جـامـعـة المـنـارة
كلية الهندسة/المدنية
المساحة الهندسية

العام الجامعي
٢٠٢٤-٢٠٢٥
المحاضرة (٦)

استخدام الطرق المساحية في مراقبة المنشآت الهندسية

أ. د. إياد اسماعيل فحصة

العام الجامعي

٢٠٢٣-٢٠٢٤

المحاضرة (٦)

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

١ مقدمة: أهمية قياسات الإنزياحات في مجال البناء.

٢ تعاريف عامة.

٣ المميزات الأساسية لتقنيات حسابات الانزياحات

٤ التصنيف العام للإنزياحات بحسب طرق إيجادها.

٥ طرق المعالجة العددية للقياسات المنفذة ضمن دورات قياس مستقلة.

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

١ـ أهمية تحديد الإنزياحات في مجال البناء

نهدف من دراستنا إلى إيجاد قيم إنزياحات نقاط محددة اختيارياً من المنشأة الهندسية.

وتصلُح القواعد التي سنستعرضها للاستخدام في تحديد تغيرات مواضع جميع المنشآت الهندسية والتجهيزات الصناعية والزراعية والمائية وهبوطات سطح الأرض وتحركات الكتل الجليدية الضخمة والرؤوس الجبلية ..... الخ.

يشمل مفهوم إيجاد الانزياحات كامل عملية حساب مقادير واتجاهات تغيُّر مواقع النقاط المرصودة والممثلة للمنشأة الهندسية.

تشمل عملية إيجاد الانزياحات الخطوات الآتية:

١- أعمال تصميم وتنفيذ وتثبيت نقاط شبكة المراقبة المساحية.

٢- إختيار النقاط الممثلة للمنشأة (تتوزع على السطح، وتكون كثيفة في مناطق الخطر).

٣- تثبيت أجهزة القياس والإشارات المساحية المختلفة.

٤- أعمال قياس العناصر الهندسية (زوايا، مسافات، فروقات ارتفاعات) ضمن الشبكة.

٥- المعالجة العددية للقياسات المنفذة.

٦- تحليل وتفسير نتائج المعالجة من قبل فريق متنوع الاختصاصات لتقدير مستوى أمان المنشأة خلال فترتي تنفيذ واستثمار المنشأة المرصودة.

ويقوم الفريق المساحي بتفسير نتائج القياس والمعالجة، ويعتمد على التفسير الرياضي للنتائج وإيجاد الحقل الشعاعي للإنزياحات.

عموماً نستفيد من عملية إيجاد الانزياحات في:

١- تقدير تطوُّر رد فعل المنشأة على العوامل الداخلي والخارجية المؤثرة عليها. ومنها: رد فعل الجدران على اهتزاز الآلات الصناعية، ورد فعل التربة تحت الأبنية وحولها على تغيرات الحمولات المؤثرة وعلى تغيرات الظروف المائية، ورد فعل السدود المائية على تغيرات ضغط الماء والحرارة، ورد فعل السطح على آثار استثمارات المناجم وأعمال الحفر تحت سطح الأرض. وبنفس الوقت يتم تقدير صحة تنفيذ المنشأة، ومقارنة مدى التطابق بين فرضيات التصميم والظروف الفعلية للمنشأة.

٢- تحديد درجة فقدان توازن المنشأة والخطر المحيط بها. وكذلك مستوى كفاءة الإجراءات المتخذة لدرء الكوارث.

٣-التحقق النظامي والمُبَرمج من صحة فرضيات التصميم.

١ – أهمية إيجاد الانزياحات في مجال البناء

ستشمل دراستنا إذاً حساب قيم تغير مواضع النقاط بالنسبة إلى حالةٍ أولية مرصودةٍ للمنشأة (فرضاً: مواقع النقاط عند اكتمال التشييد). ويتم هذا الحساب من خلال قياس العناصر الهندسية المختلفة (طول ضلع، زاوية، اتجاه، فرق ارتفاع) في لحظة البداية (ندعوها اللحظة الأولية)، وكذلك عندما نريد تحديد القيم الفعلية الراهنة للإنزياحات. وندعو هذه اللحظة باللحظة الحقيقية أو الفعلية.

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

٢- تعاريف عامة:

٢-١- شبكة المراقبة القياسية: الوظيفة الأساسية لهذه الشبكة هي الربط بين النقاط المثبتة على البناء المرصود (النقاط المرصودة) وبين نقاط نظام الاستناد المتواجدة بعيداً عن منطقة تشوهات البناء. ويتم هذا الربط بمساعدة النقاط الرابطة .

