مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (1) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

تقييم دقة قيم الهبوطات، عند تحديد التشوهات الشاقولية

الدكتور أديب محمود القاموع *

(تاريخ الإيداع 8 / 11 / 2006. قبل للنشر في 2007/2/15)

□ الملخّص □

إن المنشآت الهندسية المختلفة، تتعرض خلال فترة التنفيذ وطيلة فترة الاستثمار، بشكل عام، إلى تشوهات أفقية وشاقولية.

تم التركيز في هذا البحث على دراسة وتحليل مفهوم تقييم دقة تحديد قيم الهبوطات الشاقولية فقط. وذلك عند دراسة التشوهات في المنشآت الهندسية. وتم تحديد الأخطاء المتوسطة التربيع لقيم الهبوطات الشاقولية ، عند دراسة الشوهات الشاقولية، باستخدام طريقتين مختلفتين، هما:

الطريقة الأولى: استخدمت فيها علاقة الخطأ المتوسط التربيع لتابع المتحولات المترابطة.

وفي الطريقة الثانية تم من خلال استخدام مصفوفة معاملات الارتباط ومصفوفة أمثال الأوزان.

وخلص البحث إلى توصيات منها: ضرورة استخدام التسوية الهندسية الدقيقة لإجراء قياسات التسوية لتحديد التشوهات الشاقولية. واستنتاج أن الطريقة الأولى هي الأفضل للحصول على النتائج المطلوبة في دراسة التشوهات الشاقولية للمنشأ الهندسي.

كلمات مفتاحية: هبوطات شاقواية، منشآت هندسية، طرق قياس مساحية، خطأ متوسط تربيع.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (1) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

Valuation of the Accuracy of the Settlements Values during Determination of the Vertical Deformation

Dr. Ddib M. Al-Lamouh*

(Received 8 / 11 / 2006. Accepted 15/2/2007)

□ ABSTRACT □

The different engineering projects are exposed to horizontal and vertical deformations during the period of execution and exploitation.

The research focused on studying and analyzing the evaluation of the accuracy of vertical settlements values only during our study of deformations of engineering projects. It determined the average square errors of vertical settlements values, while studying vertical deformations. Two different ways were determined: The first way is by using the formula for the average square error of the function of correlated arguments. The second way is by deducting the matrix of coefficient of correlation and weight matrix.

The research has recommendations that precise leveling must be used to measure the leveling for determining the vertical deformations. The first way is better to obtain the results of vertical deformations for engineering projects.

Keywords: Vertical settlements, Engineering projects, Methods of survey measurements, Average square error.

***Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

إن الأعمال المساحية من أهم الأعمال الهندسية التي ترافق دراسة وتنفيذ المشاريع الهندسية ، بدءاً من إنجاز المخطط الطبوغرافي لمنطقة المشروع الهندسي ، ومروراًً بالدراسات المختلفة والمقارنات الاقتصادية التي تتم على المخطط الطبوغرافي ، للوصول إلى الحل الأكثر اقتصادية والذي يحقق الشروط والمواصفات الفنية Specificationالمطلوبة ، ومن ثم البدء بتنفيذ المشروع الهندسي وفق برنامج التنفيذ الموضوع لذلك.

تسهم طرق القياس المساحية Methods of survey measurement ، باستخدام الأجهزة المساحية Surveying equipments المختلفة في تنفيذ المنشآت الهندسية حسب المواصفات المدروسة وبالدقة المطلوبة Requested accuracy. كما تسهم في مراقبة ومتابعة سلوك المبنى وتحديد التشوهات Deformations الحاصلة من انزياحات أفقية Horizontal shifts وهبوطات شاقولية Vertical settlements طيلة العمر الهندسي المفترض للمنشأ. ولهذا أمكن القيام بالدراسة البحثية التحليلية للمساهمة في رصد ومراقبة التشوهات Monitoring and observations the deformations ، لاسيما الهبوطات الشاقولية Vertical settlements لبعض المنشآت الهندسية في محافظة اللاذقية ، وفي فترات زمنية مختلفة من الأعوام 2002 م وحتى 2006 م.

