

دراسة مقارنة للشبكات الأفقية والارتفاعية في بعض المنشآت الخاصة (سدود المنطقة الجنوبية من سوريا "سد درعا، سد طفس")

د. عبد الرزاق عجاج⁽¹⁾

الملخص

لما كان للمنشآت المائية أهمية كبيرة بعد البناء ووضعها في الاستثمار، واحتياجها الدائم للمراقبة الآمنة والموثوق بها، كان لا بد من إنجاز دراستنا هذه، التي هدفت إلى إنشاء نظام جيوديزي آمن (أفقي وارتفاعي) للمراقبة المستمرة للحركات الارتفاعية والأفقية، يحقق نواحي الكفاءة والأمان وتحديد الأجهزة المساحية المقترح استخدامها لتحقيق الدقة المطلوبة، لذا أجريت الدراسة على سدين مهمين في المنطقة الجنوبية (سد درعا وسد طفس) - محافظة درعا، ولكل سدٍ منهما على حدة درست الشبكة الأفقية والارتفاعية، بما يتعلق بالخصائص البنائية والهندسية للسد المدروس. في نهاية البحث اقترحت الحلول المناسبة واقترحت طريقة شكل الشبكة الجيوديزية وطريقة القياس المقترحة مع دقة الأجهزة الواجب استخدامها في كل حالة، وتم التأكد من الحلول المقترحة بطريقتين:

- الطريقة الأولى: إحصائياً باستخدام النمذجة الرياضية لنتائج القياسات.
- الطريقة الثانية: عملياً من خلال نتائج القياسات التي حصلنا عليها من خلال دورات القياس المختلفة.
-

الكلمات المفتاحية: مراقبة التشوهات، انزياح أفقي، انزياح شاقولي، سد، شبكة جيوديزية، شبكة مراقبة ارتفاعيه، نمذجة إحصائية، تقييم الدقة.

⁽¹⁾ أستاذ مساعد، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، دمشق، سورية.

Comparative Study based on Horizontal and Vertical Networks for Monitoring Certain Structures Case study: Two Dams in the Southern Region of Syria (Daraa and Taffass)

Dr. Abdulrazzak Ajaj⁽¹⁾

Abstract

Due to the great importance of hydrological facilities (like dams) after construction is finished and put into service. There is an urgent need for reliable and continuous monitoring by geodetic means. This study aimed to establish a robust geodetic reference framework (horizontal and vertical) that enables engineers continuously monitor horizontal and vertical displacements. In order to achieve efficiency and safety measures, certain aspects has to be proposed to identify best surveying arrangements and devices to reach the required accuracy. The study was performed collecting data from two important dams in the southern region of Syria (Daraa Dam and Taffass Dam) in Daraa province. At the end, the research proposed a separate study for each Dam was carried out in which ntwoks were established taking into consideration the structural and engineering characteristics of that Dam. Appropriate solutions and methodology for best geodetic configuration as well as the necessary instrumentation that should be used to achieve the required accuracy for each case. Namely the scientific work follows two methodologies:

- 1st method: statistically, using mathematical modeling for fitting the data (measurements)
- 2nd method: practically, periodical or systematic measurements (data) were collected at various stages.

Key words: Deformation monitoring, Horizontal displacements, Vertical displacements, Dam, Geodetic network, Vertical movement monitoring, Statistical modeling, Accuracy assessment.

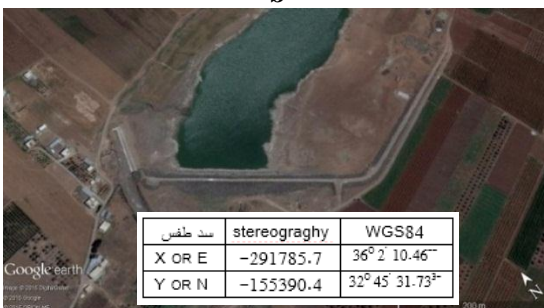
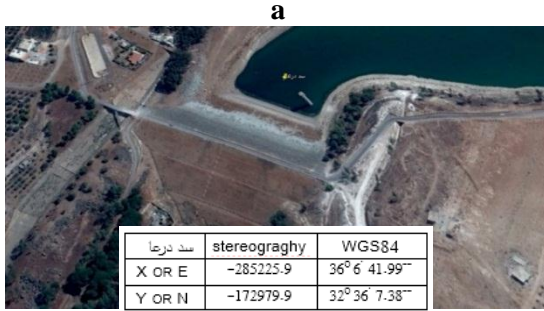
⁽¹⁾Assist., Prof. Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

1. مقدمة

قياسات حقلية على أرض الواقع ومن النقاط المساحية التي زرعت ومناقشة النتائج بعد تعديلها بالطرائق الدقيقة والبرامج المساحية المناسبة وإصدار النتائج من خلال جداول ورسومات بيانية موافقة [7,10].

3. مواد البحث وطرائقه

لإنجاز البحث كان من الضروري الإحاطة بأنواع الشبكات الأفقية والارتفاعية المستخدمة في مراقبة الانزياحات والهبوطات في السدود، والتصميم الهندسي لهذه الشبكات، وأسس توزيع نقاط الشبكة حول السد المائي [4,5,9]. إذ يتعلق شكل الشبكة الأفقية والارتفاعية من شكل السد وطوله وارتفاعه واحتوائه على مصاطب، ويتعلق أيضاً باحتواء السد على جزء مستقيم في مصاطبه. مما سبق نلاحظ أنّ السدود في المنطقة الجنوبية تعدّ من السدود المتوسطة والصغيرة إذ يحتوي سدّ درعا على ثلاث مصاطب بطول أعظمي (200 m)، ومجرى ضيق متوسط العمق نحو (35.0m)، استخدمت مصطبه العلوية كطريق معبّد لعبور السيارات. أمّا سدّ طفس فيتألف من مصطبة واحدة ذات طبيعة ركامية ارتفاعها نحو (16m)، يبين الشكل (1) المسقط الأفقي وموقع كل من سدي درعا الشرقي وطفس بجملتي الإحداثيات الستيريوغرافية العقارية السورية بحسب النظام العالمي WGS84:



الشكل (1) صورة فضائية لسد درعا الشرقي (a) وسد طفس (b)

تعدّ السدود من الحلول الاستراتيجية لتأمين المياه للاستخدامات الحيوية (ري- شرب)، لذا كان الاهتمام الكبير ببناء السدود على مساحة القطر، وتكتسب السدود أهمية كبرى في المناطق ذات الهطول المطري القليل والأرض الشديدة الخصوبة كما هو حال المنطقة الجنوبية من الجمهورية العربية السورية (محافظة درعا) التي كانت تسمى منذ زمن الإمبراطورية الرومانية (بسلة غذاء الإمبراطورية الرومانية)، تلك المنطقة تتميز بالتوزيع غير المنتظم للأيام الماطرة، وتركزها في أشهر الشتاء، وعدم تواتر الهطل المطري على مدى السنوات والعقود وكذلك تزايد الطلب على الموارد المائية [11].