٢-٢- نظام الاستناد: هي مجموعة نقاط تحقق الشرطين التاليين:

١- تحقق فيما بينها عناصر هندسية تبقى قيمها واتجاهاتها المُقاسَةُ والمحسوبة ثابتة خلال كامل فترة رصد ومراقبة البناء.

٢- تتوضع في أماكن غير معرضة لانزياحات أو انزلاقات أو هبوطات في فترة الرصد.

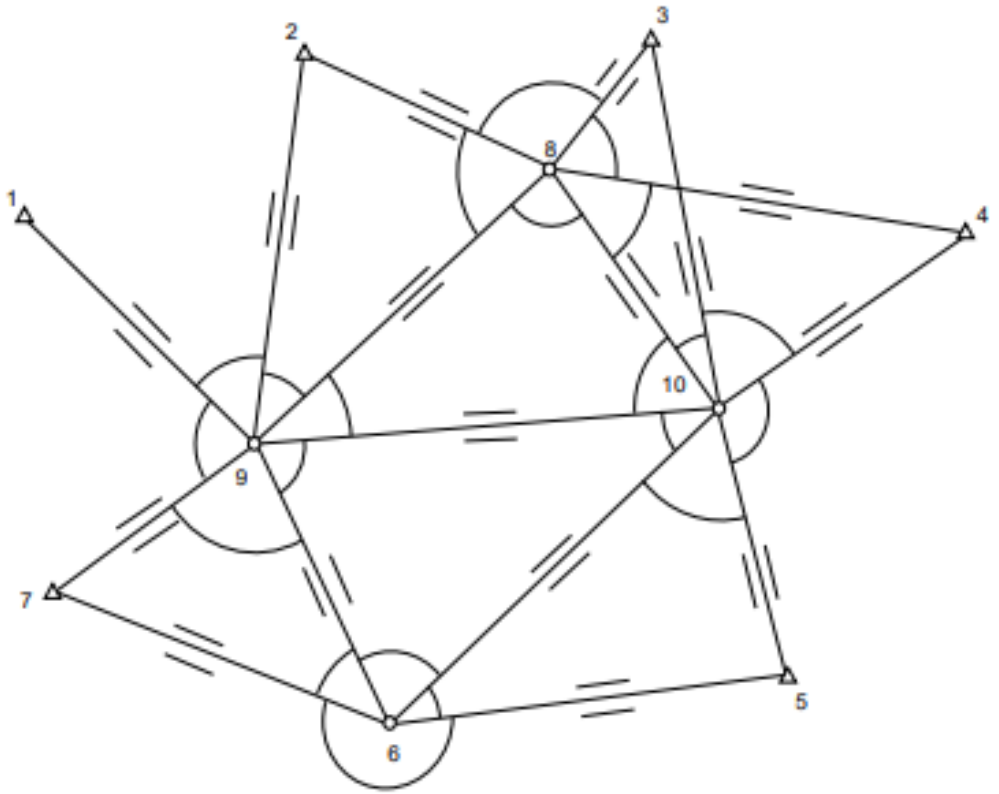
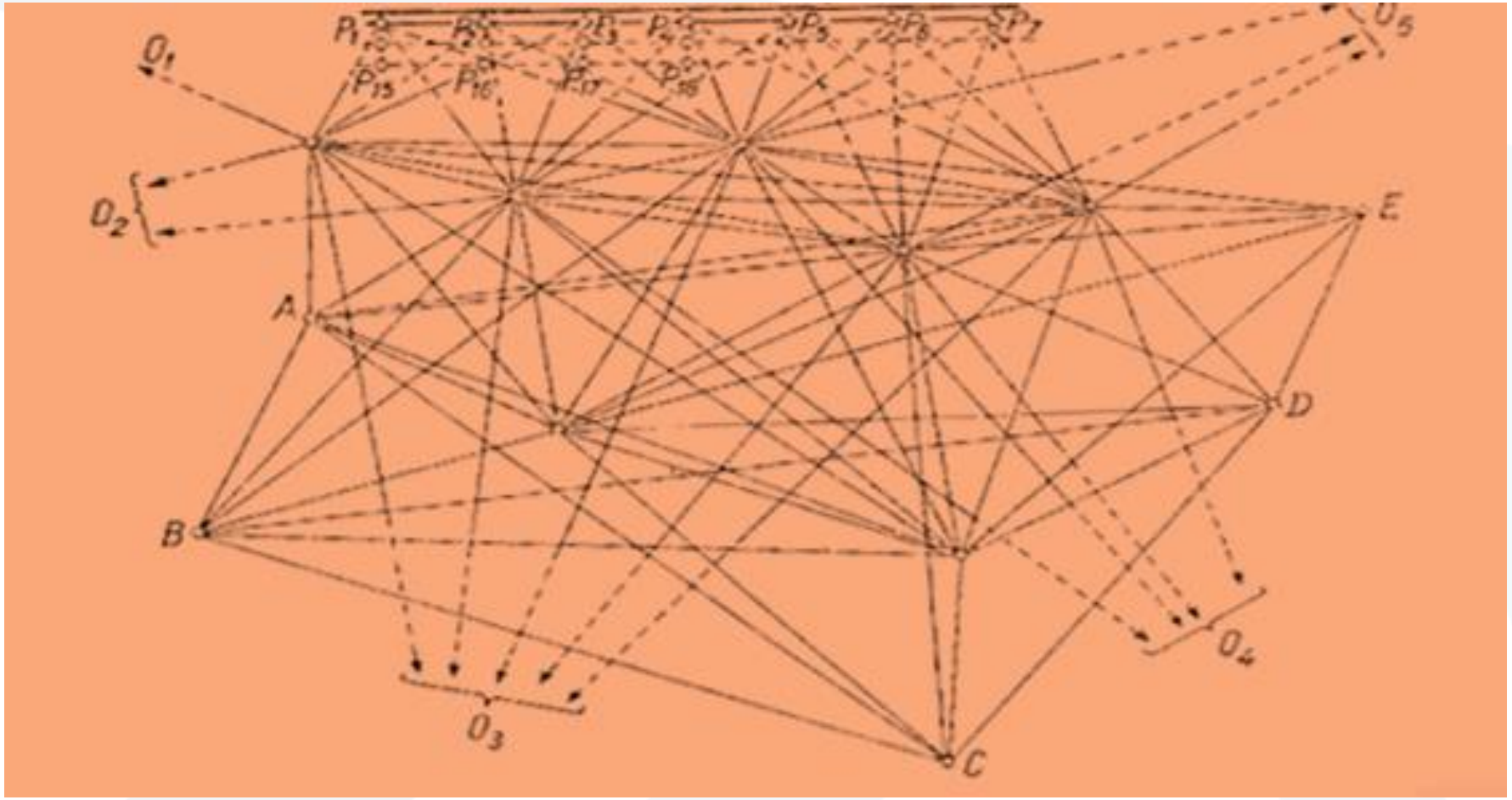


