دراسة تحليلية لطرق القياس المساحية المستخدمة في رصد و مراقبة الهبوط الرأسي للمباني والمنشآت الهندسية

د. عبد الرقيب مُحَمَّد حيدر عون

قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة إب

Analytical study of spatial measurement methods used to monitor and control the vertical falling of engineering buildings and installations

Dr. Abdulraqib Mohammad Haider Aoun

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Ibb

ملخص البحث:

يستعرض البحث وبشكل مختصر الإطار النظري والتطبيقي لطرق القياس المساحية الأرضية المستخدمة في رصد ومراقبة الهبوط الرأسي للمباني والمنشآت الهندسية معززاً بمثال تطبيقي منجز لشبكة رصد للعناصر الحاملة لمبنى سكن الطلاب الجامعي بجامعة موسكو الحكومية المكون من ١٥ طابقاً، ومعالجتها، وحساب قيم الهبوط في المبنى، وتمثيله بمخطط بياني يبين مقدار الهبوط في أساساته. كما يبين البحث إمكانية رصد ومراقبة الهبوط بمنظومة تحديد الموقع العالمي (GNSS) ومستخلصاً العديد من النتائج والتوصيات، من أهمها: ضرورة استخدام الطريقة الأرضية لإجراء قياسات التسوية لتحديد تشوه الهبوط الحاصل في المباني و المنشآت المختلفة، وتحقيق شروط ومتطلبات الميزانية الدقيقة. كما يوصي البحث بعدم اتخاذ قرارات إخراج المنشأة من الاستثمار أو وضعها قيد التدعيم بناءً على قياسات ضيقة النطاق، واختبارات مقاومة موضعية لمواد البناء والتربة. واستنتج البحث أن طريقة التسوية بمنظومة تحديد الموقع العالمي (GNSS) لا توفر دقة التسوية من الدرجات الأولى والثانية والثالثة، ويمكن استخدامها لقياسات التسوية للدرجة الرابعة ، كما تتطلب التسوية بهذه المنظومة توفر نموذج محلي دقيق للجيويد (Local

Abstract:

This article aims to briefly present the theoretical and applied framework of methods used to monitor and control the vertical falling of engineering buildings and installations, supported by a practical example for monitoring the network of carrying components of a 15 Floor Student Hostel in Moscow University, calculating the falling values and representing them with a graph which shows the amount of falling in its bases.

The study also shows the possibility of monitoring and control of the falling in Global Navigation Satellite System (GNSS). It concludes with a number of findings and recommendations, the most important of which are: the necessity of using the ground method to measure leveling to pinpoint the deformation of falling of different buildings and installations to fulfill the conditions and requirements of accurate budget. It recommends not to take decisions of removing the installation from investment or putting it under inaccurate measurements. Leveling method by using GNSS does not provide accurate leveling of the first, second and third degrees. It can only be used for the fourth degree leveling. It also requires the Local Geoid Model through intensification of the main referential points.

Geoid Model) عن طريق إجراء عملية تكثيف للنقاط المرجعية الأساسية.

الكلمات المفتاحية: طرق القياس، الهبوط الرأسي، قياسات التسوية،gnss.

Keywords: Measurement methods, vertical falling, leveling measurements, GNSS

مقدمة **Introduction**:

تعد الأعمال المساحية من أهم الأعمال التي ترافق دراسة وتصميم وتنفيذ المشاريع الهندسية المختلفة بدءاً من مرحلة الدراسات الأولية والتخطيط، ومروراً بمرحلة التنفيذ، حيث تستخدم التقنيات المساحية المختلفة ،أثناء تنفيذ المنشآت الهندسية على أرض الواقع حسب المواصفات (Specification) والدقة المطلوبة (Requested accuracy). كما أنها تؤمن في مرحلة الاستثمار للمنشآت الهندسية المختلفة، ومن خلال الأرصاد والقياسات المساحية عملية المراقبة الدورية لحالة المنشأة تحت تأثير الأحمال المختلفة وتحديد تشوهات الهبوط الرأسي (Vertical settlement) أو الإزاحة الأفقية (Horizontal Shivet) طيلة العمر التصميمي المفترض للمنشأة. يهدف البحث الى اجراء دراسة تحليلية لطرق ودقة قياسات التسوية بالطرق الأرضية، ومدى فعالية الرصد بالأقمار الصناعية (GNSS) لمراقبة وتحديد قيم الهبوط في المنشآت الهندسية المختلفة ،كالمباني والأبراج والجسور والانفاق والسدود والحواجز المائية وغيرها .. وهذه القيم المتحصل عليها من الأرصاد الدورية لها أهمية قصوى، حيث تعتبر أحد مؤشرات عوامل الأمان للمنشأ إذا كانت ضمن القيم المسموحة في المواصفات الفنية. وفي الحالة المعاكسة ستكون بمثابة جرس الإنذار لاستباق مرحلة الخطر والقيام بالمعالجات والحلول الإنشائية المناسبة.

