Studying of Sedimentation in Reservoir of 16 November Dam

Dr. Izz Addin Hasan[*]
Dr. Munzer Hammad[**]
Dr. Mufeeda Ahmad[***]
Dr. Maan Boubou[****]
Zafer Yazaji[*****]

(Received 7 / 7 / 2019. Accepted 2 / 10 / 2019)

ABSTRACT □

This research aims to estimate the amount of water erosion in the basin of the Northern Alkabeer Al Shimali River, and the percentage of it, that reaches to a reservoir of the 16 November dam, and how these sediments distribute in the reservoir and to suggest appropriate solutions to reduce the amounts of these sediments.

This study included calculating the basin characteristics of the Northern Alkabeer Al Shimali River by splitting it into sub-basins using the (GIS and WMS 7.1 software), as well as calculating the total amount of sediments, which results from water erosion in the study area using the general equation of soil loss (USLE).

The study found that the annual amount of total sediments which deposited in the lake were 456806 ton. And the amount of sediments collected in the lake during the investment period (31 years), was (14160986 ton), that equivalent to 12103407 C.M. These results corresponded to 97,743% with the survey which conducted by researchers team, and finished in June 2017. The survey result showed that, the total loss of reservoir storage volumes during the investment period is equivalent to 12,382,930 C.M. Which leads to a decrease in storage capacity of reservoir by 6.2%, that require finding appropriate solutions to reduce this quantity and mitigate their negative impact.

Keywords: Reservoir's Sediments , (16) November dam, suspended and unsuspended sediments, turbidity currents, useful storage volume, flood simulation, bathymetry changes, numerical modeling of sedimentation in reservoirs.

[*] **Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[**] **Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[***] **Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[****] **Assistant Professor, Department of Topography Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[*****] **Expert Lecturer, Department of Topography Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**

دراسة عمليات الاطماء في بحيرة سد 16 تشرين

د. عز الدين حسن*
د. منذر حماد**
د. مفيدة أحمد***
د. معن بوبو****
ظافر يازجي*****

(تاريخ الإيداع 7 / 7 / 2019. قُبِل للنشر في 2/ 10 / 2019)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى تقدير كمية الانجراف المائي للتربة في حوض نهر الكبير الشمالي ونسبة ما يصل منها الى بحيرة سد 16 تشرين، وكيفية توزع هذه الرواسب في البحيرة، واقتراح الحلول المناسبة للتقليل من كميات هذه الرواسب.

تضمنت هذه الدراسة استنتاج خواص الحوض الساكب لنهر الكبير الشمالي عبر تجزئته الى أحواض فرعية باستخدام برنامج نمذجة المياه السطحية (WMS 7.1) وبرنامج GIS، و حساب الكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة في منطقة البحث باستخدام المعادلة العامة لفقد التربة (USLE).

توصلت الدراسة إلى أن كمية الرواسب الاجمالية السنوية التي تترسب في بحيرة سد 16 تشرين تبلغ (456806 ton)، و بلغت كمية الرواسب التي تجمعت في البحيرة خلال مدة الاستثمار 31 سنة (14160986 ton)، أي ما يعادل $12103407\ C.M$، وتطابقت هذه النتائج بنسبة % 97,75 مع نتائج أعمال المسح التي قام بها فريق الباحثين، التي انتهت في حزيران 2017 ، حيث بينت أن مجموع الحجوم التخزينية التي فقدتها البحيرة خلال مدة الاستثمار بلغت 12,382,930 C.M. الأمر الذي يؤدي إلى تناقص الطاقة التخزينية لبحيرة السد بمعدل 6,2%، وهذا يستدعي إيجاد الحلول المناسبة من أجل التقليل ,من هذه الكمية والتخفيف من تأثيرها السلبي.

الكلمات المفتاحية: الترسيب في بحيرات السدود، سد (16) تشرين، الرسوبيات المتدحرجة والمعلقة، تيارات العكارة، حجم التخزين المفيد، محاكاة موجة الفيضان، تغيرات قاع البحيرة، النمذجة العددية للرواسب.

* أستاذ – قسم المائية والري– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية–سورية. (izhassan@SCS-net.org).
**أستاذ مساعد – قسم المائية والري– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية. (mounzer.hammad@gmail.com).
***أستاذ مساعد – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
****مدرس – قسم الهندسة الطبوغرافية – كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***** خبير في مجال السدود والمواد المائية– اللاذقية– سورية.

مقدمة:

يعدُّ الانجراف المائي أحد أبرز عمليات انجراف التربة وأكثرها خطورة، وخاصةً في المنطقة الساحلية حيث تهطل الأمطار بكميات وشدات كبيرة، وينتج عن ذلك جرف أطنان من التربة تنتقل بدورها إلى مجاري الأنهار، فيترسب جزء منها في هذه المجاري وجزء آخر في بحيرات السدود المُقامة عليها والباقي في البحر المتوسط.

وتحتوي المياه القادمة إلى البحيرة على نوعين من الحمولات المعلقة وتلك المجروفة على القاع، إن حجم الحمولات المعلقة هي أكبر بكثير من الرواسب المجروفة على القاع. عادة تترسب العناصر الخشنة من المواد العالقة والمجروفة على القاع لتشكل دلتا عند مصب النهر في البحيرة، بينما تحمل المواد الناعمة إلى البحيرة حيث المياه الراكدة، والحبيبات الناعمة جداً تظل محمولة مع المياه حتى تخرج من البحيرة عبر المفائض أو المآخذ.

والرواسب المتجمعة في بحيرات السدود تقلل من السعة التخزينية لها بشكل كبير، واستناداً إلى المراجع العلمية يبلغ الفاقد المتوسط في سعة تخزين بحيرة سد ما 1% كل عام /1/، وتشكل هذه النسبة قيمة كبيرة من المياه على مستوى العالم تذهب كفاقد بدون استثمار.

أهمية البحث وأهدافه:

لذلك تنبع أهمية هذه الدراسة من تقدير كمية التربة المنجرفة بفعل المياه من حوض بحيرة سد 16 تشرين في محافظة اللاذقية وتبيان كميات الرواسب الواصلة فعلاً الى البحيرة. ووضع الحلول للحد من وصول هذه الرواسب والعوالق إلى بحيرة السد ومنع انزلاقات جوانبها وجوانب الروافد، وبذلك نكون قد أسهمنا في بقاء هذا المورد المهم للمياه في الاستثمار لفترة أطول، وبالتالي مساهمته الفعالة في تأمين المياه لأغراض الري والشرب والسياحة، و مساهمته الكبيرة في تنمية الاقتصاد الوطني وتأمين الأمن الغذائي والأغراض الانسانية الأخرى.

وتكمن مشكلة البحث في عدم وجود نموذج رياضي نستطيع بموجبه تقدير كمية الرواسب الحقيقية التي تتجمع في سدود الساحل السوري عموماً، وفي سدود منطقة اللاذقية خصوصاً كسد 16 تشرين على نهر الكبير الشمالي، آخذين بعين الاعتبار النشاط الزراعي والسياحي والطرقي وإقامة منشآت أخرى في منطقة الحوض الساكب له ووقوع حوادث طارئة كحرائق الغابات وغيرها.

لذلك كانت أهداف البحث الذي قمنا به هي:

- تقدير كمية الانجراف المائي للتربة في حوض نهر الكبير الشمالي ونسبة ما يصل منها الى سد 16 تشرين.
- وضع نموذج رياضي دقيق وكاف لتقدير كمية مواد الطمي المترسبة في بحيرة سد 16 تشرين بالعلاقة مع الغزارة المارة في روافد البحيرة؛
- وضع تصور لكيفية توزع الرواسب الواصلة الى بحيرة سد 16 تشرين في هذه البحيرة حسب الظروف المسيطرة من كثافة الرواسب ودرجة حرارة المياه وموقع الروافد وغزارات موجات الفيضان القادمة؛

طرائق البحث ومواده:

1- انجراف التربة بفعل المياه من حوض بحيرة سد 16 تشرين

لقد قمنا خلال هذا البحث بدراسات نظرية وعملية للأحواض الساكبة لبحيرة سد 16 تشرين، وهي حوض النهر الكبير الشمالي حتى جسر غمام، وحوضي الروافد زغارو والأسود، حيث تضمّن الجزء النظري استنتاج خواص الحوض الساكب لهذه الأنهار والأجزاء المتبقية في الجانب الأيمن للبحيرة وصولاً الى السد في منطقة عين البيضا، بالاعتماد على برنامج نمذجة المياه السطحية (Watershed Modeling System)، وكذلك حساب الكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة في منطقة البحث باستخدام المعادلة العامة لفقد التربة $USLE$ (Universal Soil Loss Equation) [2] :

$$\boldsymbol{A = R.K.l.S.C.P}$$

$\boldsymbol{A}$ – كمية التربة المنجرفة مقدرة بالطن لكل فدان في السنة؛ $\boldsymbol{K}$ – عامل قابلية التربة للانجراف؛

$\boldsymbol{R}$ – عامل الهطل المطري؛ $\boldsymbol{S}$ – عامل ميل المنحدر؛

$\boldsymbol{l}$– عامل طول المنحدر؛ $\boldsymbol{P}$ – عامل السيطرة العملية على الانجراف

$\boldsymbol{C}$ – عامل إدارة المحصول؛

ولتطبيق هذه العلاقة قمنا بتجزئة الحوض الساكب للبحيرة الى عدة أحواض منها حوض نهر زغارو وحوض نهر الأسود وحوض الكبير الشمالي حتى جسر غمام. والشكل (1) يوضح منطقة بحيرة سد 16 تشرين والحوض الساكب لها.

