مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

Calculation of Actual Storage Capacity and the Sediments Volume in the Lake of 16 Tishreen Dam in Lattakia by Topographic Methods

Dr. Maan Boubou*

(Received 21 / 10 / 2018. Accepted 10 / 1 / 2019)

□ ABSTRACT □

In light of the shortage of rainfall or water resources and the costs of building new dams, this requires increasing the efficiency of the existing dams, prolonging its time-life and knowing its actual storage capacity, thus putting the situation in the hands of decision-makers. As with all studies conducted before the implementation of the dam the amount of sediment accumulated in the reservoir must be calculated after putting the dam in service to ensure the accuracy calculations of sediment movement. The primary objectives of the reservoir survey were to document the present water storage capacity, loss of storage from sediment accumulation, rate and location of sediment deposits.

The research concluded results on the quantities and locations of the erosion of banks, and the quantities and locations of the sedimentation to the calculation of the amount of final sediments or losses in the volume of storage which is 12,382,930m^3

Keywords: survey, topography, water survey, hydrographic survey, bathymetric survey, reservoir survey, sedimentation survey, storage capacity, sedimentation volume.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

حساب السعة التخزينية الحالية وحجم الرسوبيات في بحيرة سد 16 تشرين باللاذقية بالطرائق الطبوغرافية

الدكتور معن بوبو*

(تاريخ الإيداع 21 / 10 / 2018. قُبِل للنشر في 10/ 1 / 2019)

□ ملخّص □

في ظل النقص في كميات الأمطار أو في الموارد المائية وكلف بناء سدود جديدة فإنه يتوجب العمل على زيادة كفاءة السدود المقامة حاليا، وإطالة عمرها الزمني، ومعرفة سعتها التخزينية الفعلية، لتضع حقيقة الوضع أمام صناع القرار. حيث أنه مع كل الدراسات التي تجري قبل تنفيذ السد لابد من حساب كمية الرسوبيات المتراكمة في البحيرة بعد تشغيل السد للتأكد من دقة حسابات حركة الرسوبيات.

أهداف المسح الأولي للبحيرة هي: توثيق سعة التخزين المائية الحالية، مقدار الفاقد من حجم التخزين بسبب تراكم الرسوبيات، مواقع ومعدل تخزين الرسوبيات. وصل البحث إلى نتائج حول كميات ومواقع حت الضفاف، وكميات ومواقع الترسيب وصولاً إلى حساب كمية الرسوبيات النهائية أو الفاقد في حجم التخزين وهو $12,382,930m^3$

الكلمات المفتاحية: مسح، طبوغرافيا، مسح مائي، مسح هيدروغرافي، مسح أعماق، مسح السدود، مسح الرسوبيات، الخزين المائي، حجم الرسوبيات.

** مدرس – قسم الهندسة الطبوغرافية –كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

مقدمة

تُبنَى السدود بأشكال ومقاسات مختلفة ويتم تصميمها من أجل أغراض مثل احتجاز السوائل، تخزين الرسوبيات والحطام المنجرف في مياه النهر، الري، التزويد بمياه الشرب، إنتاج الطاقة، الاستجمام، الملاحة، حماية الطبيعة وضبط جودة المياه **[3]**. إن الزيادة المضطردة في عدد السكان وما ينتج عنه من نقص في كمية المياه المتوفرة للاستهلاك، يزيد من أهمية الدراسات المائية، التي تؤدي إلى الاستفادة القصوى من مياه الأمطار من خلال تجميعها وتقليل نسبة الضائع منها ما أمكن. وفي ظل النقص في كميات الأمطار أو في الموارد المائية وكلف بناء سدود جديدة فإنه يتوجب العمل على زيادة كفاءة السدود المقامة حاليا، وإطالة عمرها الزمني، ومعرفة سعتها التخزينية الفعلية عن طريق دراسة علمية تضع حقيقة الوضع أمام صناع القرار لتكون الموازنة المائية للمتوافر من المياه مستندة إلى أرقام صحيحة.**[1]**

تحمل مياه الأمطار أثناء جريانها للاستقرار في المجمعات المائية كبحيرات السدود كميه من الرسوبيات تترسب وتتراكم في قاع البحيرة الأمر الذي يؤدي إلى تقلص حجم بحيرة السد وبالتالي حجم الخزين المائي تدريجيا مع الزمن **[1]**.

يؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم أي سد سعة الخزين المائي في البحيرة وعادة تدرس كمية الرسوبيات التي من الممكن أن تنتقل مع المياه الواردة إلى بحيرة السد وتترسب فيها وذلك لإيجاد تأثير هذه الرسوبيات في السعة التخزينية مع الزمن، ومع كل الدراسات التي تجري قبل تنفيذ السد لابد من حساب كمية الرسوبيات المتراكمة في الخزان بعد تشغيل السد للتأكد من دقة حسابات حركة الرسوبيات قبل إنشاء السد، وفي حالة غيابها فان الدراسة الميدانية ستعطي نتائج فعلية عن معدل تقلص السعة التخزينية لخزان السد مع الزمن **[1]**.

تخسر بحيرات سدود العالم الكبيرة سعة تخزينها بمعدل سنوي حوالي 1% وهو يتطابق بشكل تقريبي مع فقدان $50km^3$ كل عام. مثلاً تم توقع حياة مفيدة في مرحلة التصميم لسد Sefidrud في إيران تتجاوز مئة عام، مع ذلك، بعد بضعة سنوات أشارت القياسات لمعدل ترسيب أكبر بكثير وتوقع أن تقل الحياة المفيدة إلى ثلاثين عاماً فقط. تعتبر بحيرة سد Louros مثالاً مميزاً للمنطقة اليونانية حيث امتلأ بشكل كامل بالرسوبيات بعد بضعة سنوات وهذا ما أدى إلى أن تعمل محطته الكهرمائية آخذةً ميزة التفريغ اللحظي للنهر فقط **[4]**.

يتم مسح المئات من بحيرات السدود الصغيرة كل عام من قبل وكالات مختلفة. يريد البعض أن يعرف ما هي كمية الماء التي يمكن تخزينها وآخرون يريدون دراسة الرسوبيات المتراكمة واستخدام المعلومات كدليل في تصميم بحيرات تخزين مشابهة. **[5]**.

أهمية البحث وأهدافه

أهداف المسح الأولي للبحيرة هي: توثيق سعة التخزين المائية الحالية، لتحديد مقدار الفاقد من حجم التخزين بسبب تراكم الرسوبيات، مواقع ومعدل تخزين الرسوبيات ولحساب الحياة المفيدة الفعلية للخزان. وهناك أهداف أخرى من أجل تأمين معلومات عامة تفند مزاعم أن البحيرة ستمتلئ بشكل سريع بالرسوبيات.**[2] [4]** وهذا الجزء الأخير يتم تحليله بواسطة متخصصين في مجال السدود والهندسة المائية.

تطلب أعمال مسح بحيرات السدود غالباً من أجل مجموعة من الأسباب الأخرى **[4]**:

1. لتثبيت أو تحديث الحالة
2. لحساب نتاج رسوبيات الحوض الهيدرولوجي من جهة المنبع
3. لمساعدة مصممي السدود لتصميم سدود أخرى في المنطقة

4. لتنبؤ التوزيع الفراغي للرسوبيات ضمن البحيرة وعلى وجه الخصوص بالقرب من البنى الهيدروليكية مثل الفتحات
5. لتقييم طرق منع إزالة الرسوبيات.**[4]**

تعتبر بيانات الترسيب مهمةً جداً في بعض الحالات، مثلاً: إذا كانت البحيرة تُشَغِّل محطة طاقة كهرومائية أو تزود شبكة ري، فإن توقع حياتها التصميمية يكون ذو أهمية اقتصادية حيوية من أجل كلٍ من: تقييم العائدات المالية وتقدير كلفة الصيانة التصحيحية. في هذه الحالات، يجب على مدراء بحيرات السدود، في مناطق إنتاج رسوبيات عالية، أن يمتلكوا القدرة على تقييم تأثير الرسوبيات في بحيراتهم. إن أعمال مسح البحيرات من أكثر التقنيات المتاحة التي يمكن الاعتماد عليها من أجل تقييم دقة الحياة التصميمية، ومواصفات التخزين الحالي. **[4]**

النتائج المثالية من تجميع وتحليل بيانات مسح بحيرات السدود تضمن تحديد ترسيب الرسوبيات المقاس منذ انتهاء بناء السد والمسح السابق، ويمكن أن تتضمن هذه النتائج أيضاً موقع ترسيب الرسوبيات (التوزيع العرضي والطولي)، ولدراسات مسح بحيرات السدود أهداف إضافية هي: تحديد الطبوغرافيا الحالية، وتقييم العمر الاقتصادي للبحيرة، وحل مشكلة تناقص سعة التخزين **[3]**.

طرق مسح بحيرات السدود

المكتب المسؤول والتمويل المتاح يحددان طريقة تجميع البيانات. في حال استخدام طرق التصوير الجوي فإنه يُوصى بتجميع البيانات عندما تكون البحيرة في أدنى مستوٍ ممكن ويسبق مسح الأعماق. يكون ذلك في غالبية الحالات في الخريف أو الشتاء أو بداية الربيع، تلك الفترة تسمح بتغطية جيدة بسبب قلة الغطاء النباتي، أما في حالة عدم استخدام البيانات الجوية فيجب المسح عند الامتلاء الكامل للخزان ويكون ذلك في نهاية فصل الأمطار.

