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 (±) 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 **القيمة الأكثر أحتمالية والخطأ القياسي للقياسات المباشرة**

"Most probable value and the standard error for direct measurements"

2-7-1-1 **القيمة الأكثر احتمالية للقياسات المباشرة**

"Most probable value for direct measurements"

أشارةً الى ما تم ذكره في (7-2) 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 :-

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

حيث أن :-

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

residual $v_i =$ 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 :-

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

حيث أن ,

$\delta_{\bar{x}} =$ الخطأ القياسي للمعدل .

= الخطأ القياسي للقيمة الاكثر احتمالية للمتغير المقاس .

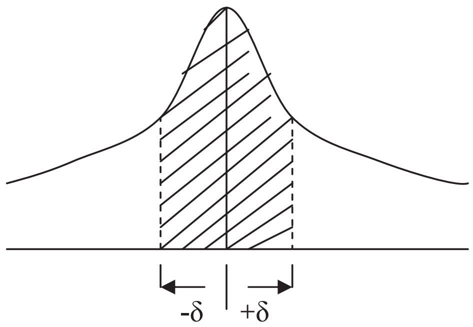
= الخطأ القياسي لأفضل قيمة للمتغير المقاس .

لابد من التأكيد هنا على ضرورة وضع اشارة ($\pm$) امام قيمه الخطاء القياسي كما هو مبين اعلاه في المعادلات (2-2) و(2-3) 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

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



1-**الخطأ القياسي** " δ " :-
وهو من اهم واكثر والمصطلحات المستخدمة لتمثيل الخطأ في اعمال المساحة.
ان المساحة المحصورة تحت منحني التوزيع الطبيعي مابين δ + و δ - 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}" **الخطأ المحتمل** **"probable error ":-**
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" [$V_{\wedge} > 3\delta$] يعتبر قياس "$\wedge$" 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 الاكثراحتمالية 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 ايضأ .

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

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

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 ايضأ.

ان قانون تراكم الاخطاء يمكن تمثيله على النحو الاتي :

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

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

2-2-7-2 **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 لهـذه القياسـات قريبـة قـدر المستطاع من القيم الحقيقية "True values" لها، اضافة الى وصف (تمثيل) مدى جودة هـذه القياسات من خلال تحديد الخطأ القياسي لها. لهذه الاسباب، فانه قبل البدء في تناول المفـردات التطبيقية لموضوع المساحة ولجميع انواع القياسات، باستخدام اجهزة المساحة المستوية، ملـزم 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 موضـوع مـن مواضـيع المساحة، علينا تحديد القيمة الاكثر احتمالية (افضل قيمة) والخطأ القياسي للقياسات التـي يـتم 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 [1−8−2]، 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”:

$$ {}_nA_u\,{}_uX_1 - {}_nL_1 = {}_nV_1 \qquad \cdots\cdots[2-10]$$

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

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 $L_1 = x_1, L_2 = x_2, \ldots, L_n = x_n$

$_nV_1 =$ 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 [2−7−2−2] سابقاً فان $n > u$ ، أي ان عدد المعادلات ”n“ اكبر من عدد المجاهيل ”u“.

2. تكوين الـ "Normal Equation"

$$ {}_{u}N_{u}\;{}_{u}X_{1} = {}_{u}D_{1} \ldots\ldots[2-12] $$

حيث ان:

$$ {}_{u}N_{u} = {}_{u}A_{n}^{T}\;{}_{n}P_{n}\;{}_{n}A_{u} \ldots\ldots[2-13] $$

$$ {}_{u}D_{1} = {}_{u}A_{n}^{T}\;{}_{n}P_{n}\;{}_{n}L_{1} \ldots\ldots[2-14] $$

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

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

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

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

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

$$ {}_{n}P_{n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 \end{bmatrix} $$

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

$$ {}_{u}N_{u} = {}_{u}A_{n}^{T}\;{}_{n}A_{u} \quad \ldots\ldots[2-17] $$

$$ {}_{u}D_{1} = {}_{u}A_{n}^{T}\;{}_{n}L_{1} \quad \ldots\ldots[2-18] $$

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 $\left[{}_u X_1\right]$ "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 ${}_nV_1$ 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: $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$

$${}_uQ_u = {}_uN_u^{-1} \quad \ldots\ldots[2-22]$$

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

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

<u>مثال (1):</u> 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).

<u>الحل:</u>

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

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

وان عدد المتغيرات (القياسات غير المباشرة) $(y_1, y_2, \ldots, y_u)$ 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 $[n=4]$ $i=1,\ldots,n$ $y=x_i$ 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: $y=x_i\quad ,i=1,2,\ldots,4$ 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 $i=1,2,\ldots,4$ x_i 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،

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

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

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

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.هـ.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 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 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 $\qquad NX = D$

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:

$$\therefore {}_1N_1 = {}_1A^T_3\ {}_3P_3\ {}_3A_1 = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}p_1 & 0 & 0\\ 0 & p_2 & 0\\ 0 & 0 & p_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}$$

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

$${}_1D_1 = {}_1A^T_3\ {}_3P_3\ {}_3L_1 = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}p_1 & 0 & 0\\ 0 & p_2 & 0\\ 0 & 0 & p_3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\end{bmatrix}$$

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

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

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

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

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

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:

$$V = AX - L$$

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

ب. حساب δ_0 بتطبيق المعادلة [2−20]

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

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

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

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

$$\therefore \delta_0 = \pm$$

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

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

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

2-9 الخلاصة summary

-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 (24-2) 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

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

ملاحضة 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 [$u=2,3,\ldots$].
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] .