1–المفهوم العام للمساحة General concept of surveying

1–1 التعريف الشامل للمساحة General definition of surveying

يمكن تعريف المساحة على اساس انها العلم المختص بتحديد determination مسح survey او التعيين establising اسقاط setting out مواقع نقاط على او بالقرب من سطح الارض، وذلك من خلال اخذ القياسات المطلوبة ومن ثم اجراء الحسابات اللازمة لتحويل تلك القياسات الى معلومات نهائية رقمية (مثل الاحداثيات الافقية) او ترسيمية (مثل الخارطة الطوبوغرافية).

1–2 مراحل اعمال المسح Steps of surveying work

من خلال التعريف الشامل للمساحة الذي تم ذكره اعلاه، يمكن القول ان أي عمل مساحي يتضمن ثلاث مراحل اساسية:

1. اخذ القياسات
2. اجراء الحسابات
3. تمثيل المعلومات النهائية بشكل رقمي او ترسيمي

1-3 انواع المساحة Types of Surveying

يمكن ايجاز انواع المساحة على النحو الاتي:-

انواع المساحة

- A- من حيث الدقة
- B- من حيث الاجهزة المستخدمة.
- C- من حيث التطبيق.

A- <u>من حيث الدقة</u>:- تقسم المساحة من حيث الدقة الى نوعين:

1. المساحة الجيوديسية Geodetic Surveying: في هذا النوع من المساحة يتم اعتبار سطح الارض على اساس انه سطح كروي، أي انه يأخذ تكور الارض بنظر الاعتبار، لذلك تعتبر المساحة الجيوديسية من ادق انواع المساحة.
2. المساحة المستوية Plane Surveying: في هذا النوع من المساحة يتم اعتبار سطح الارض على اساس انه سطح مستوي، أي انه يهمل تكور الارض في حالة تحديد المواقع الافقية، اما في حالة تحديد ارتفاعات النقاط فان تكور الارض يأخذ بنظر الاعتبار في المساحة المستوية لكون تأثير التكور يكون ملموس في حالة احتساب ارتفاعات النقاط.

ان الفرق في المسافة الافقية بين نقطتين المحسوبة على اساس ان الخط الواصل بين النقطتين هو خط مستقيم Plane Surveying والمسافة الافقية بين نفس النقطتين المحسوبة على اساس ان الخط الواصل بين النقطتين هو خط منحني Geodetic Surveying يكون صغير جداً، لذلك فان تأثير التكور في تحديد المواقع الافقية يكون غير ملموس وخارج نطاق الدقة المطلوبة لمعظم المشاريع الهندسية وعليه يستخدم المساحة المستوية في معظم تطبيقات

المشاريع الهندسية ولهذا سوف يتم الاكتفاء في تدريس مادة المساحة بجميع تخصصات هندسة البناء والانشاءات (الهندسة المدنية) على المساحة المستوية وان كل ما سوف يتم التطرق اليه وشرحه وتدريسه لاحقاً يقع ضمن المساحة المستوية Plane Surveying.

B– من حيث الاجهزة المستخدمة: تقسم المساحة من حيث الاجهزة المستخدمة الى نوعين رئيسيين:

1. المساحة الارضية Land Surveying: في هذا النوع يتم استخدام اجهزة المسح الارضية التقليدية بما في ذلك شريط القياس، جهاز التسوية Level، جهاز الثيودولايت Theodolite، وغيرها من اجهزة المسح الارضي المتطورة.
2. المساحة التصويرية Photogrammetry: في هذا النوع يتم استخدام الكاميرات بانواعها للحصول على المعلومات الحقلية المطلوبة واجراء اعمال المسح بدلاً من استخدام اجهزة المسح الارضية التقليدية.

يمكن تصنيف المسح التصويري الى نوعين:

1. المسح التصويري الارضي ويشمل ذلك على نوعان هما:
Tresterial Photogrammetry , Close range Photogrammetry
2. المسح التصويري الجوي Arieal photogrammetry

C– من حيث التطبيق: تزامناً مع التطورات الحاصلة في مختلف المجالات ويمكن القول بان المساحة تطبق الان في معظم التخصصات بما في ذلك تطبيق المساحة في المجال الطبي، في الصناعة، في الري والزراعة، المساحة الطوبوغرافية، المساحة الكادسترائية، الخ...

1-4 المبادئ الاساسية للمساحة Basic Principles of Surveying

1- العمل من الاكبر الى الجزء وذلك لتقليل تأثيرالأخطاء في أعمال المساحة الى الحد المسموح بها في مسح التفاصيل.

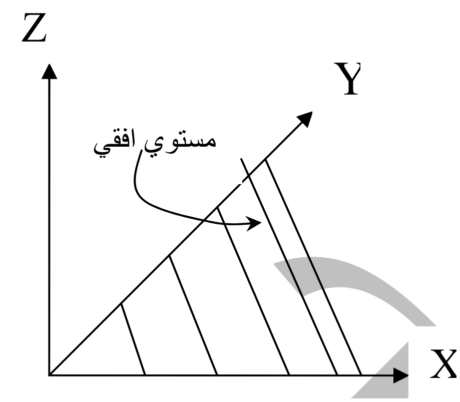
2- الأقتصاد في الدقة "Economy of accuracy" حيث أنه كلما كانت الدقة اعلى كلما كانت كلفة العمل أكبر,لذا يجب إجراء العمل المساحي بالدقة المطلوبة حسب مواصفات المشروع الهندسي.

3- التجانس "Consistancy" اي أنه يجب استخدام أجهزة متجانسة في الدقة في نفس المشروع .

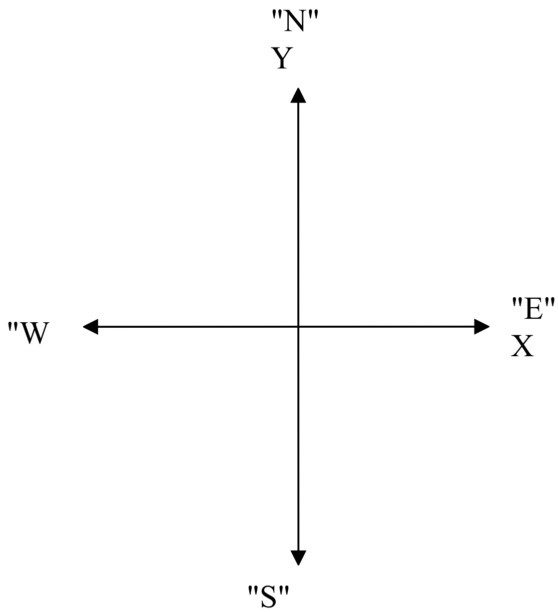
4- تدقيق صحة تنفيذ العمل من خلال إجراء (تكرار)أي القياس أكثر من مرة واحدة.

1-5 نظام الأحداثيات Coordinates system

في المساحة المستوية "Plane surveying" يتم تحديد مواقع النقاط (البعد الثلاثي three dimensional) بأستخدام نظام الأحداثيات المستوية "Plane coordinate system" .
في الشكل (1-1) المحاور (X-Y) عبارة عن محاور أفقية "Horizontal axes" تشكلان المستوى الافقي" Horizontal plane" الذي من خلاله يتم تحديد الاحداثيات الافقية "Horizontal coordinate" لموقع اي نقطة ,وان المحور X يمثل اتجاه الشرق E
والمحور Y يمثل اتجاه الشمال N ,كما هو مبين في الشكل(2-1).
اما المحور Z فهو عبارة عن محور شاقولي "Vertical axes"يتم من خلاله تحديد الاحداثي الشاقولي (ارتفاع"Elevation") لموقع اي نقطة فوق او تحت سطح المرجع "Datum" الذي تنسب اليه ارتفاعات النقاط والذي عادة مايتم تمثيله بمعدل مستوى سطح البحر "Mean sea level".
خلاصه لما تم ذكره اعلاه , في المساحه المستويه , ان البعد الثلاثي لموقع اي نقطة يمكن تحديدة من خلال تحديدالاحداثيات الافقيه (X,Y) وارتفاع (Z)النقطة .



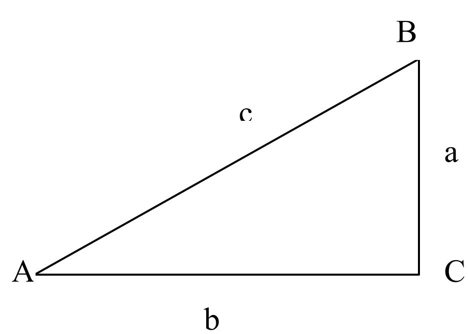
شكل (1-1) نظام الاحداثيات المستوية



شكل(2-1) اتجاه المحاور الافقيه (X,Y)

6- 1 علاقات رياضية مهمة في مادة المساحة:

1- المثلث القائم الزاوية right angle triangle ABC



$$c^2 = a^2 + b^2$$

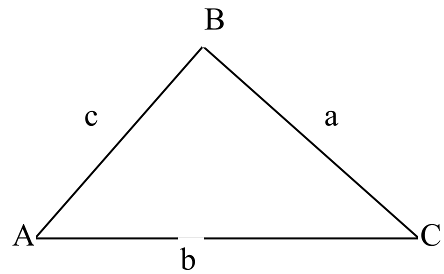
$$\sin A = \frac{a}{c}$$

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

$$\tan A = \frac{a}{b}$$

$$area = \frac{1}{2} ab$$

2- مثلث غير قائم الزاوية oblique triangle



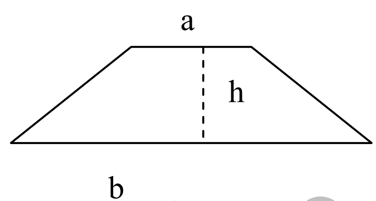
$$\frac{a}{\sin A}=\frac{b}{\sin B}=\frac{c}{\sin C}$$

$$\cos A=\frac{b^2+c^2-a^2}{2ab}$$

$$let\ s=\frac{a+b+c}{2}$$

$$\therefore Area=\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

3- شبه المنحرف Trapizoid



$$Area=\frac{a+b}{2}*h$$

4- الهرم pyramid

حجم الهرم=1\3مساحة القاعدة*الارتفاع

$$Volume=\frac{1}{3}Ah$$

$$A=Area$$

<u>1-7 مسح واسقاط المنشآت Surveying and setting of constructions</u>

ان عملية مسح Survey او اسقاط Setting out = Laying out أي منشأ يجب ان تتم اعتماداً على العلاقات الرياضية التي تربط مابين نقاط المنشأ ونقاط نظام السيطرة control system المعلومة المواقع، لذلك فان اعمال مسح او اسقاط أي منشأ يمكن تجزئتها الى خطوتين Two steps:

1. توفير او عمل نظام سيطرة افقية Horizontal control system و/ او and/ or نظام سيطرة شاقولية Vertical control system وذلك من خلال تحديد مواقع شبكة من النقاط موزعة بشكل جيد بالقرب من مواقع المنشأت المراد مسحها او بالقرب من المواقع المراد اسقاط المنشأت فيها.
2. مسح او اسقاط المنشأ

من خلال ما تم ذكره اعلاه يتبين لنا، انه قبل البدء باجراء اعمال المسح او الاسقاط لاي منشأ يجب اولاً اجراء استطلاع موقعي للتأكد من وجود نقاط سيطرة control points

بالقرب من المنشأ المراد مسحه او بالقرب من الموقع المراد اسقاط المنشأ فيه، وبخلاف ذلك يجب اولاً اجراء الخطوة الاولى اعلاه والمتمثلة في عمل نظام السيطرة ومن ثم واعتماداً على مواقع نقاط نظام السيطرة يتم اجراء الخطوة الثانية المتمثلة بعملية مسح المنشأ او اسقاط المنشأ.

1−7−1 مسح المنشأت Survey of constructions

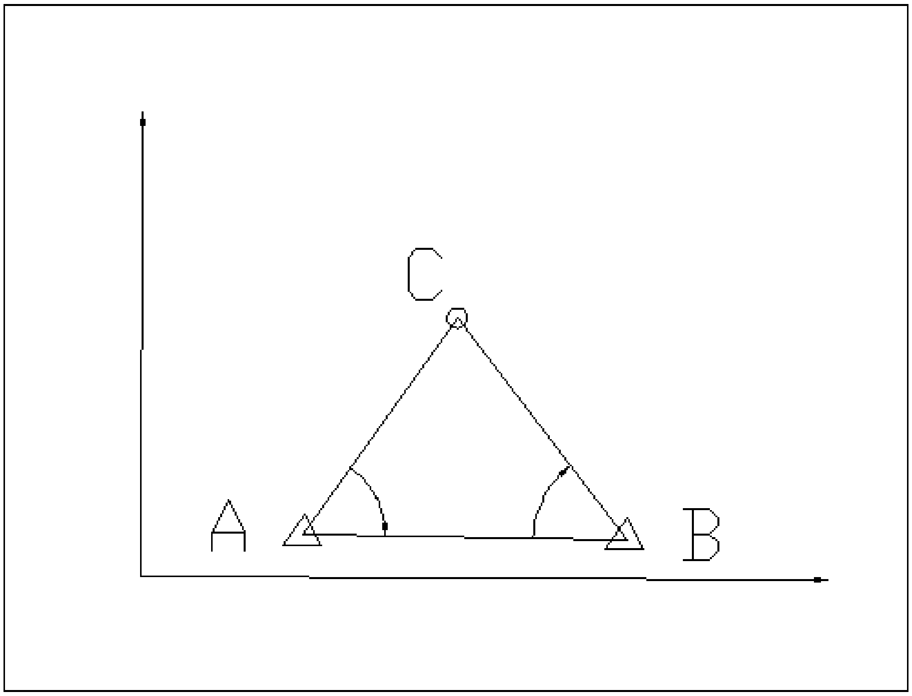
عملية تحديد determining مواقع (الاحداثيات الافقية و/ او ارتفاعات) نقاط معينة في منشأ او عمل خارطة للمنشأ تسمى بعملية مسح Survey المنشأ. او بعبارة اخرى، ان المنشأ موجود ومثبت في الطبيعة والمطلوب هو تحديد مواقع نقاط معينة في المنشأ او عمل خارطة للمنشأ.

لذلك واشارة الى التعريف الشامل للمساحة الذي تم ذكره سابقاً (1−1)، فان عملية مسح المنشأ تتم في ثلاث مراحل وعلى النحو التالي:

1. اخذ القياسات المطلوبة
2. اجراء الحسابات اللازمة لتحويل تلك الحسابات الى معلومات نهائية.
3. تمثيل المعلومات النهائية اما على شكل معلومات رقمية (الاحداثيات الافقية و/ او ارتفاعات النقاط) او على شكل معلومات ترسيمية (خارطة).

مثال: في الشكل (3−1) ادناه، النقاط B, A نقاط سيطرة افقية Horizontal control points، اي انها عبارة عن نقاط مثبتة في الطبيعة ومعلومة الاحداثيات، نقطة C عبارة عن نقطة مثبتة في الطبيعة الا انها مجهولة الاحداثيات الافقية، المطلوب هو تحديد الاحداثيات الافقية (مسح) للنقطة C، اذا علمت ان الاحداثيات الافقية للنقاط A, B هي:

$$X_A = 40m \quad , \quad Y_A = 20m$$
$$X_B = 164m \quad , \quad Y_B = 20m$$



شكل (3-1) تحديد (مسح) موقع نقطة

اشارة الى ماتم ذكره سابقاً في (7−1) فأن أي عملية مسح تتكون من خطوتين:

1. عمل نظام سيطرة
2. اجراء اعمال المسح

في هذا المثال A, B عبارة عن نقاط سيطرة افقية معلومة الاحداثيات الافقية وموجودة (مثبتة على الارض) بالقرب من نقطة C المراد تحديد موقعها الافقي.

لذلك فانه يمكن المباشرة في الخطوة الثانية وهي اجراء عملية المسح للنقطة C.

اشارة الى ماتم ذكره في (1−7−1) فأن عملية مسح النقطة C تتم في ثلاث مراحل وعلى النحو الاتي:

1. اخذ القياسات المطلوبة.
2. اجراء الحسابات اللازمة لتحويل تلك القياسات الى معلومات نهائية.
3. تمثيل المعلومات النهائية بشكل معلومات رقمية والمتمثلة في الاحداثيات الافقية للنقطة C.

1– اخذ القياسات

لو نظرنا الى الشكل (3–1) هناك عدة انواع من القياسات بالامكان اجراءها لغرض تحديد الاحداثيات الافقية للنقطة C:–

ا. قياس الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC.

ب. احدى المسافتين الافقيتين AC, BC واحدى الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC.

لو فرض انه تم قياس المسافة الافقيةAC و الزاؤية الافقية الى اليمين CAB وكانت على النحو التالي:

^{o}AC=65m , <CAB= 30 ^{o}

2– اجراء الحسابات اللازمة لتحويل تلك القياسات (المسافة AC،و الزاوية CAB) الى معلومات نهائية (الاحداثيات الافقية للنقطة C (X_C, Y_C)) من خلال تطبيق العلاقات الرياضية التي تربط مابين الاحداثيات الافقية لنقاط السيطرة A, B والاحداثيات الافقية لنقطة C وهي:

$$X_C = X_A + D_{AC} \times \sin AZ_{AC} \cdots\cdots [1]$$
$$Y_C = Y_A + D_{AC} \times \cos AZ_{AC} \cdots\cdots [2]$$

حيث ان حيث ان AZ_{AC}=اتجاه الخط AC.والذي يمكن حسابه اعتمادا على الاتجاه المعلوم للخط $\left(\overrightarrow{AB} = 90^\circ\right)$ و الزاوية الافقية CAB. ومنهما يتبين ان اتجاه الخطِ $\overrightarrow{AC}$=60^{o}

يوجد لدينا الان معادلتين رياضيتين (1,2) فيهما مجهولين (X_C, Y_C) , بالامكان حل هاتين المعادلتين انياً لتحديد قيم X_C, Y_C .

3– المرحلة الثالثة في اعمال المسح هو تمثيل المعلومات النهائية على شكل معلومات رقمية والمتمثلة بالاحداثيات الافقية من نقطة (X_C, Y_C) وعند ذلك تعتبر عملية المسح للنقطة C قد تمت.

1–7–2 اسقاط المنشأت Setting out of Constructions

عملية تعيين establishing (تثبيت) مواقع نقاط معينة في منشأ على الطبيعة (الارض) او اسقاط (تثبيت) خارطة المنشأ على الطبيعة (الارض) تسمى بعملية اسقاط المنشأ او بعبارة اخرى ان المنشأ غير موجود (غير مثبت) في الطبيعة وانما تتوفر لدينا خارطة المنشأ والمطلوب

هو اسقاط (تثبيت) هذه الخارطة على الطبيعة (الارض) لذلك فان مراحل اعمال المساحة لاسقاط أي منشأ هي عكس مراحل اعمال المساحة لمسح أي منشأ وتكون بالشكل الاتي:

1. المعلومات النهائية متوفرة والتي اما ان تكون بشكل معلومات رقمية او معلومات ترسيمية.
2. اجراء الحسابات اللازمة لتحويل المعلومات النهائية الى القياسات المطلوبة.
3. اخذ القياسات المطلوبة لتثبيت (اسقاط) نقاط معينة في المنشأ او اسقاط خارطة المنشأ على الطبيعة (الارض).

مثال:

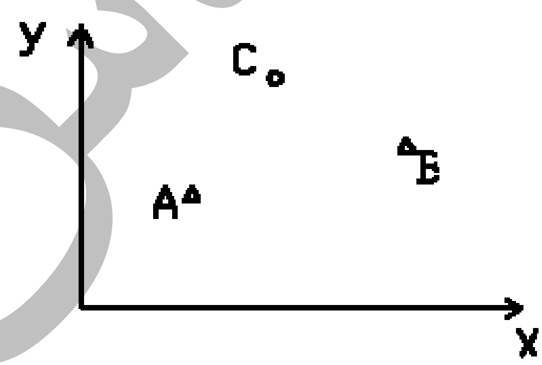
في الشكل (4−1) ادناه، النقاط A, B نقاط سيطرة افقية معلومة الاحداثيات، أي انها عبارة عن نقاط موجودة في الطبيعة ومعلومة الاحداثيات الافقية وكانت احداثياتها كالاتي:

$X_A = 40m \quad , \quad Y_A = 20m$

$X_B = 164m \quad , \quad Y_B = 84m$

وان المطلوب هو اسقاط (تثبيت) موقع نقطة C حيث ان نقطة C غير موجودة في الطبيعة وان الاحداثيات الافقية لنقطة C هي:

$X_C = 125m \quad , Y_C = 156m$



شكل (4−1) اسقاط موقع نقطة

اشارة الى ما تم ذكره في (2−7−1) اعلاه فأن أي عملية اسقاط تتكون من خطوتين:

1. عمل نظام سيطرة.
2. اجراء اعمال المسح اللازمة لاسقاط المنشأ.

في هذا المثال النقاط A,B عبارة عن نقاط سيطرة افقية معلومة الاحداثيات وموجودة بالقرب من الموقع المراد اسقاط نقطة C فيه. لذلك يمكن المباشرة في الخطوة الثانية المتمثلة في أسقاط (تثبيت) نقطة C.