من المفيد التذكير أنّ عدم الاستثمار الصحيح للسدود يؤدي إلى نتائج لا تقل كارثية عن عدم توافر المياه. ويقصد بالاستثمار الإجراءات المتخذة كلها لاستثمار المخزون المائي خلف السد، وإنشاء منظومة نقل المياه وتخزينها بالكميات المطلوبة في الزمن المناسب، وكذلك - موضوع بحثنا - المتعلق بدراسة درجة أمان السد من خلال المراقبة الجيوديزية بواسطة الشبكات الجيوديزية الأفقية والارتفاعية، واستخدام التقنيات المساحية ذات مواصفات الدقة المختلفة والمناسبة لطبيعة عمل شبكة المراقبة للتحقق من ثباته وعدم تأثره بالعوامل الخارجية المختلفة الدورية: إملاء البحيرة وتفريغها، وتحمل موجة الفيضان، وتحمل الهزات الأرضية [2,11].

2. أهمية البحث وأهدافه

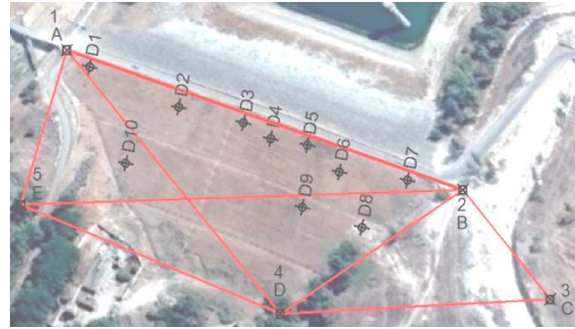
يمكن اختصار أهمية البحث في دراسة شبكات المراقبة الارتفاعية والأفقية لبعض السدود في المنطقة الجنوبية من القطر العربي السوري، وتحليلها هندسياً ورياضياً للتحقق من أمانها وصحة بنائها [1,3,6,8]، واقتراح خطة قياس مناسبة لإجراء القياسات الأفقية والارتفاعية في كل من السدين الرئيسيين المدروسين، وذلك وفقاً لشكل كل سدّ وأبعاده. بحيث تتم الملاءمة بين متطلبات الدقة والتكلفة الأصغر في ظل استخدام الأجهزة المساحية المتوفرة في الدوائر الهندسية لتلك السدود. أنجز الهدف من البحث على مرحلتين: حسابية من نمذجة خطة القياس، وإجراء القياسات، وتعديل القياسات بطريقة التريعات الصغرى. ومن ثم مناقشة نتائج معالجة القياسات التي حصلنا عليها من خلال النمذجة السابقة، وحقلياً عن طريق إجراء

4 . منهجية البحث:

1-4 تصميم شبكات المراقبة الأفقية والارتفاعية في سد درعا الشرقي:

1-1-4 تصميم شبكات المراقبة الأفقية في سد درعا الشرقي:

اختيرت نقاط الاستناد المرجعية لشبكة المراقبة لسد درعا، بحيث تقع في مناطق ذات تربة مستقرة، وتؤمن الرؤية فيما بينها، ولظروف الموقع وضعت نقطة الاستناد A على الكتف الغربي من السد ولكن على كتلة صخرية مستقرة وثابتة. من تلك نقاط الاستناد ترصد نقاط المراقبة التي توزعت على جسم السد بحيث تعطينا فكرة كاملة عن التغيرات جميعها التي تطرأ على السد خلال أوقات الرصد ومددها المختلفة [6,7]، وتعدّ هذه النقاط هي الحد الأدنى الممكن زراعته ورصده حول المنشأة. من ناحية البنية الهندسية للشبكة الأفقية في سد درعا تتألف من شكل رباعي بقطرين متقاطعين مع مثلث جانبي، بعد اعتماد نتائج الدورة المرجعية لإحداثيات النقاط (A,B,C,D,E) يقاس الموقع الأفقي لنقاط المراقبة على وجه السد (D1,D2,D3,.....,D9,D10) من ثلاث محطات رئيسية على الأقل، وتعالج النتائج وفق ذلك، كما هو موضّح على الشكل (2):



الشكل (2) شكل شبكة الاستناد الجيوديزية الأفقية المقترحة

2-1-4 دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس للشبكة الجيوديزية الأفقية المقترحة في سد درعا:

لإنجاز الحسابات الخاصة بالقيم العددية لشبكة المراقبة الأفقية في سد درعا، نعتمد على البيانات التي نحصل عليها من المخطط التصميمي المنجز بالـ CAD، بالاعتماد على المعايير العالمية في تحديد الخصائص العددية للشبكات، الجدول [1]، وبحساب أمان الشبكة الأفقية المقترحة، نحصل بشكل نهائي على قيم الأمان [7,8] المحققة لشرط Baarda الآتي:

$$Q = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}, Z = I - A \cdot Q \cdot A^T \cdot P, Z_{ij} \geq 0.5$$

الجدول (1) بعض معايير موثوقية الشبكات المساحية [1]

Reliability Objective Functions	القيم العددية
القيم الفائضة	$Z = r_j = (Q_{rr})_j P_j$ $Z = r_j > 0.5 \text{ or } r_j > 0.3$
الموثوقية الداخلية	$Z = \Delta_{ij} = m_{ij} \sqrt{\frac{w_{ij}}{P_{ij}}}$ $Z = \Delta_{ij} \equiv (6 \text{ or } 8) m_{ij}$
الموثوقية الخارجية	$Z = \delta_{ij}^2 = \frac{1-r_j}{r_j} w_{ij}$ $Z = \delta_{ij} \equiv 6 \text{ or } 10$

حسبت الخصائص العددية للشبكات لمختلف حالات القياس (اتجاهات دورة قياس واحدة، اتجاهات مع مسافة واحدة ثم مسافتين وهكذا حتى أربع مسافات، ثم اتجاهات بدورتي قياس)، يعرض الجدول (2) إحداثيات الشبكة في الجملة المحلية المعتبرة، ويعرض الجدول (3) نتائج حسابات الموثوقية بحسب Baarda للحالات الثلاث: الحالة الأولى وهي حالة قياس الاتجاهات جميعها في الشبكة بدورة قياس واحدة، والحالة الثانية وهي حالة قياس جميع الاتجاهات بدورتي قياس، والحالة الثالثة وهي حالة قياس الاتجاهات جميعها بدورتي قياس مع قياس المسافتين القطريتين AD, EB.