يمكن قياس ما فوق الماء للبحيرة بوسائل متعددة: كاستخدام تقنيات المسح التقليدي الستاديمترية أو التاكيومترية مع ميرا أو يمكن استخدام أجهزة المحطات الشاملة أو أنظمة تحديد المواقع بالأقمار الصناعية GPS **[3]**.

غالبية ارتفاعات الرسوبيات يتم تحديدها بأعمال مسح أعماق باستخدام معدات يدوية (خيط السبر أو عصا السبر) أو أجهزة تسجيل عمق بالصوت مركبة على الزورق وهذا يتطلب أن تكون البحيرة ممتلئة بشكل شبه تقريبي وذلك لتجنب أعمال مسح أرضي واسعة، حيث يتم العمل وفق مسارات عمودية على المجرى الطبيعي للنهر قدر الإمكان يتم تحديدها باستخدام الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية المتوفرة للمنطقة. تقدم هذه الطريقة نتائج دقيقة بسبب الترسيب الأفقي للرسوبيات في غالبية خطوط المجالات **[2]**، بعض هذه الأنظمة سريعة وتقدم صورة ثلاثية الأبعاد للقاع والضفاف، إلا أنها أقل دقة وخاصة في حالة القيعان المشكلة من مواد غير صلبة أو شديدة التعرجات أو تلك التي تحوي نباتات كما أن معدات السبر الصوتي تتأثر بتغيرات سرعة الصوت في الماء نتيجة لتغير الملوحة والحرارة في عمود الماء المقاس وهي قيم تتغير أيضاً مع تغير ساعات النهار، ومن ناحية أخرى فإنها أكثر كلفة وتتطلب زوارق كبيرة أحياناً من الصعب نقلها وإدخالها إلى منطقة البحيرة، لذلك يمكن الاستعانة بالتقنيات اليدوية والتي تتطلب وقتاً أكبر إلا أنها أكثر دقة.

منهجية البحث

سيتم مقارنة وضع البحيرة ما بين فترتين، فترة ما قبل إنشاء السد وفترة الوضع الراهن خلال فترة البحث. عملية المقارنة ستتم من خلال خرائط طبوغرافية رقمية، وبالنظر إلى أن حجم البيانات لكل فترة من هاتين الفترتين كان كبيراً جداً فإنه لم يكن بالإمكان مقارنتهما في ملف رقمي واحد، لذلك تم حساب حجم الخزين المائي المتوفع للبحيرة من تلك الخرائط لكل فترة (لكل ملف) على حدى ثم تم طرح هذين الحجمين للحصول على حجم الرسوبيات.

1. حساب حجم الخزين المائي للبحيرة من مخططات مسح ما قبل إنشاء السد

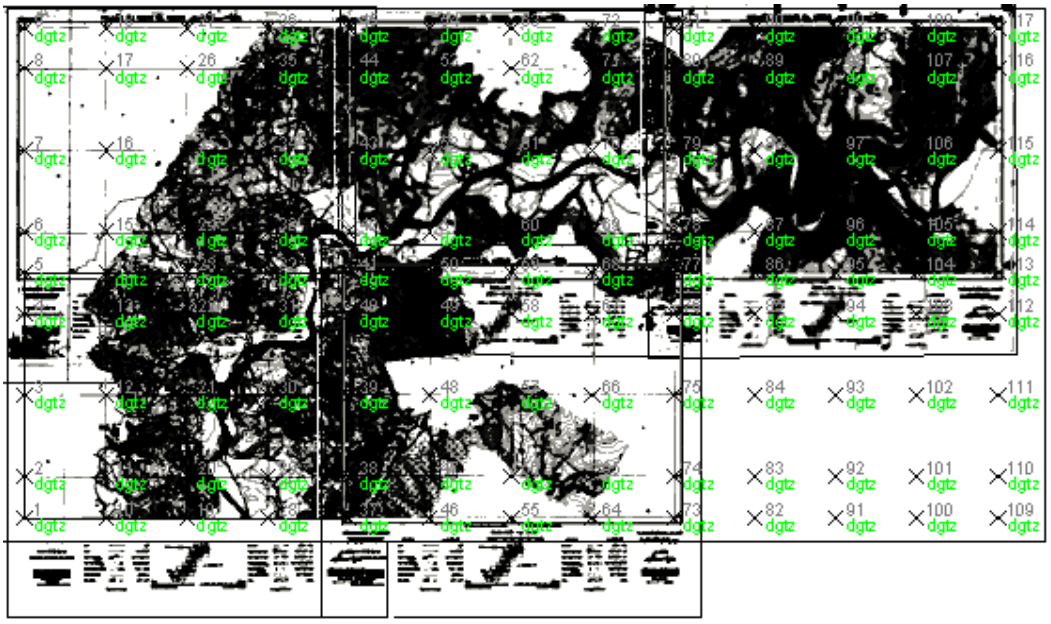
السد المدروس هو سد 16 تشرين وهو سد ركامي ترابي طوله 915m وطول بحيرته 11.2Km وعرضها الوسطي 1Km وهو يقع شرق مدينة اللاذقية باتجاه طريق حلب بين قرى عين البيضا ومشقيتا والبهلولية ويبعد عن مدينة اللاذقية 20 كم، وقد كانت الغاية من انشاء السد هي ري الأراضي الزراعية في مناطق (اللاذقية، جبلة، الحفة، القرداحة)، تنظيم مجرى النهر و تعديل المناخ، درء الفياضانات في فصل الشتاء، وتربية الثروة السمكية. أخيراً نذكر أن المساحة التي يرويها حوالي 19900 هكتاراً.

تم مسح مجرى النهر لتحديد الموقع الأنسب لبناء السد بواسطة التصوير الجوي من قبل شعبة التصوير والتخطيط التابعة لشركة الخطوط الجوية الملكية الهولندية (K.L.M) لأمر مكتب الدراسات الهولندي (NEDECO) لاهاي 1953 ، تاريخ التصوير 1952/10/16. حيث كان صاحب الدراسة آنذاك مديرية الري والقوى المائية.

استندت المخططات إلى شبكتي الإحداثيات والتسوية الرئيسية لدائرة المساحة في سوريا ومقياس الرسم هو 1:5 000 أما تفاضل خطوط التسوية فهو خمسة أمتار. **إن هذه المخططات هي المخططات الوحيدة المتوفرة لمنطقة البحيرة في فترة ما قبل إنشاء السد،** وبالتالي من أجل استخدامها في حساب كميات الرسوبيات وفق الطرق الرقمية الحديثة لا بد من تحويلها إلى الصيغة الرقمية، هذه العملية ستمر بعدة مراحل أولها تصوير المخططات بواسطة الماسح الضوئي (Scanner A0) ثم إرجاعها ورقمنتها وتشكيل السطوح منها (شبكة الـ TIN).

تمت عملية الإرجاع بواسطة برنامج الـ Raster Design 2009 بتقنية الـ Rubber Sheeting بعد تشكيل ملف نصي يحوي إحداثيات رؤوس شبكة المربعات الموجودة على المخططات وإدراج الصور في البرنامج وتطبيق عملية الإرجاع عليها وتصحيحها من أجل الحصول على أخطاء أقل ما يمكن لتصبح حسب الشكل (1)

بعد عملية الإرجاع وتصحيح المخططات المصورة وفق المحورين (X, Y)، يجب تصحيحها وفق المحور Z ويتم ذلك من خلال رقمنة خطوط التسوية المرسومة على المخطط بإعادة رسمها بالنقر على نقاط مختارة منها وإعطاء القيمة Z لهذه النقاط. بما أن منسوب التخزين الأعظم للبحيرة هو 74.65m فإن الرقمنة ستبدأ من خط التسوية ذو المنسوب 75m حتى القاع.



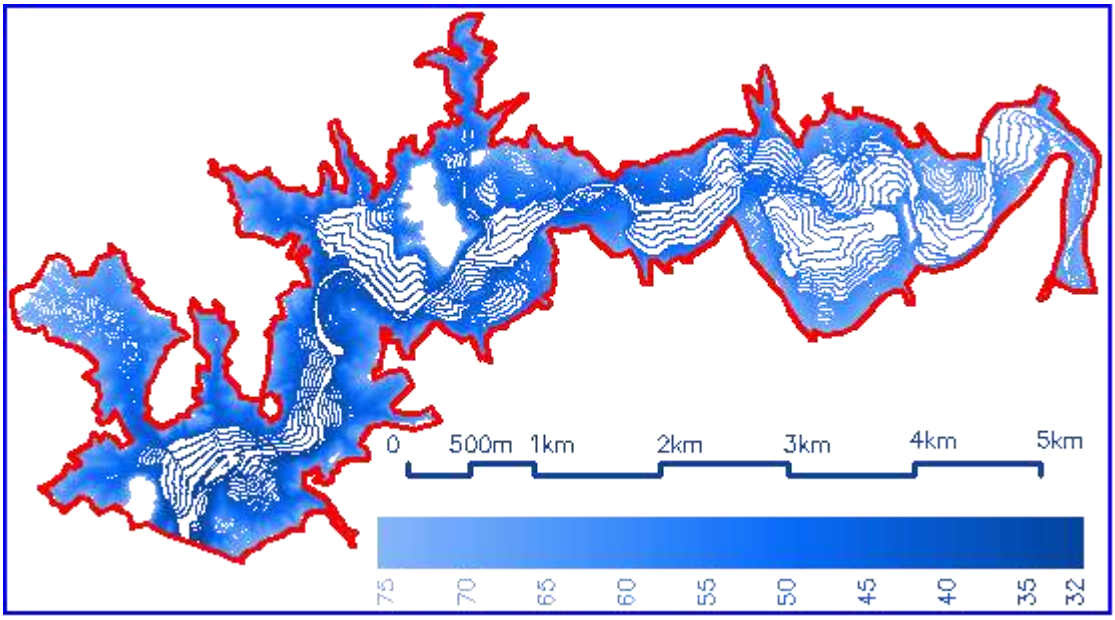
الشكل (1) وضعية المخططات المصورة بعد عملية الإرجاع الهندسي

تمت عملية الرقمنة بواسطة برنامج AutoCAD Land Desktop 2009 من خلال أمر Digitizing Contours حيث تم اختيار رقمنة كلٍ من خطوط التسوية الرئيسة والثانوية وتحديد الفترة الكونتورية (5m)، واسم الطبقات التي ستحوي خطوط التسوية الرئيسية والثانوية.