1-1- حوض نهر زغارو

يُعدّ نهر زغارو أحد أهم الروافد الشمالية لنهر الكبير الشمالي، حيث يبدأ من غابات الفرنلق وينتهي في بحيرة سد 16 تشرين، يمكن أن نقوم بحساب كمية الرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة وكمية الرواسب المنقولة في هذا النهر التي تصل إلى بحيرة سد 16 تشرين من خلال استنتاج خواص الحوض الساكب لنهر زغارو باستخدام برنامج (WMS 7.1) ، وكذلك حساب الكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة في منطقة الحوض باستخدام المعادلة العامة لفقد التربة (USLE)، كذلك تضمنت قياس كميات الرواسب المنقولة في المياه وذلك بوساطة أجهزة قياس مُستخدمة عالمياً لإجراء هذه التجارب.

لاستنتاج خواص الحوض الساكب لنهر زغارو، تم استخدام برنامج نمذجة المياه، حيث تبلغ مساحة هذا الحوض $A = 78{,}96\ \mathrm{km}^2$، وطول الحوض $L = 21{,}67\ km$ ، ويصل الميل الوسطي للحوض إلى ة $I_{mean} = 12{,}08\ \%$ ، ويوضّح الشكل (2) مراحل رسم الحوض الساكب والنهر الرئيسي وروافده في منطقة الدراسة.

حساب الكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض زغارو

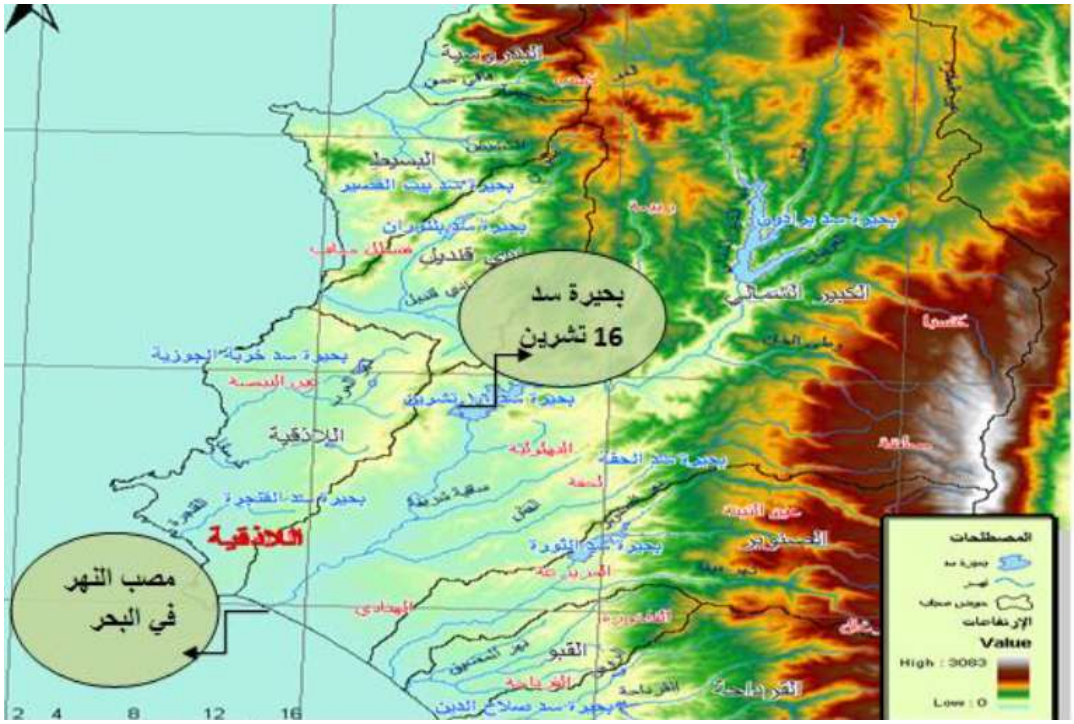
بعد أن تم حساب عوامل المعادلة العامة لفقد التربة (USLE) لحوض نهر زغارو كما هو وارد في الجدول (1) أدناه بحسب **[4,5,6]**. نستطيع حساب المعدّل السنوي للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض نهر زغارو:

$$\boldsymbol{A = R.K.l.S.C.P}$$
$$= 495 \times 0{,}308 \times 1{,}513 \times 1{,}556 \times 0{,}0163 * 0{,}608$$
$$= 3{,}557\ ton/acre/year$$
$$= 8{,}789\ ton/hectare/year$$

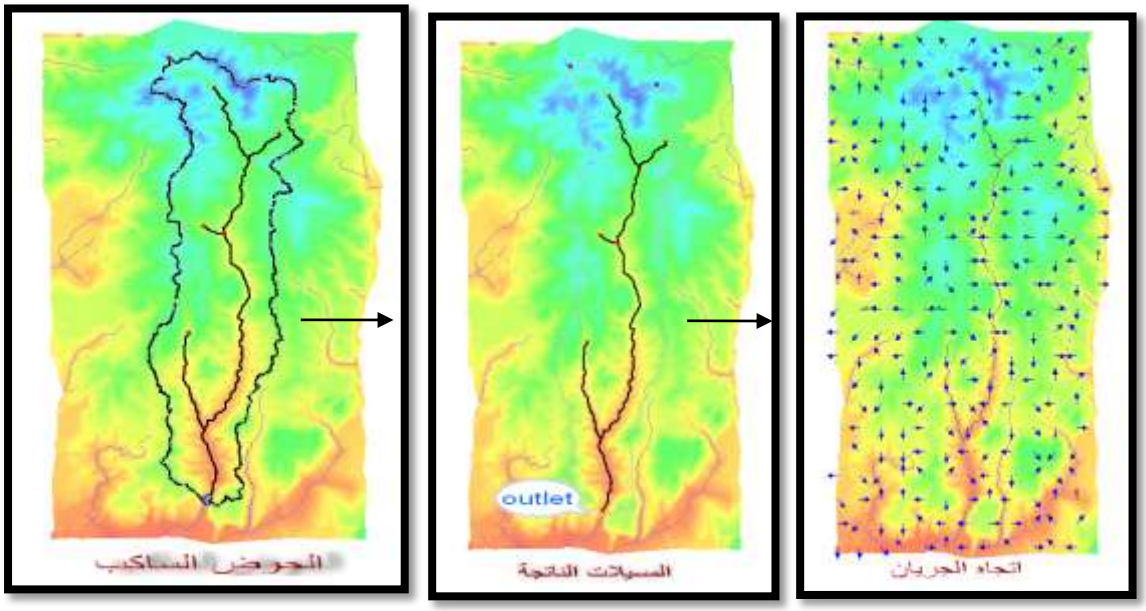
بالتالي تكون الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض نهر زغارو:

الكمية الإجمالية = المعدل السنوي * المساحة الإجمالية للحوض الساكب بالهكتار

$$\boldsymbol{A_{total} = A \times AREA = 8{,}7 \times 89 \times 7896 \approx 69400\ ton}$$



الشكل (1): يوضح منطقة بحيرة سد 16 تشرين والحوض الساكب لها.



الشكل (2): مراحل تشكيل الحوض الساكب والنهر الرئيسي وروافده في منطقة الدراسة [5].

الجدول(1): نتائج حساب عوامل المعادلة العامة لفقد التربة (USLE) لحوض نهر زغارو بحسب [4,5,6].

عامل الهطل المطري (R)	$R = \frac{\sum(E.I_{30})}{(2 \quad 0 * 12)} = \frac{118785}{240} \approx 495$
عامل قابلية التربة للانجراف (K)	$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(k_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} = \frac{24340159,9}{78964014} = 0,308\ ton/acre/year$
عامل طول المنحدر (l)	$l = \frac{\sum(l_i * \lambda_i)}{\sum l_i} = \frac{4131.009}{2730} = 1,513$
عامل ميل المنحدر (S)	$S = [65.41 \sin^2(6,9) + 4,56 \sin(6,9) + 0,065] = 1,556$
عامل إدارة المحصول (C)	$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(C_i * A_i)}{\sum_{i=1}^{i=n}(A_i)} = \frac{1288938.72}{78964014} = 0,0163$
عامل السيطرة العملية على الانجراف (P)	$p = 0,608$

ونُلاحظ أن معدّل الانجراف المائي للتربة في حوض نهر زغارو مرتفع نسبياً بحسب المقاييس الألمانية **[14]** ، ويرجع ذلك لعدّة أسباب من أهمها قطع الغابات وحرقها، وكثافة الطرق، وعدم وضع خطط حقيقية للسيطرة على انجراف التربة في الحوض، بالإضافة إلى طبيعة التضاريس المنتشرة في الحوض، وكمية وشدة الأمطار الهاطلة،....الخ.

