



المساحة

- 1 -



القسم : **العلم**
السنة : **الثانوي**



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

المساحة

-1-

الدكتور
أنور الصيفي

الدكتور
وائل مشرف رضوان

جامعة دمشق



الصفحة	المحتوى
٩	مقدمة
١١	الفصل الأول : مفاهيم أساسية في علم المساحة :
١٣	١-١ - مقدمة
١٣	٢-١ - تعريف
١٦	٣-١ - فرضيات شكل الأرض
١٩	٤-١ - الإحداثيات الجغرافية - وحدات قياس الزوايا
٢٢	٥-١ - قياسات المساحة المستوية
٢٧	الفصل الثاني : مبادئ في نظرية الأخطاء - ونظرية التربيعات الصغرى :
٢٩	١-٢ - القياسات والأخطاء
٣٠	٢-٢ - أنواع القياسات
٣١	٣-٢ - الأخطاء وأنواعها
٣٣	٤-٢ - نظرية استقلال الأخطاء
٣٤	٥-٢ - تطبيقات
٣٨	٦-٢ - المتوسطة الحسابية ونظرية التربيعات الصغرى
٤١	٧-٢ - دقة القياس
٤٤	٨-٢ - قانون انتشار الأخطاء متوسطاً التربيع وتطبيقاته
٤٧	٩-٢ - القياسات غير متزاوية الدقة
٤٨	١٠-٢ - أمثلة
٥١	الفصل الثالث : الأجهزة المساحية :
٥٣	١-٣ - أجهزة قياس المسافات

٥٥	٢-٣ - أجهزة قياس الاتجاهات الأفقية والزوايا الشاقولية
٧٦	٣-٣ - أجهزة قياس المسافات الشاقولية
٨٣	٤-٣ - أجهزة قياس المسافات بالطريقة المستاديمترية
٨٨	٥-٣ - أجهزة قياس المسافات إلكترونية
٩٧	الفصل الرابع : قياس المسافات :
٩٩	٤-١ - القياس المباشر والقياس غير المباشر للمسافات
١٠٤	٤-٢ - الأخطاء النظامية في القياس المباشر للمسافات
١٠٩	٤-٣ - تقييم دقة القياسات المباشرة للمسافات
١١٣	٤-٤ - أمثلة
١١٧	الفصل الخامس : أعمال المساحة الارتفاعية - التسوية
١١٩	٥-١ - تعريف وأنواع التسوية
١١٩	٥-٢ - التسوية المباشرة
١٢٨	٥-٣ - المسح الارتفاععي وتمثيل التضاريس
١٣٨	٥-٤ - فوائد ومميزات منحنيات التسوية
١٤٩	٥-٥ - دراسة واختبار جهاز النيفو
١٥٢	٥-٦ - الدقة في قياسات التسوية المباشرة
١٥٦	٥-٧ - حساب وتعديل مسارات وشبكات التسوية
١٦٥	٥-٨ - طرق تعين ارتفاعات ومناسبات النقاط
١٨٢	٥-٩ - التسوية الدقيقة
٢١٦	٥-١٠ - التسوية غير المباشرة (المثلثاتية)
٢٢٣	الفصل السادس : المساحة المستوية "التعين المستوي للنقط"
٢٢٥	٦-١ - المراحل الأساسية لعمليات المسح المستوي
٢٢٨	٦-٢ - المسألة المساحية الأولى والمسألة المساحية الثانية

٢٣٢	٣-٦ - الشبكات الجيوديسية
٢٣٤	٤-٦ - المضلوعات وأنواعها
٢٤٢	٥-٦ - مصادر الأخطاء في القياسات الزاوية
٢٥١	٦-٦ - قياس الزوايا الأفقية والشاقولية
٢٦١	٧-٦ - التعين المستوي لل نقاط
٢٧٥	٨-٦ - إسناد شبكات المضلوعات
٢٨٦	٩-٦ - المحطات الامرکزية وإسقاط نقطة على سطح الأرض ١٠-٦ - حساب إحداثيات رؤوس المضلوعات
٢٩٦	الفصل السابع : قيامات المساحات
٣٢١	١-٧ - اعتبارات عامة وتعريف
٣٢٣	٢-٧ - طرق حساب المساحات
٣٢٤	٣-٧ - حساب المساحات على الخرائط والمخططات
٣٣١	٤-٧ - أمثلة المصطلحات
٣٣٥	
٣٤٣	
٣٦١	المراجع



٨

المقدمة :

وضع هذا الكتاب لطلاب السنة الأولى في كلية الهندسة المدنية القسم العام، وفق الخطة الدراسية الجديدة المعدة من قبل وزارة التعليم العالي في الجمهورية العربية السورية، متماشياً مع التقنيات الحديثة في العلوم المساحية والطبوغرافية.

حيث تم إدراج مجموعة متنوعة من المواضيع والمسائل المساحية التي يحتاجها المهندسون بصورة عامة والمهندس المدني بصورة خاصة، كما ويمكن أن يستفيد منه المهتمون والمنتفعون للأعمال المساحية والطبوغرافية في مختلف أعمال الهندسة المدنية.

يقع هذا الكتاب في سبعة فصول، حيث تضمن الفصل الأول مجموعة من التعريف الأساسية التي لابد منها وتم التطرق إلى فرضيات شكل الأرض ووحدات القياس المستخدمة في المساحة.

وعرض الفصل الثاني مبادئ نظرية الأخطاء ونظرية التربيعات الصغرى وأنواع القياسات ودقتها. أما الفصل الثالث فقد خصص لدراسة الأجهزة المساحية المستخدمة لقياس المسافات والاتجاهات الأفقية والزوايا الشاقولية وفرق الارتفاعات وأجهزة قياس المساحات.

تضمن الفصل الرابع قياس المسافات والطرق المتبعية في ذلك. وكذلك إرجاع المسافات المقاسة إلى سطح الجيوئيد. أما في الفصل الخامس فقد تم عرض الأعمال المساحية الارتفاعية وحساب وتعديل مسارات وشبكات التسوية وتم التطرق إلى مفهوم العدد الوزني وخصوصيته. والتسوية الدقيقة والعالية الدقة.

في الفصل السادس تم تقديم وشرح أعمال المساحة المسطوية، متناولين مجموعة من المواضيع والأفكار مثل المسألة المساحية الأولى والثانية - طريقة التقاطع والتقويم - المضلعات وأنواعها ونقتها.

ووضخنا في الفصل السابع قياس المساحات وطرقها "تخطيطية - تحليلية - ميكانيكية" ودقة كل منها.

كما وأنه في نهاية كل فصل من الفصول تم إدراج مجموعة من الأمثلة والمسائل المتعلقة بالموضوع.

وفي الختام نرجو من الله عز وجل أن تكون قد وفقنا في عملنا هذا وأن يكون هذا الكتاب مفيداً لجميع المهتمين بالعلوم المساحية. كما وأننا نشكر كل من يقوم بتوجيه أي ملاحظة تهدف إلى تحسين هذا الكتاب ووصوله إلى الشكل الأمثل.

المؤلف

الفصل الأول

مفاهيم أساسية في علم المساحة



١-١ - مقدمة :

إن علم المساحة يهتم في تمثيل منطقة ما من سطح الأرض، وإعداد مخطط مساحي لها، أو حساب إحداثيات نقاط تلك المنطقة. هذا التمثيل يفردنا في مجالات عديدة نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر. الهندسة المدنية بكافة فروعها، الهندسة المعمارية الزراعية والبحرية، وفي المواضيع العقارية والاستكشافية، وكذلك في المجالات العسكرية. وبالتالي فاستناداً لهذا التمثيل: تجري دراسة الطرق، والسكك الحديدية، وأقنية الري، والأعمال الصناعية، وتنظيم وتخطيط منطقة ما. كما وإن علم المساحة لا يقتصر على تمثيل التفاصيل الطبيعية والصناعية فقط، بل إن له أهدافاً أخرى منها: قياس مساحات المقاس، والأراضي المعدة لمختلف الأغراض. وكذلك تجسيد مشروع مرسوم على مخطط مساحي على الطبيعة كمشروع طريق أو قناة أو بناء. وذلك بغية تنفيذ هذا المشروع وكذلك قياس الهبوطات في الأنابيب السكنية والمنشآت الصناعية.

١-٢ - تعريف :

إن لعلم المساحة الكثير من المرادفات والأسماء المختلفة منها على سبيل المثال:

- **الجيوديزيا:** وهو العلم الذي يهتم بقياس وتقسيم الأرض لأغراض علمية وعملية مختلفة.
- **الطبغرافيا:** وهو العلم الذي يهتم برسم تفاصيل منطقة محددة من الأرض.

ويشكل عام تقسيم المساحة إلى قسمين رئисيين:

القسم الأول: يبحث في قياسات كوكب الأرض وأبعاده وعلاقاته الرياضية، من رصد للنجوم وتحديد الجانبية الأرضية، وغيرها لتحقيق أهداف علمية وعملية منها:

- ١- تعين شكل وأبعاد الأرض.
- ٢- رسم المساحات الكبيرة من الأرض على الخرائط والمخططات.
- ٣- إيجاد أبعاد الأرض الثلاثة.
- ٤- خدمة الأغراض العلمية الأخرى كالزراعة والري وتنظيم المدن وغيرها.

القسم الثاني : المساحة العادية: تحصر مهمتها في توضيح تفاصيل قطعة من الأرض أفقياً وعمودياً. ثم رسم هذه الأرض على مسطح أفقي، مع تمثيل للبعد الثالث، والارتفاعات، بأساليب مختلفة أهمها خطوط التسوية. من أهم صفات هذا السطح أنه عمودي على اتجاه قوة الجاذبية، في كل نقطة من نقاطه التي يمثلها أي عمودي على الناظم.

- سطح السوية Level surface : وهو السطح الذي يتم إسقاط التفاصيل الطبيعية والصناعية الموجودة على سطح الأرض عليه. ويقصد بالتفاصيل الطبيعية: الأنهر، الجبال، الغابات، الهضاب، الوديان. وبالتفاصيل الصناعية كالطرق، الأبنية، الأقوية، السكك الحديدية، حدود العقارات.. إلخ، وهو أي سطح السوية يتمتع بالخاصية التالية. في كل نقطة من نقاط هذا السطح: الناظم على السطح، هو اتجاه الشاقول المار بالنقطة.

- سطح المقارنة Surface of reference: وهو أحد سطوح السوية الذي يعتبر أساساً لقياس المنسوب والارتفاعات. أي السطح ذو الارتفاع صفر، ونسميه الجيونيد: Gioid.

- ارتفاع نقطة Altitude : أو منسوب نقطة من سطح الأرض: وهو المسافة المحمولة على شاقول هذه النقطة، والتي تفصل النقطة عن سطح المقارنة.

- فرق المنسوب أو فرق الارتفاع بين نقطتين من سطح الأرض: هو الفرق بين ارتفاعي هاتين النقطتين، وتعتبر ارتفاعات نقاط سطح الأرض موجبة، إذا كانت واقعة فوق سطح المقارنة وسالبة إذا كانت تحته.

- منحنيات التسوية: وهي المساطط على سطح المقارنة لمختلف تقاطعات سطح الأرض مع سطوح السوية التي يبعد الواحد منها عن الآخر مسافة ثابتة، أو هو المحل الهندسي للنقاط ذات المنسوب الواحد أو الارتفاع الواحد عن سطح المقارنة.

- النقاط المرقمة ارتفاعياً: وهي النقاط غير الممثلة بمنحنيات التسوية والتي لابد من تمثيلها كقمم الجبال أو قمم الهضاب أو قعر الوديان، أو منعطفات الأنهار وتقاطعات الطرق.. إلخ. لذا يعمد إلى تمثيل هذه التفاصيل بنقاط يكتب ارتفاعاتها بجانبها وذلك بغية إكمال تمثيل التضاريس.

وبالتالي فالنتيجة النهائية للأعمال المساحية تترجم عددياً بالإحداثيات: (x,y,H) لنقاط التفاصيل وتخطيطياً بخريطة، أو مخطط مساحي map, topographic plan حيث إن المخطط المساحي، يختزل الأبعاد الحقيقية بموجب معامل ارتسام، نسميه المقاييس: وهو النسبة العددية التي تربط المسافات المقابلة على الخريطة بالمسافات الحقيقية الموافقة لها. ويعبر عن المقاييس بكل من $(n \times 1000)/1$ وهذا يعني :

١- كل مسافة مقاسة بشكل أفقى على سطح الأرض ستختزل بمقدار $(n \times 100)$ لكي تمثل على المخطط المساحي.

٢- إن كل مسافة مقاسة على الخريطة أو المخطط المساحي: تمثل مسافة أفقية على سطح الأرض أكبر منها بـ $(n \times 1000)$.

- كما وأن كتابة المقاييس بالشكل $(n \times 1000)/1$ يمكننا من القول أن: 1mm على الخريطة يمثل: n متراً على الأرض أو الطبيعة. وإن المقاييس الأكثر استعمالاً

في المساحة هي: 1/5000 ، 1/1000 ، 1/2500 ، 1/500 ، 1/2000 ، 1/10000 ، 1/20000 ، 1/100000.

- ونقول إن المقياس كلما كان كبيراً كلما كانت n - صغيرة. وأن المقياس صغير كلما كانت n - كبيرة.

١-٣- فرضيات شكل الأرض:

أ- كروية الأرض: إن أول من قام بتعيين نصف قطر الأرض أو مسافة درجة واحدة على سطح الأرض، باعتبارها كروية. هو أيراتوستين: Eratosthenes 250 عاماً قبل الميلاد. وقد تبني فرضية كروية الأرض على ملاحظة علمية دقيقة وبسيطة إذ لاحظ أن الشمس لا تشكل للأشياء الموجودة على سطح الأرض ظللاً في اللحظة التي تكون فيها في نقطة السمت. وذلك لمدينة أسوان، بينما وفي نفس اللحظة، تشكل ظللاً للأشياء الموجودة على سطح الأرض في مدينة الإسكندرية. وكما نعلم أن الشمس تبعد بعضاً كبيراً عن الأرض، حيث يمكن اعتبار أشعتها متوازية.

وقد استنتج أنه لا يمكن تعليل هذه الظاهرة إلا بوجود انحناء للأرض بين الإسكندرية وأسوان. إذ لو كانت مستوية لما تشكل ظل في مدينة الإسكندرية.

فقد قاس أيراتوستين في النقطة A مدينة الإسكندرية المسافة السمتية للشمس:

$$(1-1) \quad \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$$

ونذلك في اللحظة التي كانت فيها الشمس في نقطة السمت.

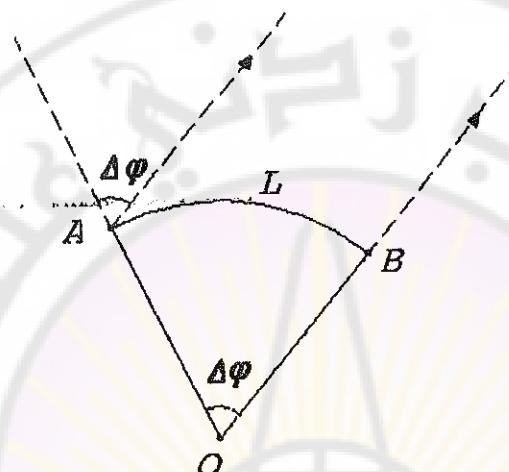
للنقطة B: مدينة أسوان كما في الشكل (1-1) فالمسافة السمتية المقاسة : $\Delta\phi$ تساوي في هذه اللحظة أو الحالة الزاوية في مركز الكرة التي تحدد القوس: \hat{AB} وبمعرفة المسافة $AB = L$ بين المدينتين، تم حساب قطر الأرض بالعلاقة

$$(1-2)$$

$$L = R\Delta\phi \Rightarrow R = \frac{L}{\Delta\phi} \cdot 90^\circ \quad (1-2)$$

حيث:

$$\rho^{\circ} \text{ ثابت تحويل ويساوي: } \rho^{\circ} = 360 / 2\pi.$$



الشكل (1-1)

بـ- الإهليج الأرضي: بقيت فكرة كروية الأرض قائمة، حتى بداية القرن السابع عشر، حيث تنبأ غاليليو galilée بأن دوران الأرض لابد أن يؤثر على شكلها. حتى جاء عهد نيوتن وأبحاثه النظرية التي أدت إلى المبادئ التالية:

١- إن الشكل المتوازن لكثة متجانسة. خاضعة لقوانين الجذب وتدور حول محور هو إهليج دواري أي مجسم قطع ناقص دواري مفلطح باتجاه القطبين.

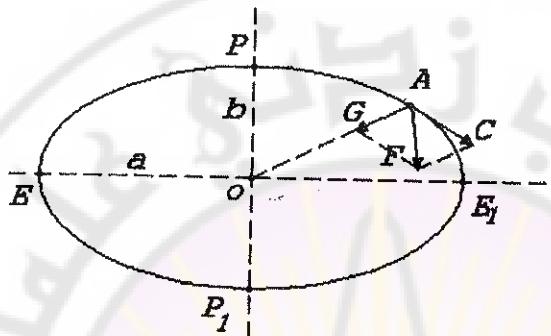
٢- إن القالة الأرضية والتي هي محصلة القوتين التاليتين:

أـ- قوة الجاذبية G تمر من مركز الأرض.

بـ- القوة النابذة C المترولة من دوران الأرض حول محورها.

تزداد قوة التقالة من خط الاستواء وباتجاه القطبين كما في الشكل (1-2) أعلاه.
وإن اتجاه التقالة في نقطة ما هو اتجاه الشاقول في هذه النقطة وهذا الاتجاه
يعطيه خط المطمار.

- ت-



الشكل (1-2)

ومن ثم تبع ذلك دراسات وفياسات تطبيقية لإثبات نقلطاح الأرض الذي يعطى
بالعلاقة (1-3) :

$$\frac{a - b}{b} \approx 1/300 \quad (1-3)$$

حيث:

a - نصف قطر الكبير للقطع الناقص.

b - نصف قطر الصغير للقطع الناقص.

ج - الجيونيد: إن فرضية الإهليج الدوراني، تشرط تجانس الكتل على سطح الأرض، وداخلها. وهذا مغایر لحقيقة الأرض، حيث إن توزع الكتل فيها غير منتظم، وهذا ما يفسر وجود الانحرافات في الشاقول، أي عدم وجود تطابق بين اتجاه الشاقول، واتجاه الناظم على الإهليج في نقاط سطح الأرض. بسبب عدم التطابق هذا، لا يمكننا اعتبار شكل الأرض إهليجيًا دورانياً، بل سطحًا آخر يسمى الجيونيد Geoid. ويمكننا أن نعرف الجيونيد: بأنه سطح سوية مار

بالمستوى الوسطي للبحر وذلك دون اعتبار ظاهرتي المد والجزر. وهو لا يطابق السطح الحقيقي للأرض وإنما مناطق تساوي الجاذبية فيها. وبما أن هذا السطح، أي الجيونيد غير قابل لتعريف رياضي لأننا اعتمدنا في تعريفة على اتجاه التقالة في كل نقطة، لذا فقد تم تعويضه بسطح رياضي آخر قريباً منه هو الإهليج الدوراني كتقريب أولي للجيونيد. إذ إن الفرق بين السطحين صغير.

وتعطى معادلة القطع الناقص الدوراني بالعلاقة (1-4):

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-4)$$

ويتم تحديد الفرق بينهما عن طريق انحراف الشاقول، وهو الزاوية الصغيرة التي يمكن الحصول عليها إن كان هناك عدم تطابق بين اتجاه الشاقول (خط الجاذبية) والناظم على الجيونيد.

ونظراً لكون نقلطح الإهليج الدوراني صغيراً:

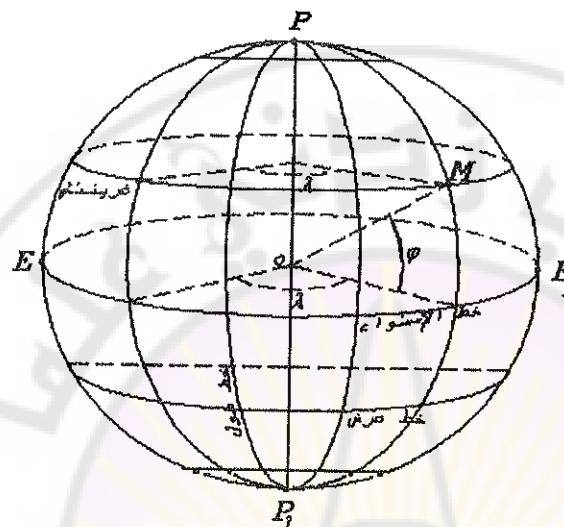
$$\alpha = \frac{a - b}{a} \approx 1/300 \quad (1-5)$$

وعندما تكون المنطقة المعتبرة على سطح الأرض صغيرة، والدقة المطلوبة ليست بالكبيرة. فيمكننا أن نعرض في هذه المنطقة الإهليج الدوراني بكرة ملائمة للإهليج في منتصف المنطقة. فالكرة إذا هي التقريب الثاني للجيونيد وهي سطح رياضي أسهل من الإهليج.

٤ - الإحداثيات الجغرافية والسمت الجغرافي:

بعد الوصول إلى صيغة محددة لشكل الأرض. لابد من إيجاد طريقة ما لتحديد موقع نقطة ما على سطح الأرض. لذا فقد تم الاتفاق على اعتبار المستوى المار من مركز الأرض العمودي على محورها يقطعها بخط دائري يسمى خط الاستواء. والمستويات الموازية لهذا المستوى تقطع الأرض مشكلة خطوط

العرض وهي: 90 خطأ شمال خط الاستواء و 90 خطأ جنوبه كما هو مبين
بالشكل (1-3)



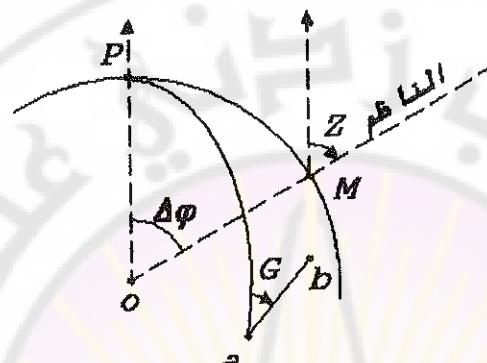
الشكل (1-3)

وبذلك يمكن تحديد موقع النقطة: M بزاوية هي زاوية العرض: φ . وكذلك فإن المستويات القاطعة للأرض والمارة من خط القطبين - محور الأرض - تشكل خطوطاً بشكل قطوع ناقصة. نسمى هذه الخطوط أو المستويات بمستويات الزوال وعدها: 180 مستوىًّا قاطعاً. وتم الاتفاق على اعتبار خط الطول المار من غرينتش في بريطانيا مبدأ لخطوط الطول. وبالتالي لدينا 180 خطأ أو درجة غرب غرينتش و 180 خطأ أو درجة شرقها. ونسمى الخط المار بالنقطة: M بطول النقطة M أو زاوية الطول للنقطة M ويرمز له بـ λ .

زاوية السمت الجغرافي أو سمت المكان: ويقصد بها الزاوية Z المبينة بالشكل (1-4). وهي الزاوية الكائنة بين الشاقول أو النظام على سطح الأرض في تلك النقطة والاتجاه الموازي لمحور الأرض المار من القطبين والذي يسمى أحياناً

نجم القطب. وهكذا فإن أي قطعة على سطح الأرض تحدد بإحداثياتها أي بزاوية العرض والطول والسمت والارتفاع.

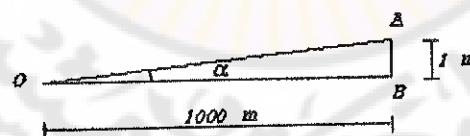
نجم القطب *



الشكل (1-4)

وحدات قياس الزوايا:

أ- الرadian والمليم: الرادييان جاءت هذه الوحدة من فكرة الدائرة التي نصف قطرها واحدة الطول فيكون محطيها 2π وتعريف المليم كما في الشكل (1-5) هو الزاوية التي تحصر مسافة 1- متر واحد على مسافة ألف متر وبالتالي الدائرة 6400 مليم.



الشكل (1-5)

ب- الدرجة: بما أن الرقم π غير متماه ونتيجة الحاجة إلى تسهيل الحسابات الزاوية قسم محيط الدائرة إلى 360 درجة والدرجة إلى 60 دقيقة والدقيقة إلى 60 ثانية لذلك تدعى هذه الوحدة أحياناً بالوحدة المستينية (الجملة المستينية).

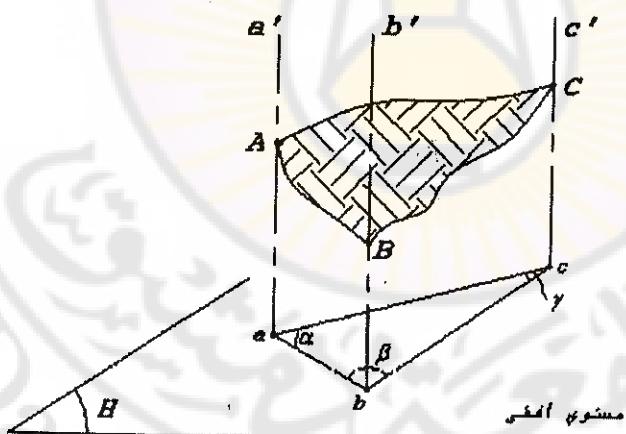
د- الغراد: ونتيجة لانتشار الحاسوبات وسهولة التعامل مع الأعداد المئوية فقد قسمت الزاوية القائمة المساوية لربع الدائرة إلى مئة قسم بدلاً من التسعين في الجملة الستينية سمي كل قسم من هذه الأقسام بالغراد، والغراد يقسم إلى مئة سنتغراد أو دقيقة غرادية وهذا يقسم إلى مئة قسم تسمى ثانية غرادية. أو بالتعبير المئوي ديسمبلigrad فيمكننا أن نكتب مثلاً:

$$\alpha = 125^{\circ} 25' 79'' = 122^{\circ} 43' 55.6''$$

١-٥- قياسات المساحة المستوية والارتفاعات :

المساحة المستوية: هي مجموع العمليات والقياسات اللازمة لتأمين ارتسام منطقة ما من سطح الأرض على سطح مقارنة.

فحسب الشكل (1-6) A,B,C ثلات نقاط من سطح الأرض الطبيعية H سطح مقارنة وهو مستوى أفقى. A,b,c - مرسمات النقاط A,B,C على المستوى الأفقى H وفق الشوائق المار من A,B,C.



الشكل (1-6)

من الشكل نلاحظ أن المسافة بين النقطتين a,b هي مسافة في مستوى أفقى نسميتها بالمسافة الأفقية بين النقطتين A,B وهي تساوى للمسافة الأفقية بين

الشاقولين المارين من A,B. كما نلاحظ أن كل زاوية \hat{ABC} في مستوى التمثيل هي زاوية في مستوى أفقى نسميتها الزاوية الأفقية في النقطة B بين الاتجاهين: AC و AB وهي تساوى الزاوية في النقطة B من سطح الأرض، مقاسة في مستوى أفقى، وبالتالي ففي المساحة المستوية يلزمنا :

١ - قياس مسافات أفقية.

٢ - قياس زوايا أفقية.

* قياسات المساحة الارتفاعية :

إن المساحة الارتفاعية: هي مجموعة القياسات والعمليات التي تسمح بتعيين ارتفاعات النقاط من منطقة ما من سطح الأرض. وذلك باعتبار سطح المقارنة هو مستوى أفقى وإن الشوائل متوازية فيما بينها. نقول عن ارتفاعات النقاط إنها مطلقة، إذا كان مستوى المقارنة مارأً بمستوى سطح البحر. كما ويمكننا أن ننسب الارتفاعات إلى أي مستوى أفقى اختياري. عندئذ نقول عن الارتفاعات إنها نسبية. نلاحظ إذن الفرق بين الارتفاعات المطلقة للنقاط في منطقة ما والارتفاعات النسبية لهذه النقاط هو فرق ثابت ويمثل ارتفاع المستوى اختياري عن مستوى سطح البحر. وبالتالي فرق الارتفاع أو المنسوب بين نقطتين هو مقدار ثابت ومستقل عن كون ارتفاعات النقاط مطلقة أو نسبية. فتضاريس المنطقة لا تتغير إذا نسبنا ارتفاعات نقاطها إلى أي مستوى للمقارنة.

فإذا اعتبرنا أن ارتفاع أحد النقاط (A مثلاً)، هو HA ثم قسنا فرق الارتفاع ΔH جبرياً بينها وبين نقطة ثانية B فإن ارتفاع النقطة B سيكون :

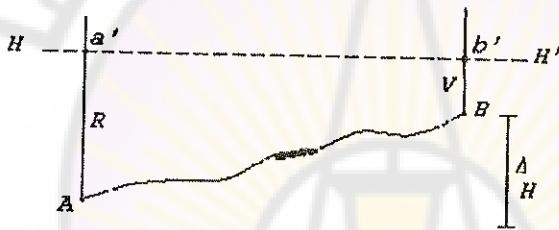
$$H_B = A_A + \Delta H$$

وبالتالي فإن مسألة تعين الارتفاعات سواء أكانت نسبية أو مطلقة تتلخص بقياس فرق الارتفاعات بين مختلف نقاط المنطقة، تسمى قياس فروق

الارتفاعات بالتسوية: levelling ويمكننا الوصول إلى هذه القياسات باتباع إحدى الطريقتين الأساسيةتين التاليتين:

١ - التسوية المباشرة أو الهندسية: direct levelling

لنفرض أننا نريد تعين أو حساب فرق الارتفاع أو المنسوب بين النقطتين A,B المبينة على الشكل (1-7). إن مبدأ التسوية المباشرة بسيط، ويعتمد على تجسيد مستوى أفقى HH' وتقاس مسافتان شاقوليتان V=BB' ، R=AA' حيث A' هي نقطة تقاطع المستوى الأفقي HH' مع الشاقول المار من A. B' هي نقطة تقاطع المستوى الأفقي HH' مع الشاقول المار من B.



الشكل (1-7)

ومن الشكل (1-7) نستنتج أن فرق الارتفاع ΔH يحسب بالعلاقة :

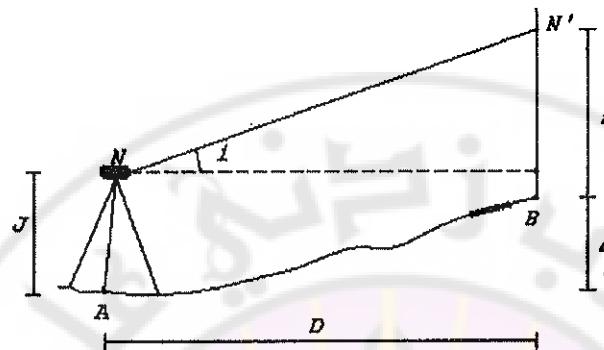
$$\Delta H = R - V \quad (1-5)$$

وهو قانون التسوية المباشرة.

٢ - التسوية الغير مباشرة أو التسوية المثلثية: Indirect levelling

تعتمد هذه الطريقة بشكل رئيسي على تعين ميل خط ما والمسافة الأفقيّة بين النقطتين A,B المراد حساب أو تعين فرق الارتفاع أو المنسوب بينهما، كما في الشكل (1-8) وتعني بميل الخط ظل الزاوية i (tgi) الواقعة في المستوى الشاقولي المار من النقطتين A,B والمحصورة بين الخط NN' في المستوى وخط أفقي في المستوى الشاقولي نفسه. نسميهما الزاوية الشاقولية. فيقياس

الزاوية (i) وقياس المسافة الأفقية (D) بين النقطتين A,B وبقياس المسافتين J , S
نستطيع حساب فرق الارتفاع ΔH بالعلاقة (1-6).



الشكل (1-8)

$$\Delta H = D \operatorname{tg} i + (J - S) \quad (1-6)$$

وهو قانون التسوية غير المباشر.

نستنتج مما سبق أنه يلزمـا في المساحة الارتفاعـية تأمين القياسات التالية:

- ١- زاوية شاقولـية. أي الزاوية الكائنة في مستوى شاقولي بين خط ما في هذا المستوى وخط أفقـي في هذا المستوى.
- ٢- مسافـات أفقـية.
- ٣- مسافـات شاقولـية.



الفصل الثاني
مبادئ في نظرية الأخطاء
ونظرية التربيعات الصفرى



٢-١ - القياسات والأخطاء : Observations and errors :

١ - القياسات **Observations** : يعتبر القياس أحد العمليات العلمية الأكثر أهمية، فهو يعبر عن مقدار فيزيائي - طول، زاوية، زمن، درجة حرارة.. إلخ بعده، وإن قياس عنصر ما هو مقارنة هذا العنصر بكمية من نفس النوع. معتمدين هذه الكمية كواحدة لقياس كما وأن التعبير عن نتيجة عملية القياس بعدد، يعطي أو يبين النسبة بين صغر أو أكبر العنصر المقاس وتلك الواحدة. وأن أي عنصر في الحقيقة له قيمة ثابتة، إلا أن تجربة أو محاولة تحديه أو تعينه بقياسات تؤدي إلى :

أ - القياسات المترددة لعنصر ما، تعطينا نتائج قريبة بعضها من البعض الآخر، ولكنها تبقى مختلفة الواحدة عن الأخرى بشكل عام. ويمكننا أن نتأكد من ذلك عملياً، بإعادة القياس، عدداً من المرات فإننا سنحصل على قيم مختلفة بعضها عن الآخر وبالتالي فإنه لا يمكننا أن نحصل من القياس على القيمة الصحيحة المضبوطة للعنصر المقاس.

ب - عند وجود شرط ما، يجب أن تتحققه عناصر مجهولة، مطلوب تعينها بقياسات، فإن قياسات هذه العناصر سوف لا يحقق هذا الشرط إلا بشكل تقريري. وهذا ما يمكن أن نتأكد منه تجريبياً في المثال التالي: فإذا قمنا بقياس زوايا مثلى مستوى مثلاً، فيجب أن يكون مجموع زواياه - 200 gr حتماً. إلا أنه إذا جمعنا قياس الزوايا الثلاث، فإننا سنحصل على قيمة قريبة من 200gr تختلف عنها مقداراً ضئيلاً زيادة أو نقصاناً.

وبالتالي ففي كل الميادين العلمية التي تعتمد على القياسات، وبشكل خاص في المساحة، قد جرت العادة على الإكثار من عدد القياسات لمقدار معين. أي أن نجري عدداً من القياسات للمقادير المطلوب تعينها أكبر بكثير من العدد المطلوب نظرياً وذلك لهدفين:

- استبعاد القياسات الشاذة والمغلوطة.
- اعتماد قيم للعناصر المجهولة، تكون أكثر دقة من مجموعة القياسات التي تمت.

وبالتالي فعلينا في مجال القياسات أن نجيب عن التساؤلات التالية:

- من مجموعة قياسات: x_1, x_2, \dots, x_n لتعيين مقدار x . ما هي القيمة التي يجب اعتمادها للمقدار x ؟
- ماهي دقة القياسات التي تمت؟ وكيف يمكننا أن نحدد المجموعة الأكثر دقة؟
- ماهي دقة القيمة المعتمدة للمقدار المقاس من بين مجموعة القياسات.

٢-٢ - أنواع القياسات :

تصنف القياسات في العلوم المساحية إلى أربعة أصناف:

١ - القياسات المباشرة: Direct observations

نسمى قياساً مباشراً كل تعين أو قياس لعنصر ما، تتم مقارنته مباشرة مع واحدة القياس. كقياس زاوية بواسطة تيودوليت، أو قياس مسافة بواسطة شريط مرمق.

٢ - القياسات الغير مباشرة: indirect observations

في كثير من الأحيان لا يمكننا أن نعين قيمة عنصر ما، أو أكثر بقياسات مباشرة لاستحالة ذلك إلا أنه، يمكننا الوصول إلى قيمة هذه العناصر المجهولة، بقياسات مباشرة لعناصر أخرى مرتبطة معها بعلاقات رياضية، ومثال على القياسات غير المباشرة هو مسألة تحديد أو تعيين إحداثيات نقطة مجهولة بطريقة التقاطع. فالمجاهيل التي سيتم تعينها، بشكل غير مباشر، هي إحداثيات النقطة المجهولة، والقياس المباشر سيتم لزوايا أو مسافات أو زوايا ومسافات معاً.

٣- القياسات الشرطية مع مجاهيل: **indirect observations with unknowns**: وهي حالة عامة تمثل القياسات غير المباشرة والقياسات الشرطية وكمثال على هذا النوع من القياسات هو مسألة إيجاد معادلة مستقيم يمر من نقاط ذات إحداثيات مقاسة.

٤- القياسات الشرطية: **conditional observations**: تكون هذه القياسات في المسائل التي تتضمن مجاهيل يمكن قياسها بشكل مباشر، إلا أنه يجب أن تتحقق شروطاً مبدئية. فمثلاً يجب أن يكون مجموع الزوايا الداخلية لمثلث مستوى، مساوية إلى 200 gr .

٥- الأخطاء وأنواعها: **Errors**: الغلط والخطأ. قد يكون الكلمة غلط وكلمة خطأ المعنى اللغوي نفسه. إلا أنه في مجال القياسات المساحية، يتم التفريق بينهما. الكلمة غلط تعني: الخطأ الكبير الواضح الناتج عن عدم الانتباه، وعدم الدقة في القياس، والذي يمكن حذفه مباشرةً من نتائج القياس، وفق المثال التالي:

قيس مسافة بواسطة شريط لقياس المسافات طوله: $M = 20$ وكانت نتائج القياس كالتالي: $205.17 - 205.13 - 205.12 - 225.14 - 205.14 - 205.20 - 205.18 - 205.18$ نلاحظ أن القياس الرابع يختلف عن بقية القياسات بفارق كبير مقداره $M = 20$ ناتج عن غلط في عدد المرات التي استعمل فيها الشريط.

تصنيف أخطاء القياسات : يمكننا أن نصنف الأخطاء التي تحملها القياسات في صفين رئيين :

١- الأخطاء النظامية. ٢- الأخطاء العرضية أو العشوائية.

١- الأخطاء النظامية: **Systematic errors**:

وهي الفروق ذات الاتجاه الواحد المتتجانسة، والتي يمكن تحديد قيمتها وإشارتها، وبالتالي يمكن حذفها من نتائج القياسات، كما وأن أسبابها معروفة وهي:

- أ- أسباب خارجية: مثل تأثير العوامل الطبيعية: حرارة - انكسار الضوء.. إلخ.
فعدن قياس مسافة ما، بشرط معدني، محدد الطول، بدرجة معينة من الحرارة،
بدرجة أخرى تختلف عن الأولى فإن هذا الشرط سينمدد ويتقلص، بمقدار
معين، يمكن تحديده، وبالتالي يمكننا أن نحدد الفروق الناتجة عن القياس.
- ب- أسباب تابعة لجهاز القياس نفسه. وهو الخطأ في الجهاز المستعمل لقياس
ويحدد هذا الخطأ بمقارنة الجهاز بجهاز آخر أكثر دقة. فمثلاً شريط قياس طوله
 المسجل: $20M$ فإذا كان طوله الحقيقي أكبر أو أصغر بعده سنتيمترات فبإمكاننا
استعمال هذا الشرط بعلم مسبق عن وجود خطأ نظامي، محدد المقدار
والإشارة، وبالتالي يتم حذف هذا الخطأ من نتائج القياس.

٢- الأخطاء العرضية أو العشوائية : **Accidental errors Random errors :**
وهي أخطاء مجهولة الأسباب، غير واضحة، لا يمكن معرفتها. لا يمكن حسابها
من معادلة أو تحديدها بقانون، فهي تارة موجبة وتارة سالبة، وإليها يعزى وجود
الفروقات بين القياسات لعنصر ما، بعد حذف الأخطاء النظامية. إلا أنه من
الممكن دراستها من حيث توزيعها عن طريق علم الإحصاء والاحتمالات. كما
ويمكن تخفيف تأثيرها عن طريق زيادة عدد القياسات. ونميز منها:

أ- الأخطاء الظاهرية أو الرسوبيّة : **residual errors :**
الخطأ الظاهري لقياس ما: هو خطأ عرضي يساوي الفرق بين هذا القياس،
والقيمة المعتمدة للعنصر المقاس أو القيمة الأكثر احتمالاً لهذا العنصر . والتي
اعتمدت من مجموعة قياسات أجريت عليه. ويعطى بالعلاقة :

$$v_i = x_0 + x_i \quad (2-1)$$

حيث :

x_0 - القيمة الأكثر قرباً لقيمة الحقيقة.

x_i - القيمة المقاس.

بـ- الخطأ الحقيقي : وهو خطأ عرضي يساوي للفرق بين القياس والقيمة الحقيقية للعنصر المقاس المجهول بشكل عام. ويعطى بالعلاقة (2-2):

$$W_1 = x - x_i \quad (2-2)$$

x - القيمة الحقيقية للعنصر المقاس.

x_i - كمية القياس.

٤-٢ - نظرية استقلال الأخطاء:

ليكن لدينا x مجهولاً تابعاً للمتحولات a, b, c التي يمكن قياسها، حيث يمكننا أن نكتب x بشكل تابع له الشكل التالي:

$$x = f(a, b, c) \quad (2-3)$$

ولفرض أن dc, db, da هي أخطاء في قياسات c, b, a على الترتيب. فبتصحیح القياسات وذلك بإضافة هذه الأخطاء. نحصل على قيمة التابع $x + dx$

حيث: dx هو الخطأ على x نتيجة للأخطاء: أي:

$$x + dx = f(a+da, b+db, c+dc)$$

وبالتالي نحصل على dx بالعلاقة (2-4) التالية:

$$dx = f(a+da, b+db, c+dc) - f(a, b, c) \quad (2-4)$$

وباعتبار أن الأخطاء dc, db, da لا متاهية في الصغر من الدرجة الأولى ننشر التابع: $x + dx$ فنجد العلاقة (2-5)

$$dx = \frac{\partial f}{\partial a} da + \frac{\partial f}{\partial b} db + \frac{\partial f}{\partial c} dc \quad (2-5)$$

من العلاقة السابقة، نصل إلى النتيجة الهامة التالية: إن كل خطأ يؤثر على النتيجة بشكل مستقل عن الأخطاء الأخرى. فلو فرضنا مثلاً: أن قيم: a, b, c صحيحة ولا تحمل أي خطأ وأن لدينا خطأ في القياس a قدره da تصبح العلاقة السابقة بالشكل (2-6):

$$dx_1 = \frac{\partial f}{\partial a} da \quad (2-6)$$

وإذا اعتبرنا أن قيم a , c صحيحة وأن لدينا خطأ فقط على b قدره db تصبح

العلاقة السابقة بالشكل التالي (2-7)

$$dx_2 = \frac{\partial f}{\partial b} db \quad (2-7)$$

وأخيراً إذا اعتبرنا الخطأ واقعاً فقط على c وهو dc فتصبح العلاقة السابقة (2-

5) بالشكل (2-8):

$$dx_3 = \frac{\partial f}{\partial c} dc \quad (2-8)$$

نلاحظ بسهولة أنه:

$$dx = dx_1 + dx_2 + dx_3 \quad (2-9)$$

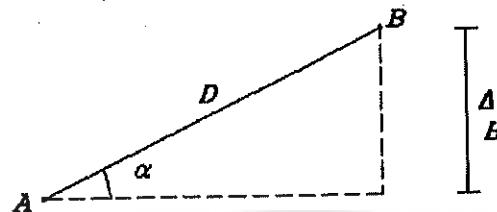
أي أنه إذا اعتبرنا تأثير الأخطاء مجتمعة لمتحولات التابع أو إذا درسنا تأثير كل خطأ على حدة، ثم جمعنا تأثيراتها فإننا نحصل على نفس النتيجة.

في هذه النظرية لم نميز بين الأخطاء النظامية والأخطاء العرضية، وبالتالي فتأثير الخطأ على نتائج القياسات، هو تأثير مستقل عن طبيعة الخطأ. والشيء الذي يميز الخطأ النظامي عن الخطأ العرضي، من ناحية القيمة العددية، هو أننا نعلم قيمة الخطأ النظامي بينما نهمل قيمة الخطأ الثاني.

٢-٥ - تطبيقات :

تطبيق (1) :

لحساب فرق المنسوب ΔH بين النقطتين A , B المبينتين في الشكل (2-1) تم قياس المسافة بينهما ولتكن $D = AB$ وكذلك قياس زاوية الميل أو الارتفاع α ولسبب ما تمت القياسات السابقة بخطأ صغير على كل من D قيمته dD وعلى α قيمته $d\alpha$.



الشكل (2-1)

المطلوب :

حساب الخطأ المركب على قياس فرق المنسوب بين النقطتين أي $d(\Delta H)$

الحل:

إن فرق الارتفاع أو المنسوب بين النقطتين A, B يحسب العلاقة (2-10) :

$$\Delta H = D \sin \alpha \quad (2-10)$$

تقاضل العلاقة السابقة تقاضلاً كلياً فنجد:

$$\begin{aligned} d(\Delta H) &= \frac{\partial(\Delta H)}{\partial d} dd + \frac{\partial(\Delta H)}{\partial \alpha} d\alpha \\ &= \sin \alpha dd + D \cos \alpha d\alpha \end{aligned}$$

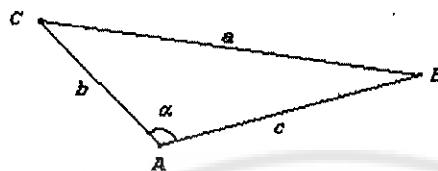
وبإدخال نتائج القياس في العلاقة السابقة نحصل على المطلوب.

تطبيق (2):

في المثلث المبين في الشكل (2-2) تم قياس كل من الأضلاع $c = b$, $a = AB$ والزاوية: $\hat{CAB} = \alpha$. وعند إجراء القياسات السابقة تم ارتكاب الأخطاء: $d\alpha, dc, db$ على كل من: α, c, b على الترتيب.

المطلوب :

ما هو الخطأ في قياس الضلع $a = BC$ نتيجة للأخطاء السابقة.



الشكل (2-2)

الحل:

إن طول الضلع $BC = a$ يحسب من العلاقة (2-11)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad (2-11)$$

ولحساب الخطأ da على الضلع $a = BC$ ننجز التفاضل الكلي على العلاقة

السابقة (2-11) فنجد العلاقة (2-12)

$$\begin{aligned} 2aba &= 2bdb + 2cdc - 2c \cos \alpha db - 2b \cos \alpha dc + 2bc \sin \alpha d\alpha \\ \Rightarrow a da &= bdb + cdc - 2c \cos \alpha db - 2b \cos \alpha dc + 2bc \sin \alpha d\alpha \end{aligned} \quad (2-12)$$

$$da = \frac{1}{a} \{(b - \cos \alpha)db + (c - b \cos \alpha)dc + bc \sin \alpha d\alpha\}$$

ومن أجل الحصول على تجانس في الوحدات في العلاقة السابقة (2-12) يجب

أن نحسب da معطاة بالـ c (الستينيغراد) فيجب تقسيمها على ρ^c للحصول

على قيمتها بالراديان وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل التالي (2-13) :

$$da = \frac{1}{a} \{(b - c \cos \alpha)db + (c - b \cos \alpha)dc + bc \sin \alpha \frac{d\alpha}{\rho^c}\} \quad (2-13)$$

إذا كانت لدينا القيم العددية التالية:

$$\alpha = 110,15 \text{ gr} , c = 210.2 \text{ M} , b = 130.1 \text{ M}$$

$$d\alpha = +3 \text{ C} , dc = +15 \text{ CM} , db = +10 \text{ CM}$$

بالتعويض بالعلاقة (2-11) نحصل على M

ثم نعرض في العلاقة (2-12)

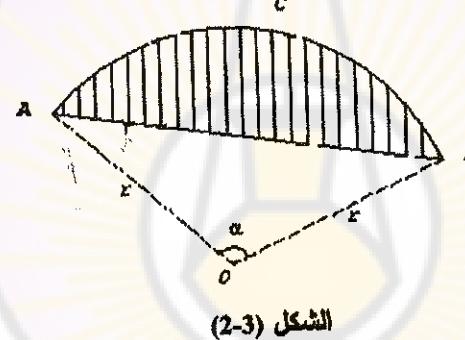
$$da = \frac{1}{264.18} \left\{ (130.1 - 210.2 \cos 110.15) 0.1 + (210 - 130.1 \cos 110.15) 0.15 + 130.1 \times 210.2 \sin 110.15 \cdot \frac{3}{6400} \right\} = 24 \text{ CM}$$

تطبيق (3) :

قطعة الأرض المبينة في الشكل (2-3) فيها \hat{ABC} قوس دائرة نصف قطرها r الزاوية المركزية للقوس.

المطلوب:

حساب مساحة هذه القطعة، ثم حساب الخطأ الواقع على هذه المساحة المحسوبة، إذا كان لدينا خطأ قطره dr على نصف القطر وخطأ $d\alpha$ على الزاوية α .



الحل:

تحسب مساحة الأرض بالعلاقة (2-14)

$$A = \frac{1}{2} r^2 (\alpha - \sin \alpha) \quad (2-14)$$

وهذا أيضاً يجب أن نحسب الزاوية α بـ رadians، فإذا كانت معطاة بالغراد فتحول إلى رadians بأن نقسمها على 64°

نأخذ التفاضل الكلي للعلاقة السابقة (2-14) فتحصل على العلاقة (2-15)

$$dA = r(\alpha - \sin \alpha) dr + \frac{1}{2}(d\alpha - \cos \alpha d\alpha)$$

$$\begin{aligned}
 &= r(\alpha - \sin \alpha)dr + \frac{r^2}{2}(1 - \cos \alpha)d\alpha \\
 &= r\left(\frac{\alpha}{\rho^c} - \sin \alpha\right)dr + \frac{r^2}{2}(1 - \cos \alpha)\frac{d\alpha}{\rho^c}
 \end{aligned} \tag{2-15}$$

فإذا كان لدينا : $\alpha = 110.3 \text{ gr}$, $dr = 0.5 \text{ M}$, $r = 50 \text{ M}$, $d\alpha = 20^\circ$

نحسب من العلاقة (2-14) قيمة A مساحة قطعة الأرض وفق ما يلي :

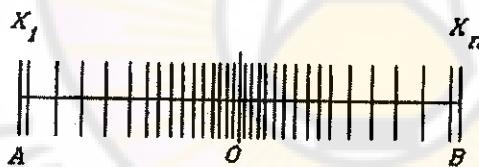
$$A = 932.6 \text{ M}^2$$

فنحصل بعد التعويض في (2-15) على:

$$\begin{aligned}
 dA &= 50\left(\frac{110.3}{64} - \sin 110.3\right)0.5 + \frac{2500}{2}(1 - \cos 110.3)\frac{20}{6400} \\
 \Rightarrow dA &= 23.2 \text{ M}^2
 \end{aligned}$$

٦-٢ - المتوسط الحسابي ونظرية التربيعات الصغرى:

نقول عن مجموعة قياسات مباشرة لعنصر ما، أن لها نفس الدقة، عندما تكون قد جرت ضمن نفس الشروط وبنفس الجهاز. فإذا اعتبرنا عدداً كبيراً جداً n من القياسات المباشرة لعنصر ما. ومتناقيها على مستقيم. كما في الشكل (2-4).



الشكل (2-4)

نلاحظ أنها مبعثرة بين قيمتين حديتين هما : A , B ، وإننا لا نحصل على توزع منتظم للقيم ما بين هاتين القيمتين الحديتين. فإن القيم التي حصلنا عليها تزداد اعتباراً من القيمة الحدية الدنيا A حتى منتصف المجال AB، ثم تتناقص حتى B وهي متاظرة بالنسبة لمنتصف المجال AB النقطة O.

وتندل قوانين الاحتمالات، والإحصاء أن الخطأ الحاصل على النتيجة النهائية لقياس ما عند إعادة وتكرار القياسات عدداً كبيراً من المرات، يصل إلى اللانهاية، هو خطأ حقيقي، رغم عدم معرفتنا لقيمة الحقيقة للكمية المقاسة. ولكن ليس معقولاً أن نعيد ونكرر عمليات القياس عدداً لانهائياً من المرات. وبالتالي فالمطلوب: هو الحصول على القيمة الأكثر احتمالاً للكمية المقاسة، وذلك بتكرار القياس عدداً من المرات، دون أن تكون قيمته الحقيقة معروفة أي أن الهدف هو الوصول إلى أكثر القيم احتمالاً، لأن تكون هي القيمة الشبه حقيقية.

للفرض أنه أجرينا قياسات التالية: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ للعنصر x . فما هي القيمة التي يمكن أن تكون أكثر القيم قرباً من القيمة الحقيقة x . إن نظرية التربيعات الصغرى، تجيب على هذا السؤال، وهو أن القيمة الأكثر قرباً من القيمة الحقيقة، هي تلك القيمة التي تجعل الأخطاء الظاهرية - الرسوبية - V أقل ما يمكن كما في العلاقة (2-1). حيث تحسب الأخطاء الرسوبية بالعلاقة (2-16) :

$$V_i = x_0 - x_i \quad (2-16)$$

حيث:

x_0 - الخطأ الظاهري - الرسوبى.

x_i - القيمة الأكثر احتمالاً أو قرباً لقيمة الحقيقة.

x_i - قيمة القياس.

والحصول على القيم الحدية للأخطاء الرسوبية، نقوم بتربيط العلاقة السابقة وبحيث تحقق العلاقة التالية (2-17) :

$$\sum_{i=1}^n V_i^2 = [VV] = \min \quad (2-17)$$

$$V_1^2 = x_0^2 + x_1^2 - 2x_0x_1$$

$$V_2^2 = x_0^2 + x_2^2 - 2x_0x_2$$

⋮ ⋮

$$V_n^2 = x_0^2 + x_n^2 - 2x_0x_n$$

وبجمع العلاقات السابقة نحصل على العلاقة (2-18)

$$\sum_{i=1}^n V_i^2 = n \cdot x_0^2 + \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2x_0 \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-18)$$

نلاحظ أن العلاقة السابقة (2-18) هي تابع للمتحول x_0 ولكي تكون قيمة هذا التابع حدية أي أصغرية بالنسبة للمتحول x_0 نشتق هذا التابع بالنسبة للمتحول x_0 . ثم نعد المشتق الأول أي:

$$\begin{aligned} \frac{d \sum_{i=1}^n V_i^2}{dx_0} &= 0 \Rightarrow 2nx_0 - 2 \sum_{i=1}^n x_i = 0 \\ \Rightarrow nx_0 - \sum_{i=1}^n x_i &= 0 \Rightarrow x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \end{aligned} \quad (2-19)$$

إن القيمة السابقة العلاقة (2-19) x_0 ما هي إلا قيمة المتوسطة الحسابية للقياسات: x_i . وبالتالي هي القيمة الأكثر احتمالاً لأن تكون القيمة الحقيقية للكمية المقدسة. ومن أجل أن تتحقق أو نتأكد من أن التابع فعلاً بقيمه الأصغرية نحسب المشتق الثاني بالعلاقة (2-20) التالية:

$$\frac{d^2 \sum_{i=1}^n V_i^2}{dx_0^2} = n \quad (2-20)$$

و بما أن n قيمة موجبة فالتابع قيمه أصغرية.

كما يلاحظ أنه إذا جمعنا قيم الأخطاء في معادلة الأخطاء الرسوبية العلاقة -2

(2-21) سنجد العلاقة

$$\sum_{i=1}^n V_i = n x_0 - \sum_{i=1}^n x_i = 0 \quad (2-21)$$

وهذا تحقيق لصحة القياسات وحساب المتوسطة الحسابية. وبالتالي فإنه عندما يكون لدينا عدد كبير جداً من القياسات يقترب من الالانهاية نستنتج النتائج التالية:

- ١- إن المجموع الجيري للأخطاء العرضية يساوي الصفر.
- ٢- كل خطأ موجب يقابل خطأ سالب.
- ٣- إن الأخطاء الصغيرة هي الأكثر عدداً.
- ٤- لا تتجاوز قيمة عظمى ونسمى المجال الذى تتواجد فيه هذه الأخطاء بمجال التشتت.

٦- تقييم القياسات أو دقة القياسات:

إن المقصود بتقييم القياسات، هو تحديد احتمال حدوث خطأ، وتعيين القيمة المميزة للخطأ الأعظمي الذي لا مجال للشك بأن الخطأ لن يتجاوزه وهو أي الخطأ الأعظمي يشكل الحد الفاصل بين الخطأ والغلط. هناك عدة مؤشرات يمكن من خلالها تقييم دقة القياسات ذكر منها:

أ- الخطأ المتوسط التربيعي : Average or mean square error :

إن المتوسطة الحسابية لمجموعة من القياسات المتتساوية الدقة، تجعل التابع

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min$$

حيث: v_i هو الفرق بين المتوسطة الحسابية. x_0 والقياس x_i إذ

إنه بالنسبة لمجموعة القياسات المتتساوية الدقة، كلما كانت القيمة $\sum_{i=1}^n v_i^2$ صغيرة

كلما كانت القياسات أدق والعكس بالعكس. وعلى هذا الأساس نعرف دقة كل قياس من مجموعة قياسات متتساوية الدقة بالخطأ المتوسط التربيعي. وهو بالتعريف: الكمية التي مربعها القيمة الوسطية لمجموع مربعات الأخطاء الحقيقية

للمقياسات. فإذا أجرينا n قياساً لعنصر ما، وكانت الأخطاء الحقيقية w_1, w_2, \dots, w_n فالخطأ الممتوسط التربيع M . المتعلق بكل قياس يعطى بالعلاقة (2-22)

$$M^2 = \frac{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i^2}{n} \quad (2-22)$$

وباعتبار أننا لا نعلم بشكل عام، الأخطاء الحقيقية. فالعلاقة السابقة (2-22)، لا تسمح بحساب قيمة الخطأ الممتوسط التربيع. لهذا نعتمد الممتوسطة الحسابية قيمة أكثر احتمالاً للعنصر المجهول. وذلك في حالة المقياسات متساوية الدقة. ثم نحسب الأخطاء الظاهرية V_1, V_2, \dots, V_n . فيكون الخطأ الممتوسط التربيع معطى بالعلاقة (2-23):

$$M^2 = \frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1} \quad (2-23)$$

في هذه الحالة تم التقسيم على $n-1$ بدلاً من n إذاً على افتراض أننا أجرينا قياساً واحداً فقط، فعندما تكون قيمة هذا المقياس هي الممتوسطة الحسابية، عندما سنجد خطأ ظاهرياً واحداً قيمته: $V_1 = 0$. فإذا قسمنا على: $n-1$ سنحصل على: $M = 0$ أي أن الخطأ الممتوسط التربيع يساوي الصفر، وهذا يعني وبالتالي أن المقياس صحيح ولا يحمل أي خطأ. وهذا شيء غير منطقي، بينما لو قسمنا $(n-1)$ ، في حالة قياس واحد لحصلنا على: $M = \frac{0}{0}$ أي عدد التعين وهذا يفسر بأنه بقياس واحد لا يمكننا تعريف الدقة. ويعتبر الخطأ الممتوسط التربيع أفضل طريقة لتقييم دقة المقياسات.

بـ - الخطأ المطلق أو خطأ الممتوسط الحسابي:
ويعرف بمتوسطة القيم المطلقة للأخطاء الظاهرية -الرسوبية ويعطى بالعلاقة (2-24) التالية :

$$t = \frac{|V_1| + |V_2| + \dots + |V_n|}{n-1} = \frac{\sum |V_i|}{n-1} = \frac{\sum |w_i|}{n} \quad (2-24)$$

حيث :

V_i - خطأ ظاهري. w_i - خطأ حقيقي.

جـ - الخطأ المحتمل : probable error

هو أن نأخذ الأخطاء الظاهرية بقيمتها المطلقة، ونرتباها ترتيباً تصاعدياً بترتيب ازدياد قيمتها ثم نأخذ القيمة الوسطية فتكون هي الخطأ المحتمل ويعطى بالعلاقة

(2-25) التالية:

$$|V_1| \leq |V_2| \leq |V_3| \leq \dots \leq |V_n| \quad (2-25)$$

ففي حال كان عدد القياسات فردياً يكون الخطأ المحتمل ϵ في وسط المتراجحة تماماً، وعندما يكون زوجياً يؤخذ وسطي العدددين المجاورين في الوسط، ويحسب بالعلاقة (2-26) التالية:

$$\epsilon = \left[\frac{\sum \sqrt{|w_i|}}{n} \right]^2 = \left[\frac{\sqrt{|V_1|}}{n-1} \right] \quad (2-26)$$

مثال:

تم قياس عنصر على مراحلتين، في كل مرحلة تكرر القياس (10) مرات وكانت الأخطاء الظاهرية هي التالية:

- المرحلة الأولى: $-8, +10, -9, +3, +5, -5, +6, +2, -7, +3$

- المرحلة الثانية: $-1, +2, -14, -10, 0, 0, +18, +9, -1$

احسب الخطأ المتوسط التربيع والخطأ المطلق والخطأ المحتمل لكل مرحلة من المرحلتين السابقتين وأي القياسات أفضل أو قياس أي مرحلة هو الأدق.

الحل:

$$M_1 = 6.7, \quad t_1 = 5.8, \quad \epsilon_1 = 5.5 \quad (1)$$

$$M_2 = 8.9, \quad t_2 = 5.8, \quad \epsilon_2 = 2.5 \quad (2)$$

من ملاحظة تشتت الأخطاء وكثيراً، يلاحظ أن القياسات في المرحلة الأولى هي الأفضل أو الأدق وهذا ما عبر عنه الخطأ المتوسط التربيع، بينما عدّهما المطلق، متساوين في الدقة، أما الخطأ المحتمل فقد أعطى نتيجة عكسية. ويجب الانتباه إلى أن الخطأ المتوسط التربيع والخطأ المتوسط الحسابي، والخطأ المحتمل ليست أخطاء حقيقة ولا يمكن استخدامها لتصحيح النتائج بل هي معايير لتعريف الدقة، ومقارنة الدقة بين مجموعة قياسات وأخرى.

د- الخطأ النسبي :

وهو الخطأ على واحدة القياس، ويعطى بالعلاقة (2-27) :

$$M_x = \frac{M}{\sqrt{x}} \quad (2-27)$$

حيث:

M - الخطأ المتوسط التربيع المحسوب. x - الكمية المقاسة.

مثال: كان الخطأ المتوسط التربيع لمسافة مقاسة قيمتها (4 KM) هو: M = 10 CM احسب الخطأ النسبي.

$$M_{(1KM)} = \frac{10}{\sqrt{4}} = 5 \text{ CM}$$

هـ- الخطأ الأعظمي أو حد التساهل:

وهو مقدار الخطأ الذي يفصل بين القياسات المقبولة أو غير المقبولة أي القيمة التي تشكل الحد الفاصل بين الأخطاء والأغلاط ويحسب من العلاقة (2-28):

$$\Delta = \pm 2.5 \text{ M} \quad (2-28)$$

٨-٢- قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع:

إن كل ما مر سبقاً يخص عنصراً مفرداً يمكن أن نقيسه مباشرةً، لكن هناك عناصر مركبة مولفة من أكثر من عنصر، للحصول عليها، لابد من قياس

عناصرها المفردة المكونة لها. مثل قياس مساحة قطعة أرض، إذ لابد من قياس طولها وعرضها:

ل يكن لدينا العنصر: F المؤلف من: x, y, z هو تابع له الشكل التالي العلاقة -2)

: 29)

$$F = f(x, y, z) \quad (2-29)$$

فإذا قيست هذه العناصر الأساسية n مرة فإننا نحصل على n قيمة للتابع F

وتصبح العلاقة (2-29) وفق العلاقة (2-30) :

$$dF_i = f(x_i + dx_i, y_i + dy_i, z_i + dz_i) \quad (2-30)$$

حيث :

- الخطأ على التابع F نتيجة الأخطاء في مركباته.

- الأخطاء على مركبات التابع F .

وبحسب فرضية استقلال الأخطاء نكتب العلاقة (2-31)

$$dF_i = \frac{\partial F}{\partial x_i} dx_i + \frac{\partial F}{\partial y_i} dy_i + \frac{\partial F}{\partial z_i} dz_i \quad (2-31)$$

وبتربيع هذه الأخطاء في العلاقة (2-31) وتقسيمها على عددها n كونها أخطاء حقيقة وعلى $(n-1)$ إذا كانت أخطاء ظاهرية وبإهمال الحدود من الدرجة الثانية نكتب العلاقة (2-32) :

$$\frac{\sum (dF_i)^2}{n} = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 \frac{\sum (dx_i)^2}{n} + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 \frac{\sum (dy_i)^2}{n} + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \right)^2 \frac{\sum (dz_i)^2}{n} \quad (2-32)$$

$$M_x^2 = \frac{\sum dx_i^2}{n}, M_y^2 = \frac{\sum dy_i^2}{n}, M_z^2 = \frac{\sum dz_i^2}{n}$$

ولتكن لدينا :

وبالتالي فالخطأ المتوسط التربيع للتابع F يعطى بالعلاقة (2-33)

$$M_F^2 = \frac{\sum (dF_i)^2}{n} = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 M_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 M_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \right)^2 M_z^2 \quad (2-33)$$

أي أن الخطأ المتوسط التربيع لتابع يساوي حاصل جداء مربع التفاضل الجزئي بالنسبة لكل متتحول منه، بمربع الخطأ المتوسط التربيع للمتحول، وإن العلاقة السابقة، تعطي دقة أي تابعاً يحتوي على مجموعة من المتاحولات.

تطبيقات قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع:

١ - الخطأ المتوسط التربيع للمتوسطة الحسابية ويعطى بالعلاقة (2-34) التالية :

$$M_{x_0} = \frac{M}{\sqrt{n}} \quad (2-34)$$

٢ - الخطأ المتوسط التربيع لمجموع متاحولات يعطى بالعلاقة (2-35) التالية:

$$F = x + y + z \Rightarrow M_F^2 = M_x^2 + M_y^2 + M_z^2 \quad (3-35)$$

٣ - الخطأ المتوسط التربيع لجداء يعطى بالعلاقة (2-36) التالية:

$$\begin{aligned} F &= K \cdot x \\ K &= \text{const} \Rightarrow M_F^2 = K^2 \cdot M_x^2 \end{aligned} \quad (2-36)$$

حيث: K - ثابت .

٤ - الخطأ المتوسط التربيع لعلاقة ما. لتكن لدينا العلاقة التالية

: $h = D \sin \alpha = f(D, \alpha)$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial D} &= \sin \alpha, & \frac{\partial h}{\partial \alpha} &= D \cos \alpha \\ \Rightarrow M_h^2 &= (\sin \alpha)^2 M_D^2 + (D \cos \alpha)^2 M_\alpha^2 \end{aligned}$$

مثال:

أرض مستطيلة الشكل، قيس بعدها فكانا: $D = 120.42 \text{ M}$ ، $M_d = 6 \text{ CM}$

. $b = 10.08 \text{ M}$ ، $M_b = 3 \text{ CM}$

والمطلوب : احسب الخطأ المتوسط التربيع على مساحة قطعة هذه الأرض.

الحل :

أهم نقطة، في مثل هذه المسائل، هو معرفتنا بتطبيق قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع وبالتالي معرفتنا في كتابة التابع، ومعرفة التوابع فيه والتحولات.

وفي مثلكنا نحن نبحث عن المساحة، وبما أن الأرض مستطيلة فمساحتها تعطى بالعلاقة: $b \cdot a = S$. نطبق قانون انتشار الأخطاء متوسطة التربيع، على تابع المساحة هذا فنجد:

$$\begin{aligned} M_s^2 &= \left(\frac{\partial S}{\partial a}\right)^2 M_a^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b}\right)^2 M_b^2 \\ &= b^2 M_a^2 + a^2 \cdot M_b^2 \end{aligned}$$

نلاحظ أن جميع الحدود معلومة، فنعرض مباشرةً بالأرقام. مع ضرورة الانتباه إلى وحدات القياس.

$$M_s^2 = (10.08)^2 (0.06)^2 + (120.42)^2 (0.03)^2 = 13.4167 \text{ } M^4$$

$$\Rightarrow M_s = 3.66 \text{ } M^2$$

وهو الخطأ المتسطل التربيعي على مساحة الأرض.

٩-٢ - فكرة موجزة عن القياسات غير متساوية الدقة - غير متساوية الوزن:
تكون القياسات أحياناً غير متساوية الدقة، وذلك لاختلاف في طريقة القياس أو في الأجهزة المستخدمة للقياس، أو غير ذلك من الأساليب، فمثلاً إذا قيست مسافة بواسطة جهاز إلكتروني على الدقة، ثم قيست مرة ثانية بجهاز أقل دقة من الأول، أو قيست مرة أخرى بطريقة مختلفة عن الطريقة السابقة، فلا يمكننا القول أن تلك القياسات متساوية الدقة وأن نأخذ الوسطي للقياسات السابقة. وإنما يعطى لكل من القياسات معامل الدقة، ثم يأخذ الوسطي الذي نسميه عندما بالوسطي الموزون، ويحسب بالعلاقة (2-37)

$$x_0 = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i} \quad (2-37)$$

حيث:

x_0 - الوسطي الموزون.

x_i - كمية القياس.

P_i - الوزن أو النقل، أو معامل الدقة التابع للقياس x_i .

١٠-٢ - أمثلة :

مثال (1) :

قيست مسافة ما على مرحلتين بالأجهزة نفسها والشروط نفسها، في المرحلة الأولى كان عدد القياسات (10) مرات، وفي المرحلة الثانية كان عدد القياسات (20) مرة. وكانت المتوسطة الحسابية للمرحلة الأولى: $M = 132.15$. وللمرحلة

الثانية $M = 132.25$

المطلوب: أوجد المتوسطة الموزونة لهاتين المرحلتين.

الحل:

تتطبق العلاقة :

$$x_0 = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i} = \frac{10 \times 132.15 + 20 \times 132.25}{10 + 20} = 132.22$$

مثال (2) :

قسنا مسافة (8) مرات فكانت القياسات كما يلي:

30.44 , 30.41 , 30.41 , 30.39 , 30.39 , 30.45 , 30.46 , 30.44

ثم قسنا المسافة نفسها بجهاز آخر (4) مرات فكانت القياسات:

30.44 , 30.45 , 30.47 , 30.41

المطلوب :

١ - احسب المتوسطة الحسابية لكل مجموعة من القياسات.

- ٢- احسب الخطأ المتوسط التربيع لكل من المجموعتين .
- ٣- احسب الخطأ المتوسط التربيع للمتوسطة الحسابية ثم احسب المتوسطة الموزونة .

الحل :

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

١- نحسب المتوسطة الحسابية لكل مجموعة بالعلاقة

$$x_{01} = 30.42 \quad ; \quad x_{02} = 30.44$$

- ٢- نحسب الخطأ المتوسط التربيع نحسب الأخطاء الظاهرية لكل مجموعة من العلاقة : $v_i = x_0 - x_i$ ونرتب النتائج بالجدول :

المجموعة I	
v_i (M)	v_i^2 (M)
-0.02	0.0004
0.01	0.0001
0.01	0.0001
0.03	0.0009
0.03	0.0009
-0.03	0.0009
-0.04	0.0016
-0.02	0.0004
$\sum -0.03$	$\sum 0.0053$
$M_1 = \sqrt{\frac{v_2^2}{n-1}} = 0.027 M$	

المجموعة II	
v_i (M)	v_i^2 (M)
0	0
-0.01	0.0001
-0.03	0.0009
0.03	0.0009
$\sum -0.01$	$\sum 0.0019$
$M_2 = \sqrt{\frac{v_2^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0019}{3}} = 0.025 M$	

٣- الخطأ المتوسط التربيع على المتوسط الحسابي لكل مجموعة من مجموعات القياسات :

$$Mx_{01} = \frac{M}{\sqrt{n}} = \frac{0.027}{\sqrt{8}} = 0.0095 \text{ M}$$

$$Mx_{02} = \frac{0.025}{\sqrt{4}} = 0.0125 \text{ M}$$

وتكون المتوسطة الموزونة :

$$x_0 = \frac{8 \times 30.42 + 4 \times 30.44}{8 - 4} = 30.42$$

الفصل الثالث
الأجهزة المساعدة

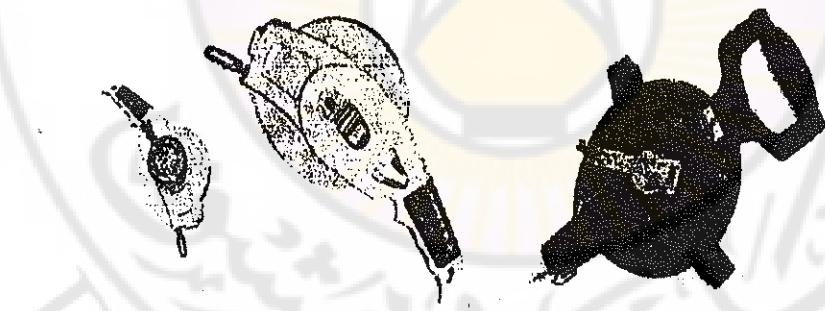


١-٣ - أجهزة قياس المسافات :

لقياس مسافة ما بين نقطتين A,B يمكننا أن نستخدم وكما مر معنا سابقاً إما الطريقة المباشرة أو الطريقة غير المباشرة، وللحصول على قياس للمسافة بالطريقة غير المباشرة هناك عدة طرق منها:

- ١ - الطرق المستadiometرية.
- ٢ - طريقة قياسات الزاوية الصغيرة.
- ٣ - الطرق الكرونية.

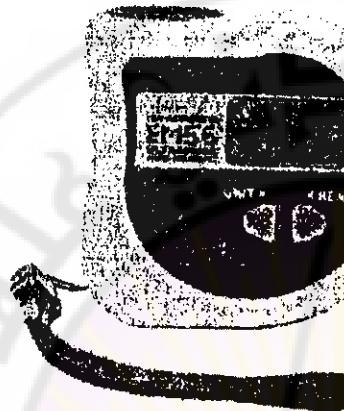
إن الجهاز الأكثر استعمالاً في القياس المباشر هو الشريط الفولاذى. ويترافق طول الأشرطة المستخدمة بين 10 m - 50 m ونادراً ما يستخدم شريط طوله أكثر من 50m لصعوبة شده. أما عرض هذه الأشرطة فيتراوح من 1.5cm-1cm وسماكته لا تزيد عن الميليمتر الواحد. يلف الشريط حول بكرة في نهايتها مقبض الشكل (3-1).



الشكل (3-1)

ويراعى عند استخدام الشريط في القياس أن يبعد عن الأرض المبللة بالماء حتى لا يتأثر طوله إذا تبلل، كما ويجب إمرار الشريط بين أصبعي اليد عند لفه في علبة مع وضع قطعة قماش بين الإصبعين لإزالة الأتربة عنه، وإذا استخدم

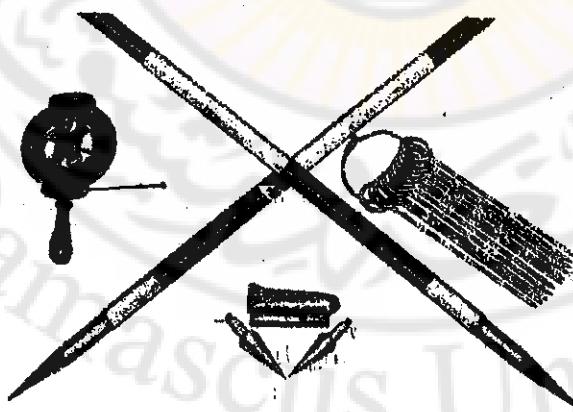
الشريط الفولاذى يجب أن تكون قطعة القماش مبللة بالزيت. يوجد حالياً أشرطة قياس رقمية تظهر فيها قيمة القياس على شاشة خاصة كما يبين على الشكل .(3-2)



الشكل (3-2)

يستعان في قياس المسافات الطويلة بعدد من الأجهزة البسيطة منها:

- ١- الأسياخ أو الأوتاد المعدنية (الحديدية) الشكل (3-3) وهي عبارة عن قضبان رفيعة مدببة من أسفلها ليسهل غرسها في التربة.



الشكل (3-3)

٢ - خيط المطمار: يعطي خيط المطمار اتجاه الشاقول الشكل (3-3) عند توازنه ويتألف خيط المطمار من كتلة معدنية مدبوبة في نهايتها، ويعلق به من نهايته العليا خيط.

٣ - الشواخص : وهي عبارة عن قضبان من الخشب أو الحديد يصل إلى ارتفاعها متراً ونصف أو مترين الشكل (3-3) ومقطعها دائري أو على شكل سداسي منتظم. إن قطر هذه الشواخص يتراوح بين cm (3-4). تكون الشواخص مقسمة إلى أجزاء مدهونة بالأحمر والأبيض أو بالأسود والأبيض على التتابع. تغرس أو تترك الشواخص فوق النقاط المراد رصدها بشكل شاقولي وعندما لا يمكننا غرس الشواخص في الأرض بسبب الطبيعة الصخرية لها، نستعمل ثلاثة الأرجل.

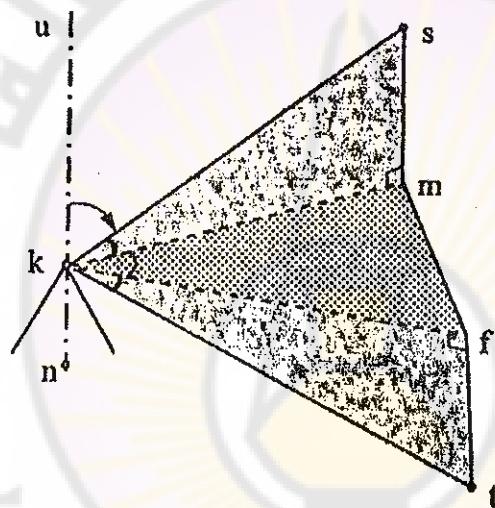
إن اللجوء إلى القياسات المباشرة بالشريط لقياس المسافات الطويلة، هي عملية طويلة بشكل عام، أضف إلى أن القياسات بشكل عام تكون حاملة لمجموعة من الأخطاء النظامية، لذلك فنادرًا ما نلجم في الوقت الحاضر إلى قياس المسافات الطويلة بالشريط، بل يستعاض عنه بالأجهزة الحديثة الإلكترونية، لما فيها من سرعة ودقة في القياس والتي ستمر معنا لاحقًا في هذا الفصل .

٤-٣ - أجهزة قياس الاتجاهات الأفقية والزاوية الشاقولية:

يمكن توضيح مفهوم الزاوية الأفقية والشاقولية من خلال الشكل (3-4) الذي فيه المستوى الشاقولي المار من النقطة m,s مع المستوى الشاقولي المار من النقطة: k,n,m . بينما يمر المستوى الأفقي من النقاط: k,n,m .

