المحاضرة 3

الشبكات الجيوديزية

Geodetic networks

د.م. دارين جابر نوفل

11/11/2024/

الشبكة الجيوديزية

- **النقطة الجيوديزية (نقطة التثليث)**: هي كل نقطة مثبتة على سطح الأرض معلومة الإحداثيات ضمن نظام إحداثيات معين.
- **الشبكة الجيوديزية:** مجموعة من النقاط الجيوديزية المرتبطة فيما بينها بقياسات جيوديزية (زاوية أو خطية أو كلاهما) ومنسوبة إلى نظام إحداثيات معين.
- **التثليث الجيوديزي:** مجموعة العمليات الجيوديزية(القياسات الجيوديزية مع معالجتها) والتي نحصل بنتيجتها على إحداثيات نقاط الشبكة الجيوديزية (يكون لدينا معلوم بضعة نقاط جيوديزية ولدينا قياسات زاوية أو خطية أو كلاهما وبالتالي نحصل على الإحداثيات المجهولة للنقاط المطلوبة).
- **السمت الجيوديزي:** يعبر عن الزاوية بين الشمال الجيوديزي وخط الاتصال بين نقطتين (النقطة الأولى والنقطة الثانية) على سطح الأرض.يحسب باستخدام الإحداثيات الجيوديزية (خط الطول والعرض الجيوديسي) للنقطة ونقطة أخرى قريبة، مع الأخذ بعين الاعتبار الشكل الإهليلجي للأرض ويستخدم في تطبيقات المساحة الجيوديزية و الـ GPS والأقمار الصناعية.
- **السمت الفلكي:** يُحدد باستخدام المراقبة الفلكية للأجرام السماوية (مثل النجوم)حيث يتم قياس الزاوية بين الشمال الفلكي وخط معين على سطح الأرض باستخدام أجهزة فلكية مثل التودوليت الفلكي. وتعتمد هذه العملية على معرفة دقيقة للوقت والموقع وتستخدم الجداول الفلكية لتحديد موقع النجوم.ويفيدنا في توجيه الشبكات الجيوديزية المنشأة على الأرض
- **Laplace Azimuth انحراف أو سمت لابلاس:** انحراف جيوديسي لخط يتم حسابه اعتماداً علي قياسات فلكية باستخدام معادلة لابلاس.
- **Laplace Equation معادلة لابلاس:** تحدد العلاقة بين الانحراف(السمت) الفلكي و الانحراف الجيوديسي بدلالة دائرة العرض الفلكية ودائرة العرض الجيوديسية وخط الطول الجيوديسي.
- **Laplace Station نقطة لابلاس:** نقطة مثلثات يتم عندها قياس انحراف لابلاس ، أي عندها يتم رصد كلا من خط الطول الفلكي والانحراف الفلكي.

شبكات التثليث triangulation networks

تعد شبكات التثليث الحجر الأساس لأي عمل مساحي في أي مكان في العالم، ولهذا تنشئ كل دولة شبكات تثليث مرجعية مساحية محددة تخصها، تُسمى الشبكة الجيوديزية الوطنية.

ومن أجل تحقيق الغاية من الشبكة الوطنية يجب اختيار نوع المجسم (الإهليلج) ونوع الإسقاط أو الارتسام الموافق للموقع ولجغرافية الدولة صاحبة الشبكة. وقد يتطلب الأمر إنشاء شبكات محلية تُربط فيما بعد بالشبكة الجيوديزية الوطنية، وتكون أساساً لأعمال طبوغرافية أو هندسية محدودة الاتساع الجغرافي.

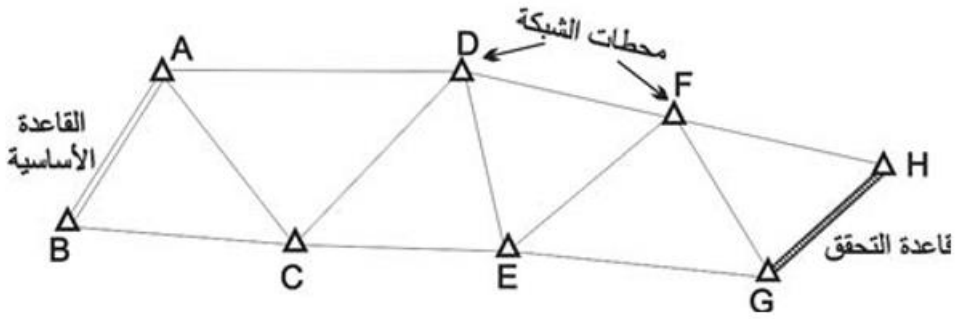
تتكون شبكة المثلثات من مجموعة نقاط تدعى نقاط التثليث triangulation points، وتكون موزعة ومتباعدة؛ لتشكل رؤوس شبكة المثلثات. وينتج من ذلك سلسلة من الأشكال الهندسية الأساسية

أشكال شبكات التثليث

1-المثلثات الفردية single triangles

وهي أبسط أنواع الشبكات من حيث إمكان رصدها وحسابها وضبطها، وتتكون من مجموعة مثلثات بسيطة متجاورة. ويفضل أن تكون متساوية الأضلاع. يلائم هذا النوع من الشبكات المناطق الممتدة طولياً مثل سواحل البحار والأنهار.

وفيها يتم الانطلاق من قاعدة أساسية معلومة AB ويتم إنشاء مثلث اعتماداً على هذه القاعدة المعلومة وهكذا ....حتى الوصول إلى قاعدة معلومة أخرى GH ليتم ضبط الأرصاد بدقة عالية.

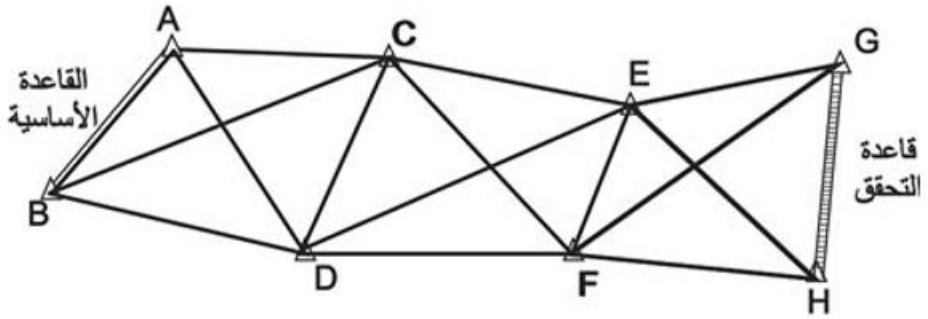


الشكل (1) سلسلة مثلثات فردية بسيطة.

