

## دراسة مقارنة للشبكات الأفقية والارتفاعية في بعض المنشآت الخاصة

(سدود المنطقة الجنوبية من سوريا "سد درعا، سد طفس")

الدكتور عبد الرزاق عجاج \*

### المخلص

لما للمنشآت المائية من أهمية كبيرة بعد البناء ووضعها في الاستثمار، واحتياجها الدائم للمراقبة الآمنة والموثوقة، كان لابد من إنجاز دراستنا هذه، التي تهدف إلى إنشاء نظام جيوديزي آمن (أفقي وارتفاعي) للمراقبة المستمرة للحركات الإرتفاعية والأفقية، يحقق نواحي الكفاءة والأمان وتحديد الأجهزة المساحية المقترح استخدامها لتحقيق الدقة المطلوبة، لذا تمت الدراسة على سدين هامين في المنطقة الجنوبية (سد درعا وسد طفس) - محافظة درعا، ولكل سدّ منهما على حدى تمت دراسة الشبكة الأفقية والارتفاعية، بما يتعلق مع الخصائص البنائية والهندسية للسد المدروس. في نهاية البحث تمّ اقتراح الحلول المناسبة واقتراح طريقة شكل الشبكة الجيوديزية وطريقة القياس المقترحة مع دقة الأجهزة الواجب استخدامها في كلّ حالة، وتمّ 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.

---

\* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية بكلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق، دمشق، سوريا. [ajajar59@yahoo.com](mailto:ajajar59@yahoo.com)

\*أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية في الجامعة العربية الدولية الخاصة. [a-ajaj@aiu.edu.sy](mailto:a-ajaj@aiu.edu.sy)

# **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\***

## **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 enable engineers monitoring continuously 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. Two studies was made separately for each, as well as two separate geodetic networks were established taking into consideration the structural and engineering characteristics for both dams. At the end , the research proposed 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.

---

\* Associated Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria. Email: [ajajar59@yahoo.com](mailto:ajajar59@yahoo.com)

\* Associated Professor, Faculty of Civil Engineering, Arab International University (AIU), Syria. Email: [a-ajaj@aiu.edu.sy](mailto:a-ajaj@aiu.edu.sy)

## 1. مقدمة

تعتبر السدود من الحلول الإستراتيجية لتأمين المياه للاستخدامات الحيوية (ري- شرب)، لذا كان الاهتمام الكبير ببناء السدود على مساحة القطر، وتكتسب السدود أهمية أكبر في المناطق ذات الهطول المطري القليل والأرض الشديدة الخصوبة كما هو حال المنطقة الجنوبية من الجمهورية العربية السورية (محافظة درعا) والتي كانت تسمى منذ زمن الإمبراطورية الرومانية (بسلة غداء الإمبراطورية الرومانية) تلك المنطقة تتميز بالتوزع 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 أن عدم الاستثمار الصحيح للسود يؤدي إلى نتائج لا تقل كارثية عن عدم توفر المياه. ويقصد بالاستثمار كل الإجراءات المتخذة لاستثمار المخزون المائي خلف السد، وإنشاء منظومة نقل وتوزيع المياه 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 وتفريغ البحيرة، تحمل موجة الفيضان، تحمل الهزات الأرضية[2,11].

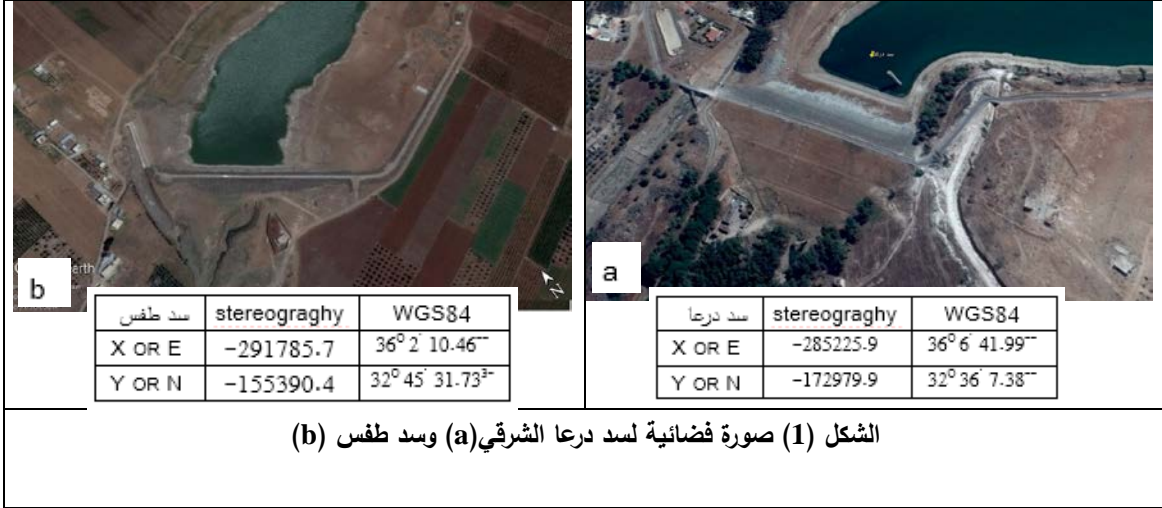
## 2. أهمية البحث وأهدافه

يمكن اختصار أهمية البحث في دراسة شبكات المراقبة الإرتفاعية 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 سد