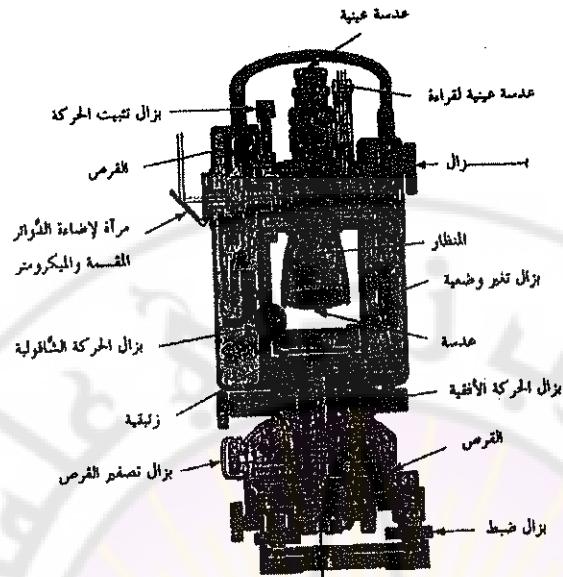
إن الزاوية الأفقية عند النقطة k بين الاتجاهين: kts هي الزاوية mkf التي فيها: m , f , المسقط الشاقولي للنقطة: s , t على المستوى الأفقي المار من k . أي هي الزاوية الثانية بين المستويين تقاس الزاوية الشاقولية لاتجاه إما بزاوية ميله

على الأفق (زاوية الارتفاع أو الانخفاض عن الأفق) الزاوية \hat{ks} للاتجاه: km
 والتي تفاص من الأفق نحو النقطة وتنتروح قيمتها من الصفر إلى $\pm 100\text{gr}$ أو
 بمسافة السمت للاتجاه، والتي تفاص بدءاً من نقطة السمت: m وتأخذ القيمة بين
 الصفر و 200 gr أو بمسافة النظير للاتجاه والتي تفاص بدءاً من نقطة النظير:
 - وتأخذ القيمة من الصفر حتى: 200 gr



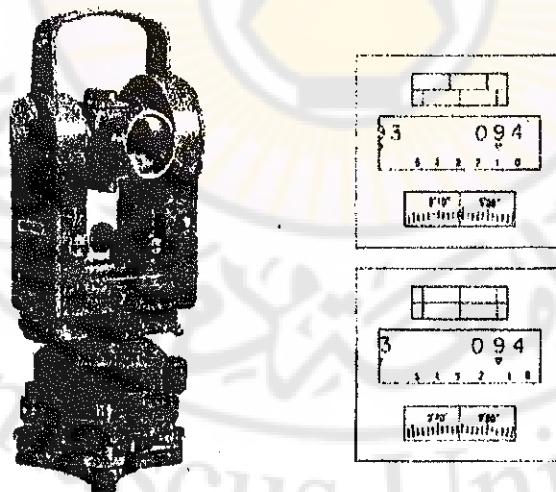
الشكل (3-4)

التيلودوليت : يعد جهاز التيلودوليت theodolite من أدق الأجهزة المستخدمة لرصد الزوايا في المستوى الأفقي horizontal والشنقولي vertical الشكل (3-5) وهو يتكون من جزء ثابت يستند على صحن الركيزة ثبت عليه زئبقة كروية.



الشكل (3-5)

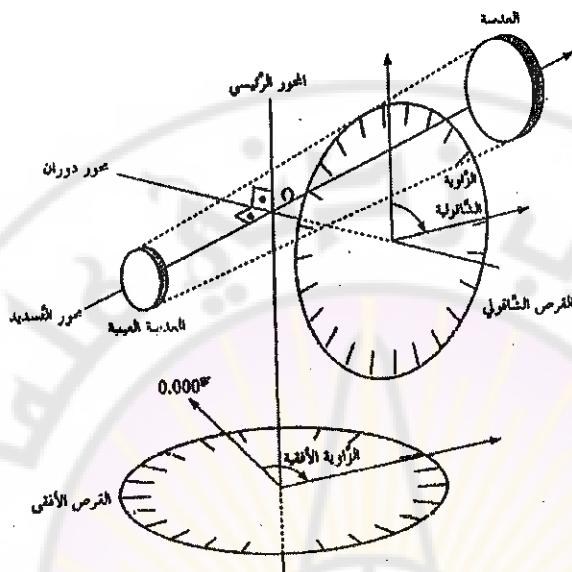
للضبط التقريري لشاقوليّة المحور الرئيسي للجهاز، وجاء متحرك يدعى الأليداد Alidade يدور حول المحور الرئيسي. يبيّن الشكل (3-5) الأجزاء الرئيسية لجهاز التيودوليت كما ويمثّل الشكل (3-6) جهاز تيودوليت Wild T2.



الشكل (3-6)

يعرف في جهاز التيودوليت ثلاثة محاور أساسية متعامدة فيما بينها كما في الشكل

(3-7) هي:



الشكل (3-7)

- محور التسديد: وهو المستقيم الذي يصل نقطة تلاقي المستقيمين الأساسيين على لوحة المحكمة (مركز المحكمة) بالمحرق الخارجي لجملة عدسات المنظار.

- محور دوران المنظار: هو الخط الواصل بين نقطتي استناد المنظار على الأليدات.

- المحور الرئيسي: وهو عبارة عن محور دوران كثلة الأليدات. وهو عمودي على القرص الأفقي بجهاز التيودوليت.

الأخطاء النظامية في جهاز التيودوليت:

١- خطأ عدم التطابق: يتاثر قياس الاتجاه الأفقي بخطأ عدم التطابق الذي هو انحراف محور التسديد عن وضع التعامد مع محور دوران المنظار، تكون أسباب هذا الخطأ، إما صدمة قوية للجهاز أثناء التنقل والعمل الحقلبي أو

الاستخدام الطويل الأمد له دون معايرته. يحسب تأثير خطأ عدم التطابق على أي اتجاه أفقى مقاس من العلاقة (3-1) التالية:

$$e_s = \frac{C}{\cos \beta} \quad (3-1)$$

حيث:

C - مقدار عدم التطابق .

β - زاوية الارتفاع عن الأفق.

يُحذف هذا الخطأ آلياً وذلك برصد الاتجاه المقاس بالوضعين المنظار ثمأخذ المتوسط الحسابي (الدوران المضاعف) أو عن طريق تصحيح الجهاز من هذا الخطأ.

مثال (1):

رصدت من النقطة A لجهاز التيودوليت يحمل خطأ عدم تطابق مقداره 2° النقاطين B, C فكانت قيم الاتجاهات الأفقية، وزوايا الارتفاع عن الأفق تساوي:
 $r_B = -45.15 \text{ gr}$, $\beta_A = 20.85 \text{ gr}$, $r_A = 150.4260 \text{ gr}$
المطلوب :

احسب قيمة الزاوية المقاسة $\hat{\alpha} = r_B - r_A$ المصممة من خطأ عدم التطابق.

الحل:

بحسب خطأ عدم التطابق على كل اتجاه مرصود وفقاً للعلاقة (3-1) كما يلى:

$$e_{CA} = \frac{C}{\cos \beta_A} = \frac{0.02}{\cos(20.85)} = 0.0211 \text{ gr}$$

$$e_{CB} = \frac{C}{\cos \beta_B} = \frac{0.02}{\cos(-45.18)} = 0.0264 \text{ gr}$$

وبالتالى فقيمة الزاوية الأفقية المصححة من خطأ عدم التطابق تساوى:

$$\hat{\alpha} = r_A - r_B = 150.4260 - 198.0864 = 198.0600 \text{ gr}$$

مثال (2)

فيما اتجاه أفقى بالوضعين للمناظر، فوجد أن: قراءة الوجه الأول $r_1 = 75.1847$

وقراءة الوجه الثاني: $r_2 = 275.180$ gr

المطلوب :

احسب قيمة الاتجاه وبين فيما إذا كان الجهاز يحمل خطأ عدم التطابق أو لا.

الحل:

تحسب قيمة الاتجاه على النحو التالي:

$$\bar{r} = \frac{r_2 + (r_2 \pm 200 \text{ gr})}{2} = \frac{75.1847 + (275.1807 - 200)}{2} = 75.1827 \text{ gr}$$

$$e_c = \frac{75.1847 - (275.1807 - 200)}{2} = 0.0020 \text{ gr}$$

وبالتالي فإن الجهاز المستخدم يحمل خطأ عدم التطابق لأن $0 \neq 0$

٢ - خطأ عدم تعامد محور دوران المناظر مع المحور الرئيسي:

تعزى أسباب هذا الخطأ إما لصدمه قوية للجهاز أثناء التنقل والعمل الحقلى أو للاستخدام الطويل الأمد للجهاز دون معايرته. وبحسب تأثير خطأ عدم التعامد

على أي اتجاه أفقى مقاس بالعلاقة (3-2) التالية:

$$e_i = i \tan \beta \quad (3-2)$$

حيث:

i- مقدار الميل.

β- زاوية الارتفاع عن الأفق.

يحذف هذا الخطأ أيضاً آلياً برصد الاتجاه بالوضعين للمناظر بعملية الدوران

المضاعف أو بتصحيح الجهاز نفسه من خطأ عدم التعامد هذا.

مثال (3) :

رصدت من النقطة: A بجهاز التيودوليت بحمل خطأ عدم تعامد مقداره $i = 3^{\circ}$ النقطتين C ، B فكانت قيم الاتجاهات الأفقية وزوايا الارتفاع عن الأفق تساوي:

$$\beta_B = 34.06 \text{ gr} , \beta_A = 18.26 \text{ gr} , r_B = 85.2468 \text{ gr} , r_A = 37.1989 \text{ gr}$$

المطلوب:

احسب قيمة $\hat{\alpha} = r_B - r_A$ المصححة من هذا الخطأ.

الحل:

بحسب خطأ عدم التعامد على كل اتجاه مرصود وفقاً للعلاقة (3-2) كما يلي:

$$e_{IA} = i \operatorname{tg} \beta_A = 0.03 \operatorname{tg}(18.26) = 0.0088 \text{ gr}$$

$$e_{IB} = i \operatorname{tg} \beta_B = 0.03 \operatorname{tg}(34.06) = 0.0178 \text{ gr}$$

وبالتالي فإن الاتجاهات الأفقية المصححة هي:

$$\bar{r}_A = r_A - e_{IA} = 37.1989 - 0.0088 = 37.1810 \text{ gr}$$

$$\bar{r}_B = r_B - e_{IB} = 85.2468 - 0.0178 = 85.2290 \text{ gr}$$

وتكون قيمة الزاوية المصححة من خطأ عدم التعامد تساوي:

$$\bar{\alpha} = r_A - r_B = 85.2290 - 37.1810 = 48.0480 \text{ gr}$$

٣ - خطأ عدم شاقوليّة المحور الرئيسي:

يسند تأمين الوضع الشاقولي للمحور الرئيسي لجهاز التيودوليت بعد التمركز به فوق نقطة محددة من سطح الأرض، إلى ضبط الزئبقية الكروية للجهاز بواسطة أرجل الركيزة، ومن ثم تطبيق دورانات على كتلة الجهاز بواسطة بز الات استناد

الجهاز على صحن الركيزة لضبط الزئبقية الحقلية، إن أسباب انحراف المحور الرئيسي عن وضع الشاقول عديدة منها:

- عدم تحقيق التعامد بين دليل الزئبقية والمحور الرئيسي.
- هبوط الجهاز بعد التمركز، لاسيما عندما يتم التمركز فوق أرض هشة أو رخوة دون أن تثبت أرجل الركيزة ثبيتاً جيداً في الأرض الطبيعية.
- صدم الجهاز عند عدم الانتباه من قبل الراصد، الأمر الذي يؤدي إلى انحراف المحور الرئيسي عن وضع الشاقول.
- تأثر الجهاز بدرجات الحرارة العالية أثناء العمل عند الظهيرة، الأمر الذي يؤدي إلى ظهور إجهادات تؤثر على وضع المحور ويعطي خطأ عدم شاقولية المحور الرئيسي بالعلاقة (3-3) التالية:

$$e_v = V \sin r \operatorname{tg} \beta \quad (3-3)$$

حيث:

- V - مقدار انحراف المحور الرئيسي عن الشاقول.
- r - قيمة الاتجاه الأفقي المقاس.
- β - زاوية الارتفاع عن الأفق.

لا يحذف هذا الخطأ برصد الاتجاه بالدوران المضاعف، أو بتصحيح الجهاز نفسه، إنما يمكننا التقليل من تأثيره باعتماد الراصد بعملية الرصد.

مثال (4) :

رصدت من النقطة A بجهاز تيودوليت يحمل خطأ انحراف الشاقول مقداره $n = 2^{\circ}$ في النقطتين B، C فكانت قيم الاتجاهات الأفقية وزوايا الارتفاع عن الأفق متساوية:

$$\beta_B = 24.21 \text{ gr} , \beta_A = -13.25 \text{ gr} , r_B = 65.2356 \text{ gr} , r_A = 27.1832 \text{ gr}$$

المطلوب:

احسب قيمة $\hat{\alpha} = r_B - r_A$ المصححة من خطأ عدم شاقولية المحور الرئيسي.

الحل:

بحسب خطأ الانحراف عن الشاقول لمحور الجهاز على كل اتجاه مرصود وفقاً للعلاقة (3-3) كما يلي:

$$e_{VA} = V \sin r_A \tan \beta_A = 0.02 \sin(27.1832) \tan(-13.25) = -0.0017 \text{ gr}$$

$$e_{VB} = V \sin r_B \tan \beta_B = 0.02 \sin(65.2356) \tan(24.21) = 0.0068 \text{ gr}$$

وبالتالي فإن قيم الاتجاهات الأفقية المصححة هي:

$$\bar{r}_A = r_A - e_{VA} = 27.1832 + 0.0017 = 27.184 \text{ gr}$$

$$\bar{r}_B = r_B - e_{VB} = 65.2356 - 0.0068 = 65.2288 \text{ gr}$$

وبالتالي فإن قيمة الزاوية المصححة من خطأ عدم التعادم تساوي:

$$\bar{\alpha} = r_A - r_B = 65.2288 - 27.1849 = 38.0439 \text{ gr}$$

٤ - خطأ عدم مركزية المحور الرئيسي بالنسبة لمركز تدريج القرص الأفقي:

يفترض أن يمر المحور الرئيسي من المركز الهندسي للقرص الأفقي، إلا أن هذا الشرط لن يكون محققاً مهماً بلغت الأدوات المستخدمة في ذلك من الدقة، يؤثر هذا الخطأ تأثيراً مباشراً على قياس الاتجاهات الأفقية، ويحذف هذا الخطأ بإجراء رصد الاتجاه بالوضعين للمناظر ومن ثم أخذ أو حساب المتوسط الحسابي للقيمتين.

٥- خطأ عدم النظام تدرجات القرص الأفقي:

يعتبر هذا الخطأ نظامياً وعرضياً بآن واحد، فهو عرضي لأنه هناك تباعد بين تدرجات القرص الأفقي على قطاع معين من محيطه، وتقارب بين التدرجات على قطاع آخر، أي أن جزءاً من هذا الخطأ موجب والجزء الآخر سالب "صفات الخطأ العرضي" يمكن حذف هذا الخطأ بتكرار قياس الاتجاه الأفقي عدداً n من المرات وذلك بشرط البدء برصد الاتجاه الأول عند القيمة: $.200 \text{ gr/n}$.

مجالات استخدام التيودوليت :

يستخدم التيودوليت في الكثير من التطبيقات المساحية على اختلاف أغراضها ونذكر منها:

- ١- يستخدم في عمليات الأرصاد الفلكية.
- ٢- يستخدم في الأعمال الجيوبزية.
- ٣- في أرصاد الشبكات المثلثانية بدرجاتها المختلفة.
- ٤- في توقيع المنحنيات.
- ٥- يستخدم في توقيع محاور الطرق وأنباب المياه والصرف الصحي.
- ٦- يستخدم في تخطيط المنشآت الهندسية المختلفة.

تصنيف أجهزة التيودوليت :

تصنف أجهزة التيودوليت وفق ما يلي:

١- التصنيف حسب طريقة رصد القراءة على الدائرة الأفقيه والرأسية:

- ١- التيودوليت ذو الورنية وقد قل استعماله الآن.

-**التيودوليت العادي** (الحديث أو البصري) وهو مزود بميكرومتر لقراءة الدائرة الأفقية والرأسية.

-**التيودوليت الرقمي:** حيث تظهر القراءة مباشرة على شاشة مزود بها الجهاز.

بـ- التصنيف حسب الدقة:

١- **تيودوليات ذات دقة عالية:** وتستخدم في الأرصاد الفلكية وفي رصد زوايا شبكات المثلثات من الدرجة الأولى والثانية. انظر الجدول رقم (3-1).

الجدول (3-1)

قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/الرأسية	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/الرأسية	الوزن (كغ)	قمرة الكبير المنظار	قطر الحافة (مم)		صناعة	اسم التيودوليت
				الأفقية	الرأسية		
0.20/0.10	2	50.0	70	135	240	فليد-سويسرا	T4Wild
0.50	10	12.2	45	100	100	كيرن - سويسرا	DKM3 Kern
0.20	10	8.0	40	76	98	أوتيس - إجلترا	Microptic3
0.50	10	32.0	80	140	200	إسكندينافيك - برلين	Tpr
0.20	8/4	11.0	40	90	135	الاتحاد السوفيتي	T3

-**تيودوليات دقيقة:** وهي تستخدم في رصد زوايا شبكات مثلثات الدرجتين الثالثة والرابعة جدول (3-2).

الجدول (3-2)

قراة الميكرومتر على الدائرة الألقية/ الرأسمية	أصغر قراة على الدائرة الألقية/ الرأسمية	الوزن (كغم)	قوة التكبير للمناظر	قطر الحافة (مم)		صناعة	اسم تيودولييت
				الأفقية	الرأسمية		
1	20	5.5	28	70	90	فليد - سويسرا	T4Wild
1	10	3.6	30	70	75	كيرن - سويسرا	DKM3 Kern
1	20	5.3	31	60	84	زليس بيتا - المانيا	Theo 010
1	20	5.5	30	70	90	زابس المانيا	Th2
1	10	6.5	30	70	90	فينيل - المانيا	FT2
1	10	6.5	30	60	91	موم - المجر	Te-BI MOM
1	20	5.2	25	65	90	الاتحاد السوفيتي	T2
1	10	6.3	28	76	98	لوتينس إنجلترا	Microptics3
1	10	2.5	29	90	90	ليطاليا	TG1 B
1	10	6.0	30	80	94	سوكيشا - اليابان	TM 1 A

٣- تيودولييتات متوسطة وعالية الدقة: وتستخدم في أعمال المضلعات وفي التطبيقات الهندسية المختلفة جدول رقم (3-3) و (3-4).

(3-3) الجدول

قراة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرئيسية	أصغر قراة على الدائرة الأفقية/ الرئيسية	وزن (كغ)	قوة التكبير للمتellar	قطر الحافة (م)		صناعة	اسم التيلوبيوت
				الأفقية	الرأسمية		
10	20	1.8	20	50	50	- كيرن - سويسرا	DKM-1 Kern
20	1	4.2	28	70	89	- كيرن - سويسرا	KI-RA Kern
20	1	5.0	27	65	73	فلد سويسرا	T1-A Wild
30	1	3.5	25	70	78	زايis ألمانيا	Th3
20	1	4.6	30	70	90	إسكنانيا - فيركل - برلين	Tt
10	20	2.6	20	40	80	- موم - المجر	Te-B6 MOM
10	20	3.9	25	55	70	الاتحاد السوفيتي	TT4
20	-	4.5	25	64	89	- أوتيس - إنجلترا	Micropticl
30	-	4.4	30	90	90	إيطاليا	41994
6	-	5.3	30	70	80	- سوكيشا - ليبيان	TM6
10	10	5.2	30	70	80	- سوكيشا -	TM10

						اليابان	
20	-	5.00	30	70	80	سوكيشا - اليابان	TM20
10	1	4.5	28	70	80	فوجي - اليابان	T-205

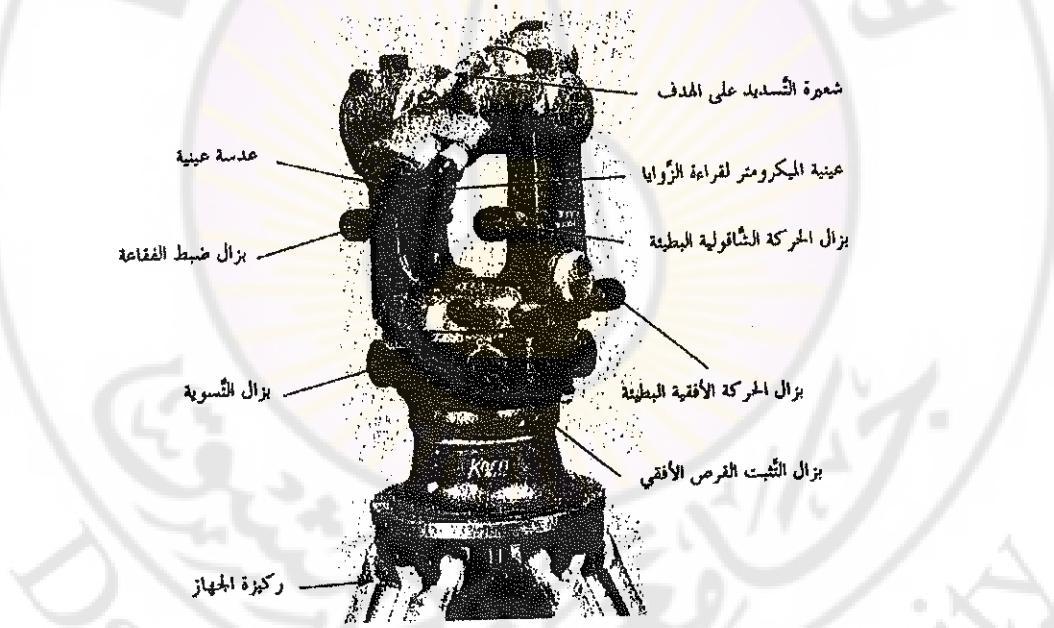
الجدول (3-4)

قراة الميكرومتر على الدائرة الأفقية/ الرأسمية	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسمية	الوزن (كغ)	قوة التكبير للمنظار	قطر الحافة (مم)		صناعة	اسم التيدودوليت
				الأفقيه	الرأسمية		
1	1	4.3	25	74	96	زايis بينا المانيا	Theo 020
1	1	3.6	27	70	95	الاتحاد السوفيتى	T5
1	1	4.8	25	76	84	موم - المجر	Te-D2
1	1	4.7	28	79	79	فليد - سويسرا	T16
1	1	4.3	30	85	89	أوبتون - المانيا	Th4
1	1	4.9	30	70	90	إيطاليا	4150-NE
1	1	5.2	90	90	95	سوكيشا - اليابان	T60 D
1	-	4.3	16	62	62	زايis بيتا - المانيا	Theo 120

- التايكومتر: تعرف كلمة تايكومتر Tacheometer في اللغة اليونانية بالقائس السريع. إن جهاز التايكومتر عبارة عن تيودوليت يقيس الاتجاهات الأفقية والزوايا الشاقولية بدقة أقل من قياسها بجهاز التيودوليت.

كما ويحتوي على تجهيزات لقياس المسافات، وفرق الارتفاعات بالطريقة الغير مباشرة. يتالف جهاز التايكومتر من جزء ثابت يستند على صحن الركيزة، ثبت عليه زينية كروية للضبط التقريري لشاقوليته المحور الرئيسي للجهاز، وجاء متحرك يمثل الأليداد الذي يدور حول المحور الرئيسي.

يبين الشكل (3-8) الأجزاء الرئيسية لجهاز التايكومتر: Kern DK-RV.



الشكل (3-8)

كما ويعرف جهاز التايكومتر بثلاثة محاور أساسية متعامدة هي:

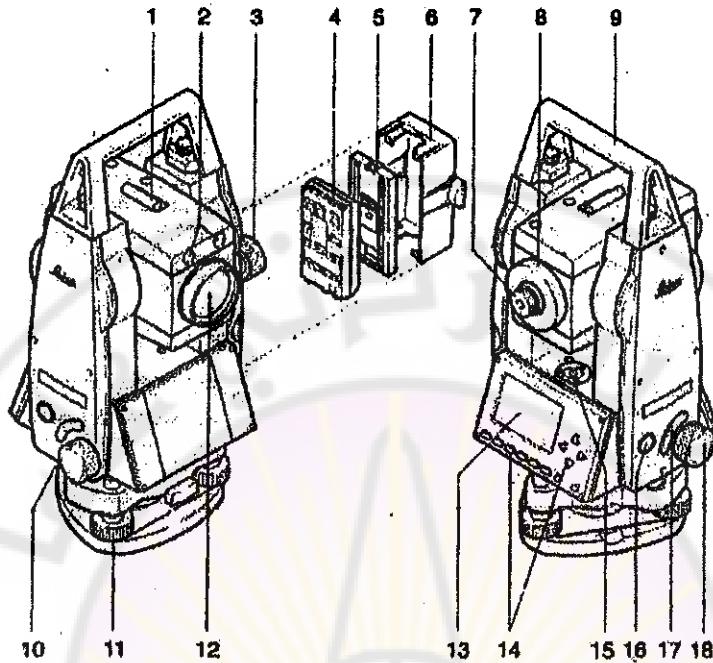
١- محور التسديد: وهو المستقيم الذي يصل بين مركز المحكمة مع المحرق الخارجي لجملة عدسات المنظار.

٢- محور دوران المنظار: وهو الخط الواصل بين نقطتي استناد المنظار على الألياد.

٣- المحور الرئيسي: عبارة عن محور دوران كثلة الألياد وهو عمودي على القرص الأفقي لجهاز التايكومتر.

جهاز المحطة الكاملة : Total station

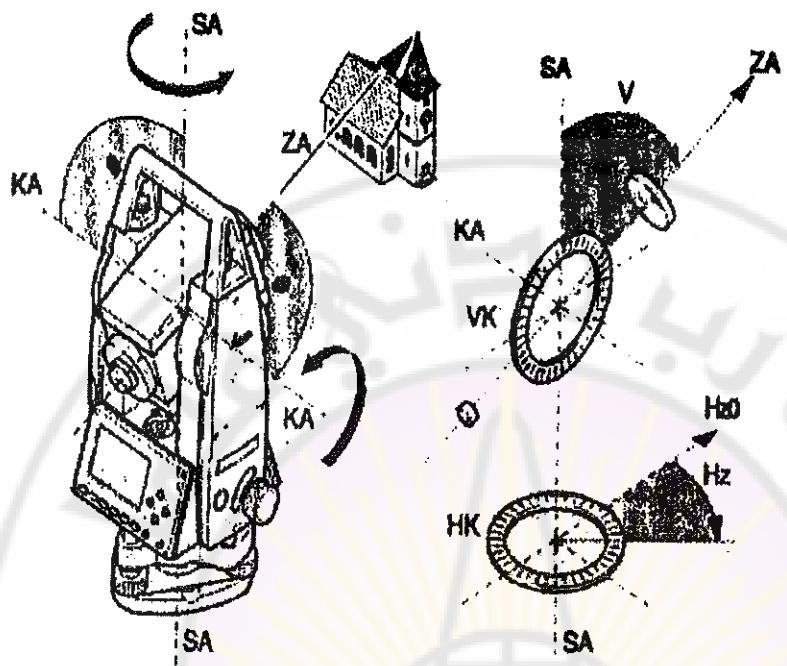
من أحدث الأجهزة المساحية التي أنتجت في الفترة الأخيرة، وهي نتاج للتطور التقني في علوم الإلكترونيات والحواسيب وتصنيع الأجهزة المساحية، كما ويتضمن جهاز المحطة المتكاملة تقنية الرصد والحساب، حيث يمكنه رصد المسافات، وقياس فروق الارتفاعات والاتجاهات الأفقية، والزوايا الشاقولية. وتخزين هذه الأرصاد ضمن ذاكرته الداخلية، أو ذاكرة خارجية، ومن ثم معالجة هذه الأرصاد بواسطة الحاسب الآلي الموجود ضمن الجهاز، كما ويمكن ربط أجهزة المحطة الكاملة بالحاسوب لتغريغ البيانات عن طريق البوابة التسلسليّة وباستخدام البرمجيات الخاصة. يبيّن الشكل (٩-٣) الأجزاء الرئيسية لأجهزة المحطة الكاملة



الشكل (3-9)

- 1-حدسة التوجيه. 2- ضوء توجيه متكامل. 3-لواب الحركة الشاقولية. 4- البطارية.
 5-مسند البطارية. 6- غطاء البطارية. 7- عدسة عينية لتوضيح الشعيرات. 8- لواب
 لتوضيح خيال الجسم المرصود. 9- يد لحمل الجهاز. 10- البوابة التسلسليه. 11- بزالات
 ضبط أفقية الجهاز. 12- حسنة جسمية. 13- شاشة العرض. 14- لوحة المفاتيح.
 14-لوحة المفاتيح. 15- الزنبقية الكروية. 16- مفتاح التشغيل.
 17- مفتاح الزناد (trigger key). 18- لواب الحركة الأفقية.

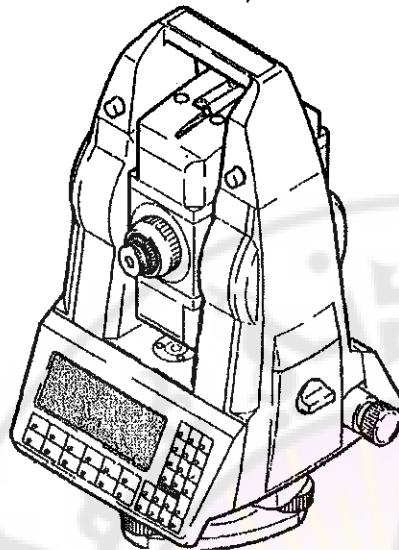
أما الشكل (3-10) فيوضح بعض التعاريف والمصطلحات الخاصة بالجهاز.



الشكل (3-10)

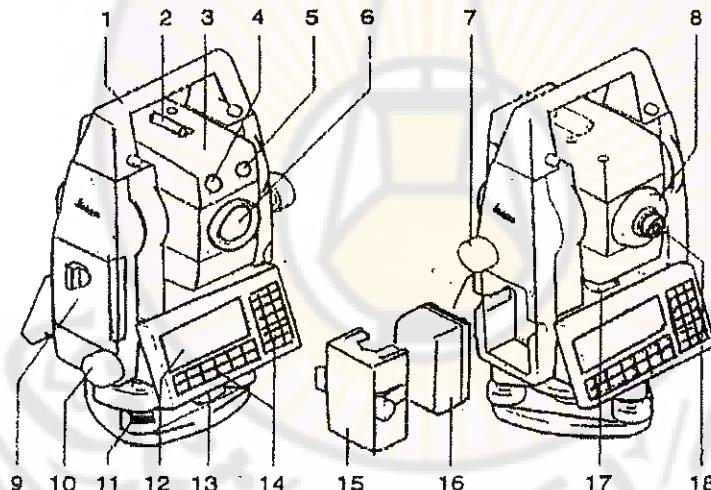
- خط الرؤية. -SA- المحور الرئيسي للجهاز. -KA- محور دوران المنظار.
- زاوية الشاقولية. -ZA- القرص الشاقولي. -VK- الزاوية الأفقية. -HK- القرص الأفقي.
- SD- المسافة المثلثة. -dH- فرق الارتفاع. -hr- ارتفاع العلامة. -H_i- ارتفاع الجهاز.
- إحداثي الأفقي للمحطة. -N₀- الإحداثي الشاقولي للمحطة. -H₀- ارتفاع المحطة.
- إحداثي الشاقولي للشارع. -N- الإحداثي الشاقولي للشارع. -H- ارتفاع الشارع.

يوضح الشكل (3-11) الشكل العام لجهاز المحطة الكاملة Leica TPS 1100 كما يوضح الشكل (3-12) الأجزاء الرئيسية لجهاز المحطة الكاملة Leica TPS .1100



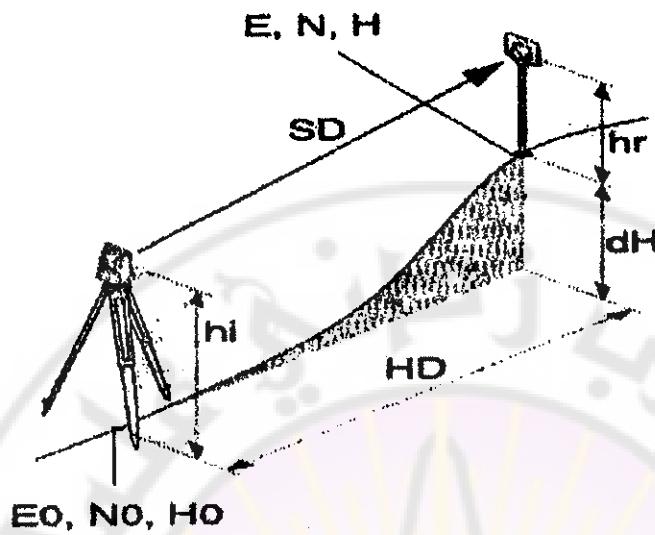
الشكل (3-11)

كما ويبين الشكل (3-13) آلية الرصد بجهاز المحطة الكاملة والشكل (3-14) كيفية التمركز بجهاز المحطة المتكاملة وضبط الزئيفية الكروية. والشكل (3-15) يبين كيفية ضبط الزئيفية الإلكترونية بجهاز المحطة المتكاملة.

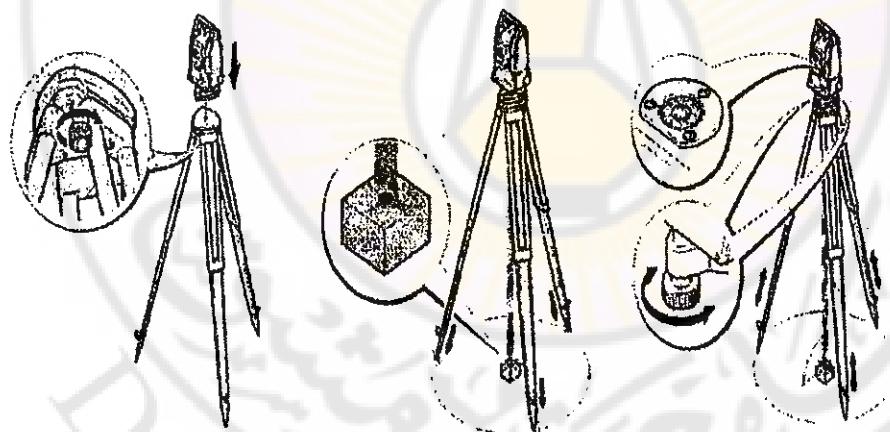


الشكل (3-12)

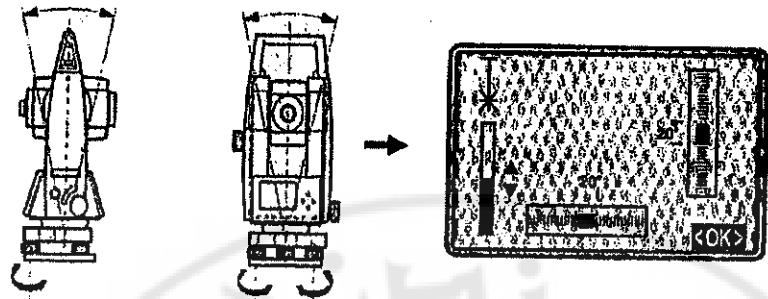
- 1- اليد الحاملة. 2- التسديد المبدئي. 3- التلسكوب مع قياس المسافة. 4- وميض أصفر.
- 5- وميض أحمر. 6- عدسات متعددة المركز لقياس المسافة والزوايا. 7- مفتاح الحركة الرئيسية. 8- توضيح الرؤية. 9- حجرة بطاقة الذاكرة. 10- مفتاح الحركة الأفقية. 11- براغي القاعدة. 12- الشاشة. 13- مفتاح تثبيت القاعدة. 14- لوحة المفاتيح. 15- حامل البطارية. 16- البطارية. 17- ميزان التسوية. 18- علبة يمكن تغييرها.



الشكل (3-13)

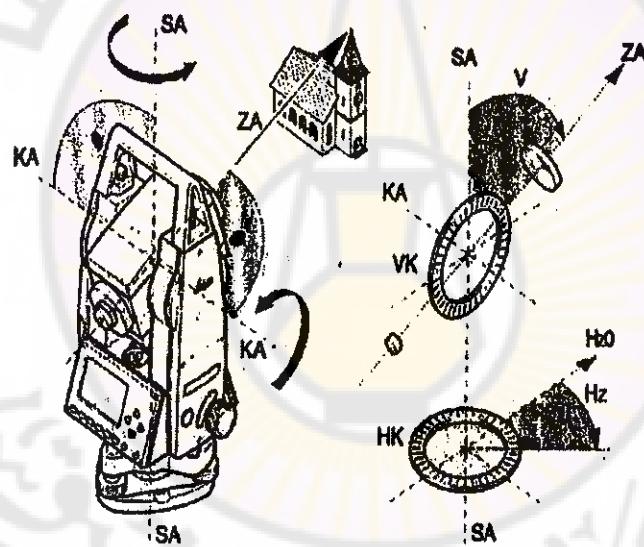


الشكل (3-14)



الشكل (3-15)

والشكل (3-16) يبين بعض التعريفات والمصطلحات الخاصة بجهاز المحطة.

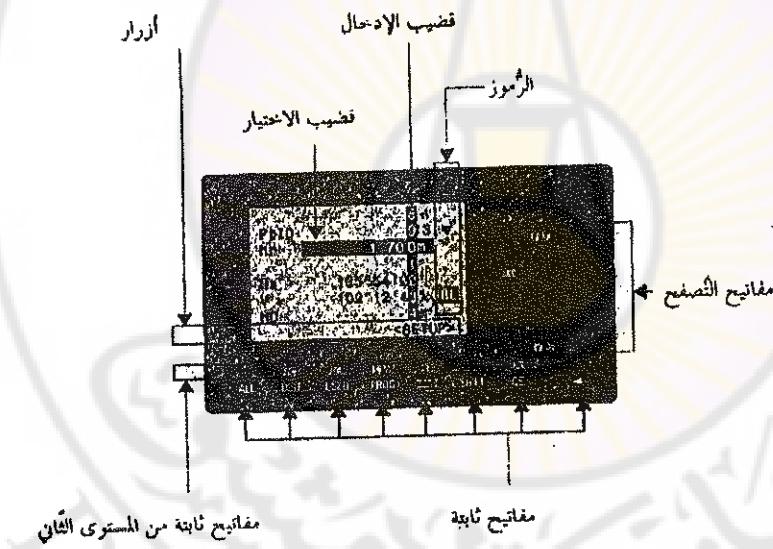


الشكل (3-16)

كما ويبين الشكل (3-17) حامل وعاكس مركب على ثلاثة أرجل. أما الشكل (3-18) فيمثل شاشة لإدخال البيانات وإظهارها في جهاز المحطة الكاملة.



الشكل (3-17)



الشكل (3-18)

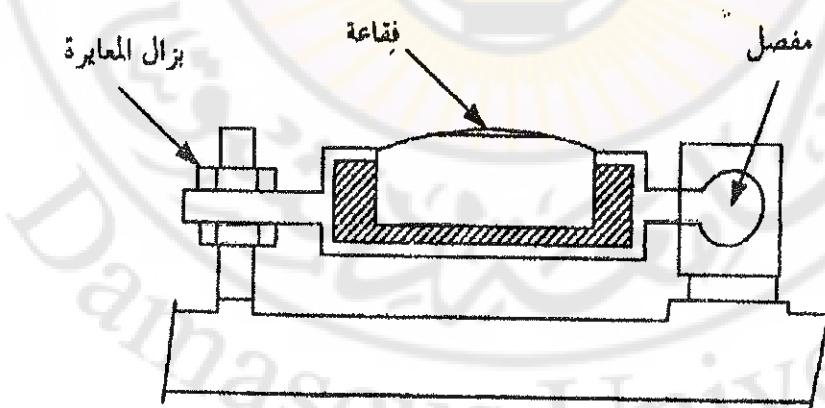
٣-٣ - أجهزة قياس المسافات (الشاقولية):

إن مسألة التسوية المباشرة أو الهندسية تعود إلى تحقيق جهاز يجسد مستوىً أفقياً للرصد. ولدينا في هذا الشأن:

١- إن المستوى الأفقي للرصد يمكن تأمينه وضبطه بواسطة زئبقية.
ونسمى الجهاز في هذه الحالة بجهاز التسوية أو التيفو ذو الذئبية
الحلقية.

٢- إن المستوى الأفقي للرصد يتم آلياً ولا يتدخل المهندس في ضبطه حين
استعماله، ونسمى الجهاز في هذه الحالة بجهاز التسوية أو التيفو الآلي.

يستخدم في التسوية المباشرة (direct leveling) جهاز التيفو والميرا الشاقولية (staff)، حيث يؤمن هذا الجهاز مستوى أفقياً وهما يوازي مستوى المقارنة (المنسوب المتوسط لسطح البحر) ويقاطع مع الميرا الشاقولية في قراءات يمكن من خلالها تعين فرق الارتفاع بين نقطتين. يتالف جهاز التيفو من جزء ثابت يحمل زئبقية كروية (لتأمين وضع شاقولي تقريبي لمحور الجهاز بعد التمركز)، يستند على صحن الركيزة، وجاء متحرك يقبل الدوران حول المحور الشاقولي، ويحمل منظاراً يقبل دوراناً محدوداً حول محور أفقي عن طريق بزال ضبط وضع الزئبقية الحلقة محمولة على المنظار كما في الشكل (19-3).



الشكل (19-3) مقطع في الزئبقية الحلقة.

يركب على الأجهزة المساحية نوعان من الزئبقيات (spirit level).

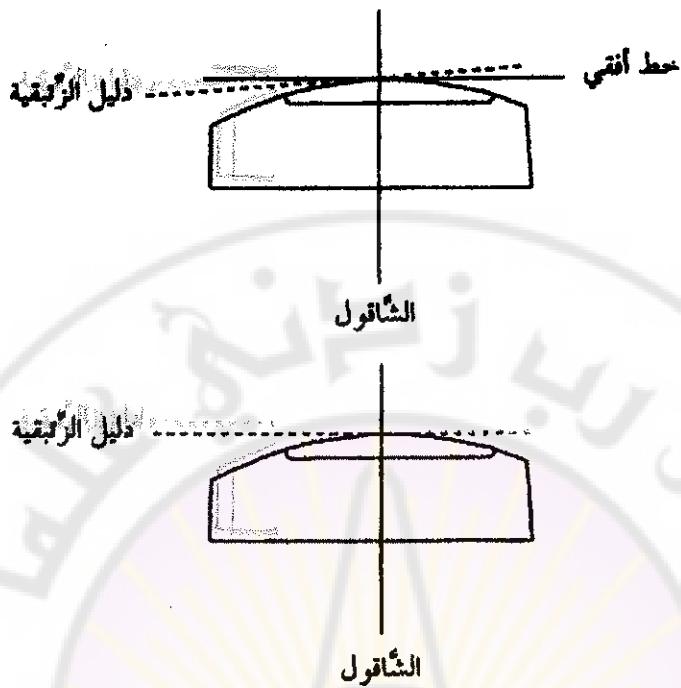
• **الزئبقية الكروية:** عبارة عن وعاء صغير من الزجاج المغلق قاعده

مستوي أفقى، وغطاؤه العلوي عبارة عن سطح كروي مملوء بسائل غير قابل للتجمد من الكحول أو الإيتير (alcohol or ether)، وفقاعة (bubble) من الهواء. توجد دائرة مرسومة في قمة السطح الكروي بحيث أن المستوى المماس لمركزها يكون موازياً لقاعدة الوعاء المستوية، عندما تدخل هذه الفقاعة ضمن الدائرة تكون الزئبقية في الوضع الأفقي، فإذا وضعت فوق سطح ما كقاعدة الجهاز أو ثلاثة الأرجل.. إلخ يكون هذا السطح أفقياً أما في حال تركيبها على الميرا، أو الجالون، أو حامل عاكس الأجهزة الإلكترونية.. إلخ يجعلهم بحالة شاقولية.

• **الزئبقية الحلقة:** عبارة عن جزء من أنبوب شفاف زجاجي دائري الشكل، مملوء بسائل من الكحول أو الإيتير، وفقاعة الهواء، موضوع داخل علبة قاعتها مستوية كما في الشكل (3-20).

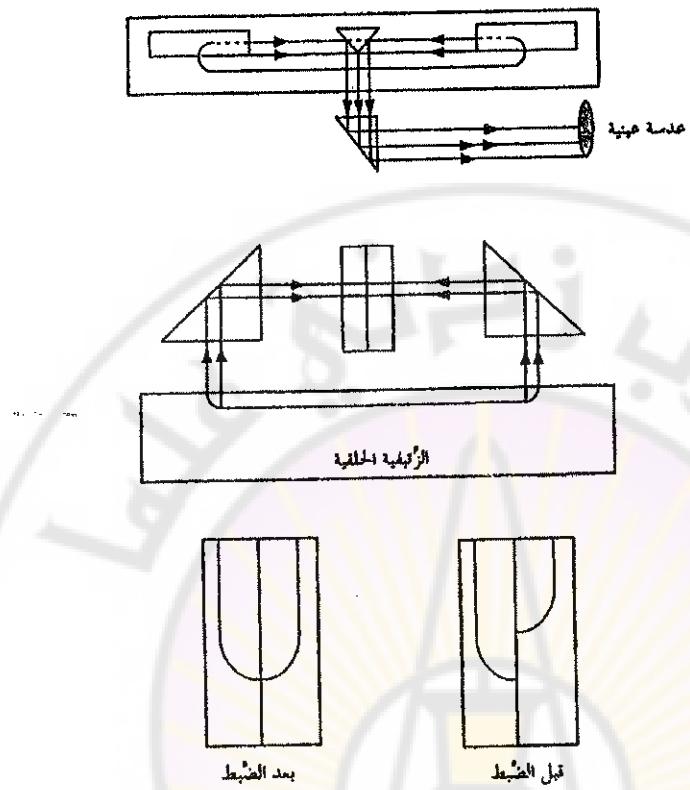
يسمى المستقيم المماس للزئبقية في منتصفها دليل الزئبقي، ويكون موازياً لقاعدة العلبة، ويدرج الأنابيب بجانبي منتصف الفقاعة بخطوط متساوية البعد تدل غالباً على حساسية الزئبقية. عندما يكون دليل الزئبقي أفقياً فإن الفقاعة تكون في منتصف الزئبقي، أي بين حداتها (بين خطين متوازيين بالنسبة لمنتصفها).

وتحقق عندما أفقية دليل الزئبقية كما هو موضح في الشكل (3-20).



الشكل (3-20) أفقية دليل الزئبقية الخلية

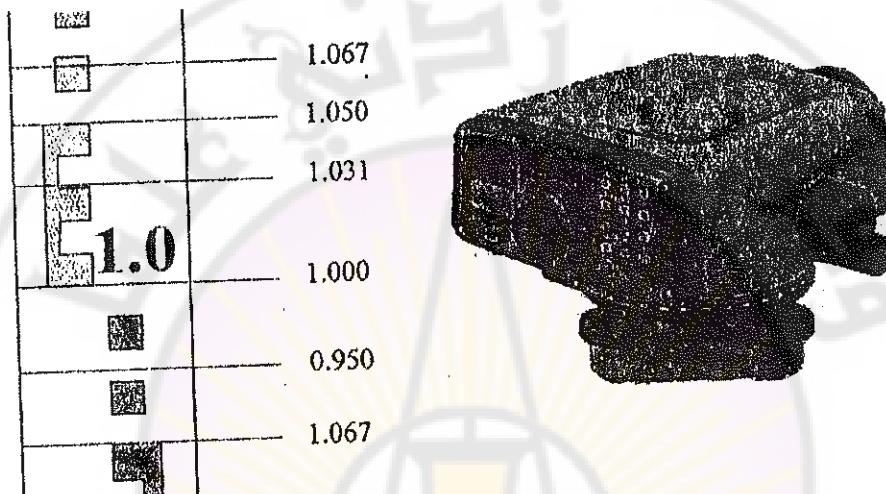
تزود عادة الأجهزة المساحية بزئبقيّة حلقة يمكن ضبطها لتصبح الفناءة بين حديتها تماماً باستخدام موشورين قائمين أو مرتفين يعْكِن كل منهما كسمأ من الزئبقيّة، حيث عندما تكون الفناءة في منتصف الزئبقي يظهر طرفاها على شكل قطع زائد، وإلا يكون كل طرف غير منطبق على الآخر كما يُبيَّن ذلك في الشكل (3-21).



الشكل (3-21) ضبط الزنبقية الحلقة عن طريق مواشير تعكس طرف في الفقاعة.

تعرف الميرا (staff) الشاقولية بأنها عبارة عن مسطرة خشبية أو معدنية يتراوح طولها بين (2-4 m) مدرجة بوحدات المتر وأجزاءه السنتيمتر والديسيمتر، وقد تكون من النوع القابل للطي (folding staff)، أو النوع التلسكوبى المتداخل (telescopic staff). تعين القراءة على الميرا عن طريق تنصيفها بالشعيرة الشاقولية المرسومة على لوح المحكمة في جهاز التيفو، ثم تقرأ القيمة التي تحددها الشعيرة الوسطى على الميرا كما في الشكل (3-22).

ظهرت حديثاً أجهزة التيفو الرقمية كما في الشكل (3-23) التي تمتاز بسهولة الاستخدام وتحتوي على شاشة إظهار رقمية، وذاكرة تخزين للقياسات إضافة إلى إمكانيتها في إجراء بعض الحسابات المتعلقة بأعمال النسوية.



الشكل (3-23) جهاز التيفو الرقمي.

العناية بالأجهزة المساحية:

إن معظم الأجهزة المساحية غالبة الثمن، لذا لابد من المحافظة عليها والعناية بها، ولاسيما أنها تحوي العديد من الأجهزة الدقيقة التي تتأثر مباشرة بأقل صدمة، بحيث يتعذر إعادتها لحالتها أو كفافتها الأصلية. وتعد الرطوبة والغبار من ألد أعداء الأجهزة المساحية، لذا يجب معرفة كيفية المحافظة عليها نظيفة، وفي حالة جيدة، وإجراء الإصلاحات البسيطة لها في الحالات الطارئة. يوضح فيما يلي الإجراءات الواجب مراعاتها للمحافظة على الأجهزة :

- عدم تعریض الجهاز لأشعة الشمس لفترة طويلة، ولاسيما من جانب واحد، لأنها تسبب تمدداً غير متساوٍ في أجزاء الجهاز وتقلل من دقته.

- المحافظة على الجهاز من التغيرات السريعة في درجة الحرارة التي تسبب رطوبة (ضباب) داخل المنظار.
- حماية الجهاز من الأتربة باستخدام غطاء خاص له عند التوقف عن الرصد في الحقل لفترة معينة، لأن الأتربة تفسد محالor الجهاز، وتسبب تأكل أجزائها. عموماً، تستخدم لإزالة الأتربة فرشاة ناعمة من شعر الجمل، ثم يدهن الجهاز بزيت الساعات، ويغفف جيداً حتى لا تترافق الأتربة نتيجة وجود الزيت.
- عدم تعريض الجهاز للمطر والجو الرطب، وإذا تسربت الرطوبة إلى داخل المنظار فقد تسبب غبابة العدسات، و يجعل الرصد مستحيلاً، لذا يجب ترك الجهاز في الشمس، أو في غرفة دافئة لتتبخر الرطوبة تدريجياً. ويحفظ من تأثيرات المياه الماحلة عند استعماله قريباً من شاطئ البحر بدهن الأجزاء الظاهرة منه بطبقة خفيفة من زيت الساعات التي تمنع حدوث التأكسد.
- ثبيت أرجل الركيزة الحاملة للجهاز جيداً في الأرض بالضغط عليها، وجعل انفراجها بالقدر الكافي لثبات الجهاز وعدم تأثره بالرياح والهواء الشديد.
- تلافي تعريض الجهاز إلى الإجهاد ما أمكن عند رفعه من الصندوق، فلا يحمل مثلاً من المنظار، أو القوائم، أو المحاور، بل يجب وضع أحد اليدين تحت القاعدة وسنته باليد الأخرى.
- ربط الجهاز جيداً بالركيزة، والتتأكد من ذلك قبل الاستعمال، فإن لم يقع فقد يتحرك فوق الركيزة أثناء الرصد مما يؤدي إلى الخطأ في الأرصاد.

- التأكد من أن بوز الات القاعدة تكون في م Grahamها بالضبط كي لا يتعرض الجهاز للسقوط من فوق الركيزة عند حمله من مكان آخر.
- وضع الجهاز داخل صندوقه بالوضعية التي تجعله مستقرأً و عدم حشره إضافة إلى عدم شد البوز الات مع جعل بوز الات التسوية في منتصف Grahamها دائمأ.
- عدم لمس عدسات الجهاز لأنها تسبب تكوين طبقة دهنية عليها، هي أسوأ من الأتربة فضلاً عن احتمال خدشها. وتتنظيف العدسات المتتسخة بمسحها بقطعة ناعمة من جلد الشموا أو منديل ناعم مبلل بمزيج متسلو من الماء والكحول، ثم بقطعة جافة ليس بها وبر، مع تفادي تنظيف العدسات كثيراً لعدم خدشها.

٤-٤ - أجهزة قياس المسافات بالطريقة الستاديمترية :

كانت طريقة الخطوط الستاديمترية باستخدام جهاز التاكيومتر قبل ظهور الأجهزة المساحية الحديثة من أسهل الطرق وأكثرها استعمالاً، لاسيما في إعداد المخططات الطبوغرافية لمنطقة محددة، وتوقيع المباني والمنشآت المدنية... وإن أصل كلمة الاستاديا من اللغة الإغريقية أو اليونانية (Greek)، وهي وحدة قياس للمسافة. وتجري القياسات بطريقة الخطوط الستاديمترية وفق الحالتين التاليتين:

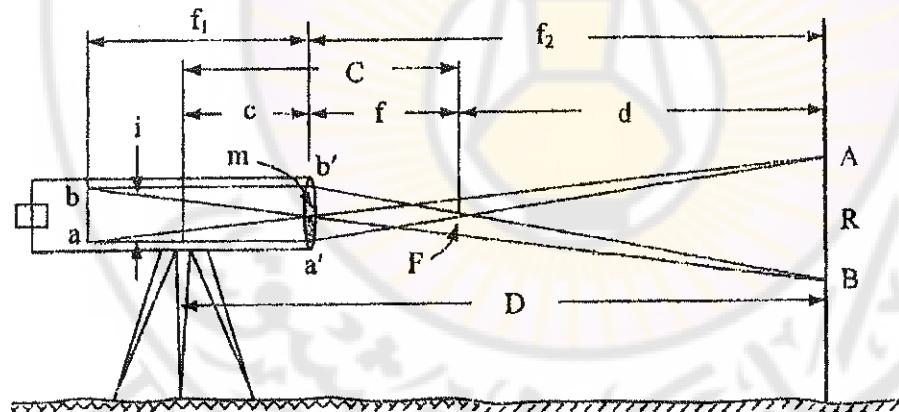
* حالة كون المنظار أفقياً :

تكون في هذه الحالة زاوية الارتفاع أو الانخفاض عن الأفق معروفة، بمعنى أن خط التسديد أفقى كما يبين الشكل (3-24) الذي فيه:

f - البعد المحرقى (focal length) للعدسة (lens) الجسمى.

f_i - البعد المحرقى بين مركز العدسة الجسمية m ومستوى حامل خطوط الاستاديا.

- f₂- المسافة الأفقية بين الميرا ومركز العدسة الشينية.
- i- البعد بين الخطوط المستadiometrie.
- f/i- ثابت جهاز التايكومتر ويساوي عادة 10.
- c- البعد من مركز الجهاز (المحور الرئيسي للجهاز) إلى مركز العدسة الجسمية.
- C- ثابت جهاز التايكومتر الإضافي ويساوي $C=f+c$ وقيمه تترواح بين .30-60cm
- R- المسافة المحددة على الميرا بين الخطوط المستadiستيرية.
- D- المسافة بين الميرا (المحور الرئيسي للجهاز) ومركز الجهاز وتساوي $.D=C+d$



الشكل (24-3) إجراء القياس بطريقة خطوط الاستاديا في حالة المنظار أفقي

نجد من الشكل (24-3) ومن تشابه المثلثات أن:

$$\frac{d}{f} = \frac{R}{i} \Rightarrow d = R \frac{f}{i}$$

و

$$D = R \left(\frac{f}{i} \right) + C \quad (3-4)$$

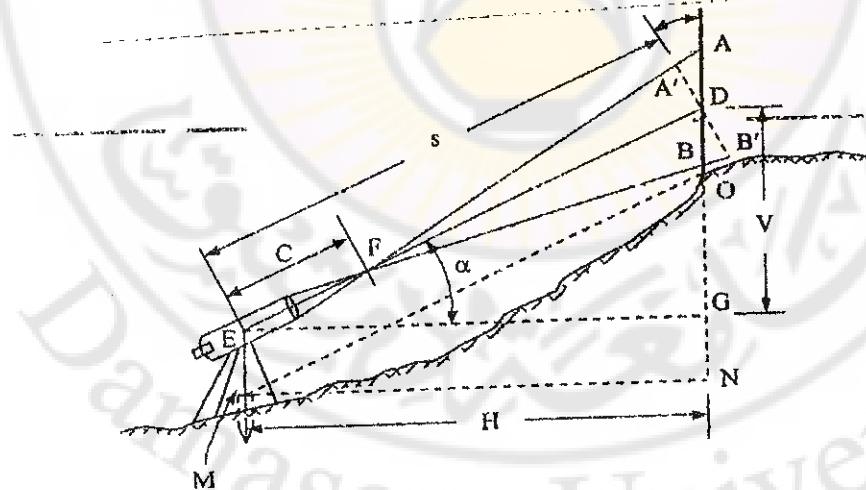
أي أن :

$$\begin{matrix} \text{الثابت} & \text{ثابت} \\ \text{الإضافي} & \text{الجهاز} \end{matrix} + \times \begin{matrix} \text{المسافة} \\ \text{الأفقية} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{الفرق بين القراءتين للخطوط} \\ \text{الستadiمترية على الميرا} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{قراءة الخط stadiometer} & \text{منسوب نقطة} \\ \text{الأوسط على الميرا} & \text{ارتفاع} \end{matrix} - \begin{matrix} \text{نقطة الميرا} & \text{منسوب نقطة} \\ \text{الجهاز} & \text{الجهاز} \end{matrix}$$

* حالة المنظار مائل:

يوضح الشكل (3-25) حالة خط التسديد يميل بزاوية ما، حيث تجري في هذه الحالة رصد قراءات الخطوط stadiometer الثلاثة على الميرا وزاوية ارتفاع خط التسديد عن الأفق أو انخفاضها أثناء الرصد على الميرا.



الشكل (3-25)

وتحل في هذه الحالة المسافة المائلة إلى مسافتين واحدة أفقية وأخرى شاقولية.
يوضع الجهاز في الشكل (3-25) فوق النقطة M والميرا فوق النقطة O التي
يتقطع معها الخط المستقيم الأوسط في النقطة D، لتكون المسافة DO
تساوي ارتفاع الجهاز EM والزاوية الشاقولية هي α .

بفرض أن S تمثل المسافة المائلة ED، و H المسافة الأفقية $MN = EG$ و

المسافة الشاقولية $ON = DG$ نجد:

$$H = S \cos \alpha$$

$$V = S \sin \alpha$$

إذا كانت الميرا عمودية على خط التسديد عند النقطة O فتكون القراءة A'B' أو

R' تساوي:

$$S = R' \left(\frac{f}{i} \right) + C$$

بما أنه من غير العملي وضع الميرا عند زاوية الميل α ، بل ثبتت بشكل
شاقولي، ويتم قراءة المسافة AB أو R. تعد الزاوية α عند النقطة D صغيرة
بقدر يكفي لاعتبار الزاوية AA'D زاوية قائمة (right angle). لذلك:

$$R' = R \cos \alpha$$

$$S = R \left(\frac{f}{i} \right) \cos \alpha + C \quad \text{و}$$

$K = \frac{f}{i}$
بفرض نجد:

$$H = R K \cos^2 \alpha + C \cos \alpha \quad (3-5)$$

تعطى المسافة الشاقولية بالعلاقة التالية:

$$V = S \sin \alpha = \left(R \left(\frac{f}{i} \right) \cos \alpha + C \right) \sin \alpha$$

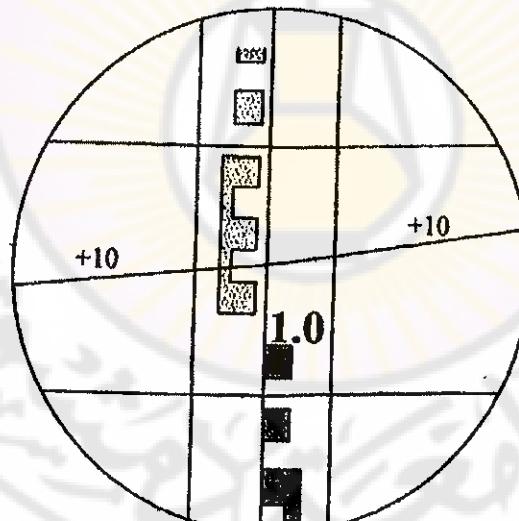
أو

$$V = R \left(\frac{f}{i} \right) \sin \alpha \cos \alpha + C \sin \alpha$$

بتبديل $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ بالعلاقة $\sin \alpha \cos \alpha$ يكون :

$$V = K \cdot R \left(\frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right) + C \sin \alpha \quad (3-6)$$

يحتاج تعين المسافات الأفقية والشاقولية في هذه الأجهزة إلى عمليات حسابية، إلا أن هذه الأجهزة طورت لتبسيط ذلك بالاستعاضة عن الخطوط المستadiometria بمنحنيات تعطي مباشرة المسافات الأفقية والشاقولية دون الحاجة إلى استخدام جيب الزاوية الشاقولية وتجبيها، وقد أطلق على الجهاز الذي يملك هذه الخاصية اسم التايكومتر المحول الذاتي (self-reducing Tacheometer). وي بيان الشكل (3-26) المنحنيات المرسومة على لوح المحكمة في جهاز التايكومتر الذاتي.



الشكل (3-26)

تعطى قيمة المسافة الأفقية D بالعلاقة (3-7) التالية من الشكل (3-27)

$$D = K d \quad (3-7)$$

حيث :

K - ثابت الجهاز ويساوي 100.

d - الفرق بين قراءة المنحني العلوي H والسفلي L لجهاز التاكيومتر على الميرا
كما هو موضح في الشكل (3-27) .

تحسب قيمة فرق الارتفاع بالعلاقة (3-8) التالية:

$$\Delta H = h_c + J - L \quad (3-8)$$

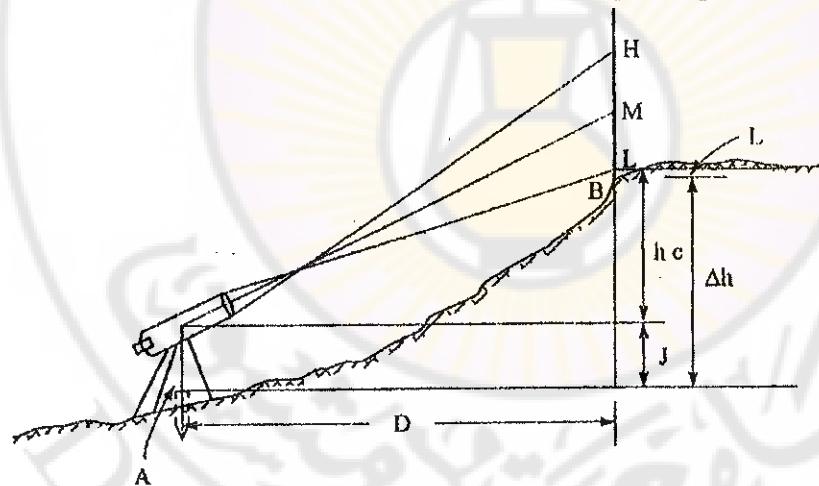
حيث :

h - الفرق بين قراءة المنحني الأوسط والسفلي لجهاز التاكيومتر على الميرا .

c - ثابت تكتب قيمته على المنحني كما في الشكل (3-26).

J - ارتفاع الجهاز .

L - قراءة المنحني السفلي على الميرا .



الشكل (3-27)

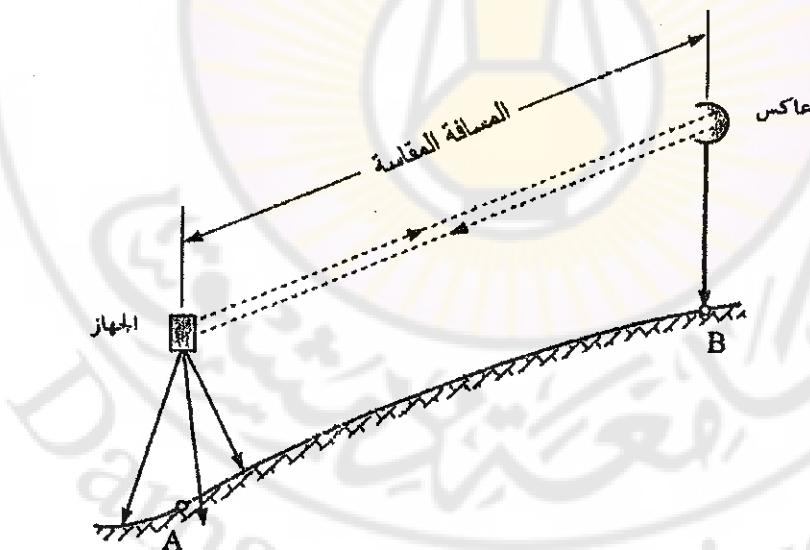
٥-٣ - أجهزة قياس المسافات الإلكترونية :

تعد الطرق الإلكترونية لقياس المسافة (distance) بين نقطتين باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية (electromagnetic waves) من المتطلبات الضرورية حاليًا منذ

ثلاثينيات القرن الماضي، ومع التطور الحاصل في أجهزة القياس الإلكترونية أصبح من الممكن استخدامها بسهولة وبدقة عالية تحقق متطلبات الدقة في الأعمال المساحية والجيوديزية. يستخدم في الوقت الحاضر قائص المسافات الإلكتروني (Electronic Distance Measurement EDM) لتعيين أطوال خطوط القواعد، وأضلاع المضلوعات، وشبكات المثلثات، حيث أصبح بالإمكان بناء هذه الشبكات من المسافات فقط دون إجراء أية قياسات زاوية فيها، وأطلق على هذا النوع شبكات المثلثات مقيسة الأضلاع (trilateration networks).

وتعتمد فكرة القياس بالموجات الكهرومغناطيسية على إيجاد الزمن الذي تستغرقه الموجة الكهرومغناطيسية لقطع المسافة بين نقطتين محددين، حيث يوضع الجهاز فوق نقطة معينة يرسل منه الموجات الكهرومغناطيسية التي ترتد مرة ثانية إلى الجهاز عندما تصطدم بعكس موضوع فوق النقطة الأخرى كما هو ممثل في

الشكل (3-28).



الشكل (3-28)

ويم تسجل الزمن الذي تستغرقه رحلة الذهب والإياب لهذه الموجة. يمكن حساب المسافة D بين النقطتين باستخدام قانون نيوتن بالعلاقة (3-9) التالية:

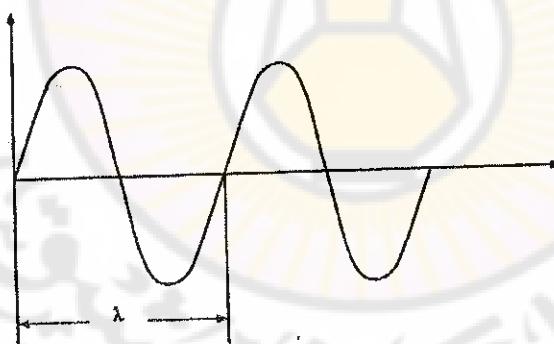
$$D = \frac{1}{2} (V \times t) \quad (3-9)$$

حيث:

- سرعة انتقال الموجات الكهرومغناطيسية في الهواء وقيمتها 299792458 m/sec المساوية لسرعة الضوء .

- الزمن الذي تستغرقه الموجة الكهرومغناطيسية من لحظة الإرسال حتى لحظة استقبالها مرة أخرى في الجهاز .

وتعرف الموجات الكهرومغناطيسية بأنها وسيلة لانتقال الطاقة خلال الفراغ أو المادة، حيث تنتقل الجزيئات الكهرومغناطيسية أثناء عملية الانتقال هذه في مسار تردد يمثل حركة توافقيّة بسيطة يأخذ شكل المنحني الجيبوي (sinusoidal) كما في الشكل (3-29).



الشكل (3-29)

يعرف طول الموجة: λ بأنه المسافة التي تقطعها نقطة نتيجة حركة ترددية مقدارها دورة واحدة، أي:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (3-10)$$

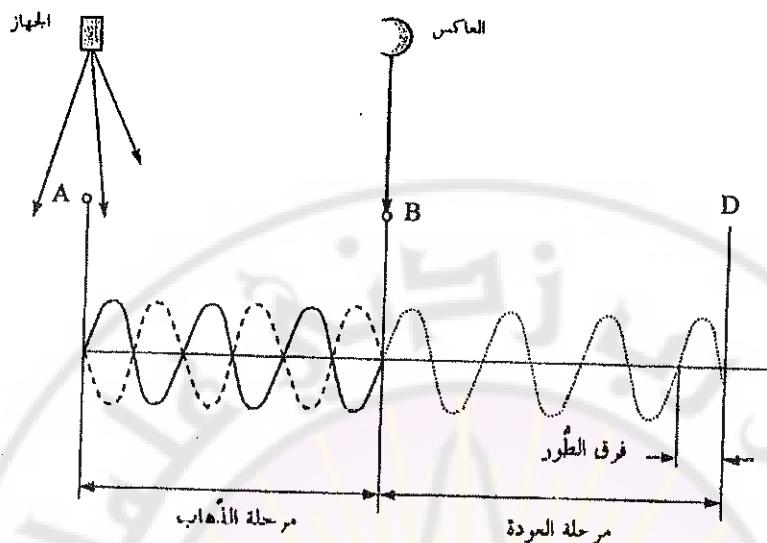
حيث:

V - سرعة انتقال الموجات الكهرومغناطيسية في الهواء.

- التردد للموجة (frequency) وواحدته هي sec^{-1} وتعرف بالهرتز (Hertz)، فإذا ذكر أن تردد الموجة هو واحد هرتز فهذا يعني أن الدورة (cycle) الواحدة تستغرق ثانية واحدة.

وتعتمد طريقة القياس بالموجات الكهرومغناطيسية على مقارنة الطول (phase comparision) لتحديد المسافة بين نقطتين A و B. ويوضع الجهاز عند نقطة البداية A والعاكس عند نقطة النهاية B ثم ترسل الموجات الكهرومغناطيسية من هذا الجهاز حيث تصطدم بالعاكس فترتد لمستقبل الجهاز مرة أخرى وتجرى عملية مقارنة بين طور الموجة المرسلة والمررتدة. إن فرق الطور بين الموجتين يمثل الجزء من طول الموجة الذي تزيد فيه ضعف المسافة المقاسة عن عدد صحيح من الموجات.

يوضح الشكل (3-30) هذه الفكرة. فالموجة الممثلة بخط مستمر من A إلى B هي الموجة المرسلة من الجهاز إلى العاكس، أما الموجة المبينة بخط منقط من B إلى D فهي الموجة المررتدة حيث الجزء الأخير منها يعبر عن فرق الطور (phase difference) الممكن قياسه باستخدام كاشف طور كهربائي سبني من وحدة القياس في الجهاز.



الشكل (3-30)

يتبيّن مما سبق أن المسافة ذهاباً وإياباً تتكون من عدد صحيح n من طول الموجة λ (لتحديد يُجب حل الغموض (resolving the ambiguity) الذي تتم بعدة طرق تبعاً للجهاز المستخدم) إضافة إلى جزء من طولها $\Delta\lambda$ متناسب مع فرق الطور، أي:

$$D = \frac{1}{2}(n\lambda + \Delta\lambda) \quad (3-11)$$

تتوقف المسافة المقاسة بال一波ات الكهروطيسية على طول الموجات المستخدمة وسرعة انتقال هذه الموجات في الهواء أثناء الرصد. تحسب عادة سرعة الموجات (wave velocity) الكهروطيسية ضمن شروط نظامية من حيث درجة حرارة الهواء 0°C (air temperature)، والضغط الجوي (atmospheric pressure) 760 mmHg، والضغط الجزئي لبخار الماء في الجو (partial pressure) 100%.

فإذا تم الرصد بالجهاز في ظروف جوية تختلف عن الشروط النظامية يجب إدخال تصحيحات لسرعة الموجات. ويُخفض الغلاف الجوي من سرعة الموجات الكهرومغناطيسية تبعاً للتغير الشروط النظامية، كما يسبب انكساراً في الأشعة يجعلها تتخذ مساراً منحنياً بدلاً من أن يكون مستقيماً.

تعطى العلاقة بين سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ (V_0) و معامل الانكسار (n) والسرعة الفعلية للموجات V بالمعادلة (3-12) التالية:

$$V = \frac{V_0}{n} \quad (3-12)$$

وتحدد في البداية عند استخدام الموجات الكهرومغناطيسية الضوئية في أجهزة القياس قيمة معامل الانكسار n_g ضمن الشروط النظامية في معادلة باريل وسيرس (Barrell and Sears equation) (3-13) التالية:

$$n_g = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{\lambda^2} + \frac{0.068}{\lambda^4} \right) 10^{-6} \quad (3-13)$$

حيث:

λ - طول الموجة الكهرومغناطيسية المستخدمة.

ويكون تأثير الأحوال الجوية وقت الرصد على معامل الانكسار n_g معطى بالعلاقة (3-14) التالية:

$$n_g = 1 + \frac{0.359474(n_g - p)}{273.2 + t} - \frac{1.5026e(10^{-5})}{273.2 + t} \quad (3-14)$$

حيث:

p - الضغط الجوي مقدرة بـ mm Hg

- درجة حرارة الهواء t $^{\circ}\text{C}$

- ضغط بخار الماء بوحدة mmHg

بحسب معامل الانكسار n_r في الأجهزة التي تستعمل الموجات الكهرومغناطيسية

المتناهية القصر (microwave) من المعادلة (3-15) التالية:

$$(n_r - 1)10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t} (p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t} \left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right) e \quad (3-15)$$

حيث:

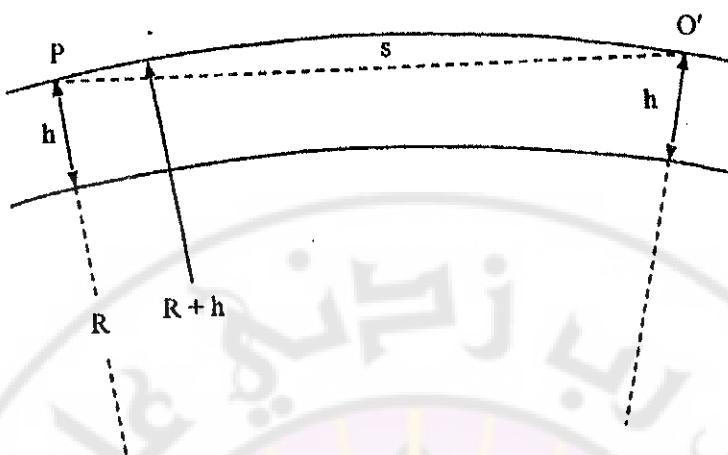
- الضغط الجوي مقدراً بـ mm Hg

- درجة حرارة الهواء t $^{\circ}\text{C}$

- ضغط بخار الماء بوحدة mmHg

يجب الإشارة إلى أن تأثير ضغط بخار الماء في الجو يكون صغيراً جداً في الأجهزة المستخدمة للموجات الضوئية ويمكن إهماله، بينما يكون تأثيره كبيراً في الأجهزة التي تستخدم فيها الموجات المتناهية في القصر، ولا يمكن تجاهله عند القياس الدقيق للمسافات حيث تأثيره يكون أكبر من تأثير كل من التغييرات في درجات الحرارة والضغط الجوي.

ويأخذ مسار الأشعة (ray path) عند إجراء الرصد شكلاً منحنياً بسبب عدم ثبات كثافة الهواء في طبقات الجو المختلفة بدلاً من المسار المستقيم المباشر بين الجهاز والعاء، كما يبين ذلك الشكل (3-31).



الشكل (3-31)

يتعلق تصحيح المسافة المقاسة s بمعامل الانكسار في الهواء k (coefficient of refraction in air) (قيمه تقريرياً 0.13 في النهار، و 0.20 بالليل، و 0.25 للموجات متناهية القصر)، وبنصف قطر الأرض R : حيث يعطى هذا التصحيح بالعلاقة (3-16) التالية:

$$PO' - s = \frac{k^2 s^3}{24R^2} \quad (3-16)$$



الفصل الرابع
قياس المسافات





٤-١- القياس المباشر والقياس غير المباشر للمسافات:

نقول عن المسافة بين نقطتين: A,B أنها قد قيست بشكل مباشر، عندما نكون قد انتقلنا مع جهاز القياس، على طول المسافة: A , B . وعادة ما يكون شريط القياس بأطوال تصل حتى: M 50 ويمكن أن يصنع من الكتان، أو كتانية مسلحة بأسلاك معدنية قليلة التمدد، والتأثر بالظروف الخارجية. أو شريط فولاني أو شريطًا من مادة الإلفار، وتحسب المسافة بين النقطتين: B ، A الشكل (4-1)

للقياس المباشر بالعلاقة (4-1) :

$$D = n \cdot l + r \quad (4-1)$$

حيث:

- المسافة المقاسة بين النقطتين A , B

- عدد مرات نقل جهاز القياس (الشريط).

- طول الشريط المستخدم في عملية القياس.

- الطول أو المسافة المتبقية، من المسافة المقاسة، والتي هي أصغر من طول الشريط المستخدم .



الشكل (4-1)

ونقول إننا قسنا المسافة AB قياساً غير مباشراً، عندما نكون قد حصلنا على قيمتها، دون الانتقال بجهاز القياس، على طول تلك المسافة. وهناك عدة طرق للقياس غير المباشر للمسافات منها:

١- الطريقة стадимترية.

٢- الطرق الإلكترونية.

فللحصول على قياس المسافات، بالطريقة стадيمترية، لجعل من المسافة المطلوب قياسها، عنصراً طولياً في شكل هندسي أشمل. نقىس فيه، عناصر

خطية أو زاوية، تمكننا من حساب كافة عناصر الشكل، وبالتالي الحصول على قيمة المسافة المطلوبة، غالباً ما يكون الشكل الهندسي، الحاوي للمسافة المطلوبة مثلاً إما قائم الزاوية أو متساوي الساقين، ارتفاعه المسافة المطلوب قياسها.

أما قياس المسافات بالطرق الإلكترونية، فيتم استعمال أجهزة مختلفة أغلبها يستخدم الموجات الكهرومغناطيسية. أو أشعة الليزر، أو الأشعة تحت الحمراء، ويعتمد القياس على إطلاق أحد الأشعة من جهاز الإرسال المتواضع فوق بداية المسافة: A ثم استقباله بعد أن ينعكس على العاكس المتواضع في نهاية المسافة B كما في الشكل (4-2) ومن معرفة سرعة الأشعة والزمن الفاصل بين لحظة إطلاق الأشعة ولحظة عودتها: t يمكن حساب المسافة S بين النقطتين AB

بالعلاقة (4-2) وهي :

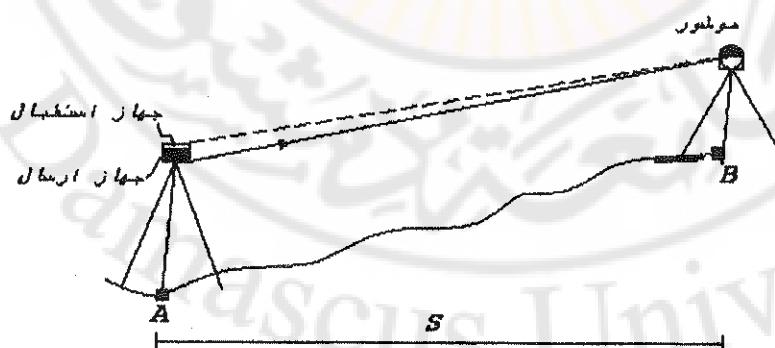
$$S = V \frac{t}{2} \quad (4-2)$$

حيث :

S - المسافة المطلوب قياسها.