أهمية البحث وأهدافه:

إن مراقبة وتحديد الهبوطات الناتجة عن التشوهات الشاقولية التي تتعرض لها المنشآت الهندسية أثناء مراحل التنفيذ وطيلة فترة الاستثمار ، هو جوهر موضوع هذا البحث. تسهم طرق القياس المساحية وباستخدام الأجهزة المساحية المناسبة في تحديد الهبوطات الحاصلة(الناتجة عن : الوزن الذاتي للمنشأ الهندسي ، جيولوجية تربة التأسيس ، وغيرها) ، ويمكن تحديد قيم الهبوطات الشاقولية . وهذه القيم ، المتحصل عليها ، هي أحد مؤشرات عوامل الأمان للمنشأ إذا كانت ضمن القيم المسموحة Allowable value في المواصفات الفنية. وفي الحالة المعاكسة ستكون بمثابة جرس الإنذار لاستباق مرحلة الخطر والقيام بالمعالجات والحلول الإنشائية المناسبة.

طرق البحث ومواده:

اعتمد البحث على الدراسات والأعمال المساحية المنجزة لمشاريع هندسية مختلفة ، في مراقبة وتحديد الهبوطات الشاقولية التي تتعرض لها. وعلى محاولة وضع الدراسة المنهجية المتكاملة لموضوع التشوهات الشاقولية وتحديد مقادير قيم الهبوط الشاقولي. مستخدمين التسوية الهندسية الدقيقة ، للحصول على فروق المناسيب وحساب مناسيب (ارتفاعات) النقاط. يستخدم في القياس جهاز التسوية (النيفو) عالي الدقة والميرات الدقيقة من الأنفار، وضرورة تحقيق متطلبات التسوية الهندسية الدقيقة في أثناء إجراء قياسات التسوية الحقلية. ثم معالجة نتائج قياسات التسوية ، كبلوك واحد بطرق التعديل الدقيقة باستخدام البرامج الهندسية الكمبيوترية Software بطريقة التربيعات الصغرى. ليتم الحصول على المناسيب (الارتفاعات) المعدَلة لجميع نقاط مراقبة التسوية. وتعاد منهجية ومراحل ومخطط القياس ومعالجة نتائج القياسات نفسها في كل جولة قياسات تسوية تالية .

التسوية وقياس الارتفاعات – تحديد الهبوطات الشاقولية:

يعين منسوب Elevation (أو ارتفاع High) نقطة ما مجهولة من سطح الأرض ، وذلك بقياس فرق الارتفاع Difference in elevation بين هذه النقطة ونقطة أخرى معلومة الارتفاع أو المنسوب ، تسمى مرجع (دليل) تسوية أو ريبير Bench mark or Repere مثبتة ومعلَمة على الأرض الطبيعية. يقاس فرق الارتفاع باستخدام أجهزة تسوية أو غيرها ، ثم يضاف جبرياً فرق الارتفاع الناتج إلى منسوب النقطة المعلومة فينتج منسوب (أو ارتفاع) النقطة المجهولة. [3 ، 2 ، 1]

لتحديد الهبوطات الشاقولية Vertical settlements للمنشآت الهندسية ، يتم تثبيت عدد معين من نقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$) Levelling control point في أماكن صلبة ومناسبة من المنشأ الهندسي ، على شكل برغي تسوية جداري أو برشيم تسوية أو غيره. كما يتم تثبيت علامات مراجع تسوية مرجعية Reference bench mark or Repere ، خاصة بالمنشأ المدروس ، تحسب مناسيبها انطلاقا من شبكة التسوية العامة. يتم اختيار علامات مراجع التسوية المرجعية في مواقع مناسبة ، من حيث البعد عن المنشأ ، ومستقرة جيولوجيا ، وتثبت بشكل مناسب (بصبة بيتونية أو غيرذلك) لتبقى كمراجع تسوية دائمة طيلة فترة استثمار المشروع الهندسي المدروس .تشكل علامات (مراجع) التسوية المختارة هذه ، فيما بينها شبكة التسوية أو مسالك التسوية المرجعية. [1 ، 2]

يتم الحصول على فروق الارتفاعات Difference in elevations وبالتالي مناسيب (أو ارتفاعات) نقاط مراقبة التسوية ، من قياسات التسوية Levelling ، وذلك انطلاقا من مراجع التسوية المرجعية ، بعدة طرق نذكر منها : [1 ، 2 ، 3]

- التسوية الهندسية الدقيقة Precise levelling. وفيها تستخدم أجهزة تسوية (جهاز أو ميزان التسوية Level والمسمى أيضا نيفو Niveau) عالية الدقة Precise level وميرات دقيقة من الأنفار Precise leveling staff ، ويجب تحقيق مجموعة من متطلبات التسوية الدقيقة ، منها : ضرورة وضع جهاز النيفو الدقيق في منتصف المسافة بين النقطتين ، وأن لا تتجاوز المسافة بين جهاز التسوية والميرا 50 مترا ، وغيرها. والتي ننصح باستخدامها.
- التسوية الهندسية العادية Levelling or Direct levelling.
- التسوية غير المباشرة أو التسوية المثلثاتية Indirect levelling or Trigonometric Leveling .

