

Prediction of Sediments Distribution in Dam 16 Tishreen Using Empirical Methods

Dr. Mounzer Ali Hammad*

(Received 9 / 4 / 2019. Accepted 1 / 7 / 2019)

□ ABSTRACT □

Prediction of sediments distribution in reservoirs is an important issue for dam designers to determine the reservoir active storage capacity. Methods proposed to calculate sediment distribution are varied, and mainly empirical. Among all the methods currently available, only area-reduction and area-increment methods considered as the principal methods for prediction of sediment distribution.

In the research, aims to study the sediments distribution in 16-Tisreen reservoir dam situated in Syria, Lattakia investigated through empirical methods of area-increment and reduction. In order to perform calculations, primary area-volume-height data of reservoir and information obtained through hydrography in years following exploitation used. Using both methods, sedimentations in reservoir calculated and compared to actual values obtained of hydrography in year 2018. Results showed that, area-reduction method by error decrease of 2 percent is preferred to area-increment method regarding 16-Tishreen reservoir dam. Afterwards, parameters used in area-reduction (C, m, n) were calibrated and this method was optimized to about 33 percent. Eventually and upon the base of calibrated parameters, sediments distribution predicted for coming 20 and 70 years, which corresponds to first 50 and 100 years of dam operation phase.

Keywords: Dams Sedimentations, Area- Reduction empirical method, Storage capacity decrease, 16 October dam.

* Associated Professor, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
mounzer.hammad@gmail.com

النتبؤ عن توزع الرواسب في سد 16 تشرين بالطرائق التجريبية

د. منذر علي حماد*

تاريخ الإيداع 9 / 4 / 2019. قُبِلَ للنشر في 1 / 7 / 2019

□ ملخص □

يعد التنبؤ بتوزيع الرواسب في الخزانات مسألة مهمة لمصممي السدود لتحديد سعة التخزين الفعالة لبحيراتها، وعلى الرغم من تنوع الأساليب المقترحة لحساب توزيع الرواسب، التي هي في الغالب تجريبية، تعتبر طرائق تناقص وتزايد المساحة هي الطرائق الأساسية للتنبؤ بتوزيع الرواسب، من بين جميع الطرائق المتاحة حالياً. تم في هذا البحث، دراسة توزيع الرواسب في بحيرة سد 16 تشرين في سورية، محافظة اللاذقية اعتماداً على الطرائق التجريبية (تزايد وتناقص المساحة). حيث استخدمنا البيانات الأولية عن المنسوب-مساحة والمنسوب-استطاعة تخزين للبحيرة والمعلومات التي تم الحصول عليها من خلال الهيدروغرافيا في السنوات التي تلت الاستثمار، عند إجراء العمليات الحسابية. اعتماداً على كلتا الطريقتين، تم حساب الترسيب في البحيرة ومقارنته بالقيم الفعلية التي تم الحصول عليها من المسح الهيدروغرافي في عام 2018. فأظهرت النتائج أن طريقة تناقص المساحة أفضل من طريقة تزايد المساحة بالنسبة لبحيرة سد 16-تشرين، إذ قللت الخطأ بنسبة 2 في المائة. بعد ذلك، تمت معايرة البارامترات المستخدمة في طريقة تناقص المساحة (n ، m،c) فتحسنت نتائجها بحوالي 33 بالمائة. في النهاية وعلى أساس بارامترات المعايرة، تم التنبؤ عن الكيفية المتوقعة لتوزيع الرواسب في البحيرة خلال العشرين والسبعين سنة القادمة، أي بعد انقضاء 50 و100 سنة على دخول السد في الاستثمار.

الكلمات المفتاحية: رسوبيات السدود، طريقة تناقص المساحة التجريبية، تناقص استطاعة التخزين، سد 16 تشرين.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية
mounzer.hammad@gmail.com

مقدمة:

تقوم السدود المبنية على المجاري المائية بتخزين المياه القادمة المحملة بالرواسب المكونة أساساً من الرمل، السيلت، الحصى وربما الركام بأقطار أكبر، وبتخفيض سرعة الماء المتدفق والسماح بالتالي لجزيئات الرواسب المنقولة تبعاً لتركيبتها الحبي، لشكل البحيرة، مدة المكوث في السد وطريقة استثماره، بالاستقرار في قاع بحيرة السد المتشكلة وعلى مناسيب مختلفة. تدعى هذه الظاهرة، التي تسبب التخفيض التدريجي لاستطاعة تخزين السد، بترسيبات الخزان (Reservoir Sedimentation)، تتم دراسة هذه المشكلة في مرحلة تصميم السد عن طريق التنبؤ بالترسيبات المستقبلية، وقد تساهم الإدارة الجيدة لاستثمار السد بتفادي الأثار السلبية للترسيب على استطاعته التخزينية. [1،2،3،4]. يعتبر التنبؤ عن توزع الرواسب في البحيرات التخزينية مسألة مهمة بالنسبة للمصممين، عند تحديد استطاعة التخزين الفعالة، منسوب المآخذ المائي، المرافق الترفيحية واستقرار السد. تسمح معرفة كيفية توزع الرواسب والتنبؤ بها، باتخاذ القرار الأمثل المتعلق باستثمار السد وكذلك اتخاذ أفضل القرارات المتعلقة بالمشاكل الناتجة عن الرسوبيات بتقنة أكبر. إن استقرار الرسوبيات في خزانات السدود لا يكون بصورة منتظمة، حيث تبين من الأبحاث المنفذة على العديد من السدود بأن الرسوبيات تتركز غالباً في الجزء الأعلى من بحيرة السد حيث لا يتجاوز عمق الماء (20-30) % من عمق الماء الأعظمي في الخزان، بسبب الاستقرار المعقد وغير المنتظم لجزيئات الرواسب الخشنة. تم تطوير العديد من النظريات للتنبؤ بتوزع الرسوبيات في المناطق المختلفة من الخزانات. وتستند هذه الطرائق على النماذج الرياضية، التي تقترح طرائق تجريبية ونصف تجريبية أو تستند على صنع نماذج مخبرية، والتي تستخدم فقط عند الحاجة لدقة عالية نظراً لكونها غالبية الثمن وتحتاج لزمناً طويلاً لتنفيذها، بالإضافة لكونها محدودة. أيضاً، تتطلب النماذج الرياضية العديد من البارامترات والتي يصعب قياس الكثير منها في الخزانات، أو لا يمكن قياسها بدقة، مع أنها تمتاز بدقة عالية عند توفرها. يتم حالياً استخدام العديد من الطرائق التجريبية لمعرفة كيفية توزع الرسوبيات في خزانات السدود [5،6،7،8]. تعتبر طريقتا تزايد وتناقص المساحة، المطورة من الباحث بورلاند وميلر (Borland Miller (1958)، الأكثر استخداماً. أساس كل من الطريقتين هو تعديل المسح الأولي للخزان بسبب توزع الرواسب. تفترض الطريقة الأولى بأن تناقص مساحة سطح الماء عند أي عمق فوق العمق الصفري الجديد يكون ثابتاً، وهذا يعني أن كمية مكافئة من الرسوبيات سوف تترسب عند كل زيادة في عمق الخزان. تستخدم طريقة تناقص المساحة بشكل أكبر للتنبؤ بتأثير الرسوبيات المتراكمة في الخزانات أو التغير في منحنيات المساحة-منسوب-استطاعة (AEC) مع رسوبيات الخزان. تركز هذه التقانة على تعديل مساحة سطح الماء فوق العمق الصفري إلى مساحة جديدة تبعاً للترسيب الحاصل، الذي يعكس العلاقة ما بين تخفيض مساحة سطح الماء، معدل الترسيب وخصائص الخزان. تصنف الخزانات هنا إلى أربع فئات اعتماداً على عامل الشكل للخزان (M) الجدول (1)، الذي يمثل مقلوب ميل الخط المستقيم الممثل للعلاقة بين عمق الخزان عند موقع السد (المحور Y) واستطاعة التخزين (المحور X) بمقياس لوغاريتمي. مع العلم أن تغير عامل الشكل للخزان ليس خطياً مع الزمن، ويعتمد بشكل أساسي على العديد من العوامل المتضمنة، ميزات، عمر، ونمط تشغيل الخزان.

ومن الطرائق التجريبية أيضاً طريقة تزايد المساحة، التي اقترحت من قبل كري ستيفانو (Christiphano) في 1953. يعتمد مبدأ هذه الطريقة في التنبؤ بالرواسب المتوضعة في الخزانات على حساب التناقص في المساحة عند كل ارتفاع،

الحاصل نتيجة تراكم كمية محددة من الرواسب. ونفترض هذه الطريقة أن توزع الرواسب منتظم عند الارتفاعات الواقعة فوق المنسوب الصفري [9،10،11،12].