الجدول (2) إحداثيات نقاط شبكة الاستناد القاعدية في سد درعا

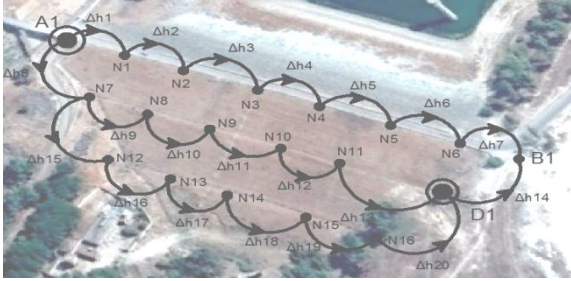
Number	Easting	Northing	Number	Easting	Northing
A	518.70	559.95	D	605.42	457.54
B	679.57	505.66	E	500.00	500.00
C	715.09	463.17			

الجدول (3) قيم درجات الموثوقية في شبكة الاستناد الجيوديزية في سد درعا.

رقم القياس	1	2	3	4	5	6	7	8
Z الموثوقية (حالة 1)	0.331	0.339	0.250	0.200	0.320	0.506	0.373	0.200
Z الموثوقية (حالة 2)	0.666	0.670	0.625	0.600	0.660	0.753	0.687	0.600
Z الموثوقية (حالة 3)	0.726	0.685	0.655	0.602	0.755	0.758	0.765	0.602
رقم القياس	9	10	11	12	13	14	15	16
Z الموثوقية (حالة 1)	0.200	0.316	0.341	0.305	0.200	0.264	0.474	0.378
Z الموثوقية (حالة 2)	0.600	0.658	0.671	0.652	0.600	0.632	0.737	0.689
Z الموثوقية (حالة 3)	0.602	0.661	0.698	0.686	0.602	0.689	0.763	0.708

بتمثيل نتائج الجدول (3) تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 3) الذي يوضّح أن الحد الأدنى

على الشكل (4) حول كيفية توزيع النقاط الارتفاعية المرجعية ونقاط المراقبة الارتفاعية على جسم السد.



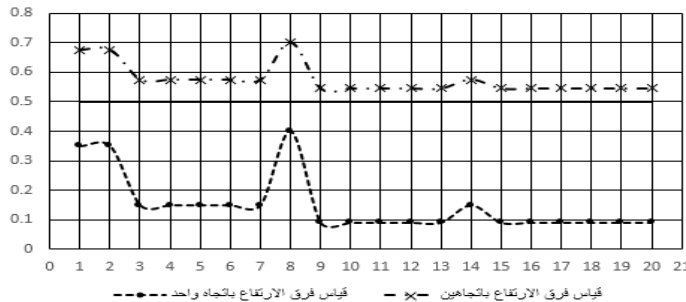
الشكل (4) شكل شبكة الجيوديزية الارتفاعية المقترحة

4-1-4 دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس للشبكة الجيوديزية الارتفاعية المقترحة في سد درعا:

يعدّ سد درعا من السدود الصغيرة، ولهذا السبب فإنّ تخطيط الشبكة وحساب الخصائص العددية الموافق لهذا التخطيط يعتمد فقط على التخطيط من الدرجة الأولى (first order design)، أي تكرار القياسات أو اختيار برنامج قياس لا يتعارض مع شكل نقاط الشبكة الارتفاعية وموقعها، وهنا في سدّ درعا نستطيع في مرحلة التخطيط تكرار عدد مرات القياس فقط وبحساب معاملات Bardaa لتحقيق الأمان الداخلي للشبكة [6,7]. يظهر نتيجة التحليل الرياضي [9,11] وفقاً لشكل الشبكة المقترح وبعد إنجاز الحسابات نحصل على النتائج الآتية المبينة في الجدول (4).

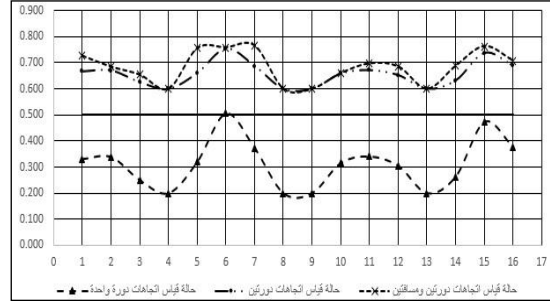
الجدول (4) قيم درجات الموثوقية في الشبكة الإرتفاعية في سد درعا

رقم القياس	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
قياس مفرد ذهاب	0.35	0.35	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.4	0.091	0.091
قياس ذهاب وعودة	0.675	0.675	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.7	0.545	0.545
رقم القياس	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
قياس مفرد ذهاب	0.091	0.091	0.091	0.15	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
قياس ذهاب وعودة	0.545	0.545	0.545	0.575	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545



الشكل (5) مخطط الموثوقية للشبكة الارتفاعية في سد درعا بالعلاقة مع مخطط القياسات

للقياسات التي يجب إجراؤها هي قياس الاتجاهات بدورتي قياس وقياس المسافتين القطريتين AD, EB.



الشكل (3) مخطط الموثوقية للشبكة الأفقية في سدّ درعا بالعلاقة مع مخطط القياسات

3-1-4 تصميم شبكات المراقبة الارتفاعية في سدّ درعا الشرقي:

بسبب البنية الضيقة نسبياً لسدّ درعا، وبسبب ارتفاعه ووجود أكتاف للسد ذات ميل شديد، صمّمت شبكة المراقبة الارتفاعية لسد درعا، بحيث تستند الى روبيرين (A1,D1) و 17 نقطة رصد ارتفاعية (7 نقاط على المصطبة الأولى، و 5 نقطة ارتفاعية على المصطبة الثانية، و 5 نقطة ارتفاعية على المصطبة الثالثة)، علماً أنّه كان يفضل ربطها بثلاثة روبييرات ولكن في السدود الصغيرة ممكن الاكتفاء بروبيرين كما هو مبين

$$Q=(A^T \cdot P \cdot A)^{-1}, Z=I-A \cdot Q \cdot A^T \cdot P, Z_{ii} \geq 0.5$$

نعتمد حالات القياس الآتية الممكنة في سد طفس (اتجاهات دورة قياس واحدة، اتجاهات بدورتي قياس، ثم اتجاهات بدورتي قياس مع مسافتين أفقيتين (T1T2, T4T5)، يعرض الجدول (5) إحداثيات الشبكة في الجملة المحلية المعتبرة، ويعرض الجدول (6) نتائج حسابات الموثوقية بحسب Baarda للحالات الثلاث السابقة.

الجدول (5) إحداثيات نقاط شبكة الاستناد الجيوديزية في سد طفس.

Number	Easting	Northing	Number	Easting	Northing
T1	1000.00	1000	T4	1308.22	1000
T2	1082.29	967.16	T5	1244.25	957.44
T3	1371.07	1083.47	N9	1162.9	1031.86

الجدول (6) قيم درجات الموثوقية في شبكة الاستناد الجيوديزية في سد طفس.