Figure 1. The analyzed network with a design of the maximum plan.

المحاضرة (٦)

مراقبة المنشآت الهندسية



٢- تعاريف عامّة:

٢-٣- الطرق المساحية لإيجاد الانزياحات:

نعرِّفُ هذه الطرق بأنها مجموعة الوسائط (شبكة + أجهزة قياس + طرق حسابية) المستخدمة في إيجاد تغيرات مواقع النقاط المرصودة الممثلة للبناء خلال فترات زمنية محددة مسبقاً، وذلك بالنسبة لمواقعها الأولية وبالنسبة لاتجاهات أولية محدّدَةٍ مسبقاً .

وينطبق هذا التعريف على كل الطرق المساحية المستخدمة بغض النظر عن عدد مركبات انزياحات النقاط وعن عدد محطات القياس وأجهزة القياس المستخدمة.

وتفيد الطرق المذكورة في حساب قيم مركبات الانزياح المطلقة (إنزياحات النقاط بالنسبة لنقاط الاستناد الموجودة خارج منطقة التشوهات الحاصلة).

٣- المميزات الأساسية لتقنيات حسابات الانزياحات

لإيجاد انزياحات النقاط الممثلة لمنشأة هندسية يجب القيام بقياساتٍ على عناصر هندسية ضمن الشبكة المساحية في بداية ونهاية الفترة الزمنية للمراقبة (الفترة الزمنية التي انزاحت خلالها النقاط المرصودة). نرقِّم نتائج القياسات الأولى (الدورة الأولية) بالرمز I ، ونتائج القياسات المنفذة في نهاية الفترة (الدورة الفعلية) بالرمز II.