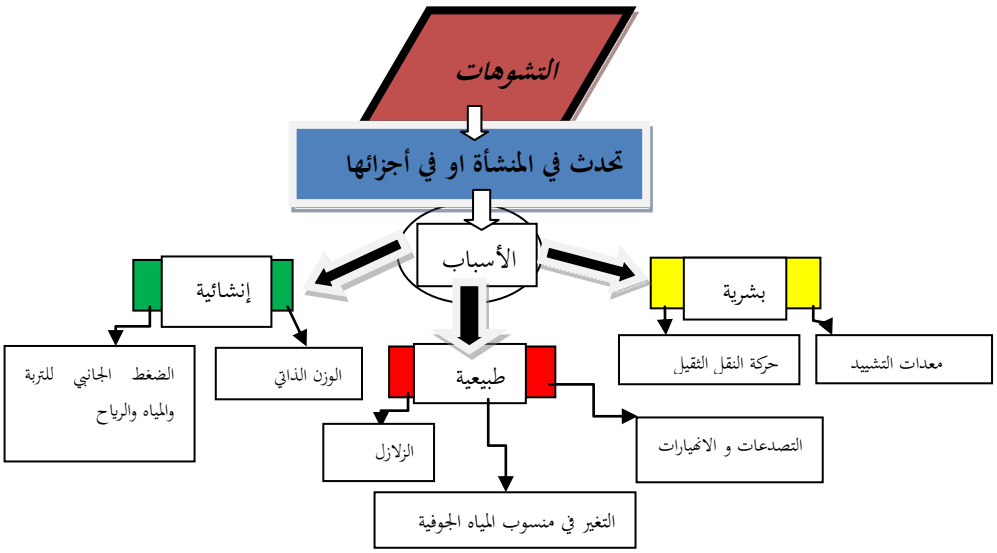
اعتمد البحث على المنهج التحليلي في دراسة الأعمال المساحية المختلفة لمراقبة وتحديد قيم الهبوط للمباني وبعض المنشآت باستخدام طرق التسوية الأرضية، وكذلك دراسة إمكانية استخدام طريقة الرصد بمنظومة (GNSS) والتي توفر الكثير من الجهد والوقت عند تنفيذ أعمال التسوية الحقلية. من أعمال التسوية بالطرق الأرضية أو الطريقة الحديثة نحصل على فروق المناسيب والارتفاعات لنقاط المراقبة، ثم تعالج النتائج باستخدام الطرق الإحصائية المتبعة في الحسابات المساحية التي تعطي مؤشرات عن دقة وثوقيه (Reliability) تنفيذ القياسات ليتم الحصول على الارتفاعات النهائية المصححة لجميع نقاط المراقبة الموزعة على أجزاء المنشأ المدروس والتي سنعتمد عليها في رسم وتحليل قيمة واتجاه الهبوط، وكذلك إجراء عملية نمذجة للحالة الجيومترية الراهنة للمنشأ (Current Geometrical State) أو الانحراف عن التصميم (Geometrical Distortion Model) أو التشوه مع الزمن (Deformation Model).

١ – رصد ومراقبة التشوهات التي تتعرض لها المنشآت الهندسية:

١-١ – أنواع التشوهات وأسبابها:

يتعرض هيكل المنشأة الهندسية بشكل عام أو أجزائها لأنواع مختلفة من التشوهات نتيجة لعدد من العوامل ،كما في الشكل (١) أثناء الإنشاء أو في مرحلة الاستثمار. وهي عبارة عن حدوث تغير في موقع المنشأة بالنسبة لموقع نقطة بداية ثابتة.[١]

وهناك ثلاثة أنواع من التشوهات التي يتم مراقبتها ودراستها مساحياً، وهي:



شكل(١)– أسباب التشوهات في المنشآت الهندسية

١. الهبوطات الرأسية (Vertical settlements) – تحدث بسبب انكماش في تربة التأسيس،نتيجة الأحمال الذاتية الكبيرة للمنشأة، أو بسبب حركة المعدات الثقيلة، والحفريات والمياه الجوفية والزلازل وغيرها.

٢. الازاحات الأفقية (Horizontal shifts) – عندما يكون الانكماش في تربة التأسيس غير منتظم نتيجة اختلاف الأحمال الواقعة على أجزاء مساحة المنشأة، أو تباين نوعية التأسيس تحت المنشأة، يحدث إزاحة للمنشأة في المستوى الافقي، ويظهر على شكل شقوق في هيكل المنشأة، وأحياناً يحدث انهيار جزئي. كما تحدث الازاحات بسبب الضغط الجانبي للمياه والرياح على التربة.

٣. الميل أو الالتواء – يحدث في المباني والمنشآت العالية التي تأخذ شكل البرج، وأهم أسباب هذا النوع من التشوهات التفاوت في درجات الحرارة المؤثرة على الأجزاء العليا والسفلي، وكذلك تأثير الرياح. وسوف ندرس في هذا البحث أحد هذه الانواع، وهو تشوه الهبوط الرأسي.