رقم القياس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z الموثوقية (حالة 1)	0.19	0.19	0.19	0.26	0.22	0.22	0.27	0.22	0.22
Z الموثوقية (حالة 2)	0.60	0.60	0.60	0.63	0.61	0.61	0.64	0.61	0.61
Z الموثوقية (حالة 3)	0.69	0.69	0.60	0.66	0.64	0.65	0.68	0.62	0.62
رقم القياس	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Z الموثوقية (حالة 1)	0.26	0.19	0.19	0.19	0.19	0.26	0.27	0.26	0.19
Z الموثوقية (حالة 2)	0.63	0.60	0.60	0.60	0.60	0.63	0.64	0.63	0.60
Z الموثوقية (حالة 3)	0.63	0.60	0.68	0.68	0.73	0.69	0.66	0.74	0.70

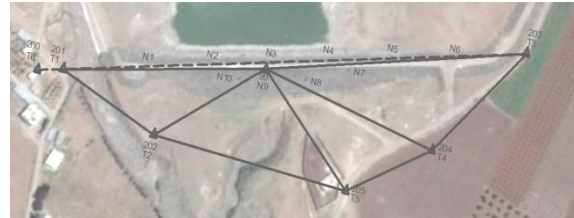
بتمثيل نتائج الجدول (6) تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 7) الذي يوضح أن الحد الأدنى للقياسات التي يجب إجراؤها هي قياس الاتجاهات بدورتي قياس للاتجاهات.

بتمثيل نتائج الجدول (4) تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 5) الذي يوضح أن الحد الأدنى للقياسات التي يجب إجراؤها هي قياس الاتجاهات بدورتي قياس (ذهاب وعودة).

2-4 تصميم شبكات المراقبة الأفقية والارتفاعية في سد طفس:

1-2-4 تصميم شبكات المراقبة الأفقية في سد طفس:

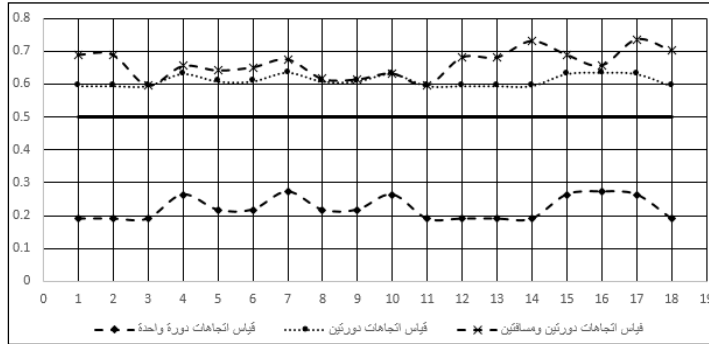
اختيرت نقاط الاستناد المرجعية لشبكة المراقبة لسد طفس، بحيث تقع في مناطق ذات تربة مستقرة، وبسبب خاصية السد في أنه يتألف من مصطبة واحدة وارتفاع غير كبير <16m، زرعت نقطتان مرجعيتان معلومتا الإحداثيات في شبكة احداثيات محلية مختارة (T2, T5) وأربع نقاط مراقبة مرجعية (T1, T3, T4, N9)، كما زرعت نقاط مراقبة على المصطبة العلوية (N1, N2, N3, N4, N5, N6) للسد تقع في مستوي شاقولي واحد بحيث تقاس بإحدى طرائق تحديد الانزياحات عن المستوي الشاقولي التي من أشهرها طريقة المستقيم الثابت وطريقة المستويات الشاقولية المتتالية، [11, 12]، وهنالك نقطتان (N8, N10) واقعتان على الجزء الهوائي من السد، يوضح الشكل (6) توزع نقاط الشبكة الرئيسية ونقاط المراقبة الواقعة ضمن المستوي الشاقولي.



الشكل (6) شكل شبكة الاستناد الجيوديزية الأفقية المقترحة في سد طفس.

2-2-4 دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس للشبكة الجيوديزية الأفقية المقترحة في سد طفس:

لإنجاز الحسابات الخاصة بالقيم العددية التي تصف شبكة المراقبة الأفقية في سد طفس، المحققة لشرط Baarda الآتي:



الشكل (7) مخطط الموثوقية للشبكة الأفقية في سد طفس بالعلاقة مع مخطط القياسات

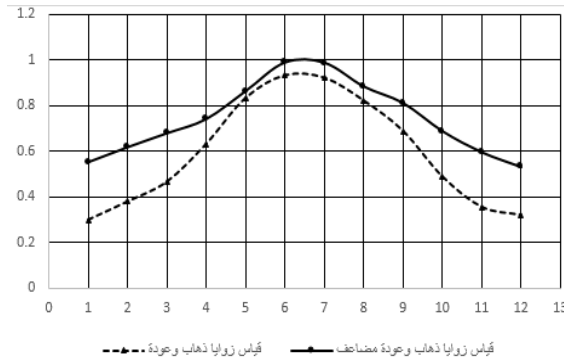
5. طريقة المستوي الشاقولي الجزأ.

والتي تعتمد جميعها على قياس الزوايا الصغيرة بين النقطة المرصودة والمستوي الشاقولي العام بالأجهزة البصرية (THEODOLITE, GTS, ...)، وكما هو معلوم فإن طريقة المستوي الشاقولي العام (طريقة المستقيم الثابت) هي الطريقة الأكثر استخداماً التي تحقق الدقة المطلوبة بأقل عدد من القياسات والتنقلات كما يوضح المخطط على الشكل (8) بعد إنجاز الحسابات الخاصة بذلك:

أما بالنسبة إلى الطرائق التي نقتربها لقياس الانزياحات عن المستوي الشاقولي من طرائق قياس الانزياحات عن المستوي الشاقولي التي نذكر منها [11]:

1. طريقة المستوي الشاقولي العام،
2. طريقة المستويات الشاقولية الجزئية مع نقطة وحيدة على المستوي الشاقولي الجزئي.
3. طريقة المستويات الشاقولية المتتالية،
4. طريقة المضلع الزاوي،

دورة قياس وحيدة ذهاب وعودة		دورتا قياس مضاعفة (ذهاب وعودة)	
1	0.299	1	0.553
2	0.379	2	0.618
3	0.466	3	0.679
4	0.632	4	0.741
5	0.833	5	0.863
6	0.932	6	0.988
7	0.921	7	0.987
8	0.821	8	0.883
9	0.688	9	0.811
10	0.488	10	0.688
11	0.355	11	0.596
12	0.32	12	0.532
$Z_{aver} = 0.59, Z_{min} = 0.299$		$Z_{aver} = 0.74, Z_{min} = 0.532$	



الشكل (8) مخطط الموثوقية للشبكة الأفقية في سد طفس بالعلاقة مع مخطط القياسات في حالة القياس بالمستقيم الثابت

4-3-2-4 تصميم شبكات المراقبة الارتقاعية في سد طفس:
تتألف الشبكة الارتقاعية في سد طفس من نقطة مرجعية T1 مرتبطة بثلاثة روبيرات (T0, T01, T02) لمراقبة أية انزياحات تطراً عليها وسبع نقاط مراقبة ارتفاعية موزعة على جسم السد على مصطبة العلوية، كما هو مبين على الشكل (9).