الجدول 1. تصنيف الخزانات تبعاً لعامل الشكل.

رقم التصنيف	نوع الخزان	البارامتر (M)
1	بحيرة	>3.5
2	منطقة تلية، سهل فيضان	2.4-3.5
3	منطقة مرتفعات	1.5-2.4
4	ممر ضيق	1.0-1.5

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى التنبؤ بتوزيع الرواسب المتجمعة في بحيرة سد 16 تشرين منذ دخوله في الاستثمار وحتى العام 2018م باستخدام طريقتي تناقص وتزايد المساحة التجريبتين ومعايرة دقة كل منهما، لاختيار الطريقة الأفضل للاستخدامات اللاحقة، من خلال مقارنة النتائج مع المسح الطبوغرافي لقاع البحيرة الذي أنجز في بداية عام 2018م.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على الأعمال المكتبية بشكل رئيسي، ومعالجتها باستخدام البرامج الحاسوبية المناسبة حيث تم الحصول على خريطة طبوغرافية لموقع البحيرة قبل إنشاء السد موضحة على الشكل (1) [13].



الشكل (1). مخطط طبوغرافي لبحيرة السد قبل الإنشاء [13].

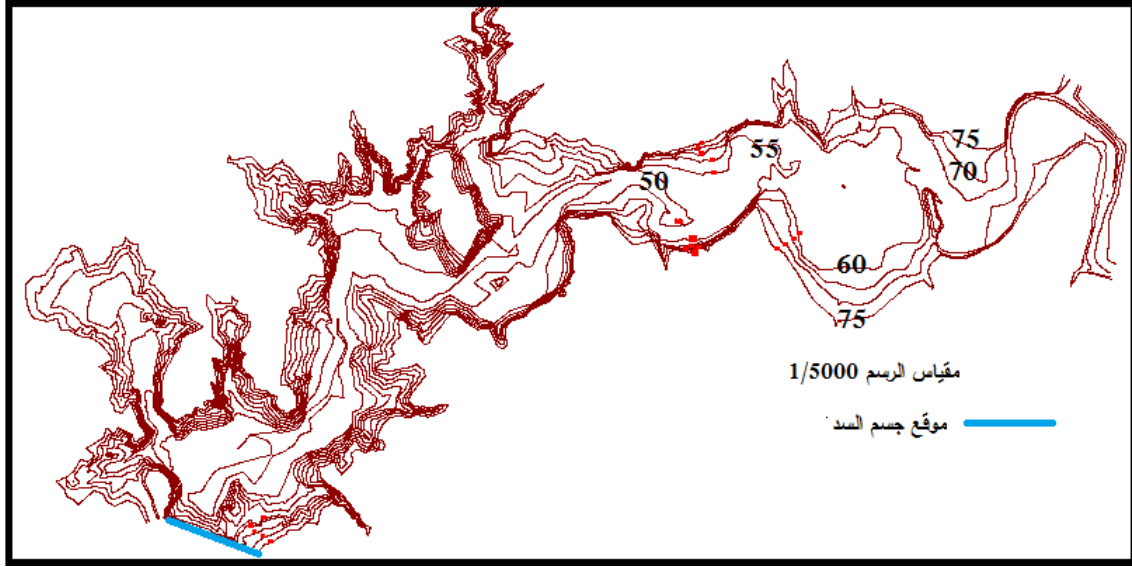
كما حصلنا على معلومات عن هيدرولوجية الموقع وعن هوية السد وطريقة استثماره موضحة في الجدول (2).

الجدول (2). المعلومات الأساسية لسد 16 تشرين [13].

1	نوع السد: ترابي ركامي	العرض الوسطي للبحيرة: /1/ كم
2	طول قمة السد: 915 م	مساحة الحوض الصباب: 1096 كيلو متر مربع
3	عرض قمة السد: 12 م	منسوب قمة السد: 81.35 م
4	الارتفاع الأعظمي: 52 م	منسوب التخزين الطبيعي: 74.65 م
5	عرض قاعدة السد: 245 م	منسوب التخزين الأعظمي: 78.4 م
6	منسوب المياه المسموح خلف جسم السد : 37.5 م	مساحة البحيرة: 11.2 كيلو متر مربع عند المنسوب 74.65 م
7	حجم التخزين الكلي: 210 م ³	طول البحيرة 11.2 كم
8	حجم المفيد: 130 م ³	معدل الهطول المطري: 1000 مم تقريباً
9	الحجم الميت: 80 م ³	تاريخ الانجاز 1986 م
10	المساحة المروية من السد: 19894 هكتار	متوسط الجريان السنوي: 325 مليون م ³
11	بدء الاستثمار: 87-88	منسوب قمة النواة الغضارية +79

تم تحديد كمية الرسوبيات الداخلة للبحيرة من خلال قياسات العكارة المحمولة مع مياه الفيضان والمنقولة للبحيرة، بعد اعتبار الرسوبيات المتدرجة على القاع معادلة لـ 20% من الرسوبيات العالقة، فكانت كمية الرسوبيات المنقولة عبر نهر الكبير الشمالي وروافده المترسبة على قاع البحيرة تعادل 13649734 ton خلال فترة استثمار (31) سنة أي 440314 ton سنوياً منها 65800 ton من نهر زغارو [14]. ولدينا الوزن الحجمي للرواسب من دراسات سابقة يعادل 1.1 t/m^3 وبالتالي يكون الحجم الاجمالي للرسوبيات المتراكمة في البحيرة 12408849 متر مكعب [14،15].

كما حصلنا على الخريطة الطبوغرافية لمنطقة البحيرة الناتجة عن المسح الطبوغرافي الذي نفذ من قبل فريق علمي متخصص عام 2018 م [16] وهي مبينة في الشكل (2).

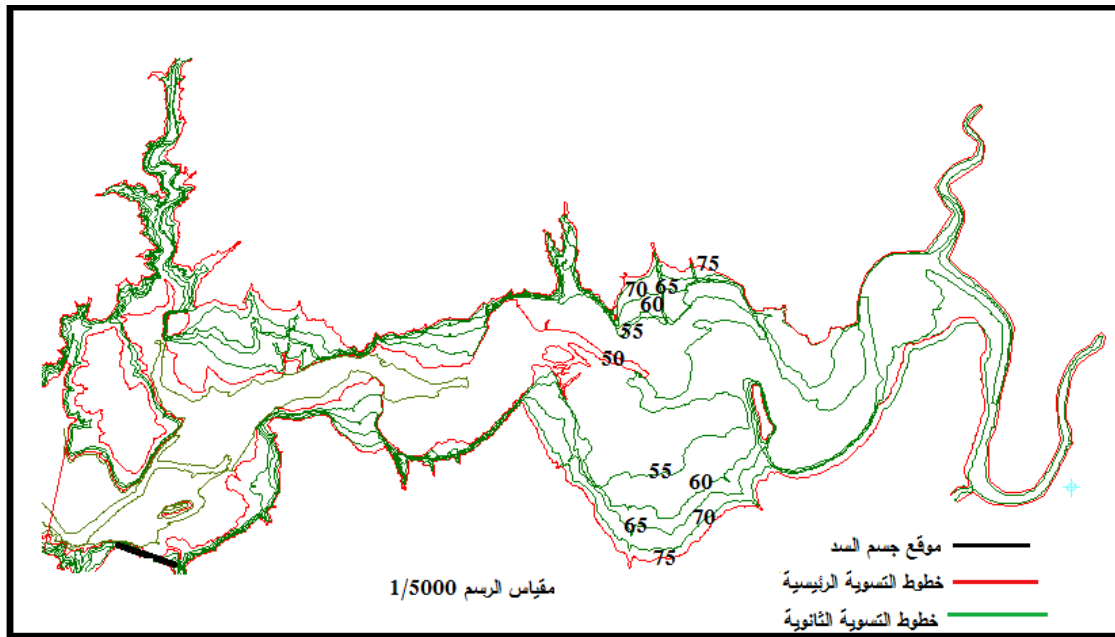


الشكل(2). خطوط التسوية الرئيسية بخطوة 5m الناتجة من المسح الطبوغرافي عام 2018.