V - سرعة الموجة المستخدمة.

t - الزمن الفاصل بين لحظة إطلاق الأشعة ولحظة عودتها.



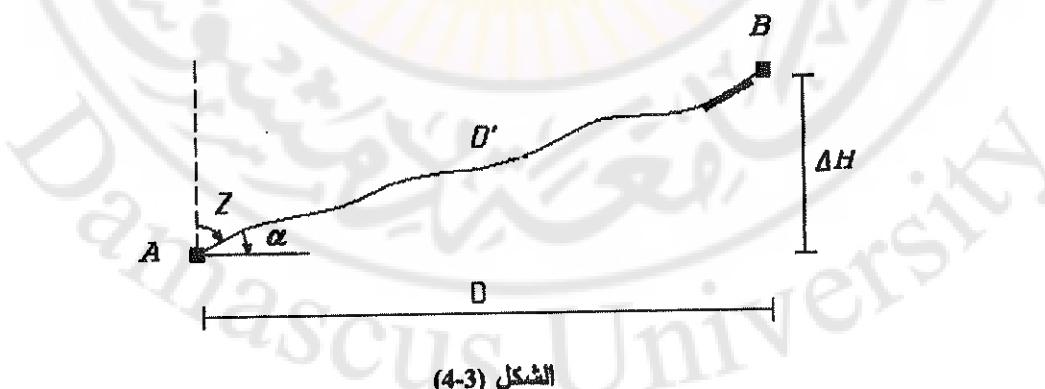
الشكل (4-2)

ولنظراً لصعوبة تحديد زمن إطلاق واستقبال موجة الأشعة، يستعاض عن قياس الزمن بحساب فرق الصفحة بين الموجة المرسلة والموجة المستقبلة.

و عند استخدام الشريط في القياس المباشر للمسافة نميز بين :

١ - الأرض الأفقية أو ميلها قليل : يقوم بهذه العملية شخصان نسميهما القياسيين. حيث يقف الأول ومعه بداية الشريط في نقطة البداية، أما الثاني فينتقل على استقامة المسافة المقاسة بتوجيه من الشخص الأول. ويتم ذلك بالنظر إلى شاخص مغروس بشكل شاقولي في نهاية المسافة، وبعد شد الشريط بشكل مناسب يضع الشخص الثاني أو تاداً عند نهاية الشريط ينتقل إليه القياس الأول، وهكذا حتى نهاية أو إتمام المسافة المطلوب قياسها.

٢ - أرض مائلة بالتنظيم: إذا افترضنا أن ميل الأرض منتظم، أو قريب من المنتظم بين النقطتين A,B المراد حساب المسافة بينهما، كما في الشكل (4-2). كمسافة مقاسة على طريق، أو أرض ممدة، عندما تقام المسافة بالانتقال على سطح الأرض المائلة، وتكون النتيجة هي المسافة المائلة- D' للحصول على المسافة الأفقية D يجب معرفة ميل الأرض أو الزاوية α أو z . أو فرق الارتفاع ΔH بين النقطتين A,B. بحيث يمكننا أن نحسب التصحيف الواجب طرحة من D' للحصول على المسافة الأفقية D .



$$D = D' - c \Rightarrow c = D' - D = D' - D' \cos \alpha$$

$$c = D'(1 - \cos \alpha) = 2D' \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (4-3)$$

إن العلاقة السابقة (4-3) تسمح لنا بحساب التصحيح c بدلالة D' و α .

أما لحساب التصحيح بدلالة D' و Δh نكتب

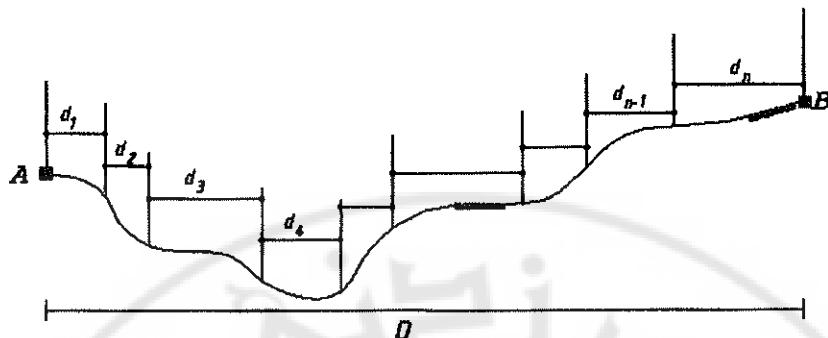
$$\begin{aligned} c &= D' - D = D - D' \cos \alpha \\ &= D'(1 - \cos \alpha) = D'(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}) \\ &= D'\left(1 - \sqrt{1 - \frac{(\Delta h)^2}{D'^2}}\right) \end{aligned} \quad (4-4)$$

وبنشر العلاقة السابقة (4-4) نحصل على العلاقة (4-5) :

$$c = \frac{(\Delta h)^2}{2D'} \quad (4-5)$$

٣- حالة أرض ذات ميل غير منتظمة (متعرجة): في هذه الحالة يتم القياس برفع الشرط بالشكل المناسب، لكي يأخذ وضعًا أفقياً، ويتم تجزئة المسافة بين النقاطين: A,B وذلك تبعاً لطبيعة الأرض. ويستخدم خيط المطمار (الشاقول) للمساعدة في قياس الأجزاء المختلفة. وبالتالي فمجموع أطوال الأجزاء المقاسة : D_i يعطي بالعلاقة التالية (4-6) بشكل طول المسافة المطلوب قياسها AB أي كما في الشكل (4-4) :

$$\overline{AB} = \sum_{i=1}^{i=n} D_i \quad (4-6)$$



الشكل (4-4)

* عند استخدامنا لشريط القياس لتعيين المسافة بين نقطتين نميز:

أ- الرؤية واضحة بين النقطتين المراد قياس المسافة بينهما :

يتم القياس في هذه الحالة على الاستقامة، بين النقطتين، ولتحقيق ذلك نستعمل الشواخص لهذه الغاية. إذ يوضع شاخص في نهاية المسافة، ويقف شخص خلف شاخص آخر متواضع في بداية المسافة، بحيث يرى الشواخصين متطابقين، ثم يقوم بتوجيه حامل الشريط الذي يقوم بالقياس، كي لا ينحرف عن الاستقامة بين نقطتي البداية والنهاية أي كما في الحالات الثلاث السابقة.

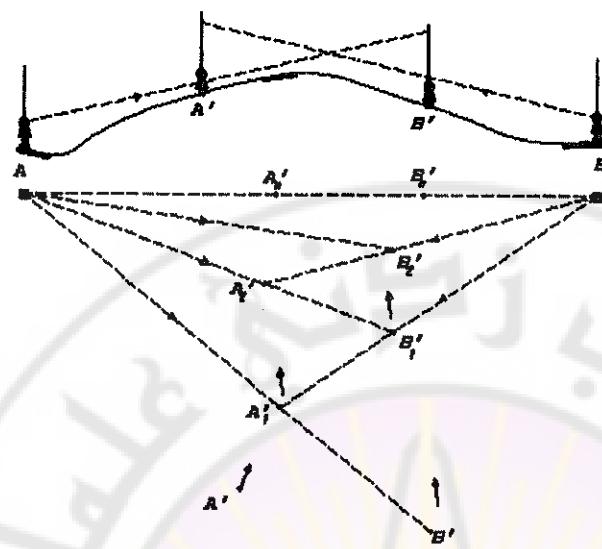
ب- نهايتها المسافة المطلوب قياسها غير مرئية الواحدة من الأخرى.

المطلوب قياس المسافة بين النقطتين A,B الواقعتين على جانبي هضبة الشكل (4-5). لهذا يقوم أربعة أشخاص بالعمل. كل منهم يحمل شاخصاً. يقف أحدهم عند النقطة A والثاني عن النقطة B وينشر الشخصان الآخران على الهضبة بحيث :

١- يرى كل منهما الآخر .

٢- يرى الشخص A' الشخص A . ويرى الشخص B' الشخص B.

٣- يرى الشخص A' الشخص B ويرى الشخص B' الشخص A' .



الشكل (4-5)

يقوم بدأياً الشخص A بتوجيه الشخص A' للانتقال إلى النقطة A' وذلك بحيث يرى الشاهختين (A', A'') (B'') على استقامة واحدة. ثم يقوم الشخص B بتوجيه الشخص B' للانتقال إلى النقطة B' وذلك بحيث يرى الشاهختين: (A'', B'') (A', B') على استقامة واحدة. ثم يقوم الشخص A بتكرار العملية السابقة وكذلك الشخص B عدداً n مرّة إلى أن يرى كل من الشخصين A , B ، الشاهختين : (B'', A'') على استقامة واحدة.

٤-٢ - الأخطاء النظامية في القياس المباشر للمسافات:

١- خطأ التغيير : إن الجهاز المستعمل هو شريط القياس ذو الأطوال: 10-20-30-50M وقد لا يكون له هذا الطول بالضبط، فينتج عن ذلك خطأ نظامي، يتراكم بتكرار القياسات. وللتلافي هذا الخطأ يتم تغيير الشريط، وذلك بمقارنته مع شريط آخر (قياس) يعتبر مضموماً وفق العلاقة (4-7) ثم نأخذ خطأ التغيير

بعين الاعتبار، فإذا قيست مسافة ما D بواسطة هذا الشريط فإن المسافة الناتجة ستحمل خطأً نظامياً مقداره يعطى بالعلاقة (4-8) التالية:

$$e_s = L_0 - L \quad (4-7)$$

حيث:

- L_0 - الطول الاسمي للشريط المستخدم .

- L - الطول الفعلي للشريط المستخدم .

- e_s - خطأ التغيير للشريط .

$$E_s = n \cdot e_s \quad (4-8)$$

حيث :

n - عدد المرات، التي استعمل فيها شريط القياس، لقياس المسافة .

e_s - الخطأ النظامي، لشريط القياس ويمكن أن يكون موجباً أو سالباً :

- E_s - الخطأ النظامي لمسافة المقاسة نتيجة عدمأخذ خطأ التغيير بعين الاعتبار .

والحصول على دقة في القياس يجب علينا تغيير الشريط من وقت لآخر: إن التعديل لشريط عادي طوله M 20 يتم بخطأً متوسط تربع قدره $\pm 3 \text{ MM}$. بينما

في الأشرطة الدقيقة $\pm 0.8 \text{ MM}$.

٢ - خطأ الانحراف عن الاستقامة: لنفرض أننا نريد قياس المسافة بين النقطتين A,B المبينة في الشكل (4-6) ولكن أثناء القياس ولسبب ما انحرفنا عن هذا

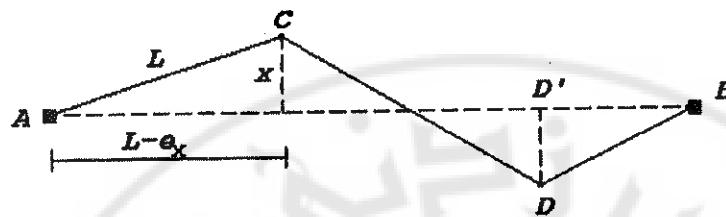
الاتجاه فقسنا حسب الخط المنكسر: AC'D'B بدلاً من

إذا حدث انحراف عن الاستقامة قدره χ . يحدث خطأً نظامي e_x يمكن حسابه.

وأن قيمة هذا الخطأ دائماً سالبة أي أن الانحراف عن الاستقامة يؤدي إلى قياس مسافة أكبر أو أطول من المسافة الحقيقية. فحسب الشكل (4-6) ومن المثلث

حسب فيثاغورث نكتب:

$$L^2 = x^2 + (L - e_x)^2 = x^2 + L^2 + e_x^2 - 2Le_x \quad (4-9)$$



الشكل (4-6)

وبما أن الخطأ e_x صغير يمكننا إهمال مربعه، فتصبح العلاقة السابقة (4-9) بالشكل (4-10) :

$$x^2 = 2Le_x \Rightarrow e_x = \frac{x^2}{2L} \quad (4-10)$$

وبالتالي فالخطأ في قياس مسافة ما، نتيجة لانحراف عن الاستقامة يعطى بالعلاقة (4-11) التالية :

$$E_x = n \cdot e_x \quad (4-11)$$

حيث :

- خطأ الانحراف عن الاستقامة لمرة واحدة من استخدام الشريط.

- عدد المرات التي استخدم فيها الشريط .

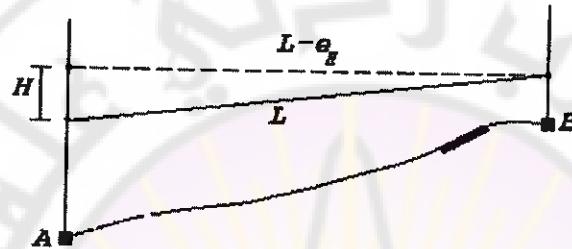
- خطأ الانحراف عن الاستقامة ل الكامل المسافة المقاسة بشرط القياس .

ومن العلاقة السابقة، يمكننا تحديد قيمة الانحراف المسموح به، عن الاستقامة χ بدلالة، خطأ معروف e_x بالعلاقة (4-12) :

$$\chi = \sqrt{2 \cdot L \cdot e_x} \quad (4-12)$$

٣- خطأ عدم أفقية الشريط: إن هذا الخطأ شبيه بخطأ الانحراف عن الاستقامة (الشكل 4-7) إذ إنه عند قياس المسافات في الأرضي المائلة والمترجة، يجب علينا أن نجعل الشريط أفقياً بالتقدير. وبهذا نرتكب خطأ نظامياً. لأن الطول المقاس، هو دوماً أكبر أو أطول من القياس الحقيقي. ويعطى هذا الخطأ بالعلاقة :

(4-13)



الشكل (4-7)

$$e_H = \frac{H^2}{2L} \quad (4-13)$$

حيث :

- مقدار الانحراف عن الأفق .

- الطول الفعلي للشريط .

- خطأ الانحراف عن الأفق لمرة واحدة لاستخدام الشريط.

e_H - خطأ في قياس المسافة، نتيجة عدم أفقية الجهاز يعطى بالعلاقة التالية :

$$E_H = n \cdot e_H \quad (4-14)$$

حيث :

- عدد مرات استخدام الشريط .

e_H - خطأ الانحراف عن الأفق لمرة واحدة .

E_H - خطأ عدم أفقية الشريط للمسافة المقاسة كاملة .

ونستطيع أن نعتبر أن الأرض أفقية (أي نهمل ميلها) في الأرض التي لا يتعدي ميلها: 2% تقريرياً.

٤- خطأ الحرارة خطأ الظروف الخارجية: إن هذا الخطأ شبيه بخطأ التعبير، إذ إن معدن أو مادة الشريط يتمدد أو يتقلص نتيجة للتغير في درجة الحرارة. لذا فإن طوله L المسجل عليه هو طوله الفعلي أو الحقيقي في درجة حرارة معايرته وهي بشكل عام: $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$. فإذا قياس مسافة ما D في وقت، كانت فيه درجة الحرارة t فبمعرفتنا لمعامل التمدد الحراري لمادة الشريط: γ فإن طول الشريط سيختلف بمقدار ثابت يحسب من العلاقة (4-15)

$$e_t = L \cdot \gamma \cdot (t - t_0) \quad (4-15)$$

حيث:

L - الطول الفعلي للشريط .

γ - معامل التمدد الطولي لمادة الشريط.

t - درجة حرارة الشريط في لحظة الاستعمال .

$t_0=20^{\circ}\text{C}$ - درجة حرارة معايرة الشريط .

e_t - خطأ تأثير درجة الحرارة على شريط القياس.

ويجب الانتباه إلى أن درجة الحرارة t في العلاقة السابقة هي درجة حرارة الشريط، وليس درجة حرارة المحيط الخارجي. وبالتالي فالخطأ في قياس مسافة ما، نتيجة الظروف الحرارية يعطى بالعلاقة التالية:

$$E_t = n \cdot e_t \quad (4-16)$$

حيث:

n - عدد مرات استخدام الشريط .

e_t - خطأ تأثير درجة الحرارة على الشريط المستخدم لمرة واحدة فقط .

E_t - خطأ تأثير درجة الحرارة على المسافة المقاسة كاملة .

هذا الخطأ يكون موجباً، أي يجب إضافته على المسافة المقاسة، إذا كانت درجة حرارة الشريط أثناء القياس أكبر من درجة حرارة تعبيره، والعكس إذا لم يتحقق

هذا الشرط، ويكون هذا الخطأ مهماً عند استعمال أسلاك الاتصال في القياس، بسبب كون معامل التمدد الحراري لمعدن الاتصال منخفضاً أو صغيراً جداً أو شبه معدوم.

* الأخطاء العرضية في القياس المباشر للمسافات ودقة القياسات المباشرة بالشريطة:

إن أهم الأخطاء العرضية في القياس المباشر هي:

- ١ - خطأ انحراف السبيخ أو الوتد عن الاستقامة.
- ٢ - خطأ انحراف السبيخ أو الوتد عن الشاقول.

إن هذه الأخطاء، تكون موجبة تارة وتارة سالبة. وإن العلاقة في القياسات المباشرة للمسافات تتبع بشكل عام صعوبة. ووعورة الأرض. التي يجري عليها القياس. وكذلك عناية الأشخاص الذين يقومون بالقياس.

٤-٣- تقييم دقة القياسات المباشرة للمسافات:

لرمز e_s للخطأ المتوسط التربيعي لواحدة الطول، فيكون الخطأ المتوسط التربيعي لمسافة L العلاقة (4-17) وذلك حسب قانون انتشار الأخطاء المتوسطة التربيعي معطى بالعلاقة التالية :

$$M_s = e_s \sqrt{L} \quad (4-17)$$

إن الأخطاء النظمية لا تدخل في العلاقة السابقة، ومن المفترض أخذها بعين الاعتبار فإذا رمزنا بـ e_s لمحصلة الأخطاء النظمية في واحدة الطول. فيكون الخطأ النظامي الناتج عن قياس مسافة : L معطى بالعلاقة:

$$M_s = e_s \cdot L \quad (4-18)$$

وبالتالي فالخطأ النهائي العلاقة (4-19) على قياس مسافة بالشريط يعطى
بالعلاقة:

$$M = e_s \cdot \sqrt{L} + e_s \cdot L \quad (4-19)$$

وعندما تكون المسافة المقاسة $M = 100$ $L = 100$ نسمى الخطأ M عندها بالخطأ
البيكتومترى. العلاقة (4-20) ويساوي:

$$M_h = 10e_s + 100e_s \quad (4-20)$$

ولأن قيم e_s ، e_s متغيرة حسب شروط وجهاز القياس ومنطقة القياس فمثلاً.

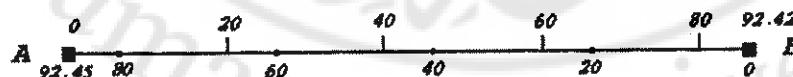
أ- يجري القياس بشرط طوله (20 أو 10) M على أرض ذات ميل منتظم،
يوضع الشرط على الأرض مباشرة، فتحسب M وفق العلاقة (4-21)

$$\begin{aligned} M_h &= 40 \text{ MM} \\ M &= 2 \text{ mm} \cdot \sqrt{L} + 0.2 \text{ mm} \cdot L \quad (4-21) \end{aligned}$$

ب- يجري القياس في أرض وعرة، أفقية باستخدام شريط قياس طوله (20 أو

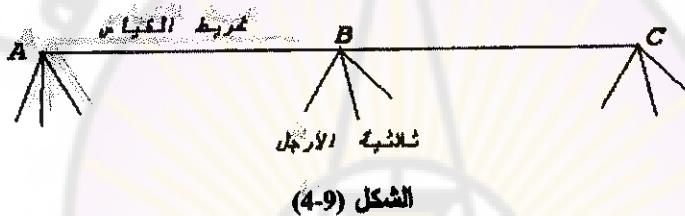
$$\begin{aligned} M_h &= 80 \text{ mm} \quad (4-22) \quad (10 \\ M &= 5 \text{ mm} \cdot \sqrt{L} + 0.3 \text{ mm} \cdot L \quad (4-22) \end{aligned}$$

وبشكل عام لقياس مسافة بين نقطتين : A,B (الشكل 4-8) نجري قياساً من A إلى B ثم نسميه القياس ذهاباً. ثم نجري القياس من B إلى A ونسميه القياس إياباً ثم
نأخذ متوسط القياسين.



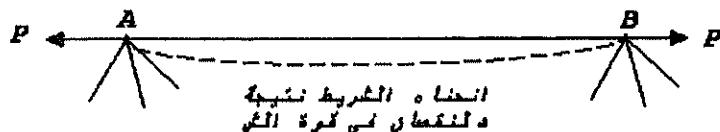
الشكل (4-8)

إن الأخطاء النظامية السابقة في قياس المسافات بواسطة شريط القياس، تحدث لثناء عملية القياس حيث يتم القياس بواسطة شخصين، وتم هذه الطريقة من القياسات عندما لا يتطلب دقت كبيرة في قياس المسافات. أما في الحالات التي يتطلب هنا قياس المسافات بدقة عالية بدقة (mm) كحالة معلم يحتاج إلى تركيب آلة معينة، على مجموعة قواعد، عندها يجب أن تكون المسافات أو الفجاعات بين تلك القواعد ثابتة، ومقاسة بدقة كبيرة. فالمسافة هنا لا يمكننا أن نقيسها يدوياً، كما في الحالات السابقة بل نستخدم طريقة ثلاثة الأرجل كما في الشكل (4-9).



كما وأنه في هذه الطريقة لقياس المسافات بشرط القياس توجد أخطاء نظامية هي:

- ١- الخطأ الناتج عن التغير في قوة الشد.
 - ٢- الخطأ الناتج عن انحناء الشريط بسبب لوة القائمة.
- ١- الخطأ الناتج عن التغير في قوة الشد: الشكل (4-10) وهو خطأ نظامي ناتج عن الاختلاف بين قوة الشد المطبقة أو الفعلية P وقوة الشد المعيارية. ويعطى هذا الخطأ بالعلاقة (4-23).



الشكل (4-10)

$$e_i = \frac{(P - P_0) \cdot L}{E \cdot A} \quad (4-23)$$

حيث:

- قوة الشد المطبقة أو الفعلية .

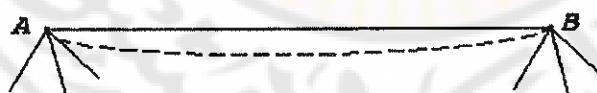
- قوة الشد المعيارية .

- طول الشريط المستخدم .

- معامل المرونة لمادة الشريط .

- مساحة المقطع العرضي للشريط وتساوي $t \cdot b$ حيث b - عرض الشريط المستخدم. t - سماكة الشريط. نلاحظ أن العلاقة السابقة متطابقة مع قانون الإجهادات لمقاومة المواد. وعندما تكون قوة الشد المطبقة على الشريط معيارية فالخطأ يكون مساوياً للصفر.

٢- الخطأ الناتج عن انحناء الشريط بسبب قوة التقالة الشكل (4-11).



الشكل (4-11)

هذا الخطأ نظامي وهو ناتج عن الوزن الذاتي للشريط ويحسب بالعلاقة (4-24) التالية:

$$e_w = \frac{W^2 \cdot L}{24 \cdot P^2} \quad (4-24)$$

حيث :

- الخطأ الناتج من انحناء أو تلبي الشريط بسبب قوة التقالة.

- الوزن الكلي للشريط .

- طول الشريط المستخدم .

- قوة الشد المطبقة على الشريط .

إن هذا الخطأ هو خطأ موجب دائمًا، وبالتالي يجب علينا طرحه من نتائج القياس لأننا بوجود هذا الخطأ في القياسات فإننا سنحصل على طول أكبر من الطول الفعلي أو الحقيقي. أما عندما يكون معلوماً لدينا وزن المتر الطولي لمدة الشريط W عندما يحسب الخطأ السابق بالعلاقة:

$$e_w = \frac{W^2 \cdot L^3}{24 \cdot P^2} \quad (2-25)$$

حيث:

- وزن المتر الطولي من شريط القياس.

٤ - أمثلة :

مثال (1) :

باستخدام شريط قياس طوله $M = 30$ تم قياس المسافة المائلة بين النقاطين A ، B المبينتين على الشكل (4-12). ولكن بعد معايرة الشريط بشريط آخر أكثر دقة كان طوله: $L = 29.995$ M ودرجة حرارة الشريط أثناء القياس كانت: $t = 50^\circ\text{C}$. وأنباء القياس انحرافنا عن الاستقامة بمقدار $x = 60$ CM .

المطلوب:

أحسب المسافة الأفقية الصحيحة إذا

علمت أن $M = 1200.42$

$$\gamma = 0.011 \text{ mm/M.}^{\circ}\text{C}$$

معامل التمدد الطولي لمادة الشريطة.

وأن زاوية الميل للأرض هي: 30% .

الحل:-

نحسب زاوية الميل وهي ظل الزاوية :

$$\tan \alpha = 0.3 \Rightarrow \alpha = 18.5547 \text{ gr}$$

نحسب عدد المرات التي تم فيها استخدام شريط القياس

$$n = \frac{D'}{L} = \frac{1200.42}{29.995} = 40.02 \text{ مرة}$$

يحسب خطأ التعبير بالعلاقة:

$$e_s = L_0 - L = 30 - 29.995 = 0.005 \text{ M}$$

وبما أن القيمة الموجبة فيجب أن نطرحها من نتيجة القياس:

$$E_s = n.e_s = 40.02 \times (-0.005) = -0.2 \text{ M}$$

نحسب الخطأ الناتج عن التغير في درجة الحرارة حيث تعتبر درجة حرارة

التعبير $C = 20^{\circ}\text{C}$ بالعلاقة:

$$e_t = \gamma \cdot L(t - t_0) = 0.001 \times 10^3 \times 29.995 (50 - 20) = 0.009 \text{ M}$$

وبما أن e_t موجبة أي أن الشريط أطول فيجب إضافته إلى المسافة المقاسة.

$$E_t = n.e_t = 40.02 \times 0.009 = +0.36 \text{ M}$$

ثم نحسب خطأ الانحراف عن الاستقامة، وهو خطأ قيمته سالبة دائمًا إذ يجب

عليها حذفه من القيمة لأننا دائمًا نقيس مسافة أكبر من المسافة الحقيقية.

$$e_x = \frac{x^2}{2L} = \frac{(0.6)^2}{2 \times 29.995} = 0.006 \text{ M}$$

$$E_x = n \cdot e_x = 40.02 \times 0.006 = 0.24 \text{ M}$$

وبالتالي فالمسافة المصححة تحسب بالعلاقة :

$$\begin{aligned} D &= n \cdot D' + n(-e_s + e_i - e_x) \\ &= 40.02 \times 29.995 + 40.02(-0.005 + 0.009 - 0.006) = 1200.164 \text{ M} \end{aligned}$$

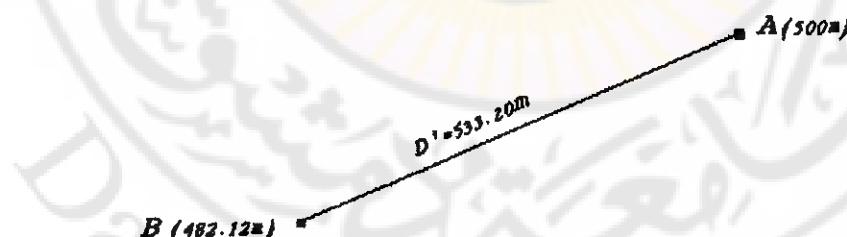
مثال (2) :

تم قياس المسافة المائلة بين النقطتين A و B ، المبينتين بالشكل (4-13) والواقعتين على أرض مائلة بانظام M ، $AB = 533.2$ ، وعند معايرة الشريط المستخدم بشرط آخر أكثر دقة تبين أنه ينقص بمقدار CM 3 عن طوله الأسمي البالغ .20M

المطلوب:

احسب المسافة الأفقية بين النقطتين A و B ، علمًا بأن درجة الحرارة للشريط المستخدم كانت: 35°C ومعامل التمدد الحراري لمعدن الشريط $\gamma = 0.05 \text{ mm/M.}^{\circ}\text{C}$ ومنسوب النقطة A : $H_A = 500 \text{ M}$ ومنسوب النقطة B :

$$H_B = 482.12 \text{ M}$$



الشكل (4-13)

الحل:

- 1- نحسب عدد مرات استخدام الشريط :

$$n = \frac{D'}{L} = \frac{533.2}{19.97} = 26.70 \quad \text{مرة}$$

٢- حسب خطأ التعبير : e_e

$$L_o - L = 20 - 19.97 = 0.03 \text{ M}$$

$$E_s = n \cdot e_s = 26.7 \times (-0.3) = -0.801 \text{ M}$$

٣- الخطأ الناتج عن التغير في درجة الحرارة :

$$e_t = \gamma \cdot L(t - t_o) = 0.05 \times 10^{-3} \times 19.97 (35 - 20) = 0.015 \text{ M}$$

$$E_t = n \cdot e_t = 26.7 \times 0.015 = 0.4 \text{ M}$$

٤- حساب المسافة المائلة المصححة :

$$D' = 533.2 - 0.8 + 0.4 = 532.8 \text{ M}$$

٥- حساب المسافة الأفقية :

$$D = \sqrt{(532.8)^2 - (17.88)^2} = 532.499 \text{ M}$$

الفصل الخامس

أعمال المساحة الارتفاعية - التسوية

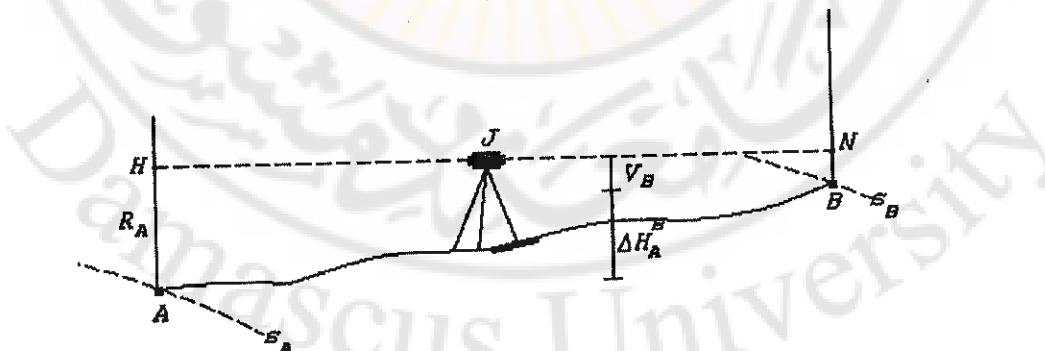


١-٥ - تعریف وأنواع التسویة :

- التسویة: یعرف ارتفاع نقطة ما من سطح الأرض بأنه المسافة الشاقولية التي تفصل النقطة عن سطح السوية الذي اعتبرناه سطحاً للمقارنة، كما وأن فرق الارتفاع بين نقطتين من سطح الأرض هو المسافة الشاقولية التي تفصل النقطة الأولى، عن سطح السوية المار بالنقطة الثانية، بينما مسألة تعیین ارتفاع نقطة هو: تعیین فرق الارتفاع بینها وبين نقطة ثانية ذات ارتفاع معالم أو مفروض، وبالتالي فالتسویة هي مجموعة العمليات والقياسات التي بواسطتها نتمكن من تعیین فرق الارتفاع بین نقطتين أو أكثر من سطح الأرض الطبيعية، ويمكن أن تتم عمليات التسویة بعدة طرق منها:

- ١- التسویة المباشرة أو الهندسية.
- ٢- التسویة الغير مباشرة أو المثلثية.
- ٣- التسویة البارومترية.
- ٤- التسویة الهیدروستاتیکیة.
- ٥- التسویة التقنية.

- ٤- التسویة المباشرة: ليکن المطلوب حساب فرق المنسوب أو الارتفاع بین النقطتين A,B المبيینتين بالشكل (5-1).



الشكل (5-1)

بطريقة التسوية المباشرة نعتبر أن المسافة بينهما صغيرة بحيث نستطيع أن نعتبر أن سطح التسوية المار من النقطة A منطبقاً على المستوى الأفقي المار من هذه النقطة.

للفرض أن ارتفاع أو منسوب النقطة A معلوم أو مفروض، ولتكن H_A . إن فرق الارتفاع: Δh بين A,B مثل على الشكل بالمسافة الشاقولية التي تفصل النقطة B عن المستوى الأفقي المار من A إن فرق الارتفاع هذا يكون موجباً إذا كانت B أعلى من A وسالباً بالعكس، ولحساب هذا الفرق نضع بين النقطتين: جهاز تسوية نيفو، من خصائصه أنه يؤمن مستوىً أفقياً MJN ثم نضع في كل من النقطتين A,B ميراتين شاقوليتين، نؤمن شاقولية كل منها بواسطة الزئبقية الكروية الموجودة على الميرا، نجري القراءة على الميرا الشاقولية المتوضعة في النقطة A ولتكن: R، وقراءة على الميرا الشاقولية المتوضعة في النقطة B ولتكن V تتم القراءة عند نقاط تقاطع المستوى الأفقي MJN الذي يشكله جهاز النيفو مع الميراتين الشاقوليتين المتوضعتين في كل من النقطتين:

A,B فمن الشكل يمكننا أن نكتب:

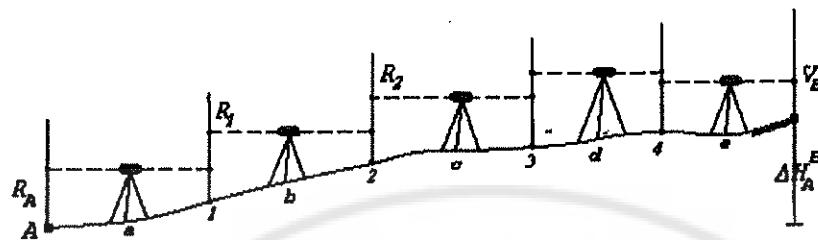
$$\Delta h_A^B = R - V \quad (5-1)$$

أي أن فرق الارتفاع بين نقطتين هو القراءة الخلفية ناقص القراءة الأمامية. أما عندما تكون المسافة بين النقطتين المراد حساب فرق المنسوب بينهما كبيرة، الشكل (5-2)، بحيث لا يمكننا أن ننجذب العمليه بوقفه واحدة للجهاز، فإننا نقسم المسافة إلى أجزاء كما في الشكل (5-2).

فيكون فرق المنسوب بين النقطتين A,B معطى بالعلاقة:

$$\Delta h_A^B = (R_A - V_1) + (R_1 - V_2) + (R_2 - V_3) + \dots + (R_{n-1} - V_B) \quad (5-2)$$

$$\Rightarrow \Delta h_A^B = \sum_{i=1}^{i=n} R_i - \sum_{i=1}^{i=n} V_i \quad (5-3)$$



الشكل (5-2)

أي أن فرق الارتفاع بين نقطتين يساوي مجموع القراءات الخلفية ناقص مجموع القراءات الأمامية وتنظم نتائج قياسات التسوية المباشرة على شكل الجدول التالي، الجدول (5-1).

الجدول (5-1)

المحطة	القراءة الخلفية R	القراءة الأمامية V	Δh		H
			+	-	

• أخطاء التسوية المباشرة:

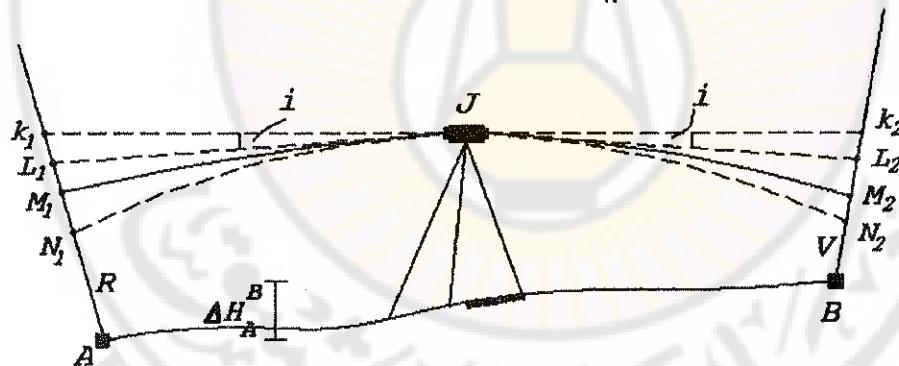
- ١- الأخطاء النظامية.
- ٢- الأخطاء العرضية، منها:
 - خطأ القراءة على الميرا.
 - الخطأ الناتج عن تقسيمات الميرا.
 - الخطأ الناتج عن عدم ضبط قناعة الزئبقية الحلقة ضبطاً كافياً قبل إجراء القراءة.

• في أعمال التسوية المباشرة يجب أن لا تزيد المسافة بين جهاز النيفو والميرا عن: $M \div 100 = 75$ أي أن طول شعاع الرؤية يجب أن لا يتجاوز تلك القيمة، ويجب عليناأخذ الاعتبارات التالية:

- ١- اعتبار سطوح التسوية مستويات أفقية.
- ٢- الميرا متوضعة فوق النقاط المعتبرة بشكل شاقولي.
- ٣- نقاط القراءة على الميرا عبارة عن نقاط تقاطع شعاع الرؤية مع الميرا، إلا أن تلك الاعتبارات لا يمكن أن تتحقق بصورة كاملة على الواقع، وبما أن المسافة بين النيفو والميرا صغيرة نسبياً مقارنة ببعاد الأرض، لذا نعتبر الأرض كره نصف قطره $R = 6400 \text{ KM}$

- إن فرق المنسوب بين النقطتين A,B يحسب كما هو مبين في الشكل (5-3) بالعلاقة (5-1) وهي:

$$\Delta h_A^B = R - V$$



الشكل (5-3)

حيث:

- القراءة الخلفية على الميرا.
- القراءة الأمامية على الميرا.

و عند اعتبارنا سطح التسوية أفقياً فإن القراءة على الميرا، ستحصل في نقطتين: K_1 على الميرا الخلفية والأمامية على الترتيب، وبالتالي وحسب الشكل السابق فإن القطعتين: $q_1 = K_1 N_1$ ، $q_2 = K_2 N_2$ تعبان عن الخطأ الناتج عن تأثير انحناء سطح الأرض على قياس فرق المنسوب بين نقطتين A,B

- كذلك وبواسطة الزئبقة الحلقية فقط، من المستحيل وضع شعاع الرؤية بشكل أفقى تماماً، هذا يؤدي إلى انحراف شعاع الرؤية عن الأفق بزاوية θ كما هو مبين في الشكل (5-3) السابق.

وبالتالي ونتيجة لتأثير هذا الانحراف فإن شعاع الرؤية سيقطع مع الميراتين في نقطتين L_1 ، L_2 على الميرا الخلفية والأمامية على الترتيب كما في الشكل (5-35)، وذلك بدلاً من نقطتين K_1 ، K_2 وبالتالي حدوث أو حصول خطأ ما نتيجة لهذا الانحراف قيمته: $\eta_1 = L_1 K_1$ ، $\eta_2 = L_2 K_2$ نسميه تأثير خطأ انحراف شعاع الرؤية على قياس فرق المنسوب.

- ونتيجة لمرور شعاع الرؤية في طبقات الجو أو الهواء، فإن هذا الشعاع سينكسر، وبالتالي فإننا ستحصل على منحنى جديد لشعاع الرؤية هو: JM_2 ، JM_1 كما هو مبين على الشكل (5-3)، وتصبح القراءة على الميرا متساوية: V' ، R' حيث:

$$V' = BM_2 , \quad R' = AM_1$$

فإذا اعتبرنا أو رمنا بـ :

$$x = N_1 M_1 , \quad y = N_2 M_2$$

$$P_1 = M_1 L_1 , \quad P_2 = M_2 L_2$$

يمكننا أن نكتب:

$$\begin{aligned} \Delta h &= R - V \\ &= (R' - x) - (V' - y) \end{aligned}$$

$$= (R' - V) - x + y = (R' - V) - (q_1 - \eta_1 - P_1) + (q_2 - \eta_2 - P_2)$$

نرمز للقيمة: $\Delta h = R' - V$ فتحل

$$\Delta h = \Delta h^B - (q_1 - q_2) + (\eta_1 - \eta_2) + (P_1 - P_2)$$

وبالتالي فإن الخطأ في حساب فرق المنسوب: Δh_A^B ، يحسب بالعلاقة (5-4) التالية :

$$m = \Delta h - \Delta h^B = -\Delta q + \Delta \eta + \Delta P \quad (5-4)$$

حيث: Δq , $\Delta \eta$, ΔP هي الخطأ الناتج عن تأثير انحناء سطح الأرض والخطأ الناتج عن تأثير انحناء شعاع الرؤية، وعن تأثير انكسار شعاع الرؤية، على نتائج قياس فرق المنسوب أو الارتفاع بين نقطتين من سطح الأرض.

تأثير انحناء سطح الأرض على نتائج أعمال التسوية المباشرة :
بما أن طول شعاع الرؤية صغير جداً مقارنة ببعاد الكره الأرضية فحسب
الشكل (5-4) يمكننا أن نعتبر:

$$\hat{J}N \approx \bar{L}K = S$$

وبحسب فيثاغورث نكتب:

$$(R + q)^2 = S^2 + R^2$$

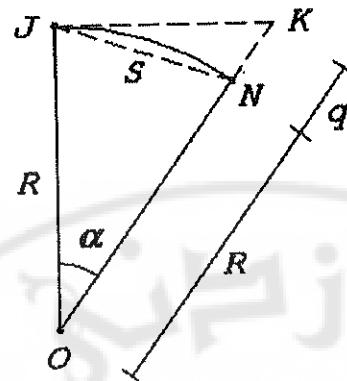
$$R^2 + q^2 + 2Rq = S^2 + R^2$$

$$q(q + 2R) = S^2 \Rightarrow q = \frac{S^2}{q + 2R} \quad (5-5)$$

حيث:

ـ الخطأ الناتج عن انحناء سطح الأرض وهو كمية صغيرة جداً، عندها يمكننا أن نكتب العلاقة السابقة (5-5) بالشكل :

$$q = \frac{S^2}{2R} \quad (5-6)$$



الشكل (5-4)

وبالتالي يمكننا أن نحسب الخط الناتج عن انحناء سطح الأرض بالعلاقة (5-7):

$$\Delta q = q_1 - q_2 = \frac{S_1^2 - S_2^2}{2R} \quad (5-7)$$

حيث:

S_1, S_2 - طول شعاع الرؤية بين الجهاز والميرا الخلفية والأمامية.

R - نصف قطر الكرة الأرضية $R = 6400 \text{ KM}$

فإذا رمزنا بـ $d = S_1 + S_2$ أي المسافة بين الميراتين وبـ $\Delta S = S_1 - S_2$

أي الفرق بين طولي شعاع الرؤية تصبح العلاقة السابقة (5-7) بالشكل (5-8) التالي:

$$\Delta q = q_1 - q_2 = \frac{(S_1 - S_2)(S_1 + S_2)}{2R} = \frac{d}{2R} \Delta S \quad (5-8)$$

- من هذه العلاقة نلاحظ أنه عندما تكون: $S_1 = S_2$ أي عندما يكون الجهاز في منتصف المسافة بين الميراتين، فإن تأثير انحناء سطح الأرض على نتائج قياسات التسوية المباشرة يكون معادلاً، لهذا يجب علينا أن نتمرکز في منتصف المسافة بين الميراتين.

• تأثير انكسار شعاع الرؤية على نتائج أعمال التسوية المباشرة :

إن الانكسار في شعاع الرؤية يحدث نتيجة للتغير والاختلاف في كثافة الهواء، حيث كان يعتبر من الأخطاء العرضية التي لا يمكن تعبيتها أو حسابها.

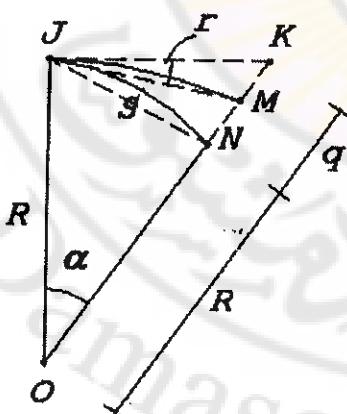
نعتبر أن منحنى انكسار شعاع الرؤية يأخذ المنحني \hat{JM} المبين على الشكل (5-5) وبأنه يشكل مع الماس في النقطة J نقطة تقاطع المحور الشاقولي للجهاز OJ مع محور النظر JK زاوية α تسمى زاوية الانكسار، وبما أن طول شعاع الرؤية S وطول القطعة MN صغيرتين يمكننا أن نستبدل المنحنى \hat{JM} والوتد \hat{JM} بقوس الدائرة \hat{JM} والوتد \hat{JN} على الترتيب، كما وأن زاوية الانكسار المعطاة بالعلاقة (5-9) متناسبة مع المسافة S وتتساوي إلى نصف الزاوية المركزية: α كما العلاقة:

$$r = K \frac{\alpha}{2} \quad (5-9)$$

α - الزاوية المركزية.

K - معامل الانكسار أو معامل التناوب .

r - زاوية الانكسار .



من المثلثين:

$$\triangle JKM, \triangle JNO$$

الشكل (5-9) نكتب:

الشكل (5-5)

$$\Delta JNO \Rightarrow S = \frac{R \cdot \alpha}{\rho} \Rightarrow \alpha = \frac{S}{R} \cdot \rho \quad (5-10)$$

$$\Delta JKM \Rightarrow P = \frac{S \cdot r}{\rho} \Rightarrow \quad (5-11)$$

$$K \frac{\alpha \cdot S}{2\rho} = K \frac{S^2}{2\rho \cdot R} \cdot \rho \\ \Rightarrow P = K \frac{S^2}{2 \cdot R} \quad (5-12)$$

وبالتالي فالخطأ الناتج عن تأثير انكسار شعاع الرؤية على نتائج أعمال التسوية المباشرة يعطى بالعلاقة (5-13)

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2R} (K_1 S_1^2 - K_2 S_2^2) \quad (5-13)$$

حيث:

- معامل انكسار الوسط الأول .
- معامل انكسار الوسط الثاني .
- المسافة بين محور الجهاز والميرا الأمامية والخلفية على الترتيب .

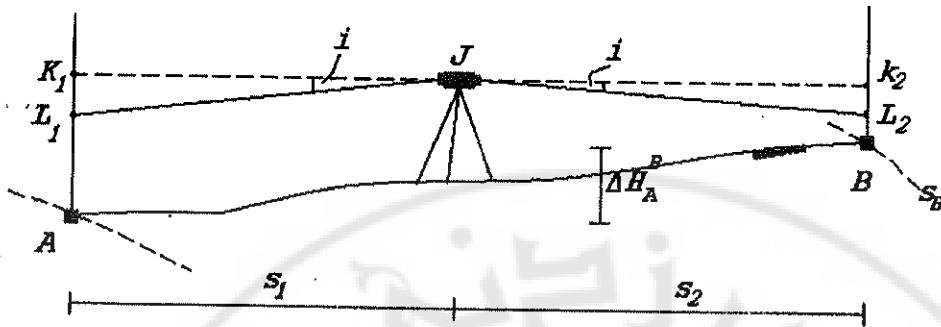
- تأثير خطأ عدم أفقية شعاع الرؤية على نتائج قياسات التسوية المباشرة:

نعتبر أن الزاوية في كل من النقاطين: K_1, K_2 الشكل (5-6) تساوي $\pi/2$ والمسافة بين الميراتين $S_1 + S_2 = d$ صغيرة لا تتجاوز M والأرض كروية نصف قطرها $R=6400$ KM . فيمكنا عندها حساب عدم التوازي بين الميراتين

بالعلاقة (5-14):

$$d = \frac{\alpha \cdot R}{\rho} \Rightarrow \alpha = \frac{d}{R} \cdot \rho \quad (5-14)$$

$$\alpha = \frac{0.1}{6400} \times 206265 \approx 3''$$



الشكل (5-6)

وخطأ عدم أفقية شعاع الرؤية بالعلاقة (5-15) :

$$\eta = S \cdot \operatorname{tgi} \quad (5-15)$$

وبما أن الزاوية α صغيرة جداً تصبح العلاقة (5-15) بالشكل التالي :

$$\eta = S \frac{i}{\rho} \quad (5-16)$$

وبالتالي فالخطأ في قياس فرق المنسوب، بين نقطتين، والناتج عن عدم أفقية شعاع الرؤية يعطى بالعلاقة (5-17) :

$$\Delta\eta = (\eta_1 - \eta_2) = \frac{i}{\rho} \Delta S \quad (5-17)$$

- نلاحظ من العلاقة السابقة أيضاً أنه عند التمركز في منتصف المسافة بين الميراتين فإن الخطأ الناتج عن عدم أفقية شعاع الرؤية يساوي الصفر.

٣-٥ - المسح الارتفاعى وتمثيل التضاريس :

يتم التعين الارتفاعى لنقاط موجودة على سطح الأرض بقياسات التسوية المباشرة، أو التسوية غير المباشرة وذلك بالاستناد إلى نقاط ذات ارتفاعات معروفة، ونسمى مجموعة العمليات والقياسات التي تتم على الطبيعة التي تؤدي

إلى تعين الارتفاعات المراد معرفتها لنقط من سطح الأرض بالمسح الارتفاعى، حيث تقسم العمليات المساحية إلى عمليات متابعة، فبدأ بتعيين ارتفاعات نقاط هيكلاة تستند إليها لتعيين نقاط تقاصيلية ف nidna في تمثيل التضاريس، أي في إظهار بعد الثالث الشاقولي - على المخطط المساحي، إن اتباع طريقة العمل هذه تضمن لنا دقة متجانسة وسرعة في العمل.

يؤمن لنا المسح الجيوديزى تعين عدد من النقاط الثابتة المجددة على الطبيعة والمعروفة بارتفاعاتها المنسوبة إلى المستوى الوسطى للبحر، نسمى هذه النقاط بنقاط التسوية العامة، وتشكل بمجموعها ما نسميه شبكات التسوية، وهي بدورها أي شبكات التسوية تقسم إلى شبكات رئيسية وشبكات ثانوية، وتعتبر هذه الشبكات الهيكل والمرجع الرئيسي في أعمال المساحة الارتفاعية.

يتم تعين شبكات التسوية الرئيسية بواسطة قياسات التسوية الهندسية الدقيقة، ويتم تعديلها استناداً إلى مبدأ التربيعات الصغرى، وتتجسد نقاط شبكات التسوية الرئيسية هذه بعلامات ودلائل من الحديد أو الفولاذ مثبتة بالصخر أو بالمنشآت الثابتة كالجسور والأبنية العامة، وقد تحمل لوحة تدل على قيمة الارتفاع أو المنسوب المنوطة بها، أما بالنسبة لنقاط التسوية الثانوية فتجسد إما بعلامات أو ماركات من الحديد أو ببراشيم ثبت على السطوح المستوية والمستقرة للمنشآت الثابتة وتكون قمة البرشيم على شكل نصف كرة.

فاستناداً إلى نقاط التسوية العامة المعلومة تتم عملية المسح الارتفاعى في المساحة، فبداية نقوم بتعيين أو تحديد عدد من النقاط الهيكلاة وذلك بطريقة التضليل بتسوية مباشرة أو غير مباشرة، ثم واستناداً إلى مناسب وارتفاعات تلك النقاط نقوم بتحديد أو تعين ارتفاعات ومناسب النقاط التقاصيلية بطريقة الإشعاع بالتسوية المباشرة أو بالتسوية غير المباشرة، وعادة ما يتم تعين

وتحديد ارتفاعات ومناسبب رؤوس المضللات على الطبيعة بالإضافة لتحديد إحداثيات تلك الرؤوس، وعليه فلدينا طريقتان للتعيين الارتفاعي للنقاط:

١- طريقة التضليل، وذلك بالتسوية المباشرة أو بالتسوية غير المباشرة

الشكل (5-7) .

٢- طريقة الإشعاع، وذلك بالتسوية المباشرة أو بالتسوية غير المباشرة.

١ - طريقة التضليل:

حسب الشكل (5-7) المبين أدناه، لتكن A نقطة، معلومة الارتفاع أو المنسوب حسب الشكل (5-7) المبين أدناه، لتكن A نقطة، معلومة الارتفاع أو المنسوب مجموعة من النقاط المطلوب تعيين مناسباتها أو 1,2,3, ... n-1, n . HA ارتفاعاتها.



الشكل (5-7)

نسمى الخط المكون من القطع المستقيمة الواقطة بين تلك النقاط اعتباراً من القطة A بالمضللة، يمكننا أن نحدد مناسبب أو ارتفاعات النقاط: 1,2,3,..n-1,n بأعمال التسوية المباشرة وذلك بوضع جهاز التسوية بين النقطة A والنقطة: 1 وإجراء قراءة خلفية على ميرا متوضعة في النقطة وقراءة أمامية على ميرا متوضعة في النقطة 1 ثم ننقل الجهاز إلى نقطة بين النقطة: 1 والنقطة 2 ونجري قراءة خلفية على ميرا متوضعة في النقطة 1 وقراءة أمامية على ميرا متوضعة في النقطة 2 وهكذا نكرر العملية السابقة إلى أن نصل إلى النقطة (n-1)، هذه القراءات تسمح لنا بحساب فروق الارتفاعات بين النقطة: A وبقية النقاط، وذلك بتطبيق قانون التسوية المباشرة (خلفية - أمامية)، وبمعرفتنا لفروق الارتفاعات بين النقاط نستطيع أن نحسب ارتفاع أو مناسبب النقاط 1,2,3,...

وذلك استناداً إلى ارتفاع النقطة المعلومة: A نلاحظ أن ارتفاع النقطة الأخيرة n-1 سيعمل أخطاء كل القياسات التي تمت .

كما ويمكننا أن نلجم إلى التسوية غير المباشرة لتحديد مناسب وارتفاعات نقاط رؤوس أو ذروات المضلع، فنبدأ من الرأس A المعلوم الارتفاع حيث تتمركز بجهاز التيودوليت ونأخذ كافة القياسات اللازمة في التسوية غير المباشرة، والتي تسمح لنا بحساب فروق الارتفاعات بين النقطة: A والنقطة: 1 ثم ننقل جهاز التيودوليت إلى النقطة: 1 ونأخذ كافة القياسات اللازمة لحساب فرق الارتفاع بين النقطة: 1 والنقطة: 2 وهكذا حتى نصل إلى النقطة (n-2) حيث تتمركز جهاز التيودوليت فيها، ونأخذ القياسات التي تسمح لنا بحساب فرق الارتفاع بينها وبين النقطة الأخيرة (n-1)، حيث أنها نعلم أن القياسات اللازمة في التسوية غير المباشرة هي: ارتفاع الجهاز: J أي ارتفاع المحور الضوئي. ارتفاع النقطة المرصودة S والمسافة الأفقية D والزاوية الشاقولية: i.

كما وإننا نستخدم طريقة التضليل هذه لمعرفة ارتفاع أو منسوب نقطة بعيدة عن نقطة معلومة سواءً في التسوية المباشرة أو في التسوية غير المباشرة، ففي التسوية غير المباشرة يمكن أن تكون أطوال الأضلاع كبيرة ونحصل على دقة جيدة في التعيين الارتفاعى إذا لجأنا إلى قياس المسافات بالقائس الإلكتروني، أما عند استخدام طرق أخرى في قياس المسافات، فيجب عندها ألا تتجاوز أطوال الأضلاع 150m أما أطوال الأضلاع في التسوية المباشرة فهي تابعة لميل الأرض، فهي صغيرة في حالة الميل الكبيرة، مثلاً: 25 متراً تقريرياً عندما يكون الميل 1/10 أما في الأرضي السهلية المنبسطة فقد تصل إلى 200m وبفضل عدم تجاوز هذه المسافة عند التعيين الارتفاعى بطرق التسوية المباشرة. وبشكل عام تتبع طريقة التضليل هذه لتحديد مناسب عدد من النقاط تشكل هيكلأ رئيسياً في عمليات المسح، حيث إن مناسب هذه الرؤوس يستند إلى ارتفاع

نقطة أو مرجع تسوية يعتبر صحيحاً، وبالتالي فارتفاعات النقاط التفصيلية يستند إلى ارتفاعات نقاط رؤوس المضلعين، وبالتالي فمن الضروري أن تكون مناسبات أو ارتفاعات نقاط رؤوس المضلعين خالية من الأخطاء، لهذا فإننا نقوم بعملية تعديل لارتفاعات أو المناسبات المقاسة.

• **الطرق المستخدمة للتحقق من نتائج أعمال التسوية:**

كما مر معنا سابقاً، إن ارتفاع النقطة الأخيرة من المضلعين، يكون حاملاً لجميع أخطاء القياسات التي وقعت على النقاط السابقة، ولتحقيق من ارتفاعات رؤوس المضلعين نتبع إحدى الطرق التالية:

- أ- طريقة الذهاب والإياب.
- ب- طريقة الرصد المتعاكسة.
- ج- طريقة الإغلاق

أ- طريقة الذهاب والإياب :

تستخدم هذه الطريقة في أعمال التسوية المباشرة، حيث نقوم بأعمال التضليل ذهاباً وإياباً الشكل (5-7) أي عند الوصول إلى نهاية المضلعين، نعود إلى نقطة الانطلاق، مكررين القياسات بعكس اتجاه السير الأول، في هذه الطريقة نحصل على قيمتين لفرق الارتفاع، بين كل ذروتين متتاليتين، ويجب أن يكون الفرق بين القيمتين مقبولاً، أي مفسراً بأخطاء القياسات، عندها تعتبر القيمة الوسطية قيمة نهائية لفرق الارتفاع.

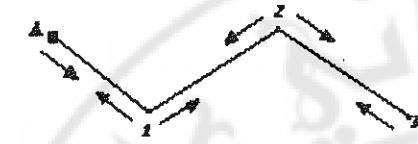
أو يمكننا أن نحسب ارتفاعات النقاط في الذهاب، ثم ارتفاعها في الإياب، ثم نأخذ وسطي الارتفاعين لكل نقطة.

ب- طريقة الرصد المتعاكسة:

تستخدم هذه الطريقة في الرصد والقياس عند اتباع طريقة التسوية الغير مباشرة حسب الشكل (5-8)، لتحديد ارتفاعات ومناسبات نقاط رؤوس المضلعين، فمن

النقطة: A الأولى المعلومة - حسب الشكل (5-8) المبين أدناه نرصد النقطة: 1 وذلك بأخذ كافة القياسات اللازمة لحساب فرق المنسوب بين النقطتين: 1-A، ثم من النقطة: 1 نكرر عملية رصد النقطة: A وذلك بأخذ كافة القياسات اللازمة لحساب فرق المنسوب بين

النقطتين: 1-A ثم من النقطة: 1 نرصد النقطة: 2 وهكذا حتى نصل إلى نهاية المضلع المدروس.



الشكل (5-8)

في هذه الطريقة نحصل على قيمتين لفرق الارتفاع بين كل من الرأسين المترادفين، هاتان القيمتان تختلفان بالإشارة وبكمية أو مقدار صغير يعزى، أو يجب أن يعزى لأخطاء القياسات، وإلا فهناك خلط في الحساب أو في القياس، عندها يجب إعادة الحسابات أو القياسات لاكتشاف الغلط واستبعاده، أما إذا كان الفرق ضمن حد التساهل فنأخذ القيمة الوسطية كقيمة نهاية لفرق المنسوب بين الذروتين.

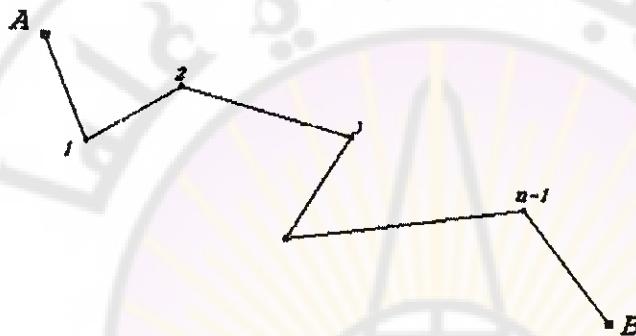
ج- طريقة الإغلاق:

تعتبر طريقة الإغلاق من أهم الطرق المستخدمة للتحقق غير المباشر للارتفاعات والمناسيب، الشكل (5-9)، وتستخدم هذه الطريقة في أعمال التسوية المباشرة، وغير المباشرة، كما ويمكن تطبيقها مع طرق التحقق السابقة الذكر، ولهذا يتطلب معرفة نقطة ما B حسب الشكل (5-9) المبين أدناه، ذات ارتفاع معلوم H_B قريبة من رأس المضلع الأخير: n-1 فعد الوصول إلى رأس المضلع الأخير n-1 نتابع العمل، بمضلع اختياري حتى الوصول إلى النقطة المعلومة: B ونقول بأننا نقلق المضلع عليهما أي أننا نجري القياسات من الرأس الأخير إلى

النقطة: B وكأنها نقطة مجهولة الارتفاع، فنحصل على ارتفاع جديد للنقطة B هو H_B يحمل كل أو كافة أخطاء القياسات اعتباراً من النقطة: A، نسمى الفرق:

$$f_h = H_B - H'_B \quad (5-18)$$

بخط الأغلق الارتفاعي، ويجب أن يكون مفسراً بأخطاء القياسات، أي يجب أن يكون ضمن حد التساهل الارتفاعي، وإلا فيجب علينا البحث عن الغلط سواء في القياسات أو في الحسابات.



الشكل (5-9)

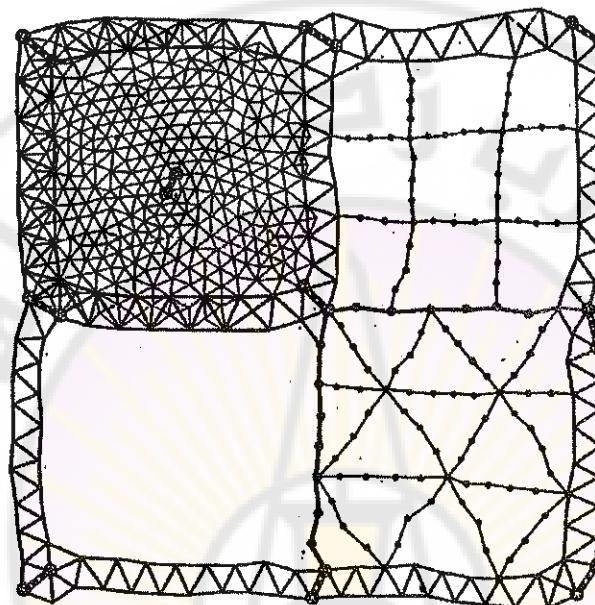
٢ - طريقة الإشعاع: سيتم شرح هذه الطريقة الشكل (5-32) بشكل مفصل في الفقرات والعناوين اللاحقة.

- معلومات عامة عن شبكات التسوية الحكومية :

تعتبر شبكات التسوية القاعدة الأساسية لحساب المنسوب الشكل (5-10) وأساساً لعدد كبير من المشاريع الوطنية والعسكرية الهامة، وإنشاء وإنساج الخرائط بمختلف المقاييس، وعدد كبير من الأعمال الجيوديزية المختلفة، لهذا فإن هذه الشبكات يجب أن تغطي مساحة الدولة بشكل كامل، وهي تقسم إلى أربع درجات. درجة I, II, III, IV.

١ - الشبكات الحكومية درجة I: تتقد بدقّة عالية جداً، وتتوسط نقاطها بمحاذة خطوط السكك الحديدية والأوتوكترادات، وتعتبر هذه الشبكات القاعدة الأساسية

للمناسيب، وتعتمد في إجراء الدراسات العلمية المتعلقة بدراسة سطح الأرض، وحساب الفروقات بين مناسب سطوح البحر والمحيطات، ودراسة الحركات الشاقولية للقشرة الأرضية الناتجة عن الزلازل وحركة طبقات الأرض الداخلية.



الشكل (5-10)

كما هو مبين في الشكل (5-10) السابق، ويكون التباعد بين نقاط هذه الشبكة من: $(20 \div 25) \text{ KM}$.

٢ - الشبكات الحكومية درجة II: وهي تستند إلى نقاط ومسارات الشبكة الحكومية الدرجة I والتبعاد بين نقاط هذه الشبكة من $(8 \div 12) \text{ KM}$ وتتكون من مسارات على شكل حلقات محيطها من $(500 \div 600) \text{ KM}$ وإن خط الإغلاق المسموح به في المسارات، بين ماركات الدرجة الأولى وكذلك في الحلقات المغلقة لهذه الشبكات يساوي:

$$f_h = 5 \text{ mm} \sqrt{L} \quad (5-19)$$

حيث :

L - طول المسار أو محبيط الحلقة بالكيلو متر.

٣ - الشبكات الحكومية درجة III: وتنشأ لتكثيف الشبكات الأعلى درجة، أي تنشأ داخل شبكات الدرجة الأولى والثانية على شكل مسارات منفردة أو مجتمعة.

التباعد بين نقاط هذه الدرجة من (KM 4+8) ومحبيط حلقاتها من (KM 150 ÷ 200) وخطا الإغلاق المسموح به لهذه الدرجة هو:

$$f_R = 10 \text{ mm} \sqrt{L} \quad (5-20)$$

حيث :

L - طول المسار أو محبيط الحلقة بالكيلو متر.

٤ - الشبكات الحكومية درجة IV: وتنشأ أيضاً لتكثيف شبكات التسوية من الدرجة III على شكل مسارات، ترتكز على نقاط الشبكات ذات الدرجات الأعلى، وخطا الإغلاق المسموح به لهذه الدرجة يعطى بالعلاقة:

$$f_h = 5 \sqrt{L} \text{ (KM)} \quad (5-21)$$

حيث :

L - طول المسار أو الحلقة بالكيلو متر.

- تمثيل التضاريس:

إن الخريطة الكاملة لا تحتوي على التفاصيل الممثلة لشكل المنطقة من الناحية المستوية فقط، ولكنها يجب أن تشمل تمثيلاً للتضاريس، أي لشكل المنطقة من الناحية الارتفاعية أيضاً، أي إظهار فروق الارتفاعات على المخطوطات

والخرائط المستوية، حيث يتم تمثيل بعد الثالث H أو Z أي الارتفاع بطرق عديدة منها:

١- التظليل ٢- الخطوط المتوازية - التهشير -

٣- خطوط التسوية ٤- الألوان

كما ويمكن استعمال طرق مشتركة، كالظل مع الألوان أو الظل مع خطوط التسوية، ومن أهم تلك الطرق: هي خطوط التسوية التي تعرف بأنها الخطوط التي تمر من نقاط ذات ارتفاع واحد عن سطح التسوية، أو هي المحل الهندسي للنقاط ذات الارتفاع المتساوي، أو هي المنحنيات التي تمثل تقاطع مستويات أفقية متوازية متساوية بعد عن بعضها بعض مع الأرض، ومن المهم جداً بالنسبة للمهندس مقداره على تفهم التضاريس واكتشاف الهضاب ومجاري السيول، اعتماداً على قراءة منحنيات التسوية المرسومة، فهي تساعد على تصميم مختلف المشاريع المراد إنشاؤها على الطبيعة.

كما وأن اختيار قيمة التباعد المتساوي بين خطوط التسوية يتبع بشكل عام المقياس المستعمل في رسم الخريطة، ودرجة الدقة المطلوبة في إظهار التضاريس، وحسب الغاية من المخطط، فكلما كان التباعد بين خطوط التسوية صغيراً كلما استطعنا أن نمثل التفاصيل الارتفاعية أي التضاريس بدقة أكبر، كما وأن مقياس المخطط يلعب دوراً هاماً في اختيار قيمة التباعد المتساوي، ففي الخرائط ذات المقاييس الصغيرة لا يمكننا اختيار قيمة صغيرة لهذا التباعد، إذ ستكون عندها منحنيات التسوية على المخطط متقاربة جداً من بعضها البعض بحيث لا يمكننا أن نرسمها بشكل جيد، وهناك قاعدة عملية لاختيار قيمة التباعد المتساوي لرسم منحنيات التسوية ، وهي اعتبار قيمة التباعد المتساوي تساوي $1/4$ (1/4) مقياس الخريطة أو المخطط، فمثلاً قيمة التباعد المتساوي لخريطة ذات مقياس: 1/2000 هو:

$$1/4 \times 2000 = 5000 \text{ mm} \approx 5 \text{ M}$$

وهذا، إلا أن هذه القاعدة ليست مطلقة، ولا يمكن اعتمادها في المخطوطات ذات المقاييس الكبيرة، ففي المقاييس الكبيرة نختار عادة قيمة التباعد المتسلوي، حسب الدقة المطلوبة، في إظهار التفاصيل، فمثلاً: في مخطط مقياس 1/500 أو 1/1000 يمكننا أن نختار قيمة التباعد المتسلوي 1 M - 0.5 M أو 0.25 M - 5.0 M وذلك حسب الغالية والدقة المطلوبة، وتسهيل قراءة الخريطة، ولاستنتاج شكل التضاريس ولتسهيل رسم منحنيات التسوية تؤخذ ارتفاعات منحنيات التسوية عادة بالأمتار الصحيحة، أو بأنصاف الأمتار الصحيحة في المقاييس الكبيرة.

٤-٤ - فوائد ومميزات منحنيات التسوية :

إن منحنيات التسوية المرسومة على الخرائط والمخطوطات تسمح بـ:

١- تحديد ارتفاع نقطة واقعة بين منحني تسوية، وذلك بعملية توسط داخلي:

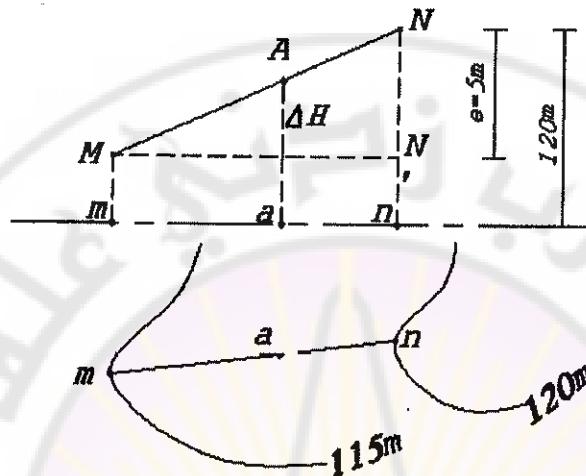
إن ارتفاع ما a واقعة بين منحني التسوية m 115 m و $120m$ مثلاً المرسومين بتباعد متسلوي: $5M = c$ كما هو مبين على الشكل (5-11) يمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$H_a = 115 + \Delta H \quad (5-22)$$

حيث: ΔH هو فرق الارتفاع بين النقطة A من سطح الأرض والتي مسقطها a وبين نقطة M من سطح الأرض والتي مسقطها m وهي واقعة على منحني التسوية: 115m فإذا رسمنا من النقطة a على المخطط الخط mn العمودي على منحني التسوية 115 m ، 120 m كانت النقطة m هي تقاطع هذا الخط مع منحني التسوية 115 m والنقطة n هي تقاطع هذا الخط مع منحني التسوية 120 m والتي تمثل نقطة N من سطح الأرض، فمن تشابه المثلثين ' MNN' ، MAA' الشكل (5-11) نكتب:

$$\frac{\Delta H}{e} = \frac{MA'}{MN'}$$

ولكن لدينا: $MA' = ma$ ويمكن قياسها على المخطط.



الشكل (5-11)

أما MN' فتساوي mn وكذلك يمكن قياسها على المخطط، وبالتالي فمن العلاقة السابقة يمكننا أن نكتب: $\Delta H = e \frac{ma}{mn}$ وبعد التعويض في العلاقة (5-22)

نحصل:

$$H_e = H_M + e \frac{ma}{mn} \quad (5-23)$$

ونقول أيضاً عيناهما بتوسط داخلي، ومن الأكيد أن الارتفاع الذي سنحصل عليه للنقطة A هو تقريري، ويتعلق بدقة رسم منحنيات التسوية، وبدقّة القياس التخطيطي للمسافات ma ، mn كما ويعتمد على افتراض ميل الأرض منتظمًا بين النقطتين M, N ولكن مع ذلك كاف في أغلب التطبيقات العملية التي نحتاج فيها معرفة ارتفاعات نقاط من المخطط المرسوم عليه منحنيات تسوية.

-٢ - تساعد خطوط التسوية على تحديد خط الميل الأعظم في أي نقطة a ، كما تساعد على تحديد خط الأفق، إذ أن خط الميل الأعظم: هو الخط العمودي على

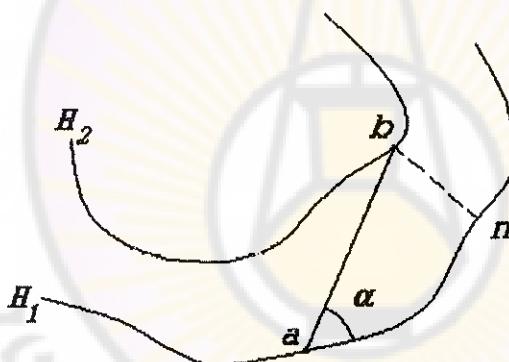
خطي التسوية المجاورين والمار من النقطة المراد تحديده فيها a ، وخط الأفق:
هو الخط الموازي لخط التسوية المجاور للنقطة a والمار من a ، أي أن اتجاه
خط الميل الأعظم هو العمودي على هذا الاتجاه الأفقي.

٣- تساعد خطوط التسوية على قياس ميل الأرض، أي ميل خط الميل الأعظمي
بالعلاقة التالية :

$$P_m = e / mn \quad (5-24)$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أن منحنيات التسوية تتقارب من بعضها بعض، أي
عندما تكون mn صغيرة - بمقدار ما يكون الميل كبيراً.

٤- تساعد خطوط التسوية على قياس ميل خط ما ab مرسوم على الخريطة،
ومعرفة قيمة هذا الميل بدلالة ميل خط الميل الأعظم. الشكل (5-12).



الشكل (5-12)

فإذا اعتبرنا أن الخط ab المرسوم على المخطط يصنع زاوية α مع منحني
التسوية المار من النقطة a وكانت e التباعد المتساوي بين خطوط التسوية
للخريطة المعتبرة، يمكننا أن نكتب أن ميل الخط ab يعطى بالعلاقة :

$$P = \frac{e}{ab} \quad (5-25)$$

فيقياس ab على المخطط وبالتعويض بالعلاقة السابقة نحصل على حساب ميل
الخط ab ، فإذا رسمنا من النقطة b العمود على خط التسوية الأول المار من a

والثاني المار من b وكانت n نقطة تقاطع هذا العمود مع منحنى التسوية المار من a يكون ميل خط الميل الأعظم :

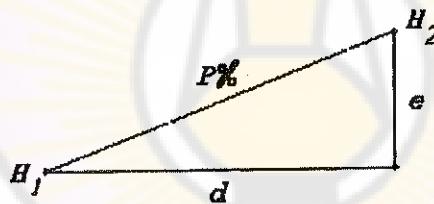
$$P_m = \frac{e}{bn} \quad \leftarrow \quad e = P_m \cdot b \cdot n$$

نعرض في العلاقة السابقة:

$$P = \frac{e}{ab} = \frac{bn}{ab} \cdot P_m = P_m \sin \alpha \quad (5-26)$$

٥- تساعد خطوط التسوية على اختيار خط له ميل معين على الأرض في المنطقة التي يمثلها المخطط، إن هذه الميزة لها أهمية كبيرة في تصميم محاور الطرق والسكك الحديدية، وخطوط التوتر وغيرها من المنشآت الهندسية الخطية. إن الخط الذي له ميل ثابت $P\%$ كما في الشكل (5-13) هو الخط الذي تتغير مناسبيه بمقاييس ثابتة على مسافات أفقية: d ثابتة أي:

$$P\% = \frac{e}{d} \quad (5-26)$$



الشكل (5-13)

وبما أن e هي فرق الارتفاع بين خطوط التسوية وهو مقدار ثابت $e = \text{const}$ بقي علينا لتحديد الميل المعين اختيار المسافة الثابتة له للانتقال من خط تسوية إلى آخر، وبذلك يتحقق تحديد مسار هذا الخط على المخطط.

مثال:

المطلوب تصميم محور طريق جبلي بميل 6% على مخطط، بخطوط تسوية خطوطها: $e=3M$ ومقاييس المخطط .115000.

الحل:

$$d = \frac{e}{p\%} = 3 \times \frac{100}{6} = 50 \text{ CM}$$

وبحسب مقياس الرسم، فإن هذه المسافة تقابل: 1 CM . لذا بفتحة الفرجار بمقدار (1CM) ننتقل من خط تسوية إلى آخر وبذلك نحدد مسار الطريق المطلوب.

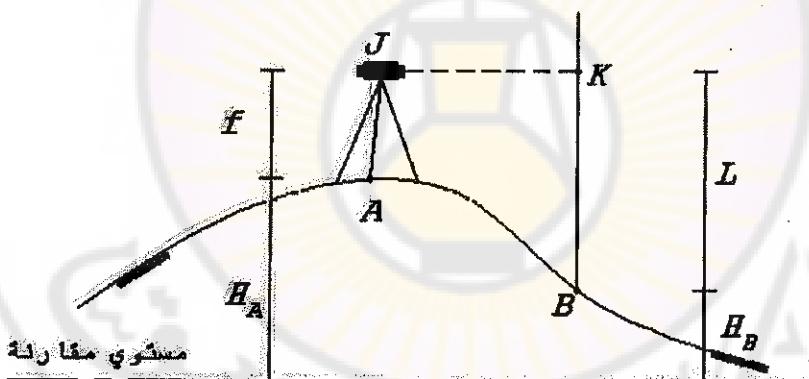
- رسم منحنيات التسوية :

هناك طريقتان أساسيتان لرسم منحنيات التسوية، الطريقة الأولى: المسماة بتتابع منحنيات التسوية على الطبيعة، والتي بواسطتها نعين على سطح الأرض نقاطاً واقعة على منحنيات التسوية، والطريقة الثانية: المسماة بطريق التوسط الداخلي، والتي تعتمد على رسم منحنيات التسوية في المكتب بعد تعين عدد كافٍ من ارتفاعات نقاط مميزة على سطح الأرض، وهذا الرسم يمكن أن يتم إما يدوياً أو آلياً بواسطة راسم إلكتروني.