أشكال شبكات التثليث

2- أشكال رباعية ذات قطرين :

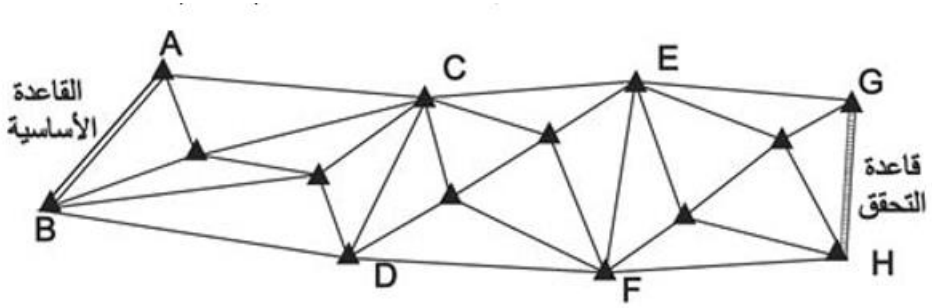
وتتكون من أشكال رباعية مرصودة القطرين، ويُفضَّل أن تراوح زواياها بين 30 و120 درجة. ويُعدّ هذا النوع أكثر الأشكال استعمالاً وأفضلها من حيث الدقة تدعى أيضاً رباعيات الأضلاع المرصودة القطرين braced quadrilateral.



الشكل (2) سلسلة أشكال رباعية مرصوده القطرين.

3-أشكال ذات نقطة مركزية central-point figure:

وتستعمل في المناطق المنبسطة، وهذا النوع قليل الدقة نسبياً مقارنة بسلسلة الأشكال الرباعية ذات القطرين، إلا أنها أسهل للرصد؛ لعدم وجود أقطار طويلة فيها .



الشكل (3) سلسلة الأشكال ذات النقطة المركزية.

العوامل التي تحدد اختيار شكل شبكة التثليث

يتوقف اختيار أشكال شبكة التثليث على العوامل الآتية:

-**الدقّة المطلوبة :**تُعدّ شبكات التثليث المكوّنة من المثلثات البسيطة قليلة التكاليف، إلا أنّها أقل التشكيلات دقة؛ لأن أي خطأ في أحد المثلثات يؤثر في جميع المثلثات التي تليه. وتعد الأشكال الرباعية المرصودة القطرين أكثر الأشكال استعمالاً، وأكثرها دقة، وإن كانت تكاليفها أكبر. أما الأشكال ذات النقطة المركزية؛ فالشكل الخماسي أفضلها.

-**طبيعة الأرض :**تتعذر في الأراضي المنبسطة رؤية الأقطار الطويلة المتبادلة في الرباعي المرصود القطرين، لذا يُلجأ إلى الأشكال ذات النقطة المركزية، أما في الأراضي المرتفعة -حيث تزداد أهمية الدقة- فتُفضّل الأشكال الرباعية المرصودة القطرين.

-**شكل المنطقة المراد مسحها ومساحتها**: تغطى المنطقة كلها ذات المساحة المحدودة التي لا تتجاوز بضعة آلاف من الكيلومترات المربعة -مثل لبنان أو سويسرا- بشبكة متصلة من أشكال رباعية متداخلة أو أشكال ذات نقطة مركزية. أما إذا كانت مساحة المنطقة شاسعة؛ فتغطى المساحة بسلاسل متتالية تتبع الخطوط الرئيسية لساحل البحر، وفي حال كانت المنطقة ممتدة طوليّاً وضيقة كجمهورية مصر العربية؛ فيكفي تغطيتها بسلسلة موزعة بالاتجاه الطولي.

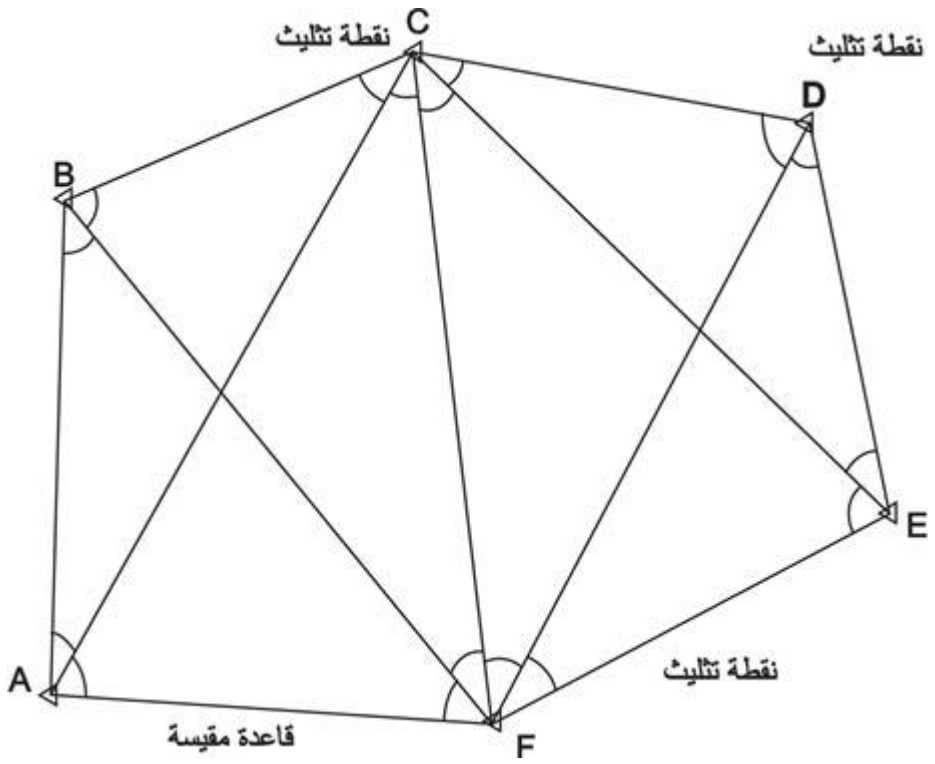
الطرائق الرئيسة لإنشاء الشبكات الجيوديزية

أو تصنيف الشبكات الجيوديزية حسب الأرصاد

تستخدم في إنشاء الشبكات المساحية طرائق متعددة، يحدد اختيار أي منها عوامل عدة، أهمها الدقة المطلوبة من شبكة الإحداثيات المقامة وجدواها الاقتصادية والغاية أو الهدف الذي تخدمه هذه الشبكة (أعمال مسح طبوغرافي، إعداد مخططات وخرائط، أعمال جيوديزية، غير ذلك)، ومن هذه الطرائق:

أ- طريقة التثليث الزاوي:

تستند هذه الطريقة في مبدئها إلى عملية تثبيت نقاط مساحية فوق قمم المرتفعات وفي الأماكن المكشوفة والمشرفة بعضها على بعض؛ بحيث تحقق رؤية متبادلة فيما بينها، وتؤلف في شكلها الهندسي مجموعة أو سلسلة من المثلثات المتصلة بعضها مع بعض (الشكل 6). حيث يتم قياس الزوايا الداخلية، وتتميز بدقتها في تعيين إحداثيات نقاطها، وإمكان إنشائها في مختلف أنواع التضاريس.