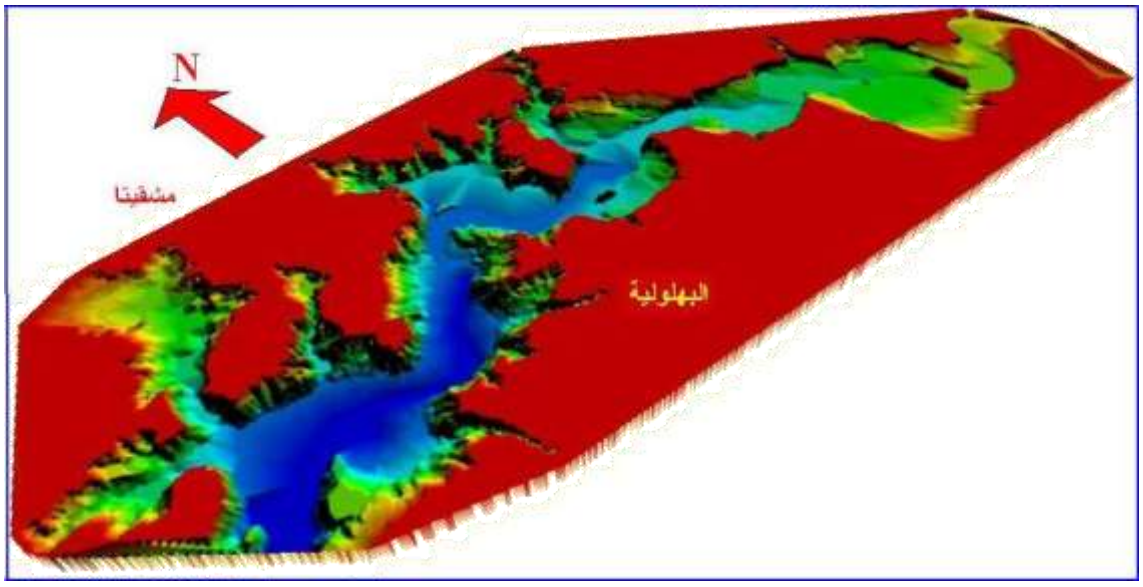
تم تشكيل السطح من خطوط التسوية المرقمنة من خلال قائمة Terrain Model Explorer كما تم تحديد حدود منطقة العمل من خلال إدخال خط حدود أو Boundary وهذا الخط تم تحديده بما يتناسب مع المنطقة التي تم مسحها طبوغرافياً وهيدروغرافياً. بعد انتهاء الإدخالات تتم عملية بناء السطح Build وهي العملية التي تشكل خطوط الـ TIN والتي يمكن الإطلاع عليها من خلال Import 3d Line.

بعد تشكيل السطح أصبح بالإمكان إنشاء خطوط تسوية جديدة بالتباعد المرغوب، من المنطقي أن تتطبق بعض هذه الخطوط مع الخطوط الأساسية المرقمنة ولكن قد لا يكون هذا الأمر محققاً بسبب تركيب شبكة الـ TIN لذلك يجب مراجعة خطوطها للتحقق من صحتها فللبرنامج اعتبارات خاصة في وصل نقاط الشبكة ببعضها وهذا الوصل لا يكون منطقياً أحياناً وبالتالي يجب تغيير اتجاهات بعض خطوطها أو حذفها وأحيانا إضافة خطوط جديدة ويمكن حذف أو إضافة أو تعديل بعض النقاط المشكلة لتلك الشبكة، إن هذه العملية ضرورية من أجل الوصول إلى سطح صحيح يعبر عن الواقع فعلاً.

تمت مراجعة الشبكة الناتجة وتصحيح الخطوط الخاطئة وإضافة بعض النقاط، ومن أجل التحقق من صحة العمل تم تشكيل خطوط تسوية Create contour بتباعد 1m وهو تباعد الخطوط الثانوية أما الخطوط الرئيسية فأصبح 5m ليصبح المخطط الرقمي الناتج من رقمنة المخططات الورقية حسب الشكل (2)



الشكل (2) خطوط تسوية بتباعد 1m ناتجة من المخططات الورقية بعد مسحها ضوئياً وإرجاعها ورقمنتها، تظهر بشكل أوضح إذا كان مقياس المخطط أكبر، كما يُظهر الخط السميك المحيط بالشكل الحدود المعتمدة في كل عمليات حساب الحجوم سواء بعمليات المسح الجديد أو للمخططات الورقية



الشكل (3) السطح الناتج من رقمنة المخططات الورقية يبين أعماق القاع بشكل ثلاثي الأبعاد حيث تم الرسم بواسطة برنامج Global Mapper

حتى يتم حساب حجم الخزين المائي يجب تشكيل سطحٍ ثانٍ وهو سطح الماء والذي هو منسوب التخزين الطبيعي للبحيرة 74.65m ، أي يجب الحصول على خط تسوية منسوبه هو 74.65m وهو ما يمكن الحصول عليه ببناء خطوط تسوية بين الخطين 74m و 75m بتباعد 1cm . بعد الحصول على الخط المذكور يتم تشكيل السطح الثاني منه ومن خط الحدود المعتمد نفسه، وهذا السطح لن يحتاج لتعديل كونه سطح مستو وأفقي.

بعد الانتهاء من تشكيل السطحين أصبح بالإمكان حساب حجم الخزين المائي بينهما من خلال مجموعة من الإجراءات في نفس البرنامج والملف الذي استخدم لتشكيل السطوح. من خلال الحساب كانت النتائج كما في الجدول:

الجدول (1) جدول نتائج حساب حجم الخزين المائي لمنطقة البحيرة من المخططات الورقية المرقمنة (فترة ما قبل إنشاء السد)

Site Volume Table			
Cut/cu.m.	Fill/cu.m.	Net/cu.m.	Method
0	199799346	199799346	Composite

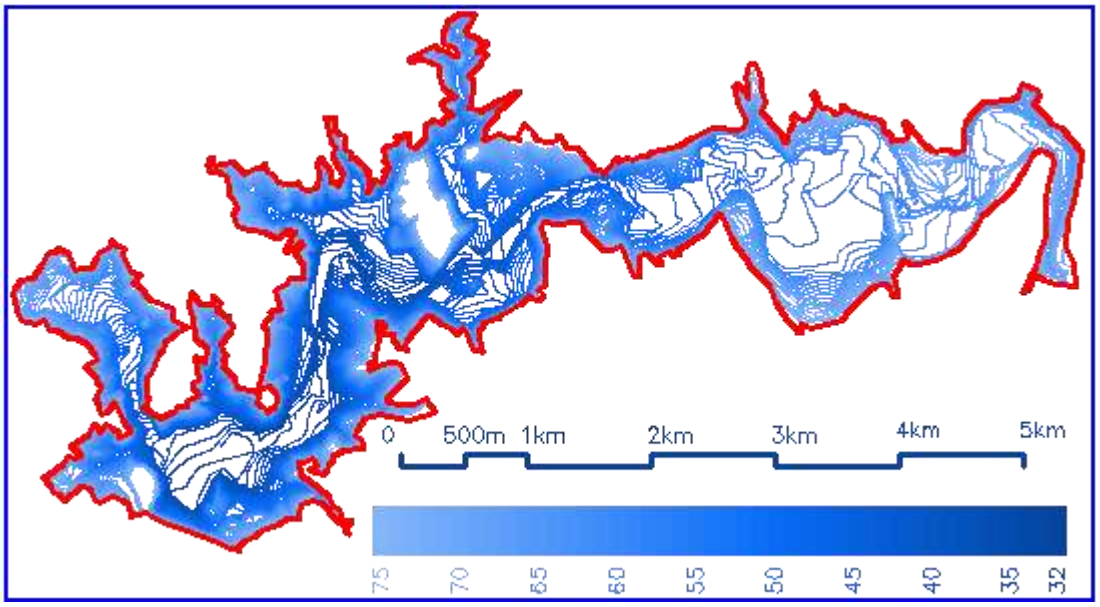
إن الرقم **$199799346m^3$** يعبر عن كمية المياه في بحيرة السد ويجب تذكر أن كمية الماء هذه هي للمنطقة المحدودة بإمكانية المسح المائي والبري لمنطقة البحيرة إذاً فهي لا تشمل جزءاً من ذيل البحيرة على نهر الكبير الشمالي وجزء من كل من أنهار زغارو والأسود.

