢٠١٢٨٨ $^{-٥}$	٩,٦٦٠٧٠٦٥٠٦	٢٧ ١٤ ٥٠,٣٦
٢١	و ق٢ ق١	٤٩ ٠٠ ٦٣	٩,٩٤٩٩٣٣٤٣٧	١٠*١,٠٧٢١٧٩١٥٥ $^{-٦}$	١٠*٧,١١٥٦٢٤٦٧١ $^{-٦}$	٩,٩٤٩٩٢٦٣٢١	٦٣ ٠٠ ٤٢,٦٣
مج			٣٨,٨٤٦٣٨٩٧٥	١٠*١,٧٣٩٦١٥٦٨١ $^{-٥}$			
الفرق			١٠*٢,٣٠٤٧ $^{-٤}$				٠٠ ٠٠ ٣٦٠
المجموع				١٠*٣,٤٧٢٧١١٦٩١ $^{-٥}$			

الطريقة الثانية:

الزاوية		الزاوية بعد تصحيح الشرط المثلثى	لو جا الزاوية	ظتا الزاوية	معامل التصحيح	الزاوية بعد تصحيح الشرط الضلعي
١٤	و هـ ق١	٥٧ ٩ ١٠	٠,٧٥٣٢٦٠٦٧٢٨ -	٥,٥٧٦٨٥٤٥٠٤		٣,٦٤ ١٠ ١٠
١٦	ق٢ ق١ و	٣٣ ٤٢ ٦٢	٠,٠٥١٢٤٩٤١٣٥٢ -	٠,٥١٥٩٣٥٨٩٥		٣٩,٦٤ ٤٢ ٦٢
١٨	هـ و ق٢	٤١ ١ ٢٧	٠,٣٤٢٥٣٦١٢٣٩ -	١,٩٦٠٢٣٧٠٢٥	٦,٦٤	٤٧,٦٤ ١ ٢٧
٢٢	ق١ ق٢ هـ	٢٩ ٥٣ ٧٩	٠,٠٠٦٧٩٤٥٠٨ -	٠,١٧٨٢٨٢١٩٥٢		٣٥,٦٤ ٥٣ ٧٩
مج		٤٠ ٤٧ ١٧٩	١,١٥٣٨٤٠٧١٨ -	٨,٢٣١٣٠٠٦١٩		
١٣	ق٢ هـ و	١ ٤ ١٠	٠,٧٥٧٤٦١٧٧٨٧ -	٥,٦٣٢٧٨٨٦٧٨		٥٤,٣٦ ٣ ١٠
١٥	هـ ق١ ق٢	٣٣ ٥٢ ٧٩	٠,٠٠٦٨١٥٥٤٥ -	٠,١٨٨٥٦٢٣٣٣٨		٢٦,٣٦ ٥٢ ٧٩
١٧	ق١ و هـ	٥٧ ١٤ ٢٧	٠,٣٣٩٢٦٦٣٦١٩ -	١,٩٤١٦٨٩٣٥٦	٦,٦٤ -	٥٠,٣٦ ١٤ ٢٧
٢١	و ق٢ ق١	٤٩ ٠٠ ٦٣	٠,٠٥٠٠٦٦٦٥٣٤ -	٠,٥٠٩٢٢٦٢٥٢٩		٤٢,٦٣ ٠٠ ٦٣
مجموع		٢٠ ١٢ ١٨٠	١,١٥٣٦١٠٢٤٩ -	٨,٢٧٢٢٦٦٦٢١		٠٠ ٠٠ ٣٦٠
		٠٠ ٠٠ ٣٦٠		١٦,٥٠٣٥٦٧٢٤		

تصحيح الشرط الضلعى

تتم عملية التصحيح للشرط الضلعى كالآتى :

فى الطريقة الأولى :

(مجموع لو جا الزوايا الفردية – مجموع لو جا الزوايا الزوجية) * (لو جا ١″)

قيمة التصحيح = ———————————————————

مجموع لو جا ١″ للزوايا (الفردية + الزوجية)

فى الطريقة الثانية:

١- يتم تعيين λ مجموع لو جا الزوايا الفردية – مجموع لو جا الزوايا الزوجية

$= ٢,٣٠٤٢٤ * ١٠^{-٤}$

٢- يتم تعيين δ = مجموع ظتا الزاوية * (٢.١ * $١٠^{-٦}$)

= ١٦,٥٠٣٥٦٧٢٤ * (٢.١ * $١٠^{-٦}$)

٣- معامل التصحيح (K) = مجموع لو جا الزوايا الفردية – مجموع لو جا الزوايا الزوجية / مجموع ظتا الزاوية * (٢.١ * $١٠^{-٦}$)

معامل التصحيح (K) = $٢,٣٠٤٢٤ * ١٠^{-٤}$ / ١٦,٥٠٣٥٦٧٢٤ * (٢.١ * $١٠^{-٦}$) = ٦,٦٤

مثال لأرصاد الشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	قيمتها
١	٥٧ ° ٤٢ ' ٣٠ "
٢	٢٧ ٥١ ٤٩
٣	٤١ ٥٨ ٣٢
٤	٥٧ ٤٢ ٣٤
٥	٥٢ ٢٧ ٠٧
٦	٤١ ٥٨ ٤١
٧	٢٧ ٥١ ٣٣
٨	٥٢ ٢٧ ٠٦
المجموع	٣٥٩ ٥٩ ٥٢

الشرط المثلثي الأول: مجموع الزوايا الثمانية = ٣٦٠ °

الخطأ = ٥٢ ٥٩ ٣٥٩ ــ ٣٦٠ = + ٨"

الشرط المثلثي الثاني : أي زاويتين متقابلتين بالرأس متساويتين

١ + ٨ = ٤ + ٥

١ + ٨ = ٣٦" ٠٩ ' ١١٠ °

٤ + ٥ = ٤١" ٠٩ ' ١١٠ °

الخطأ = ٥"

التصحيح لكل زاوية = ٥" / ٤ = ٢٥ر١" (للسهولة سنأخذ التصحيح = ١" على أن تصحح زاوية واحدة بمقدار ٢" لكي يكون مجموع تصحيحات الزوايا الأربع = ٥"). ويكون التصحيح بالجمع للزاويتين ١ ، ٨ وبالطرح للزاويتين ٤ ، ٥ . ويجب استخدام الزوايا التي سبق تصحيحها للشرط المثلثي الأول ولا نستخدم الزوايا المرصودة.

الشرط المثلثي الثالث : أي زاويتين متقابلتين بالرأس متساويتين

٢ + ٣ = ٦ + ٧

٢ + ٣ = ٢١ ٥٠ ٦٩ °

٦ + ٧ = ١٤ ٥٠ ٦٩ °

الخطأ = ٧"

التصحيح لكل زاوية = ٧" / ٤ = ٧٥ر١" (للسهولة سنأخذ التصحيح = ٢" على أن تصحح زاوية واحدة بمقدار ١" لكي يكون مجموع تصحيحات الزوايا الأربع = ٧"). ويكون التصحيح بالطرح للزاويتين ٢ ، ٣ وبالجمع للزاويتين ٦ ، ٧ .

جدول تصحيح الشروط المثلثية للشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	المرصودة	مجموع الزاويتين المتقابلتين بالرأس	الفرق	ضبط الفرق	ضبط ٣٦٠	الضبط الكلي	الزاوية نصف المصححة
١	٣٠ " ٤٢ ′٥٥٧			"١+	"١+	"٢+	٣٢ " ٤٢ ′٥٥٧
٨	٥٢ ٢٧ ٠٦	٣٦ " ٠٩ ′١١٠ ° ٥	"٥	"٢+	"١+	"٣+	٥٢ ٢٧ ٠٩
٤	٥٧ ٤٢ ٣٤			"١-	"١+	-	٥٧ ٤٢ ٣٤
٥	٥٢ ٢٧ ٠٧	٤١ ٠٩ ١١٠		"١-	"١+	-	٥٢ ٢٧ ٠٧
٢	٢٧ ٥١ ٤٩			"١-	-	"١-	٢٧ ٥١ ٤٨
٣	٤١ ٥٨ ٣٢	٢١ ٥٠ ٦٩	"٧	"٢-	"١+	"١-	٤١ ٥٨ ٣١
٦	٤١ ٥٨ ٤١			"٢+	"١+	"٣+	٤١ ٥٨ ٤٤
٧	٢٧ ٥١ ٣٣	١٤ ٥٠ ٦٩		"٢+	-	"٢+	٢٧ ٥١ ٣٥
		"٥٢ ٥٩ ′٣٥٩ ° ٥		"٢+	"٦+	"٨+	"٠٠ ′٠٠ ٣٦٠ ° ٥

<u>الشرط الضلعي :</u> يمكن اعتبار نقطة تقاطع القطرين كأنها قطب للشكل (افتراضيا مع أنها غير محتلة) لسهولة تكوين معادلة الشرط الضلعي :

لو جا٨ + لو جا ٢ + لو جا ٤ + لو جا ٦ = لو جا ١ + لو جا ٣ + لو جا ٥ + لو جا ٧

وتكون الخطوات كالتالي:

١- نحسب قيمة لو جا الزوايا الفردية (ل ١) ، لو جا الزوايا الزوجية (ل ٢)
٢- نحسب الفرق (ل١ – ل٢)
٣- نحسب مجموع لو جا ١ " لجميع الزوايا (مج)
٤- معامل التصحيح = (ل١ – ل ٢) / (مج)
٥- نضيف معامل التصحيح للزوايا التي كان لها (لو جا) هو الأصغر ونطرح معامل التصحيح من الزوايا التي كان لها (لو جا) هو الأكبر ٠ ويلاحظ أن في حالة كون معامل التصحيح أقل من ١" فيمكن اعتباره ١" لتسهيل الحسابات٠

جدول تصحيح الشرط الضلعي للشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	نصف المصححة	لو جا الزاوية + ١٠	فرق لو جا ١" × ١٠ $^{-٦}$	ضبط الفرق	الزاوية المصححة
٨	٥٢ ٢٧ ٠٩	٩,٨٩٩١٩٠١٤٦	١٦,٢	١- "	٥٢ ٢٧ ٠٨
٢	٥٧ ٤٢ ٣٤	٩,٩٢٧٠٣٦٥٠٧	١٣,٣	١- "	٥٧ ٤٢ ٣٣
٤	٢٧ ٥١ ٤٨	٩,٦٦٩٦٥٥٣٩٥	٣٩,٨	١- "	٢٧ ٥١ ٤٧
٦	٤١ ٥٨ ٤٤	٩,٨٢٥٣٣٣١١	٢٣,٤	١- "	٤١ ٥٨ ٤٣

		ل١=٣٩,٣٢١٢١٥١٦			
١	٥٧ ٤٢ ٣٢	٩,٩٢٧٠٣٣٨٤٦	١٣,٣	١+ "	٥٧ ٤٢ ٣٣
٣	٤١ ٥٨ ٣١	٩,٨٢٥٣٠٢٦٨٦	٢٣,٤	١+ "	٤١ ٥٨ ٣٢
٥	٥٢ ٢٧ ٠٧	٩,٨٩٩١٨٦٩٠٩	١٦,٢	١+ "	٥٢ ٢٧ ٠٨
٧	٢٧ ٥١ ٣٥	٩,٦٦٩٦٠٣٦١٥	٣٩,٨	١+ "	٢٧ ٥١ ٣٦
		ل٢=٣٩,٣٢١١٢٧٠٦			
		(ل١ – ل٢) = ٨٨,١ × ١٠ $^{-٦}$		مج = ١٨٥,٤ × ١٠ $^{-٦}$	
معامل التصحيح = ٨٨,١ / ١٨٥,٤ = ٠,٤٧ " ≈ ١"					

متانة شبكات المثلثات

تعتمد حسابات شبكات المثلثات (في صورتها البسيطة) على استخدام القانون الرياضي لجيوب الزوايا حيث تبدأ الحسابات من خط القاعدة المقاس مع استخدام الزوايا الأفقية المرصودة ٠

ويدل هذا على أن قيمة الزوايا تؤثر على أطوال الأضلاع المحسوبة وبالتالي على الإحداثيات المستنتجة لنقاط الشبكة٠ ويقصد بمتانة الشبكة عدم تأثر دقة الأطوال المحسوبة نتيجة استخدام قاعدة الجيوب أو على الأقل أن يكون هذا التأثير في حدود مسموحا بها٠

للتعبير عن متانة شكل أو شبكة مثلثات يتم حساب قيمة عددية تسمى متانة الشكل أو الشبكة٠ وتعتمد متانة الشبكة على العوامل الآتية:

- دقة الأرصاد (الزوايا وأطوال خطوط القواعد)٠
- قيمة الزوايا (الأفضل أن تتراوح الزوايا بين ٣٠ ^{o} و ١٢٠ ^{o})٠
- عدد الاتجاهات المرصودة٠
- عدد الشروط الهندسية بالشبكة٠
- عدد المثلثات المستخدمة بين قاعدتين٠

في حالة توافر أرصاد أكثر من العدد الفعلي للقياسات الضرورية لرسم شكل أو شبكة ، فيمكن القول أن هذا الشكل تتوافر به بعض الشروط الهندسية٠ فكمثال فان رسم مثلث يتطلب قياس ٣ كميات فقط (زاويتين وضلع أو ضلعين وزاوية ٠٠٠ الخ) ، فإذا توافرت رصده رابعة فنقول أن هناك شرط هندسي لابد من تحقيقه٠ وبذلك تكون القاعدة العامة لحساب عدد الشروط الهندسية (ش) لأي شكل أو شبكة

تجدر الإشارة لوجود جداول خاصة لحساب قيمة ($\delta_{ا}^{2} + \delta_{ا}\delta_{ب} + \delta_{ب}^{2}$) مباشرة:

	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90°
10°	428	359																					
12	359	295	253																				
14	315	253	214	187																			
16	284	225	187	162	143																		
18	262	204	168	143	126	113																	
20	245	189	153	130	113	100	91																
22	232	177	142	119	103	91	81	74															
24	221	167	134	111	95	83	74	67	61														
26	213	160	126	104	89	77	68	61	56	51													
28	206	153	120	99	83	72	63	57	51	47	43												
30	199	148	115	94	79	68	59	53	48	43	40	33											
35	188	137	106	85	71	60	52	46	41	37	33	27	23										
40	179	129	99	79	65	54	47	41	36	32	29	23	19	16									
45	172	124	93	74	60	50	43	37	32	28	25	20	16	13	11								
50	167	119	89	70	57	47	39	34	29	26	23	18	14	11	9	8							
55	162	115	86	67	54	44	37	32	27	24	21	16	12	10	8	7	5						
60	159	112	83	64	51	42	35	30	25	22	19	14	11	9	7	5	4	4					
65	155	109	80	62	49	40	33	28	24	21	18	13	10	7	6	5	4	3	2				
70	152	106	78	60	48	38	32	27	23	19	17	12	9	7	5	4	3	2	1				
75	150	104	76	58	46	37	30	25	21	18	16	11	8	6	4	3	2	2	1	1	1		
80	147	102	74	57	45	36	29	24	20	17	15	10	7	5	4	3	2	1	1	1	0	0	
85	145	100	73	55	43	28	23	19	16	14	10	7	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0	
90	143	98	71	54	42	33	27	22	19	16	13	9	6	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
100	138	95	68	51	40	31	25	21	17	14	12	8	6	4	3	2	1	1	0	0	0		
105	136	93	67	50	39	30	25	20	17	14	12	8	5	4	2	2	1	1	0	0			
110	134	91	65	49	38	30	24	19	16	13	11	7	5	3	2	2	1	1	1				
115	132	89	64	47	29	23	19	15	13	11	7	5	3	2	2	1	1						
120	129	88	62	46	36	28	22	18	15	12	10	7	5	3	2	2	1						
125	127	86	61	45	35	27	22	18	14	12	10	7	5	4	3	2							
130	125	84	59	44	34	26	24	17	14	12	10	7	5	4	3								
135	122	82	58	43	33	26	21	17	14	12	10	7	5	4									
140	119	80	56	42	32	25	20	17	14	12	10	8	6										
145	116	77	55	41	32	25	21	17	15	13	11	9											
150	112	75	54	40	32	26	21	18	16	15	13												
152	111	75	53	40	32	26	22	19	17	16													
154	110	74	53	41	33	27	23	21	19														
156	108	74	54	42	34	28	25	22															
158	107	74	54	43	35	30	27																
160	107	74	56	45	38	33																	
162	107	76	59	48	42																		
164	109	79	63	54																			
166	113	86	71																				
168	122	98																					
170	143																						

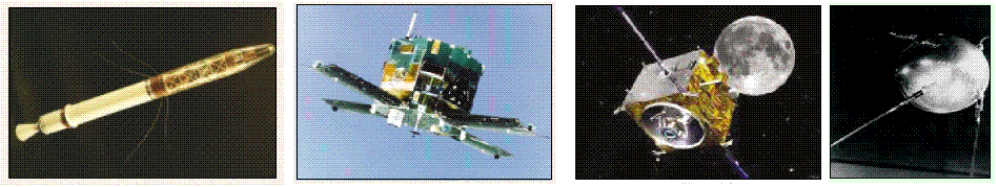
جدول حساب متانة المثلثات

البـــاب الرابـــع

جيوديسيا الأقمار الصناعية

جيوديسيا الأقمار الصناعية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites. يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧م هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤م) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء.