الشكل (6) التثليث الزاوي

الطرائق الرئيسة لإنشاء الشبكات الجيوديزية

أو تصنيف الشبكات الجيوديزية حسب الأرصاد

ب - طريقة التثليث الخطي:

تشبه الشبكات المشكّلة بهذه الطريقة من حيث الشكل والتصميم شبكات التثليث الزاوي، ولكن مع وجود فارق واحد بينهما يتعلق بطبيعة العناصر المقيسة فيها وأبعادها؛ إذ يستعاض من قياس الزوايا الداخلية في مثلثات الشبكة قياسُ أطوال أضلاع هذه المثلثات كافة مع المحافظة على تعيين قيم سموتها.

شاع استخدام طريقة التثليث الخطي في إنشاء الشبكات المساحية في العالم بعد ظهور أجهزة القياس الإلكترونية والليزرية؛ نظراً لدقتها العالية في قياس المسافات وسهولة استخدامها، ولكن مع ذلك، فإنّه نادراً ما يصار إلى استخدامها عند إنشاء شبكات التثليث من المرتبتين الأولى والثانية؛ لضآلة إمكان إجراء التحقيقات على قياس المسافات فيها، وضعف الجدوى الاقتصادية بالمقارنة بشبكات التثليث الزاوي، وذلك نظراً للحاجة المستمرة إلى نقل العواكس الموشورية من نقاط إلى أخرى.

ج - طريقة التثليث المشترك:

تقاس في هذه الطريقة أطوال أضلاع المثلثات كافة وجميع الزوايا الداخلية الواقعة بينها، ويصار إلى تعيين قيمة سمت لابلاس لأحد الأضلاع في كل مجموعة مثلثات متجاورة على حدة. إن الوقت والجهد الكبيرين المبذولين لإنشاء مثل هذا النوع من الشبكات تسوغهما الدقة العالية في تعيين قيم إحداثيات نقاطها.

تصنيف الشبكات الجيوديزية حسب عدد الأبعاد أو المستوي الذي تقع فيه

1 – شبكة الإحداثيات المستوية:

وهي مجموعة نقاط من سطح الأرض موزعة على كامل مساحة الدولة، أو في حدود المسح الخاص بمشروع هندسي، والتي تُعيَّن قيم إحداثياتها الأفقية (X,Y) بالدقة المطلوبة في جملة الإحداثيات العامة للدولة أو جملة الإحداثيات المحلية الخاصة بمنطقة المشروع.

2- -شبكة الارتفاع (شبكة التسوية) :

وهي شبكات أحادية البعد وتدعى أيضاً شبكة الروبيرات. هي مجموعة نقاط موزعة على كامل مساحة الدولة أو حدود المسح الخاصة بمشروع هندسي (مراجع التسوية)، والتي تُعيَّن قيم ارتفاعاتها بالدقة المطلوبة استناداً إلى الجيوئيد geoid المعتمد لتلك الدولة أو أي سطح استناد آخر للارتفاع.

3- شبكات الإحداثيات الفضائية الثلاثية الأبعاد :هي مجموع النقاط من سطح الأرض الموزعة على كامل مساحة الدولة أو حدود المسح الخاصة بمشروع هندسي، والتي تُعيَّن قيم إحداثياتها الثلاثية (X,Y,H) باستخدام منظومات الأقمار الصنعية satellitesفي إحدى منظومات الإحداثيات العالمية، والتي تُحوَّل عند الحاجة إلى جملة الإحداثيات الخاصة بالدولة أو بمنطقة المشروع. إنَ دقة هذه الشبكات عالية عموماً وتناسب معظم الأعمال المساحية المطلوبة.

4- الشبكة الثقالية :gravimetric

هي مجموع النقاط من سطح الأرض موزعة ضمن حدود الدولة، والتي تُعيَّن عندها قيم تسارع الثقالة الأرضية (الجاذبية)؛ بهدف معرفة قيم انحراف الشاقول في منطقة العمل وتحويل القياسات من سطح الجيوئيد إلى سطح الإهليلج المعتمد في الدولة.

تصنيف الشبكات الجيوديزية بحسب أهميتها ودقتها واتساعها:

1 – شبكة الإحداثيات العالمية:

هي الشبكة التي تغطي نقاطها كامل سطح الكرة الأرضية، وتُنشأ باستخدام منظومات تحديد المواقع الأرضية بواسطة الأقمار الصنعية، مثل منظومة Global Positioning System (GPS)الأمريكية ومنظومة Global Navigation Satellite System (GLONASS)الروسية.

2- -شبكة الإحداثيات الحكومية (العامة):

هي الشبكة التي تغطي نقاطها كامل مساحة الدولة الواحدة، وتستخدم استخداماً أساسياً في إنشاء الخرائط والمخططات المختلفة المقاييس للدولة أو لأجزاء منها، وكذلك في الأعمال المساحية العقارية والهندسية.

