

Study of Sediments Effect in Al-Thawra Dam

Dr. Mounzer Hammad*

Orwa Ghanam**

(Received 17 / 10 / 2018. Accepted 24 / 2 / 2019)

□ ABSTRACT □

Most of the dams around the world suffer from the problem of sedimentation in their reservoirs, and this problem is currently given much attention due to its important effect on storage capacity of the reservoirs and determining the operational life of the dam, as well as its role in proper identification of the locations of water intakes, bottom outlets and installations on the dam or in the reservoir.

The objective of this work is to study the effect of sediments on the storage capacity of Al-Thawra dam and to predict the distribution of sediments in the reservoir of the dam using area increment method, to determine dead storage volume, to study the trap efficiency of the sediments in the reservoir of the dam and to determine the life of the dam for different scenarios.

The results of the study revealed the clear and important effect of the sediments on area-storage capacity curves (ASC) in relation to the life of the dam. The larger is the age of the dam, the larger is the sediments volume in the reservoir with the consequent reduction of the reservoir storage volume and area. Proposed scenarios to study trap efficiency showed that the greater the reduction in design storage capacity, the greater the trap efficiency of sediments and the reduction of useful storage volume, thus reducing the life of the dam.

Keywords: Sedimentation, Reservoir of Dam, Sediments Distribution, Area-Storage Capacity Curves (ASC), Dead Storage Volume, Area Increment Method, Trap Efficiency.

* Associate Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Teaching Assistant, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ghanam.orwa@gmail.com

دراسة تأثير الرسوبيات في سد الثورة

الدكتور منذر حمّاد*

عروة غنم**

تاريخ الإيداع 17 / 10 / 2018. قَبْلُ للنشر في 24 / 2 / 2019

□ ملخّص □

تُعاني مُعظم السدود حول العالم من مشكلة الترسيب في بحيراتها، وتولى هذه المشكلة حالياً الكثير من الاهتمام لتأثيرها على استطاعة تخزين البحيرة وتحديد العمر التشغيلي للسد بالإضافة إلى دورها في التحديد المناسب لمواقع مآخذ الري والمفرغات السفلية والمنشآت الموجودة على السد أو في البحيرة.

إنّ الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير الرسوبيات على تخزين بحيرة سد الثورة والتنبؤ بتوزيع الرواسب فيها بطريقة تزايد المساحة وتحديد حجم التخزين الميتم، ودراسة كفاءة حجز الرواسب في بحيرة السد وتحديد عمر السد من أجل سيناريوهات مختلفة.

بيّنت نتائج الدراسة التأثير الواضح والمهم للرسوبيات على منحنيات مساحة التخزين وحجم التخزين بالعلاقة مع عمر السد، حيث أنه كلما ازداد عمر السد ازداد حجم الرسوبيات في البحيرة الأمر الذي يؤدي إلى تقليل مساحة وحجم التخزين في البحيرة، كما بيّنت السيناريوهات المقترحة لدراسة كفاءة الحجز أنه كلما ازداد مقدار تخفيض استطاعة التخزين التصميمية، كلما ازدادت كفاءة حجز الرسوبيات ونقص حجم التخزين المفيد، وبالتالي نقص عمر السد.

الكلمات المفتاحية: الترسيب، بحيرة السد، توزع الرواسب، منحنيات مساحة وحجم التخزين، حجم التخزين الميتم، طريقة تزايد المساحة، كفاءة حجز الرواسب.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** قائم بالأعمال - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
ghanam.orwa@gmail.com

مقدمة

تُقل الرواسب المتجمعة في بحيرات السدود من السعة التخزينية، حيث يبلغ الفاقد المتوسط في سعة تخزين البحيرة 1% كل عام في جميع أنحاء العالم [1]، في حالة جمعنا قيم هذا الفاقد في جميع سدود العالم لرأينا أنّ هذا الفاقد له أهمية كبيرة جداً [2]، إنّ عملية الترسيب في بحيرات السدود هي إحدى المشاكل الأساسية الواجب حلها في القرن الحادي والعشرين [3]، وهي هامة جداً وتشكل محوراً أساسياً في إدارة الموارد المائية، نحن حالياً في مرحلة مبكرة من دراسة عملية الترسيب في بحيرات السدود ويجب علينا بذل جهود كبيرة في المستقبل لحلها وتقاديها [3].

أهمية البحث وأهدافه

إنّ عملية حت أو تعرية ونقل الفتات الناتجة وترسيبها في أحواض ومجاري المياه السطحية، هي عمليات طبيعية مستمرة تختلف درجاتها من حوض إلى آخر، حسب العوامل الجيولوجية والمناخية والغطاء النباتي وعوامل أخرى [4]. إنّ تجمع الرواسب في بحيرة أي سد مقام على مجرى مائي هو أمر حتمي، والمشكلة هنا تكمن في سرعة تجمع هذه الرواسب والمدة المتوقعة لامتلاء خزان السد، إلى الحد الذي يخرج عن نطاق الاستخدام المفيد [5]. من أجل تحاشي النقص السريع في طاقة بحيرة السد التخزينية وتقصير العمر التشغيلي للسد، فلا بدّ من الأخذ بعين الاعتبار عند تصميم السد الحجم التخزيني اللازم لتجميع هذه الرواسب على مدى العمر التشغيلي المفيد للسد، كما أنّ توزيع الرواسب في بحيرة السد يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند تحديد مواقع مآخذ المياه في السد [6]. يهدف البحث إلى ما يلي:

- 1-دراسة تأثير الرسوبيات على تخزين سد الثورة والتنبؤ بتوزيع الرواسب في بحيرة السد وتحديد حجم التخزين الميتم.
- 2-دراسة كفاءة حجز الرواسب في بحيرة السد وتحديد عمر السد من أجل سيناريوهات مختلفة.

طرائق البحث ومواده

تنتج الرسوبيات في الحوض الساكب بوساطة انفصال حبيبات التربة نتيجة تأثير قطرات المطر وقوة الجرف الميكانيكي للتيارات المائية، ويعمل الجريان السطحي على نقلها بعد حدوث الفصل مباشرة إلى أسفل المنحدر على شكل جريان فوق سطح الأرض، وتصل في نهاية المطاف إلى مجاري الأنهار لتنتقل عبر المجرى إما في حالة معلقة أو بالتدريج والانزلاق على طول قاع النهر، وتستمر هذه العملية باتجاه مجرى النهر حتى يصبح التدفق غير قادر على حملها فترسب في مكانها، ويعتبر فهم مبادئ نقل الرسوبيات أساساً لتفسير العديد من المشكلات الهيدروليكية والهيدرولوجية وحلها [7].

توزيع الرواسب في الخزان

تتأثر جزيئات الراسب عند الهبوط بقوة أفقية عائدة لحركة الماء وأخرى شاقولية ناجمة عن الثقل، ستبقى هذه الجزيئة بحالة معلقة طالما بقيت قوة الاضطراب أكبر من قوة الثقل أو مساوية لها، عند دخول الجريان إلى الخزان يؤدي ازدياد مساحة المقطع إلى انخفاض السرعة والاضطراب حتى تصبح غير فعالة في نقل الرواسب وعندها يحصل ترسيب الجزيئات، والترسيب غير منحصر ضمن مجالات التخزين الدنيا (مجال التخزين الميتم)، بل يحصل في جميع المستويات في الخزان الأدنى من مستوى التخزين العادي [8].

معامل شكل الخزان

يعتمد توزيع الرواسب عند مختلف المستويات على تصنيف شكل الخزان [9]، فقد صنّف كل من ميلر وبورلاند (1958) نمط توزيع الرواسب في الخزان إلى أربعة أنواع معيارية كما هو موضح بالجدول (1) [11,10]، يتم تعيين نوع الخزان من التمثيل البياني لعمق الخزان (كتراتب) مقابل الاستطاعة (كفواصل) على ورقة لوغاريتمية، منحني هذا التمثيل البياني كخط مستقيم، بعض الخزانات يمكن أن تأخذ شكلاً يظهر خطين مستقيمين، إنّ مقلوب الميل المستقيم يشير إلى نوع الخزان [12]. يحدد مقلوب الميل m على النحو التالي:

$$m = (\log V_2 - \log V_1) / (\log d_2 - \log d_1) \quad (1)$$

الجدول 1. تصنيف الخزانات حسب الشكل.