وأبعاده. بحيث تتم الملاءمة بين متطلبات الدقة والتكلفة الأصغرية في ظل استخدام الأجهزة المساحية المتوفرة في الدوائر الهندسية لتلك السدود. تم إنجاز الهدف من البحث على مرحلتين: حسابية من نمذجة خطة القياس، وإجراء القياسات، وتعديل القياسات بطريقة التربيعة الصغرى. ومن ثم مناقشة نتائج معالجة القياسات التي حصلنا عليها من خلال النمذجة السابقة، وحققاً عن طريق إجراء قياسات حقلية على أرض الواقع ومن النقاط المساحية التي تم زرعها ومناقشة النتائج بعد تعديلها بالطرق الدقيقة والبرامج المساحية المناسبة وإصدار النتائج من خلال جداول ورسومات بيانية موافقة [7,10].

## 3 - طريقة البحث ومواده

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]. حيث يتعلق شكل الشبكة الأفقية والارتفاعية من شكل السد وطوله وارتفاعه واحتواءه على مصاطب ويتعلق أيضاً باحتواء السد على جزء مستقيم في مصاطبه . مما سبق نلاحظ أن السدود في المنطقة الجنوبية تعتبر من السدود المتوسطة والصغيرة حيث يحتوي سد درعا على ثلاث مصاطب بطول أعظمي (200 m) ومجرى ضيق متوسط العمق حوالي ( 35.0m)، استخدمت مصطبه العلوية كطريق معبد لعبور السيارات. أما سد طفس فيتألف من مصطبة واحدة ذات طبيعة ركامية ارتفاعها حوالي (16m)، يبين الشكل (1) المسقط الأفقي وموقع كل من سدي درعا الشرقي وطفس بجملي الإحداثيات الستيريوغرافية العقارية السورية وحسب النظام العالمي WGS84:



#### 4 . منهجية البحث:

#### 1-4: تصميم شبكات المراقبة الأفقية والارتفاعية في سدّ

#### درعا الشرقي:

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

#### الشرقي:

تمّ اختيار نقاط الاستناد المرجعية لشبكة المراقبة لسدّ درعا، بحيث تقع في مناطق ذات تربة مستقرة، وتؤمن الرؤيا فيما بينها ، ولظروف الموقع تمّ وضع نقطة الاستناد A على الكتف الغربي من السد ولكن على كتلة صخرية مستقرة وثابتة . من تلك نقاط الاستناد يتمّ رصد نقاط المراقبة التي توزعت على جسم السد بحيث تعطينا

فكرة كاملة عن جميع التغيرات التي تطرأ على السدّ خلال أوقات وفترات الرصد المختلفة [ 6,7]، وتعتبر هذه النقاط هي الحد الأدنى الممكن زراعته ورصده حول المنشأة . من ناحية البنية الهندسية للشبكة الأفقية في سدّ درعا تتألف من شكل رباعي بقطرين متقاطعين مع مثلث جانبي، بعد اعتماد نتائج الدورة المرجعية لإحداثيات النقاط (A,B,C,D,E) يتمّ قياس الموقع الأفقي لنقاط المراقبة على وجه السد (D1,D2,D3,.....,D9,D10) من ثلاث محطات رئيسية على الأقل ومعالجة النتائج وفق ذلك كما هو موضح على الشكل (2):



الشكل (2) شكل شبكة الاستناد الجيوديزية الأفقية المقترحة

اتجاهات بدورتي قياس)، يعرض الجدول ( 2 ) إحدائيات الشبكة في الجملة المحلية المعتبرة، ويعرض الجدول ( 3 ) نتائج حسابات الموثوقية بحسب Baarda للحالات الثلاث: الحالة الأولى وهي حالة قياس جميع الاتجاهات في الشبكة بدورة قياس واحدة ، والحالة الثانية وهي حالة قياس جميع الاتجاهات بدورتي قياس، والحالة الثالثة وهي حالة قياس جميع الاتجاهات بدورتي قياس مع قياس المسافتين القطريتين AD, EB.

الجدول (2) إحدائيات نقاط شبكة الاستناد القاعدية في سدّ 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 سدّ 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

2-1-4 : دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس

للشبكة الجيوديزية الأفقية المقترحة في سد درعا:

لإنجاز الحسابات الخاصة بالقيم العددية لشبكة المراقبة الأفقية في سدّ 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 المحققة لشرط [7,8] Baarda التالي:

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

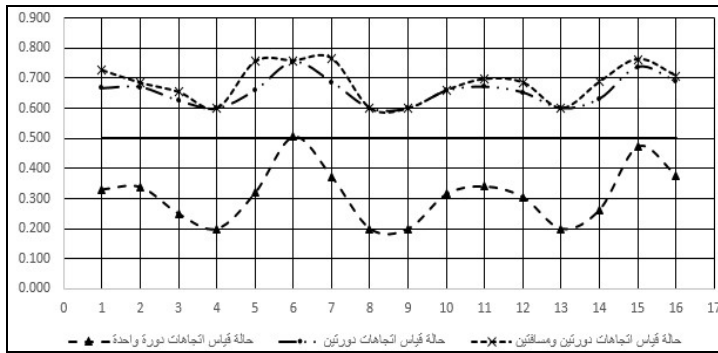
الجدول (1) بعض معايير موثوقية الشبكات المساحية [1]