من الواضح من المخطط في الشكل (8) أن مخطط القياس الواجب إنجازه للحصول على الانزياحات عن المستوي الشاقولي العام، هو قياس الزوايا الصغيرة في الذهاب والعودة على الأقل مرتين (قياس مضاعف).



الشكل (9) شكل شبكة المراقبة الإرتفاعية المقترحة في سد طفس والحالة الأولى للقياسات

والحالة الثانية هي قياس فروقات الارتفاع بشكل مضاعف ذهاباً وعودة فضلاً عن قياس فرق الارتفاع بين النقطتين الارتفاعيتين T1 و N4 و فرق الارتفاع بين N3 و T3 كما هو واضح على الشكل (9)، وعلى الشكل (10).

4-2-4 دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس للشبكة الجيوديزية الارتفاعية المقترحة في سد طفس:

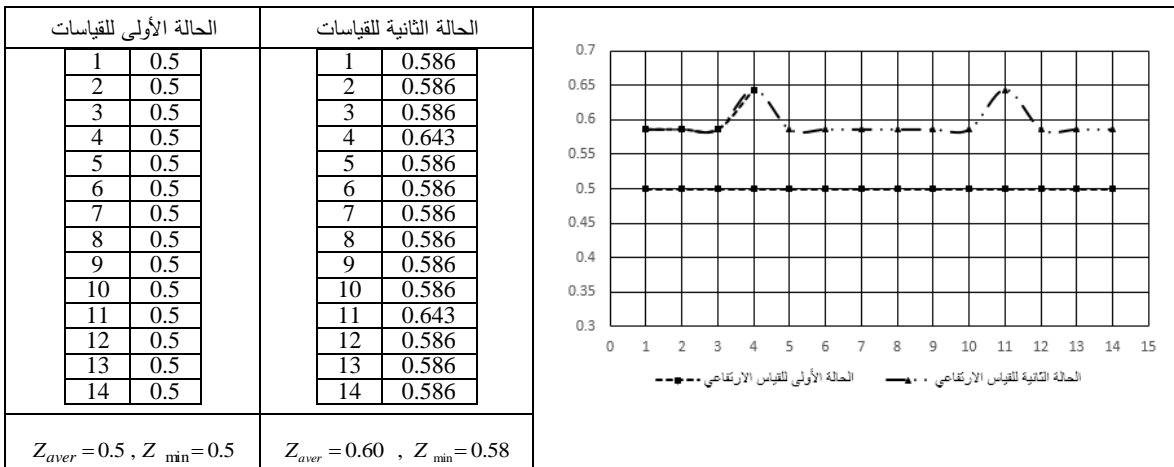
لدراسة الخصائص العددية للشبكة الارتفاعية في سد طفس، نميز بين حالتين للقياسات، الحالة الأولى قياس فروق الارتفاع بين النقاط بشكل مضاعف ذهاباً وعودة،



الشكل (10) شكل شبكة المراقبة الإرتفاعية المقترحة في سد طفس والحالة الثانية للقياسات

من نتائج الحسابات في الجدول نجد أن المخطط المقترح للقياسات هو المخطط الثاني الذي يقتضي أن تجرى القياسات لفروقات الارتفاعات في الذهاب والعودة، بالإضافة إلى قياس فرق الارتفاع بين الروبير T1 و N4 و فرق الارتفاع بين N3 و T3.

بتمثيل النتائج تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 11) الذي يوضح أن الحالة الثانية لمخطط القياسات الارتفاعية هي الحالة التي يجب اعتمادها.



الشكل (11) مخطط الموثوقية للشبكة الارتفاعية في سد طفس

μ_{all} - القيمة المسموحة للخطأ المتوسط التربيع المحقق لسوية الثقة 95 %

μ_0 - قيمة الخطأ المتوسط التربيع لواحدة الوزن المعتمدة في الشبكة الارتقاعية القاعدية

وباستعمال مصفوفات مقلوب الوزن للشبكات الارتقاعية في كل من سدي درعا وطفس (مصفوفة تمام التباينات covariance matrix والتباينات variance) والمحسوبة سابقاً عند تقييم وحساب الدقة المسبقة للقياسات المطلوب إجراؤها، وبعد إنجاز الحسابات نحصل على مصفوفة التباينات وتمام التباينات للقيم الارتقاعية المجهولة في الشبكة الارتقاعية القاعدية (عرضت عرض القيم المهمة الواقعة في القطر الرئيسي فقط):

أولاً: نتائج حسابات التحقق للشبكة الارتقاعية على سدّ درعا: نورد في الجدول (7) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة تمام التباينات للشبكة الارتقاعية في سدّ درعا، والخطأ المتوسط التربيع بالمليمتر المتوقع ارتكابه في ارتفاعات الشبكة الارتقاعية، عند استخدام جهاز تسوية دقته مساوية إلى الدقة الحسابية المحسوبة بالعلاقة (1).

3-4 تحديد مرتبة دقة قياس الأجهزة المستخدمة في المراقبة الجيوديزية:

1-3-4 تحديد مرتبة دقة قياس جهاز التسوية (Leveling Instrument):

تعتمد فكرة تحديد دقة جهاز القياس في القياسات المساحية على حل المسألة العكسية في نظرية المعالجة الرياضية لنتائج القياسات المساحية التي تعتمد على البدء من الدقة النهائية المطلوبة لحساب مناسب النقاط الارتقاعية المرجعية، وهي في حالتنا تساوي:

$$m_{Hi} = \pm 5^{mm} \sqrt{L_{km}} \text{ أي } \pm 5^{mm} \text{ لكل } (1km)$$

من المسار الارتقاعي، أي يجب تحقيق متطلبات التسوية الهندسية من الدرجة الثانية، وباعتبار أن سوية الثقة 95 % يكون المعامل الإحصائي $t_0 = 1.96$ وباعتبار ثابت حساب الوزن في مصفوفة أوزان قياسات فروق الارتفاع $P_i = \frac{C}{L_i}$ يساوي $C = 50 m$ ينتج أن القيمة المسموحة للخطأ:

$$\mu_{all} = \frac{\mu}{1.96}, \mu_0 = \mu_{all} \sqrt{\frac{C}{L_{km}}}; \mu_0 = 0.5 mm(1)$$

الجدول (7) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطأ الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الارتقاعية في سد درعا بالمليمتر

النقطة الإرتقاعية	N1	N2	N3	N4	N5	N6	B1	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
مقلوب الوزن	0.65	0.6	1.25	1.6	1.65	1.4	2.727	2.545	2.182	1.636	0.909	2.727	2.545	2.182	1.636	0.909	0.85
الخطأ المتوقع	0.403	0.387	0.559	0.632	0.642	0.592	0.826	0.798	0.739	0.64	0.477	0.826	0.798	0.739	0.64	0.477	0.461

نلاحظ أن أخطاء الارتفاعات المتوقعة جميعها هي ضمن الحدود المسموحة، وبما يتوافق مع الحسابات النظرية.