بعض الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلي ثلاثة مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.

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

ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

جيوديسيا الأقمار الصناعية

يهتم فرع جيوديسيا الأقمار الصناعية بطرق الرصد و الحساب التي تسمح بتقديم حلول للمشاكل الجيوديسية من خلال أرصاد (قياسات) دقيقة إلي أو من أو بين الأقمار الصناعية التي تكون غالبا قريبة من سطح الأرض.

من أساسيات جيوديسيا الأقمار الصناعية الإلمام بطبيعة و قوانين حركة الأجسام (الأقمار الصناعية هنا) داخل أو خارج نطاق الجاذبية الأرضية لكوكب الأرض والقوي المؤثرة علي هذه الأقمار في مداراتها وأيضا كيفية تحديد العلاقات الفراغية (المواقع) بين هذه الأقمار الصناعية والمحطات الأرضية (نقاط الثوابت الجيوديسية) في إطار (نظام إحداثيات) مناسب.

تستخدم جيوديسيا الأقمار الصناعية في عدة مجالات أساسية تشمل:

- التحديد الدقيق للإحداثيات ثلاثية الأبعاد بهدف إنشاء نقاط الثوابت الجيوديسية سواء علي المستوي العالمي أو القاري أو الوطني.
- تحديد مجال الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد شكل الأرض الحقيقي (الجيويد) بدقة.
- قياس و نمذجة التغيرات الديناميكية (التغيرات مع مرور الزمن أي رباعية الأبعاد) مثل تحركات القشرة الأرضية وحركة الصفائح التكتونية والتغير في عناصر دوران الأرض.

تطبيقات جيوديسيا الأقمار الصناعية

<u>في الجيوديسيا العالمية:</u>

- تحديد الشكل العام للأرض و مجال جاذبيتها.
- تقدير أبعاد الاليبسويد الممثل للأرض.
- إنشاء إطار مرجعي أرضي عالمي.
- تحديد الجيويد الدقيق كإطار لتمثيل سطح الأرض.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة.
- ربط المراجع الوطنية بالمراجع العالمية.

في شبكات الثوابت الأرضية:

- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الجيوديسية للدول.
- إنشاء الشبكات ثلاثية الأبعاد.
- تحديث وزيادة دقة الشبكات الجيوديسية القائمة.
- ربط الشبكات الجيوديسية بين اليابسة و الجزر.
- تكثيف الشبكات الجيوديسية القائمة.

في الجيوديسيا الديناميكية:

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

في الجيوديسيا التطبيقية:

- الرفع المساحي التفصيلي لمشروعات المساحة و الخرائط و التخطيط الإقليمي و تخطيط المدن و نظم المعلومات الجغرافية.
- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية للمشروعات الهندسية.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية للمساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد.
- تحديد مواقع (إحداثيات) كاميرات التصوير الأرضي و الجوي.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية لمشروعات الزراعة و الغابات والتعدين و الجيولوجيا ... الخ.

في الملاحة:

- الملاحة الدقيقة البرية و البحرية و الجوية.
- تحديد مواقع دقيقة لمشروعات المسح البحري و الهيدروجرافي والجيوفيزياء.
- ربط محطات قياس المد و الجزر (لقياس مستوي سطح البحر)
- توحيد المرجع الجيوديسي الرأسي بين الدول.

في مجالات أخري:

- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيقية مثل المسح المغناطيسي سواء في البر أو البحر.
- متابعة و رصد ذوبان الجليد في القطبين الشمالي و الجنوبي.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية علي اختلاف تطبيقاتها.
- دراسة طبقات الغلاف الجوي.

البـــاب الخامـس

النظام العالمى لتحديد المواقع

مقدمة عن النظام العالمي لتحديد المواقع

مقدمة

النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (أو اختصارا GPS) هو نظام لتحديد المواقع و الملاحة وتحديد الزمن تم تصميمه و يدار بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية. ويقدم هذا النظام العديد من المميزات التي جعلته التقنية الاساسية حول العالم في تجميع البيانات المكانية، وتشمل:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و الرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة (٥.٢ متر في المتوسط) للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تتعدد التطبيقات المدنية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في مجالات متعددة مثل: الملاحة البرية وتحديد مواقع المركبات المتحركة في الشوارع بغرض زيادة كفاءة النقل البري، الملاحة الفضائية و تحديد مواقع المركبات الفضائية الخارجية ، الملاحة الجوية وتحديد مواقع الطائرات أثناء الهبوط و الإقلاع و طوال مسار الرحلات الجوية ، الزراعة ورسم خرائط التربة وإرشاد الجرارات الزراعية أثناء عملها ، الملاحة البحرية وتحديد مواقع السفن طوال مسار الرحلة ، السكك الحديدية والتحديد الدقيق لمواقع القطارات بهدف تحسين مستوي السلامة والأمان و كفاءة التشغيل ، التطبيقات البيئية مثل تحديد مواقع محطات قياس المد و الجزر وربط بياناتها علي المستوي العالمي بغرض مراقبة ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر وكذلك مراقبة حركة التسربات من حاملات البترول و مراقبة و رسم خرائط لمناطق حرائق الغابات ، السلامة العامة و الغوث من الكوارث الطبيعية وخاصة في استخدامات فرق البحث و الإنقاذ للمناطق التي تعرضت لمثل هذه الكوارث وأيضا الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ ، تطبيقات قياس و تزامن الوقت مثل دمج بيانات محطات رصد مواقع الزلازل وكذلك ضبط تزامن أجهزة الكمبيوتر للبنوك العالمية متعددة الفروع وأيضا لشركات توزيع الكهرباء ، بالإضافة لمجال الهندسة المساحية و إنشاء الخرائط.

أيضا تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

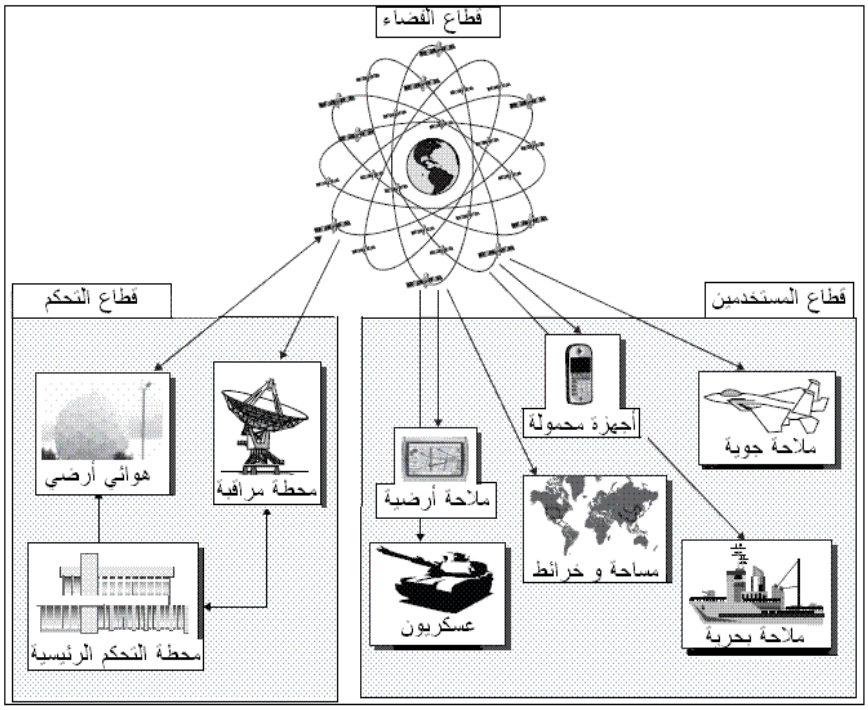
- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس

مكونات نظام الجي بي أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



أقسام الجي بي أس

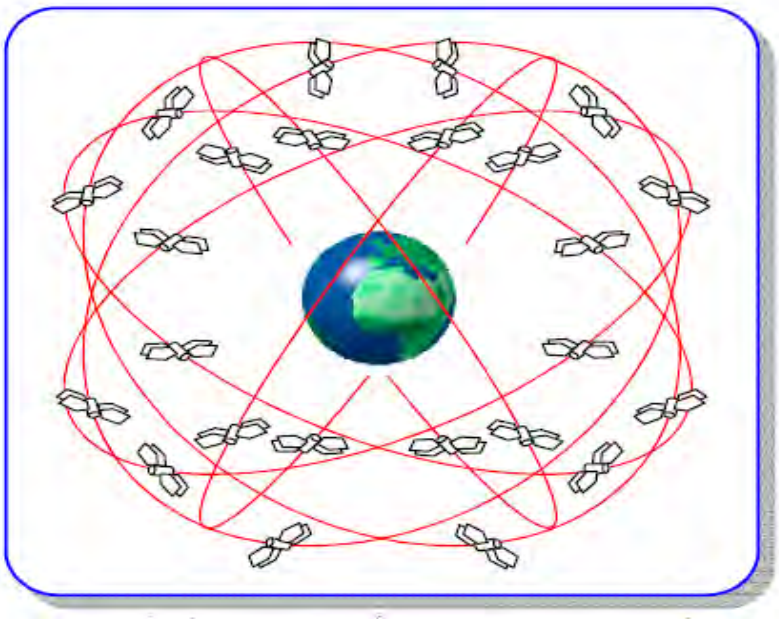
وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية

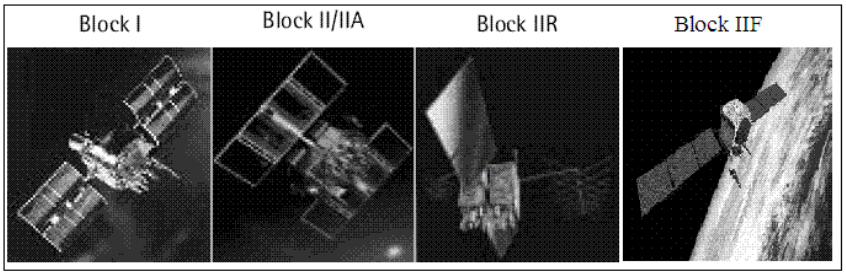
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٣-٣). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل ٣-٤). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن

بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس

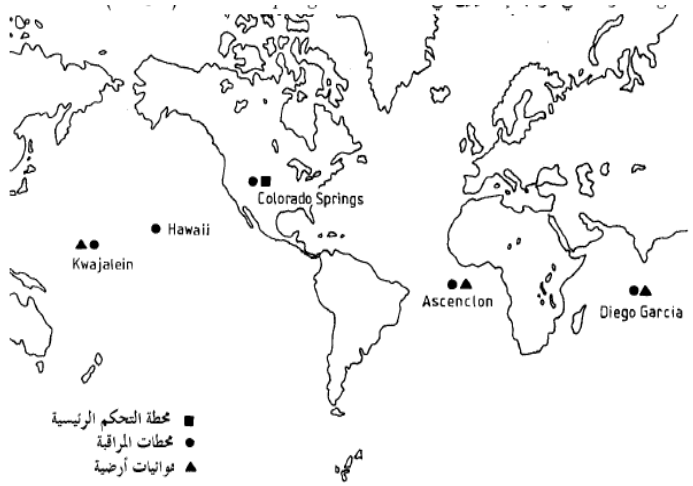


نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم. تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم

الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.



قسم التحكم و السيطرة

<u>قسم المستقبلات الأرضية</u>

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد. بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات.

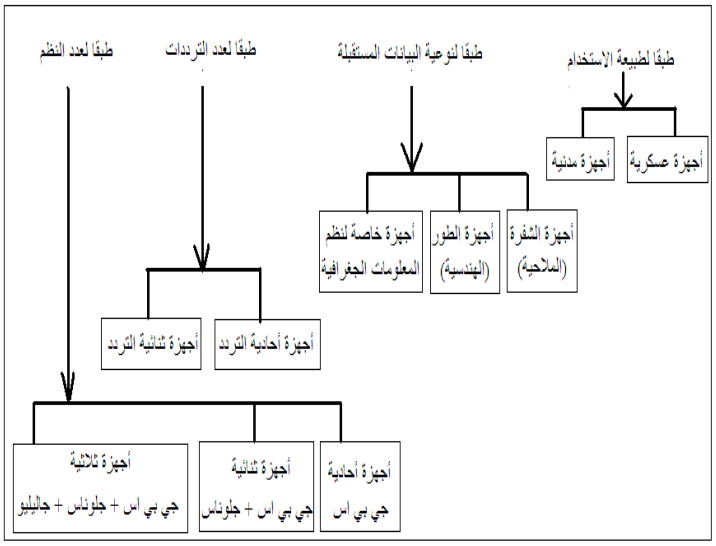
تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل:

أ- <u>طبقا لطبيعة الاستخدام:</u> توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- <u>طبقا لنوعية البيانات المستقبلة:</u> توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers.

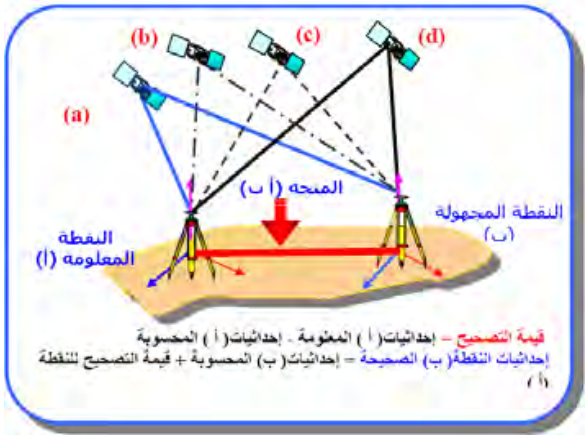
ج- <u>طبقا لعدد الترددات:</u> توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- <u>طبقا لعدد النظم:</u> هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس

بعض أجهزة استقبال الجي بي أس



التحديد النسبي للمواقع

مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس

كأي تقنية بشرية ، توجد عدة مصادر للأخطاء الطبيعية العشوائية Random Errors وأيضا الأخطاء المنتظمة Systematic Errors or Biases تؤثر علي جودة و دقة عمل الجي بي أس. أمكن للعلماء استنباط طرق و نماذج رياضية للتغلب علي هذه الأخطاء أو علي الأقل الوصول بها لأدني حد ممكن حتى يمكن الحصول علي دقة عالية في تحديد المواقع.