2. حساب حجم الخزين المائي للبحيرة من مخططات المسح الحالي

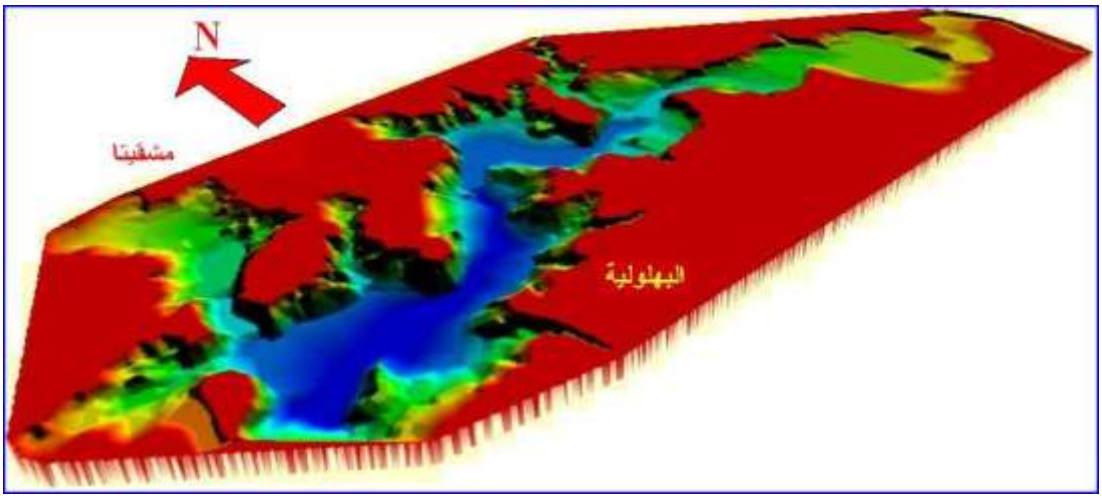
بعد دراسة طرق المسح، والإطلاع على واقع البحيرة ودراسة الكلفة والميزانية، قررنا اعتماد طريقة المسح التالية:

- تحديد الموقع الأفقي لزورق المسح باستخدام جهاز محطة متكاملة من نوع SOKKIA Set 1130R،
- قياس الأعماق بجهاز سبر يدوي يحوي شريط قياس يقيس حتى 50m مُدَرَّج كل 1cm مُدَعَّم بسلك فولاذي رفيع ومزود بنهايته بثقل وزنه حوالي 1Kg يساعد في بقاء شريط القياس مستقيماً ومشدوداً ويضمن وصوله للقاع،
- تم المسح وفق مسارات عرضية على محور البحيرة وتم مسح الضفاف في حال كان منسوب الماء أقل من حد الامتلاء الكلي للبحيرة (المنسوب 75m) أو في المناطق التي لا يستطيع أن يسير فيها زورق المسح لقلة العمق بعمليات مسح طبوغرافي بنفس الجهاز المستخدم.

تم تشكيل سطح قاع البحيرة وضفافها المغمورة بالمياه من خلال النقاط التي تم الحصول عليها من عمليات المسح كما تم تحديد حدود منطقة العمل وهذا الخط هو نفس الخط الذي استخدم في تشكيل سطح القاع من المخططات المرقمنة، وتمت مراجعة السطح (شبكة الـ TIN) وتعديلها ترافقت هذه العملية مع تشكيل خطوط التسوية بتباعد 1m وهو تباعد الخطوط الثانوية أما الخطوط الرئيسية فهو 5m حيث يفيد ذلك في التحقق من منطقية السطح المتشكل. الشكل النهائي لخطوط التسوية في الشكل (4) التالي.



الشكل (4) خطوط تسوية بتباعد 1m ناتجة من عمليات المسح الهيدروغرافي (المائي) والطبوغرافي لمنطقة البحيرة



الشكل (5) السطح الناتج من المسح الهيدروغرافي والطبوغرافي يبين أعماق القاع بشكل ثلاثي الأبعاد، تم الرسم بواسطة برنامج Global Mapper

حتى يتم حساب حجم الخزين المائي يجب تشكيل سطحٍ ثانٍ وهو سطح الماء والذي هو منسوب التخزين الطبيعي للبحيرة 74.65m فكما تم الأمر في السطح المرقمن حصلنا على الخط المطلوب، ثم تم حساب حجم الخزين المائي بينهما كما في الحالة السابقة وكانت النتائج كما في الجدول:

الجدول (2) نتائج حساب حجم الخزين المائي لمنطقة البحيرة من نتائج المسح الهيدروغرافي (الفترة الحالية)

Site Volume Table			
Cut/cu.m.	Fill/cu.m.	Net/cu.m.	Method
293	187416416	187416123	Composite

إن الرقم **$187416416m^3$** يعبر عن حجم كمية المياه في بحيرة السد، أما الرقم $293m^3$ فيعبر عن جزء من اليابسة فوق سطح الماء وهو قيمة غير مهمة هنا، ويجب تذكر أن كمية الماء هذه هي للمنطقة المحدودة بإمكانية المسح المائي والبري لمنطقة البحيرة إذاً فهي لا تشمل جزءاً من ذيل البحيرة على نهر الكبير الشمالي وجزء من كل من أنهار زغارو والأسود.

3- حساب حجم الرسوبيات في البحيرة

من مقارنة كمية المياه في البحيرة بين الفترتين السابقتين من الجدولين (1) و (2)، وبطرح القيم نجد:

الجدول (3) مقارنة حجم الخزين المائي لبحيرة السد بين فترة ما قبل بناء السد والفترة الحالية

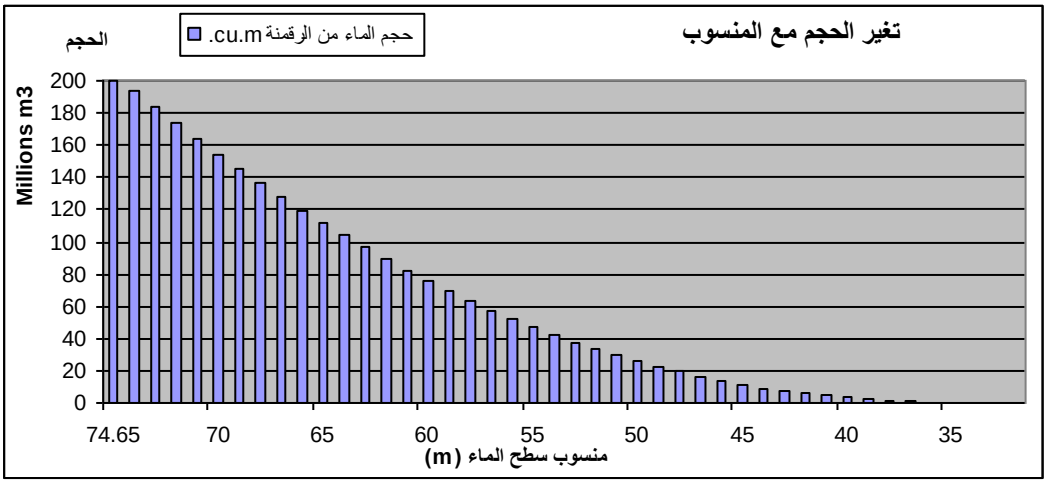
Site Volume Table			
Cut/cu.m.	Fill/cu.m.	Net/cu.m.	Method
0	199 799 346	199 799 346	Composite
293	187 416 416	187 416 123	Composite
-293	012 382 930	012 383 223	

هناك فرقٌ صافٍ في كمية الماء أو فاقد في التخزين قيمته **$12,382,930m^3$** ومن المنطقي أن يكون هذا الفرق هو نتيجة الرسوبيات الواردة إلى البحيرة، **ولكن هل هذه الرسوبيات هي رسوبيات قادمة من مجرى النهر؟ أم أنها ناتجة عن انزلاق أو انهيار أو حت للضفاف؟ وفي حال كانت ناتجة عن حت للضفاف ألا يجب أن نحصر ذلك (المكان والكمية)؟ يضاف إلى ذلك أيضاً ألا يجب أن نعرف أين هي منطقة الترسيب الرئيسية في البحيرة؟**

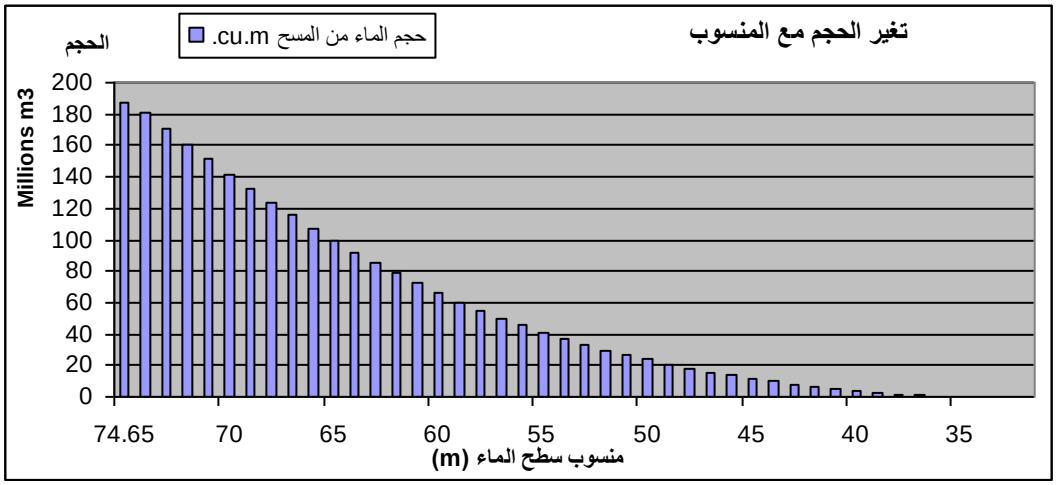
من أجل الإجابة على هذه التساؤلات يمكن حساب الفرق بين السطحين (المرقمن والناتج من المسح) مباشرةً بدلاً من حساب الفرق في حجم الماء، ولكن بما أن قسماً كبيراً من هذه الضفاف شاقولية أو شبه شاقولية فإن عملية الحساب لن تكون دقيقة لذلك من المفضل تجزئة القيم السابقة، فبدلاً من حساب حجم الخزين المائي لكامل البحيرة، نقوم بتقسيم البحيرة إلى شرائح كل واحد متر وفق الأعماق، ثم نحسب كمية الماء في كل شريحة للحالتين ونقارن بين القيم الناتجة فتظهر لدينا كميات الحت وكميات الترسيب وفق كل طبقة. حتى نقوم بذلك سنحسب أولاً حجم الماء بدأً من القاع بتزايد 1m حتى نصل إلى منسوب الامتلاء الطبيعي (74.65m) لكل حالة. **إن هذا الحساب يفيد في معرفة حجم الماء المقابل لكل منسوب في البحيرة، كتصحيح للقيم التصميمية.**