ثانياً: نتائج حسابات التحقق للشبكة الارتقاعية على سدّ طفس. نورد في الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة تمام التباينات للشبكة الارتقاعية في سدّ طفس، والخطأ المتوسط التربيع بالمليمتر المتوقع ارتكابه في ارتفاعات الشبكة الارتقاعية، عند استخدام جهاز تسوية دقته مساوية إلى الدقة الحسابية المحسوبة بالعلاقة (1).

من المفيد التنويه أن نقطتي المراقبة الارتقاعيتين الواقعتين على الوجه الهوائي لسد طفس (N8, N10) تمت مراقبتهما ارتفاعياً باستخدام جهاز المحطة المتكاملة GTS وباستخدام خاصية MLM (measurement line missing) التي لا تحتاج إلى تمركز على الجزء الهوائي الركامي الحجري لسد طفس، وتعطي الدقة نفسها المطلوبة الخاصة بالعمل مع شبكة المراقبة الارتقاعية في السدود.

مما سبق يمكن استنتاج أنه يمكن استعمال جهاز نيفو دقته أعلى من $\pm 2^{mm}$ لكل (1km)، وهذا يؤكد أن الجهاز

الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطأ الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الارتقاعية في سد طفس بالمليمتر.

نورد في الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطأ الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الارتقاعية في سد طفس بالمليمتر.

الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطأ الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الارتقاعية في سد طفس بالمليمتر.

النقطة الإرتقاعية	N1	N2	N3	N4	N5	N6	T3
مقلوب الوزن	0.65	0.60	1.25	1.60	1.65	1.40	2.73
الخطأ المتوقع	0.403	0.387	0.559	0.632	0.642	0.592	0.826

$$R := A^T \cdot P \cdot A \quad Q := R^{-1} \quad Q_{meas} := A \cdot Q \cdot A^T$$

$$\mu := 0.000845$$

0.541	Q ST 1	0.00062	m ST 1
0.463	Q ST 2	0.00058	m ST 2
1.399	Q ST 3	0.001	m ST 3
0.708	Q ST 4	0.00071	m ST 4
0.92	Q ST 5	0.00081	m ST 5
diag(Q) = 2.865	Q XE	0.00143	m XE
4.55	Q YE	0.0018	m YE
2.899	Q XD	0.00144	m XD
1.102	Q YD	0.00089	m YD
0.613	Q XC	0.00066	m XC
3.695	Q YC	0.00162	m YC

$$\mu \cdot \sqrt{\text{diag}(Q)} =$$

الشكل (12) نتائج الحسابات لبرنامج الدقة المسبقة في حالة الشبكة الأفقية في سد درعا (دقة الإحداثيات)

تبيّن النتائج المعروضة على الشكل (12) ضرورة أن يكون القياس بجهاز دقته تساوي $m_{DIR} = 0.000845 \text{ Grad}$ أو تزيد عليه لقياس الاتجاهات ودقة قياس مسافات $(\pm 2^{mm} + 2 \text{ ppm})$ ، وفي هذه الحالة نحصل على القيم التفصيلية لدقة قياس الاتجاهات والمسافات بعد تعديلها (النتائج مبينة على الشكل (13):

0.541	Q dir 1	0.00062	m dir 1
0.629	Q dir 2	0.00067	m dir 2
0.686	Q dir 3	0.0007	m dir 3
0.797	Q dir 4	0.00075	m dir 4
0.482	Q dir 5	0.00059	m dir 5
0.483	Q dir 6	0.00059	m dir 6
0.463	Q dir 7	0.00058	m dir 7
0.797	Q dir 8	0.00075	m dir 8
0.797	Q dir 9	0.00075	m dir 9
diag(Qmeas) = 0.678	Q dir 10	0.0007	m dir 10
0.601	Q dir 11	0.00066	m dir 11
0.624	Q dir 12	0.00067	m dir 12
0.797	Q dir 13	0.00075	m dir 13
0.613	Q dir 14	0.00066	m dir 14
0.471	Q dir 15	0.00058	m dir 15
0.582	Q dir 16	0.00064	m dir 16
0.625	Q dis 1	0.00067	m dis 1
1.089	Q dis 2	0.00088	m dis 2

$$\mu \cdot \sqrt{\text{diag}(Q_{meas})} =$$

الشكل (13) نتائج الحسابات لبرنامج الدقة المسبقة في حالة الشبكة الأفقية في سد درعا (دقة الاتجاهات والمسافات)

من المفيد التنويه أنّ الواحدات المستخدمة في الحسابات والبرامج جميعها هي المتر للقياسات الخطية بمختلف أنواعها، والغراد بالنسبة إلى القياسات الزاوية بمختلف أنواعها، والرموز المستخدمة ضمن الشكلين (12) و(13) هي كما يأتي:

المستخدم النيفو الرقمي من نوع Topcon DL-102C (ذو قوة تكبير لنظارتته 30X والمزود بمعدّل compensator ومجال عمله $\pm 15'$ وذو الحساسية "0.5" والذي تصل دقة قياس الارتفاعات إلى $\pm 1^{mm}$ لكل 1Km) مع ميرا مشفرة يحقق الشروط المذكورة أعلاه. 2-3-4 تحديد مرتبة دقة قياس جهاز المحطة المتكاملة (GTS):

كما في الشبكة الارتفاعية تعتمد فكرة تحديد دقة جهاز قياس المحطة المتكاملة في القياسات المساحية للشبكات الأفقية لكل من سدي درعا وطفس على حل المسألة العكسية في نظرية المعالجة الرياضية لنتائج القياسات المساحية التي تعتمد على البدء من الدقة النهائية المطلوبة لحساب مستويات النقاط الارتفاعية المرجعية وهي في حالتنا تساوي $m_p = \pm 5 \text{ mm}$ بحسب مواصفات السد، ونظراً إلى أنّ سوية الثقة 95% كان المعامل الإحصائي $t_0 = 1.96$ وباعتبار مصفوفة أوزان القياسات محددة سابقاً عند تحديد الدقة المسبقة في الفقرة (2-4) ومن ثمّ:

$$\mu_{all} = \frac{\mu}{1.96}$$

$$\mu_{all} = 2.55 \text{ mm} = m_{p_{all}}, \quad (2)$$

$$m_x = m_y = \frac{\mu_{all}}{\sqrt{2}} = 1.8 \text{ mm}$$

μ_{all} - القيمة المسموحة للخطأ المتوسط التربيع المحقق لسوية الثقة 95%
 μ_0 - قيمة الخطأ المتوسط التربيع لوحدّة الوزن المعبّرة في الشبكة الأفقية وهي في حالتنا سنعدّها خطأ قياس الاتجاه بوحدة ال Grad.