من أهم مصادر الأخطاء في نظام الجي بي أس:

أ- الاتاحية المنتقاة
ب- تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي
ت- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي
ث- خطأ ساعة القمر الصناعي
ج- خطأ مدار القمر الصناعي
ح- خطأ ساعة جهاز الاستقبال
خ- خطأ هوائي جهاز الاستقبال
د- خطأ تعدد المسار
ذ- تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية

مصادر أخطاء الجي بي أس

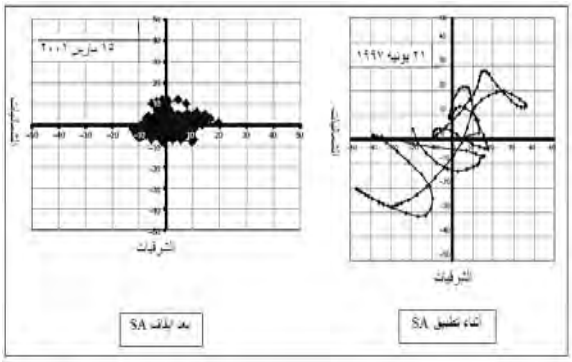
يعرض الجدول التالي أحد التقديرات لتأثير مصادر الأخطاء علي دقة تحديد المواقع أو حساب إحداثيات أجهزة استقبال الجي بي أس

تأثير الأخطاء علي دقة تحديد المواقع
(باستخدام شفرة C/A وعند مستوي ثقة ٩٥%)

نوع مصدر الخطأ	الخطأ (بالمتر)
طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي	٠.٢
طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي	٧.٠
خطأ ساعة ومدار القمر الصناعي	٢.٣
خطأ جهاز الاستقبال	٠.٦
تعدد المسارات	١.٥
التوزيع الهندسي لمواضع الأقمار الصناعية	١.٥

خطأ الاتاحية المنتقاة:

الاتاحية المنتقاة Selective Availability أو اختصارا SA هو خطأ متعمد حيث تضيف وزارة الدفاع الأمريكية قيمة معينة من الخطأ لتقليل الدقة التي يمكن للمستخدم أن يحسب إحداثياته اللحظية Real-Time. كان الهدف الرئيسي وراء فرض هذا الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية هو منع التطبيقات العسكرية (التي تتطلب الحصول علي الإحداثيات لحظيا) للجيوش المعادية للولايات المتحدة من التمتع بمميزات دقة الجي بي أس ، ولم يكن هذا الخطأ يؤثر كثيرا علي التطبيقات المدنية – بصفة عامة – حيث طور العلماء عدة طرق رياضية لتقدير هذا الخطأ ومعالجته في مرحلة الحسابات المكتبية بعد انتهاء العمل الحقلي. أثناء فرض خطأ SA كانت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٠٠ متر والدقة الأفقية تبلغ ±٣٠٠ متر. وفي ١ مايو ٢٠٠٠ وبعد دراسات مكثفة قامت الحكومة الأمريكية بإيقاف العمل بهذا المصدر من مصادر الأخطاء لتجعل إشارات الأقمار الصناعية في حالتها الطبيعية. ومنذ ذلك الحين فقد أصبحت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٣ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٣٦ متر في أسوأ الحالات و المواقع ، بينما صارت الدقة الرأسية ±٢٢ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٧٧ متر في أسوأ الحالات و المواقع.



دقة تحديد المواقع قبل و بعد خطأ SA

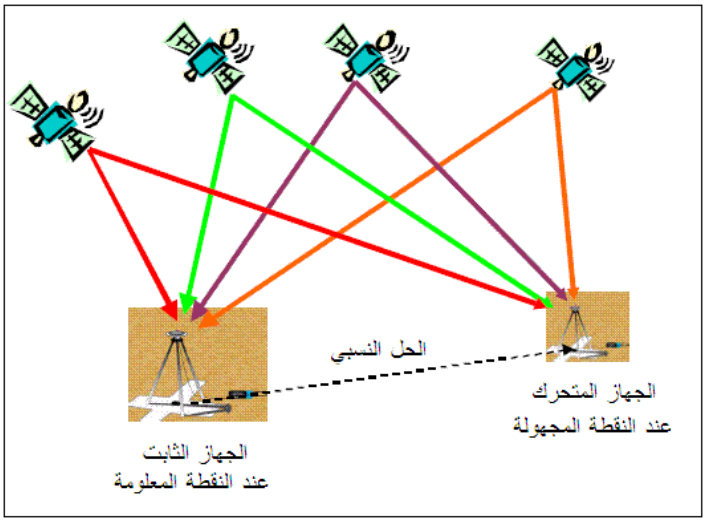
طرق الرصد في الجي بي أس

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

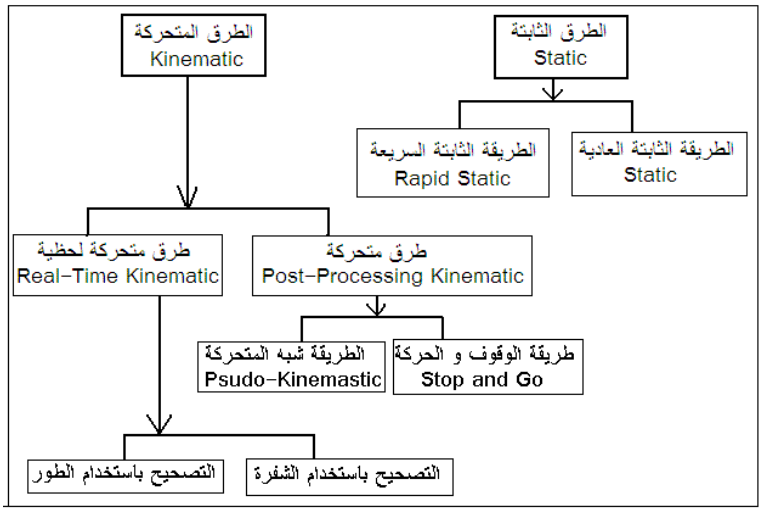
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين: الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي.



مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس



طرق رصد الجي بي أس

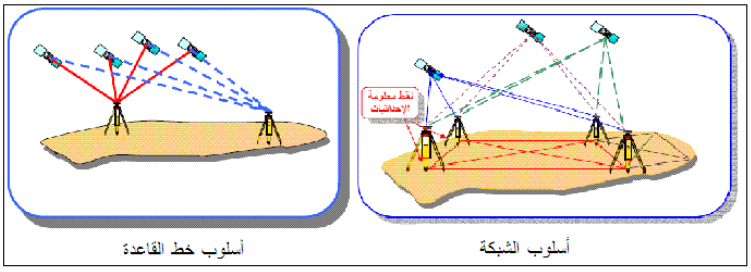
طرق الرصد الثابتة

تعد طرق الرصد الثابتة static أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي الملليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

طريقة الرصد الثابت التقليدي

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة. اذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة.



أساليب الرصد الثابت التقليدي

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة.

مقارنة بين طرق الرصد المختلفة

الطريقة	الاحتياجات	التطبيقات	الدقة
الرصد الثابت التقليدي	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد من ٣٠ دقيقة إلي ساعة علي الأقل.	المساحة الجيوديسية عالية الدقة.	ملليمترات.
الرصد الثابت السريع	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد ٥-٢٠ دقيقة.	المساحة الأرضية والمساحة الجيوديسية متوسطة الدقة.	ملليمترات إلي سنتيمترات.
الذهاب و التوقف	- أجهزة استقبال أحادية. - فترة رصد ١-٢ دقيقة. - نحتاج فترة إعداد في بداية الرصد.	المساحة الأرضية متوسطة الدقة.	عدة سنتيمترات.
شبه التحرك	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية.	المساحة الأرضية والرفع المساحي.	عدة سنتيمترات.
التحرك اللحظي	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية. - وحدة راديو لاسلكية. - المسافات لا تزيد عن ١٠ كيلومتر.	- التوقيع المساحي. - الرفع المساحي و الهيدروجرافي. - إنشاء ثوابت لضبط الصور الجوية. - المساحة الطبوغرافية والخرائط الكنتورية.	عدة سنتيمترات.

مقارنة بين زمن الرصد و دقة طرق الرصد المختلفة

الطريقة	زمن الرصد	الدقة
الرصد الثابت التقليدي	باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة. باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة ، ويزيد الزمن بزيادة المسافة بين الجهاز الثابت و المتحرك.	١ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون. ٠.٥ سنتيمتر + ١ جزء من المليون.
الرصد الثابت السريع	٨-٢٠ دقيقة طبقا لعدد الاقمار المرصودة.	قريبة من دقة الرصد الثابت التقليدي.
الذهاب و التوقف	٥-٣٠ ثانية	٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.
شبه التحرك	٠.٥ ــ ٥ ثانية	٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.
التحرك اللحظي	٥-٣٠ ثانية تبعا لحاجة العمل.	٢ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.

البـــاب السادس

العمل المساحى بالجى بى اس

العمل المساحي بالجي بي أس

مقدمة:

تتعدد أساليب تنفيذ الأعمال المساحية و الجيوديسية باستخدام الجي بي أس بصورة كبيرة بتعدد طرق الرصد و أنواع الأجهزة و برامج الحسابات ، مما يصعب معه إعداد تصور كامل و دقيق لخطوات تنفيذ أي مشروع مساحي بالجي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها – بصورة أو بآخري – في أي عمل مساحي بالجي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط ، وهذا هو موضوع هذا الفصل.

التخطيط والتصميم

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقا علي الدقة المستهدف الوصول إليها و أيضا تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولا تحديد عدة عوامل تشمل [١ و ٢]:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقيا و رأسيا.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلي.

اهداف المشروع و الدقة المطلوبة:

تختلف عوامل التخطيط والتصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته(انشاء شبكات ثوابت ارضية لمنطقة صغيرة ام لمنطقة شاسعة. الرفع التفصيلى او الطبوغرافى بهدف انشاء الخرائط . تجميع يبانات مكانية لنظم المعلومات الجغرافية..... الخ) لكل مشروع مواصفات وخاصة تحديد الدقة المطلوبة تختلف باختلاف طبيعة المشروع والهدف منه كما موضح بالجداول

الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجي بي أس

التطبيق	الدقة النسبية المطلوبة	الدقة المتوقعة (متر)
الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية	١×١٠^{-٤}	من ١ إلي ٥
الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات	١×١٠^{-٥}	من ٠.٢ إلي ١
الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري	من ٥ إلي ١×١٠^{-٦}	من ٠.٠١ إلي ٠.٢
الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة	من ٥×١٠^{-٧} إلي ١×١٠^{-٦}	أقل من ٠.٠١ إلي ٠.٠٥
الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا	١×١٠^{-٧}	من ٠.٠٠١ إلي ٠.٠٢

الدقة المطلوبة للجي بي أس في المشروعات المدنية

نوع المشروع	مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية (مم)	الدقة الرأسية (مم)
مخططات مشروعات إنشائية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
مخططات الخدمات السطحية و تحت السطحية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
رسومات إنشائية و تصميم مباني	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات رصف الطرق	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات الحفر	١ : ٥٠٠	٢٥٠	١٠٠
مخططات عامة لقرية أو حي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
الرفع المساحي للخدمات الموجودة	١ : ١٠٠٠	١٠٠	١٠٠
نظم معلومات جغرافية للمنازل و الخدمات	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لتطبيقات بيئية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لخدمات الطوارئ	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط مراقبة الفيضانات وجريان المياه السطحية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	١٠٠
خرائط تصنيف التربة و الجيولوجيا	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط تصنيف الغطاء الأراضي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
مراقبة هبوط المنشئات	مقياس كبير	١٠	٢

اختيار اجهزة الاستقبال وبرامج الحساب

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجي بي أس. فكمثال توجد بعض أجهزة الاستقبال المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من الممكن أن توفر الدقة المطلوبة لمثل هذه النوعية من التطبيقات (٠.٥ – ٣ متر) لكنها بالطبع لن تكون مناسبة لأعمال الرفع المساحي. أما مواصفات أجهزة الجي بي أس الجيوديسية فتختلف أيضا من شركة لأخرى ويجب اختيار الجهاز الذي يوفر الحد الأدنى من المواصفات التالية:

- أجهزة جيوديسية النوع Geodetic GPS Receivers ذات دقة عالية.
- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- الهوائي مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center في الهوائي.
- هوائي حساس بدرجة عالية ، و سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

أما الأجهزة أحادية التردد (L1) – غالبا توفر دقة سنتيمترات في تحديد المواقع - فيمكن استخدامها في أعمال الرفع المساحي و الطبوغرافي بصفة عامة ولكنها لا تفضل في التطبيقات الجيوديسية مثل إنشاء شبكة الثوابت الأرضية.

اختيار برامج حسابات الأرصاد و برامج الضبط يعد أيضا مؤثر في جودة النتائج المتوقع الحصول عليها. يشترط أن يقدم برنامج الحساب – علي الأقل - الوظائف التالية:

أ- تخطيط ما قبل الرصد.
ب- معالجة القياسات و تنقيحها.
ت- التعامل مع مختلف طرق الرصد (الثابت ، المتحرك ، .... الخ).
ث- التشغيل الآلي للبيانات Auto-processing mode مع إعطاء المستخدم إمكانية تغيير معاملات الحساب إن أراد.
ج- التعامل مع المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية Precise ephemerides وأيضا التصحيحات الدقيقة لخطأ ساعات الأقمار الصناعية Precise satellite clocks.
ح- ضبط الأرصاد لكل فترة رصد session.
خ- ضبط الشبكة بالكامل (سواء الضبط المقيد أو غير المقيد).
د- التحليل الإحصائي للنتائج.
ذ- تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة.

ر- إسقاط الإحداثيات بمختلف نظم إسقاط الخرائط.
ز- توفير الرسوم البيانية لصحة النتائج و الضبط.
س- سهولة الاستخدام.

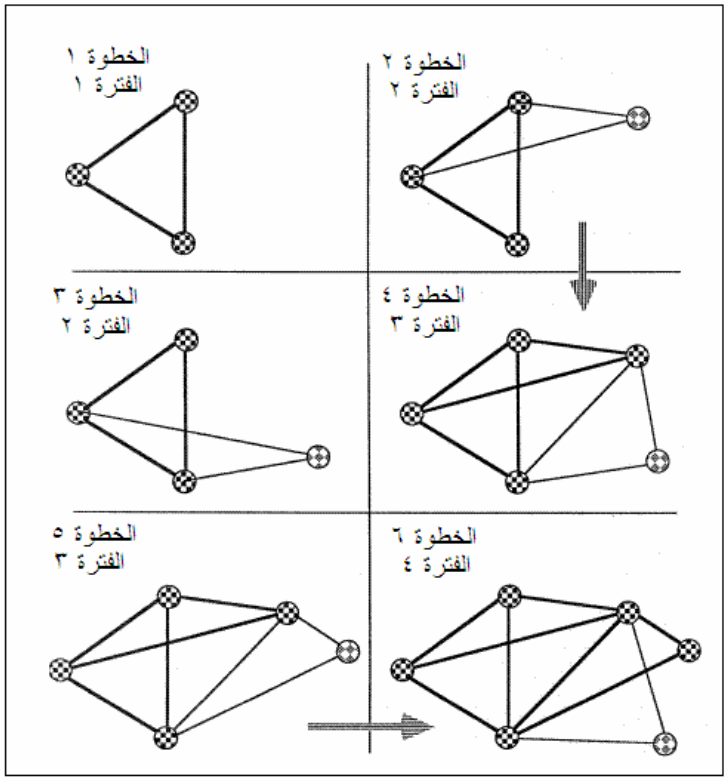
كما أن اختيار الأجهزة و البرامج (في حالة الشراء الجديد) لا بد أن يشمل توافر التدريب الجيد والمتعمق علي استخدام هذه الأجهزة و البرامج في كافة تفاصيل طرق الرصد المتعددة، وأيضا توافر الدعم الفني المستمر من قبل الشركة الموردة.

في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجي بي أس التفاضل DGPS فأن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضا أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدي الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضا عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدي ٣-٥ كيلومترات (أي ستتطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي ٣٠ كيلومتر.

تصميم خطة الرصد

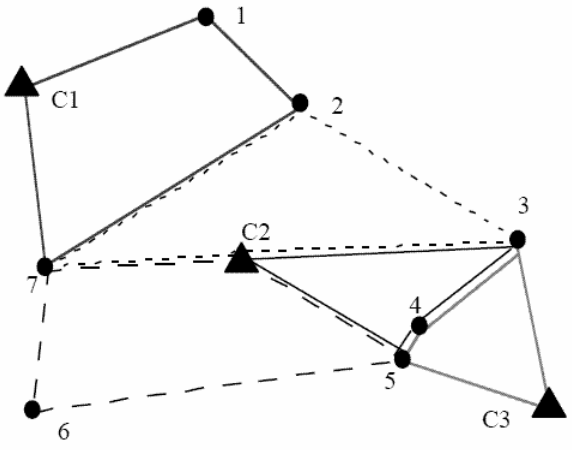
من العوامل المؤثرة علي الزمن المستغرق للعمل الحقلي وضع خطة جيدة لتنقل أجهزة الرصد بين النقاط. مع توافر أجهزة الاتصالات التليفونية المحمولة فقد أصبح تنظيم العمل الحقلي أكثر سهولة و كفاءة ، إلا أن بعض المشروعات من الممكن أن تتم في مناطق خارج حدود تغطية مثل هذه الشبكات الخلوية. وفي هذه الحالات فيجب إعداد تصور كامل وتفصيلي عن كيفية تنظيم مواعيد فترات الرصد sessions وكيفية تنظيم تنقل الأجهزة بين النقاط المختلفة. المثال التالي (شكل ٧-١) يقدم مخططا لكيفية تحريك الأجهزة المتاحة (٣ مستقبلات) لرصد شبكة مكونة من ٦ نقاط أرضية [٥]. تبدأ الخطوة الأولي – في التصميم – باستخدام المستقبلات الثلاثة لرصد النقاط ١ ، ٢ ، ٣. ثم هناك بديلين لإضافة النقطة الرابعة (الخطوة ٢ والخطوة ٣) إلا أن الخطوة ٣ هي الأفضل ، ثم في الخطوة التالية يوجد بديلين أيضا (الخطوة ٤ و الخطوة ٥) لرصد النقطة الخامسة حيث الخطوة ٥ تعد أفضل ، وفي آخر الخطوات يتم رصد النقطة السادسة. كما يقدم الشكل (٧-٢) مثالا آخر لرصد ١٠ نقاط في ٧ فترات رصد مع تحقيق بعض الأرصاد المتكررة لضمان جودة الشبكة [٦].