إذاً نستطيع الآن إيجاد قيم الانزياحات في الفترة الزمنية ΔT_{I-II} . وبالإستفادة من نتائج قياسات دورة ثالثةٍ III نستطيع إيجاد قيم الانزياحات في الفترة الزمنية ΔT_{I-III} ، أو في الفترة الزمنية ΔT_{II-III} .

لإيجاد إنزياحات النقاط الممثلة لمنشأة هندسية يجب القيام بقياساتٍ على عناصر هندسية ضمن الشبكة المساحية في بداية ونهاية الفترة الزمنية للمراقبة (الفترة الزمنية التي انزاحت خلالها النقاط المرصودة). نرقِّم نتائج القياسات الأولى (الدورة الأولية) بالرمز I ، ونتائج القياسات المنفذة في نهاية الفترة (الدورة الفعلية) بالرمز II.

إذاً نستطيع الآن إيجاد قيم الإنزياحات في الفترة الزمنية ΔT_{I-II} . وبالاستفادة من نتائج قياسات دورة ثالثةٍ III نستطيع إيجاد قيم الإنزياحات في الفترة الزمنية ΔT_{I-III} ، أو في الفترة الزمنية ΔT_{II-III} .

نجد مما سبق أن فكرة الانزياح مرتبطة بالزمن. ونقول بأنه في برنامج مراقبة أي منشأة هندسية يجب تحديد الفترة الزمنية الفاصلة بين دورات القياس النظامية والمتكررة، وكذلك إمكانية تنفيذ دورات قياس استثنائية مرتبطة بنوع وأهمية المنشأة وبتطور العوامل الخارجية والداخلية المؤثرة على المنشأة.

ولكي تحقق نتائج حسابات الانزياحات الهدف المطلوب يجب أن تحقق الشروط الآتية:

١- أن تكون صحيحةً وموثوقة: ونفهم من ذلك تطابق نتائج الحسابات وتوافقها مع التغيرات الحقيقية لمواضع النقاط المرصودة ضمن حدود أخطاء القياس العَرَضِيّة.

٢- أن تتصف بأعلى دقةٍ ممكنة: ويتم تحديد الدقة المطلوبة من قبل الفريق المسؤول عن تفسير وتعليل وتحليل النتائج (مثلاً: لايمكن للأخطاء المتوسطة المحسوبة للإنزياحات أن تتجاوز قيمةً محددة $\pm 0.5mm$ ، أو لاتتجاوز الأخطاء النسبية للانزياحات قيمة $\pm 20\%$).

٣- أن تكون القيم المحسوبة حقيقيةً وفعلية: ونعتبرها فعلية عندما الفترة الزمنية الفاصلة بين نهاية دورة القياس الفعلية ولحظة انتهاء الحسابات أقصر ما يمكن.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

٤- التصنيف العام للإنزياحات بحسب طرق إيجادها:

تُقسَمُ الانزياحات الحاصلة ضمن الفترة الزمنية الفاصلة بين دورة القياس الأولية (I) ودورة القياس الفعلية (II) وفقاً لما يلي:

٤-١- الإنزياحات المطلقة: إذا حوفِظَ على ظروف محيطة (تقنية، جيولوجية، هندسية)، وعلى نظام استنادٍ واحدٍ.

٤-٢- الانزياحات النسبية: في حال عدم المحافظة على الظروف السابقة يمكننا حساب الانزياحات بالنسبة لنقاط منزاحة. وهي تعطي بياناتٍ نسبية محلية لايمكن الاعتماد عليها في تحديد مستوى أمان المنشأة الهندسية.

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

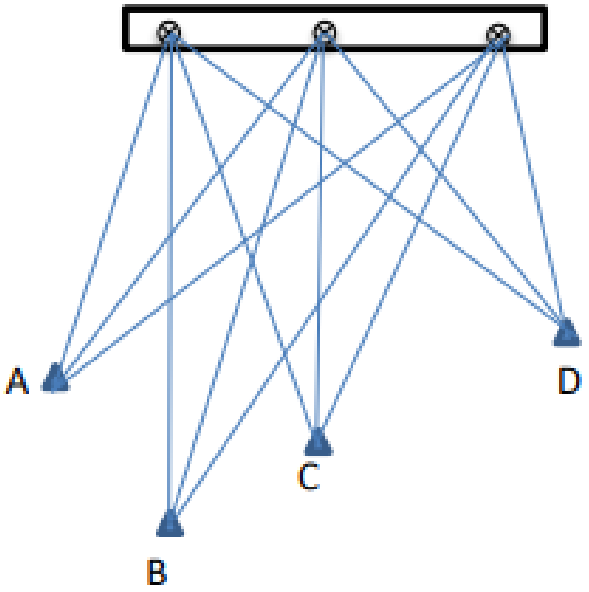
٥- طرق المعالجة العددية للقياسات المنفذة ضمن دورات قياس مستقلة.