نوع الخزان	التصنيف	الميل m
I	بحيرة	3.5-4.5
II	سهول الغمر-السفح	2.5-3.5
III	الهضبي	1.5-2.5
IV	وادي ضيق	1-1.5

من المؤكد أنّ شروطاً أخرى مثل التشغيل المتوقع للخزان أو حجم الرواسب المتدفقة قد تتجاوز التصنيف على أساس الشكل، وكمثال على ذلك، بفرض أنه تم تصنيف خزان من نوع الهضبي على أساس علاقة استطاعته مع عمقه، بينما أظهرت جداول التشغيل أنه سيتم تفريغ الخزان بشكل كبير على فترات متكررة أو بافتراض أنّ تدفقات الرواسب هي في الغالب من الغضار، عندها ينبغي تصنيف الخزان على أنه من النوع الضيق، لأنّ جزءاً كبيراً من الرواسب تتوضع بالقرب من قاع الخزان بالطريقة المميزة لخزان النوع الضيق [9].

يمكن التنبؤ بتوزيع الرواسب بحساب أعماقها في الخزان اعتماداً على:

منحنيات تخزين الخزان التصميمية - منحنيات سطوح التخزين التصميمية.

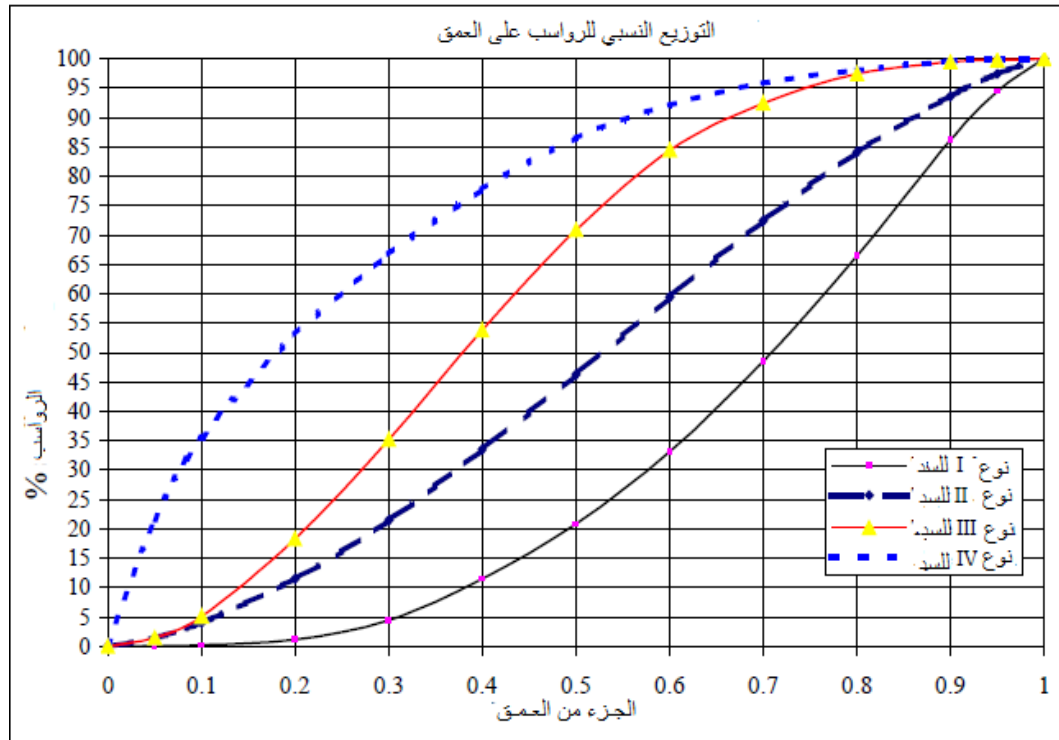
توزيع الرواسب حسب الأعماق باستخدام منحنيات تخزين الخزان التصميمية.

يعطى ترسيب السلت عند الأعماق المختلفة لسدود من أنواع مختلفة بمصطلحات النسبة المئوية للترسيب مقابل النسبة المئوية لعمق الخزان انظر الشكل (1) [13]، يعطى ترسيب السلت عند أي عمق محدد على النحو الآتي:

حجم الترسيب = حجم الرواسب الكلي * النسبة المئوية من الرواسب عند العمق المعطى.

حساب توزيع الرواسب في الخزانات

إنّ منحنيات حجم التخزين-منسوب والمساحة-منسوب مهمة لأغراض تصميم وتشغيل الخزانات [13]. تعتبر معرفة توزيع الرواسب في الخزان ضرورية لتحديد منسوب فتحة المآخذ المائي وتجنب الخروج من الخدمة قبل الأوان، عندما تشكل حمولة الرواسب عاملاً مهماً [14]، ينبغي تحديد توزيع المواد المترسبة للسماح بتحديد المدى الذي تتأثر به مختلف مجالات التخزين بالرواسب المترسبة، ويعتمد توزيع الرواسب على العديد من العوامل مثل ميل الوادي، طول الخزان، حجم الجزيئات في الرواسب العالقة، نسبة الاستطاعة إلى الجريان والأكثر أهمية من بينها تشغيل الخزان [10].



الشكل 1. التوزيع النسبي لرواسب السلت مع العمق.

تم اقتراح طريقتين للتحديد التقريبي لتوزيع الرواسب في الخزانات مع المنسوب:

- 1- طريقة تزايد المساحة.
 - 2- طريقة تناقص المساحة، تطبق بصورة خاصة على الخزانات الضخمة المتعددة الوظائف.
- في بحثنا سيتم استخدام الطريقة الأولى (طريقة تزايد المساحة).

طريقة تزايد المساحة

لقد طور كريستوفاني أسلوباً رياضياً لدراسة كيفية توزيع الرواسب معادلته الأساسية [10, 12, 13]:

$$V_s = V_0 + (H - h_0) \cdot A_0 \quad (2)$$

حيث:

V_s : حجم الرواسب الكلي خلال عمر التشغيل.

V_0 : الاستطاعة الأصلية للخزان عند المنسوب الصفري الجديد.

H : العمق الكلي للخزان الشكل (2).

h_0 : العمق الصفري الجديد.

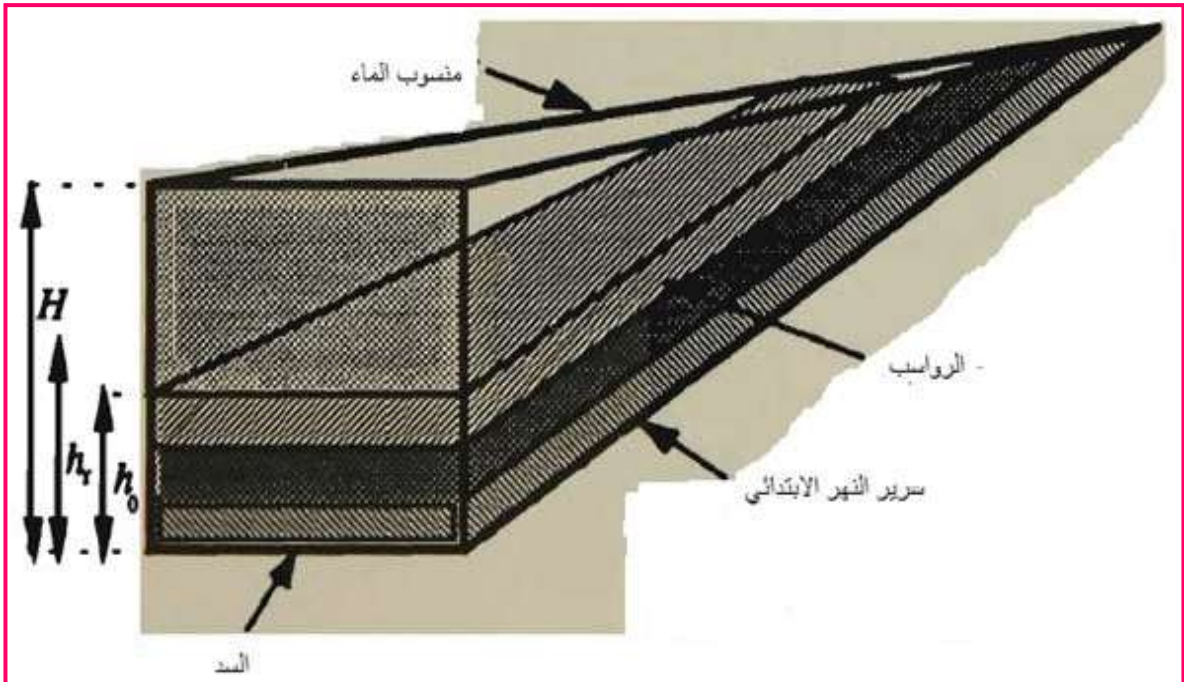
A_0 : سطح التخزين عند المنسوب الصفري الجديد في الخزان.

تنص هذه المعادلة أن إجمالي حجم الرواسب (V_s) يتكون من:

- 1- الجزء الذي يتم توزيعه بشكل منتظم على ارتفاع $(H - h_0)$.
- 2- الجزء الذي يتجمع تحت منسوب الصفري الجديد في الخزان.