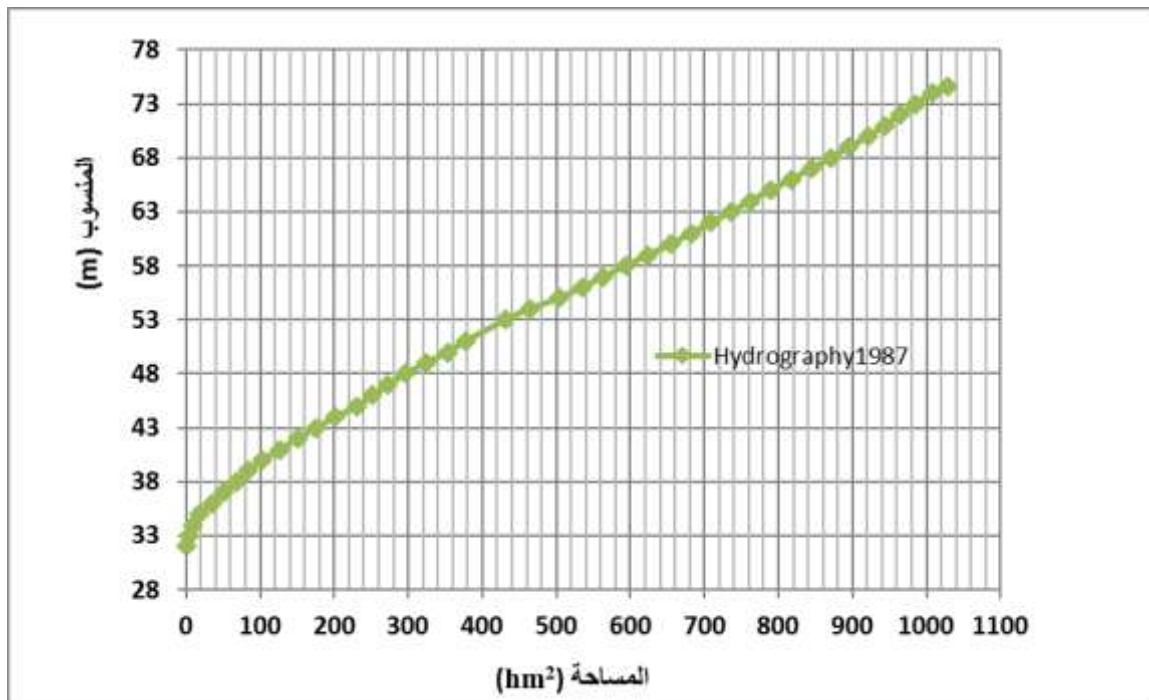
- تمت الاستعانة بالبرامج التالية (Mat lab, GIS , AutoCAD, Civil 3D, Excel).

النتائج والمناقشة:

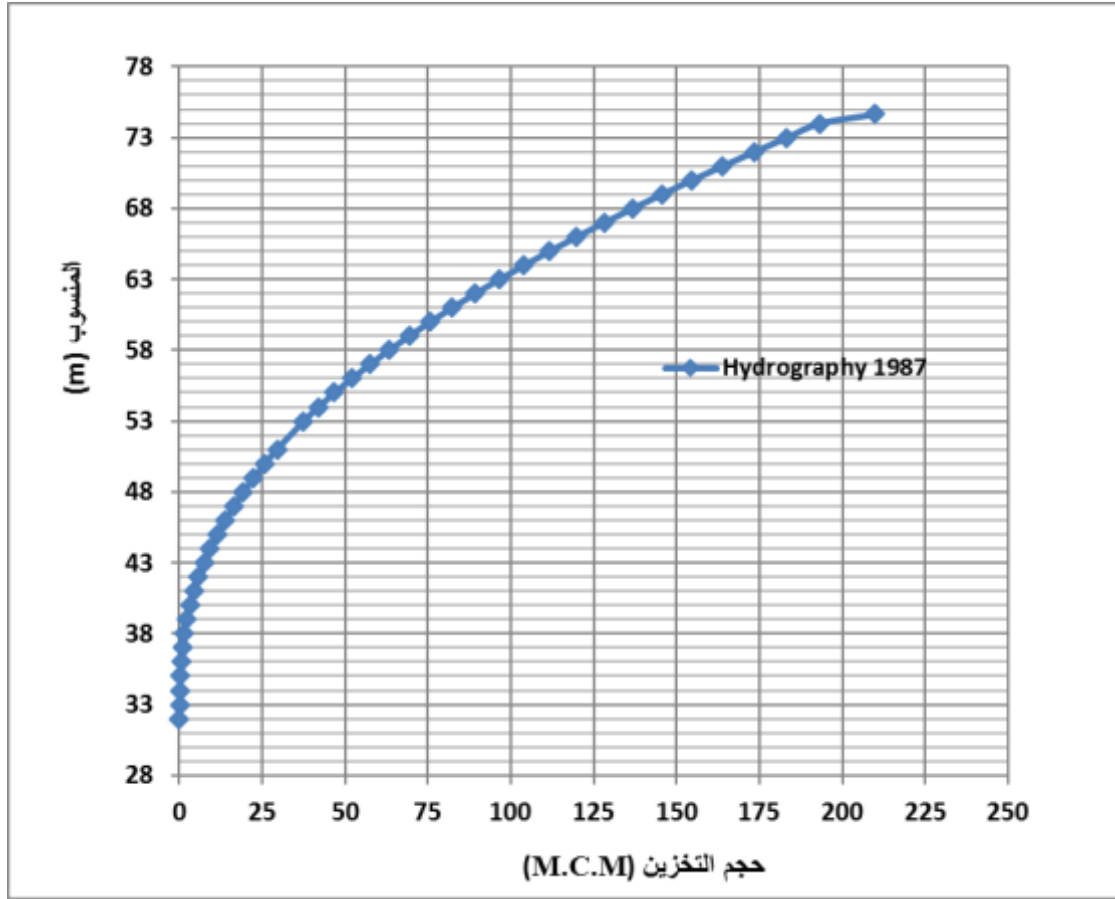
بعد جمع البيانات الحقلية، ومعالجتها مكتبياً، والتحقق من دقتها، تم إنشاء مخطط طبوغرافي جديد لقاع البحيرة في مرحلة التصميم باستخدام البرامج الهندسية المناسبة موضح في الشكل (3)، للاعتماد عليه في حساب مساحات التخزين وحجمه عند كل منسوب من مناسيب التخزين في البحيرة ورسم المنحنيات المميزة لبحيرة السد المبينة في الشكلين (4،5)، والتي تستخدم في التنبؤ عن كمية الرواسب المتوضعة في منطقة التخزين الميت وتلك الموزعة في مناطق مختلفة من البحيرة لتقدير فواقد المخزون الفعال.



الشكل (3). مخطط طبوغرافي لمنطقة الدراسة قبل الإنشاء بعد إجراء عملية الرقمنة.

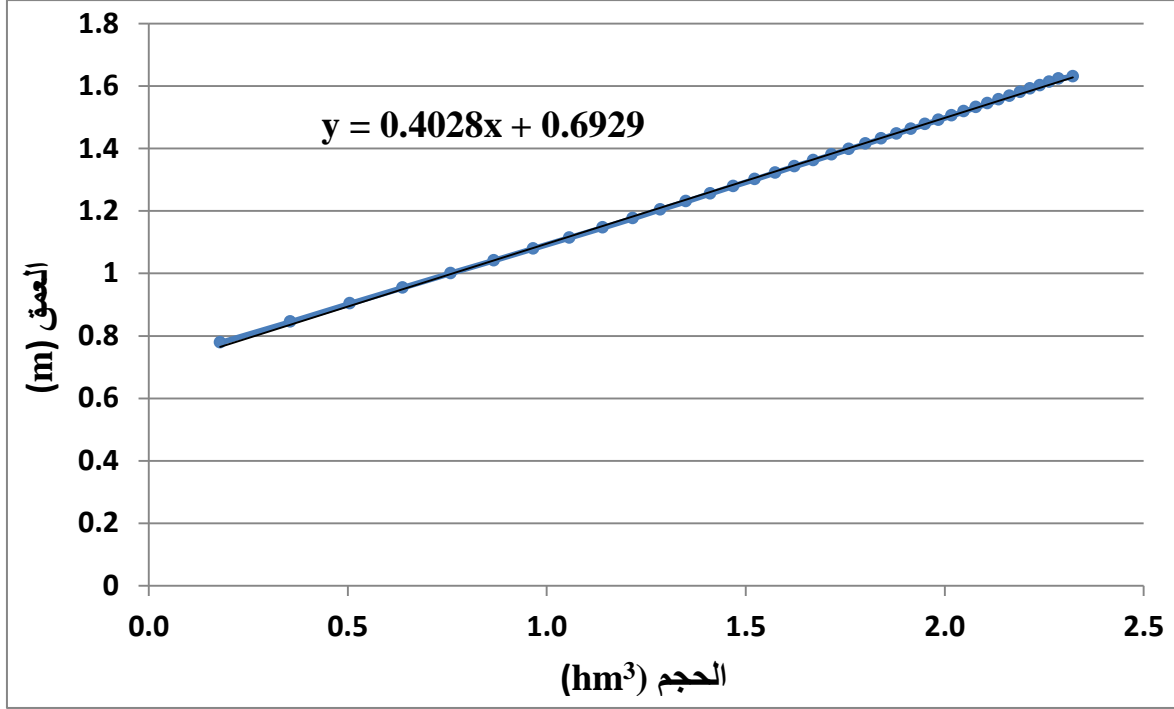


الشكل (4). المنحني المميز التصميمي (المساحة-المنسوب) لبحيرة سد 16 تشرين.



