

The effect of sediments accumulation on useful volume reduction in the lake of 16 October Dam

Dr. IzzAldeen. Hasan ¹

Dr. Monzer. Hammad ^{**2}

Maher. Hawat ^{***}

(Received 12 / 6 / 2017. Accepted 8 / 2 / 2018)

□ ABSTRACT □

This study aims to find out the amount of sediments accumulated in the lake of 16 October dam since the start of investing dam until now, and knowledge wastage in the useful storage of dam as the result of these sediments accumulated, and thus suggest appropriate solutions to remove these sediments in order to prolong the investment useful life of dam. For this purpose the amount of transported sediment to the reservoir during the flood was measured, and samples were taken from the sediment to know their particular analysis and thus to know the nature of them , and has to take advantage of the topographic survey of the reservoir to know the bathymetry changes of reservoir.

As a result of this study, the amount of accumulated sediments in the dam's lake was estimated to be 4640000 tons during the investment period. These sediments caused a loss of useful storage volume of 9.1 million cubic meters, or about 7.58% of the total useful volume of the dam, Which requires the removal of sediments in dry years or by discharging them through the lower outlets of the dam.

Key Words: reservoirs Sediments dams 16 October, suspended and non-suspended sediments, sediment's particular analysis, water turbidity, useful storage volume of dam, bathymetry change.

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

**Assistant Professor , Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria..

***Postgraduate Student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

تأثير تراكم الرسوبيات على انخفاض المخزون الحي في بحيرة سد 16 تشرين

د. عز الدين حسن*

د. منذر حماد**

ماهر حواط***

(تاريخ الإيداع 12 / 6 / 2017. قَبْلُ للنشر في 8 / 2 / 2018)

□ ملخص □

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة كمية الرسوبيات المتجمعة في بحيرة سد 16 تشرين منذ البدء باستثمار السد حتى الآن، ومعرفة الفاقد في حجم التخزين المفيد للسد نتيجة هذه الرسوبيات المتجمعة، وبالتالي اقتراح الحلول المناسبة للتخلص من هذه الرسوبيات بهدف إطالة العمر الاستثماري المفيد للسد. من أجل هذا الهدف تم قياس كمية الرواسب المنقولة للبحيرة خلال الفيضان، كما تم أخذ عينات من هذه المواد المترسبة لمعرفة تركيبها الحي وبالتالي معرفة طبيعة هذه الرواسب، كما تمت الاستفادة من المسح الطبوغرافي لبحيرة السد لمعرفة التغيرات الحاصلة في أعماق البحيرة. وبنتيجة هذه الدراسة تبين أن كمية الرسوبيات المتجمعة في بحيرة السد تعادل 4640000 طن خلال فترة الاستثمار، حيث تسبب هذه الرسوبيات خسارة في حجم التخزين المفيد مقداره 9.1 مليون متر مكعب أي حوالي 7.58% من الحجم الإجمالي المفيد للسد، الأمر الذي يتطلب إجراء عمليات تعزيل للرسوبيات في السنوات الجافة أو عن طريق تصريفها من خلال المخارج السفلية للسد.

الكلمات المفتاحية: رسوبيات بحيرات السود، سد 16 تشرين، الرسوبيات المتدرجة والمعلقة، التحليل الحي للرسوبيات، عكارة المياه، حجم التخزين المفيد للسد، تغيرات قاع البحيرة.

* أستاذ - قسم المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ مساعد - قسم المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة

تتطلب دراسة الإطماء (Sedimentation) في السدود دراسة شاملة للحوض الصباب أو الأحواض الصبابة التي تغذي بحيرات السدود، حيث تبدأ عملية الانجراف رحلتها إلى بحيرات السدود ابتداءً من عملية الحت والتعرية، ومروراً بمراحل حملها ونقلها فوق المنحدرات وخلال مجاري الأودية والأنهار، وانتهاءً إلى بحيرات السدود [1,2].

تعد إدارة الرسوبيات في أحواض الأنهار والمجاري المائية قضية مهمة للمعنيين في شأن المياه لما لها من أهمية كبيرة على حجوم التخزين المفيدة لبحيرات السدود. حيث تزداد الترسبات في بحيرات السدود (Reservoirs) باستمرار بسبب تزايد الكثافة البشرية وما ينتج عنها من تغيرات في استخدام الأراضي الأمر الذي يؤدي إلى زيادة انجراف التربة وترسب هذه النواتج في بحيرات السدود حيث تكون سرعة المياه صغيرة نسبياً [3,4,5].