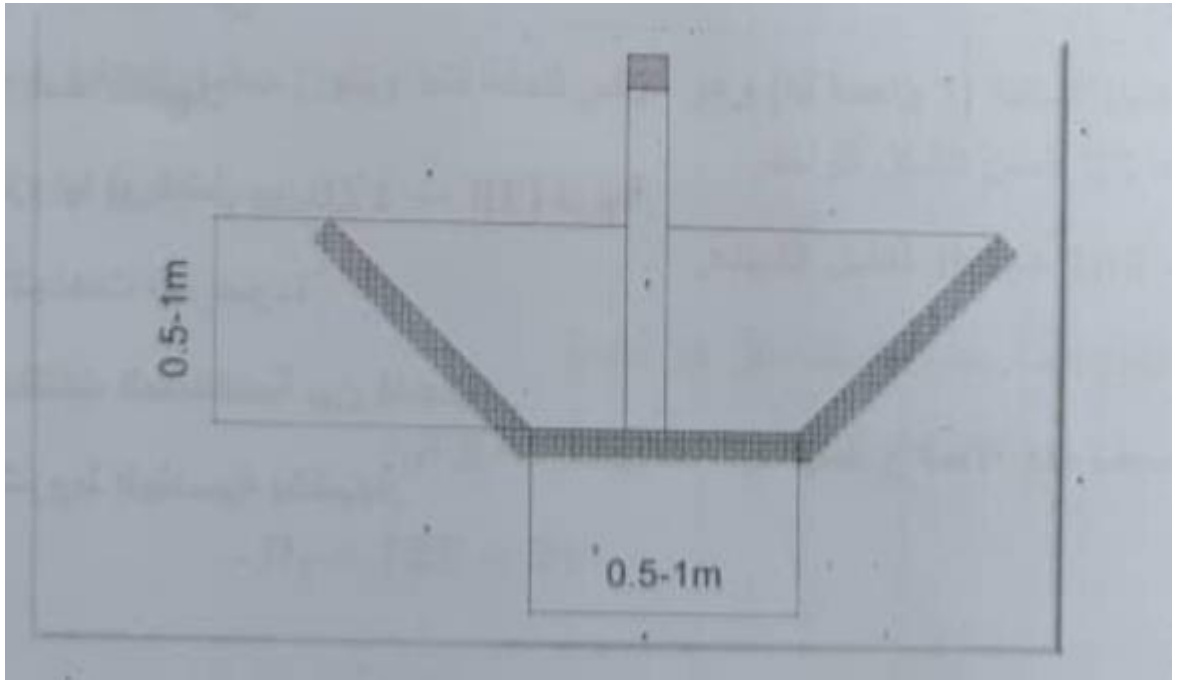
3- شبكة الإحداثيات المحلية (الخاصة بموقع العمل):

يُؤسَّس هذا النوع من الشبكات عادة في مناطق محدودة المساحة بهدف دراسة ظاهرة تحدث في تلك المناطق (منطقة زلازل على نطاق غير واسع مثلاً)، أو لإقامة بعض المشاريع الهندسية فيها (أبنية ومنشآت سكنية-محطات مائية وكهربائية ونووية وسدود ...وغيرها).

شروط اختيار نقاط الشبكة المثلثاتية

1-كل نقطة يمكن رؤيتها بوضوح من النقاط المحيطة
2- أن تتراوح زوايا المثلثات المختارة ين 30و120 درجة
3- يفضل أن تكون أطوال الأضلاع متساوية تقريباً
4- أن تكون النقاط في أماكن ذات طابع ثابت وعالي وبعيداً عن الأماكن ذات الحركة المرورية العالية والمناطق الحيوية ومجاري الأنهار وذلك حفاظاً على النقاط من الضياع
5- محاولة تجنب العقبات الطبيعية عند اختيار النقاط تخفيضاً للتكاليف العالية المترتبة على اجتيازها .

- عادة يتم حفر حفرة بعمق من 0.5 إلى 1 متر وعرض حوالي المتر ويتم وضع وتد معدني ضمنها وصبها بالبيتون ويترك جزء ظاهر من الوتد المعدني من 0.5 إلى 1 متر

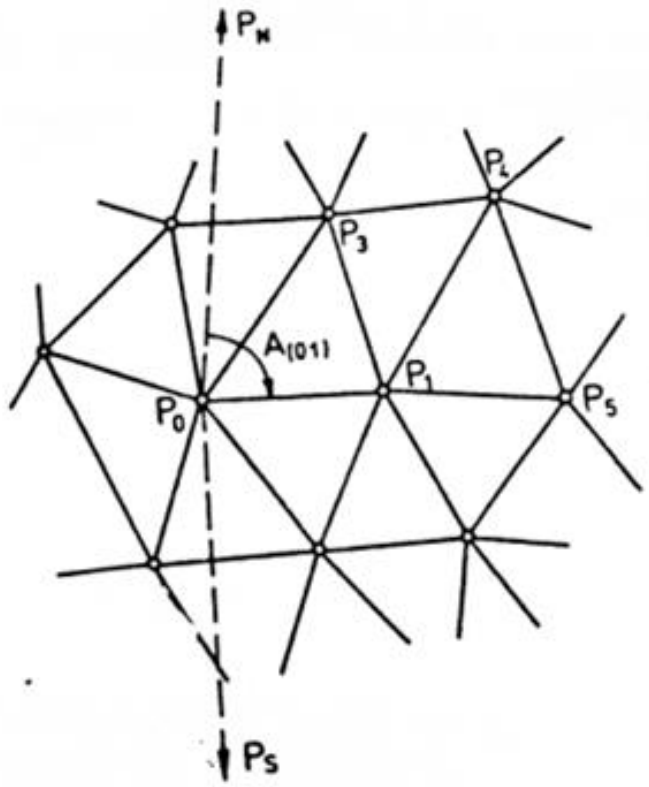


المبدأ العام لإنشاء الشبكات الجيوديزية

في البداية تُزرَع نقاط مساحية على امتداد كامل مساحة الدولة، وبأبعاد كبيرة نسبياً فيما بينها قد تصل إلى عشرات الكيلومترات. وتقاس السموت الفلكية لهذه النقاط بوساطة ربطها بما يعرف **بنقاط لابلاس Laplace** في كل دولة، حيث تشكل هذه النقاط شبكة مثلثات واحدة، وتحدد إحداثياتها بأدق طريقة تسمح بها طرائق القياس المساحي وتقنياته. يسمى هذا النوع من شبكات النقاط المساحية **"الشبكات الجيوديزية–الفلكية (الجيوفلكية)" أو "شبكات المرتبة الأولى"**، ويُعدّ منطلقاً ومستنداً لإنشاء شبكات المثلثات ذات المستوى الأقل دقة (شبكات المرتبة الثانية)؛ وذلك بوساطة ما يدعى بعملية تكثيف الشبكات الجيوديزية، التي تُعدّ – من ثمّ - منطلقاً لإنشاء باقي الشبكات الأقل دقة في تعيين إحداثيات نقاطها كنقاط الشبكات من المرتبتين الثالثة والرابعة والنقاط العقارية وشبكات المضلعات وغيرها.

المبدأ العام لإنشاء الشبكات الجيوديزية

- **1- حساب الإحداثيات الكارتيزية:** من الضروري وجود نقطة مرجعية وهذه النقطة هي مركز الشبكة الجيوديزية وتدعى نقطة الأصل ويتم اختيارها عادة في وسط المساحة الوطنية لتكون رأساً للمثلثات المجاورة الشكل(4-21). وعند هذه النقطة تقاس الإحداثيات الفلكية (خط الطول وخط العرض الفلكيين) ويقاس السمت الفلكي ونفترض أن هذه الإحداثيات الفلكية المقاسة تساوي الإحداثيات الجيوديزية وأن السمت الفلكي المقاس يساوي السمت الجيوديزي ، كذلك نفترض عند هذه النقطة أن الجيوئيد ينطبق على الإهليلج الشكل (4-22)وبالتالي زاوية انحراف الشاقول معدومة أي يتطابق الارتفاع عن سطح الجيوئيد (يقاس على طول الشاقول)والذي يدعى الارتفاع الأورثومتري مع الإرتفاع عن سطح الإهليلج (يقاس على طول الناظم) والذي يدعى الإرتفاع الإهليلجي او الألبسوئيدي أي أن حيود الجيوئيد عند نقطة الأصل نفترض أنه يساوي الصفر.ويتم تحويل الإحداثيات الجيوديزية لنقطة الأصل إلى إحداثيات كارتيزية باستخدام العلاقات الرياضية.