الشكل (5). المنحني المميز التصميمي (حجم التخزين-المنسوب) لبحيرة سد 16 تشرين.

لتحديد توزيع الرسوبيات بطريقة تناقص المساحة يجب اتباع الخطوات التالية:
 الخطوة الأولى First step: تحديد نوع الخزان بالاعتماد على معامل الشكل M ، وهو أفضل تمثيل تخطيطي لارتفاع الخزان مع استطاعة التخزين على ورقة لوغاريتمية حيث يمثل المحور الشاقولي العمق والمحور الأفقي يمثل الحجم، موضح في الشكل (6). حيث نجد أن $M = 1/0.4028 \approx 2.5$ فيكون الخزان من النوع الثاني حسب الجدول (1).



الشكل (6) المنحني المميز (حجم تخزين-عمق) بمقياس لوغاريتمي

الخطوة الثانية Second step: تحديد قيم مختلفة للعمق النسبي P . يتم حساب العمق النسبي من خلال تقسيم عمق الخزان عند المستوى المحدد على عمق الخزان عند منسوب التخزين الطبيعي.

الخطوة الثالثة Third step: يتم حساب المساحة النسبية للرسوبيات (a_p) من خلال استبدال القيم المختلفة p بالعمق النسبي في المعادلة المتعلقة بنوع الخزان باستخدام المعادلات التالية

$$S = \int_0^{Y_0} A dy + \int_{Y_0}^H K a_p dy \quad (1)$$

$$K = \frac{A}{a_0} \quad (2)$$

$$a_p = c \cdot P^m (1 - P)^n \quad (3)$$

حيث أن:

S : الحجم الكلي للرواسب المتجمعة في الخزان.

H : العمق الأولي للخزان.

Y_0 : عمق الرسوبيات خلف السد.

A : منسوب الخزان عند مستويات مختلفة.

dy : مكونات الارتفاع.

K: استخدام معامل النسبية Coefficient proportionality ، عندها تتحول الرسوبيات المرتبطة بالمساحة لمساحة فعلية ويتم تعريف صفر جديد.

A_0 : هي مساحة الخزان عند ارتفاع h_0 (مرحلة التصميم).

a_0 : المساحة النسبية للرسوبيات عند ارتفاع صفري جديد. تحسب المساحة النسبية من خلال العلاقة (3).

حيث أن n, m, c هي معاملات ثابتة والتي تحدد تبعاً لنوع وتصنيف السد. وهي قيم معدلة لطريقة Borland and Miller. تعتبر أكثر ملائمة لتحسين القيم لكل خزان [17,18,19]، حيث نحصل على قيم المعاملات المناسبة لبحيرة سد 16 تشرين تبعاً لنوع الخزان المحدد في الخطوة الأولى اعتماداً على الجدول (3) حسب طريقة موللر-بيتر المعدلة، وهي ($C=2.487, n=0.41, m=0.57$).

الجدول (3) القيم المعدلة لنوع الخزان بطريقة بورلاند-ميللر.

تصنيف الخزان	c	M	N	مكان تخزين الرسوبيات
1	5.074	1.85	0.3	القمة
2	2.487	0.57	0.41	النصف العلوي من السد
3	16.967	-1.15	2.32	النصف السفلي من السد
4	1.486	-0.25	1.34	القاع

الخطوة الرابعة Fourth step:

باستخدام المنحنى المميز للخزان استطاعة التخزين-العمق، يتم تحديد حجم الرسوبيات تحت المستوى الصفري للخزان وبعد ذلك، يقدر حجم الرسوبيات في أعماق مختلفة. تسمى هذه الطريقة طريقة التجربة والخطأ فإذا كان حجم الرسوبيات الناتج يختلف كثيراً عن الرسوبيات الداخلة للبحيرة، ينبغي تعديل معامل التناسب proportionality coefficient مرة أخرى.

$$K_2 = K_1(S/S_1) \quad (4)$$

حيث أن:

K_1 و K_2 معامل التناسب السابق واللاحق على التوالي.

S_1 الحجم التراكمي للرسوبيات.

عندها تحسب سعة التخزين بين ارتفاعين بواسطة صيغة شبه المنحرف Trapezoidal formula:

$$V = h(A_1 + A_2)/2 \quad (5)$$

V : حجم الرسوبيات.

A_1, A_2 : مساحة الرسوبيات في المقطعين.

h : الارتفاع الوسطي (m).

والحصول مجدداً على المنحني المميز للتخزين.

طريقة تزايد المساحة Area-increment method

يتم حساب حجم الرسوبيات في هذه الطريقة كما يلي:

$$V_s = A_0(H - h_0) + V_0 \quad (6)$$

حيث أن:

V_s : الحجم الإجمالي للرسوبيات بالهكتو متر المكعب عن المدة المدروسة.

A_0 : معامل تصحيح المساحة بالكيلو متر المربع وتساوي مساحة الخزان عند المنسوب الصفري الجديد h_0 .

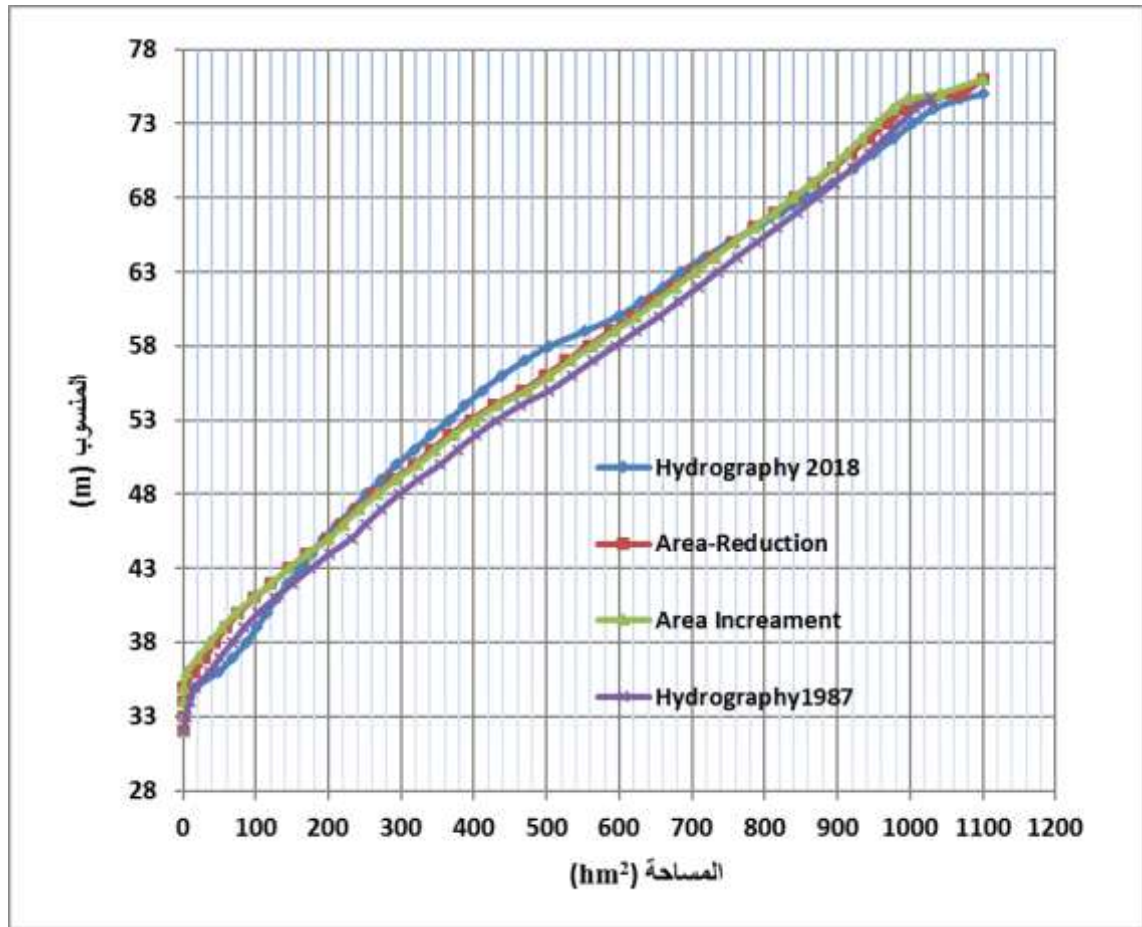
V_0 : حجم الرسوبيات أسفل المنسوب الصفري الجديد بالهكتو متر المكعب.