كما أن عدد الأجهزة المتاحة للاستخدام سيكون عاملا مؤثرا في تكلفة المشروع ، فمع أن أجهزة الرصد الجيوديسية مازالت مرتفعة الثمن (من ١٠ إلي ٢٠ ألف دولار للجهاز الواحد طبقا لمواصفاته و مشتملاته) إلا أن بعض التطبيقات عالية الدقة يجب أن يتوافر بها علي الأقل ٣-٤ أجهزة تعمل آنيا.



مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس

فترة الرصد	أجهزة الاستقبال			
	A	B	C	D
1	C1	1	2	7
2	C2	3	2	7
3	C2	5	6	7
4	C2	5	3	4
5	C3	5	3	4
6	C1	C2	C3	6
7	C1	C2	C3	1



مثال لفترات رصد شبكة جي بي أس مع تكرار بعض رصد الخطوط

تحديد مواقع (ومعرفة إحداثيات) نقاط التحكم المتوفرة في منطقة العمل – أو بالقرب منها – من العوامل الهامة أيضا في التخطيط ما قبل العمل الحقلي. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي أس في الوضع النسبي Relative Positioning (وهو المطبق في الأعمال المساحية وليس الملاحية) تعطي فروق الإحداثيات بين كل نقطتين مرصودتين ، و لحساب الإحداثيات المطلقة لكل نقطة فيجب ربط الشبكة بنقطة واحدة – علي الأقل – من نقاط التحكم Control Points المعلومة الإحداثيات. يتطلب التخطيط و التصميم لمشروع الجي بي أس معرفة مواقع نقاط التحكم المتوفرة وأيضا الحصول علي إحداثيات هذه النقاط التي ستستخدم لاحقا في مرحلة الحسابات و ضبط الشبكات. ومع أن أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة هو نقطة واحدة فقط إلا أنه يفضل وجود أكثر من نقطة تحكم يتم رصدهم مع الشبكة الجديدة للحصول علي ربط جيد للعمل المساحي المستهدف مع المرجع الجيوديسي ونظام الإحداثيات الوطني للدولة. في التطبيقات الجيوديسية – مثل إنشاء شبكات ثوابت أرضية – يشترط وجود أكثر من نقطة تحكم يتم استخدامهم في أثناء العمل الحقلي [٧]. أما في حالة عدم توافر أية نقاط تحكم علي الإطلاق فيوجد طرق حديثة لربط الشبكة منها: (١) حساب الوضع المطلق الدقيق Precise Point Positioning or PPP لأحدي النقاط الجديدة بالشبكة ويكون ناتجا من رصدها لفترة زمنية طويلة أو (٢) استخدام الشبكة العالمية IGS (سنتحدث عنها لاحقا).

تصميم الربط على شبكات التحكم

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب Vertical Control Points مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسيب مقاسة من متوسط سطح البحر MSL. لذلك لا بد من وجود نقطة تحكم رأسية واحدة علي الأقل يتم رصدها في احدي فترات رصد مشروع الجي بي أس الجديد. لكن في معظم التطبيقات المساحية فمن الأفضل توافر أكثر من نقطة - من هذه النوعية – في منطقة العمل لاستخدامهم لاحقا للحصول علي دقة جيدة في عملية تحويل الارتفاعات واستنباط قيم المناسيب.

يعرض الجدول (٧-٣) مثال لمجموعة أخري من المواصفات الجيوديسية فيما يتعلق بنقاط الضبط الأفقية و الرأسية المطلوبة عند إنشاء شبكة ثوابت بالجي بي أس سواء بطريقة الرصد الثابت التقليدية أو الرصد الثابت السريع [٨] ، بينما يعرض الجدول (٧-٤) مجموعة أخري من مواصفات تخطيط و رصد شبكة من الثوابت الأرضية باستخدام الرصد الثابت [٩].

مواصفات نقاط التحكم المطلوبة في إنشاء شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة لربط المشروع الجديد	علي الأقل ٣	علي الأقل ٣
أقصي مسافة بين نقاط التحكم و حدود المشروع	٣٠ ميل	٣٠ ميل
أقل نسبة مئوية لعدد خطوط القواعد متكررة الرصد	٥ %	٥ %
أقل عدد تكرار لاحتلال النقاط	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات

مواصفات الرصد الثابت لا نشاء شبكة جي بي أس

البند	شبكة درجة أولي	شبكة درجة ثانية	شبكة درجة ثالثة
الدقة النسبية المطلوبة (جزء في المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠
الربط علي الشبكة الوطنية	نعم	نعم	اختياري
أقل عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	٣	٢	٢
أنسب عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	أكثر من ٣	٢	٢
مرات تكرار رصد خطوط القواعد لنسبة ١٠% من عدد الخطوط	٢	٢	٢
أقصي عدد لخطوط القواعد في الحلقة الواحدة	١٠	١٠-٢٠	٢٠
أقصي محيط للحلقة الواحدة (كم)	١٠٠	١٠٠-٢٠٠	اختياري
أقصي خطأ قفل الحلقة (جزء من المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠-٢٠٠
عدد مرات قياس ارتفاع الهوائي/الجهاز في النقطة	٢	٢	٢
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أقل من ٢٠ كم	نعم	لا	لا
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أكبر من ٢٠ كم	نعم	نعم	نعم
زاوية القناع Mask Angle أثناء الرصد	١٥°	١٥°	١٥°

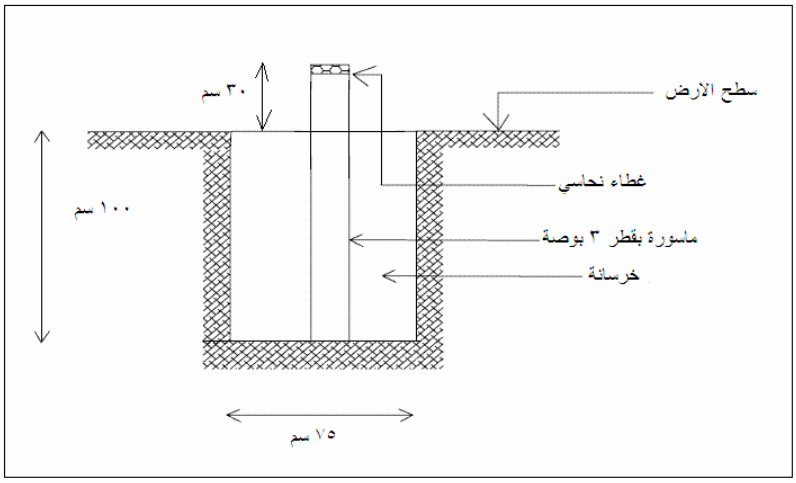
اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب:

تحديد المرجع الجيوديسي Datum الذي سيعتمد عليه المشروع يعد من العوامل الهامة جدا في التخطيط ، هل المطلوب اعتماد المرجع العالمي WGS84 في حساب إحداثيات النقاط المرصودة و إنشاء الخرائط الجديدة للمشروع أم يجب تحويل الإحداثيات لمرجع جيوديسي محلي. فان كانت عملية التحويل Datum Transformation مطلوبة فيجب تحديد طريقة تنفيذها: (١) بمعرفة عناصر تحويل معلومة Transformation Parameters ، (٢) بحساب عناصر التحويل. فان كانت عناصر التحويل معلومة فيجب الحصول علي قيمها من الجهة المسئولة عن حسابها. أما في حالة عدم وجود عناصر تحويل فيجب رصد ٣ نقاط تحكم (معلومة الإحداثيات في المرجع المحلي) مع شبكة الثوابت الجديدة المزمع إقامتها للمشروع واستخدام أحد برامج الحساب لتقدير عناصر التحويل بين المراجع في منطقة العمل.

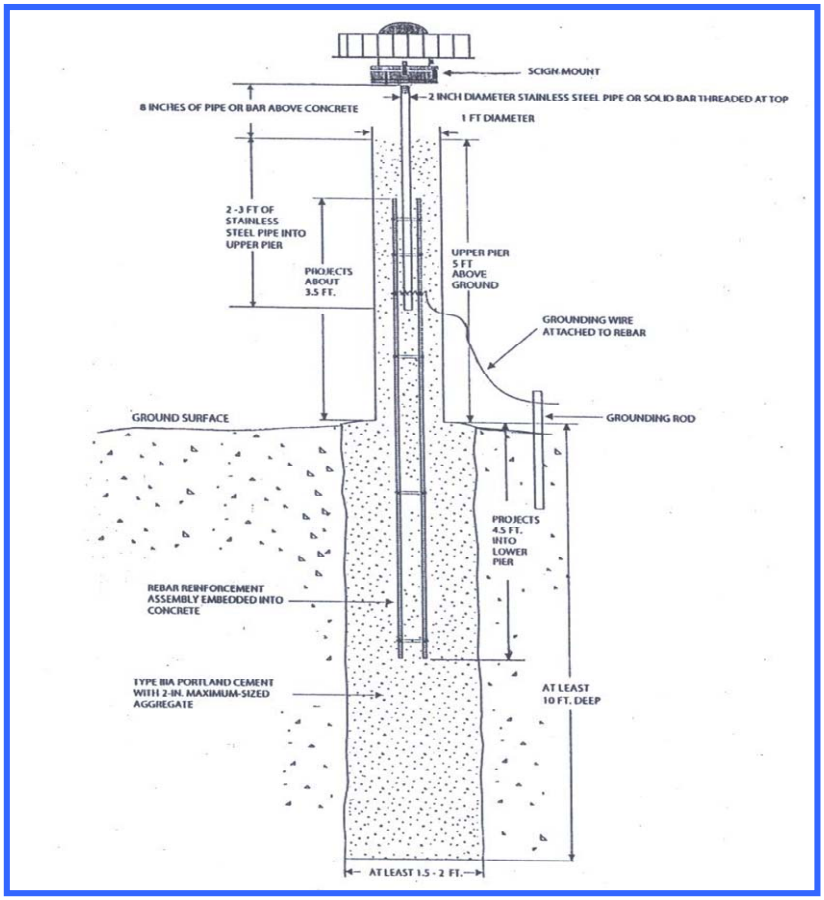
اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات

مواصفات اختيار مواقع النقاط الثابتة و طريقة بناء العلامات الأرضية يعد أيضا من عوامل التخطيط ما قبل العمل الحقلي. الشكل (٧-٣) يقدم نموذجا عاما لبناء نقطة ثوابت أرضية للتطبيقات المساحية بينما يقدم الشكل (٧-٤) نموذجا آخر للتطبيقات الجيوديسية الدقيقة [١٠]، بينما توجد مواصفات أكثر تفصيلا لإنشاء الثوابت المساحية طبقا لكل نوع من أنواع التربة في منطقة العمل [١١]. النقاط التالية تقدم خطوطا عريضة لكيفية اختيار المواقع المناسبة لإنشاء الثوابت الأرضية:

- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسبا للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود 15^{o} من مستوي الأفق.



نموذج بناء نقطة ثوابت لل عمال المساحية



نموذج بناء نقطة ثوابت لل عمال الجيوديسية

اختيار أنسب أوقات الرصد:

اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا [١٢]. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن ١٥° في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية.

يعتمد اختيار طول فترة الرصد علي عدة عوامل أهمهم الدقة المتوقعة أو المطلوبة في المشروع المساحي ، بالإضافة لمعامل الدقة GDOP وعدد الأقمار الصناعية المتوفرة في وقت الرصد. الجدول (٧-٥) يقدم خطوطا عريضة لكيفية تحديد طول زمن أو فترة الرصد سواء في طريقة الرصد الثابت التقليدي أو الرصد الثابت السريع ، بينما يقدم الجدول (٧-٦) مواصفات أخري عند استخدام أجهزة استقبال جي بي أس أحادية أو ثنائية التردد [١٣]. أما في حالة أنشاء ثوابت أرضية و رأسية – أي أنه مطلوب تحديد الارتفاع الارثومتري لنقاط الشبكة – فأن مواصفات طول فتره الرصد ستتغير بصورة ملحوظة للوصول إلي دقة جيدة في قياس الارتفاعات كما نري في الجدول (٧-٧) ، وفي هذه الحالة يجب أن يتم ربط الشبكة مع ٣ نقاط تحكم رأسية BM علي الأقل مع استخدام نموذج جيويد جيد.

جدول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	معامل الدقة GDOP	وقت الرصد (دقيقة)
أولا: الرصد الثابت التقليدي:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٦	١٠-٣٠
١ - ٥	أكثر من ٤	أقل من ٦	٣٠-٦٠
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٦٠-٩٠
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٩٠-١٢٠
٢٠-٥٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٢-٣ ساعات
٥٠-١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٣ ساعات
أكثر من ١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٤ ساعات
ثانيا: الرصد الثابت السريع:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٥	أقل من ٥ دقائق
١-٥	أكثر من ٤	أقل من ٥	٥-١٠ دقائق
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-١٥ دقيقة
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-٣٠ دقيقة

طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابتللاجهزة أحادية و ثنائية التردد

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	وقت الرصد للأجهزة ثنائية التردد (دقيقة)
١ ــ ١٠	أكثر من ٦	٢٤	٨
١٠ ــ ٢٠	أكثر من ٦	٣٠	١٠
٢٠ - ٥٠	أكثر من ٦	٦٠	٢٠
أكبر من ٥٠	أكثر من ٦	٩٠	٣٠
١ ــ ١٠	أكثر من ٤	٣٦	١٢
١٠ ــ ٢٠	أكثر من ٤	٤٥	١٥
٢٠ - ٥٠	أكثر من ٤	٧٥	٢٥
أكبر من ٥٠	أكثر من ٤	١٣٥	٤٥

طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية

(للوصول لدقة ± ٣٠ ملليمتر في حساب المناسيب)

طول خط القاعدة (كم)	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	معامل القياس Sample rate (ثانية)
أقل من ١٠	٣٠	٥
١٠ ــ ٢٠	٦٠	١٠
٢٠ ــ ٤٠	١٢٠	١٥
٤٠ ــ ٦٠	١٨٠	١٥
٦٠ ــ ٨٠	٢٤٠	١٥
٨٠ ــ ١٠٠	٣٠٠	١٥
أكبر من ١٠٠	أكثر من ٣٠٠	١٥

ايضا فأن تحديد معامل الأرصاد (المعدل الزمنى بين كل رصدة والرصدة التالية) يجب ان يتم قبل بدء العمل الحقلى ويتم ضبط أجهزة الأستقبال قبل التوجه للمشروع. الجدول التالى يوضح قيم معامل الأرصاد المقترحة لكافة طرق الرصد بالجى بى اس

قيم معامل الارصاد في طرق الرصد المختلفة

طريقة الرصد	الثابت	الثابت السريع	الذهاب و التوقف	المتحرك
معامل الأرصاد	١٠ ثانية	٥-١٠ ثانية	١-٥ ثانية	٠.٢ ثانية

يقدم الجدول التالى نموذجا اخر لمواصفات الرصد بالجى بى اس فى انشاء شبكة ثوابت ارضية بكلتا طريقتى الرصد الثابت التقليدى والسريع

مواصفات رصد شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقصي قيمة لمعامل الدقة PDOP	٥	٥
أقل زمن لفترة الرصد	٣٠ دقيقة	١٥ دقيقة
أقصي معامل أرصاد	١٥ ثانية	١٥ ثانية
أقل زاوية قناع	^{o}١٠	^{o}١٠

افراد الفريق الحقلى ومسؤولياتهم

الوظيفة	المسؤوليات
رئيس الفريق الحقلي	- تنظيم الأرصاد طبقا لخطة الرصد. - التحقق من جودة إشارات الأقمار الصناعية. - التحقق من جودة النتائج يوميا و تعديل خطة الرصد إن لزم. - التغلب علي الصعوبات الفنية و الحياتية للفريق.
راصدين	- التأكد من توافر الأجهزة و المعدات اللازمة. - التأكد من شحن بطاريات الأجهزة يوميا. - التأكد من احتلال النقطة المطلوب رصدها فعلا. - ضبط أفقية و تسامت جهاز الاستقبال/الهوائي. - قياس ارتفاع الجهاز/الهوائي. - تشغيل الجهاز. - مراقبة عمل الجهاز و استمرارية الأرصاد. - تكملة تسجيل كل بيانات النقطة في جدول الرصد الحقلي.
مشغل بيانات	- التأكد من تجميع بيانات كل الأجهزة. - نقل البيانات من الأجهزة إلي الحاسب الآلي. - عمل نسخ احتياطية backup من كل الأرصاد. - حساب أرصاد الجي بي أس. - ضبط الحلقات أولا بأول. - مراجعة النتائج وإعداد تقرير إلي رئيس الفريق الحقلي.