تتم معالجة جميع نتائج قياسات التسوية ، كبلوك واحد باستخدام البرامج الهندسية الكمبيوترية Software المناسبة للتعديل ، بطريقة التربيعات الصغرى Least square method لنحصل بنتيجة ذلك على :

المناسيب (الارتفاعات) المعدّلة Adjusted elevation لجميع نقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$) والتي نرمز لها بالرمز : (H_k) .

وبمنهجية قياسات التسوية ، المذكورة أعلاه ، يكون قد تم انجاز جولة قياس تسوية كاملة Measurement levelling cycle ولتكن جولة القياس الأولى هي i ، ونحصل من جولة القياس i هذه على مناسيب نقاط مراقبة التسوية $H_k^{(i)}$. وبإتباع منهجية ومراحل ومخطط القياس ومعالجة نتائج القياسات نفسها في كل جولة قياس تالية ، ولتكن جولة القياس التالية (الثانية) هي j ، ونحصل أيضاً من جولة القياس هذه ، الجولة j ، على مناسيب نقاط مراقبة التسوية $H_k^{(j)}$.

الأخطاء المتوسطة التربيع لقيم الهبوطات ، عند دراسة التشوهات الشاقولية:

(الطريقة الأولى):

إن مقدار قيمة الهبوط الشاقولي Vertical settlement's value أي : $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ ، لنقطة مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, …, n) بين كل جولتين من جولات قياس التسوية (i و j) تحدد بالعلاقة الآتية:

$$\delta H_k^{(ij)} = H_k^{(j)} - H_k^{(i)}\,,\, k = 1,2,3\ldots n \qquad (1)$$

إن مناسيب (ارتفاعات) نقاط مراقبة التسوية $H_k^{(i)}$ من جولة قياسات التسوية i هي قياسات مترابطة فيما بينها. وبالمثل، فإن مناسيب (ارتفاعات) نقاط مراقبة التسوية $H_k^{(j)}$ من جولة قياسات التسوية j هي قياسات مترابطة فيما بينها أيضاً.

بينما المناسيب (الارتفاعات) المزدوجة $H_k^{(i)}$ و $H_k^{(j)}$ لنقطة مراقبة التسوية نفسها (k = 1, 2, 3, ……, n) في كل من جولتي القياس i و j منفصلة عن بعضها بعضاً، أي إنهما قيم غير مترابطة فيما بينها. هذا يؤدي إلى أن الخطأ المتوسط التربيع Average square error لمقدار قيمة الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ بين كل من جولتي القياس i و j ، لنقطة مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n)، يمكن تعيينه من قانون انتشار الأخطاء المتوسطة التربيع Low of the propagation of mean square errors أو قانون غوص Gauss في انتشار الأخطاء لتابع بالنسبة لقياسات مباشرة مستقلة عن بعضها ، ويأخذ هنا الصيغة الآتية: [1 ، 2 ، 4]

$$m_{\delta H_k^{(ij)}} = \sqrt{m^2_{H_k^{(j)}} + m^2_{H_k^{(i)}}} \qquad (2)$$

حيث إن: $m_{H_k^{(i)}}$ و $m_{H_k^{(j)}}$ هي ، على التوالي ، الأخطاء المتوسطة التربيع لمناسيب نقطة مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n) في كل من جولتي القياس i و j . ويمكن تحديدها من العلاقات الآتية:

$$m_{H_k^{(i)}} = \mu_{(i)}\sqrt{Q_{H_k^{(i)}H_k^{(i)}}}\,;\, m_{H_k^{(j)}} = \mu_{(j)}\sqrt{Q_{H_k^{(j)}H_k^{(j)}}} \qquad (3)$$