$m_{p_{all}}$ - الخطأ المتوسط التربيع المسموح في موقع نقاط شبكة المراقبة الأفقية للسد وتساوي:
 $m_{p_{all}} = \sqrt{m_{xp}^2 + m_{yp}^2}$ - الخطأ المتوسط التربيع المرتكب في فاصلة وترتيب موقع النقطة.

لإنجاز الحساب نقوم بإنشاء برنامج حساب حاسوبي ضمن بيئة ال MathCAD، حيث تكون المدخلات هي مصفوفة الشكل A والوزن P المحسوبة سابقاً، وإنجاز الحساب العددي نحصل على الحل الأفضل، المبين على الشكل (12):

مما كان مطلوباً في قياسات الشبكة الأفقية في سدّ درعا، إذ أنّ دقة قياس الاتجاهات في حالة سد طفس يجب أن لا تقل عن 5^{CC} ودقة قياس مسافات ($\pm 2^{mm} + 2 ppm$)، وفي هذه الحالة نحصل على القيم التفصيلية لدقة الاتجاهات والمسافات بعد تعديلها، وبحسب البرنامج كما هو مبين على الشكل (15):

0.621	"Q dir 1"	0.0004	"m dir 1"
0.621	"Q dir 2"	0.0004	"m dir 2"
0.806	"Q dir 3"	0.00045	"m dir 3"
0.689	"Q dir 4"	0.00042	"m dir 4"
0.715	"Q dir 5"	0.00043	"m dir 5"
0.697	"Q dir 6"	0.00042	"m dir 6"
0.65	"Q dir 7"	0.00041	"m dir 7"
0.766	"Q dir 8"	0.00044	"m dir 8"
0.77	"Q dir 9"	0.00044	"m dir 9"
0.734	"Q dir 10"	0.00043	"m dir 10"
0.805	"Q dir 11"	0.00045	"m dir 11"
0.637	"Q dir 12"	0.0004	"m dir 12"
0.637	"Q dir 13"	0.0004	"m dir 13"
0.538	"Q dir 14"	0.00037	"m dir 14"
0.622	"Q dir 15"	0.0004	"m dir 15"
0.686	"Q dir 16"	0.00042	"m dir 16"
0.528	"Q dir 17"	0.00037	"m dir 17"
0.594	"Q dir 18"	0.00039	"m dir 18"
1.669	"Q dis 1"	0.00065	"m dis 1"
1.681	"Q dis 2"	0.00065	"m dis 2"

الشكل (15) نتائج الحسابات لبرنامج الدقة المسبقة في حالة الشبكة الأفقية في سد طفس (دقة الاتجاهات والمسافات).

4-4 التحقق الإحصائي من الشبكة الارتفاعية والأفقية المقترحة لسدي درعا وطفس:

يكون التحقق الإحصائي من خلال نمذجة الشبكات الارتفاعية والأفقية المدروسة، عن طريق تحميل القياسات الحقيقية الخالية من الأخطاء، بأخطاء عشوائية يجري توليدها آلياً باستخدام معادلة توليد الأرقام العشوائية الموجودة في لغات البرمجة المعروفة جميعها، وفي برامج الإحصاء والرياضيات التطبيقية (excel, math cad, SPSS,...) عن طريق تعليمة البرمجة الرياضية لتوليد الأرقام العشوائية التي تعطي أرقاماً عشوائية تتبع $(\epsilon_i \in (0.5, \sqrt{\frac{1}{12}}))$ ثم تحوّل تحويلها من الشكل التوزيعي السابق إلى الشكل التوزيعي التابع لنظرية التوزيعات الصغرى $\epsilon_i \in (0, \mu)$ وفي حالة الشبكة

$diag(Q)$ - القيم القطرية في مصفوفة التباينات (مقلوب الوزن للقيم المجهولة أي أحداثيات الشبكة الأفقية).

$\mu \sqrt{diag(Q)}$ - القيم القطرية في مصفوفة تمام التباينات (الخطأ المتوسط التربيع للقيم المجهولة أي أحداثيات الشبكة الأفقية).

$diag(Q_{meas})$ - القيم القطرية في مصفوفة التباينات (مقلوب الوزن للقيم المقاسة أي الاتجاهات والزوايا).

$\mu \sqrt{diag(Q_{meas})}$ - القيم القطرية في مصفوفة تمام التباينات (الخطأ المتوسط التربيع للقيم المقاسة أي الاتجاهات والزوايا)

QST - مقلوب الوزن للاتجاه الصفري على المحطة

mST - الخطأ المتوسط التربيع للاتجاه الصفري محسوباً بالغراد

QX, QY - مقلوب الوزن للقيم المعدلة للإحداثيات.

mX, mY - الخطأ المتوسط التربيع للقيم المعدلة للإحداثيات محسوبة بالمتري

$QDIR$ - مقلوب الوزن للاتجاه.

$mDIR$ - الخطأ المتوسط التربيع للاتجاه المقيس بعد

التعديل محسوباً بالغراد.

نعيد الحسابات في برنامجنا المبني، بحسب معطيات سد طفس نحصل على النتائج الواردة ضمن الشكل (14) والشكل (15):

$R := A^T \cdot P \cdot A$		$Q := R^{-1}$	$Q_{meas} := A \cdot Q \cdot A^T$
$\mu := 0.000505$			
1.385	"Q ST 1"	0.00059	"m ST 1"
0.715	"Q ST 2"	0.00043	"m ST 2"
0.697	"Q ST 3"	0.00042	"m ST 3"
1.421	"Q ST 4"	0.0006	"m ST 4"
1.691	"Q ST 5"	0.00066	"m ST 5"
0.769	"Q ST 6"	0.00044	"m ST 6"
4.819	"Q X T1 "	0.00111	"m X T1 "
1.166	"Q Y T1 "	0.00055	"m Y T1 "
1.786	"Q X T4 "	0.00067	"m X T4 "
2.506	"Q Y T4 "	0.0008	"m Y T4 "
10.185	"Q X T3 "	0.00161	"m X T3 "
12.713	"Q Y T3 "	0.0018	"m Y T3 "
8.956	"Q X N9 "	0.00151	"m X N9 "
5.882	"Q Y N9 "	0.00122	"m Y N9 "

الشكل (14) نتائج الحسابات لبرنامج الدقة المسبقة في حالة الشبكة الأفقية في سد طفس (دقة الأحداثيات)

من تحليل البيانات الواردة في الشكل (14) نجد أنّ متطلبات دقة جهاز المحطة المتكاملة المطلوب هو أعلى

العديدية لتصميم الشبكات الارتفاعية، هو الذي يعتمد على قياس فروق الارتفاعات بشكل مضاعف.