تؤدي هذه الرسوبيات المتجمعة في بحيرات السدود مع الزمن إلى تناقص حجم التخزين المفيد تدريجياً حتى خروج السد من الاستثمار، حيث تقدر كمية الرسوبيات المتراكمة في بحيرات السدود في العالم لفترة زمنية مقدارها 35 سنة في حدود 57 مليار متر مكعب سنوياً، أي 0.8% من إجمالي السعة التخزينية سنوياً. ولتجنب ذلك يجب العمل على التخلص من هذه الرسوبيات عند تجاوزها للحجم الميث إما عن طريق تفريغ البحيرة بالكامل ثم إزالة الرسوبيات بالآليات المناسبة، أو عن طريق إعطاء تدفقات مائية (Flushing) وتصريف المياه المحملة بالرسوبيات عن طريق المخارج السفلية (Outlets) في السد [6,7,8].

لا تنحصر عمليات الترسب فقط عند جسم السد بل تشمل مختلف مناطق البحيرة وعند أية مناسيب وذلك تبعاً للوزن النوعي للرواسب ولشكل تضاريس قاع البحيرة، وهذا ما يسبب تناقصاً متزايداً في المخزون الحي للبحيرة مع الزمن، قد يؤدي إلى خروج السد من الاستثمار قبل بلوغه الحجم الميث، و لأجل هذه الأهداف يتم استخدام المحاكاة من أجل التنبؤ بالتغيرات المستقبلية الممكنة في المقطع العرضي للنهر وتقدير الزمن المتوقع للسد لخروجه من الاستثمار وعدم امكانية تأدية الأهداف المطلوبة منه [9,10].

على الرغم من العديد من التبسيطات المعتمدة في برامج المحاكاة (مثل تقريب الجريان ثلاثي الأبعاد إلى جريان ثنائي البعد) فإنها تعطي نتائج قريبة بشكل معقول من البيانات المقيسة حقيقياً خلال الدراسة. فقد أعطت نتائج النماذج قيماً لعامل الارتباط تتراوح ما بين 0.68-0.96 والنسبة المئوية للاختلاف بين المقطع العرضي لقاع النهر الناتج من النموذج والمقطع العرضي للقياسات الحقلية ما بين 8-75%. حيث تكون النسبة المئوية للاختلاف كبيرة في بداية المحاكاة بين النموذج والمقيس، ولكنها تصبح أصغر باتجاه النهاية، بحيث تكون النسبة المئوية للفاقد في حجم التخزين متقاربة بين نتائج النموذج والواقع عند نهاية المحاكاة [11,12,13].

أهمية البحث و أهدافه

يهدف البحث إلى معرفة تأثير الرسوبيات المتجمعة في بحيرة سد 16 تشرين منذ دخوله في الاستثمار في عام 1987م وحتى الوقت الحاضر على حجم التخزين المفيد للسد، واقتراح الحلول المناسبة لإزالة الرسوبيات بغية إطالة العمر الاستثماري المفيد للسد.

طرائق البحث ومواده

تعتمد طريقة البحث على الأعمال الحقلية بشكل رئيس، حيث تضمنت قياس غزارة المياه خلال الفيضان في الروافد التي تصب في البحيرة [نهر الكبير الشمالي (موقع جسر غمام)، ونهر زغارو، والنهر الأسود]، بالإضافة إلى مراقبة كمية الرواسب المتدحرجة على القاع والمنقولة من هذه الروافد إلى البحيرة (non suspend sediment)، ومراقبة عكارة المياه خلال الفيضان لمعرفة الرواسب المعلقة والمحمولة الداخلة إلى البحيرة (suspend sediment)، بالإضافة لذلك تم أخذ عينات من قاع البحيرة في مواقع مختلفة لمعرفة نوعية المواد المترسبة، كما تمت الاستفادة من نتائج المسح الطبوغرافي الأخير لقاع البحيرة في عام 2012م لمعرفة التغيرات القاعية من تاريخ بدأ الاستثمار عام 1987م.

وتستخدم من أجل ذلك الأجهزة والمعدات الآتية:

- زجاجات لأخذ عينات من مياه الفيضان العكرة وتحليلها للحصول على كمية المواد الصلبة العالقة فيها؛
- أجهزة لاقطة لمعرفة كمية المواد المجروفة على القاع خلال الفيضان في جميع روافد البحيرة؛
- أجهزة لأخذ عينات من الرواسب الموجودة في قاع البحيرة لمعرفة خصائصها وتدرجها الحبي وتوزعها في

البحيرة؛

- جهاز تحليل عينات المياه مخبرياً لمعرفة تركيبها الكيميائي، وسلسلة مناخل لمعرفة التركيب الحبي للرسوبيات المتجمعة على قاع البحيرة ؛

- خريطة طبوغرافية لموقع البحيرة قبل إنشاء السد ومعلومات هيدرولوجية عن المنطقة.