القيم في العلاقة (3) أعلاه ، $Q_{H_k^{(i)}H_k^{(i)}}$ و $Q_{H_k^{(j)}H_k^{(j)}}$ تمثل ، على التوالي ، أمثال الأوزان القطرية لمصفوفة أمثال الأوزان Weight matrix للقيم المعدَلة للمناسيب $H_k^{(i)}$ و $H_k^{(j)}$ ، التي تأخذ الشكل الآتي:

$$\underset{(n,n)}{Q^{(i)}} = \underset{(n,n)}{N^{-1}_{(i)}} = \begin{bmatrix} Q_{H_1^{(i)}H_1^{(i)}} & Q_{H_1^{(i)}H_2^{(i)}} & \cdots & Q_{H_1^{(i)}H_n^{(i)}} \\ Q_{H_1^{(i)}H_2^{(i)}} & Q_{H_2^{(i)}H_2^{(i)}} & \cdots & Q_{H_2^{(i)}H_n^{(i)}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{H_1^{(i)}H_n^{(i)}} & Q_{H_2^{(i)}H_n^{(i)}} & \cdots & Q_{H_n^{(i)}H_n^{(i)}} \end{bmatrix}$$

(4)

$$\underset{(n,n)}{Q^{(j)}} = \underset{(n,n)}{N^{-1}_{(j)}} = \begin{bmatrix} Q_{H_1^{(j)}H_1^{(j)}} & Q_{H_1^{(j)}H_2^{(j)}} & \cdots & Q_{H_1^{(j)}H_n^{(j)}} \\ Q_{H_1^{(j)}H_2^{(j)}} & Q_{H_2^{(j)}H_2^{(j)}} & \cdots & Q_{H_2^{(j)}H_n^{(j)}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{H_1^{(j)}H_n^{(j)}} & Q_{H_2^{(j)}H_n^{(j)}} & \cdots & Q_{H_n^{(j)}H_n^{(j)}} \end{bmatrix}$$

فإن العلاقة (2) السابقة ، لحساب الخطأ المتوسط التربيع لمقدار قيمة الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ لنقطة مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n) ، بين كل من جولتي القياس i و j تأخذ الصيغة الآتية:

$$m_{\delta H_k^{(ij)}} = \sqrt{\mu^2_{(j)} Q_{H_k^{(j)}H_k^{(j)}} + \mu^2_{(i)} Q_{H_k^{(i)}H_k^{(i)}}} \qquad (5)$$

أثناء دراسة قيم الهبوط للمنشآت الهندسية ، فإن قياسات التسوية لكل جولة منفصلة من جولات قياس التسوية، تتم كما ذكر سابقاً، بإتباع منهجية ومراحل ومخطط القياس ومعالجة نتائج القياسات نفسها في كل جولة قياس تالية. هذا يعني أنه في كل جولة من جولات القياس المنفصلة ، يتم قياس نفس فروق الارتفاعات بين النقاط نفسها (k = 1, 2, 3, ……, n) وانطلاقاً من علامات (مراجع) التسوية نفسها لشبكة التسوية المرجعية (أو مسالك التسوية المرجعية) . وكنتيجة لذلك ، تتم معالجة القياسات بطريقة التربيعات الصغرى ، لكل جولة منفصلة من جولات قياس التسوية ، ويتم الحصول على المصفوفة نفسها $\underset{(n,n)}{N}$ التي تحتوي على أمثال المعادلات الخطية Linear equations (قبل المجاهيل Unknown) في المعادلات النظامية Normal equations ، وذلك في حدود دقة تقريب الحسابات.

إن المجاهيل Unknown هي القيم المعدَلة لمناسيب نقاط مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n) .

والفرق الوحيد في جملة المعادلات النظامية ، التي تم الحصول عليها من معالجة قياسات التسوية لكل جولة من جولات القياس i و j هو ظهور المصفوفة العمودية Orthogonal matrix $\underset{(n,1)}{F}$ للعناصر الحرة في جملة المعادلات نفسها ، وتكتب جملة المعادلات هذه بالاعتماد على خواص المصفوفات بالشكل المختصر الآتي: [1 ، 4 ، 5]

$$\underset{(n,n)}{N}\underset{(n,1)}{H} + \underset{(n,1)}{F} = \underset{(n,1)}{0} \qquad (6)$$

بعد أن تتم معالجة قياسات التسوية بطريقة التربيعات الصغرى ، لكل جولة منفصلة من جولات قياس التسوية، فإنه يتم الحصول على مصفوفات متساوية تحتوي على أمثال المعادلات الخطية (قبل المجاهيل) في جملة المعادلات النظامية ، أي إن : $\underset{(n,n)}{N_{(i)}} = \underset{(n,n)}{N_{(j)}}$ ويكون مقلوب المصفوفة لكل منها ، على التوالي ، هو :

$$\underset{(n,n)}{Q^{(i)}} = \underset{(n,n)}{N^{-1}_{(i)}} \quad \text{و} \quad \underset{(n,n)}{Q^{(j)}} = \underset{(n,n)}{N^{-1}_{(j)}}$$