٢-١ – الخلفية النظرية:

مراقبة وتحديد قيمة الهبوط بالطرق المساحية:

تطورت تقنيات مراقبة التشوهات لتصل إلى مستويات عالية من الدقة والموثوقية تلبي احتياجات الاختصاصات الهندسية المستفيدة ولاسيما الانشائية والجيوتقنية. مما شجع على توجيه البحث العلمي نحو الاستثمار الأمثل لهذه التقنيات، والتي أثبتت ان اللجوء الى إخراج المنشأة من الاستثمار ووضعها قيد التدعيم بناءً على قياسات ضيقة النطاق واختبارات مقاومة موضعية لمواد البناء والتربة وعلى الخبرة والحدس الهندسي وصولاً إلى اتخاذ قرارات بتدعيم المنشأة أو حتى بهدمها احياناً، قد يكون في حالات عديدة قراراً غير مبرر علمياً، وهو قد يؤدي إلى نتائج غير مجدية فنياً وباهظة التكلفة ، حتى ولو كان اتخاذه قد تم لاعتبارات السلامة، ودرءاً لمخاطر الاخيارات المحتملة.

لتحديد الهبوطات الرأسية (Vertical settlements) للمنشآت الهندسية أو أجزائها ، يتم تثبيت عدد معين من نقاط مراقبة التسوية (Levelling (k = 1, 2, 3, ……, n) control point) في أماكن صلبة ومناسبة من المنشأ الهندسي، وذلك بدق وتثبيت مسمار صلب جداري أو علامة تسوية أو غيره. ثم تنفذ اعمال التسوية لنقاط المراقبة المثبتة على المنشأ الهندسي المدروس انطلاقاً من نقاط (أو نقطة) تسوية مرجعية (Reference bench mark) B.M خاصة بالمنشأ المدروس تحسب مناسيبها بالنسبة للشبكة الجيوديزية الوطنية أو بفرض منسوب هذه النقطة. يتم اختيار أماكن نقاط (B.M) المرجعية في مواقع مناسبة، من حيث البعد عن المنشأة، ومستقرة جيولوجيا، وتثبت بشكل مناسب (بصبة خرسانة) لتبقى كمرجع تسوية دائمة طيلة فترة استثمار المشروع الهندسي المدروس. تنفذ التسوية كل فترة زمنية محددة (Cycle) وتقارن النتائج لكل دورة قياس مع نتيجة أول دور قياس ويرسم خط بياني يوضح تغير الموقع واتجاهه مع الزمن. [٢]

لإيجاد قيمة الهبوط الكلية (S) لكل نقطة مراقبة مثبتة على أجزاء المنشأة، تقاس مناسيبها (H) دورياً بالنسبة لنقطة مرجعية ثابتة (B.M) والتي تعد محكومة المنسوب. ويحسب الهبوط للدورة الحالية بالنسبة لأول دورة قياس بالمعادلة التالية:

$$S = H_i - H_j \qquad (1)$$

حيث :

H_i – منسوب النقطة في أول دورة قياس (Cycle).

H_j – منسوب النقطة للدورة الحالية.

ويحسب متوسط الهبوط ($\hat{S}$) لدورات عدد *(n)* من دورات القياس بالمعادلة التالية:

$$\hat{S} = \sum_{1}^{n} \frac{S}{n} \qquad (2)$$

كما يمكن تحديد قيمة الهبوط الأكبر (S_{max}) والأصغر S_{min}.

دقة القياسات والفارق الزمني لكل دورة قياس تعتمد على أهمية المنشأة ونوع تربة التأسيس الواقعة عليها ودرجة المنطقة الزلزالية.

في المراجع الروسية يعبر عن هذه الدقة بالخطأ التربيعي المتوسط MSE (Maen Square Error) للقياسات المساحية المنفذة، كما هو موضح في الجدول رقم(١). [٥]

جدول رقم (١) الخطأ MSE للقياسات بحسب نوع تربة التأسيس للمنشأة

نوع تربة التأسيس للمنشأة	MSE
١ – المباني والمنشآت الهندسية على تربة تأسيس صخرية صلبة.	1mm
٢ – المباني والمنشآت الهندسية على تربة تأسيس ترابية ، طينية مع قابلية محدودة للانكماش.	3mm
٣ – المباني والمنشآت الهندسية على تربة تأسيس هشة، ضعيفة مع قابلية كبيرة للانكماش.	10mm
٤ – المنشآت الهندسية الأرضية.	15mm

كما يمكن إيجاد دقة القياسات للتشوهات بشكل عام باستخدام المعادلة العملية التالية:

$$m_s = 0.2\Delta S \qquad (3)$$

حيث:

m_s – الخطأ التربيعي المتوسط للقياسات المساحية.

ΔS – مقدار التشوه المتوسط لجميع دورات القياس.