حساب V_s يتطلب استخدام منحنى الاستطاعة مساحة الأصلي للخزان وقد لوحظ أن دقة الطريقة تتناقص مع زيادة نسبة حجم الرواسب إلى الاستطاعة.

- يمكن تلخيص خطوات الحساب وفق هذه الطريقة على النحو الآتي [10, 12, 13]:
- عند توفر الجداول التي تعطي سطوح التخزين وحجوم التخزين الموافقة لكل منسوب أو الخرائط الطبوغرافية الموضح عليها مواقع الخزان، والتي يمكن من خلالها تحديد السطوح والحجوم في الخزان الموافقة لمناسيب التخزين المختلفة، وبعد تحديد الحجم الوسطي للرواسب المتوقعة خلال العمر التقديري للخزان نقوم بما يأتي:
- 1- نفرض قيمة ما للمنسوب الصفري الجديد h_0 في الخزان ومنه نستطيع من خلال المعطيات تحديد الحجم الواقع تحت هذا المنسوب V_0 وكذلك مساحة سطح الخزان عنده A_0 .
 - 2- نعوض في المعادلة الأساسية ونحسب القيمة الكلية للرواسب V_s .
 - 3- نقارن القيمة المحسوبة مع القيمة المعطاة للتأكد من تساويهما (لا يتعدى الاختلاف 1%).
 - 4- في حال عدم تحقق الشرط السابق في البند الثالث نعود إلى البند الأول ونفرض قيمة جديدة، ثم نكرر باقي الخطوات وهكذا حتى يتحقق الشرط.
 - 5- نطرح القيمة A_0 من سطوح التخزين الأصلية المعطاة فنحصل على سطوح التخزين الصافية عند مختلف المناسيب حتى المنسوب الصفري الجديد.
 - 6- نحسب حجوم الرواسب عند كل منسوب من العلاقة الأساسية.
 - 7- نحسب الفرق بين حجم التخزين الأصلي المعطى وحجم الرواسب الناتجة عند كل منسوب فنحصل على حجوم التخزين الصافية بعد حصول الترسيب.
 - 8- نرسم منحنيات التخزين ومنحنيات سطوح التخزين الصافي مع المنسوب فنحصل على المنحنيات المميزة للخزان بعد حصول الترسيب.
 - 9- يمكن رسم منحنيات حجم الترسيب مع المناسيب أيضاً.



الشكل 2. شكل توضيحي لتوزيع الرواسب بطريقة تزايد المساحة.

حجز الرواسب في الخزان

لا تترسب كل الرواسب الداخلة إلى الخزان، فبعضها يحمل بعيداً مع الماء المتدفق، تحدد كفاءة الحجز النسبة من الرواسب الداخلة التي تحجز في الخزان وتعرف بنسبة كمية الرواسب المحتجزة إلى الكمية الكلية للرواسب الداخلة . [12, 15]

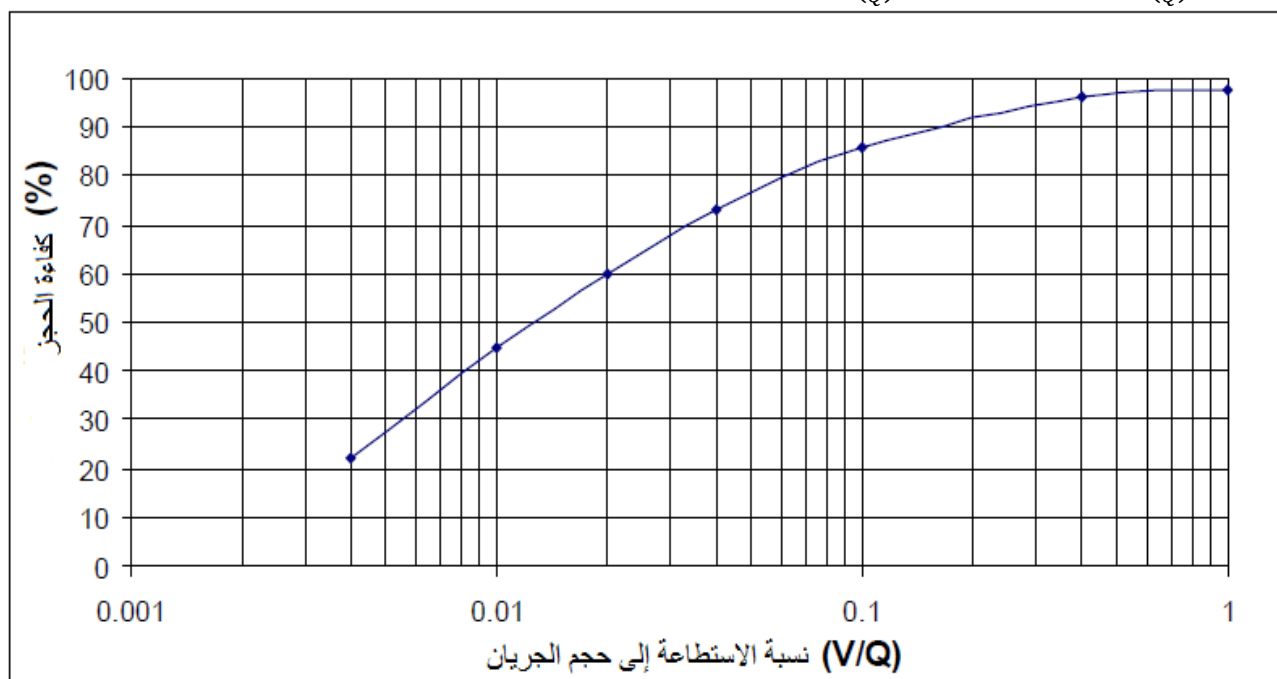
حيث ترتبط بصورة رئيسية بـ:

*سرعة سقوط جزيئات الرواسب.

*معدل التدفق إلى الخزان.

*زمن التخزين في الخزان.

يتم تقدير كفاءة الحجز تجريبياً وبالاعتماد على الترسبات المقاسة في عدد كبير من الخزانات، يستخدم منحنى براون الشكل (3) غالباً لتحديد كفاءة الحجز وتعتبر كتابع لنسبة استطاعة تخزين الخزان إلى حجم الجريان الداخل إلى الخزان $\left(\frac{V}{Q}\right)$ [12, 15]، كما تعطى كفاءة حجز الرواسب (η_{trap}) كأجزاء من نسبة الاستطاعة جريان التي تمثل النسبة بين استطاعة التخزين (V) إلى الجريان السنوي الوسطي (Q) الجدول (2)، يمكن أن تختلف كفاءة الحجز فعلياً بحدود 10% لقيم $\left(\frac{V}{Q}\right)$ المنخفضة إلى 2% لقيم $\left(\frac{V}{Q}\right)$ الكبيرة.



الشكل 3. منحنى براون لكفاءة الحجز.

ستتناقص استطاعة الخزان مع الزمن بسبب الترسب، لأجل نفس الجريان السنوي تتناقص كفاءة الحجز بسبب تناقص النسبة، يتم حساب الرواسب في الخزان خلال مجالات صغيرة، 5 سنوات مثلاً بحيث يمكن اعتبار استطاعة التخزين ثابتة، لأجل سد باستطاعة تخزين قدرها 900000 ha-m وحجم جريان سنوي من 808000 ha-m نجد: $\left(\frac{V}{Q} = 1.11\right)$ وبالتالي من الجدول (2) فإن: $\eta_{\text{trap}} = 97.5\%$ وبذلك فإن 97.5% من جميع الرواسب الداخلة إلى الخزان ستحتجز فيه، مسببة تناقصاً مستمراً في استطاعته التخزينية عبر السنين، بما أنّ استطاعة التخزين تصغر

مع القيم الدنيا للنسبة $(\frac{V}{Q})$ ، فإن كفاءة الحجز ستتناقص بشكل مستمر كل سنة، نلاحظ انخفاض كفاءة الحجز من 97.5% في السنة الأولى إلى 86.3% بعد مضي 100 سنة.

الجدول 2. العلاقة بين كفاءة الحجز والنسبة بين الاستطاعة -جريان.

كفاءة الحجز	نسبة الاستطاعة إلى الجريان	كفاءة الحجز	نسبة الاستطاعة إلى الجريان
$\eta_{trap} (\%)$	$\frac{C}{I}$	$\eta_{trap} (\%)$	$\frac{C}{I}$
2	0.002	87	0.1
13	0.003	93	0.2
20	0.004	95	0.3
27	0.005	95.5	0.4
31	0.006	96	0.5
36	0.007	96.5	0.6
38	0.008	97	0.7
43	0.01	97.5	1.0
52	0.015		
60	0.02		
68	0.03		
74	0.04		
77	0.05		
80	0.06		
82	0.07		

في الدراسة ستتم معالجة النتائج ورسم المخططات باستخدام برنامج Excel.