وهذه المصفوفات هي أيضاً متساوية، وذلك في حدود دقة تقريب الحسابات. يمكن بالآتي كتابة العلاقات الآتية :

$$\underset{(n,n)}{Q^{(i)}} = \underset{(n,n)}{Q^{(j)}} = \underset{(n,n)}{Q_H} = \begin{bmatrix} Q_{H_1,H_1} & Q_{H_1,H_2} & Q_{H_1,H_3} & \cdots & Q_{H_1,H_n} \\ Q_{H_1,H_2} & Q_{H_2,H_2} & Q_{H_2,H_3} & \cdots & Q_{H_2,H_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{H_1,H_n} & Q_{H_2,H_n} & Q_{H_3,H_n} & \cdots & Q_{H_n,H_n} \end{bmatrix} \qquad (7)$$

مما سبق عرضه أعلاه ، فإن مصفوفات معاملات الارتباط لقيم المناسيب المعدَلة ، لنقاط مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n) ، والتي تم الحصول عليها من معالجة قياسات التسوية بطريقة التربيعات الصغرى ، لكل جولة منفصلة من جولات قياس التسوية i و j . يمكن إيجادها من العلاقات التالية :

$$\underset{(n,n)}{K^{(i)}_H} = \mu^2_{(i)} \underset{(n,n)}{Q_H}\ ; \quad \underset{(n,n)}{K^{(j)}_H} = \mu^2_{(j)} \underset{(n,n)}{Q_H} \qquad (8)$$

وكما تم التنويه إليه سابقاً، فإنه عند دراسة الشوهات الشاقولية للمنشآت الهندسية ، فإن قياسات التسوية تنجز لكل جولة قياس على حدة ، وتتبع نفس مراحل وخطوات القياس في كل جولة قياس تالية. ويتم في كل جولة من جولات قياس التسوية استخدام نفس جهاز التسوية (النيفو) عالي الدقة (Precise level (Niveau وضرورة مراعاة جميع متطلبات التسوية الدقيقة. وتُنجز قياسات التسوية من قِبل المسَاحين ذوي الخبرة الجيدة ، وفي ظروف جيدة ومناسبة للقياسات الحقلية. بمعنى آخر فإن قياسات التسوية لجميع جولات القياس تكون متساوية الدقة Accuracy equally of measurements . وكنتيجة لذلك ، فإن قيم الأخطاء المتوسطة التربيع لواحدة الوزن $\mu_{(i)}$ و $\mu_{(j)}$ التي يتم الحصول عليها من معالجة نتائج قياسات التسوية ، بطريقة التربيعات الصغرى لكل جولة من جولات قياس التسوية i و j . تكون هذه القيم قريبة جدا من بعضها بعضاً. وهذا يعطي إمكانية قبول أن : $\mu_{(i)} = \mu_{(j)} = \mu$. ،وهذا يعني ، من جهة أخرى ، أن قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H^{(i)}_k$ و $H^{(j)}_k$ لنقاط مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3, ……, n) في كل جولة من جولات قياس التسوية i و j قد تم تحديدها بنفس الخطأ المتوسط التربيع m_{H_k} ، بالتالي يمكن كتابة العلاقة الآتية:

$$m_{H^{(i)}_k} = m_{H^{(j)}_k} = m_{H_k} = \mu\sqrt{Q_{H_k,H_k}} \qquad (9)$$

وهذا الاعتبار أعلاه (العلاقة 9) ، ليس له أي تأثير عملي على النتائج النهائية لدقة مقادير قيم الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ عند دراسة التشوهات الشاقولية، فإن العلاقات (8) السابقة ، تأخذ الصيغة الآتية :[4]

$$\underset{(n,n)}{K_H^{(i)}} = \underset{(n,n)}{K_H^{(j)}} = \underset{(n,n)}{K_H} = \mu^2 \underset{(n,n)}{Q_H} \qquad (10)$$

وبأخذ العلاقات (10) أعلاه بالاعتبار ، يمكننا كتابة العلاقات الآتية :

$$K_{H_k^{(i)},H_k^{(i)}} = K_{H_k^{(j)},H_k^{(j)}} = K_{H_k,H_k} = \mu^2 Q_{H_k,H_k} \qquad (11)$$

وأيضا بالاعتماد على الاستنتاجات التي تم الحصول عليها أعلاه ، فإن العلاقة (2) السابقة ، تأخذ الشكل الآتي:

$$m_{\delta H_k^{(ij)}} = \mu \sqrt{\frac{1}{p_{\delta H_k^{(ij)}}}} = \mu \sqrt{2Q_{H_k,H_k}} \qquad (12)$$

والتي تعطي (العلاقة 12 أعلاه) الخطأ المتوسط التربيع امقدار قيمة الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ لنقطة مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$) بين كل جولة من جولتي قياس التسوية i و j .