أ- طريقة تتبع منحنيات التسوية على الطبيعة:

بهذه الطريقة تقوم بالتعيين المستوي الشاقولي لمجموعة من النقاط ذات الارتفاعات المواقفة لارتفاعات منحنيات التسوية المراد رسماها (الشكل 5-14)، لنفترض أننا نريد رسم منحنى التسوية ذي الارتفاع H_1 المافق لارتفاع أحد منحنيات التسوية المطلوب رسماها، ولتكن النقطة A محددة ومعينة من الناحية المستوية وكذلك من ناحية المنسوب، حيث ارتفاعها H_A لهذا نضع جهاز تسوية - نيفو - أو جهاز تيودوليت على النقطة A ونمركز الجهاز بشكل دقيق فوق تلك النقطة، بحيث يمر المحور الشاقولي للجهاز من تلك النقطة، إن ارتفاع المحور الضوئي - شعاع الروبة - للجهاز الذي يشكل مستويًا أفقياً JK يكون مساوياً: $H_A + f$ ثم نقوم بتنقل الميرا على الأرض الطبيعية، موجهين إليها

دائماً شعاع الرؤية الأفقي، وذلك سواءً لجهاز النيفو أو التيودوليت حتى نحصل على قيمة القراءة على الميرا تساوي: $H_A + f - H_B$ حيث: $H_B = H_1$ علدها تكون نقطة تركيز الميرا واقعة على منحني التسوية H_1 ثم تقوم بتحديد هذه النقطة من الناحية المستوية، أي بقياس الزاوية بين الاتجاه المرصود على B واتجاه معلوم أو اتجاه توجيه يمر من A وقياس المسافة الأفقي بين A - B ثم نقل الميرا إلى نقطة ثانية حتى نحصل من جديد في نقطة C على نفس القراءة على الميرا أي: $H_A + f - H_1$ فنعين النقطة C أيضاً من الناحية المستوية، ونكرر هذه العملية حتى نحصل على عدد كافٍ من النقاط الواقعه على منحني التسوية H_1 حيث إن التعين المستوي لتلك النقاط: B, C, سيسمح لنا بتزيلها أو توقيعها على المخطط بالقياس المطلوب، ثم نرسم منحني التسوية H_1 الذي يصل بينها جميعاً.



(3-14) الشكل

بنفس الطريقة نعين منحني تسوية ثانٍ $H_2 = H_1 \pm c$ حيث c هي قيمة التباعد المتساوي المطلوب، ثم نعين منحنياً ثالثاً وهكذا، وعندما تبتعد نقاط منحنيات التسوية عن موقع الجهاز ننقل الجهاز إلى نقطة ثالثة معلومة ونكرر العمل.

نلاحظ أنه بمعرفتنا لارتفاع نقطة A مثلاً، يمكننا تحديد منحنيات التسوية المارة بالقرب من A، إذ إن العلاقة: $H_A + f - H_T$ يجب أن تكون موجبة وأصغر من أربعة أمتار أو طول الميرا المستخدمة.

فإذا كان ارتفاع النقطة A $H_A = 361.48$ M وارتفاع المحور الضوئي $f = 1.37$ M عندما يكون ارتفاع المستوى الأفقي للنظر، أو ارتفاع شعاع الرؤية $H_A + f = 362.85$. فمن النقطة A يمكننا أن نعين منحنيات التسوية 359, 360, 361, 362... وذلك عندما $e = 1M$ وبشرط لأن لا تكون نقاط تلك المنحنيات بعيدة جداً عن النقطة A فمثلاً بالنسبة للمنحي 359.0 يجب أن تكون القراءة على الميرا 3850 وبالنسبة للمنحي 360.0 تكون القراءة على الميرا 360.0 وهذا.

هذا ويجب عدم التقيد بدقة كبيرة عند القراءة على الميرا، حيث هناك حدود تساهل تفرضها طبيعة الأرض، ويمكننا قبول تساهل يتراوح بين $2 \div 5$ CM في القراءة على الميرا، وتعتبر هذه الطريقة في تحديد أو تعين منحنيات التسوية دقيقة ولكنها تتطلب فترة زمنية طويلة نسبياً.

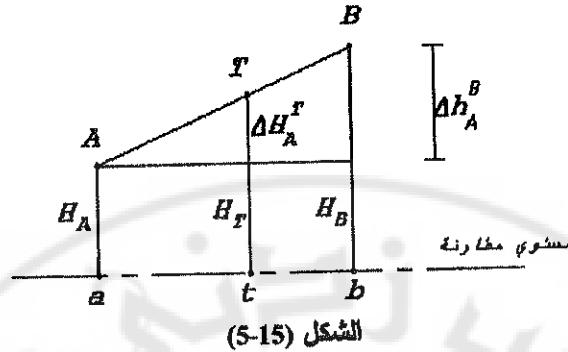
ب- طريقة التوسط الداخلي:

ليكن لدينا نقطتان: A,B على الطبيعة والممثلتين بال نقطتين a,b على المخطط الشكل (5-15) حيث إن ارتفاع كل منها معلوم وهو: H_A, H_B نفرض أن الخط الواسط بين النقطتين: A,B هو خط من سطح الأرض، عندما وبواسطة التوسط الداخلي يمكننا أن نحدد موقع نقطة ما: T ذات ارتفاع معلوم: H_T وبحيث تحقق المترابحة: $H_A < H_T < H_B$ وذلك باعتبار $H_A < H_B$ من الشكل

$$\frac{at}{ab} = \frac{\Delta h_A^T}{\Delta h_A^B} \Rightarrow at = ab \cdot \frac{\Delta h_A^T}{\Delta h_A^B} \quad (5-15)$$

ومن تشابه المثلثات نكتب:

$$\Delta h_A^T = H_T - H_A, \quad \Delta h_A^B = H_B - H_A \quad \text{حيث:}$$



مثال:

نفرض أن $H_B = 361.70 \text{ m}$ ، $H_A = 358.17 \text{ m}$ والمطلوب تحديد موقع النقطة ذات الارتفاع $H_T = 359.0 \text{ m}$ علماً أن المسافة بين مسقتي: A , B هي : $\bar{AB} = 4.5 \text{ cm}$

الحل:

لدينا

$$\Delta h_A^B = H_B - H_A = 3.53 \text{ M} \Rightarrow at = 4.5 \times \frac{0.83}{3.53} = 1.06 \text{ M}$$

$$\Delta h_A^T = H_T - H_A = 0.83 \text{ M}$$

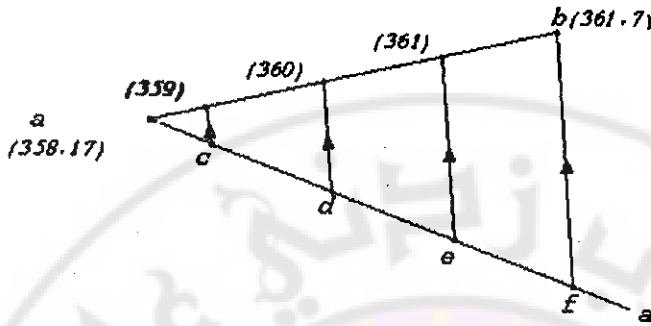
أي أن المسألة هي تقسيم قطعة مستقيمة ab بنسبة ثابتة. إن هذه العملية، يمكن أن تتم بشكل تخطيطي، وهي الطريقة التي نلجأ إليها، عندما نريد إنشاء منحنيات التسوية يدوياً، فإذا فرضنا أن ارتفاعي النقطتين: A , B هما كما وردتا في المثال السابق، ونريد أن نرسم بين مسقتيهما a,b أمكنة مرور منحنيات التسوية ذات التباعد المتساوي والمساوي M = 1. إن بين النقطتين: a,b حتماً نقاطاً ارتفاعانها M = 360. , 361.0 وصولاً إلى تحديد مواقعها نرسم من النقطة a مستقيماً لا على التعبيين 'aa' كما في الشكل (5-16) ثم نأخذ عليه اعتباراً من a وبقياس مناسب القيم:

$$ac = 359.0 - 358.17 = 0.83 \text{ M}$$

$$cd = 360 - 359 = 1 \text{ M}$$

$$de = 361 - 360 = 1 \text{ M}$$

$$ef = 361.7 - 361.0 = 0.7 \text{ M}$$



الشكل (5-16)

ثم نصل النقطة f بـ b ونرسم من a , c , d , e موازيات لـ bf فتقطع ab في النقاط التي تمر منها منحنيات التسوية المطلوبة. فإذا كررنا هذا العمل بين عدد من النقاط المعينة، من ناحية المستوى والارتفاع، والمنزلة أو الموقعة على المخطط، ثم وصلنا بين النقاط ذات الارتفاع الواحد بمنحنيات مستمرة فإننا سنجصل على منحنيات التسوية.

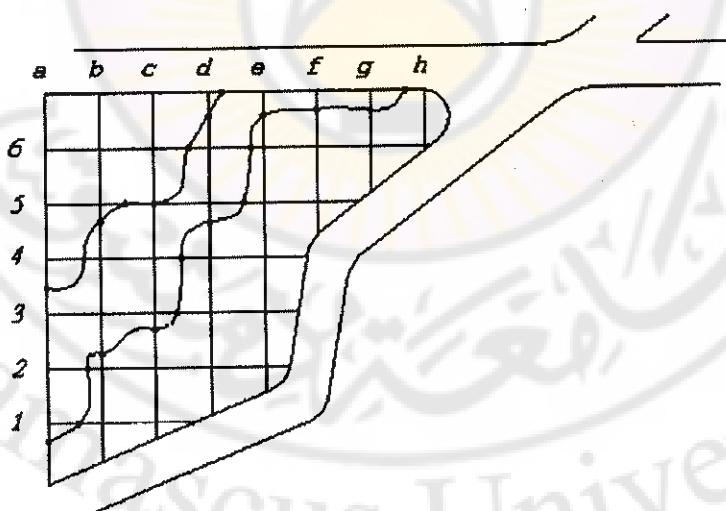
- طرق تعين النقاط لرسم منحنيات التسوية:

إن العناصر الأساسية التي تعطي للسطح الطبوغرافي شكله هي: جداول المياه ومجاري السيول، ونتيجة لتأثير هذه العناصر تشكلت الأحواض الساكنة والسفوح، وبالتالي فعلينا أن نفتتح ونعين على سطح الأرض وبشكل أقرب ما يمكن للصحة، الشبكة الهيدرولوجية للمنطقة المراد تمثيلها، فمجاري السيول هي النقاط المنخفضة التي تتلاقى حولها السطوح التي تشكل السطح الطبوغرافي، وبالتالي فيجب علينا دائماً أن نعي نقاطاً واقعة في مجاري السيول تعيناً من الناحية المستوية والارتفاعية، أي أن نعي مقاطع لهذه المجاري، حيث إنه حول هذه المجاري لا توجد نقطة أخفض من تلك النقاط، ومن ثم يجب أن نعي عدداً كافياً من النقاط على السفوح، تسمح بإجراء عمليات التوسط الداخلي

لرسم منحنيات التسوية، واضعين نصب أعيننا أن منحنيات التسوية ستتعرّب باتجاه كلّ مجرى سيل أو جدول ماء، وبشكل عام هناك ثلاثة طرق لتعيين عدد من النقاط والغاية منها جميعاً هي رسم منحنيات التسوية في منطقة ما من سطح الأرض.

١ - طريقة المربعات:

في هذه الطريقة تقسم المنطقة إلى مربعات متساوية الأضلاع، أو الأبعاد الشكل (5-17)، نحدد رؤوسها أو ذرواتها بواسطة أوتاد خشبية أو أكواخ صغيرة من الحجارة، ثم نختار أبعاد المربعات بأرقام صحيحة وحسب طبيعة الأرض كل : (M, 20, 50, 10) نعين هذه الأبعاد بواسطة شريط القياس، ونستخدم الموشور لرفع الأعمدة ولوضع النقاط على الاستقامة، ثم نحدد مناسب رؤوس المربعات بالتسوية المباشرة، ومن ثم تنزل تلك النقاط على الخطوط، ونكتب ارتفاعاتها ونجري عمليات التوسط الداخلي ومن ثم نرسم منحنيات التسوية كما في الشكل (5-17).

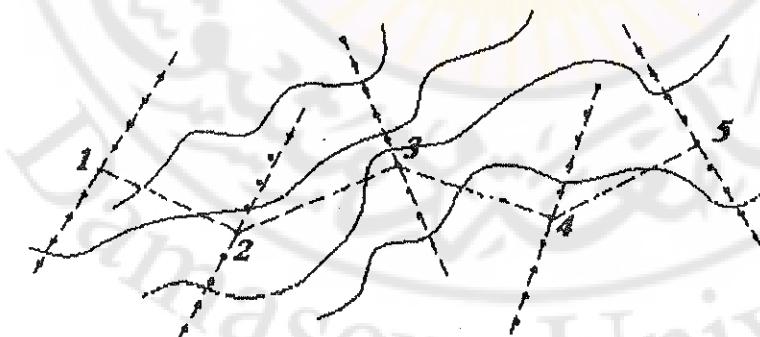


الشكل (5-17)

إن هذه الطريقة لا تصلح إلا في الأراضي البسيطة، ويجب علينا أن لا نكتفي بتعيين ذروات المربعات من الناحية المستوية والارتفاعية فقط، بل عليناأخذ نقاط إضافية إذا دعت الحاجة، وخاصة إذا كان هناك مجرى سيل أو جدول ماء حتى يصار إلى تمثيل التضاريس على نحو دقيق يفي بالغرض.

بـ- طريقة المقاطع:

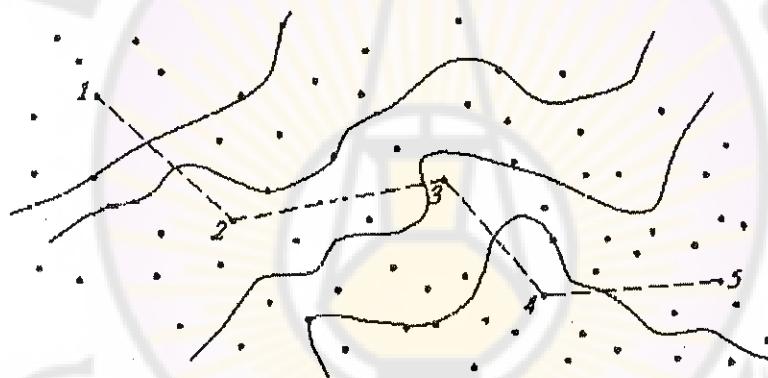
في هذه الطريقة ننشئ على الطبيعة مضلعًا أو عدة مضلعات تخترق المنطقة المراد وضع مخطط لها، كما في الشكل (5-18) ولجسد روؤس هذه المضلوعات بأوتاد أو مراصد حجرية أو بيتونية، ونعينها من الناحية المستوية والناحية الارتفاعية بالتسوية المباشرة أو غير المباشرة، ثم في كل رأس من روؤس المضلع ننشئ استقامة أو عدة استقامتات باتجاه عمودي على اتجاه المضلع، ثم نعين على هذه الاستقامتات مجموعة من النقاط، تعيناً من الناحية المستوية والارتفاعية، كما في الشكل (5-18) ونرسم خطوط التسوية بالتوسط الداخلي. تطبق هذه الطريقة في الأراضي السهلة أو القليلة الوعورة.



الشكل (5-18)

جـ- طريقة الإشعاع:

كما في الطريقة السابقة - طريقة المقاطع - تتشي مضلعاً أو عدة مضلعات تخترق المنطقة المدروسة، الشكل (5-19)، ثم نعين ذروات أو رؤوس تلك المضلعات من الناحية المستوية والارتفاعية، ومن ثم من كل رأس من رؤوس المضلع نعين بطريقة الإشعاع عدداً من النقاط، تعيناً من الناحية المستوية والناحية الارتفاعية، وبحيث تكون تلك النقاط نقاطاً مميزة على الطبيعة بشكل نستطيع فيه إجراء عملية التوسط الداخلي بين كل نقطتين متتاليتين. نستخدم عادةً في هذه الطريقة القائس الإلكتروني، وكذلك الطرق غير المباشرة في قياس المسافات والارتفاعات.



الشكل (5-19)

٥-٥- دراسة واختبار جهاز الليفو:

كما هو معلوم فإن جهاز الليفو يستخدم لقياس فروق المناسب، لذا لا بد من إجراء بعض الاختبارات التقنية والفنية الهندسية عليه لاختبار مدى دقته وصلاحيته للعمل. من هذه الاختبارات :

- الاختبارات التقنية :

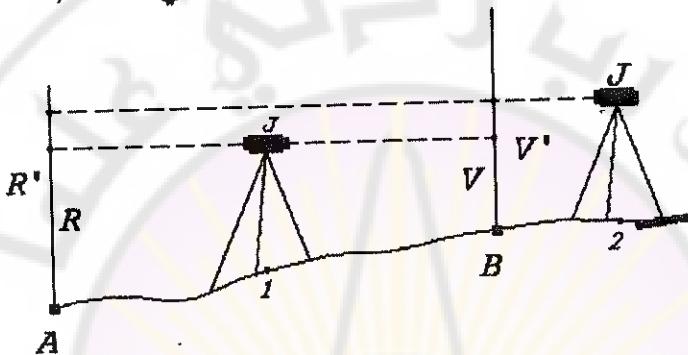
- ١- حركة جميع البذالات على الجهاز يجب أن تكون سلسة ومنتظمة وحركتها موزونة.
- ٢- تثبيت الجهاز على الركيزة بشكل كامل، بحيث إن أي ضغط خفيف من الأعلى أو الجوانب يجب أن لا يؤثر على القراءة المأخوذة على الميرا.
- ٣- دوران الجزء العلوي من التيفو، يجب أن يكون سلساً دون أية مقاومة أو احتكاك.
- ٤- جهاز المطابقة للنيفو، يجب أن يعمل بصورته المثلثي، لهذا نوازن الجهاز بشكل دقيق، ونأخذ القراءة على ميرا متوضعة على مسافة: $(40 \div 50) M$ من الجهاز، ومن غير أن نرفع عيننا عن العدسة العينية، ننقر على الركيزة نقرأ خفيفاً، ونتيجة لهذا النقر تصبح صورة الميرا غير واضحة، وذلك بسبب اهتزاز جهاز المطابقة للنيفو.
فإذا عادت الصورة إلى وضوحها السابق خلال: $(1 \div 2) sec$ ولم تتغير القراءة على الميرا فالجهاز يعمل بصورته المثلثي.

- الاختبارات الفنية الهندسية :

- ١- محور الزئبقية الكروية للنيفو، يجب أن يكون موازياً لمحور دوران جهاز النيفو.
- ٢- الخط الأفقي للشبكة المستديمترية لجهاز النيفو، يجب أن يكون متعمداً مع محور دوران جهاز النيفو.
- ٣- محور شعاع الرؤية، ومحور الزئبقية الكروية لجهاز النيفو، يجب أن يقعان في مستويين شاقوليين متوازيين.

٤- محور شعاع الرؤية، ومحور الزئبقية الاسطوانية لجهاز النيفو، يجب أن يكونا متوازيين.

٥- محور شعاع الرؤية لجهاز النيفو عند أخذ القراءة يجب أن يكون أفقياً تماماً. وللحقيقة، نمركز جهاز النيفو بشكل دقيق في منتصف المسافة بين نقطتين: A, B تبعد أحدهما عن الأخرى مسافة ($50 \div 80$ M) كما في الشكل (5-20).



الشكل (5-20)

نأخذ القراءة على الميرا الخلفية R وعلى الميرا الأمامية V ومن ثم ننقل الجهاز إلى أمام الميرا الأمامية، وعلى مسافة: ($3 + 5$ M) ثم نأخذ القراءة على الميرا البعيدة في A ولتكن 'R- وعلى الميرا القريبة في B ولتكن : 'V. إن الفرق بين القراءة على الميرا البعيدة : 'R والقيمة المحسوبة : 'V = $(R-V)+V$

$$R = (R-V) + V$$

$$(a_1 - b_1) + b_2 = a_2 \quad \text{يجب أن لا يتجاوز: } 4 \text{ MM}$$

إن الجهاز يعمل بصورة جيدة ، أما إذا كان الفرق أكبر من ذلك فيجب علينا تصحيح هذا الخطأ.

إن التحقق من الحالة العامة للجهاز يجب أن يتم قبل بداية العمل من كل يوم، وفي حال كانت الأجهزة جيدة وظروف العمل مناسبة فيتم ذلك كل (15) يوم على الأكثر .

٦-٥ - الدقة في قياسات التسوية المباشرة :

هناك مجموعة كبيرة من الأخطاء التي تؤثر على دقة القراءة على الميرا وبالتالي على دقة قياسات التسوية، فمنها الأخطاء التي تعود إلى الجهاز والأخطاء المتعلقة بالميرا نفسها عدم أفقية شعاع الرؤية، عدم الدقة في تقسيمات الميرا وعدم الدقة عند تدوير القراءة عليها .

و بما أن تلك الأخطاء مستقلة أي أن كل منها يؤثر على النتائج بشكل مستقل وليس لها أي علاقة بالخطأ الآخر ، فحسب نظرية الأخطاء يكون الخطأ المتوسط

التربيع للقراءة على الميرا معطى بالعلاقة (5-27) التالية:

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 \quad (5-27)$$

حيث :

- الخطأ المتوسط التربيع للقراءة على الميرا .

- الخطأ المتوسط التربيع لجهاز أو منظار الجهاز ، ويعتبر مساوياً

$$m_1 = 0.73 \text{ mm}$$

- الخطأ المتوسط التربيع لعدم أفقية شعاع الرؤية ، ويعتبر مساوياً

$$m_2 = 0.22 \text{ mm}$$

- الخطأ المتوسط التربيع لتدوير القراءة على الميرا ، ويعتبر مساوياً

$$m_3 = 0.79 \text{ mm}$$

- الخطأ المتوسط التربيع لتقسيمات الميرا ، ويعتبر مساوياً

$$m_4 = 0.17 \text{ mm}$$

نعرض القيم السابقة في العلاقة (5-27) الأساسية فنجد :

$$m^2 = 0.73^2 + 0.22^2 + 0.79^2 + 0.17^2$$

$$\Rightarrow m = 1.1 \text{ mm}$$

و بما أن فرق المنسوب بين نقطتين هو حاصل طرح قراءتين على ميرا خلفية

و أمامية وباعتبار ظروف القياس واحدة في الحالتين ينتج :

$$m_h = \sqrt{\frac{4m^2}{4}} = m = 1.1 \text{ mm}$$

أي أن الخطأ المتوسط التربيع لفرق المنسوب بين نقطتين m_h يساوي للخطأ المتوسط التربيع للقراءة على الميرا m كما وأن الخطأ المتوسط التربيع في أعمال التسوية المباشرة يجب أن لا يزيد عن $m_h = 2 \text{ mm}$ في شبكات الدرجة الرابعة .

الخطأ المتوسط التربيع لفرق المنسوب بين نقاط مسار تسوية طويل، أي لا يمكن قياس فرق المنسوب بين نقطتي البداية والنهاية من وقفة واحدة للجهاز، ولتكن طول هذا المسار كيلو متر واحد، والمسافة بين الجهاز والميرا S ، فإن الخطأ المتوسط التربيع لمجموع فروق المنسوب بين نقاط هذا المسار يعطى

بالعلاقة (5-28) التالية:

$$m_{h(KM)} = m_h \sqrt{n} \quad (5-28)$$

حيث :

n - عدد وقوفات الجهاز .

مثال :

احسب الخطأ المتوسط التربيع لمنسوب مسار طوله كيلو متر واحد في الحالتين التاليتين:

١ - مسار التسوية من الدرجة III .

٢ - مسار التسوية من الدرجة IV .

علماً بأن المسافة بين الجهاز والميرا $S = 75 \text{ m} = 75 \text{ mm}$

الحل:

$$n = \frac{L}{2(S)} = \frac{1 \times 1000}{2 \times 75} = 7 \quad \text{عدد وقوفات الجهاز}$$

$$m_{h(KM)} = 1.1\sqrt{7} = 2.9 \text{ mm} \quad \text{لمسار من الدرجة III}$$

$$m_{h(KM)} = 2\sqrt{7} = 5.29 \text{ mm} \quad \text{لمسار من الدرجة IV}$$

وبحسب نظرية الأخطاء فإن الخطأ الأعظمي المسموح به، أو خطأ الإغلاق المسموح به FH .

لمسار تسوية طوله : (1 KM) يجب أن لا يتجاوز القيمة المبينة بالعلاقة (5-29)

$$f_h = (2 \div 3) m_{h(KM)} \quad (5-29)$$

وبالتالي فإن خطأ الإغلاق المسموح به لمسار تسوية من الدرجة III وذلك بعد التعويض في العلاقة (5-29) هو :

$$f_h = 3 \times 2.9 = 8.7 \text{ mm}$$

$$f_h = 3 \times 5.29 = 15.87 \text{ mm}$$

ولمسار تسوية من الدرجة IV هو

وبشكل عام فإن خطأ الإغلاق المسموح به لمسار تسوية طول: L (KM) يعطى بالعلاقة (5-30) التالية :

$$f_h = 3m_{h(KM)} \sqrt{L_{(KM)}} \quad (5-30)$$

وفي حال قيامنا بإجراء التسوية بين نقطتين ذهاباً وإياباً أي أنه عملياً قد حصلنا على حلقة تسوية مغلقة بين النقطتين A , B كما هو مبين على الشكل



الشكل (5-21)

(5-21) عندها يكون طول مسار التسوية مساوياً : $2L$

وبالتالي خطأ الإغلاق المسموح به يعطى بالعلاقة : (5-31) و (5-32) لكل من مسارات التسوية درجة III ودرجة IV.

$$f_h = 3m_{h(KM)} \sqrt{2L_{(KM)}} = 12_{(\text{mm})} \sqrt{L_{(KM)}} \quad (5-31) \quad III$$

$$f_h = 15.87m \sqrt{2L} = 22.44_{(\text{mm})} \sqrt{L_{(KM)}} \quad (5-32) \quad IV$$

أما عند اعتبارنا : $f_h = 2m_h$ عددها تكون

مثال :

لدينا نقطتان : A , B ، أجرينا بينهما تسوية مضاعفة، حسب الشكل (5-22) كانت نتائج القياس في الذهب والإياب كما هي في الجدولين التاليين (5-2) - (5-3)



الشكل (5-22) ذهاباً

الجدول (5-2) إياباً

النقطة	R_{mm}	V_{mm}	H	
			+	-
B	1048			
	635	1838		790
	1421	1886		1251
	1642	1351	70	
	1771	577	1065	
	1333	1546	225	
	589	1644		311
	3850	2692		2103
	1324	37	3813	
	1944	1752		428
A		682	1262	
Σ	15557	14005	6435	4883

الجدول (5-3) ذهاباً

النقطة	R_{mm}	V_{mm}	H	
			+	-
A	707	-		
	1795	1973		1266
	57	1304	491	
	2740	3881		3824
	1535	625	2115	
	1491	1283	252	
	719	1717		226
	1323	1786		1067
	1550	1399		76
	1790	295	1255	
B		1004	786	
Σ	13707	15267	4899	6459

$$\Delta h_A^B = 13707 - 15267 = -1560 \text{ mm} = -1.56 \text{ M}$$

$$\Delta h = 4899 - 6459 = -1560 \text{ mm}$$

$$\Delta h_B^A = 15557 - 14005 = 1552 \text{ mm} = 1.552 \text{ M}$$

$$\Delta h = 6435 - 4883 = 1552 \text{ mm}$$

$$h = \frac{h' + h''}{2} = \frac{|1.56 + 1.552|}{2} = 1556 \text{ mm}$$

خطاً الإغلاق المسموح به باعتبار مسار التسوية المنفرد درجة III

$$f_h = 3m_{h(KM)} = \sqrt{L_{(KM)}}$$

$$m_{h(KM)} = m_h \sqrt{n} , \quad n = 10$$

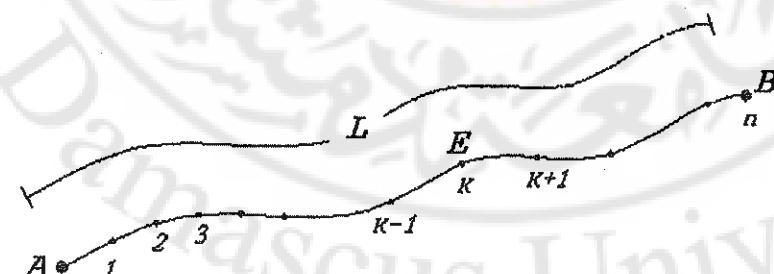
نعرض :

$$f_h = 3 \times 1.1 \times \sqrt{10} = 10.43 \text{ mm}$$

ولدينا خطأ الإغلاق في المسار المقاس OK

٥-٧- حساب وتعديل مسارات وشبكات التسوية :

- تعديل مسارات التسوية المنفردة أو المفتوحة : ليكن لدينا مسار التسوية المبين في الشكل (5-23) بين النقطتين A ، B ، المعلومتين المنسوب والمؤلف من n محطة. والمطلوب تعديل فروق المناسبات المقاسة، وحساب مناسبات النقاط المرحلية، ثم تقييم دقة المناسبات المقاسة والمناسبات المعدلة.



(5-23)

يمكنا أن نحسب منسوب الريبير أو النقطة : E التي تبعد عن النقطة : A. بعدد من المحطات مساوياً لـ K محطة. إما ابتداء من النقطة A. أو من النقطة: B وذلك باعتبار $H_B > H_A$ حسب العلاقة (5-33) التالية :

$$H_E = H_A + \sum_1^k h_i \quad (5-33)$$

$$H''_E = H_B - \sum_{k+1}^n h_i$$

إن القيمتين: H_E , H''_E غير متساويتي الدقة، حيث إن كلاً منها عبارة عن المجموع الجبري لعدد من فروق المنساب المقاسة لنقاط مسارين مختلفين عن بعضهما البعض.

لذا نقوم بحساب الوزن: P_E , P''_E حسب العلاقات (5-34) و (5-35) التاليتين:

$$P_E = \frac{\mu^2}{m'^2_E} \quad (5-34)$$

$$P''_E = \frac{\mu^2}{m''^2_E} \quad (5-35)$$

حيث:

m_E , m''_E الخطأ المتوسط التربيع في منسوب النقطة E لكل من المسارين على حدة.

μ الخطأ المتوسط التربيع لواحدة الوزن، وهي قيمة اختيارية تحدد حسب اعتبارات محددة.

نحسب الخطأ المتوسط التربيع في منسوب النقطة E لكل مسار على حدة بالعلاقاتين (5-36) (5-37) التاليتين :

$$m'_E = m \sum_1^k h_i \quad (5-36)$$

$$m''_E = m \sum_{k+1}^n h_i \quad (5-37)$$

وبالتالي تصبح العلاقات (5-36) و (5-37) السابقتان بالشكل التالي وفق العلاقاتين التاليتين: (5-38) و (5-39)

$$m'_E = m_{\sum_i^k} = m_h \sqrt{k} \quad (5-38)$$

$$m''_E = m_{\sum_{i=1}^n} = m_h \sqrt{n-k} \quad (5-39)$$

نعرض القيمتين السابقتين لـ m'_E ، m''_E بالعلاقاتين (5-34) و (5-35) ونعتبر أن $\mu = m_h$ فنجد العلاقاتين (5-40) و (5-41):

$$P'_E = \frac{m_h^2}{m_h^2 \cdot k} = \frac{1}{k} \quad (5-40)$$

$$P''_E = \frac{1}{n-k} \quad (5-41)$$

أي أن وزن الارتفاع، أو المنسوب يتاسب عكسياً مع عدد وقوفات الجهاز من النقطة المرجعية أي النقطة التي ابتدأنا منها قياس فروق المنسوب إلى الريبيير أو النقطة المرحلية المطلوب حساب منسوبها.

وبيما أننا قد حصلنا على منسوبين وزنين للنقطة E فنحسب الآن المنسوب أو الارتفاع الأكثـر ثقة للنقطة E وذلك باستخدام علاقة الوسطي الموزون (5-42)

كما يلي :

$$H_E = \frac{H'_E P'_E + H''_E P''_E}{P'_E + P''_E} \quad (5-42)$$

$$H''_E = H_B - \sum_{i=1}^n h_i \quad , \quad H'_E = H_A + \sum_{i=1}^k h_i \quad (5-33)$$

$$H'_E - H''_E = H_A - H_B + \sum_{i=1}^{i=n} h_i = \sum_{i=1}^{i=n} h_i - (H_B - H_A) \quad (5-43)$$

نلاحظ أن العلاقة السابقة هي عبارة عن خطأ الإغلاق في مسار تسوية أحدى أو مفتوح أي :

$$H'_E - H''_E = f_h \Rightarrow H''_E = H'_E - f_h$$

حيث إن : f_h خطأ الإغلاق .

نعرض العلاقة (5-43) بالعلاقة (5-42) فنجد :

$$\begin{aligned} H_E &= \frac{H'_E P'_E + (H'_E - f_h) P''_E}{P'_E + P''_E} = \frac{H'_E P'_E + H'_E P''_E - f_h P''_E}{P'_E + P''_E} \\ H_E &= H'_E - f_h \frac{P''_E}{P'_E + P''_E} \end{aligned} \quad (5-44)$$

بتعمير قيم P'_E , P''_E من العلاقات (5-40) و (5-41) بالعلاقة (5-44) بما يساويها نجد :

$$H_E = H'_E - \frac{f_h}{n} \cdot k \quad (5-45)$$

ولكن $H'_E = H_A + \sum_1^k h$ نعرض بالعلاقة (5-45) السابقة فنجد (5-46)

$$H_E = H_A + \sum_1^k h - \frac{f_h}{n} \cdot k \quad (5-46)$$

هذه العلاقة تستخدم لحساب وتحديد منسوب وارتفاع أي ريبير أو نقطة من مسار التسوية المدروسة.

إذن لتعديل مسار تسوية منفرد أو مفتوح نحسب خطأ الإغلاق لمجموع فروق المنسوب ونأخذ إشارته معاكسة لإشارته المحسوبة، ونوزعه على المحطات، بشكل يتناسب عكسياً مع عدد المحطات الإجمالية وطريحاً مع العدد للمحطة المدروسة.

نقوم بحساب الأوزان معتمدين على عدد المحطات أو على عدد وقوفات الجهاز أي عدد الركائز، في الحالات التي يكون فيها طول شعاع الرؤية متغيراً بشكل

كبير بين القراءة والأخرى، مثلاً في مسار تسوية من الدرجة: III عندما يتراوح طول شعاع الرؤية من $M \div 50$ وفي مسار تسوية من الدرجة: IV حيث يتغير طول شعاع الرؤية بين: $M \div 100$ ضمن هذه الشروط يمكننا أن نستبدل أو نعتبر الخطأ المتوسط التربيعي لواحدة الوزن μ مساوياً للخطأ المتوسط التربيعي لمسار تسوية طوله: $\mu = m_{(KM)}$ أي $1KM$

الأساسية (5-36) (5-37) نجد:

$$m'_E = m_{(KM)} \sqrt{L_E} \quad (5-47)$$

$$m''_E = m_{(KM)} \sqrt{L - L_E} \quad (5-48)$$

حيث :

L - طول مسار التسوية .

L_E - طول مسار التسوية من النقطة المدروسة إلى نقطة البداية أو النقطة المرجعية .

عندما نستطيع أن نحسب الأوزان بالعلاقات (5-49) (5-50) التاليتين:

$$P'_E = \frac{1}{L_E} \quad (5-49)$$

$$P''_E = \frac{1}{L - L_E} \quad (5-50)$$

أي أن وزن المنسوب أو الارتفاع يتناسب عكسياً مع طول مسار التسوية من نقطة البداية إلى النقطة المدروسة. وبالتالي فإنه إذا عرضنا:

$$P''_E = \frac{1}{L - L_E}, P'_E = \frac{1}{L_E}$$

بالعلاقة (5-44) التالية : $H_E = H'_E - f_h \frac{P''_E}{P'_E + P''_E}$ فسوف نحصل على

العلاقة (5-51) التالية :

$$H_E = H'_E - \frac{f_h}{L} L_E \quad (5-51)$$

أي أن خطأ الإغلاق يجب أن يوزع بشكل يتناسب طردياً مع طول المسار المدروس، من نقطة البداية إلى النقطة المدروسة، وعكسياً مع طول مسار التسوية بكامله.

وبحسب نظرية الأخطاء فإن الخطأ المتوسط التربع الأكثر ثقة للمناسيب المعدلة يعطى بالعلاقة (5-52) التالية:

$$M_E = \frac{\mu}{\sqrt{P_E}} \quad (5-52)$$

حيث:

P_E - وزن المنسوب الأكثر ثقة .

وباعتبار : $\mu = m_{(KM)}$ تصبح العلاقة السابقة (5-52) بالشكل التالي:

$$M_E = \frac{m_{(KM)}}{\sqrt{P_E}} \quad (5-53)$$

ولكن لدينا $P_E = P'_E + P''_E$ وبتعويض P'_E, P''_E بما تساويه من العلاقات (5-34) (5-40) (5-41) في العلاقة السابقة (5-53) نحصل:

$$P_E = \frac{1}{K} + \frac{1}{n-K} = \frac{2}{k(n-K)} \quad (5-54)$$

$$P_E = \frac{1}{L_E} + \frac{1}{L-L_E} = \frac{L}{L_E(L-L_E)} \quad (5-55)$$

من العلاقاتين (5-34) (5-55) السابقتين نلاحظ أن الوزن: P_E يتغير بتغير عدد المحطات، وتغير طول المسار، وبالتالي فالخطأ المتوسط التربع لمناسيب النقاط المعدلة سوف يتغير أي أن مناسب النقاط المحسوبة غير متساوية الدقة. ولتحديد أو تعين النقاط الأضعف أو الأقل ثقة في مسار التسوية نعالج العلاقة (5-54) إذ إن وزن النقطة الأضعف يكون أصغرياً، ولكي يكون

يجب أن يكون التابع $y = k(n-k) = \max$ لهذا فنحصل التابع $y = k(n-k)$ وهو مقام العلاقة (5-54) ونصل بالصفر فنحصل:

$$\frac{dy}{dk} = 0 \Rightarrow n - 2K = 0 \Rightarrow K = \frac{n}{2}$$

أي أن النقطة الأضعف في مسار لتسوية المفتوح هي النقطة الواقعة في منتصف المسار وزن هذه النقطة يحسب بالعلاقة (5-56) كما يلي :

$$P_{E_{\min}} = \frac{n}{K(n-K)} = \frac{4}{n}$$

$$P_{E_{\min}} = \frac{4}{L} \quad (5-56)$$

وبالتالي فالخطأ المتوسط التربيعي للنقطة الأضعف يعطى بالعلاقة (5-57) التالية :

$$M_{\min} = \frac{m_h}{\sqrt{P_{\min}}} = \frac{m_h \sqrt{n}}{2} \quad (5-57)$$

$$M_{\min} = \frac{m_{(KM)}}{\sqrt{P_{\min}}} = \frac{m_{(KM)} \sqrt{L}}{2}$$

تطبيق (1) :

احسب الخطأ المتوسط التربيعي لمنسوب أضعف نقطة في مسار تسوية من الدرجة الثالثة طوله : $L = 50 \text{ KM}$

الحل :

الخطأ المتوسط التربيعي لمسار طوله كيلو متر واحد من الدرجة الثالثة $m_{(KM)} = 3$ وحسب العلاقة (5-57) نكتب :

$$M_{\min} = \frac{m_{(KM)} \sqrt{L}}{2} = \frac{3\sqrt{50}}{2} = 10.6 \text{ mm}$$

تطبيق (2) :

احسب الخطأ المتوسط التربيعي في قياس المنسوب لمحطة الواحدة لمسار تسوية مؤلف من (590) محطة. علماً بأن الخطأ المتوسط التربيعي لمنسوب الريبير أو النقطة الأضعف يجب أن لا يتجاوز 30 mm .

الحل :

$$M_{\min} = \frac{m_h \sqrt{n}}{2} \Rightarrow m_h = \frac{2M_{\min}}{\sqrt{n}} = \frac{2 \times 30}{\sqrt{590}} \approx 2.5 \text{ mm}$$

2- تعديل وحساب مسار تسوية مغلق :

للتعديل وحساب مسار تسوية مغلق تتبع نفس الخطوات والترتيب في حساب وتعديل مسار التسوية المفتوح الوارد في الفقرة السابقة، وبالتالي تكون خوارزمية حساب منسوب نقطة مجهولة، في مسار تسوية مفتوح أو مغلق لها الشكل المبين على الشكل (5-24) التالي:

حساب الخطأ الأعظمي المسموح به (حد التسامي)

بـ- حسب عدد المحطات n .

$$\Delta H = 2.5\sqrt{2n} \cdot m_o$$

أـ- حسب المسافات L .

$$\Delta H = 12\sqrt{L_{(KM)}} \cdot m_o$$

$$1 - 2 \text{ mm} = m_o$$

حساب خطأ الإغلاق f_h

أـ- مسار مفتوح بـ- مسار مغلق

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i , \quad f_h = \sum_{i=1}^{i=n} h_i - (H_B - H_A)$$

$$f_f \leq \Delta h$$

No.

حساب النصائح

جـ- حسب عدد الركائز

$$v_i = \frac{-f_h}{n} n_i , \quad v_i = -\frac{f_h}{L} L_i , \quad v_i = -\frac{f_h}{n}$$

أـ- توزيع بالتساوي

بـ- حسب المسافات

حساب فروق المنسوب الصححة.

$$\Delta h_i^{i+1} = \Delta h_i^{i+1} + v_i^{i+1}$$

حساب المنسوب النهائية للنقط

$$H_i = H_{i-1} + \Delta h_{i-1}^i$$

للتوى

الشكل (5-24)

٨-٥ طرق تعين ارتفاعات أو مناسب النقط :

يوجد لدينا طريقتان من أجل تحديد أو تعين مناسب مجموعة من النقط في أعمال التسوية هما:

١- طريقة المسارات. ٢- طريقة الإشعاع .

١- طريقة المسارات: لتكن النقطة A ذات ارتفاع أو منسوب معلوم H_A :
 نريد نقاطاً تعين ارتفاعها الشكل (5-25) نسمى المنحني المار من النقط : $1, 2, \dots, N-1$ بمسار التسوية أو مسالك التسوية، ونميز بين نوعين من مسارات التسوية:



الشكل (5-26)

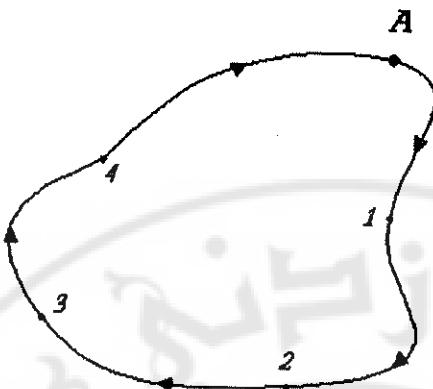


الشكل (5-25)

أ- مسار تسوية مفتوح الشكل (5-25) وهو المسار أو المسلك الذي تكون بدايته ونهايته نقطتين معلوماتي الارتفاع أو المنسوب حيث: H_A, H_B معلومتان، H_1, H_2, H_3 مجهولة .

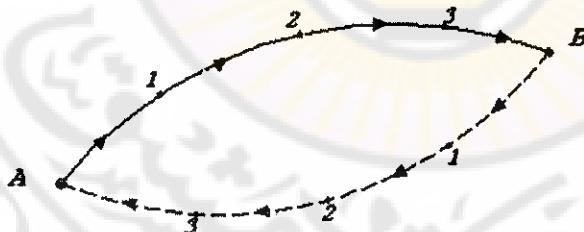
ب- مسار أو مسلك تسوية مغلق الشكل (5-27) وهو المسار الذي تكون بدايته ونهايته نقطة واحدة معلومة الارتفاع ، كما في الشكل (5-27).

وبالتالي يمكننا تعين ارتفاعات النقط : $1, 2, \dots, N-1$ بالتسوية المباشرة بوضع جهاز التسوية -النيفو- بين النقطة A والنقطة 1 وبشكل يقع في منتصف المسافة بينهما ثم نجري قراءة خلفية على ميرا موضعية في النقطة A وقراءة أمامية على ميرا متوضعة في النقطة 1 ثم ننقل الجهاز إلى نقطة بين النقطتين : 2,1 وهكذا حتى نهاية المسار، إن طريقة التسوية السابقة تسمى بالتسوية باتجاه واحد أي من النقطة A إلى B .



الشكل (5-27)

أما التسوية بالذهب والإياب الشكل (5-28) حيث تستخدم هذه الطريقة في أعمال التسوية المباشرة حيث تقوم بعملية التسوية ذهاباً من A إلى B وإياباً من B إلى A. أي عند الوصول إلى نهاية المسار نعود إلى نقطة الانطلاق، مكررين القياسات بعكس اتجاه السير السابق، أما إذا كنا قد استخدمنا نقاطاً وسيطة اختيارية بين ذروات المسار فيمكن الاستعاضة عنها بنقاط اختيارية أخرى أثناء الإياب، ف بهذه الطريقة نتمكن من حساب قيمتين لفرق المنسوب بين نهاية المسار، ويجب أن يكون الفرق بين القيمتين مقبولاً أي مفسراً بأخطاء القياسات.



الشكل (5-28)

مثال :

فمنا بإجراء تسوية مضاعفة بين النقطتين: A ، B المبينتين في الشكل (5-29)، وكانت نتائج القياس في الذهب والإياب كما في الجدولين التاليين الجدول (4-5) والجدول (5-5):



الشكل (5-29)

المطلوب :

- ١- احسب فرق المنسوب أو الارتفاع بين النقطتين: B , A .
- ٢- احسب خط الإغلاق ثم قارنه مع الخط المسوم به. إذا علمت أن

$$m_0 = 1.1 \text{ mm}$$

الجدول (5-5):

النقطة	القراءة على الميرا		H	
	R	V	+	-
A	707	--		
	1795	1973		1266
	57	1304	491	
	2740	3881		3824
	1535	625	2115	
	1491	1283	252	
	719	1717		226
	1323	1786		1067
	1550	1399		76
	1790	295	-1255	
B	-	1004	786	A
Z	13707	15267	4899	6459

الجدول (5-4):

النقطة	القراءة على الميرا		H	
	R	V	+	-
B	1048			
	635	1838		790
	1421	1886		1251
	1642	1351	70	
	1771	577	1065	
	1333	1546	225	
	589	1644		311
	3850	2692		2103
	1324	37	3813	
	1944	1752		428
A	-	682	1262	
Z	15557	14005	6435	4883

الحل:

- في الذهاب :

$$\Delta h_A^B = 13707 - 15267 = -1560 \text{ mm}$$

$$\Delta h_A^B = 4899 - 6459 = -1560 \text{ mm}$$

- في الإياب :

$$\Delta h_B^A = 15557 - 14005 = 1552 \text{ mm}$$

$$\Delta h_B^A = 6435 - 4883 = 1552 \text{ mm}$$

$$h = \frac{|h' + h''|}{2} = \frac{1552 + 1560}{2} = 1556 \text{ mm}$$

خطاً الإغلاق المسموح به باعتبار $m_0 = 1.1$

$$\Delta h = 2.5\sqrt{20} \times 1.1 = 12.269 \text{ mm}$$

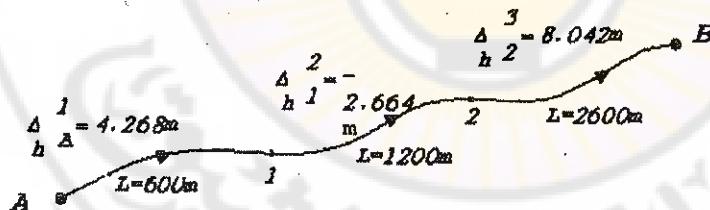
$$f_h = 1552 - 1560 = 8 \text{ mm}$$

$$8 < 12.29 \text{ OK}$$

مثال :

احسب المنسوب المعدلة لل نقطتين: 1,2 من مسار التسوية المباشرة المبين

بالشكل (5-30) علماً بأن $H_B = 110,046 \text{ m}$, $H_A = 100,420 \text{ M}$



الشكل (5-30)

الحل :

1- نحسب أول خط التساهيل حسب المسافة بالعلاقة (5-31)

$$\Delta H = \pm 12\sqrt{L_{(KM)}} \text{ m}_o$$

ملاحظة : (في حال لم يتم اعطاء قيمة m_0 تؤخذ مساوية

$$L_{(KM)} = 600 + 1200 + 2600 = 4400 \text{ M} = 4,4 \text{ KM}$$

$$\Rightarrow \Delta h = \pm \sqrt{4.4} \times 2 = \pm 50.3 \text{ mm}$$

2- نحسب خطأ الإغلاق أو التسخير: بما أن المسار مفتوح فإن خطأ الإغلاق يحسب بالعلاقة (5-43)

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i - (H_B - H_A) = (4.268 - 2.664 + 8.042) - 110.046 - 100.420 \\ = 9.646 - 9.626 = 0.02 \text{ M} = 20 \text{ MM}$$

نلاحظ أن $f_h > \Delta H$ أي أن خطأ الإغلاق أكبر من الخطأ المسموح به، فالتسمية مقبولة ونقوم بحساب التصحيحات أو توزيع الخطأ.

3- توزيع الخطأ، أو حساب التصحيحات حسب المسافات:

$$v_i = \frac{-f_h}{L} \cdot L_i \Rightarrow v_1 = \frac{-0.02}{4400} \times 600 = 0.003 \text{ M}$$

$$v_2 = \frac{-0.02}{4400} \times 1200 = -0.005 \text{ M}$$

$$v_3 = \frac{-0.02}{4400} \times 2600 = -0.0012 \text{ M}$$

وللتتأكد من التوزيع يجب أن يكون :

$$\sum v_i = -f_h$$

$$-0.003 - 0.005 - 0.012 = -0.02 \quad \text{O.K}$$

4- حساب فروق المنسوب المعدلة أو المصححة :

$$\Delta h_i^{i+1} = \Delta h_i^{i+1} + v_i^{i+1} =$$

$$\Delta h_A^1 = 4.268 - 0.003 = 4.265 \text{ M}$$

$$\Delta h_1^2 = -2.664 - 0.005 = -2.669 \text{ M}$$

$$\Delta h_2^B = 8.042 - 0.012 = 8.03 \text{ M}$$

5 - حساب الارتفاعات النهائية للنقطات :

$$H_i = H_{i-1} + \Delta h_{i-1}^i$$

$$H_1 = H_A + \Delta h_1^2 = 100.420 + 4.265 = 104.685 \text{ M}$$

$$H_2 = H_1 + \Delta h_1^2 = 104.685 - 2.669 = 102.016 \text{ M}$$

$$H_B = H_2 + \Delta h_2^B = 102.016 + 8.03 = 110.046 \text{ M}$$

ويجب أن يكون المنسوب المصحح للنقطة B مساوياً لمنسوبها المعطى في نص المسألة .

- حساب وتعديل شبكات التسوية وحيدة العقدة :

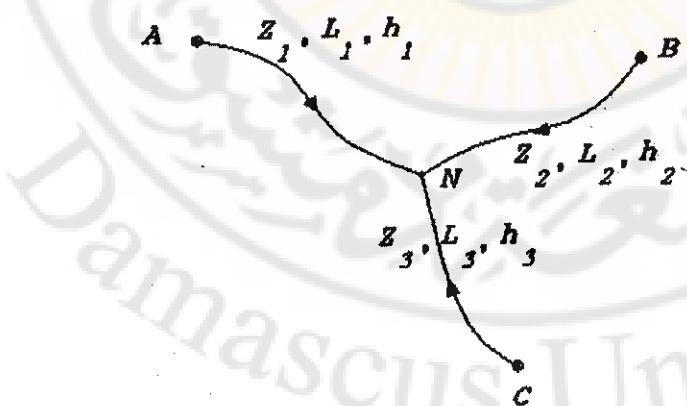
إن أبسط أشكال شبكات التسوية هي الشبكات المكونة من ثلاثة مسارات ملتفة في نقطة واحدة، تسمى بالعقدة حيث إن هذه المسارات تستند على نقاط لشبكات تسوية من درجة أعلى كما في الشكل (5-31) التالي :

نقاط ذات مناسب معلومة A,B,C

N نقطة تلاقي المسارات وتسمى بالعقدة .

Z_1, Z_2, Z_3 أطول المسارات الثلاث

h_1, h_2, h_3 فروق المسارات المقاومة للمسارات الثلاث



الشكل (5-31)

يمكننا أن نحصل أو نعين منسوب العقدة N من كل مسار من مسارات التسوية

الثلاثة بصورة مستقلة بالعلاقات :

$$H_1 = H_A + h_1 , \quad H_2 = H_B + h_2 , \quad H_3 = H_C + h_3$$

و بما أن تلك المنسوب حسبت من مسارات مختلفة عن بعضها بعض فهي قياسات غير متساوية الدقة، لذا نحسب الأوزان لتلك القياسات إما بدلالة المسافات بالعلاقة (5-28). أو بدلالة عدد الوقفات أو عدد الركائز : n بالعلاقة (5-29) ومن ثم نحسب الوسطي الموزون، لمنسوب العقدة N بالعلاقة (5-60)

التالية :

$$H = \frac{H_1 P_1 + H_2 P_2 + H_3 P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (5-60)$$

ثم نحسب الفروق أو التصحيحات لكل مسار من مسارات الشبكة بالعلاقات

التالية :

$$v_1 = H - H_1 , \quad v_2 = H - H_2 , \quad v_3 = H - H_3$$

كما ويمكننا حل المسألة السابقة مباشرة عن طريق الجدول، ففي المثال التالي نبين كيفية حساب الارتفاعات المؤقتة وتوزيع خطأ الإغلاق وحساب الارتفاعات المعدلة.

حيث أجرينا تسوية مباشرة اعتباراً من

النقطة A الشكل (5-32) ذات الارتفاع

371.502 M حتى النقطة B ذات

الارتفاع 376.807 M

الشكل (5-32)

نورد النتائج في الجدول (5-6) التالي :

الجدول (5-6)

النقطة المر صودة	المسافة بين النقطتين	لقراءة على الميرا		فرق الارتفاع		الارتفاعات الموقعة M	المسافات المترaka M	توزيع التسكير mm	الارتفاعات النهائية M
		خلفية Rmm	لامبة Vmm	+mm	-				
A		2507	-			371.502			371.502
1	50	3572	1420	1087		372.589	50	-0.9	372.588
2	70	2978	802	2770		373.359	120	-1.27	373.358
3	40	1573	571	2407		377.752	160	-0.72	377.751
4	90	1003	402	1171		378.923	250	-1.64	378.921
B	80	-	3127		2124	376.799	330	-1.45	376.798
Σ		11633	6322	7435		2124			

بما أن المسار مفتوح فخطا الإغلاق يحسب بالعلاقة :

$$\begin{aligned} f_h &= \sum h_i - (H_B - H_A) \\ &= 5.311 - (376.807 - 371.502) \\ &= 0.006 = 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

- خطأ الإغلاق المسموح به ΔH

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2.5\sqrt{2n.m} \\ &= 2.5\sqrt{10} \times 2 = 15.8 > 6 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

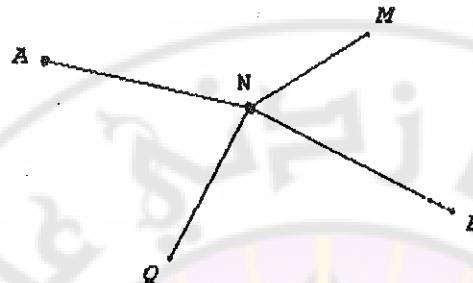
2- طريقة الإشعاع في حساب أو تعين مناسبات النقط :

لتكن -A- نقطة ذات ارتفاع معلوم هو : H_A :

نقاط حول A نريد تعين أو حساب ارتفاعاتها، كما في الشكل (5-32) فباستخدام التسوية المباشرة، يمكننا تعين ارتفاعات هذه النقاط المجهولة، إذا وضعنا جهاز التسوية في نقطة N قريبة من A بحيث نستطيع، إجراء قراءة على الميرا المتوضعة في A وفي كل النقط المجهولةQ , P , M.....، فإذا أجرينا القراءة R_A على الميرا وهي في A ثم نقلناها إلى النقاط المجهولة

وأجرينا عليها القراءات V_M, V_P, V_Q فتكون فروق الارتفاعات بين النقطة A ومخالف النقاط ... مساوية:

$$\Delta h_A^M = R_A - V_M, \quad \Delta h_A^P = R_A - V_P, \quad \Delta h_A^Q = R_A - V_Q$$



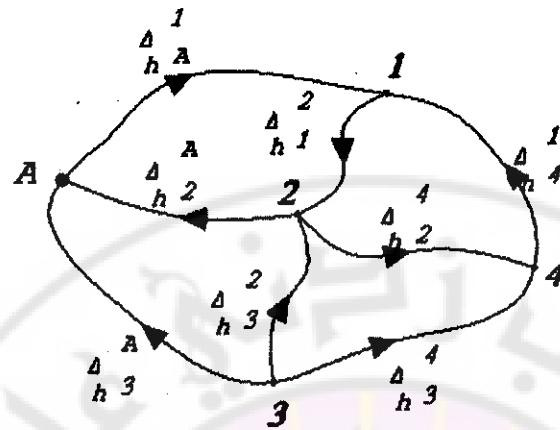
الشكل (5-32)

وبإضافة هذه الفروق كل على حدة إلى ارتفاع النقطة A نحصل على ارتفاع كل من النقاط Q, P, M المطلوبة .

تستخدم طريقة الإشعاع في أعمال التسوية المباشرة وغير المباشرة وذلك لتعيين مناسب مجموعة من النقاط التصصيلية حيث تكون النقاط ذات المناسب المعلومة نزوات أو رؤوس المضلوعات المحسوبة مسبقاً .

والنتيجة إن المقصود بحساب وتعديل حلقات التسوية هو تعين أو حساب مناسب وارتفاعات النقاط المختلفة لتلك الحلقات، وذلك بالنسبة لنظام ارتفاعات محدد ومعين، وبحيث إن عمليات الحساب تأخذ بعين الاعتبار الأخطاء العرضية المرجوة أو الحاصلة أثناء قيامنا بإجراء القياسات، ومن ثم توزيع هذه الأخطاء توزيعاً، يضمن التجانس في ارتفاعات، ومناسب نقاط الشبكة بحيث لا تراكم الأخطاء العرضية في نقاط دون أخرى.

فبفرض أنه لدينا في منطقة ما مجموعة من مسارات التسوية المبينة في الشكل (5-33) والتي تشكل مجتمعة ما نسميه بشبكة التسوية، حيث فيها: Δ نقطة معلومة الارتفاع H_A . 1,2,3,4 نقاط مجهولة المناسب، يجب حساب مناسبها.



الشكل (5-33)

إن إشارة السهم تدل على اتجاه نقل المناسبات بين النقاط ولحل مثل هذه المسائل
تُتبع الخطوات التالية :

-1- المعطيات أو المعاليم :

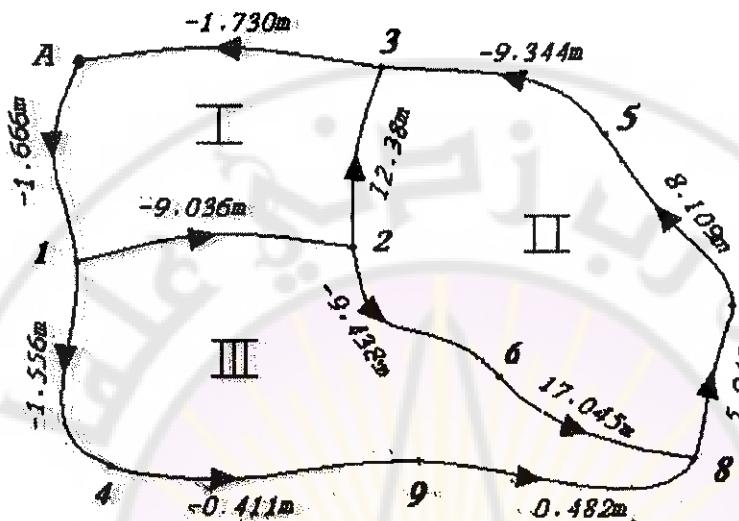
- A منسوب نقطة أو أكثر وهنا منسوب النقطة A
- بـ- فروق المناسبات أو الارتفاعات بين جميع النقاط أو لمسارات الشبكة.
- المجاهيل: حساب مناسبات أو ارتفاعات النقط المدخلية 1,2,3
- حسب خطأ الإغلاق لكل مسار من مسارات الشبكة سواء أكان مغلقاً أو مفتوحاً ونقارنه مع حد التساهل أي الخطأ الأعظمي المسموح به .
- حساب العقد حسب الأهمية حيث العقدة التي يصلها عدد أكبر من المسارات هي الأهم.

ملاحظة: (عند اختيار المسار يجب أن ننطلق حتماً من نقطة معلومة الارتفاع).

مثال :

لتكن لدينا شبكة التسوية المبينة في الشكل (5-34) والمطلوب حساب وتعديل هذه الشبكة علماً بأننا قمنا بأعمال التسوية انطلاقاً من النقطة A المعلومة الارتفاع:

$H_A = 911,684 \text{ M}$ وإن فروق المنسوب المقاسة بين النقاط موضحة على الشكل.



الشكل (5-34)

: الحل :

نقوم بحساب وتعديل الحلقات المغلقة، حيث كما هو مبين في الشكل، لدينا ثلاثة حلقات مغلقة هي : III , II , I :

- ندرس الحلقة I بين النقاط {R , 1 , 2 , 3 , R}

بحسب خطأ الإغلاق بالعلاقة (5-43) التالية :

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i - (H_B - H_A)$$

و بما أن $H_A = H_B$ (الشبكة مغلقة) فيكون خطأ الإغلاق معطى بالعلاقة :

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i$$

$$f_h = -1.666 - 9.036 + 12.38 - 1.730 = -0.052 \text{ M} = -52 \text{ mm}$$

هذا الخطأ يجب أن يكون أصغر من الخطأ المسموح به فنعتبره كذلك، ونوزعه بالتساوي على عدد المسارات، وذلك بعد تغيير إشارته: $0.052/4 = 0.013 \text{ M}$

* نصح فروق مناسب نقاط الحلقة I فجد :

$$h_R^1 = -1.666 + 0.013 = -1.653 \text{ M}$$

$$h_1^2 = -9.036 + 0.013 = -9.023 \text{ M}$$

$$h_2^3 = 12.38 + 0.013 = 12.393 \text{ M}$$

$$h_3^R = -1.730 + 0.013 = -1.717 \text{ M}$$

* حسب مناسب النقاط 1 , 2 , 3 :

$$H_1 = H_R + h_R^1 = 911.684 - 1.653 = 910.031 \text{ M}$$

$$H_2 = H_1 + h_1^2 = 910.031 - 9.023 = 901.008 \text{ M}$$

$$H_3 = H_2 + h_2^3 = 901.008 + 12.393 = 913.401 \text{ M}$$

* حسب خطأ الإغلاق للحلقة II بين النقاط { 2 , 6 , 8 , 7 , 5 , 3 , 2 } :

$$f_h = -9.438 + 17.045 + 5.945 + 8.109 - 9.344 - 12.38 = -0.063 \text{ M}$$

* حسب خطأ الإغلاق للحلقة III بين النقاط : { 1 , 2 , 6 , 8 , 4 , 1 }

$$f_h = -1.556 - 0.411 + 0.482 - 17.045 + 9.438 + 9.036 = -0.056 \text{ M}$$

* حسب منسوب العقدة 8 وذلك عن طريق حساب المسارات الوارضة إليها، من العقد 1 , 2 , 3 .

أ- منسوب العقدة 8 من المسار الأول $H_{8,1}$

$$H_{8,1} = H_1 + h_1^4 + h_4^9 + h_9^8 = 910.031 + (-1.556) - 0.411 + 0.482 = 908.546 \text{ M}$$

ب- منسوب العقدة 8 من المسار الثاني $H_{8,2}$

$$H_{8,2} = H_2 + h_2^6 + h_6^8 = 901.008 - 9.438 + 17.045 = 908.615 \text{ M}$$

ج - منسوب العقدة 8 من المسار الثالث $H_{8,3}$

$$H_{8,3} = H_3 - h_3^5 - h_5^7 - h_7^8 = 913.401 + 9.344 - 8.109 - 5.945 = 908.691 \text{ M}$$

نحسب أوزان المسارات الثلاث، معتبرين أن عدد وقوف الجهاز للمسار الأول = 40 وقفه وللثاني = 48 وقفه، وللثالث = 40 وقفه نحسب الأوزان بالعلاقة :

$$P_1 = P_3 = \frac{C}{40}, \quad P_2 = \frac{C}{48}$$

نعتبر : $C = 20$ وذلك لتسهيل العمليات الحسابية :

$$P_1 = P_3 = \frac{20}{40} = \frac{1}{2}, \quad P_2 = \frac{20}{48} = \frac{10}{24} = \frac{5}{12}$$

نحسب الوسطي الموزون للعقدة 8 من المسارات الثلاث :

$$[1/2(908.546) + 5/12(908.615) + 1/2(908.691)] / (1/2 + 5/12 + 1/2)$$

$$H_8 = 908.617 \text{ M}$$

* تعديل الحلقات أو المسارات المفتوحة :

أ - المسار - 3, 5, 7, 8

نحسب خطأ الإغلاق

$$f_h = \sum_i^n h_i - (H_B - H_A) = 4.71 - 4.784 = -0.074 \text{ M}$$

نوزع هذا الخطأ بالتساوي على عدد المسارات وذلك بعد تغيير إشارته :

$$\frac{f_h}{3} = \frac{0.074}{3} = 0.025 \text{ M}$$

نحسب مناسب عقد المسار المدروس

$$H_7 = H_8 + h_8^7 + v_8^7 = 908.617 + 5.945 + 0.025 = 914.587 \text{ M}$$

$$H_5 = H_7 + h_7^5 + v_7^5 = 914.587 + 8.109 + 0.025 = 922.721 \text{ M}$$

ولتتحقق نحسب منسوب العقدة 3

$$H_3 = H_5 + h_5^3 + v_5^3 = 922.721 - 9.344 + 0.025 = 913.402 \text{ M}$$

ب - المسار 2, 6, 8

نحسب خطأ الإغلاق

$$f_h = \sum h_i - (H_B - H_A)$$

$$f_h = (-9.43 + 17.045) - (908.617 - 901.008) = -0.002 \text{ M}$$

توزيع هذا الخطأ على فروق المنساب المقاسة بالتساوي، وذلك بعد تغيير

إشارته :

$$\frac{f_h}{2} = \frac{0.002}{2} = 0.001 \text{ M}$$

نحسب مكاسب عقد المسار المدروس

$$H_6 = H_2 + h_2^6 + v_2^6 = 901.008 - 9.438 + 0.001 = 981.571 \text{ M}$$

ولتتحقق تحمسن بحسب العقدة 8 فنجد :

$$H_8 = H_6 + H_6^8 + v_6^8 = 891.571 + 17.045 + 0.001 = 908.616 \text{ M}$$

ج - المسار : 1, 4, 9, 8

نحسب خطأ الإغلاق :

$$f_h = (-1.556 - 0.411 + 0.482) - (908.617 - 910.031) = -0.071 \text{ M}$$

توزيع هذا الخطأ على فروق المنساب المقاسة بالتساوي، وذلك بعد تغيير

إشارته فنجد :

$$\frac{f_h}{3} = \frac{0.071}{3} = 0.024 \text{ m}$$

نحسب مناسب عقد المسار المدروس :

$$H_4 = H_1 + h_1^4 + v_1^4 = 910.031 - 1.556 + 0.024 = 908.499 \text{ M}$$

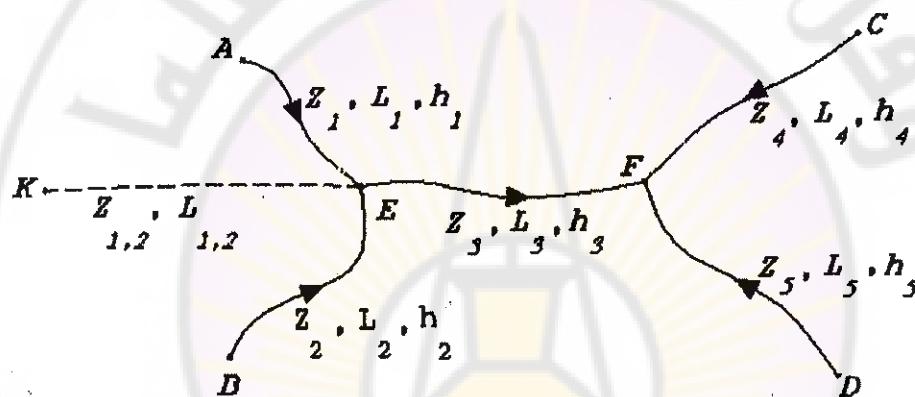
$$H_8 = H_4 + h_4^9 + v_4^9 = 908.499 - 0.411 + 0.024 = 908.112 \text{ M}$$

وللتتحقق نعيد حساب منسوب العقدة 8 عن طريق المسار المفتوح المدروس :
 $H_8 = H_9 + h_9^8 + v_9^8 = 908.112 + 0.482 + 0.024 = 908.617 \text{ M OK}$

* تعديل شبكات التسوية بطريقة المسارات المكافئة :

ليكن المطلوب تعديل شبكة التسوية المبينة في الشكل (5-35) التالي، والمولفة من عقدتين: E , F حيث تم قياس فروق المناسب h_i والأطوال : L_i وذلك لكل

مسار من مسارات الشبكة : Z_i



الشكل (5-35)

نقوم أولاً بحساب منسوب النقطة أو العقدة E وذلك عن طريق المسارين 1,2 بالعلاقةين (5-61) (5-62) التاليتين :

$$P_1 = \frac{C}{L_1} : \text{ وزن } \quad H_1 = H_A + h_1 \quad (5-61)$$

$$P_2 = \frac{C}{L_2} : \text{ وزن } \quad H_2 = H_B + h_2 \quad (5-62)$$

ثم نحسب الوسطي الموزون لمنسوب النقطة E بالعلاقة (5-60) فنجد :

$$H_{1,2} = \frac{H_1 P_1 + H_2 P_2}{P_1 + P_2}$$

بوزن : $P_{1,2} = P_1 + P_2$ كما ويمكننا أن نحسب هذا الوزن بالعلاقة (5-63)

$$P_{1,2} = \frac{C}{L_{1,2}} \quad (5-63)$$

حيث :

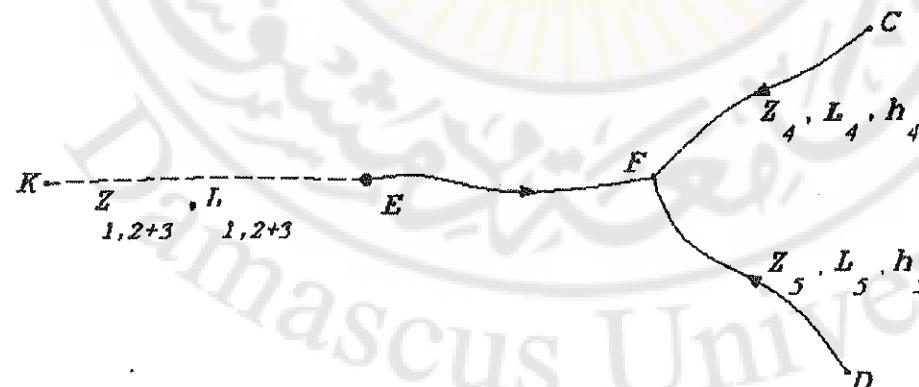
: طول مسار التسوية المكافئ للمسارين : (1,2) وبحسب العلاقة (5-64) :

$$L_{1,2} = \frac{C}{P_{1,2}} \quad (5-64)$$

وبالتالي فالمسار المكافئ هو مسار يستعاض به عن مسارات أو أكثر من مسارات شبكة التسوية بحيث يكون وزن المسار المكافئ مساوياً لمجموع أوزان المسارات المكونة له، وقيمة ودقة منسوب النقطة المحسوبة عن طريق المسار المكافئ مساوية للدقة والقيمة المحسوبة عن طريق المسارات المكونة له.

وبعد الاستعاضة عن المسارين : (1,2) بالمسار المكافئ : Z_{1,2} تتحول شبكة التسوية الشكل (5-35) إلى شبكة بعقدة واحدة الشكل (5-36) هي العقدة : F

في الشكل (5-36) :



الشكل (5-36)

أي حصلنا على مسار طويل هو : $Z_{1,2+3}$

بحسب طوله بالعلاقة التالية : $L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3$

أما منسوب النقطة F فيحسب عن طريق المسارات الملتقية فيها وهي : $Z_{1,2+3}, Z_4, Z_5$

$$\begin{aligned} P_{1,2+3} &= \frac{C}{L_{1,2+3}} \quad \text{بوزن مقداره} : \quad H_{(1,2)+3} = H_{1,2} + h_3 \\ P_4 &= \frac{C}{L_4} : \quad \text{بوزن مقداره} \quad H_4 = H_C + h_4 \quad (5-65) \\ P_5 &= \frac{C}{L_5} \quad \text{بوزن مقداره} : \quad H_5 = H_D + h_5 \end{aligned}$$

من القيم السابقة غير المتساوية الدقة، نحسب وسطي المنسوب الموزون للنقطة F بالعلاقة (5-66)

$$H_F = \frac{H_{1,2+3}P_{1,2+3} + H_4P_4 + H_5P_5}{P_{1,2+3} + P_4 + P_5} \quad (5-66)$$

الفرقetas أو التصحيحات لمسارات الشبكة تحسب بالعلاقات :

$$v_{1,2+3} = H_F - H_{1,2+3} , \quad v_4 = H_F - H_4 , \quad v_5 = H_F - H_5 \quad (5-67)$$

قيمة التصحيح $v_{1,2+3}$ توزع بشكل متناسب على المسارات كما يلي بالعلاقات :

$$v_{1,2} = \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2}} L_{1,2} , \quad v_3 = \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2+3}} L_3 \quad (5-68)$$

والمنسوب النهائي للنقطة E يحسب بالعلاقة التالية :

$$H_E = H_{1,2} + v_{1,2} \quad (5-69)$$

قيمة التصحيح للمسارين 1,2 يحسبان بالعلاقات :

$$v_1 = H_E - H_1 , \quad v_2 = H_E - H_2 \quad (5-70)$$

إن وزن المنسوب المعدل للنقطة : F هو :

$$PH_F = P_{(1,2)+3} + P_4 + P_5 \quad (5-71)$$

ولحساب وزن المنسوب المعدل للنقطة : E نستعيض عن المسارين : Z_4 , Z_5

بالمسار المكافئ $Z_{4,5}$ حيث طوله :

$$P_{4,5} = P_4 + P_5 \quad \text{وزنه: } L_{4,5} = \frac{C}{P_{4,5}} \quad (5-72)$$

وبالتالي تتحول الشبكة إلى شبكة بعقدة واحدة - E - ثم نحسب طول وزن المسار الجديد بالعلاقة :

$$P_{4,5+3} = \frac{C}{L_{4,5} + L_3}, \quad L_{(4,3)+3} = L_{4,5} + L_3 \quad (5-73)$$

فيكون وزن المنسوب المعدل للنقطة E هو :

$$P_E = P_1 + P_2 + P_{(4,5)+3} \quad (5-74)$$

٩-٥- التسوية الدقيقة :

تختلف أعمال التسوية الدقيقة عن الأعمال المتبعة في الشبكات الحكومية، حيث إن الأخيرة تكون منتشرة على مساحات شاسعة من الدولة، بينما شبكات التسوية الدقيقة تنتشر على مساحة محدودة من الأرض، وتكون على شكل شبكات محلية خاصة الغرض منها حل بعض المسائل العلمية والتقنية الفنية التي تصادفنا في الحياة العملية، مثل رصد هبوطات وتشوهات الأبنية البرجية والعالية وغيرها،

حيث تتطلب دقة عالية في نتائج القياسات وهذا وبالتالي يلزمها باستخدام أجهزة خاصة عالية الدقة لتنفيذ مثل تلك الأعمال.

* حساب واحدة الوزن في أعمال التسوية الدقيقة :

نظراً لكون طول شعاع الرؤية في أعمال التسوية الدقيقة يتراوح بين :

$$D_e = 20 M \div 40 M$$

وبالتالي فإن عدد المحطات أو عدد وقوفات الجهاز لمسار طوله 1 KM يعطى بالعلاقة:

$$n_i = \frac{1000}{2D_e}$$

حيث : n_i : عدد وقوفات الجهاز في مسار تسوية طوله : 1 KM
فإن وزن فرق المنسوب يعطى بالعلاقة التالية :

$$P = \frac{m^2 D_e}{m^2 D_i} \quad (5-75)$$

حيث :

P - وزن فرق المنسوب المقاس .

$m^2 D_e$ - الخطأ المتوسط التربيعي للقراءة على الميرا المتوضعة على مسافة: 20 M من الجهاز .

$m^2 D_i$ - الخطأ المتوسط التربيعي للقراءة على النقطة المراد حساب فرق منسوبها، ويحسب بالعلاقة التالية:

$$m.D_i = (0.014 + 0.0014D_i) \text{ mm} \quad (5-76)$$

حيث : D_i المسافة بين الجهاز والميرا مقاسة بالأمتار .

ويبين الجدول (5-7) التالي أوزان فروق المنسوب ومقلوبها بشكل يتناسب مع طول شعاع الرؤية .

الجدول (5-7) :

N ^o	المسافة (M)		mDi	m ² D _i	$\frac{1}{P} = \pi_h$
	من ←	إلى			
1	حتى 7.5	5	0.021	0.000441	0.25
2	7.6÷12.5	10	0.028	0.000784	0.444
3	12.6÷17.5	15	0.035	0.001225	0.695
4	17.6÷22.5	20	0.042	0.001764	1.00
5	22.6÷27.5	25	0.049	0.002401	1.36
6	27.6÷32.5	30	0.0256	0.003136	1.78
7	32.6÷37.5	35	0.063	0.003969	2.25
8	37.6÷42.5	40	0.07	0.004090	2.78
9	42.6÷47.5	45	0.077	0.005929	3.36
10	47.6÷52.5	50	0.084	0.007056	4.0
11	52.6÷57.5	55	0.091	0.008281	4.68

إن خصوصية قياسات التسوية العالمية الدقة تعود إلى :

- ١- المتطلبات العلمية والعملية العالمية للموقع أو المنشأة المدروسة .
- ٢- المساحات الضيقه والصغيره للموقع أو المنشأة التي تتم عليها القياسات.
- ٣- الكثافة العالمية للنقاط المطلوب قياسها، ومراقبتها بشكل دوري .
- ٤- إن النقاط المرجعية المستند إليها في القياسات يجب أن تبقى ثابتة من بداية الدراسة وحتى نهايتها مهما كانت مرجعية تلك النقاط، كأن تكون تابعة للشبكة الحكومية أو أي شبكة محلية أخرى.
- ٥- الدقة العالمية لنتائج القياسات الجيونيزية.

إن الدقة المطلوبة لنتائج القياسات الجيوديزية والتي تحدد عادة قبل البدء بإجراء القياسات يمكن أن يعبر عنها إما عن طريق الخطأ المتوسط التربيعي لنتائج القياس، أو عن طريق الخطأ الأعظمي المسموح به، إن هذه الدقة تحدد من قبل الجهة صاحبة المشروع، وذلك اعتماداً على رأي واستشارة المؤسسات والهيئات العلمية المختصة.

إن تحقيق أو الوصول إلى الدقة المطلوبة هذه يتم عن طريق إجراء القياسات الجيوديزية بطرق وأجهزة خاصة تؤمن تلك الدقة.