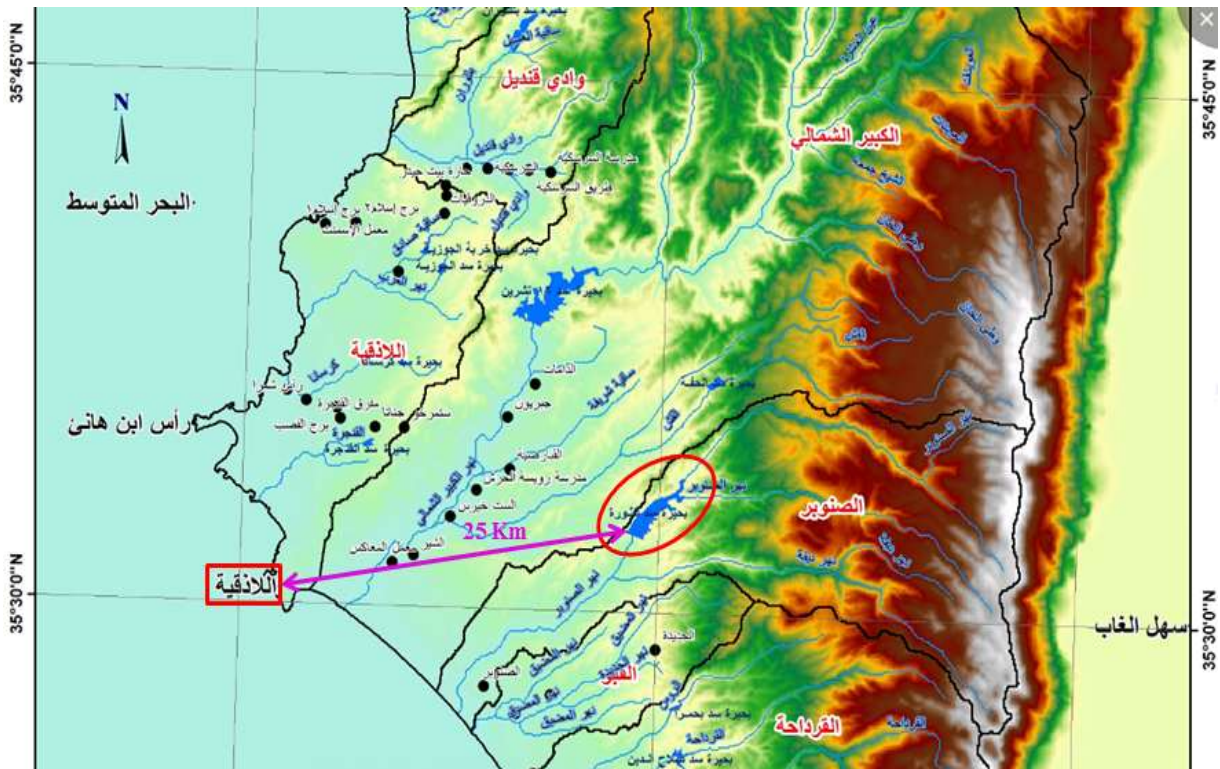
منطقة البحث

في هذا البحث ستتم دراسة تأثير الرسوبيات على سد الثورة المقام في المنطقة الساحلية.

سد الثورة

يعتبر المشروع أحد أهم المشاريع في حوض الساحل، ويبعد حوالي (25 km) جنوب شرق مدينة اللاذقية عند قرية طرجانو الشكل (4)، بُني سد الثورة على نهر طرجانو عند قرية الدراشبية، وتبلغ مساحة الأراضي المرورية من شبكات السد (9600 ha)، إضافة إلى مشروع نفق ديفة بطول (3525 m)، الذي يحول (20 Mm³) من مياه نهر ديفة إلى بحيرة سد الثورة ويتصرف أعظمي (9.8 m³/sec).

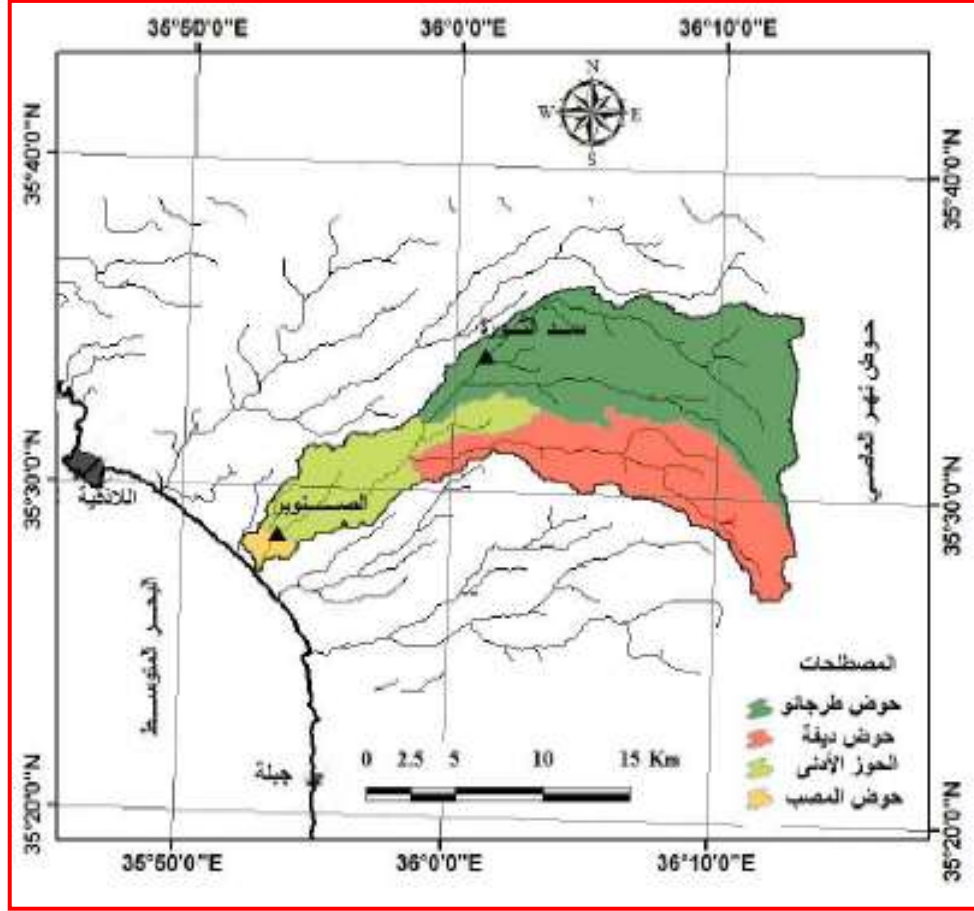
إن سد الثورة هو سد ركامي بنواة غضارية بطول (1100 m)، وارتفاع أعظمي يبلغ (76.5 m) الشكل (5)، يبلغ منسوب قمة السد (163.65 m) ومنسوب قاعدة السد (87.15 m)، يبلغ حجم التخزين التصميمي (MCM 98) عند المنسوب (159.25 m)، ومساحة الحوض الساكب لنهر الصنوبر (266 km²) أما مساحة الحوض الساكب من بداية الحوض وحتى جسم السد فقط (133 km²) الشكل (6)، ومعامل جريانه السطحي (0.3). [16].



الشكل 4. موقع سد الثورة.



الشكل 5. جسم سد الثورة.



الشكل 6. الأحواض الساكنة الجزئية في حوض السنوبر.

النتائج والمناقشة

في هذا البحث سيتم دراسة توزيع الرواسب في سد الثورة باستخدام طريقة تزايد المساحة ورسم المنحنيات المميزة المتوقعة بعد حصول الترسيب خلال 50 سنة وخلال 100 سنة، بالإضافة إلى دراسة كفاءة حجز الرواسب في بحيرة السد وتحديد عمر السد من أجل سيناريوهات مختلفة.

ويبين الجدول (3) المعطيات المطلوبة للدراسة [16].

الجدول 3. المعطيات المطلوبة للدراسة.

معامل الجريان السطحي	القيمة الوسطية لارتفاع الهطل السنوي (مليمتراً بالسنة)	مساحة الحوض الساكن (كيلومتر مربع)	استطاعة تخزين السد (هكتار-متر)	حجم الرسوبيات الوسطي السنوي (متر مكعب بالسنة)	منسوب التخزين الطبيعي (متر)	المنحنيات المميزة للسد قبل الترسيب
0.3	لحوض نهر طرجانو (1020.7) لحوض نهر ديفة (1076.5)	133	9800	470000	159.25	من مديرية الموارد المائية

*** حساب ورسم المنحنيات المميزة لسد الثورة بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة و 100 سنة**

سنعتمد في حساب حجم التخزين الميت لبحيرة سد الثورة على طريقة تزايد المساحة التي تم شرحها سابقاً وذلك في حالتين الحالة الأولى مع الأخذ بعين الاعتبار عمر السد (50 year) والحالة الثانية مع الأخذ بعين الاعتبار عمر السد (100 year)، وفي كلا الحالتين سنقوم بحساب ورسم المنحنيات المميزة بعد حصول الترسيب، وتحديد حجم التخزين الميت، وتحديد منسوب التخزين الميت أيضاً.