كما يتضح أيضاً من العلاقة (12) ، أن مقلوب الوزن $\frac{1}{p_{\delta H_k^{(ij)}}}$ لقيمة الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ هو أكبر بمرتين من مقلوب الوزن Q_{H_k,H_k} لقيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_k^{(i)}$ و $H_k^{(j)}$ لنقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$) في كل من جولتي قياس التسوية i و j .

مصفوفة معاملات الارتباط ومصفوفة أمثال الأوزان لقيم الهبوطات ، عند دراسة التشوهات الشاقولية (الطريقة الثانية):

إن مقادير قيم الهبوطات $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ لعدد n من نقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$) ، عند دراسة التشوهات الشاقولية ، يمكن تمثيلها حسب علاقة المصفوفات التالية : [4]

$$\underset{(n,1)}{\delta H} = \begin{bmatrix} \delta H_1^{(ij)} \\ \delta H_2^{(ij)} \\ \delta H_3^{(ij)} \\ \cdots \\ \delta H_n^{(ij)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1^{(j)} - H_1^{(i)} \\ H_2^{(j)} - H_2^{(i)} \\ H_3^{(j)} - H_3^{(i)} \\ \cdots \\ H_n^{(j)} - H_n^{(i)} \end{bmatrix} = f\left(H_1^{(i)}, H_2^{(i)} \ldots H_n^{(i)}, H_1^{(j)}, H_2^{(j)} \ldots H_n^{(j)}\right) \qquad (13)$$

وكما تمت الإشارة سابقاً، فإنه يمكن الحصول على قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_1^{(i)},H_2^{(i)}...H_n^{(i)}$ لنقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3, ..., n$) من معالجة نتائج قياسات التسوية ، بطريقة التربيعات الصغرى لكل جولة i من جولات قياس التسوية ، وهذا يعني أن هذه القيم مترابطة فيما بينها. وبشكل مشابه، فإن قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_1^{(j)},H_2^{(j)}...H_n^{(j)}$ لنقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3 ,..., n$) التي تم الحصول عليها من معالجة نتائج قياسات التسوية ، بطريقة التربيعات الصغرى لكل جولة j من جولات قياس التسوية ، هي أيضاً قيم مترابطة فيما بينها. وهنا يمكن استنتاج أن عناصر المصفوفة $\underset{(n,1)}{\delta H}$ ، أو بشكل آخر، فإن قيم الهبوطات الشاقولية $\delta H_k^{(ij)}$ لجميع نقاط مراقبة التسوية (n) عند تحديد الهبوطات الشاقولية هي قيم عرضية مترابطة ، لأنها تظهر كتابع لمتحولات مترابطة. يمكن استخراج مصفوفة معاملات الارتباط لقيم الهبوطات الشاقولية $\delta H_k^{(ij)}$ ، ولهذه الغاية يتم كتابة العلاقات (13) السابقة ، بالشكل المصفوفي الآتي:

$$\underset{(n,1)}{\delta H} = \underset{(n,2n)}{A}\ \underset{(2n,1)}{H} \qquad (14)$$

إن المصفوفة العمودية $\underset{(2n,1)}{H}$ تحتوي قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة لعدد n من نقاط مراقبة التسوية بين كل من جولتي قياس التسوية i و j ، والتي لها الشكل الآتي:

$$\underset{(1,2n)}{H^T} = \left[H_1^{(i)},H_2^{(i)}...H_n^{(i)},H_1^{(j)},H_2^{(j)}...H_n^{(j)}\right] \qquad (15)$$

وأما المصفوفة $\underset{(n,2n)}{A}$ من العلاقة (14) السابقة ، فتمثل علاقة تابع خطي بين مقادير قيم الهبوطات $\delta H_k^{(ij)}$ وقيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_k^{(i)}$ و $H_k^{(j)}$ لنقاط مراقبة التسوية ($k = 1, 2, 3 ,..., n$) بين كل من جولتي قياس التسوية i و j ، وهذه المصفوفة لها الشكل الآتي :

$$\underset{(n,2n)}{A} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \qquad (16)$$

