

A Comparative Analytical Study To the impact of scientific & Technical development In Monitoring Manner of Mosul Dam More Than Five Decades

Shamiaa Lateef Hussein Dulamy*

State Commission of Survey/ Ministry of Water Resources

*Corresponding author's email: shaim_dulamy@yahoo.com, shaim.dulami@gmail.com

Abstract

Hydraulic Facilities, like (Dams) Form Great Vital Importance to Countries of the World in General, as they are A Fundamental Pillar in Developing A Country's Infrastructure, And A Significant Support to built a Strong Multipolar Economy. Because of Climate change, Rise in Temperatures and Its Effect on The Globe, Increased Land desertification, Not to Mention the Unsystematic Exploitation of Natural Water Sources and Other Factors That May Be the Cause of Local or Regional Conflicts to Achieve a Water Security. Mosel Dam is a living example of hydraulic installations with no just local dimension ; Rather, it is regional and international, which has occupied public opinion over decades, since its establishment in the early 1980s until the present time, more than fifty years, during which the Iraqi Ministry of Water Resources, represented by (the General Authority for Survey & the General Authority for Dams and Reservoirs), worked hard to manage and monitor safety of Mosul Dam. According to scientific principles in which we keep pace with global scientific progress and the development of geospatial technology to achieve the best results in detecting deformation or distortions that may occur in the horizontal and vertical movement of the dam, which will be explained in detail of this research. In this study, I will review the stages of development in field monitoring of control points in the GCN-Geodetic Control Network that distributed on the dam site and its surrounding area, according to a technical & engineering recommendations approved by the consulting engineer at the time.

Keywords: Monitoring Dam Deformation, Geodetic Control Networks, Horizontal and Vertical Displacement, Ground Control Points, Dam Safety.

دراسة تحليلية مقارنة لآثر التطور العلمي والتقني في مراقبة سلامة سد الموصل لاكثر من خمسة عقود من الزمن

شيماء لطيف حسين*

الهيئة العامة للمساحة ، وزارة الموارد المائية

*البريد الإلكتروني للمؤلف المراسل: shaim_dulamy@yahoo.com, shaim.dulami@gmail.com

الخلاصة

تشكل المنشآت الهيدروليكية ومنها (السدود) بأنواعها أهمية حيوية بالغة لدول العالم بشكل عام ، لكونها ركيزة أساسية في تطوير البنى التحتية لبلد ما من جهة ، وداعم لا يستهان به لبناء اقتصاد متين متعدد الأقطاب من جهة أخرى . وبسبب التغيرات المناخية والارتفاع الملحوظ لدرجات الحرارة واثارها السلبية على سائر الكرة الأرضية من : زيادة تصحر الأراضي والشحة المائية ناهيك عن الاستغلال غير الممنهج لمصادر المياه الطبيعية وغيرها من العوامل التي قد تكون سبباً في صراعات محلية او إقليمية لتحقيق ما يعرف بالأمن المائي. ولعل سد الموصل Mousel Dam نموذج حي للمنشآت الهيدروليكية ذات البعد (ليس المحلي فحسب) بل الإقليمي والدولي الذي شغل الرأي العام على مدى عقود من الزمن منذ أنشائه في بداية ثمانينيات القرن الماضي وحتى وقتنا الراهن أي ما يزيد عن الخمسون عاما اجتهدت فيها وزارة الموارد المائية العراقية متمثلة بالهيئة العامة للسدود والخزانات (الإدارة المباشرة لسد الموصل) والهيئة العامة للمساحة (كمراقب لسلامة السد) وفق أسس علمية رصينة مواكبة فيها التقدم العلمي العالمي وتطور التقانة الجيومكانية لتحقيق افضل النتائج في الكشف عن التحرفات Deformation او التشوهات التي قد تحصل في الحركة الأفقية والرأسية لجسم السد والمنطقة المحيطة به التي سيتم توضيحها بإسهاب في هذا البحث. سأسعرض في هذه الدراسة مراحل تطوّر عمل الرصد الحقلّي لنقاط التثليث في شبكة المراقبة الجيوديسية GCN-Geodetic control Network لسد الموصل والمنطقة المحيطة به آخذين بعين الاعتبار التوصيات الفنية والهندسية المعتمدة للمهندس الاستشاري آنذاك بنظرة هندسية جيوماتيكية وبأسلوب تحليلي مقارنة بهدف تحديد نقاط الضعف Weakness Points في عملية مراقبة سلامة سد الموصل مع ادراج الاستنتاجات والتوصيات اللازمة.

الكلمات المفتاحية: مراقبة تحرفات السدود، شبكات الضبط الجيوديسي، الازاحة الأفقية والرأسية ، نقاط الضبط الأرضي ، سلامة السدود.

المقدمة

يقع سد الموصل شكل رقم (1) ، شمال العراق على مجرى نهر دجلة في محافظة نينوى ويبعد 50 كم تقريباً إلى الشمال الغربي من مدينة الموصل (متعدد الأغراض) يستخدم لتوفير مياه الري ومكافحة الفيضانات وتوليد الطاقة الكهرومائية ، يبلغ طوله الكلي 3650 م شاملاً قناة تصريف المياه بارتفاع أجمالي يصل إلى 113 م ، ويرتفع عن سطح الأرض بما يقارب الـ 49 متر بعرض 10 أمتار عند القمة ومنسوب 341 متر ، ADULAMY, SH. L., (2003) .

تم تشخيص مشكلة جيولوجية في الموقع الجغرافي لمشروع سد الموصل وهي : وجود تكوينات جبسية في طبقات التربة تحت جسم السد وتحديداً في طبقة F-bade وفقاً لعدة دراسات وتحريات جيولوجية لشركات عالمية ذات جنسيات مختلفة انتدبت في حينه لأجراء الفحص الجيولوجي لمنطقة تنفيذ مشروع السد والتي استمرت من عام 1953 ولغاية 1978 (الجهة الاستشارية السويسرية) (ADULAMY, SH. L., 2003) .

ولغرض مراقبة سلامة سد الموصل ، أنشأت شبكة جيوديسية من نقاط ضبط أرضي Ground Control Point ومجموعة رواقم تسوية (B.M) تتوزع على جسم السد Dam Site والمنطقة المحيطة به وفق معايير واسس هندسية تضمن قوة ومتانة الشكل الهندسي لنقاط الشبكة المرصودة.



الشكل 1: شكل صورة جوية لموقع سد الموصل .