Reliability Objective Functions	القيم الحدية
القيم الفائضة.	$Z = r_j = (Q_{jj}) \cdot P_j$ $Z = r_j > 0.5 \text{ or } r_j > 0.3$
الموثوقية الداخلية	$Z =  \Delta_{ij}  = m_0 \sqrt{\frac{w_0}{P_{ij}}}$ $Z = \Delta_{ij} \equiv (6 \text{ or } 8) m_1$
الموثوقية الخارجية	$Z = \delta_{ij}^2 = \frac{1-I}{r_j} w_0$ $Z = \delta_{ij} \equiv 6 \text{ or } 10$

تمّت حسابات الخصائص العددية للشبكات لمختلف حالات القياس (اتجاهات دورة قياس واحدة، اتجاهات مع مسافة واحدة ثمّ مسافتين وهكذا حتى أربع مسافات، ثمّ

بتمثيل نتائج الجدول (3) تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 3) الذي يوضح أنّ الحد الأدنى للقياسات التي يجب إجراؤها هي قياس الاتجاهات بدورتي قياس وقياس المسافتين القطريتين AD, EB.

الموثوقية Z (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

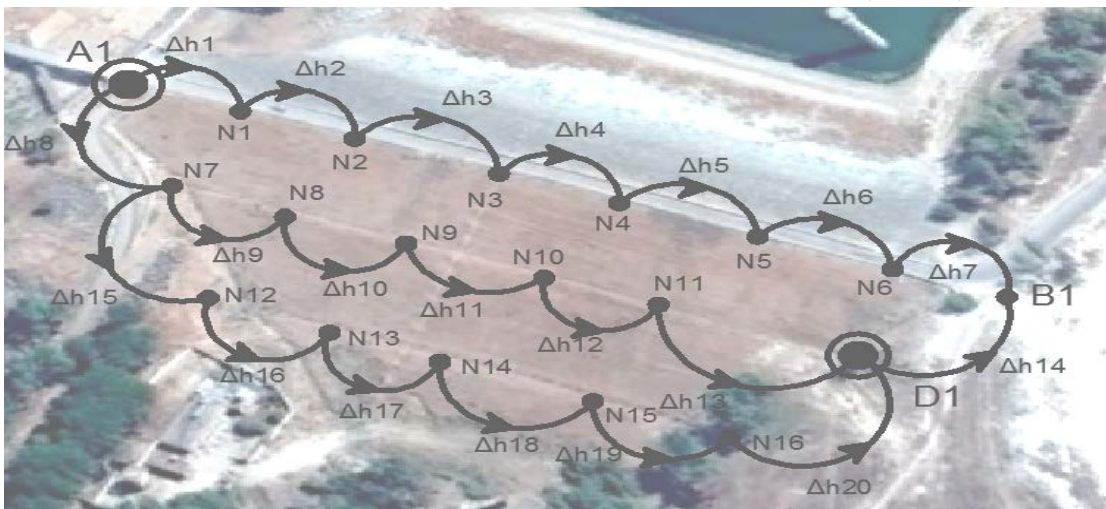


الشكل (3) مخطط الموثوقية للشبكة الأفقية في سدّ درعا بالعلاقة مع مخطط القياسات

(7) نقاط على المصطبة الأولى و 5 نقطة ارتفاعه على المصطبة الثانية و 5 نقطة ارتفاعه على المصطبة الثالثة)، علماً أنّه كان يفضل ربطها بثلاثة روبيرات ولكن في السدود الصغيرة ممكن الاكتفاء بروبيرين كما هو مبين على الشكل (4) حول كيفية توزيع النقاط الإرتفاعية المرجعية و نقاط المراقبة الإرتفاعية على جسم السد.

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

بسبب البنية الضيقة نسبياً لسدّ درعا وبسبب ارتفاعه ووجود أكتاف للسد ذات ميل شديد، تمّ تصميم شبكة المراقبة الإرتفاعية لسد درعا، بحيث تستند على روبيرين bench marks (A1,D1) و 17 نقطة رصد ارتفاعه



#### الشكل (4) شكل شبكة الجيوديزية الإرتفاعية المقترحة

الشبكة الإرتفاعية، 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 التالية المبينة في الجدول (4).

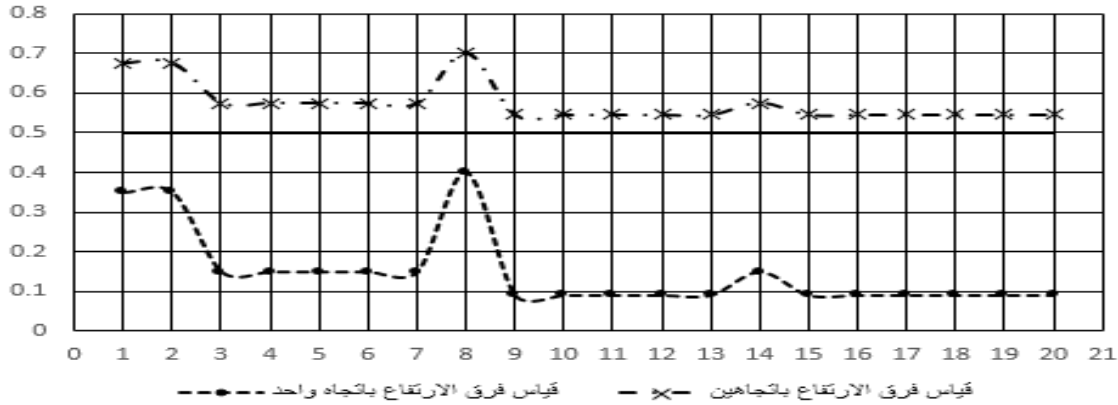
الجدول (4) قيم درجات الموثوقية في الشبكة الإرتفاعية في سد درعا

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

التي يجب إجراؤها هي قياس الاتجاهات بدورتي قياس (ذهاب وعودة).