يمكن معالجة نتائج المنفذة في الدورة القياسية الأولية (في التوقيت T1) وفي الدورة الفعلية (في التوقيت T2) بهدف حساب مركبات إنزياحات النقاط المرصودة بإحدى الطرق الآتية:

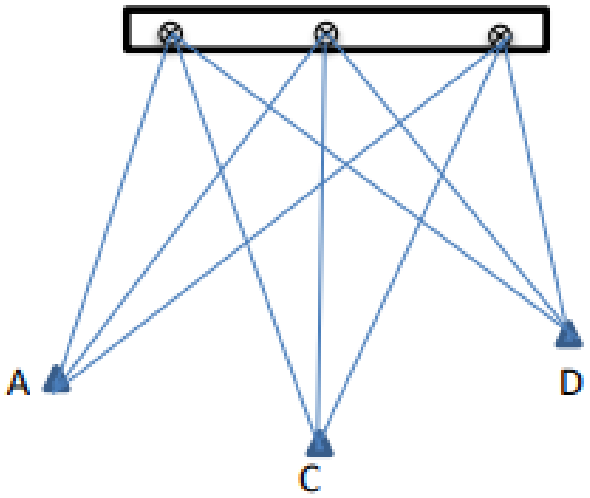
الطريقة المستقلة ، طريقة الفروقات ، الطريقة المختلطة

٥-١- الطريقة المستقلة: حيث تتم المعالجة لكل دورة قياس بشكلٍ مستقل عن الدورات الأخرى، ونستخدمها عندما لايكون بالإمكان المحافظة على نفس البنية الهندسية لشبكة المراقبة المساحية. وسنعتمد هذه الطريقة في المرحلة الحالية.

a: T1)



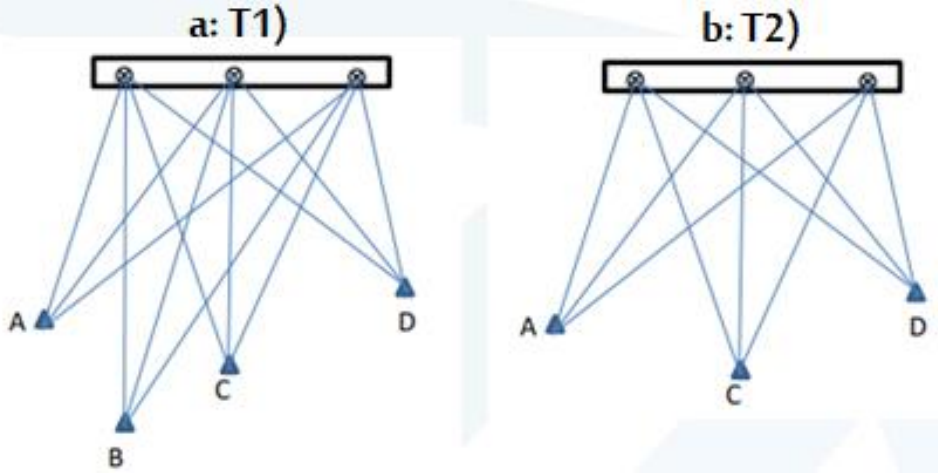
b: T2)



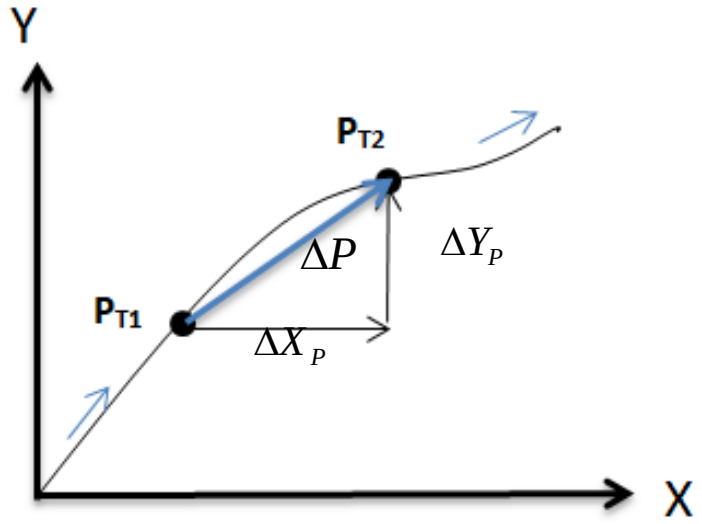
▲ : نقطة استناد خارجية ثابتة (مرصد خارجي).