1-2- حوض النهر الأسود

وتم حساب عوامل الانجراف المائي للتربة في حوض النهر الأسود بحسب [5,6] وحصلنا على القيم التالية لهذه العوامل في الجدول (2):

الجدول(2): نتائج حساب عوامل المعادلة العامة لفقد التربة (USLE) لحوض نهر الأسود بحسب [5,6].

عامل الهطل المطري (R)	$R = 495$
عامل قابلية التربة للانجراف (K)	$k = 0,298\ ton/acre/year$
عامل طول المنحدر (l)	$l = \frac{\sum(l_i * \lambda_i)}{\sum l_i} = \frac{8529,1217}{4930} = 1,730$
عامل ميل المنحدر (S)	$S = [65,41 \sin^2(5.2) + 4,56 \sin(5,2) + 0,065] = 1,015$
عامل إدارة المحصول (C)	$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(C_i * A_i)}{\sum_{i=1}^{i=n}(A_i)} = \frac{227406,352}{17866838} = 0.0127$
عامل السيطرة العملية على الانجراف (P)	$p = 0,6$

وبعد الحصول على قيم عوامل المعادلة العالمية لفقد التربة (USLE)، يكون المعدّل السنوي للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض النهر الأسود:

$$A = R.K.l.S.C.P$$
$$= 495 \times 0,298 \times 1,730 \times 1,015 \times 0,0127 \times 0,6$$
$$= 1,974\ ton/acre/year$$
$$= 4,875\ ton/hectare/year$$

بالتالي تكون الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض النهر الأسود تساوي:

المعدل السنوي * المساحة الإجمالية للحوض الساكب بالهكتار

$$A_{total} = A \times AREA1 = 4.875 \times 1786{,}6838 \approx 8710{,}245\ ton$$

نُلاحظ أن معدّل الانجراف المائي للتربة في حوض النهر الأسود أقل منه في حوض نهر زغارو، و ترجع أسباب هذه القيمة المنخفضة عن تربة حوض زغارو الى كون تربة حوض النهر الأسود مقاومة للانجراف كونها مغطاة في جزء من الحوض بالترب التي تعود الى الصخور الخضراء ولكن تعتبر كبيرة مقارنة مع مناطق أخرى وتعود الأسباب الى قطع الغابات وحرقها، والرعي الجائر، وكثافة الطرق، وعدم وضع خطط حقيقية للسيطرة على انجراف التربة في الحوض، بالإضافة إلى طبيعة التضاريس المنتشرة في الحوض، وكمية الأمطار الهاطلة،....الخ.

1-3- حساب الانجراف المائي في الأجزاء المتبقية من الضفة اليمنى لبحيرة سد 16 تشرين

وهي المناطق الواقعة جنوبي حوض النهر الأسود وجسم السد (عين الزرقا، الصفصاف، عين البيضا وقسمين المطلة على السد) والجزء الواقع بين حوضي النهر الأسود وزغارو (سولاس ، الكراسات، الدالية، الطارقية) المتشاطئة مع بحيرة السد. وبتطبيق المعادلة العالمية لفقد التربة حصلنا على المعدّل السنوي للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة هذه المناطق:

$$A_1 = R \times K \times L \times s \times C * P$$

$$= 495 \times 0.42 \times 1.317 * 0{,}856 \times 0.04 \times 0.5$$

$A_1 = 4{,}607\ ton/acre/year$= 11,576 ton/hac/year

وقيمة الانجراف المائي يساوي

$$\boldsymbol{A_{total}} = A * AREA2 = 11{,}576 \times 4033.5008 \approx 46692\ ton$$

ونلاحظ أن قيمة الانجراف المتوقع من هذه المنطقة الواقعة بين حوض النهر الأسود وجسم السد من الجهة الغربية والجنوبية (مناطق الصفصاف، عين البيضا وقسمين والجزء الواقع بين حوضي النهر الأسود وزغارو المتشاطئة مع بحيرة السد) بحسب بعض المراجع الألمانية **[14]** كبيرة لكون المنطقة زراعية وفيها الكثير من المنشآت والطرق وميولها كبيرة وتربتها رخوة قابلة للتآكل.

1-4- حساب الانجراف المائي في حوض نهر الكبير الشمالي للأجزاء الواقعة فوق ذيل بحيرة سد 16 تشرين.

1-4-1- حساب الانجراف المائي في حوض نهر الكبير الشمالي الواقع بين سد برادون وذيل بحيرة سد 16 تشرين.

وبدراسة مماثلة لحوض نهر الكبير الشمالي الواقع بين سد برادون وذيل بحيرة سد 16 تشرين البالغة مساحته 282 km^2 الموضح في الشكل (3). وبعد حساب مؤشرات المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة (R,K,Ls,C,P)، تم الحصول على خارطة التنبؤ بكميات التربة المفقودة بواسطة جداء خرائط المؤشرات مع بعضها ضمن بيئة عمل برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وقسمت هذه الكميات الى خمسة صفوف وفق **[8]**. ويوضح الجدول (3) المساحات والنسب التي تشغلها صفوف كمية التربة المنجرفة.

وبالحساب الموزون لمقدار الانجراف المائي الوسطي لتربة هذا الجزء حصلنا على القيمة 36,6 ton/hac/year.

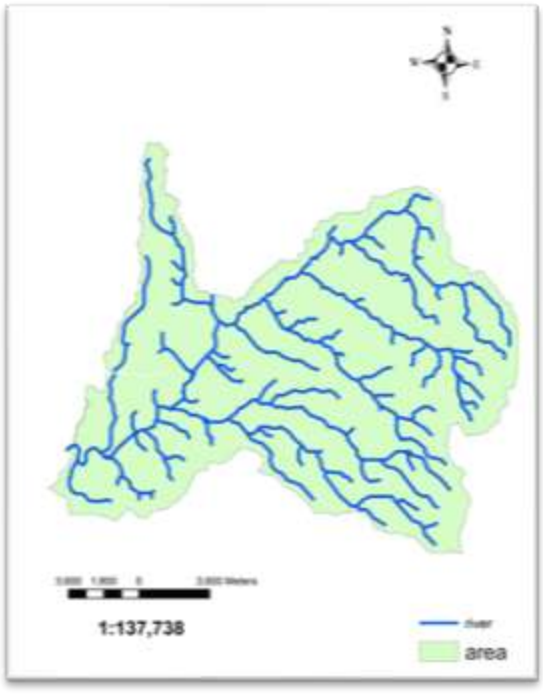
الجدول (3): المساحات والنسب التي تشغلها صفوف كمية التربة المنجرفة الحوض الساكب لحوض نهر الكبير الشمالي بين سد برادون وذيل بحيرة سد 16 تشرين [8].

كمية التربة المتحركة ($t.ha^{-1}.y^{-1}$)	المساحة التي تشغلها (km^2)	النسبة المئوية من المساحة الكلية(%)	خطورة الانجراف
0-30	184,74	65.51	منخفض جدا"
30-50	22,48	7.96	منخفض
50-70	17,34	6.15	متوسط
70-100	17,20	6.1	عالٍ
>100	40.35	14.31	عالٍ جداً

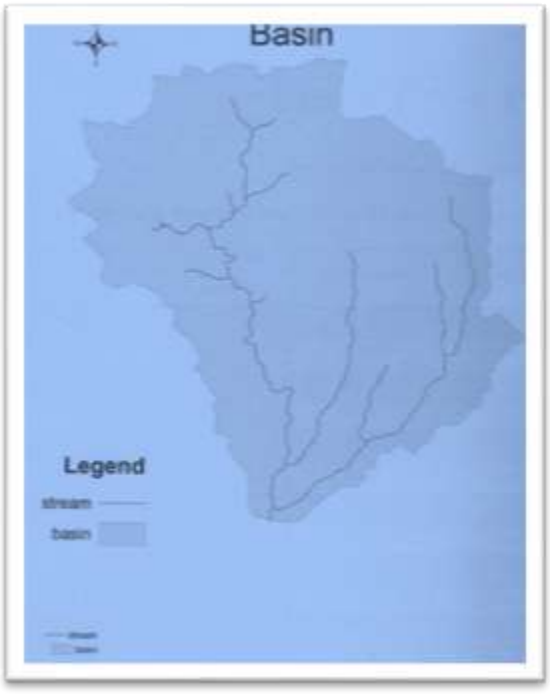
1-4-2- حساب الانجراف المائي للتربة في حوض نهر الكبير الشمالي من المنبع حتى سد برادون

وبشكل مماثل تمت دراسة الجزء الواقع فوق سد برادون الذي تبلغ مساحته 371 km^2 ، الموضح في الشكل (4). حيث بلغت قيمة الانجراف الوسطي لهذا الجزء 25,35 ton/hac/year .

وحصلنا على القيمة الموزونة للانجراف في كامل حوض نهر الكبير الشمالي حتى ذيل البحيرة 30,20 ton/hac/year.



الشكل(3): الحوض الساكب لحوض نهر الكبير الشمالي بين سد برادون وذيل بحيرة سد 16 تشرين.



الشكل(4): الحوض الساكب لحوض سد برادون على نهر الكبير الشمالي.