حتى يمكن الحصول على مصفوفة معاملات الارتباط لمجموعة قيم الهبوطات (المعادلة 14) السابقة ، لابد أن تكون معلومة مصفوفة معاملات الارتباط $\underset{(2n,2n)}{K_H^{(ij)}}$ لقيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة لنقاط مراقبة التسوية بين كل من جولتي قياس التسوية i و j . ولهذه الغاية تُستخدم النظرية المعممة لتقييم الدقة لمجموعة القيم العرضية ، أي إن : [4 ، 5 ، 6]

$$K_{\underset{(n,n)}{\delta H_k^{(ij)}}} = \underset{(n,2n)}{A}\ \underset{(2n,2n)}{K_H^{(ij)}}\ \underset{(2n,n)}{A^T} \qquad (17)$$

وحيث إن على قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_1^{(i)}, H_2^{(i)} \dots H_n^{(i)}$ لنقاط مراقبة التسوية ، في جولة القياس i هي قيم غير مترابطة. مع قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_1^{(j)}, H_2^{(j)} \dots H_n^{(j)}$ ، في جولة القياس j ، فإن مصفوفة معاملات الارتباط $\underset{(2n,2n)}{K_H^{(ij)}}$ لمجموعة القيم العرضية $H_1^{(i)}, H_2^{(i)} \dots H_n^{(i)}, H_1^{(j)}, H_2^{(j)} \dots H_n^{(j)}$ هي غير مترابطة أيضاً. يؤدي هذا إلى أن مصفوفة معاملات الارتباط لجميع قيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة لنقاط مراقبة التسوية (k = 1, 2, 3 ,..., n) في جولات القياس i و j ، تأخذ الشكل الآتي:

$$\underset{(2n,2n)}{K_H^{(ij)}} = \begin{bmatrix} \underset{(n,n)}{K_H} & \underset{(n,n)}{0} \\ \underset{(n,n)}{0} & \underset{(n,n)}{K_H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{H_1H_1} & K_{H_1H_2} & \dots & K_{H_1H_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ K_{H_1H_2} & K_{H_2H_2} & \dots & K_{H_2H_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{H_1H_n} & K_{H_2H_n} & \dots & K_{H_nH_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & K_{H_1H_1} & K_{H_1H_2} & \dots & K_{H_1H_n} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & K_{H_1H_2} & K_{H_2H_2} & \dots & K_{H_2H_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & K_{H_1H_n} & K_{H_2H_n} & \dots & K_{H_nH_n} \end{bmatrix} =$$

$$= \mu^2 \begin{bmatrix} Q_{H_1H_1} & Q_{H_1H_2} & \dots & Q_{H_1H_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ Q_{H_1H_2} & Q_{H_2H_2} & \dots & Q_{H_2H_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{H_1H_n} & Q_{H_2H_n} & \dots & Q_{H_nH_n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & Q_{H_1H_1} & Q_{H_1H_2} & \dots & Q_{H_1H_n} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & Q_{H_1H_2} & Q_{H_2H_2} & \dots & Q_{H_2H_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & Q_{H_1H_n} & Q_{H_2H_n} & \dots & Q_{H_nH_n} \end{bmatrix} \qquad (18)$$

بنتيجة ضرب المصفوفات ، في الطرف الأيمن من العلاقة (17) أعلاه ، وبالأخذ بالاعتبار العلاقات (14) يتم الحصول على مصفوفة معاملات الارتباط $K_{\underset{(n,n)}{\delta H_k^{(ij)}}}$ لمجموعة أطوال أشعة الهبوطات ، بالصيغة التالية :

$$K_{\underset{(n,n)}{\delta H}} = 2\,K_{\underset{(n,n)}{H}} = \begin{bmatrix} 2K_{H_1H_1} & 2K_{H_1H_2} & \dots & 2K_{H_1H_n} \\ 2K_{H_1H_2} & 2K_{H_2H_2} & \dots & 2K_{H_2H_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 2K_{H_1H_n} & 2K_{H_2H_n} & \dots & 2K_{H_nH_n} \end{bmatrix} = 2\mu^2 \begin{bmatrix} Q_{H_1H_1} & Q_{H_1H_2} & \dots & Q_{H_1H_n} \\ Q_{H_1H_2} & Q_{H_2H_2} & \dots & Q_{H_2H_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{H_1H_n} & Q_{H_2H_n} & \dots & Q_{H_nH_n} \end{bmatrix} \quad (19)$$