*** الحالة الأولى مع الأخذ بعين الاعتبار عمر السد 50 year**

يجب بدايةً حساب حجم الرسوبيات المتوقعة خلال عمر السد وذلك من خلال جداء عمر السد بحجم الرسوبيات الوسطية السنوية كما يلي:

$$V_s = V_{sm} * T = 470000 * 50 = 23.5 \text{ Mm}^3 \quad (3)$$

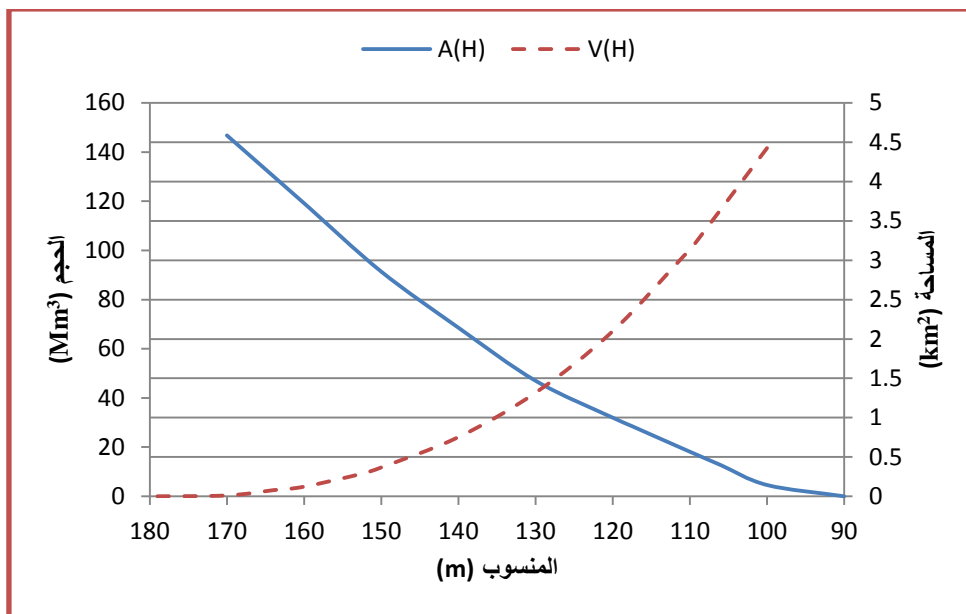
حيث أن:

V_{sm} : حجم الرسوبيات الوسطية السنوية (m^3/year).

T : عمر السد (year).

وبالاعتماد على المنحنيات المميزة الأساسية لسد الثورة الشكل (7)، وحجم الرسوبيات المتوقعة خلال خمسين عام

بالمليون متر مكعب $V_s = 23.5 \text{ Mm}^3$



الشكل 7. المنحنيات المميزة الأساسية لسد الثورة.

وباستخدام طريقة تزايد المساحة، نجد:

بفرض منسوب التخزين الميت الأولي h_0 ونأخذ من الجدول الخاص بالمنحنيات المميزة الأساسية قبل الترسيب [16]، V_0 و A_0 الموافقتين ونعوض في المعادلة (2) لحساب حجم الرسوبيات، ومن ثم نقارن القيمة المحسوبة مع القيمة المتوقعة للتأكد من تساويهما (حيث لا يتعدى الاختلاف 1%)، بالحسابات وتكرارها نجد:

أن منسوب 106 m هو المنسوب الميت المحقق للشرط، فيكون:

$$h_0 = 106 \text{ m} \quad V_0 = 2.49 \text{ Mm}^3 \quad A_0 = 0.3975 \text{ km}^2$$

$$V_s = 0.3975 * \{(159.25) - (106)\} + 2.49 = 23.66 \text{ Mm}^3$$

$$\frac{23.66}{23.5} * 100 = 100.7\% \text{ --- ok}$$

من خلال ما سبق نجد أنّ المنسوب 106 m هو منسوب التخزين الميت الجديد، ويكون حجم التخزين الميت الموافق لهذا المنسوب $V_0 = 2.49 \text{ Mm}^3$ ، وارتفاع التخزين الميت

$$H_0 = h_0 - h_d = 106 - 87.15 = 18.85 \text{ m}$$

حيث أنّ:

h_d : منسوب قاعدة السد.

h_0 : منسوب التخزين الميت.

بعد تحديد منسوب التخزين الميت وباستخدام طريقة تزايد المساحة نقوم بحساب المنحنيات المميزة بعد حصول الترسيب كما هي موضحة بالجدول (4).

الجدول 4. حساب المنحنيات المميزة لبحيرة سد الثورة بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة.

المنسوب	سطح البحيرة A	حجم التخزين V	A_0	V_s	A'	V'
m	km^2	Mm^3	km^2	Mm^3	km^2	Mm^3
170	4.5875	141.61	0.3975	27.932	4.189	113.68
160	3.7249	100.05	0.3975	23.957	3.33	76.093
159.25	3.6597	97.88	0.3975	23.66	3.262	74.22
150	2.8562	67.14	0.3975	19.98	2.458	47.16
140	2.1437	42.14	0.3975	16.006	1.746	26.134
130	1.4687	24.08	0.3975	12.03	1.071	12.05
120	1	11.74	0.3975	8.056	0.602	3.684
117.5	0.8917	9.2	0.3975	7.062	0.494	2.138
110	0.5667	3.91	0.3975	4.08	0.169	0
106	0.3975	2.49	0.3975	2.49	0	0
100	0.1438	0.36	0.1438	0.36	0	0
90	0	0	0	0	0	0

حيث أنّ:

$$A' = A - A_0$$

(4)

$$V' = V - V_s \quad (5)$$

A_0 : مساحة سطح الرسوبيات عند منسوب التخزين الميت.

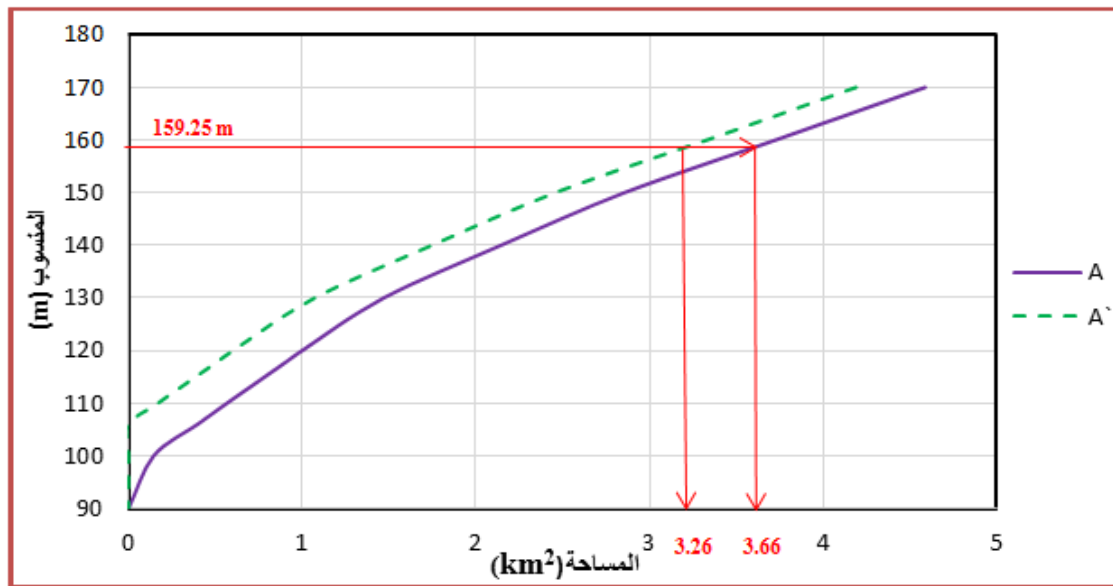
V_s : حجم الرسوبيات.

A' : مساحة سطح البحيرة المصحح.