ان عملية أسقاط النقطة C تتم في ثلاث مراحل:

1. المعلومات النهائية المتوفرة هي المعلومات الرقمية المتمثلة بالاحداثيات الافقية لنقطة C.

2. اجراء الحسابات اللازمة لتحويل الاحداثيات الافقية لنقطة C الى القياسات المطلوبة لاسقاط (تثبيت) نقطة C على الطبيعة (الارض).

لو نظرنا الى الشكل (2−1) هنالك عدة انواع من القياسات بالامكان حسابها لاسقاط (تعيين) نقطة C:

1. حساب الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC .
2. حساب احدى المسافتين الافقيتين AC, BC واحدى الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC.

لو فرض ان اسقاط نقطة C سوف يتم من خلال حساب الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC. بالامكان حساب المسافات الافقية AC , BC, AB من خلال تطبيق العلاقات الرياضية الاتية:

$$D_{AC}=\sqrt{(X_C-X_A)^2+(Y_C-Y_A)^2}$$
$$\therefore D_{AC}=\sqrt{(125-40)^2+(56-20)^2}= \quad m$$
$$D_{BC}=\sqrt{(X_C-X_B)^2+(Y_C-Y_B)^2}$$
$$\therefore D_{BC}=\sqrt{(125-164)^2+(56-84)^2}= \quad m$$
$$D_{AB}=\sqrt{(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2}$$
$$\therefore D_{AB}=\sqrt{(164-40)^2+(84-20)^2}= \quad m$$

اعتمادا على قيم اطوال هذه الخطوط يمكن حساب قيم الزاويتين الافقيتين الى اليمين CAB,ABC وذلك من خلال تطبيق العلاقة الرياضية الاتية:

$$\cos A = \frac{AC^2 + AB^2 - BC^2}{2AB \times AC}$$

3. اخذ القياسات المطلوبة (للزاويتين الافقيتين CAB,ABC) لاسقاط (تثبيت) نقطة C يتم ذلك*** من خلال بتثبيت بداية شريط القياس عند النقطة A وعمل مثلث ربط لتثبيت اتجاه الخط AC ومن ثم يتم تثبيت بداية الشريط في نقطة B وعمل مثلث ربط لتثبيت اتجاه الخط BC. نقطة تقاطع الخطين AC,BC تمثل نقطة C وبهذا تكون عملية اسقاط نقطة C قد تمت.

*** الجهاز الاساسي لقياس الزوايا في المساحة هو جهاز الثيودولايت" Theodolite " والذي سوف يتم التطرق له تفصيليا في موضوع الزوايا والاتجاهات لاحقا .

المساحة   الصف الثاني   هندسة البناء والانشاءات
د. عباس زيدان

2- القياسات والاخطاء Measurements and Errors

2-1 انواع القياسات: Type of measurements

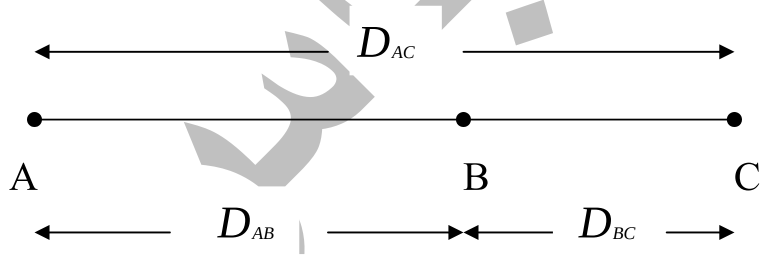
تقسم القياسات الى نوعين

1- القياسات المباشرة"Direct Measurements" :
ان اي متغير "variable" في اعمال المساحة يتم قياسه مباشرة دون اجراء اي عملية حسابية يسمى بالقياس المباشر.

2- القياسات الغير مباشرة"Indirect Measurements" :
ان اي متغير "variable" في اعمال المساحة يتم الحصول على قيمتة من خلال اجراء الحسابات بأستخدام علاقات رياضية تربط هذا المتغير بمتغيرات اخرى يسمى بالقياس غير المباشر.

مثال:

في الشكل (2-1) ادناه , لغرض قياس المسافة الافقية بين النقطتينA,C بأستخدام شريط القياس "Tape" تم تجزئة الخط المستقيم AC الى جزئين AB,BC حيث كان طول كل من الجزئين AB,BC اقل من (او يساوي) طول شريط القياس المستخدم في القياس .
لذلك يعتبر قياس المسافة الافقية D_{AB} والمسافة الافقية D_{BC} عبارة عن قياسات مباشرة , لأنه تم الحصول عليها مباشرة دون اجراء اي عملية حسابية بأستخدام علاقات رياضية تربط المتغير بمتغيرات اخرى.



شكل (2-1)" القياس المباشر والقياس الغير المباشر"

اما قياس المسافة الافقية D_{AC} يعتبر قياس غير مباشر لأنه تم الحصول عليه بأستخدام علاقة رياضية تربط المتغير D_{AC} بمتغيرات اخرى (D_{AB},D_{BC})

$$D_{AC} = D_{AB} + D_{BC}$$

2- 2 وحدات القياس units of measurement

هنالك نوعان من وحدات القياس:

1. وحدات القياس الخطية linear measurement units
2. وحدات القياس الزاوية angular units of measurement

2-2-1 وحدات القياس الخطية linear measurement units

يوجد نظامان لوحدات القياس الخطية:

1. النظام المتري

وحدات هذا النظام من الاكبر الى الاصغر هي:

1. الكيلومتر ويرمز لها بالرمز km
2. المتر ويرمز لها بالرمز m
   حيث ان 1km=1000m
3. السانتيمتر ويرمز لها بالرمز cm
   حيث ان 1m=100cm
4. المليمتر ويرمز لها بالرمز mm
   حيث ان 1cm=10mm
5. المايكروميتر ويرمز لها بالرمز μm
   حيث ان 1mm=1000 μm

2. النظام الانكليزي

وحدات هذا النظام , من الاكبر الى الاصغر هي

Mile ← ft ← inch

حيث ان 1 inch ≅ 2.54 cm

لابد من الاشارة هنا الى ان وحدة قياس المساحة (Area)هي $\mathbf{m^2}$ وان الوحدة الاكثر استخداما هي هكتار حيث ان $1hectare(ha)=10000m^2$

اما الحجم "Volume"فأن وحدة القياس هي $\mathbf{m^3}$

2-2-2 وحدات القياس الزاوية Angular units of measurement

هنالك ثلاثة انظمة لوحدات قياس الزاوية

1- **النظام الستيني "degree"**

في هذا النظام يقسم محيط الدائرة الى 360 درجة(degree)وان الدرجة يرمز لها بالرمز(o)اي ان 1درجة =1^0=1degree

- وان كل درجة مقسمة الى 60 دقيقة , ويرمز للدقيقة بالرمز (') ,اي ان 1دقيقة =1'=1minute

$\Leftarrow$ **1^o =60 '**

- وان كل دقيقة مقسمة الى 60 قسم كل قسم من هذة الاقسام يسمى ثانية "second"ويرمز للثانية بالرمز (''),اي ان 1ثانية =1''=1second

$\Leftarrow$ **1'=60''**

لذلك1^0=3600''

2- النظام المئوي "grad"

في هذا النظام يقسم محيط الدائرة الى 400 قسم , كل قسم من هذه الاقسام يسمى (grad)ويرمز له بالرمز (g)

اي ان $\mathbf{1}^g$=1grad

- وان كل "grad" مقسم الى (100)قسم ,كل قسم من هذه الاقسام يسمى "centigrade" ويرمز له بالرمز (cg)

اي ان 1^{cg}=1centigrade

$1^g=100 \Leftarrow^{cg}$

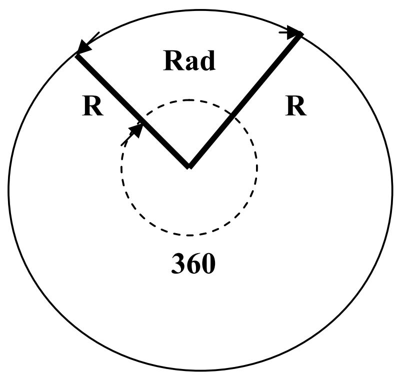
$\leftarrow$وان كل centigrade مقسم الى (100)قسم ,كل قسم من هذه الاقسام يسمى centicentigrad ويرمز له بالرمز (ccg),

1^{ccg}=1 centicentigrad

1^{ccg} = 1 centicentigrad $\rightarrow$ $1^{cg} = 100^{ccg}$ $\rightarrow$ $1^g = 10000^{ccg}$

3-النظام الدائري (القطري) "Radian"

وحدة القياس في هذا النظام يسمى (rad) وهو عبارة عن الزاوية المركزية المقابلة الى قوس دائري طوله يساوي نصف قطر الدائرة كما هو مبين في الشكل



اي ان :-

$$2\pi \ \mathbf{R\ rad = 360^o\ R}$$

$$2\ \mathbf{rad}\ \pi = \mathbf{360^o}$$

$$\frac{360^o}{2\pi} = 57^o.2958 = 57^o17^{/}44.8^{//}\ 1rad \Rightarrow$$

$$1rad = \frac{180^o}{\pi}$$

مثال:- زاويه مقدارها 0.5 rad , ما هي قيمه الزاويه في النظام الستيني .

الحل:-

قيمه الزاويه في النظام الستيني = قيمه الزاويه في النظام الدائري * $\frac{180}{\pi}$

$$\frac{180}{\pi} * 0.5 =$$

مثال:- زاويه مقدارها ("$12^0 15'26$) , ماهي قيمة الزاوية بالنظام الدائري

الحل:-

قيمة الزاوية بالنظام الدائري (rad)=قيمة الزاوية بالنظام الستيني * $\frac{\pi}{180}$

$$rad = \frac{\pi}{180}(12 + \frac{15}{60} + \frac{26}{3600})$$

2-3 مقياس الرسم :-   "Scale "

يمكن تعريف مقياس الرسم على النحو الاتي :-
هو عبارة عن طول خط مستقيم معين على الخارطة مقسوماً على طول نفس الخط على الارض وذلك بأستخدام نفس وحدة القياس.
اي أن:

$$\text{Scale} = \frac{\text{Distance on map}}{\text{Distance on ground}} = \frac{\text{المسافة على الخارطة}}{\text{المسافة على الارض}} = \text{مقياس الرسم}$$

التمثيل النسبي لمقياس الرسم :-
بشكل عام يستخدم التمثيل النسبي لمقياس الرسم وذلك لسهولة التعامل معه ,

$$\text{Scale} = \frac{\text{One unit on map}}{\text{Number of units on ground}} = \frac{\text{وحدة واحدة على الخارطة}}{\text{عدد الوحدات على الارض}}$$

مثال :-
اذا كانت المسافة الافقية بين النقطتين a , b على الخارطة =25cm (D_{ab}=25cm) وكانت المسافة الافقية بين نفس النقطتين A,B على الارض =500m (D_{AB}=500m) , فما هو مقياس رسم الخارطة ؟

الحل :- لغرض حساب مقياس الرسم "scale" يجب اولاً توحيد وحدة القياس ;
على الخارطة $D_{ab} = 25cm$
على الارض $D_{AB} = 500m = 500*100 = 50000cm$

$$\text{Scale} = \frac{25}{50000} = \frac{1}{\frac{50000}{25}} = \frac{1}{2000}$$

اي انه [1cm] على الخارطة يمثل [20m=2000cm] على الارض .

او [1mm] على الخارطة يمثل [2m=2000mm] على الارض .

2 -4 الاخطاء Errors

2-4-1 تعريف الخطأ Definition of error

يمكن تعريف الخطأ على اساس انه يمثل الفرق ما بين القيمه المقاسة "Measured Value" والقيمة الحقيقة "True Value" لأي متغير "variable" في اعمال المساحة , اي ان الخطأ=القيمة المقاسة - القيمة الحقيقية

Error = Measured Value - True Value

$e = x_m - x_t$

حيث ان :-

e = الخطأ

X_m= القيمة المقاسة

X_t= القيمة الحقيقية

وبهذا اذا كانت القيمة المقاسة اكبر من القيمة الحقيقية تكون قيمة الخطأ موجبة ,اي انه توجد زيادة في القياس مقدارها قيمة الخطأ e, والعكس صحيح.

لابد من الاشارة هنا الى ان القيمة الحقيقية لأي متغير في اعمال المساحة مجهوله ولايمكن الحصول عليها بأي شكل من الاشكال , وعليه فأن القيمة الحقيقية للأخطاء تكون مجهوله "غير معروفة" ايضا.

2-4-2 انواع الاخطاء Types of Errors

تقسم الاخطاء الى نوعين:-

1- الاخطاء المنتظمة "Systematic Errors"

2- الاخطاء العشوائية "Random Errors"

1- الاخطاء المنتظمة "Systematic Errors"

وهي الاخطاء التي تتبع الى نظام معين وتكون اما موجبة " + "او سالبة " – "

اي انها اما تكون زيادة او نقصان , ويمكن التصحيح للاخطاء المنتظمة من خلال تطبيق علاقات رياضية تمثل الخطأ .

لابد من الاشارة هنا الى انه في حالة عدم التصحيح للاخطاء المنتظمة (ان وجدت) , سوف تبقى في القياس ويتم التعامل معها لاحقا اسوة بالاخطاء العشوائية.

2-الاخطاء العشوائية "Random errors"

وهي الاخطاء التي لاتتبع نظام معين (عشوائية) ولذلك من المحتمل ان تكون موجبة (+ = زيادة) ومن المحتمل ان تكون سالبة (- = نقصان) ,اي ان أتجاه الخطأ العشوائي غير معروف فمن المحتمل ان يكون (+) ومن المحتمل ان يكون (-) ويجب دائما وضع الأشارة ($\pm$) امام قيمة الخطأ العشوائي .

وأن هذا يعني انه لا يمكن التصحيح للأخطاء العشوائية وأنما يمكن تقليل تأثيرها (قيمتها) وايجاد القيمة الاكثر أحتمالية "Most probable value" والتي تمثل أفضل قيمة للمتغير المقاس من خلال تطبيق علاقات أحصائية معينة , أهمها طريقة المربعات الصغرى "least squares method" والتي سوف يتم التطرق لها تفصيليا لاحقا .

2-4-3 مصادر الاخطاء Sources of Errors

الاخطاء في القياسات لها ثلاث مصادر رئيسية :

1- الطبيعة "Nature"

تحصل الاخطاء نتيجة لحصول اختلال في الظروف الجوية أثناء أخذ القياسات , مثلا التفاوت في درجة الحرارة ,الريح ,أنكسار الضوء,الخ ...

لذلك عند اجراء القياسات في أعمال المساحة , يجب أن تنفذ في ظروف جوية ملائمة "معتدلة" بحيث تكون الاخطاء الناجمة عن ذلك في حدها الادنى .

2-الأجهزة " Instruments"

تحصل الاخطاء أيضا لوجود عيب ما في الجهاز المستخدم في القياس . وعليه يجب دائما معايرة الاجهزة "Calibration" وبشكل منتظم (دوري) وتحديد مدى صلاحيتها لاجراء القياسات .

3- شخصية "Personal"

كل شخص معرض للخطأ عند اجراء أي قياس مهما كان نوع القياس بسيط ,أي ان الاخطاء الشخصية موجودة لامحال , وهي عبارة عن أخطاء عشوائية وتختلف من شخص الى أخر , وكل مايمكن عمله هو تقليل تأثيرها من خلال أبداء أكثر مايمكن من انتباه وتركيز وخبرة عند اجراء القياس وكذلك تكرار القياس .

2 -5 الاغلاط Mistakes

الغلط "Mistake" هو ليس بالخطأ "Error" قيمته كبيرة نسبياً مقارنتاً بقيمة الاخطاء ويكون متأتي نتيجة اهمال او سهو عند الشخص الذي يقوم بأجراء او تسجيل القياس .

لابد من الاشارة هنا الى أنه بالامكان أن تكون القياسات و/ أو " and / or" النتائج المترتبة على ذلك غلط "Mistake" نتيجة أستخدام اسلوب غلط عند اجراء الحسابات أو التنفيذ الغلط في العمل المساحي عند أخذ القياسات .

من خلال ماتبين أعلاه فأن القياس الغلط لا يمكن الاعتماد عليه بأ ي شكل من الاشكال , وعليه يجب أكتشاف القياس الغلط (من خلال تكرار القياس), وازالته (حذفه) , وبخلاف ذلك , اي انه اذا لم يتم معرفة القياس الغلط , يجب اعادة العمل المساحي بالكامل .

2-6 الدقة والاتقان Accuracy and Precision

الدقة "Accuracy"و الاتقان"Precision" مصطلحان يستخدمان في المساحة لوصف مدى جودة القياس والعمل المساحي بشكل عام . الا انه في الغالب يتم استخدامها بالتبادل دون الانتباه الى أي منهما يجب استخدامه لوصف القياس من الناحية العلمية اي انه هل يجب القول بان القياس دقيق او متقن ؟ هل يجب استخدام مصطلح الدقة "Accuracy"او مصطلح الاتقان "Precision" لوصف مدى جودة اي عمل مساحي ؟
ان المفهوم العلمي للدقة والاتقان هو:

الدقة "Accuracy"

عبارة عن مدى تقارب قياسات متغير "variable" معين في اعمال المساحة من القيمة الحقيقية للمتغير . فكلما كانت القياسات متقاربة بشكل اكبر من القيمة الحقيقية يكون العمل ادق .
بما ان القيمة الحقيقية "True value" لاي متغير "variable" في اعمال المساحة مجهولة , لذلك فنحن في واقع الحال لانتعامل مع الدقة في اي عمل مساحي انما نتعامل مع الاتقان "precision" .

الا تقان "precision"

عبارةعن مدى تقارب قياسات متغير "variable"معين في أعمال المساحة من بعضها. فكلما كانت القياسات متقاربة من بعضها بشكل أكبر يكون العمل متقن بشكل أكبر.
من خلال ماتبين أعلاه فأن العمل المتقن ليس من الضروري أن يكون عملاً دقيقاً , بينما الدقة العالية تتطلب وجود أتقان عالي . من الناحية النظرية , ان الفرق ما بين الدقة والاتقان هو وجود الاخطاء المنتظمة , ففي حالة التصحيح لجميع الاخطاء المنتظمة يكون العمل المتقن دقيقاً في نفس الوقت .

2-7 تعديل القياسات Adjustment of Measurements

نظراً لكون القيمة الحقيقية لأي متغير "variable" في أعمال المساحة مجهولة ومن غير الممكن الحصول عليها , لذلك عند أخذ القياسات لأي متغير "variable" في أعمال المساحة فنحن نبحث عن الحصول على أفضل قيمة للمتغير , أي القيمة الأقرب الى القيمة الحقيقية والمتمثلة بالقيمة الأكثر أحتمالية "Most Probable Value"
هنالك ثلاث عوامل يجب التعامل معها عند أخذ القياسات لمتغير معين :

1. وجود قياس أو قياسات غلط "Mistakes"
2. وجود أخطاء منتظمة "Systematic Errors"
3. وجود اخطاء عشوائية "Random Errors"

لذلك , لغرض حساب القيمة الأكثر أحتمالية "Most probable value" (والتي تمثل أفضل قيمة) للمتغير "variable" المقاس يجب أتباع الخطوات الآتية وعلى التوالي :-

1- أكتشاف وأزالة (حذف) القياسات الغلط "mistakes" ان وجدت وبخلافه يجب اعادة العمل المساحي .
2- تصحيح القياسات للاخطاء المنتظمة ان وجدت وبخلافه سوف تتم معاملتها معاملة الأخطاء العشوائية لاحقاً .
3- بعد أجراء الخطوات (2,1) أعلاه , اصبح لدينا الآن قياسات لمتغير "variable" معين فيها أخطاء عشوائية "Random Error" فقط , في هذه الحالة يمكن حساب القيمة الأكثر احتمالية "Most probable Value" للمتغير " variable" باستخدام طرق احصائية معينة والتي سوف يتم التطرق لها تفصيلياً لاحقاً .