الشكل (4-21) اختيار نقطة مطابقة الإهليلج مع الجيوئيد

- باستخدام الإحداثيات الكارتيزية لنقطة الأصل يتم حساب الإحداثيات الكارتيزية (X,Y) لكل نقطة باستخدام $X_2 = X_1 + D.\ Cos(A)$, $A_{i+1} = A_i + \theta$

$$Y_2 = Y_1 + D.\ Cos(A)$$

- D: المسافة الأفقية المقاسة أو المحسوبة من قانون الجيوب(باستخدام مسافة أولية معروفة (قاعدة تثليث أساسية)) إذا كانت طريقة التثليث الزاوية هي المستخدمة في إنشاء الشبكة.
- A: السمت الجيوديزي للضلع المرصود.
- السمت الجيوديزي لقاعدة الانطلاق (قاعدة التثليث الأساسية) في الشبكة الجيوديزية افترضنا أنه معروف ويساوي السمت الفلكي.

المبدأ العام لإنشاء الشبكات الجيوديزية

➢ **2- تحويل الإحداثيات الكارتيزية إلى إحداثيات جيوديزية:**

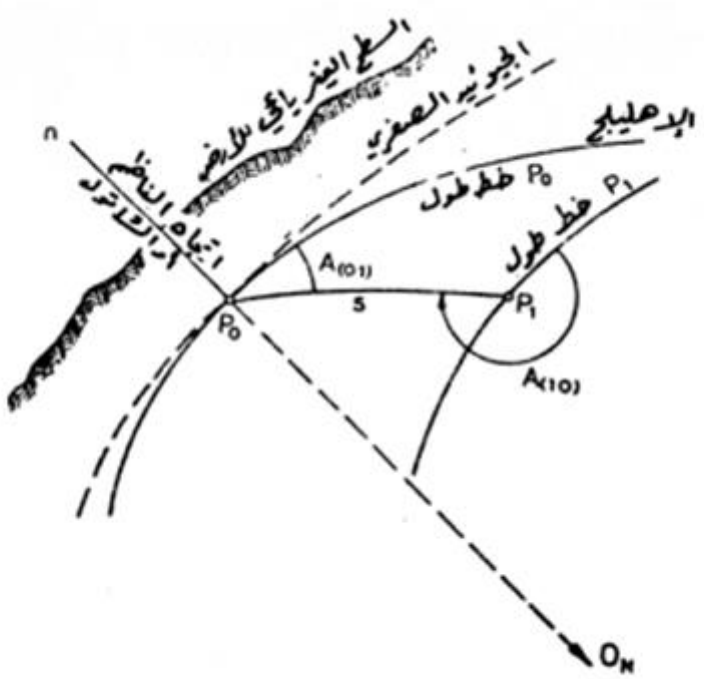
يتم ذلك باستخدام علاقات ونماذج تأخذ في الاعتبار الشكل الإهليجي للأرض.

3- ضبط الشبكة الجيوديزية :

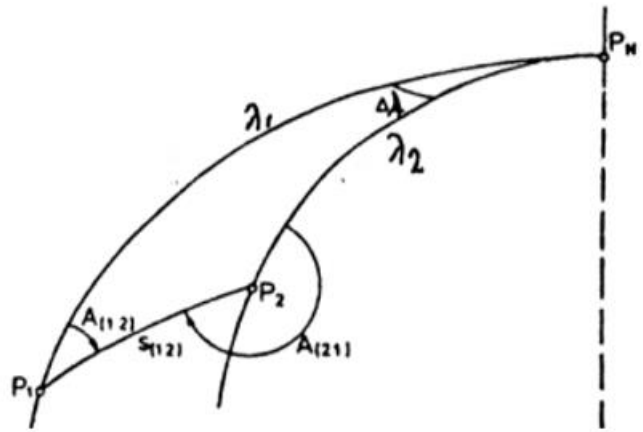
تستخدم طريقة المربعات الصغرى لضبط الشبكة وتقليل الأخطاء.

4- التحقق من الدقة:

عن طريق مقارنة الإحداثيات المحسوبة بالإحداثيات المعلومة مسبقاً لنقاط مرجعية تدعى محطات لابلاس وتعتبر هذه المحطات أساسية لضبط وتحسين دقة الشبكات الجيوديزية من خلال مقارنة السموت الجيوديزية المحسوبة والسموت الفلكية المقاسة عند هذه المحطات وإذا كان هذا الفرق ضمن الحدود المقبولة فهذا يشير إلى دقة جيدة للشبكة.



الشكل (4-22) الإهليلج المتطابق مع الجيوئيد



مركبات انحراف الشاقول عن الناظم على سطح الإهليلج

كما تم ذكره في الفقرة السابقة، توجد في الحالة العامة عند أي نقطة على سطح الأرض زاويةٌ كائنةٌ بين الناظم على سطح المجسم الأرضي (الإهليلج) والشاقول على الجيوئيد، تسمي هذه الزاويم باسم زاوية ميل الشاقول ε. ومن أجل تبسيط التحليل الرياضي يتم تحليل زاوية ميل الشاقول إلى مركبّتين هما:

أ. مركّبة أفقية باتجاه شرق . غرب النقطة، ونرمز لهل بـ η،

بـ مركّبة شاقولية باتجاه شمال . جنوب النقطة،ونرمز لها بـ ξ.

ويتم حساب هاتين المركبتين بطريقة رصد حقل الجاذبية المحلي بوساطة جهاز الغرافيمتر الذي يقيس قيمة تسارع الجاذبية الأرضية عند تلك النقطة. وتشكل هذا التسارع الأساس لحساب مايلي:

. الإرتفاع الأورتومتري،

مركبتي ميل الشاقول [η : اتجاه شرق . غرب ، ξ : اتجاه شمال . جنوب].