زمن دورة القياس (Cycle) يعتمد على عدة معايير، منها: نوع وأهمية المنشأة ،العمر التصميمي، سرعة التغير في قيم التشوهات وغيرها. في المتوسط تؤخذ القيم التالية: [٥]

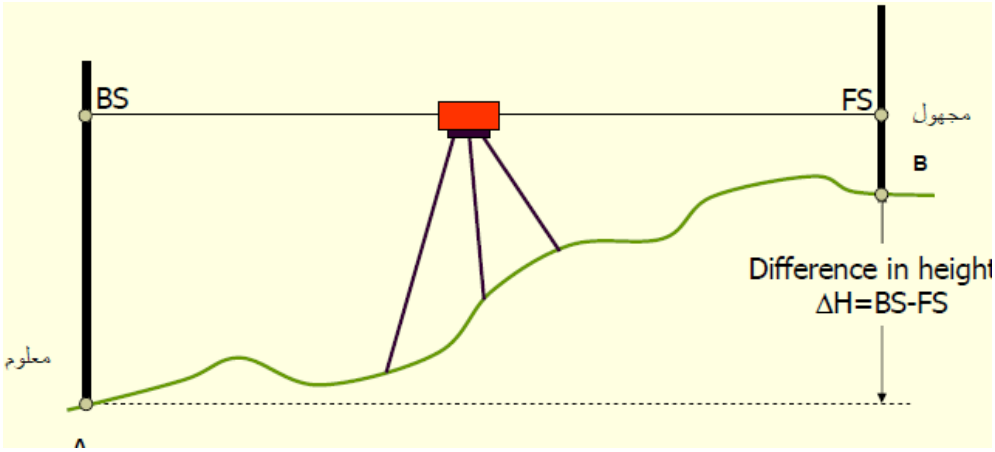
١ – في مرحلة التشييد للمنشأة – 1- 2 مرة كل ثلاثة أشهر.

٢. – في مرحلة الاستثمار – 1– 2 مرة كل سنة.

٣. – الطرق المساحية المستخدمة في مراقبة الهبوط للمباني والمنشآت الهندسية الأخرى

٣–١ – الطرق الأرضية (Terrestrial Method):

٣–١–١ – طريقة الميزانية الهندسية (Geometric Leveling): وهي الطريقة الأكثر استخداماً لرصد ومراقبة التشوهات الرأسية والأفقية في المباني والمنشآت الهندسية، وتتميز بسهولة وسرعة التنفيذ وتكلفتها المادية منخفضة، حيث تنفذ بأدوات وأجهزة قياسية عادية (شكل٢) كما تتميز بالمرونة، حيث يمكن تنفيذها بسهولة في الأماكن الضيقة. و تستخدم فيها أجهزة الميزان (Level) عالية الدقة مع القوائم (Staff) الخاصة بالميزانية الدقيقة. دقة قياس المناسيب بطريقة الميزانية التفاضلية بين نقاط تبعد عن بعضها (5 – 10 m) قد تصل في المتوسط إلى (0.05 – 0.10 mm). و في حالة كانت المسافة بين النقاط المرصودة تبلغ مئات المترات، فأن الخطأ التربيعي المتوسط للتسوية لا يتجاوز (0.50 mm). درجة الميزانية ودقة قياس المناسيب تعتمد في الأساس على نوع وأهمية المباني والمنشآت الهندسية، كما هو موضح في الجدول رقم (٢). [٧]



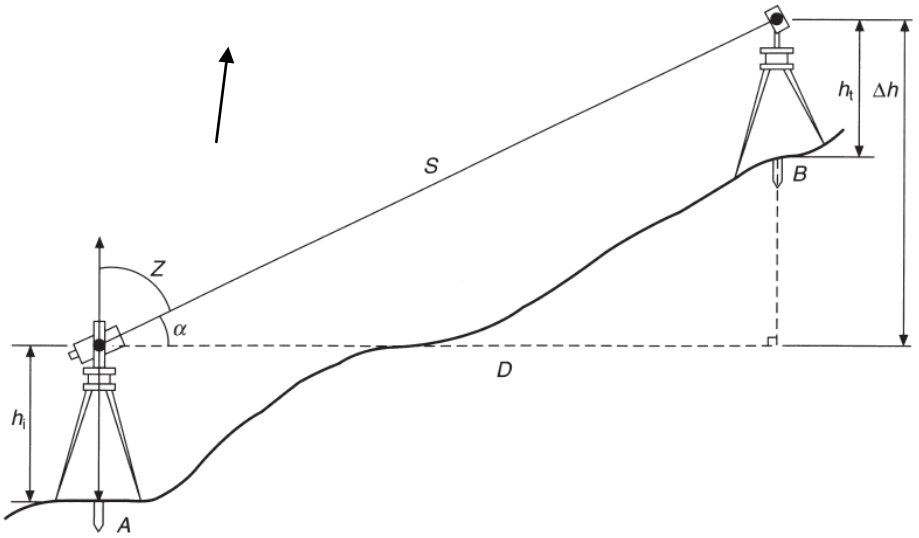
شكل١ – طريق الميزانية التفاضلية

جدول رقم (٢) درجات التسوية بحسب نوع المنشأة المدروسة:

نوع المنشأة الهندسية	درجة التسوية	MSE
١ – السدود والحواجز المائية الخرسانية	الأولى والثانية	0.3 – 0.4 mm
٢ – المباني السكنية والصناعية	الثالثة والرابعة	0.4 – 0.9 mm

٣–١–٢– طريقة الميزانية المثلثية (Trigonometric Leveling)