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

النتائج والمناقشة

بعد جمع البيانات الحقلية، ومعالجتها مكتبياً، والتحقق من دقتها، تم إنشاء مخطط طبوغرافي جديد لقاع البحيرة باستخدام البرامج الهندسية المناسبة (Excel, Auto desk Civil3D land) من أجل معرفة كمية الرسوبيات ومقارنتها مع الحجم الميت لبحيرة السد وذلك لمعرفة مقدار الفاقد في حجم التخزين المفيد واقتراح الآليات المناسبة للمعالجة.

-خريطة الموقع قبل إنشاء السد

يبين الشكل (1) مخطط طبوغرافي للموقع قبل إنشاء بحيرة السد وقد حصلنا عليه من مديرية الموارد المائية اللاذقية بعد إجراء عملية الرقمنة المناسبة.



الشكل (1). مخطط طبوغرافي للموقع قبل إنشاء السد.

-طبيعة الرواسب

يوجد نوعان من الرواسب النهرية:

-رواسب متدرجة على القاع تترسب في نيل البحيرة وعند المصببات.

-رواسب معلقة تنتقل مع النهر لمسافات كبيرة [6,7,14,15].

ومن أجل معرفة طبيعة الرواسب في بحيرة السد أخذت عينات من قاع البحيرة، وعينات من مياه البحيرة

وأجريت التحاليل المخبرية على كل منهما .

-تحليل المواد المترسبة

بعد الحصول على عينات من البحيرة تم إجراء تجربة التحليل الحبي لكل عينة، كما حسبت الأوزان الحجمية

والنوعية للعينات المأخوذة [16,17].

العينة الأولى

تم أخذ العينة من رسوبيات سد 16 تشرين من موقع " وطى الشير" الذي يبعد عن جسم السد حوالي 7 كم

بتاريخ 2016/11/15 ، يبين الشكل (2) موقع أخذ العينة. تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر ميكانيك التربة في

مديرية الموارد المائية باللاذقية. يبين الجدول (1) نتائج تجربة التحليل الحبي بالمناخل للعينة الأولى، كما يبين الشكل

(3) منحنى التحليل الحبي للعينة.



الشكل (2). موقع العينة الأولى في وطي الشير.

الجدول (1). نتائج التحليل الحبي بالترسيب للعينة الأولى.

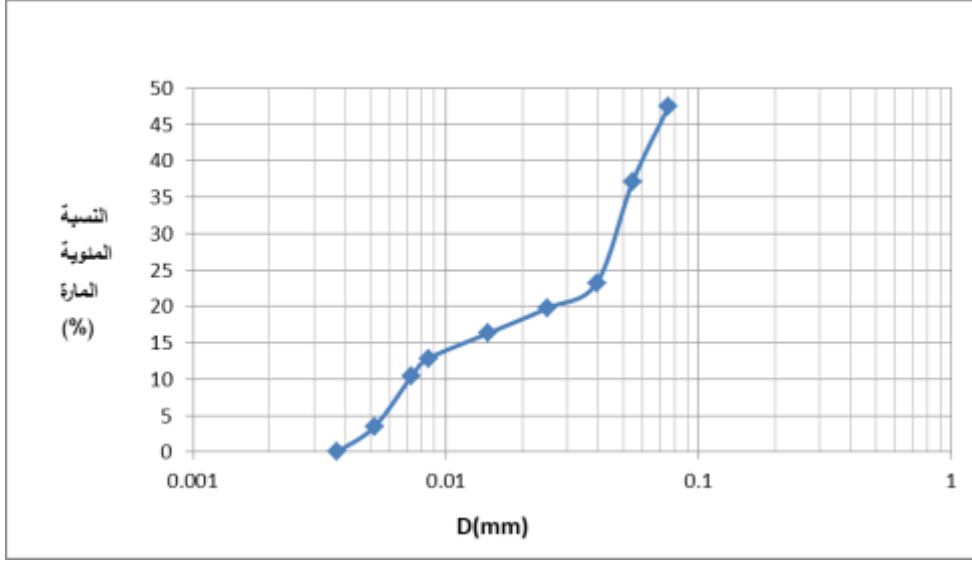
التاريخ	ساعة القراءة	زمن القراءة	درجة الحرارة	قراءة الهيدرومتر	تصحیح قراءة الهيدرومتر من أجل درجة الحرارة	النسبة المئوية المارة للهيدرومتر	تصحیح الهيدرومتر من أجل الارتفاع الشعري	المسافة (L) من الجدول (2)	سرعة الترسيب V=L / T	العامل K	القطر D (mm)
		min	T	Ra	Rc	%	R	(cm)	(cm/min)	من الجدول (3)	
15/11/2016	9.58	0.5	19	15	13.7	46.12	16	13.7	27.40	0.0143	0.0749
	9.59	1	19	12	10.7	36.02	13	14.2	14.2	0.0143	0.0539
	10.00	2	19	8	6.7	22.56	9	14.8	7.4	0.0143	0.0389
	10.03	5	19	7	5.7	19.19	8	15	3.00	0.0143	0.0248
	10.13	15	19	6	4.7	15.82	7	15.2	1.01	0.0143	0.0144
	10.43	45	19	5	3.7	12.46	6	15.3	0.34	0.0143	0.0083
	10.58	60	20	4	3	10.10	5	15.5	0.26	0.0141	0.0072
	11.58	120	20	2	1	3.37	3	15.8	0.13	0.0141	0.0051
	13.58	240	21	0	0	0.00	1	16.1	0.07	0.0139	0.0036