وبالتالي يكون حجم الانجراف لكامل حوض النهر الكبير الشمالي من المنبع حتى ذيل بحيرة سد 16 تشرين.

الكمية الإجمالية = المعدل السنوي * المساحة الإجمالية للحوض الساكب بالهكتار

والمساحة الاجمالية لهذا الحوض 371+282= 653 km^2 = 65300 hac

وحجم الانجراف السنوي المحتمل $65300 \times 30,2 = 1972060\ ton/year$.

النتائج والمناقشة:

1- حساب كمية الرواسب المنقولة الى بحيرة سد 16 تشرين

1-1- حساب كميات الرواسب المنقولة في مياه نهر زغارو

لقد تم قياس الرواسب المُعلقة وإجراء تجارب تحديد كميات الرواسب المعلقة الكلية في العينات المائية المأخوذة بحسب[5,6] ، تم الحصول على التركيز المتوسط للرواسب المعلقة في مياه نهر زغارو:

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{i=3}(S_i)}{3} = 1190\ gr/m^3 = 1.19\ kg/m^3$$

ومن أجل حساب الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في نهر زغارو، تم الاعتماد على كمية الوارد الكلي السنوي الوسطي في نهر زغارو كمجموع حجوم الجريان الوسطية الشهرية الواردة [6,10] :

$$V = \sum_{i=1}^{i=12} (\text{V month}) = 19.12\ MCM$$

وبلغت الكمية السنوية الكلية للرواسب المعلقة في مياه نهر زغارو كناتج **جداء التركيز الوسطي للرواسب** المعلقة والوارد الكلي السنوي الوسطي في نهر زغارو:

$$Suspended\ Load = 1190 \times 10^{-6} \times 19.12 \times 10^6 \approx 22848\ ton$$

وتكون الكمية السنوية الكلية **للرواسب المتدحرجة** على القاع مع مياه نهر زغارو باعتبارها تساوي 20% من **الرواسب** المعلقة[2]:

$$Bed\ load = 22848\ \times 0,20 \approx 4569,6\ ton$$

وبالتالي تبلغ لكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في مياه نهر زغارو كناتج مجموع كميتي الرواسب المعلقة في المياه والرواسب المتدحرجة على القاع:

$$Total\ Load = 22848 + 4569,6 = 27418\ ton$$

و بلغت النسبة بين الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في المياه والكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض نهر زغارو:

$$\frac{Total\ Load}{A_{total}} = \left(\frac{27418}{69401}\right) \times 100 \approx 39,51\%$$

أي أن كمية الرواسب المنقولة في نهر زغارو، والتي تصل فعلياً إلى بحيرة سد 16 تشرين، تُشكّل *39,51%* من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي في حوض زغارو، وهذه النسبة مرتفعة نسبياً، ويرجع ذلك إلى ارتفاع معدّل الانجراف المائي للتربة في الحوض كما أسلفنا، وكذلك ضعف الإجراءات المتخذة على مجرى النهر للحد من كمية الرواسب المنقولة وميل النهر الكبير.

1-2- حساب كميات الرواسب المنقولة في مياه النهر الأسود

لقد نم قياس الرواسب المُعلقة وإجراء تجارب تحديد كميات الرواسب المعلقة الكلية في العينات المائية المأخوذة بحسب[6] ، تم الحصول على التركيز المتوسط للرواسب المعلقة في مياه النهر الأسود:

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{i=3}(S_i)}{3} = 660{,}1667\ gr/m^3 = 0{,}6602\ kg/m^3$$

ومن أجل حساب الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في النهر الأسود، اعتمدنا على حساب الوارد المائي الوسطي بالاستناد الى مساحة الحوض الساكب حتى جسر الطارقية تماماً عند مصبه في بحيرة سد 16 تشرين البالغة $17{,}866838\ km^2$ وعلى معدل الهطل المطري الوسطي السنوي المقدر ب 800 mm ، وعامل الجريان السطحي المقدّر ب 0,27 حسب [10] يكون الوارد المائي الوسطي بالشكل:

$$Water\ incoming\ Volum = 17{,}866838 \times 0{,}800 \times 0{,}27 = 3{,}86\ MCM$$

واعتماداً على هذه القيمة نحسب الكمية السنوية الكلية للرواسب المعلقة في مياه النهر الأسود كناتج جداء التركيز الوسطي للرواسب المعلقة والوارد الكلي السنوي الوسطي في النهر:

$$Suspended\ Load = 660{,}2 * 10^{-6} \times 3{,}86 * 10^6 \approx 2548\ ton$$

وتكون الكمية السنوية الكلية للرواسب المتدحرجة على القاع في مع مياه نهر الأسود باعتبارها تساوي 20% من **الرواسب** المعلقة [2]:

$$Bed\ load = 2548\ \times 0{,}20 \approx 509{,}55\ ton$$

وكانت الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في مياه النهر الأسود كناتج مجموع كميتي الرواسب المعلقة في المياه والرواسب المتدحرجة على القاع:

$$Total\ Load = 2548 + 509{,}55 = 3057{,}55\ ton$$

وبالتالي بلغت النسبة بين الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في المياه والكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة حوض النهر الأسود:

$$\frac{Total\ Load}{A_{total}} = \left(\frac{3057{,}55}{8710{,}245}\right) \times 100 \approx 35{,}10\%$$

أي أن كمية الرواسب المنقولة في النهر الأسود، والتي تصل فعلياً إلى بحيرة سد 16 تشرين، تُشكّل 35,1 % من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي في حوض النهر الأسود، وهذه النسبة مرتفعة نسبياً، ويرجع ذلك الى ميله الشديد نسبياً في جميع أجزائه، وعدم وجود سهول فيضية حوله.

3-1- حساب كميات الرواسب المنقولة من الأجزاء المتبقية من الضفة اليمني للبحيرة.

ومن أجل حساب الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة **من الأجزاء المتبقية من الضفة اليمني للبحيرة**، وهي المناطق الواقعة جنوبي حوض النهر الأسود وجسم السد كما أسلفنا في الفقرة (3-1-3) ، حيث تبلغ مساحة هذه المناطق $40{,}335\ km^2$.

واعتمدنا على حساب الوارد المائي الوسطي بالاستناد الى مساحة هذا الحوض وعلى معدل الهطل المطري الوسطي السنوي المقدر ب 800 mm ، وعامل الجريان السطحي المقدر ب 0,20 حسب [10] ، يكون الوارد المائي الوسطي بالشكل:

$$Water\ incoming\ Volum = 40{,}335 \times 10^6 \times 0{,}800 \times 0{,}20 = 6{,}4\ MCM$$

واعتماداً على هذه القيمة نحسب الكمية السنوية الكلية للرواسب المعلقة من هذه المياه كناتج جداء التركيز الوسطي للرواسب المعلقة والوارد الكلي السنوي الوسطي من هذه المناطق:

$$Suspended\ Load = 600 \times 10^{-6} \times 6{,}4 * 10^6 \approx 3840\ ton$$

وتكون الكمية السنوية الكلية للرواسب المتدحرجة ,والواصلة الى البحيرة مع المياه باعتبارها تساوي 20% من **الرواسب** المعلقة[2]:

$$Bed\ load = 3840 \times 0{,}20 \approx 768\ ton$$

وكانت الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة مع المياه والمتدحرجة كناتج مجموعهما:

$$Total\ Load = 3840 + 768 = 4608\ ton$$

وبالتالي بلغت النسبة بين الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة مع المياه والمتدحرجة والكمية الإجمالية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي لتربة هذه المناطق:

$$\frac{Total\ Load}{A_{total}} = \left(\frac{4608}{46692}\right) * 100 \approx 9{,}9\ \%$$

أي أن كمية الرواسب المنقولة مع المياه والمتدحرجة من هذه المناطق والتي تصل فعلياً إلى بحيرة سد 16 تشرين، تُشكّل 9,9% من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف منها وهذه النسبة صغيرة نسبياً، ويرجع ذلك إلى عدم وجود مجاري مائية كبيرة بل مسيلات مائية وسواقي وميول متوسط الشدة.

1-4- حساب كميات الرواسب المنقولة في مياه نهر الكبير الشمالي عند ذيل بحيرة سد 16 تشرين

قمنا بقياس الرواسب المُعلقة عند جسر غمام عبر أخذ عينات مائية بنفس الأسلوب الذي تم في النهر الأسود في تواريخ مختلفة وخلال الفيضانات الأعظمية، وخلال فترة البحث، وأجرينا عليها تجارب تحديد كميات الرواسب المعلقة الكلية في العينات المائية المأخوذة، وتوصلنا الى متوسطات المواد المعلقة في المياه الواردة و المواد المجروفة عند جسر غمام فكانت كالتالي الجدول (4):

الجدول (4): متوسطات المواد المعلقة في المياه الواردة و المواد المجروفة عند جسر غمام [10].