إن أجهزة استقبال الجي بي أس تعد أجهزة متطورة وتكاد تكون عملية استقبال و تخزين إشارات الأقمار الصناعية عملية آلية ، وتنحصر الأخطاء البشرية في بعض النقاط التي يجب مراعاتها وبكل دقة:

- إعداد جدول لتسجيل بيانات كل محطة يتم رصدها وخاصة: اسم النقطة ، نوع و موديل و رقم جهاز الاستقبال ، نوع و موديل و رقم الهوائي إن كان منفصلا عن جهاز الاستقبال ، اسم الراصد ، وقت بدء و إنهاء عملية تجميع الأرصاد (شكل ٧-٦ [٢٠]).
- ضبط تسامت و أفقية الجهاز أو الهوائي (شكل ٧-٧) بعناية تامة ودقة ، والتأكد من ضبط الأفقية قبل و بعد عملية تجميع الأرصاد.
- قياس ارتفاع الجهاز بكل دقة مرة قبل بدء تشغيله و مرة أخري بعد انتهاء عملية الرصد. علما بأن بعض الأجهزة تقيس الارتفاع مائلا و بعضها يقيسه رأسيا ، فيجب التأكد من كتيب تشغيل كل جهاز من الطريقة الصحيحة المناسبة (شكل ٧-٨).
- إدخال ارتفاع الجهاز في وحدة التحكم المصاحبة له ، وأيضا تسجيل الارتفاع في جدول الرصد ، وهذه خطوة هامة للتحقق من أن كلا القراءتين سليمتين.
- في الرصد المتحرك يتم قياس ارتفاع الانتنا عن سطح الأرض سواء كانت مركبة علي عصا الرصد pole أو مثبتة علي السيارة من الخارج.

- اختيار أسما مناسبا لأرصاد كل نقطة في كل فترة رصد عند إدخال البيانات في وحدة التحكم (اسم المشروع Job).
- للرصد المتحرك اللحظي RTK (شكل ٧-٩) يجب ضبط معاملات استقبال التصحيحات في كلا من الجهاز المرجعي و الجهاز المتحرك – طبقا لكتيبات التشغيل - بحيث يكونا متطابقين لضمان إرسال و استقبال التصحيحات.
- متابعة قيمة PDOP – علي شاشة الجهاز - طوال فترة الرصد و تسجيل تغيرها بمرور زمن الرصد.

نموذج رصد ثابت بجهاز تحديد المواقع GPS

(مجموعة من النقط)

اسم الراصد : .....

معلومات عن المشروع:	**معلومات عن الموقع:**
اسم المشروع: ..... رقم النقطة:.....	الإحداثيات التقريبية للنقطة:
نوع النقطة : ☐ ثابت Reference ☐ متحرك Rover	خط الطول: .....
نوع الرصد : ☐ ثابت ☐ ثابت سريع	دائرة العرض:.....
التاريخ: / / 142 هـ الموافق / / م	الارتفاع:..... .
وقت بداية الرصد(التوقيت المحلي):.....	
وقت نهاية الرصد(التوقيت المحلي) :	
معلومات عن الجهاز:	**معلومات عن الأقمار:**
اسم الجهاز وموديله :.....	الأقمار عند بداية الرصد: .....
رقم وحدة المستقبل:	الأقمار عند نهاية الرصد : .....
رقم الهوائي:..... ارتفاع الهوائي:..... م	التوزيع الهندسي للأقمار: ..... (PDOP)

ملحوظات:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

نموذج لكارت بيانات حقلية لمحطة جي بي أس

البـــاب السابع

نظرية الأخطاء

مقدمة :

للحصول على قيمة عددية لأي زاوية أو مسافة فإن ذلك لا يأتي مباشرة ، بل إنه لا بد أن يقوم الراصد بعدة عمليات للحصول على هذه القيمة . فعلى سبيل المثال لو استخدمنا جهاز المحطة الشاملة (Total Station) للحصول على قيمة زاوية فإن على الراصد أن يقوم بالخطوات التالية :

١ - احتلال النقطة وتحقيق شروط الضبط المؤقت للجهاز (ضبط الأفقية والتسامت) .
٢ - التوجيه على الهدف .
٣ - تصفير قيمة الزاوية الأفقية .
٤ - التوجيه على الهدف .
٥ - قراءة قيمة الزاوية .
٦ - تسجيل القراءة .
٧ - حسابات الزاوية .

عند تطبيق هذه الخطوات نحصل على قيمة الزاوية المقاسة ولا تخلو جميع هذه الخطوات من الخطأ نتيجة اختلاف قدرات الراصد واختلاف العوامل الجوية وإمكانيات الجهاز المستخدم .

القياس :

هو إيجاد قيمة عددية للشيء المقاس (زاوية أو طول) وعملية القياس تشمل الأتي :

١ - راصد.
٢ - الجهاز المستخدم في القياس .
٣ - الطريقة المتبعة في القياس .
٤ - العوامل الطبيعية المحيطة .

ويرجع سبب اختلاف قيمة نفس الكمية المقاسة عند تكرار القياس إلى عدة عوامل هي :

١ - عدم الكمال في حواس الإنسان مثل السمع والبصر واللمس .
٢ - عدم إمكانية صنع أجهزة وأدوات قياس تصل إلى درجة الكمال .
٣ - اختلاف العوامل الجوية من حرارة ورياح وضغط أثناء القياس عنها أثناء المعايرة .

الخطأ الحقيقي : TRUE ERROR

هو الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية وقد يكون سالباً أو موجباً ويمثل مدى ابتعاد القيمة المقاسة عن القيمة الحقيقية .

ويمكن حسابه كالتالي :

الخطأ الحقيقي = القيمة المقاسة – القيمة الحقيقية

نظراً لتعذر معرفة القيمة الحقيقية لأي شي مقاس فلا يمكن معرفة قيمة الخطأ الحقيقي ولذلك سوف يتم استبدال القيمة الحقيقية بقيمة أقرب ما يمكن إليها وهي المتوسط الحسابي ويسمى الخطأ في هذه الحالة بالفرق كما سوف يتم توضيحه في الوحدة الرابعة .

مصادر الأخطاء :

للأخطاء المحتمل حدوثها في القياسات مصادر ثلاثة هي :

١ - الأخطاء الشخصية ٢ - الأخطاء الآلية ٣ - الأخطاء الطبيعية .

١ - الأخطاء الشخصية : PERSONAL ERRORS

وهي أخطاء تنتج من إمكانيات الراصد نفسه فلكل راصد إمكانيات سمعية وبصرية وحسية وعدم الكمال في هذه الحواس يسبب هذا النوع من الأخطاء .

أمثلة على الأخطاء الشخصية	معالجة هذه الأخطاء
١ - عدم العناية والإهمال أثناء الرصد. ٢ - التوجيه الخطأ . ٣ - التسجيل الخطأ للأرصاد . ٤ - الخطأ في الحسابات.	التدريب الجيد للمساح واكتساب الخبرات

٢ - الأخطاء الآلية : INSTRUMENTAL ERRORS

وهي الأخطاء الناتجة من الأجهزة المستخدمة في الرصد نتيجة عدم صنع أجهزة وأدوات قياس تصل إلى درجة الكمال .

أمثلة على الأخطاء الآلية	معالجة هذه الأخطاء
١ - اختلاف الطول الحقيقي للشريط عن الطول الاسمي	معايرة الجهاز للتأكد من صلاحيته للرصد
٢ - عدم تساوي أقسام الدائرة الأفقية للجهاز	الرصد على عدة أقواس ببدايات مختلفة
٣ - عدم تعامد المحاور الرئيسية للجهاز	الرصد في الوضعين المتياسر والمتيامن
٤ - عدم مرور المستوى الذي ترتد منة الأشعة في العاكس بالمستوى الرأسي الذي يمر بالنقطة .	(mm بإدخال قيمة ثابت العاكس للجهاز)

٣ - الأخطاء الطبيعية : NATURAL ERRORS

وهي الأخطاء التي تنشأ نتيجة التغيرات المستمرة في العوامل الجوية من رياح وحرارة و ضغط جوي.

أمثلة على الأخطاء الطبيعية	معالجة هذه الأخطاء
١ - شدة الرياح	مراعاة الإرشادات بدليل كل جهاز حيث يمكن عن طريق معرفة درجة الحرارة والضغط الجوي أثناء العمل الحصول على الثابت (. p.p.m النسبي) وإدخاله في الجهاز حتى يقوم بتصحيح المسافة المقاسة ونحصل على المسافة المصححة للعوامل الجوية .
٢ - درجة الحرارة	
٣ - الضغط الجوي	

أنواع الأخطاء :

تنقسم أنواع الأخطاء إلى ثلاثة أنواع هي:

١ - الغلط ٢ - الأخطاء المنتظمة ٣ - الأخطاء العشوائية

١ - الغلط : GROSS ERROR OR MISTAKE

وهو خطأ كبير المقدار وملحوظ بالنسبة لباقي الأرصاد ويوصى بحذف هذا النوع لكبر قيمته غير الطبيعية وسط الأرصاد .

أمثلة على هذا النوع	طريقة معالجة الخطاء
١ - عدم اهتمام الراصد أو إهماله	الحرص والاهتمام أثناء العمل
٢ - السهو أو النسيان	تطبيق الاشتراطات الهندسية مثل مجموع الزوايا حول نقطة يجب أن يساوي ٣٦٠ درجة .
٣ - التوجيه أو التسجيل الخطأ	تكرار عملية القياس .

مثال لتوضيح معنى الغلط :

زاوية أفقية (أ ب جـ) تم قياسها أربع مرات فكانت نتائج القياس كالآتي :

مسلسل	⊃	٠	∧
١	٥٠	١٤	٩٣
٢	٣٠	١٤	٩٣
٣	١٠	١٤	٨٣
٤	٠٠	١٥	٩٣

وبمراجعة هذه الأرصاد نلاحظ أن الرصدة رقم ثلاثة هي غلط لأنها رصدة شاذة بالنسبة لباقي الأرصاد لذا يجب حذف هذه الرصدة .

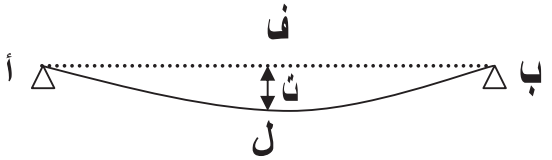
٢ - الأخطاء المنتظمة : SYSTEMATIC ERRORS_

وهي أخطاء منتظمة الحدوث حيث أنها تتبع قانون فيزيائي معين ويمكن التعبير عنها بمعادلة رياضية ومن ثم يمكن إيجاد قيمة الخطأ ثم إيجاد القيمة المصححة ويحدث هذا النوع من الأخطاء في القياسات نتيجة أسباب مختلفة ومصدر هذه الأخطاء إما شخصي أو طبيعي أو آلي .

أ - أخطاء منتظمة مصدرها شخصي :

وهي أخطاء تنتج من الراصد نفسه ويمكن التعبير عنها بمعادلة رياضية ومن هذه الأخطاء ما يلي:

١ - انحناء الشريط أثناء عملية القياس :



عند معايرة الشريط يكون مفروداً فوق سطح مستو ولكن عند استخدام الشريط في القياس عادة يكون محملاً من طرفيه وعلى هذا لا يكون مستقيماً كما في حالة المعايرة بل يأخذ شكل منحني طوله هو طول الشريط (ل) أما المسافة الأفقية (ف) والمطلوب قياسها بين النقطتين فهي يمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$ف = \frac{٢ت^{٨}}{ل^{٣}}$$

حيث :

ف =الخطأ الناتج من انحناء الشريط للطرحة الواحدة

ل = طول الشريط.

ت = مقدار الانحناء في منتصف الشريط.

$\frac{٨ت^{٢}}{ل^{٣}}$ = الخطأ الناتج من انحناء الشريط للطرحة الواحدة .

مثال رقم(١) :

قيست مسافة أفقية أ ب بشريط طوله = ٢٠ متراً وكانت قيمة الانحناء ت = ٤٠ سم في منتصف الشريط أحسب طول الخط الحقيقي إذا كانت نتيجة القياس ٤٠ متراً ؟

الحل

الخطأ في الطرحة الواحدة نتيجة الانحناء = $\frac{٨ت^{٢}}{ل^{٣}}$ = ٨ × (٤٠)^{٢} ÷ (٣ × ٢٠٠٠) = ٢,١٣ سم

عدد الطرحات = المسافة المقاسه ÷ طول الشريط = ٤٠ ÷ ٢٠ = ٢ طرحة

الخطأ في الطرحتين = ٢ × ٢,١٣ = ٤,٢٦ سم ≈ ٤ سم= ٠,٠٤ متر . "

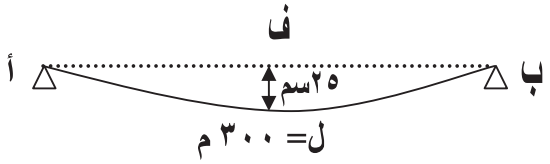
المسافة الأفقية (ف) = المسافة المقاسه - الخطأ الناتج من انحناء الشريط في الطرحتين "

ف = ٤٠ ــ ٠,٠٤ = ٣٩,٩٦ متر .

مثال رقم(٢):

قيست مسافة أفقية (أ ب) فكانت = ٣٠٠ متر تم ذلك بشريط طوله = ٢٠ متراً وكانت قيمة الانحناء عند منتصف الشريط = ٢٥ سم .

احسب طول الخط أ ب الحقيقي ؟



الخطأ في الطرحة الواحدة = $\frac{٨ت^{٢}}{ل^{٣}}$ = ٨ × (٢٥)^{٢} ÷ (٣ ×٢٠٠٠) = ٠,٨٣ سم

عدد الطرحات = ٣٠٠ ÷ ٢٠ = ١٥ طرحة .

خطأ الانحناء في كل الطرحات = عدد الطرحات × الخطأ في الطرحة الواحدة "

أ = ١٥ × ٠,٨٣ = ١٢,٤٥ ≈ ١٢ سم = ٠,١٢ متر

المسافة الأفقية للخط (أ ب) = ل - الخطأ الناتج من انحناء الشريط"

= ٣٠٠ ــ ٠,١٢ = ٢٢٩,٨٨ م

٢ - خطأ التوجيه :

ينتج عند القياس في خط متعرج بدلاً من الخط المستقيم أي عند القياس على أكثر من طرحة نحصل على طول أكبر من الطول الحقيقي نتيجة الخطأ في التوجيه بالعين المجردة وتصبح قيمة التصحيح في هذه الحالة :

$$\text{مقدار التصحيح} = \frac{ع^{٢}}{م^{٢}}$$

حيث :

ع = مقدار الخطأ في التوجيه

م = الطول المقاس

ويكون الطول الحقيقي كالتالي :

الطول الحقيقي = الطول المقاس - مقدار التصحيح

مثال رقم (١) :

قيس طول خط أ ب على عدة طرحات وكان خطأ التوجيه ع = ٥٠ سم

احسب الطول الحقيقي للخط أ ب إذا كان الطول المقاس = ٤٥ متراً ؟

الحل

$$\text{مقدار التصحيح} = \frac{ع^{٢}}{م^{٢}} = (٠,٥)^{٢} \div (٢ \times ٤٥) = ٠,٠٠٣ \text{ متراً}$$

الطول الحقيقي للخط أ ب = الطول المقاس - مقدار التصحيح "

= ٤٥ - ٠,٠٠٣

= ٤٤,٩٩٧ متراً .