* الطرق المستخدمة للقيام بأعمال التسوية عالية الدقة:

هناك أربع طرق للقيام بأعمال التسوية عالية الدقة ، يعود استخدام كل واحدة منها إلى طبيعة المنشأة وظروف العمل والدقة المطلوبة .

هذه الطرق هي :

- ١ - التسوية المباشرة .
- ٢ - التسوية الهيدروستاتيكية.
- ٣ - التسوية الميكرومترية .
- ٤ - التسوية غير المباشرة .

١ - التسوية المباشرة : كما مر سابقاً عملية التسوية هي تحديد فرق المنسوب :

$h_{1,2}$ بين النقطتين : 1,2 الشكل (5-37) ويحسب هذا الفرق بالعلاقة :

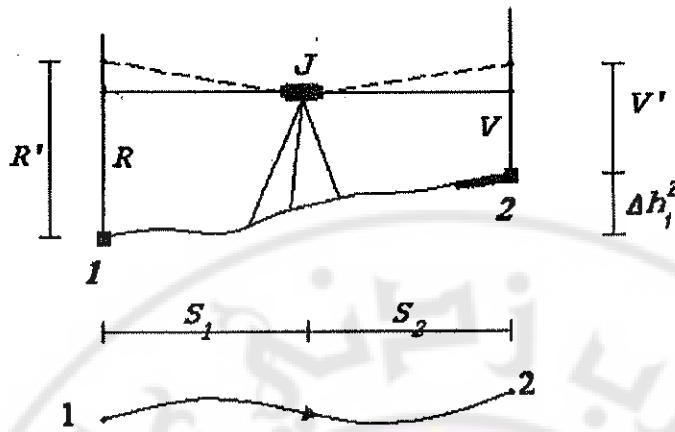
$$h_{1,2} = R - V \quad (5-77)$$

حيث :

$h_{1,2}$ فرق المنسوب بين النقطتين 1,2

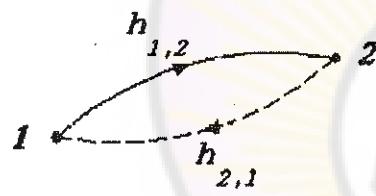
R القراءة على الميرا الخلفية في النقطة 1.

V القراءة على الميرا الأمامية في النقطة 2.



الشكل (5-37)

ويعبر عن هذه التسوية برسم خط منحني يصل بين النقطتين 1,2 يسمى هذا الخط بمسار التسوية، ويزود هذا المسار بهم بدل على اتجاه نقل المنساب.



الشكل (5-38)

إن عملية التسوية هذه تتم بالاتجاهين ذهاباً وإياباً الشكل
(5-38)

ونظراً لوجود عدد من الأخطاء فإن القراءة على الميرا الخلفية سوف تكون متساوية لـ

R' بدلأ من R وعلى الميرا الأمامية V بدلأ من V لهذا يجب أن نحسب V . R .
بالعلاقات: (5-78) و (5-79)

$$R = R' - \frac{i_1}{\rho''} S_1 - K_1 + r_1 \quad (5-78)$$

$$V = V' - \frac{i_2}{\rho''} S_2 - K_2 + r_2 \quad (5-79)$$

حيث :

١٢٢ - زاوية انحراف شعاع الرؤية باتجاه الميرا الخلفية والميرا الأمامية على الترتيب مقدراً بالثانية .

١٣٣ - المسافة بين نقطة مركز الجهاز والميرا الخلفية والأمامية على الترتيب .

١٤٤ - تصحيح انحصار الأرض باتجاه الميرا الخلفية والأمامية على الترتيب وبحسب حسب العلاقة (5-80) .

$$K = \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)} \cos^2 i^\circ} \cdot S_{(KM)} \quad (5-80)$$

حيث :

R : نصف قطر الكرة الأرضية مقدراً بالكيلومتر ويساوي تقريرياً 6400 KM (6371.11 KM)

١٥٥ - زاوية انحراف شعاع الرؤية عن الأفق مقدراً بالدرجات .

١٦٦ - معامل تحويل مساوياً 206265

١٧٧ - التصحيح نتيجة لانكسار الشاقولي لشعاع الرؤية وبحسب بالعلاقة (5-81)

$$r = \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)} \cos^2 i^\circ} \gamma \cdot S_{(KM)} \quad (5-81)$$

حيث :

١٨٨ - معامل انكسار الهواء عند لحظة إجراء القياس، وبالتالي فإن فرق المنسوب بين نقطتين : 1 ذهاباً يعطى بالعلاقة : (5-82) و (5-83)

$$h_1 = h' - \frac{i''}{\rho} (S_1 - S_2) - \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}} (S_1 - S_2) + \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}} (S_1 \gamma_1 - S_2 \gamma_2) \quad (5-82)$$

$$h_2 = h' - \frac{i''}{\rho} (S_1 - S_2) - \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}} (S_1 - S_2) + \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}} (S_1 \gamma_1 - S_2 \gamma_2) \quad (5-83)$$

$$h' = R' - V' \quad : \text{حيث}$$

القيمة الوسطية لفرق المنسوب بين النقطتين 1 ، 2 ذهاباً وإياباً يعطى بالعلاقة (5-84) التالية :

$$h = \frac{1}{2}(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}(h'_1 + h'_2) - \frac{i''}{\rho''}(S_1 - S_2) - \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}}(S_1 - S_2) + \frac{S_{(KM)}}{2R_{(KM)}}(S_1\gamma_1 - S_2\gamma_2) \quad (5-84)$$

حيث :

S تساوي $S = S_e = 20 M$ إن الحدود الثاني والثالث والرابع من العلاقة السابقة، هي تصحيحات على نتيجة التسوية، نتيجة عدم توسط الجهاز للمسافة بين الميرلينتين انحناء الأرض، الانكسار الشاقولي لشعاع الرؤية على الترتيب، وعند إهمال تلك القيم يصبح فرق المنسوب بين النقطتين (1 ، 2) حسب العلاقة (5-85) التالية :

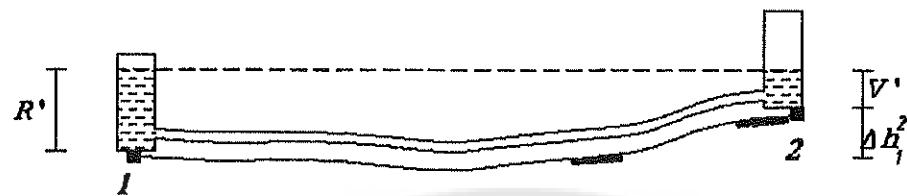
$$h_{1,2} = \frac{1}{2}(h'_1 + h'_2) \quad (5-85)$$

حيث : h'_1 , h'_2 نتيجة التسوية ذهاباً وإياباً على الترتيب .

٢ - التسوية الهيدروستاتيكية :

في هذه الطريقة نأخذ القراءات على جهاز التسوية الهيدروستاتيكية ذهاباً وإياباً، كما في الشكل (5-39) V'_1, R'_1, V'_2, R'_2 ويحسب فرق المنسوب بالعلاقة (5-86) التالية:

$$h_{1,2} = \frac{1}{2}[(R'_1 - V'_1) + (R'_2 - V'_2)] \quad (5-86)$$

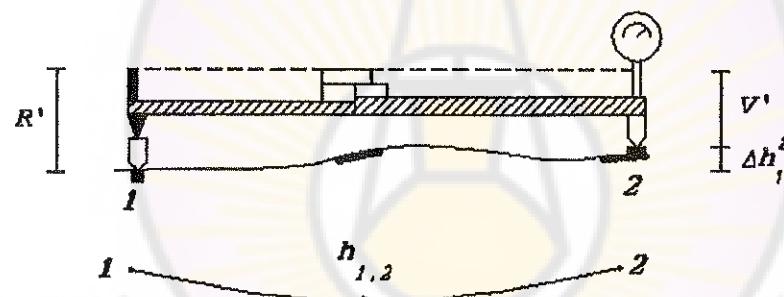


الشكل (5-39)

٣ - التسوية الميكرومترية :

حسب الشكل (5-40) ويعطي فرق المنسوب بين النقطتين 1, 2 في هذه الطريقة
بالعلاقة (5-87) التالية :

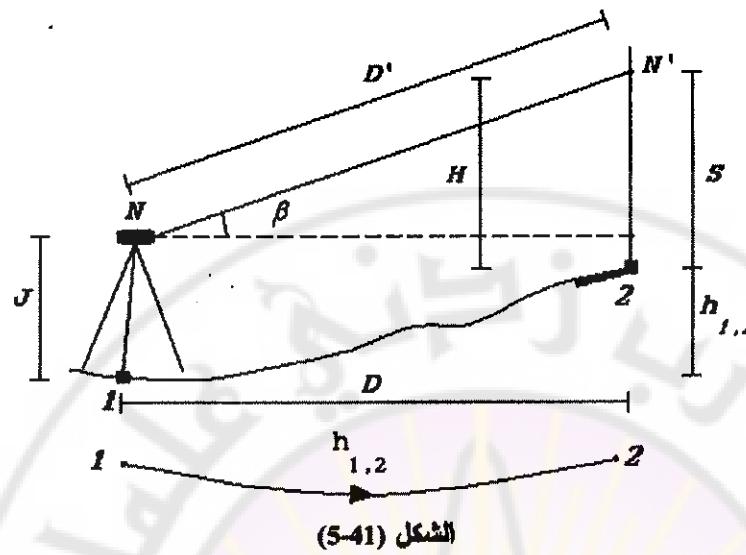
$$h = \frac{1}{2} [(R'_1 - V'_1) + (R''_2 - V''_2)] \quad (5-87)$$



الشكل (5-40)

٤ - التسوية غير المباشرة :

يستخدم في هذه الطريقة جهاز التيودوليت ويحسب فرق المنسوب حسب
التسلسل التالي الشكل (5-41).



الشكل (5-41)

أولاً : نحسب المسافة المائلة : D' بالعلاقة (5-88) التالية :

$$D' = K \cdot L' \quad (5-88)$$

حيث :

- ثابت الجهاز .

L - المسافة المقروءة على الميرا في حال كون الميرا متعامدة مع شعاع الرؤية

وتحسب بالعلاقة (5-89) التالية :

$$L' = L \cos \beta \quad (5-89)$$

حيث :

L - المسافة المقروءة على الميرا مباشرة .

β - الزاوية الشاقولية، وتقرأ مباشرة من الجهاز ، نعرض قيمة L العلاقة (5-

89) في D' العلاقة (5-88) فنجد :

$$D' = K \cdot L \cdot \cos \beta \quad (5-90)$$

ومن الشكل المسافة الأفقية : D بدلالة D' تحسب بالعلاقة (5-91)

$$D = D' \cos \beta = K.L. \cos^2 \beta \quad (5-91)$$

والمسافة H بالعلاقة (5-92)

$$H = D' \sin \beta = K.L. \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (5-92)$$

حيث :

H - المسافة الشاقولية بين مركز الجهاز وقراءة الوسطى على الميرا ولتكن S

وبالتالي فإن فرق المنسوب بين النقطتين : 1,2 يعطى بالعلاقة

$$h_{1,2} = H + J - S = K.L. \cos \beta \cdot \sin \beta + J - S \quad (5-93)$$

حيث :

J - ارتفاع الجهاز عن الأرض أو عن نقطة التمركز .

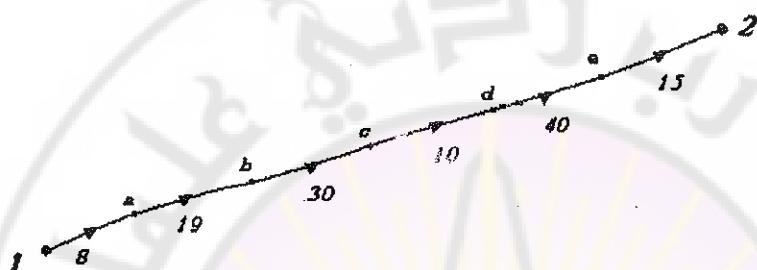
S - القراءة الوسطى على الميرا .

طرق إجراء القياسات في مسارات التسوية المباشرة وتقييم دقة النتائج :

عندما تكون المسافة بين النقطتين المراد حساب فرق المنسوب بينهما كبيرة جداً بحيث لا يمكننا قياس فرق المنسوب بينهما من خلال وقفة واحدة للجهاز. فإننا نجزي المسار بين النقطتين إلى قسمين أو أكثر أي أكثر من وقفة واحدة لجهاز النيفو، وبالتالي حسب توضع النقاط المرحلية للمسار والدقة المطلوبة للنتائج للقياس، وظروف وشروط القياس، ودرجة التسوية المطلوبة، فإن العمل أو طريقة القياس في كل محطة من المحطات، ينجز بطريقة مختلفة من حالة إلى أخرى ومن مسار إلى آخر .

أ- حساب فرق المنسوب بين النقطتين 1,2 بتسوية مباشرة وباتجاه واحد أي ذهاباً فقط، قراءة وسطى خلفية R، قراءة وسطى أمامية V بين النقاط المرحلية وهي : a,b,c,d حيث ارتفاع الجهاز واحد في كل محطة من المحطات . هذه الطريقة في القياس يعبر عنها تخطيطياً بخط منحني كما هو مبين في الشكل

(5-42)



الشكل (5-42)

حيث الأرقام : 8,19,30,10 تعبّر عن المسافة D_i بالأمتار وذلك بين نقطة تمرّكز الجهاز -النيفو- والميرا، وبحيث تكون المسافة الخلفية : D_1 مساوية للمسافة الأمامية D_2 أي أن: $D_1 = D_2$ وبالتالي لحساب أو تقييم دقة فرق المنسوب، المقاس بين النقطتين: 1,2 والذي يمكن أن يعبر عنه بحسب القيمة: π_h المبينة والمحسوبة في الجدول السابق كما يلي: نأخذ أو نحسب قيم $\pi_h = \frac{1}{P}$ وهو العدد الوزني لفرق المنسوب لكل مسافة من المسافات فنجد :

$$D_2 = 8 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h2} = 0.444, \quad D_4 = 19 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h4} = 1.0$$

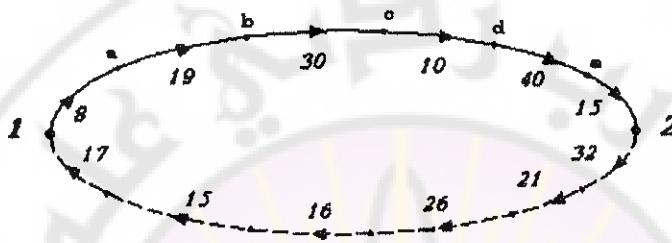
$$D_6 = 30 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h6} = 1.78, \quad D_8 = 10 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h8} = 0.444$$

$$D_{10} = 40 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h10} = 2.78, \quad D_{12} = 15 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h12} = 0.695$$

وبالتالي فإن العدد الوزني للمنسوب المقاس بين النقطتين: 1,2 حسب المسار والطريقة السابقة هو :

$$\pi_{g_{1,2}} = 0.444 + 1.0 + 1.789 + 0.444 + 2.78 + 2.78 + 0.695 \cong 7.1$$

بـ- حساب فرق المنسوب بين النقطتين : 1,2 بالاتجاهين أي ذهاباً وإياباً. إن عملية القياس هذه يعبر عنها بالرسم كما في الشكل (5-43) المبين أدناه، وهي عبارة عن مسارين مستقلين بعضهما عن بعض يصلان بين النقطتين: 1,2 (مسار ذهاب ومسار إياب) بحيث يشكلان مساراً مغلقاً واحداً.



الشكل (5-43)

إن حساب أو تقييم دقة فرق المنسوب المقادس بين النقطتين : 1,2 بالطريقة السابقة يتم بشكل مشابه للحالة الأولى .

حيث إن العدد الوزني للمسار ذهاباً أي : $\pi_{h_{1,2}}$ هو :
والعدد الوزني للمسار إياباً يحسب كما يلى :

$$D_2 = 32 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_2} = 1.78 , D_4 = 12 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_4} = 1.0$$

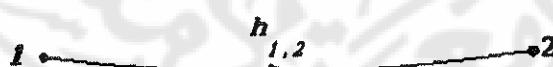
$$D_6 = 26 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_6} = 1.36 , D_8 = 16 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_8} = 0.695$$

$$D_{10} = 15 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_{10}} = 0.695 , D_{12} = 17 \text{ M} \Rightarrow \pi_{h_{12}} = 0.695$$

$$\pi_{h_{2,1}} = 1.78 + 1.0 + 1.36 + 0.695 + 0.695 + 0.695 \cong 6.3$$

وبالتالي فإنه عند الاستعاضة عن المسارين السابقين بمسار واحد كما في الشكل

(5-44)

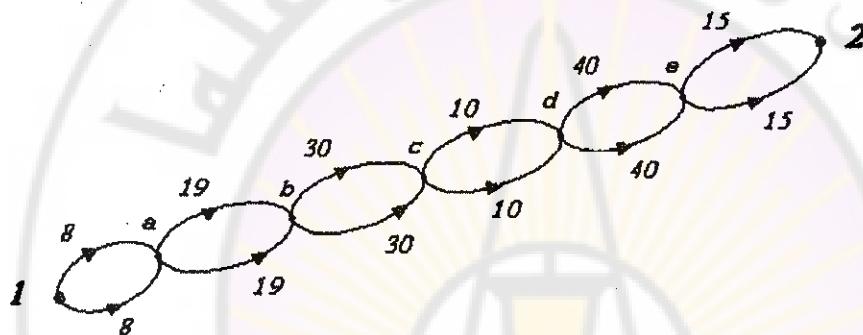


الشكل (5-44)

فإن العدد الوزني لفرق المنسوب لهذا المسار المكافئ يحسب بالعلاقة:

$$\pi = \frac{\pi_{h1,2} \cdot \pi_{h2,1}}{\pi_{h1,2} + \pi_{h2,1}} = \frac{7.1 \times 6.3}{7.1 + 6.3} = 3.34$$

ج - حساب فرق المنسوب بين النقطتين: 1,2 باتجاه واحد فقط أي ذهاباً ولمكانين أو توضعين مختلفين للميرا، في هذه الحالة يتشكل لدينا مساراً تسوية، مسار يميني وآخر يساري بحيث تكون المسافة بين نقطة تمكز الجهاز والميرا للمسار اليساري: D_r متساوية للمسافة بين نقطة تمكز للنيفو والميرا للمسار اليميني: D_l أي يجب أن تكون: $D_r = D_l$ كما في الشكل (5-45) المبين:



الشكل (5-45)

إن حساب أو تقييم دقة فرق المنسوب المقاس بهذه الطريقة بحسب بطريقة أو شكل مشابه للحالة الأولى، أي أن :

العدد الوزني لفرق المنسوب للمسار اليميني يساوي $\pi_{h_r} = 7.1$

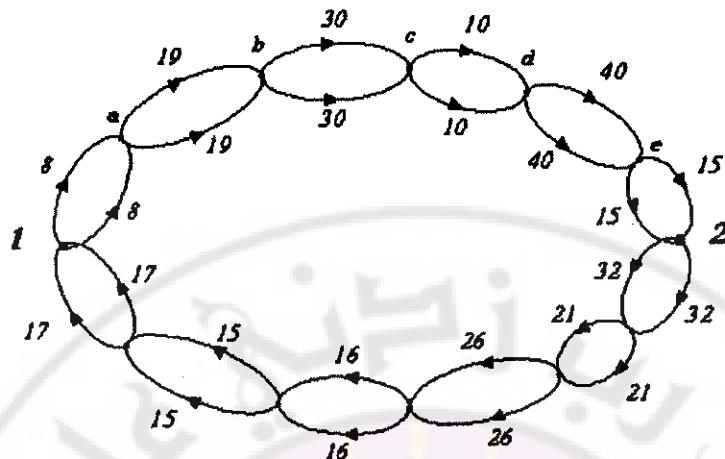
العدد الوزني لفرق المنسوب للمسار اليساري يساوي $\pi_{h_l} = 7.1$

وبالتالي فإن العدد الوزني للمسار المكافئ للمسارين السابقين يحسب بالعلاقة :

$$\pi_{h1,2} = \frac{7.1 \times 7.1}{7.1 + 7.1} \approx 3.55$$

د - حساب فرق المنسوب بين النقطتين: 1,2 بالاتجاهين أي ذهاباً وإياباً ولمكانين أو توضعين مختلفين للميرا .

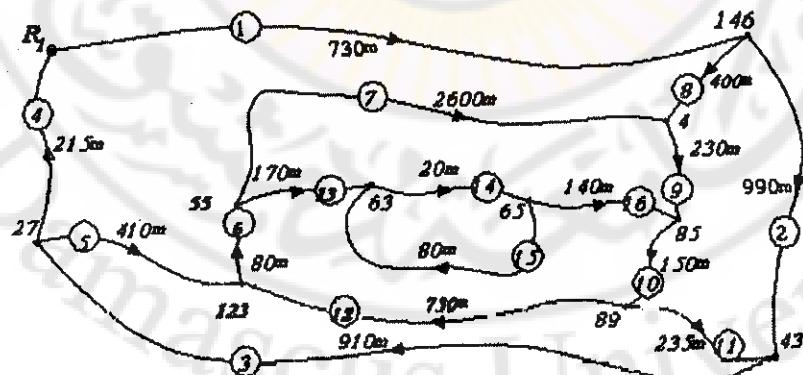
يعبر عن هذه الطريقة في القياس بالشكل (5-46) التالي :



الشكل (5-46)

حيث يتتألف هذا الشكل من أربع مسارات تسوية مستقلة بعضها عن البعض الآخر. هذه الطريقة عبارة عن تجميع للطرق الثلاثة السابقة حيث في البداية نجمع المسارين ذهاباً بمسار مكافئ واحد حسب الطريقة الثالثة (ج-) والمسارين إيلياً بمسار مكافئ واحد حسب الطريقة الثالثة أيضاً ومن ثم وحسب الطريقة الثانية نجمع المسارين ذهاباً وإيلياً بمسار واحد مكافئ لهما .
مثال :

لتكن لدينا شبكة التسوية المبينة في الشكل (5-47) والمعدة لمراقبة هبوطات مجمع سكني. والمطلوب تقييم دقة عناصر الشبكة بطريقة الاستعاضة المكافئة:



الشكل (5-47)

أولاً: نقوم بحساب العدد الوزني لكل مسار من مسارات التسوية معتمدين على طول شعاع الرؤية D_e. من الجدول (5-7) السابق ثم نضع النتائج في الجدول (5-8) التالي:

الجدول (5-8)

رقم المسار	عدد التوقفات أو عدد المحطات										\sum	العدد الوزني	
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₆	n ₇	n ₈	n ₉	n ₁₀		ذهب	ذهب لباب
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-	1	-	-	-	-	-	-	7	1	9	27.9	14
2	-	-	-	10	-	-	-	4	4	-	18	34.5	17.3
3	-	3	-	2	1	-	1	7	-	-	14	26.4	13.2
4	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	4	7.6	3.8
5	1	-	-	-	-	-	-	5	-	-	6	14.2	7.1
6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	2.0	1.0
7	-	11	13	11	-	-	1	6	-	-	62	61.1	30.6
8	1	-	2	-	-	-	-	4	-	-	7	12.8	6.4
9	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	11	5.2	2.4
10	7	2	-	1	-	-	-	-	-	-	10	3.6	1.8
11	-	---	1	-	-	-	-	-	-	-	7	13.4	6.7
12	25	1	7	-	-	4	1	-	1	-	34	13	6.5
13	13	-	-	1	-	-	-	-	-	-	14	4.2	2.1
14	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.5	0.3
15	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	2.0	1.0
16	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	12	3.4	1.7

إن أطوال مسارات التسوية الستة عشر تكتب في الخانات من 11-2 من الجدول (5-8) السابق.

فعلى سبيل المثال: المسار رقم 8 فيه عدد المحطات $n_1 = 1$ حيث المسافة أو طول شعاع الرؤية الموفق هو: $M = 5 D_1$. وكذلك في هذا المسار $2 = n_3$ حيث $D_3 = 15M$

وحيث $M = 40 D_8 = 4$ وفي الخانة رقم 12 من الجدول السابق نضع مجموع عدد المحطات في كل مسار من مسارات الشبكة حيث: $[n_i] = n_i$ ومن ثم ننتقل إلى حساب العدد الوزني لفرق المنسوب بالعلاقة (5-49) :

$$\pi_{h,j} = \sum n_i \pi_{h,i} \quad (5-49)$$

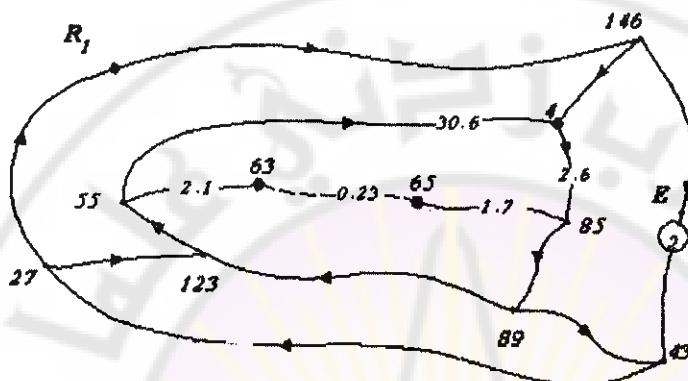
إذا كانت عملية القياس في كل مسار تتم حسب الطريقة الأولى. أي التسوية باتجاه واحد ذهاباً. وهي الطريقة المتبعة في التسوية من الدرجة الرابعة. نكتب النتائج في الخانة رقم 13 من الجدول (5-8) السابق ومن ثم على الشبكة المراد تقييمها الشكل (5-47).

أما عندما تكون الدقة المطلوبة للنتائج القياسات كبيرة، كما هو الحال عند مراقبة الهبوطات وغيرها من الأعمال الهامة، فإن الطريقة الأولى في القياسات أي التسوية ذهاباً، لا يمكن أن تتحقق تلك الدقة. لهذا نستعيض عنها بالطرق الأخرى الثانية أو الثالثة.. ثم نكتب العدد الوزني في الخانة رقم 14 من الجدول (5-8) السابق ومن ثم على الشبكة المراد تقييمها. ولتحديد أو تعين توضع أضعف نقطة في الشبكة وهي E والتي يجب أن نقارن دقة تحديدها مع القيم المسموح بها للدقة، حيث تقع هذه النقطة عادة في أبعد نقطة من نقاط الشبكة عن النقاط الأساسية.

ففي المثال المعروض يمكن أن تقع هذه النقطة في المسار رقم 2 أو 7. أو غيره الشكل (5-47). ولتحديد مكان توضع هذه النقطة نقوم بما يلي: نستعيض عن المسارين 15 ، 14 بمسار آخر مكافئ لها. عدده الوزني يحسب بالعلاقة:

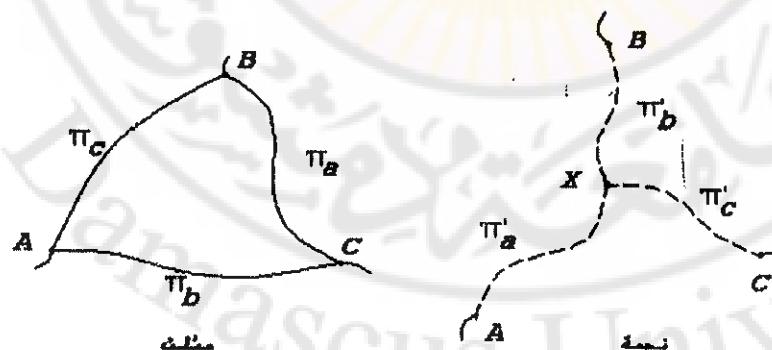
$$\pi_{14,15} = \frac{\pi_{14}\pi_{15}}{\pi_{14} + \pi_{15}} = \frac{0.3 \times 1.0}{0.3 + 1.0} = 0.23 \quad (5-95)$$

- فنحصل على شكل جديد للشبكة الشكل (5-47) كما هو مبين في الشكل
. (5-48)



الشكل (5-48)

نفرض أن النقطة المطلوب تحديدها E واقعة في المسار (2) الشكل (5-48) نستبدل المثلث (55 , 85 , 4) بشكل النجمة المكافئ x_1 حيث يمكننا الانتقال من الشكل المثلث (5-49a) إلى الشكل النجمي (5-49b) المكافئ حسب ما يلى: ليكن لدينا المثلث المبين بالشكل (5-49) حيث π_a, π_b, π_c الأعداد الوزنية للمسارات المقابلة الرووس: A , B , C على الترتيب. ونريد الانتقال.



الشكل (5-49)

نريد الانتقال من الشكل المثلثي إلى الشكل النجمي لذا نستخدم العلاقات التالية:

$$\pi'_a = \frac{\pi_c \pi_b}{[\pi]_1^3}, \quad \pi'_b = \frac{\pi_c \pi_a}{[\pi]_1^3}, \quad \pi'_c = \frac{\pi_b \pi_a}{[\pi]_1^3} \quad (5-96)$$

لما في حالة العكس أي للانتقال من الشكل نجمة إلى المثلث نستخدم العلاقات :

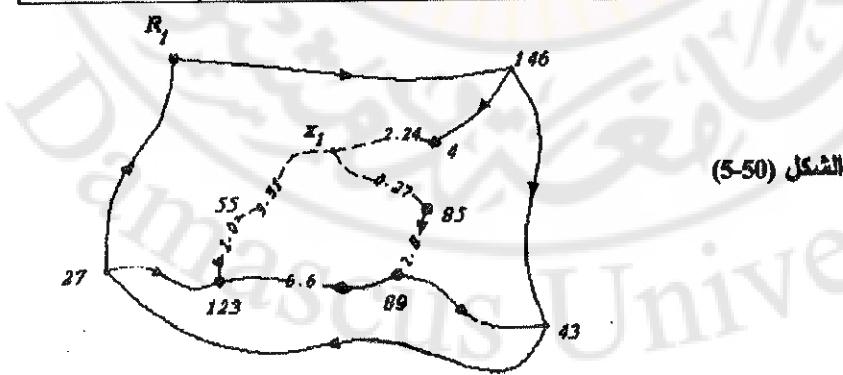
$$\begin{aligned}\pi_a &= \frac{1}{\pi'_a} (\pi'_a \pi'_b + \pi'_b \pi'_c + \pi'_c \pi'_a) \\ \pi_b &= \frac{1}{\pi'_b} (\pi'_a \pi'_b + \pi'_b \pi'_c + \pi'_c \pi'_a) \\ \pi_c &= \frac{1}{\pi'_c} (\pi'_a \pi'_b + \pi'_b \pi'_c + \pi'_c \pi'_a)\end{aligned} \quad (5-97)$$

وباستبدال المثلث (5-48) من الشكل (4, 55, 85) حسب الشكل والجدول (5-8)

نحصل على الشكل (5-50) التالي :

الجدول (5-8)

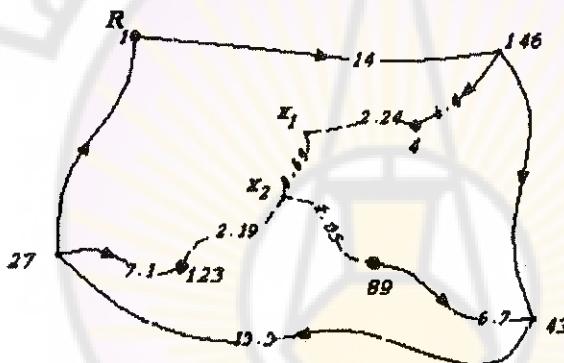
العقدة	العدد الوزني π_i	العدد الوزني المكافئ π'_i
4	4.03	$2.14 = \frac{30.6 \times 2.6}{37.23}$
85	30.6	$0.27 = \frac{4.03 \times 2.6}{37.23}$
55	2.6	$3.31 = \frac{4.03 \times 30.6}{37.23}$
Σ	37.23	



ويشكل مشابه لما سبق ننتقل من المثلث (5-50) إلى النجمة x_2 حسب الجدول (5-9) والشكل (5-51):

الجدول (5-9)

العقدة	π_i	العدد الوزني المكافئ π'_i
x_1	6.6	$0.69 = \frac{4.31 \times 2.07}{12.98}$
89	4.31	$1.05 = \frac{6.6 \times 2.07}{12.98}$
123	2.07	2.19
Σ	12.98	

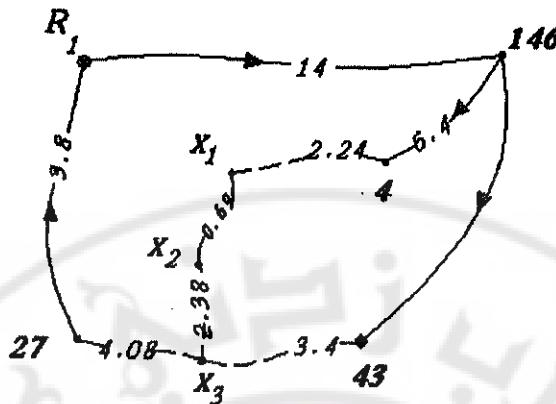


الشكل (5-51)

ومن المثلث (5-51) إلى النجمة x_3 حسب الجدول (5-10) والشكل (5-52) وفق ما يلي:

الجدول (5-10)

العقدة	π_i	العدد الوزني المكافئ π'_i
x_2	13.3	2.35
43	9.29	3.4
27	7.75	4.08
Σ	30.34	



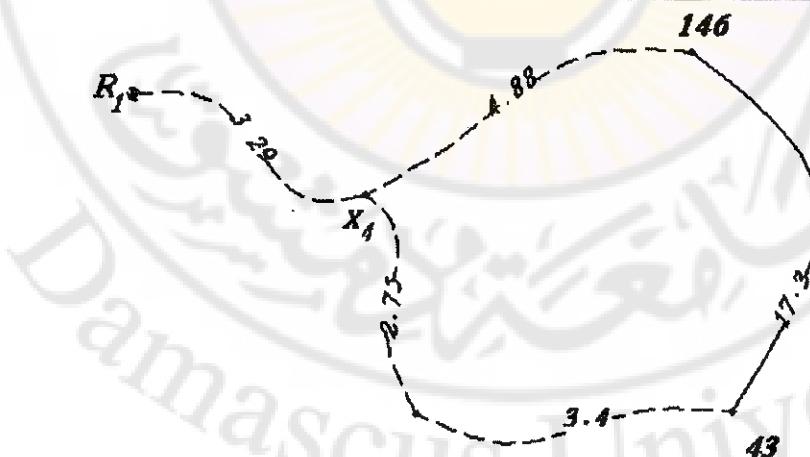
الشكل (5-52)

ومن المثلث ($x_3, 146, R_1$) الشكل (5-52) إلى النجمة x_4 حسب الجدول (5-11)

والشكل (5-53) وفق ما يلي :

الجدول (5-11)

العقدة	π_i	العدد الوزني المكافئ π'
R_1	11.71	3.29
146	7.88	4.88
x_3	14	2.75
Σ	33.59	



الشكل (5-53)

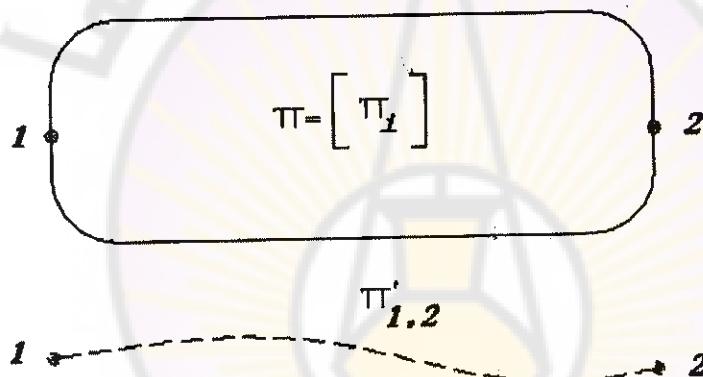
كما وأن العلاقة الازمة لالانتقال من حلقة مغلقة بين نقطتين 1,2 محاط هذه الحلقة $\pi_1^n = \pi$ إلى خط قطرى مكافئ بين النقطتين 1,2 حسب الشكل (5-54) هي العلاقة (5-98) التالية:

$$\pi'_{1,2} = \frac{1}{4} [\pi]_1^n \quad (5-98)$$

وبواسطة هذه العلاقة (5-98) نحسب العدد الوزنى :

$$\pi_{x4,E} = \frac{1}{4} [4.88 + 17.3 + 3.4 + 2.75] = 7.1$$

أى أن الشكل النهائي للشبكة هو الشكل (5-55)



الشكل (5-54)



الشكل (5-55)

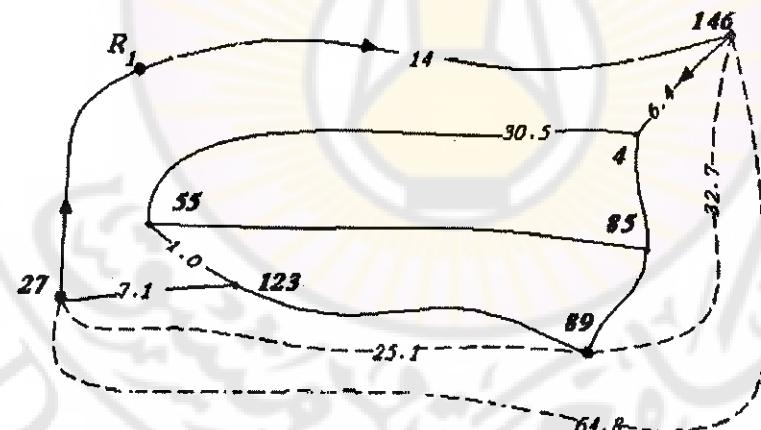
فيكون العدد الوزنى للمسار $R_1 E_1$ مساوياً: $\pi_{R1,E1} = 3.29 + 7.1 \cong 10.4$

ننتقل الآن للتحقق فيما إذا كانت النقطة E أضعف نقطة في الشبكة تقع على المسار رقم (7) الواقع بين النقطتين (4 , 55) الشكل (5-47).

لهذا ننتقل أولاً من الشكل نجمة (43) للشكل (5-47) إلى المثلث المكافئ : (5-56) حسب ما يلي الجدول (12-5) والشكل (5-56)

الجدول (5-12)

العقدة	π_i	$\pi\pi$	π'_i
89	6.7	116	$64.8=435/6.7$
146	17.3	230	$25.1=435/7.3$
27	13.3	89	$32.7=435/13.3$
Σ		435	

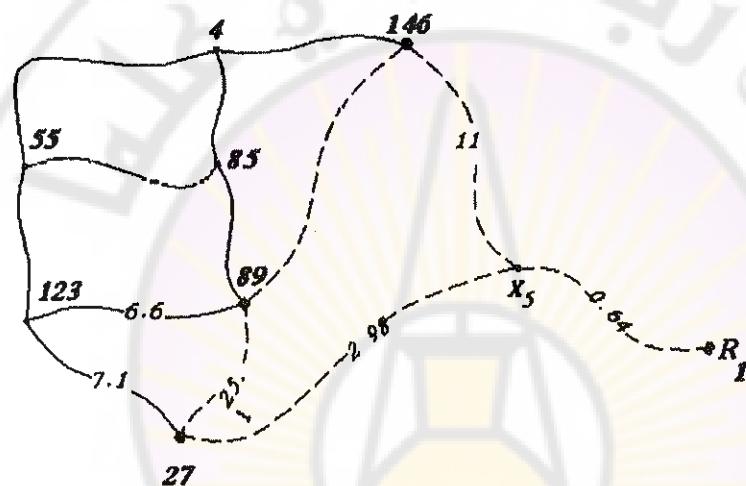


الشكل (5-56)

ومن ثم ننتقل إلى المثلث (R₁ , 146 , 27) للشكل (5-56) إلى النجمة x المكافئة الجدول (5-13) والشكل (5-57) وفق ما يلي :

الجدول (5-13)

العقدة	π_i	π'_i
R_1	64.8	0.64
27	14	2.98
146	3.8	11.00
Σ	82.6	



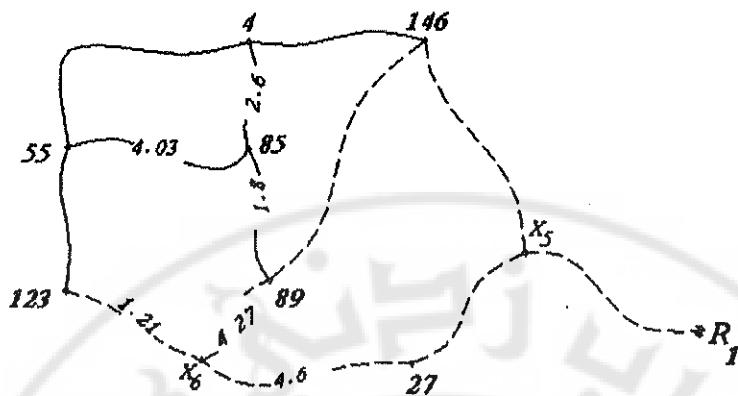
الشكل (5-57)

ومن ثم من المثلث (123 , 27 , 89) إلى النجمة المكافئة x_6

الجدول (5-14) والشكل (5-58) وفق ما يلي :

الجدول (5-14)

العقدة	π_i	π'_i
27	6.6	4.6
123	25.1	1.21
89	7.1	4.27
Σ	38.8	

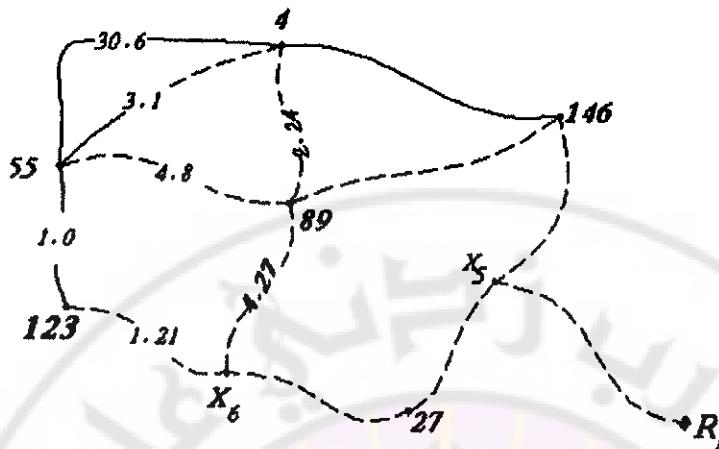


الشكل (5-58)

من الشكل (5-58) السابق، نلاحظ أننا حصلنا على شبكة تسوية مكافئة تحتوي على مسار مضلع مغلق واحد مؤلف من ثلاثة عقد هي (4 , 55 , 85) وبما أن أضعف نقطة في الشبكة تقع على المدار (4 , 55) لذا يجب علينا أن نحافظ على هذا المدار. لذا ننتقل من النجمة 85 الشكل (5-58) إلى المثلث المكافئ لها وهو (4 , 55 , 89) الجدول (5-15) والشكل (5-59) وفق ما يلي:

الجدول (5-15)

العقدة	π_i	$\pi\pi$	π'
89	1.8	7.25	3.10
55	4.03	10.50	2.13
4	2.6	4.68	4.8
89	1.8		
Σ		22.43	



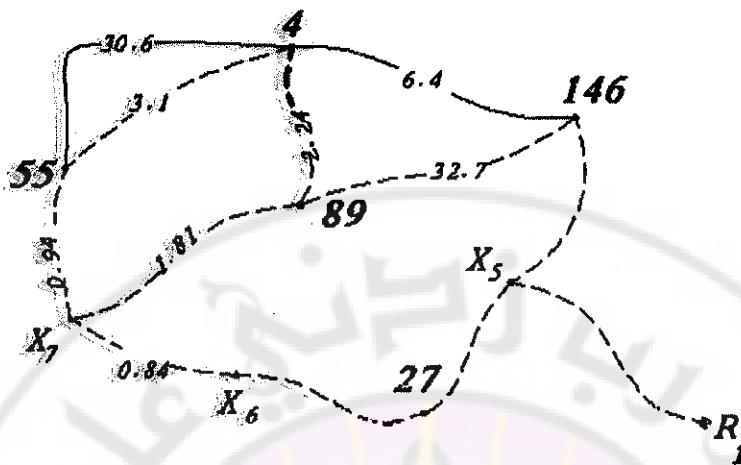
الشكل (5-59)

ومن المثلث (55 , 89 , 55) الشكل (5-59) إلى النجمة x_7 المكافأة له الجدول (5-16) والشكل (5-60) حسب الشكل والجدول التالي:

الجدول (5-16)

العقدة	π_i	π'_i
x_6	4.80	$0.84 = (4.27 \times 2.21) / 11.28$
55	4.27	$0.94 = (4.8 \times 2.21) / 11.28$
89	2.21	$1.81 = (4.8 \times 4.27) / 11.28$
Σ	11.28	

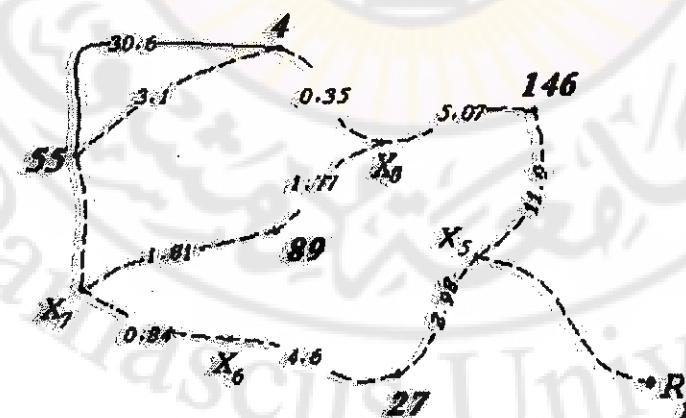
ومن ثم ننتقل من المثلث (4 , 89 , 146) الشكل (5-60) إلى النجمة المكافأة له x_8 الجدول (5-17) والشكل (5-61) كما يلي:



الشكل (5-60)

الجدول (5-17)

العقدة	π_i	π'_i
146	2.24	5.07
89	6.40	1.77
4	32.7	0.35
Σ	41.34	

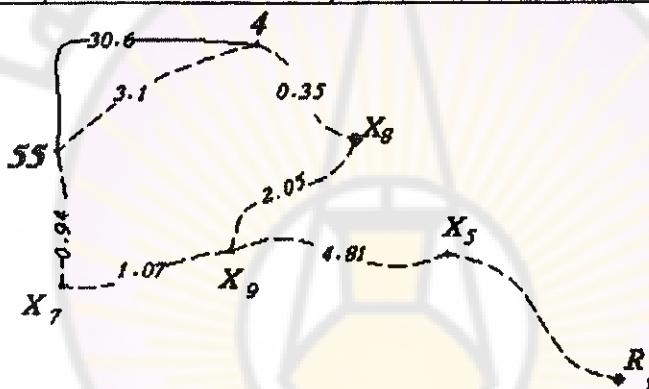


الشكل (5-61)

ننتقل من المثلث (5-61) إلى النجمة المكافئة له وجدول (5-18) والشكل (5-62) فنجد :

الجدول (5-18)

العقدة	π_i	π'_i
x_5	3.58	4.81
x_7	16.07	1.07
x_8	8.42	2.05
\sum	28.07	

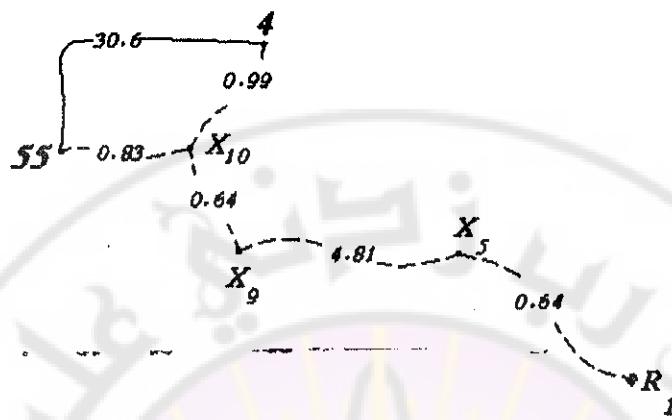


الشكل (5-62)

وأخيراً من المثلث (4 , 55 , x_9) والشكل (5-62) إلى النجمة المكافئة له x_{10} الجدول (5-19) والشكل (5-63) كما يلي:

الجدول (5-19)

العقدة	π_i	π'_i
x_9	3.1	0.64
55	2.4	0.83
4	2.01	0.99
\sum	7.51	

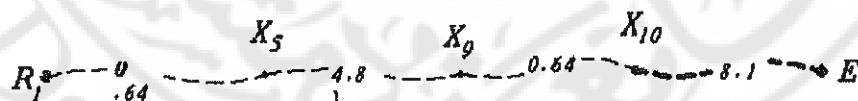


الشكل (5-63)

ومن الشكل (5-63) السابق نلاحظ بأننا حصلنا على مسار مغلق وحيد هو $(x_{10}, 55, 4)$ ومنه يمكننا أن نحسب العدد الوزني للمسار (x_{10}, E_2) حيث E_2 هي النقطة الأضعف المتوقعة للشبكة المدروسة وذلك حسب العلاقة:

$$\pi_{x_{10}, E_2} = \frac{1}{4}(0.83 + 0.99 + 30.6) = 8.1$$

وبالتالي فإن شبكة القياس الأساسية الشكل (5-47) قد تحولت إلى شبكة مكافئة مولفة من مسار وحيد هو $E_2 - R_1$ كما هو مبين على الشكل (5-64) التالي:



الشكل (5-64)

حيث العدد الوزني لهذا المسار $E_2 - R_1$ يحسب بالعلاقة التالية:

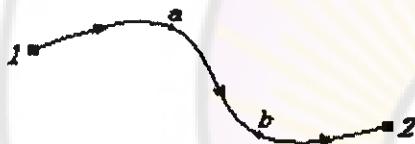
$$\pi_{R_1-E_2} = 0.64 + 4.81 + 0.64 + 8.1 = 14.2$$

وبمقارنة العدين الوزنيين π_{R1-E1} , π_{R1-E2} , π نجد أن النقطة الأبعد عن الريبير الأساسي هي النقطة E_2 الواقعة على المسار (4-55) وبالتالي فالعدد الوزني المطلوب حسابه أو إيجاده هو $\pi = 14.2$.

حساب وتعديل حلقات التسوية المباشرة :

حلقة التسوية عبارة عن مسار أو مسلك مؤلف من مجموعة من النقاط المتباude عن بعضها البعض، حيث إنه في بعض الحالات يتطلب هنا وضع صبات بيتونية لتلك النقاط على مسافات تتراوح بين M 700-500 وهذه الحلقات على نوعين :

2- الحلقات المفتوحة : كما في الشكل (5-65)



الشكل (5-65)

حيث يمر مسار التسوية منطقاً من نقطة معلومة المنسوب 1 إلى النقطة 2 المعلومة المنسوب أيضاً

مروراً بمجموعة من النقاط المرحلية a,b,c المجهولة المناسب، يحسب خط الإغلاق لمسارات التسوية المباشرة المفتوحة بالعلاقة (5-99) التالية :

$$f_i = \Delta H_i^2 - \Delta H_i'^2 \neq 0 \quad (5-99)$$

حيث :

f_i - خطأ الإغلاق لمسار تسوية مباشرة مفتوح .

ΔH_i^2 - فرق المنسوب المعطى و يحسب بالعلاقة (5-100) التالية :

$$\Delta H_i^2 = H_1 - H_2 \quad (5-100)$$

حيث :

H_1 - منسوب نقطة البداية.

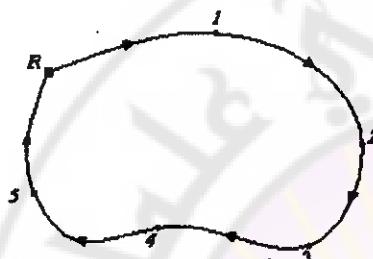
H_2 - منسوب نقطة النهاية.

ΔH^2 - فرق المنسوب المقاس ويحسب بالعلاقة :

$$\Delta' H_i^2 [h]_i^n$$

[h]_iⁿ مجموع فروق المنسوب المقاسة للمسارات المرحلية.

2- الحلقات المغلقة: كما في الشكل (5-66)



الشكل (5-66)

حيث يمر مسار التسوية منطلاقاً من نقطة معلومة أو غير معلومة المنسوب هي R بمجموعة من النقاط المجهولة المنسوب هي 1,2,3 لكي يعود إلى نفس النقطة التي انطلق منها R خطأ الإغلاق لهذه الحلقات يحسب بالعلاقة (5-101) :

$$f_h = 0 - [h]_i^n \neq 0 \quad (5-101)$$

حيث :

[h]_iⁿ - مجموع فروق المنسوب المقاسة وإن خطأ الإغلاق هذا لا يساوي الصفر وذلك لوجود أو توفر عدد كبير من الأخطاء العرضية في القياسات والحسابات، وهذا الخطأ معروفاً دائماً سواء أكان منسوب النقطة R معلوماً أم مجهولاً .

إن المقصود بحساب وتعديل حلقات التسوية هو تعين أو حساب مناسبات ارتفاعات النقاط المختلفة لتلك الحلقات وذلك بالنسبة لنظام ارتفاعات محدد ومعين وبحيث إن عمليات الحساب هذه تأخذ بعين الاعتبار الأخطاء العرضية الموجودة أو الحاصلة أثناء قيامنا بالقياسات، ومن ثم توزيع هذه الأخطاء توزيعاً يضمن التجانس في ارتفاعات ومناسبات نقاط الشبكة، بحيث لا تترافق الأخطاء

العرضية في نقاط دون أخرى، إن الطريقة المتبعة في حساب وتعديل مناسبات نقاط الحلقات هي طريقة لاغرانج والمسماة بالطريقة الشرطية.

- طريقة لاغرانج: لتكن لدينا النقطتان A,B المبينتان بالشكل (5-66) والمعلومتا الارتفاعين HB, HA تنشئ المسار ونجري التسوية بين هاتين النقطتين مروراً بمجموعة من النقاط الوسيطة 1,2,3,... المجهولة المناسبات ثم نشكل التابع العلاقة (5-102).

$$F = [Pv^2] - 2KC \quad (5-102)$$

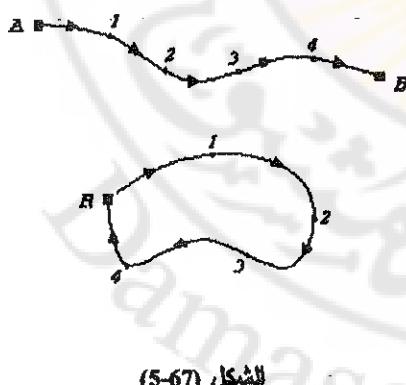
حيث:

P - وزن القياس أو التسوية ويساوي إلى الخطأ المتوسط التربيعي لواحدة الوزن مقسوماً على الخطأ المتوسط التربيعي لواحدة القياس .

v - التصحيح الواجب إدخاله في نتائج القياس .

K - ثابت ارتباط يربط بين $[Pvv]$ والشرط C .

C - الشرط الموضوع أو المفروض لإجراء التعديل وهو: مجموع فروق المناسبات المقاسة يجب أن يساوي فرق الارتفاع أو المنسوب بين نقطتي البداية والنهاية .



الشكل (5-67)

درس أول الحلقة المغلقة المبنية بالشكل (5-67) السابق حيث تم التسوية عن طريق مجموعة من التسويات المرحلية المتالية: 1,2,3,... وهذه التسويات غير متساوية الدقة، أي يجب أن نرفقها بأوزان تحسب بالعلاقة (5-103) التالية:

$$P_i = \frac{1}{L_i} \quad (5-103)$$

حيث:

L_i - طول المسار المرحلي.

إن خطأ الإغلاق للحلقة المغلقة يحسب بالعلاقة (5-104) التالية:

$$f_h = 0 - [h]_1^n \quad (5-104)$$

$$(h_{R1} + v_1) + (h_1^2 + v_2) + (h_2^3 + v_3) + \dots + (h_4^{R1} + v_5) = 0$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + [h]_1^n = 0$$

$$\Rightarrow v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n - f_h = 0 \quad (5-105)$$

والعلاقة (5-105) هي شرط تعديل الحلقات المغلقة.

أما في الحلقات المفتوحة الشكل (5-67) فإن الفرق بين منسوب نقطتي البداية والنهاية يجب أن يساوي إلى مجموع فروق المنسوب المقاسة للنقاط الوسيطة أي: العلاقة (5-106) أي :

$$\begin{aligned} H_B - H_A &= [(h_A + v_1) + (h_1^2 + v_2) + \dots + (h_4^B + v_5)] \\ v_1 + v_2 + \dots + v_5 + [h] &= H_B - H_A \\ \Rightarrow v_1 + v_2 + \dots + v_5 + [h] + (H_B - H_A) &= 0 \end{aligned} \quad (5-106)$$

والعلاقة (5-106) هي شرط تعديل الحلقات المفتوحة.

إن عملية التعديل وفق الطريقة الشرطية، تكون بوضع الشرط التالي العلاقة (5-102) فتصبح بشكل العلاقة (5-107) التالي:

$$F = [Pvv] - 2K.C = \text{Min} \quad (5-107)$$

نشق التابع العلاقة (5-107) بالنسبة لمتحولاته ونساوي المشتق بالصفر
فحصل:

$$F = \left(\frac{v_1^2}{L_1} + \frac{v_2^2}{L_2} + \dots + \frac{v_6^2}{L_6} \right) - 2K(v_1 + v_2 + \dots + v_6) = \text{Min}$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_1} = \frac{2v_1}{L_1} - 2K = 0 \Rightarrow v_1 = KL_1$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_2} = 0 \Rightarrow \frac{2v_2}{L_2} - 2K = 0 \Rightarrow v_2 = KL_2$$

نعرض قيم $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ بشرط تعديل الحلقة المغلقة بالعلاقة (5-105)
فحصل:

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n - f_h = 0$$

$$KL_1 + KL_2 + \dots + KL_5 - f_h = 0$$

$$K[L] - f_h = 0$$

$$\Rightarrow K = \frac{f_h}{[L]} \quad (5-108)$$

حيث :

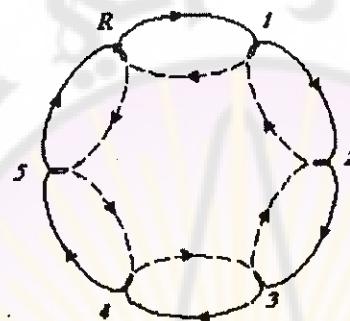
K - هي قيمة ثابت الارتباط.

وبالتالي فإن قيمة التصحيف لكل مسار من مسارات التسوية المرحلية يحسب
بالعلاقة (5-109) التالية:

$$\begin{aligned} v_1 &= KL_1 = \frac{f_h}{[L]} \cdot L_1 \\ v_2 &= KL_2 = \frac{f_h}{[L]} \cdot L_2 \\ &\vdots \qquad \vdots \\ v_6 &= KL_6 = \frac{f_h}{[L]} \cdot L_6 \end{aligned} \quad (5-109)$$

أي أن التصحيحات الواجب إدخالها على نتائج قياسات تسوية المسارات المرحلية، للحقة تناسب طرداً مع طول كل مسار من تلك المسارات على أن يقدر طوله بالكيلو متر.

وعندما يطلب رفع الدقة في تعين أو حساب فرق المنسوب المقاس لكل جزء من أجزاء الحلقـة، واكتشاف الأغلاط الحاصلة في التسويات المرحلية.



الشكل (5-68)

وكذلك رفع الدقة للحـقة الأساسية، فإنـنا نجري تسوية مضاعفة لمسارات الحـقة، أي نجري تسوية ذهاباً وإياباً كما هو مـبين في الشـكل (5-68) التالي:

عـنـدهـا يـصـبـحـ خطـاـ الإـغـلـاقـ مـعـرـفـاـ بـوـاسـطـةـ الفـرـقـ d بـيـنـ التـسـوـيـةـ ذـهـابـاـ وـتـيـجـةـ التـسـوـيـةـ إـيـابـاـ كـمـاـ هوـ مـبـيـنـ فـيـ العـلـاقـةـ (5-110)ـ أيـ:

$$(5-110) \quad d = h' - h''$$

حيث :

h' - فـرقـ المـنـسـوبـ فـيـ التـسـوـيـةـ ذـهـابـاـ.

h'' - فـرقـ المـنـسـوبـ فـيـ التـسـوـيـةـ إـيـابـاـ.

وـبـمـاـ أـنـ خـطـاـ الإـغـلـاقـ فـيـ الـحـقـقـ الـمـفـلـقـةـ يـعـطـيـ بـالـعـلـاقـةـ (5-104)ـ أيـ:

$$f_h = -[h_i]_i^n$$

حيث : $f_i = \frac{h'_i + h''_i}{2}$ نعرض فنجد :

$$\begin{aligned} f_i &= -\frac{1}{2}[h'] - \frac{1}{2}[h''] \\ &= -\frac{1}{2}([h'] + [h'']) \end{aligned}$$

٥ - التسوية غير المباشرة (المثلثية) :

تعريف التسوية غير المباشرة: وهي تحديد أو تعين فرق المنسوب بين نقطتين، وذلك عن طريق قياس مجموعة من العناصر قياساً مباشراً، ومن ثم إدخال تلك العناصر بعلاقات رياضية يتم من خلالها حساب فرق المنسوب، وبشكل عام يعطى قانون التسوية غير المباشرة بالعلاقة (1-6) بالشكل التالي:

$$\Delta h = D t g i + (J - S)$$

حيث :

- D - المسافة الأفقية بين النقطتين المطلوب قياس فرق المنسوب بينهما.
- i - زاوية ارتفاع المحور الضوئي عن الأفق، أو زاوية ميل شعاع الرؤية على الأفق.
- S - ارتفاع النقطة المرصودة عن أسفل الميرا أو الشاخص المتواضع على شاقول النقطة المعتبرة .

J - ارتفاع المحور الضوئي للجهاز عن نقطة التمركز.
إن قياس المسافة D يتم إما بواسطة الشريط أو بواسطة منظار ستاديومترى ذي زاوية ثابتة مع ميرا شاقولية.
ونقول عن نظارة بأنها ستاديومترية إذا كان منظارها يحتوي بالإضافة إلى

الخطين المتقاطعين والمتعامدين في المنتصف على خطين آخرين 'b a a'، b' موازيين للخط الأفقي ومتوازيين بالنسبة له، كما في الشكل (5-69) حيث تحسب المسافة الأفقية بالعلاقة (5)

: 111)

$$D = K \cdot L \quad (5-111)$$

حيث :

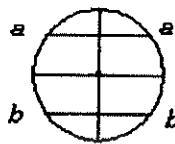
K - ثابت الضرب стадимتری - ثابت الجهاز.

L - المسافة بين الخطين stadiometers.

و هذه العلاقة (5-111) صحيحة عندما يكون شعاع الرؤية أفقياً تماماً و موجهاً على الميرا الشاقولية، ولكننا عندما نقيس المسافة الأفقية بين نقطتين فإننا لا نستطيع دوماً رصد الميرا مع تأمين أفقية المحور الضوئي وخاصة في الأرضي الوعرة.

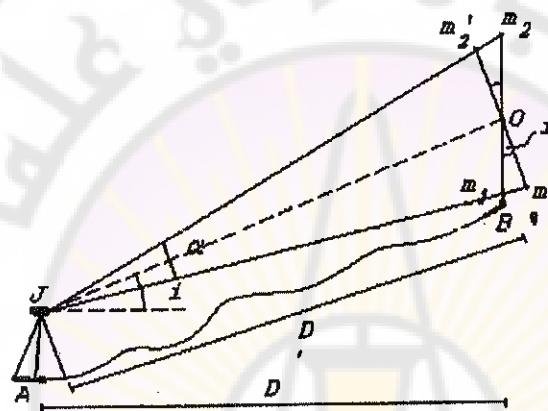
إذا أردنا حساب المسافة الأفقية بين النقطتين A,B المبينتين في الشكل (5-70) نوجه المحور الضوئي على الميرا المتوضعة فوق النقطة B ولنفترض أن هذا المحور الضوئي مائل بزاوية i على الأفق، فإذا جعلنا الميرا عمودية على المحور الضوئي، فستكون عندها مائلة بزاوية i على الشاقول، لرمز بـ m' لمرسمي الخطين stadiometers على الميرا، D' إلى المسافة JO بين m', m' وبال التالي وحسب العلاقة (5-111) نكتب:

$$\begin{aligned} D' &= K \cdot L' \\ \Rightarrow D &= D' \cos i = K \cdot L' \cos i \end{aligned} \quad (5-112)$$



الشكل (5-69)

ولكن هذا يتطلب منا جعل الميرا عامودية على المحور الضوئي، وهذا شيء صعب، والأسهل منه هو وضع الميرا بشكل شاقولي عن طريق الزئبقية الكروية، وعندما سيكون مرسما الخطين المستديمترین في m_1, m_2 وسنقرأ على الميرا المسافة أو المجال: L بدلاً من L' وبالتالي لحساب المسافة D نعين أو نحسب ℓ بدلالة ℓ' ومن ثم نعرض في العلاقة (5-112) السابقة لهذا:



(الشكل (5-70)

$$\ell = \ell_1 + \ell'$$

$$\ell_1 = om_1, \quad \ell_2 = om_2$$

ومن المثلثين: $\triangle om_2m'_2, \triangle om_1m'_1$ نجد:

$$m'_2 = \frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2}, \quad m'_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}$$

$$m_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} - i, \quad m'_1 = \frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2} - i$$

وبتطبيق علاقة الجيب في هذين المثلثين نحصل على: $i = \ell \cos \alpha$

وبعد التعويض في العلاقة (5-112) نجد :

$$D = K \cdot L \cdot \cos^2 i \\ = K \cdot L \cdot (1 - \cos^2 i) = K \cdot L - K \cdot L \cdot \cos^2 i \quad (5-113)$$

- نلاحظ أن الحد الثاني من الطرف الثاني يمثل تصحيحاً للمقدار $K \cdot L$ ويكون هذا التصحيح مهملاً عندما تكون $|i| < 3 \text{ gr}$

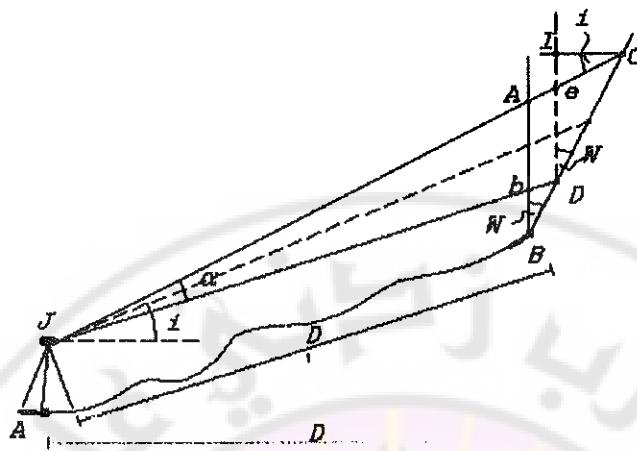
- الأخطاء النظامية والعرضية في القياسات المستadiometria بميرا شاقولية:

من أهم الأخطاء النظامية في القياسات المستadiometria بميرا شاقولية:

١- خطأ التعبير: وهو خطأ ناتج عن عدم صحة الثوابت المستadiometria ويمكن تحديد هذا الخطأ عن طريق إيجاد قيمة جديدة لتلك الثوابت.

٢- خطأ شاقولية الميرا: لنفترض أنه من النقطة A تم رصد الميرا المتوضعة في النقطة B الشكل (5-71) والمائلة على الشاقولي بزاوية w ونتيجة لهذا الانحراف فإننا سنقرأ على الميرا المجال: $L' = DC$ بدلاً من المجال: $L = AB$ وبما أن الزاوية المستadiometria α زاوية صغيرة وعلى مقاربة من الميرا يمكننا أن نعتبر الخطين $BD // AC$ ، نرسم من D الشاقول DI ومن النقطة C تنزل على هذا الشاقول المحور CI . من الشكل (5-71) يمكننا أن نكتب:

$$\begin{aligned} L &= AB = DE = DI - IE \\ L &= DC \cos w - IC \operatorname{tg} i \\ IC &= DC \sin w \Rightarrow \\ L &= DC \cos w - DC \sin w \operatorname{tg} i \\ &= L' \cos w - L' \sin w \operatorname{tg} i \\ L &= L'(\cos w - \sin w \operatorname{tg} i) \end{aligned}$$



الشكل (5-71)

وباعتبار w زاوية صغيرة نكتب: $\sin w = w$ ، $\cos w = 1$
وتصبح العلاقة :

$$L = L'(1 - w \tan i) = L' - L'w \tan i$$

وبضرب الكمية السابقة بالثابت стадиметри K نجد أن الخطأ على المسافة
والناتج عن عدم شاقولية الميرا يعطى بالعلاقة (5-114) التالية:

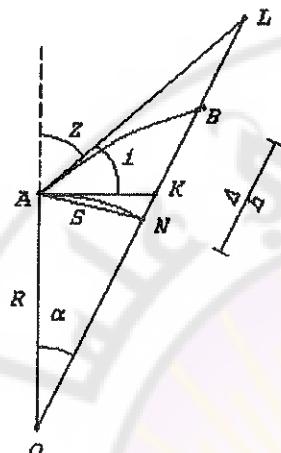
$$e_D = KL'w \tan i \quad (5-114)$$

وإن هذا الخطأ صغير وقيمة تزداد بازدياد ميل المحور الضوئي، ويصبح ذو
أهمية ونظرياً إذا كانت زاوية الميرا غير مضبوطة، إذ إن حامل الميرا يمكنه
أن يضع الفقاعة بين حدبيها بخطأ قدره $\pm 1 \text{ mm}$

ومن أهم الأخطاء العرضية في القياسات стадимetrica:

- ١- خطأ القراءة على الميرا ويقدر هذا الخطأ بـ $\pm 1 \text{ mm}$ على طول L
المقروءة، وهو يتاسب طرداً مع المسافة المقاسة.

٢- الخطأ الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة: حيث ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الهواء القريبة من سطح الأرض تظهر الميرا بشكل متوج مما يؤدي إلى صعوبة القراءة عليها.



الشكل (5-72)

- تأثير خطأ انحناء سطح الأرض وانكسار شعاع الرؤية على نتائج أعمال التسوية غير المباشرة:

لتكن لدينا نقطتان: A,B الشكل (5-72) والمطلوب حساب فرق المسوب أو الارتفاع بينهما:

$$\Delta h = NB \quad (5-72)$$

حيث: \hat{AN} قوس الكرة الأرضية، نصف قطرها $R = 6400 \text{ KM}$
 AK - هو المماس للكرة في النقطة A وهو متعامد مع AO
 أي: $AO \perp AK$ وإن شعاع الرؤية سيكون وفق المنحني AB حيث AL مماس لهذا المنحني في A.
 Z هي الزاوية السمتية للاتجاه المرصود.
 زاوية انحراف شعاع الرؤية.

عملياً عند الرصد ونتيجة لأنكسار شعاع الرؤية فإن النقطة B ستري في النقطة L بدلاً من B.

نعتبر المثلث: \hat{AKL} مثلاً قائم الزاوية في K الشكل (5-72) وذلك لصغر المسافات المقابلة بالنسبة لأبعاد الكرة الأرضية، وبالتالي فرق الارتفاع بين

ال نقطتين A و B المساوی حسب الشکل المسافة K L يساوی كما في العلاقة التالية:

$$KL = AK \operatorname{tg} i = stgi \quad (5-115)$$

$$KL = AK \operatorname{tg} i = stgi \quad (5-115)$$

إن العلاقة السابقة (5-115) مغلوطة لسببين:

أ- حسبت ابتداء من K وكانت أن تحسب من N وهذا يعود إلى خطأ انحصار سطح الأرض المعطى بالعلاقة (5-6) التالية:

$$q = NK = \frac{S^2}{2R}$$

حيث: R نصف قطر الكرة الأرضية وخطأ انحصار سطح الأرض يحسب بالعلاقة:

$$q = \frac{S^2}{2R_0} \text{ حيث } R_0 \text{ نصف قطر الكرة المعتبرة كسطح للمقارنة.}$$

ب- إن العلاقة السابقة قد حسبت فرق المنسوب حتى النقطة L وكان يجب أن نحسبها لغاية B وهذا عائد لخطأ الانكسار في شعاع الرؤية المعطى بالعلاقة التالية:

$$P = BL = K \frac{S^2}{2R}$$

وبالتالي فرق المنسوب بين نقطتين A, B بعد إدخال التصحيحين عليه يعطى بالعلاقة (5-116) التالية:

$$\begin{aligned} \Delta h &= q + KL - P \\ &= Stgi + (q - P) \end{aligned} \quad (5-116)$$

وباعتبار أن ارتفاع المحور الضوئي في النقطة A هو J الشكل (5-27) وارتفاع النقطة المرصودة بالمحور الضوئي عن النقطة B هو S تصبح العلاقة (5-116) السابقة بالشكل النهائي التالي بالعلاقة (5-117):

$$\Delta h = Stgi + (J - S) + (q - P) \quad (5-117)$$

الفصل السادس
المساحة المستوية
التعمين المستوى للنقاط



٦-١- المراحل الأساسية لعمليات المسح المستوي:

لا بد للمهندس المساح من الاعتماد على عدد من النقاط المجسدة على الطبيعة، المعروفة بإحداثياتها العامة والتي تسمى بالنقاط الجيوديزية، أو بنقاط التثليث والتي تشكل بمجموعها ما نسميه بالشبكة الجيوديزية للبلاد، والتي يجب أن تغطي مساحة الدولة كافة... حيث توزع هذه النقاط على مختلف المناطق وتجسد على الطبيعة بمراصد ثابتة من البيتون، تكون مثبتة بشكل جيد وتوضع على تلك النقاط، وخاصة نقاط الشبكة الرئيسية، إشارات تسمح برصدها من مسافات بعيدة تكون ذات أشكال هندسية بسيطة لها محور تناظر شاقولي يمر من مركز المرصد، تستعين بهذه النقاط في أعمال المساحة لإنجاز مختلف المشاريع بطريقة تمنع تراكم أخطاء القياسات، وكذلك توجيه عمليات المسح بالنسبة للخريطة العامة للدولة، وإن مدى احتياج المساح للنقاط الجيوديزية، هو في المتوسط نقطة واحدة لكل ثلاثة كيلو مترات مربعة، تقسم أعمال المسح المستوي إلى مجموعة من العمليات المتتابعة، كل عملية سابقة تشكل هيكلًا وقاعدة لعملية لاحقة إلى أن نتوصل إلى تعين التفاصيل المطلوبة، من تلك المراحل:

- ١- عمليات التثليث.
- ٢- عمليات التضليل.
- ٣- عمليات المسح التفصيلي.
- ٤- عمليات الرسم وتمثيل التفاصيل على المخطط بمقاييس محددة.
- ٥- حساب المساحات.

- إن اتباع طريقة العمل وفق المراحل السابقة يؤمن لنا دقة متجانسة وسرعة في إنجاز الأعمال، كما ويسمح لنا بقبول الفرضية التالية التي تسهل دراسة الأخطاء الناتجة عن عمليات القياس والمسح، فتعتبر أن الأخطاء على النقاط

المعلومة التي سبق وعُيّنت، في إحدى المراحل مهمة بالنسبة لأخطاء القياسات التي تجري في المرحلة التالية، أي أن دقة النقاط المراد تعبيئتها تعتمد على دقة القياسات التي جرت لتعيينها، لا على دقة النقاط المعلومة المرتبطة بها، والتي نعتبرها صحيحة.

وتعتبر النقاط المراد تعبيئتها وتمثيلها على المخطط مجهولة إلى أن يتم وصلها وربطها بنقاط معلومة، أي نقاط ذات إحداثيات معلومة، أو بنقاط سبق وأن مثلت على المخطط، ويمكننا أن نقوم بعملية الربط هذه بعدة طرق هي:

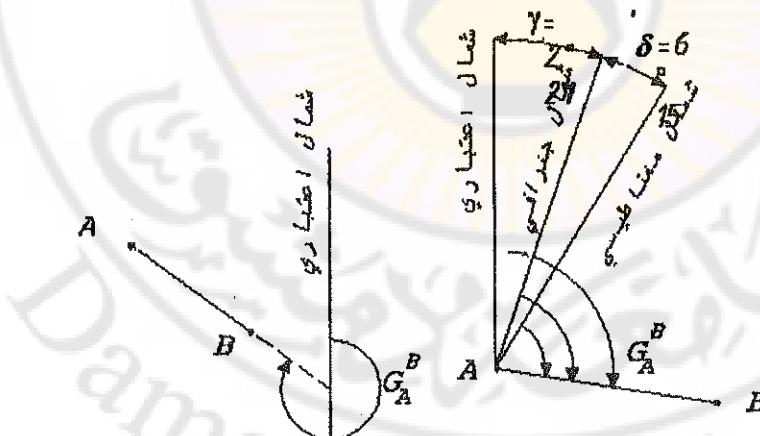
١- طرق تعتمد على قياس مسافات أفقية فقط.

٢- طرق تعتمد على قياس زوايا أفقية فقط.

٣ طرق تعتمد على قياس زوايا أفقية ومسافات أفقية معاً.

السمت الاعتباري، السمت الجغرافي، السمت المقاططيسي، لاتجاه ما معطى: ليكن المطلوب، تحديد وحساب السمت الاعتباري، لاتجاه ما معطى على مخطط، ولتكن حسب الشكل (6-1) المبين جانباً الاتجاه: AB.

★



الشكل (6-1)

لهذا نقوم بتمديد الاستقامة: AB حتى تتقاطع مع أقرب خط كيلومترى شاقولي، وهو الخط، الذى يعبر عن اتجاه الشمال الاعتباري، أي شمال الخريطة. فإذا كانا نستخدم مخططاً طبوغرافياً ما، رسم عليه الاتجاه: AB، نستخدم المنقلة فى قياس السمت الاعتباري. وهو أي سمت الاعتباري: الزاوية باتجاه دوران عقارب الساعة من اتجاه الشمال الاعتباري هو شمال الخريطة إلى الاتجاه المرصود. أو المطلوب حساب سنته. ونرمز له بالرمز: G.

ومن أجل تحديد السمت الجغرافي، والسمت المغناطيسى، لاتجاه ما، أو لاتجاه محدد على خريطة أو مخطط. نعتمد في ذلك على مخطط توضع الاتجاهات، والذي يكون عادة، في أسفل وجنوب المخطط، كما هو مبين على الشكل السابق. حيث إن السمت الجغرافي بالتعريف: هو الزاوية باتجاه دوران عقارب الساعة من اتجاه الشمال الجغرافي إلى الاتجاه المعتبر أو المطلوب حساب سنته الجغرافي. والشيء الذي يدلنا على اتجاه الشمال الجغرافي هو اتجاه نجمة القطب.

نلاحظ أن السمت الجغرافي لاتجاه ما، وحسب الشكل السابق. أصغر من السمت الاعتباري بقيمة محددة: γ نسميها زاوية التقارب بين خطوط الطول. وهي أي زاوية التقارب: الزاوية بين اتجاه الشمال الاعتباري - الذي يدلنا عليه شمال الخريطة- والشمال الجغرافي الذي يدلنا عليه اتجاه نجمة القطب - نرمز للسمت الجغرافي بالرمز: A وبالتالي يمكننا أن نكتب العلاقة (6-1) التالية:

$$A = G - \gamma \quad (6-1)$$

حيث :

- زاوية السمت الجغرافي لاتجاه ما معطى.
- زاوية السمت الاعتباري للاتجاه المعتبر أو المعطى.
- زاوية التقارب بين خطوط الطول.