⊗ : نقطة مرصودة على المنشأة الهندسية.

نستخدم الطريقة المستقلة عندما لايمكننا المحافظة على نفس العناصر الهندسية المرصودة في دورة القياس الأولى خلال تنفيذ دورات القياس المتتالية. وينتج ذلك عن ضياع إحدى نقاط الشبكة أو عن عدم توفر الرؤية (الرصد المباشر) بين المرصد وبعض النقاط المرصودة بسبب بعض الأعمال أو الحفريات التي تتم في ساحة العمل. كما يظهر في الشكل أدناه.



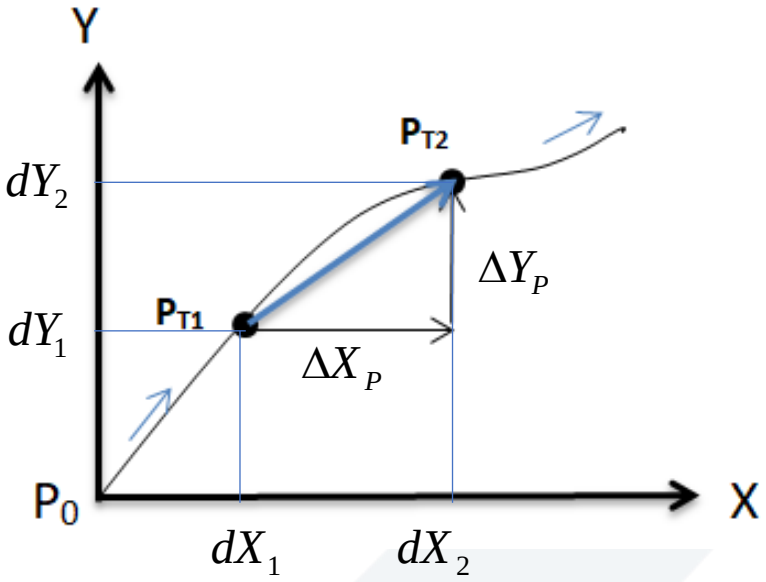
ولشرح مبدأ هذه الطريقة في إيجاد مركبتي إنزياح النقطة نستخدم الشكل التالي:



حيث:

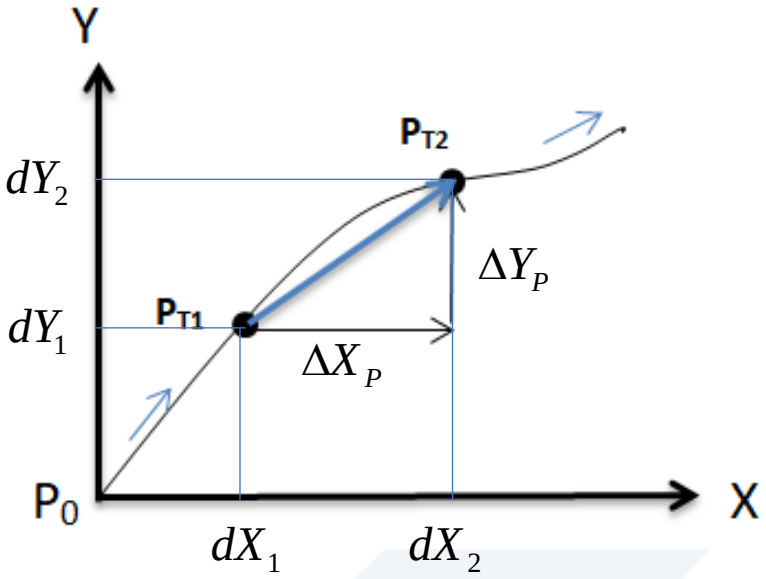
- يمثل السهم الأزرق مسار النقطة P خلال الفترة الزمنية (T2 – T1) .
- يمثل السهم الأفقي ΔX_P الموازي للمحور OX مركبة انزياح النقطة P وفق المحور OX في الفترة الزمنية (T2 – T1) .
- يمثل السهم الشاقولي ΔY_P الموازي للمحور OY انزياح النقطة P وفق المحور OY خلال الفترة الزمنية (T2 – T1) .