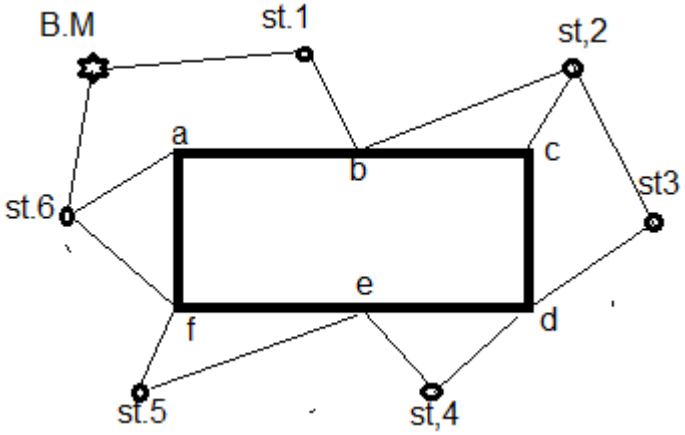
تستخدم هذه الطريقة في حالة الفروق الكبيرة في المناسيب بين النقاط المرصودة كما في المباني العالية، الأبراج، السدود، وعند وجود حواجز بين النقاط. ويستخدم فيها أجهزة الثيودوليت (Theodolite) أو المحطة الشاملة (Total Station) كما في (الشكل٣)، ويشترط أن تكون الأجهزة عالية الدقة ومعايرة، مع استخدام أساليب خاصة للرصد والحساب، بحيث تؤمن دقة قياس للزوايا الرأسية لا تقل عن (″5). أعلى دقة يمكن الحصول عليها بطريقة الميزانية المثلثية لا تتجاوز (0.1mm) لمسافات قياس لا تزيد عن (100 m). [٧]



شكل٣ – طريقة الميزانية المثلثية

٤– رصد الهبوط الرأسي لمبنى سكن الطلاب الجامعي:

كمثال على المراقبة الدورية بطريقة الميزانية التفاضلية من الدرجة الأولى يبين الشكل (٤) شبكة رصد العناصر الحاملة لمبنى سكن الطلاب الجامعي بجامعة موسكو الحكومية (MIIGAiK) المكون من 15 طابقاً ودونت الأرصاد في الجدول (٤) الخاص بالميزانية الدقيقة كالتالي:



شكل(٤)- مخطط شبكة التسوية التفاضلية

حيث :

- (a,b,c,d,e,f) نقاط مراقبة (Observed points)
- ⬭ – محطة الرصد (Instrument Station)
- ⊕ – نقطة مرجعية (Reference point)

جدول رقم (٤) تسجيل الأرصاد

المحطة	الهدف	القراءات mm		اختلاف الارتفاع mm		كمية التصحيح Mm	المنسوب المصحح M
		خلفية	أمامية	للقراءات	المتوسط		
	B.M	1353					9.000
St.1		6041	2035	-0682	-0681	+1	
	1		6721.5	-0680.5			8.320
	1	1545					
St.2		6230	1560	-0010	-0015.5	+0.5	
	2		6246	-0016			8.305
	2	1323					
St.3		6008	1510	-0187	-0187		8.118
	3		6195	-0187			
	3	1389					
St.4		6170	1097	+0292	+0293		
	4		5877	+0294			8.411
	4	1520					

St.5	5	6229	1539 6246	-0076 -0077	-0076.5	+0.5	8.335
St.6	5 6	1634 6342	1539 6246	-0095 -0096	-0095.5	+0.5	8.431
St.7	6 B.M	1403 6109	0834 5541	+0569 +0568	+0568	+1	9.000

عند الانتهاء من أعمال الرصد للميزانية تتم معالجة القياسات كما يلي :

١. حساب فرق المنسوب بوضعي القياس للقامة، ثم يؤخذ المتوسط.

٢. حساب خطأ القفل الحقيقي لمضلع الميزانية:

$$f_h = -1960 + 1956.5 = -3.5 \text{ mm}$$

٣. حساب خطأ القفل المسموح به لدرجة الميزانية المستخدمة، وهي الدرجة الأولى والمضلع المغلق تستخدم المعادلة التالية:

$f_h = 1.5\sqrt{n}$ mm (المسوح) ، حيث n – عدد محطات المضلع

في المثال السابق $f_h = 1.5\sqrt{7} = 3.96$ mm (المسوح) أي أكبر من الخطأ الفعلي.

٤. تحسب كمية التصحيح بقسمة خطأ القفل على عدد النقاط المرصودة وبإشارة مخالفة

٥. تحسب مناسيب نقاط المراقبة المرصودة بالنسبة لنقطة المرجع B.M بالمعادلة التالية :

$$H_i = H_{i-1} + h_i$$

حيث : H_i – منسوب النقطة اللاحقة ، H_{i-1} – منسوب السابقة ، h_i – فرق المنسوب المصحح بين النقطة السابقة والنقطة اللاحقة. [٧]

التحقق من صحة القياسات يكون بتوافق قيمة المنسوب المحسوب لنقطة البداية B.M مع المنسوب المعلوم لها. بهذه النتائج تكون قد انتهت دورة القياس الأولى وتسجل في الجدول ٤.