5- بينت النتائج الخاصة بالشبكة الارتفاعية في سدّ طفس أنّ مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العديدية لتصميم الشبكات الارتفاعية، هو الذي يعتمد على قياس فروق الارتفاعات بشكل مضاعف، ومن ثمّ إضافة قياسين بين الروبير المرجعي والنقطة الارتفاعية الرابعة وبين النقطة والارتفاعية الثالثة والنقطة الارتفاعية الأخيرة.

6- لتحقيق الدقة المطلوبة في شبكات المراقبة الأفقية ينبغي استخدام جهاز محطة متكاملة ذي دقة قياس اتجاه لا يقل عن $m_{DIR} = 0.000845 \text{ Grad}$ بالنسبة إلى الشبكة الأفقية لسدّ درعا و $m_{DIR} = 0.0005 \text{ Grad}$ بالنسبة للشبكة الأفقية في سدّ طفس ودقة قياس المسافات الأفقية $\pm 2^{mm} + 2 \text{ ppm}$ لكلا السدين، أمّا بالنسبة إلى القياسات في الشبكة الارتفاعية فينبغي استخدام جهاز نيفو ذي دقة لا تقل عن $\pm 2^{mm}$ ولكلتا الشبكتين الارتفاعيتين في سدّ درعا وفي سدّ طفس.

7- نقتراح بالنسبة إلى نقاط المراقبة الارتفاعية التي لا يمكن إجراء تسوية هندسية عن طريق التمرکز بالنيفو بين النقطة الخلفية والأمامية لأسباب عدة منها الانحدار الشديد ووجود أحجار ركامية كبيرة، استخدام خاصية الـ MLM المزود بها أغلب أجهزة الـ GTS لدقتها التي تقترب كثيراً من دقة جهاز التسوية الدقيق.

الارتفاعية والأفقية $(\varepsilon_i \in (0, \frac{\mu}{\sqrt{p_i}}))$ ، ويتم الحصول

على نتائج القياسات للشبكة الأفقية والارتفاعية بإضافة الخطأ العشوائي الناتج عن النمذجة إلى القيم الحقيقية: للشبكة الأفقية:

$$(x_{meas\ i} = x_{real\ i} + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n)$$

للشبكة الارتفاعية:

$$(\Delta h_{meas\ i} = \Delta h_{real\ i} + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n)$$

وبعد إنجاز عملية التعديل بالبرامج المختلفة المناسبة (star net, cat, network adjustment program) تقارن النتائج التي يجب أن تحقق سوية الثقة المطلوبة، وهي في حالتنا تساوي (95%)، بإنجاز الحسابات المعروضة أعلاه على الشبكات الأربع المقترحة لسدي درعا و طفس كانت النتائج ضمن القيم الحدية المقبولة. ولتقوية الدراسات النظرية العديدية السابقة كان لابداً من إجراء قياسات حقلية في مدد زمنية متفاوتة، واستخدمنا النتائج من أجل التحقق الحقلية والتي كانت ضمن الحدود المقبولة.

النتائج والتوصيات:

1- بينت النتائج الخاصة بالشبكة الأفقية في سدّ درعا أنّ مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العديدية لتصميم الشبكات الأفقية، هو الذي يعتمد على زرع خمس نقاط مرجعية، تشكل هندسياً شكلاً رباعياً ذا قطريين متقاطعين ومثلث جانبي، وقياس الاتجاهات جميعها بشكل مضاعف ومسافتين للضلعين القطريين.

2- بينت النتائج الخاصة بالشبكة الأفقية في سدّ طفس أنّ مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العديدية لتصميم الشبكات الأفقية، عن طريق زرع خمس نقاط تشكل فيما بينها أربعة مثلثات تقاس فيها الزوايا بشكل مضاعف فضلاً عن مسافتين طرفيتين.

3- بحسب نتائج بحثنا نقتراح استخدام طريقة المستقيم الثابت في مراقبة الانزياحات وتحديدها عن المستوي الشاقولي، وذلك بالنسبة إلى نقاط المراقبة المزروعة على المصطبة العلوية في سد طفس.

4- بينت النتائج الخاصة بالشبكة الارتفاعية في سدّ درعا أنّ مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص

10- НГУЕН ВЬЕТ ХА, 2010, РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛОТИН ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВО ВЬЕТНАМЕ.

(نوقين فيت خا، 2010 دراسة طرائق لتحديد التشوهات في السدود الكهرومائية باستخدام نتائج القياسات الجيوديزية بالأقمار الصناعية في فيتنام)

11- أحمد، محسن. فحصة، إياد. (2015). التصميم الجيوديزي لشبكات المراقبة الإرتفاعية في السدود، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، 37(1).

12- أحمد، محسن. (2002). اقتراح الطريقة المثلى للقياسات الجيوديزية الخاصة بشبكة مراقبة التشوهات في السدود المتوسطة والصغيرة (حالة دراسة: شبكة الانزياحات الأفقية في سد الثورة - اللاذقية)، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، 24(11).

Received	2016/03/07	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/04/27	اقبول البحث للنشر

المراجع References

- 1- Networks A. R. Amiri -Simkooei, M. ASCE; J. Asgari; F. Zangeneh-Nejad3; and S. Zaminpardaz4 Concepts of Optimization and Design of Geodetic, JOURNAL OF SURVEYING ENGINEERING © ASCE / NOVEMBER 2012
- 2- Dr. João CASACA and Dr. Maria João HENRIQUES, Portugal The Geodetic Surveying Methods in the Monitoring of Large Dams in Portugal, FIG XXII International Congress Washington D.C. USA, April 19-26 2002
- 3- Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Dept. of Geodesy and Photogrammetry, Trabzon, Turkey Verifying Pressure of Water on Dams, a Case Study, Sensors 2008, 8, 5376-5385; DOI: 10.3390/s8095376
- 4- C.J. Pretorius¹, W. F. Schmidt, S. van Staden, K. Egger The extensive geodetic system used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in southern Africa, 19–22 March 2001 Orange, California, USA.
- 5- Ioana POP, Associate Professor PhD – UASVM Cluj-Napoca, Mircea ortelecan, Professor PhD Eng. UASVM Cluj-Napoca Aspects regarding the monitoring of weight Dams by Geotic Measurements.
- 6- Grafarend, E. W., (1974), Optimization of Geodetic Networks, Bolletino di Geodesia a Science Affini, 33(4), 351 - 406.
- 7- Generalized Measures of eliabilityfor Multiple Outliers Nathan L. Knight School of Surveying and Spatial Information Systems University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia
- 8- Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, Fourth Edition. C. D. Ghilani and P. R. Wolf © 2006 John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-69728-2 37.
- 9- Бывшев. В. А. 1985. Об эффективности оценки внутренних деформаций Сетей специального назначения. МИИГАиК, М. (بيفشفيف. ف. آ، 1985- فعالية تقييم دقة التشوهات الداخلية للشبكات ذات الاستخدامات الخاصة)