**4-1-4: دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس للشبكة الجيوديزية الإرتفاعية المقترحة في سد درعا:** يعتبر 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 وموقع نقاط

بتمثيل نتائج الجدول (4) تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 5) الذي يوضّح أنّ الحد الأدنى للقياسات



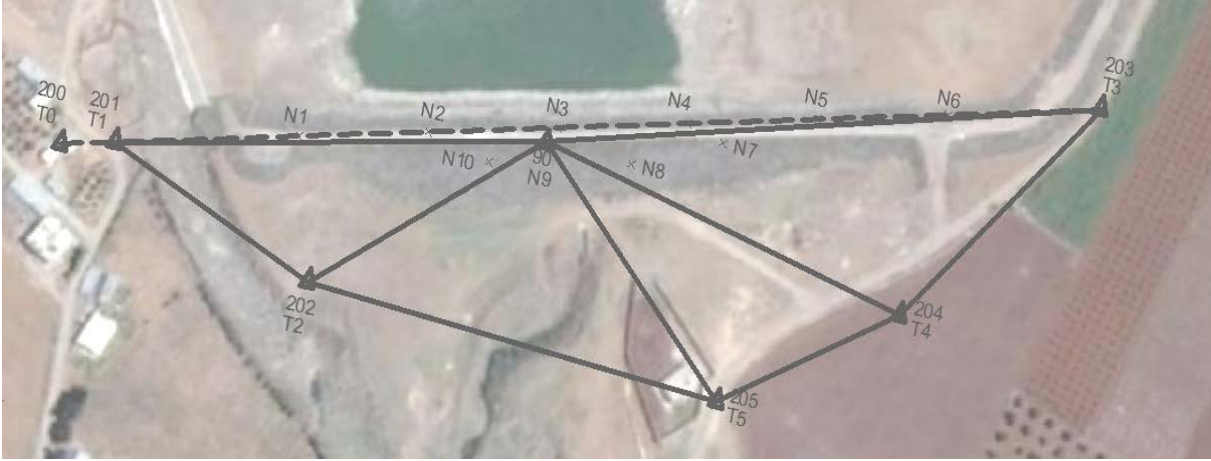
الشكل (5) مخطط الموثوقية للشبكة الإرتفاعية في سد درعا بالعلاقة مع مخطط القياسات

تمّ اختيار نقاط الاستناد المرجعية لشبكة المراقبة لسد طفس، بحيث تقع في مناطق ذات تربة مستقرة، وبسبب خاصية السد في أنّه يتألف من مصطبة واحدة وارتفاع

**2-4: تصميم شبكات المراقبة الأفقية والارتفاعية في سدّ طفس:**  
**1-2-4: تصميم شبكات المراقبة الأفقية في سدّ طفس:**

الانزياحات عن المستوي الشاقولي والتي من أشهرها طريقة المستقيم الثابت وطريقة المستويات الشاقولية المتتالية، [11,12]، وهناك نقطتين ( N8,N10 ) واقعتان على الجزء الهوائي من السد، يوضح الشكل (6) توزع نقاط الشبكة الرئيسية ونقاط المراقبة الواقعة ضمن المستوي الشاقولي.

غير كبير  $<16m$ ، تمّ زرع نقطتين مرجعيتين معلومتين الإحداثيات في شبكة إحداثيات محلية مختارة ( T2, T5 ) وأربع نقاط مراقبة مرجعية ( T1, T3, T4, N9 )، كما تمّ زرع نقاط مراقبة على المصطبة العلوية ( N1,N2,N3,N4,N5,N6 ) للسد تقع في مستوي شاقولي واحد بحيث يتمّ قياسها بإحدى طرق تحديد



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

الجدول (5) إحداثيات نقاط شبكة الاستناد الجيوديزية في سدّ

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 الوثوقية في شبكة الاستناد

الجيوديزية في سدّ طفس.

رقم القياس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
الموثوقية Z (حالة 1)	0.19	0.19	0.19	0.26	0.22	0.22	0.27	0.22	0.22
الموثوقية Z (حالة 2)	0.60	0.60	0.60	0.63	0.61	0.61	0.64	0.61	0.61

2-2-4 : دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس

لشبكة الجيوديزية الأفقية المقترحة في سد طفس:

لإنجاز الحسابات الخاصة بالقيم العددية التي تصف شبكة

المراقبة الأفقية في سد طفس، المحققة لشرط Baarda

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

نعتمد حالات القياس التالية الممكنة في سد طفس

(اتجاهات دورة قياس واحدة، اتجاهات بدورتي قياس، ثمّ

اتجاهات بدورتي قياس مع مسافتين أفقيتين

(T1T2, T4T5)، يعرض الجدول (5) إحداثيات الشبكة

في الجملة المحلية المعتبرة، ويعرض الجدول (6) نتائج

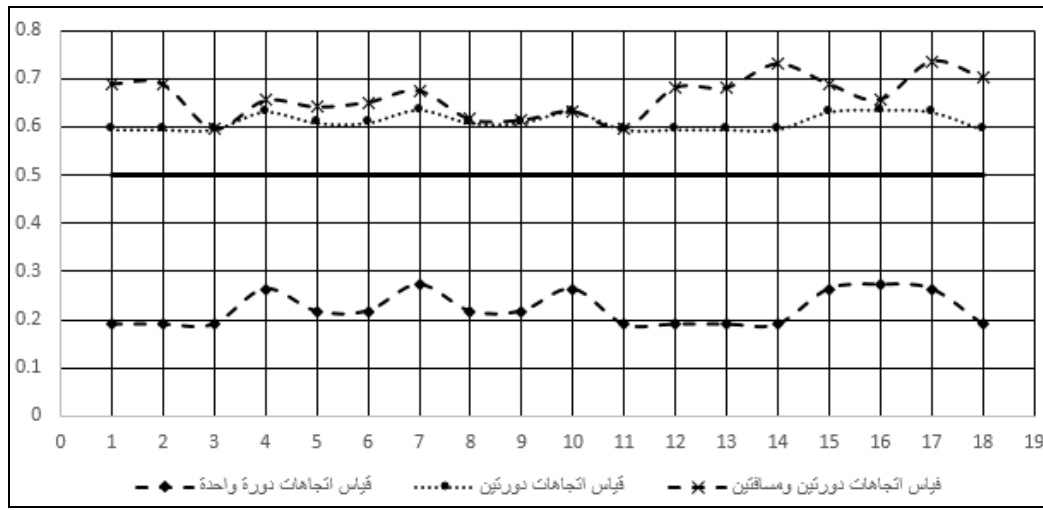
حسابات الموثوقية بحسب Baarda للحالات الثلاث

السابقة.



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.

الموثوقية Z (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
الموثوقية Z (حالة 1)	0.26	0.19	0.19	0.19	0.19	0.26	0.27	0.26	0.19
الموثوقية Z (حالة 2)	0.63	0.60	0.60	0.60	0.60	0.63	0.64	0.63	0.60
الموثوقية Z (حالة 3)	0.63	0.60	0.68	0.68	0.73	0.69	0.66	0.74	0.70

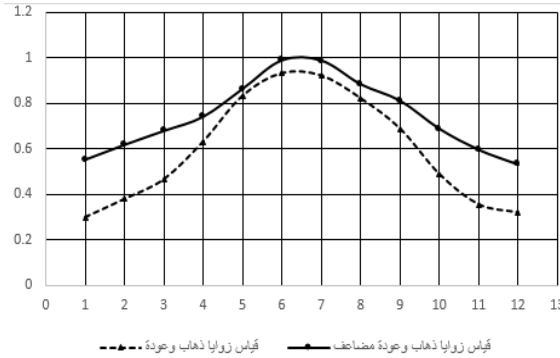


الشكل (7) مخطط الموثوقية للشبكة الأفقية في سد طفس بالعلاقة مع مخطط القياسات

هي الطريقة الأكثر استخداماً والتي تحقق الدقة المطلوبة بأقل عدد من القياسات والتنقلات كما يوضح المخطط على الشكل (8) بعد إنجاز الحسابات الخاصة بذلك:

أما بالنسبة للطرق التي نقترحها لقياس الانزياحات عن المستوي الشاقولي من طرق قياس الانزياحات عن المستوي الشاقولي، والتي 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، 5. طريقة المستوي الشاقولي الجزئي. 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)

دورة قياس وحيدة ذهاب وعودة		دورتي 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  
3-2-4: تصميم شبكات المراقبة الإرتفاعية في سد

طفس:

تتألف الشبكة الإرتفاعية في سد طفس من نقطة مرجعية T1 مرتبطة بثلاث روبيرات (T0, T01, T02) لمراقبة أيّة انزياحات تطرأ عليها وسبع نقاط مراقبة إرتفاعية (N1, N2, ..., N5, N6) موزعة على جسم السد على مصطبة العلوية، كما هو مبين على الشكل (9) .

من الواضح من المخطط في الشكل (8) أنّ 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

فروق الارتفاع بين النقاط بشكل مضاعف ذهاباً وعودة،  
والحالة الثانية هي قياس فروقات الارتفاع بشكل مضاعف  
ذهاباً وعودة بالإضافة إلى قياس فرق الارتفاع بين

4-2-4: دراسة الخصائص العددية ومخطط القياس  
للشبكة الجيوديزية الإرتفاعية المقترحة في سد طفس:  
لدراسة الخصائص العددية للشبكة الإرتفاعية في سد  
طفس، نميز بين حالتين للقياسات ، الحالة الأولى قياس