H : ارتفاع التخزين من أعماق نقطة حتى منسوب التخزين بالمتري.

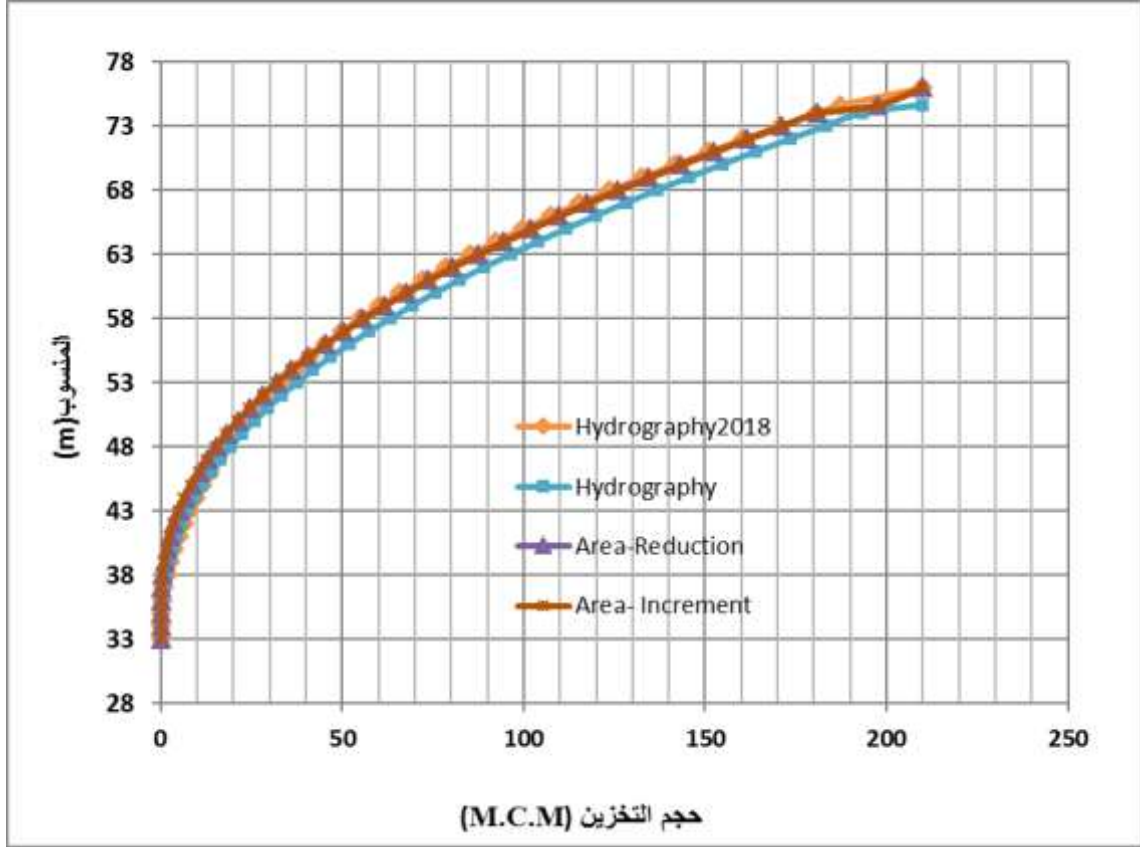
h_0 : ارتفاع جزء الخزان المملوء بالرسوبيات عند الرقم الصفري الجديد بالمتري.

في هذه الطريقة يجب أولاً تقدير المنسوب الصفري الجديد h_0 ، واعتماداً عليه نحدد قيم A_0, V_0 من المنحنيات المميزة التصميمية للسد (منحني المساحة - منسوب ومنحني الحجم - منسوب) أو من الجداول العائدة لهذه المنحنيات. ثم، كما في علاقة زيادة المساحة، يتم حساب الحجم الإجمالي للرواسب المتوضعة في البحيرة ومقارنته بالحجم الإجمالي المتوقع عند التصميم. يكون التقدير الأولي للمنسوب الصفري الجديد المعتمد h_0 صحيحاً، عندما تتحقق المساواة بين حجم الرواسب التصميمي وحجم الرواسب المحسوب بالعلاقة السابقة بدقة 99%، وإلا، يتم إعادة اختيار قيمة h_0 الارتفاع الصفري الجديد وينكرر الإجراء كله حتى تتم المساواة بين الحجمين بالدقة المطلوبة. [21,20].

اعتماداً على الشكل (3) تم رسم المنحنيات المميزة لبحيرة السد (مساحة - منسوب) بنتيجة مسح 2018 م ومقارنتها مع تلك المتنبأ بها بطريقتي تناقص وتزايد المساحة ومع المنحنيات المميزة التصميمية 1987 م كما هو موضح في الشكل (7)، بينما يوضح الشكل (8) الاختلاف بين منحنيات (حجم - منسوب) المتنبأ بها وتلك المرسومة اعتماداً على مسح 2018 م.



الشكل (7). المنحنيات المتنبة بها المساحة - منسوب بطريقتي تناقص وتزايد المساحة ومسح عام 2018 مقارنة مع المسح التصميمي 1987.



الشكل (8). المنحنيات المتنبأ بها لحجم التخزين - منسوب بطريقتي تناقص وتزايد المساحة مع مسح عام 2018 مقارنة مع المنحني التصميمي 1987.

حيث تبين لدينا اعتمادا على المنحنيات المميزة المحسوبة من المسح الطبوغرافي لقاع البحيرة في بداية عام 2018م أن كمية الرسوبيات الصافية المتجمعة في بحيرة السد تعادل $13,836,705\text{m}^3$. بعد ذلك، تمت مقارنة قيم حجوم التخزين المتنبأ بها بكلتا الطريقتين التجريبتين مع قيم الحجوم المحسوبة من المسح الطبوغرافي المنفذ، وتم حساب معدل الخطأ والانحراف المعياري وفق العلاقة التالية:

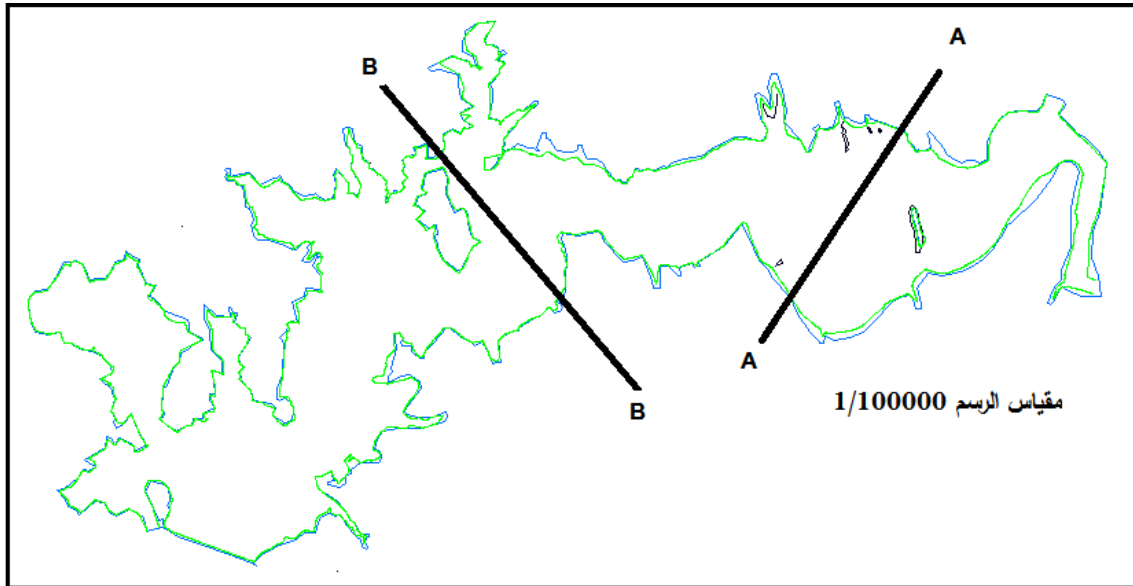
$$e = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2} \quad (7)$$