معادلات لابلاس للتحويل بين الأرصاد الفلكية والجيوديزية

وبشكل عام فإن رصد الإحداثيات الفلكية للموقع (Φ, Λ)والاتجاهات الفلكية يتم بطرق فلك الموقع ضمن ثلاثية الرصد الفلكية. وباعتبار أن الإحداثيات الجيوديزية هي المعتمدة في الحسابات، نقوم بتحويل الأرصاد الفلكية إلى أرصاد جيوديزية. وأعطى العالم لابلاس علاقات التحويل الآتية:

$$\varphi = \Phi - \zeta$$

$$\lambda = \Lambda - \frac{\eta}{\cos\varphi}$$

$$\alpha = Az + \eta \cdot \tan\varphi$$

حيث:

(Φ, Λ) : الإحداثيات الفلكية للموقع،

(φ, λ) : الإحداثيات الجيوديزية،

Az : السمت الفلكي، α : السمت الجيوديزي.

معادلات لابلاس للتحويل بين الأرصاد الفلكية والجيوديزية

إن تحويل الأرصاد الفلكية إلى أرصاد جيوديزية لم يكن ممكناً من دون معرفة انحرافات الشاقول ضمن المناطق، ولهذا يهتم قسمٌ مهمٌ من علم الجيوديزيا بالرصد الثقالي. وبالفعل فإن معظم الدول المتطورة في العالم تقوم بمسحٍ ثقالي لأراضيها، وتنشئ الخرائط الدالة على القيم المطلقة والنسبية للثقالة الأرضية. وكذلك تهتم الدول برصد تساوي شذوذات الثقالة الأرضية وتغيراته، وتبيان ذلك في خرائط خاصةٍ ذات قيمة اقتصادية كبيرة، ووفق تطبيقات هندسية عديدة، بما يخدم البنية التحتية على مستوى الدولة.

وتكمن أهمية معرفة زاوية انحراف الشاقول في تحديد حيود الجيوئيد من خلال تطبيق علاقة محددة، وبالتالي تحويل الارتفاعات الجيوديزية(الإهليلجية) المقاسة بواسطة GPS إلى ارتفاعات أورثومترية تعتمد على الجيوئيد

مثال:

بعد إجراء مسح لقيم التسارعات الأرضية في منطقة توجد فيها محطة لابلاس تبين أن قيمتي مركبتي انحراف الشاقول تساويان: $(\eta=18'' \ , \ \xi=10'')$. وبنتيجة الرصد في المحطة تبين أن:

- الإحداثيات الفلكية: $\Lambda=36^o\ 48'13'' \ , \ \Phi=31^o\ 44'28''$،
- الزاوية السمتية بين نقطة المحطة ونقطة أخرى مع الشمال الفلكي: $Az=198^o44'33''$.

يطلب حساب الإحداثيات الجيوديزية لمحطة لابلاس والسمت الجيوديزي للإتجاه المرصود.

الحل:

$$\varphi=\Phi-\xi=31^o\ 44'28''-0^o00'10''=31^o\ 44'18''$$

$$\lambda=\lambda=\Lambda-\frac{\eta}{\cos\varphi}=36^o\ 48'13''-\frac{18''}{\cos 31^o44'18''}=36^o\ 47'51.8''$$

$$\alpha=Az+\eta\cdot\tan\varphi=198^o\ 44'33''+18''\cdot\tan 31^o44'18''=198^o44'44.1''$$

مراقبة الشبكات الجيوديزية

إنَ أهمية الشبكات المساحية عموماً، والأساسية منها خصوصاً، والتي تشترط دقة كبيرة في التنفيذ؛ تتطلب عناية خاصة ودائمة بها والمحافظة عليها، **لذلك لا بد من:**

- المراقبة الحقلية المستمرة للتحقق من ثبات هذه النقاط في أماكنها، وإعادة تثبيت ما انتزع أو تخلخل منها.
- القيام بأعمال الرصد الدورية (كل 25 سنة على الأقل) على كامل نقاط هذه الشبكات للتحقق من ثباتها في الأرض وعدم تأثرها، سواء بالتشوهات التي يمكن أن تحصل على القشرة الأرضية من انزياح أو هبوط أو غيره، أم بأي أعمال هندسية أو ترابية تجري في منطقة وجودها .
- التأكد من دقة تعيين إحداثيات هذه النقاط بوساطة الإعادة الدورية للقياسات المساحية الضرورية باستخدام أجهزة القياس المساحي ذات المنظومات الأكثر تطوراً.

درجات degrees الشبكات الجيوديزية

تُقسَم الشبكات الجيوديزية في أي بلد من بلدان العالم عدّةَ سويات من حيث الأهمية أو التسلسلية في الرصد. وتقوم المؤسسات المسؤولة عن العمل المساحي في تلك البلدان بتنظيم شبكات وطنية تغطي مناطق الدولة جغرافياً وتُرتَّب على النحو الآتي:

- **الشبكة الجيوديزية من المرتبة الأولى:**

هي الأساس الوطني للأعمال المساحية في الدولة كلها، وتراوح أطوال أضلاعها بين 30 و100كم، وأطوال خطوط قواعدها من 5-30 كم. يجب التأكد من الدقة العالية لهذه الشبكة لأنّها ستكون الأساس الذي سوف تُبنى عليه الأعمال المساحية كافة على نطاق البلد. وتتميز هذه الشبكة بدقة قياس للزواياعالية .

- **الشبكة الجيوديزية من المرتبة الثانية:**

تأتي هذه الشبكة في المرتبة الثانية من حيث الأهمية بالنسبة إلى العمل الجيوديزي، وتُربط على مثلثات من الدرجة الأولى، وتراوح أطوال أضلاعها بين 10 و15 كم، وأطوال خطوط قواعدها من 2-5 كيلومترات، وتتميز بدقة قياس للزوايا أقل من شبكة المرتبة الاولى