3-1- حساب حجم الماء من القاع مع تغير المنسوب كل 1m

نقوم بتشكل سطح وفق كل منسوب من خلال خط التسوية الموافق الناتج من خطوط تسوية السطح المُشكَّل (حسب كل حالة: من الرقمنة ومن المسح) ونحسب كمية الماء بين هذا السطح والسطح المُشكَّل ، فتنتج كميات المياه من القاع حتى المنسوب المحدد حيث تم إظهارها بشكل بياني في الأشكال (6) و (7).



الشكل (6) حجم الماء من القاع حتى المنسوب الموافق مع تغير المنسوب بمقدار 1m (حالة البيانات الورقية المرقمنة)



الشكل (7) حجم الماء من القاع حتى المنسوب الموافق مع تغير المنسوب بمقدار 1m (حالة بيانات المسح الحالي)

3-2- حساب حجم الماء في كل طبقة (1m) من الأعماق

أصبح بالإمكان حساب حجم الماء في كل طبقة (1m) بطرح كل حجم من الحجم الذي يليه، بعد ذلك نطرح حجم الماء في الطبقة الواحدة في حالة بيانات المسح من حجم الماء المقابل له في حالة البيانات الورقية المرقمنة، فإذا كانت النتيجة سالبة فهذا يعني أن الحجم قد ازداد وبالتالي فإن الضفاف قد تعرضت للحت، أما إذا كانت النتيجة موجبة فهذا يعني أن الحجم قد تناقص وبالتالي حصلت عملية ترسيب، لاحظ الجدول (4)، حيث تم التعبير عن كل طبقة بمنسوبها الأعلى فمثلاً الطبقة 74m تعني طبقة الماء بين المنسوب 73m و 74m.

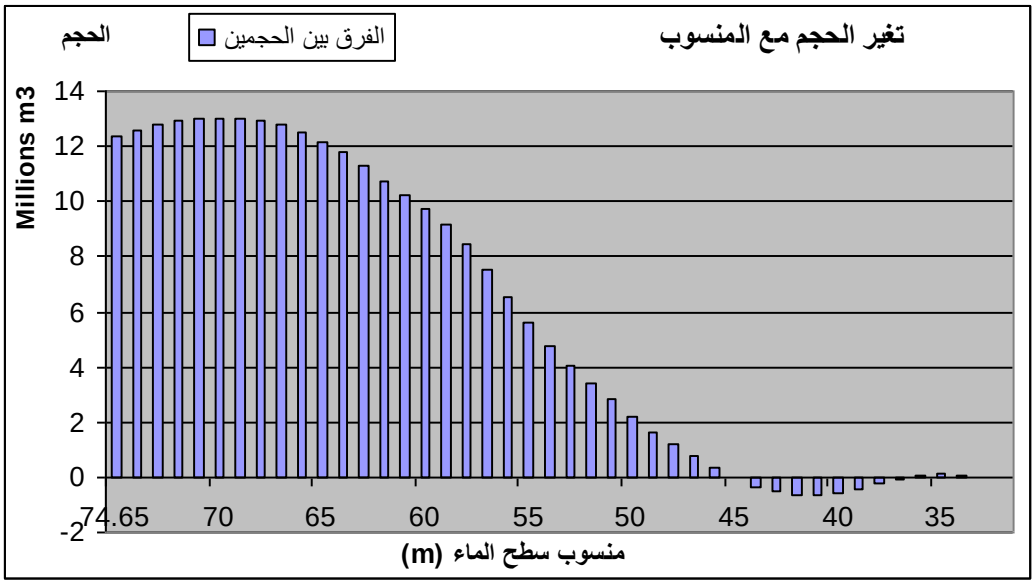
الجدول (4) حجم الماء في كل طبقة (1m) وكميات الحت أو الترسيب

منسوب سطح الماء	حجم الماء من القاع حتى المنسوب الموافق		الفرق بين الحجمين	حجم الماء في الطبقة (1m)		الفرق في حجم الماء في كل طبقة	
	من الرقمنة	من المسح		من الرقمنة	من المسح	ترسيب	حت
m	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.
74.65	199,799,345	187,416,416	12,382,930	6,588,231	6,765,779		-177,548

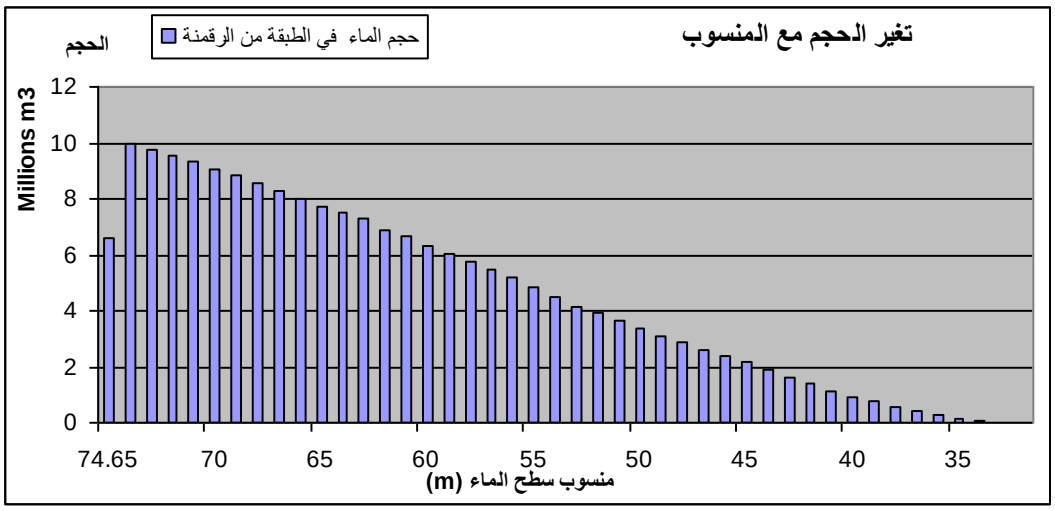
منسوب سطح الماء	حجم الماء من القاع حتى المنسوب الموافق		الفرق بين الحجمين	حجم الماء في الطبقة (1m)		الفرق في حجم الماء في كل طبقة	
	من الرقمنة	من المسح		من الرقمنة	من المسح	ترسيب	حت
m	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.
74	193,211,114	180,650,637	12,560,477	9,961,465	10,165,246		−203,781
73	183,249,649	170,485,391	12,764,258	9,754,930	9,894,670		−139,740
72	173,494,719	160,590,721	12,903,998	9,541,530	9,631,124		−89,594
71	163,953,189	150,959,597	12,993,592	9,323,654	9,355,653		−31,999
70	154,629,535	141,603,944	13,025,591	9,086,697	9,070,110	16,587	
69	145,542,838	132,533,834	13,009,004	8,833,463	8,752,809	80,654	
68	136,709,375	123,781,025	12,928,350	8,443,024	8,410,979	32,045	
67	128,133,302	115,370,046	12,763,256	8,309,974	8,050,666	259,308	
66	119,823,328	107,319,380	12,503,948	8,031,526	7,707,601	323,925	
65	111,791,802	99,611,779	12,180,023	7,746,501	7,351,543	394,958	
64	104,045,301	92,260,236	11,785,065	7,481,581	7,000,478	481,103	
63	96,563,720	85,259,758	11,303,962	7,333,254	6,727,626	605,628	
62	89,230,467	78,532,132	10,698,335	6,911,372	6,452,998	458,374	
61	82,319,095	72,079,134	10,239,961	6,646,109	6,140,420	505,689	
60	75,672,986	65,938,714	9,734,272	6,350,616	5,812,629	537,987	
59	69,322,370	60,126,085	9,196,285	6,054,030	5,280,692	773,338	
58	63,268,340	54,845,393	8,422,947	5,778,020	4,852,947	925,073	
57	57,490,319	49,992,446	7,497,873	5,493,320	4,538,641	954,679	
56	51,996,999	45,453,805	6,543,194	5,196,317	4,248,522	947,795	
55	46,800,682	41,205,283	5,595,399	4,831,393	3,991,047	840,346	
54	41,969,289	37,214,236	4,755,053	4,476,322	3,767,290	709,032	
53	37,492,968	33,446,946	4,046,022	4,169,164	3,534,875	634,289	
52	33,323,804	29,912,071	3,411,733	3,899,890	3,294,922	604,968	
51	29,423,914	26,617,149	2,806,765	3,653,806	3,045,835	607,971	
50	25,770,108	23,571,314	2,198,794	3,377,943	2,829,849	548,094	
49	22,392,165	20,741,465	1,650,700	3,099,714	2,631,651	468,063	