2-7-1 <u>القيمة الأكثر أحتمالية والخطأ القياسي للقياسات المباشرة</u>

"<u>Most probable value and the standard error for direct measurements</u>"

2-7-1-1 <u>القيمة الأكثر احتمالية للقياسات المباشرة</u>

"<u>Most probable value for direct measurements</u>"

أشارةً الى ما تم ذكره في (2-7) أعلاه بعد اجراء الخطوة الاولى (ازالة "حذف "القياسات الغلط "mistake") ومن ثم اجراء الخطوة الثانية (التصحيح للاخطاء المنتظمة) أصبح لدينا الان عدد(n) من القياسات ($x_1,x_2,x_3,\ldots\ldots,x_n$) المباشرة لنفس المتغير "variable" (أي انه تم تكرار قياس المتغير "n" من المرات) وان هذة القياسات تحتوي على اخطاء عشوائية " random errors" فقط , اضافة الى ذلك لو فرض ان جميع هذة القياسات قد تمت بأستخدام نفس الجهاز ونفس الدرجة من العناية (لها نفس الوزن "weight") في هذة الحالة فأن المعدل " mean" يمثل القيمة الاكثر احتمالية " Most probable value" = افضل قيمة للمتغير "variable" ,

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad \ldots\ldots\ [2\text{-}1]$$

حيث ان :-

n = عدد مرات تكرار القياس للمتغير

x_i = القياس الاول , الثاني ,........, القياس n للمتغير

$\bar{x}$ = المعدل = القيمة الاكثر احتمالية للمتغير

= افضل قيمة للمتغير

2-7-1-2 الخطأ القياسي للقياسات المباشرة "Standard error for direct measurement"

الخطأ القياسي لأي قياس (الاول , الثاني , ...,او n) من قياسات المتغير يمكن حسابه بتطبيق العلاقة الأحصائية الأتية :-

$$\delta_{x_i} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2}{n-1}} \qquad ..... \qquad [2\text{-}2]$$

حيث أن :-

$$\sum_{i}^{n} v_i^2 = v_1^2 + v_2^2 + ... + v_n^2$$

$$\text{residual } v_i = \text{Error in measurement}$$

$v_i = x_i - \bar{x} =$ الخطأ المتبقي في القياس

$\bar{x} =$ المعدل

$\delta_{xi} =$ الخطأ القياسي لأحد هذة القياسات

الخطأ القياسي للمعدل والذي يمثل الخطأ القياسي للقيمة الأكثر احتمالية (افضل قيمة) للمتغير المقاس هو :-

$$\delta_{\bar{x}} = \pm \frac{\delta_{xi}}{\sqrt{n}} \qquad .... \qquad [2\text{-}3]$$

حيث أن ,

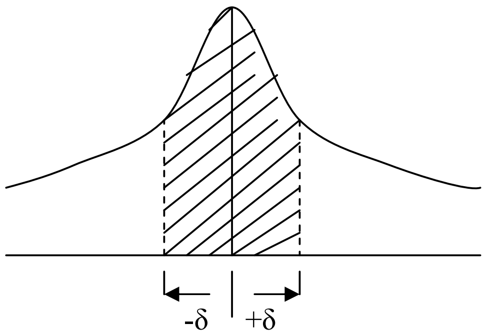
$\delta_{\bar{x}} =$ الخطأ القياسي للمعدل .
= الخطأ القياسي للقيمة الاكثر احتمالية للمتغير المقاس .
= الخطأ القياسي لأفضل قيمة للمتغير المقاس .

لابد من التأكيد هنا على ضرورة وضع اشارة (±) امام قيمه الخطاء القياسي كما هو مبين اعلاه في المعادلات (2-2) و(3-2) لانه يمثل خطاء عشوائي .

2-7-1-3 تمثيل الاخطاء في اعمال المساحة

هنالك عدد من المصطلحات المستخدمة لوصف الاخطاء العشوائية المتبقية ("residual errors "v") في قياسات اعمال المساحة , جميعها يستند الى كون توزيع الاخطاء العشوائية " v" هو عبارة عن توزيع طبيعي "Normal distribution", لذلك فائ منحني توزيع

الاخطاء العشوائية "v" في قياسات اي متغير "variable" في اعمال المساحة هو عبارة عن منحني التوزيع الطبيعي "Normal distribution curve"



1-<u>الخطأ القياسي</u> " δ " :-

وهو من اهم واكثر والمصطلحات المستخدمة لتمثيل الخطأ في اعمال المساحة.
ان المساحة المحصورة تحت منحني التوزيع الطبيعي مابين $\delta+$ و $\delta-$ تمثل 68.27% من المساحة الكلية وهذا يعني:

أ- 68.27% من القياسات يقع ضمن" $\bar{x}+\delta$ " و " $\bar{x}-\delta$ " .
ب- القيمة الحقيقية لها احتمالية 68.27% من الوقوع ضمن حدود الخطأ القياسي .

2- "E_{50}" <u>الخطأ المحتمل "probable error "</u>:-

اي ان 50% من القياسات يقع ضمن حدود E_{50} ،حيث ان

$$E_{50} = 0.6745\delta$$

ان هذا النوع "E_{50}" ، نادرا ما يستخدم في الوقت الحاضر .

3- E_{90}, E_{95}:-

اي ان 90% من القياسات يقع ضمن حدود E_{90}
وان 95% من القياسات يقع ضمن حدود E_{95}
حيث ان :

$$E_{90} = 1.6449\delta$$
$$E_{95} = 1.9599\delta$$

ان الاخطاء E_{90} ،E_{95} تستخدم لوصف الاتقان "precision" المطلوب في مشاريع المساحة "Surveying projects" .

4- $E_{99.7}$:-

اي ان 99.7% من القياسات يقع ضمن حدود $E_{99.7}$ ويسمى $E_{99.7}$ بالخطأ الاقصى "maximum error" ، اي انه يمثل اعلى حد للاخطاء " v" مسوح به . وعادة ما يصطلح عليه خطأ " 3δ" ويستخدم لاكتشاف القياسات الغلط "Mistakes" ، حيث ان اي قياس فيه قيمة خطأ متبقي " v" اكبر من " 3δ" $[\ V_{\hat{}} > 3\delta\ ]$ يعتبر قياس " $\hat{}$ " قياس غلط "Mistake" وعليه يجب ازالته (حذفه) .

2-7-2 القيمة الاكثر احتمالية والخطأ القياسي للقياسات غير المباشرة:-

"Most probable value and the standard error of indirect measurements"

يمكن تقسيم حساب القيمة الاكثر احتمالية والخطأ القياسي للقياسات غير المباشرة الى حالتين :-

1- بألامكان حساب قيمة واحدة للقياس غير المباشر .
2- بألامكان حساب اكثر من قيمة للقياس او القياسات غير المباشرة .

2-7-2-1 بألامكان حساب قيمة واحدة للقياس غير المباشر :-

في هذة الحالة من الممكن حساب قيمة واحدة للقياس غير المباشر "y " من خلال تطبيق علاقة رياضية تربط هذا المتغير "y" بمتغيرات اخرى ($x_1,x_2,....,x_n$) , وان هذة المتغيرات ($x_1,x_2,....,x_n$) عبارة عن قياسات مباشرة او غير مباشرة قيمتها معلومة والخطأ القياسي لكل منها معلوم ايضاً .

اي انه توجد دالة رياضية تربط القياس غير المباشر "y" بالمتغيرات ($x_1,x_2,....,x_n$)

$$y = f\,(x_1,x_2,....,x_n)\ \ldots\ \ldots \qquad [2\text{-}4]$$

القيمة الاكثر احتمالية للقياس غير المباشر :-

يمكن حساب القيمة الاكثر احتمالية (افضل قيمة) للقياس غير المباشر "y" من خلال تطبيق الدالة الرياضية [2-4] التي تربط المتغير "y"بالمتغيرات ($x_1,x_2,....,x_n$)) .

الخطأ القياسي للقياس غير المباشر :-

من الممكن حساب الخطأ القياسي " standard error" للقياس غير المباشر (δ_y)من خلال تطبيق قانون تراكم الاخطاء "Low of error probagation" على الدالة الرياضية [2-4] التي تربط القياس غير المباشر "y" بمتغيرات اخرى($x_1,x_2,....,x_n$) وان كل من هذة المتغيرات ($x_1,x_2,....,x_n$) عبارة عن قياس مباشر او غير مباشر قيمته معروفة والخطأ القياسي له معروف ايضاً.

ان قانون تراكم الاخطاء يمكن تمثيله على النحو الاتي :

$$\delta_y^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \delta_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \delta_{x2}^2 + \cdots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n}\right)^2 \delta_{xn}^2 \ldots\ldots [2\text{-}5]$$

اي انه :
(الخطأ القياسي للقياس غير المباشر "y")^2 = (المشتقة الجزئية للدالة "f" نسبة للمتغير الاول)^2 *(الخطأ القياسي للمتغير الاول)^2 +(المشتقة الجزئية للدالة نسبة الى المتغير الثاني)^2 * (الخطأ القياسي للمتغير الثاني)^2 +.....+ (المشتقة الجزئية للدالة نسبة الى المتغير الاخير)^2 *(الخطأ القياسي للمتغير الاخير)^2

2-7-2-2 **بالامكان حساب اكثر من قيمة للقياس غير المباشر:**

في هذه الحالة من الممكن حساب اكثر من قيمة للقياس او القياسات غير المباشرة من خلال تطبيق علاقة او علاقات رياضية تربط هذا المتغير او المتغيرات بمتغيرات اخرى تمثل قياسات مباشرة او غير مباشرة قيمها معلومة والخطأ القياسي لكل منها معلوم ايضاً.

بعبارة اخرى توجد لدينا دالة او دوال رياضية تربط القياسات غير المباشرة المجهولة$(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ (u = عدد المتغيرات المجهولة) بمتغيرات اخرى (قياسات مباشرة او غير مباشرة) معلومة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ (n= عدد المتغيرات المعلومة). عند تطبيق هذه الدالة او الدوال الرياضية ينتج لدينا عدد من المعادلات الرياضية اكبر من عدد المجاهيل $(y_1, y_2, \ldots, y_n)$ [أي انه بالامكان الحصول على اكثر من قيمة لكل من المتغيرات المجهولة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$].

∴في هذه الحالة بالامكان حساب القيمة لاكثر احتمالية "Most probable value"، والتي تمثل افضل قيمة، لكل من المتغيرات (القياسات) المجهولة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ والخطأ القياسي لكل منها $(\delta_{y_1}, \delta_{y_2}, \ldots, \delta_{y_u})$ من خلال استخدام طريقة المربعات الصغرى فقط "Least squares method". لكون ان مادة المساحة "Surveying" هي عبارة عن قياسات واخطاء والمطلوب في أي عمل مساحي ان تكون القيم النهائية لهذه القياسات قريبة قدر المستطاع من القيم الحقيقية "True values" لها، اضافة الى وصف (تمثيل) مدى جودة هذه القياسات من خلال تحديد الخطأ القياسي لها. لهذه الاسباب، فانه قبل البدء في تناول المفردات التطبيقية لموضوع المساحة ولجميع انواع القياسات، باستخدام اجهزة المساحة المستوية، ملزم علينا اعطاء شرح تفصيلي الى كيفية الحصول على القيمة الاكثر احتمالية "Most probable value" (= افضل قيمة) والخطأ القياسي لها بطريقة المربعات الصغرى "Least squares method"، لسبب بسيط، هو انه عند تناول أي موضوع من مواضيع المساحة، علينا تحديد القيمة الاكثر احتمالية (افضل قيمة) والخطأ القياسي للقياسات التي يتم اجراءها والقياسات المطلوب تحديدها.

2-8 القيمة الاكثر احتمالية والخطأ القياسي للقياسات غير المباشرة.

"Most probable value and standard error for Indirect Meas"

2-8-1 وزن القياس Weight of measurement

من الواضح ان بعض القياسات تتم باتقان افضل من قياسات اخرى بسبب استخدام اجهزة افضل وبظروف جوية احسن واعطاء اهتمام وعناية بدرجة افضل، لذلك عند اجراء تعديل القياسات "Adjustments of measurements" لاجل الحصول على افضل قيمة للمتغير المقاس، من الضروري اعطاء اوزان نسبية "Relative weight" لكل مجموعة من القياسات. من الطبيعي القياس الذي له اتقان عالي يكون الخطأ القياسي "Standard Error" له صغير، وبالتالي يجب اعطاءه وزن اكبر (أثقل) [الحفاظ على قيمته بحيث تكون اقرب ما يمكن الى قيمته المقاسة] من القياس الذي له اتقان واطيء، الخطأ القياسي له كبير [السماح بتغير نسبي في قيمته المقاسة] عند تعديل "Adjustment" القياسات.

ولهذه الاسباب فان وزن أي مجموعة من القياسات يجب ان توجد له علاقة باتقان "Precision" المجموعة، لذلك فان الوزن يتناسب عكسياً مع "Variance" (δ^2)، أي ان:

$$P_a \alpha \frac{1}{\delta_a^2} \quad \cdots\cdots\cdots [2-6]$$

حيث ان:

$P_a =$ وزن المتغير "variable" المقاس "a"

$\delta_a^2 =$ variance المتغير المقاس "a"

= (الخطأ القياسي standard error للمتغير المقاس "a")^2

خلاصة لذلك، عند اجراء عملية تعديل القياسات "Adjustments of measurement" لعدد من المتغيرات فيها متغيرات مقاسة ذات اوزان مختلفة، عليه يجب اعطاء هذه المتغيرات اوزان تتناسب عكسياً مع (δ_a^2) لكل من هذه المتغيرات [عادة، يؤخذ $P_a = \frac{1}{\delta_a^2}$].

2-8-2 تعديل القياسات بطريقة المربعات الصغرى

"Adjustments of measurements by the least square Method"

اشارة الى ماتم ذكره سابقاً في [2-2-7-2] فان طريقة المربعات الصغرى هي الطريقة الامثل (الوحيدة) لتعديل القياسات "Adjustment of Measurements" في حالة وجود امكانية لحساب اكثر من قيمة للقياسات غير المباشرة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ من تطبيق دالة او

دوال رياضية تربط هذه المتغيرات بمتغيرات اخرى $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$، حيث ان المتغيرات $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ عبارة عن قياسات مباشرة او غير مباشرة قيمها معلومة والخطأ القياسي لها معلوم ايضاً.

قبل البدء في تطبيق طريقة المربعات الصغرى يجب:

1. ازالة (حذف) القياسات الغلط "Mistakes".
2. تصحيح القياسات للاخطاء المنتظمة "Systematic errors".

وان كل ماتبقى لدينا هو الاخطاء العشوائية "Random errors" فقط يتم التعامل معها عند اجراء تعديل القياسات "Adjustment of Measurements" بطريقة المربعات الصغرى. ان المبدأ (الشرط) الاساسي الذي تم اعتماده بطريقة المربعات الصغرى هو:

1. في حالة وجود مجموعة (m) من القياسات لها نفس الوزن، أي ان المتغيرات "Variables" عبارة عن قياسات متساوية الوزن "Equal weight".

المبدأ الذي يتم اعتماده بطريقة المربعات الصغرى في هذه الحالة هو:

$$\sum_{i=1}^{m} V_i^2 = V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_m^2 = \min \qquad \cdots\cdots[2-7]$$

أي ان مجموع مربعات الاخطاء المتبقية min = residuals (الحد الادنى).

2. في حالة وجود مجموعة (m) من القياسات لها اوزان مختلفة "different weight".

المبدأ (الشرط condition) الذي يتم اعتماده بطريقة المربعات الصغرى هو:

$$\sum_{i=1}^{m} P_i V_i^2 = P_1 V_1^2 + P_2 V_2^2 + P_3 V_3^2 + \cdots + P_m V_m^2 = \min \qquad \cdots\cdots[2-8]$$

حيث ان $P_i =$ وزن المتغير المقاس i ، اشارة الى ما تم ذكره في [2-8-1]، يمكن حساب وزن أي قياس من خلال تطبيق العلاقة الاتية:

$$P_i = \frac{1}{\delta_i^2} \qquad \cdots\cdots[2-9]$$

هناك عدد من الاساليب "approaches" لتعديل القياسات بطريقة المربعات الصغرى اهمها:

1. Observation method.
2. Condition method.
3. Observation method with constraints.

اهم هذه الطرق واكثرها شيوعاً للاستخدام في اعمال المساحة هي طريقة القياسات "observation method".

2-8-3 **طريقة القياسات** "Least Squares Observation Method"

يمكن ايجاز العمل بهذه الطريقة بالخطوات الاتية:

1. كتابة معادلة قياس "Observation Equation" لكل من المتغيرات المقاسة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ ومن غير الممكن ان تحتوي أي معادلة على اكثر من قياس واحد من هذه القياسات $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ وبهذا يصبح لدينا عدد "n" من المعادلات مساوي الى عدد المتغيرات المقاسة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$.
ويمكن كتابة معادلة القياسات "Observation Equation" النهائية المتكونة وبصيغة مصفوفات "Matrix form":

$$_nA_{u\,u}X_1 - {}_nL_1 = {}_nV_1 \qquad \cdots\cdots[2-10]$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1u} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_u \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots[2-11]$$

حيث ان $_nA_u =$ مصفوفة معاملات المتغيرات المجهولة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$

$_uX_1 =$ مصفوفة المتغيرات المجهولة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$

$_nL_1 =$ مصفوفة تمثل القيمة الرقمية لكل معادلة والتي عادة تمثل قيمة المتغير المقاس في المعادلة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ أي ان $L_n = x_n, \ldots, L_2 = x_2, L_1 = x_1$

$_nV_1 =$ مصفوفة الاخطاء المتبقية "residuals"

$n =$ عدد القياسات $[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ n= number of observations

= عدد المعادلات = number of equations

$u =$ عدد المتغيرات المجهولة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ u= Number of unknowns

اشارة الى ما تم ذكره في [2-2-7-2] سابقاً فان $n > u$، أي ان عدد المعادلات "n" اكبر من عدد المجاهيل "u".

2. تكوين الـــ "Normal Equation"

$${}_uN_u\ {}_uX_1 = {}_uD_1 \ldots\ldots[2-12]$$

حيث ان:

$${}_uN_u = {}_uA_n^T\ {}_nP_n\ {}_nA_u \ldots\ldots[2-13]$$

$${}_uD_1 = {}_uA_n^T\ {}_nP_n\ {}_nL_1 \ldots\ldots[2-14]$$

$${}_nP_n = \begin{bmatrix} P_{11} & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & P_{22} & \ldots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & P_{nn} \end{bmatrix} = Weight\,Matrix \quad \ldots\ldots[2-15]$$

$P_{11} =$ وزن المتغير المقاس الاول $[x_1] = \dfrac{1}{\delta^2 x_1}$

$P_{22} =$ وزن المتغير المقاس الثاني $[x_2] = \dfrac{1}{\delta^2 x_2}$

$P_{nn} =$ وزن المتغير المقاس الاخير $[x_n] = \dfrac{1}{\delta^2 x_n}$

في حالة كون اوزان القياسات $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ متساوية فان المصفوفة ${}_nP_n$ تصبح المصفوفة احادية، أي ان: $P_{11} = P_{22} = \ldots = P_{nn} = 1$

$${}_nP_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 \end{bmatrix}$$

فاذن في هذه الحالة تصبح المصفوفات D, N على النحو الاتي:

$${}_uN_u = {}_uA_n^T\ {}_nA_u \quad \ldots\ldots[2-17]$$

$${}_uD_1 = {}_uA_n^T\ {}_nL_1 \quad \ldots\ldots[2-18]$$

3. حل "Normal Equation" معادلة [2−12]

$$\therefore X = N^{-1}D \quad \ldots\ldots[2-19]$$

حيث ان:

$N^{-1} =$ معكوس "inverse" المصفوفة N وبهذا يتم الحصول على القيمة الاكثر احتمالية (افضل قيمة) "Most probable value" للمتغيرات المجهولة $[{}_{u}X_{1}]$ "unknown variables" والتي تمثل القياسات غير المباشرة $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$.

4. حساب الخطأ القياسي "$\delta_{y_1}, \delta_{y_2}, \ldots, \delta_{y_u}$" للمتغيرات (القياسات غير المباشرة) $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ وعلى النحو الاتي:

أ. حساب قيم الاخطاء المتبقية "residuals" "$V_1, V_2, \ldots V_n$" والتي تمثل قيم المصفوفة ${}_{n}V_{1}$ والتي يمكن الحصول عليها بحل المعادلة [2−10]، أي ان:

$$\therefore V = AX - L$$

ب. حساب الخطأ القياسي لوحدة وزن واحدة "δ_0"

$$\delta_0 = \pm\sqrt{\frac{V^T PV}{n-u}} \quad \ldots\ldots[2-20]$$

حيث ان:

$\delta_0 =$ الخطأ القياسي لوحدة وزن واحدة

= standard error of unit weight

في حالة كون القياسات $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ متساوية الوزن فان المعادلة [2−20] تصبح على النحو الاتي:

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2}{n-u}} \quad \ldots\ldots[2-21]$$

ج. حساب الخطأ القياسي لاي من المتغيرات: $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$

$${}_{u}Q_{u} = {}_{u}N_{u}^{-1} \quad \ldots\ldots[2-22]$$

$$\delta_{y_i} = \delta_0 \times \sqrt{q_{ii}} \quad \ldots\ldots[2-23]$$

حيث ان $q_{ii} =$ القيمة القطرية "ii" للمصفوفة Q

مثال (1): استخدم شريط قياس لقياس المسافة الافقية AB وكانت القياسات على النحو الاتي: $D_{AB} = 18.264m, 18.268m, 18.257m, 18.259m$، احسب افضل قيمة (القيمة الاكثر احتمالية "Most probable value") للمسافة AB والخطأ القياسي لها باستخدام طريقة المربعات الصغرى (على افتراض ان هذه لقياسات متساوية الوزن).