منهجية الدراسة Research Methodology

تعتمد فكرة هذا البحث على مراجعة تاريخية لعملية الكشف عن التحوّلات Deformation Detection المحتملة في اكبر واهم سد على نهر دجلة في العراق وهو (سد الموصل) خلال حقبة زمنية تزيد عن خمسة عقود (50 عاماً) برؤيا علمية تحليلية مقارنة في مجال هندسة الجيوماتيك | Geomatical Vision لتوضيح منهجية مواكبة التقدم العلمي والتقني بكل مراحل العمل وطرق الانجاز على التعاقب خلال تلك الحقبة .

تنقسم عملية المراقبة الجيوديسية لسد الموصل الى ثلاثة مراحل رئيسية هي على التوالي :

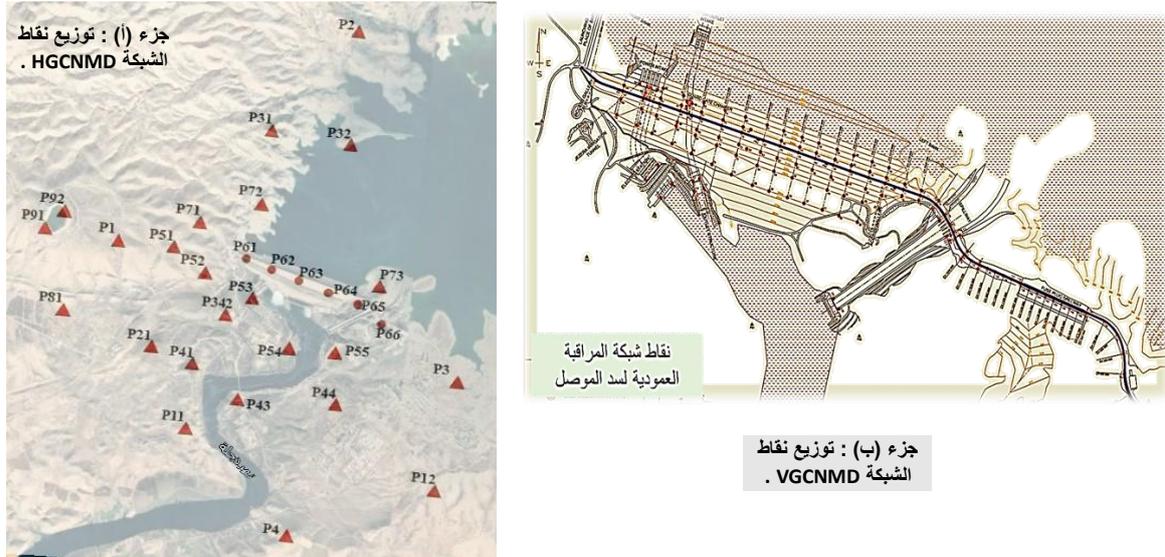
- مرحلة الرصد الحقل الجيوديسي Field Geodetic Observation لنقاط شبكة الضبط الارضي GCN .
- مرحلة اجراء الحسابات الامامية ومعالجة البيانات لعزل الخطأ المقبول Separated Error .
- مرحلة تحليل النتائج النهائية والتحقق من نسبة موثوقيتها Confidences في كشف الازاحة او التحوّلات Deformation .

لذلك فقد قسمت الحقبة الماضية الى فترات زمنية وفق معايير محدده هي : طبيعة العمل ، نوع ودقة التقنيات ، طريقة إيجاد الحلول الرياضية لشبكات الضبط الجيوديسية للسد GCNMD ثم تحليلها علميا بأسلوب مقارن ، الفترات الزمنية هي كالاتي :

- الفترة الأولى : فترة استخدام الأجهزة التقليدية البصرية - Conventional Optical In .
- الفترة الثانية : فترة استخدام الأجهزة التقليدية الالكترونية - Conventional Electronic In .
- الفترة الثالثة : فترة استخدام الأجهزة الالكترونية الرقمية - Digital Electronic In .
- الفترة الرابعة : فترة استخدام منظومة الأقمار الصناعية بأسلوب التكامل التقني - Integral GNSS .

الشبكة الجيوديسية لسد الموصل – GCNMD .

يهدف التحقق من استقراره Stability سد الموصل تتم مراقبة سلامته من خلال شبكة الضبط الجيوديسية لسد الموصل Geodetic Control Network Mousel Dam تتألف من نقاط ضبط ارضي Ground Control Point انشأت مع بداية إنشاء السد في ثمانينيات القرن الماضي بمعايير تحقق المواصفات الهندسية المطلوبة لضمان الرصانة الداخلية للشبكة Inner Reliability Network في عملية الكشف Detect عن الحركة او الإزاحة غير الطبيعية المحتملة في أي نقطة من نقاط الضبط C.P. التي تؤلف شبكة مراقبة لسد الموصل الافقية HGCNMD والراسية VGCNMD التي وصفت بانها شبكة مختلطة Hybrid Network . شكل رقم (2) .