الجدول 2. مسافة سقوط الجزيئات L(cm)

original hydrometer reading (corrected for meniscus)	Effective depth L (cm)	original hydrometer reading (corrected for meniscus only)	Effective depth L(cm)	original hydrometer reading (corrected for meniscus only)	Effective depth L (cm)
0	16.3	21	12.9	42	9.4
1	16.1	22	12.7	43	9.2
2	16	23	12.5	44	9.1
3	15.8	24	12.4	45	8.9
4	15.6	25	12.2	46	8.8
5	15.5	26	12	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.2	28	11.7	49	8.3
8	15	29	11.5	50	8.1
9	14.8	30	11.4	51	7.9
10	14.7	31	11.2	52	7.8
11	14.5	32	11.1	53	7.6
12	14.3	33	10.9	54	7.4
13	14.2	34	10.7	55	7.3
14	14	35	10.5	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	7
16	13.7	37	10.2	58	6.8
17	13.5	38	10.1	59	6.6
18	13.3	39	9.9	60	6.5
19	13.2	40	9.7		
20	13	41	9.6		

الجدول 3. قيم العامل (K)

Temp(c°)	جدول العامل (K)							
	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.014	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.014	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.014	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.014	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.013	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.013	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.012
27	0.0132	0.013	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.012	0.0119
28	0.013	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.012	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.012	0.0118	0.0117	0.0115



الشكل (3). منحنى التركيب الحبيبي للعينة الأولى (وطى الشير).

يبين الجدول (4) نتائج حساب الوزن الحجمي للعينة الأولى، كما يبين الجدول (5) نتائج حساب الوزن النوعي للعينة الأولى.

الجدول (4). حساب الوزن الحجمي للعينة الأولى.

$W_1 = 88.71gr$	وزن الحلقة فارغة (gr)
$W_2 = 235.43gr$	وزن الحلقة مع التربة (gr)
$W = W_2 - W_1 = 235.43 - 88.71 = 146.72gr$	وزن التربة (gr)
$d = 6.5cm$ $h = 2.5cm$	أبعاد الحلقة (cm)
$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{6.5^2 \times 2.5}{4} = 82.96cm^3$	حجم الحلقة V (cm^3)
$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{146.72}{82.96} = 1.77gr/cm^3$	الوزن الحجمي للتربة γ (gr/cm^3)

الجدول (5). نتائج حساب الوزن النوعي للعينة الأولى.

$W_s = 100gr$	وزن التربة الجافة W_s (gr)
$W_1 = 160.6gr$	وزن الحوالة فارغة W_1 (gr)
$W_2 = 806.8gr$	وزن الحوالة مع الماء والتربة W_2 (gr)
$W_3 = 759.54gr$	وزن الحوالة مع الماء والتربة بعد 24 ساعة W_3 (gr)
$V_s = W_s - (W_2 - W_3)$ $V_s = 100 - (806.8 - 754.32) = 47.52cm^3$	الحجم الصلب V_s (cm^3)
$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{100}{47.52 \times 1} = 2.104$	الوزن النوعي G_s