الحل:

في هذا المثال عدد المتغيرات المقاسة $(x_1, x_2, \dots, x_n)$، n=4، حيث ان:

$x_1 = 18.264m,\ x_2 = 18.268.m,\ x_3 = 18.257m,\ x_4 = 18.259m$

وان عدد المتغيرات (القياسات غير المباشرة) $(y_1, y_2, \dots, y_u)$ U=1 وليكن y

[أي ان: $y = D_{AB}$]. توجد لدينا علاقة رياضية واحدة تربط المتغير (القياس غير المباشر) "y" بالمتغيرات المقاسة "x_1, x_2, x_3, x_4" وهي $[n = 4]$ $y = x_i \quad i = 1, \dots, n$ اشارة الى ماتم ذكره في [3-8-2]، يمكن حل المثال بطريقة "Observation Method" باتباع الخطوات الاتية:

1. كتابة observation Equation $AX - L = V$ ان العلاقة الرياضية الموجودة هي: $y = x_i \quad, i = 1,2,\dots,4$ وبتطبيق هذه العلاقة الرياضية يمكن الحصول على اربع (4) معادلات رياضية:

$$y = x_1$$
$$y = x_2$$
$$y = x_3$$
$$y = x_4$$

بما ان المتغيرات "x_1, x_2, x_3, x_4" هي عبارة عن متغيرات مقاسة غير خالية من الاخطاء، لذلك ومن اجل الحصول على معادلات صحيحة من الناحية الرياضية، يجب اضافة V_i لكل من المتغيرات المقاسة $x_i \quad i = 1,2,\dots,4$ وبهذا يتم الحصول على اربع [4] "observation Equation" وهي:

$$y = x_1 + v_1$$
$$y = x_2 + v_2$$
$$y = x_3 + v_3$$
$$y = x_4 + v_4$$

الصيغة النهائية لهذه المعادلات

$$y - x_1 = v_1$$
$$y - x_2 = v_2$$
$$y - x_3 = v_3$$
$$y - x_4 = v_4$$

يمكن كتابة هذه المعادلات بصيغة مصفوفات وعلى النحو الاتي:

$$\begin{bmatrix}1\\1\\1\\1\end{bmatrix}[y]-\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\\x_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v_1\\v_2\\v_3\\v_4\end{bmatrix}$$

$${}_nA_u\ {}_uX_1 - {}_nL_1 = {}_nV_1$$

2. تكوين الـــ Normal Equation: $NX = D$

بما ان المتغيرات المقاسة "x_1, x_2, x_3, x_4" متساوية الوزن،

$$\therefore N = A^T A = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\1\\1\\1\end{bmatrix} = [4]$$

$$D = A^T L = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\\x_4\end{bmatrix} = [x_1 + x_2 + x_3 + x_4]$$

$$\therefore [4][y] = [x_1 + x_2 + x_3 + x_4]$$
$$N \quad X \quad = \qquad D$$

3. حل "Normal Equation"

$$X = N^{-1}D$$
$$N^{-1} = \frac{1}{[4]}$$

$$\therefore y = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} = \bar{x}$$

(و.هــ.م)

وهي معادلة المعدل "mean" [2−1]

$$y = \frac{18.264 + 18.268 + 18.257 + 18.259}{4} = 18.262m$$
$$\therefore D_{AB} = 18.262m$$

4. حساب الخطأ القياسي δ_y

أ. حساب قيم الاخطاء المتبقية v_1, v_2, v_3, v_4

$$V = AX - L$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} [18.262] - \begin{bmatrix} 18.264 \\ 18.268 \\ 18.257 \\ 18.259 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.002 \\ -0.006 \\ +0.005 \\ +0.003 \end{bmatrix}$$

ب. حساب الخطأ القياسي لوحدة وزن واحدة δ_0 اشارة الى المعادلات [2−20] و [2−21]:

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-u}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4} v_i^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^4}{3}}$$
$$\delta_0 = \pm$$

ج. حساب الخطأ القياسي القياسي δ_y

$$Q = N^{-1} = \frac{1}{4} = \frac{1}{n}$$
$$\delta_y = \delta_0 \sqrt{q_{ii}} = \delta_0 \sqrt{\frac{1}{n}} = \frac{\delta_0}{\sqrt{n}}$$

وهي معادلة مطابقة للمعادلة [2−3]

$$\therefore \delta_y = \pm\frac{\delta_0}{\sqrt{n}} = \pm\frac{\quad}{\sqrt{4}} = \pm \qquad m$$

$$D_{AB} = \qquad m \pm \qquad m$$

مثال (2): استخدم شريط قياس لقياس المسافة الافقية AB من قبل ثلاثة مجاميع وكانت نتائج القياسات على النحو الاتي:

$18.262m \pm 0.004m, 18.254m \pm 0.003m, 18.265 \pm 0.006m$ احسب افضل قيمة للمسافة AB $[D_{AB}]$ والخطأ القياسي لها.

الحل: في هذا المثال المتغيرات المقاسة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ لها اخطاء قياسية مختلفة وبالتالي فان اوزانها مختلفة، حيث ان:

$$x_1 = 18.262m, \quad \delta x_1 = 0.004m \rightarrow P_1 = \frac{1}{\delta_{x_1}^2}$$

$$x_2 = 18.254m, \quad \delta x_2 = 0.003m \rightarrow P_2 = \frac{1}{\delta_{x_2}^2}$$

$$x_3 = 18.265m, \quad \delta x_3 = 0.006m \rightarrow P_3 = \frac{1}{\delta_{x_3}^2}$$

حيث ان $P_3, P_2, P_1 =$ وزن المتغير المقاس x_3, x_2, x_1 على التوالي يمكن ايجاز الحل على النحو الاتي:

1. تكوين الـــ "observation equation" $AX - L = V$ هذا المثال مشابه الى مثال (1) والفرق الوحيد هو ان المتغيرات المقاسة x_1, x_2, x_3 لها اوزان مختلفة في هذا المثال:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} [y] - \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

$${}_nA_u\,{}_uX_1 - {}_nL_1 = {}_nV_1$$

2. تكوين الـــ Normal Equation $NX = D$

بما ان المتغيرات المقاسة x_1, x_2, x_3 لها اوزان مختلفة تطبق المعادلات [13−2]، [14−2] لحساب المصفوفات D, N على التوالي:

$$\therefore {}_1N_1 = {}_1A^T_{3\ 3}P_{3\ 3}A_1 = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}p_1 & 0 & 0\\0 & p_2 & 0\\0 & 0 & p_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}$$

$$\therefore {}_1N_1 = \left[p_1 + p_2 + p_3\right]$$

$${}_1D_1 = {}_1A^T_{3\ 3}P_{3\ 3}L_1 = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}p_1 & 0 & 0\\0 & p_2 & 0\\0 & 0 & p_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\end{bmatrix}$$

$$\therefore {}_1D_1 = \left[p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3\right]$$

$$\therefore \left[p_1 + p_2 + p_3\right]X = \left[p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3\right]$$

3. حل الـ"Normal Equation" $X = N^{-1}D$

$${}_1N_1^{-1} = \frac{1}{\left[p_1 + p_2 + p_3\right]}$$

$$y = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3}{p_1 + p_2 + p_3} \qquad ......[2-24]$$

هذه المعادلة [24−2] تسمى بمعادلة **المعدل الموزون** أي ان:

$$\text{المعدل الموزون} = \frac{\text{القياس الاول} \times \text{وزنه} + \text{القياس الثاني} \times \text{وزنه} + \ldots}{\text{مجموع الاوزان}}$$

4. حساب الخطأ القياسي δ_y:

أ. حساب المصفوفة V:

$$V = AX - L$$

$$\begin{bmatrix}v_1\\v_2\\v_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}\left[\qquad\right] - \begin{bmatrix}18.262\\18.254\\18.265\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\ \\ \ \\ \ \end{bmatrix}$$

ب. حساب δ_0 بتطبيق المعادلة [2−20]

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{V^T PV}{n-u}} \quad ,V^T PV = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

$$\therefore V^T PV = p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + p_3 v_3^2$$

$$n = 3, \;\; u = 1$$

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + p_3 v_3^2}{3-1}}$$

$$\therefore \delta_0 = \pm$$

$$Q = N^{-1} \frac{1}{[p_1 + p_2 + p_3]}$$

$$\therefore \delta_y = \delta_0 \sqrt{q_{ii}} \quad = \pm \frac{\delta_0}{\sqrt{p_1 + p_2 + p_3}}$$

$$\therefore D_{AB} = \quad m \pm \quad m$$

2-9 <u>الخلاصة</u> <u>summary</u>

A- المساحة "surveying"عبارة عن قياس وخطا ، ولايوجد اي قياس في تطبيقات الهندسة المدنية بشكل عام وفي المساحة بشكل خاص خالي من الاخطاء .
لذلك فان القيمة الحقيقية "true value"لاي قياس مجهول ولايمكن الحصول عليها في اي حال من الاحوال ونحن نبحث للحصول على افضل قيمة للقياس والتي من الناحية الاحصائية تمثل القيمة الاكثر احتمالية "Most probable value" التي يمكن الحصول عليها بتطبيق علاقات احصائية معينة [اهمها وافضلها طريقة المربعات الصغرى "Least squarer method"]، التي تعتمد (تفترض) ان جميع القياسات تنتمي الى منحني التوزيع الطبيعي "Normal distribution curve".

B- لحساب افضل قيمة والخطا القياسي لها يجب اتباع الخطوات الاتية :

1. ازالة (حذف) القياس او القياسات الغلط Mistake ان وجدت وعليه يجب تكرار اي قياس مرتين واكثر . وفي حالة وجود غلط Mistake (قيمة الخطا في النتائج كبيرة) وتعذر معرفة او اكتشاف القياس الغلط يجب اعادة العمل الحقيقي بالكامل .
2. تصحيح القياسات للاخطاء المنتضمة ان وجدت وذلك من خلال تطبيق العلاقات الرياضية التي تربط تلك الاخطاء بالقياسات .
3. في هذه المرحلة يوجد لدينا قياس او قياسات فيها اخطاء عشوائية فقط .

والمطلوب هو حساب افضل قيمة لهذه القياسات والخطا القياسي لها وذلك من خلال تطبيق طريقة المربعات الصغرى "Least squarer method"

C. حساب افضل قيمة والخطا القياسي لها بطريقة المربعات الصغرى "Least square method".

بالامكان ايجاز العمل بهذه الطريقة وفق الخطوات الاتية:

1. كتابة العلاقة (المعادلة) او العلاقات (المعادلات) الرياضية "Mathematical equations" التي تربط مابين المتغير او المتغيرات (القياسات) المجهولة "$y=y_1,y_2,\ldots,y_u$" والمتغير او المتغيرات (القياسات) المعروفة "$x=x_1,x_2,\ldots\ldots\ldots,x_n$"

$$y=f(x=x_1,x_2,\ldots\ldots\ldots,x_n)$$

حيث ان u=عدد القياسات المجهولة

n = عدد القياسات المعلومة =عدد المعادلات

ويجب ان يكون دائما $u \le n$

2. في حالة كون عدد المتغيرات (القياسات) المجهولة "y" = $u=1$ اي انه يوجد لدينا مجهول واحد في هذه الحالة يتم اتباع الخطوات التالية :

a) تطبيق معادلة المعدل الموزون (2-24) لحساب افضل قيمة للقياس المجهول y

$$y=\frac{p_1x_1+p_2x_2+\ldots+p_nx_n}{p_1+p_2+\ldots+p_n}$$

حيث ان p_i = وزن "weight" القياس المعروف "$i=1,\ldots..,n$"

$$=\frac{1}{\delta_{x_i}^2}$$

كما هو الحال في المثال 2 ص 22

b) حساب δ_o

$$\delta_o=\pm\sqrt{\frac{p_1v_1^2+p_2v_2^2+\ldots+p_nv_n^2}{n-1}}$$

$$v_i=y-x_i$$

c) حساب δ_y

$$\delta_y=\pm\frac{\delta_0}{\sqrt{p_1+p_2+\ldots.+p_n}}$$

ملاحظة مهمة

في حالة كون القياسات المعروفة "$x=x_1,x_2,\ldots\ldots\ldots,x_n$"
لها نفس الوزن [متساوية الوزن equal weight].
في هذه الحالة يتم اعطاء قيمة (1) لجميع الاوزان [$p_1=p_2\ldots\ldots\ldots\ldots=p_n=1$]
في a,b,c, اعلاه كما هو الحال في المثال1 ص19

3- في حالة كون المتغيرات (القياسات) المجهولة y اكثر من مجهول واحد [u=2,3,…].
في هذه الحالة يتم تطبيق مبدأ المصفوفات Matrices والحل بطريقة القياسات Observation Method بألاسلوب الذي تم شرحه مسبقاً .وأن الطالب غير مطالب فيه في الوقت الحاضر (للأطلاع فقط).

D- في حالة وجود علاقة (معادلة) رياضية واحدة تربط مابين القياس المجهول "y" والقياسات المعروفة $x_1,x_2,\ldots\ldots\ldots,x_n$.

في هذة الحالة يتم اتباع الخطوات التالية:
1- حساب افضل قيمة للقياس المجهول y بتطبيق المعادلة الرياضية (واحدة فقط) التي تربط مابين y والقياسات المعروفة $x=x_1,x_2,\ldots\ldots\ldots,x_n$.
2- يتم حساب الخطأ القياسي δ_y بتطبيق قانون تراكم الاخطاء low of error probagation [معادلة 5-2] .

3– قياس المسافات الافقية Measurements of Horizontal Distances:

احدى العمليات الاساسية في المساحة هي قياس المسافات. تقسم المسافات بشكل عام الى نوعين:

1. المسافة الافقية Horizontal distance.
2. المسافة الشاقولية Vertical distance.

قياس المسافة الشاقولية سوف يتم التطرق له تفصيلياً في موضوع التسوية leveling لاحقاً.

3 –1 طرق قياس المسافة الافقية

هناك عدد من الطرق المستخدمة لقياس المسافة الافقية، اكثرها شيوعاً:

	الاتقان النسبي***
1. الخطوات "pacing": تستخدم لغرض الاستطلاع والقياس التقريبي للمسافة.	$\frac{1}{100} \rightarrow \frac{1}{200}$
2. عداد السياره، لنفس الغرض اعلاه.	$\frac{1}{100} \rightarrow \frac{1}{200}$
3. التاكيومتري Tacheometry:	
أ. "stadia" الستيديا.	$\frac{1}{300} \rightarrow \frac{1}{1000}$
ب. ذراع الاسناد Subtance bar.	$\frac{1}{3000} \rightarrow \frac{1}{9000}$
4. شريط القياس Tape:	
أ. القياس الاعتيادي ordinary taping.	$\frac{1}{3000} \rightarrow \frac{1}{5000}\left[\frac{1}{10000}\right]$
ب. القياس المتقن Precise taping.	$\frac{1}{10000} \rightarrow \frac{1}{30000}$
5. المسح التصويري Photogrammetry.	$up\ to\ \frac{1}{50000}$
6. اجهزة المسح الالكتروني EDM.	$\frac{1}{300000}$

*** الاتقان النسبي " Relative Precision" لاي مسافة $= \frac{\delta_D}{D} = \frac{1}{D/\delta_D}$

3-2 قياس المسافة الافقية باستخدام شريط القياس Taping

الادوات الاساسية المستخدمة في قياس المسافة الافقية باستخدام شريط القياس هي:

1. **شريط القياس: "Tape"**

هنالك عدد من انواع شريط القياس:

أ. الشريط القماشي: Woven tape

معامل التمدد الحراري "Coefficient of thermal expansion" لهذا النوع عالي، لذا يتأثر بدرجات الحرارة والرطوبة. نتائج القياسات بأستخدام هذا النوع واطئة الاتقان.

ب. الشريط الحديدي Steel tape

معامل التمدد الحراري معتدل (مقبول) لذا يستخدم في القياس الاعتيادي "ordinary taping" والقياس المتقن "Precise taping ".

ج. شريط الانقار Invar tape

مصنوع من سبيكة النحاس والحديد، معامل التمدد الحراري له واطئ، يستخدم في القياسات من الدرجة الاولى (أتقان عالي جداً).

2. **الشواخص: Range poles**

تستخدم للتوجيه في عملية القياس.

3. **النبال: Pins**

تستخدم لتثبيت النقاط على الارض.

4. **الشاهول: Plumb bob**

يكون خيط الشاهول شاقولي اذا ما ترك الشاهول يستقر بحرية. لذا يستخدم الشاهول لاسقاط نقطة (قراءة) في شريط القياس على الارض والعكس صحيح.

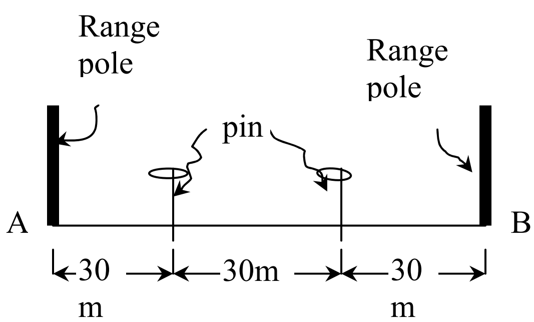
5. **جهاز تسوية يدوي: Hand level**

يستخدم لجعل شريط القياس افقي.

3-2-1 اسلوب قياس المسافة الافقية باستخدام شريط القياس:

A- اذا كانت الارض عبارة عن سطح مستوي (أفقي)

اسلوب القياس في هذه الحالة بسيط وكما هو مبين في الشكل (1 -3)، حيث استخدم شريط قياس حديدي "Steel tape" بطول 30m وشواخص "Range poles" ونبال "Pins" في عملية القياس

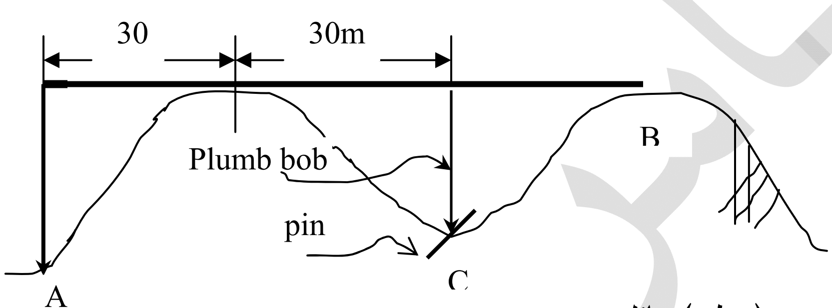


شكل (1-3) قياس مسافة افقية على سطح افقي باستخدام شريط قياس (30m)

B- اذا كانت الارض متموجة او مائلة

1. ارض متموجة:

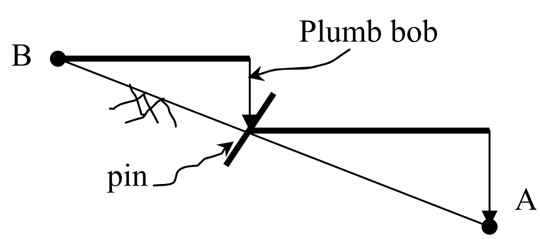
في هذه الحالة يستخدم شريط قياس ، نبال، شاهول. كما مبين في الشكل(2-3) يلاحظ من الشكل ان الشاهول يستخدم لغرض اسقاط نقطة من الارض الى شريط القياس (A) او العكس وذلك لغرض قياس المسافة الافقية مباشرة.



شكل (2-3) قياس االمسافة الافقية على سطح متموج باستخدام شريط القياس

2. اذا كانت الارض عبارة عن مستوي (سطح) مائل:

في هذه الحالة يتم اتباع نفس الاسلوب في حالة كون الارض متموجة (1) أعلاه وكما هو مبين في شكل (3-3).



شكل (3-3)قياس المسافة الافقية على سطح مائل باستخدام شريط القياس

3-2-2 الاخطاء في قياس المسافة الافقية باستخدام شريط القياس: Errors in Taping

الاغلاط: Mistakes

من اهم الاغلاط التي تحصل اثناء قياس المسافة باستخدام شريط القياس هي:

1. القراءة المغلوطة للشريط Misreading the tape.
2. التسجيل المغلوط للقراءة .

لذلك يجب تكرار القياس اكثر من مرة واحدة، من اجل اكتشاف القياسات المغلوطة Mistakes وحذفها "ازالتها" (ان وجدت)، اضافة الى الحصول على اتقان افضل عند تكرار القياس عدة مرات.

الاخطاء العشوائية: Random errors

ان الاخطاء العشوائية حاصلة لامحال وكل الذي يمكن عمله هو بذل درجة عالية من العناية اثناء تنفيذ العمل لتقليل الاخطاء العشوائية الى الحد الادنى، من هذه الاخطاء:

1. القراءة غير المضبوطة "Imperfect ".
2. التوجيه غير المضبوط .
3. التثبيت غير المضبوط للنبال " Pins ".
4. عدم افقية الشريط Tape not horizontal.
5. عدم استقامة الشريط .
6. الاسقاط غير المضبوط لقراءة الشريط على الارض، او العكس، عند استخدام الشاهول "Plumb bob" للقياس في ارض متموجة او مائلة.

الاخطاء المنتظمة: Systematic Eyyor

من اهم الاخطاء النتظمة التي قد تحصل في قياس المسافة الافقية باستخدام شريط القياس، هي:

1. الطول غير الصحيح للشريط Incorrect tape length

ان طول الشريط الاعتيادي "Nominal length" والمثبت على الشريط($50m, 30m, 20m$) يتغير مع الوقت نتيجة تأثر المواد المصنوع منها الشريط بالظروف الجوية، نتيجة لذلك يصبح الطول الحقيقي "Actual length" للشريط اكبر او اصغر بقيمة معينة من طول

الشريط الاعتيادي "Nominal length". ان ذلك يؤدي الى حصول خطأ منتظم في القياس ومن الضروري معرفة قيمة هذا الخطأ وتصحيح القياسات له، وان ذلك يتطلب معايرة الشريط بشكل دوري لمعرفة طوله الحقيقي.