- **الشبكة الجيوديزية من المرتبة الثالثة:**

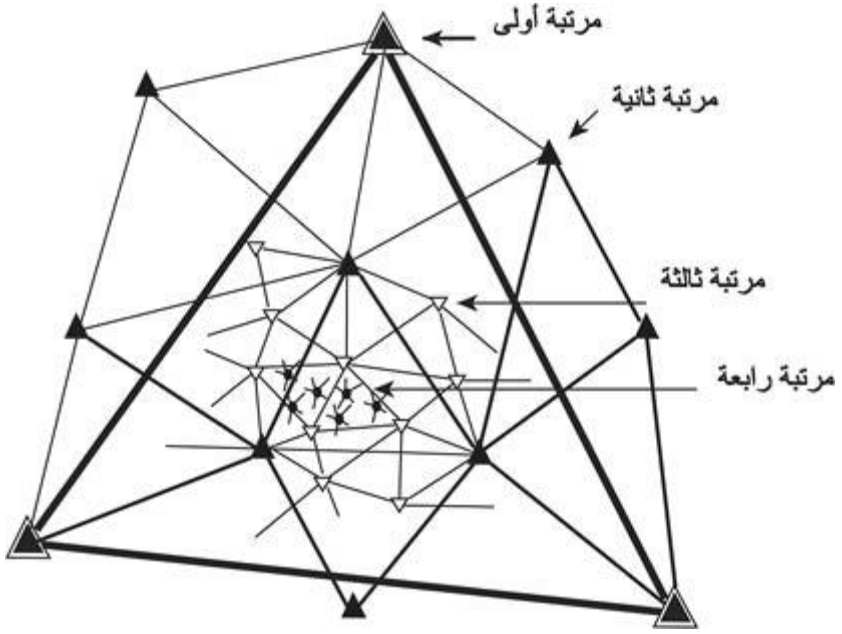
تُعدّ هذه الشبكة أكثرها استخداماً في المسح الجيوديزي، وتربط على مثلثات من الدرجة الأولى والثانية، وتراوح أطوال أضلاعها بين 6-9 كم، وأطوال خطوط قواعدها 1-3 كم. وتتميز بدقة قياس للزوايا أقل من شبكة المرتبة الثانية.

- **الشبكة الجيوديزية من المرتبة الرابعة:**

تستعمل في الأراضي الجبلية والمناطق الوعرة، وتصل بين المثلثات من الدرجة الثالثة، وهي أقل أنواع الشبكات دقة. يمكن الحصول عليها بحسب الحاجة بالتقاطع أو التقويم أو التضليع، وأطوال أضلاعها بحسب ما تسمح به طبوغرافية الأرض (الشكل4).

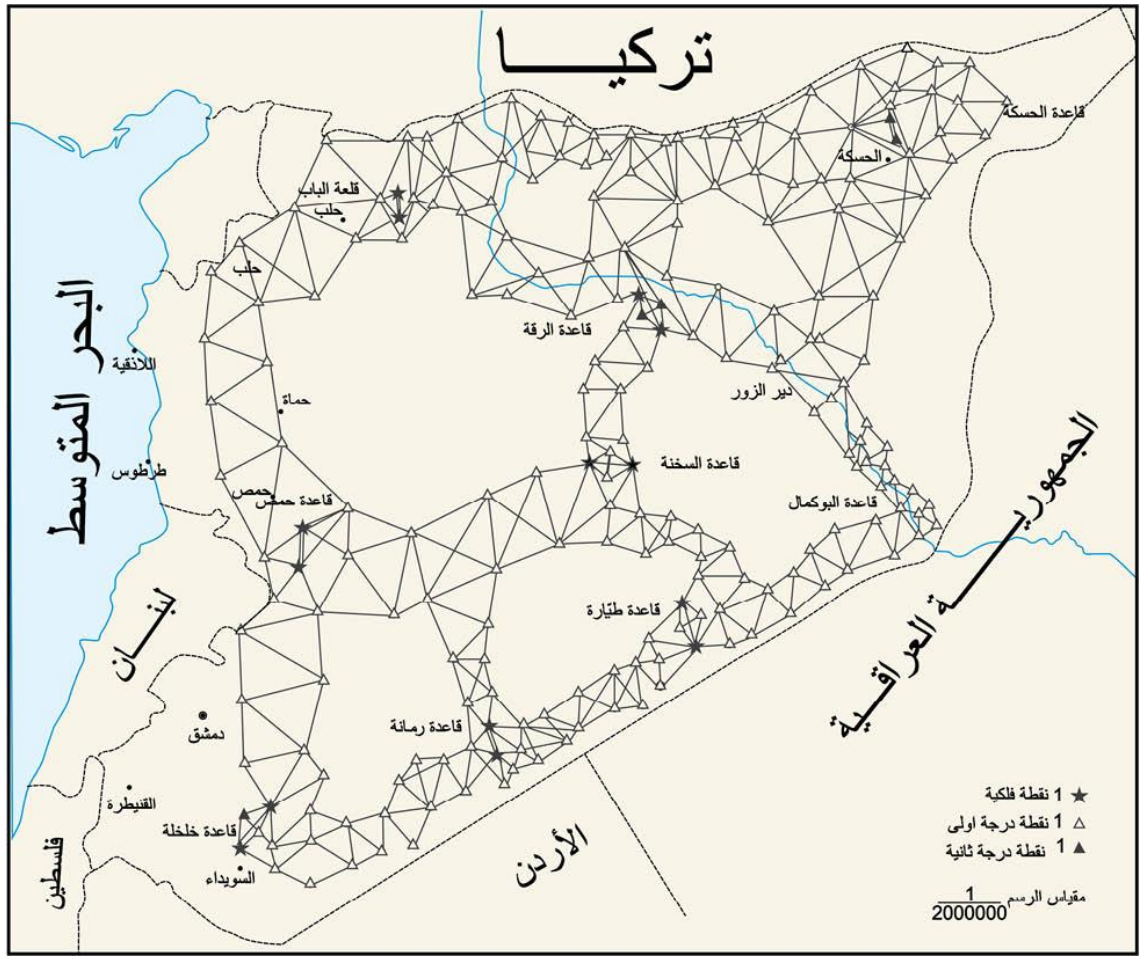
يختلف التقسيم إلى مراتب من بلد إلى آخر، وكذلك المعطيات الرقمية للدقة وأطوال الأضلاع والقواعد؛ تبعاً لمساحة البلد وتغطيته بنقاط الشبكات المثلثاتية والإمكانات المتوفرة ومستوى تطور ذلك البلد.

درجات degrees الشبكات الجيوديزية



الشكل (4) مراتب شبكات التثليث.

الشبكة الجيوديزية السورية من المرتبة الأولى والمراتب الأخرى.



الشبكة الجيوديزية السورية تشكلت على مراحل:

في البداية تم تأسيس الشبكة الفلكية والتي تتألف من سلسلة من مثلثات الدرجة الأولى والتي تتضمن (208) نقطة تستند على (9) قواعد انطلاق و (18) نقطة لابلاس والإهليلج المعتمد في حساب هذه الشبكة هو إهليلج هايفورد . بعد ذلك كثفت هذه الشبكة بنقاط من الدرجة الثانية والتي تضمنت 345 نقطة عند الإنشاء تهدم الكثير منها مع مرور الزمن وعدم العناية بها او صيانتها

تقسيمات الشبكة السورية الأفقية

الدرجة	التباعد بين النقاط (km)	عدد النقاط	الخطأ في قياس الزوايا(")	عدد السلاسل
الأولى	40-60	208	3-5	16
الثانية	20-30	345	10	8
الثالثة	5-20	-	20	4
الرابعة	0.5-5	-	30-40	3-4
(العقارية)	0.5-5	-	40-60	3-4

متانة شبكات المثلثات

إن الانطلاق في شبكة المثلثات من المثلث الأول وحتى نهاية السلسلة يعتمد في الحسابات على قانون الجيوب وبالتالي أي خطأ في قياس الزوايا سينعكس على أطوال الأضلاع المحسوبة وبالتالي على الإحداثيات الناتجة لنقاط الشبكة.