العينة الثانية

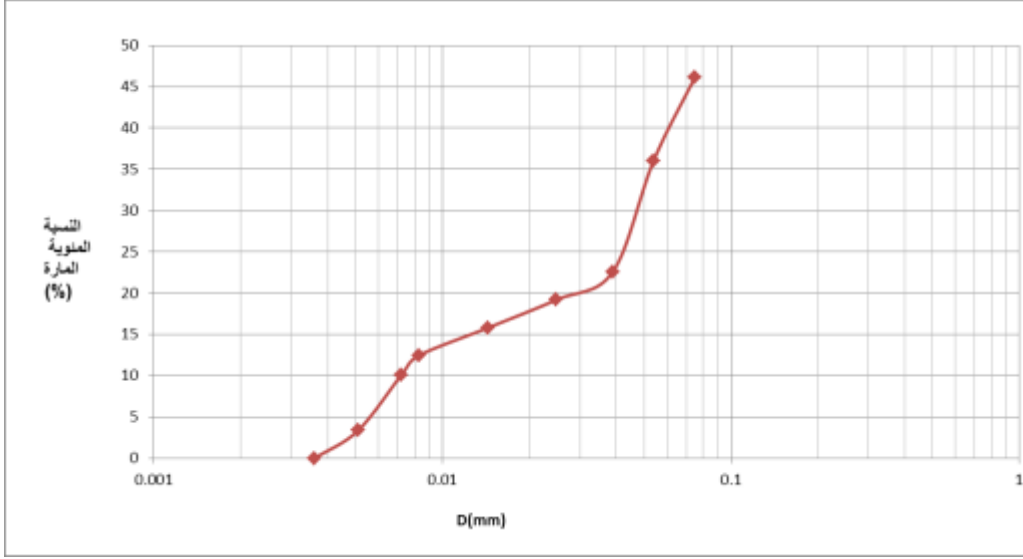
تم أخذ العينة من رسوبيات سد 16 تشرين من موقع التقاطع مع نهر زغارو مع رافد الكبير الشمالي والذي يبعد عن جسم السد حوالي 8 كم بتاريخ 15/11/2016 يبين الشكل (4) موقع أخذ العينة الثانية. تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر ميكانيك التربة في مديرية الموارد المائية باللاذقية. يبين الجدول (6) نتائج تجربة التحليل الحبي بالترسيب للعينة الثانية، كما يبين الشكل (5) منحنى التحليل الحبي لهذه العينة.



الشكل(4). موقع العينة الثانية في موقع الالتقاء مع نهر زغارو.

الجدول(6). نتائج التحليل الحبي بالترسيب للعينة الثانية.

التاريخ	ساعة القراءة	زمن القراءة	درجة الحرارة	قراءة الهيدرومتر	تصحیح قراءة الهيدرومتر	النسبة المئوية المارة للهيدرومتر	تصحیح الهيدرومتر من اجل الارتفاع الشعري	المسافة (L) من الجدول(2)	سرعة الترسيب V=L / T	العامل K من الجدول(3)	القطر D (mm)
		min	T	Ra	Rc	%	R	(cm)	(cm/min)		
15/11/2016	9.58	0.5	19	19	17.7	59.59	20	12.7	25.40	0.0143	0.0721
	9.59	1	19	17	15.7	52.86	18	13.2	13.2	0.0143	0.0520
	10.00	2	19	12	10.7	36.02	13	13.6	6.8	0.0143	0.0373
	10.03	5	19	9	8.7	29.29	10	14.8	2.96	0.0143	0.0246
	10.13	15	19	7	5.7	19.19	8	14.2	0.95	0.0143	0.0139
	10.43	45	20	5	4	13.47	6	15.3	0.34	0.0143	0.0083
	10.58	60	20	4	3	10.10	5	15.5	0.26	0.0141	0.0072
	11.58	120	20	2	1	3.37	3	15.8	0.13	0.0141	0.0051
13.58	240	21	0	0	0.00	1	16.1	0.07	0.0139	0.0036	



الشكل (5). منحنى التركيب الحبي للعيينة الثانية (نهر زغارو).

يبين الجدول (7) حساب الوزن الحجمي للعيينة الأولى، كما يبين الجدول (8) حساب الوزن النوعي للعيينة الثانية.

الجدول (7). نتائج حساب الوزن الحجمي للعيينة الثانية.

$W_1 = 88.71gr$	وزن الحلقة فارغة (gr)
$W_2 = 216.23gr$	وزن الحلقة مع التربة (gr)
$W = W_2 - W_1 = 216.23 - 88.71 = 127.52gr$	وزن التربة (gr)
$d = 6.5cm \quad h = 2.5cm$	أبعاد الحلقة (cm)
$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{6.5^2 \times 2.5}{4} = 82.96cm^3$	حجم الحلقة V (cm^3)
$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{127.52}{82.96} = 1.54gr/cm^3$	الوزن الحجمي للتربة γ (gr/cm^3)

الجدول (8). نتائج حساب الوزن النوعي للعيينة الثانية.