مثال رقم(٢):

قيس طول الخط س ص فكان طوله = ٣٨ متر وتم ذلك بخطأ توجيه عند نهاية الخط مقداره ٨٠ سم احسب الطول الحقيقي للخط س ص ؟

الحل

مقدار الخطأ نتيجة التوجيه = $\frac{ع^{٢}}{م^{٢}}$ = (٠,٨)^{٢} ÷ (٢× ٣٨) = ٠,٠٠٨ متراً.

الطول الحقيقي للخط = الطول المقاس - مقدار الخطأ"

= ٣٨ - ٠,٠٠٨ = ٢٣٧,٩٩٢ متراً.

ب - أخطأ منتظمة مصدرها آلي :

وهي أخطأ تنتج من الجهاز المستخدم ويمكن التعبير عنها بمعادلة رياضية ، ومن هذه الأخطاء : استخدام شريط يختلف طوله الحقيقي عن طوله الاسمي ويمكن التعبير عن الطول الحقيقي بالمعادلة التالية :

الطول الحقيقي للشريط = الطول الاسمي للشريط ± مقدار الخطأ في طول الشريط

الطول الحقيقي للخط = الطول المقاس للخط × $\frac{\text{الطول الحقيقي للشريط}}{\text{الطول الاسمي للشريط}}$

وإذا استخدمنا قياسات الشريط في تعيين مساحة قطعة الأرض فيمكن إيجاد المساحة الحقيقية كالتالي :

المساحة الحقيقية = المساحة المعينة بالشريط × $2\left(\frac{\text{الطول الحقيقي للشريط}}{\text{الطول الاسمي للشريط}}\right)$

يمكن حساب المساحة الحقيقية من القانون التالي : في حالة استخدام شريطين مختلفين

$$\frac{\text{المساحة الحقيقية}}{\text{المساحة المقاسة}} = \frac{\text{الطول الحقيقي للشريط الأول} \times \text{الطول الحقيقي للشريط الثاني}}{\text{الطول الاسمي للشريط الأول} \times \text{الطول الاسمي للشريط الثاني}}$$

مثال رقم (١) :

تم قياس المسافة أ ب فكانت = ١٩٨ م وذلك بشريط ينقص طوله بـ ١٠ سم عن الطول الاسمي ٢٠ متراً) احسب الطول الحقيقي للخط أ ب ؟

الحل

الطول الحقيقي للشريط = طول الشريط الاسمي - مقدار الخطأ في طول الشريط

= ٢٠ - ٠,١٠

= ١٩,٩٠م

الطول الحقيقي للخط أ ب = ١٩٨ × (١٩,٩ ÷ ٢٠)"

= ١٩٧,٠١ م

مثال (٢):

قيس طول الخط (أ ب) بشريط طوله ٣٠ متراً يزيد طوله الحقيقي عن طوله الاسمي بـ ١٥ سم فكانت المسافة = ١٢٢,٥ متراً .

احسب المسافة الحقيقية لطول الخط أ ب ؟

الحل

الطول الحقيقي للشريط = الطول الاسمي + الخطأ في طول الشريط

= ٣٠ + ٠,١٥

= ٣٠,١٥ متر

الطول الحقيقي للخط أ ب = الطول المقاس × (طول الشريط الحقيقي ÷ الطول الاسمي للشريط)

= ١٢٢,٥ × (٣٠,١٥ ÷ ٣٠) = ١٢٣,١١ متر

مثال رقم (٣) :

تم تعيين مساحة قطعة أرض بعد قياس أبعادها وذلك بشريط ينقص طوله الحقيقي عن طوله الاسمي بـ ٢٠ سم فكانت المساحة = ٤٥٠٠ م^{٢} .

احسب المساحة الحقيقية إذا كان طول الشريط الاسمي = ٣٠ م ؟

الحل

الطول الحقيقي للشريط = ٣٠ – ٠,٢٠ = ٢٩,٨٠ م

المساحة الحقيقية = المساحة المقاسه × (طول الشريط الحقيقي ÷ الطول الاسمي للشريط)٢ "

= ٤٥٠٠ × (٢٩,٨ ÷ ٣٠)٢

= ٤٤٤٠,٢ م٢

ثال (٤) :

أحسب المساحة الحقيقية لقطعة أرض على شكل مستطيل قيس طولها بشريط تيل طوله الاسمي ٢٠ متراً فكان ٢٢٥ متراً وعند معايرة الشريط وجد أن طوله الحقيقي ١٩,٢٠ متراً وقيس عرضها بشريط تيل آخر طوله الاسمي ٣٠ متراً فكان ١٨٠ متراً وعند معايرة الشريط وجد أن طوله الحقيقي ٢٩,٤٠ متراً ؟

الحل:

المساحة المقاسة = طول قطعة الأرض × عرضها

المساحة المقاسة = ٢٢٥ × ١٨٠ = ٤٠٥٠٠ متراً

$$\frac{\text{المساحة الحقيقية}}{\text{المساحة المقاسة}} = \frac{\text{الطول الحقيقي للشريط الأول} \times \text{الطول الحقيقي للشريط الثاني}}{\text{الطول الاسمي للشريط الأول} \times \text{الطول الاسمي للشريط الثاني}}$$

المساحة الحقيقية = ٤٠٥٠٠ × ((١٩,٢٠ × ٢٩,٤٠) / (٢٠ × ٣٠))"

= ٣٨١٠٢,٤ م٢

جـ - أخطاء منتظمة مصدرها طبيعي :

وهي أخطاء تنتج من العوامل الطبيعية (درجة الحرارة – الضغط الجوي) ويمكن التعبير عنها بمعادلة رياضية مثل القياس في درجة حرارة تختلف عن درجة حرارة المعايرة .

مقدار التصحيح = معامل تمدد الشريط × (درجة الحرارة أثناء القياس - درجة الحرارة أثناء المعايرة) × الطول المقاس

مثال رقم(١) :

قيس طول الخط أ ب فكان ١٢٧,١٥م وتم ذلك بشريط صلب معامل تمدده (٠,٠٠٠١٢) وكانت درجة الحرارة ٣٨ درجة مئوية .احسب الطول المصحح للخط أ ب إذا علمت أن درجة حرارة المعايرة ٢٥ درجة مئوية ؟

الحل

مقدار التصحيح = ٠,٠٠٠١٢ × (٣٨ – ٢٥) × ١٢٧,١٥

= ٠,١٩٨ متر

الطول المصحح = الطول المقاس + مقدار التصحيح "

= ١٢٧,١٥ + ٠,١٩٨

≈ ١٢٧,٣٥ م

مثال رقم (٢):

قيست مسافة أفقية فكانت ١١٥,٤٠م بشريط صلب معامل تمدده ٠,٠٠٠٠١٢٥ لكل درجة مئوية وذلك في درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية .

احسب المسافة الأفقية المصححة إذا علمت أن درجة حرارة المعايرة ٣٥ درجة مئوية ؟

الحل

مقدار التصحيح = ٠,٠٠٠١٢٥ × (٢٠ – ٣٥) × ١١٥,٤ = - ٠,٢١٦ م

المسافة الأفقية المصححة = ١١٥,٤ - ٠,٢١٦ = ١١٥,١٨ م

٣ - الأخطاء العشوائية : RANDAM ERRORS

هي أخطأ صغيرة المقدار في القياسات المتكررة تسلك سلوكاً عشوائياً بعضها سالب والبعض الآخر موجباً ولا يحكمها معادلة رياضية منها ما مصدره شخصي ومنها ما هو آلي ومنها ما هو طبيعي كما هو موضح بالجدول التالي:

مصدر الأخطاء العشوائية	أمثلة على الأخطاء العشوائية	كيفية معالجة هذه الأخطاء
شخصي	- عدم إجراء التسامت بدقة - عدم ضبط الأفقية ضبطاً دقيقاً	لا يمكن حذف هذه الأخطاء العشوائية ولكن يمكن التقليل من تأثيرها بالأتي : ١ - بتكرار القياس وببدايات مختلفة وفي الوضعيين المتياسر و المتيامن. ٢ - أخد المتوسط الحسابي. ٣ - الرصد في أوقات مختلفة لتلاشي الخطأ الناتج عن العوامل الجوية .
آلي	عدم تساوي أقسام الدائرة الأفقية للجهاز	
طبيعي	وجود رياح أثناء العمل	

مثال رقم(١) :

زاوية أفقية تم رصدها خمس مرات فكانت نتائج القياس كالتالي : أ ب ج

ن	⊃	٠	∧
١	٢٠	١٥	١٠٢
٢	٠٠	١٦	١٠٢
٣	١٠	٢٦	١١٢
٤	١٠	١٥	١٠٢
٥	١٥	١٥	١٠٢

والمطلوب تنقية هذه الأرصاد من الغلط وتقليل تأثير الأخطاء العشوائية ؟

الحل

١ - الرصدة رقم (٣) رصدة شاذة لذلك يجب حذفها حيث أنها تعتبر من الغلط .

٢ - لتقليل تأثير الأخطاء العشوائية نجمع الأرصاد الأربعة المتبقية ونقسمها على أربعة للحصول على المتوسط الحسابي للزاوية :

قيمة المتوسط الحسابي للزاوية = (٢٠ + ٦٠ + ١٠ + ١٥) ÷ ٤ = ٢٦,٢٥ ١٥ ١٠٢

أولاً : ضبط الأرصاد الطولية والزاوية (للأرصاد المتساوية الأوزان)

الأرصاد المتساوية الأوزان :

هي الأرصاد التي لها نفس درجة الثقة والتي تؤخذ في ظروف متشابهة وكمثال لهذه الظروف :

- نفس الراصد .
- نفس الجهاز المستخدم في عملية الرصد .
- نفس العوامل الجوية .

أولاً : ضبط الأرصاد الطولية :

بعد تجميع الأرصاد الطولية من الطبيعة نقوم أولا بالتخلص من الغلطات ثم من الأخطاء المنتظمة حيث يتبقى بعد ذلك الأخطاء العشوائية ، وتعالج هذه الأخطاء طبقاً لنظرية الأخطاء أو الاحتمالات وذلك للتقليل من تأثيرها على الأرصاد ، ويتم ذلك بحساب القيمة الأكثر احتمالا للطول المقاس بمعرفة المتوسط الحسابي و الفرو قات والانحراف المعياري والانحراف المعياري للمتوسط الحسابي .

١. المتوسط الحسابي (م) : Arithmetic Mean

يعتبر المتوسط الحسابي هو القيمة الأفضل و الأكثر قرباً من القيمة الحقيقية ويحسب المتوسط الحسابي في حالة أن جميع الأرصاد لها نفس درجة الثقة وذلك من المعادلة الآتية :

المتوسط الحسابي = المجموع الجبري للأرصاد ÷ عدد مرات القياس

∴ المتوسط الحسابي = [س$_{١}$ + س$_{٢}$ +س$_{٣}$ +٠٠٠٠٠٠٠ + س$_{ن}$] ÷ ن

$$م = \frac{[\ س\ ]}{ن} \qquad (١)$$

حيث : (م) : المتوسط الحسابي [س] : المجموع الجبري للأرصاد

ن : عدد مرات القياس .

طريقة أخرى لحساب المتوسط الحسابي للأرصاد من خلال القانون التالي :

$$\text{المتوسط الحسابي } (م) = س + \frac{[\, س - سَ \,]}{ن} \quad (٢)$$

حيث : سَ (هي قيمة ابتدائية مقدارها أقل من جميع القيم المرصودة ، وهذه الطريقة لحساب المتوسط الحسابي مفيدة في حالة قياس زاوية عدة مرات حيث يكون الاختلاف غالبا في الثواني فيمكن اعتبار سَ هي الدرجات والدقائق .

مثال١ :

قيس طول خط (أ ب) خمس مرات وكانت الأرصاد بعد التخلص من الغلط وتصحيح الأخطاء المنتظمة كما هي موضحة بالجدول الآتي ، والمطلوب حساب المتوسط الحسابي لطول الخط (أ ب) ؟

م	القيمة المقاسة بالأمتار
١	١١٦,٥٦
٢	١١٦,٥٥
٣	١١٦,٥٠
٤	١١٦,٤٨
٥	١١٦,٤٦

الحل :

$$م = \frac{[\, س \,]}{ن}$$

$$م = \frac{[\, س \,]}{ن} = \frac{[\, ١١٦,٥٦ + ١١٦,٥٥ + ١١٦,٥٠ + ١١٦,٤٨ + ١١٦,٤٦ \,]}{٥} = ١١٦,٥١ م$$

الحل : بطريقة أخرى

نقوم باختيار قيمة ابتدائية أقل من جميع قيم الأرصاد سَ = ١١٦ متراً ، فتصبح القياسات بعد خصم قيمة سَ هي على النحو الآتي : (٠,٥٦ ، ٠,٥٥ ، ٠,٥٠ ، ٠,٤٨ ، ٠,٤٦ متراً)

$$\text{المتوسط الحسابي } (م) = س + \frac{[س - سَ]}{ن}$$

$$\text{المتوسط الحسابي } (م) = ١١٦ + \frac{[٠,٤٦ ، ٠,٤٨ ، ٠,٥٠ ، ٠,٥٥ ، ٠,٥٦]}{٥} = ١١٦ + ٠,٥١ = ١١٦,٥١ \text{ متراً}.$$

مثال٢ :

قيست زاوية أفقية أربع مرات فكانت نتائج القياس كما يلي :

م	//	/	O
١	١٠	٤٣	٥٧
٢	١٢	٤٣	٥٧
٣	٠٨	٤٣	٥٧
٤	١٤	٤٣	٥٧

المطلوب حساب المتوسط الحسابي لقيمة الزاوية المرصودة ؟

الحل :

$$م = \frac{[س]}{ن}$$

$$م = \frac{[\ ١٠^{\circ}\ ٤٣'\ ٧٥''\ +\ ١٢^{\circ}\ ٤٣'\ ٥٧''\ +\ ٠٨^{\circ}\ ٤٣'\ ٥٧''\ +\ ١٤^{\circ}\ ٤٣'\ ٥٧''\ ]}{٤} = ١١^{\circ}\ ٤٣'\ ٥٧''$$

الحل : بطريقة أخرى

نقوم باختيار قيمة ابتدائية أقل من جميع قيم الأرصاد سَ = ٤٣َ ٥٧ْ ، فتصبح القياسات بعد خصم قيمة سَ هي على النحو الآتي : (١٠ ، ١٢ ، ٠٨ ، ١٤)

$$\text{المتوسط الحسابي } (م) = س + \frac{[س - سَ]}{ن}$$

$$\text{المتوسط الحسابي } (م) = ٤٣َ\ ٥٧ْ + \frac{[١٠ً + ١٢ً + ٠٨ً + ١٤ً]}{٤} = ٤٣َ\ ٥٧ْ\ ١١ً$$

٢. الفروقات (ف) : Residuals

هي عبارة عن الفرق بين المتوسط الحسابي (م) والكمية المقاسة (س)

$$ف = م - س \qquad (٣)$$

ملحوظة :

المجموع الجبري للفروقات دائما يساوي الصفر ، حيث إن الفروقات السالبة تلغي الفرو قات الموجبة لذلك تتم هذه الفروقات حتى تعطي انطباعاً عن مقدار التباعد في قيم القياسات .

٣. الانحراف المعياري للرصدة الواحدة (ك) : Standard Error

يعرف الخطأ المعياري بأنه الجذر التربيعي لمتوسط مجموع مربع الفروقات ويعتبر معياراً للدقة لأي كمية مرصودة ضمن مجموعة أرصاد ، ويوضح الخطأ المعياري مقدار التشتت والتباعد في قيم الأرصاد عن القيمة المتوسطة ويرتبط دائما بالأخطاء العشوائية ويعرف بالخطأ المعياري أو الخطأ التربيعي المتوسط .