حالة عكارة المياه الواردة في النهر عند إجراء القياس	التركيز المتوسط للرواسب المعلقة في نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام (gr/m^3)	المتوسط (gr/m^3)	التركيز المتوسط للرواسب المجروفة على القاع في نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام $(gr/\ ^3)$
عكرة جداً	3430	2050	410
عكرة	1860		
متوسطة العكارة	860		

وبالعودة الى بيانات مديرية الموارد المائية في اللاذقية [10] عن الواردات المائية الى بحيرة سد 16 تشرين خلال فترة الاستثمار من بداية التخزين 1987 وحتى اتمام عملية المسح الطبوغرافي في حزيران 2017 والبالغة 31 عاما ، وجدنا أن مجموع المياه الواردة الى السد خلال 31 عام بلغ

$$2828{,}95 + 3388{,}352 = 6212{,}30\ MCM$$

وبلغ مجموع كمية المياه الفائضة (المارة عبر مفيض السد) خلال هذه الفترة أي خلال 31 عام

$$1552{,}15 + 2094{,}493 = 3646{,}643\ MCM$$

ويمكننا بحساب بسيط أن نقدر كمية المياه السنوية الواردة الى البحيرة خلال فترة الاستثمار (31 عام) كالآتي:

$$\frac{6212,30}{31} = 200,396\ MCM$$

وبالتالي يمكن أن نقسم هذا الوارد المائي الى البحيرة خلال فترة الاستثمار على الروافد بحسب الدراسات الموجودة في مديرية الموارد المائية أو حسب الدراسات الهيدرولوجية على الشكل الآتي الجدول (5):

الجدول (5): توزع الوارد المائي الى البحيرة خلال فترة الاستثمار على الروافد.

الرافد أو النهر	الوارد السنوي مليون م^3
زغارو	19,2
الأسود	3,86
الأجزاء المتبقية من الضفة اليمني للبحيرة	6,4
من أعالي نهر الكبير الشمالي حتى ذيل البحيرة	171

وبحسب الجدول السابق (5) نجد أن الوارد المائي الوسطي للنهر عند جسر غمام خلال فترة الاستثمار هو 171 مليون متر مكعب تكون كمية المواد العالقة السنوية:

$$171000000 \times 2,050 = 350550\ ton/year$$

وكمية المجروفات المتدحرجة على القاع مقدرة 20% من المواد العالقة [2]:

$$350550 \times 0,20 = 70110\ ton/year$$

ويمكن أن نستنتج أن كمية الرواسب القادمة للبحيرة 50% منها تأتي على شكل عكر جداً و 40 % على شكل متوسط العكارة و 10% مع المياه خفيفة العكارة.

وتكون الكمية الإجمالية للرواسب المنقولة في مياه نهر الكبير الشمالي الى بحيرة سد 16 تشرين كناتج مجموع كميتي الرواسب المعلقة في المياه والرواسب المتدحرجة على القاع:

$$Total\ Load = 350550 + 70110 = 420660\ ton$$

وتكون نسبة ما يصل الى البحيرة من الرواسب من نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام

$$\frac{Total\ Load}{A_{total}} = (420660/1972060) \times 100 \approx 21,33\%$$

أي أن كمية الرواسب المنقولة مع المياه والمتدحرجة مع مياه **نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام** التي تصل فعلياً إلى بحيرة سد 16 تشرين، تُشكّل 21,33 % من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي، وهي قيمة أخفض من نهر زغارو والأسود ويرجع ذلك إلى كبر مساحة الحوض الساكب واحتوائه على نسبة متوسطة من السهول وسفوح بميول متوسطة الشدة وسهول فيضية.

وكمية الرواسب السنوية التي تصل الى بحيرة السد من مختلف الروافد والأجزاء هي:

$$420660 + 36146 = 456806\ ton/year$$

ومجموع كمية الرواسب المتجمعة في بحيرة السد خلال فترة استثمار السد أي خلال 31 سنة (1987−2017):

$$456806 \times 31 = 14160986\ ton/year$$

2-العلاقة بين الغزارة المارة في نهر الكبير الشمالي وكمية الرواسب المقاسة عند جسر غمام.

لقد نظمنا نتائج قياس كمية الرواسب خلال الغزارات المارة في مجرى نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام خلال فترة الدراسة في الجدول (6)، حيث يمكننا منه ايجاد العلاقة بين الغزارة المارة في النهر وكمية الرواسب المقيسة لحظة سحب العينات خلال فترة الدراسة. $Y = 23{,}64.Q + 836{,}25$ (1)

ومعامل الارتباط الناتج هو $R^2 = 0{,}8617$ ، وتعتبر هذه العلاقة الخطية الناتجة جيدة وبمعامل ارتباط مقبول والشكل (5) يبين التمثيل لهذه النتائج.

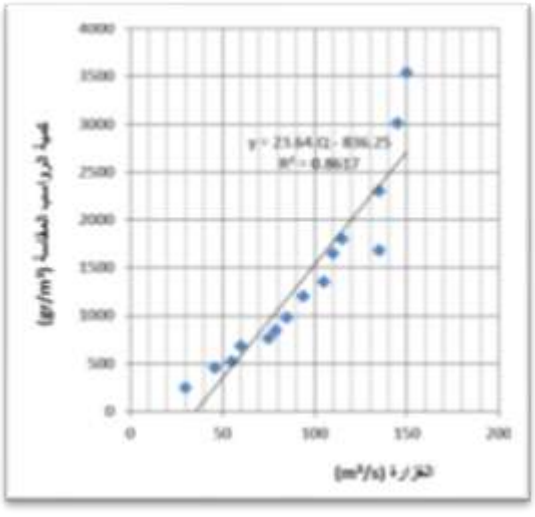
الجدول(6) : كمية الرواسب المقاسة خلال الغزارات المارة في مجرى نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام خلال فترة الدراسة.

الغزارة m^3/s	30.0	46.0	55.0	60.0	75.0	79.0	85.0
كمية الرواسب المقاسة (g/m^3)	244	453	520	680	760	842	978
الغزارة m^3/s	94.0	105.0	110.0	115.0	135.0	145.0	150.0
كمية الرواسب المقاسة (g/m^3)	1200	1350	1645	1840	2300	0013	3540

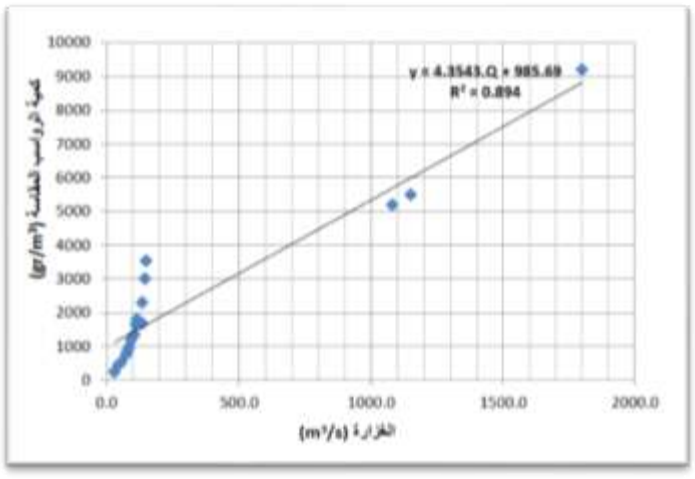
وفي حال أضفنا القياسات المدونة في أرشيف مديرية الموارد المائية [10] الواردة في الجدول(7) الى القيم الواردة في الجدول (6) نحصل على المنحني الخطي الوارد في الشكل(6).

الجدول(7) : كمية الرواسب المقاسة خلال الغزارات المارة في مجرى نهر الكبير الشمالي عند خان عطا الله وجسر غمام خارج فترة الدراسة.

الغزارة المارة عند خان عطا الله m^3/s	1200	1380	2300
كمية الرواسب المقاسة عند خان عطا الله (g/m^3)	5436	6500	10000
الغزارة المارة عند جسر غمام m^3/s	1080	1150	1800
كمية الرواسب المقاسة عند جسر غمام (g/m^3)	5200	5500	9200
تاريخ حدوث موجة الفيضان	27/12/1975	1953	20/5/1976



الشكل(5): العلاقة بين الغزارة المارة في النهر وكمية الرواسب المقاسة في نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام خلال فترة الدراسة.



الشكل(6): العلاقة الخطية بين الغزارة المارة في النهر وكمية الرواسب المقاسة في نهر الكبير الشمالي خلال وخارج فترة الدراسة.