إن عناصر القطر الرئيس، لمصفوفة معاملات الارتباط (19) أعلاه ، تمثل مربعات الأخطاء المتوسطة التربيع للأطوال المقابلة لأشعة الهبوطات ، عند تحديد التشوهات الشاقولية. والأخطاء المتوسطة التربيع $m_{\delta H_k^{(ij)}}$ هذه ، نحصل عليها حسب العلاقة (12) السابقة ، وذلك بإجراء الجذر التربيعي للعناصر القطرية Diagonal Elements في المصفوفة (19) المذكورة. بينما كل عنصر من العناصر غير القطرية Non- diagonal elements والذي يقع على السطر (k) والعمود (l) في المصفوفة (19) ذاتها ، يمثل معامل الارتباط (r_{kl}) بين مقادير قيم الهبوط للعنصر الواقع على السطر (k) والعمود (l) في العلاقات (13) السابقة. ومضروب بالقيم المتوسطة التربيع لهذه القيم ، وبالتالي يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة الآتية :

$$2K_{H_kH_l} = r_{kl}\, m_{\delta H_k^{(ij)}}\, m_{\delta H_l^{(ij)}} \quad (20)$$

إن معامل الارتباط بين الأطوال لكل زوج من قيم الهبوط ذات الدليل (k وl) في العلاقات (13) السابقة، أي (r_{kl}) يمكن تحديده كعنصر يقع على السطر (k) والعمود (l) . هذا يعني أن العنصر ذو الدليل (k l) ينقسم إلى : الجذر التربيعي للعنصر القطري على السطر (k) والجذر التربيعي للعنصر القطري على العمود (l) .ويتم الحصول على معامل الارتباط (r_{kl}) ، من العلاقة الآتية:

$$r_{kl} = \frac{Q_{kl}}{\sqrt{Q_{kk}Q_{ll}}} \quad (21)$$

الاستنتاجات والتوصيات:

انطلاقا من الدراسة التحليلية والتطبيقات التي تمت على دراسة الهبوطات لبض المنشآت الهندسية ، نورد أهم النتائج الحاصلة بالنقاط الآتية:

1. ينصح باستخدام التسوية الهندسية الدقيقة ، وضرورة استخدام ميزان التسوية (نيفو) عالي الدقة وميرات دقيقة من الأنفار، كما يجب تحقيق متطلبات التسوية الهندسية الدقيقة عند إجراء قياسات التسوية .لتحديد التشوهات الشاقولية.

2. تم استنتاج أن مقلوب الوزن $\frac{1}{p_{\delta H_k^{(ij)}}}$ لقيمة الهبوط الشاقولي $\delta\vec{H}_k^{(ij)}$ هو أكبر بمرتين من مقلوب الوزن Q_{H_k,H_k} لقيم المناسيب (الارتفاعات) المعدلة $H_k^{(i)}$ و $H_k^{(j)}$لنقاط مراقبة التسوية، في كل من جولتي قياس التسوية i و j .

3. ينصح بإتباع الطريقة الأولى (علاقة الخطأ المتوسط التربيع لقيم الهبوطات ، عند دراسة التشوهات الشاقولية) فهي تتضمن مجموعة قليلة من العمليات الحسابية وتؤدي للنتائج المطلوبة في دراسة التشوهات الشاقولية للمنشأ الهندسي، في كل جولة من جولات قياس التسوية.

4 . يمكن باستخدام الطريقة الثانية ، حساب عناصر القطر الرئيس، لمصفوفة معاملات الارتباط، والتي تمثل مربعات الأخطاء المتوسطة التربيع للأطوال المقابلة لقيم الهبوطات، عند تحديد التشوهات الشاقولية.

المراجع:

1 – БАКАЛОВ, П., РАДКА, Я., и др. – *Ръководсво за Упражнения по Геодезия*, Учебен изчислителен комплекс, София, 2002, 511.

2 – القاموع، أديب – *المساحة للمهندسين المعماريين، كلية الهندسة المعمارية*، جامعة تشرين – اللاذقية، 2001 م، 370.

3 – صيام، يوسف – *أصول في المساحة*، كلية الهندسة – الجامعة الأردنية – عمَان 1983 م ، 567 .

4 - АТАНАСОВ, Ст. – *Теория На Математическа Обработка На Геодезическите Измервания*, Техника, София, 1988, 400.

5 – جزماتي، سامح – *الإحصاء والأخطاء (2)* ، جامعة حلب – حلب ، 1993 م ، 270.

6 – العمر، أحمد – *الاحتمالات ونظرية أخطاء القياسات* ، جامعة البعث – حمص ، 1998/97 م، 238.