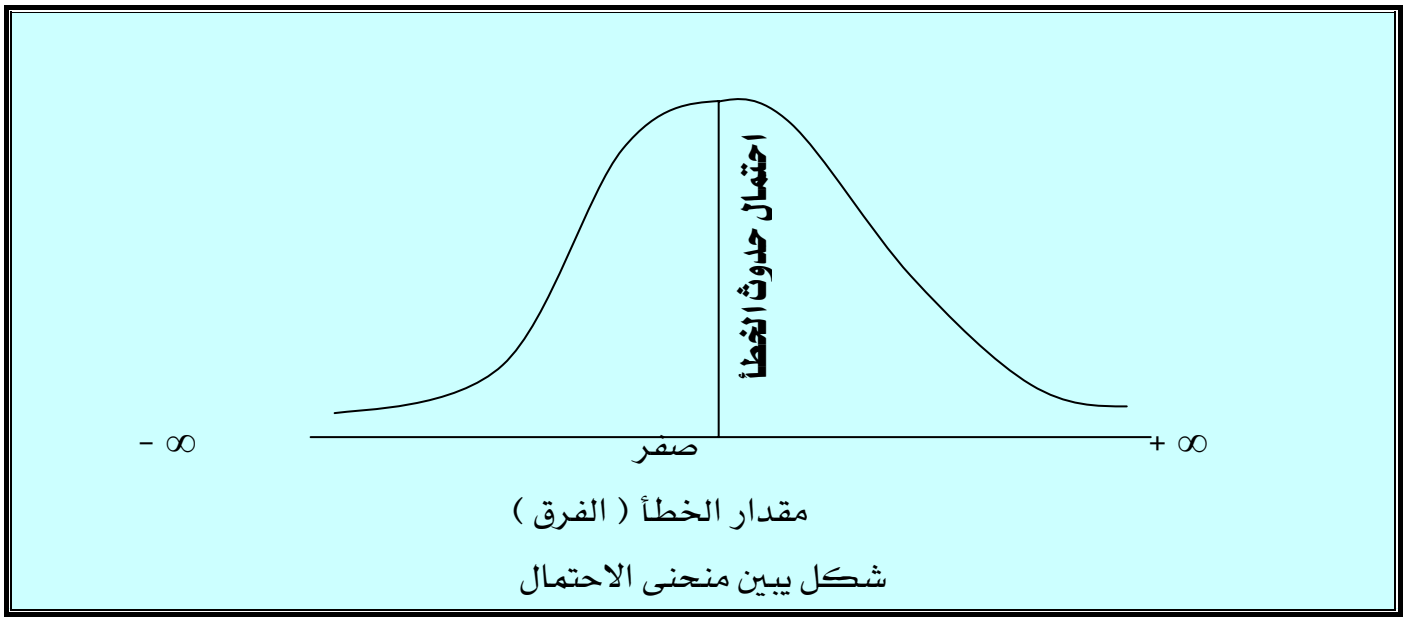
$$ك = \sqrt{\frac{[ف^{٢}]}{ن - ١}} \qquad (٤)$$

حيث :

- ك = الانحراف المعياري للرصدة الواحدة .
- ف^{٢} = مربع الفروقات .
- ن = عدد مرات القياس .
- [ ] = مجموع ما بداخلها .

ومعادلة الخطأ المعياري مستنتجة رياضياً من منحنى التوزيع الطبيعي للأخطاء أو منحنى الاحتمال أو منحنى الأخطاء .

ومن المعروف أن نظرية الأخطاء أو الاحتمالات تتعامل مع الأخطاء الموجودة في كمية ما إذا قيست بعدد لانهائي من المرات ،وتم حساب قيمة الخطأ في كل مرة وهو الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة المحتملة ، وقد تم تمثيل هذا بيانياً بحيث يمثل على المحور الأفقي مقدار الخطأ (الفروقات) ويمثل على المحور الرأسي نسبة عدد الأخطاء للعدد الكلي فإننا نحصل على منحنى الاحتمال أو الاخطاء . والشكل التالي يبين لنا الشكل المثالي لمنحنى الاحتمال :



شكل يبين منحنى الاحتمال

من خواص هذا المنحنى :

١. يشبه المنحنى شكل الجرس .
٢. المنحنى متماثل حول المحور الرأسي (الصادات) .
٣. الأخطاء الصغيرة أكثر حدوثاً من الأخطاء الكبيرة .

٤. الخطأ الكبير جداً نادر الحدوث لعدم تقاطع المنحنى مع المحور الأفقي (حيث التقاطع يحدث نظريا في ما لانهاية) .

٥. القيمة الصحيحة لكمية ما هي متوسط عدد لا نهائي من الأرصاد المباشرة .

٦. نسبة الخطأ المتوقع حدوثها تساوي (± ٠,٦٧٤٥ ك) ٥٠٪ أي نصف الأخطاء ضمن هذا المقدار والنصف الآخر محتمل أن يكون خارجه لهذا سمي هذا المقدار (± ٠,٦٧٤٥ ك) بالخطأ المحتمل .

٧. احتمال حدوث خطأ قيمته (± ك) هو ٦٨٪ أو بمعنى آخر فإن ٦٨٪ من الأرصاد تحتوي على أخطاء تتراوح قيمتها بين (± ك) .

٨. احتمال حدوث أخطاء تتراوح قيمتها بين (± ٢ك) هو ٩٥٪ أي أن ٩٥٪ من الأرصاد تحتوي على أخطاء تتراوح قيمتها بين (± ٢ ك) .

٩. احتمال حدوث خطأ تتراوح قيمته (± ٣ ك) هو ٩٩,٧ ٪ أي أن ٩٩,٧ ٪ من عدد الأرصاد بها خطأ تتراوح قيمتها بين (± ٣ ك) وعليه يجب استبعاد أي أرصاد بها خطأ أو فرق تزيد قيمته عن (± ٣ ك) .

مثال١ :

قيس طول خط (أ ب) ثمانية مرات فكانت نتائج القياس كما هي موضحة بالجدول الآتي :

م	الكمية المقاسة (س) بالمتر
١	١٨٤,٢٤
٢	١٨٤,٢٥
٣	١٨٤,٢٦
٤	١٨٤,٣٠
٥	١٨٤,٢٨
٦	١٨٤,٢٢
٧	١٨٤,٢٥
٨	١٨٤,٢٠

المطلوب :

١. حساب المتوسط الحسابي للطول (أ ب) .

٢. الخطأ التربيعي المتوسط للرصدة الواحدة .

٣. هل هناك أرصاد يجب استبعادها ؟ ولماذا ؟

الحل :

م	الكمية المقاسة (س) بالمتر	المتوسط الحسابي (س)	الفـــــــــــرق ف = م - س	مربع الفروق ف^{٢}
١	١٨٤,٢٤	١٨٤,٢٥	٠,٠١	٠,٠٠٠١
٢	١٨٤,٢٥		٠٠	٠٠
٣	١٨٤,٢٦		- ٠,٠١	٠,٠٠٠١
٤	١٨٤,٣٠		- ٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
٥	١٨٤,٢٨		- ٠,٠٣	٠,٠٠٠٩
٦	١٨٤,٢٢		٠,٠٣	٠,٠٠٠٩
٧	١٨٤,٢٥		٠٠	٠٠
٨	١٨٤,٢٠		٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
المجموع	١٤٧٤		٠٠٠	٠,٠٠٧٠

١. $م = \frac{[\ س\ ]}{ن}$

$م = \frac{[\ ١٤٧٤\ ]}{٨} = ١٨٤,٢٥$ **متراً** .

٢. $ك = \sqrt{\frac{[\ ف^{٢}\ ]}{ن - ١}} = \sqrt{\frac{[\ ٠,٠٠٧٠^{٢}\ ]}{٨ - ١}}$

ك = ± ٠,٠٣ متراً

٣. يجب التحقق من أن جميع الأرصاد لا يزيد الفرق بها عن ± ٣ك .

٣ك = ٣ × ٠,٠٣ = ± ٠,٠٩ م

وبمراجعة قيم الفروق (ف) بالجدول السابق نجد أنه لا توجد أي رصدة يزيد فيها الفرق عن ± ٠,٠٩ م حيث إن أكبر فرق هو - ٠,٠٥ م . ∴ لا توجد رصدة يجب استبعادها .

ملحوظة : في حالة استبعاد أي رصدة تجب إعادة حساب المتوسط الحسابي والخطأ المعياري مرة أخرى .

٤. **الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي (ك م)** Standard Deviation

يعتبر الخطأ المعياري للرصدة الواحدة أو لكمية فردية هو (ك) ، والخطأ المعياري للمتوسط الحسابي هو (ك م) ، ويعتبر ذلك من أهم العناصر الأساسية في تصميم وتنفيذ المشاريع المساحية حيث يتحدد على أساسها عدد مرات القياس أو عدد مرات الرصد المطلوبة لكي تحقق الدقة المطلوبة في مواصفات المشاريع المساحية المختلفة ، حيث الخطأ المعياري للرصدة الواحدة يكون معروف القيمة ويحصل عليه من دليل الجهاز المستخدم في الرصد أما الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي فيمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$\text{ك م} = \pm \frac{\text{ك}}{\sqrt{\text{ن}}} \qquad (٥)$$

$$\text{ك م} = \sqrt{\frac{[\ \text{ف}^{٢}\ ]}{\text{ن}(\text{ن}-١)}} \qquad (٦)$$

حيث :

- ك م = الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي .
- ك = الانحراف المعياري للرصدة الواحدة .
- ف^{٢} = مربع الفروقات .
- ن = عدد مرات القياس .
- [ ] = مجموع ما بداخلها .

وهذه المعادلة مستنتجة على أساس أن الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي لا يعدو كونه مجموعة أرصاد كل رصدة تحمل نفس الخطأ المعياري .

مثال :

في مواصفات إحدى المشاريع المساحية كان الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي المطلوب للزوايا المقاسة ٠,٤٠ ثانية ، وكان الخطأ المعياري للرصدة الواحدة للجهاز الذي سوف يستخدم في عملية الرصد = ٢٠ ثانية ، احسب عدد مرات القياس للزوايا لكي تحقق المواصفات المطلوبة ؟

الحل :

$$\sqrt{ك_م} = \pm \frac{ك}{\sqrt{ن}}$$ بتربيع الطرفين

$$ك_م^2 = ك^2 \div ن$$

$$\therefore ن = \frac{ك^2}{ك_م^2} = \frac{(٢)^2}{(٠,٤٠)^2} = ٢٥$$ مرة لقياس الزوايا .

٥. **القيمة الأكثر احتمالاً Most probable Value**

القيمة الأكثر احتمالاً هي مصطلح رياضي يعبر عن المدى الذي تقع بداخله القيمة الصحيحة ويمكن حساب القيم الأكثر احتمالاً من المعادلة التالية :

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط الحسابي ± الخطأ المعياري المتوسط الحسابي

$$م = م \pm ك_م \quad (٧)$$

مثال ١ :

قيس الضلع (أ ب) ٦ مرات فكانت النتائج كما يلي :

(١٧٥,٣٢ ، ١٧٥,٤٠ ، ١٧٥,٣٦ ، ١٧٥,٣٨ ، ١٧٥,٣٤ ، ١٧٥,٣٠)

المطلوب حساب :

١. قيمة الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي في قياس الضلع (أ ب) .

٢. القيمة الأكثر احتمالا لطول الضلع (أ ب) .

الحل :

م	الكمية المقاسة (س) بالمتر	المتوسط الحسابي (س)	الفـــــــــــــرق ف = م - س	مربع الفروق ف^{٢}
١	١٧٥,٣٢	١٧٥,٣٥	٠,٠٣	٠,٠٠٠٩
٢	١٧٥,٤٠		- ٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
٣	١٧٥,٣٦		- ٠,٠١	٠,٠٠٠١
٤	١٧٥,٣٨		- ٠,٠٣	٠,٠٠٠٩
٥	١٧٥,٣٤		٠,٠١	٠,٠٠٠١
٦	١٧٥,٣٠		٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
المجموع	١٠٥٢,٢٠		صفر	٠,٠٠٧

١. م = $\frac{[\ س\ ]}{ن}$

م = $\frac{[\ ١٠٥٢,٢٠\ ]}{٦}$ = ١٧٥,٣٥ متراً .

٢. ك م = $\sqrt{\frac{[\ ف^{٢}\ ]}{ن(ن-١)}}$ = $\sqrt{\frac{[\ ٠,٠٠٧\ ]}{٦(٦-١)}}$

= ± ٠,٠١٥ متراً .

٣. القيمة المحتملة لطول الضلع (أ ب) = م ± ك م

= ١٧٥,٣٥ ± ٠,٠١٥ متراً

= ١٧٥,٣٥ ± ١,٥٠ سم .

مثال٢ :

قيست مسافة أفقية (و ع) ١٢ مرة وكانت القياسات بعد حذف الغلط وتصحيح الأخطـــاء المنتظمة كما يلي :

(٢٢٠,١١ ، ٢٢٠,٠٩ ، ٢٢٠,٠٦ ، ٢٢٠,٠٨ ، ٢٢٠,٠٤ ، ٢٢٠,٠٠ ، ٢١٩,٩٦ ، ٢٢٠,٠٥ ، ٢١٩,٩٤ ، ٢٢٠,٠٧ ، ٢٢٠,١٠ ، ٢١٩,٩٨) متراً.

المطلوب حساب :

١. قيمة الخطأ في قياس المسافة (و ع) ؟
٢. القيمة الأكثر احتمالا لطول الخط (و ع) ؟

الحل :

م	الكمية المقاسة (س) بالمتر	المتوسط الحسابي (س)	الفـــــــــــرق ف = م - س	مربع الفروق ف^{٢}
١	٢٢٠,١١	٢٢٠,٠٤	- ٠,٠٧	٠,٠٠٤٩
٢	٢٢٠,٠٩		- ٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
٣	٢٢٠,٠٦		- ٠,٠٢	٠,٠٠٠٤
٤	٢٢٠,٠٨		- ٠,٠٤	٠,٠٠١٦
٥	٢٢٠,٠٤		٠,٠٠	٠,٠٠٠٠
٦	٢٢٠,٠٠		٠,٠٤	٠,٠٠١٦
٧	٢١٩,٩٦		٠,٠٨	٠,٠٠٦٤
٨	٢٢٠,٠٥		- ٠,٠١	٠,٠٠٠١
٩	٢١٩,٩٤		- ٠,١	٠,٠١
١٠	٢٢٠,٠٧		- ٠,٠٣	٠,٠٠٠٩
١١	٢٢٠,١٠		- ٠,٠٦	٠,٠٠٣٦
١٢	٢١٩,٩٨		٠,٠٦	٠,٠٠٣٦
المجموع	٢٦٤٠,٤٨		صفر	٠,٠٣٥٦

١. م = $\frac{[\ \text{س}\ ]}{\text{ن}}$

م = $\frac{[\ ٢٦٤٠,٤٨\ ]}{١٢}$ = ٢٢٠,٠٤ متراً .

٢. ك م = $\sqrt{\frac{[\ \text{ف}^{٢}\ ]}{\text{ن}(\text{ن}-١)}}$ = $\sqrt{\frac{[\ ٠,٠٣٥٦\ ]}{١٢(١٢-١)}}$

= ± ٠,٠١٦ متراً .

٣. القيمة المحتملة لطول الضلع (أ ب) = م ± ك م

= ٢٢٠,٠٤ ± ٠,٠١٦ متراً

= ٢٢٠,٠٤ ± ١,٦٠ سم .

ثانياً : ضبط الأرصاد الطولية والزاوية للأرصاد المختلفة الأوزان (الموزونة)

أولاً : الأرصاد المختلفة الأوزان (الأرصاد الموزونة)

هي الأرصاد التي لها درجات متفاوتة من الثقة نتيجة اختلاف ظروف تجميع هذه الأرصاد مثل :

- اختلاف الراصد - اختلاف أجهزة الرصد - اختلاف أوقات الرصد .

وزن الأرصاد (و)

عبارة عن مقياس نسبي يعبر عن درجة الثقة في هذه الأرصاد ويرمز له بالرمز (و) وهو يتناسب طرديا مع عدد مرات الرصد (ن) ويتناسب عكسيا مع مربع الخطأ المعياري ($ك^{٢}$) .

ولتوضيح معنى كلمة مقياس نسبي نفرض أننا قمنا بقياس زاوية أفقية على ثلاثة أيام وكان عدد مرات القياس في اليوم الأول (مرتين) وفي اليوم الثاني (أربع مرات) وفي اليوم الثالث (ثلاث مرات) ويمثل ذلك كما يلي :

وزن اليوم الأول	:	وزن اليوم الثاني	:	وزن اليوم الثالث
٢	:	٤	:	٣

وهذا يعني أن وزن اليوم الثاني ضعف وزن اليوم الأول ووزن اليوم الثالث يمثل مرة ونصف وزن اليوم الأول ، وكذلك وزن اليوم الثاني مرة وثلث من وزن اليوم الثالث ، وبضرب قيم هذه الأوزان أو بقسمتها على رقم ثابت سوف نحافظ على هذه النسب فمثلا بعد ضرب قيم هذه الأوزان في الرقم (٥) تصبح على النحو التالي ١٠ : ٢٠ : ١٥ سوف تظل نسب الأوزان كما هي دون تغير وهذا معنى كلمة مقياس نسبي .