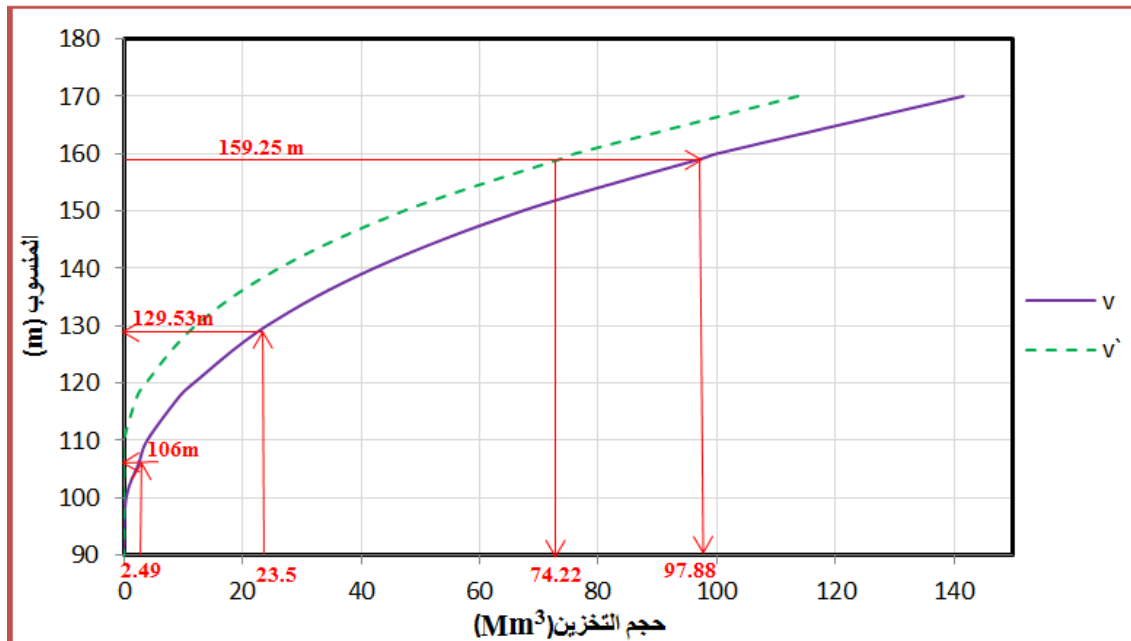
V' : حجم التخزين المصحح.

V_0 : حجم التخزين الميت.

بالاعتماد على نتائج الجدول السابق نقوم برسم منحنى مساحة - منسوب $A(h)$ الشكل (8)، ومنحنى حجم تخزين - منسوب $V(h)$ الشكل (9)، وذلك قبل وبعد حصول الترسيب.



الشكل 8. منحنى مساحة-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة.



الشكل 9. منحنى حجم تخزين-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة.

من المنحنيات السابقة نلاحظ أنه من أجل منسوب الماء الطبيعي (159.25m) فإن مساحة تخزين البحيرة تناقصت من القيمة (3.66 km²) إلى القيمة (3.26 km²) بعد حدوث الترسيب خلال عمر السد (50 year)، كما أن حجم التخزين الطبيعي للسد تناقص من القيمة (97.88 Mm³) إلى (74.22 Mm³)، نلاحظ أيضاً خلال عمر السد أنه (2.49 Mm³) من حجم الرسوبيات المتوقع وصوله إلى السد والبالغ قيمته (23.5 Mm³) سيشكل حجم التخزين الميت والكمية المتبقية (21.01 Mm³) ستوزع بشكل منتظم فوق منسوب التخزين الميت (106 m) وسوف تؤدي إلى تقليل مساحات وحجوم التخزين عند المناسيب المختلفة.

***الحالة الثانية مع الأخذ بعين الاعتبار عمر السد 100 year**

باتباع نفس الخطوات في الحالة الأولى، وبالاعتماد على المنحنيات المميزة لسد الثورة [16]، وحجم الرسوبيات المتوقعة خلال مئة عام

$$V_s = V_{sm} * T = 470000 * 100 = 47 \text{ Mm}^3$$

ويتكرر الفرض والحسابات نجد.

أن المنسوب 117.5m هو منسوب التخزين المیت المحقق للشرط حيث:

$$h_0 = 117.5 \text{ m} \quad V_0 = 9.2 \text{ Mm}^3 \quad A_0 = 0.8917 \text{ km}^2$$

$$V_s = A_0 * (H - h_0) + V_0$$

$$V_s = 0.8917 * \{(159.25) - (117.5)\} + 9.2 = 46.43 \text{ Mm}^3$$

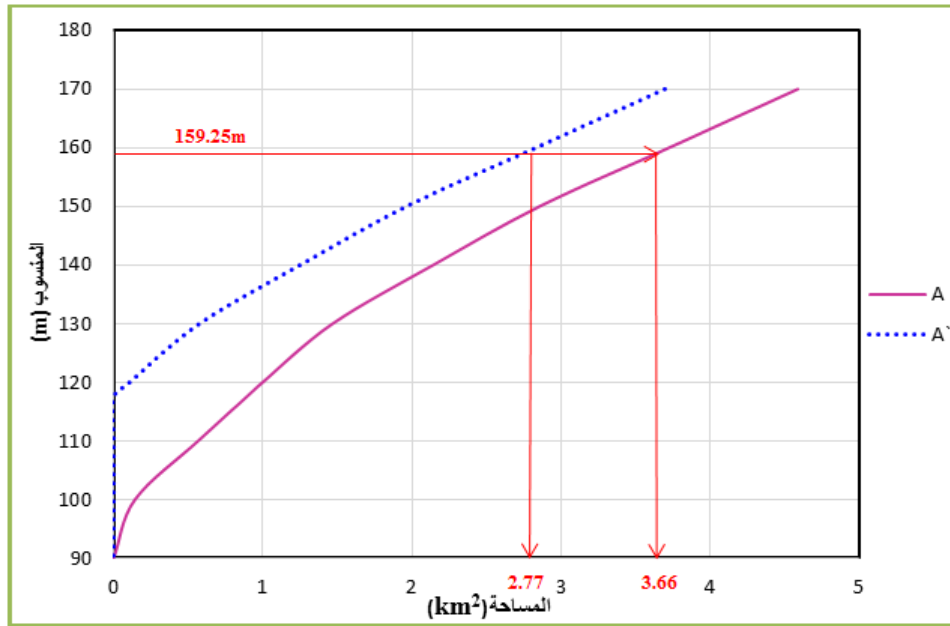
$$\frac{46.43}{47} * 100 = 99\% \quad \text{--- ok}$$

فيكون تبعا لذلك حجم التخزين المیت الموافق لهذا المنسوب $V_0 = 9.2 \text{ Mm}^3$ ، وارتفاع التخزين المیت

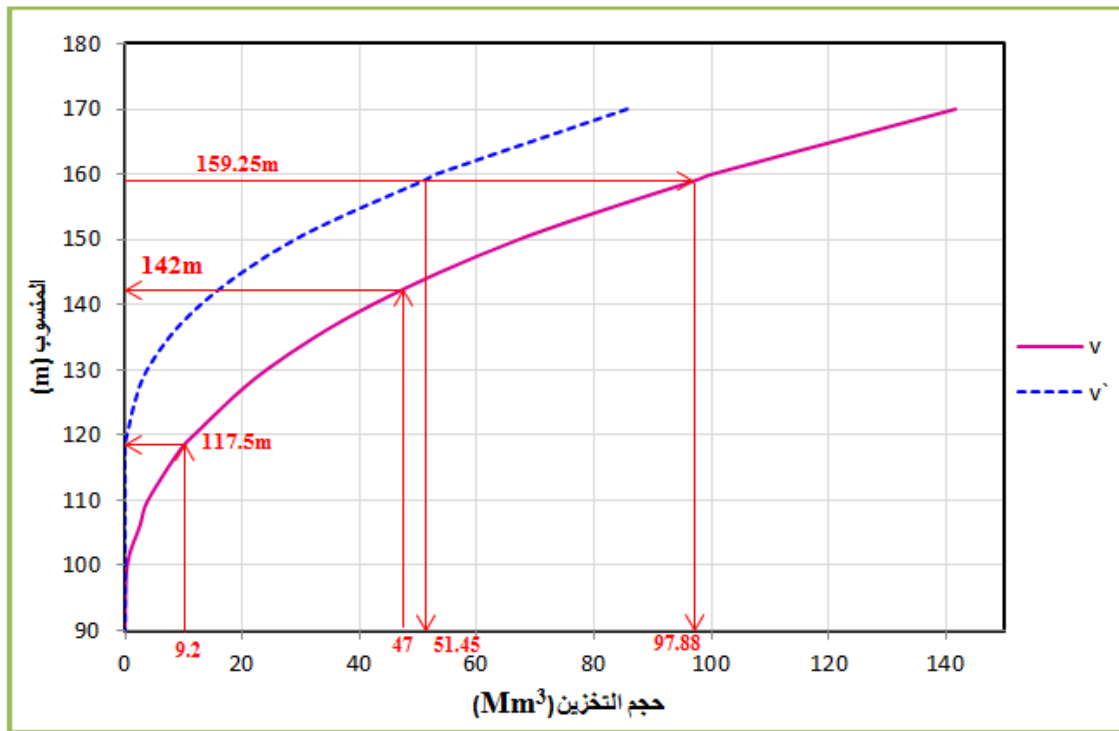
$$H_0 = h_0 - h_d = 117.5 - 87.15 = 30.35 \text{ m}$$

ويتحليل مماثل للحالة الأولى نقوم برسم منحنى مساحة - منسوب A(h) الشكل (10)، ومنحنى حجم تخزين - منسوب

V(h) الشكل (11)، وذلك قبل وبعد حصول الترسيب.