حيث أن: V_i و \bar{V}_i الحجم الفعلي الناتج من المسح الجديد والحجم المتنبأ به للخران عند المناسيب المختلفة، e معدل الخطأ و σ الانحراف المعياري:

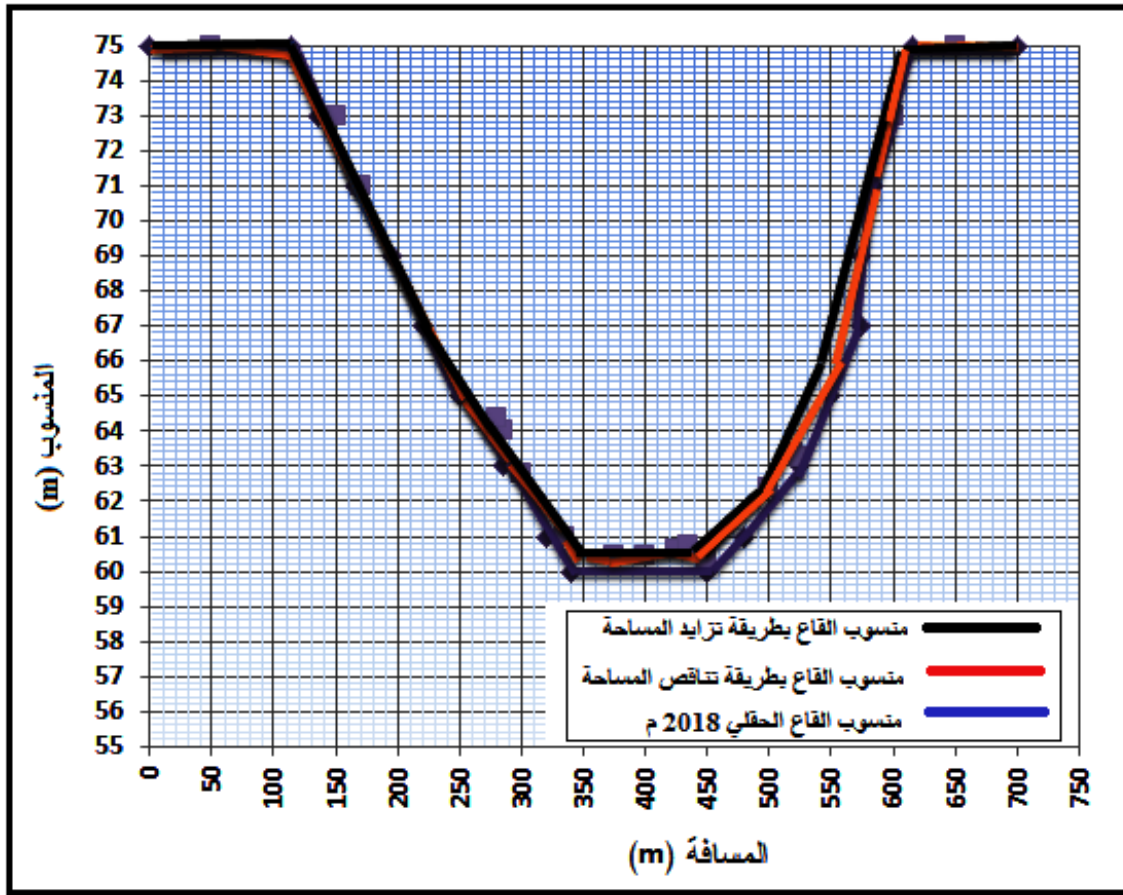
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2 / (n-1)} \quad (8)$$

المعايرة والتحقق

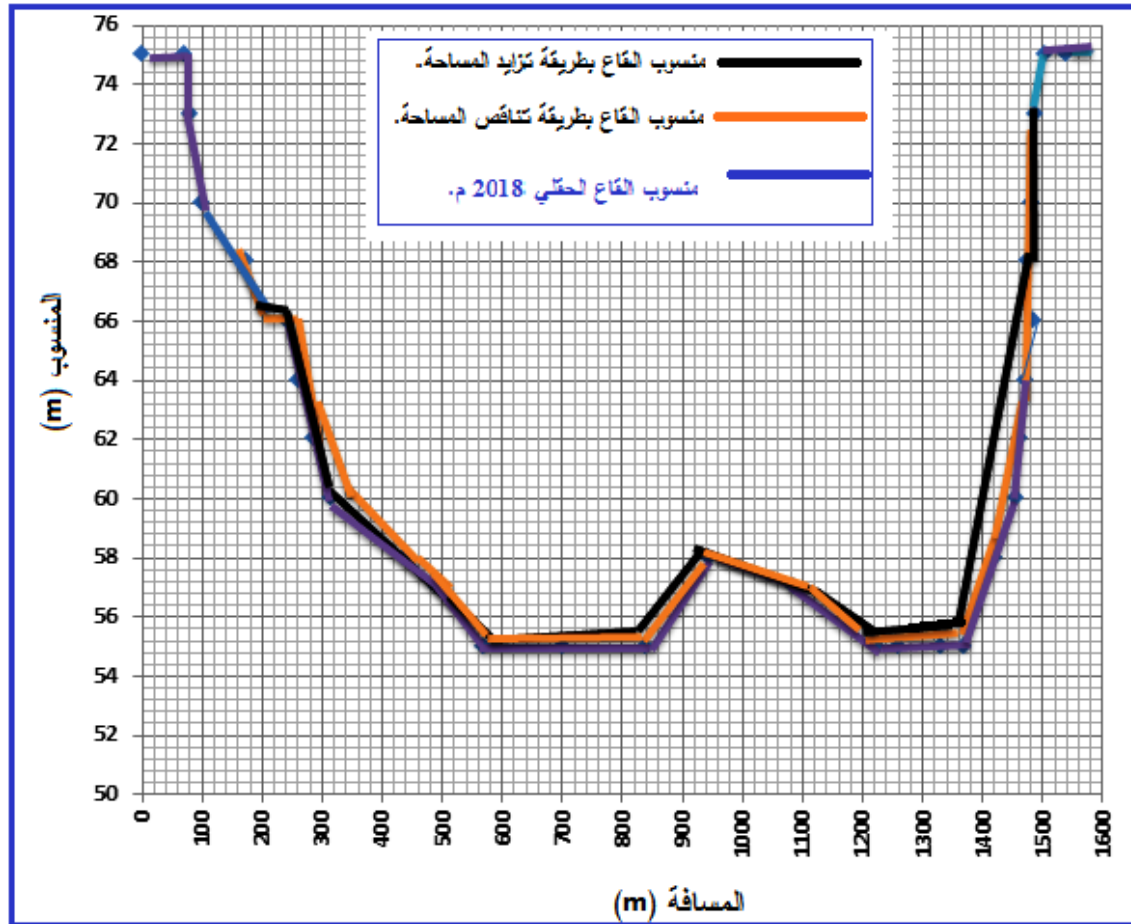
تم التحقق من الحساب بالطرائق التجريبية من خلال مقارنة النتائج مع القيم الفعلية التي تم الحصول عليها من المسح الطبوغرافي لفاع البحيرة الذي تم عام 2018 م، وقد تم توضيح ذلك بواسطة مقاطع عرضية في المواقع المحددة على الشكل (9) وتم توضيحها في الأشكال (10،11).



الشكل (9). مسقط البحيرة موضح عليه مواقع المقاطع العرضية المختارة.



الشكل (10). المقطع العرضي (A-A) مقارنة القيم المقیسة حقلیاً مع طریقتی تناقص وتزايد المساحة.



الشكل (11). المقطع العرضي (B-B) مقارنة المناسيب المقيسة حقلياً مع طريقتي تناقص وتزايد المساحة.

نلاحظ من الرسم، عدم وجود فروقات كبيرة في سماكة الرسوبيات المتوضعة في قاع البحيرة حيث تراوحت الفروقات (0-50) سنتيمتر بين طريقة تزايد المساحة والمسح الطبوغرافي ومن (0-30) سنتيمتر بين طريقة تناقص المساحة والمسح الطبوغرافي، أي أنه طريقة تناقص المساحة أكثر دقة من طريقة تزايد المساحة في التنبؤ بتوزيع الرسوبيات المتجمعة في البحيرة. وكذلك يمكن معرفة سماكة الرسوبيات المتجمعة في بحيرة السد، من خلال المقارنة بين المسح الطبوغرافي عام 2018 والمسح التصميمي، وذلك بإجراء مقاطع عرضية أخرى في البحيرة.