وتم ايجاد العلاقة (2) الخطية بين الغزارة المارة في النهر وكمية الرواسب لمختلف القيم المقاسة خلال وخارج فترة الدراسة

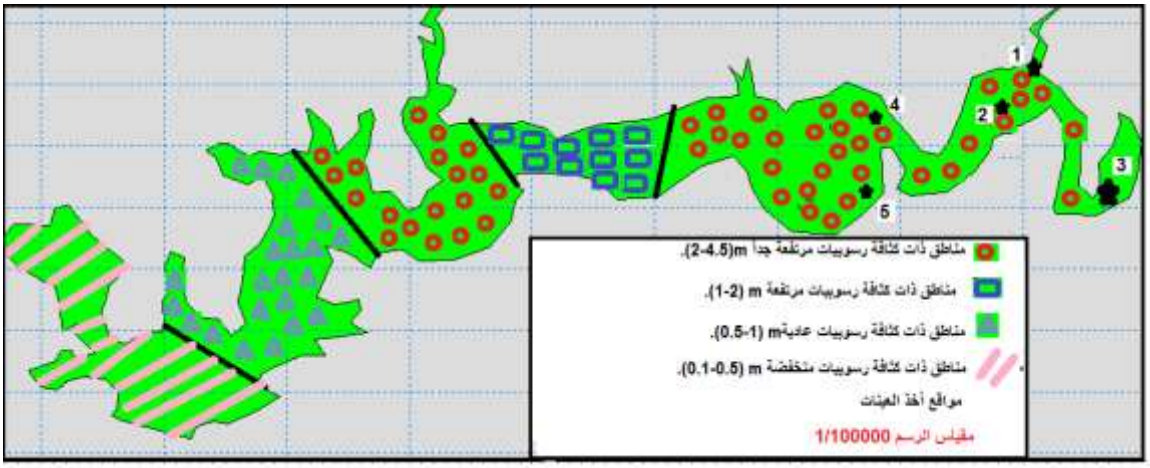
$$Y = 4{,}3543.Q + 985{,}69 \qquad (2)$$

وبمعامل ارتباط $R^2 = 0{,}894$ كما هو مبين في الشكل (6).

والعلاقات السابقة يمكن أن تطبق بسهولة لتقدير كمية الرواسب المنقولة عند موقع جسر غمام بدقة مقبولة.

3- حساب حجم الرواسب المنقولة الى بحيرة سد 16 تشرين.

ويجب أن نحسب ما تعادله الرواسب المتجمعة في بحيرة السد حجماً كي نتمكن من حساب الفاقد في تخزين البحيرة خلال فترة الاستثمار، لذلك من المتوجب حساب كثافة الرواسب الحجمية الوسطية باعتبارها كثافة مغمورة ، حيث تم أخذ عينات من البحيرة من مواقع منتقاة الشكل (7) وحساب كثافتها:



الشكل (7): أماكن أخذ العينات من البحيرة وتوزع الرواسب فيها.

وكانت نتائج حساب الأوزان النوعية والحجمية للعينات المأخوذة من قاع البحيرة بحسب الجدول (8)، وهذه الأوزان يلزمها تعديل باعتبارها مغمورة ضمن المياه حتى نتمكن من حساب الحجم المائي المفقود من حجم التخزين النظري. وقمنا بتعديلها حسب [11] ، حيث يتم تصحيح الكثافة لإحدى السنوات بالعلاقة:

$$\gamma_i = w_c P_C + w_m P_m + w_s P_s$$

حيث أن :

w_c, w_m, w_s عوامل تؤخذ لمكونات العينة بالترتيب (للغضار والسيلت والرمل) للمواد المترسبة من الجدول (8) بحسب تغير ظروف الرواسب في البحيرة.

P_c, P_m, P_s نسب مكونات العينة بالترتيب (للغضار والسيلت والرمل) للمواد المترسبة.

الجدول (8): الأوزان الحجمية والنوعية للعينات المأخوذة من قاع البحيرة.

رقم العينة	موقع أخذ العينة	الرطوبة الطبيعية(%)	الوزن الحجمي $gr/cm^3\ \gamma$	الوزن النوعي Gs	الوزن الحجمي المغمور الجديد $gr/cm^3\ \gamma_T$ بعد 31 سنة من الاستثمار
1	موقع مصب نهر زغارو	18.3	1.54	2.52	1,146
2	استقامة نهر زغارو	22.7	1.63	2.39	1,02
3	منعطف السفكون	32.83	1.44	2.35	1,06
4	وطى الشير–الجانب الغربي	28.22	1.87	2.11	1,047
5	وطى الشير–الجانب الشرقي	26.93	1.77	2.15	1,066

الجدول (9): تصنيف الرواسب في بحيرات السدود حسب [11].

رمز عملية الاستثمار	تغير ظروف الرواسب في البحيرة أو الخزان
1	الرواسب دوما مغمورة أو تقريباً مغمورة
2	عادة وسط لمراعاة هبوط الماء في البحيرة
3	البحيرة عادة فارغة
4	رواسب الأنهار

$$\gamma_T = \gamma_i + 0.4343K\left[\frac{T}{T-1}LnT - 1\right]$$

γ_T: كثافة المواد المترسبة على مدى T من السنوات وهنا لدينا $T = 31\ year$ مدة الاستثمار.

ويحسب العامل K من العلاقة:

$$k = k_c p_c + k_m p_m + k_s p_s$$

k_C, k_m, k_s: عوامل للغضار والسيلت والرمل للمواد المترسبة على التوالي من الجدول (10).

وبالحساب نحصل على قيم الأوزان الحجمية المغمورة الجديدة γ_T بعد 31 سنة من الاستثمار كما هو مبين في الجدول (8)، ويمكن احتساب متوسط هذه القيم واستخدامها لحساب حجم الرواسب في البحيرة انطلاقاً من وزن هذه الرواسب المتجمعة خلال 31 عام، حيث بلغت القيمة الوسطية $\gamma = 1{,}0678\ ton/m^3$.

الجدول (10): الكتلة أو الوزن الأصلي للرواسب في بحيرات السدود حسب[11].

رمز عملية الاستثمار	W_C	W_m	W_s
1	416	1120	1550
2	561	1140	1550
3	641	1150	1550
4	961	1170	1550

ويجب أيضاً تعديل هذه القيمة للأخذ بالاعتبار محتوى هذه الرواسب من المواد العضوية حسب [12] بضرب هذه القيمة بعامل يتعلق بالمواد العضوية وتتراوح قيمته بين المجال (1.1–1.25)، سوف نأخذ القيمة 1,1 لهذا المعامل فيصبح لدينا الوزن الحجمي المعدّل بالشكل:

$$\gamma_{av} = 1.07 \times 1.1 = 1.17\, t/m^3$$

وبالتالي يكون مجموع كمية الرواسب المتجمعة في بحيرة السد خلال فترة الاستثمار (1987–2017) حجماً:

$$14160986 \div 1{,}17 = 12103407\ CM$$

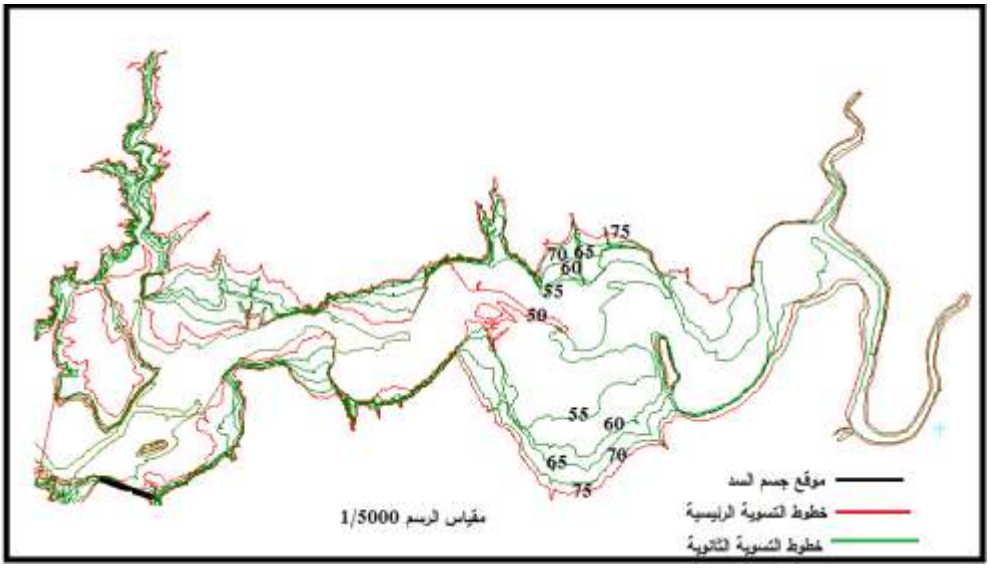
4– حساب حجم الرواسب المنقولة الى بحيرة سد 16 تشرين بالمسح الطبوغرافي

بغية حساب حجم الرسوبيات المتجمعة في بحيرة سد 16 تشرين بطريقة **المسح الطبوغرافي**، تمت مقارنة وضع البحيرة ما بين فترتين، فترة ما قبل إنشاء السد وفترة الوضع الحالي، وتمت عملية المقارنة من خلال خرائط طبوغرافية رقمية، لذلك قمنا بحساب حجم التخزين المائي استناداً الى الخرائط الطبوغرافية لبحيرة السد المتوفرة قبل البدء بعمليات انشاء السد أي في العام 1975 وقمنا برقمنتها، وللتمكن من اتمام الحساب يجب تشكيل سطحٍ ثانٍ وهو سطح الماء والذي هو منسوب التخزين الطبيعي للبحيرة 74.65 m ، أي أنه يجب الحصول على مجموعة النقاط التي تشكل محيط سطح الماء، وهي بالواقع نقاط متساوية المنسوب وهو ما يتطابق مع تعريف خط التسوية، أي يجب الحصول على خط تسوية منسوبه هو 74.65 m، وبعد الحصول على الخط المذكور يتم تشكيل السطح الثاني منه، وبعد الانتهاء من تشكيل السطحين تم حساب حجم التخزين المائي في البحيرة من المخططات الورقية المرقمنة والبالغ 199799346 MCM، وهذه القيمة هي المياه المحتواة في المنطقة المحدودة بإمكانية المسح المائي والبري لمنطقة البحيرة، فهي لا تشمل جزءاً صغيراً من ذيل البحيرة على نهر الكبير الشمالي وجزء من كل من أنهار زغارو والأسود كما هوز موضح في الشكل (8) [13].