دورة القياس التالية (الثانية) نفذت بعد ستة أشهر من دورة القياس الأولى وبنفس المنهجية والترتيب وسجلت النتائج في الجدول ٤، وبمقارنة النتائج للدورتين تم حساب قيمة الهبوط لنقاط المراقبة المرصودة بالمعادلة (1) السابقة كما هو موضح في الجدول ٥.

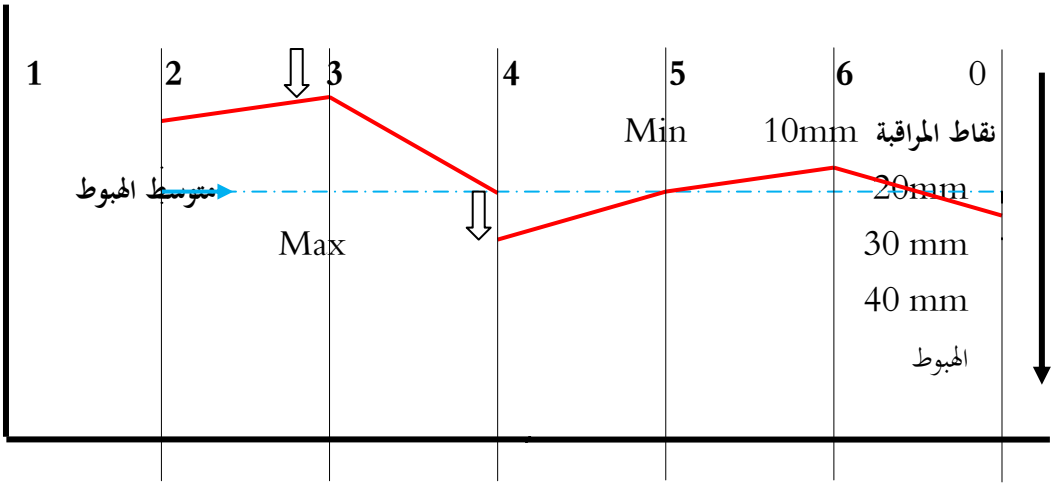
جدول رقم (٥) نتائج التسوية الدورية

النقاط المرصودة	دورات القياس		قيمة الهبوط S MM
	الدورة الأولى 4/6/2013 M	الدورة الثانية 5/12/2013 M	
1	8.335	8.320	15
2	8.318	8.305	13
3	8.145	8.118	27
4	8.432	8.411	21
5	8.351	8.335	16
6	8.455	8.431	24
B.M	9.000	9.000	

من الجدول ٥ يمكن تحديد قيمة الهبوط الأكبر S_{max}=27mm في النقطة المرصودة الثالثة والأصغر S_{min} = 13mm في النقطة المرصودة الثانية.

ويحسب متوسط الهبوط ($\hat{S}$) لدوراتي القياس بالمعادلة (2): $\hat{S}$ =116/6 = 19.33mm

ثم يرسم مخطط يوضح قيم الهبوط في أساسات المبنى المدروس كما في الشكل٦.



شكل٦ – مخطط قيم الهبوط في أساسات المبنى المدروس

٤ – دراسة إمكانية مراقبة الهبوط بمنظومة تحديد الموقع العالمي *(GNSS)*

أعمال التسوية بالطرق التقليدية تتطلب الكثير من الجهد والوقت، وبالتالي زيادة الكلفة الاقتصادية. منظومة الرصد بالأقمار الصناعية (GNSS)، أحدثت ثورة في مجال القياسات المساحية، ومنها أعمال التسوية، ووفرت الكثير من الوقت والمال عند تنفيذ أعمال التسوية في المشروعات الهندسية المختلفة، ومنها مراقبة ورصد التشوهات المختلفة (Monitoring and observations the deformations) التى تتعرض لها المنشأة الهندسية خلال مرحلة التنفيذ أو مرحلة الاستثمار. المعادلة الأساسية للتسوية بنظام (GNSS) هي:

$$h = H - N \qquad (16)$$

حيث:

h – الارتفاع الارثومتري منسوباً لسطح الجيويد (Geoid) وهو المستخدم في التطبيقات الهندسية والمساحة والخرائط.

H – الارتفاع الجيوديزي منسوباً لسطح الالبسويد (Ellpsoid) وغير مرتبط بسطح الأرض الواقعي، ولا يمكن استخدامه في التطبيقات الهندسية المرتبطة بسطح الأرض.