الجدول (4). النسبة المئوية والخطأ بطريقتي تناقص وتزايد المساحة.

	طريقة تزايد المساحة	طريقة تناقص المساحة
النسبة المئوية للخطأ	17.15	15.53
الانحراف المعياري (متر مكعب)	2.62	2.37

يبين الشكل (8) منحنيات التخزين-منسوب المتنبأ بها بطريقتي تناقص وتزايد المساحة، ويظهر تطابقاً أفضل بين منحنى التخزين-منسوب الذي حصلنا عليه بطريقة تناقص المساحة مع المنحني الناتج عن القيم الأصلية (المحسوبة

من المسح المنفذ في عام 2018م)، وقد بلغ الخطأ النسبي المئوي في طريقة تناقص المساحة 15.53%، أما في طريقة زيادة المساحة 17.15%.

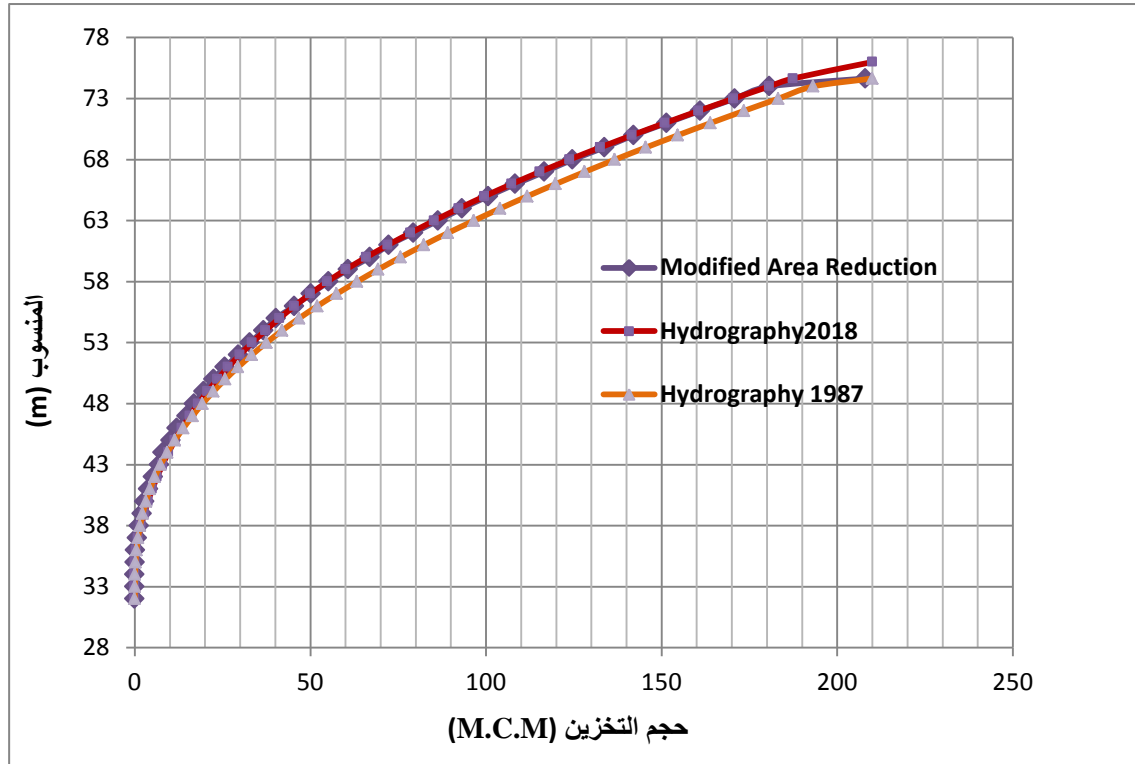
كما توضح المقاطع العرضية في الأشكال (10 و 11) التوافق والتقارب بين القيم المقيسة حقلياً بالمسح الجديد والمحسوبة بالطرق التقريبية، وهذا يعني انه يمكن استخدام هذه الطرق للتنبؤ عن كيفية توزيع الرواسب المتجمعة في بحيرة السد.

يمكن تخفيض معدل الخطأ عن طريق معايرة البارامترات الأساسية n, m, C الخاصة بالسد، يبين الجدول (5) مقارنة بين القيم الأساسية والمعايرة باستخدام طريقة تناقص المساحة.

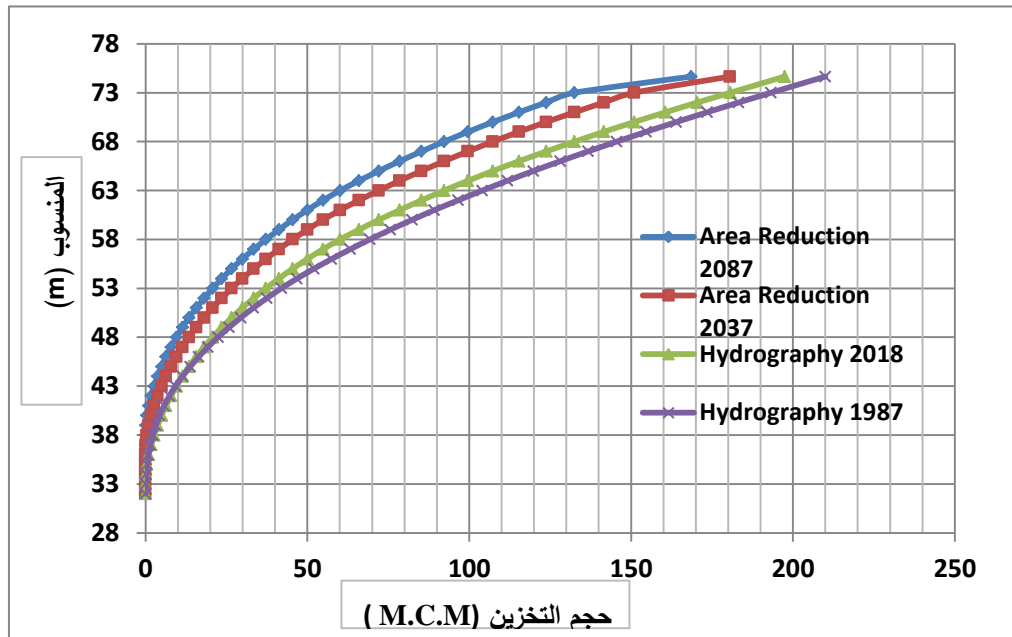
الجدول (5). معدل الخطأ والانحراف المعياري مع القيم الأساسية والمعايرة للبارامترات n, m, C .

البارامتر	C	m	n	معدل الخطأ %	الانحراف المعياري
القيم الأساسية	0.41	0.57	2.487	15.53	2.37
القيم المعايرة	0.37	0.49	2.754	10.43	1.67

بعد إجراء عملية المعايرة، وتخفيض النسبة المئوية للخطأ، تصبح المنحنيات كما هو موضح في الشكل (12)، حيث يسمح التطابق الواضح بالتنبؤ عن كيفية توزيع الرواسب المتوقع تجمعها في بحيرة السد بعد 50 ومائة سنة من الاستثمار، أي في العام 2037م و 2087م، كما هو موضح في الشكل (13).