$W_s = 100gr$	وزن التربة الجافة W_s (gr)
$W_1 = 1603.16gr$	وزن الحوجلة فارغة W_1 (gr)
$W_2 = 763.16gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة W_2 (gr)
$W_3 = 702.9gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة بعد 24 ساعة W_3 (gr)
$V_s = W_s - (W_2 - W_3)$ $V_s = 100 - (763.16 - 702.9) = 39.74cm^3$	الحجم الصلب V_s (cm^3)
$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{100}{39.74 \times 1} = 2.52$	الوزن النوعي G_s

العينة الثالثة

تم أخذ العينة من رسوبيات سد 16 تشرين من موقع منعطف السفكون الذي يبعد عن جسم السد حوالي 9 كم بتاريخ 2016/11/15 ، يبين الشكل (6) موقع أخذ العينة. تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر ميكانيك التربة في مديرية الموارد المائية باللاذقية. يبين الجدولان (9,10) نتائج تجربة التحليل الحبي بالمناخل للعينة الثانية، كما يبين الشكل (7) منحني التحليل الحبي للعينة.



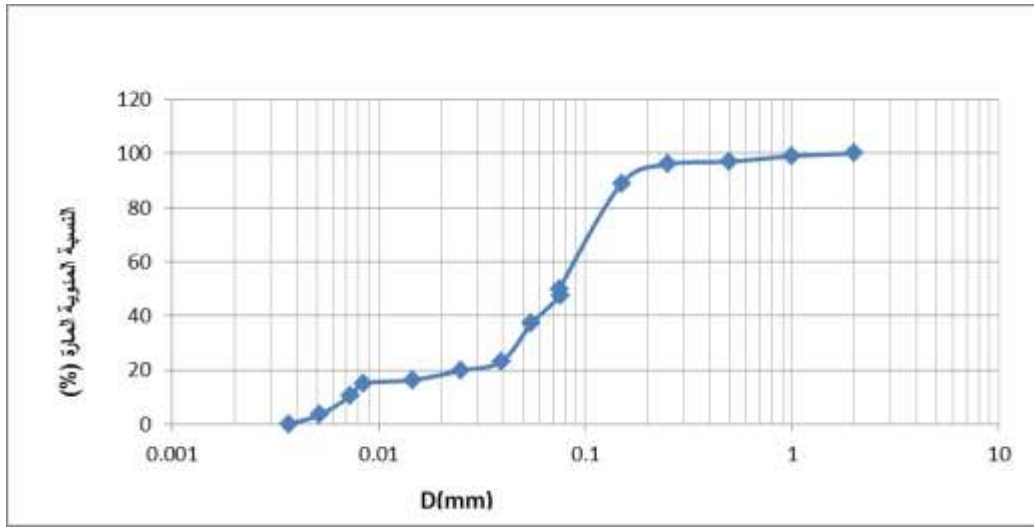
الشكل (6). موقع العينة الثالثة عند منعطف السفكون.

الجدول(9). نتائج التحليل الحبي بالمناخل للعينة الثالثة.

النسبة المئوية المارة للعينة المختبرة	فتحة المنخل
%	مم
100	125
100	80
100	60
100	40
100	20
100	10
100	5
100	2
99	1
97	0.5
96	0.25
89	0.15
50	0.0759

الجدول(10). نتائج التحليل الحبي بالترسيب للعيينة الثالثة.

التاريخ	ساعة القراءة	زمن القراءة	درجة الحرارة	قراءة الهيدرومتر	النسبة المئوية المارة للهيدرومتر	تصحیح الهيدرومتر من اجل الارتفاع الشعري	المسافة L من الجدول(2)	سرعة الترسيب V=L / T	العامل K	القطر D(mm)
		min	T	Ra	%	R	(cm)	(cm/min)	من الجدول (3)	
15/11/2016	9.58	0.5	19	15	47.49	16	13.7	27.40	0.0145	0.0759
	9.59	1	19	12	37.09	13	14.2	14.2	0.0145	0.0546
	10.00	2	19	8	23.23	9	14.8	7.4	0.0145	0.0394
	10.03	5	19	7	19.76	8	15	3.00	0.0145	0.0251
	10.13	15	19	6	16.29	7	15.2	1.01	0.0145	0.0146
	10.43	45	19	5	15.00	6	15.3	0.34	0.0145	0.0085
	10.58	60	20	4	10.40	5	15.5	0.26	0.0143	0.0073
	11.58	120	20	2	3.47	3	15.8	0.13	0.0143	0.0052
	13.58	240	21	0	0.00	1	16.1	0.07	0.0141	0.0037



الشكل(7). منحنى التركيب الحبي للعيينة الثالثة (منعطف السفكون).