ولشرح مبدأ هذه الطريقة في إيجاد مركبتي إنزياح النقطة نستخدم الشكل التالي:



افترضنا هنا أن مسار النقطة P وصل إلى الموقع P0
في اللحظة الزمنية T0 ، وإحداثياتها هي (X0 , Y0) .
وكانت النقطة في اللحظة T1 في الموقع PT1
(اللحظة الزمنية عند بداية الاستثمار)،
وإحداثياتها هي (XP1 , YP2) .
وكانت النقطة في اللحظة T2 في الموقع PT2
(اللحظة الزمنية الفعلية عند الإنزياح)،
وإحداثياتها هي (XP2 , YP2) .

من الشكل المرافق نستنتج:



$$X_{P1} = X_0 + dX_1 \quad \text{و} \quad X_{P2} = X_0 + dX_2$$

$$Y_{P1} = Y_0 + dY_1 \qquad Y_{P2} = Y_0 + dY_2$$

ومنه:

$$\Delta X_P = X_{P2} + X_{P1} \Rightarrow \Delta X_P = dX_2 + dX_1$$

$$\Delta Y_P = Y_{P2} + Y_{P1} \Rightarrow \Delta Y_P = dY_2 + dY_1$$

٦- الصيغة العامة لمعادلة تصحيح القياس:

نعتبر عنصراً هندسياً معيناً (فرق ارتفاع، اتجاه، زاوية، مسافة أفقية) تبلغ قيمته التقريبية S_0 ، وتكون بذلك إحداثياته التقريبية (X_0, Y_0, Z_0). وبعد فترة زمنية (T_1-T_0) ازدادت الإحداثيات التقريبية لنقاط العنصر المُقاس بالمقادير التفاضلية (dX, dY, dZ) وأصبحت القيمة المُقاسةُ للعنصر هي S^{ob} .

إن القيمة التقريبية للعنصر المُقاس S_0 مضافاً إليها الزيادة التفاضلية dS تساوي قيمة العنصر المُقاس مضافاً إليها التصحيح الناتج عن عملية القياس v_S . أي:

$$S_0 + dS = S^{ob} + v_S \Rightarrow$$

$$v_S = dS + (S_0 - S^{ob})$$

وهي الصيغة العامة لمعادلة التصحيح في الطريقة المستقلة .

٦- الصيغة العامة لمعادلة تصحيح القياس:

$$S_0 + dS = S^{ob} + v_S \Rightarrow$$

$$v_S = dS + (S_0 - S^{ob})$$

نستنتج من المعادلات السابقة أن الزيادة التفاضلية للعنصر هي بمثابة تابع للزيادات التفاضلية لإداثيات النقاط المشكلة لهذا العنصر. ونعبر عن ذلك بالعلاقة الآتية:

$$dS = f(dX_1, dY_1, ..., dX_2, dY_2, ...),$$

$$dS = f(dX_1, dX_2, ..., dY_1, dY_2, ...),$$

٧- القواعد العامة للكشف عن نقاط الاستناد:

يُعتبَرُ الكشف عن نقاط الاستناد أهم خطوة في حساب الانزياحات. ويؤدي الكشف الخاطئ لمجموعة هذه النقاط إلى تشويه نتائج الحسابات، وبالتالي إلى تشويه عمل شبكة المراقبة القياسية المساحية.

يُمكن الكشف عن نقاط الاستناد قبل المعالجة العددية لنتائج القياسات بالاعتماد على المقارنة بين نتائج دورة القياس الفعلية (المنفذة على الأرض) والقيم التقريبية للعناصر المقاسة (المحسوبة من خلال القيم التقريبية لإحداثيات النقاط المكوِّنة للعناصر المقاسة).

إذاً تعتمد الطريقة المذكورة على المقارنة بين فرق نتائج القياس والقيمة التقريبية للعنصر المحسوبة من الإحداثيات التقريبية المحددة في مرحلة سابقة.