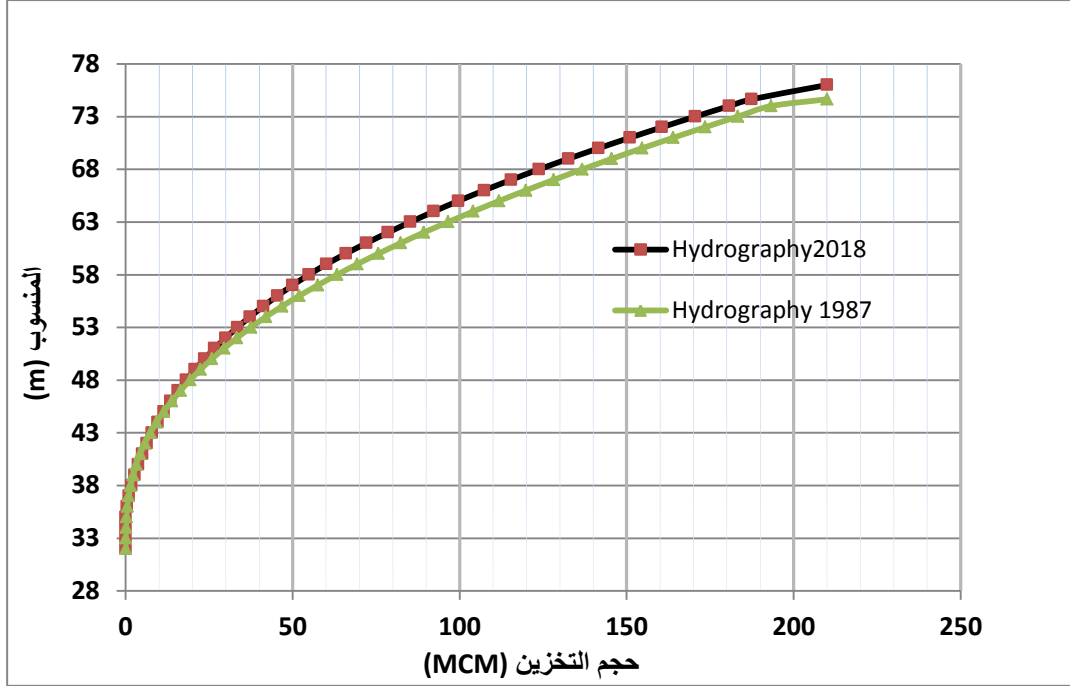


الشكل (12). منحنى حجم التخزين - منسوب لبحيرة سد 16 تشرين بعد المعايرة مقارنة مع المنحنى الناتج من المسح 2018م



الشكل (13). منحنى حجم التخزين -منسوب المتوقع بعد (50) و(100) عام من الاستثمار لبحيرة سد 16 تشرين.

في النهاية قد يكون من المفيد الإشارة إلى أن مقارنة بسيطة بين حجم التخزين الفعال التصميمي وبين الحجم الفعال الذي حصلنا عليه من المسح الذي تم في سنة 2018م، تبين أن حجم الرسوبيات المتوضعة ضمن مجال التخزين الفعال يعادل 3(M.C.M) وهو مقدار النقص الحاصل في المخزون القابل للاستخدام من البحيرة وهو موضح في الشكل (14).



الشكل (14). مقارنة منحنى التخزين التصميمي مع منحنى التخزين الناتج من مسح 2018م.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يمكن استخدام كل من طريقتي تزايد المساحة وتناقص المساحة مع اختلاف بسيط، في التنبؤ عن توزيع الرسوبيات المتجمعة في بحيرة السد، حيث تبين أن طريقة تناقص المساحة أكثر دقة من طريقة تزايد المساحة.
2. معدل الخطأ في تقدير رسوبيات سد 16 تشرين باستخدام طريقة تناقص المساحة 15.53%، و 17.15% بطريقة تزايد المساحة.
3. من خلال معايرة البارامترات في طريقة تناقص المساحة، ينخفض معدل الخطأ في التنبؤ بتوزيع الرواسب في سد 16 تشرين من 15.53 إلى 10.43 في المئة. وبعبارة أخرى، تناقص الخطأ بنسبة 5.1%.
4. تبين أن حجم الرواسب المتوقعة فوق منسوب التخزين الميت خلال الفترة المنصرمة حوالي 3M.C.M، وهي تمثل فاقد التخزين الفعال.
5. يوصي البحث بمسح دوري لقاع البحيرة كل 5-10 سنوات وإعادة المعايرة للتحقق من طريقة التنبؤ التجريبية ودراسة إمكانية استخدامها في بحيرات أخرى مشابهة، ومتابعة البحث بعد ذلك للتحقق من الدقة، لما لذلك من أهمية في تخفيض حجم التخزين الميت وتحديد منسوب المأخذ المائي وبالتالي زيادة حجم التخزين الفعال التصميمي.
6. يوصى بإنشاء محطات قياس دائمة للتدفق والعاكارة عند مدخل البحيرة للتحقق من حجم الرواسب الفعلية الداخلة إلى البحيرة. وبتعزيز منطقة التخزين الفعال من الرسوبيات بترددات محددة، لتقليل فواقد التخزين الفعال.

المراجع:

1. SCHEU, R. K; FONG, A .D.; MONSMITH, G. D.; Fringer, B.O. *Sediment transport dynamics near a river inflow in a large alpine lake*, ASLO, Oceanography, 2015, 17.

2. CULLOUGH, M. G .*Transportation of Sediments from Rivers into Lakes Process and Numerical Modeling* .April 2001, 25.
3. RADOANE, N; MARIA, R. *Dams, Sediment Sources and Reservoir Silting in Romania*.2002, 12.
4. MOHAMMAAD, B. A.; SHAMSI, A. *Effects of Density Current on Sedimentation in Reservoirs*, Scientia Iranica, Vol. 14, No. 5, 2007, 395-404.
5. USSD COMMITTEE ON HYDRAULICS OF DAMS, Subcommittee on Reservoir Sedimentation .*Modeling Sediment Movement in Reservoirs* ،USSD ،June 2015, 31.
6. AHN. J.; YANG, T. C.; BOYD, P. M.; PRIDAL, B. D.; REMUS, I. J. *Numerical modeling of sediment flushing from Lewis and Clark Lake*, University of Nebraska, 2013, 13.
7. MOHAMMADNEZHAD, A.; BAYRAM. M.; MOHAMMADIAN, M. V. *Numerical Modeling of Sedimentation in the Sefid-Rood Reservoir*, Iran ,River Flow 2010 - Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer (EDS), ISBN 939230-3-978 ,1137-1131 .
8. ADAM, A.; OSMAN, M. *Predicting the Deposited Sediment Volume Case Study Rosaries' Reservoir*, Hydrology and Water Resources, 2005, 11.
9. RAHMANIAN, R. M.; BANIHASHEMI, A. M. *Introduction of a New Empirical Reservoir Shape Function to Define Sediment Distribution Pattern in Dam Reservoirs*. IJST, Transactions of Civil Engineering, Vol. 36, 2012, 79-92.
10. TUKARAM, S.; NIMBALKAR, P. T.; GIDDE, M. R. *Comparison of area reduction method and area increment method for reservoir sedimentation distribution - Case study Ujjani dam*, International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology, Volume 2, Issue 3, 2016, 108-111.
11. FENDRESKI, N.; ABDEVEIS, S.; GHARAHGEZLOU, M.; OSHANDEL, S. *Investigation and calibration of area-reduction and area increment empirical methods in Sediment distribution type of Maroon reservoir dam in Khuzestan, Iran*. BEPLS, Vol. 3, 2014, 120-126.
12. El-SERSAWY, H. *Sediment Deposition Mapping In Aswan High Dam Reservoir Using Geographic Information System (GIS)*, Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, 239-247.
13. مديرية الموارد المائية في اللاذقية، معلومات عن السد ومخططات ورقية (غير منشورة)، 1979.
14. إسماعيل، كنان. حساب النسبة بين كمية الرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة وكمية الرواسب المنقولة في نهر زغارو، مجلة جامعة تشرين، المجلد (36)، العدد (2) ، 2014 ، 277-299.
14. حواط، ماهر. تأثير تراكم الرسوبيات على انخفاض المخزون الحي في بحيرة سد 16 تشرين. مجلة جامعة تشرين، المجلد (40)، العدد (1)، 2018 ، 179-199.
15. حسن، عز الدين وآخرون. دراسة الترسيب في بحيرات السدود-حالة الدراسة بحيرة سد 16 تشرين، " مديرية البحث العلمي"، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. 2019، 134.
16. CHEEGWAN, L. S.; BELETSKY, J. D.; STROUD, D. J.; LESHT, B. *Numerical modeling of mixed sediment re-suspension transport, and deposition during the March 1998 episodic events in southern Michigan* ،*Journal of Geophysical Research* ،Vol. 112, 2007, 1-17.

17. CASTILLO, L. G.; ALVAEZ, M. A.; CARILLO, J. M. *Numerical modeling of sedimentation and flushing at the Paute-Cardenillo Reservoir*, ASCE-EWRI. International Perspective on Water Resources and Environment Quito, 2014, 8- 10.
18. BAK, L.; DABKOWSKY, L. S. *Spatial Distribution of Sediment in Suchedniow Reservoir*, Journal of Water and Land Development, No. 19 (VII-XII), PL- ISSN 1429-7426, 2013, 13-22.
19. BEEBO, G.; BILAL, A. R. *Simulating bathymetric changes in reservoirs due to sedimentation Application to Sakuma dam, Japan*, , TVVR-12/5018, 2012, 66 .
20. AHN, J. *Numerical Modeling of Reservoir Sedimentation and Flushing Processes*, For the Degree of Doctor of Philosophy Colorado State University, fall 2011, 158.