منسوب سطح الماء	حجم الماء من القاع حتى المنسوب الموافق		الفرق بين الحجمين	حجم الماء في الطبقة (1m)		الفرق في حجم الماء في كل طبقة	
	من الرقمنة	من المسح		من الرقمنة	من المسح	ترسيب	حت
m	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.	m^3.
48	19,292,450	18,109,814	1,182,636	2,847,281	2,423,295	423,986	
47	16,445,169	15,686,519	758,650	2,617,795	2,234,620	383,175	
46	13,827,374	13,451,899	375,475	2,412,246	2,013,887	398,359	
45	11,415,128	11,438,012	−22,884	2,160,761	1,851,071	309,690	
44	9,254,367	9,586,941	−332,574	1,885,996	1,701,898	184,098	
43	7,368,371	7,885,043	−516,672	1,633,571	1,528,408	105,163	
42	5,734,800	6,356,635	−621,835	1,386,599	1,365,705	20,894	
41	4,348,201	4,990,930	−642,729	1,147,944	1,216,731		−68,787
40	3,200,257	3,774,199	−573,942	930,185	1,078,690		−148,505
39	2,270,072	2,695,509	−425,437	758,849	942,863		−184,014
38	1,511,223	1,752,646	−241,423	591,184	780,103		−188,919
37	920,039	972,543	−52,504	431,658	577,340		−145,682
36	488,381	395,203	93,178	269,405	344,612		−75,207
35	218,976	50,591	168,385	127,066	49,331	77,735	
34	91,910	1,260	90,650	69,315	1,260	68,055	
33	22,596	0	22,596	22,580	0	22,580	
32	16	0	16	16	0	16	
Σ						13,836,705	−1,453,776

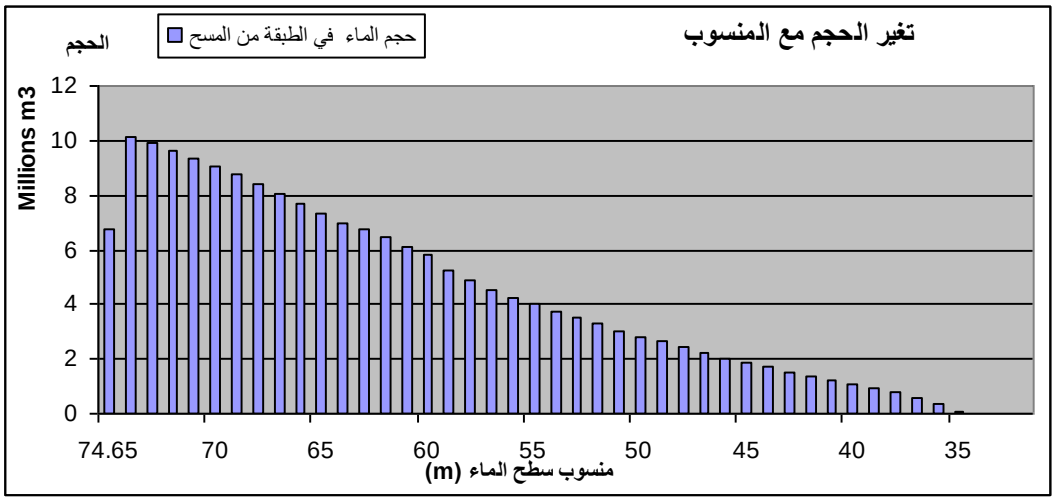
من أجل إظهار أفضل للأرقام الموجودة في الجدول سنقوم باستعراضها بشكل بياني في الأشكال التالية:



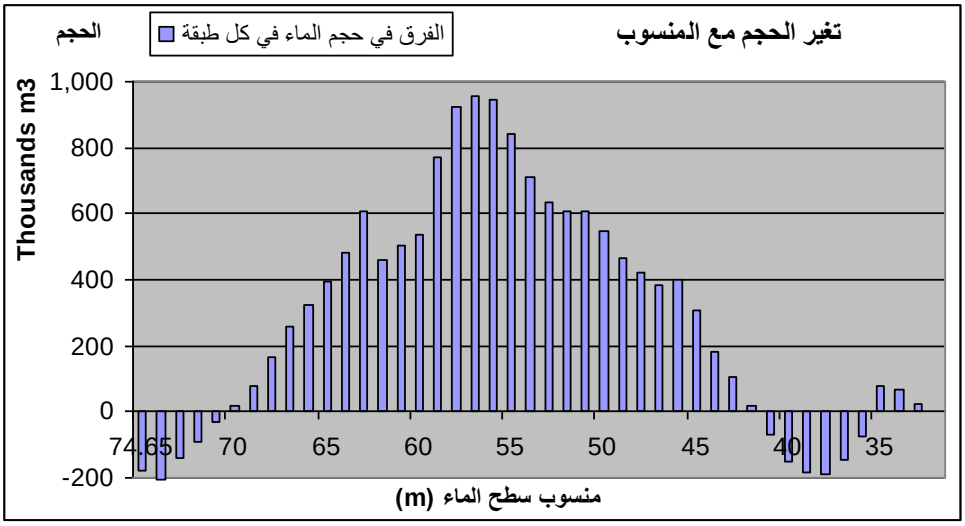
الشكل (8) الفرق في حجم المياه من القاع وحتى المنسوب الموافق بين الحالتين قبل بناء السد والحالة الراهنة



الشكل (9) حجم الماء في كل طبقة 1m ناتجة من بيانات المخططات الورقية المرقمنة



الشكل (10) حجم الماء في كل طبقة 1m ناتجة من بيانات المسح المائي الحديث

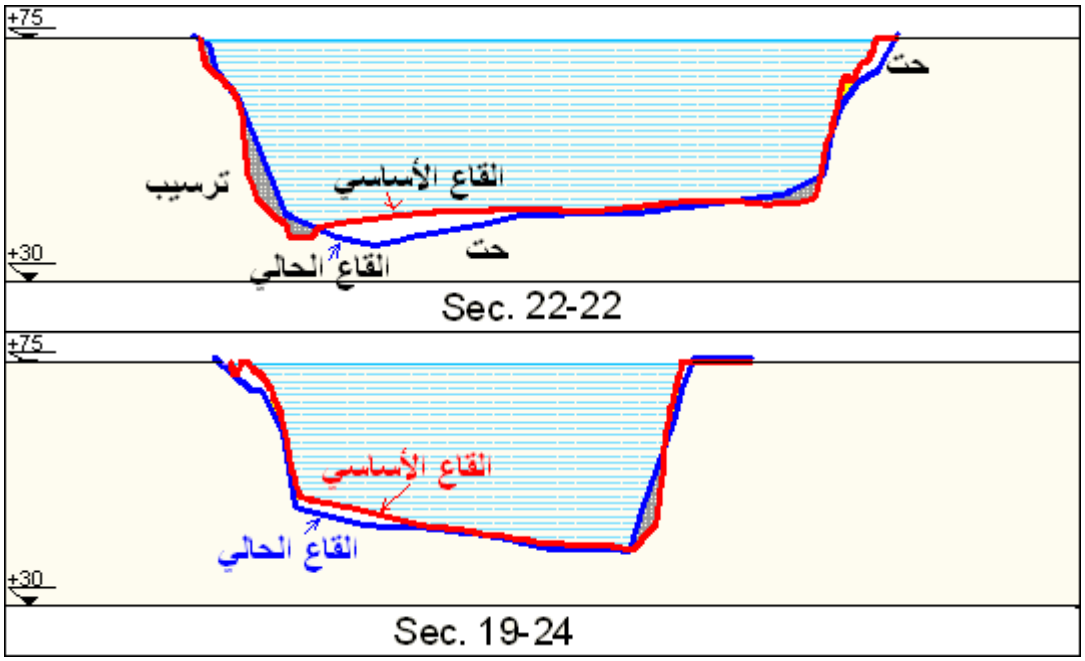


الشكل (11) الفرق في حجم الماء في كل طبقة 1m في حالتي المسح قبل تأسيس السد والحالة الراهنة

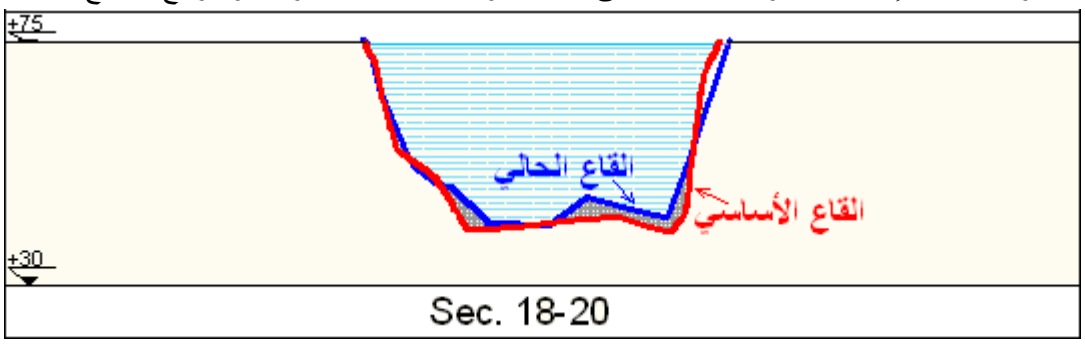
4- تحليل ومناقشة النتائج

من خلال كل ما سبق وخاصة الجدول الأخير (جدول (4)) نلاحظ أنه يوجد حت أو تغير في شكل الضفاف على مستويين مختلفين كما أنه توجد قيم ترسيب أعظمية في منسوب وسطي (المنسوب 57):