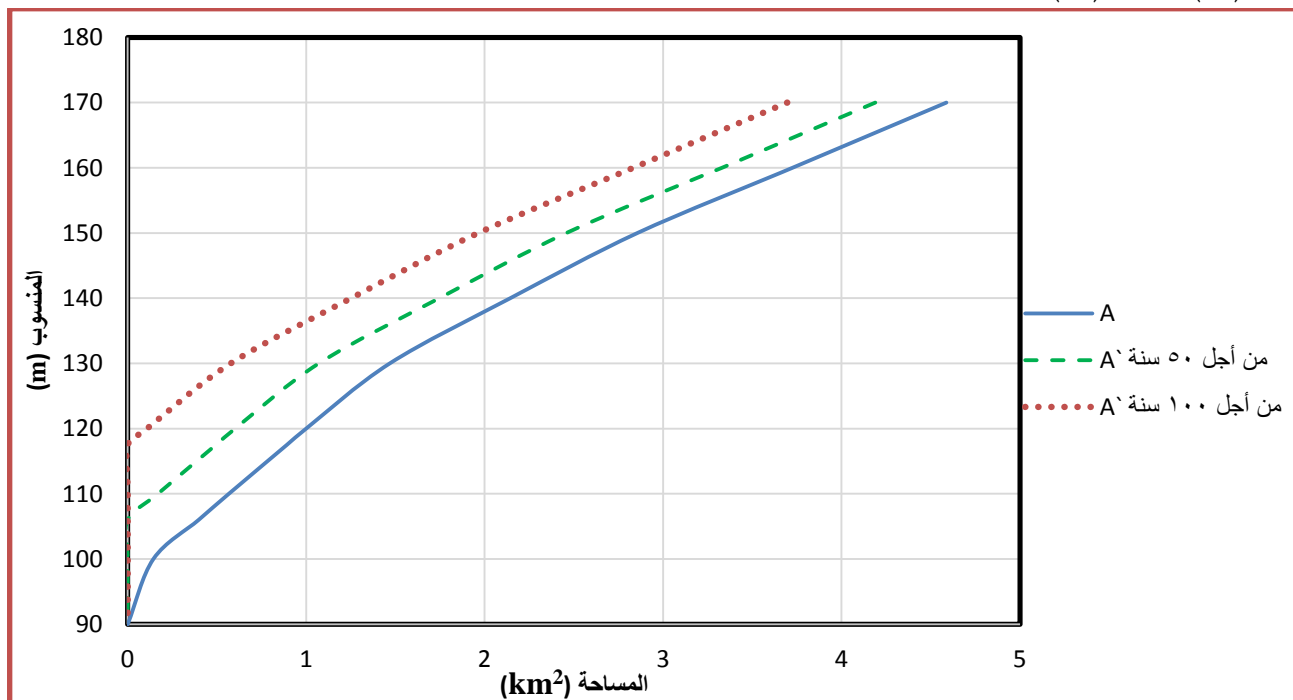


الشكل 10. منحنى مساحة-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 100 سنة.

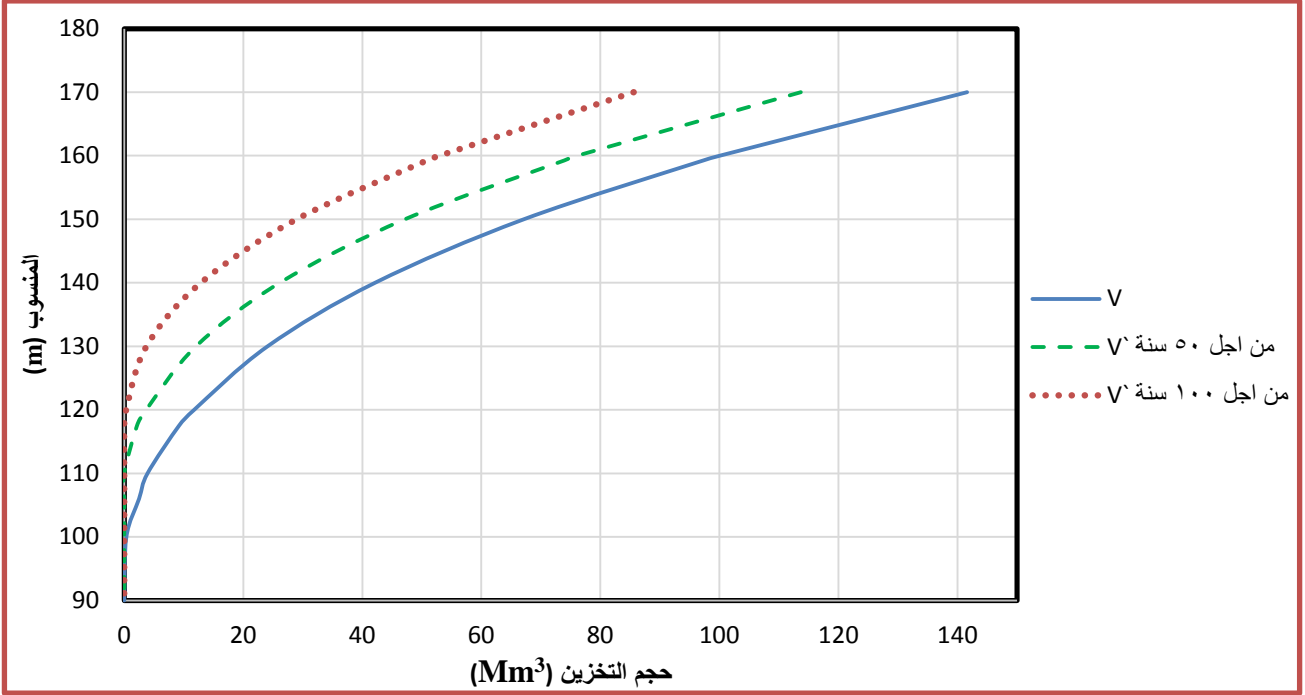


الشكل 11. منحنى حجم تخزين-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 100 سنة.

ولتوضيح تأثير الرسوبيات على مساحة سطح البحيرة وحجم التخزين في البحيرة بالعلاقة مع عمر السد، نقوم بدمج منحنى المساحة-منسوب من أجل 50 سنة و 100 سنة وكذلك منحنى التخزين-منسوب ونقارن بين المنحنيات، الشكل (12) والشكل (13).



الشكل 12. المقارنة بين منحنى مساحة-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة و 100 سنة.



الشكل 13. المقارنة بين منحنى حجم تخزين-منسوب بتأثير الرسوبيات خلال 50 سنة و100 سنة.

بالمقارنة بين المنحنيات السابقة نلاحظ التأثير الواضح والمهم للرسوبيات على منحنيات مساحة التخزين وحجم التخزين بالعلاقة مع عمر السد، حيث كلما ازداد عمر السد ازداد حجم الرسوبيات في البحيرة الأمر الذي يؤدي إلى تقليل مساحة البحيرة وحجم التخزين في البحيرة.

*كفاءة الحجز وتحديد عمر السد من أجل سيناريوهات مختلفة

لدينا استطاعة تخزين بحيرة سد الثورة 9800 ha-m، ومساحة الحوض الساكب 133 km^2 ولدينا قيمة ارتفاع الهطل الفعال الوسطي السنوي لحوض نهر طرجانو 1020.7 mm/year . وارتفاع الهطل الفعال الوسطي السنوي لحوض نهر ديفة 1076.5 mm/year . ومعامل الجريان السطحي 0.3، وحجم الرسوبيات الوسطي السنوي $470000 \text{ m}^3/\text{year}$. ومن العلاقة بين كفاءة الحجز والنسبة بين الاستطاعة -جريان المعطاة في الجدول (2).
بدايةً نقوم بحساب الإنتاج السنوي للرواسب:

$$\text{حجم الرسوبيات الوسطي السنوي} = \frac{\text{الانتاج السنوي للرواسب}}{\text{مساحة الحوض (km}^2\text{)}} \quad (6)$$

$$\text{حجم الرسوبيات الوسطي السنوي} = \frac{470000 \times 10^{-4}}{133} = 0.35 \text{ ha-m/km}^2$$

نحسب حجم الجريان السنوي الوسطي لحوض نهر طرجانو:

$$I_1 = \frac{1020.7 \times 0.3}{1000} \times \frac{133 \times 10^6}{10^4} = 4072.6 \text{ ha - m}$$