وبعد القيام بأعمال المسح الهيدروغرافي للبحيرة من قبل فريق الباحثين تم الحصول على المخطط الموجود في الشكل (9) للبحيرة الذي يوضح مسقطا للبحيرة و خطوط تسوية بتباعد 1 m ناتجة من عمليات المسح الهيدروغرافي (المائي) والطبوغرافي لمنطقة البحيرة.

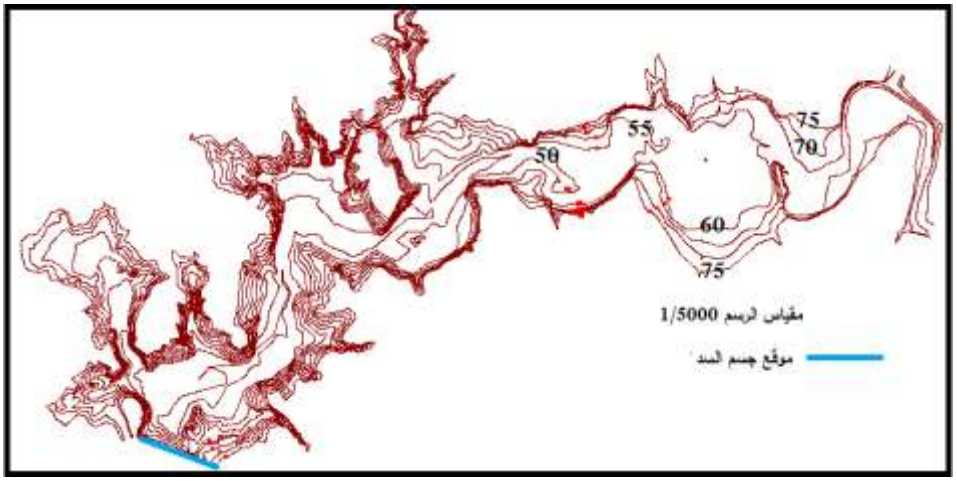
وحصلنا على حجم التخزين المائي لمنطقة البحيرة من نتائج المسح الهيدروغرافي (الفترة الحالية) [13] والبالغ 187416123 MCM، وهو يعبر عن حجم كمية المياه في بحيرة السد التي أمكن مسحها.

من مقارنة كمية المياه في البحيرة بين الفترتين السابقتين حصلنا على فرقٌ صافٍ في كمية الماء أو فاقد في التخزين قيمته 12,382,930 MCM ومن المنطقي أن يكون هذا الفرق هو نتيجة الرواسب الواردة إلى البحيرة وتلك الناجمة عن انزلاق أو انهيار أو حت للضفاف.



الشكل (8) : مخطط طبوغرافي لمنطقة الدراسة قبل الإنشاء بعد إجراء عملية الرقمنة.

ونلاحظ أن هذه القيمة تقترب من القيمة التي تم الوصول اليها من خلال المسح الطبوغرافي للبحيرة والذي أنجز في حزيران 2017 [14] ، حيث بلغ حجم الرواسب بالمسح الطبوغرافي 12,382,930 CM ، ويكون الفرق 279523 CM.

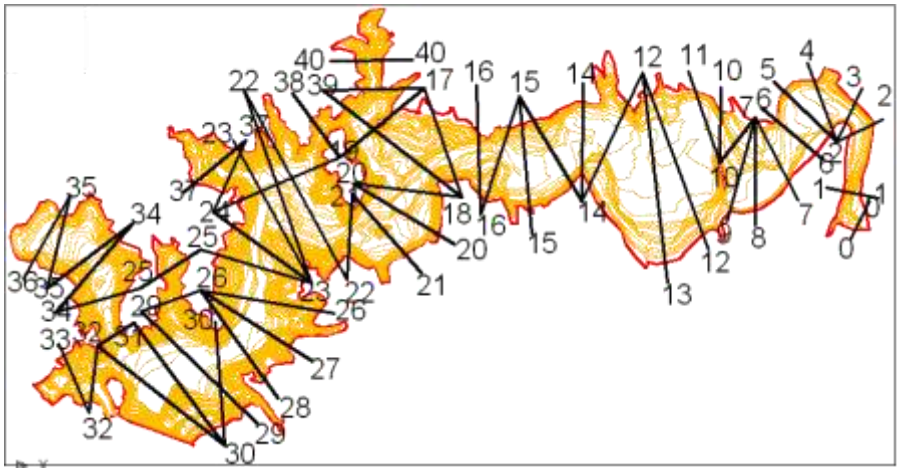


الشكل (9): **خطوط التسوية الرئيسية بخطوة m(5)الناتجة من المسح الطبوغرافي عام (2017) م.**

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

5- توزع الرواسب المنقولة في بحيرة سد 16 تشرين

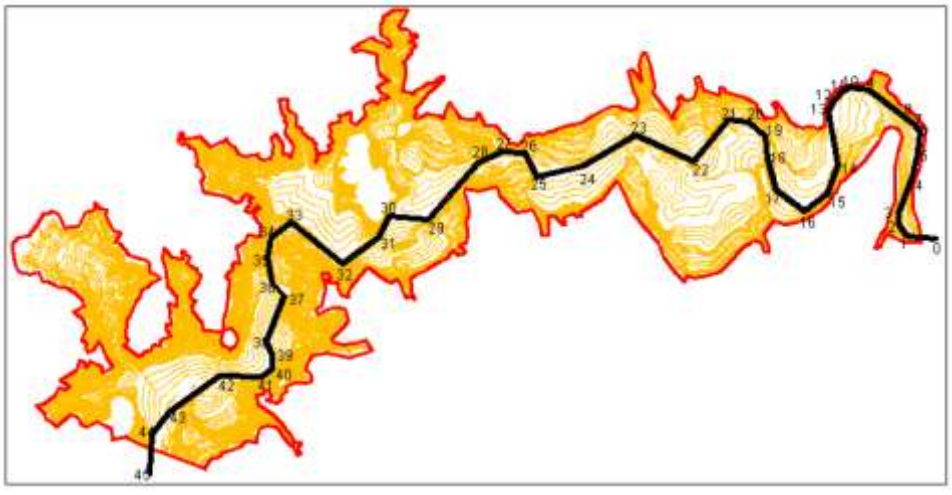
تم تحديد مواقع مجموعة من المقاطع العرضية في المنطقة المدروسة بحسب الأهمية وتوقعات الحالة الحدية، بحيث تعطي فكرة كافية قدر الإمكان عن وضع الحت والترسيب في البحيرة. والشكل (10) يوضح مواقع المقاطع العرضية المأخوذة أثناء المسح الطبوغرافي [13].



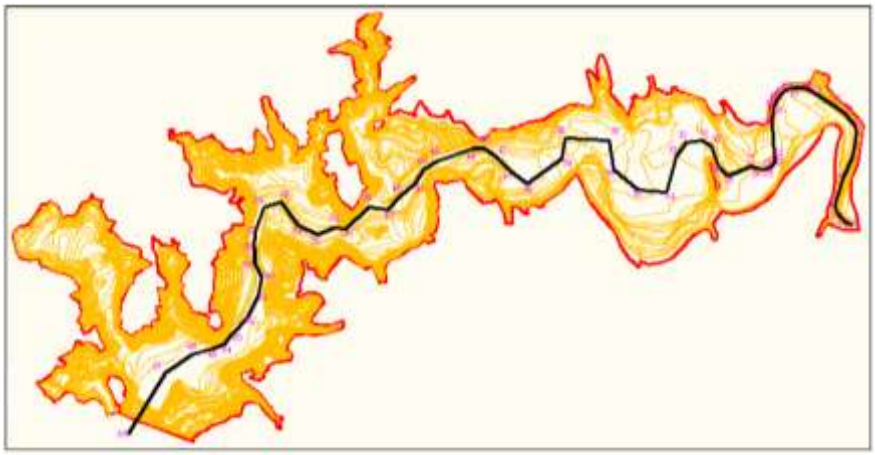
الشكل (10): مواقع المقاطع العرضية المأخوذة أثناء المسح الطبوغرافي [13].

بدراسة المقاطع العرضية والطولية نلاحظ أن منطقة الترسيب الأساسية في البحيرة هي المنطقة الممتدة بين المقطع 2 والمقطع 20–20، أما المنطقة التي تليها وحتى جسم السد، فكميات الترسيب فيها قليلةً أو غير ملحوظة، (علماً أن هذه المنطقة هي المنطقة الأعمق في البحيرة.