- والوزن يتناسب طرديا مع عدد مرات القياس ، أي أنه كلما زاد عدد مرات القياس كلما زاد الوزن وكلما قل عدد مرات القياس كلما قل الوزن ويمكن التعبير عن هذا التناسب الطردي كما يلي :

و١ : و٢ : و٣ : و٤ : ..... : $و_{ن}$ = ن١ : ن٢ : ن٣ : ن٤ : ..... $ن_{ن}$.

الوزن يتناسب عكسيا مع مربع الخطأ المعياري ، أي أنه كلما زاد مربع الخطأ المعياري كلما قل الوزن وكلما قل مربع الخطأ المعياري كلما زاد الوزن ويمكن التعبير عن هذا التناسب العكسي كما يلي :

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \cdots\cdots : \text{و}_\text{ن} = \frac{1}{\text{ك}_1^2} : \frac{1}{\text{ك}_2^2} : \frac{1}{\text{ك}_3^2} : \cdots\cdots : \frac{1}{\text{ك}_\text{ن}^2}$$

مثال ١ :

قيست مسافة أفقية بواسطة أربع مجموعات وكانت عدد مرات القياس لكل مجموعة على التوالي ٤ ، ٢ ، ٣ ، ١ . والمطلوب حساب نسب الوزن للمجموعات الأربع ؟

الحل:

الوزن يتناسب طرديا مع عدد مرات القياس

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = \text{ن}_1 : \text{ن}_2 : \text{ن}_3 : \text{ن}_4$$

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = 4 : 2 : 3 : 1$$

مثال٢ :

قيست زاوية أفقية بواسطة أربع مجموعات وكان الخطأ المعيـــاري للمجموعات الأربع على التوالي ٣ ، ٢ ، ١ ، ٦ ثانية . احسب نسب الوزن للمجموعات الأربع ؟

الحل:

الوزن يتناسب عكسيا مع مربع الخطأ المعياري

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \cdots\cdots : \text{و}_\text{ن} = \frac{1}{\text{ك}_1^2} : \frac{1}{\text{ك}_2^2} : \frac{1}{\text{ك}_3^2} : \frac{1}{\text{ك}_4^2}$$

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \cdots\cdots : \text{و}_\text{ن} = \frac{1}{3^2} : \frac{1}{2^2} : \frac{1}{1^2} : \frac{1}{6^2}$$

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \cdots\cdots : \text{و}_\text{ن} = \frac{1}{9} : \frac{1}{4} : \frac{1}{1} : \frac{1}{36}$$

ولتحويل قيم هذه الأوزان إلى رقم صحيح بدلا من كسر حتى يسهل التعامل معها نختار رقماً يقبل القسمة على كل الأرقام (١ ، ٤ ، ٩ ، ٣٦) وهو الرقم ٣٦ ويسمى ثابت التناسب ويضرب كل كسر في ثابت التناسب وتصبح الأوزان كما يلي :

و١ : و٢ : و٣ : و٤ = ٤ً : ٩ً : ٣٦ً : ١ً .

حساب القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد المختلفة الأوزان

١. **المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة (م و) :**

المتوسط الحسابي للأرصاد التي أخذت في ظروف مختلفة عبارة عن مجموع حاصل ضرب القياسات بأوزانها مقسوما على مجموع الأوزان :

$$م\,و = \frac{و_{١}\,س_{١} + و_{٢}\,س_{٢} + و_{٣}\,س_{٣} + \ldots\ldots\ldots\ldots + و_{ن}\,س_{ن}}{و_{١} + و_{٢} + و_{٣} + \ldots\ldots\ldots\ldots و_{ن}}$$

$$م\,و = \frac{[\,و \times س\,]}{[\,و\,]}$$

حيث :

م و = المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة .

و = الوزن .

س = الكمية المقاسة .

[ ] = مجموع ما بداخلها .

٢. **الفروقات (ف) للأرصاد الموزونة :**

هي عبارة عن الفرق بين المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة (م و) وقيمة الكمية المقاسة (س)

$$ف = م_و - س$$

حيث :

ف = الفرق .

$م_و$ = المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة .

س = الكمية المقاسة .

ويجب التنويه أن المجموع الجبري للفروقات في هذه الحالة لا يساوي صفراً ولكن المجموع الجبري لحاصل ضرب الوزن × الفرق = صفر .

٣. الخطأ المعياري للرصدة الواحدة للأرصاد الموزونة ($ك_و$) :

$$ك_و = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^2\ ]}{(ن - ١)}}$$

حيث :

$ك_و$ = الخطأ المعياري للأرصاد المختلفة الأوزان .

و = الوزن .

$ف^2$ = مربع الفروقات .

ن = عدد مرات القياس .

[ ] = مجموع ما بداخلها

٤. الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي ($ك_{م_و}$) للأرصاد الموزونة :

$$ك_{م_و} = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^2\ ]}{[\ و\ ] \times (ن - ١)}}$$

حيث :

$ك_{م_و}$ = الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة .

و = الوزن .

ف^{٢} = مربع الفروقات .

ن = عدد مرات القياس .

[ ] = مجموع ما بداخلها

٥. القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد الموزونة :

هي عبارة عن المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة ± الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة

القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد الموزونة = م $_{و}$ ± ك م $_{و}$

مثال١ :

قيست المسافة الأفقية (أ ب) بواسطة أربع مجموعات فكانت نتائج القياس كالتالي :

المجموعة	الكمية المقاسة	الوزن
١	٥٩٢,٠٤	٩
٢	٥٩٢,٠١	٤
٣	٥٩٢,١٠	٣٦
٤	٥٩٢,١٠	١

المطلوب :

١. حساب المتوسط الحسابي لطول الخط (أ ب) ؟

٢. الخطأ المعياري للرصدة الواحدة ؟

٣. الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي ؟

٤. القيمة الأكثر احتمالا لطول الخط (أ ب) ؟

الحل :

رقم القوس	الكمية المقاسة (س)	الوزن و	و × س	المتوسط الحسابي (م و)	الفرق ف	و × ف^{2}
١	٥٩٢,٠٤	٩	٥٣٢٨,٣٦	٥٩٢,٠٨٢	٠,٠٤٢	٠,٠١٥٩
٢	٥٩٢,٠١	٤	٢٣٦٨,٠٤		٠,٠٧٢	٠,٠٢٠٧
٣	٥٩٢,١٠	٣٦	٢١٣١٥,٦٠		- ٠,٠١٨	٠,٠١١٧
٤	٥٩٢,١٠	١	٥٩٢,١٠		- ٠,٠١٨	٠,٠٠٠٣
المجموع		٥٠	٢٩٦٠٤,١٠			٠,٠٤٨٦

١. المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة للخط (أ ب)

$$م_{و} = \frac{[\ ٢٩٦٠٤,١٠\ ]}{[\ ٥٠\ ]} = ٥٩٢,٠٨٢ \text{ متراً .}$$

٢. الخطأ المعياري للرصدة الواحدة :

$$ك_{و} = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^{2}\ ]}{(ن - ١)}}$$

$$ك_{و} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,٠٤٨٦\ ]}{(٣)}} = \pm\ ٠,١٢٧ \text{ متراً .}$$

٣. الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي (ك م و) :

$$ك_{م_{و}} = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^{2}\ ]}{[\ و\ ] \times (ن - ١)}}$$

$$ك_{م_{و}} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,٠٤٨٦\ ]}{(٣) \times [\ ٥٠\ ]}} = \pm\ ٠,٠١٨ \text{ متراً .}$$

٤. القيمة الأكثر احتمالا للخط (أ ب) :

القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد الموزونة = م $_{و}$ $\pm$ ك م $_{و}$

= ٥٩٢,٠٨٢ $\pm$ ٠,٠١٨ متراً .

للتحقيق الحسابي :

(و١ × ف١) + (و٢ × ف٢) + (و٣ × ف٣) + (و٤ × ف٤) = صفر .

(٩ × ٠,٠٤٢) + (٤ × ٠,٠٧٢) + (٣٦ × - ٠,٠١٨) + (١ × - ٠,٠١٨) = صفر .

مثال٢ :

المسافة الأفقية (س ص) تم قياسها بواسطة ثلاث مجموعات فكانت نتائج القياس كما يلي :

المجموعة	المسافة المقاسة بالمتر	الخطأ المعياري
١	١٧٣,٠٢	٣
٢	١٧٣,٠٥	٢
٣	١٧٣,١٠	٥

المطلوب حساب القيمة الأكثر احتمالا لطول الخط (س ص) ؟

الحل :

الوزن يتناسب عكسيا مع مربع الخطأ المعياري

$$و١ : و٢ : و٣ = \frac{١}{ك^{٢}_{١}} : \frac{١}{ك^{٢}_{٢}} : \frac{١}{ك^{٢}_{٣}}$$

$$و١ : و٢ : و٣ = \frac{١}{٣^{٢}} : \frac{١}{٢^{٢}} : \frac{١}{٥^{٢}}$$

$$و١ : و٢ : و٣ = \frac{١}{٩} : \frac{١}{٤} : \frac{١}{٢٥}$$ وباختيار ثابت تناسب ٩٠٠

و١ : و٢ : و٣ = ١٠٠ : ٢٢٥ : ٣٦

رقم القوس	الكمية المقاسة (س)	الوزن و	و × س	المتوسط الحسابي (م و)	الفرق ف	و × ف^{٢}
١	١٧٣,٠٢	١٠٠	١٧٣٠٢	١٧٣,٠٤٧	٠,٠٢٧	٠,٠٧٢٩
٢	١٧٣,٠٥	٢٢٥	٣٨٩٣٦,٢٥		٠,٠٠٣ -	٠,٠٠٢٠
٣	١٧٣,١٠	٣٦	٦٢٣١,٦		٠,٠٥٣ -	٠,١٠١١
المجموع		٣٦١	٦٢٤٦٩,٨٥			٠,١٧٦

١. المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة للخط (أ ب)

$$م_{و} = \frac{[\ ٦٢٤٦٩,٨٥\ ]}{[\ ٣٦١\ ]} = ١٧٣,٠٤٧ \text{ متراً .}$$

٢. الخطأ المعياري للرصدة الواحدة :

$$ك_{و} = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^{٢}\ ]}{(ن - ١)}}$$

$$ك_{و} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,١٧٦\ ]}{(٢)}} = \pm\ ٠,٢٩٧ \text{ متراً .}$$

٣. الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي (ك م و) :

$$ك_{م\ و} = \pm \sqrt{\frac{[\ و \times ف^{٢}\ ]}{[\ و\ ] \times (ن - ١)}}$$

$$ك_{م\ و} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,١٧٦\ ]}{[\ ٣٦١\ ] \times (\ ٢\ )}} = \pm\ ٠,٠١٦ \text{ متراً .}$$

٤. القيمة الأكثر احتمالا للخط (أ ب) :

القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد الموزونة = م و ± ك م و

= ١٧٣,٠٤٧ ± ٠,٠١٦ متراً .

للتحقيق الحسابي :

(و١ × ف١) + (و٢ × ف٢) + (و٣ × ف٣) = صفر .

(١٠٠ × ٠,٠٢٧) + (٢٢٥ × - ٠,٠٠٣) + (٣٦ × - ٠,٠٥٣) = صفر .

مثال٣ :

قيست مسافة أفقية بواسطة أربع مجموعات فكانت نتائج القياس كما هو موضح بالجدول ، والمطلوب هو حساب القيمة الأكثر احتمالا لطول الخط المقاس ؟

المجموعة	المسافة المقاسة بالمتر	الخطأ المعياري
١	٨٧,٥٠	٢
٢	٨٧,٤٢	٣
٣	٨٧,٥٦	٥
٤	٨٧,٤٨	٦

الحل :

الوزن يتناسب عكسيا مع مربع الخطأ المعياري

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = \frac{1}{\text{ك}_1^2} : \frac{1}{\text{ك}_2^2} : \frac{1}{\text{ك}_3^2} : \frac{1}{\text{ك}_4^2}$$

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = \frac{1}{2^2} : \frac{1}{3^2} : \frac{1}{5^2} : \frac{1}{6^2}$$

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = \frac{1}{4} : \frac{1}{9} : \frac{1}{25} : \frac{1}{36}$$ وباختيار ثابت تناسب ٩٠٠

$$\text{و}_1 : \text{و}_2 : \text{و}_3 : \text{و}_4 = ٢٢٥ : ١٠٠ : ٣٦ : ٢٥$$

رقم القوس	الكمية المقاسة (س)	الوزن و	و × س	المتوسط الحسابي (م و)	الفرق ف	و × ف^2
١	٨٧,٥٠	٢٢٥	١٩٦٨٧,٥٠	٨٧,٤٨٤	- ٠,٠١٦	٠,٠٥٧٦
٢	٨٧,٤٢	١٠٠	٨٧٤٢		٠,٠٦٤	٠,٤٠٩٦
٣	٨٧,٥٦	٣٦	٣١٥٢,١٦		- ٠,٠٧٦	٠,٢٠٧٩
٤	٨٧,٤٨	٢٥	٢١٨٧		٠,٠٠٤	٠,٠٠٠٤
المجموع		٣٨٦	٣٣٧٦٨,٦٦			٠,٦٧٥٥

١. المتوسط الحسابي للأرصاد الموزونة للخط (أ ب)

$$\text{م و} = \frac{[\ ٣٣٧٦٨,٦٦\ ]}{[\ ٣٨٦\ ]} = ٨٧,٤٨٤ \text{ متراً .}$$

٢. الخطأ المعياري للرصدة الواحدة :

$$\text{ك و} = \pm \sqrt{\frac{[\ \text{و} \times \text{ف}^2\ ]}{(\text{ن} - ١)}}$$

$$\text{ك و} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,٦٧٥٥\ ]}{(٣)}} = \pm ٠,٤٧٥ \text{ متراً .}$$

٣. الخطأ المعياري للمتوسط الحسابي (ك م و) :

$$\text{ك م}_{\text{و}} = \pm \sqrt{\frac{[\ \text{و} \times \text{ف}^{2}\ ]}{[\ \text{و}\ ] \times (\text{ن} - ١)}}$$

$$\text{ك م}_{\text{و}} = \pm \sqrt{\frac{[\ ٠,٦٧٥٥\ ]}{[\ ٣٨٦\ ] \times (\ ٣\ )}} = \pm\ ٠,٠٢٤ \text{ متراً .}$$

٤. القيمة الأكثر احتمالا للخط (أ ب) :

القيمة الأكثر احتمالا للأرصاد الموزونة = م و ± ك م و

= ٨٧,٤٨٤ ± ٠,٠٢٤ متراً .

المراجع

الحسيني ، محمد صفوت (٢٠٠٢م) الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.
الشافعي ، شريف فتحي (٢٠٠٤م) المساحة التصويرية ، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.
الشريعي ، أحمد البدوي محمد ، الخرائط الجغرافية: تصميم وقراءه وتفسير(٢٠٠٧م) دار الفكر العربي، القاهرة، مصر.
الربيش ، محمد بن حجيلان (٢٠٠٢م) النظام الكوني لتحديد المواقع – الرياض، المملكة العربية السعودية.
العيسي ، سميح يوسف (٢٠٠٦م) مبادئ عمل منظومة التوضع الجي بي إس – شعاع للنشر – حلب – سوريه.
الغزالي ، محمد شوقي ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٤م) المساحة المستوية: طرق الرفع و التوقيع ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٤م) المساحة الطبوغرافية و تطبيقاتها في الهندسة المدنية ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٨٩م) المساحة الجيوديسية ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٨م) المساحة التصويرية و القياس الالكتروني و نظرية الاخطاء ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.

صيام ، يوسف (٢٠٠٢م) المساحة: أنظمة الاحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الاردن.
عبد العزيز ، يوسف ابراهيم و الحسيني ، محمد صفوت (٢٠٠٧م) المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.

غازي ، ناصر محمد (٢٠٠٧م) القياس الالكتروني للمسافات و محطات الرصد المتكاملة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.

محسوب ، محمد صبري ، و الشريعي ، أحمد البدوي محمد (٢٠٠٥م) الخريطة الكنتورية: قراءة و تحليل ، القاهرة ، دار الفكر العربي ، القاهرة، مصر.
معوض ، معوض بدوي (٢٠٠٩م) مبادئ الاستشعار عن بعد و تدريباته العملية ، المنار للطباعة و النشر ، القاهرة ، مصر.