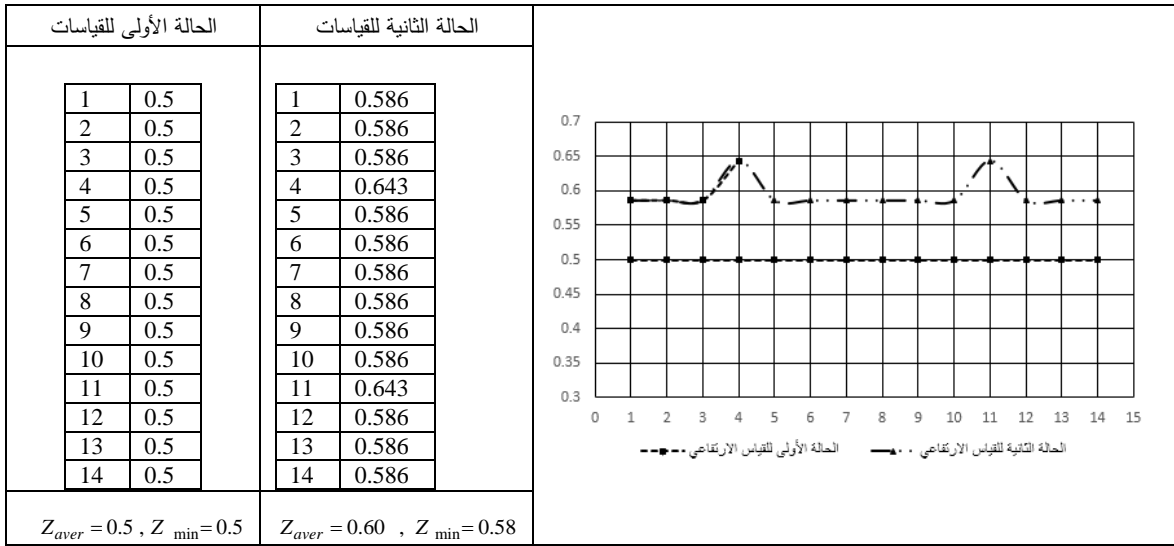
النقطتين الارتفاعيتين T1 و N4 وفرق الارتفاع بين N3 و T3 كما هو واضح على الشكل (9) وعلى الشكل (10).



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

القياسات لفروقات الارتفاعات في الذهاب والعودة، بالإضافة إلى قياس فرق الارتفاع بين الروبير T1 و N4 وفرق الارتفاع بين N3 و T3.

بتمثيل النتائج تخطيطياً نحصل على المخطط البياني (الشكل 11) الذي يوضح أنّ الحالة الثانية لمخطط القياسات الإرتفاعية هي الحالة التي يجب اعتمادها. من نتائج الحسابات في الجدول نجد أنّ المخطط المقترح للقياسات هو المخطط الثاني الذي يقتضي أن تجرى



الشكل (11) مخطط الموثوقية للشبكة الإرتفاعية في سد طفس

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

3-4: تحديد مرتبة دقة قياس الأجهزة المستخدمة في المراقبة الجيوديزية:  
1-3-4: تحديد مرتبة دقة قياس جهاز التسوية (Leveling Instrument):

الجدول (7) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطا الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الإرتفاعية في

سد درعا بالميليمتر

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

نلاحظ أنّ جميع أخطاء الارتفاعات المتوقعة هي ضمن الحدود المسموحة وبما يتوافق مع الحسابات النظرية. ثانياً: نتائج حسابات التحقق للشبكة الإرتفاعية على سدّ طفس.

نورد في الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة تمام التباينات للشبكة الإرتفاعية في سدّ طفس والخطأ المتوسط التربيع بالميليمتر المتوقع ارتكابه في ارتفاعات الشبكة الإرتفاعية، عند استخدام جهاز تسوية دقته مساوية إلى الدقة الحسابية المحسوبة بالعلاقة (1).

الجدول (8) قيم القطر الرئيسي لمصفوفة مقلوب الوزن وخطا الارتفاعات المتوقعة في الشبكة الإرتفاعية في سد طفس بالميليمتر.

النقطة الإرتفاعية	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

نلاحظ أنّ جميع أخطاء الارتفاعات المتوقعة هي ضمن الحدود المسموحة وبما يتوافق مع الحسابات النظرية. من المفيد التنويه أنّ نقطتي المراقبة الارتفاعيتين الواقعتين على الوجه الهوائي لسد طفس (N8,N10) تمّت مراقبتهما ارتفاعياً باستخدام جهاز المحطة المتكاملة GTS وباستخدام خاصية MLM ( measurement line missing) والتي لا تحتاج إلى تمركز على الجزء الهوائي الركامي الحجري لسد طفس، وتعطي نفس الدقة المطلوبة الخاصة بالعمل مع شبكة المراقبة لإرتفاعية في السدود.

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

المسار الارتفاعي، 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 أنّ القيمة المسموحة للخطأ:

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

$\mu_{all}$  - القيمة المسموحة للخطأ المتوسط التربيع

المحقق لسوية الثقة 95 %

$\mu_0$  - قيمة الخطأ المتوسط التربيع لواحدة الوزن المعتبرة في الشبكة الإرتفاعية القاعدية وباستعمال مصفوفات مقلوب الوزن للشبكات الإرتفاعية في كلّ من سدي درعا وطفس (مصفوفة تمام التباينات covariance matrix والتباينات variance) والمحسوبة سابقاً عند تقييم وحساب الدقة المسبقة للقياسات المطلوب إجراءها، وبعد إنجاز الحسابات نحصل على مصفوفة التباينات وتمام التباينات للقيم الإرتفاعية المجهولة في الشبكة الإرتفاعية القاعدية (سيتم عرض القيم الهامة الواقعة في القطر الرئيسي فقط):

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

$\mu_0$  - قيمة الخطأ المتوسط التربيع لواحدة الوزن المعتبرة في الشبكة الأفقية وهي في حالتنا سنعتبرها خطأ قياس الاتجاه بوحدة ال Grad.