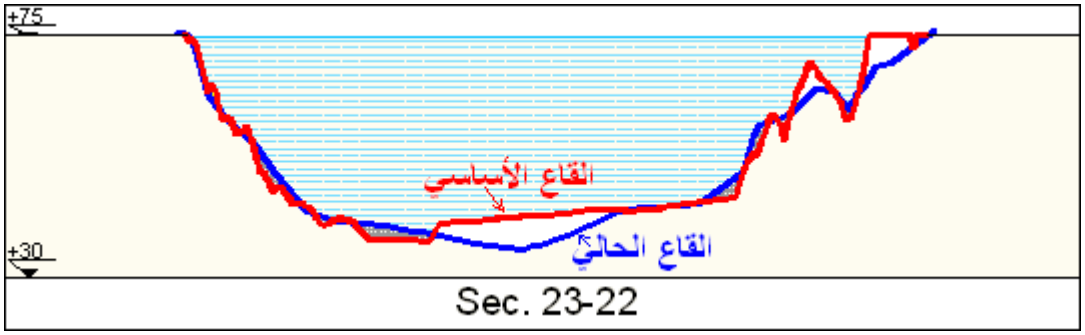
1. من خلال مقارنة قيم الفرق في حجم الماء من القاع وحتى كل منسوب بين حالتي البحيرة قبل بناء السد والحالة الراهنة من الجدول (4) (عمود الفرق بين الحجمين) وبالنظر إلى الشكل (8) حيث المخطط البياني للعمود السابق نجد أن الفرق في حجم الماء يزيد مع العمق حتى المنسوب 70m (إن الزيادة في الفرق في حجم الماء تعني أن الحجم الحالي للماء قد أصبح أكبر من الحجم السابق وهذا يعني أنه قد حدث حت أو انهيار للضفاف) راجع المقطعين العرضيين 22-22 و 19-24 (الجزء المهشر يمثل الرسوبيات) ليعود الفرق ويتناقص حتى المنسوب 41m ثم يزداد من جديد حتى المنسوب 35m ثم يتناقص أخيراً حتى القاع.



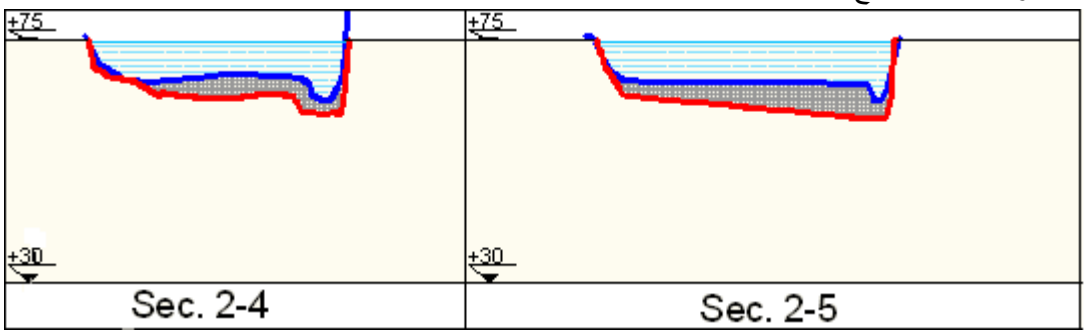
2. إن تناقص حجم التخزين في البحيرة بدءاً من المنسوب 70m وحتى المنسوب 41m يعني أن المنطقة قد تأثرت بعمليات ترسيب ناتجة إما عن انهيار الضفاف الأعلى أو عن الرسوبيات القادمة عبر النهر، راجع المقطع 18-20 .

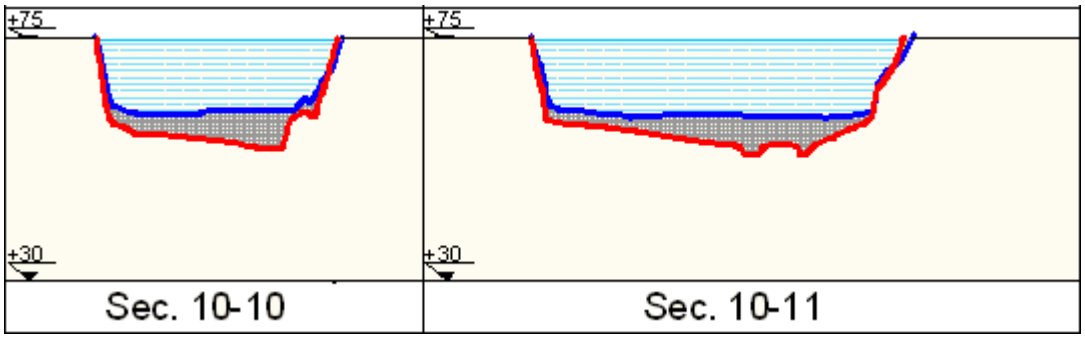


3. إن الزيادة الطفيفة في حجم التخزين من المنسوب 41m حتى المنسوب 35m نتجت عن تغيرات في موقع مجرى النهر وهو الأمر الذي ظهر لنا من خلال مقارنة مخططات المسح المائي الحديث مع المخططات الورقية للحالة قبل بناء السد كما يمكن ملاحظته بوضوح من خلال المقطع العرضي 22-23 ، كما يظهر بشكل أوضح في المقاطع الطولية.



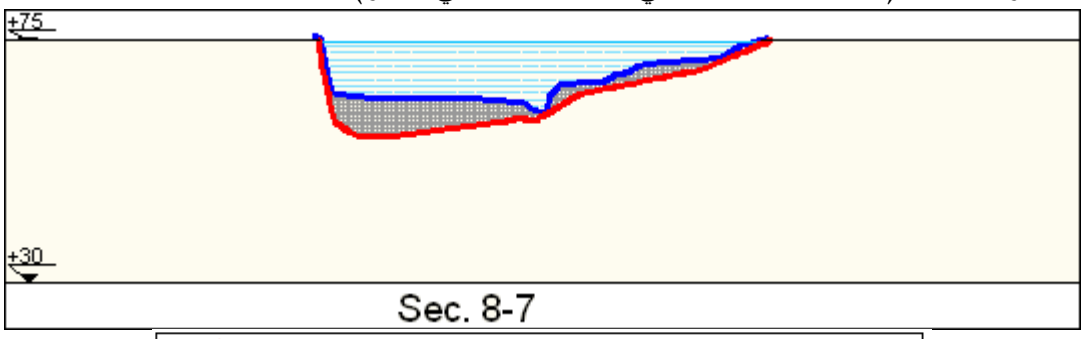
4. نلاحظ من الشكلين (9) و(10) أن حجوم المياه بين الطبقات المختلفة (1m) تتغير بنفس الشكل الانسيابي مع العمق في الحالتين، أما في الشكل (11) فنجد أن الفروق بين كل طبقتين متماثلتين تؤيد النتائج السابقة إلا أنها تبين أن الرسوبيات تزداد مع العمق حتى تصل في حدها الأعظم عند المنسوب **57m** ثم تعود لتتناقص، وبالعودة للمخططات الطبوغرافية (شكل (12)) وللمقاطع العرضية نجد أن هذا المنسوب هو منسوب الترسيب الأساسي في بداية البحيرة، لاحظ المقاطع 2-4 و 10-11 .