يمكن معايرة "Calibration" الشريط من خلال تثبيت نقطتين على سطح كونكريتي (سطح جيد)، بحيث تمثل المسافة بين النقطتين طول الشريط في وقت تثبيت النقاط ويتم قياس المسافة بشكل دوري لتحديد مقدار التغير في الطول الحقيقي للشريط.

يمكن التصحيح لهذا الخطأ المنتظم من خلال تطبيق العلاقة الرياضية:

$$C_d = C_a \times \frac{Measured\ distance}{Nominal\ tape\ length}$$

$$\therefore C_d = C_a \times \frac{D}{L_n} \quad \ldots\ldots[3-1]$$

حيث ان: $C_d =$ مقدار التصحيح للمسافة المقاسة D.

$D =$ المسافة المقاسة "Measured distance"

$L_n =$ الطول العتيادي للشريط "Nominal tape length"

$$C_a = actual\ tape\ length - Nominal\ tape\ length$$

$\therefore C_a =$ الطول الحقيقي للشريط − الطول الاعتيادي للشريط

بعد حساب مقدار التصحيح C_d للمسافة المقاسة "D" يتم حساب المسافة $\overline{D}$ المصححة لهذا النوع من الخطأ المنتظم، حيث ان:

$$\overline{D} = D + C_d \quad \ldots\ldots[3-2]$$

2. التغير في درجة الحرارة Variation of temperature

$$C_t = \alpha[T - T_s] \times D \quad \ldots\ldots[3-3]$$

حيث ان:

$C_t =$ مقدار التصحيح للتغير في درجة الحرارة.

$\alpha =$ معامل التمدد الحراري $[For\quad Steel\ \alpha = 0.000016/1°c]$.

T_s= درجة الحرارة القياسية.
T = درجة الحرارة المقاسة.
D = المسافة المقاسة.

يمكن التجنب التصحيح للتغير في درجة الحرارة من خلال اجراء القياسات في درجة حرارة معتدلة (مقاربة الى درجة الحرارة القياسية).

3. التغير في الشد Variation in tension

$$C_p = \frac{p - p_s}{AE} \times D \qquad \ldots\ldots[3-4]$$

حيث ان:
C_p= التصحيح للتغير في الشد.
p_s = الشد القياسي.
p = الشد المسلط عند القياس.
A = مساحة مقطع الشريط في cm^2 .
$E = Kg/cm^2$ Modulus of elasticity of steel in.

$$\left[E = 2.1 \times 10^6\ Kg/cm^2, A \cong 0.019 \rightarrow 0.058 cm^2\right]$$

يمكن تجنب التصحيح للتغير في الشد من خلال تسليط الشد الملائم (مقبول) [مقارب الى الشد القياسي] على شريط القياس عند اجراء القياس.

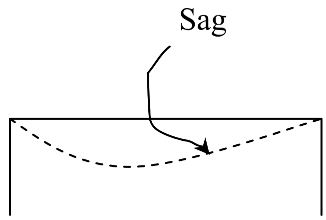
4. الهطول: "Sag"

$$C_s = \frac{w^2 D^3}{24 p^2} \qquad \ldots\ldots[3-5]$$

حيث ان:
C_s= التصحيح للهطول "Sag".

w = وزن شريط القياس لكل متر طول $\left[{}^{Kg}\!/\!_{m}\right]$.

p = الشد المسلط "Kg".



شكل (3-4) الهطول في شريط القياس

يمكن تجنب التصحيح للهطول من خلال تسليط الشد الملائم لمنع هطول شريط القياس عند اجراء القياس (قدر المستطاع).

لابد من الاشارة هنا الى انه بالامكان الحصول على الاتقان المطلوب في اعمال المساحة لكافة تخصصات الهندسة المدنية باستخدام القياس الاعتيادي" ordinary taping " للمسافات باستخدام شريط القياس والذي من الممكن فيه الحصول على اتقان نسبي يصل الى $\frac{1}{10000}$ من خلال اجراء القياسات في ظروف ملائمة وبذل اعلى درجة من العناية، عند ذلك يمكن تجنب التصحيح للأخطاء المنتظمة من النوع "2" (التغير في درجة الحرارة)، والنوع "3" (التغير في الشد)، والنوع "4" (الهطول). وان كل ما تبقى لدينا هو النوع "1" (الطول غير الصحيح للشريط) والذي يجب التصحيح له (ان وجد).

3-3 استخدامات اخرى لشريط القياس "other uses of the tape"

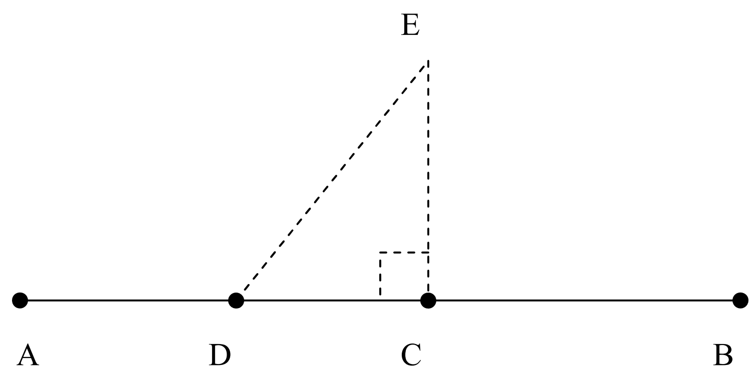
اضافة الى قياس المسافة الافقية بين نقطتين ,هنالك عدد من التطبيقات الاخرى في المساحة بالامكان اجرائها بأستخدام شريط القياس اهمها :

1- اقامة عمود على خط مستقيم من نقطة واقعة عليه.
2- اقامة عمود على خط مستقيم من نقطةخارجة عنه.
3- قياس زاوية افقية .
4- اسقاط زاوية افقية.
5- مسح المنشأت (مسح التفاصيل "detail survey").
6- اسقاط المنشأت .

لابد من الاشارة هنا الى انه بالامكان اجراء التطبيقات اعلاه بشكل افضل من حيث اتقان العمل وذلك من خلال استخدام اجهزة متطورة , مثلاً جهاز الثيودلايت "theodolite " والجهاز الالكتروني لقياس المسافة "EDM" الا انه في حالة طلب اجراء التطبيقات اعلاة مع عدم توفرالاجهزة اعلاه ولا توجد امكانية لشرائها (او لا توجد ضرورة لشرائها) , وبالامكان توفير شريط قياس لكون كلفته بسيطة , فكيف يتم اجراء التطبيقات اعلاة بأستخدام شريط القياس فقط ؟ هذا ماسوف يتم شرحه بأيجاز بالفقرات الاتية:-

1- اقامة عمود على خط مستقيم من نقطة واقعة عليه:-

في هذا التطبيق النقاط A,B اللتان تمثلان بداية ونهاية الخط المستقيم AB مثبتتان على الارض.النقطة C والواقعة على الخط المستقيم ABمثبتة ايضا على الارض ، المطلوب هو اقامة عمود على ABمن نقطة C باستخدام شريط القياس (شكل 5-3)



شكل (5-3) اقامة عمود على خط مستقيم من نقطة واقعة عليه

خطوات العمل :-

بالامكان تنفيذ العمل من قبل مجموعة تتألف من ثلاثة اشخاص وبتطبيق القاعدة [3-4-5] , اي انه :-

$$DE^2 = CE^2 + CD^2$$

وعلى النحو الاتي :-

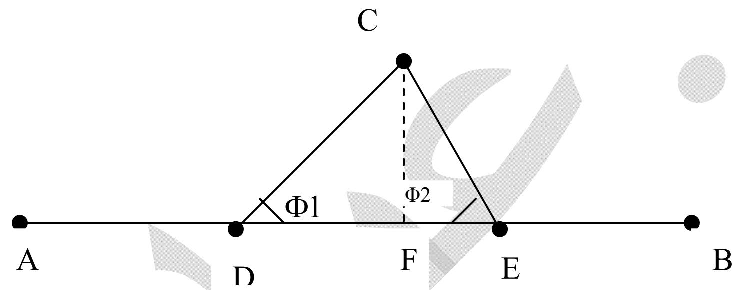
1- يتم تثبيت نقطة D على الخط المستقيم AB تبعد مسافة معينة من نقطة C , ولتكن (3m) .

2- يمسك الشخص الاول بداية الشريط (قراءة 0m) بصورة جيدة في نقطة C .
3- يمسك الشخص الثاني الشريط عند القراءة (9m) بصورة جيدة في نقطة D.
4- يمسك الشخص الثالث الشريط عند القراءة (4m) بصورة جيدة ويتحرك على الارض الى ان يتم عمل المثلث الافقي CDE في الطبيعة , عند ذلك وبتسليط شد جيد على شريط القياس يتم تثبيت نقطة E على الارض . وبهذا يكون الخط EC عمودي على الخط المستقيم AB (و.هـ.م).

2- اقامة عمود على خط مستقيم من نقطة خارجة عنه :--

في هذا التطبيق النقاط B,A [الشكل(6 –3) ادناه] والتي تمثل بداية ونهاية الخط المستقيم AB مثبتة في الموقع، نقطة C مثبتة ايضاً في الموقع.

المطلوب هو اقامة عمود من نقطة C على الخط المستقيم AB بأستخدام شريط القياس .



شكل (6-3) اقامة عمود على خط مستقيم من نقطة خارجة عنه

خطوات العمل :-

بالامكان تنفيذ العمل من قبل مجموعة تتألف من شخصين وعلى النحو الاتي :-

1- يتم تثبيت النقاط D,E في مواقع مناسبة على الخط المستقيم AB ,بحيث تقع أحدى النقطتين (نقطة E) في الجهة اليمنى من الموقع المتوقع للعمود (CF) والأخرى (نقطة D)في الجهة اليسرى ,أي ان الزاويتين Φ_2 , Φ_1 عبارة عن زوايا حادة .
2- يتم قياس أضلاع المثلث CDE (CD,CE,DE)باستخدام شريط القياس .
3- يتم حساب احدى الزاويتين Φ_1 او Φ_2 من خلال تطبيق العلاقة المثلثية الآتية :-

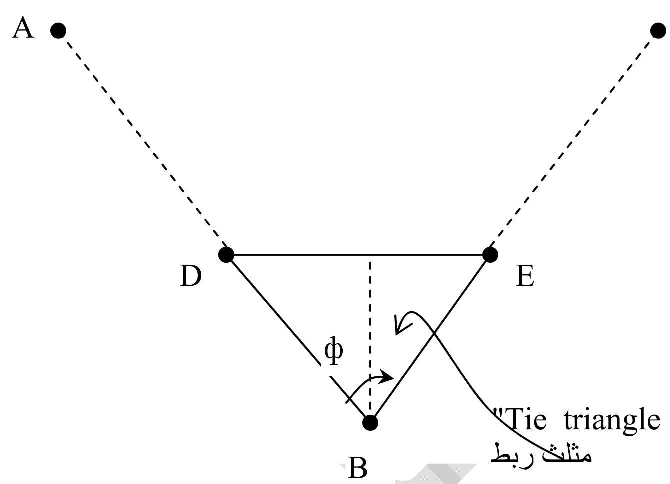
$$\cos\phi_1 = \frac{CD^2 + DE^2 - CE^2}{2 * CD * DE}$$

4- يتم حساب طول DF , حيث أن: $DF = CD * \cos\phi_1$

5- تثبيت نقطة F في الموقع من خلال قياس المسافة DF على أمتداد الخط المستقيم AB. وبهذا يكون الخط CF عمودي على الخط المستقيم AB (و.هـ.م).

3- قياس زاوية افقية:-

في هذا التطبيق , النقاط C,B,A [شكل (3-7)] مثبتة في الموقع. والمطلوب هو قياس الزاوية الافقية Φ بأستخدام شريط القياس.



شكل (3-7) قياس الزاوية الافقية باستخدام شريط القياس

خطوات العمل:-

بالامكان تنفيذ العمل من قبل مجموعة تتألف من شخصين وعلى النحو الاتي :-
يمكن قياس الزاوية الافقية Φ بأستخدام شريط القياس من خلال عمل مثلث ربط "Tie triangle" وعلى النحو الأتي:

1- تثبيت النقطة D على الخط المستقيم AB وتبعد مسافة معينة من B ولتكن(1m) (DB=1m).

2-وبنفس الأسلوب يتم تثبيت نقطة E على الخط المستقيم BC وتبعد بمسافة من B مساوية الى المسافة DB ولتكن (1m) [DB=EB=1m] .

3- يتم قياس المسافة الأفقية DE .

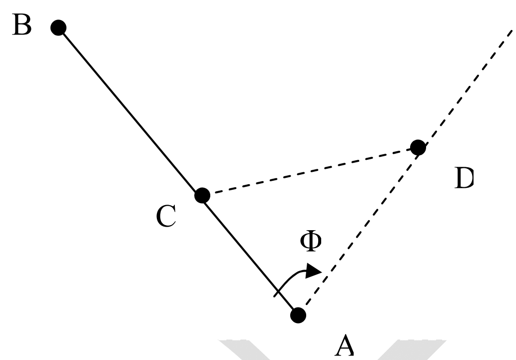
4- وبهذا يكون مثلث الربط "Tie triangle" عبارة عن مثلث متساوي الساقين (DB=EB), جميع اضلاعه مقاسة.

5- حساب قيمة الزاوية الأفقية, حيث ان:

$$\sin\frac{\phi}{2}=\frac{\frac{1}{2}DE}{DB}=\frac{\frac{1}{2}DE}{1}=\frac{1}{2}DE$$

4-اسقاط زاوية افقية :-

في هذا التطبيق , النقاط A,B [شكل(8-3)] تمثل بداية ونهاية الخط المستقيم AB مثبتة في الموقع . المطلوب هو تثبيت (اسقاط) نقطة D في الموقع ,بحيث يكون الخط AD يميل بزاوية افقية "Φ" معلومة المقدار مع الخط AB.



شكل (8-3) اسقاط زاوية افقية باستخدام شريط القياس

خطوات العمل :-

يمكن اجراء العمل من قبل مجموعة تتألف من ثلاثة اشخاص وعلى النحو الاتي :-

1- تثبيت نقطة C على الخط المستقيم AB وتبعد مسافة معينة من نقطة A ولتكن "1m " . [CA=1m]

2- يتم اختيار المسافة AD مساوية الى المسافة CA [AD=CA=1m] وبهذا يكون لدينا مثلث ربط متساوي الساقين [AD=CA=1m] وفيه الزاوية الافقية "Φ" معلومة ايضاً ,والمطلوب تثبيت نقطة D في الموقع وهذا ماسوف يتم شرحه في الخطوات التالية .

3- حساب المسافة الافقية "CD" حيث ان ,

$$\frac{1}{2}CD = AC * SIn\, \Phi/2 = 1 * SIn\, \Phi/2$$

$$\therefore CD = 2SIn\, \Phi/2$$

4- يمسك الشخص الاول بداية الشريط (قرأءة zero) بصورة جيدة في النقطة A.

5- يمسك الشخص الثاني شريط القياس عند القراءة [CD+AD=CD+1] وبصورة جيدة في النقطة C .

6- يمسك الشخص الثالث الشريط عند القراءة [AD] 1m بصورة جيدة ويتحرك على الارض الى ان يتم عمل مثلث افقي في الطبيعة يمثل مثلث الربط عند ذاك وبتسليط شد جيد على الشريط يتم تثبيت نقطة D في الموقع , وبهذا تم اسقاط الخط المستقيم AD , اي ان اسقاط الزاوية الافقية Φ قد تم . (و.هـ.م)

3-4 قياس المسافة الافقية عبر العوارض باستخدام شريط القياس:

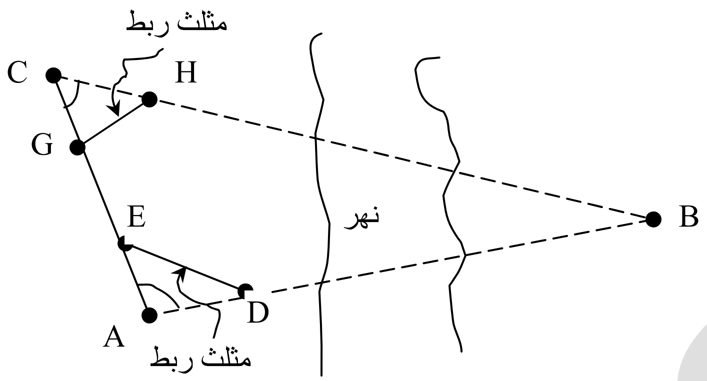
"Measurement of obstructed horizontal distance using tape"

هنالك عدد من العوارض تعيق قياس المسافة الافقية بين نقطتين، يمكن تصنيف هذه العوارض الى ثلاثة انواع:

1- القياس غير ممكن والرؤيا ممكنة:

مثال هذا النوع، تحديد المسافة الافقية بين نقطتين تقعان على جانبي نهر كما هو في الشكل(9-3).

في هذه الحالة النقطتين B،A تقعان على جانبي نهر، المطلوب تحديد المسافة الافقية بين النقطتين B،A باستخدام شريط القياس.



شكل (9-3) قياس المسافة الافقية في حالة الرؤيا ممكنة والقياس غير ممكن

خطوات العمل:

بالامكان تنفيذ العمل من قبل مجموعة تتألف من شخصين وعلى النحو الاتي:

1. تثبيت نقطة C في موقع ملائم بالقرب من نقطة A .
2. قياس المسافة الافقية AC.
3. قياس الزاوية الافقية A وذلك من خلال عمل مثاث الربط "Tie triangle" (EAD)، في هذا المثلث يتم تثبيت النقاط D،E على الضلعين AC,AB على التوالي بحيث المسافة AD=المسافة AE= 1m ويتم ايضاً قياس المسافة DE.

$$\therefore Sin\frac{A}{2}=\frac{\frac{1}{2}DE}{AD}=\frac{\frac{1}{2}DE}{1}=\frac{1}{2}DE=\frac{DE}{2}$$

$$\therefore \frac{A}{2} = Sin^{-1}\left(\frac{DE}{2}\right)$$
$$\therefore A = 2Sin^{-1}\left(\frac{DE}{2}\right)$$

4. قياس الزاوية الافقية C وذلك من خلال عمل مثلث الربط GCH، في هذا المثلث يتم تثبيت G,H بحيث تكون CH=CG=1m ويتم ايضاً قياس GH.

$$\therefore C = 2Sin^{-1}\left(\frac{GH}{2}\right)$$

5. حساب الزاوية الافقية B:

$$A + B + C = 180°$$
$$\therefore B = 180° - A - C$$

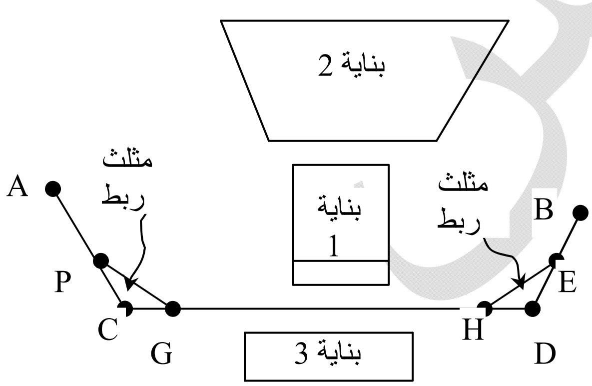
6. حساب المسافة الافقية AB

$$\frac{AB}{SinC} = \frac{AC}{SinB}$$
$$\therefore AB = \frac{SinC}{SinB} \times AC$$

(و.هـــ.م)

2- **القياس غير ممكن والرؤيا غير ممكنة:**

خير مثال على هذا النوع من العوارض هو وجود بناية تفصل ما بين النقطتين A, B والمطلوب هو تحديد المسافة الافقية AB باستخدام شريط القياس [شكل(3-10)].
ان افضل طريقة لاجتياز هذا النوع من العوارض هو عمل مضلع "Traverse".



شكل (3-10) قياس المسافة الافقية في حالة الرؤيا غير ممكنة والقياس غير ممكن

خطوات العمل:

بالامكان اجراء العمل من قبل مجموعة تتألف من شخصين وعلى النحو الاتي:

1. استطلاع موقع العمل لغرض تثبيت محطات المضلع "Traverse stations" في مواقع ملائمة بحيث تكون اضلاع المضلع اقرب ما يمكن الى الخط AB والمطلوب تحديد طوله.
2. تثبيت محطات المضلع C, D في الموقع.
3. قياس اطوال اضلاع المضلع AC, CD, DB باستخدام شريط القياس.
4. قياس الزاوية الافقية C, D من خلال عمل مثلثات الربط PCG, HDE وعلى التوالي [$HD = DE = 1m$ ، قياس HE وكذلك $PC = CG = 1m$ ، قياس PG].

$$\therefore D = 2Sin^{-1}\left(\frac{HE}{2}\right)$$

$$C = 2Sin^{-1}\left(\frac{PG}{2}\right)$$

5. اصبح لدينا الان المضلع $ACDB$ فيه اطوال الاضلاع DB, CD, AC معلومة (مقاسة) وكذلك الزويا الافقية C,D معلومة (مقاسة) ايضاً، والمطلوب تحديد طول الضلع AB.