$m_{p_{all}}$  - الخطأ المتوسط التربيع المسموح في موقع نقاط شبكة المراقبة الأفقية للسد وتساوي:

$$m_{p_{all}} = \sqrt{m_{xp}^2 + m_{yp}^2} - \text{الخطأ}$$

المتوسط التربيع المركب 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):

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

$$\mu := 0.000845$$

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
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)

تبين النتائج المعروضة على الشكل (12) ضرورة أن يتم القياس بجهاز دقته تساوي أو تزيد عن

$$m_{DIR} = 0.000845 \text{ Grad}$$

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) :

مما سبق يمكن استنتاج أنه يمكن استعمال جهاز نيفو دقته أعلى من  $2^{mm} \pm$  لكل (1km)، وهذا يؤكد أن الجهاز المستخدم النيفو الرقمي من نوع Topcon DL-102C (ذو قوة تكبير لنظارته 30X والمزود بمعدّل compensator ومجال عمله  $\pm 15'$  ووزن الحساسية 0.5" والذي تصل دقة قياس الارتفاعات إلى  $1^{mm} \pm$  لكل (1Km) مع ميرا مشفرة يحقق الشروط المذكورة أعلاه.

#### 2-3-4: تحديد مرتبة دقة قياس جهاز المحطة المتكاملة (GTS):

كما في الشبكة الإرتفاعية 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، والتي تعتمد على البدء من الدقة النهائية المطلوبة لحساب مناسب النقاط الإرتفاعية المرجعية وهي في حالتنا تساوي  $m_p = \pm 5 \text{ mm}$  بحسب مواصفات السد، وباعتبار أن سوية الثقة 95 % يكون المعامل الإحصائي  $t_0 = 1.96$  وباعتبار مصفوفة أوزان القياسات محددة سابقاً عند تحديد الدقة المسبقة في الفقرة (2-4) وبالتالي:

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

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

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

$\mu_{all}$  - القيمة المسموحة للخطأ المتوسط التربيع المحقق

لسوية الثقة 95%

$m X, m Y$  - الخطأ المتوسط التربيع للقيم المعدلة

للإحداثيات محسوبة بالمتري

$Q DIR$  - مقلوب الوزن للاتجاه

$m DIR$  - الخطأ المتوسط التربيع للاتجاه ال م قاس بعد

التعديل محسوباً بالغراد.

نعيد الحسابات في برنامجنا المبني، بحسب معطيات سد

طفس نحصل على النتائج الواردة ضمن الشكل (14)

والشكل (15):

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

$$\mu := 0.000505$$

diag(Q) =	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 الإحداثيات)

من تحليل البيانات الواردة في الشكل (14) نجد أن

متطلبات دقة جهاز المحطة المتكاملة المطلوب هو أعلى

مما كان مطلوباً في قياسات الشبكة الأفقية في سد درعا،

حيث أن دقة قياس الاتجاهات في حالة سد طفس يجب أن

لا تقل عن  $5^{CC}$  ودقة قياس مسافات

( $\pm 2^{mm} + 2 \text{ ppm}$ ) وفي هذه الحالة نحصل على القيم

التفصيلية لدقة الاتجاهات والمسافات بعد تعديلها وبحسب

البرنامج كما هو مبين على الشكل (15):

diag(Qmeas) =	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
	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

الشكل (13) نتائج الحسابات لبرنامج الدقة المسبقة في حالة

الشبكة الأفقية في سد درعا (دقة الاتجاهات

والمسافات)

من المفيد التنويه أن الوحدات المستخدمة في جميع

الحسابات والبرامج هي المتر للقياسات الخطية بمختلف

أنواعها والغراد بالنسبة للقياسات الزاوية بمختلف أنواعها،

والرموز المستخدمة ضمن الشكلين (12) و(13) هي كما

يلي:

$diag(Q)$  - القيم القطرية في مصفوفة التباينات (مقلوب

الوزن للقيم المجهولة أي إحداثيات الشبكة الأفقية).

$\mu \sqrt{diag(Q)}$  - القيم القطرية في مصفوفة تمام

التباينات ( الخطأ المتوسط التربيع للقيم المجهولة أي

إحداثيات 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)

$Q ST$  - مقلوب الوزن للاتجاه الصفري على المحطة

$m ST$  - الخطأ المتوسط التربيع للاتجاه الصفري محسوباً

بالغراد

$Q X, Q Y$  - مقلوب الوزن للقيم المعدلة للإحداثيات

للشبكة الإرتفاعية:

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

وبعد إنجاز عملية التعديل بالبرامج المختلفة المناسبة

(star net, cat, network adjustment program)

تتم مقارنة النتائج التي يجب أن تحقق سوية الثقة المطلوبة

وهي في حالتنا تساوي ( 95% )، بإنجاز الحسابات

المعروضة أعلاه على الشبكات الأربع المقترحة لسدي

درعا وطفس كانت النتائج ضمن القيم الحدية المقبولة.

ولتقوية الدراسات النظرية العددية السابقة كان لابد من

إجراء قياسات حقلية في فترات زمنية متفاوتة، واستخدمنا

النتائج من أجل التحقق الحقلية والتي كانت ضمن الحدود

المقبولة.

**النتائج والتوصيات:**

١ بينت النتائج الخاصة بالشبكة الأفقية في سد درعا أن

مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العددية

لتصميم الشبكات الأفقية، هو الذي يعتمد على زرع

خمس نقاط مرجعية، تشكل هندسياً شكل رباعي ذو

قطريين متقاطعين ومثلث جانبي، وقياس جميع

الاتجاهات بشكل مضاعف ومسافتين للضلعين

القطريين.