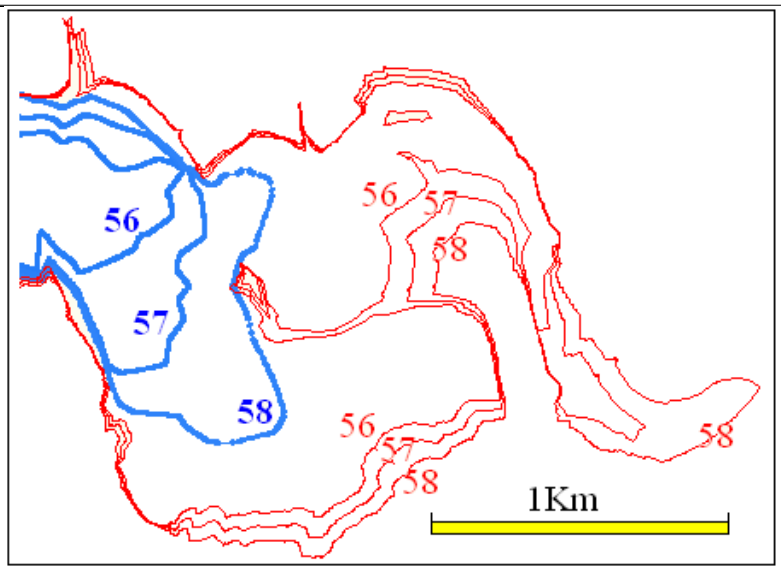




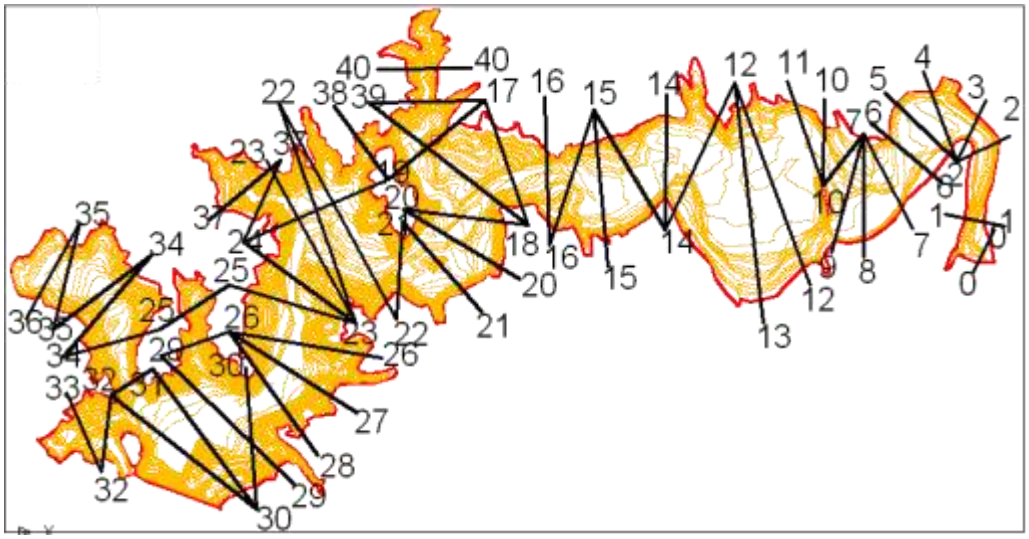
5. يُظهر الجدول (4) أن مجموع حجوم الرسوبيات في البحيرة **13,836,705m^3** وأن مجموع حجوم الحت **1,453,776m^3** فإذا أخذنا بالاعتبار أن نواتج الحت قد انزلقت نحو الطبقات الأدنى أو انساقت مع التيار ضمن البحيرة فهذا يعني أنها ستتحول إلى رسوبيات، وبالتالي فإنه يمكن حساب كميات الرسوبيات التي وردت عبر النهر بشكل عام من طرح القيمتين السابقتين فنحصل على القيمة **12,382,930m^3** وهي نفس القيمة التي حصلنا عليها في الجدول (3)

6. بدراسة المقاطع الطولية نلاحظ أن منطقة الترسيب الأساسية في القاع (مجرى النهر)، هي المنطقة الممتدة بين المقطع 3-2 والمقطع 20-20 ، لاحظ الشكل (13). أما المنطقة التي تليها وحتى جسم السد، فكميات الترسيب فيها قليلةً أو غير ملحوظة، (علماً أن هذه المنطقة هي المنطقة الأعمق في البحيرة).

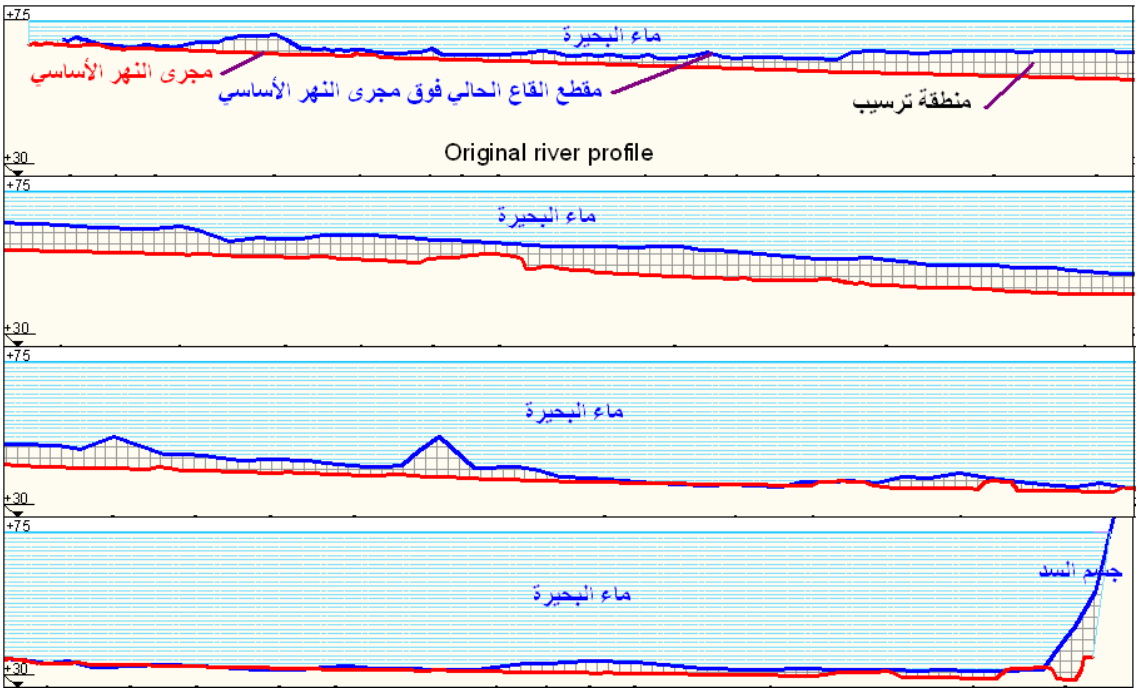




الشكل (12) منطقة الترسيب الأقصى عند المنسوب 57m : تمثل الخطوط السميكة خطوط التسوية للمسح الحالي أما الخطوط الرفيعة فتمثل خطوط تسويةة المسح الناتجة من المخططات الورقية قبل إنشاء السد



الشكل (13) مواقع خطوط المقاطع العرضية



الشكل (14) مقطع طولي في البحيرة مُقَسَّم إلى أربع أقسام

الاستنتاجات والتوصيات

1. حدثت تغيرات في ضفاف وقاع بحيرة السد وهذه التغيرات ليست ثابتة لا في المستوي الأفقي ولا في المستوي الشاقولي، ففي حين أنها تبدو بوضوح في بعض الأماكن فإنها تختفي أو تظهر بشكل عكسي في أماكن أخرى مشابهة.
2. بشكل عام ظهر لدينا وجود حت أو انهيار للضفاف من سطح الماء (المنسوب 75m) حتى المنسوب 70m وصلت قيمته لحوالي $640{,}000 m^3$
3. المنطقة التي تأثرت بالترسيب في البحيرة هي بين المنسوب 70m والمنسوب 41m ، قسم منه ناتج عن انهيار الضفاف الأعلى وقسم جاء عبر النهر.

4. تزداد قيم الرسوبيات لتبلغ قيمتها القصوى عند المنسوب 57m وخاصة في منطقة بداية البحيرة.

5. أظهرت الدراسة أن منطقة الترسيب الأساسية في القاع (مجرى النهر) هي المنطقة الممتدة بين المقطع 3-2 والمقطع 20-20 ، وهي تعادل النصف الأول من البحيرة تقريباً، أما المنطقة التي تليها وحتى جسم السد، فكميات الترسيب فيها قليلةً أو غير ملحوظة.

6. أظهرت الدراسة أن حجم الخزين الحالي من المياه للمنطقة المدروسة تبلغ **$187,416,416m^3$** مقابل الحجم لنفس المنطقة قبل بناء السد **$199,799,345m^3$** .

7. بلغ مجموع حجوم الرسوبيات في البحيرة **$13,836,705m^3$** وأن مجموع حجوم الحت **$1,453,776m^3$** حيث بلغت كميات الرسوبيات التي وردت عبر النهر القيمة **$12,382,930m^3$** .

اعتماداً على ما سبق فإننا نوصي بما يلي:

1. إعادة مسح منطقة البحيرة وفق التواتر الزمني المعتمد من أصحاب الاختصاص والقرار لمتابعة التغيرات في حجم التخزين وبالتالي محاولة إيجاد نزعة هذه التغيرات بغية تقدير العمر الحقيقي للسد.

2. يطلب من الجهات ذات العلاقة العمل على تنظيف مجاري الأنهار في المناطق التي تشكل جزءاً من بحيرات السدود (أو ضفافها على الأقل) بما لا يؤثر على المنشآت أو الأملاك المجاورة ودرءاً للفيضان، خاصة وأن هذه المناطق تشكل مناطق ترسيب أساسية، كما يرجى تأمين طرق صالحة للوصول إلى البحيرة لان قسماً كبيراً من الكلفة والجهد والوقت قد هُدر في سبيل الوصول إلى مناطق المسح

3. أرشفة كافة المخططات الورقية حتى القديمة منها بشكل رقمي من خلال مسحها بالماسح الضوئي (scanner) قبل فوات الأوان، وفي حال توفر الوقت والكادر الفني المختص إرجاعها ورقمنتها لتواكب التطور التقي الحديث، ويجب حفظ ذلك الأرشيف الرقمي سواء في المديريات المحلية المختصة أو حتى على مستويات أعلى وصولاً للوزارات ذات الصلة.

المراجع

[1] الأنصاري، نظير؛ شنطاوي، أمجد – *السعة الخزنية الحالية لخزان سد شرحبيل بن حسنة* – االمنارة، المجلد 12، العدد 2، 2006.

[2]- FERRARI, R – *Lake Livingston 1991 Sedimentation survey*. Technical report, Bureau of Reclamation, Denver office, Colorado, U. S. A, 1992, *45p*

[3]- FERRARI, R. & COLLINS, K. - Erosion and sedimentation manual, Government Printing Office, 2006, ISBN 0160776287, Chapter 9 Reservoir Survey and Data Analysis, 66p

[4] ZARRIS, D. & LYKOUDI, E. - *Comparative analysis of different reservoir surveying methodologies for the optimum volumetric computation of fluvial sediment deposits*. IOSR Journal of applied geology and geophysics, Vol. 5 Issue 3, may,2017 pp 75-80.

[5] RAUSCH, D. L. AND HEINEMANN, H. *G.- Reservoir Sedimentation Survey Methods*. RESEARCH BULLETIN, UNIVERSITY OF MISSOURI COLLEGE OF AGRICULTURE U. S. A. Vol. 939, 5, 1968.