هناك عدد من الطرق الرياضية لحساب AB ، اهمها:

أ. طريقة التضليع "Traversing" والتي سوف يتم التطرق لها تفصيلياً لاحقاً.

يمكن ايجاز تطبيق نظرية التضليع في هذه المسألة على النحو الاتي:

1. فرض احداثيات افقية معينة (X_A, Y_A) للنقطة A وكذلك فرض اتجاه الخط AC يمثل اتجاه المحور X وبذلك تكون $X_C = X_A + AC, \quad Y_C = Y_A$.

2. لكون الزاوية C معلومة، يتم حساب اتجاه الخط CD وبمعرفة طول CD ايضاً يتم تحديد احداثيات نقطة D (X_D, Y_D).
3. وبنفس الاسلوب يتم تحديد احداثيات نقطة B (X_B, Y_B).
4. واخيراً $AB = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}$.

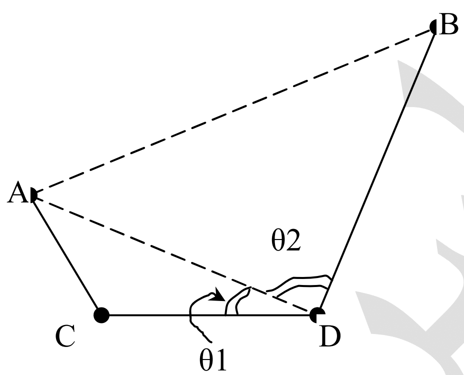
ب. يمكن حساب المسافة AB باستخدام علاقات مثلثية.

اشارة الى الشكل [3−11] ادناه، يمكن حساب المسافة AB باتباع الخطوات الاتية:

1. حساب AD:

$$CosC = \frac{AC^2 + CD^2 - AD^2}{2 * AC * CD}$$

$$\therefore AD = \sqrt{AC^2 + CD^2 - [2 * AC * CD * CosC]}$$



شكل (3-11) حساب المسافة الافقية AB

2. حساب θ_1

$$\frac{AC}{Sin\theta_1} = \frac{AD}{SinC}$$

$$\therefore Sin\theta_1 = \frac{AC}{AD} SinC \Rightarrow \theta_1 = Sin^{-1}\left[\frac{AC}{AD} SinC\right]$$

3. حساب θ_2

$$\theta_2 = D - \theta_1$$

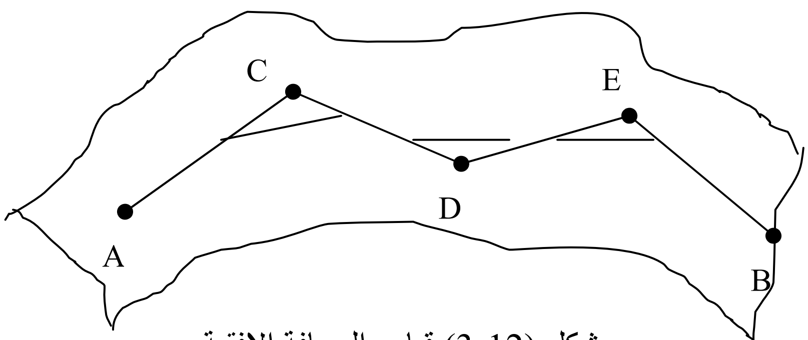
4. حساب المسافة الافقية AB

$$Cos\theta_2 = \frac{AD^2 + DB^2 - AB^2}{2 * AD * DB}$$

$$AB = \sqrt{AD^2 + DB^2 - [2 * AD * DB * Cos\theta_2]}$$

3- القياس ممكن والوؤيا غير ممكنة:

مثال على هذا النوع من العوارض هو وجود تل ''Hill'' يفصل النقطتين B, A والمطلوب هو تحديد المسافة الافقيةAB [شكل (3-12)] باستخدام شريط القياس. افضل طريقة لاجتياز هذا النوع من العوارض هوعمل مضلع "*ACDEB*" بحيث تكون اضلاعه اقرب ما يمكن الى الخط AB. يتم اجراء (تنفيذ) العمل والحسابات بنفس الاسلوب الذي تم اتباعه في النوع الثاني من العوارض [2] اعلاه.



شكل (3-12) قياس المسافة الافقية
في حالة كون الارض على شكل تل

H.W:-

في الشكل ادناه تم تحديد المسافة AB بطريقتين:

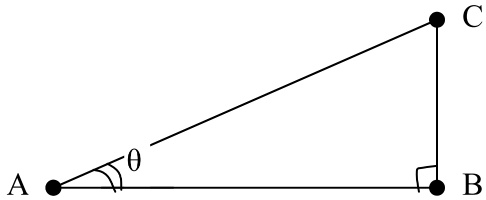
1. طريقة مباشرة:

استخدم [''Nominal length'' 30m] شريط قياس حديدي ''Steel tape'' لقياس المسافة AB وكانت القياسات على النحو الاتي:

$$D_{AB} = 194.600m, 194.665m, 194.545m$$

فأذا كان الطول الحقيقي ''Actual length'' لشريط القياس 29.992m احسب المسافة AB والخطأ القياسي لها.

2. طريقة غير مباشرة: في هذه الطريقة تم قياس المسافة "BC" والزاوية الافقية θ وكانت نتائج القياسات على النحو الاتي:



$$D_{BC} = 50.654m \pm 0.005m$$
$$\theta = 14^{\circ}35'40'' \pm 35''$$

احسب المسافة AB والخطأ القياسي لها.

3. احسب الاتقان النسبي "Relative Precision" لكل من [1،2] اعلاه وايهما اكثر اتقاناً "More Precise".

4. احسب القيمة النهائية للمسافة AB والخطأ القياسي لها.

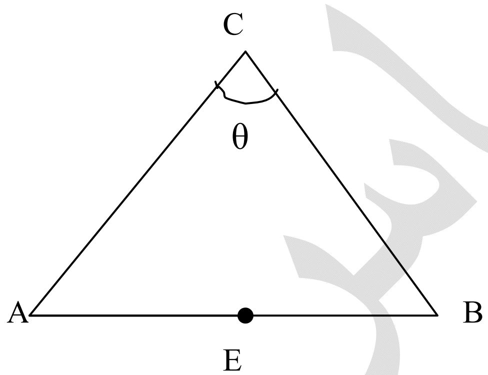
مثال [1−3]

في قطعة الارض مثلثة الشكل ABC المبينة في الشكل ادناة , تم اجراء القياسات التالية بأستخدام (30m) شريط قياس .

فأذا كان الطول الحقيقي لشريط القياس =30.015m

فما هي افضل قيمة [القيمة الاكثر احتمالية] "Most probable value" للمسافة AB

والخطأ القياسي لها .



D_{AC}=157.158m ± 0.03m

D_{AE}=116.245m , 116.232m ,116.238m ,116.253m

D_{EB}=87.256m ± 0.02m

D_{BC} =186.758m ± 0.05m

$\theta = 71^{o}58'45'' \pm 1'15''$

الحل :-

1- حساب افضل قيمة والخطأ القياسي لها للمسافة "D_{AE}"

أ –التصحيح للأخطاء المنتظمة الناجمة عن الطول غير الصحيح لشريط القياس .

اشارة الى المعادلة [1-3] ص5

يتم حساب التصحيح C_d للمسافة المقاسة D ومن ثم يتم حساب المسافة المصححة [$D+C_d$ =].

لتسهيل الحسابات يمكن حساب المسافة المصححة مباشرةً كما هو مبين في حساب x_1 .

المسافة المصححة	المسافة المقاومة
m	m
30.01	30
X_1	m_1

$$\therefore X_1 = 30.015 \times \frac{m_1}{30}$$

والتي يمكن ان تكون بشكل علاقة رياضية عامة وعلى النحو الاتي :-

لو فرض ان ;

L_T = الطول الاعتيادي لشريط القياس Nominal Tape length

$\bar{L}_T$ = الطول الحقيقي لشريط القياس Actual Tape length

D = المسافة المقاسة measured distance

X = المسافة المصححة corrected distance

$$X = \therefore \bar{L}_T \frac{D}{L_T} \quad . \ . \ . \ . \qquad [3\text{-}5]$$

اي ان :-

المسافة المصححة = الطول الحقيقي لشريط القياس * $\dfrac{\text{المسافة المقاسة}}{\text{الطول الاعتيادي لشريط القياس}}$

وعليه يمكن استخدام المعادلة [3-5] اعلاة لحساب المسافة المصححة للأخطاء المنتظمة الناجمة عن الطول غير الصحيح لشريط القياس .
لذلك في المثال اعلاة تكون المسافات المصححة لـ "D_{AE}"

على النحو الاتي :-

$$X_1 = \bar{L}_T * \frac{D_1}{L_T}$$

$$= 30.015 * \frac{116.245}{30} = 116.303m$$

$$X_2 = \bar{L}_T * \frac{D_2}{L_T} = 30.015 * \frac{116.232}{30} = 116.290$$

$$X_3 = \bar{L}_T * \frac{D_3}{L_T} = 30.015 * \frac{116.238}{30} = 116.296$$

$$X_4 = \bar{L}_T * \frac{D_4}{L_T} = 30.015 * \frac{116.235}{30} = 116.311$$

$$\bar{X} = \frac{X_1+X_2+X_3+X_4}{4} = \frac{116.303 + 116.290 + 116.296 + 116.31}{4}$$

$$\bar{X} = 116.300 \text{ m}$$

V_1= 116.303 – 116.300 = 0.003m = 3mm
V_2= 116.290 – 116.300 = -0.001m = -10mm
V_3 = 116.296 – 116.300 = -0.004m = -4mm
V_4 = 116.311 – 116.300 = 0.011m = 11mm

$$\delta_{xi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^2}{4-1}}$$

$$\delta_{xi} = \sqrt{\frac{3^2 + (-10)^2 + (-4)^2 + 11^2}{3}}$$

$$\therefore \quad \delta_{xi} = \pm 9.055385 \text{ mm}$$

$$\therefore \quad \delta_{\bar{x}} = \frac{\delta_0}{\sqrt{n}} = \frac{9.055385}{\sqrt{4}} = \pm 4.52769\text{mm}$$

$$\therefore \quad \delta_{\bar{x}} = \pm 4.5 \text{ mm}$$

$$\therefore D_{AE} = 116.300\text{m} \pm 0.0045 \text{ m}$$

المسافة" AB" [D_{AB}] والخطأ القياسي لها :-

هنالك علاقتان رياضيتان تربط ما مبين المتغير " y " [$y = D_{AB}$] المطلوب حسابه والقياسات المباشرة والغير مباشرة " $x_1 , x_2 , x_3 , x_4 ,x_5$" المعلومة حيث ان :-

x_1= D_{AE} = 116.300m ± 0.0045m = 116.3m ± 4.5mm
x_2= D_{FB} = 87.256 m ±0.02m = 87.256m ± 20mm
x_3= D_{AC} = 157.158 m ±0.03m = 157.158m ± 30mm
x_4= D_{BC} = 186.758 m ±0.05m = 186.758 m ± 50mm
$x_5 = \theta = 71^0 58' 45'' \pm 1'15''$
& y = D_{AB}

المعادلة الاولى : $y= x_1 + x_2 ....(1)$

وكذلك ;

$$\text{Cos } x_s = \frac{x_3^2 + x_4^2 + y^2}{2 * x_3 * x_4}$$

المعادلة الثانية $\therefore y = \sqrt{x_3^2 + x_4^2 - 2x_3x_4 \cos x_s} \quad ....(2)$

وعليه يمكن حساب قيمتان للمتغير y

1- القيمة الاولى من خلال تطبيق المعادلة (1) اعلاه

$$y = x_1+x_2 = 116.300 + 87.256 = 203.556 \text{ m}$$

بتطبيق قانون تراكم الخطاء على المعادلة ;

$$y = x_1+x_2$$
$$\delta_y^2 = \delta_{x_1}^2 + \delta_{x_2}^2 \therefore$$
$$\delta_y^2 = (4.5)^2 + (20)^2 = 420.25 \therefore$$
$$\delta_y = \pm 20.5mm \therefore$$

$\therefore$ القيمة الاولى :-

$$y = 203.556\text{m} \pm 20.5 \text{ mm}$$

2- القيمة الثانية من خلال تطبيق المعادلة (2) اعلاه

$$y = \sqrt{x_3^2 + x_4^2 - 2x_3x_4 \cos x_s}$$

$$y=\sqrt{(157.158)^2 (186.758)^2 - [2*157.158*186.758\cos(71^0 58^{\prime} 45^{\prime\prime})]}$$

$$\therefore \quad y = 203.512 \text{ m}$$

وتطبيق قانون تراكم الاخطاء على المعادلة

$$y=\sqrt{x_3^2+x_4^2-2x_3x_4\cos x_5}$$

$$\delta_y^2=\left(\frac{1}{2y}\right)^2\left[(2x_3-2x_4\cos x_5)^2\delta_{x3}^2+(2x_4-2x_3\cos x_5)^2\delta_{x4}^2+(2x_3x_4\sin x_5)^2\delta_{x5}^2\right]$$

$$A=(2x_3 2x_4\cos x_5)^2\delta_{x5}^2$$

$$A=\left(2\times157.158-2\times186.758\cos(71^o58'45'')\right)^2\times\left(\frac{30}{1000}\right)^2$$

$$A=35.55643$$

$$B=(2x_4-2x_3\cos x_5)^2\delta_{x4}^2$$

$$B=\left(2\times186.758-2\times157.158\cos(71^o58'45'')\right)^2\times\left(\frac{50}{1000}\right)^2$$

$$\therefore B=190.824284$$

$$C=(2x_3x_4\sin x_5)^2\delta_{x5}^2$$

$$C=\left(2\times157.158\times186.758\sin(71^o58'45'')\right)^2\left(\left(\frac{1}{60}+\frac{15}{3600}\right)\frac{\pi}{180}\right)^2$$

$$C=411.977631$$

$$\therefore \delta_y^2=\frac{1}{4y^2}[A+B+C]=\frac{35.55643+190.824284+411.977631}{4*(230.512)^2}$$

$$\delta_y^2=0.003853$$

$$\therefore \delta_y=0.0621\,m=\pm62.1mm$$

القيمة الثانية

y=203.512m ±62.1mm

$$\therefore x_1=203.556m,\delta_{x1}=\pm20.5mm$$

$$x_2=203.512m,\delta_{x1}=\pm62.1mm$$

حيث ان (x_2,x_1) عبارة عن قياسين لنفس المتغير y (متغير واحد) بالامكان حساب افضل قيمة ل(y) والخطاء القياسي لها بطريقة المربعات الصغرى وعلى النحو الاتي :-

$$p_1 = \frac{1}{\delta_{x1}^2} = \frac{1}{(20.5)^2} \quad ، \quad p_2 = \frac{1}{\delta_{x2}^2} = \frac{1}{(62.1)^2}$$

ضرب p_1,p_2 بالرقم 10^4 (scaling) نحصل على

$$p_1 = \frac{10^4}{(20.5)^2} = 23.795 \ , \ p_2 = \frac{10000}{(62.1)^2} = 2.593$$

$$\therefore y = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2}{p_1 + p_2} = \frac{(23.795 \times 203.556) + (2.593 \times 203.512)}{23.795 + 2.593}$$

y =203.551676m

$$\therefore y = 203.552m \Rightarrow D_{AB} = 203.552m$$ افضل قيمة

$$v_1 = y - x_1 = 203.552 - 203.556 = -0.004m = -4mm$$

$$v_2 = y - x_2 = 203.552 - 203.512 = +0.040m = +40mm$$

$$\delta_o = \sqrt{\frac{p_1 v^2{}_1 + p_2 v^2{}_2}{n-u}} = \sqrt{\frac{(23.795 \times (-4)^2) + (2.593 \times (40)^2)}{2-1}}$$

$$\delta_o = \pm 67.301709mm$$

$$\delta_y = \frac{\delta_o}{\sqrt{p_1 + p_2}}$$

$$\delta_y = \frac{63.30101709}{\sqrt{23.795 + 2.593}}$$

$$\therefore \delta_y = \pm 13.1mm$$

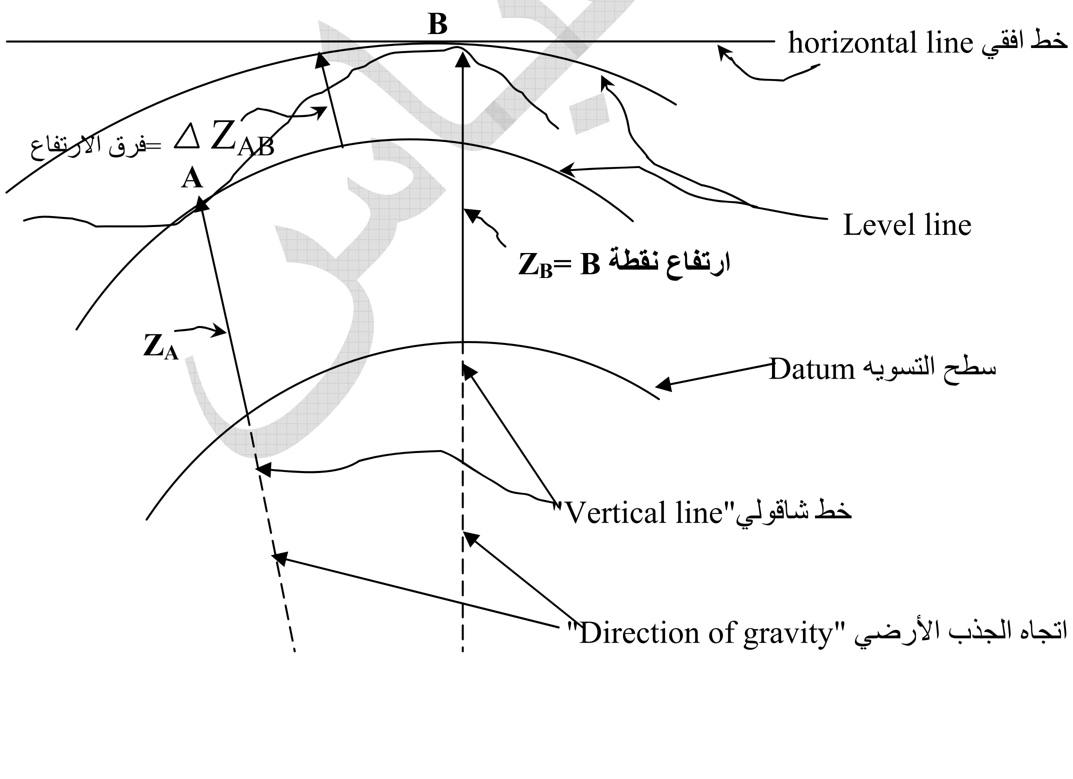
$$\therefore D_{AB} = 203.552m \pm 13.1mm$$

4- التسويه(Leveling)

وهي عمليه تحديد"Determining" او تعين "establishing" ارتفاع "Elevation" النقاط والذي يعتمد اساسا على تحديد فرق االارتفاع بين نقطتين .
في المساحة المستوية plane surveying ارتفاع Elevation اي نقطة يمثل الاحداثي الشاقولي (Z-coordinate) للنقطة فوق (+) او تحت (-) سطح المرجع [عادة يمثل بمعدل مستوى سطح البحر Mean sea level] .

4-1 المتغيرات الأساسيه في التسويه(Basic variable in leveling):-

ان التسويه تمثل احد الاركان الاساسيه في موضوع المساحه"Surveying".
قبل البدء في تناول مفردات موضوع التسويه , لابد من اعطاء صوره هندسيه واضحه للعلاقات الرياضيه بين المتغيرات " Variables" الاساسيه في التسويه "Levelling" وكما مبين في الشكل [1-4] ادناه.



شكل (1-4) المتغيرات الاساسية في التسوية

يمكن تعريف المتغيرات " Variable" الاساسيه في التسويه على النحو الاتي:-

خط شاقولي" Vertical Line"

هو عباره عن خط مستقيم يكون باتجاه الجذب الارضي"direction of gravity" , لذلك هنالك خط شاقولي واحد في كل نقطه.

خط افقي" Horizontal Line"

الخط الافقي في اي نقطه هو عباره عن الخط العمودي "Perpendicular" على الخط الشاقولي "Vertical Line" في تلك النقطه , لذلك هنالك مالانهايه من الخطوط الافقيه في اي نقطه.

سطح التسويه"Level Surface"

هوعباره عن سطح مستمر له ارتفاع" Elevation" ثابت ويكون متعامد مع اتجاه الجذب الارضي في كل نقطه من نقاطه , لذلك فان سطح التسويه عباره عن سطح منحني "Curved" جميع نقاطه لها نفس الارتفاع.

خط التسوية "level line"

وهو عبارة عن خط منحني "curved line" جميع نقاطه لها نفس الارتفاع "Elevation" لذلك فأن خط التسوية هو احد خطوط سطح التسوية وانه هنالك ما لانهاية من خطوط التسوية في سطح التسوية .