N – حيود الجيويد (Geoid Undlation) أو الفارق العمودي بين سطحي الجيويد والالبسويد الارتفاع الارثومتري (h) مرتبط بسطح البحر MSL (Mean See Level) ونحصل عليه من قياسات الميزانية التقليدية، والارتفاع الجيوديزي (H) نحصل عليه من قياسات (GNSS). قيمة الفارق (N) بين الارتفاع الجيوديزي (h) والارتفاع الارثومتري (H) لنقطة معينة ما، تؤخذ من نموذج دقيق للجيويد العالمي GGM (Global Geoid Model) عند هذه النقطة. من المعادلة (16) يمكن استنتاج أن، بقياس عنصرين يمكن حساب العنصر الثالث، إذا تم قياس الارتفاع (H) بنظام (GNSS) ومعرفة قيمة حيود الجيويد (N) يمكن حساب الارتفاع (h). [٤]

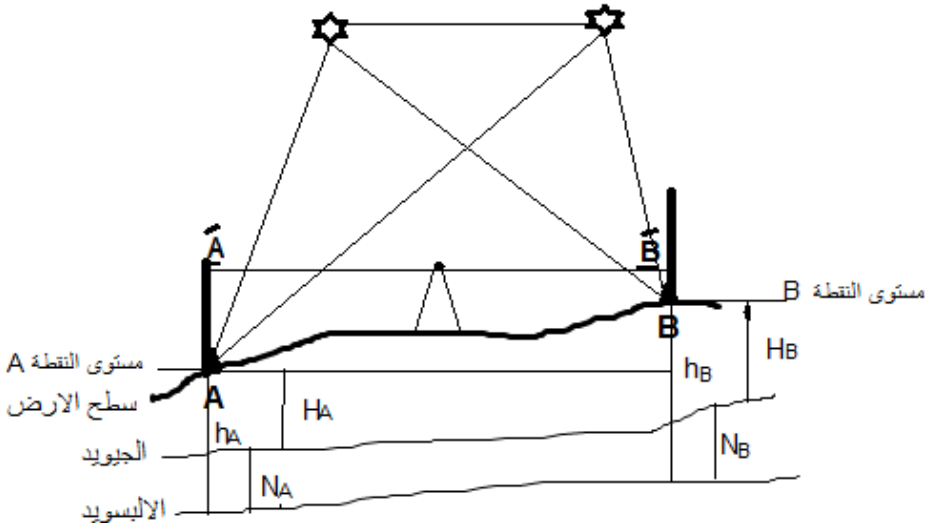
المعادلة (16) السابقة يمكن استخدامها ايضاً لإيجاد قيمة ارتفاع الجيويد عن الالبسويد (N) لنقطة معينة على سطح الأرض عندما تتوفر قيم الارتفاع لهذه النقطة مقاسة بالطريقتين التقليدية (الارتفاع h) و منظومة (GNSS) (الارتفاع H):

$$N = H - h \qquad (17)$$

نماذج الجيويد العالمي متاحة ومجانية، ويمكن الحصول عليها مجاناً من الانترنيت. كما يمكن حساب قيمة (N) لمنطقة المشروع في حالة توفر عدد من النقاط المرجعية معلومة الارتفاع عن مستوى سطح البحر MSLفي هذه المنطقة، ومن ثم عمل أرصاد بأجهزة (GNSS) على نفس النقاط وحساب الارتفاع

الجيوديزي عليها. تحسب قيمة (N) لجميع النقاط كفارق بين قيمة الارتفاع المقاسة بنظام (GNSS) وقيمة الارتفاع (MSL) المعلومة سابقاً بالمعادلة (17) السابقة .

عند قياس اختلاف الارتفاع بين نقطتين (A,B) شكل (٧)نحسب فروق المناسيب كالتالي: [٦]



شكل٧ – التسوية بمنظومة الأقمار الصناعية (GNSS)

$$h_A = H_A - N_A$$

$$h_B = H_B - N_B \qquad (18)$$

ثم نستخدم العلاقة التالية لحساب فرق المنسوب:

$$h_A - h_B = H_A - H_B - N_A + N_B \qquad (19)$$

وباستخدام الرموز:

$$\delta H_{AB} = H_A - H_B \quad , \quad \delta h_{AB} = h_A - h_B \quad , \quad \delta N_{AB} = N_A - N_B$$

تكتب العلاقة (19) بالشكل:

$$\delta h_{AB} = \delta H_{AB} - N_{AB} \qquad (20)$$

باستخدام منظومة الأقمار الصناعية (GNSS) يمكن حساب القيمة (δH_{AB}) وبمعرفة قيمة الفرق في ارتفاع الجيويد (δN_{AB}) في منطقة القياس يمكن حساب فرق المنسوب بين النقطتين (A , B) بالمعادلة (20).

يجب التأكيد على أن دقة قياسات التسوية بنظام (GNSS) تعتمد على دقة حساب قيمة حيود الجيويد (N)، لهذا يلزم توفر نموذج دقيق للجيود العالمي (GGM) والنماذج المجانية المتوفرة على شبكة الانترنيت مثل نموذج الجيويد العالمي (EGM2008) المستخدم حالياً لتحسين دقة نتائج قياس الارتفاع بنظام (GPS -GNSS) دقتها بحدود (35 cm – 25±) وهذا لا يتناسب مع أعمال التسوية الدقيقة المستخدمة في مراقبة التشوهات في المنشآت الهندسية. لكن هذه النماذج مجانية ويمكن رفع دقة حساب الفاصل الجيودي *(N)* بعمل أرصاد مساحية إضافية في منطقة العمل المحدودة وحساب نموذج محلي للجيويد LGM (Local Geoid Model) وبالتالي رفع دقة نتائج قياس الارتفاع بمنظومة الأقمار الصناعية .