ويتوضح ذلك من خلال العلاقة:

$$S_o - S^{ob} \le \max m_{S^{ob}}$$

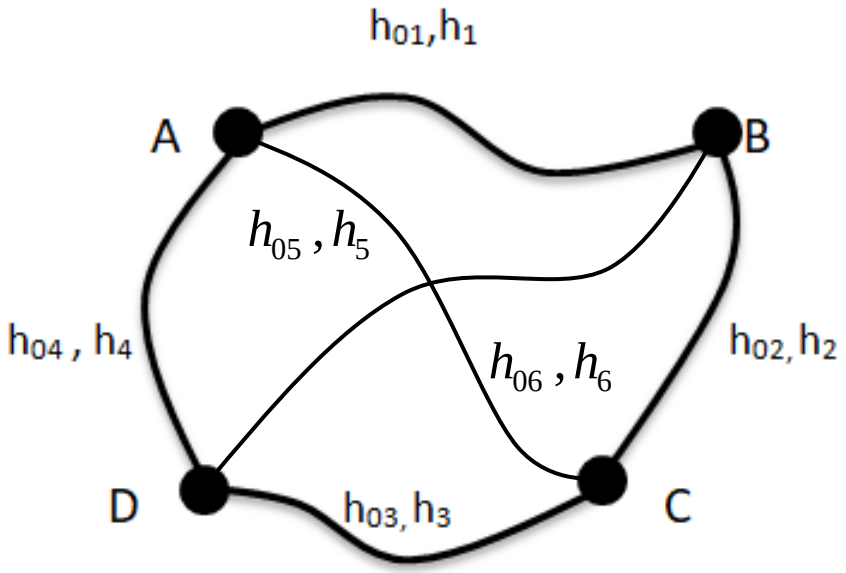
وهي طريقة بسيطة تُستخدم بنجاحٍ في الشبكات الارتفاعية والشبكات الأفقية التي تحوي قياسات أطوال الأضلاع ضمن شبكة المراقبة القياسية.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

ولتوضيح الطريقة نورد المثال العددي التالي

(بحيث ستكون قيم عناصر المعادلة

هي افتراضية) :



$$S_o - S^{ob} \le \max m_{S^{ob}}$$

نفترض أنه تم تصميم النقاط (A,B,C,D)

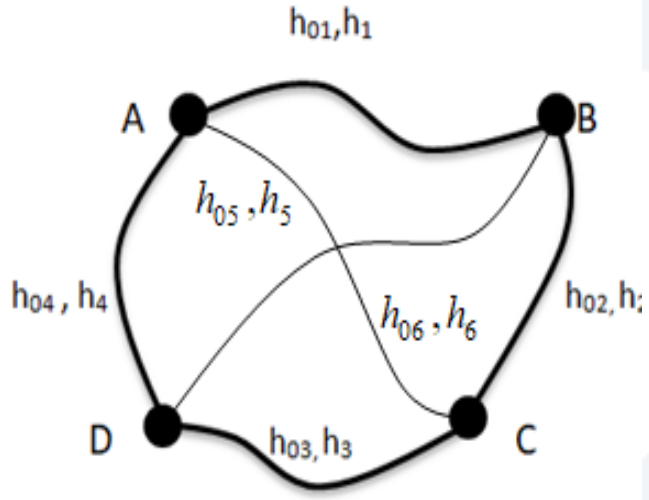
على أنها نقاط استناد، للكشف عن صحة

الفرضية نطبق المعادلة على جميع التركيبات الممكنة للقياسات الارتفاعية.

ثم ننظم الجدول الآتي:

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

الطريق المستقلة
معالجة نتائج القياسات
طريقة الكشف عن نقاط الاستناد



الريبير (المرصد)	الريبير (المرصد)			
	A	B	C	D
A	$\max m_{S^{ob}}$ $S^0 - S^{ob}$	±0.42 0.24	±0.52 0.04	±0.64 0.82
B			±0.30 0.20	±0.52 0.04
C				±0.40 0.60

نجد من الجدول أعلاه أن العلاقة $S_o - S^{ob} \le \max m_{S^{ob}}$
محققة ضمن التركيبات القياسية: (AB,BC,AC,AB) فقط.
وبالتالي فإن النقاط (A,B,C) هي نقاط استناد.

وبشكلٍ عامٍ سنستعرض في دراستنا الحالية شبكات المراقبة القياسية المساحية التي تتضمن قياسات فروقات الارتفاعات بين النقاط وقياسات المسافات الأفقية بين نقاط الشبكة. ويمكن في مرحلةٍ لاحقةٍ إضافة بعض قياسات العناصر الهندسية بين النقاط مثل: الإتجاهات الأفقية والزوايا الأفقية والشاقولية.

انتهت المحاضرة