متانة الشبكة: عملية رياضية تضمن عدم تأثر دقة الأطوال المحسوبة اعتماداً على قانون الجيوب أو أن يكون هذا التأثير ضمن الحدود المسموحة وبالتالي المتانة قيمة تقديرية يتم استخدامها في:

- تصميم واختيار الشكل الهندسي لشبكات المثلثات
- المقارنة بين عدة أشكال مقترحة للشبكة
- تساعد في تحديد عدد الأرصاد (الاشتراطات) بكل جزء من أجزاء الشبكة.

تعتمد قيمة المتانة على:

1) دقة الأرصاد نفسها
2) قيمة الزوايا (ويفضل بين 30 و120 درجة).
3) عدد الاتجاهات المرصودة
4) عدد المثلثات المستخدمة بين قاعدتين.
5) عدد الشروط الهندسية بالشبكة

أنواع الأرصاد الهندسية في الحقل:

- ✓ **أرصاد ضرورية:** تكفي لتوقيع الشكل
- ✓ **أرصاد زائدة(فائضة):** تضمن التحقق من القياسات وجودة العمل وكل رصدة زائدة سوف تعطي بالضرورة شرطاً هندسياً(معادلة)

مثال:

لمعرفة زوايا المثلث يكفي قياس زاويتين فقط، ولكن مع قياس الزاوية الثالثة سيتم التأكد من أن قياس الزاويتين ضمن حدود الدقة المسموحة وبما أن رصد الزاوية الثالثة يعتبر زائداً فإنه يعطينا شرطاً وهو أن: $\Sigma \varphi_i = 180°$

حساب المتانة S_t

قانون حساب المتانة:

$$S_t = \frac{(O_t - C_t)}{O_t} \times \sum(\delta_1^2 + \delta_1 \times \delta_2 + \delta_2^2)$$

حيث:

S_t: معامل المتانة (لاواحدة له) وهومؤشر للدقة فقط ويكون معامل المتانة المسموح به يساوي 25 ضمن الشكل الواحد أما لكامل الشبكة يتراوح بين 80 و 100 لكامل الشبكة. وكلما كانت قيمة معامل المتانة أقل كان أفضل.

O_t: ضعف عدد الأضلاع المرصودة مطروحاً منه 2 أي: O_t=(2D-2)

C_t : الفرق بين عدد الأرصاد الكلية وعدد الأرصاد الضرورية:

عدد الأرصاد الضرورية= 2(n-2)

حيث **n** : عدد نقاط الشكل

δ: هو الفرق في تغير لوغاريتم جيب زاوية ما عندما تزداد ثانية واحدة

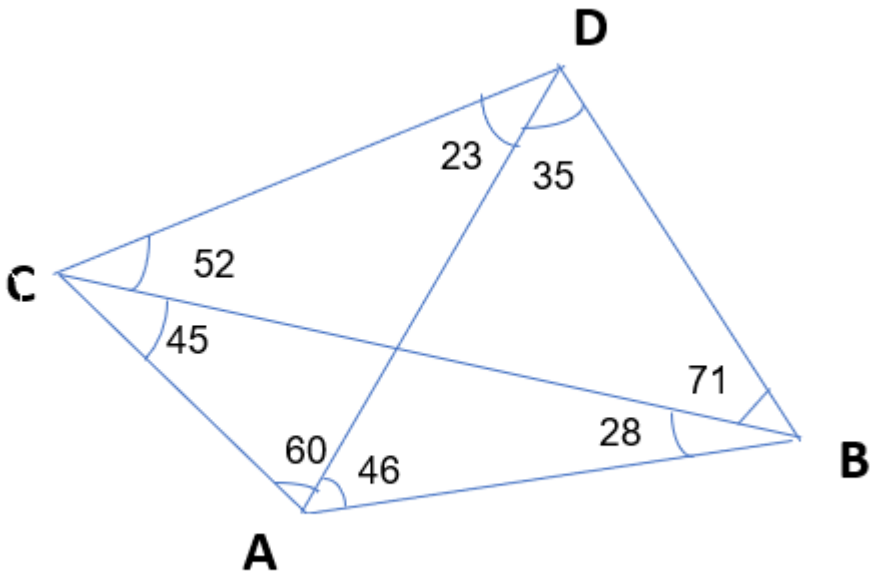
$$\delta = (\log \sin(\alpha + 1) - \log \sin(\alpha)) \times 10^{-6}$$

التطبيق العملي للمتانة

لنفترض أننا انطلقنا من ضلع معلومة AB ونريد الوصول إلى ضلع أخرى CD مجهولة في آخر الشبكة. عملية الوصول إلى CD تتم من خلال رصد زوايا الأضلاع التي تربط بين AB و CD وهذا سيتم عبر سلسلة من المسارات.
يتم حساب معامل المتانة لكل مسار والمسار الذي يكون معامل متانته أقل نختاره للدراسة إلى الجزء الذي يلي CD وهكذا

مثال:

ليكن لدينا الشكل المرفق حيث تمت عليه الأرصاد للزوايا كما هومبين بالشكل ولدينا الضلع AB معلوم ويراد معرفة السلسلة الأفضل عبر حساب معامل المتانة للوصول إلى الضلع CD.



الحل:

نوجد أولاً O_t و C_t

عدد النقاط المرصود منها : n=4

عدد القياسات الكلية = 8

عدد الأرصاد الضرورية 4 = 2(n-2)

$$C_t = 8 - 4 = 4$$

O_t= (2D-2)=2*6 – 2=10

التطبيق العملي للمتانة

المسار	المثلث المستخدم	الضلع المعلوم	الضلع المحسوب	الزوايا المقابلة		$\Sigma(\delta_1^2 + \delta_1 \times \delta_2 + \delta_2^2)$	المجموع	$\frac{(O_t - C_t)}{O_t}$	S_t
1	ABC ACD	AB AC	AC CD	45 23	28 60	27.8 38.3	66.1	0.6	39.7
2	ABC CDB	AB CB	CB CD	45 23+35	60+46 71	3 2	5	0.6	3
3	ABD ACD	AB AD	AD CD	35 52+45	28+71 60	8 1	9	0.6	5.4
4	ABD CDB	AB BD	BD CD	35 52	46 71	18 3	21	0.6	13

المسار الثاني هو الأفضل