إن سماكة الرسوبيات في المنطقة المذكورة أعلاه، تتزايد بشكل تدريجي لتتجاوز عتبة الـ **8 m** بقليل بين المقطعين 7– 7 و 8–8 ، لتعود وتتناقص بشكل تدريجي أيضاً، علماً أن ميل قاع مجرى النهر لم يتغير بشكل كبير عبر الزمن فقد كان قبل إنشاء السد 0.028 أو 2.8% وأصبح حالياً 0.029 أو 2.9% أما طول مجرى النهر ضمن المنطقة المشمولة بالقياسات فقد كان 12730 m تقريباً وأصبح يقابله القاع الأخفض للبحيرة بطول 12280 m تقريباً أي أنه قد انخفض وقلت تعرجاته بحوالي 450 m الأشكال (11) و(12).



الشكل (11): المسار القديم لمجرى النهر بحسب المخططات الورقية القديمة [13].



الشكل (12): المسار الجديد لمجرى النهر بحسب المسح الحديث [11,14].

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. قدم البحث هيدروغرافية رقمية لحالة بحيرة سد 16 تشرين قبل بناء السد (رقمنة المخططات الأساسية) والحالة الراهنة عند إنجاز المسح (حزيران عام 2017) ودراسة كميات للمياه والرسوبيات لكامل منطقة البحيرة **($10,900,000\ m^2$)** من منسوب سطح الماء 75 m حتى القاع 32 m.
2. المنطقة التي تأثرت بالترسيب في البحيرة هي بين المنسوب 70 m والمنسوب 41 m ، وهي المنطقة الممتدة بين المقطع 3–2 والمقطع 20–20 ، و تقع في النصف الأخير من البحيرة ، تزداد قيم الرسوبيات لتبلغ قيمتها القصوى عند المنسوب 57 m في منطقة وسط البحيرة، حيث تتجاوز سماكة الرسوبيات عتبة الـ **8 m** بقليل. أما المنطقة التي تليها وحتى جسم السد، فكميات الترسيب فيها قليلة أو غير ملحوظة.
3. أظهرت الدراسة أن حجم التخزين الحالي من المياه للمنطقة المدروسة (حتى منعطف السفكون) تبلغ **187,416,416 CM** مقابل الحجم لنفس المنطقة قبل بناء السد **199,799,345 CM** .
4. بلغ مجموع حجوم الرسوبيات في البحيرة **13,836,705 CM** وأن مجموع حجوم الحت **1,453,776 CM** حيث بلغت كميات الرسوبيات التي وردت عبر النهر القيمة **12,382,930 CM** ، وهي تعادل انخفاض بنسبة **6.2%** من الحجم (خلال 31 سنة)، وبلغت القيمة الوسطية السنوية للترسيب حسب المسوح الطبوغرافية 399449 **CM** وهي تعادل نسبة ترسيب سنوية 0.2% وهي أقل من النسبة الوسطية العالمية.
5. بلغ مجموع المياه الواردة الى السد خلال 31 عام 6212,30 **MCM** وحجم المياه الفائضة 3646,643 **MCM** وكمية المياه السنوية الواردة الى البحيرة خلال فترة الاستثمار (31 عام) 200,4 **MCM** .
6. بلغت كمية الرواسب السنوية المحسوبة من الانجراف المائي وأخوذات العينات التي تصل الى بحيرة السد من مختلف الروافد والأجزاء 456806 ton/year ، ومجموع كمية الرواسب الكلية خلال فترة استثمار السد (1987–2017) 14160986 ton، بينما بلغ حسب المسح الطبوغرافي المنجز 12103407 *CM* وبقيمة سنوية 390432 *CM / year* وهي تعادل نسبة ترسيب سنوية % 0,19، وبتطابق مقبول يبلغ 97,743%.
7. تُشكّل كمية الرواسب المنقولة مع المياه والمتدحرجة مع مياه نهر الكبير الشمالي عند جسر غمام التي تصل

فعلياً إلى بحيرة سد 16 تشرين % 21,33 من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب الناتجة من الانجراف المائي .

8. كمية الرواسب المتجمعة أمام السد وبالقرب من مأخذ الري والنفق ما زالت قليلة ولا خوف على هذه المآخذ خلال المدى المنظور من الاستثمار.

التوصيات:

1. إعادة مسح منطقة البحيرة كل 10 سنوات لمتابعة التغيرات في حجم التخزين، و تقييم هذه التغيرات ومدى تأثيرها على منشأة السد وحجم التخزين. وإجراء مسح لمنطقة البحيرة مباشرة بعد وضع سد برادون في الاستثمار وبعد فترة مناسبة أخرى لدراسة تأثيره على الرسوبيات الواردة إلى البحيرة.

2. ضرورة إجراء دراسات مماثلة على كافة السدود الهامة في الساحل السوري لزيادة كفائتها ، وإطالة عمرها الزمني، ومعرفة سعتها التخزينية الفعلية ، ووضع المعطيات الفعلية أمام صناع القرار.

3. ضرورة قيام الجهات ذات العلاقة بالتشديد على الحفاظ على الغابات، وتخفيف انجراف التربة بفعل المشاريع الهندسية المختلفة في مناطق الحوض الصباب لبحيرة سد 16 تشرين، لما لذلك من أهمية في تخفيض الرواسب المنقولة الى البحيرة.

4. ضرورة قيام الجهات ذات العلاقة بالعمل على تنظيف مجاري الأنهار في المناطق التي تشكل جزءاً من بحيرات السدود (أو ضفافها على الأقل) بما لا يؤثر على المنشآت أو الأملاك المجاورة ، خاصة وأن هذه المناطق تشكل مناطق ترسيب أساسية، كما يرجى تأمين طرق صالحة للوصول إلى البحيرة.

5. اتباع أرشفة المخططات والوثائق بالطرق العلمية الحديثة، بحيث يمكن الوصول إلى أي وثيقة بسهولة.

6. استخدام المواد الناتجة عن تعزيل رواسب بحيرات السدود كفلتر لإنشاء السدود، لصناعة البيتون، كمواد رصف للطرقات، ركة للمنشآت الهندسية المختلفة أو كترب زراعية.

المراجع.

1- VISCHER,D.L.;HAGER,W.H.:Dam Hydraulics. Wiley Series in Water Resources Engineering -1997.

2- GRAF. w.H.: The hydraulics of reservoir sedimentation. Water Power&Dam construction 35(4): 45-52;35(9):33-38;36(4):37-40, (1983).

2- WISHHMEIR, W.H ; D.D.SMITH. Predicting Rainfall Erosion Losses - "A Guide to Conservation Planning", United States Department of Agriculiture, Agriculture Handbook No 537, 1987.

3- WOLF, S.: Bodenerosion als function veränderter Landnutzungs-
struktur- Modellierung der Entwicklung am Beispiel der Nationalparkregion sachsische schweiz, Technische Unversität Dresden, Dresden, 30. Janur 2006.

4- كبيبو وآخرون، استمارات لوصف مقاطع التربة (غير منشورة) ، سورية، المنطقة الساحلية ،2011.

5- اسماعيل، كنان؛ حسن، عزالدين؛ حماد، منذر: حساب النسبة بين كمية الرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة وكمية الرواسب المنقولة في نهر زغارو. مجلة جامعة تشرين، سلسلة العلوم الهندسية، موافقة نشر رقم 357/ص م ج ، تاريخ 2014/3/18.

6- اسماعيل، كنان: دراسة العلاقة بين كمية الرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة وكمية الرواسب المنقولة في نهر زغارو، رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، بإشراف أ. د. عزالدين حسن، جامعة تشرين 2014 .

7- GERT VERSTAETEN and LAN P.PROSSER <www.sciencedirect.com> 18 May 2007 .199-212.

8- WOLF, S.: Bodenerosion als function veränderter Landnutzungs-struktur- Modellierung der Entwicklung am Beispiel der Nationalparkregion sachsische schweiz, Technische Unversität Dresden, Dresden, 30. Janur 2006.

9- د. م. منذر حماد؛ أ.د. عزالدين حسن؛ م. رشا خضير : التنبؤ بكمية الرواسب المحتملة نتيجة الانجراف المائي للتربة في حوض نهر الكبير الشمالي بين سد برادون وسد 16 تشرين. في سلسلة العلوم الهندسية ISSN:2079-3081 ، في المجلد (41) العدد 1 لعام 2019 من مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. /31/

10- جداول ومعلومات من مديرية الموارد المائية في محافظة اللاذقية، الدراسة الهيدرولوجية للروافد العليا لنهر الكبير الشمالي (غير منشورة)،

11- ROBERT.I .;STRAND E.; PEMBERTON, L.: Reservoirs Sedimentation "Technical Guideline for Bureau of Reclamation, OCTOBER. 1982.

12- AVNIMELECH,Y.; RITVO,G.; MEIJER,L.E.;KOCHBA,M.: Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments, 2001.

13- د. م. معن بوبو :حساب السعة التخزينية الحالية وحجم الرسوبيات في بحيرة وسد 16 تشرين باللاذقية بالطرائق الطبوغرافية. في سلسلة العلوم الهندسية ISSN:2079-3081 ، في المجلد (41) العدد 1 لعام 2019 من مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية.

14- Wurbs, Daniel;Steininger,Michael:Wirkungen der Limaaenderungen auf die Boeden- Untersuchungen zur Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser.Umweltbundesamt, ISSN 1862-4804,2011.