وكذلك لحساب السمت المغناطيسي لاتجاه ما معطى على خريطة أو مخطط وهو أي السمت المغناطيسي: الزاوية باتجاه دوران عقارب الساعة، من اتجاه الشمال المغناطيسي، وهو الاتجاه الذي يدلنا عليه، اتجاه الإبرة المغناطيسية. إلى الاتجاه المعتبر أو المرصود. ويرمز له بالرمز A_m . وهو أصغر من السمت الجغرافي: A لنفس الاتجاه، بقيمة محددة، تساوي لزاوية انحراف الإبرة المغناطيسية عن اتجاه الشمال الجغرافي، أي اتجاه نجمة القطب. نرمز لزاوية الانحراف هذه بالرمز: δ كما هو مبين على الشكل السابق.

وبالتالي يصبح السمت المغناطيسي لاتجاه ما: AB معطى بالعلاقة (6-2) التالية:

$$A_m = A - \delta \quad (6-2)$$

فمثلاً إذا كان لدينا حسب الشكل السابق :

$$\delta = 5^\circ 15' , \gamma = 2^\circ 21' , G = 328^\circ 30'$$

فحصل على ما يلي:

$$A = 328^\circ 30' - 2^\circ 21' = 326^\circ 9'$$

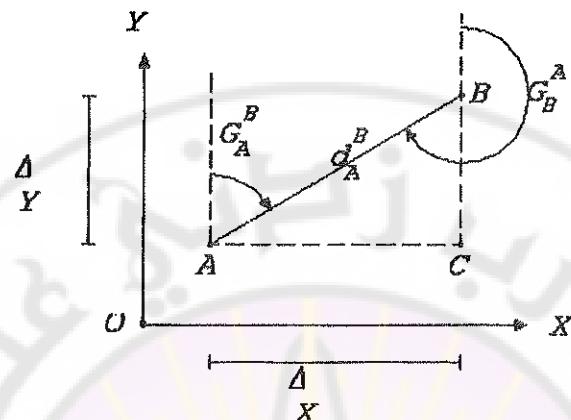
$$A_m = 326^\circ 9' - 6^\circ 15' = 319^\circ 54'$$

٤-٣ - المسألة المساحية الأولى والمسألة المساحية الثانية:

أ- السمت الاعتباري والمسافة بين نقطتين (المسألة المساحية الثانية):

لتكن لدينا جملة المحاور بالإحداثيات $O X Y$ المبينة بالشكل (6-2)، $A B$ مستقيم يصل بين النقطتين A, B المعلومتا الإحداثيات: $(x_A, y_A), (x_B, y_B)$. إن اتجاه المحور OY يدل على اتجاه الشمال، شمال الخريطة، أو الشمال الاعتباري، والذي يختلف عن اتجاه الشمال الجغرافي في المستوى، والذي هو مرسم المماس لخط الطول في النقطة المعتبرة، نسبي الزاوية في A والتي يصنعها المستقيم B في هذا المستوى مع شمال الخريطة أو الشمال الاعتباري بالسمت

الاعتباري لـ A B ونرمز له بالرمز G_A^B ويقاس اعتباراً من الشمال الاعتباري وباتجاه دوران عقارب الساعة.



الشكل (6-2)

من هذا التعريف نلاحظ أن السمت الاعتباري لاتجاه A B في النقطة A يختلف عن السمت الاعتباري للاتجاه المعاكس A B في النقطة B بمقدار gr 200، أي يمكننا أن نكتب العلاقة (6-3) التالية:

$$G_A^B = G_B^A \mp 200\text{gr} \quad (6-3)$$

وعادة ما نعرف الاتجاهات في مستوى التمثيل بسمونها الاعتبارية، حيث هي: زاوية قيمتها محصورة بين 0-400 gr أي: $0 < G < 400$ gr فإذا كان $G < 0$ أي أن قيمة السمت سالبة، عندها نضيف له: 400gr، أما إذا كان $G > 400$ gr عندها نطرح منه: 400gr.

- أي أنه لا توجد قيمة سالبة أو أكبر من gr 400 لزاوية السمت الاعتباري، وبالتالي فمعطيات المسألة المساحية الأولى هي: إحداثيات النقطتين A,B والمطلوب:

- ١ - حساب المسافة بين هاتين النقطتين، أي حساب: d_A^B
- ٢ - حساب السمت الاعتباري للضلوع A B ، أي حساب ?

$$\overset{\Delta}{ABC} \Rightarrow \operatorname{tg} G_A^B = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \Rightarrow G_A^B = \operatorname{arctg} \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}} \quad (6-4)$$

$$\overset{\Delta}{ABC} \Rightarrow d_A^B = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (6-5)$$

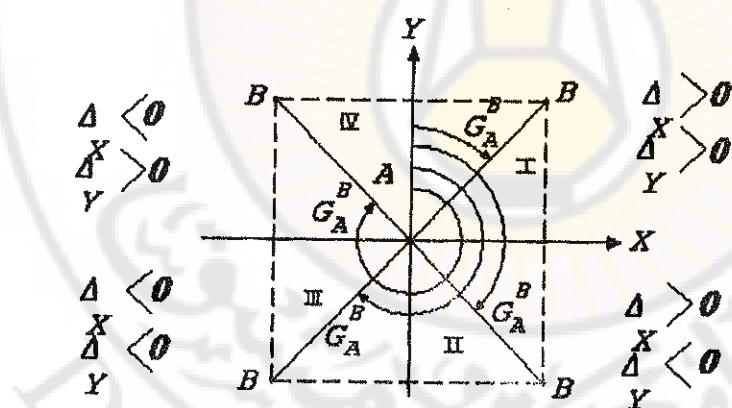
$$\overset{\Delta}{ABC} \Rightarrow d_A^B = \frac{x_B - x_A}{\sin G_A^B} = \frac{y_B - y_A}{\cos G_A^B} \quad (6-6)$$

$$G_A^B = \operatorname{src} \sin \frac{\Delta x}{d_A^B} = \operatorname{src} \cos \frac{\Delta y}{d_A^B} \quad (6-7)$$

ولحساب السمت الاعتباري لاتجاه ما A B غالباً ما نلجأ إلى الطريقة التالية
الشكل (6-3) :

١- نحسب أولاً الزاوية γ_A^B في الربع الأول وذلك بتطبيق العلاقة (6-8) التالية:

$$\gamma_A^B = \operatorname{arc} \operatorname{tgy}_A^B = \left| \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \right| = \left| \frac{\Delta x}{\Delta y} \right| \quad (6-8)$$



الشكل (6-3)

ثم ندرس إشارة: Δx , Δy ونقارنها بالجدول (6-1) التالي:

الجدول (6-1)

زاوية السمت G_A^B	Δx	Δy	الربع
$G_A^B = \gamma_A^B$	+	+	I
$G_A^B = 200 \text{ gr} - \gamma_A^B$	+	-	II
$G_A^B = 200 \text{ gr} + \gamma_A^B$	-	-	III
$G_A^B = 400 \text{ gr} - \gamma_A^B$	-	+	IV

بـ- المسألة المساحية الأولى:

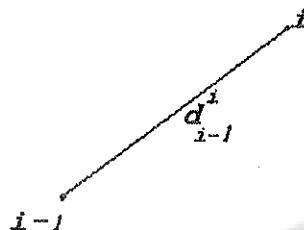
المعطيات: حسب الشكل (6-2) السابق أيضاً: A نقطة معلومة الإحداثيات: G_A^B المسافة d_A^B معلومة، وكذلك السمت الاعتباري للاتجاه: A B معلوم.

والمطلوب: حساب إحداثيات النقطة B المجهولة أي حساب: $x_B = ?$, $y_B = ?$ من الشكل (6-2) السابق نكتب:

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x \quad , \quad \Delta x = d_A^B \sin G_A^B \\ y_B &= y_A + \Delta y \quad , \quad \Delta y = d_A^B \cos G_A^B \Rightarrow \\ x_B &= x_A + d_A^B \sin G_A^B \\ y_B &= y_A + d_A^B \cos G_A^B \end{aligned} \tag{6-9}$$

ملاحظات:

1- يمكننا أن نعمم العلاقة السابقة، وذلك لحساب إحداثيات أي نقطة، بمعرفة إحداثيات النقطة التي قبلها كما يلي: الشكل (6-4) فتصبح العلاقات (6-9) بالشكل التالي:



الشكل (6-4)

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + d_{i-1}^i \sin G_{i-1}^i \\ y_i &= y_{i-1} + d_{i-1}^i \cos G_{i-1}^i \end{aligned} \quad (6-10)$$

$$d_{i-1}^i = d_{i-1}^i - 2$$

$$G_{i-1}^i \neq G_i^i \quad -3$$

$$G_{i-1}^i = G_i^i \pm 200 \text{ gr}$$

فإذا كان $G_A^B < 200 \text{ gr}$ يكون السمت المعاكس لهذا الاتجاه هو:

$$G_B^A = G_A^B + 200 \text{ gr}$$

فإذا كان $G_A^B > 200 \text{ gr}$ يكون السمت المعاكس لهذا الاتجاه هو:

$$G_B^A = G_A^B - 200 \text{ gr}$$

٦-٣- الشبكات الجيوديسية :

عند قيامنا بالأعمال الجيوديسية والهندسية لتوقيع أو تزيل مجموعة من المواقع والمنشآت الهندسية أو المدنية، نستخدم أو نعتمد على نقاط معلومة الإحداثيات، مثبتة على سطح الأرض بشكل كامل ودقيق، نسميها النقاط الجيوديسية، ومجموع تلك النقاط يشكل ما نسميه الشبكة الجيوديسية، والتي تعتبر أساساً في حساب الإحداثيات، وبشكلنا أن نصف الشبكات الجيوديسية وذلك حسب دقتها وطريقة إنشائها، إلى الشبكات عالية الدقة، حيث تشكل أساساً للشبكات الجيوديسية الأقل دقة، والشبكات المحلية أو الحرة، والتي لا تستند إلى نقاط الشبكات الأعلى درجة أو دقة، حيث تحتوي مثل هذه الشبكات المحلية أو الحرة على نظام إحداثيات شرطي أو نظام إحداثيات خاص بها.

هناك أربع درجات للشبكات الجيوديسية الحكومية هي: شبكة جيوديسية حكومية درجة I، شبكة جيوديسية حكومية درجة II، حيث يجب أن تغطي مثل هذه الشبكات مساحة الدولة بشكل كامل، ويعتمد فيها نظام إحداثيات موحد، وتعتبر أساساً للشبكات الجيوديسية الحكومية من الدرجتين: III، IV، وتتفذ هذه الشبكات بطريقة المثلثات، أو بطريقة المضلعات وبين الجدول التالي (6-2) مواصفات كل شبكة من الشبكات الجيوديسية الحكومية.

جدول يبين المواصفات العامة للشبكات الجيوديسية الحكومية: الجدول (6-2):

طريقة التنفيذ	الخاصية	درجة I	درجة II	درجة III	درجة IV	درجة IV	درجة IV
المثلثات	- طول الضلع بالكيلو متر	>20	7-20	5-8	2-5	5	3
	- الخطأ في قياس الزاوية - ثانية -	0.7	1.0	1.5	2	5	10
	- الخطأ في قياس المسافات	1/400000	1/300000	1/200000	1/200000	1/20000	1/20000
المضلعات	- طول الضلع بالكيلو متر	8-30	5-18	3-10	>0.25	5	3
	- الخطأ في قياس الزاوية - ثانية -	0.4	1.0	1.5	2	5	10
	- الخطأ في قياس المسافات	1/400000	1/200000	1/100000	1/40000	1/10000	1/5000

إلا أنه وفي الحياة العملية، ونظرًا الحاجة إلى تكتيف تلك الشبكات وخاصة في المناطق السكنية والصناعية وغيرها، تم تطوير درجتين إضافيتين للشبكات

الجيوديزية الحكومية، هي شبكة جيوديزية درجة IV وشبكة جيوديزية درجة IV مواصفات كل منها مبنية في الجدول السابق.

ويحيث أن لا تقل كثافة هذه الشبكات عن نقطة واحدة لكل واحد كيلو متر مربع على الأقل، وبالإضافة إلى هذه الشبكات هناك أنواع أخرى من الشبكات الجيوديزية كالشبكات الخاصة بالتصوير الطبوغرافي أو الرفع الطبوغرافي، والشبكات الخاصة بمراقبة التشوّهات للأبنية ذات الأهمية الخاصة كالجسور والأنفاق والأبنية البرجية والعالية وصوامع الحبوب وغيرها.

٦-٤- المضلوعات وأنواعها:

تعريف: المضلوع هو خط منكسر قيست فيه: أطوال أضلاعه، والزوايا الأفقية بين تلك الأضلاع، ونصف المضلوعات كما يلي :

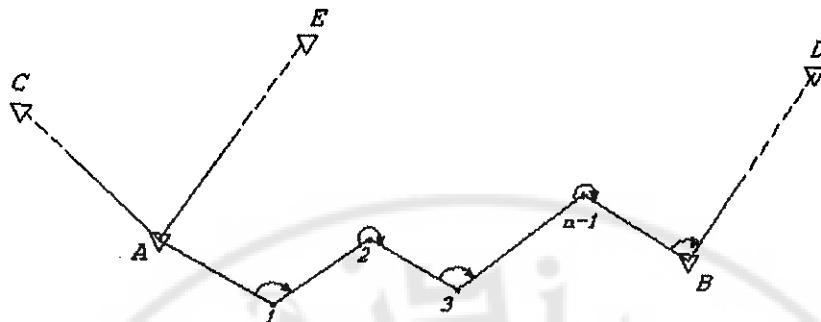
- أ- حسب الشكل
- ب- حسب طريقة الربط
- آ- من حيث الشكل نميز:

١- **المضلوعات المفتوحة:** وهي المضلوعات التي لا تتطرق على نفسها وتكون هذه المضلوعات إما مربوطة أو حرة،

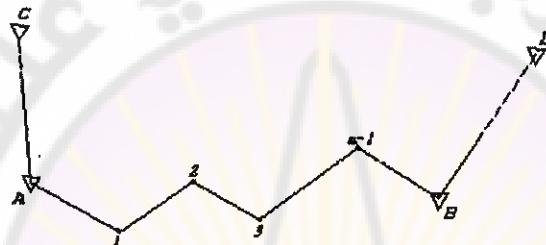
٢- **مضلوعات مغلقة:** أي أن المضلوع يشكل خطًا منكسرًا مغلقًا، وتكون هذه المضلوعات إما مربوطة أو حرة.

- ب- حسب طريقة الربط نميز:

١- **(مضلوع مربوط)** من كلا الطرفين ب نقطتين جوديزيتين معلومتي الإحداثيات، وموجهًا من كلا الطرفين على نقطتين معلومتي الإحداثيات كما في الشكل (6-5)، كما ويمكن لهذا المضلوع أن يكون مربوطاً أو مستنداً من الطرفين وموجهًا من أحدهما فقط، لصعوبة الرؤية مثلًا كما في الشكل (6-6).

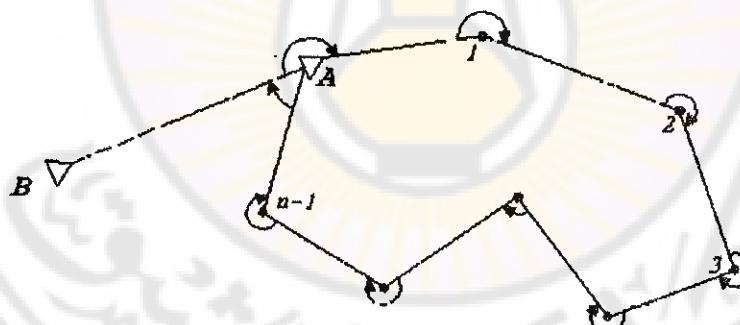


الشكل (6-5)



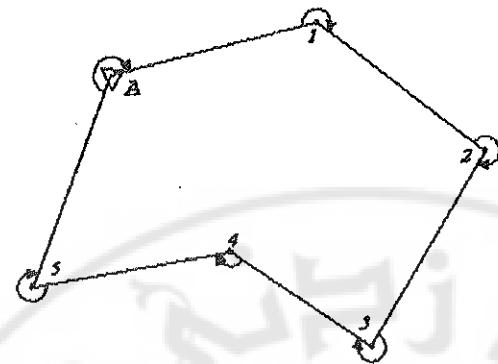
الشكل (6-6)

ويمكن لـ n الـ n النوعين أن يظهران في المضلع المعلق كما في الشكل (6-7)



الشكل (6-7)

- ٢ - مضلعات مستندة أو مربوطة من كلا الطرفين، وليس متوجهة من كلا الطرفين أيضاً كما في الشكل (6-8)، (6-9).

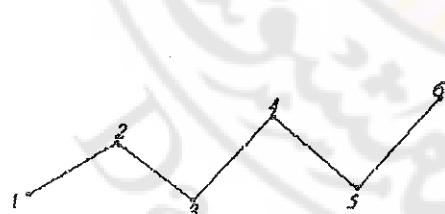


الشكل (6-8) مطلع مغلق مربوط مع عدم إمكانية للتوجيه

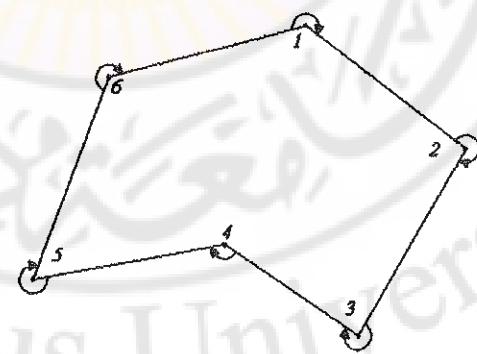


الشكل (6-9) مطلع مفتوح مربوط من كلا الطرفين وليس موجهاً من كلا الطرفين

- المطلعات الحرة: وهي المطلعات غير المرتبطة أو المستندة على أي نقطة معلومة الإحداثيات الشكل (6-10) و (11-6)، حيث تعتبر لأحد نقاطه إحداثيات شرطية معينة، تعتبرها أساسية واتجاه أحد أضلاعه.

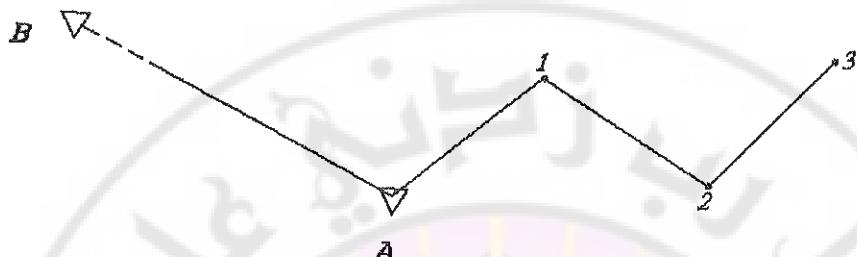


الشكل (6-10)



الشكل (6-11)

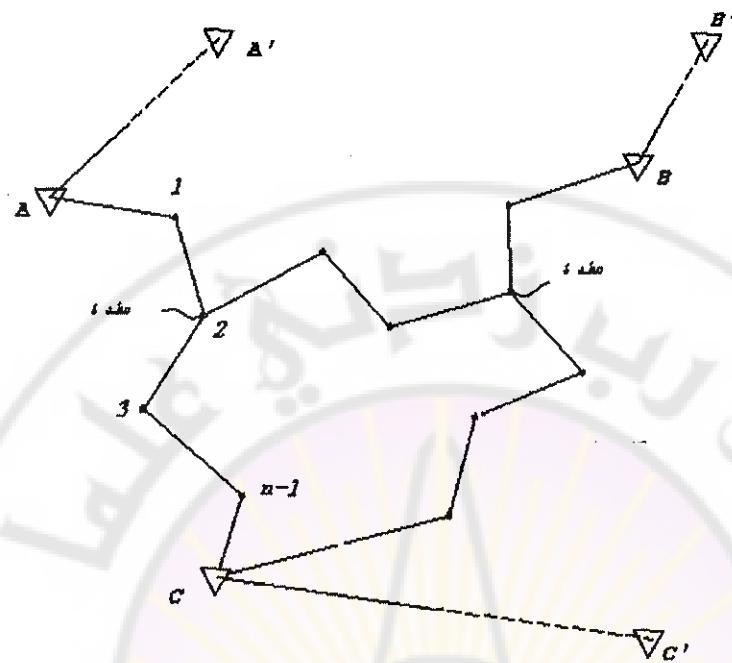
٤- المضلعات المعلقة: وهي مضلعات مفتوحة تستند إلى نقطة جيوبيزية واحدة معلومة الإحداثيات كما في الشكل (6-12).



الشكل (6-12)

٥- شبكة مضلعات الشكل (6-13): حيث تتألف من مجموعة من المضلعات المستندة إلى مجموعة من النقاط الجيوبيزية المعلومة الإحداثيات، والتي تلتقي مع بعضها البعض مشكلة مجموعة من العقد، وهي أي العقدة نقطة يتقاطع فيها مضلعين أو أكثر، ويمكننا أن نميز في شبكة المضلعات الأنواع التالية:

- ١- مضلع رئيسي: وهو المضلع الذي ينطلق من نقطة معلومة الإحداثيات وينتهي ب نقطة معلومة الإحداثيات أيضاً.
- ٢- مضلع ثانوي: وهو المضلع الذي يبدأ من نقطة من نقاط مضلع رئيسي وينتهي ب نقطة مضلع رئيسي آخر. الشكل (6-13).
- ٣- مضلع نصف ثانوي: يبدأ ب نقطة معلومة الإحداثيات وينتهي ب نقطة من مضلع رئيسي الشكل (6-13).



الشكل (6-13)

- خطوات العمل في شبكة المضلعات: كما مرّ معنا سابقاً فإن المضلع هو خط منكسر قيست فيه أطوال الأضلاع والزوايا الأفقية بين تلك الأضلاع، إن أهمية شبكة المضلعات تبرز من تأمينها لنقاط استناد تستخدم في أعمال الرفع الطبوغرافي، وتعد وسيلة لتكثيف الشبكات الجيوديزية بنقاط معلومة الإحداثيات، متقاربة من بعضها البعض، تُستخدم بسهولة في أعمال الرفع الطبوغرافي في المناطق السكنية والزراعية.

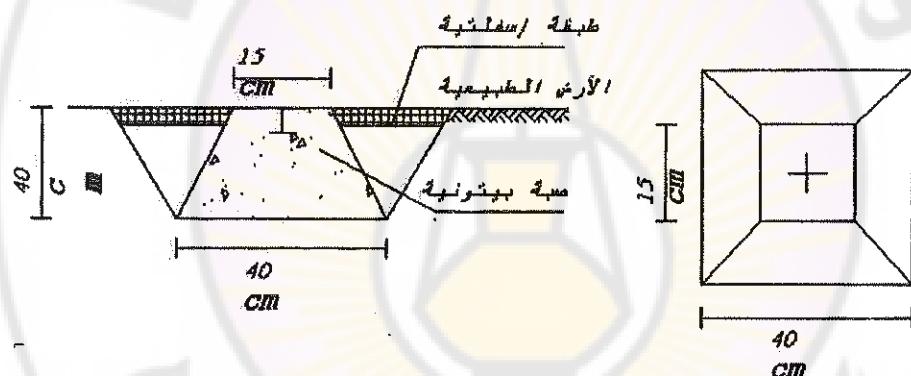
أ- الأعمال الحقلية:

1- استطلاع الأرض أو الموقع، وذلك لاختيار موقع وتوضيع نقاط المضلعات ورسم كروكيات لهذه النقاط، إن المسافة بين نقاط المضلع يجب أن تكون متساوية قدر الإمكان بحيث يمكننا أن نرى من كل نقطة من نقاط المضلع

النقطة السابقة واللاحقة لها، كما وأن مسار المضلع يجب أن يؤمن السهولة في قياس الزوايا والمسافات.

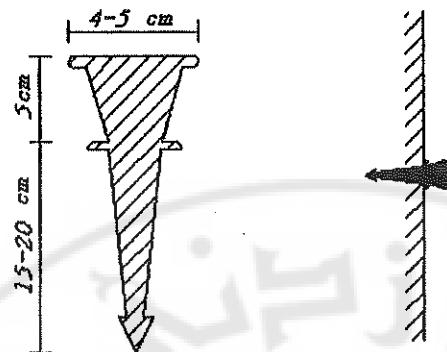
٢- تعلم أو تثبيت نقاط المضلع على سطح الأرض، تقسم العلامات المستخدمة في تثبيت نقاط المضلوعات المتوضعة في المدن والقرى والمناطق السكنية والصناعية إلى:

أ- العلامات المغروسة في التربة: حيث تعلم هذه الرييدات بصبات بيتونية على شكل جذع هرم، كما في الشكل (6-14)، يكون أبعد رأس الجذع $15 \div 20$ Cm والقاعدة: $40 \div 50$ Cm وارتفاع الدبیر حوالي: Cm 40 ويعلم مركزه بدائرة، أو إشارة +.



الشكل (6-14)

ب- العلامات أو الرييدات المزروعة أو المغروسة في الأسسات أو الجدران البارزة للأبنية والمنشآت، حيث تكون متوضعة على ارتفاع: $0.5 \div 1$ M عن سطح الأرض ولها الشكل (6-15) المبين.



الشكل (6-15)

٣- قياس الزوايا الأفقية والمسافات، إن قياس الزوايا الأفقية لمسارات شبكة المضلوعات والذي نسميه مسار تيودوليتي يتم عن طريق مركز جهاز التيودولييت في رأس المضلوع، ثم نضع في نقطتين المجاورتين لهذا الرأس جالونات المراقبة، وبحيث تكون هذه الجالونات شاقولية بشكل كامل، ويتم توجيه التيودولييت إلى الجزء السفلي من الجalon، ويجب أن نقىس إما الزوايا اليمينية أو اليسارية للمسار التيودوليتي، أما المسافات الأفقية لأطوال أضلاع المسار التيودوليتي فنقاس إما بواسطة الفائس الإلكتروني للمسافات، أو بواسطة شريط القياس، أو بأي طريقة أخرى من طرق قياس المسافات، بشرط أن تتحقق متطلبات الخطأ النسبي لقياس المسافات وذلك حسب درجة شبكة المضلوعات.

٤- إسناد أو ربط شبكة المضلوعات إلى النقاط الجيوبيزية للشبكات ذات الدرجات الأعلى.

ب- الأعمال المكتبية:

١- معالجة نتائج القياسات الحقلية، وبالتالي حساب إحداثيات رؤوس المسار التيودوليتي.

٢- تعديل نتائج القياسات، أي تعديل الإحداثيات لشبكة المضلوعات.

كما وتقاس كل زاوية من زوايا المضلع بطريقة الدوران المضاعف، وإن اختيار أجهزة قياس أطوال الأضلاع يتعلق بالدقة المراد الوصول إليها، وكثيراً ما يستخدم في الوقت الحاضر القائس الإلكتروني.

- كما ويعطى المجموع النظري للزوايا الداخلية لمضلع مغلق بالعلاقة (6-11)

التالية:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 200(n-2) \text{ gr} \quad (6-11)$$

حيث: n - عدد رؤوس المضلع، والمجموع النظري للزوايا الخارجية لمضلع مغلق يعطى بالعلاقة (6-12) التالية:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 200(n+2) \text{ gr} \quad (6-12)$$

- التيودوليت: يعتبر التيودوليت من أهم الأجهزة المستخدمة في المساحة والجيوبزيريا في الأعمال الحقلية، فهو سطه يمكننا أن نقىس الاتجاهات الأفقية والزوايا الشاقولية، ويصنف التيودوليت حسب درجة دقته إلى ثلاثة أنواع:

١- التيودوليت العالي الدقة: حيث الخطأ المتوسط التربيعي في قياس الزوايا الأفقية تتراوح بين $0.5'' \div 1''$.

٢- التيودوليت الدقيق: حيث الخطأ المتوسط التربيعي في قياس الزوايا الأفقية يتراوح بين $2'' \div 7''$.

٣- التيودوليت التقني: حيث الخطأ المتوسط التربيعي في قياس الزوايا الأفقية هو: $10'' \div 30''$.

- دراسة واختبار جهاز التيودوليت:

هذا مجموعة من الاختبارات التي يجب أن تجريها على جهاز التيودوليت قبل البدء في العمل، وهي مجموعة من الاختبارات التقنية ومجموعة من الاختبارات الفنية الهندسية.

أ- الاختبارات التقنية: وهي نفسها كما في جهاز النيفو، أي:

١- حركة جميع البواقي على الجهاز يجب أن تكون سلسة ومنتظمة وحركتها موزونة.

٢- تثبيت الجهاز على الركيزة، يجب أن يكون بشكل كامل ودقيق.

٣- دوران الجزء العلوي من الجهاز يجب أن يكون سلساً دون أي مقاومة أو احتكاك.

٤- جهاز المطابقة لجهاز التيودوليت يجب أن يعمل بصورته المثلثي.

ب- الاختبارات الفنية الهندسية:

١- محور الزئبقية الاسطوانية لجهاز التيودوليت يجب أن يكون متعامداً مع محور دوران الجهاز.

٢- محور الزئبقية الحلقة لجهاز التيودوليت يجب أن يكون موازياً لمحور دوران الجهاز

٣- محور شعاع الرؤية لجهاز التيودوليت "المنظار" يجب أن يكون متعامداً مع محور دوران المنظار.

٤- محور دوران المنظار يجب أن يكون متعامداً مع محور دوران التيودوليت.

٥- محور جهاز المركزه للتيودوليت يجب أن يكون متطابقاً على محور دوران الجهاز.

٦- مصادر الأخطاء في قياسات الزاوية:

١- الخطأ الناتج عن عدم مركزه أجهزة التسديد بشكل كامل ودقيق فوق العلامات، والذي يسمى بخطأ التنزيل أو بخطأ التوقيع.

٢- الخطأ الناتج عن عدم مركزه جهاز التيودوليت بشكل كامل ودقيق فوق عالم رأس الزاوية المطلوب قياسها، والذي يسمى بخطأ المركزه.

- ٣- الخطأ الناتج عن عدم مطابقة مواصفات الجهاز الفعلية مع المواصفات النظرية والمسمي بخطأ الجهاز.
- ٤- الخطأ في قياس الزاوية نفسها، ويتضمن خطأ التسديد والقراءة والخطأ الشخصي للراصد.
- ٥- الخطأ الناتج عن تأثير الظروف الخارجية.
- ٦- الخطأ الناتج عن المعطيات الأولية، وباعتبار نظرية استقلال الأخطاء يمكننا أن نكتب:

$$\begin{aligned} m^2 &= m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 \\ \Rightarrow m &= \sqrt{6}m_1 = \sqrt{6}m_2 = \dots = \sqrt{6}m_4 \\ \Rightarrow m_1 &= m_2 = m_3 = \dots = m_6 = \frac{m}{\sqrt{6}} = m_i \end{aligned} \quad (6-13)$$

حيث:

m - الخطأ المتوسط التربيعي في تحديد توضع نهاية مسار تيودوليتي مفتوح.

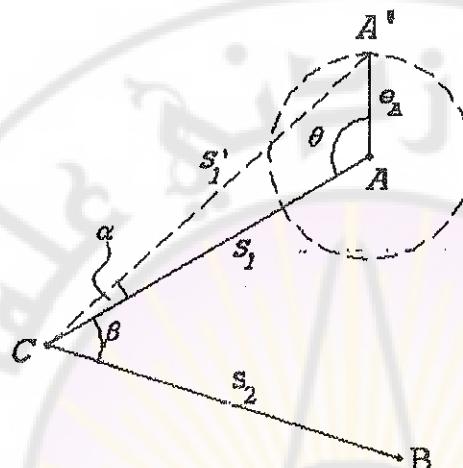
- خطأ التنزيل أو التتوقيع:

وهو الخطأ الناتج عن عدم مركزة جهاز التسديد بشكل كامل ودقيق فوق ماركات أو علامات المراقبة أو الرصد.

ليكن المطلوب قياس الزاوية $\hat{\beta}$ المبينة بالشكل (6-16).

نفرض أن جهاز التيودولييت وجهاز المركزية المركزين بشكل كامل ودقيق فوق النقطتين: C . B على الترتيب، أي جهاز التيودولييت فوق C وجهاز المركزية فوق النقطة B أما جهاز المركزية المركزة فوق النقطة A فمركزته غير دقيقة، وبالتالي فعند قياس الزاوية $\hat{\beta}$ نرتكب خطأ قيمته $\hat{\alpha}$ نسميه خطأ التنزيل، وقيمة هذا الخطأ تتعلق بالعاملين e, θ حيث: e هي المسافة AA' والمسمى المعامل

الخطي لخطا التنزيل. θ الاتجاه أو الزاوية والمسماة بالمعامل الزاوي لخطا التنزيل.



الشكل (6-16)

من الشكل (6-16) نلاحظ: عندما تكون قيمة المعامل الزاوي لخطا التنزيل θ مساوية (180° أو 0°) أي أن اتجاه المعامل الخطى لخطا التنزيل e باتجاه ضلع الزاوية الأفقية المقاسة. فإن خطأ تنزيل جهاز المركز، المركز في النقطة A' لا يؤثر على قيمة الزاوية الأفقية المقاسة β ، أما عندما تكون قيمة المعامل الزاوي لخطا التنزيل مساوية $90^\circ = \hat{\theta} = 270^\circ$ أي أن اتجاه المعامل الخطى لهذا الخطأ e متعمداً مع ضلع الزاوية الأفقية المقاسة، فتأثير هذا الخطأ على قياس الزاوية الأفقية β كون أعظمياً، وبما أن المعامل الخطى e والزاوي θ يمكن أن يأخذوا قيمتاً واتجاهات متغيرة كثيرة فال محل الهندسي لهذه التوضعات المحتملة للنقطة A حول النقطة A' هو دائرة، نصف قطرها e_A ومركزها النقطة A وبالتالي فهناك عدد لا نهائي من التوضعات المحتملة للنقطة A حول A' .

وكل توضع من تلك التوضعات يؤثر بصورة مختلفة على قياس الزاوية الأفقية

$$\cdot \hat{\beta}$$

نعطي النقطة A انقاًلا افتراضياً متناهياً في الصغر على محيط الدائرة قيمته $d\theta$ فيكون عدد التوضعات المحتملة للنقطة A على محيط الدائرة مساوياً:

$$n = \frac{2\pi}{d\theta} \quad (6-14)$$

كل توضع من هذه التوضعات يؤدي إلى خطأ تنزيل متناسب معه هو: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ وبالتالي فالخطأ المتوسط التربيعي في قياس الزاوية الأفقية $\hat{\beta}$ والناتج عن عدم مرکزة جهاز المركز بشكل كامل ودقيق فوق النقطة A يحسب بالعلاقة (6-15) التالية:

$$m_{PA}^2 = \frac{[\alpha^2]}{n} \quad (6-15)$$

- من المثلث CAA' الشكل (6-16) نحسب قيمة $\hat{\alpha}$ حسب علاقة الجيوب في المثلث:

$$\begin{aligned} CAA' &\Rightarrow \frac{e_1}{\sin \alpha} = \frac{S'_1}{\sin 0} \\ &\Rightarrow \sin \alpha = \frac{e_1}{S'_1} \sin 0 \end{aligned} \quad (6-16)$$

وعادة ما تكون الزاوية $\hat{\alpha}$ صغيرة جداً، ونتيجة لهذا فالساقان S_1, S'_1 يمكن اعتبارهما متساوين.

وبالتالي تصبح العلاقة (6-16) السابقة بالشكل التالي:

$$\alpha = \rho \frac{e_1}{S_1} \sin 0 \quad (6-17)$$

نعرض قيم α, n من العلاقات (6-14) ، (6-17) في علاقة الخطأ المتوسط التربيعي العلاقة (6-15) فنجد:

$$m_{PA}^2 = \frac{[\rho^2 \frac{e_1^2}{S_1^2} \sin^2 \theta] d\theta}{2\pi} = \rho^2 \frac{e_1^2}{2\pi S_1^2} \sum_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta = \rho^2 \frac{e_1^2}{2\pi S_1^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta$$

$$= \rho^2 \frac{e_1^2}{2\pi S_1^2} \cdot \pi \Rightarrow m_{PA}^2 = \rho^2 \frac{e_1^2}{2S_1^2} \quad (6-18)$$

وبشكل مشابه، نحسب الخطأ المتوسط التربيعي، في قياس الزاوية الأفقية β .
والناتج عن عدم مركزية جهاز المركزية بشكل كامل ودقيق فوق النقطة B الشكل 6-16 بالعلاقة :

$$m_{PA}^2 = \rho^2 \frac{e_1^2}{2S_2^2} \quad (6-19)$$

وبالتالي فتأثير خطأ التنزيل على قياس الزاوية الأفقية يعطى بالعلاقة (6-20):

$$m_p^2 = m_{PA}^2 + m_{PB}^2 \quad (6-20)$$

$$= \rho^2 \frac{e_1^2}{2} \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right) \quad (6-21)$$

وعندما تكون: $S_1 = S_2 = S$ تصبح العلاقة السابقة (6-21) بالشكل التالي:

$$m_p = \rho \frac{e_1}{S} \quad (6-22)$$

وبالتالي فتأثير خطأ التنزيل في اتجاه واحد على قياس الزاوية الأفقية يعطى بالعلاقة (6-23) التالية:

$$m_{PN} = \rho \frac{c_1}{S\sqrt{2}} \quad (6-23)$$

- من العلاقات السابقة لخطأ التنزيل نلاحظ:

- 1- تأثير خطأ التنزيل على قياس الزاوية الأفقية يتاسب عكسياً مع أطوال أضلاع الزاوية المقاسة، أي كلما ازدادت أطوال الأضلاع للزاوية المقاسة، كلما كان تأثير هذا الخطأ على قياس الزاوية أقل والعكس صحيح.

٢- تأثير خطأ الترزيلا على قياس الزاوية الأفقية يزداد بازدياد الفرق بين طولي ضلعي الزاوية المقاسة.

- خطأ المركززة:

وهو الخطأ الناتج عن عدم مركززة جهاز التيودوليت بشكل كامل ودقيق فوق النقطة أو العلام المراد قياس الزاوية الأفقية فيه أي فوق رأس الزاوية.

نفترض أنه عند قياس الزاوية الأفقية $\hat{C} = ACB$ المبينة بالشكل (6-17) تم مركززة جهازي المركززة في كل من النقطتين A,B بشكل كامل ودقيق، أي دون ارتكاب أي خطأ، بينما تمت مركززة جهاز التيودوليت في النقطة D بدلاً من النقطة C وذلك نتيجة لخطأ المركززة، من الشكل (6-17).

ـ المعامل الخطى لخطأ المركززة، والذي يشكل مع ضلع الزاوية CA زاوية θ .

ـ طول ضلع الزاوية الأفقية المقاسة: $S_A = \hat{ACB}$.

ـ طول ضلع الزاوية الأفقية المقاسة : $S_B = \hat{ACB}$.

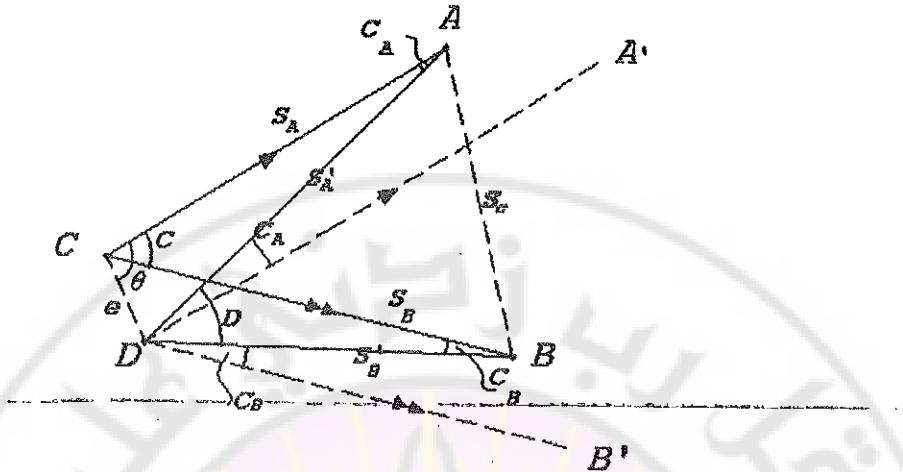
ـ طول ضلع الزاوية الأفقية $S_A = \hat{DA}$,

ـ طول ضلع الزاوية الأفقية $S_B = \hat{DB}$,

ونتيجة لهذا الخطأ فإننا بدلاً من أن نقيس الزاوية الأفقية \hat{C} سنقيس زاوية أخرى \hat{D} الشكل (6-17)

لهذا من النقطة D ننشئ المستقيمين: DA - DB بحيث يكون CA//DA و CB//DB وحسب الشكل (6-24) نكتب:

$$C + C_A = D + C_B \Rightarrow C - D = C_B - C_A = \Delta Z \quad (6-24)$$



الشكل (6-17)

حيث نسمى ΔZ بقيمة خطأ المركز، وبالتالي فهناك عدد غير نهائي من التوضيعات المحتملة للنقطة D حول النقطة C حول النقطة C هذه التوضيعات تشكل دائرة نصف قطرها e يحسب عدد تلك النقاط بالعلاقة (6-14) التالية:

$$n = \frac{2\pi}{d\theta}$$

إن كل توضع للنقطة D يقابلة قيمةً مختلفة لكل من: C_A ، C_B وبالتالي قيم لخطأ المركز ΔZ يحسب الخطأ المتوسط التربيع لتوضع النقطة D بالعلاقة التالية:

$$m_C^2 = \frac{[\Delta Z^2]}{n} = \frac{[(C_B - C_A)^2]}{n} \quad (6-25)$$

من المثلث ACD الشكل (6-17) نحسب قيمة الزاوية \hat{C}_A حسب علاقة الجيب في المثلث نكتب:

$$\frac{e}{\sin C_A} = \frac{S_A}{\sin \theta} \Rightarrow \sin C_A = \frac{e}{S_A} \sin \theta \quad (6-26)$$

وبما أن الزاوية \hat{C}_A صغيرة يمكننا أن نكتب العلاقة (6-26) السابقة بالشكل:

$$C_A = \rho \frac{e}{S_A} \sin \theta \quad (6-27)$$

وبشكل مشابه ومن علاقة الجيوب في المثلث: $\triangle CBD$ الشكل (6-17)

تحسب قيمة الزاوية C_B

$$\frac{e}{\sin C_B} = \frac{S_B}{\sin(\theta - C)} \Rightarrow \sin C_B = \frac{e}{S_B} \sin(\theta - C) \quad (6-28)$$

وبما أن الزاوية C_B زاوية صغيرة، نكتب العلاقة (6-28) السابقة بالشكل:

$$C_B = \rho \frac{e}{S_B} \sin(\theta - C) \quad (6-29)$$

وغالباً ما تكون قيمة المعامل الخطى لخطا المركز e صغيرة جداً، لهذا فإننا نستعيض عن الطولين S_A, S_B بالعلاقتين (6-28)، (6-29) السابقتين بالطولين S_A, S_B على الترتيب، وبالتالي تصبح علاقة خطأ المركز تحسب بالعلاقة التالية:

$$C_B - C_A = \rho \left(\frac{\sin(\theta - C)}{S_B} - \frac{\sin \theta}{S_A} \right) \quad (6-30)$$

: (6-31) الرابعة العلاقة فنحصل على

$$(C_B - C_A)^2 = e^2 \rho^2 \left(\frac{\sin^2(\theta - C)}{S_B^2} + \frac{\sin^2 \theta}{S_A^2} - \frac{2 \sin(\theta - C) \sin \theta}{S_A \cdot S_B} \right) \quad (6-31)$$

$$\Rightarrow m_c^2 = \frac{(C_B - C_A)^2}{n} d\theta = \frac{e^2 \rho^2}{n} \left\{ \frac{1}{S_B^2} \sin^2(\theta - C) + \frac{1}{S_A^2} \sin^2 \theta - \frac{2}{S_A \cdot S_B} \sin(\theta - C) \sin \theta \right\} \quad (6-32)$$

في العلاقة (6-32) السابقة نعرض n بقيمها من العلاقة (6-14)

فنجد:

$$m_c^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\sin^2(\theta - C)}{S_B^2} + \frac{\sin^2 \theta}{S_A^2} - \frac{2 \sin(\theta - C) \sin \theta}{S_A \cdot S_B} \right\} d\theta \quad (6-33)$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2(\theta - C) d\theta = \pi, \quad \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta = \pi$$

$$\int_0^{2\pi} \sin(\theta - C) d\theta = \pi \cos C$$

وبالتعويض بالعلاقة (6-33) الأساسية، نحصل على:

$$m_C^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{S_B^2} + \frac{\pi}{S_A^2} - 2 \frac{\pi}{S_B S_A} \cos C \right) \quad (6-34)$$

$$= \frac{e^2 \rho^2}{2} \left(\frac{1}{S_B^2} + \frac{1}{S_A^2} - \frac{2 \cos C}{S_B S_A} \right) \quad (6-35)$$

$$= \frac{e^2 \rho^2}{2 S_A^2 S_B^2} (S_B^2 + S_A^2 - 2 S_A S_B \cos C)$$

نصل النقطتين A,B كما في الشكل (6-17) السابق، ونسمى طول الضلع الحاصل AB بـ S_C . وحسب العلاقات في المثلث، فإن هذا الطول يحسب بالعلاقة:

$$S_C^2 = S_A^2 + S_B^2 - 2 S_A S_B \cos C \quad (6-36)$$

وبالتعويض هذه القيمة بالعلاقة (6-35) السابقة، لخطأ المركزية نحصل:

$$m_C^2 = \rho^2 \frac{e^2}{2 S_A^2 S_B^2} \cdot S_C^2 \quad (6-37)$$

فإذا كانت أطوال أضلاع الزاوية محققة للشروط التالية: $S_A = S_B = S$ ، $S_C = 2S$

تصبح العلاقة (6-36) التي تعطي خطأ المركزية بالشكل التالي :

$$m_C = \frac{\rho e}{S} \sqrt{2} \quad (6-38)$$

من العلاقة السابقة نستنتج:

- ١- تأثير خطأ المركزية على قياس الزاوية الأفقية، يتاسب طرداً مع قيمة المعامل الخطى لهذا الخطأ.

٢- خطأ المركزية يتناسب عكسياً مع أطوال أضلاع الزاوية المقاسة، أي أنه كلما ازدادت أطوال أضلاع الزاوية المقاسة، كلما كان تأثير هذا الخطأ على قياس الزاوية أقل والعكس صحيح.

٣- إن خطأ التنزيل أو التوفيق وخطأ المركزية يتتساوىان، أي يتتساوى تأثيرهما على قياس الزاوية الأفقية.

عندما تكون:

$$e = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \quad (6-39)$$

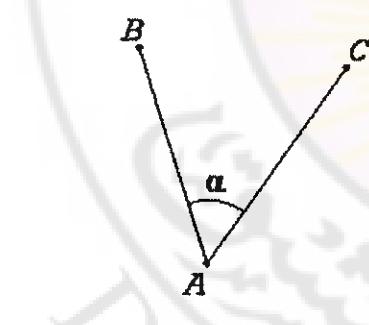
وبالتالي ومن أجل أن يكون تأثير خطأ المركزية m_C متساوياً لتأثير خطأ التوفيق m_p على قياس الزاوية الأفقية، يجب أن يكون المعامل الخطي لخطأ المركزية e أصغر أو أقل بـ $\sqrt{2}$ مرة، من المعامل الخطي لخطأ التنزيل e_1 وبالتالي فإن مركزية جهاز التيودوليت يجب أن تتم بدقة أكبر من مركزية جهازي المركزية.

٦-٦- قياس الزوايا الأفقية والشاقولية :

الزاوية الأفقية α بين اتجاهين: AC ,

الشكل (6-18) هي الزاوية بين مسقطي هذين الاتجاهين على مستوى أفقى، ولقياس هذه الزاوية نمركز جهاز التيودوليت على شاقول النقطة

رأس الزاوية المطلوب قياسها



الشكل (6-18)

الشكل (6-18) ثم نوجه شعاع الرؤية باتجاه الشاخصة المتوضعة على شاقول النقطة B ونأخذ القراءة على القرص الأفقي لجهاز التيودوليت، ثم نوجه المحور الضوئي باتجاه الشاخصة الموضوعة فوق شاقول النقطة C ثم نأخذ القراءة على

القرص الأفقي لجهاز التيودوليت، فإذا فرضنا أن القراءة على القرص الأفقي لجهاز التيودوليت عندما يكون شعاع الرؤية متوجهاً نحو B هو m_1 والقراءة على هذا القرص عندما يكون شعاع الرؤية متوجهاً نحو C هو: m_2 عندما تحسب الزاوية الأفقية بين الاتجاهين المقاسين بالعلاقة التالية:

$$\hat{\alpha} = m_2 - m_1 \quad (6-40)$$

وذلك على اعتبار أن القرص الأفقي للجهاز مدرج باتجاه دوران عقارب الساعة.

وبغية حذف عدد من الأخطاء النظامية في قياس الزوايا الأفقية، ولتخفيف تأثير الأخطاء العرضية لجري عملية الدوران المضاعف، عند قياس الاتجاهات الأفقية التي نضاعف بواسطتها عدد القياسات، وتتلخص هذه العملية كما يلي: بعد أن نجري القراءة على القرص الأفقي لجهاز التيودوليت والنظارة متوجة باتجاه ما AB ندور النظارة، نصف دورة حول المحور الثانوي للجهاز، وبحيث تصبح العدسة الجسمية من جهة الراصد، والعدسة العينية في الجهة الثانية، ثم ندور الجهاز حول المحور الرئيسي بمقدار نصف دورة، وذلك لإعادة التوجيه وفق الاتجاه المرصود AB ثم نأخذ القراءة على القرص الأفقي مرة ثانية.

نلاحظ بعد عملية الدوران هذه التي نسميها بالدوران المضاعف، أن أجزاء الجهاز - التيودوليت - الموجودة على اليمين (الوضع I للجهاز) في القراءة الأولى قبل عملية الدوران المضاعف قد أصبحت بعد الدوران المضاعف على اليسار (الوضع II للجهاز) فإذا فرضنا أن القراءة الأولى في الوضعية I للجهاز هي m_I والقراءة الثانية في الوضعية II هي m_{II} فنظرياً يجب أن تختلف هاتان القراءتان بمقدار gr 200 ولكن عملياً نجد أن $|m_I - m_{II}| = 200 \text{ gr} \pm e$.

إن الكمية m تمثل الأخطاء النظامية والعرضية على القياسين، ونعتبر بالنسبة للاتجاه AB القيمة الوسطية التي تحسب بالعلاقة :

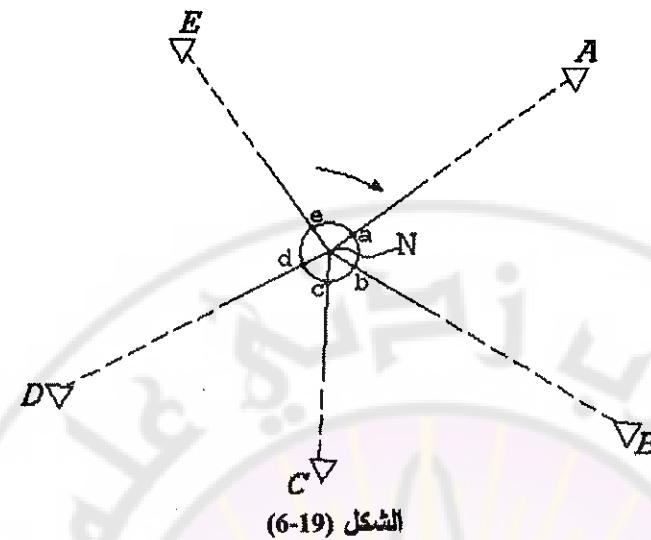
$$m = \frac{m_1 + (m_2 \mp 200 \text{ gr})}{2} \quad (6-41)$$

وبهذا نكون قد حذفنا تأثير عدد من الأخطاء النظامية الآلية، وخففنا من تأثير الأخطاء العرضية للقراءة والرصد والتوجيه.

- الطرق الرئيسية لقياس الزوايا الأفقية:

هناك عدة طرق لقياس الزوايا الأفقية منها:

١- قياس الزوايا الأفقية بطريقة الدوائر القياسية - طريقة السلسل أو التكرار.
ليكن المطلوب قياس الاتجاهات: ND , NC , NB , NA المبينة بالشكل (6-19)، لهذا ن مركز جهاز التيودوليت في النقطة N ثم نختار أحد الاتجاهات الواضحة الرؤية من النقطة N ونعتبره مبدأ لقياسات الاتجاهات الأفقية، ولتكن هنا الاتجاه NA وبالوضعية I للجهاز والمسمى أيضاً بالدائرة اليسارية للجهاز، نسدد على كل من النقاط A, B, C, D وذلك باتجاه دوران عقارب الساعة، حيث نأخذ القراءات على كل اتجاه من الاتجاهات المرصودة ونسجله في جدول خاص، ولتكن d, a, b, c, و من ثم نقلب الجهاز على الوضعية II والمسمى بالدائرة اليمينية للجهاز، ونبداً عملية التسديد والقراءة بدءاً من النقطة A حيث اعتبرنا الاتجاه NA مبدأ لقياس الاتجاهات ولكن باتجاه وترتيب معاكس للاتجاه والترتيب في الدائرة أو السلسلة الأولى، أي عكس دوران عقارب الساعة، أي نوجه الجهاز إلى النقطة D ثم C ونسجل النتائج في الجدول السابق، وذلك من الأسفل إلى الأعلى.



الشكل (6-19)

ولزيادة الدقة في قياس الزوايا الأفقية نكرر تلك العملية عدة مرات حيث نبدأ الدائرة أو السلسلة الأولى من القياس عادة بقراءة قريبة من 0gr والدائرة الثانية

$$\text{بقراءة مساوية } \sigma = \frac{200 \text{ gr}}{S} \text{ حيث } S \text{ عدد الدوائر أو السلسل.}$$

لنفترض أننا عيننا عدداً من الاتجاهات A, B, C, D بـ S سلسلة أو دائرة كما في الجدول (6-3) ولإيجاد القيم النهائية للاتجاهات علينا أن نتحقق المترابحة التالية:

$$(A_2 \mp 200 \text{ gr}) - A_1 < \epsilon$$

أي القراءة الثانية $\mp 200 \text{ gr}$ القراءة الأولى، يجب أن تكون أصغر من ϵ وهي قيمة صغيرة موجبة تمثل حد التساهل في فرق القراءتين لاتجاه واحد قبل عملية الدوران وبعدها.

ثم نحسب المتوسطات لكل سطر على حدة ونسجلها في العمود رقم 4 من الجدول (6-3) ثم نحسب المتوسطات المختزلة ونسجلها في العمود رقم 5 من

نفس الجدول، وذلك بطرح القيمة الأولى من العمود 4 في كل سلسلة من كل القيم في كل القيم من السلسلة.

إذا كانت نتيجة الطرح قيمة سالبة، نضيف للنتيجة gr 400 لتحويلها إلى قيمة موجبة، ثم نحسب المتوسطة الحسابية لكل اتجاه وذلك للمتوسطات المختلفة للاتجاه ثم نسجل هذه المتوسطات في العمود 6 من نفس الجدول ونسميها المتوسطات العامة، أو القيم المعدلة للاتجاهات، ولحساب الخطأ المتوسط التربيع لاتجاه مقاس ولاتجاه معدل نطبق ما يلي:

١- نحسب الفروق بين المتوسطات العامة والمتوسطات المختزلة: v'

٢- نحسب الفروقات التالية:

$$v_{ij} = v'_{ij} - \frac{\sum v'_{ij}}{n} \quad (6-42)$$

٣- فإذا رمزا بـ m الخطأ المتوسط التربيع لاتجاه مقاس وبـ m' للخطأ المتوسط التربيع لاتجاه معدل فعلينا:

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_{ij}^2}{(n-1)(S-1)}} \quad (6-43)$$

$$m' = \frac{m}{\sqrt{S}} \quad (6-44)$$

حيث:

n - عدد الاتجاهات المطلوب رصدها .

S - عدد السلسل .

(6-3) الجدول

رقم البلورة (السلسلة) المرصودة	النقطة الحرارة التي تذوب في الوضعيتين ال الأولى والثانية	النحوين						المتوسط						المتوسطة المثلثة						المتوسطة المترفة						V _v					
		النحوين						المتوسط						المتوسطة المثلثة						المتوسطة المترفة						V _v					
		I			II			I + II			III + IV			V + VI			VII + VIII			XI + XII			XIII + XIV			XV + XVI					
1	A	0	0	27	200	0	3	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8		
	B	36	33	65	236	33	42	36	33	54	36	33	39	39	36	33	38.3	-	0.7	-1.6	2.6										
	C	65	09	10	265	09	22	65	09	16	65	0.9	0.1	65	9	4.3	3.3	2.7	5.8												
2	A	50	0.0	80	250	0	38	50	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1		
	B	86	33	85	286	33	72	86	33	78	36	33	34	34	33	33	4.3	4.1	16.8												
	C	115	09	63	315	9	41	115	9	52	65	9	8	8	8	8	-3.7	-3.9	15.2												

تابع الجدول (6-3)

رقم النقطة الدقورة (السلسلة)	المترصد القراة بعد الدوران القراة في الوصيغة الوضعية												المترصد المترافق الدورة المائية												
	I + (II ± 200) 2						III - II						V V _v						V V _v						
	Gr	C	CC	gr	C	CC	Gr	C	CC	gr	C	CC	Gr	C	CC	gr	C	CC	Gr	C	CC	gr	C	CC	
3	A	100	0	4	300	0	2	100	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5	56.3	
	B	136	33	60	336	33	49	136	33	55	36	35	52										-13.7	-6.2	38.4
	C	165	09	14	365	9	18	165	9	16	65	9	13										-8.7	-1.2	1.4
4	A	149	99	40	349	99	33	149	99	36	0	0	0										-2.4	0.1	
	B	186	32	64	386	32	64	186	32	64	36	33	28										0	26.8	718.2
	C	215	8	30	15	8	31	215	8	31	65	8	95										10.3	37.1	1376.4
																							-80.4	0	

والخطأ المتوسط التربيع على اتجاه مقاس حسب العلاقة (6-43):

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{(n-1)(S-1)}} = \sqrt{\frac{6315.1}{(3-1)(4-1)}} = 32.4 \text{ cc}$$

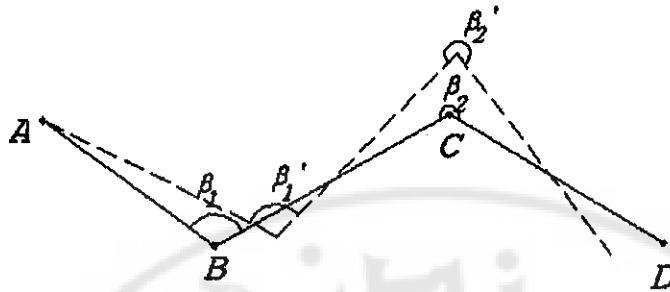
والخطأ المتوسط التربيع على اتجاه معدل حسب العلاقة (6-44):

$$m' = \frac{m}{\sqrt{S}} = \frac{32.4}{\sqrt{4}} = 16.2 \text{ cc}$$

٢- قياس الزوايا الأفقية بطريقة الركائز الثلاث :

الهدف من هذه الطريقة في قياس الزوايا الأفقية هو حذف تأثير خطى المركزة والتنزيل من نتائج القياس.

ليكن المطلوب قياس الزوايا الأفقية للمسار التيوودوليتي المبين في الشكل (6-20) وذلك بطريقة الركائز الثلاث، لهذا في كل من النقاط الثلاث المتحاورة والتي تشكل رؤوس المسار التيوودوليتي C, A, B نثبت ونمركز ثلات ركائز -قواعد - مجهزة أو مزودة بأجهزة مركزية، وبحيث نثبت على كل من الركيزة الخلفية في A والركيزة الأمامية في النقطة C علامات أو ماركات تسديد، بينما على الركيزة الوسطية المتوضعه فوق النقطة B نمركز جهاز التيوودوليت، ونقيس الزاوية الأفقية β_1 \hat{ABC} بعد ذلك ننقل الركيزة من النقطة إلى النقطة D أما الركيزان المتوضعتان فوق النقطتين C, B فتبقيان مكانهما، لكن ننقل عالم التسديد من النقطة A ونثبته على الركيزة فوق النقطة B وعلام التسديد من النقطة C إلى النقطة D وجهاز التيوودوليت من الركيزة المتوضعة فوق النقطة B إلى الركيزة المتوضعة فوق النقطة C ثم نقيس الزاوية: $\hat{ABC} = \beta_1$.

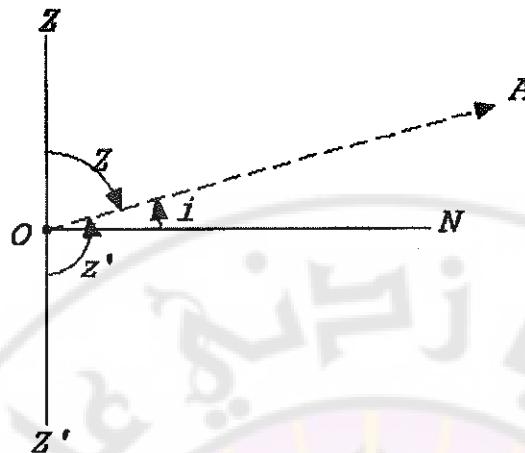


الشكل (6-20)

وبنفس الترتيب والتسلسل السابق نتابع قياس بقية الزوايا الأفقية للمسار التيوودوليتي المدروس، ونتيجة لتأثير خطاء المركزه والتزيل على قياس الزوايا الأفقية، فإننا بدلاً من أن نقيس الزوايا β_1, β_2, \dots سوف نقيس الزوايا $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots$ وبالتالي وحسب الشكل (6-20) إذا كانت الزاوية الأفقية المقاسة $\hat{\beta}$ ونتيجة لتأثير خطأ المركزه والتزيل أصغر من الزاوية β فإن الزاوية المقاسة $\hat{\beta}_2$ ستكون أكبر من الزاوية β_2 بنفس المقدار، وبالتالي فعند نقل الزوايا السمنتية لهذا المسار فإن خطأ المركزه وخطأ التزيل يكونا معدومين، وبالتالي نستنتج أن خطأ المركزه والتزيل لا يؤثران على خطأ الإغلاق الزاوي للمسار التيوودوليتي عند اتباع طريقة الركائز الثلاث في قياس الزوايا الأفقية للمسارات التيوودوليتية، ولتسريع أو زيادة سرعة العمل في هذه الطريقة من القياس يمكننا أن نزيد من عدد الركائز المستخدمة في عملية القياس من ثلاثة ركائز إلى أربع أو خمس ركائز.

- قياس الزاوية الشاقولية :

حسب الشكل (6-21) OA محور شعاع الرؤية - المحور الضوئي - للجهاز وهما متوجهان باتجاه النقطة المرصودة A.



الشكل (6-21)

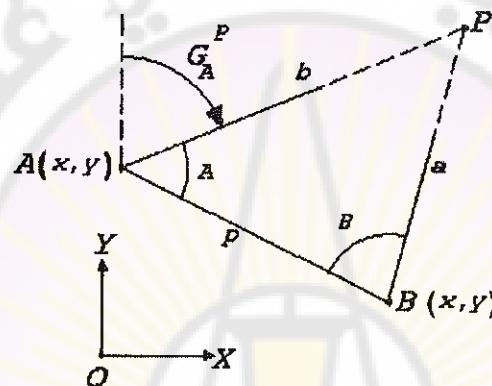
ON المستوي أو أثر أو مرسم المستوى الأفقي المار من النقطة O وهو مرسم المستوى الأفقي للجهاز OZ الشاقولي المار من O نسمى النقطة Z نقطة السمت Z' نقطة النظير، ونسمى الزاوية $\hat{\alpha} = \angle ZOA$ بزاوية الارتفاع أو زاوية ميل المحور الضوئي وهي تقاس اعتباراً من خط الأفق ON وباتجاه شعاع الرؤية حسب الشكل (6-21) وتتراوح قيمتها بين gr 0-100 باتجاه نقطة السمت ومن: gr (-100) باتجاه نقطة النظير، ونسمى الزاوية $\hat{z} = \angle ZOA$ بالمسافة الزاوية السمتية، لشعاع الرؤية أو للمحور الضوئي، وتقاس اعتباراً من نقطة السمت Z وباتجاه شعاع الرؤية، وفق الشكل (6-21) وتتراوح قيمتها من: gr 0-200. ونسمى الزاوية $\hat{\alpha} = \angle ZOA$ بالمسافة النظرية، لشعاع الرؤية أو للمحور الضوئي. وتقاس اعتباراً من نقطة النظير Z' وباتجاه شعاع الرؤية، وتتراوح قيمتها من gr 0-200. نطق على الزوايا الثلاث i , \hat{z} , $\hat{\alpha}$ الزوايا الشاقولية، ونلاحظ أنه بقياس إحدى هذه الزوايا نتمكن بسهولة من استنتاج قيمة كل من الزاويتين المتبقيتين، وهناك أجهزة تيودوليت تسمح بقياس إما الزاوية \hat{i} أو \hat{z} أو $\hat{\alpha}$. وذلك على القرض الشاقولي للجهاز.

٦-٦ - التعيين المستوي للنقطة :

هناك عدة طرق للتعيين المستوي للنقطة، يعود استخدام كل واحدة منها إلى المعلومات والمعطيات المتوفرة لدينا من أجل إنجاز العمل المطلوب منها.

١- حساب إحداثيات نقطة ما بطريقة التقاطع البسيط أو التقاطع الأمامي :

حسب الشكل (6-21): نقطتان جيوبوليتان معلومتا الإحداثيات ويمكن الوقوف أو التمرکز عليهما.



الشكل (6-21)

P نقطة مجهولة الإحداثيات، المطلوب حساب إحداثياتها.

\hat{A}, \hat{B} زاويتان مقاستان على الطبيعة.

المطلوب:

حساب أو تعيين إحداثيات النقطة P وذلك استناداً إلى إحداثيات النقطتين A,B .

هناك عدة طرق لحساب إحداثيات النقطة P منها:

- الطريقة الأولى: من الشكل (6-21)

$$\Delta x_{AP} = \beta \sin G_A^P = x_P - x_A \quad (6-45)$$

$$\Delta y_{AP} = \beta \cos G_A^P = y_P - y_A$$

حيث إن سمت الاتجاه G_A^P يحسب بالعلاقة (6-46) التالية:

$$G_A^P = G_A^B - \hat{A} \quad (6-46)$$

وسمت الاتجاه G_A^B AB يحسب بالعلاقة (6-47) التالية :

$$G_A^B = \arctg \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}} \quad (6-47)$$

نعرض العلاقة (6-46) في العلاقة (6-45) فنجد: (6-48)

$$\begin{aligned} x_P - x_A &= b \sin(G_A^B - \hat{A}) \\ y_P - y_A &= b \cos(G_A^B - \hat{A}) \end{aligned} \quad (6-48)$$

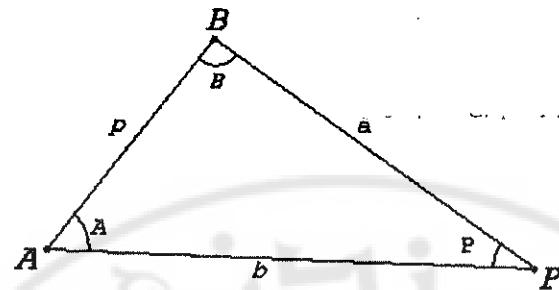
$$\begin{aligned} \Rightarrow x_P - x_A &= b(\sin G_A^B \cos A - \cos G_A^B \sin A) \\ y_P - y_A &= b(\cos G_A^B \cos A - \sin G_A^B \sin A) \end{aligned} \quad (6-49)$$

وبحسب الشكل (6-22) نكتب (6-50)

$$\sin G_A^B = \frac{x_B - x_A}{P}, \quad \cos G_A^B = \frac{y_B - y_A}{P} \quad (6-50)$$

نعرض (6-50) في العلاقة (6-49) السابقة فنجد:

$$\begin{aligned} x_P - x_A &= b\left(\frac{x_B - x_A}{P} \cos A - \frac{y_B - y_A}{P} \sin A\right) \\ &= \frac{b}{P} \sin A \left(\frac{x_B - x_A}{\sin A} \cos A - y_B + y_A\right) \\ y_P - y_A &= b\left(\frac{y_B - y_A}{P} \cos A - \frac{x_B - x_A}{P} \sin A\right) \\ &= \frac{b}{P} \sin A \left(\frac{y_B - y_A}{\sin A} \cos A + x_B - x_A\right) \end{aligned} \quad (6-51)$$



الشكل (6-22)

وبحسب علاقة الجيوب في المثلث $\triangle APR$ الشكل (6-21) نكتب:

$$\begin{aligned} \triangle APB &\Rightarrow \frac{b}{\sin B} = \frac{P}{\sin(A+B)} \\ &\Rightarrow \frac{b}{P} = \frac{\sin B}{\sin(A+B)} = \frac{\sin B}{\sin A \cos B + \cos A \sin B} \end{aligned} \quad (6-52)$$

نضرب طرفي العلاقة (6-52) السابقة بـ $\sin A$ فنجد:

$$\frac{b}{P} \sin A = \frac{\sin B \sin A}{\sin A \cos B + \cos A \sin B} = \frac{1}{\cot B + \cot g A} \quad (6-53)$$

نعرض القيمة السابقة من العلاقة (6-53) بالعلاقة (6-51) فنجد:

$$\begin{aligned} x_P - x_A &= \frac{1}{\cot g B + \cot g A} \left(\frac{x_B - x_A}{\sin A} \cos A - y_B + y_A \right) \\ y_P - y_A &= \frac{1}{\cot g B + \cot g A} \left(\frac{y_B - y_A}{\sin A} \cos A + x_B - x_A \right) \end{aligned} \quad (6-54)$$

وبعد الإصلاح في العلاقة (6-54) تصبح العلاقات السابقتان بالشكل التالي:

$$x_p = x_A + \frac{(x_B - y_A) \cot gA + (y_A - y_B)}{\cot gB + \cot gA} \quad (6-55)$$

$$y_p = y_A + \frac{(y_B - y_A) \cot gA + (x_B - x_A)}{\cot gB + \cot gA}$$

- عند استعمالنا للعلاقات السابقة، يجب أن نراعي ما يلي:
- ١- النقطة P هي النقطة المطلوب حساب إحداثياتها.
- ٢- النقطة A هي النقطة المعروفة الإحداثيات: (x_A, y_A) A اليسارية كما في الشكل.
- ٣- النقطة B هي النقطة المعروفة الإحداثيات: B(x_B, y_B) بيسارية حسب الشكل السابق.
- الطريقة الثانية: من الشكل (6-22) يمكننا أن نكتب العلاقاتين التاليتين:

$$x_{pi} = x_A + d_A^P \sin G_A^P \quad (6-56)$$

$$y_{pi} = y_A + d_A^P \cos G_A^P \quad (6-57)$$

نلاحظ أنه في العلاقاتين (6-56)، (6-57) السابقتين، لدينا مجهولان هما: d_A^P المسافة الأفقيّة بين النقطتين A, P و G_A^P سمت الاتجاه A, P وبما أن النقطتين: A, B معلومتا الإحداثيات، يمكننا أن نحسب المسافة: $d_A^P = p$ بينهما بالعلاقة:

$$p = d_A^B = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

وبالتالي نستطيع أن نحل المثلث: $\triangle ABP$ الشكل (6-22) وحسب علاقه الجيب: يمكننا أن نكتب:

$$\frac{p}{\sin P} = \frac{B}{\sin B} \Rightarrow B = d_A^P = p = \frac{\sin B}{\sin P}$$

$$G_A^P = G_A^B + \hat{A} \quad \text{وبحسب سمت الاتجاه } P \text{ ، } A \text{ بالعلاقة: } G_A^P$$

نكرر نفس الخطوات السابقة من النقطة B :

$$d_B^P = a = \frac{\sin A}{\sin P} p , \quad G_B^P = G_A^B + 200 - \hat{B}$$

$$x_{P2} = x_B + d_B^P \sin G_B^P , \quad y_{P2} = y_B + d_B^P \cos G_B^P$$

أي إننا حصلنا على قيمتين لـ x_P وقيمتين لـ y_P نأخذ الوسطي لهما، وذلك للحصول على إحداثيات النقطة المجهولة P بالعلاقتين:

$$x_P = \frac{x_{P1} + x_{P2}}{2} , \quad y_P = \frac{y_{P1} + y_{P2}}{2}$$

- الطريقة الثالثة: من الشكل (6-22) يمكننا أن نكتب ما يلي:

$$\tan G_A^P = \frac{x_P - x_A}{y_P - y_A} \Rightarrow x_{P1} = x_A + \tan G_A^P (y_P - y_A) \quad (6-58)$$

$$\tan G_B^P = \frac{x_P - x_B}{y_P - y_B} \Rightarrow x_{P2} = x_B + \tan G_B^P (y_P - y_B) \quad (6-59)$$

$$\Rightarrow x_A + \tan G_A^P (y_P - y_A) = x_B + \tan G_B^P (y_P - y_B)$$

$$x_A + y_P \tan G_A^P - y_A \tan G_A^P = x_B + y_P \tan G_B^P - y_B \tan G_B^P$$

$$y_B (\tan G_A^P - \tan G_B^P) = x_B - x_A + y_A \tan G_A^P - y_B \tan G_B^P$$

$$\Rightarrow y_P = \frac{x_B - x_A + y_A \tan G_A^P - y_B \tan G_B^P}{\tan G_A^P - \tan G_B^P} \quad (6-60)$$

نعرض قيمة y_P المحسوبة من العلاقة (6-60) السابقة بإحدى العلاقتين (6-58)،

(6-59) فنحصل على: x_P المطلوبة.

أما حساب السموت: G_A^P , G_B^P فنتم عن طريق حل المثلث: $\triangle ABP$ الشكل

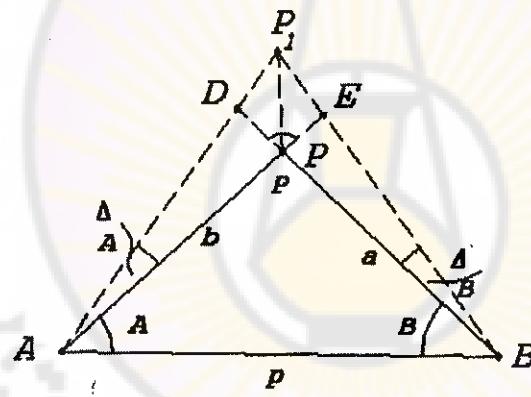
.(6-22)

- نلاحظ أنه في طريقة التقاطع ن مركز جهاز التبودوليت في النقاط المعلومة فقط، ونقيس زوايا أفقية، لذلك فإن هذه الطريقة تصلح لتعيين النقاط التي لا يمكن تركيز أجهزة المساحة عليها، أي النقاط التي لا يمكن الوصول إليها كرؤوس المآذن أو الكنائس أو الأبراج الخ.

- تقدير دقة توضع النقطة المرصودة بطريقة التقاطع:

حسب الشكل (6-23) P الموضع أو المكان الحقيقي للنقطة المرصودة بالتقاطع، P_1 المكان أو التوضع للنقطة P نتيجة للرصد بطريقة التقاطع.

نقاط التقاطع بين الاتجاهات المرصودة BP_1 , AP_1 والاتجاهات الحقيقية BP , AP



(الشكل (6-23)

ولتقدير دقة توضع النقطة المرصودة بطريقة التقاطع، نعتبر الخطأ المتوسط التربيعي للانزياح الخطى PP_1 معياراً لتقدير تلك الدقة، وبما أن القيمة الخطية للانزياح النقطة P , PP_1 هي كمية صغيرة مقارنة بالأطوال: BP , AP لهذا نعتبر الشكل الرباعي PEP_1D متوازي أضلاع الشكل (6-23)، عندها يمكننا أن نكتب (6-61) :

$$(PP_1)^2 = (PD)^2 + (PE)^2 \mp 2(PD)(PE)\cos\hat{P} \quad (6-61)$$

إن الإشارة (\mp) هي بسبب أن الاتجاهات المقاسة BP_1, AP_1 يمكن أن تقع باتجاهات مختلفة عن الاتجاهات الحقيقة BP, AP الشكل (6-23). نرمز للأخطاء الحقيقة للزوايا المقاسة: \hat{A}, \hat{B} بالرموز على الترتيب ونعتبر

$$\sin D\hat{A}P = \frac{\Delta A}{\rho''}, \quad \sin E\hat{B}P = \frac{\Delta B}{\rho''}$$

وبحسب علاقة الجيوب في المثلثين $B\hat{P}E, A\hat{P}D$ الشكل (6-23) نكتب:

$$\frac{PD}{\sin D\hat{A}P} = \frac{b}{\sin P} \Rightarrow PD = b \frac{\Delta A}{\rho''} \frac{1}{\sin P}$$

$$\frac{PE}{\sin E\hat{B}P} = \frac{a}{\sin P} \Rightarrow PE = a \frac{\Delta B}{\rho''} \frac{1}{\sin P}$$

نعرض في العلاقة (6-61) الأساسية فنجد:

$$(PP_1)^2 = b^2 \frac{(\Delta A)^2}{\rho'^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 P} + a^2 \frac{(\Delta B)^2}{\rho'^2} \mp 2 \frac{\Delta A \Delta B}{\rho^2 \sin^2 P} \cdot a \cdot b \cos P \quad (6-62)$$

ولحساب الخطأ المتوسط التربيع للانزياح الخطى (PP_1) نقوم بتحديد النقطة P أي نكرر عملية لقياس n مرة فيكون:

$$M_p^2 = \frac{m_A^2 b^2}{\rho^2 \sin^2 P} + \frac{m_B^2 a^2}{\rho^2 \sin^2 P} \mp \frac{2 [\Delta A \Delta B]}{n} \frac{\cos P}{\sin^2 P} a \cdot b \quad (6-63)$$

حيث m_A, m_B الخطأ المتوسط التربيع في قياس الزوايا \hat{A}, \hat{B} . واستناداً على خصائص الأخطاء العرضية يمكننا أن نكتب:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta A \Delta B]}{n} = 0 \quad (6-64)$$

وبالتالي تصبح العلاقة (6-63) السابقة وبعد التعويض بالعلاقة (6-64) بالشكل:

$$M_p^2 = \frac{m_A^2 b^2}{\rho^2 \sin^2 P} + \frac{m_B^2 a^2}{\rho^2 \sin^2 P} \quad (6-65)$$

وعادة ما نتاجز الزوايا \hat{A}, \hat{B} بدقة واحدة، أي: $m_A = m_B = m_p$ لذا فالعلاقة (6-65) السابقة تكتب بالشكل التالي:

$$M_p = \frac{m_p}{\rho \sin P} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6-66)$$

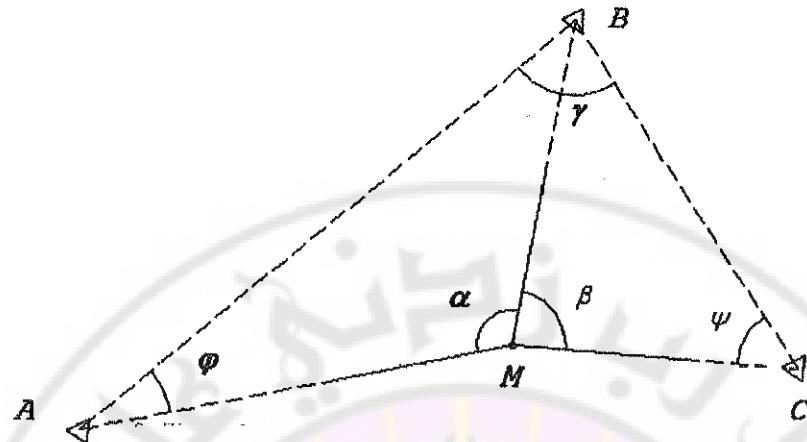
ومن تحليل ومناقشة العلاقة السابقة نلاحظ أن الخطأ المتوسط التربيع للنقطة المرصودة أو المعينة بطريقة التقاطع يزداد بازدياد بعدها عن النقاط الجيوديسية المعلومة الإحداثيات (المعطاة)، وكذلك يزداد هذا الخطأ بازدياد طول قاعدة التقاطع أي المسافة بين النقطتين الجيوديسيتين، وتكون القيمة الصغرى أو الأصغرية لهذا الخطأ أي الدقة جيدة عندما تكون زاوية التقاطع P مساوية 90° أو 100 gr .