يبين الجدول (11) نتائج حساب الوزن الحجمي للعيينة الثالثة، كما يبين الجدول (12) نتائج حساب الوزن النوعي للعيينة الثالثة.

الجدول(11). نتائج حساب الوزن الحجمي للعيينة الثالثة.

$W_1 = 88.71gr$	وزن الحلقة فارغة (gr)
$W_2 = 208.24gr$	وزن الحلقة مع التربة (gr)
$W = W_2 - W_1 = 208.24 - 88.71 = 119.53gr$	وزن التربة (gr)
$d = 6.5cm$ $h = 2.5cm$	أبعاد الحلقة (cm)
$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h = \pi \frac{6.5^2 \times 2.5}{4} = 82.96cm^3$	حجم الحلقة V (cm^3)
$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{119.53}{82.96} = 1.44gr/cm^3$	الوزن الحجمي للتربة γ (gr/cm^3)

الجدول(12). نتائج حساب الوزن النوعي للعينة الثالثة.

$W_s = 100gr$	وزن التربة الجافة W_s (gr)
$W_1 = 147gr$	وزن الحوجلة فارغة W_1 (gr)
$W_2 = 747gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة W_2 (gr)
$W_3 = 704.4gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة بعد 24 ساعة W_3 (gr)
$V_s = W_s - (W_2 - W_3)$ $V_s = 100 - (747 - 704.4) = 42.6cm^3$	الحجم الصلب V_s (cm^3)
$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{100}{42.6 \times 1} = 2.35$	الوزن النوعي G_s

العينة الرابعة

تم أخذ العينة من رسوبيات سد 16 تشرين من موقع مصب نهر زغارو مع رافد الكبير الشمالي والذي يبعد عن جسم السد حوالي 8.2 كم بتاريخ 11/15 / 2016 يبين الشكل (8) موقع أخذ العينة الرابعة. تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر ميكانيك التربة في مديرية الموارد المائية باللاذقية. يبين الجدول (14,13) نتائج تجربة التحليل الحبي بالترسيب للعينة الرابعة، كما يبين الشكل (9) منحنى التحليل الحبي لهذه العينة.



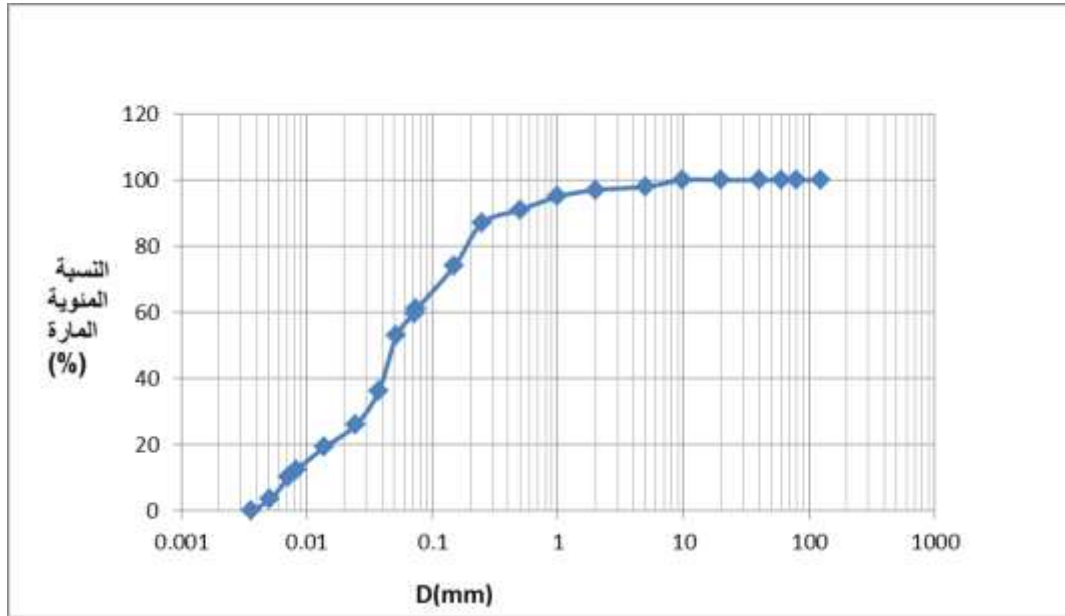
الشكل (8). موقع العينة الرابعة عند مصب نهر زغارو.

الجدول(13). نتائج التحليل الحبي بالمناخل للعينة الرابعة.