التسوية بنظام (GNSS) لا تزال حتى الآن تدرس وتدقق من قبل المختصين، واستخدامها في أعمال التسوية الدقيقة يقتصر على الدرجة الرابعة، ولا يستغنى عن الطريقة التقليدية في تنفيذ التسوية الدقيقة عند مراقبة وتحدد قيم الهبوط في المنشآت الهندسية المختلفة. كما يجب الحذر عند قياس الارتفاعات بمنظومة الأقمار الصناعية في المشاريع الهندسية، لأن الارتفاع الناتج هو ارتفاع البسويدي وليس ارتفاع عمودي، وهو المستخدم في التطبيقات الهندسية والخرائط. [٤]

٦. – النتائج والتوصيات (Conclusions and Recommendations)

من خلال دراسة طرق ودقة قياس تشوهات الهبوط في المنشآت الهندسية باستخدام الطرق المساحية المختلفة يمكن تلخيص اهم النتائج والتوصيات على النحو الآتي:

٦–١– النتائج:

١. عند مراقبة التشوهات التي تتعرض لها المنشآت الهندسية المختلفة لا تكفي القياسات الضيقة واختبارات مقاومة موضعية لمواد البناء والتربة ولا بد من تحليل جيومتري للمنشأة يتضمن التعرف على شكلها وأبعادها وتموضعها في الفراغ، وهذا يحتاج لقياسات مساحية وجيوديزية دورية ودقيقة.

٢. المراقبة المساحية الدورية للمنشأ الهندسي هي استجابة لتحد علمي يكمن في كيفية تلافي اتخاذ القرار الخطأ، سواء أكان في الإقلال من الخطورة أو المبالغة فيها واللجوء للتدعيم المستعجل.

٣. التسوية بالطريقة التقليدية توفر دقة أفضل عند قياس تشوه الهبوط الحاصل في المنشآت الهندسية المختلفة.

٤. أعمال التسوية بالطريقة التقليدية تتطلب الكثير من الجهد والوقت، وبالتالي زيادة الكلفة الاقتصادية بالمقارنة باستخدام منظومة الرصد بالأقمار الصناعية (GNSS).

٥. دقة الرصد بمنظومة الأقمار (GNSS) لتحديد تشوهات الهبوط في المنشآت الهندسية تعتمد على دقة قيمة حيود الجيويد N (Geoid undulation) وبالتالي لا بد من توفر نموذج محلي دقيق للجيويد (LGM) عند استخدام هذه الطريقة في أعمال التسوية.

٦-٢ – التوصيات :

١- استخدام الطرق التقليدية للتسوية عند تحديد قيم الهبوط في المنشآت الهندسية التي تتطلب دقة قياسات من الدرجة الأولى وحتى الثالثة.

٢- تنفيذ التسوية لمراقبة تشوهات المنشآت الهندسية التى تتطلب دقة الدرجة الرابعة من الميزانية يفضل باستخدام تقنيات منظومة الرصد (GNSS) التى توفر الكثير من الوقت والجهد والمال كما يمكن استخدامها في كل الظروف الجوية و في أي وقت من النهار أو الليل.

٣- يجب تحقيق متطلبات التسوية الهندسية الدقيقة من حيث الأجهزة وأساليب الرصد والمعالجة اللاحقة لنتائج القياسات بالطرق الإحصائية المعروفة، أو بالبرامج الهندسية المتخصصة عند إجراء قياسات التسوية لتحديد قيم الهبوط في المنشآت الهندسية.

٤- عدم اتخاذ أي قرارات قد تكون غير مبررة علمياً، كتدعيم الأساسات لمنشأ تعرض لهبوط قبل عملية مراقبة التشوهات التي تحدد سبب المشكلة، والذي قد يكون في هبوط أساس منفرد واحد فقط من أساسات الأعمدة كان يمكن تدعيمه.

المراجع

[١]– الطرابيشي، عارف . اطار عمل منهجي لمراقبة المنشآت المتصدعة ، مجلة جامعة دمشق للعلوم – الهندسة المجلد الواحد والثلاثون – العدد الثاني – 2015

[٢]– القاموع ، أديب مُحَمَّد. تقييم دقة الهبوطات، عند تحديد التشوهات الشاقولية، مجلة جامعة تشرين لدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٢٩) العدد (١) ٢٠٠٧

[٣] – يحي، منير. دراسة إمكانية الحصول على الفروقات الارتفاعية باستخدام تقنية GPS ونموذج الجاذبية الأرضية العالمي EGM2008، مجلة جامعة تشرين لدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٢٩) العدد (١) 2015

[٤] - USA Army Topo - Geodetic Surveys 2001.pdf

[٥]- Markuze Yu., Yambaev Kh. Methods of observing deformations of engineering structures. IZVESTIY VUZOV, 2012 "Geodesy and Aero photo surveying" edition of Moscow state university of geodesy and cartography, vol.60,#2.

[٦] - Hofmann – Wellenhof, B. and Mortiz , H(2006) physical geodesy . Vienna > springer verlag.

[٧] - Cooper, M.AR. (1987) *Control Surveys in Civil Engineering.* Collins, London