٢ بينت النتائج الخاصة بالشبكة الأفقية في سد طفس أن

مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العددية

لتصميم الشبكات الأفقية، عن طريق زرع خمس نقاط

تشكل فيما بينها أربع مثلثات تقاس فيها الزوايا بشكل

مضاعف بالإضافة إلى مسافتين طرفيتين.

٣ بحسب نتائج بحثنا نقترح استخدام طريقة المستقيم

الثابت في مراقبة وتحديد الانزياحات عن المستوي

الشاقولي، وذلك بالنسبة إلى نقاط المراقبة المزروعة

على المصطبة العلوية في سد طفس.

٤ بينت النتائج الخاصة بالشبكة الإرتفاعية في سد درعا

أن مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص

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 الإرتفاعية والأفقية**

**المقترحة لسدي درعا وطفس:**

يتم التحقق الإحصائي من خلال نمذجة الشبكات

الإرتفاعية والأفقية المدروسة، عن طريق تحميل القياسات

الحقيقية الخالية من الأخطاء، بأخطاء عشوائية يتم توليدها

آلياً باستخدام معادلة توليد الأرقام العشوائية الموجودة في

جميع لغات البرمجة المعروفة وفي برامج الإحصاء

والرياضيات التطبيقية ( excel, math cad, SPSS, ... )

عن طريق تعليمة البرمجة الرياضية لتوليد الأرقام العشوائية

randomize والتي تعطي أرقام عشوائية تتبع

$$\left( \varepsilon_i \in \left( 0.5, \sqrt{\frac{1}{12}} \right) \right)$$

السابق إلى الشكل التوزيعي التابع لنظرية التوزيعات

الصغرى (  $\varepsilon_i \in (0, \mu)$  ) وفي حالة الشبكة الإرتفاعية

والأفقية (  $\varepsilon_i \in \left( 0, \frac{\mu}{\sqrt{p_i}} \right)$  )، ويتم الحصول على نتائج

القياسات للشبكة الأفقية والإرتفاعية بإضافة الخطأ

العشوائي الناتج عن النمذجة إلى القيم الحقيقية:

للشبكة الأفقية:

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

العديدية لتصميم الشبكات الإرتفاعية، هو الذي يعتمد على قياس فروق الارتفاعات بشكل مضاعف. ٥ بينت النتائج الخاصة بالشبكة الإرتفاعية في سدّ طفس أن مخطط القياس الأفضل الذي يحقق الخصائص العديدية لتصميم الشبكات الإرتفاعية، هو الذي يعتمد على قياس فروق الارتفاعات بشكل مضاعف ومن ثمّ إضافة قياسين مابين الروبير المرجعي والنقطة الإرتفاعية الرابعة وما بين النقطة والارتفاعية الثالثة والنقطة الإرتفاعية الأخيرة.

٦ لتحقيق الدقة المطلوبة في شبكات المراقبة الأفقية ينبغي استخدام جهاز محطة متكاملة ذو دقة قياس اتجاه لا يقل عن  $m_{DIR} = 0.000845 \text{ Grad}$  بالنسبة للشبكة الأفقية لسدّ درعا

و  $m_{DIR} = 0.0005 \text{ Grad}$  بالنسبة للشبكة الأفقية في سدّ طفس ودقة قياس المسافات الأفقية  $2 \text{ ppm} + 2 \text{ mm}$  لكلا السدين، أما بالنسبة للقياسات في الشبكة الإرتفاعية فينبغي استخدام جهاز نيفو ذو دقة لا تقل عن  $2 \text{ mm}$  ولكلنا الشبكتين الارتفاعيتين في سدّ درعا وفي سدّ طفس.

٧ تقترح بالنسبة لنقاط المراقبة الإرتفاعية التي لا يمكن إجراء تسوية هندسية عن طريق التمرکز بالنيفو بين النقطة الخلفية والأمامية للأسباب عديدة منها الانحدار الشديد، وجود أحجار ركامية كبيرة، استخدام خاصية الـ MLM المزوّد بها أغلب أجهزة الـ GTS لدقتها التي تقترب كثيراً من دقة جهاز التسوية الدقيق.



ПЛОТИН ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СПУТНИКОВЫХ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВО  
ВЬЕТНАМЕ.

(نوقن فيت خا، 2010 دراسة طرق لتحديد التشوهات  
في السدود الكهرومائية باستخدام نتائج القياسات  
الجيوديزية بالأقمار الصناعية في فيتنام)  
العربية:

- 11- أحمد، محسن. فحصة، إ. ياد. (2015). التصميم  
الجيوديزي لشبكات المراقبة الإرتفاعية في السدود، مجلة  
جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد ( 37 )  
العدد (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، المجلد ( 24 ) العدد  
(11).

6 . المراجع

References الأجنبية

- 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. Pretorius<sup>1</sup>, 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 GEODETIC MEASUREMENTS
- 6- Grafarend, E. W., (1974), Optimization of Geodetic Networks, Bolletino di Geodesia a Science Affini, 33(4), 351 - 406.
- 7- Generalized Measures of reliability for 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 .  
(ببفشيف . ف. آ، 1985- فعالية تقييم دقة التشوهات  
الداخلية للشبكات ذات الاستخدامات الخاصة)
- 10- НГУЕН ВЬЕТ ХА, 2010,  
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