- التقاطع العكسي، أو طريقة التقويم - طريقة غاووص -

- ثلاثة نقاط معلومة الإحداثيات الشكل (6-24) A,B,C

- نقطة مجهولة أو غير معلومة الإحداثيات.

المطلوب: حساب إحداثيات النقطة M



الشكل (6-24)

تتلخص هذه الطريقة بحساب الزاويتين $\hat{\psi}$, $\hat{\tau}$ والتي من خللهما نحسب السمات الاعتبارية للاتجاهين AM , CM وبالتالي تتحول المسألة إلى مسألة تقاطع بسيط للاتجاهين: CM , AM .

أولاً- نحسب السمت الاعتباري G_A^B للضلع AB وكذلك السمت الاعتباري G_C^B للاتجاه CB وذلك استناداً إلى إحداثيات النقاط A,B,C المعطاة، وبالتالي نحصل على الزاوية: $\hat{\gamma}$ والتي هي فرق السمتين الاعتباريين حسب العلاقة:

$$\hat{\gamma} = G_A^B - G_C^B$$

وبالتالي أصبح لدينا ثلاثة زوايا معلومة هي: $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$

وبحسب الشكل (6-24) شكل رباعي مغلق يعطى مجموع زواياه الداخلية بالعلاقة (6-11) التالية:

$$\sum \alpha_i = 200(n - 2)$$

وبعد التعويض بالعلاقة (6-11) السابقة نجد: $\sum \alpha_i = 400$ gr وبالتالي وبحسب الشكل (6-24) يمكننا أن نكتب:

$$\begin{aligned}\alpha + \beta + \gamma + \varphi + \psi &= 400 \text{ gr} \\ \Rightarrow \varphi + \psi &= 400 - (\alpha + \beta + \gamma)\end{aligned}\quad (6-67)$$

إن المعادلة (6-67) السابقة، معادلة بمحولين لحلها يلزمها معادلة أخرى بنفس المجاهيل: φ, ψ

لهذا من المثلثين $\triangle MBC$, $\triangle ABM$ الشكل (6-24) وحسب علاقة الجيوب في المثلث:

$$\triangle ABM \Rightarrow \frac{BM}{\sin \varphi} = \frac{AB}{\sin \alpha} \Rightarrow BM = AB \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} \quad (6-68)$$

$$\triangle BCM \Rightarrow \frac{BM}{\sin \varphi} = \frac{BC}{\sin \beta} \Rightarrow BM = BC \frac{\sin \psi}{\sin \beta} \quad (6-69)$$

وبالتالي من العلاقاتين (6-68), (6-69) السابقتين نكتب:

$$AB \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} = BC \frac{\sin \psi}{\sin \beta} \quad (6-70)$$

وبما أن إحداثيات النقاط A, B, C معلومة يمكننا أن نحسب الطولين: AB, BC :

وبالتالي تصبح العلاقة (6-70) بالشكل التالي:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} = \frac{BC \sin \alpha}{AB \sin \beta} \quad (6-71)$$

نلاحظ أن الطرف الثاني من العلاقة (6-71) السابقة معلوم، لهذا نرمز له بالرمز أي $K = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}$ ولكن هذه المعادلة معادلة غير خطية، لذا يجب تحويلها إلى معادلة خطية، وفق ما يلي:

- ١- نطرح من طرفي المعادلة السابقة (واحد)، ثم نضيف للطرفين العدد (واحد) وفق ما يلي:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\sin \phi}{\sin \psi} - 1 = K - 1 \Rightarrow \frac{\sin \phi - \sin \psi}{\sin \psi} = K - 1 \\ \frac{\sin \phi}{\sin \psi} + 1 = K + 1 \Rightarrow \frac{\sin \phi + \sin \psi}{\sin \psi} = K + 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sin \phi - \sin \psi}{\sin \phi + \sin \psi} = \frac{K - 1}{K + 1}$$

وبحسب قوانين المثلثات تصبح العلاقة السابقة بالشكل:

$$\begin{aligned} \frac{2 \sin \frac{\phi - \psi}{2} \cdot \cos \frac{\phi + \psi}{2}}{2 \sin \frac{\phi + \psi}{2} \cdot \cos \frac{\phi - \psi}{2}} &= \frac{K - 1}{K + 1} \\ \Rightarrow \operatorname{tg} \frac{\phi - \psi}{2} \cdot \operatorname{cotg} \frac{\phi + \psi}{2} &= \frac{K - 1}{K + 1} \\ \Rightarrow \operatorname{tg} \frac{\phi - \psi}{2} &= \frac{K - 1}{K + 1} \operatorname{tg} \frac{\phi + \psi}{2} \end{aligned} \quad (6-72)$$

نرمز للقيمة: $\phi + \psi = \delta$ ونعرضها في العلاقة (6-72) السابقة فنجد:

$$\operatorname{tg} \frac{\phi - \psi}{2} = \frac{K - 1}{K + 1} \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \Rightarrow \phi - \psi = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{K - 1}{K + 1} \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \right) \quad (6-73)$$

ويحل المعادلين (6-67)، (6-73) بحسب قيم الزاويتين $\hat{\phi}$ ، $\hat{\psi}$ وبالتالي أصبحت جميع الزوايا معلومة، فنحسب السمتين الاعتباريين G_A^M ، G_C^M حسب العلاقات التاليتين:

$$G_A^M = G_A^B + \hat{\phi}, \quad G_C^M = G_C^B - \hat{\psi}$$

- ولحساب إحداثيات النقطة M نستخدم طريقة التقاطع البسيطة، لهذا نكتب معادلة المستقيم المار من النقطة المعلومة A ذو الميل المعلوم $\operatorname{tg} G_A^M$ ، ومعادلة

المستقيم المار من النقطة C ذو الميل المعلوم $\operatorname{tg} G_C^M$ الشكل (6-24) حسب العالقتين التاليتين:

$$x_M - x_A = \operatorname{tg} G_A^M (y_M - y_A) , \quad x_M - x_C = \operatorname{tg} G_C^M (y_M - y_C)$$

إن تقاطع المستقيمين السابعين يعطينا إحداثيات النقطة M لهذا نطرح المعادلتين السابعتين من بعضهما بعض فنجد:

$$\begin{aligned} x_C - x_A &= y_M \operatorname{tg} G_A^M - y_A \operatorname{tg} G_A^M - y_M \operatorname{tg} G_C^M + y_C \operatorname{tg} G_C^M \\ x_C - x_A &= y_M (\operatorname{tg} G_A^M - \operatorname{tg} G_C^M) + y_C \operatorname{tg} G_C^M - y_A \operatorname{tg} G_A^M \\ \Rightarrow y_M &= \frac{x_C - x_A - y_C \operatorname{tg} G_C^M + y_A \operatorname{tg} G_A^M}{\operatorname{tg} G_A^M - \operatorname{tg} G_C^M} \end{aligned}$$

أو يتم الحساب كما يلي : نحسب إحداثيات النقطة - M - بالعلاقة :

$$x_M = x_A + d_A^M \sin G_A^M , \quad y_M = y_A + d_A^M \cos G_A^M$$

حيث يتم حساب المسافة : d_A^M المجهولة من حل المثلث : $\triangle ABM$ الشكل (6-24) المعلوم فيه ضلع هو AB وزاويتين هما γ_1 , ϕ حيث نحسب بالعلاقة:

$$\gamma_1 = 200 - (\phi + \alpha)$$

وبحسب علاقة الجيوب في المثلث ABM الشكل (6-24) نكتب :

$$\triangle ABM \Rightarrow \frac{AM}{\sin \gamma_1} = \frac{AB}{\sin \alpha} \Rightarrow AM = d_A^M = AB \frac{\sin \gamma_1}{\sin \alpha}$$

ولدينا :

$$x_M = x_C + d_C^M \sin G_C^M , \quad y_M = y_C + d_C^M \cos G_C^M$$

وبنفس الطريقة نحسب قيمة d_C^M بالعلاقة :

$$d_c^M = BC \cdot \frac{\sin \gamma_2}{\sin \beta}$$

* إرجاع المسافات المائلة إلى سطح الإهليج الأرضي الدوراني:

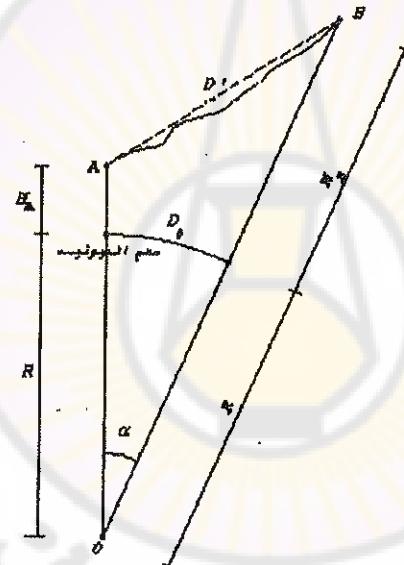
نقطتان من سطح الأرض قيست المسافة المائلة بينهما: D كما في الشكل (6-25) والمطلوب إرجاع المسافة المائلة: D' إلى D_0 على سطح الجيبونيد، علماً بأن ارتفاع النقطتين: A, B معلومان وهما H_A, H_B . من الشكل (6-25) نكتب :

$$D_0 = \alpha \cdot R \quad (6-74)$$

$$O \overset{\triangle}{AB} \Rightarrow$$

$$(6-75)$$

$$D'^2 = (R + H_A)^2 + (R + H_B)^2 - 2(R + H_A)(R + H_B)\cos\alpha$$



الشكل (6-25)

ولكن لدينا $\cos\alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ نعرض في العلاقة (6-75) السابقة فنجد:

$$D'^2 = (R + H_A)^2 + (R + H_B)^2 - 2(R + H_A)(R + H_B) + 4(R + H_A)(R + H_B)\sin^2 \alpha$$

$$= [(R + H_A) - (R + H_B)]^2 + 4(R + H_A)(R + H_B)\sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$D'^2 = h_A^2 B + 4(R + H_A)(R + H_B)\sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$\Rightarrow \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{D'^2 - h^2}{4(R + H_A)(R + H_B)}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D'^2 - h^2}{4(R + H_A)(R + H_B)}}$$

$$\Rightarrow \alpha = 2\arcsin \left[\frac{1}{2} \sqrt{\frac{D'^2 - h^2}{(R + H_A)(R + H_B)}} \right] \quad (6-76)$$

تطبيق :

1- لتكن لدينا المعطيات التالية: المسافة المائلة: D' بين النقطتين: A , B الشكل

$$D' = 1000 \text{ M} \quad (5-25)$$

$$R = 6400 \text{ KM} , \quad H_B = 1000 \text{ M} , \quad H_A = 900 \text{ M}$$

الحل :

بالتطبيق المباشر للعلاقة (6-76) نكتب:

$$\alpha = 2\arcsin \left[\frac{1}{2} \sqrt{\frac{(1)^2 - (0.1)^2}{(6400 + 0.9)(6400 + 1)}} \right] = 1.55 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$D' - D_o = D' - R \cdot \alpha = 1000 - (64 \times 10^5 \times 1.55 \times 10^{-4}) = 8 \text{ M}$$

-٢

$$H_2 = 1200 \text{ m} , \quad H_1 = 1000 \text{ m} , \quad R = 6400 \text{ KM} , \quad D' = 1000 \text{ m}$$

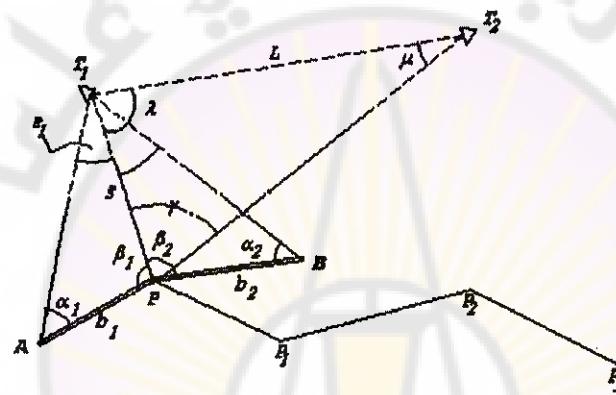
$$\alpha = 2\arcsin \left[\frac{1}{2} \sqrt{\frac{(1)^2 - (0.2)^2}{(6400 + 1)(6400 + 1.2)}} \right] = 1.531 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$D' - D_o = 1000 - (64 \times 10^5 \times 1.531 \times 10^{-4}) = 20.3 \text{ m}$$

٦-٨- إسناد شبكات المضلعات :

T_1, T_2 نقطتان جيوديزيتان معلومتا الإحداثيات الشكل (6-26) مسار P_1, P_2, P_3 مسار تيودولي في شبكة مضلعات.

والمطلوب: إسناد هذا المضلع إلى النقاط T_1, T_2 فبناء على أماكن توضع النقاط الجيوديزية وإمكانية رؤيتها والوصول إليها نميز ما يلي :



الشكل (6-26)

أ- عدم إمكانية إجراء القياسات الزاوية والخطية بشكل مباشر من النقاط الجيوديزية.

ب- إمكانية القيام بالقياسات الزاوية فقط ، وعدم إمكانية ذلك بالنسبة للقياسات الخطية (المسافات).

الحالة الأولى: المطلوب حساب إحداثيات النقطة P وذلك استناداً إلى إحداثيات النقطتين T_1, T_2 الواضحتين الرؤية من النقطة P الشكل (6-26) لحساب المسافة $P = S = PT_1$ التي لا يمكن أن نقيسها بشكل مباشر ننشئ المثلثين PBT_1, APT_1 فيما الضلعان: $PB = b_1, AP = b_2$ قيساً بشكل مباشر، وكذلك الزوايا β_1, α_1 في المثلث APT_1 $\hat{\beta}_2, \hat{\alpha}_2$ في المثلث PBT_1 نحسب الطول : $S = PT_1$ كما يلي:

من علاقة الجيوب في المثلث

$$\frac{S_i}{\sin \alpha_i} = \frac{b_i}{\sin \varepsilon_i} \Rightarrow S_i = \frac{b_i \sin \alpha_i}{\sin \varepsilon_i} \quad (6-77)$$

حيث : $i = 1, 2$ ، $\varepsilon_i = 200 - (\alpha_i + \beta_i)$

إن العلاقة (6-77) السابقة تعطينا قيمتين لـ S_i نحسب القيمة الوسطية منها:

من إحداثيات النقطتين : T_1, T_2 نحسب سمت الاتجاه T_1, T_2 بالعلاقة :

$$\operatorname{tg}(T_1 T_2) = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$$

وكذلك المسافة بين النقطتين $L = T_1, T_2$ بالعلاقة :

$$L = T_1 T_2 = \frac{y_2 - y_1}{\operatorname{os}(T_1 T_2)} = \frac{x_2 - x_1}{\sin(T_1 T_2)}$$

ثم نقيس الزاوية: γ_1 بشكل مباشر كما في الشكل :

$$T_1 \overset{\Delta}{T_2} P \Rightarrow \frac{L}{\sin \gamma_1} = \frac{S}{\sin \mu_1} \Rightarrow \sin \mu_1 = \frac{S}{L} \sin \gamma_1$$

وبالتالي نحسب الزاوية: λ_1 بالعلاقة $(\gamma_1 + \mu_1) - 200 = \lambda_1$ وبمعرفتنا للزاوية

λ_1 نحسب سمت الاتجاه $T_1 P$ بالعلاقة $T_1 P = (T_1 T_2) \mp \lambda_1$. ومن ثم ننتقل إلى

حساب قيمة الإحداثيات المؤقتة للنقطة P بالنسبة للنقطة الجيوديزية T_1

بالعلاقات :

$$\Delta y_p = S \cos(T_1 P) , \quad \Delta x_p = S \sin(T_1 P)$$

وللحاق من صحة النتائج السابقة نحسب سمت الاتجاه PT_2 بالعلاقة :

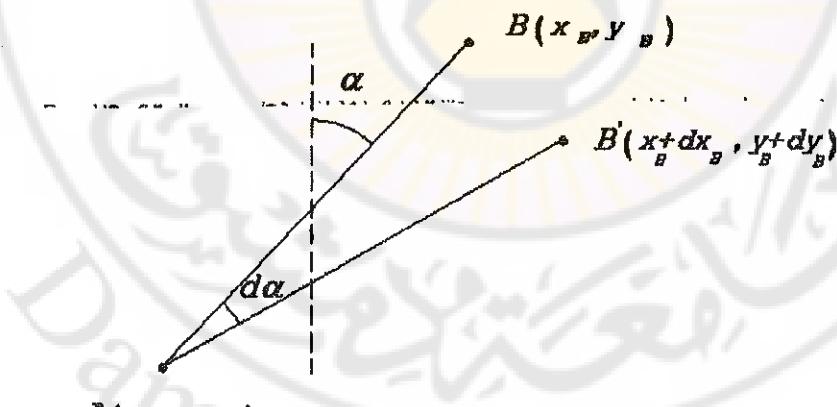
$\mu = (T_1 T_2) - (P T_2) = \frac{x_2 - x_p}{y_2 - y_p}$ ثم نحسب الزاوية μ بالعلاقة $(P T_2)$ ونقارنها مع قيمة μ المحسوبة أعلاه.

الحالة الثانية: عندما تكون القياسات الزاوية ممكنة والخطية غير ممكنة وهي الحالة الأكثر مصادفة في الحياة العملية، حيث تكون علامات النقاط الجيوديزية متوضعة فوق أسقف المنازل، في هذه الحالة الزاوية $\hat{\mu}$ يمكن قياسها بشكل مباشر، أما المسافة أو الطول: $S = T_1 P$ فيحسب من خلال المثلثين المنشئين BPT_1 ، APT_1 أما الزاويتان $\hat{\epsilon}_1$ ، $\hat{\epsilon}_2$ فيقاساً بشكل مباشر.

* سمت الاتجاه وعلاقاته التفاضلية :

ليكن لدينا المستقيم AB المبين في الشكل (6-27) إحداثيات نهايتهان معلومتان،

نحسب سمت الاتجاه لهذا المستقيم بالعلاقة التالية :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$$


الشكل (6-27)

نفرض أن النقطة: B، نهاية المستقيم قد انتقلت إلى الوضع: B ذات الإحداثيات $(x_B + dx_B, y_B + dy_B)$ إن التغير في قيمة الإحداثيات هذا يؤدي إلى تغير في قيمة سمت الاتجاه: AB قيمته $\Delta\alpha$. وبما أن القيمة dy_B, dx_B قيمتان صغيرتان يمكننا أن نكتب: $\Delta\alpha \approx d\alpha$ فنجد:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \\ \frac{1}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{\rho} &= \frac{(y_B - y_A)dx_B - (x_B - x_A)dy_B}{(y_B - y_A)^2} \quad (6-78) \end{aligned}$$

ولكن لدينا $(x_B - x_A) = S \sin \alpha$ ، $(y_B - y_A) = S \cos \alpha$

نعرض بالعلاقة (6-78) السابقة فنحصل

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{\rho} &= \frac{S \cos \alpha dx_B - S \sin \alpha dy_B}{S^2 \cos^2 \alpha} \\ \Rightarrow d\alpha &= \rho \left(\frac{\cos \alpha}{S} dx_B - \frac{\sin \alpha}{S} dy_B \right) \quad (6-79) \end{aligned}$$

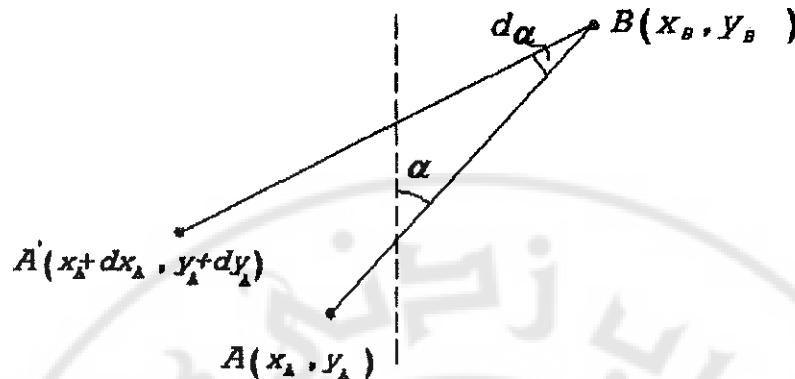
نرمز : (a) = $\rho \cos \alpha$ ، (b) = $-\rho \sin \alpha$:

فتصبح العلاقة (6-79) النهائية بالشكل التالي:

$$d\alpha = \frac{(a)}{S} dx_B + \frac{(b)}{S} dy_B \quad (6-80)$$

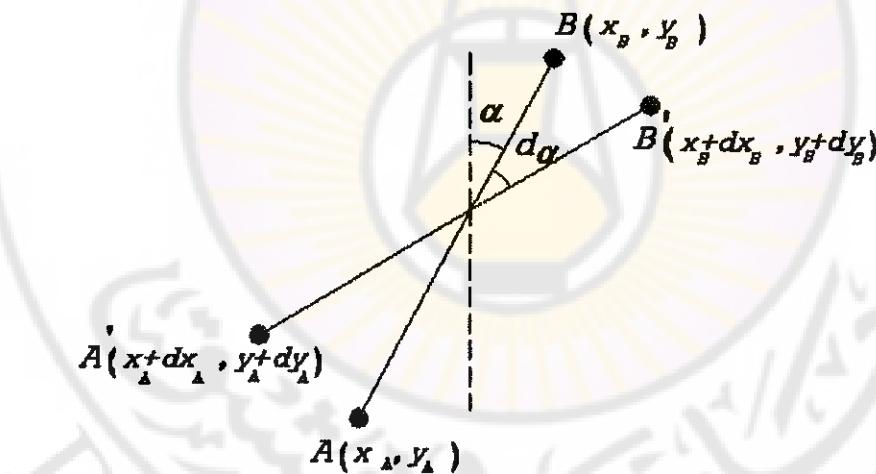
أما عندما يتغير مكان النقطة: A بداية المستقيم إلى النقطة A بينما تبقى النقطة B نهاية المستقيم في مكانها دون أي تغير أي تبقى ثابتة كما هو مبين في الشكل (6-28) فإن العلاقة بين التغير في قيمة سمت الاتجاه: da والإحداثيات: dy,dx هي كما في العلاقة (6-80) السابقة ولكن مع تغير في الإشارات أي :

$$d\alpha = -\frac{(a)}{S} dx_A - \frac{(b)}{S} dy_B \quad (6-81)$$



الشكل (6-28)

نسمى العلاقتين (6-80)، (6-81) السابقتين بالعلاقتين التفاضلتين لسمت الاتجاه أما في الحالة العامة، أي عندما يتغير مكان توضع نهاية المستقيم: A ، B كما هو مبين في الشكل (6-29).

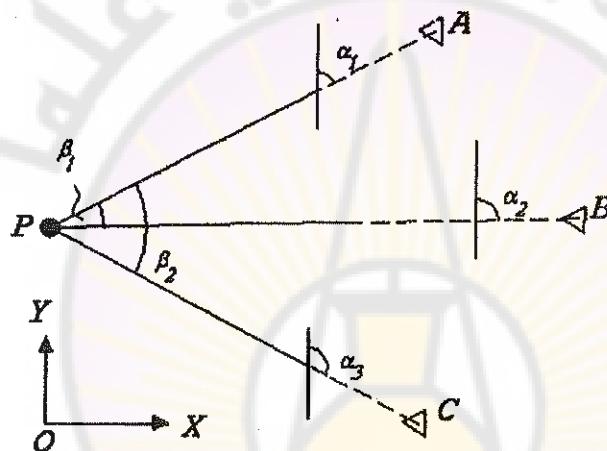


الشكل (6-29)

فإن العلاقة التفاضلية لسمت الاتجاه تكتب بالشكل التالي :

$$d\alpha = -\frac{(a)}{S}dx_A - \frac{(b)}{S}dy_A + \frac{(a)}{S}dx_B + \frac{(b)}{S}dy_B \quad (6-82)$$

* حساب إحداثيات نقطة ما بالتقاطع العكسي - التقويم - حسب دالامير :
 إن عملية التقويم أو التقاطع العكسي عبارة عن تحديد إحداثيات نقطة مجهولة: $P(x_p, y_p)$ وذلك عن طريق رصد وقياس ثلات نقاط جيوديزية معلومة الإحداثيات على الأقل، وذلك من النقطة المجهولة: P التي تم فيها عملية المركزة والرصد.



(الشكل 6-30)

حسب الشكل (6-30) ثلات نقاط جيوديزية معلومة الإحداثيات :

P نقطة مجهولة الإحداثيات أي $x_p = ?$, $y_p = ?$

• $\hat{\beta}_2 = \hat{APC}$, $\hat{\beta}_1 = \hat{APB}$ حيث :

α_i سمت الاتجاه : PA

المطلوب: حساب إحداثيات النقطة P بدلالة إحداثيات النقاط الجيوديزية: A, B, C

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{\Delta x_{pi}}{\Delta y_{pi}} \quad \text{لدينا}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow x_A - x_p &= (y_A - y_p) \operatorname{tg}\alpha_1 \\ (x_B - x_p) &= (y_B - y_p) \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta_1) \\ (x_C - x_p) &= (y_C - y_p) \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta_2) \end{aligned} \quad (6-83)$$

كما نلاحظ لدينا ثلاثة معادلات بثلاثة مجهولات $x_p, y_p, \operatorname{tg}\alpha_1$:

حيث: α_1 الزاوية السمتية للاتجاه PA

وبحل المعادلات الثلاث السابقة نحصل على المطلوب لهذا نقوم بما يلي :

حسب علاقة المثلثات التالية لدينا :

$$\operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta_1) = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\beta_1}{1 - \operatorname{tg}\alpha_1 \cdot \operatorname{tg}\beta_1} \quad (6-84)$$

نضرب ونقسم الحد الأيمن من العلاقة (6-84) السابقة بـ $\operatorname{cot}\beta_1$ فنجد

$$\operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta_1) = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1 \cdot \operatorname{cot}\beta_1 + 1}{\operatorname{cot}\beta_1 - \operatorname{tg}\alpha_1} \quad (6-85)$$

نعرض هذه القيمة المعاملة (6-85) في مجموعة المعادلات (6-83) فنحصل بعد

التعويض على العلاقة التالية:

$$\begin{aligned} (x_B - x_p) &= (y_B - y_p) \left(\frac{\operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{cot}\beta_1 + 1}{\operatorname{cot}\beta_1 - \operatorname{tg}\alpha_1} \right) \\ x_B \operatorname{cot}\beta_1 - x_B \operatorname{tg}\alpha_1 - x_p \operatorname{cot}\beta_1 + x_p \operatorname{tg}\alpha_1 \\ &= y_B \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{cot}\beta_1 + y_B - y_p \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{cot}\beta_1 - y_p \end{aligned} \quad (6-86)$$

ونكرر نفس العملية بالنسبة لـ $\operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta_2)$ فنحصل على العلاقة:

$$\begin{aligned} x_C \operatorname{cot}\beta_2 - x_C \operatorname{tg}\alpha_1 - x_p \operatorname{cot}\beta_2 + x_p \operatorname{tg}\alpha_1 \\ &= y_C \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{cot}\beta_2 + y_C - y_p \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{cot}\beta_2 - y_p \end{aligned} \quad (6-87)$$

نطرح المعادلة (6-87) من (6-86) فنجد :

$$\begin{aligned} x_C \cot g\beta_2 - x_B \cot g\beta_1 - x_C \operatorname{tg}\alpha_1 + x_B \operatorname{tg}\alpha_1 - y_P \cot g\beta_2 + x_P \cot g\beta_1 \\ = y_C \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + y_C - y_B - y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 + y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 \end{aligned} \quad (6-88)$$

من المعادلات (6-86) نكتب :

$$\begin{aligned} x_A - x_P &= (y_A - y_P) \operatorname{tg}\alpha_1 \Rightarrow \\ x_P &= x_A + y_P \operatorname{tg}\alpha_1 - y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \end{aligned}$$

نعرض في المعادلة (6-88) فنجد

$$\begin{aligned} x_C \cot g\beta_2 - x_B \cot g\beta_1 - x_C \operatorname{tg}\alpha_1 + x_B \operatorname{tg}\alpha_1 - x_A \cot g\beta_2 - y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + \\ y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + x_A \cot g\beta_1 + y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 - y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 = \\ y_C \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 - y_B \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 + y_C - y_B - y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + y_P \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 \end{aligned}$$

وبعد الاختصار تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

$$\begin{aligned} x_C \cot g\beta_2 - x_B \cot g\beta_1 - x_C \operatorname{tg}\alpha_1 + x_B \operatorname{tg}\alpha_1 - x_A \cot g\beta_2 \\ y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 + x_A \cot g\beta_1 - y_A \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 = \\ y_C \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_2 - y_B \operatorname{tg}\alpha_1 \cot g\beta_1 + y_C - y_B \end{aligned}$$

وبعد الاصلاح تصبح العلاقة النهائية :

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{(x_A - x_B) \cot g\beta_2 + (x_B - x_A) \cot g\beta_1 + (y_C - y_B)}{(y_B - y_A) \cot g\beta_1 + (y_A - y_C) \cot g\beta_2 + (x_C - x_B)} \quad (6-89)$$

إن المعادلة (6-89) السابقة تسمى معادلة دالامبير وإحداثيات النقطة المجهولة P يمكن الحصول عليها بمتابعة حل مجموعة المعادلات (6-83) ولكن سوف نحصل على تلك الإحداثيات كما يلي :

أولاً: نحسب زاويتي السمت: $\hat{\alpha}_3, \hat{\alpha}_2$ للاتجاهين (PB) (PC) على الترتيب

$$\alpha_3 = \alpha_1 + \beta_2 , \quad \alpha_2 = \alpha_1 + \beta_1 \quad (6-90)$$

ثانياً : نحسب إحداثيات النقطة المجهولة P بعلاقات التقاطع البسيط حسب غاوص بالعلاقة :

$$y_P - y_C = \frac{(y_A - y_C) \operatorname{tg} \alpha_1 - (x_A - x_C)}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (6-91)$$

$$y_P - y_A = \frac{(y_A - y_C) \operatorname{tg} \alpha_3 - (x_A - x_C)}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_3}$$

$$x_P - x_A = (y - y_A) \operatorname{tg} \alpha_1 , \quad x_P - x_C = (y - y_C) \operatorname{tg} \alpha_3$$

وللتحقق من حساب وصحة إحداثيات النقطة المجهولة P نقوم بحساب الزاوية

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{x_B - x_P}{y_B - y_P}$$

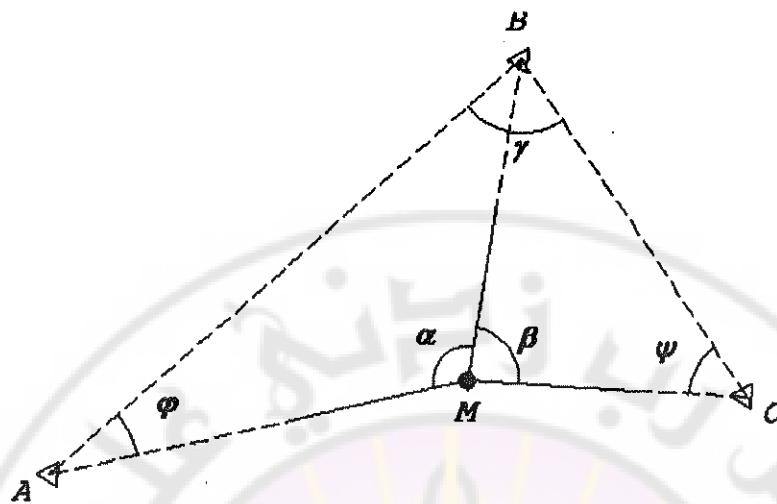
إن الزاوية السمعية المحسوبة بالعلاقة السابقة يمكن أن تختلف عن الزاوية السمعية: α_2 للضلوع (PB) والمحسوبة بالعلاقة (6-90) بمقدار: gr 200 عندما يجب تغيير أو تعديل الزوايا السمعية α_3 , α_1 لاتجاهات (PC) (PA) بقيمة 200 gr أيضاً :

تطبيق :

احسب إحداثيات النقطة M الشكل (6-31) حسب غاوص إذا علمت أن:

$$\alpha = 89.8646 \text{ gr}$$

$$\beta = 149.2235 \text{ gr}$$



الشكل (6-31)

	x (M)	y (M)
A	-182985.78	223293.35
B	-183932.72	225814.42
C	-177462.08	226540.54

ثم تحقق من النتائج .

الحل :

نحسب الزاوية γ كما يلي :

$$\gamma_B^A = \arctan \left| \frac{946.94}{-2521.07} \right| = 22.8742$$

من إحداثيات النقاط نحسب :

$$\tan G_A^B = \frac{x_A - x_B}{y_A - y_B} = \frac{-182985.78 + 183932.72}{223293.35 - 225814.42}$$

$$\Rightarrow G_A^B = 177.1258$$

$$AB = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} = 2693.045 \text{ M}$$

$$G_B^A = 92.8858 \text{ gr} , BC = 6511.254 \text{ M}$$

$$\phi + \psi = \delta \Rightarrow \delta = 400 - (\gamma + \alpha + \beta)$$

نحسب γ حسب:

$$\gamma = G_B^A - G_B^C = 177.1258 - 92.8858 = 84.24 \text{ gr}$$

$$\delta = 400 - (84.24 + 89.8646 + 149.2235) = 76.6718 \text{ gr}$$

$$\text{أي } \varphi + \psi = 76.6718$$

ولدينا :

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = K = \frac{BC}{AB} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6511.254}{2693.045} \cdot \frac{\sin 89.8646}{\sin 149.2235} = 3.3356$$

$$\begin{aligned}\varphi - \psi &= 2 \arctg\left(\frac{k-1}{k+1} \tg \frac{\delta}{2}\right) \\ &= 2 \arctg\left(\frac{3.3356-1}{3.3356+1} \tg \frac{76.6718}{2}\right) = 45.1516\end{aligned}$$

$$\begin{cases} \varphi + \psi = 76.6718 \\ \varphi - \psi = 45.1516 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi = 60.9118 \text{ gr} \\ \psi = 15.7601 \text{ gr} \end{cases}$$

نحسب الآن السمت: G_B^M, G_A^M

$$G_A^M = G_B^A + \hat{\varphi} = 38.0376 \text{ gr}$$

$$G_B^M = G_B^C + (200 - \psi - \beta) = 127.9022 \text{ gr}$$

ثم نحسب إحداثيات النقطة (M) بتقاطع الاتجاهين: BM , AM

$$y_M - y_A = \frac{(x_B - x_A) - \tg G_B^M (y_B - y_A)}{\tg G_A^M - \th G_B^M} = 1579.955$$

$$\Rightarrow y_M = 224868.305 \text{ M}$$

$$\tg G_A^M (y_M - y_A) = x_M - x_A \Rightarrow x_M = -181914.079 \text{ M}$$

للتحقق نقوم بحساب الطول BM من المثلث $\triangle BMC$ أو المثلث $\triangle ABM$ باستخدام

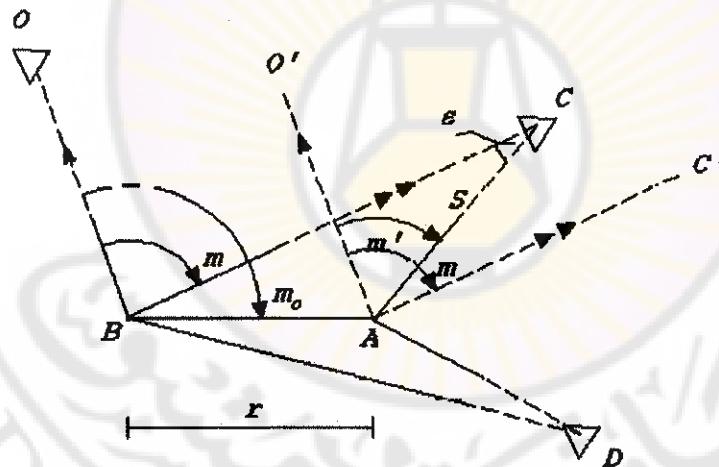
علاقات الجيب، ثم نحسب الطول BM من إحداثيات النقطة M , B

٩-٦ - المحطات اللامركزية إسقاط نقطة على سطح الأرض :

- المحطات اللامركزية والإرجاع إلى المركز: قد يتغير في بعض الأحيان مركز جهاز التيودوليت في النقطة المطلوب قياس الاتجاهات منها، كأن تكون ذروة ما، يستحيل مركز جهاز التيودوليت فوقها كرأس مئذنة مثلاً، أو أن تكون شروط الوضوح والرؤية في نقطة ثانية قريبة منها أفضل، لذا نضع أو نمركز جهاز التيودوليت في تلك النقطة نسمى هذه النقطة بالمحطة اللامركزية حيث نجري منها قياس الاتجاهات المطلوبة، ثم نرجعها إلى المركز، أي النقطة الأساسية بطرق حسابية كما يلي :

* لنفرض أننا نريد أن نقيس من النقطة A عدة اتجاهات ولتكن: (AD) ... (AC)

الخ الشكل (6-32)



الشكل (6-32)

ولسبب ما تم مركز جهاز التيودوليت في النقطة B بدلاً من A والتي تبعد عنها مسافة r نسمى هذه المسافة r بلامركزية المحطة كما في الشكل (6-32) بمركز جهاز التيودوليت في النقطة B فإننا نقيس الاتجاهات: (BA) (BD) (BC) بدلاً

من الاتجاهات الفعلية المطلوب قياسها وهي (AC) (AD) لنفترض أن القراءة على الأليدад بجهاز التيودوليت ومحور الشعاع الضوئي متوجه نحو النقطة: A هي: m_0 القراءة على الأليداد وشعاع المحور الضوئي متوجه نحو النقطة C هي m حيث الاتجاه: (BO) هو الاتجاه الصفرى للأليداد. أي:

$$\hat{m_0} = \hat{OBA}, \hat{m} = \hat{OBC}$$

من النقطة A الشكل (6-32) نرسم موازيًّا : AC لـ BC أي $AO' // BO'$
وموازيًّا AC لـ BC أي $AC' // BC$:

لو كان جهاز التيودوليت م مركزاً في النقطة A وكانت القراءة m الموافقة للاتجاه: (AC) والقراءة m الموافقة للاتجاه AC' ، نركز بـ ε للفرق بين تلك الزاويتين أي $\epsilon = m - m_0$ وهي القيمة الواجب إضافتها جبرياً على قيمة الاتجاه المقاس في B وهي (m) للحصول على قيمة الاتجاه المفروض قياسه من A وهو m' من المثلث ABC الشكل (6-32) نفرض أن المسافة بين النقطتين:

A'C هي S نكتب من علاقة الجيب:

$$\frac{r}{\sin \epsilon} = \frac{S}{\sin(m_0 - m)} \Rightarrow \sin \epsilon = \frac{r}{S} \sin(m_0 - m) \quad (6-92)$$

و بما أن r قيمة صغيرة نسبياً مقارنة بـ S فإن ε أيضاً زاوية صغيرة لذا يمكننا أن نكتب العلاقة (6-92) السابقة بالشكل التالي :

$$\epsilon = \rho \cdot \frac{r}{S} \sin(m_0 - m) \quad (6-93)$$

نسمي القيمة ε بتصحيح الإرجاع إلى المركز ولحسابها علينا قياس المسافة : r = BA ثم تحديد أو قياس المسافات بين النقطة A و مختلفة النقاط المرصودة AD', AC' .. الخ.

وإن القيمة العظمى لـ ϵ نحصل عليها عندما :

$$\sin(m_0 - m) = 1 \Rightarrow m_0 - m = \frac{\pi}{2}$$

أي

$$\epsilon_{\max} = \rho \frac{r}{S} \quad (6-94)$$

نطبق قانون انتشار الأخطاء على العلاقة (6-94) السابقة وذلك بفرض : dr الخطأ على اللامركزية r . الخطأ في قياس المسافة S بين النقطتين A,C فنجد أن الخطأ $d\epsilon_{\max}$ على ϵ_{\max} يعطى بالعلاقة :

$$d\epsilon_{\max} = \rho \frac{dr}{S} - \rho \frac{ds}{S^2} r \quad (6-95)$$

ومن أجل أن يكون الخطأ $d\epsilon_{\max}$ الناتج عن الإرجاع إلى المركز مهملاً يجب أن يكون كلا الحدين في العلاقة (6-95) السابقة أصغر من الدقة في قياس الزوايا لجهاز التيودوليت ولكن ϵ أي يجب علينا تحقيق المترافقين التاليتين :

$$\rho^{cc} \frac{dr}{S} < \epsilon^{cc} \quad (6-97)$$

$$\rho \frac{ds}{S^2} r < \epsilon^{cc} \quad (6-96)$$

حيث :

ρ ثابت تحويل يساوي $636620 \approx 64 \times 10^4$ وبتعبير آخر يجب أن نحدد r بخطأ dr يحقق المترافقحة التالية :

$$dr = < \frac{\epsilon^{cc}}{\rho^{cc}} \cdot S \quad (6-98)$$

وتعين أو تحديد S بخطأ ds يحقق المترافقحة :

$$ds < \frac{\epsilon^{cc}}{\rho^{cc}} \frac{S^2}{r} \quad (6-99)$$

إن العلاقات (6.98) و (6.99) السابقتين تحددان القيم العظمى للأخطاء المسموح بها في قياس اللامركزية r والمسافة S .

تطبيق :

احسب القيم العظمى للأخطاء المسموح بها في قياس اللامركزية r والمسافة S .
أن دقة جهاز التيودوليت المستخدم في القياس هي:

$$r = 10 \text{ M} , S = 6000 \text{ M} , e^{cc} = 10^{cc}$$

الحل :

من العلاقة (6.98) نكتب :

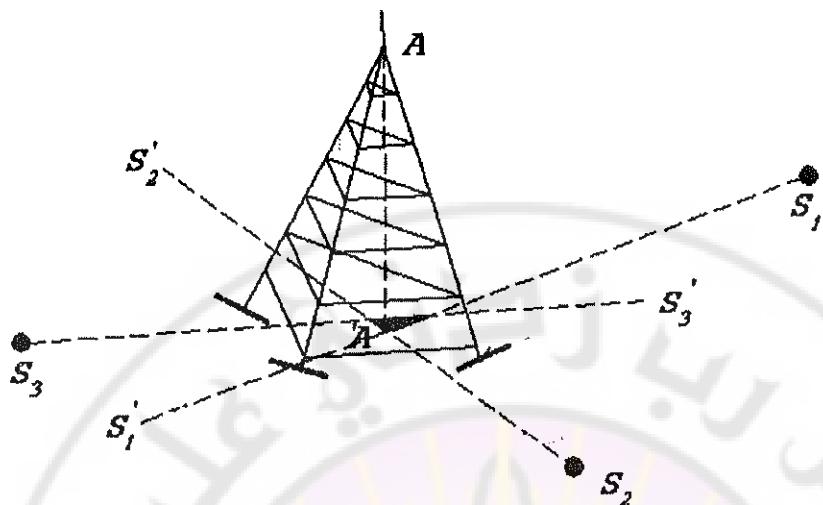
$$dr < \frac{10}{636620} \times 6000 = 10 \text{ CM}$$

من العلاقة (6.99) نكتب :

$$dS < \frac{10}{636620} \times \frac{(6000)^2}{10} = 60 \text{ CM}$$

بـ - إسقاط نقطة على سطح الأرض : كما بينا سابقاً إن المضلعات الرئيسية تستند إلى نقاط جيوديزية معلومة الإحداثيات من الدرجة: I, II, III, IIII، وفي بعض الأحيان لا يمكننا الوصول أو مرکزة جهاز التيودوليت فوق تلك النقاط لأن تكون تلك النقاط رأس مئذنة مثلاً، أو قمة برج فإذا ما أررنا أن نربط مضلع ما بها فإننا نقوم بعملية إسقاط لهذه النقطة أو نقوم بتعيين إحداثيات نقطة قريبة منها يمكن مرکزة الجهاز عليها وبالتالي ربط المضلع بها، ونميز الحالتين التاليتين :

١ - **الإسقاط المباشر:** تكون هذه العملية ممكناً إذا كانت النقطة المطلوب إسقاطها A ومسقطها A' وفق الشاقول مرئيتان كما في الشكل (6-33).



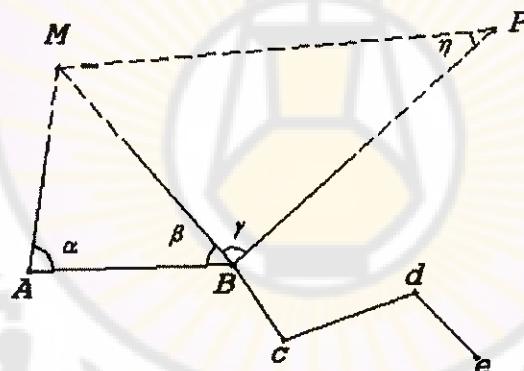
الشكل (6-33)

حيث يمكننا أن نمرّن جهاز التيودوليت فوق النقطة A مسقط النقطة A نقطة معلومة الإحداثيات وهي رأس برج معدني إذا اعتبرنا أن مسقط النقطة A على سطح الأرض وفق الشاقول المار من A هي النقطة A فإن الشاقول AA' هو الفصل المشترك لجميع المستويات الشاقولية المارة من النقطة A ويُكفي تحديد تقاطع مستويين من هذه المستويات الشاقولية (6-33) .

لتحديد أو تعين النقطة A. لهذا نضع جهاز التيودوليت في النقطة S₁ بحيث يمكننا منها رؤية النقطة A ومسقطها A'. نمرّن الجهاز فوق النقطة A ونوجه منظار الجهاز إلى النقطة A رأس البرج، ومن ثم ندور المنظار حول المحور الثانوي لجهاز التيودوليت، فيرسم المحور الضوئي مستوىً شاقوليًّا مارًّا من شاقول النقطة A. ثم نجسّد على الواقع أو الطبيعة الاتجاه S₁B₁ وذلك بغرس وتد أو تناصصاً، وبذلك تكون قد حددنا ملأً هندسيًّا للنقطة A'. نكرر تلك العملية من النقطة S₂ ونجسّد الاتجاه S₂B₂ على الطبيعة أن تقاطع هذين الاتجاهين يعطيان النقطة A مسقط النقطة A رأس البرج على سطح الأرض.

وفق الشاقول المار من النقطة A. وتحقيقاً للعمل، يجب إعادة العمليات السابقة من نقطة ثانية S₂. نظرياً يجب أن تتقاطع الاتجاهات الثلاث في نفس النقطة، ولكن ونتيجة لوجود عدد من الأخطاء فإن تلك الاستقامتات لن تتقاطع في نقطة واحدة، بل ستشكل مثلثاً صغيراً. أي أن تلك الاستقامتات ستتشكل هذا المثلث. وبالتالي فإننا نعتمد مركز هذا المثلث النقطة A مسقط النقطة A رأس البرج وفق الشاقول المار منها.

- ٢ - الإسقاط غير المباشر : بفرض أن مضلعاً يمر بالقرب من نقطة M- معلومة الإحداثيات (مثلاً)، فإنه لا يمكننا مركز جهاز التيودوليت فوق النقطة M كما في الشكل (6-34) وأيضاً لا يمكننا ذلك فوق مسقط تلك النقطة لأن تكون النقطة M منذنة جامع مثلاً .



الشكل (6-34)

M-P- نقطتان جيوديزيتان معلومتا الإحداثيات والرؤية واضحة بينهما .
نقطة موجودة على سطح الأرض يمكن أن تكون أحد نقاط المضلعين ، الرؤية ممكنة بين النقطتين P,B .

لتعيين أو تحديد النقطة B أي حساب إحداثياتها بناء على إحداثيات النقطة M المعلومة، تقوم بقياس المسافة : $S = AB$ حيث: AB يمكن أن تكون أحد أضلاع المضلع المار بالمنطقة مثلاً، وكذلك يتم قياس الزوايا الأفقية α, β, γ كما في

الشكل (6-34) وبالتالي من المثلث: $\triangle AMB$ نكتب

$$\frac{MB}{\sin \alpha} = \frac{AB}{\sin(\alpha + \beta)} \Rightarrow MB = AB \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = S \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

من المثلث: $\triangle MBP$ نحسب الزاوية γ من علاقة الجيب: $\hat{\gamma}$

$$\frac{D}{\sin \gamma} = \frac{MB}{\sin \eta} \Rightarrow \sin \gamma = \frac{MB}{D} \sin \eta$$

حيث إن المسافة D تحسب من إحداثيات النقطتين: P, M بالعلاقة:

$$D = \sqrt{(x_p - x_m)^2 + (y_p - y_m)^2}$$

- زاوية أفقية مقاسة، ولحساب إحداثيات النقطة B نحسب السمت: G_p^M من

إحداثيات النقطتين M, P حسب ما يلي :

$$G_p^B = G_p^M - \gamma \Rightarrow G_B^M = G_p^B - \gamma + 200$$

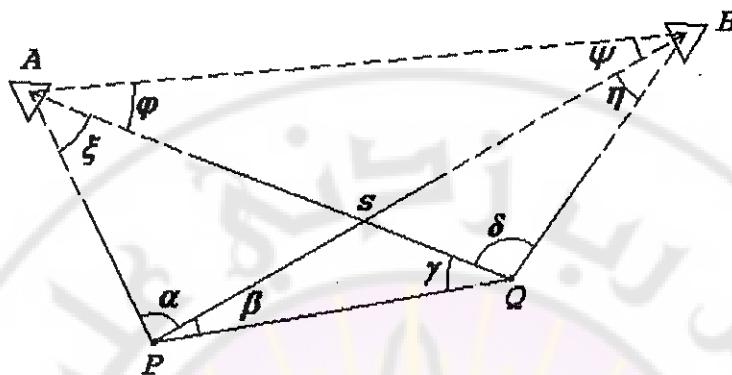
$$x_B = x_M + MB \sin G_M^B , \quad y_B = y_M + MB \cos G_M^B$$

ومن ثم نربط المضلع بالنقطة B ونستخدم الاتجاه BM لربط السموت .

* طريقة هانزن: HANZEN لربط المضلوعات :

تسمح لنا هذه الطريقة في حساب إحداثيات نقطتين: P, Q واقعتين في ساحة العمل الشكل (6-35) وذلك اعتماداً على إحداثيات نقطتين A, B جيوديزيتين لا

يمكننا الوصول إليهما ، لهذا نقوم أولاً بقياس الزوايا الأفقية، $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ كما في الشكل (6-35).



الشكل (6-35)

٢- نحسب الزاويتين ξ, η وفق ما يلي :

$$\triangle APQ \Rightarrow \xi = 200 - (\alpha + \beta + \gamma) \quad (6-100)$$

$$\triangle BQP \Rightarrow \eta = 200 - (\beta + \gamma + \delta) \quad (6-101)$$

٣- نرمز بـ S لنقطة تقاطع القطرين AQ, PB الشكل (6-35) وفق قانون الجيوب في المثلث نكتب :

$$\begin{aligned} \triangleAPS &\Rightarrow \frac{PS}{\sin \xi} = \frac{AS}{\sin \alpha} \Rightarrow \frac{\sin \xi}{\sin \alpha} = \frac{PS}{AS} \\ \trianglePSQ &\Rightarrow \frac{PS}{\sin \gamma} = \frac{SQ}{\sin \beta} \Rightarrow \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{SQ}{PS} \\ \triangleBSQ &\Rightarrow \frac{BS}{\sin \delta} = \frac{SQ}{\sin \eta} \Rightarrow \frac{\sin \delta}{\sin \eta} = \frac{BS}{SQ} \\ \triangleABS &\Rightarrow \frac{BS}{\sin \varphi} = \frac{AS}{\sin \psi} \Rightarrow \frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{AS}{BS} \end{aligned} \quad (6-102)$$

٤- نضرب العلاقات (6-102) بعضها ببعض فنجد :

$$\frac{\sin \psi}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \eta} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \cdot \frac{\sin \xi}{\sin \alpha} = 1 \Rightarrow \frac{\sin \phi}{\sin \psi} = \frac{\sin \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \xi}{\sin \eta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha} \quad (6-103)$$

إن الحد الثاني من المعادلة (6-103) السابقة معلوم إذ يمكن حسابه .

٥- نرمز للعلاقة السابقة:

$$\frac{\sin \phi}{\sin \psi} = \operatorname{tg} x = \operatorname{tg} k \quad (6-104)$$

وبالتالي نكتب :

$$\begin{aligned} \frac{\sin \phi - \sin \psi}{\sin \phi + \sin \psi} &= \frac{\operatorname{tg} x - 1}{\operatorname{tg} x + 1} = \frac{\operatorname{tg} k - 1}{\operatorname{tg} k + 1} \\ \frac{\sin(\frac{\phi - \psi}{2}) \cos(\frac{\phi + \psi}{2})}{\sin(\frac{\phi + \psi}{2}) \cos(\frac{\phi - \psi}{2})} &= \frac{\operatorname{tg} x - 1}{\operatorname{tg} x + 1} = \operatorname{tg}(x - 50 \text{ gr}) = \operatorname{tg}(k - 50 \text{ gr}) \\ \operatorname{tg} \frac{(\phi - \psi)}{2} &= \operatorname{tg} \frac{(\phi + \psi)}{2} \operatorname{tg}(x - 50 \text{ gr}) \end{aligned} \quad (6-105)$$

$$\stackrel{\Delta}{APB} \Rightarrow \phi + \psi = 200 - (\alpha + \xi) \quad (6-106)$$

$$\stackrel{\Delta}{APQ} \Rightarrow \xi = 200 - (\alpha + \beta + \gamma) = 200 - \alpha - \beta - \gamma$$

$$\phi + \psi = 200 - (\alpha + 200 - \alpha - \beta - \gamma)$$

نعرض قيمة ξ في المعادلة رقم (6-106) فنجد:

$$\phi + \psi = \beta + \gamma \quad (6-107)$$

نعرض المعادلة (6-107) في المعادلة (6-105) فنجد :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\phi - \psi}{2} &= \operatorname{tg} \frac{\beta + \gamma}{2} \operatorname{tg}(x - 50 \text{ gr}) \\ \Rightarrow \phi - \psi &= 2 \operatorname{arctg} \left\{ \operatorname{tg} \frac{\beta + \gamma}{2} \operatorname{tg}(x - 50 \text{ gr}) \right\} \end{aligned} \quad (6-108)$$

وبحل مجموعة المعادلين (6-107)، (6-108) نحسب قيمة كل من الزاويتين:

$\hat{\psi}$ ، $\hat{\phi}$ وبمعرفتنا لقيمة هاتين الزاويتين $\hat{\phi}$ ، $\hat{\psi}$ يمكننا بسهولة حساب إحداثيات

النقطة: P وذلك بمقاطع الاتجاهين: AP , BP وحساب إحداثيات النقطة Q بمقاطع الاتجاهين: AQ , BQ الشكل (6-35) .

* تحديد قيم الأخطاء المسموح بها في قياس الزوايا والمسافات:

لقد تم تقسيم مناطق العمل إلى مجموعة من المناطق حسب دقة وطبيعة المنطقة:

١- منطقة درجة أولى : وتشمل المدن والبلدات ذات القيمة العالية والمرتفعة .

٢- منطقة درجة ثانية : وتشمل القرى ذات التضاريس المتوسطة ذات قيمة أو سعر الأرض المتوسطة .

٣- منطقة درجة ثالثة : وتشمل المناطق الجبلية والخالية حيث قيمة الأرض أو سعرها يكون منخفضاً نسبياً .

وبالتالي فالحدود المسموحة بها لأخطاء إغلاق الزوايا أو السمات في المضلعات

هي كما يلي :

للمنطقة الأولى :

١ - المضلع الرئيسي : يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة

$$f_B \leq 1^c \sqrt{n} \quad (6-109)$$

٢ - المضلع الثانوي: يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة:

$$f_B \leq 2^c \sqrt{n} \quad (6-110)$$

للمنطقة الثانية :

١ - المضلع الرئيسي : يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة

$$f_B \leq 2^c \sqrt{n} \quad (6-111)$$

٢ - المضلع الثانوي : يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة

$$f_B \leq 3^c \sqrt{n} \quad (6-112)$$

المنطقة الثالثة :

١ - المضلع الرئيسي : يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة

$$f_B \leq 3^c \sqrt{n} + 1^c \quad (6-113)$$

٢ - المضلع الثانوي : يعطى الخطأ المسموح به في إغلاق الزوايا بالعلاقة

$$f_B \leq 3^c \sqrt{n} + 2^c \quad (6-114)$$

حيث : n في العلاقات السابقة عدد رؤوس المضلع.

أما الخطأ المسموح به عند قياس طول ضلع من أضلاع المضلع، عندما تكون أدلة القياس هي شريط القياس فيؤخذ حسب المناطق الثلاث السابقة وفق العلاقات التالية :

المنطقة I :

$$mD \leq 0.0008\sqrt{S} + 0.0003S + 0.005 \quad (6-115)$$

المنطقة II :

$$mD \leq 0.001\sqrt{S} + 0.0004S + 0.005 \quad (6-116)$$

المنطقة III :

$$mD \leq 0.0012\sqrt{S} + 0.0005S + 0.005 \quad (6-117)$$

حيث S طول الضلع مقدراً بالأمتار .

٦-١٠ - حساب إحداثيات رؤوس المضلعين :

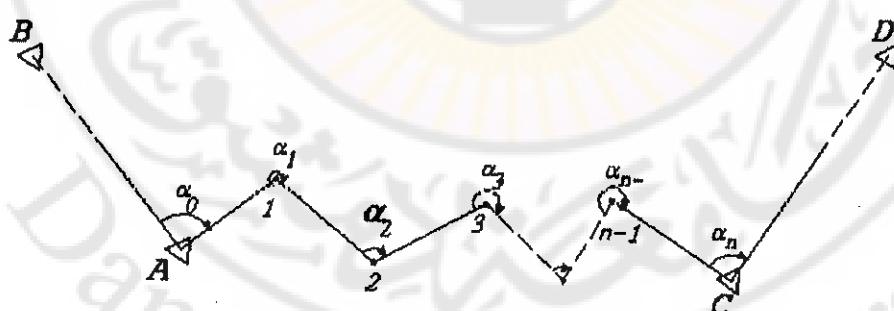
ليكن لدينا المضلعين المبين في الشكل (6-36) والمكون من n ضلع، والمبدئ بالنقطة A ذات الإحداثيات المعروفة (x_A , y_A) نرمز لرؤوس هذا المضلعين بالأرقام (1,2,3, ..., n-1) وهي نقاط مجسدة على الطبيعة، إلا أن إحداثياتها مجهولة يراد حسابها، ولحساب تلك الإحداثيات علينا حساب السمات الاعتبارية لأضلاع المضلعين، وقياس أطوال أضلاعه، وذلك ابتداء من النقطة A نسمي هذه العملية

في حساب الإحداثيات بالتصليع، ولحساب السمات الاعتبارية للأضلاع لا بد من معرفة نقطة ثانية B معلومة الإحداثيات (x_B, y_B) ومرئية من النقطة A ثم نقوم بقياس الزوايا الأفقية في رؤوس المضلعين: ($\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$) نلاحظ أن تعين النقطة المجهولة (1) سيتم استناداً إلى النقطة A وتعين النقطة (2) س يتم استناداً إلى النقطة (1) والذي يحمل أخطاء القياسات اعتباراً من A وهكذا، ولتلافي تراكم الأخطاء يشترط أن نصل في المضلعين، إلى نقطة (C) إحداثياتها معلومة (x_C, y_C) وكذلك تأمين نقطة D معلومة الإحداثيات (x_D, y_D) يمكن رؤيتها من C نسمى النقطة C بنقطة الإغلاق وسمت الاتجاه CD بسمت الإغلاق.

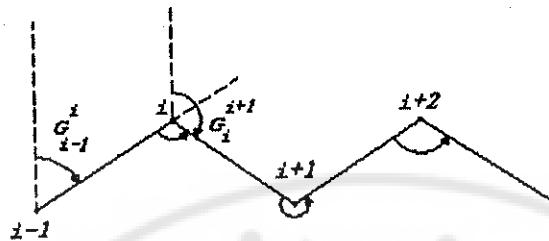
ويتم تحديد السمات الاعتبارية للأضلاع حسب ما يلي :
 أ- زاوية يسارية: أي عند قياس الزوايا اليسارية للمضلعين حسب الشكل (6-37)

بالعلاقة (6-118) التالية

$$G_i^{i+1} = G_{i-1}^i + \alpha_i - 200 \text{ gr} \quad (6-118)$$



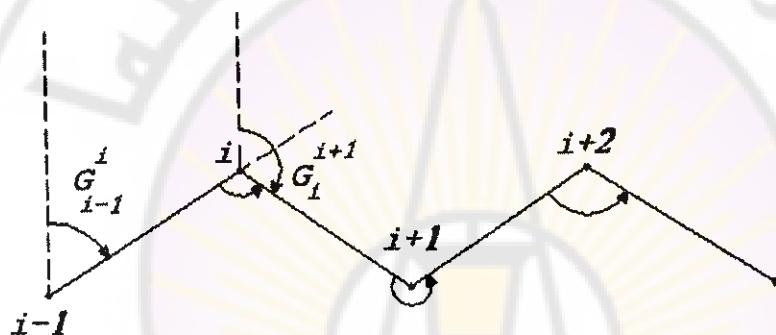
الشكل (6-36)



الشكل (6-37)

وللزوايا اليمنية وفق ما يلي الشكل (6-38) بالعلاقة (6-119) التالية :

$$G_i^{i+1} - G_{i-1}^i = \beta_i + 200 \text{ gr} \quad (6-119)$$



الشكل (6-38)

نسمي السمات المحسوبة سابقاً بالسمات الاعتبارية المؤقتة، أو المقاسة، ونلاحظ أن سمت ضلع ما G_i^{i+1} يتعلق بأخطاء الزوايا $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_i)$ وبحيث إن سمت الاتجاه: G_c^D يحمل كافة أخطاء الزوايا كما ويحمل أغلاط الزوايا إن وجدت. ولاكتشاف الأغلاط أو مقدار الأخطاء في قياسات الزاوية نقارن السمت للضلع CD المحسوب من الإحداثيات المعطاة، والمعتبر صحيحاً مع السمت G_c^D المحسوب، ونسمي الفرق بينهما بالإغلاق الزاوي للمضلع:

$$f_0 = G_c^D - G_c^D \quad (6-120)$$

إذا كانت قيمة هذا الإغلاق أقل أو أصغر من حد التساهل كانت القياسات خالية من الأغلاط ، ولا تحمل إلا أخطاء القياس أما إذا كان خطأ الإغلاق الزاوي: f_G أكبر من حد التساهل فيجب علينا البحث عن الغلط ، وبالتالي إعادة قياس بعض أو كل الزوايا.

إذا اعتبرنا مضلعاً ذو n زاوية ولتكن σ الخطأ المتوسط التربيعي لقياس زاوية من زوايا المضلعين أي الانحراف المعياري للزاوية، فإن العلاقة التي تعطينا خطأ الإغلاق الزاوي :

$$\sigma^2 = n \cdot \sigma^2 \Rightarrow \sigma = \sigma \sqrt{n} \quad (6-121)$$

ونعتبر حد التساهل مساوياً لما نسميه الخطأ الأعظمي المسموح به: ΔG والذي يعطى بالعلاقة (6-122) التالية:

$$\Delta G = 3\sigma \sqrt{n} \quad (6-122)$$

حيث : n عدد زوايا المضلعين ويجب أن تتحقق المترادفة

$$|f_G| < \Delta G \quad (6-123)$$

عندما يجب علينا أن نوزع خطأ الإغلاق f_G العلاقة (6-120) على الزوايا المقاسة للحصول في نهاية المطاف على السمت الاعتباري المصحح أو الصحيح، وباعتبار أن الزوايا قد قيست جميعها بنفس الدقة فيمكننا إجراء هذا التوزيع بإضافة الكمية: f_G/n إضافة جبرية لكل زاوية، ثم نحسب السمات الاعتبارية والتي نسميها سموتاً نهائية معدلة، أو نعدل بشكل تراكمي بأن نضيف الكمية: f_G/n إلى السمت الأول والكمية $2f_G/n$ للسمت الثاني، والكمية $3f_G/n$ للسمت الثالث وهكذا.

إذا رمزنا للسموت المعدلة بالرموز G_A^1, G_A^2, G_A^3 ولأطوال الأضلاع المقاسة d_A^1, d_A^2, d_A^3 يمكننا حساب إحداثيات ثروات أو رؤوس المضلعين بالعلاقات التالية وذلك استناداً على العلاقة (6-10)

$$x_1 = x_A + d_A^1 \sin G_A^1, \quad y_1 = y_A + d_A^1 \cos G_A^1$$

$$x_2 = x_1 + d_1^2 \sin G_1^2, \quad y_2 = y_1 + d_1^2 \cos G_1^2$$

$$x_C = x_{n-1} + d_{n-1}^C \sin G_{n-1}^C, \quad y_C = y_{n-1} + d_{n-1}^C \cos G_{n-1}^C$$

- نلاحظ أنه توصلنا إلى حساب إحداثيات النقطة C اعتباراً من النقطة A وذلك باستخدام القياسات، وإن القيم المحسوبة لإحداثيات النقطة C (x_C, y_C) ستحمل أخطاء كل القياسات وستمثل بشكل عام نقطة مغيرة عن النقطة المعطاة بإحداثياتها (x_C, y_C)

نسمى المسافة بين تلك النقطتين بالإغلاق الخطى، ويجب أن تكون مفسرة بأخطاء القياسات، أي أن تكون أقل من حد التساهل الخطى.

نسمى مركبتي CC على محتوى الإحداثيات بالإغلاق على x والإغلاق على y ونرمز لهما: f_x, f_y

$$f_x = x_C - x'_{\text{c}} \quad (6-124)$$

$$f_y = y_C - y'_{\text{c}} \quad (6-125)$$

حيث :

C(x_C, y_C) النقطة المعتبرة صحيحة، أي ذات الإحداثيات المعطاة .
 C'($x'_{\text{c}}, y'_{\text{c}}$) نقطة مغيرة عن النقطة C والناتجة من حساب الإحداثيات.

وبالتالي يعطى قيمة الإغلاق الخطى بالعلاقة (6-126) التالية:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (6-126)$$

والذى يجب أن يكون أصغر من حد التساهل، الذى يعطى بالعلاقة (6-127) التالية

$$\Delta_s = 0.01 \sqrt{L_{(M)}} \quad (6-127)$$

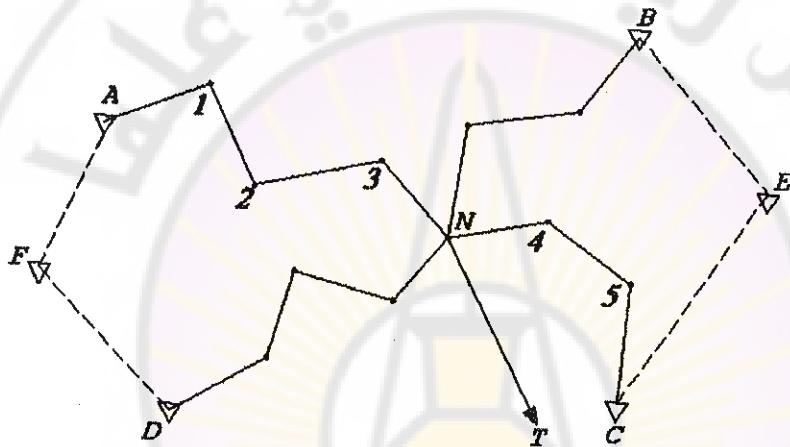
حيث : L طول المضلع مقدراً بالمتر .

ويوزع هذا الخطأ على أضلاع المضلع وفق لعلاقات (6-129) التالية :

$$v_{xi} = \frac{f_x}{L} \ell_i, \quad v_{yi} = \frac{f_y}{L} \ell_i \quad (6-129)$$

العقدة :

إذا كان لدينا مجموعة من المضلعات كما في الشكل (6-39) .



الشكل (6-39)

المضلع DN, CN, BN المتلقاطعة في نقطة N يمكننا أن نحسب هذه

المضلعات بالطريقة التالية :

نقوم بحساب وتعديل المضلع الرئيسي: ($A, 1, 2, \dots, C$) عندما تصبح النقطة N

نقطة معلومة الإحداثيات وبالتالي يمكننا حساب وتعديل المضلع: DN, CN, BN ,

إلا أنه عندما تتقاطع مجموعة من المضلعات في نقطة واحدة، هي هنا N

يفضل جعل المضلعات كمجموعة واحدة، وذلك بغية الحصول على نتائج أدق،

نسمي النقطة N بالعقدة، ونقول إن حساب عقدة ما هو تعبيين أو حساب إحداثيات

رؤوس المضلعات الوارضة إليها كمجموعة واحدة.

تجري القياسات في حالة العقدة كما هو الحال عند حساب المضلعات، إلا أنه عند الوصول إلى النقطة N يتم قياس الزاوية التي يصنعها الضلع الأخير من المضلع مع اتجاه ما وليكن NT ويمكن لهذا الاتجاه أي الاتجاه NT أن يكون منطبياً على أحد أضلاع المضلع. هناك عدة طرق لحساب إحداثيات العقدة، وإحداثيات رؤوس المضلعات الواقلة إليها منها:

١- حساب السمات الاعتبارية وتعديلها:

إن القياسات المجرأة لكل مضلع من المضلعات تؤدي إلى حساب السمات الاعتباري للاتجاه NT وبالتالي فعدد تلك السمات الاعتبارية للاتجاه NT هي بعد المضلعات الواقلة إلى العقدة N فإذا كان لدينا عقدة N يصلها عدداً من المضلعات هو m فإن هذه المضلعات سوف تعطينا m قيمة للسمة الاعتباري للاتجاه NT: (G_1, G_2, \dots, G_m) تختلف هذه السمات عن بعضها بعض بكميات صغيرة تعزى إلى أخطاء القياسات. وتكون القيمة النهائية للسمة الاعتباري للاتجاه NT هي عبارة عن المتوسطة الموزونة وفق العلاقة (6-130) التالية:

$$G_0 = \frac{\sum_{i=1}^m P_i G_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (6-130)$$

حيث: P_i الوزن ونعتبره متناسبـاً عكسياً مع عدد زوايا المضلع المقاسة أي: $P_i = 1/n$

حيث n : عدد الزوايا المقاسة في المضلع .

ثم نحسب بعد ذلك الإغلاق الزاوي: f_G بالعلاقة :

$$f_G = G_0 - G_i \quad (6-131)$$

فإذا كانت ضمن حدود التساهل عندها نقوم بتعديل السمات الاعتبارية لكل مضلع من المضلعات.

٢- حساب الإحداثيات وتعديلها :

نحسب الإحداثيات المؤقتة لرؤوس كل مضلع المضلعات، وذلك باستخدام السمات المعدلة، والمسافات المقاسة. فنحصل بذلك على m إحداثي (x_N) ، (y_N) ، (x_i) ، (y_i) للعقدة N . هذه القيم ستكون متقاربة من بعضها البعض وذلك عندما لا يكون هناك أخطاء في القياسات. ونحسب القيمة النهائية لإحداثيات العقدة N عن طريق المتوسطة الموزونة العلاقة (6-130) حسب العلقتين التاليتين:

$$(x_N)_o = \frac{\sum_{i=1}^m P_i x_{Ni}}{\sum_{i=1}^m P_i}, \quad (y_N)_o = \frac{\sum_{i=1}^m P_i y_{Ni}}{\sum_{i=1}^m P_i}$$

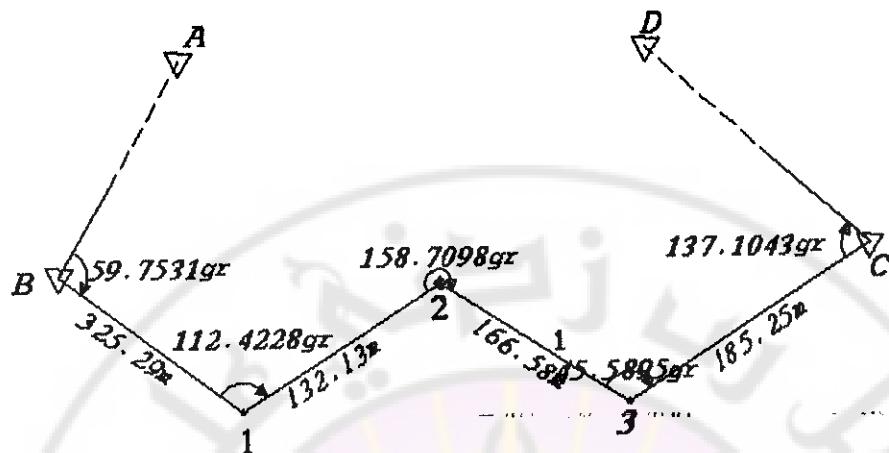
حيث : P_i الوزن ونعتبر متناسبًا عكسياً مع طول المضلع أي : $P_i = 1/l_i$
ويمعرفنا للقيم (x_n) ، (y_n) نستطيع أن نحسب أخطاء الإغلاق الخطية لكل مضلع من المضلعات أي f_{xi} ، f_{yi} ، f_{si} ، فإذا كانت ضمن حدود التساهل نقوم بتوزيعها أي تعديل إحداثيات رؤوس كل مضلع من المضلعات على حدة .

مثال (1):

في المثال المبين بالشكل (6-40) A , B , C , D نقاط معلومة الإحداثيات. تم قياس المسافات الأفقية بين رؤوس المضلع وكذلك الزوايا الأفقية.

المطلوب: حساب إحداثيات النقاط 1, 2, 3

النقطة	X(m)	y(m)
A	710.15	671.58
B	562.04	829.60
C	863.90	662.15
D	731.70	882.78



الشكل (6-40)

وكانت قيم الزوايا المقايسة كما يلي:

$$\alpha_1 = 112.4228 \text{ gr} , \beta = 59.7531 \text{ gr}$$

$$\alpha_C = 137.1043 \text{ gr} , \alpha_3 = 145.5895 \text{ gr} , \alpha_2 = 158.7098 \text{ gr}$$

الحل:

أولاً: نحسب سمت البداية وسمت النهاية وذلك عن طريق إحداثيات النقاط المعلومة:

أ- نحسب سمت البداية G_A^B

$$\gamma_A^B = \arctg \left| \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \right| = \arctg \left| \frac{562.04 - 710.15}{829.60 - 671.58} \right| = \arctg \left| \frac{-148.1}{158.02} \right|$$

$$\Rightarrow \gamma_A^B = 47.8399 \text{ gr}$$

نلاحظ أن (Δx سالبة Δy موجبة) أي الضلع يقع في الربع IV وبالتالي فالسمت الاعتباري لهذا الضلع يحسب بالعلاقة:

$$G_A^B = 400 - \gamma_A^B - 400 - 47.9399 = 352.0601 \text{ gr}$$

بـ- نحسب سمت النهاية G_c^D .

$$\gamma_c^D = \arctg \left| \frac{x_D - x_c}{y_D - y_c} \right| = \arctg \left| \frac{731.70 - 863.90}{882.78 - 662.15} \right| = \arctg \left| \frac{-132.2}{220.63} \right| \\ \Rightarrow \gamma_c^D = 34.3664 \text{ gr}$$

وبما أن ($\Delta x < 0$ سالبة $\Delta y > 0$ موجبة) أي الضلع يقع في الربع IV وبالتالي فالسمت الاعتباري لهذا الضلع يحسب بالعلاقة:

$$G_c^D = 400 - \gamma_c^D = 400 - 34.3664 = 365.6336 \text{ gr}$$

وهذان السمتان يعتبران سمتين صحيحتين.

ثانياً : نحسب السمات الابتدائية أو التقييمية لأضلاع المضلع.
بما أن الزوايا المقاسة: α_i هي زوايا يسارية فالسموت الاعتبارية لأضلاع المضلع تحسب بالعلاقة:

$$G_i^{i+1} = G_{i-1}^i + \alpha_i - 200 \text{ gr}$$

تم نكتب نتائج الحسابات وفق الجدول (6-4) التالي:

الجدول (6-4)

النقطة	الارتفاع (مسار ب)	الارتفاع (مسار ج)	الارتفاع (مسار د)	الارتفاع (مسار هـ)	الارتفاع (مسار فـ)	الارتفاع (مسار غـ)	الارتفاع (مسار سـ)	الارتفاع (مسار مـ)	الإحداثيات المعرفة (M)			الإحداثيات المحسوبة (M)			النقطة	
									$d_i(M)$	Δx	Δy	Δx	Δy	x	y	
1	2	3	4	5	6	7	8	9						10	11	12
A	-0.0012	352.0601			+0.05	0.05								710.15	671.58	A
B	59.7531	59.7519	211.8120	335.29	-61.85	-329.54	-61.8	-329.49								
1	-0.0012	112.4216	124.2336	132.13	122.67	-49.09	122.69	-49.07								
2	-0.0012	158.7098	82.9422	166.58	160.64	44.10	160.66	44.12								
3	145.5895	145.5883	28.5305	185.25	80.27	166.96	80.29	166.99								
C	-0.0012	137.1031	265.6336													
D																
Σ	613.579521				301.73	-167.57								731.70	882.78	D

حيث في العمود رقم (1) من الجدول (4-6) نضع أسماء أو أرقام رؤوس المسار التيودوليت وذلك حسب ورودها على المخطط.

في العمود رقم (2) من الجدول (4-6) نكتب قيمة الزاوية الأفقية المقاسة مع تبيان توضعها يمينية أو يسارية.

في العمود رقم (4) من الجدول (4-6) نكتب سمت التوجيه - سمت البداية وسمت النهاية ونضع تحتهما خطأ.

في العمود بين رقم (10 ، 11) من الجدول (4-6) نكتب إحداثيات نقطتي البداية والنهاية ونضع تحت كل منها خطأ.

في العمود رقم (5) من الجدول (4-6) نكتب المسافات الأفقية لأطوال أضلاع الصisel.

نحسب القيمة النظرية لمجموع زوايا المضلعين المفتوح، وذلك :

أ- للزوايا اليمينية بالعلاقة:

$$\sum \beta_T = \alpha_{H1} - \alpha_k + n.200gr \quad (6-132)$$

حيث:

α_H سمت البداية، α_k سمت النهاية.

n عدد رؤوس المضلعين.