حجم الجريان السنوي الوسطي لحوض نهر ديفة:

$$I_2 = \frac{1076.5 \times 0.3}{1000} \times \frac{80 \times 10^6}{10^4} = 2583.6 \text{ ha - m}$$

وبما أنه يتم إمرار كمية 20 Mm^3 من مياه نهر ديفة إلى بحيرة سد الثورة عبر نفق ديفة 3525 m ، والذي يعادل تقريباً 20% من استطاعة تخزين البحيرة، وبالتالي فإنه عند حساب حجم الجريان الوسطي السنوي من كلا الحوضين، يجب أخذ 20% فقط من حجم الجريان الوسطي السنوي لحوض نهر ديفة، وبالتالي يحسب حجم الجريان السنوي الوسطي الكلي للحوضين بالشكل التالي:

$$I = I_1 + 0.2 * I_2 = 4589.32 \text{ ha} - \text{m}$$

لأجل استطاعة تخزين من (9800 ha-m) نجد:

$$\frac{C}{I} = \frac{9800}{4589.32} = 2.1$$

حجم الرواسب السنوية الواصلة إلى الخزان:

$$Q_S = 0.35 * 133 = 46.55 \text{ ha} - \text{m}$$

فيمكن حساب العمر المفيد للخزان بتحديد عدد السنين اللازمة لأجل كل تزايد في الفاقد من استطاعة الخزان (لأجل القيم المتناقصة لنسب الاستطاعة-جريان) حتى حجم التخزين الحرج. باتباع عدة سيناريوهات:

*السيناريو الأول (من أجل انخفاض استطاعة التخزين إلى 20% من الاستطاعة الأولية)

(9800*0.2=1960 ha-m)، نرتب الحسابات والنتائج كما هو موضح في الجدول (5).

الجدول 5. تحديد العمر المفيد لسد الثورة من أجل انخفاض استطاعة التخزين إلى 20% من الاستطاعة الأولية.

الاستطاعة C (ha-m)	النسبة بين الاستطاعة والجريان $\frac{C}{I}$	كفاءة الحجز $\eta_{trap} (\%)$		حجم الرواسب المحجوزة سنوياً $V_S = Q_S \times \eta_{trap}$ (ha - m)/year	نقص استطاعة التخزين ΔC (ha-m)	عدد السنين لأجل نقص الاستطاعة $\Delta C + V_S$
		$\frac{C}{I}$ ratio	increment			
9800	2.1	97.5	97.5	45.39	1960	43.18
7840	1.71	97.5	97.5	45.39	1960	43.18
5880	1.28	97.5	97.375	45.33	1960	43.24
3920	0.85	97.25	96.45	44.9	1960	43.65
1960	0.43	95.65				173.25

وقد تم دراسة السيناريو الثاني والثالث بنفس الطريقة وكانت النتائج كما هي موضحة بالجدول (6).

الجدول 6. نتائج دراسة السيناريوهات المقترحة.

رقم السيناريو	نسبة التخفيض	عمر السد
الأول	%20	173.25
الثاني	%30	151.34
الثالث	%40	129.6

نلاحظ من خلال السيناريوهات الثلاثة السابقة كلما ازداد مقدار تخفيض الاستطاعة الأولية، كلما ازدادت كفاءة الحجز للرسوبيات ونقص حجم التخزين المفيد، وبالتالي نقص عمر السد.

الاستنتاجات والتوصيات

من مناقشة النتائج السابقة نتوصل إلى الآتي:

- 1- تؤثر الرسوبيات على حجم التخزين وعلى المساحة فتقلل من حجم التخزين والمساحة وبالتالي تقلل من عمر السد.
- 2- تكمن أهمية دراسة الرسوبيات في التحديد المناسب لآخذ الري والمفرغات السفلية والمنشآت الموجودة على السد أو في البحيرة.
- 3- ضرورة استخدام الخرائط الالكترونية لتسهيل تحديد المساحات.
- 4- ضرورة استخدام GIS وGPS وإمكانيات الاستشعار عن بعد في حساب سطوح التخزين وحجمه.
- 5- إجراء مسح دوري للبحيرات باستخدام أجهزة الكترونية حديثة للتحقق من حجم الرواسب وكيفية توزيعها.
- 6- تطوير نماذج رياضية اعتماداً على المسح الدوري للتنبؤ عن الترسبات المستقبلية وتوزيعها في البحيرات.
- 7- تطبيق أحدث التقنيات لتقليل حمولات الرواسب النهرية لتقليل الحجم الميت وزيادة مردود السد، حيث نوصي:
 - ✓ عمل سدات حماية في الأنهار والمجاري النهرية.
 - ✓ تخفيف ميل المنحدرات عن طريق عمل مدرجات في المناطق شديدة الانحدار.
 - ✓ العمل على التشجير وتوسيع الغطاء النباتي في الحوض الساكب.
- 8- ضرورة التحديد الدقيق لرواسب النهر السنوية كي يحدد حجم التخزين الميت بدقة.
- 9- دراسة إمكانيات تعزير البحيرة في فترات الجفاف وتقليل الحجم المخصص لتخزين الرواسب.
- 10- يمكن أن يستخدم المفيض القمعي كمفرغ للرسوبيات وذلك بإنشاء فتحة عند القاع لتصريف الرسوبيات مما يؤدي إلى زيادة العمر التشغيلي للسد.

المراجع

- 1- Foundation for Water Research. *World Water: Resources, Usage and the Role of Man-Made Reservoirs*. Marlow, UK, 2010,60.
- 2- RAKHMATULLAEV, SH. et al. *Sedimentation of Reservoirs in Uzbekistan: A Case Study of the Akdarya Reservoir, Zerafshan River Basin*. ICCE Workshop. Proceedings of the ICCE Workshop, Sep 2009, Hyderabad, India, IAHS Press, Vol. 349, 2011, 1–11.

- 3- MORRIS, G. L.; FAN, J. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw-Hill Book Co., New York, 1998, 329.
- 4- OTOO, J. N. A. *Suspended Sediment Transport Dynamics and Sediment Yields in Relation to Watershed Characteristics, Upper Green River Basin, Kentucky*, Master Thesis, The Faculty of the Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green, Kentucky, USA, 2010, 96.
- 5- HAREGEWEYN, N. et al. *Reservoir Sedimentation and its Mitigating Strategies: A Case Study of Angereb Reservoir (NW Ethiopia)*. Journal of Soils and Sediments, Vol. 12, N°. 2, 2011, 291–305.
- 6- WULANDARI, D. A.; LEGONO, D.; DARSONO, S. *Evaluation of Deposition Pattern of Wonogiri Reservoir Sedimentation*. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, Vol. 15, N°. 02, 2015, 15-20.
- 7- United States Society on Dams USSD, *Modeling Sediment Movement in Reservoirs*. USA, 2015, 25.
- 8- STRAND, R. I.; PEMBERTON, E. L. *Reservoir sedimentation*. Technical Guideline for Bureau of Reclamation, Technical Services Engineering and Research Center, Bureau of Reclamation's Sedimentation and River Hydraulics Group, Denver, Colorado, USA, 1982, 48.
- 9- RAHMANIAN, M. R.; BANIHASHEMI, M. A. *Sediment Distribution Pattern in Some Iranian Dams Based on A New Empirical Reservoir Shape Function*. Lake and Reservoir Management, Vol. 27, N°. 3, 2011, 245-255.
- 10- FENDRESKI, N. et al. *Investigation and Calibration of Area-Reduction and Area-Increment Empirical Methods in Sediment Distribution Type of Maroon Reservoir Dam in Khuzestan, Iran*. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, Vol. 3, N°. 4, 2014, 120-126.
- 11- Borland, W. M.; Miller, C. R. *Distribution of sediment in large reservoirs*. Journal of Hydraulic Engineering Division ASCE, 1958, Vol. 84,1-18.
- 12- GHOMESHI, M. *Reservoir Sedimentation Modelling*, PhD Thesis, Department of Civil and Mining Engineering, University of Wollongong, Wollongong, Australia, 1995, 424.
- 13- SHINDE, T.; 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, Vol. 2, N°. 3, 2016, 108-111.

14- MICHALEC, B.; PEĆZEK, K.; STRUTYŃSKI, M. *Spatial Distribution of Bottom Sediment Deposits in Water Reservoirs at Zesławice*. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation, Vol. 41, N°. 1, 2009, 49-56.

15-JAROOT, E. A. KH. *The Effect of the Sediment Accumulation in Reservoirs: Case of the Roseires*, Master Thesis, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Khartoum, Khartoum, Sudan, 2009, 65.

16 - شركة AGROCOMPLECT ومديرية استصلاح الأراضي في اللاذقية. التقرير الهيدرولوجي لسد الثورة ونفق تحويل ديفة، اللاذقية، سوريا، 1984.