سطح المرجع " Datum"

وهو عبارة عن سطح التسوية الذي يستخدم كمرجع "Datum" في اعمال التسوية .
من الممكن ان يكون سطح المرجع سطح حقيقي متمثلاً بسطح الماء لبحيرة راكدة ≈ متوسط مستوى سطح البحر "mean sea level" , ويمكن ان يكون سطح المرجع "Datum" سطح خيالي (مفترض"assumed") .

ارتفاع نقطة "Elevation of a point"

هو عبارة عن المسافة الشاقولية للنقطة فوق او تحت سطح المرجع , لذلك فأن ارتفاع النقطة عبارة عن كمية متجهة [موجبة + او سالبة –] .

فرق الارتفاع "Difference in Elevation"

فرق الارتفاع بين نقطتين هو عبارة عن المسافة الشاقولية بين خطي التسوية اللذان يحتويان النقطتين , وهو عبارة عن كمية متجهة (+ او -) , اي ان :

$$\Delta Z_{AB} = Z_B - Z_A \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad [4 - 1]$$

راقم التسوية "Bench Mark "B.M

هو عبارة عن نقطة معلومة الارتفاع ومثبتة في الطبيعة ومعرفة بشكل جيد .

4-2 طرق التسوية:- Methods of leveling

بشكل عام هنالك اربع طرق للتسوية :-

1. التسوية المباشرة Direct leveling "

وهي الطريقة الاعتيادية في التسوية . قياس المسافة الشاقولية يتم بصورة مباشرة من خلال استخدام جهاز التسوية "level" ومسطرة تسوية "level rod" .

2. التسوية المثلثية "Trigonometric leveling"

في هذة الطريقة يتم قياس المسافة الافقية والزاوية العمودية "vertical angle". تقاس الزاوية العمودية بأستخدام جهاز الثيودلايت . وتقاس المسافة الافقية بأستخدام شريط القياس (او EDM) لذلك فأن الاجهزة المستخدم في هذة الطريقة هي :-
ثيودلايت "theodolite" + شريط القياس "Tape" او جهاز الكتروني "EDM" + مسطرة تسوية "level Rod" .

3. التسوية البارومترية "Barometric leveling"

في هذة الطريقة يتم تحديد ارتفاع "Elevation" النقاط من خلال قياس الضغط الجوي "air pressure" وتعتمد هذة الطريقة على مبدأ ان الضغط الجوي "air pressure" يقل مع زيادة الارتفاع والعكس صحيح .

4. التسوية بطريقة الستيديا "staidia leveling"

هذة الطريقة مشابهة الى التسوية المثلثية "Trigonometric leveling" ماعدا المسافة الافقية يتم قياسها بصورة غير مباشرة بطريقة الستيديا " staidia method" .

ان افضل الطرق اعلاه واكثرها اتقان "precise" في تحديد ارتفاعات "Elevations"النقاط هي طريقة التسوية المباشرة " Direct leveling"باستخدام جهاز التسوية "Level"،تليها في الاتقان طريقة التسوية المثلثية " Trigonometric leveling"
[بالامكان الحصول على اتقان عالي والذي قد يكون افضل من التسوية المباشرة من خلال استخدام اجهزة متطورة عالية الاتقان في قياس الزاوية العمودية والمسافة الافقية].
اما التسوية البارومترية والتسوية بطريقة الستديا فان نتاجها تقريبيه وتستخدم لاغراض الاستطلاع والاعمال التقريبيه فقط .

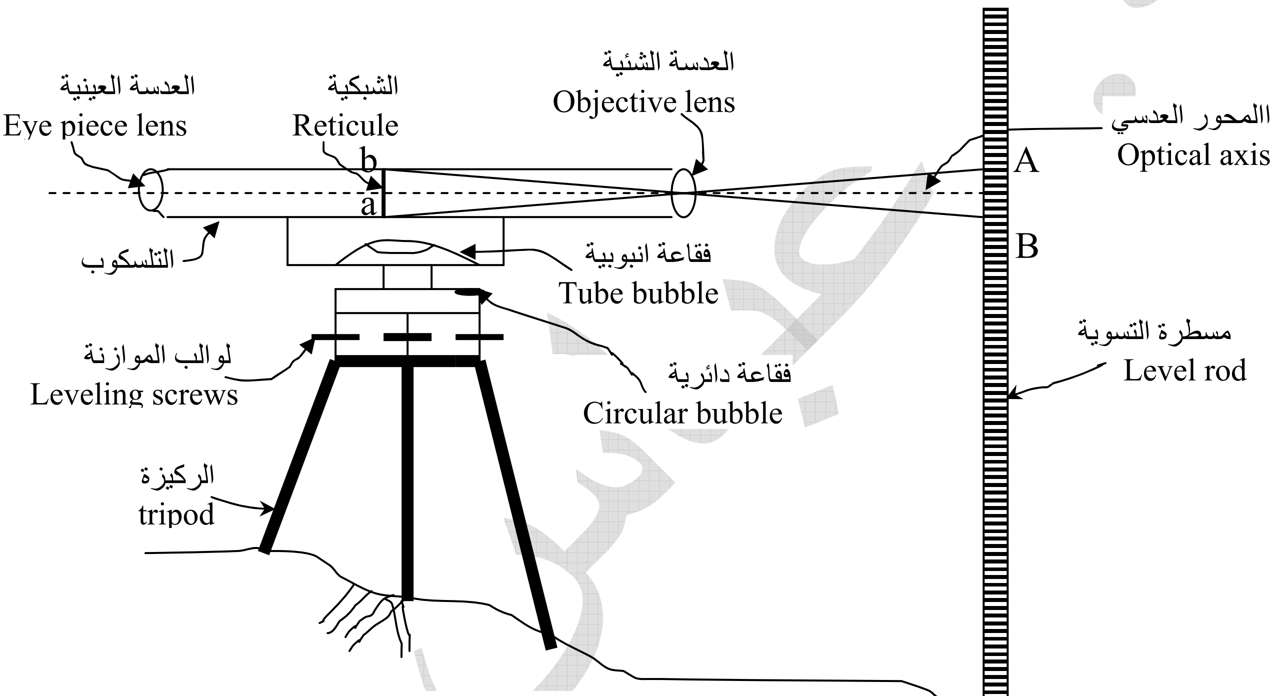
4-3 التسوية المباشرة: Direct Leveling

في التسوية المباشرة يتم تحديد فرق الارتفاع بين نقطتين من خلال استخدام الاجهزة التالية :-
1-جهاز التسوية level
2-مسطرة التسوية level rod

4-4 جهاز التسوية : Level

4-4-1 المركبات الأساسية: Basic Components

ان المركبات (المكونات) الاساسية لجهاز التسوية مبينة في الشكل (4-2) ويمكن ايجازها على النحو الآتي :-



شكل (4-2) "جهاز التسوية ومسطرة التسوية "
"Dumpy level "

1- التلسكوب Telescope :-
الغرض الاساسي للتلسكوب هو تثبيت خط النظر "Line of sight" واعطاء صورة مبكرة للجسم المنظور [مسطرة التسوية " level rod"].
اشارة الى الشكل [4-2] ، فان التسكلوب يتالف من ثلاثة اجزاء رئيسة :

أ- العدسة الشيئية"objective lens"

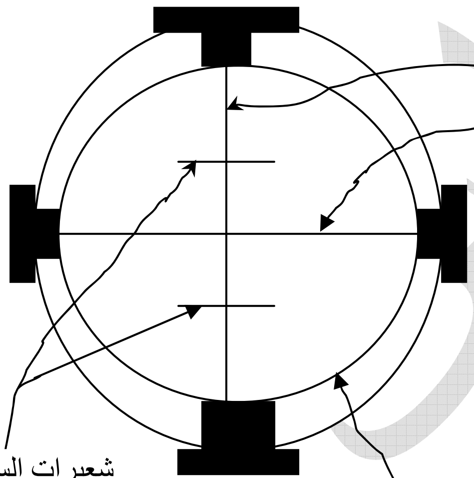
الغرض من العدسة الشيئية هوتكوين صورة حقيقية للجسم المنظور وتكون هذه الصورة صغيرة ومقلوبة ، تقع هذه الصورة في مستوى الشبكية " Reticule" .

ب- العدسة العينية "eye pice lens "

الغرض الرئيسي للعدسة العينية هو تكبير صورة الجسم المنظور [مسطرة التسوية] وشعيرات الشبكية" cross hairs"

ت- الشبكية   Reticule

ان الموقع مستوى الشبكية في التلسكوب يمثل مستوى توضح الصورة "focusing plane" لكل من العدسة العينية والعدسة الشيئية .
تتالف الشبكية بشكل رئيسي من شعيراتان " Two hairs" احداهما افقية والشعرية الشاقولية تمثل مركز الجهازوتقع على المحور العدسي "optical axes" للجهاز .
الشبكية في معظم اجهزة التسوية تحتوي على شعيراتين افقيين اضافيتين تسمى شعيرات الستيدياstaidia hairs" [شكل (3-4)]



شكل (3-4) الشبكية

2- الفقاعة الانبوبية [انوبة التسوية] bubble tube

تستخدم الفقاعة الانبوبية [Bubble "level" tube] في جهاز التسوية "level" وذلك للحصول على خط افقي . ان الاتقان الذي يتم الحصول عليه من جهاز التسوية يعتمد بالدرجة الاساس على الفقاعة الانبوبية. تتالف الفقاعة الانبوبية Bubble tube من انبوبة زجاجية

مغلقة بشكل محكم ، الانبوبة مملؤة تقريبا بسائل "liquid" خليط من الأيثر والكحول (سائل غير قابل للأنجماد) أما الجزء المتبقي من الانبوبة عبارة عن فضاء هوائي يسمى الفقاعة "bubble". السطح العلوي للأنبوبة عبارة عن منحني دائري "circular curve", ان السائل الموجود في الانبوبة يرفع الفقاعة الى اعلى نقطة في الانبوبة ,وبما ان اعلى نقطة في منحني دائري يقع في مستوى شاقولي فان المماس في تلك النقطة يكون عبارة عن خط افقي يسمى بمحور الفقاعة الأنبوبية "axis of the bubble tube"

حساسية الفقاعة الانبوبية "sensitivity of the bubble tube "

ان حساسية الفقاعة الانبوبية تتمثل بالزاوية "α" وهي عبارة عن زاوية ميل الانبوبة لتسبب حركة الفقاعة بمقدار جزء واحد من المقياس المثبت على زجاج الانبوبه .

$$***\alpha'' = 0.2063 \times 10^{6} \times \frac{d}{r} \quad .... \quad (4\text{-}2)$$

حيث ان α'' = زاوية الميل بالثانية
d = طول تقسيم واحد من تقسيمات زجاجة الانبوبه
(عادة =2mm)
r = نصف قطر منحني الانبوب

من المعادلة [4-2] اعلاه ، لقيمة معينة لطول التقسيم الواحد "d" ان الزاوية α تتناسب عكسيا مع "r" وعليه يعتبر "r" قياس لحساسية الفقاعة الانبوبية [اذا كبر "r" تتزداد حساسية الانبوبه (تقل α) والعكس صحيح]
وعليه فان الانبوبة التي لها $[\alpha=10'']$ لها حساسية تساوي ضعف حساسية الانبوبة التي لها $[\alpha=20'']$.

3- الفقاعة الدائرية : circular bubble

تستخدم في جهاز التسوية للحصول على مستوى افقي بشكل تقريبي.

4- لوالب الموازنة: leveling screws

والتي عددها ثلاثة بشكل عام، تستخدم لوزن جهاز التسوية والذي يتم من خلال جعل محور الجهاز (level axis) خط افقي والذي يتم الحصول عليه من خلال تحريك الفقاعة (باستخدام لوالب الموازنة) الى ان تصبح في اعلى موقع في الانبوبة وبشكل منتظم (منتصف الانبوبة).

5- الركيزة : Tripod

عبارة عن ركيزة ذات ثلاثة ارجل تستخدم لحمل " support" جهاز التسوية.

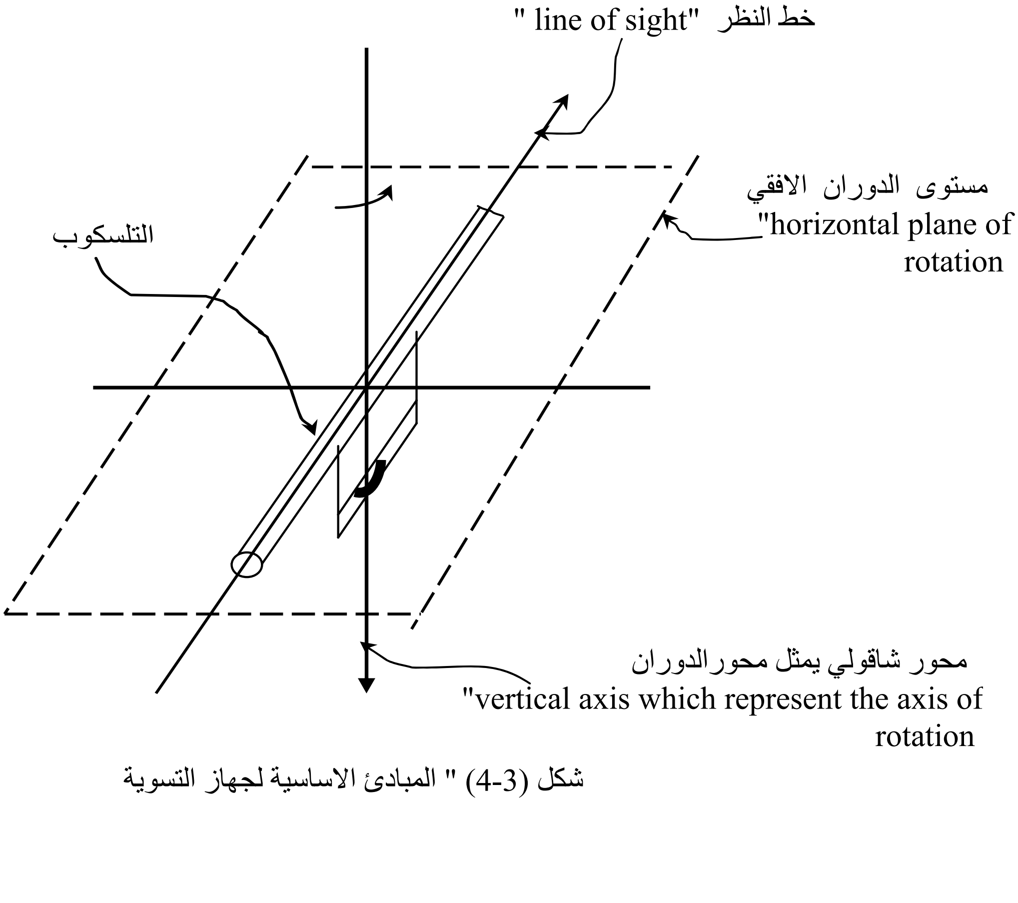
$$***d = r \times \alpha_{rad} = r \times \alpha'' \times \frac{\pi}{180} \times \frac{1}{3600}$$

4-4-2 نصب جهاز التسوية Setup of the level

يمكن ايجاز وزن الجهاز بالخطوات الاتية:

1- فتح ارجل الركيزة Tripod بطول مناسب ($\approx 1.5m \rightarrow 1.7m$)ومن ثم تثبيت الركيزة بشكل جيد في الارض بحيث تشكل قاعدة ارجل الركيزة مثلث متساوي الاضلاع (تقريبا) وان اطوال اضلاع هذا المثلث تتلائم مع طول (ارتفاع)ارجل الركيزة على ان يكون السطح العلوي للركيزة افقي قدر المستطاع .
2- جعل الانبوبة موازية الى اثنين من لوالب الموازنة ويتم تحريك اللولبين سوية الى الداخل او الى الخارج لحين جلب الفقاعة الى منتصف الانبوبة.
3- يتم تدوير محور جهاز التسوية الى ان تصبح الانبوبة بشكل متعامد مع اللولب الثالث. يتم تحريك اللولب الى الداخل او الخارج لحين جلب الفقاعة الى منتصف الانبوبة.
4 - يتم تدوير الجهاز لا على التعيين للتأكد من وزن الجهاز فان بقيت الفقاعة في المنتصف فهذا يعني انه تم وزن الجهازوبخلافه تعاد الخطوات 2و3و4 اعلاه لحين وزن الجهاز (وزن الجهازيعني تكوين مستوى افقي عند تدوير "rotating" التلسكوب).

4-4-3 المبادى الاساسية لجهاز التسوية: Basic principles of the level



شكل (3-4) " المبادئ الاساسية لجهاز التسوية

المبادى الاساسية التي يجب توفرها في جهاز التسوية هي:
1- خط النظر للتلسكوب متعامد مع المحور الشاقولي للتلسكوب.
2- بعد اجراء نصب "set up" و وزن "leveling" جهاز التسوية "level" ، يجب ان يكون المحور الشاقولي للجهاز باتجاه الجذب الارضي

3- عند دوران [تدوير] التلسكوب حول محوره الشاقولي ، يجب ان تكون حركة خط النظر في مستوى افقي .

4-4-4 انواع جهاز التسوية types of level :

هناك ثلاثة انواع ريئيسة لجهاز التسوية وهي:-

1- dumpy level

الوصف العام لجهاز التسوية الذي تم شرحة سابقا والمبين في شكل [4-2] يمثل جهاز Dumpy level.

تلسكوب ال Dumpy level مربوط بشكل محكم مع انبوبة التسوية "Bubble tube". اذا تم وزن "leveling" الجهاز بشكل جيد ، يكون خط النظر موازي الى محور انبوبة التسوية "level tube" [ملاحظة مهمة تم استخدام مصطلحات مختلفة لانبوبة التسوية، جميعها لها نفس المعنى ، اي ان :

Level tube = bubble tube = tube bubble
الفقاعة الانبوبية = انبوبة التسوية].

2- Tilling level

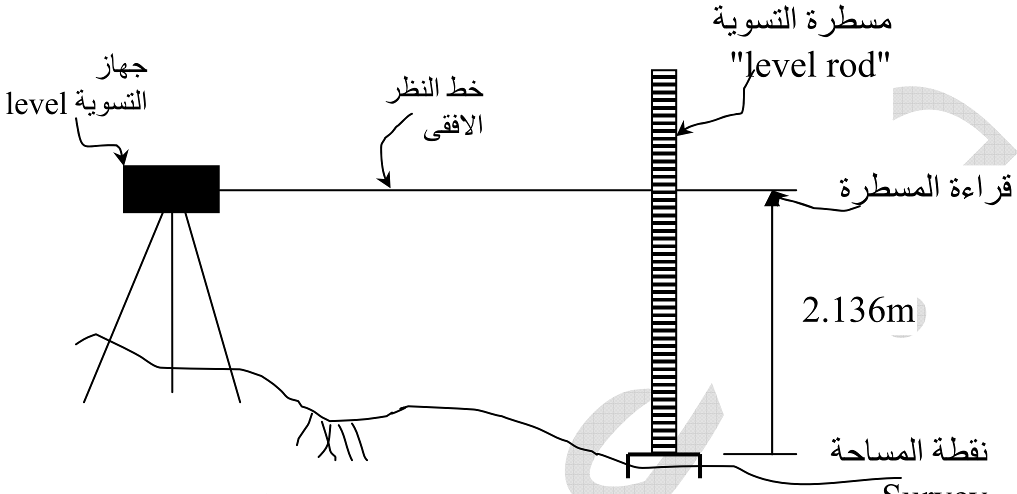
ان الميزة الرئيسية التي تميز هذا النوع هو امكانية تدوير "tilting" التلسكوب بمستوى شاقولي حول محور افقي مما يوفر السرعة والدقة في تحريك الفقاعة الانبوبية الى منتصف الانبوبة "center" وعندها يتم رؤية صورة الحرف U "u - shape" وبهذا يصبح خط النظر خط افقي.
لابد من الاشارة هنا الى انه يجب وزن الجهاز بشكل تقريبي باستخدام الفقاعة الدائرية اولا ومن ثم يتم استخدام المسمار الخاص "tilting screw" والموجود بمحور العدسة العينية للتلسكوب للحصول على ال" u- shape" يجب التاكد من وجود صورة "U- shape" قبل كل قراءة للمسطرة.

3- Automatic level

ان الميزة الرئيسية التي تميز هذا النوع هو احتواء التلسكوب على مكونات اضافية (مواشير ، مرايا mirrors , prisms) تجعل خط النظر خط افقي بشكل تلقائي اوتوماتيكي من خلال تطبيق مبدا الجذب الارضي.
لذلك فانه بعد وزن جهاز التسوية بشكل تقريبي باستخدام الفقاعة الدائرية "circular bubble" تتحرك هذه المكونات بحرية الى مواقع جديدة تلقائيا "automatically" ويصبح عندها خط النظر خط افقي. ان هذه الاجهزة لها اتقان عالي ، سهلة وسريعة الاستخدام.