ب- للزوايا اليسارية بالعلاقة:

$$\sum \beta_T = \alpha_k - \alpha_H + n.200gr \quad (6-133)$$

فإذا كانت $\alpha_k < \alpha_H$ نطبق العلاقة السابقة

أما إذا كانت $\alpha_k > \alpha_H$ فنطرح 400 gr

نحسب مجموع الزوايا المقاسة ونرمز بالرمز :

$$\begin{aligned} \sum \beta_u &= 59.4231 + 112.4228 + 158.7098 + 145.5895 + 137.1043 \\ &= 613.5795 \text{ gr} \end{aligned}$$

وبما أن الزوايا المقاسة في مضلع المثل، زوايا يسارية نحسب القيمة النظرية لذلک الزوايا بالعلاقة:

$$\sum \beta_r = \alpha_k - \alpha_h + n \cdot 200 \\ = 365.6336 - 352.0601 + 5 \times 200 = 1013.5735$$

نحسب خطأ الإغلاق الزاوي بالعلاقة:

$$f_\beta = \sum \beta_u - \sum \beta_r \quad (6-134) \\ f_\beta = 613.5795 - 1013.5735 = 0.006 \text{ gr}$$

نقارن خطأ الإغلاق الزاوي مع الخطأ المسموح به :

حيث n - عدد الزوايا المقاسة أو عدد رؤوس المضلع: $\Delta = 0.03\sqrt{n}$

$$\Delta = 0.03\sqrt{6} = 0.0671 \text{ gr}$$

نلاحظ أن: $f_\beta > \Delta$ فنوزعه بالتساوي على عدد الزوايا المقاسة، وذلك بعد تغير إشارته.

$$v_1 = \frac{-f_\beta}{5} = -\frac{0.006}{5} = -0.0012 \text{ gr}$$

نكتب قيمة التصحيح هذه، فوق الزوايا المقاسة في العمود رقم (2) من الجدول (6-4) وبحيث يكون مجموع قيم التصحيحات مساوياً لقيمة خطأ الإغلاق الزاوي - ومعاكساً له بالإشارة.

- نكتب قيمة الزاوية المصححة في العمود رقم (3) من الجدول (6-4) والتي تدخل في حساب الزاوية السمتية التي تكتب في العمود رقم (4) من نفس الجدول. وتحسب وفق ما يلي:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + 200 \text{ gr} - \beta_i$$

أ - للزوايا اليمينية
ب - للزوايا اليسارية

فإذا كانت قيمة الزاوية : $\alpha_{ii} > 400$ gr نطرح منها : 400

نحسب الإحداثيات المؤقتة لرؤوس المضلع، وذلك حسب العلاقات

$$\Delta x_i = d_i \sin \alpha_i$$

$$\Delta y_i = d_i \cos \alpha_i$$

ثم نكتبها في العمودين (6,7) من الجدول (6-4) من الجدول

نحسب خطأ الإغلاق على المحورين (x,y) بالعلاقات :

$$fx = \sum \Delta x - (x_k - x_H) \quad (6-135)$$

$$fy = \sum \Delta y - (y_k - y_H) \quad (6-136)$$

$$fx = 301.73 - (301.86) = -0.13 \text{ m}$$

$$fy = -301.73 - 167.45 = -0.12 \text{ m}$$

نحسب خطأ الإغلاق بالعلاقة :

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$f = \sqrt{(0.13)^2 + (0.12)^2} = 0.18 \text{ m}$$

نقارن هذا الخطأ، مع الخطأ المسموح به، فنحسب خطأ الإغلاق النسبي بالعلاقة

$$\frac{f}{\sum d} = \frac{0.18}{819.25} = 0.00022 < 1/3000 \quad \text{ok}$$

حيث : $\sum d$ مجموع أضلاع المسار التيودولي، في مثالنا نعتبر :

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$$

نوزع الخطأ وفق العلاقاتين:

$$v_{yi} = -\frac{f_y}{\sum d} d_i, \quad v_{xi} = -\frac{f_x}{\sum d} d_i$$

ثم نكتب هذه التصحيحات فوق قيم الإحداثيات المؤقتة في العمودين (6,7) من الجدول (6-4).

نحسب الإحداثيات المصححة ونكتبها في العمودين (9,8) من نفس الجدول

نحسب الإحداثيات النهائية ونكتبها في العمودين (11 ، 10) من الجدول (6-4)

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i , \quad y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad \text{بالعلاقات التالية:}$$

مثال (2) :

احسب الإحداثيات المعدلة للنقاط : 2 ، 1 الشكل (6-41) إذا علمت أن إحداثيات نقاط الربط والزوايا الأفقية المقاسة معطاة بالجدول التالي:

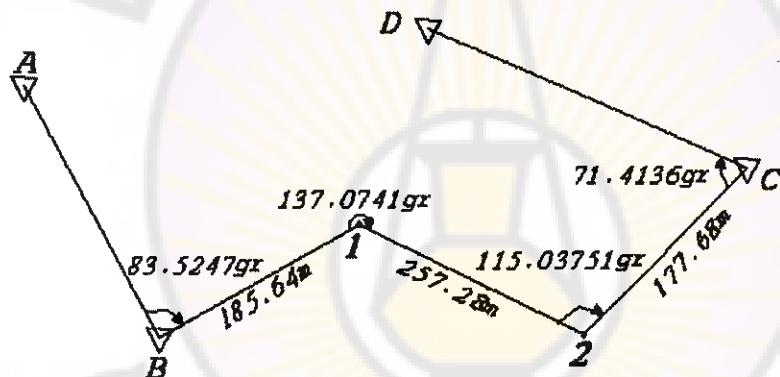
$$A (681.35 , 581.83) , \quad C (562.04 , 829.60)$$

$$B (710.15 , 671.58) , \quad D (562.04 , 829.60)$$

$$\alpha_0 = 83.5247 \text{ gr} , \quad \alpha_1 = 137.0741 \text{ gr}$$

$$\alpha_2 = 115.0375 \text{ gr} , \quad \alpha_3 = 71.4136 \text{ gr}$$

$$(B-1) = 185.64 \text{ m} , \quad (1-2) = 257.28 \text{ m} , \quad (2-C) = 177.68 \text{ m}$$



الشكل (6-41)

الحل :

نحسب سمتى البداية والنهاية :

$$\gamma_A^B = \arctg \left| \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \right| = \arctg \left| \frac{783.29 - 681.35}{499.77 - 581.83} \right|$$

$$= \arctg \left| \frac{101.94}{-87.06} \right| \Rightarrow \gamma_A^B = 55.0018 \text{ gr}$$

وبما أن $\Delta y = -$ ، $\Delta x = +$ فالزاوية في الربع II لهذا نكتب :

$$G_A^B = 200 - \gamma_A^B = 200 - 55.0018 = 144.9982 \text{ gr}$$

$$\gamma_c^D = \arctg \left| \frac{x_D - x_c}{y_D - y_c} \right| = \arctg \left| \frac{710.5 - 562.04}{671.58 - 829.60} \right| = \arctg \left| \frac{148.11}{-158.02} \right|$$

$$\Rightarrow \gamma_c^D = 47.9399 \text{ gr}$$

وبما أن $\Delta y < 0$, $\Delta x > 0$ وهي تقع في الربع الثاني II:

$$G_c^D = 200 - 47.9399 = 152.0601 \text{ gr}$$

ثانياً : حساب السمات التقريرية لأضلاع الصلع
وفق العلاقة (6-118) وذلك لأن الزوايا المقابلة يسارية تكتب :

$$G_i^{i+1} - G_{i-1}^i + \alpha_i - 200 \text{ gr}$$

$$G_B^I = G_A^B + \alpha_0 - 200 = 144.9982 + 83.5247 - 200 = 28.5229 \text{ gr}$$

ولحساب السمات ننظم الجدول (6-5) التالي:

الجدول (6-5)

الاتجاه	الزاوية المقابلة α_i	السمت التقريري G^i	قيمة تصحيح السموت v_z	السمت المصحح أو المعدل
AB	83.5247	144.9982		
B-1	137.0741	28.5229	0.003	28.5259
1-2	115.0375	365.5970	0.003	365.6030
2-C	71.4136	280.6345	0.009	280.6435
C-D		152.0481	0.012	152.0601

ثالثاً - حسب خطأ الإغلاق أو التسكيير على السمات وفق العلاقة (6-120)
التالية

$$f_0 = G_c^D - G_c^D$$

حيث :

G_c^D هو لسمت الاعتباري للاتجاه: C-D المحسوب من الإحداثيات المعطاة.

G^D_c هو السمت الاعتباري للاتجاه: C-D المحسوب من الجدول السابق .

$$f_G = 152.0601 - 152.0481 = 0.0120 \text{ gr} < 0.03\sqrt{n} = 0.06 \text{ ok}$$

رابعاً : نصحح السمات المقاسة، وذلك بتوزيع خطأ الإغلاق على عدد الزوايا وفق العلاقة:

$$v_0 = \frac{f_G}{n} = \frac{0.012}{4} = 0.003 \text{ gr}$$

ثم نكتب قيم التصحيف في الجدول (6-5) السابق.

خامساً : حساب الإحداثيات التقريرية للنقاط، وذلك وفق المعادلات التالية (6-10)

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x, \quad \Delta x = d_{i-1} \sin G_{i-1}^i$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta y, \quad \Delta y = d_{i-1} \cos G_{i-1}^i$$

ونكتب النتائج في الجدول (6-6) التالي:

الجدول (6-6)

النقطة	المسافة d بالمتر	السمت G	$\Delta x = d \sin G$	$\Delta y = d \cos G$	x التقريرية	y التقريرية	النقطة
A					793.29	494.77	A
B	185.64	28.5259	80.43	176.31	863.72	662.08	B
1	257.28	365.6030	-132.34	220.63	731.38	882.71	1
2	177.68	280.6435	-169.53	-53.20	561.85	829.51	2
C							C

سادساً : حسب خطأ الإغلاق أو التسخير على الإحداثيات : (x , y)

$$f_x = x_C - x'_C = 562.04 - 561.85 = 0.19 \text{ m}$$

$$f_y = y_C - y'_C = 829.60 - 829.51 = 0.09 \text{ m}$$

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0.19)^2 + (0.09)^2} = 0.21 \text{ m} < \Delta \text{ ok}$$

سابعاً : نوزع هذا الخطأ على الإحداثيات المحسوبة حسب العلاقة التالية:

$$v_{xi} = \frac{fx}{\sum L} \ell_i , \quad v_{yi} = \frac{fy}{\sum L} \ell_i$$

$$v_{x1} = \frac{0.19}{320.6} \times 185.64 = 0.06$$

$$v_{y1} = \frac{0.09}{620.6} \times 185.64 = 0.03$$

$$v_{y2} = \frac{0.09}{620.6} \times (185.64 + 257.28) = 0.14$$

$$v_{y3} = \frac{0.09}{620.6} \times (185.64 + 257.28) = 0.06$$

ثم نكتب النتائج بالجدول (6-7) التالي:

الجدول (6-7)

النقطة	المسافة المترامية (m)	$v_{xi} = \frac{fx}{\sum L} \ell_i$	$v_{yi} = \frac{fy}{\sum L} \ell_i$	الإحداثيات المؤقتة		الإحداثيات النهائية		النقطة
				x'	y'	x	y	
B	185.64	0.06	0.03	783.29	494.77	783.29	494.77	B
1	442.92	0.14	0.06	863.72	662.08	863.78	662.17	1
2	620.60	0.19	0.09	731.38	882.71	731.52	882.77	2
C				561.85	829.51	562.04	829.60	C

مثال :

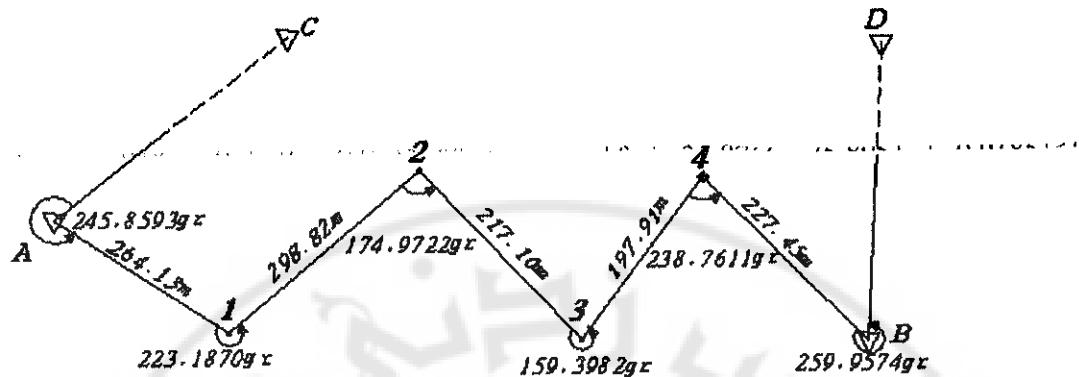
أحسب إحداثيات رؤوس المضلع المفتوح الشكل (6-42) علماً بأن :

إحداثيات بداية ونهاية المضلع $G_{R1}^B = 43.0167 \text{ gr}$ و $G_{A1}^A = 145.1167 \text{ gr}$

هي كما يلي:

$$x_A = 3937.80 \text{ m} , \quad x_B = 503.49 \text{ m}$$

$$y_A = 5412.36 \text{ m} , \quad y_B = 5389.64 \text{ m}$$



(الشكل (6-42)

نحسب :

١- مجموع الزوايا المقاسة وفق المضلع كما يلي:

$$\begin{aligned}\sum \beta_u &= 245.8593 + 223.1870 + 174.9722 + 159.3982 \\ &\quad + 238.7611 \\ &\quad + 259.9574 = 1302.1352 \text{ gr}\end{aligned}$$

٢- نحسب المجموع النظري لزوايا المضلع المفتوح المدروس. وبما أنها زوايا

$$\sum \beta_T = \alpha_H - \alpha_k + n \cdot 200 \quad \text{يمينية فتعطى بالعلاقة التالية:}$$

حيث: α_H سمت البداية . α_k سمت النهاية .

n عدد رؤوس أو زوايا المضلع المدروس.

$$145.1167 - 43.0167 + 6 \times 200 = 1302.1 \text{ gr}$$

٣- نحسب خطأ الإغلاق الزاوي أو السمني بالعلاقة التالية:

$$f_B = \sum B_u - \sum B_T = 1302.1352 - 1302.1 = 0.0352 \text{ gr}$$

٤- نحسب خطأ الإغلاق الزاوي أو السمني المسموح به بالعلاقة التالية:

$$f = 1 \cdot \sqrt{6} = 0.017\sqrt{6} = 0.0416 \text{ gr} > 0.0352 \text{ gr} \quad \text{ok}$$

٥- نوزع أخطاء الإغلاق الزاوي بالتساوي على عدد الزوايا المقاسة وهو هنا

ست زوايا، وذلك بعد تغير إشارة خطأ الإغلاق المحسوب بالفقرة رقم 3 بالعلاقة

6-134) ونسجل النتيجة في الخانة (2) من الجدول (6-8) التالي.

- ٦- نحسب قيمة الزوايا المصححة ونسجلها بالخانة رقم (3) من الجدول (6-8) التالي، حيث إن قيمة الزاوية المصححة يساوي إلى الزاوية المقاسة مضافاً لها قيمة التصحيح.
- ٧- نحسب السمات الاعتبارية للاتجاهات المقاسة ونسجلها في الخانة رقم (4) من نفس الجدول.
- ٨- نسجل المسافات المقاسة لأضلاع المضلعين في الخانة رقم (5) من الجدول (6-8) التالية التالي.
- ٩- نحسب كلاً من Δx ، Δy ونسجلها في الخانتين (7 ، 6) من الجدول (6-8) التالي.

١٠- نحسب مجموع أطوال أضلاع المضلعين ومجموع Δx ، Δy فيكون لدينا:

$$\sum d = 1187.41 \text{ m} , \quad \sum \Delta x = 1125.27 \text{ m} , \quad \sum y = -22.52$$

$$x_k - x_H = 5063.49 - 3937.8 = 1125.69 \text{ m} \quad 11- \text{نحسب} \\ y_k - y_H = 5389.64 - 5412.36 = -22.72 \text{ m}$$

١٢- نحسب خطأ الإغلاق على المحور (x) والمحور (y) حسب ما يلي:

$$fx = \sum \Delta x - (x_k - x_H) = 1125.27 - 1125.69 = -0.42 \text{ m}$$

$$fy = \sum \Delta y - (y_k - y_H) = -22.52 + 22.72 = 0.2 \text{ m}$$

١٣- نحسب خطأ الإغلاق الخطى بال العلاقة:

$$f = \sqrt{f^2 x + f^2 y} = \sqrt{(0.042)^2 + (0.2)^2} = 0.46 \text{ m}$$

١٤- نحسب خطأ الإغلاق الخطى المسموح به

$$\frac{f}{\sum d} = \frac{0.43}{1187} = \frac{1}{2581} < \frac{1}{2000} \text{ ok}$$

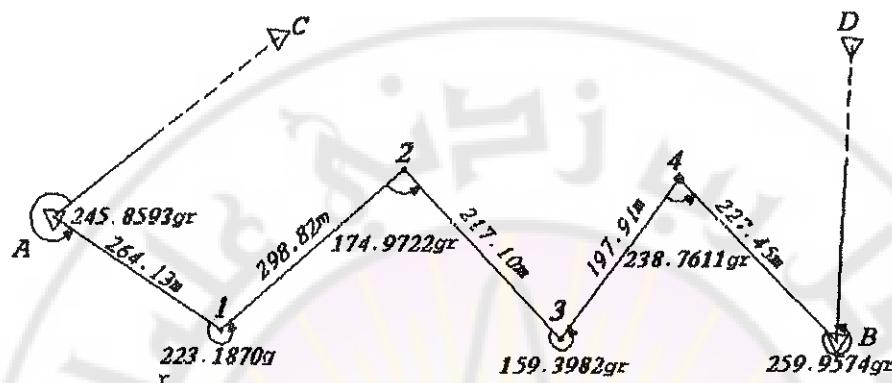
ثم نكتب النتائج السابقة بشكل جدولى لتسهيل عمليات الحساب حسب الجدول (6-8) التالي:

الجدول (6-8)

النقطة		الزاوية المدعاة		زاوية الصوت	المسافة الأفقية	الإحداثيات المورقة (M)		الإحداثيات المورقة (M)		الإحداثيات المورقة (M)	
	المقاسة	المصباح	المصباح	d _i (M)	Δx	Δy	Δx	Δy	x	y	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
A1	-0.0058	145.1167									
A	245.8593	245.8555	99.2632	246.15	+9	-4			3937.8	5412.36	
1	-0.0058	223.1870	223.1812	76.0817	246.11	2.85	246.2	2.81	4184.0	5415.17	
2	-0.0058	174.9663	101.1154	293.82	-10	-5					
2	174.9722	174.9663	101.1154	217.10	277.98	109.65	278.08	109.6	4462.08	5524.77	
3	-0.0059	159.3982	159.3921	141.7233	+8	-4					
3	159.3982	159.3921	141.7233	197.91	217.07	-3.80	217.15	-3.84	4679.23	5520.93	
4	-0.0059	238.7552	102.9681	156.91	+7	-3					
4	238.764	238.7552	102.9681	227.45	120.62	156.98	-120.65				
B	-0.0059	259.9574	259.9515	43.0167	+8	-4					
B1									4836.21	5400.28	
									5063.48	5389.64	

مثال :

احسب إحداثيات رؤوس المضلع المفتوح المبين في الشكل (6-43) إذا علمت أن:



الشكل (6-43)

	X(m)	Y(m)
A	3937.80	5412.36
C	3881.75	7850.44
B	5063.49	5389.64
D	5982.62	6844.18

1- نحسب سمتى البداية والنهاية كما يلى :

$$\begin{aligned}\gamma_C^A &= \arctan \left| \frac{x_A - x_C}{y_A - y_C} \right| = \arctan \left| \frac{3937.80 - 3881.75}{5412.36 - 7850.44} \right| \\ &= \arctan \left| \frac{56.05}{-2438.08} \right| = 1.4633 \text{ gr}\end{aligned}$$

نلاحظ أن $\Delta y < 0$ ، $\Delta x > 0$

فستنتج أن الزاوية واقعة في الربع : II الثاني لهذا نكتب :

$$G_C^A = 200 - \gamma_{A1}^A = 200 - 1.4633 = 198.5367 \text{ gr}$$

ثم نحسب سمت النهاية بنفس الطريقة السابقة نجد :

$$\begin{aligned}\gamma_B^D &= \arctg \left| \frac{x_D - x_B}{y_D - y_B} \right| = \arctg \left| \frac{5982.62 - 5063.49}{6844.18 - 5389.64} \right| \\ &= \arctg \left| \frac{919.13}{1454.54} \right| = 35.8766 \text{ gr}\end{aligned}$$

و بما أن $\Delta y > 0$, $\Delta x > 0$ فالزاوية تقع في الربع : I الأول أي نكتب :

$$G_B^D = \gamma_B^D = 35.8766 \text{ gr}$$

- نحسب السمات التقريرية لأضلاع المضلع.

نلاحظ أن الزوايا المقاسة في المضلع، هي زوايا يمينية، وبالتالي فالسمات التقريرية لأضلاع المضلع تحسب بالعلاقة التالية:

$$G_i^{i+1} = G_{i-1}^i - \alpha_i + 200 \text{ gr}$$

وللنظم الجدول (6-9) التالي:

الجدول (6-9)

الاتجاه	الزاوية المقاسة (α_i) gr	السمات التقريرية (G_i) gr	قيم تصحيح السمات V_0 (gr)	السمات المصححة أو المعدلة
A, A	245.8593	198.5367		
A-1	223.1870	152.6774	-0.0021	152.6743
1-2	174.9722	129.4904	-0.0062	129.4878
2-3	159.3982	154.5182	-0.0093	154.5089
3-4	238.761	195.1200	-0.0124	195.1076
4-B	320.4638	156.3589	-0.0155	156.3434
B-B1		35.8951	-0.0185	35.8766

- نحسب خط الإغلاق أو التكبير على السمات بالعلاقة التالية:

$$f_G = G_B^D - G_A^D$$

حيث :

G_B^D هو سمت الإغلاق الاعتباري للاتجاه: DB المحسوب من الإحداثيات.

G_B^D هو سمت الإغلاق الاعتباري للاتجاه: BD المحسوب من الجدول السابق.

$$|f_0| = 35.8766 - 35.8951 = -0.0185 < 0.03\sqrt{6} = 0.0735 \text{ ok}$$

٤- تصحیح المسوفة المقاسة. وذلك بتوزیع خطأ الإغلاق على عدد الزوايا المقاسة وفق العلاقة التالية:

$$v_0 = \frac{f_0}{n} = \frac{-0.0185}{6} = -0.0031$$

تم نکتب قيم التصحیح هذه في الجدول (6-9) السابق

٥- حساب الإحداثيات التقریبیة للنقاط، وذلك وفق المعادلات التالیة:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x \quad , \quad \Delta x = d_{i-1}^i \sin G_{i-1}^i$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta y \quad , \quad \Delta y = d_{i-1}^i \cos G_{i-1}^i$$

تم تنظم الجدول (6-10) التالی:

جدول (6-10)

النقطة	المسافة المقاسة (m)	السمت المعدل (gr)	$\Delta x = d \sin G$ (m)	$\Delta y = d \cos G$ (m)	(x) التقریبیة (m)	(y) التقریبیة (m)
C						
A	264.13	152.6743	178.76	-194.45	3937.80	5412.36
1	298.82	129.4878	267.33	-133.51	4116.56	5217.90
2	217.10	154.5089	142.26	-163.99	4383.89	5084.40
3	197.91	195.1076	15.19	-197.32	4526.15	4920.41
4	227.45	156.3434	144.03	-176.03	4541.34	4723.09
5					4685.37	4547.06
B						
D						

٦- نحسب خطأ الإغلاق أو التسخير على الإحداثيات : (x,y)

$$f_x = x_B - x'_B = 5063.49 - 4685.37 = 3783.12 \text{ m}$$

$$f_y = y_B - y'_B = 5389.64 - 4547.06 = 842.58 \text{ m}$$

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(3783.12)^2 + (842.58)^2} = 3923.53 \text{ m} > \Delta s$$

وبالتالي فالقياسات غير صحيحة.

الفصل السابع
قياس المساهمات



١-٧ - اعتبارات عامة وتعريف :

نسمى قياس مساحة ما، كل العمليات المساحية التي من خلالها يتم تقدير مساحة قطعة ما من الأرض، وهذه العمليات إما أن تجري مباشرة على الطبيعة، أي دون رسم مخطط لقطعة الأرض المعتبرة، ومن ثم تقوم بحساب مساحة قطعة الأرض تلك على المخطط، إن قياس مساحة قطعة من الأرض مباشرة وذلك بدون رسم مخطط لها، يعتمد على تبديل أو بالاستعاضة عن الشكل المراد معرفة مساحته بشكل آخر يكون أسهل وذو مساحة مكافئة، أو بأن يتم تقسيم الشكل المراد حساب مساحته إلى مجموعة من الأشكال البسيطة كالمتوازيات، مستويات، أشباه منحرفة. يسهل تعريف مساحتها. أما عند حساب المساحات من المخططات فلدينا الطرق التالية:

- ١- الطريقة التخطيطية.
- ٢- الطريقة التحليلية.
- ٣- الطريقة الميكانيكية.

وبشكل عام نستخدم لحساب مساحات المقاس والارضي سواء بالطريقة المباشرة أي على الطبيعة ودون استخدام مخطط أو عن طريق رسم مخطط للأرض المطلوب حساب مساحتها، نستخدم الطرق المساحية السهلة: كطريقة المتر أو طريقة الاستقامتات، أو طريقة الاستقامتات مع الفاصلة والترتيب. هذا ونعني بمساحة قطعة ما من الأرض، بالمساحة الأفقية لتلك القطعة. فالقياسات المستوية التي تجري هي قياسات للمسافات الأفقية، وقياس للزوايا الأفقية.

٤-٧ - طرق حساب المساحات:

* طرق حساب المساحات دون رسم مخطط (الطريقة المباشرة)

لحساب مساحة قطعة ما من الأرض، دون رسم مخطط لثلث القطعة أي

بالطريقة المباشرة، فإننا سنميز بين الحالتين التاليتين:

أ- قطعة الأرض محددة ب المستقيمات.

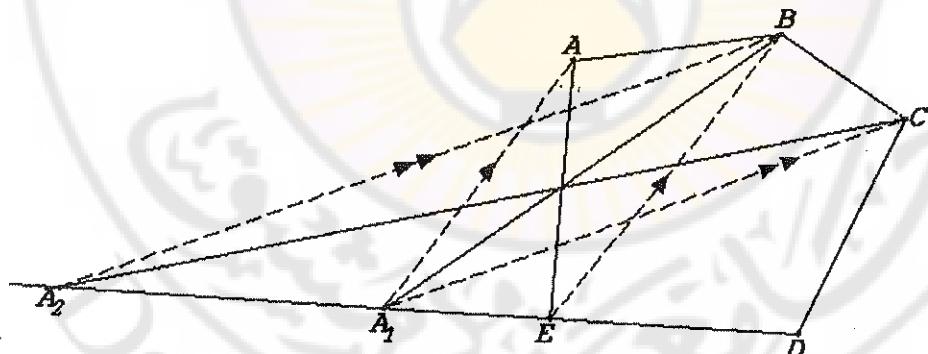
ب- قطعة الأرض محددة ب منحنيات.

أ- قطعة الأرض محددة بالمستقيمات:

وبالتالي وحسب شروط وطبيعة الأرض، ومدى سهولة إجراء القياسات المساحية عليها، نميز الطرق التالية:

١- طريقة المساحات المتكافئة: حسب الشكل (7-1) المبين لتكن لدينا قطعة الأرض المحددة بالمُضلع المغلق: ABCDE، من النقطة A على الطبيعة، ننشئ الاستقامة الموازية للاستقامة: BE، فيقطع هذا الموازي الضلع DE في النقطة

.A₁



الشكل (7-1)

كما هو مبين على الشكل (7-1) أي $A_1BE \parallel BE$ ، $A_1BE \sim ABE$ ، إن المثلثين: مثلثان متكافئان. وبالتالي نستطيع أن نستعيض أن نستعيض بالمُضلع ABCDE بالشكل الرباعي A_1BCD . ثم من النقطة B ننشئ الاستقامة الموازية للاستقامة CA_1

حسب الشكل (7-1) السابق، فنقطاع هذه المستقيمة مع الضلع: ED في النقطة A₂. وبهذا نحصل على المثلثين: A₁A₂C , A₁BC عن الشكل الرباعي A₁BCD المكافئ للشكل الخماسي ABCDE بالمثلث A₂CD الذي يكفيه. وبالتالي لحساب مساحة هذا الشكل يكفي أن نقيس القاعدة A₂D. ثم ننزل عمود من النقطة C على تلك القاعدة - المستقيمة : A₂D. ثم نقوم بقياس طول هذا العمود. لحساب مساحة قطعة الأرض. إن الموازيين على الطبيعة، يتم بإقامة عمودين متساوين في الطول على المستقيمة المراد إنشاء مستقيمة موازية لها. كما وأن عملية إنشاء الأعمدة والنقطات تتم باستخدام جهاز الموشور أو المثلث الضوئي.

٢ - طريقة المثلث : في هذه الطريقة، يتم تقسيم قطعة الأرض المبينة في الشكل (7-2) مثلاً، أي المضلع ABCDE إلى مجموعة من المثلثات. ثم يتم حساب مساحة كل مثلث من المثلثات، بقياس أطوال أضلاعه الثلاثة. وذلك بتطبيق العلاقة التالية:

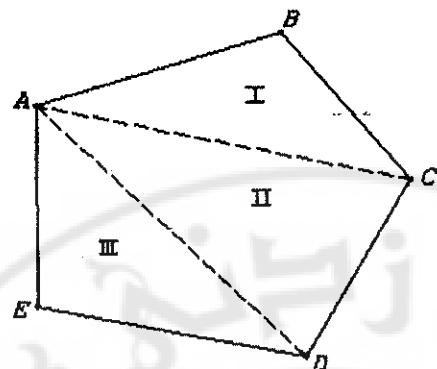
$$S_i = \sqrt{P_i(P_i - a_i)(P_i - b_i)(P_i - C_i)} \quad (7-1)$$

حيث :

S_i - مساحة المثلث.

P_i - نصف محيط المثلث .

a_i , b_i , c_i - أطوال أضلاع المثلث.



الشكل (7-2)

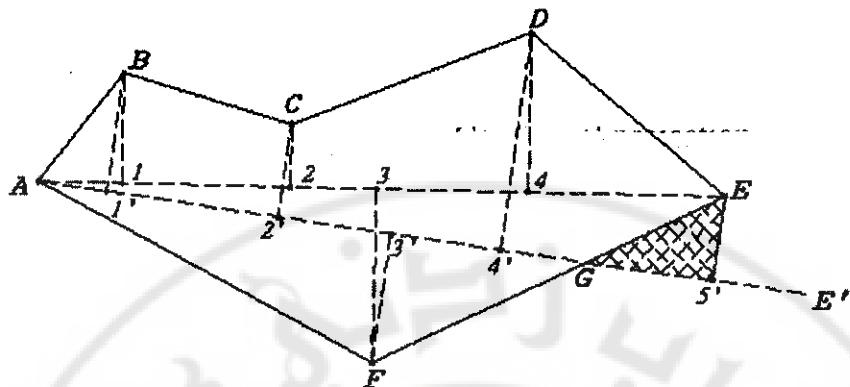
وبالتالي فللحصول على مساحة قطعة الأرض. نجمع مساحات المثلثات المتشكّلة
أي :

$$S = S_I + S_{II} + S_{III}$$

في هذه الطريقة لحتاج فقط إلى : شريط قياس + شواخص أو غالونات.

٣ - طريقة الدليل: في هذه الطريقة، نعتمد على استقامة قطر ما، في المضلع
المراد قياس أو حساب مساحته، نسمى هذا القطر بالدليل. ثم من كل ذروة أو
رأس من رؤوس المضلع، تنزل على الدليل مجموعة من الأعمدة. ونذلك
بواسطة الموشور أو المثلث الضوئي. ونتيجة ذلك، تكون قد قمنا بتقسيم المضلع
إلى مجموعة من المثلثات القائمة، أو أشباه المنحرفات القائمة، كما هو مبين في

الشكل (7-3) .



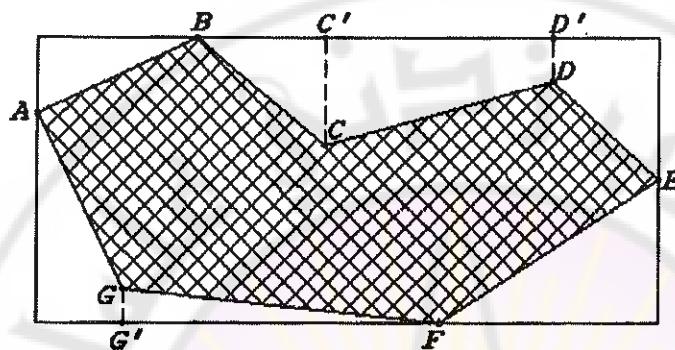
الشكل (7-3)

وبالتالي لحساب مساحة الشكل يكفي أن نقوم بقياس العناصر اللازمة لحساب المساحة، وفي بعض الأحيان قد لا تسمح طبيعة الأرض المطلوب قياس مساحتها باعتماد أحد أقطارها كدليل. عندها يمكننا تطبيق الطريقة السابقة باعتماد دليل ما، بحيث يمر من أحد رؤوس المضلع، إلا أنه في هذه الحالة، قد تنشأ لدينا مساحات سالبة، أي مساحات يجب حذفها من المساحة الكلية المحسوبة. كمساحة المثلث $GE5$ ، في الشكل (7-3) السابق. فبعد حساب المساحات الكلية، نقوم بحذف مساحة المثلث الزائد من المساحة الكلية،

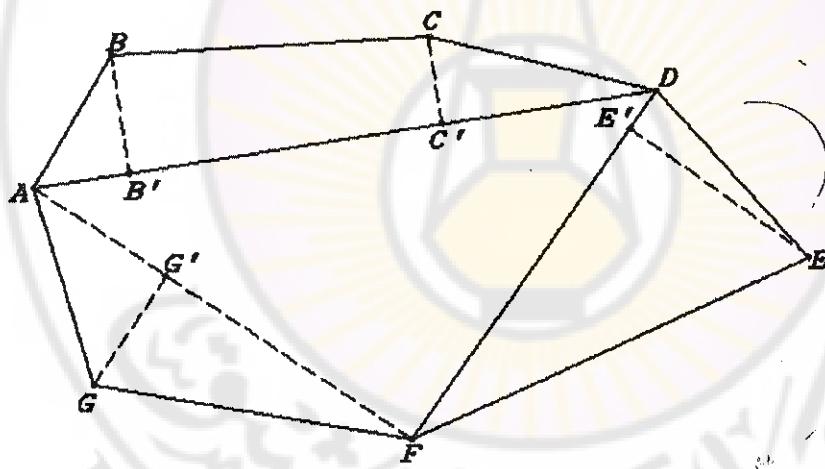
٤ - طريقة الشكل المرسوم داخل أو خارج المضلع: يمكننا أن نحسب مساحة مضلع ما، وذلك بأن نرسم داخله أو خارجه، شكلاً هندسياً بسيطاً "مثلث، مربع، مستطيل" كما هو مبين على الشكلين (7-4) ، (7-5) .

ثم نقوم بإجراء القياسات اللازمة، لحساب مساحة الشكل أو المضلع المطلوب، حيث تعتبر أضلاع هذا الشكل ألة تنزل عليها أعمدة من رؤوس المضلع. ثم تقوم بقياس العناصر اللازمة، لحساب المثلثات. والأشبه منحرفة المتشكلة

وبإضافة هذه المساحات إلى مساحة الشكل المرسوم. داخل المضلع. أو بطرحها من الشكل المرسوم خارج المضلع نحصل على مساحة قطعة الأرض المطلوبة.



الشكل (7-4)



الشكل (7-5)

بـ- بعض أشكال حقول الأرض منحنيات :

في هذه الحالة، يتم حساب مساحة المضلع المتشكل من وصل مختلف الذروات، بخطوط مستقيمة، وذلك بتطبيق إحدى الطرق السابقة الذكر. ثم نضيف أو

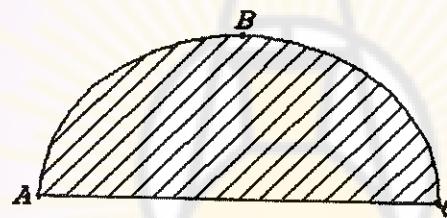
نطرح، من مساحة هذا المضلع المدروس، مساحات الأقسام المنحنيّة التي يتم حسابها بإحدى الطرق التالية:

١ - طريقة القطع المكافئ:

ليكن السطح ABC المحصور بين المنحني \hat{ABC} والوتر: AC كما هو مبين على الشكل (7-6). نستطيع أن نشبه هذا المنحني بقطع مكافئ، عندما تكون مساحته متساوية إلى ثلثي مساحة المستطيل المرسوم على هذا المنحني. أي بالعلاقة (7-2) التالية:

$$S = \frac{2}{3}(AC \cdot BB') \quad (7-2)$$

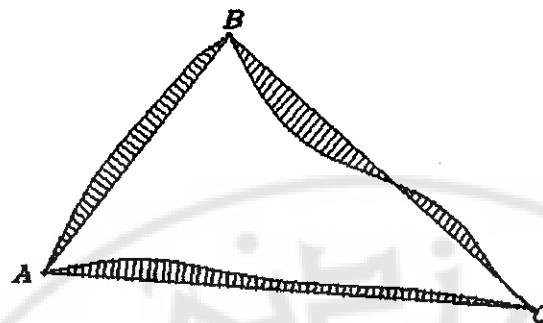
لهذا يكفي أن نقيس المسافة AC وطول العمود BB' المنشأ في منتصف الوتر كما في الشكل (7-6).



الشكل (7-6)

٢ - طريقة الدلائل:

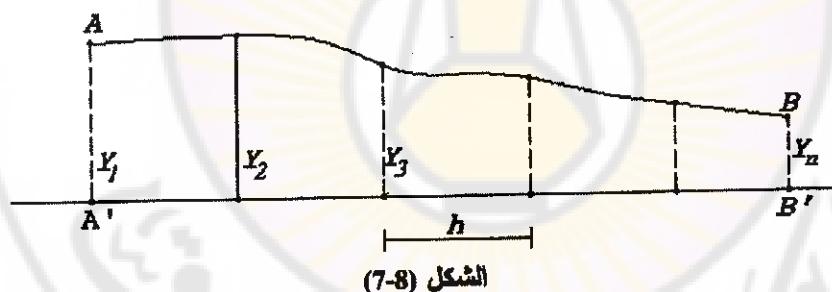
في هذه الطريقة نعتبر عدداً من الاستقامتين، كما هو مبين على الشكل (7-7). ثم ننزل من النقاط الواقعية على المنحنيات أعمدة على تلك الاستقامتين. إن اختيار النقاط على المنحنيات، يتم بحيث تستطيع إلباب القوس بين كل نقطتين متناظرتين بقطعة مستقيمة. عندما يمكننا حساب المساحات بين المنحنيات والأوتار بتطبيق طريقة القطع المكافئ الواردة أعلاه.



الشكل (7-7)

٣- طريقة الأعمدة متسلية البعد:

عندما يكون عدد الأعمدة الواجب إقامتها في الطريقة السابقة "طريقة الدلائل" كبيراً جداً، يفضل عندها، أن تنشئ تلك الأعمدة، على مسافات متسلية بعضها من بعض، كما هو مبين على الشكل (7-8) .



الشكل (7-8)

وذلك من أجل تطبيق مجموعة من العلاقات الرياضية المعروفة.
فمثلاً لتعيين المساحة $ABA'B'$ المحددة بين المنحني AB والاستقامة $A'B'$ كما هو مبين على الشكل (7-8). ننزل أعمدة متسلية البعد (h) من نقاط المنحني على الاستقامة AB ثم نقوم بقياس أطوال تلك الأعمدة، ولتكن

(y_1, y_2, \dots, y_n). يتم إنجاز هذا العمل باستخدام شريط قياس ومثلث أو موشور ضوئي وشواخص.

تمكننا هذه المعطيات من حساب مساحة القطعة 'ABA' وذلك من قانون أشباه المنحرفة (7-3) التالي:

$$S = h \left(\frac{y_0 + y_n}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_{n-1} \right) \quad (7-3)$$

وفي حال كان n عدداً زوجياً عندها يمكننا أن نطبق قانون سيمسون (7-4) في الرياضيات العددية التالي:

$$S = \frac{h}{3} [(y_0 + y_n) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1})] \quad (7-4)$$

٣-٧ - حساب المساحات على الخرائط :

قد لا نستطيع إجراء العمليات والقياسات السابقة، لحساب المساحات، وذلك بسبب طبيعة الأرض، فعندها نلجأ أولاً لوضع أو رسم مخطط لقطعة الأرض المطلوب حساب مساحتها، وذلك بأخذ كافة القياسات، التي تمكننا من ذلك. أو أن يكون الشكل المطلوب معرفة أو حساب مساحته، قد سبق وأن رسم على المخطط. وفي كافة الحالات، فإننا نحسب المساحات على المخططات وذلك باتباع إحدى الطرق التالية:

١- الطريقة التخطيطية:

إن المخطط يسمح لنا بحساب المساحات، بنفس الطرق السابقة، وذلك بعد أخذ كافة العناصر الضرورية اللازمة للحسابات تخطيطياً. وبشكل خاص تتبع طريقة تقسيم السطح المطلوب حساب مساحته إلى مجموعة من الأشكال الهندسية البسيطة " مثلثات، أشباه منحرفة، مربعات، مستويات... إلخ" أو طريقة

المساحات المتكافئة، كما وأن دقة الطريقة التخطيطية، تتعلق بمقاييس المخطط، ودقة الرسم.

٢ - طريقة اللوحة:

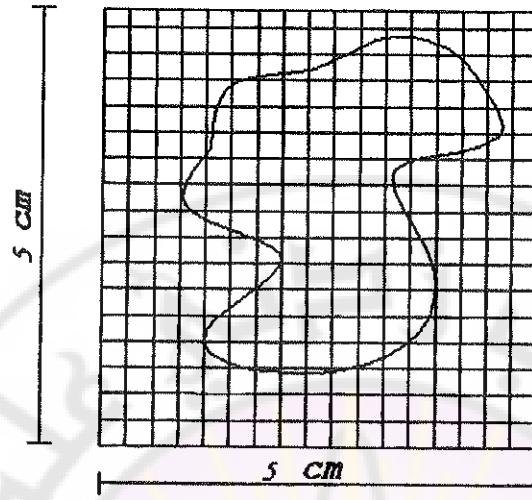
إذا كان شكل قطعة الأرض المطلوب حساب مساحتها، عبارة عن منحني غير نظامي، فإنه من المستحيل تقسيمه إلى أشكال هندسية بسيطة. وبالتالي تم اقتراح طريقة اللوحة هذه، لإيجاد مساحة قطعة أرض ما مهما كان شكلها الهندسي. وهي أي طريقة اللوحة طريقة سهلة وسريعة.

وبالتالي فاللوحة عبارة عن قطعة من الكالك مربعة الشكل أبعادها: $(5 \times 5) \text{ cm}$ أو $(10 \times 10) \text{ cm}$ يتم تقسيم هذه اللوحة إلى مربعات صغيرة أبعادها $(1 \times 1) \text{ cm}$ أو $(2 \times 2) \text{ cm}$ كما هو مبين على الشكل (7-9). بعد تجهيز اللوحة، نقوم بوضعها على الشكل المطلوب أو المراد حساب مساحته. ثم نقوم بعد أو إحسان عدد المربعات الصغيرة الصحيحة. أما أجزاء المربعات، فيتم جبرها إلى: $(\frac{1}{4})$ أو $(\frac{1}{2})$ أو $(\frac{3}{4})$. وبعد الحصول على العدد الكلي للمربعات. نقوم بضربه

$$S = n \cdot PM^2 \quad (7-5)$$

حیث:

- العدد الكلي للمربعات المحصورة داخل قطعة الأرض.
 - المساحة التي يعبر عنها كل مربع صغير.
 - مقياس المخطط.



(الشكل 7-9)

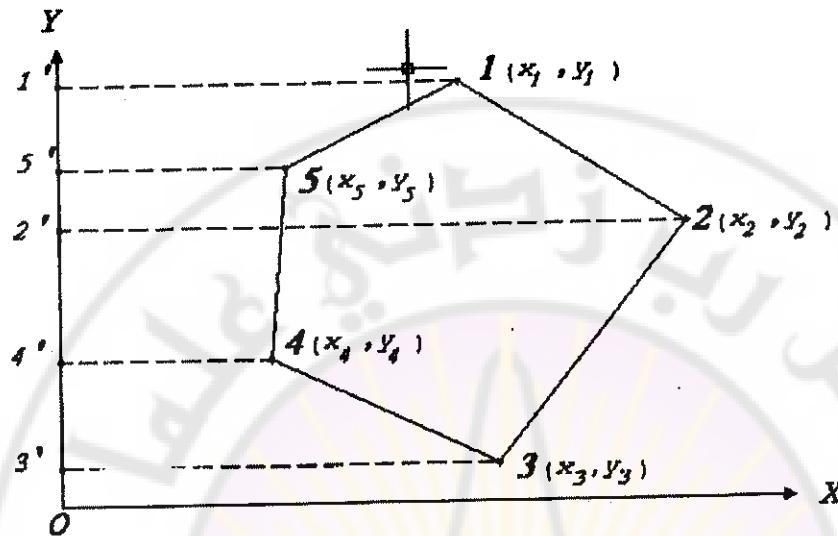
في هذه الطريقة، تكرر عملية القياس مرتين. بحيث إن الفرق بين نتائج عملية الحساب أو القياس في المرتين يجب ألا تتجاوز : (1/50). ففي حال تحقق الشرط السابق. عندها يؤخذ الوسطي بين نتائج عملية القياسين، حيث يعتبر هذا الوسطي هو المساحة الحقيقة لقطعة الأرض المطلوبة.

٣ - الطريقة التحليلية:

لنعترض المضلع المغلق في الشكل (7-10) (1,2,3,...5) ولنفترض أننا نعلم قيم الإحداثيات الديكارتية "المتعامدة" (x,y) لرؤوس أو ذروات هذا المضلع. نسقط هذا المضلع، إسقاطاً عامودياً على المحور (oy) وباعتبار S هي مساحة هذا المضلع.

يمكننا أن نكتب العلاقة (7-6) وذلك وفقاً للشكل (7-10).

$$2S = (y_1 - y_2)(x_1 + x_2) + (y_2 - y_3)(x_2 + x_3) \\ - (y_4 - y_3)(x_3 + x_4) - (y_5 - y_4)(x_4 + x_5) \\ - (y_1 - y_5)(x_1 + x_5) \quad (7-6)$$



الشكل (7-10)

وبالتالي وبعد عملية الإصلاح نحصل على العلاقة (7-7) التالية:

$$2S = (y_1 - y_2)(x_1 + x_2) + (y_2 - y_3)(x_2 + x_3) \\ + (y_3 - y_4)(x_3 + x_4) + (y_4 - y_5)(x_4 + x_5) \\ + (y_5 - y_1)(x_1 + x_5) \quad (7-6)$$

ومن أجل مضلع، عدد أضلاعه أو ذرواته (n) ذروة. نكتب العلاقة (7-7) السابقة بالشكل (7-8) التالي:

$$2S = \sum (y_p - y_{p+1})(x_p - x_{p+1}) \quad (7-8)$$

حيث p ، $p+1$ هي أرقام رؤوس أو ذروات المضلع المدروس، والتي نلاقيها على التتابع الشكل (7-10) عند الدوران باتجاه ما محدد. وذلك اعتباراً من ذروة ما محددة أيضاً.

وفي حال تم إسقاط المضلع المطلوب حساب مساحته على المحور (ox) عوضاً عن المحور (oy) يصبح العلاقة (7-8) السابقة الشكل (7-9) التالي :

$$2S = - \sum (x_p - x_{p+1})(y_p + y_{p+1}) \quad (7-9)$$

إن العلاقات (7-8) ، (7-9) السابقتين تعطيان قيمتين متساوين للمسافة S . وذلك إذا كانت الحسابات خالية من الأخطاء. وبالتالي فلدينا تحقيق غير مباشر للعمليات الحسابية.

كما ويمكننا أن نعبر عن العلاقات السابقتين، لحساب مساحة قطعة أرض ما بالطريقة التحليلية بالشكل التالي وذلك بفك الأقواس فنجد

$$2S = y_1(x_2 - x_5) + y_2(x_3 - x_1) + y_3(x_4 - x_2) + \\ y_4(x_5 - x_3) + y_5(x_1 - x_4)$$

فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$2S = \sum y_p(x_{p+1} - x_{p-1}) \quad (7-10)$$

أو

$$2S = - \sum x_p(y_{p+1} - y_{p-1}) \quad (7-11)$$

٧-٤- أمثلة :

مثال (1) :

احسب مساحة قطعة الأرض، ذات الشكل الخماسي المبينة على الشكل (7-10)

إذا علمت أن إحداثيات رؤوس المضلع هي كما في الجدول (7-1) التالي:

$$2S = \sum y_p(x_{p+1} - x_{p-1}) \quad 2S = - \sum x_p(y_{p+1} - y_{p-1})$$

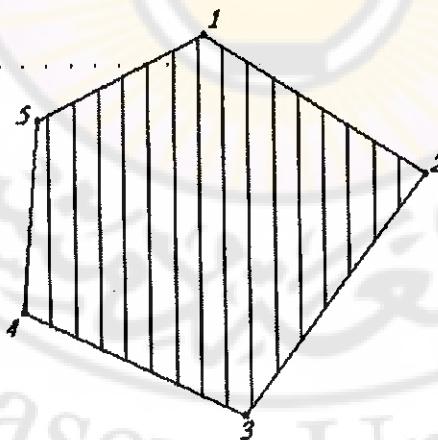
الجدول (7-1)

رقم للنقطة	x_i	y_i	$x_{i+1}-x_i$	$y_{i+1}-y_i$	$x_i(y_{i+1}-y_i)$	$y_i(x_{i+1}-x_i)$
1	46.7	-227.1	-237.1	-209.2	-9769.64	53875.41
2	-98.6	-101.2	-309.8	153.1	-15095.66	31351.76
3	-263.1	-74.0	6.6	270.4	-71142.24	-488.4
4	-92.0	169.2	401.6	182	16744	67950.723
5	138.5	108	138.7	-396.3	-54887.55	14979.6
Σ		-	0	0	-167639.09	167639.09

أي أن $2S = 167639.09 \Rightarrow S = 3819.545 \text{ m}^2$
 $S = 8.38 \text{ He}$

مثال (2)

احسب مساحة المضلع المبين بالشكل (7-11) وذلك بالطريقة التحليلية وفق المعطيات المبينة على الجدول (7-2)



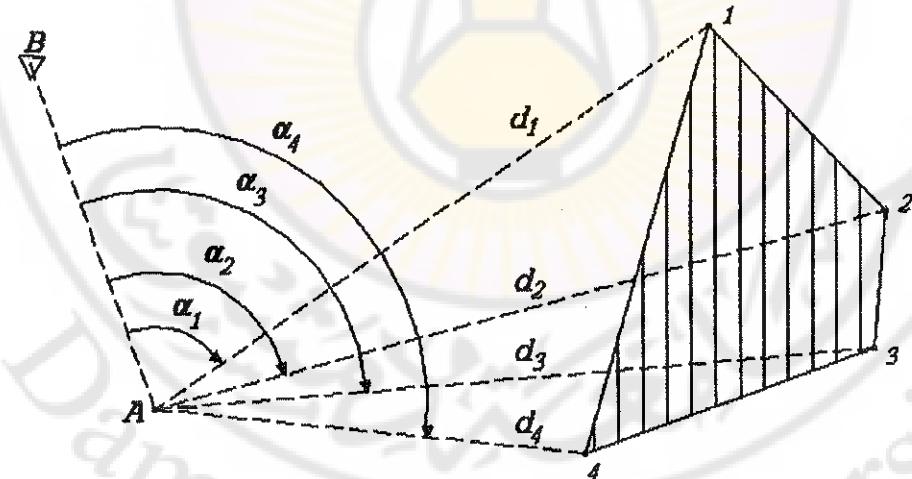
الشكل (7-11)

(7-2) الجدول

رقم النقطة	x_i	y_i	$x_{i+1}-x_{i-1}$	$y_{i+1}-y_{i-1}$	$x_i(y_{i+1}-y_{i-1})$	$y_i(x_{i+1}-x_{i-1})$
1	412.65	498.73	-114.73	310.83	128264	-57219.293
2	526.17	695.64	322.59	239.74	126144	224406.51
3	735.24	738.47	315.35	-123.78	-91008.007	232876.51
4	841.52	571.86	-94.34	-353.66	-297611.96	-53949.272
5	640.90	384.81	-428.87	-73.3	-46869.017	-165033.46
Σ			0	0	181080.98	181080.98

$$2S = 181080.98 \Rightarrow S = 90540.49 \text{ m}^2 = 9.05 \text{ He}$$

أما في حال معرفتنا للإحداثيات القطبية للمضلع المطلوب حساب مساحته، عندها وكما هو مبين على الشكل (7-12) أدناه :



الشكل (7-12)

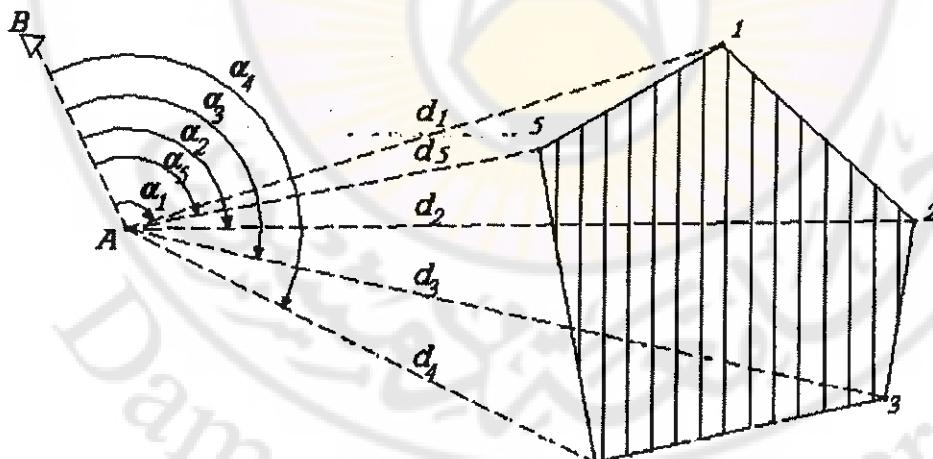
لهذا من نقطة ما (A) نقوم بتجهيز الجهاز إلى نقطة أخرى ولتكن النقطة (B). ثم نقوم بتصغير الجهاز لو أخذ قراءة الأليدات على الاتجاه (AB)، ثم نقوم بقياس

الاتجاهات: A-1 , A-2 , A-4 أي نقيس الزوايا : $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots, \alpha_n$ المبينة على الشكل (7-12) وذلك باتجاه دوران عقارب الساعة ثم نقيس المسافات الأفقية الفاصلة، بين رؤوس المضلع المطلوب أو المراد حساب مساحته، ونقطة تمركز الجهاز المستخدم. وبالتالي وكما هو مبين على الشكل (7-12) نحصل على القيم: $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$. وبالتالي نحصل على العلاقة العامة، التي تعطينا مساحة مضلعاً ما. وذلك بمعرفتنا لاحاتياته القطبية وهي العلاقة (7-12) التالية:

$$2S = \sum_{i=1}^{n-1} d_i d_{i+1} \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \quad (7-12)$$

مثال (3):

ليكن لدينا المضلع المبين على الشكل (7-13) التالي، ولتكن لدينا المعطيات التالية الجدول (7-3).



الشكل (7-13)

الجدول (7-3)

رقم النقطة	α (gr)	d (m)
1	45.76	106.30
2	57.91	114.0
3	65.59	116.60
4	70.48	89.40
5	50.0	84.90

والمطلوب:

احسب مساحة العقار المحدد بالضلع المبين بالشكل (7-13) وذلك بدلالة الإحداثيات القطبية.

لحساب مساحة العقار السابق بطريقة الإحداثيات القطبية، ننظم جدولأً (7-4) كما يلي :

الجدول (7-4)

رقم النقطة	α_i (gr)	d_i (m)	$\alpha_{i+1} - \alpha_i$	$d_i \cdot d_{i+1}$	$2S$
1	45.76	106.30	12.15	12118.2	2298.76
2	57.91	114.00	7.68	13292.4	1599.67
3	65.59	116.60	4.89	10424.04	799.6
4	70.48	89.40	-20.48	7590.0	-2399.8
5	50.00	84.90	4.24	9024.87	-600.6
1	45.76	106.30	0		1697.93
Σ					

$$\Rightarrow S = 848.96 \text{ m}^2$$

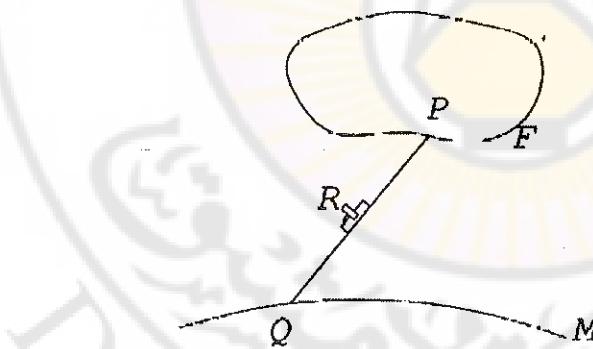
٤ - الطريقة الميكانيكية:

نستخدم في هذه الطريقة، جهازاً نسميه بالبلانيمتر Planometre، وهو جهاز يسمح لنا بتعيين أو حساب مساحة شكل ما مرسوم على مخطط بطريقة ميكانيكية.

ويتألف البلانيمتر من قسمين رئيسيين كما هو مبين على الشكل (7-14)

١- ذراع QP ذروته P تحمل محوراً صغيراً مدبباً عمودياً على الذراع يسمى بالمرسام، وبتحريك هذا الذراع QP يمكن للمرسام رسم محيط الشكل المراد معرفة مساحته، وأثناء حركته تكون الذروة Q مقيدة برسم منحن: QM يسمى الدليل.

يمكن نظرياً، اتخاذ أي منحني كان كدليل ولكنه عملياً يكون إما دائرة، وفي هذه الحالة يسمى بالبلانيمتر القطبي، أو مستقيماً وعندما، يطلق عليه اسم البلانيمترقطبي.



الشكل (7-14)

٢- دوّلاب R محوره يوازي الذراع: QP، ويمكنه الحركة بسهولة حول هذا المحور، وهناك عدد يسجل عدد الدورات وأجزاء الدورات، لهذا الدوّلاب،

فيعطي المجموع الجبري للدوران حيث دوران الدوّلاب نتيجة لتحريك الزراع

.QP

لنعتبر F شكلاً مرسوماً على مخطط كما هو مبين في الشكل (7-14) يراد معرفة مساحته، لذلك نضع المرسام على نقطة ما من محيط هذا الشكل. ثم نحرك هذا الزراع QP بطريقة نرسم فيها بالمرسام محيط الشكل F . في حركة المرسام هذه تتحرك النقطة Q على الدليل، ويدور الدوّلاب. وينزلق ويسجل العداد المجموع الجيري لدوراته. ويرهن أن عدد هذه الدورات مضروباً بعدد ثابت يعطي مساحة الشكل F . يسمى البلانيت قطبياً، عندما يكون دليله دائرة، ويتألف من زراعين OQ , QP متصلين بمفصل في النقطة Q كما هو مبين في الشكل (7-14). نسمي الزراع QP بالزراع المحركة، وهي تحمل مرساماً في النقطة P . وهو عبارة عن محور مدبب عمودي على الزراع. تتبع به محيط الشكل F المراد تعين مساحته ونسمي الزراع OQ بالزراع القطبية. تسمى النقطة O بالقطب. وثبتت هذه النقطة على المخطط قبل تحريك المرسام على محيط الشكل F . ونرى أنه بثبيت النقطة O ، وتحريك المرسام لتنبع محيط الشكل ترسم النقطة Q دائرة.

نختار القطب عادة، في نقطة خارجة عن الشكل المطلوب قياس مساحته، ثم نحكم الطول L حسب مقياس الرسم، وذلك حسب تعليمات الجهاز، ومن ثم نضع المرسام على نقطة مميزة من محيط الشكل، ثم نجري القراءة الأولى على العداد. نحرك بعد ذلك المرسام بدقة على محيط الشكل، إلى أن نعود إلى نقطة الانطلاق بالضبط. عندها نجري القراءة الثانية.

إن فرق القرائتين مضروباً بالثابت المنصوص عليه في تعليمات الجهاز. تعطينا مساحة الشكل، وللحاق من صحة النتيجة، نعيد العمل بالاتجاه المعاكس. فنحصل على نتيجة ثانية. فنعتبر متوسطة النتيجتين إذا كان الفرق بينهما مقبولاً.

نسمى البالانيمتر خطياً، عندما يكون دليله مستقيماً، وفي هذه الحالة تكون الدراج المحركة QP متصلة في النقطة Q بعربة صغيرة يمكنها الانزلاق على خط مستقيم

وكما هو في حالة البالانيمتر القطبي، تحمل الدراج المحركة دولاًباً وعداداً.

إن طريقة القياس في البالانيمتر الخطى، هي نفس طريقة القياس في البالانيمتر العددي القطبى هذا وقد صمم حديثاً أنواع من أجهزة البالانيمتر فمنها ما هو متصل بطابعة وبآلة حاسبة. كما ويمكننا بواسطته تخزين المساحة عدداً من المرات ثمأخذ المتوسط لهذه المساحات.

كما يمكن اختيار واحدة القياس المرغوبة (النظام المتري، أو النظام الإنكليزي).

إن دقة النتيجة المعطاة في جهاز البالانيمتر، تعتمد على عدة عوامل ذكر منها:

- ١- استواء السطوح التي تتم عليها عملية القياس.
- ٢- عنابة الشخص الذي يقوم بالقياس في تتبعه لمحيط الشكل المقاس.
- ٣- كبر المساحة المراد تعينها أو حسابها.

المصطلحات العلمية

A

Absolute location	موقع المطلق
Accuracy	الصّحة
Adjustment	أرصاد التعديل
Adjustment of triangulation network	تعديل شبكة المثلثات
Air temperature	حرارة الهواء
Alignment curve	المنحني التخطيطي
Altitude	ارتفاع
Altitude of the celestial pole	ارتفاع القطب السماوي
Ancient civilization charts	خرائط الحضارات القديمة
Ancient Egyptian maps	الخرائط المصرية القديمة
Antenna phase center	مركز الطور الكهربائي في الهوائي
Anti-Spoofing A-S	ضد التشويش
Aphelion	أوج الكوكب
Area	مساحة
Astronomical latitude	زاوية العرض الفلكية
Astronomical longitude	زاوية الطول الفلكية
Astronomical triangle	المثلث الفلكي
Atmospheric pressure	ضغط جوي

Atomic clock	ساعة ذرية
Average end area	مساحة القاعدتين
Average haul distance	مسافة النقل المتوسطة
Azimuthal or zenithal projection	إسقاط سمتى
Aztec maps	خرائط الأزتك
B	
Babylonian maps	الخرائط البابلية
Balancing line	خط توازن
Base line	خط القاعدة
Beacons	علامات
Block system	نظام البلوکات
Borrow	استعارة
Braced quadrilateral	رباعي مرصود القطرین
Broadcast	بيث
Bubble	فقاعة
Bulking and shrinkage factor	عامل الانتفاخ والانكماش
C	
Calculation	حساب
Carrier wave	موجة حاملة
Celestial axis	محور السماوي

Celestial equator	دائرة الاستواء السماوي
Celestial horizon	دائرة الأفق السماوي
Celestial meridian	دائرة الزوال السماوي
Celestial poles	الأقطاب السماوية
Celestial sphere	كرة السماوية
Center line	خط المركز
Central- point figure	شكل ذو النقطة المركزية
Chain	سلسلة
Check	تحقيق
Chinese maps	الخرائط الصينية
Chronometer	الميقاتية
Circular curve	منحنى دائري
Class	صنف
Closed loop traverse	مضلع مغلق
Coast	تكلفة
Code	شيفرة
Coefficient correction	معامل الارتباط
Coefficient of refraction	معامل الانكسار في الهواء
Cofactor matrix	محضفة المترافق
Compound circular curve	المنحنى الدائري المركب

Condition line	خط الشرط
Conditional measurements	القياسات الشرطية
Conformal projection	إسقاطات تشابهية
Conical projection	إسقاط مخروطي
Connecting traverse	مضلع مربوط
Contour curve	منحني التسوية
Contour interval	تباعد بين منحنيات التسوية
Control segment	قسم التحكم
Conventional international origin	المبدأ الاصطلاحي العالمي
Conversion	تحويل
Convex	منحني محدب
Coordinate method	طريقة الإحداثيات
Correction	تصحيح
Covariance matrix	مصفوفة التغير
Cross section	مقاطع عرضية
Cumulative distribution function	تابع التوزيع التجمعي
Curvature	نصف قطر الانحناء
Cut	حفر
Cycle	دورة

Cylindrical projection

إسقاط أسطواني

D

Declination

زاوية الميل

Deflection angle

زاوية الانحراف

Degree of curve

درجة المنحني

Density function

تابع الكثافة

Desccnd

تهبط

Detail surveying

مسح تفصيلي

Deviation or deflection of the vertical

انحراف الشاقول

Dilution of precision

تميع الدقة

Direct leveling

تسوية المباشرة

Direct measurements

القياسات المباشرة

Direction

اتجاه

Dispersion

تشتت

Distance

مسافة

Distortion

تشوه

E

Earth's center of gravity

مركز الجاذبية الأرضية

Earth's orbit

مدار الأرض

Ecliptic

دائرة البروج

Electromagnetic waves	الموجات الكهرومغناطيسية
Ellipse	قطع ناقص
Elliptical shape	الشكل الافتالي
Equal shift methods	طريقة النقل المتساوي
Equatorial axis	المحور الاستوائي
Equidistant projection	إسقاط متساوي المسافات
Equilibrium	توازن
Equivalent observations	أرصاد المكافئة
Error sources	مصادر الأخطاء
Eskimo maps	خرائط الإسكيمو
Even	زوجي
Excavation	حفرية
Expectation	توقع
F	
Fill	ردم
First eccentricity	الاختلاف المركزي الأول
Flattening	التقطيع
Focal length	البعد المحرقي
Folding staff	ميرا قابلة للطي
Formation level	سطح الإنشاء

Frequency	تردد الموجة
Fundamental frequency	تردد أساسى
G	
Gaussian distribution	توزيع غاوس
Geocentric latitude	زاوية العرض المركزية
Geodetic Cartesian system	نظام الإحداثيات الجيوديزى
	المتعامد
Geodetic coordinates system	نظام الإحداثيات الجيوديزية
Geodetic latitude	زاوية العرض الجيوديزية
Geodetic line or geodesic	الخط الجيوديزى
Geodetic longitude	زاوية الطول الجيوديزية
Geodetic or ellipsoidal height	الارتفاع الجيوديزى
Geodetic surveying	مساحة الجيوديزية
Geoid	الجيونيد
Geoidal or orthometric height	الارتفاع الجيونيدى
Geoidal undulation	تموجات الجيونيد
Geometric	هندسية
Gnomonic projection	إسقاط الجنومونيك
Global positioning system	نظام تحديد الموقع العالمي
GPS	
Graphic scale	مقاييس تخطيطي

Gratigule	شبكة خطوط الطول والعرض
Great circle	الدائرة العظمى
Greek maps	الخرائط الإغريقية
Greenwich mean time	الزمن المتوسط في غرينتش
Greenwich true time	الزمن الحقيقي في غرينتش
Grid	شبكة تربيعات
Ground antenna	هوائيات أرضية
Ground surface	سطح الأرض
H	
Haul	ثقل
Heavenly bodies	الأجرام السماوية
Height of instrument	ارتفاع الجهاز
Height of reflector	ارتفاع العاكس
Helmert's projection	إسقاط هلمرت
Histogram	المدرج التكراري
History of maps	تاريخ الخرائط
Horizon	افق
Horizontal	أفقي
Hour angle	الزاوية الساعية

Indirect leveling	تسوية غير مباشرة
Indirect measurement	القياسات غير المباشرة
Information technology IT	تكنولوجيا المعلومات
Initialization	إقلاع
Instant	لحظة
Intersection	تقاطع
Intervisibility	الرؤية
Irregular	غير منتظم
Iteration	التقريب المترالي
K	
Kinematic observation	رصد متحرك
L	
Lagrange multipliers	مضاريب لاغرانج
Legendre's theorem	نظرية لاجندر
Length	طول
Lens	عدسة
Leveling	تسوية
Linear parameters	العناصر الخطية
Local mean midnight	منتصف الليل المتوسط المحلي
Local mean noon	الظهر المتوسط المحلي

Local mean time	الزمن الحقيقى المحلى
Longitudinal section	مقطع طولى
Lower transit	نقطة العبور السفلية
M	
Map projection	إسقاط الخرائط
Mass haul diagram	مخطط نقل الكتلة .
Mester control station MCS	محطة التحكم الرئيسية
Match	ربط
Matrix	مصفوفة
Mcan	متوسط
Mean deviation of sample	انحراف المتوسط العينة
Mean radius of curvature	نصف القطر المتوسط
Mean solar day	اليوم الشمسي المتوسط
Mean solar time	الزمن الشمسي المتوسط
Mean sun	الشمس المتوسطة
Measurement	قياس
Microwave	موجات كهرومغناطيسية متاخمية القصر
Middle ages maps	خرائط للعصور الوسطى
Mistakes or blunders	الأغلاط
Model	نموذج

Modulated wave	موجة مضمنة
Monitor station	محطات مراقبة
Most probable value	القيمة الأكثر احتمالاً
Multipath error	خطأ تعدد المسار
Multipex	متعدد
N	
Nadir	نقطة الناظير
Natural coordinates system	نظام الإحداثيات الطبيعي
Navigation messages	معلومات ملاحية
Network	شبكة
Normal distribution	التوزيع الطبيعي
Normal equations	المعادلات النظامية
Normal projection	إسقاط عادي
Normal sections	المقاطع النظامية (العمودية)
Numeric scale	مقاييس عددي
O	
Oblique projection	إسقاط مائل
Observation	رصد
Observation equations	معادلات الأرصاد
Observer's horizon	افق الراصد

Obstruction	عقبة
Odd	فردي
Open traverse	مضلع مفتوح
Orientation	توجيه
Origin or center	مركز
P	
Parabola	قطع مكافئ
Parallel channel	قنوات متوازية
Parameters	وسطاء
Partial pressure of water vapor	ضغط جزئي لبخار الماء
Perihelion	حضيض الكوكب
Phase comparison	مقارنة الطور
Phase difference	فرق الطور
Photogrammetry	المساحة التصويرية
Plane surveying	المساحة المستوية
Planet	كوكب
Plumb line or vertical	اتجاه الجاذبية أو خيط الشاقول
Polar axis	محور القطبي
Polar distance	المسافة القطبية
Polar triangle	المثلث القطبي

Polyconic projection	إسقاط متعدد المخاريط
Position	موقع
Position dilution of precision	تبسيط الدقة الموقعي
Post processing	معالجة اللاحقة
Precise positioning	خدمة التثبيت الدقيقة
Precision	دقة
Precision code	الشفرة الدقيقة
Prime vertical circle	الدائرة الشاقولية الرئيسية
Primitive charts	الخرائط البدائية
Prism tribrach carrier	حامل عاكس
Probability	احتمال
Probability function	تابع الاحتمال
Probable error	خطا محتمل
Pseudo random noise	التشویش شبه العشوائي
Pseudorange	أشباه المسافات
Pyramid	هرم
Quick measure	قائس السريع

Q

R

Radio frequency section	قسم التردد الراديوى
Radius	نصف القطر
Random or accidental errors	الأخطاء العرضية أو العشوائية
Random vector	متجه العشوائي
Rapid static observation	رصد ساكن سريع
Rate	معدل
Ray path	مسار الأشعة
Receiver	استقبال
Reconnaissance	استكشاف
Reduced latitude	زاوية الأرصاد المختصرة
Reduced observation equations	معادلات الأرصاد المختصرة
Reduction to centre	رصد لا مركزى
Redundant observations	أرصاد الفائضة
Reference receiver	مستقبل مرجع
Refraction	انكسار
Refractive index of air	معامل الانكسار
Relative frequency	النكرار النسبي
Renaissance maps	خرائط عصر النهضة
Resection	تقويم

Residual error	الخطأ الظاهري أو الرسوبي
Resoving the ambiguity	حل الغموض
Reverse circular curve	المنحنى الدائري العكسي
Rhumb lines or loxodromes	خطوط السير الثابتة الاتجاه
Right angle	زاوية قائمة
Right angled spherical triangle	المثلث الكروي القائم
Right ascension	الطلع المستقيم
Rigorous methoder	الطرق الدقيقة
Rise	يرتفع
Roman maps	خرائط الرومانية
Sailing charts	خرائط ملاحية
Sample mean	متوسط العينة
Sample median	وسطي العينة
Sample midrange	متوسط المدى العينة
Sample ran	مدى العينة
Sample statistics	إحصائيات العينة
Sample variance	تباین العينة
Sampling	المعاينة
Scale	مقاييس

Scale factor	عامل المقياس
Second eccentricity	الاختلاف المركزي الثاني
Section	مقطع
Selective availability	قابلية الانتخاب
Self-reducing Tacheometer	تاكيمتر محول ذاتي
Semi-rigorous methods	طرق التقريرية
Semi major-axis or equatorial axis	نصفي قطرى الإهليلج الكبير
Semi minor-axis or polar axis	نصفي الإهليلج الصغير
Semitic museum	متحف الدراسات السامية
Serial	بوابة تسلسلية
Session	جلسة
Setting out	تجسيد
Shape	شكل
Side slope	ميل جانبي
Sidereal day	اليوم النجمي
Sidereal noon	الظهر النجمي
Sidereal time	الزمن النجمي
Simultaneously	آنئي
Single triangles	متلث بسيط
Sinusoidal curve	منحنى الجيبى

Space segment	القسم الفضائي
Spatial distance	المسافة الفراغية
Specifications	مواصفات
Spherical angle	الزاوية الكروية
Spherical excess	الزيادة الكروية
Spherical triangle	المثلث الكروي
Spheroid or ellipsoid	الأهليج الأرضي
Spirit level	زئبقيات
Spread	انتشار
Staff	ميرا
Standard deviation	الانحراف المعياري
Standard error ellipse	خطأ معياري
Standard meridian	خط الزوال القياسي
Standard positioning service	خدمة التثبيت المعيارية
Star	نجم
Static observation	رصد ساكن
Strength factor	معامل المثانة
Surface	سطح
Surveying	مساحة
Synchronization error	خطأ تزامن
T	
Tangential angles method	طريقة الزوايا المماسية
Tape	شريط

Target	شاره
Telescopic staff	ميرا تلسكوبية
Theory of least squares	نظرية المربعات الصغرى
Time delay	تأخير زمني
Time equation	معادلة الزمن
Time interval	الفترة الزمنية
Total station	المحطة الكاملة
Trajectories	مسارات
Transit	نقط العبور
Transition curve	المنحنى الانتقالـي
Transverse projection	إسقاط مستعرض
Trapezoidal rule	قاعدة شبه المنحرف
Traverse	مضلع
Triangulation points	نقاط المثلثات
Trilateration network	شبكة المثلثات مقيسة الأضلاع
Tropical or solar	السنة المدارية أو الشمسية
True error	الخطأ الحقيقي
True horizon	الأفق الحقيقي
True solar day	اليوم الشمسي الحقيقي
True sun	الشمس الحقيقة
True value	القيمة الحقيقة
Universal time	الزمن العالمي

Upper transit	نقطة العبور العلوى
User segment	قسم المستخدم
V	
Vacuum	فراغ
Variance	تباین
Variance of unit weight	تباین لواحدة الوزن
Vernal equinox	الاعتدال الربيعي
Visualization	تمثيل
Volumes	حجوم كميات الأعمال
W	
Waste	زيادة
Water vapor	بخار الماء
Wave velocity	سرعة الموجة
Weight	وزن
Zenith	السمت
Z	



المراجع

المراجع الأجنبية :

- SELEKANOVECH. V. G. "Geodesy" Moscow, NEdRA, 1981
- Balshakov. V. D., Markozee. U. E. Analysis and adjustment of survey Measurements, Moscow, NEDRA 1984.
- GREGORENKO, A. G., KESELEV, M.E. Engineering Geodesy. Moscow- High school. 1988.
- DORNEV. A. E. High geodesy. Moscow- NEDRA. 1967.
- Mashemov. M. M. adjustment of Geodesy network Moscow. Nedra. 1979.
- Kennie, T. J. M., and petrie, G., "Engineering surveying Technolgy," Blackie, London, 1989.
- Wolf, Paul. R., "Elements of photogrammetry", Mc Graw - Hill Book company, New York , 1986.
- Paquette, R. J., Norman J. A., and paul. H. R. "Transportation Engineering- planning and Design, 2 nd, ed, John wiley and sons, New York, 1982.
- Anderson, J. M., and Edward, M. M. "Introduction to surveying", Singapore: McGraw- Hill Book co. 1985.]
- Mikhail, E. and Anderson, J., "Surveying theory and practice", McGraw- Hill, 1998.
- Bird, R. G., "EDM Traverses: Measurement, Computation and adjustment", Longman, 1989.

المراجع العربية:

- سامح جزماتي "الأعمال المساحية في الطرق" مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، حلب، ١٩٩٠ م.
- سميح صافية "مبادئ المساحة" منشورات جامعة دمشق، دمشق، ١٩٩٥ م.
- يوسف مصطفى صيام "المساحة بالأجهزة الإلكترونية"، مكتبة العروبة، عمان، ١٩٩٧ م.
- سامح جزماتي "المساحة ٣" مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، حلب ١٩٩٢ م.
- سامح جزماتي "المساحة والجيوديزيا" مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، حلب، ١٩٨٩ م.
- يوسف مصطفى صيام، عبد الله بن محمد القرني، سعد بن عبد الرحمن القاضي "غطية مساحية للطرق" عمان، دار مجذاوي للنشر، ١٩٩٩ م.
- يوسف وسوف، سميح صافية "المساحة" جامعة دمشق ، دمشق ١٩٩٢ م.
- سميح صافية "المساحة" جامعة دمشق، دمشق ، ١٩٩١ م.
- أنور الصيفي، محاضرات "المساحة ١" طلاب كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق.
- وائل مشرف رضوان، محاضرات "المساحة ١" طلاب كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق.
- معن حبيب، أنور الصيفي "المساحة" جامعة دمشق، دمشق ٢٠٠٨ م.

اللجنة العلمية:

- د. م. أديب قامو ع
- د. م. رياض المصري
- د. م. معن حبيب

المدقق اللغوي : الدكتور أحمد جاسم الحسين

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات