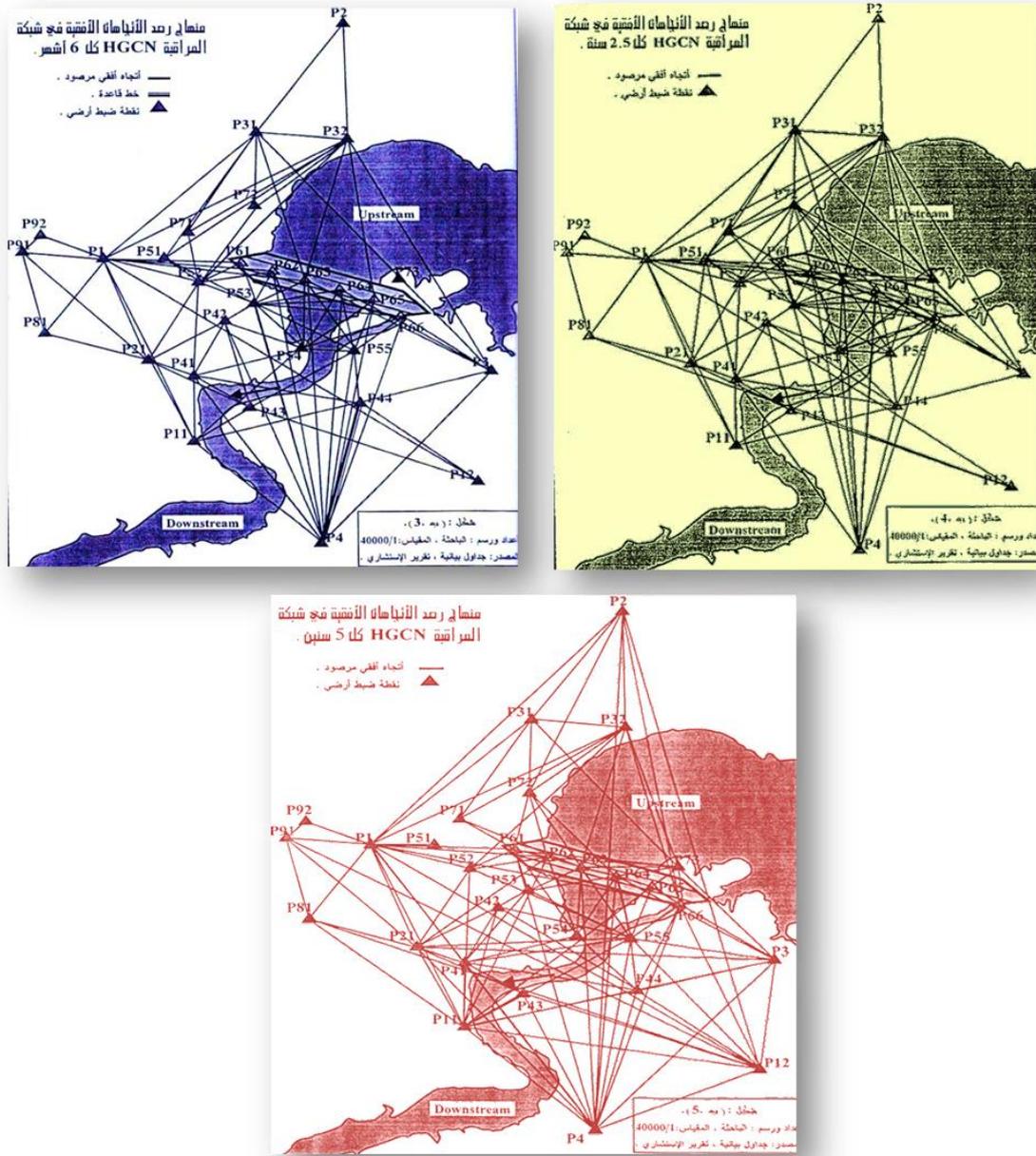
الشكل 2: شكل توزيع نقاط شبكة المراقبة الجيوديسية لسد الموصل GCMND (الافقية والراسية).

منهاج رصد الشبكة الجيوديسية GCMND .

بسبب الاشكالية الجيولوجية لمنطقة موقع سد الموصل فقد وضعت الجهة الاستشارية لتنفيذ السد منهاج رصد الشبكة GCMND بتصميم متعدد التباين والتباين Multi-Variance Design يتكون من ثلاثة منهاج رصد وهي على التوالي : منهاج رصد لكل 6 أشهر ، منهاج رصد لكل 2,5 سنة ومنهاج رصد أخير لكل 5 سنين . الفائدة المتحققة من هذا النوع من التصاميم هو :

- إمكانية استبعاد القيم الشاذة في الأرصاد لكل دورة رصد Epoch .
- إمكانية تحديث قيم نقاط الشبكة على جسم السد Dam Site والمنطقة القريبة منه بدلالة النقاط الأبعد كونها الأكثر استقراراً More Stable وقد اعتمدت هذه الفرضية كأساس في منهاج الرصد الثلاثة .
- تسمح بمواكبة التطور التقني في الأجهزة والتقنيات المستخدمة في الرصد المحلي على ان يكون بشكل ممنهج ومدرّوس .

اضافة الى ما تقدم فانه تم مراعاة بعض الشروط الهندسية والمحددات الرياضية في معادلات التوزيع الطبيعي للخطأ بطريقة المربعات الصغرى Least Square المنفذة لإيجاد الحلول لشبكة الرصد الجيوديسي في سد الموصل بشكل يمكن من خلاله تقليل اثر أخطاء الرصد في الكميات المقیسة (الزوايا ، المسافات ، الانحرافات ، الاحداثيات) بأسلوب رياضي رصين جيوديسياً .



الشكل 3: شكل مناهج رصد الشبكة GCMND حسب ملاحظات المهندسات الاستشاري .

مراحل تطور رصد الشبكة الجيوديسية لسد الموصل – GCNMD .

كان للتطور التقنيات المساحية السريع خلال الحقبة الزمنية الماضية أثر واضح على عملية مراقبة الشبكة سد الموصل GCNMD بكل مراحل العمل ، فقد تباين العمل في طبيعته وأسلوب الرصد Observation Manner وقوة هندسية شكل الشبكة المرصودة Strength of Figure وعدد النقاط Points Number وتغاير النقاط المرجعية Variance Fixed Points وعوامل أخرى أقت بتأثيرها على النتائج النهائية للعمل ، ولتوضيح ذلك بشكل تحليلي مقارن Comparative Analysis تم تقسيم الحقبة الزمنية (كما اشرت سابقاً في هذا البحث) الى اربع فترات زمنية سيتم من خلالها لاحقاً اجراء التحليل المقارن لكل فترة زمنية من خلال دراسة مجموعة من عناصر عملية المراقبة الجيوديسية Components Of The Geodetic Monitoring .

عناصر عملية المراقبة الجيوديسية لسد الموصل – GCNMD .

بشكل عام ، تركز عملية مراقبة السدود على مجموعة عناصر Components تؤثر بشكل حتمي في الدقة المطلوبة وتقلل من تأثير أخطاء الرصد العرضية Random Error في المخزجات النهائية التي يتم من خلالها تحديد سلامة وضع السد او المنشأ الهايدروليكي . لذا سأستعرض البعض منها بحسب الأهمية مع اجراء مقارنات موضوعية على أسس علمية للفترات الزمنية الماضية وبالشكل الآتي :

- العنصر الأول : توزيع نقاط الشبكة الجيوديسية GCNMD .
- العنصر الثاني : التقنيات المساحية المستخدمة في العمل الحقلي .
- العنصر الثالث : اختيار النقاط الثابتة Fixed Point داخل الشبكة المرصودة في إيجاد الحلول لباقي النقاط .
- العنصر الرابع : قوة هندسية المنهاج الدوري المعتمد في رصد الشبكة GCNMD .
- العنصر الخامس : التكرارات او فائض الأرصاد Redundancy- R الموجودة في الكميات المقيسة والمرصودة حقلياً .
- العنصر السادس : طبيعة ونوع البرمجيات المعتمدة في إيجاد الحلول للشبكة GCNMD .

المقارنات الموضوعية لعناصر عملية المراقبة الجيوديسية لسد الموصل – GCNMD .

1. مقترنات العنصرين : توزيع نقاط الشبكة الجيوديسية GCNMD & التقنيات المساحية المستخدمة في العمل الحقلي .

بشكل عام ، يؤثر توزيع نقاط شبكة المراقبة الجيوديسية في منطقة جسم السد ومحيطه تأثيراً بالغاً في طبيعة البيانات التي يتم تحصيلها من عملية الرصد الحقلي Observe كونها ستعطي لاحقاً تصور عن مدى استقراره Stability ذلك الجزء من المنطقة المرصودة ويرتبط توزيع النقاط بنوع التقنية المستخدمة في عملية الرصد لذلك اعتمدت هذه المقارنة العنصرين معاً كما موضح في الجدول التالي :

جدول 1: المقارنات الموضوعية لتوزيع نقاط الشبكة الجيوديسية GCNMD والتقنيات المساحية المستخدمة في العمل الحقلية حسب الفترة الزمنية.

ت	نوع التقنيات	تاريخها	وصف العنصر الاول	الملاحظات
الفترة الأولى	أجهزه البصرية : Wild T3 , T2, EDM, Precise Level.	الثمانينيات وبداية تسعينيات القرن الماضي.	حسب الأرصاد المتوفرة فان عملية رصد نقاط الشبكة الجيوديسية تمت حسب توصيات تقرير المهندس الاستشاري.	/
الفترة الثانية	أجهزة الالكترونية : Total Station, Precise Level.	أواسط تسعينيات القرن الماضي.	حسب الأرصاد المتوفرة فان عملية رصد نقاط الشبكة الجيوديسية تمت حسب توصيات تقرير المهندس الاستشاري.	/
الفترة الثالثة	أجهزة الالكترونية الرقمية : Total Station , Digital Precise Level.	نهاية التسعينيات وبداية الالفية الثانية.	تباين في عدد النقاط الداخلة في عملية الرصد وطريقة انتخاب النقاط المرصودة التي تتوزع على جسم السد وحولة.	السبب : تحطم بعض النقاط وإعادة انشاء البعض الاخر مع اعادة تشكيل هندسية الشبكة المرصودة حسب التقنيات المساحية.
الفترة الرابعة	استخدام منظومة الأقمار الصناعية GNSS بأسلوب التكامل التقني.	بداية العقد الثاني من الالفية الثانية ومستمره.	اعتمدت الشبكة المرصودة على مجموعة من النقاط تم تحديدها لتغطي منطقة جسم السد والمنطقة المحيطة به.	السبب: لتتنسجم مع تقنيات الأقمار الصناعية وبأسلوب التكامل التقني Integral techniques.

2. مقارنات العنصرين : قوة هندسية المنهاج رصد الشبكة GCNMD & اختيار النقاط الثابتة Fixed Point داخل الشبكة .

أما عنصري قوة الشكل الهندسي لمنهاج رصد شبكة المراقبة الجيوديسية وانتخاب النقاط الثابتة (المرجعية - Reference) فإنها تؤثر في الرصانة الداخلية Inner Reliability للشبكة المرصودة بشكل يمكن ان يحد من تأثير أخطاء الرصد العرضية الموجود في الكميات المقيسة والمرصودة بشكل طبيعي اذا ما استخدمت وفق شروط محده ، وللترباط بين العنصرين اعتمدت المقارنة كما في الجدول ادناه :

جدول 2 : مقارنات موضوعية لقوة هندسية منهاج رصد الشبكة GCNMD
& والنقاط الثابتة حسب الفترات الزمنية.

ت	نوع التقنيات	تاريخها	وصف العنصر الثاني	الملاحظات
الفترة الأولى	استخدام الأجهزة التقليدية البصرية.	الثمانينيات وبداية تسعينيات القرن الماضي.	تنفيذ منهاج الرصد الثلاثي : كل 6 اشهر ، كل 2,5 سنة ، كل 5 سنين واعتماد نقاط ثابتة Fixed Point حسب توجيهات المهندس الاستشاري.	/
الفترة الثانية	استخدام الأجهزة التقليدية الإلكترونية.	أواسط تسعينيات القرن الماضي .	تنفيذ منهاج الرصد الثلاثي : كل 6 اشهر ، كل 2,5 سنة ، كل 5 سنين وتغيير احدى النقاط الثابتة المعتمدة لإيجاد الحلول للشبكة الجيوديسية.	السبب : اكتشاف حركة في علامة النقطة الثابتة.
الفترة الثالثة	استخدام الأجهزة الإلكترونية الرقمية.	نهاية التسعينيات وبداية الالفية الثانية.	تباين في تنفيذ منهاج الرصد الثلاثي المعد من قبل المهندس الاستشاري بتغيير في بعض النقاط المنتخبة ضمن منهاج الرصد مع بقاء النقاط الثابتة.	السبب : تحطم علامات النقاط ، إعادة انشاء علامات النقاط المتحطمة ، حركة علامة النقطة عن مكانها الحقيقي.
الفترة الرابعة	استخدام منظومة الأرقام الصناعية GNSS بأسلوب التكامل التقني.	بداية العقد الثاني من الالفية الثانية ومستمره.	تنفيذ منهاج رصد واحد يشمل مجموعة من نقاط الشبكة GCNMD تغطي منطقة السد والمنطقة المحيطة به مع انشاء محطة مرجعية خاصة بمنظومة GNSS.	السبب : لتنسجم مع تقنيات الأرقام الصناعية وبأسلوب التكامل التقني.

3. مقارنات العنصر : طبيعة ونوع البرمجيات المستخدمة في إيجاد الحلول للشبكة GCNMD .

من المتعارف عليه في اعمال الضبط الأرضي والشبكات الجيوديسية ان يتم إيجاد الحلول للشبكة بطرق رياضية متقدمة وأكثرها شيوعا في هذا المجال هي طريقة المربعات الصغرى Least Square وهو الأسلوب المعتمد في إيجاد حلول شبكة المراقبة الجيوديسية لسد الموصل GCNMD طيلة الحقبة الزمنية الماضية كونها تعالج الخطأ المقبول يشكل صارم مهما كانت مجموعة البيانات كبيرة فهي تعتمد على التوزيع الطبيعي Normal Distribution للخطأ أما بمعادلات رصد Observation Equation التي تنظم بشكل مصفوفة حسب الموديل الرياضي الاتي :

$$m^A n^X^1 = m^L^1 + m^V^1 \quad (1)$$

حيث ان :

A هي مصفوفة المعاملات .

X هي مصفوفة المجاهيل .

L هي مصفوفة الكميات المرصودة .

V هي مصفوفة البواقي residuals .

n هو عدد الأرصاد .

m هو عدد المجاهيل .

او تنظم طريقة المربعات الصغرى بشكل المعادلات الشرطية Condition Equation لتكون بالحد الأدنى كما

في الموديل الرياضي ادناه :

$$\sum_i^m w_i v_i^2 = w_1 v_1^2 + w_2 v_2^2 + \dots + w_m v_m^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (2)$$

حيث ان :

w هو مصفوفة الوزن التي تمثل معكوس الانحراف المعياري للكميات المرصودة.

4. مقارنات العنصر : فائض الأرصاد r في الكميات المقيسة داخل شبكة المراقبة الجيوديسية GCNMD .

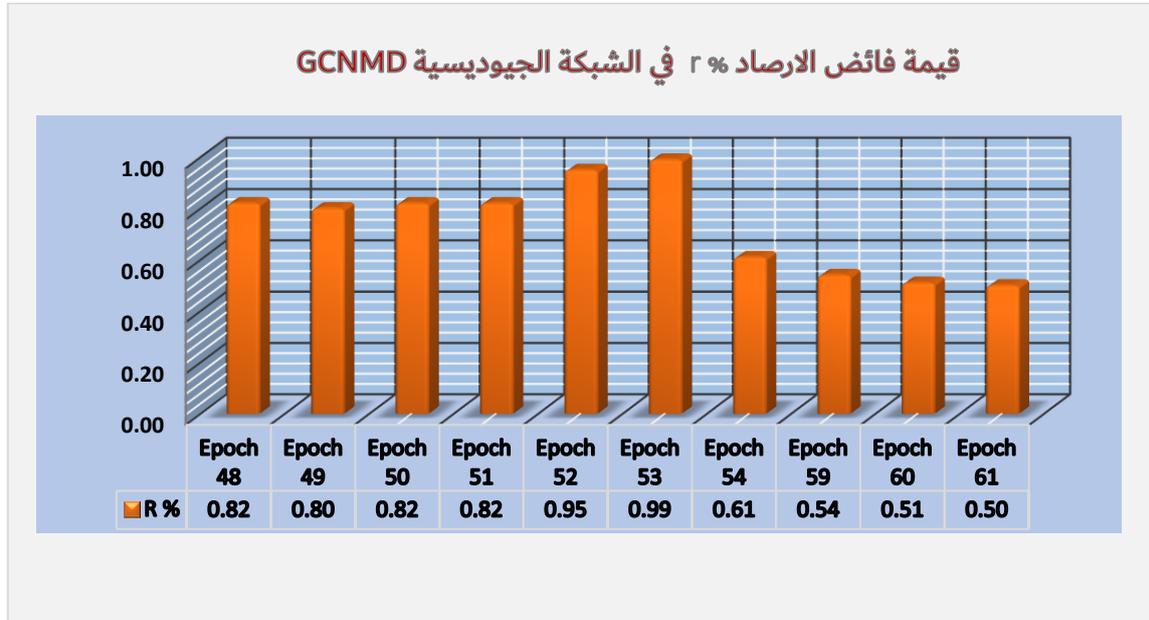
يؤثر عنصر فائض الارصاد r بشكل مباشر في النتائج النهائية لحلول الشبكة الجيوديسية ويسمى ايضاً درجة التحرر Degree of Freedom كما انه يرتبط بمصفوفة الوزن W التي تمثل التكرارات الفردية للأرصاد الذي هو معكوس التباين Variances σ_0^2 والانحراف المعياري σ_0 للمتغيرات داخل الشبكة المرصودة وقد اختلفت المصادر العلمية في تحديد النسبة الأفضل من قيمة r التي تراوحت بين 0.3 - 0.5 ويمكن ادراج قيمة هذا العنصر في بعض دورات الرصد Epoch المتاحة في هذا البحث من الشبكة الجيوديسية الافقية وفي نفس الوقت فإن قيمة فائض الارصاد r تدخل كعامل مهم في اختبار جودة تطابق الشبكة (Goodness of Fit - X^2) ، ويشير الجدول رقم (3) الى أقيام فائض الأرصاد r لعدد (10) عشرة من دورة رصد Epoch منفذه لسد الموصل خلال فترة زمنية من 2012 ولغاية 2021 .

جدول 3 : نسبة فائض الأرصاد في دورات الرصد Epoch المتاحة في هذه الدراسة .

No.	Epoch No.	Date	r	Total	r %
1	48	Jun / 2012	175	213	0.82
2	49	Nov./ 2012	172	210	0.80
3	50	Jun. / 2013	179	217	0.82
4	51	Nov./ 2013	177	215	0.82
5	52	May./ 2015	204	214	0.95
6	53	Mar./ 2016	218	219	0.99
7	54	Dec./ 2016	200	328	0.61
8	59	Dec./ 2019	195	363	0.54
9	60	Sept./ 2020	180	356	0.51
10	61	Sept./ 2021	219	435	0.50

من مراجعة البيانات في الجدول رقم (3) والتمثيل البياني شكل رقم (4) نجد ان نسبة فائض الأرصاد r قد تراوحت بين (0.50 – 0.99) من اجمالي الأرصاد المتحققة في كل دورة رصد ، بمعنى اخر فان النسبة المعتمدة لقيمة r في دورات الرصد الجيوديسي Epoch لسد الموصل قد تجاوزت النسب المتعارف عليها في اغلب الدراسات والمصادر العلمية والتي أجمعت على ان النسبة الأفضل Optimal Ratio هي التي تكون بنسبة 0.50 او 50% من اجمالي الكميات المقيسة لان واقع الحال ينطبق عليها ما ينطبق على عموم الأرصاد في الشبكة الجيوديسية لعدة أسباب أهمها:

- انها مصدر جديد للخطأ .
- حجم الخطأ فيها غير معلوم بدقة لكونها حسبت بدلالة النقاط مرجعية معلومة حسابياً .
- لا توجد قياسات صحيحة او مضبوطة بشكل مطلق .
- القيمة الحقيقية True Value غير معلومة .



الشكل 4: تمثيل بياني لقيم r في دورات رصد الشبكة GCNMD .

تحليل الأرصاد في شبكة المراقبة الجيوديسية لسد الموصل – GCNMD .

بالرغم من ان ما تقدم من معطيات تشير بشكل واضح الى تجانس Homogeneous عملية تطوّر اسلوب المراقبة الجيوديسية للشبكة GCNMD خلال الحقبة الزمنية الماضية مع تطوّر تقنيات المساحة ودخول منظومة الأقمار الصناعية GNSS مجال العمل المساحي وانتخاب طرق حسابية تعتمد على صيغ رياضية متقدمة لإيجاد حلول للشبكة الجيوديسية بشكل يعزز عزل الخطأ العرضي Random Error عن الحركة الحقيقية Real Deformation في أي نقطة من نقاط الشبكة الا ان معرفة مقدار ذلك الخطأ في النتائج النهائية (الاحداثيات – Coordinates) المحسوبة بطريقة المربعات الصغرى Least Square تكون من خلال معرفة الاتي :

1. الانحراف المعياري لوحدة الوزن في الشبكة (σ_0).

يُعرف الوزن Weight في الأرصاد علمياً بأنه مقياس لواقعية قيمة واحدة مقارنة مع الأخرى وتزداد قيمة الوزن مع ازدياد الدقة وفق شروط محددة ويمكن حساب الانحراف المعياري لوحدة الوزن من الصيغة الآتية :

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{V^T W V}{r}} \quad (3)$$

حيث ان :

V : هي مصفوفة البواقي residual للأرصاد .

W : مصفوفة الوزن .

r : عدد فائض الأرصاد في دورة الرصد الواحدة .

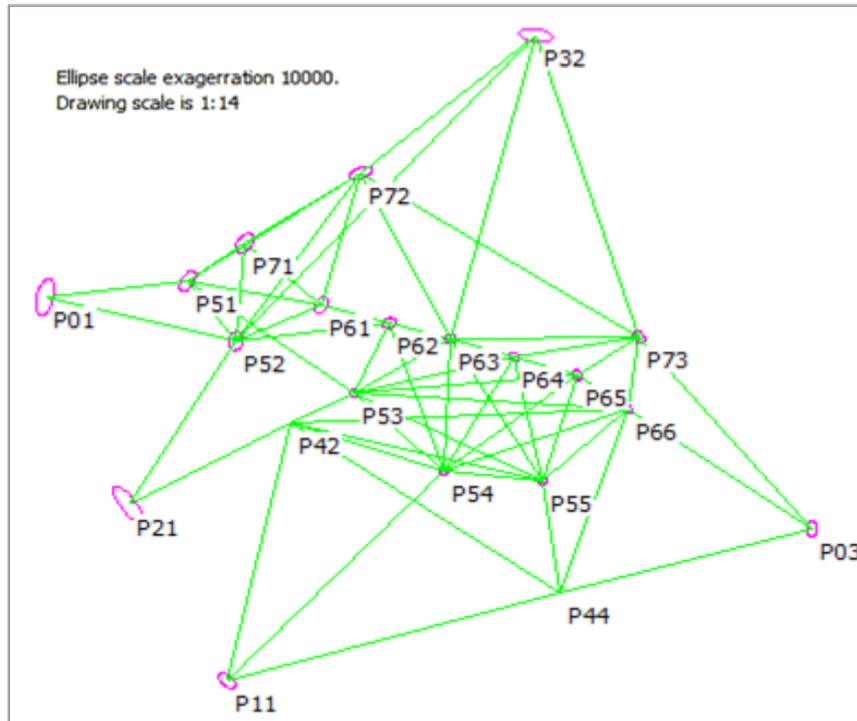
وفي ادناه جدول بقيمة الانحراف المعياري لوحدة الوزن (σ_0) وقيمة التباين (σ_0^2) وكمية فائض الأرصاد r لكل دورة رصد منتخبة في هذه الدراسة :

جدول 4: قيم الانحراف المعياري والتباين في رصدات الشبكة GCNMD.

No.	Epoch No.	r	σ_0	σ_0^2	r %	Rem.
1	48	175	0.57±	0.3212	0.82	نفذت الرصد بتقنية واحد-TPS (لأسلوب التقليدي)
2	49	172	0.59±	0.3434	0.80	
3	50	179	0.57±	0.3274	0.82	
4	51	177	0.58±	0.3341	0.82	
5	52	204	0.60±	0.3604	0.95	
6	53	218	0.63±	0.3954	0.99	نفذت الرصد بأسلوب التكامل التقني بإضافة تقنية GNSS
7	54	200	0.51±	0.2590	0.61	
8	59	195	0.54±	0.2902	0.54	
9	60	180	0.62±	0.3901	0.51	
10	61	219	0.67±	0.4464	0.50	

2. القطع الناقص (الإهليجي) للخطأ Ellipsoid Error .

يمثل مقدار القطع الناقص للخطأ حدود الثقة في النقطة المعدلة Adjusted Point ولغرض تحديد هذا الخطأ يتم حساب زاوية الدوران Rotation Angle بالرمز (t) من المحور الرأسي Y الذي يمثل اتجاه الشمال North إلى المحور الرئيسي لشكل القطع الناقص Ellipse باتجاه دوران عقارب الساعة ، الخطأ في المحور الكبير (σ_U) Semi-major والخطأ في المحور الصغير (σ_v) Semi-minor . فاذا كان تمثيل القطع الناقص اقرب الى شكل الدائرة كانت النقطة متساوية الاتقان equal Precision اما اذا كان التمثيل اقرب للشكل البيضاوي فان الخطأ يكون باتجاه المحور الاطول لذا فان القطع الناقص هو مؤشر للدقة الموقعية Positional Accuracy للنقطة المرصودة. بسبب حجم البيانات المنتخبة في هذه الدراسة فقد تم اختيار نموذج واحد لتمثيل شكل خطأ القطع الناقص (الإهليجي) Ellipsoid Error هو دورة الرصد (53) لان الانحراف المعياري فيها الأكبر قيمة وقد نفذت بتقنية . TPS



الشكل 5: تمثيل مقدار خطأ القطع الناقص في نقاط الشبكة GCNMD.

الاختبارات الإحصائية للأرصاد في شبكة سد الموصل GCNMD .

تعتبر الاختبارات الاحصائية Statistical Test الركيزة الأساسية في التحقق من جودة شبكات الضبط الجيوديسية فهي تعتمد على قيمة فائض الأرصاد r الذي يمثل درجة تحرر الشبكة في حساب *التصويبات corrections (هو الاقتراب من القيمة الأكثر احتمالاً MPV بعكس التصحيح الذي يدل على إزالة الخطأ) باستخدام طريقة المربعات الصغرى حيث يتم تطبيق الاختبارات الإحصائية لتحديد نوعية النتائج والكشف عن الأرصاد الغريبة ، الأخطاء

الجسيمة error Gross ، الأخطاء النظامية Systematic error لذا فإن فاعلية الاختبارات سوف تحدد رصانة Reliability الشبكة الجيوديسية لاحقاً وهذا ما نسعى اليه في هذه الدراسة من خلال اختبارين هما :

1. اختبار جودة التطابق Goodness Fit Test .
2. اختبار الخطأ النسبي للقطع الناقص Ellipsoid Error Test .

1. اختبار جودة التطابق Goodness Fit Test للشبكة GCNMD .

تُجمع المصادر العلمية على ان اختبار جودة التطابق Goodness Fit للشبكة باستخدام توزيع كاي Chi- Distribution (X^2) من أفضل طرق اختبار فرضيات استتعار الأخطاء واكتشاف أنواعها في التصويبات النهائية Corrections ويسمى أيضاً اختبار التباين الشامل Global Variance Test الذي يحدد منطقة الثقة Confidence بحددين (قيمة عليا وقيمة دنيا) عند مستوى في الاغلب يكون بنسبة 95% ، تدخل قيمة فائض الأرصاد r كعنصر مهم في شرط نجاح هذا الاختبار المعادلة (4). تم تنفيذ هذا الاختبار الجدول رقم (5). على الأرصاد المنتخبة في هذا البحث عند مستوى موثوقية 95% على ان يتحقق شرط الاختبار الاتي:

$$X^2_{(r,1-\alpha/2)} < \frac{r\hat{\sigma}_r^2}{\sigma^2} < X^2_{(r,\alpha/2)} \quad (4)$$

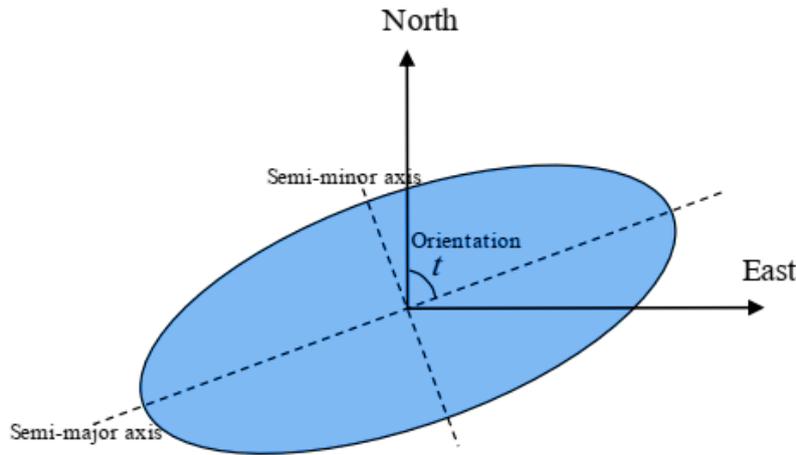
حيث ان α هي مستوى الثقة للاختبار ، r فائض الأرصاد ، σ^2 التباين قبل التعديل ، $\hat{\sigma}_r^2$ التباين بعد التعديل.

جدول 5: نتائج اختبار جودة التطابق على الرصدات المنتخبة للشبكة GCNMD.

No.	Epoch No.	r	X^2_{min}	X^2_{mix}	95.0%	Rem.
1	48	175	140.26	213.52	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
2	49	172	137.58	210.21	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
3	50	179	143.84	217.94	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
4	51	177	142.05	215.73	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
5	52	204	141.16	214.63	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
6	53	218	145.64	220.15	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
7	54	200	162.73	241.06	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
8	59	195	149.23	224.56	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
9	60	180	144.74	219.04	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار
10	61	219	162.73	241.06	Failed	لم يتحقق شرط الاختبار

2. اختبار الخطأ النسبي للقطع الناقص Ellipsoid Error Test .

يعتمد هذا الاختبار على قيم نموذجية Critical Value - c - جدولية حسب توزيع فشر F- Distribution الذي يساعد في تحديد الدقة النسبية Relative accuracy للنقاط داخل الشبكة الجيوديسية المستخدمة في مراقبة التحرفات في سد الموصل GCNMD من خلال تحديد قيمة واتجاه الخطأ بالاعتماد على محاور القطع الناقص : المحور الكبير u - Semi major , المحور الصغير v - Semi minor وزاوية الدوران t عن الشمال باتجاه عقرب الساعة شكل رقم (6) بعبارة أخرى يتم تحديد نسبة عدم التيقن uncertainties لنقاط الشبكة الجيوديسية .



الشكل 6: زاوية الدوران ومحاور القطع الناقص Ellipsoid .

هذا الاختبار أيضاً يعتمد على قيمة فائض الأرصاد في تحديد القيمة النموذجية c وحسب المعادلة التالية :

$$c = \sqrt{2(F_{\alpha,2,r})} \quad (5)$$

حيث أن:

α : مستوى الدلالة المعنوية للخطأ حسب F - distribution .

r : عدد الفائض من الأرصاد Redundancy .

إضافة إلى ماتقدم فقد تم تنفيذ اختبار احصائي اخر وهو معيار تاو Tau Criterion يهدف الى الكشف عن الخطأ الجسيم او الفادح Blunder error في الكميات المرصودة وقد تم تشخيص وجود أخطاء رصد جسيمة ضمن دورات الرصد المعتمدة في هذه الدراسة ولكن بسبب حجم البيانات سأكتفي هنا بالإشارة والتحليل.

الاستنتاجات.

من خلال مراجعة ما تقدم في هذه الدراسة من تحليلات ومقارنات يمكن ادراج بعض الاستنتاجات التي يجب الوقوف عندها وتفسيرها بشكل علمي لاسيما بعد اجراء الاختبارات الإحصائية المعتمدة عالميا تساعد في تحديد مقدار واتجاه ونوع الخطأ ، ومن ثم إمكانية تحديد عامل عدم التيقن Uncertainty في النقاط المرصودة ضمن شبكة المراقبة الجيوديسية GCNMD بالشكل الآتي :

- يدخل عنصر فائض الأرصاد (r) كعامل مهم في إيجاد حلول الشبكة الجيوديسية بطريقة المربعات الصغرى Least Square إضافة الى انه عنصر تحديد القيم النموذجية في الاختبارات الإحصائية التي نفذت في هذه الدراسة سواءً في اختبار جودة التطابق $X^2 - Test$ واختبار الدقة النسبية F-test واختبار الكشف عن الأخطاء الجسيمة c ، لذلك لا بد من مراعاة ماورد في اغلب المصادر العلمية والدراسات البحثية في ان لاتزيد نسبة فائض الأرصاد (r) على قيمة 50% من مجموع الأرصاد في دورة الرصد الواحدة Epoch ، وليس كما هو الحال في الرصدات المنفذة من قبل الهيئة العامة للمساحة التي تراوحت بين (50% - 99%) طيلة الفترة الماضية لكونها مصدر جديد لأخطاء غير معروفة قيمتها الحقيقية اذا ما اخذنا بعين الاعتبار انه يجب تحقيق الحد الأدنى في المعادلات الشرطية Conditional equation بطريقة المربعات الصغرى معادلة رقم (2) .
- فشلت الأرصاد المنتخبة في هذا البحث في اجتياز اختبار جودة التطابق Goodness Fit عند مستوى ثقة 95% وهذا مؤشر على وجود أخطاء غير مقبولة في الكميات المرصودة والمقيسة تؤثر في دقة مخرجات عملية معالجة البيانات والنتائج النهائية .
- عند تنفيذ اختبار معيار تاو Tau Criterion لكشف الأخطاء الجسيمة Blunder Error ، أظهرت النتائج وجود اخطاء جسيمة غير مقبولة في الأرصاد التي من المفترض ان لا تدخل في العملية الرياضية لحل الشبكة GCNMD وقد ورد في تقرير المهندس الاستشاري السويسري ملاحظة هي : انه بالإمكان استبعاد القيم الشاذة من الأرصاد قبل تنفيذ عملية إيجاد الحلول بطريقة المربعات الصغرى وهذا نوع من المرونة يوفرها منهاج الرصد متعدد التغيرات والتباين Multivarious Design .
- تبنت الهيئة العامة للمساحة بعد 2003 منهاج رصد احادي Observation Design في تنفيذ عملية مراقبة سد الموصل مع تغيير النقاط الثابتة Fixed point المنتخبة في العمليات الحسابية وحسب طبيعة التقنيات المستخدمة في عملية الرصد الحقلية وهي بهذا الأسلوب قد ابتعدت عن الهدف الرئيسي لمنهاج الرصد الثلاثي (متعدد التغيرات) في عمل تحديث updating لإحداثيات مواقع نقاط الشبكة الجيوديسية في المناطق غير المستقرة Non Stable على جسم السد وحوله Dam Site كونها تقع في مجال ضغط الماء بدلالة المناطق الأكثر استقراراً Stable الابعد عن منطقة السد .
- تتم معالجة الشبكة الجيوديسية لسد الموصل بطريقة التعديل المُقيد Constrained adjustment وهو أسلوب يعتمد في حل الشبكة على النقاط الثابتة Fixed point التي تؤثر بشكل كبير في رصانة الشبكة الداخلية Inner Reliability اذ تفترض حسابياً على انها نقاط خالية من أخطاء لكنها في الحقيقة لا تخلو من ذلك الخطأ الامر الذي يتطلب معه انتخاب نقاط رصينة وفق شروط هندسية تضمن قوة الشكل الهندسي للشبكة الذي يحد من تأثير أخطاء في النتائج النهائية .

- مع ادخال منظومة الأقمار الصناعية GNSS في عملية مراقبة سد الموصل لتغطية جزء من شبكة المراقبة GCNMD ، انشأت محطة مرجعية Base Station جديدة يتم بدالاتها حساب احداثيات النقاط الرئيسية Pillars في الشبكة بأسلوب التموضع النسبي Relative Positioning في منطقة تعتبر غير مستقرة نسبة الى باقي النقاط في الشبكة وهي بذلك تؤثر بشكل سلبي في رصانة الشبكة الداخلية اتجاه أخطاء الرصد .
 - في الجدول رقم (4) من هذه الدراسة نلاحظ الاختلاف في قيمة الانحراف المعياري للأرصاء σ_i وقيمة التباين σ_i^2 فقد ازدادت قيمتهما مع زيادة نسبة فائض الأرصاد r في حالة الرصد باستخدام تقنية واحدة والتي تراوحت نسبته بين (82% - 99%) اما في حالة استخدام أسلوب التكامل الفني Integral Techniques فقد اختلف تأثير فائض الأرصاد بشكل يشير الى وجود مصدر إضافي للخطأ.
- اخيراً ، يمكن القول بانه على الرغم من ان الأرصاد الحقلية فشلت في الاختبارات الإحصائية عند مستوى ثقة 95% الا انها نجحت في إعطاء صورة اقرب للواقع عن استقراره سد الموصل خلال الفترة الماضية ، وان توظيف إمكانيات التقدم العلمي والتكنولوجي في انجاز مراقبة الحركة الافقية والراسية لسد الموصل ساهمت بشكل فاعل في معالجة مشاكل سد الموصل .
- ان هذه الدراسة هي جزء من نجاح وزارة الموارد المائية في ادارتها لسد الموصل ومراقبته بكوادرها الوطنية (فنية وهندسية) من خلال القدرة على تشخيص نقاط الضعف في عملية مراقبة سلامة السد والبحث عن حلول ناجعة من خلال مقترح مشروع لتطوير الاطار الجيومكاني المرجعي للعراق IGRS يأخذ بعين الاعتبار طبيعة جغرافيا العراق إضافة الى موقعة بالنسبة للصفائح التكتونية العربية والاوراسية .

المصادر.

ADULAMY , SH. L. ,(2003) , “ Geodetic Treatment For Monitoring Of Heavy Structures ” , M. SC. Thesis , College of Engineering , University of Baghdad , IRAQ.

ADULAMY , SH. L. , (2016) , “Determined Accuracy Required For Water Structure Project (Dams) Using GPS-TPS-GIS System In Geomatic Engineering & Remote Sensing ” , PH.D. Thesis, Damascus University, Collage Of Civil Engineering , Syrian.

ADULAMY , SH. L. ,(2023) , “ Comparative research study: analysis and evaluation of geodetic meteorology to monitor deformations in the Mosul Dam ” , Journal of Water Resources and Geosciences ,Vol. 2, No. 1.

DEAKIN , R. E. , (2006) , “ Inner Constraints For 3-D Survey Networks ” , Geospatial Science , RMIT , Melbourne , Australia.

Dr. Rasheed S.A. ,(2014) , “ Investigation into Deformation Monitoring of Mosul Dam ” , Remote Sensing Center, University of Mosul , Eng. & Tech. Journal ,Vol.32, Part (A), No.9, Iraq.

GHILANI , C. D. and WOLF , P. R. ,(2012) , “ Elementary Surveying : an introduction to Geomatics ” , 13th edition , Pearson education , New jersey , USA.

GASINCOVA , S. and GASINE , j. ,(2010) , “ Adjustment of Positioning Geodetic Networks By Unconventional Estimations ” , Technical University of Kosice , NO. 1 , Vol. 15 , Slovakia.

NIELSEN . A. A. ,(2013) , “ Least Square Adjustment : Linear and Non Linear Weighted Regression Analysis ” , Technical University of Denmark , National Space Institute , Lyn Gaby , Denmark.

V. Voinov, M. Nikulin and N. Balakrishnan, (2013), “Chi-Squared Goodness of Fit Tests with Applications”, Academic press is an imprint of Elsevier, USA.