4-5 مسطرة التسوية: Level Rod

تستخدم مسطرة التسوية لقياس المسافة الشاقولية "vertical distance" من نقطة المساحة "survey point" الى خط النظر الافقي. وهي عبارة عن كمية متجهة ، موجبة الى الاعلى "+ ↑"وسالبة الى الاسفل "− ↓"



شكل [4-4] مسطرة التسوية

هناك انواع واطوال مختلفة لمسطرة التسوية، اقل قراءة فيها "least count" هي 1cm وعليه تكون قراءة المليمترات الاضافية بالتخمين "by estimation"ويجب تسجيل القراءة الى ثلاث مرتب بعد الفاصلة [الوحدة هي المترm] كما هو مبين في شكل [4-4].

4-6 انواع التسوية:-

تقسم التسوية من حيث التطبيق الى ثلاثة انواع رئيسية :-

1- التسوية التفاضلية Differential leveling:- تتخصص التسوية التفاضلية "Differential leveling" في تحديد "determining" أرتفاعات "Elevations" رواقم تسوية جديدة "New Bench Marks".
2- Profile Leveling :- تتخصص في تحديد شكل (تضاريس) الارض , بما فيه من أرتفاعات وأنخفاضات , على أمتداد خط معين مثبت مسبقا.
3- Grid leveling :- تتخصص في تحديد شكل(تضاريس الارض) بما فيه من ارتفاعات وانخفاضات من خلال تقسيم قطعة الارض الى شبكة مربعات ويتم تحديد ارتفاعات نقاط الشبكية .

4-7 التسوية التفاضلية Differential leveling :-

وهي عملية تحديد أرتفاعات رواقم تسوية جديدة "New Bench Marks" [جديدة "New" يعني أن هذه النقاط عبارة عن نقاط مجهولة الارتفاع "unknown elevation" والمطلوب هو تحديد أرتفاعاتها لتصبح رواقم تسوية Bench Marks معلومة الارتفاع"Known elevation"] .
أن التسوية التفاضلية "Differential leveling" غالبا (عادة) يتم انجازها بطريقة التسوية المباشرة بأستخدام جهاز التسوية "level" ومسطرة التسوية "level rod".

4-7-1 تعريفات أساسية Basic definitions :-

أشارة الى الشكل [4-6] أدناه ، في البداية لابد من نعريف بعض المتغيرات variables الاساسية في موضوع التسوية التفاضلية المباشرة :-

راقم التسوية (Benchmark (B.M :- هو عبارة عن نقطة دائمية "permanent" معلومة الارتفاع "known elevation" مثبتة في الطبيعة , يتم وصفها وتعريفها بشكل جيد.

قراءة خلفية(Backsight (B.S :- وهي قراءة المسطرة التي تؤخذ على نقطة معلومة (محسوبة) الارتفاع "Elevation".

قراءة أمامية (Foresight (F.S :- وهي قراءة المسطرة التي تؤخذ على نقطة مجهولة الارتفاع.

نقطة تحول (Turning Point (T.P :- وهي عبارة عن نقطة [مؤقتة"ليست دائمية"] تؤخذ عليها قرائتين لمسطرة التسوية , الاولى قراءة أمامية "F.S" [من نصبة جهاز التسوية القديمة] والثانية قراءة خلفية"B.S" [من نصبة جهازالتسوية الجديدة].

مسافة القراءة الخلفية " Back sight distance "$D_{B.S}$

وهي عبارة عن المسافة الافقية من النقطة المنصوب عليها جهاز التسوية (مركز الجهاز) الى النقطة التي تؤخذعليها قراءة مسطرة خلفية B.S.

مسافة القراءة الامامية" foresight distance" $D_{F.S}$

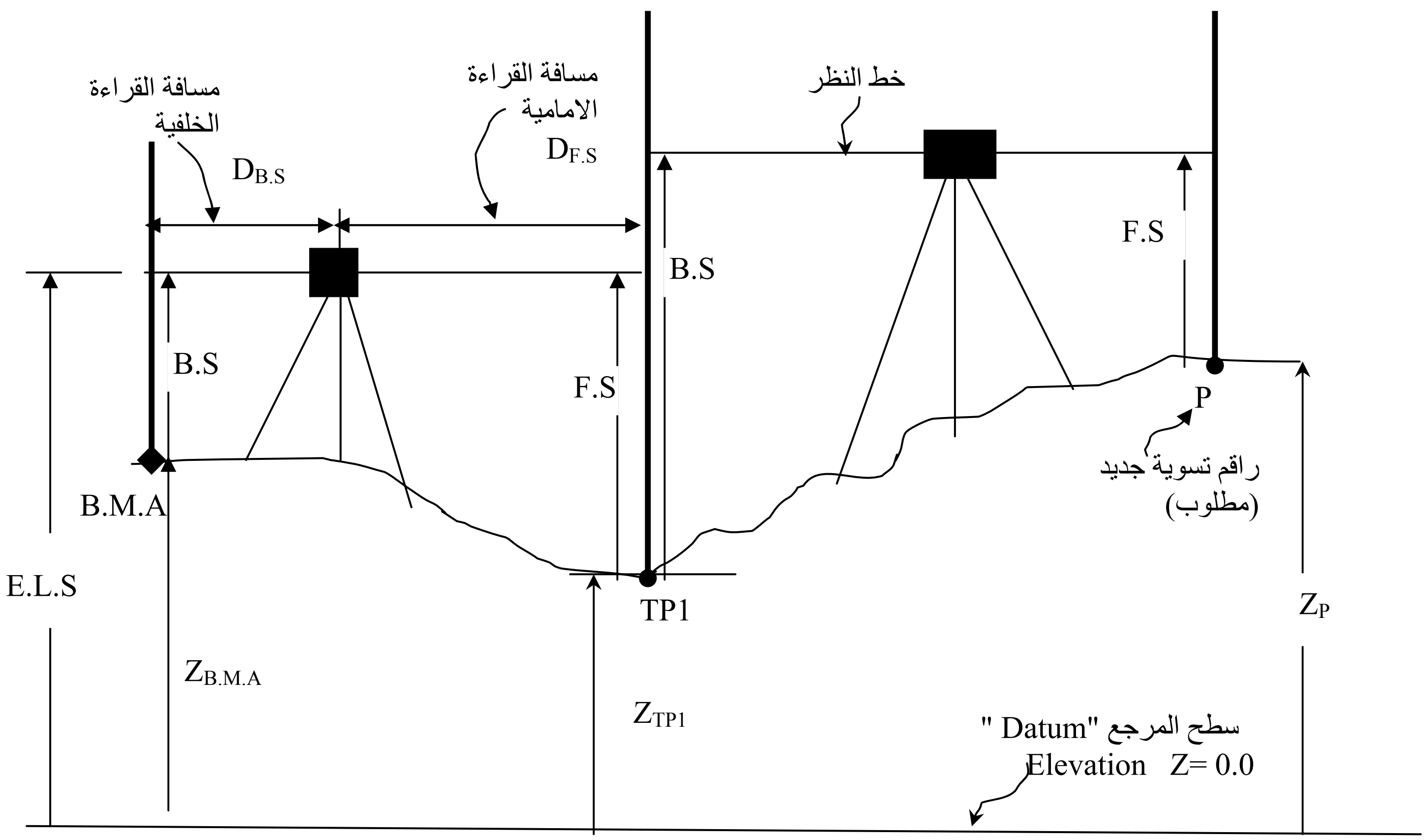
وهي عبارة عن المسافة الافقية من النقطة المنصوب عليها جهاز التسوية (مركز الجهاز) الى النقطة التي تؤخذعليها قراءة مسطرة الامامية F.S.

ارتفاع خط النظر "elevation of line of sight "E.L.S

وهو عبارة عن ارتفاع "elevation" مركز جهاز التسوية والتمثل بنقطة تقاطع المحور العدسي "optical axis" للتلسكوب مع مستوى الشبكية "reticule plane"

4-7-2 اسلوب التسوية التفاضلية المباشرة

اشارة الى الشكل (4-6) ، بشكل عام تتطلب التسوية التفاضلية المباشرة عدد"series " من نصبات "set ups" جهاز التسوية على أمتداد مسار"Route" معين وفي كل نصبة من نصبات الجهاز يتم اخذ قرائتين لمسطرة التسوية ; قراءة مسطرة خلفية"back to" لنقطة معلومة (محسوبة) الارتفاع[B.S] والاخرى قراءة مسطرة أمامية"forward" لنقطة مجهولة الارتفاع [F.S] لابد من الاشارة هنا الى أن طول مسار التسوية "leveling route" , من راقم التسوية (B.M) المعلوم الارتفاع الى راقم التسوية الجديد المجهول الارتفاع , يجب أن يكون أقصر ما يمكن , لأنه كلما كان مسار التسوية أطول كلما كان الخطأ أكبر والعكس صحيح.
أو بعبارة أخرى ; كلما كان مسار التسوية "leveling Route" أطول كلما كانت عدد نصبات "set ups" جهاز التسوية level أكبر وهذا يعني أن الخطأ يكون اكبر والعكس صحيح.



شكل (4-6) " اسلوب التسوية التفاضلية المباشرة"

4-7-3 تسجيل البيانات الحقلية في التسوية المباشرةDirect Leveling Field Notes:-

في التسوية التفاضليةDifferential leveling بأستخدام جهاز التسوية يتم رصد نقطتين في كل نصبة من نصبات جهاز التسوية وتكون احدى هاتين النقطتين معلومة الارتفاع وقراءة المسطرة عليها تكون B.S ; والنقطة الاخرى مجهولة الارتفاع وتكون قراءة المسطرة عليها F.S.
أما في أعمال المقاطع profile leveling وألاعمال الاخرى من التسوية والتي يكون الغرض فيها تحديد شكل (تضاريس) الارض بأستخدام جهاز التسوية يتم رصد عدد من النقاط في كل نصبة من نصبات الجهاز.
احدى هذه النقاط تكون معلومة الارتفاع وتسمى قراءة المسطرة عليها B.S أما النقاط الاخرى فهي نقاط مجهولة الارتفاع وتكون قراءة المسطرة عليها F.S (عادة يتم تسمية قراءات المسطرة على النقاط التي لا تتبعها نقلة الجهاز I.F.S).
وعليه يمكن القول أنه بشكل عام في التسوية المباشرة من المحتمل وجود ثلاث أنواع من قراءات المسطرة B.S, F.S, I.F.S في كل نصبة من نصبات جهاز التسوية.

ولغرض تلافي الغلط Mistake الذي قد يحصل عند تسجيل قراءة المسطرة في كون هذه القراءة هي قراءة B.S أم F.S يتم أتباع الاسلوب الاتي في تدوين البيانات الحقلية في التسوية المباشرة

Level set up	Observed pt.\ sta.	Rod reading(m)	Remarks
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮

4-7-4 طرق اجراء الحسابات Computation Method

توجد طرقيتين لاجراء الحسابات في التسوية التفاضلية المباشرة
"Direct differential leveling "
1. طريقة ارتفاع خط النظر
2. طريقة فرق الارتفاع

الفرق بين الطرقتين هو اسلوب اجراء الحسابات فقط الا ان النتائج تكون واحدة .

مثال

في الشكل (4-6) ولغرض تحديد ارتفاع راقم تسوية جديد "p" ، تم اجراء اعمال التسوية التفاضلية باستخدام جهاز التسوية وكانت قراءات مسطرة التسوية على النحو الاتي :

نصبة الجهاز Level setup	النقطة المرصودة Observed point	قراءة المسطرة Rod reading (m)	الارتفاع Elevation (m)
1	B.M.A	1.805	25.164
	TP_1	2.347	
2	TP_1	2.653	
	P	1.568	

احسب ارتفاع " Elevation" نقطة "p" بطرقيتين :-
1. احسب ارتفاع خط النظر.
2. طريقة فرق الارتفاع.

مع اجراء كافة التدقيقات الحسابية " Arimatical check"

الحل

1. طريقة ارتفاع خط النظر :-

يتم اجراء الحسابات بهذه الطريقة وفق [بموجب] الجدول الاتي :

Point	B.S m	E.L.S m	F.S m	Elevation Z m
B.M.A	1.805	26.969		25.164
TP_1	2.653	27.275	2.347	24.622
P			1.568	25.707
	∑B.S= 4.458		∑F.S= 3.915	

$$0.543\text{m} \sum B.S - \sum F.S = 4.458 - 3.915 =$$

Check

Last Elev.-First Elev.= 25.707-25.164= 0.543m

2. طريقة فرق الارتفاع

يتم اجراء الحسابات بهذه الطريقة وفق الاتي:-

Point	B.S m	F.S m	ΔZij m	Elevation Z m
B.M.A	1.805			25.164
TP_1	2.653	2.347	-0.542	24.622
P		1.568	1.085	25.707
	∑B.S= 4.458	∑F.S= 3.915	∑ΔZ= 0.5543	

∑B.S-∑F.S=4.458-3.915=0.543m

check

Last. Elev. – first elve. =25.707-25.164=0.543

∑ΔZ=0.543m

check

ملاحظة :-

اشارة الى الشكل (6-4) ، لقد تم اجراء الحسابات بالطريقتين اعلاه ولاي نصبة من نصبات الجهاز على النحو الاتي :-

لو فرض ان :-

k = نصبة الجهاز (الاولى او الثانية او .....)
i = النقطة التي اوخذ عليها قراءة خلفية "B.S" في نصبة الجهاز "K"
j = النقطة التي اوخذ عليها قراءة امامية "F.S" في نصبة الجهاز"K"

وعليه ، اشارة الى الشكل (4-6):-

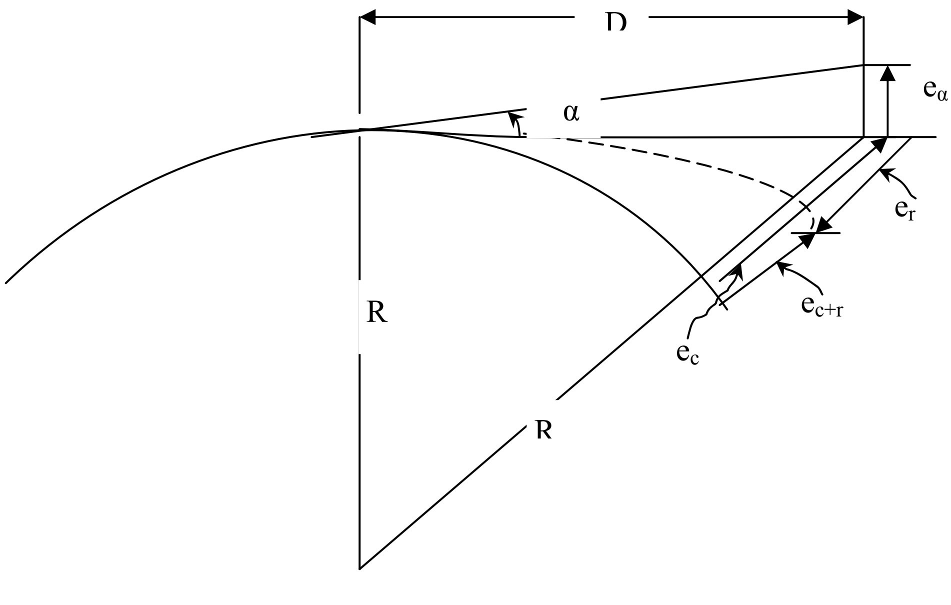
1. طريقة ارتفاع خط النظر $Z_i + B.S_i = E.L.S_k \rightarrow Z_J = E.L.S_k - F.S_J$
2. طريقة فرق الارتفاع $B.S_i - F.S_J = \Delta Z_{ij} \rightarrow Z_j = Z_i + \Delta Z_{ij}$

4-7-5 الاخطاء المنتظمة في التسوية التفاضلية المباشرة

Systematic errors in direct differentinl leveling

هناك ثلاث مصادر للاخطاء المنتظمة في التسوية التفاضلية المباشرة :-

1. تكور الارض Earth curvature
2. انكسار الضوء refraction of light
3. ميلان خط النظر Inclination of line of sight



شكل (4-7) الاخطاء المنتظمة في التسوية

في الشكل (4-7) ،

e_c = الخطأ المنتظم لتكور الارض
e_r = الخطأ المنتظم لانكسار الضوء
e_{c+r} = الخطأ الاجمالي لتكور الارض وانكسار الضوء

$$\therefore e_{c+r} = e_c - e_r$$

(اي ان انكسار الضوء يقلل من تاثير تكور الارض)

e_α = الخطأ المنتظم لميلان خط النظر بزاوية عمودية مقدارها "α"

$\therefore e_\alpha = D \tan\alpha$ ...... [4-2]

حيث ان : α = زاوية ميل خط النظر

D= المسافة الافقية من مركز جهاز التسوية الى النقطة المرصودة .

وكذلك ؛

$$R^2 + D^2 = (R + e_c)^2$$
$$\therefore R^2 + D^2 = R^2 + 2Re_c + e_c^2$$
$$D^2 = e_c[2R + e_c]$$
$$\therefore e_c = \frac{D^2}{2R + e_c}$$

(لان قيمته صغيرة جدا مقارنة مع R، حيث ان R=6371km)

$$\therefore e_c = \frac{D^2}{2R}$$
$$R = 6371 \quad km$$
$$\therefore e_c = 0.0785 \quad D^2 \ldots \ldots [4-3]$$
$$e_c = in \cdot m$$
$$D = in \cdot km$$
$$e_r \cong 0.14 \quad e_c \qquad \text{(من التجارب)}$$
$$\therefore e_{c+r} = e_c - e_r = e_c - 0.14 \, e_c = 0.86 \, e_c$$
$$\therefore e_{c+r} = 0.0675 \, D^2 \ldots\ldots(4-4)$$
$$e_{c+r} = m, D = km$$

وبهذا يكون الخطأ المنتظم الاجمالي لتكور الارض وانكسار الضوء وميلان خط النظر= $e_{c+r+\alpha}$

$$e_{c+r+\alpha} = e_{c+r} + e_{\alpha}$$

$$\therefore\ e_{c+r+\alpha} = 0.0675\left[\frac{D}{1000}\right]^2 + D\tan\alpha \ldots\ldots (4-5)$$

$$D = in(m), e_{c+r+\alpha} = in(m)$$

التصحيح للاخطاء المنتظمة

ان المعادلة (4-5)اعلاه تمثل علاقة رياضية شاملة لتصحيح قراءة مسطرة التسوية لكافة الاخطاء المنتظمة الناجمة عن تكور الارض وانكسار الضوء وميلان خط النظر .

ان المسافة D= $D_{B.S}$= مسافة القراءة الخلفية "backsight distance "

في حالة كون قراءة المسطرة B.S

D= $D_{F.S}$= مسافة القراءة الامامية"foresight distance "

في حالة كون قراءة المسطرة F.S

لو فرض ان : $\overline{B.S}$= قراءة المسطرة الخلفية المصححة للاخطاء المنتظمة

$\overline{F.S}$= قراءة المسطرة الامامية المصححة للاخطاء المنتظمة.

$e_{B.S}$ =الخطأ في قراءة المسطرة الخلفية نتيجة الأخطاء المنتظمة.

$e_{F.S}$=الخطأفي قراءة المسطرة الأمامية نتيجة الأخطاء المنتظمة.

أشارة الى المعادلة [4-5] أعلاه

$$e_{B.S} = 0.0675\left[\frac{D_{B.S}}{1000}\right]^2 + D_{B.S}\tan\alpha \ldots [4-6]$$

$$e_{F.S} = 0.0675\left[\frac{D_{F.S}}{1000}\right]^2 + D_{F.S}\tan\alpha \ldots [4-7]$$

$$\overline{B.S} = B.S - e_{B.S} \ldots\ldots\ldots [4-8]$$

$$\overline{F.S} = F.S - e_{F.s} \ldots\ldots\ldots [4-9]$$

مثال :-

في التسوية التفاضلية المباشرة يفضل دائما نصب جهاز التسوية في منتصف المسافة بين النقطتين المرصودتين [$D_{B.S}=D_{F.S}$] . لماذا؟بين ذلك رياضيا.

الحل:- لو فرض أنه في احدى نصبات جهاز التسوية تم رصد النقطتين A, B حيث أن
A = نقطة أخذت عليها قراءة خلفية B.S
B = نقطة أخذت عليها قراءة أمامية F.S
وأن جهاز التسوية نصب في منتصف المسافة بين النقطتين A,B أي أن $D_{B.S}=D_{F.S}$
وعليه لو فرض ايضا وجود أخطاء منتظمة نتيجة تكورالارض ، أنكسار الضوء وميلان خط النظر.

في هذه الحالة فأن:-

$$\Delta Z_{AB} = \overline{B.S_A} - \overline{F.S_B}$$
$$= (B.S_A - e_{B.S}) - (F.S_B - e_{F.S})$$
$$\Delta Z_{AB} = B.S_A - F.S_B - [e_{B.S} - e_{F.S}]........[4-10]$$

اشارة الى المعادلة[6-4] والمعادلة [7-4] ولكون $D_{B.S}=D_{F.S}$
$e_{B.S}=e_{F.S}$
أشارة الى المعادلة [10-4] أعلاه فأن ذلك [نصب جهاز التسوية في منتصف المسافة $D_{B.S}=D_{F.S}$]يلغي تأثير الاخطاء المنتظمة.
وهذا يعني عدم وجود الحاجة لتصحيح قراءات المسطرة في حالة $D_{B.S}=D_{F.S}$.

(و.هـ. م)