النسبة المئوية المارة للعينة المختبرة	فتحة المنخل
%	مم
100	125
100	80
100	60
100	40
100	20
100	10
98	5
97	2
95	1
0.5	0.5
87	0.25
74	0.15
50	0.075

الجدول(14). نتائج التحليل الحبي بالترسيب للعينة الرابعة.

التاريخ	ساعة القراءة	زمن القراءة	درجة الحرارة	قراءة الهيدرومتر	تصحيح قراءة الهيدرومتر من أجل درجة الحرارة	النسبة المئوية المارة للهيدرومتر	تصحيح الهيدرومتر من أجل الارتفاع الشعري	المسافة (L) من الجدول (2)	سرعة الترسيب V=L T /	العامل K من الجدول (3)	القطر D (mm)
	القراءة	min	T	Ra	Rc	%	R	(cm)	(cm/min)		
15/11/2016	9.58	0.5	19	15	13.7	46.12	16	13.7	27.40	0.0143	0.0749
	9.59	1	19	12	10.7	36.02	13	14.2	14.2	0.0143	0.0539
	10.00	2	19	8	6.7	22.56	9	14.8	7.4	0.0143	0.0389
	10.03	5	19	7	5.7	19.19	8	15	3.00	0.0143	0.0248
	10.13	15	19	6	4.7	15.82	7	15.2	1.01	0.0143	0.0144
	10.43	45	19	5	3.7	12.46	6	15.3	0.34	0.0143	0.0083
	10.58	60	20	4	3	10.10	5	15.5	0.26	0.0141	0.0072
	11.58	120	20	2	1	3.37	3	15.8	0.13	0.0141	0.0051
	13.58	240	21	0	0	0.00	1	16.1	0.07	0.0139	0.0036



الشكل (9). منحنى التركيب الحبي للعينه الرابعة (نهر زغارو).

يبين الجدول (15) نتائج حساب الوزن الحجمي للعينه الرابعة، كما يبين الجدول (16) نتائج حساب الوزن النوعي للعينه الرابعة.

الجدول (15). نتائج حساب الوزن الحجمي للعينه الرابعة.

$W_1 = 88.71 gr$	وزن الحلقة فارغة (gr)
$W_2 = 228.14 gr$	وزن الحلقة مع التربة (gr)
$W = W_2 - W_1 = 228.14 - 88.71 = 139.43 gr$	وزن التربة (gr)
$d = 6.5 cm \quad h = 2.5 cm$	أبعاد الحلقة (cm)
$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h = \pi \frac{6.5^2 \times 2.5}{4} = 82.96 cm^3$	حجم الحلقة V (cm^3)
$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{139.43}{82.96} = 1.68 gr / cm^3$	الوزن الحجمي للتربة γ (gr / cm^3)

الجدول (16). نتائج حساب الوزن النوعي للعينه الرابعة.

$W_s = 100 gr$	وزن التربة الجافة W_s (gr)
$W_1 = 147 gr$	وزن الحوجلة فارغة W_1 (gr)
$W_2 = 752 gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة W_2 (gr)
$W_3 = 704.4 gr$	وزن الحوجلة مع الماء والتربة بعد 24 ساعة W_3 (gr)
$V_s = W_s - (W_2 - W_3)$ $V_s = 100 - (764.3 - 704.4) = 40.1 cm^3$	الحجم الصلب V_s (cm^3)
$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{100}{40.1 \times 1} = 2.49$	الوزن النوعي G_s

-تحليل المواد العالقة-

تم قياس عكارة المياه بطريقتين:

- 1- طريقة مباشرة باستخدام جهاز قياس العكارة.
- 2- طريقة التحليل بالترسيب حيث تم ترسيب حجم معين قدره ($V = 300ml$) من العينة على ورقة ترشيح وزنها ($w_1 = 0.066gr$) ومن ثم يتم تجفيف ورقة الترشيح في فرن درجة حرارته $105C^\circ$ وبعد التجفيف قمنا بوزن الورقة ($w_2 = 0.2221gr$) وحسبنا الفرق ($w_2 - w_1 = 0.1561gr$) ثم قسمنا وزن الرواسب على حجم العينة فحصلنا على تركيز الرواسب $c = \frac{w}{v} = \frac{0.1561 * 1000}{300} = 0.52gr/l$.

أجريت التجارب في مخبر البيئة في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين. يبين الجدول رقم (17) نتائج

التجارب.

الجدول(17). نتائج حساب عكارة مياه البحيرة خلال الفيضان.

رقم العينة المختبرة	التركيز بالترسيب ($c = \frac{w}{v} gr/l$)	باستخدام جهاز القياس (NTU)
1	0.51	0.52
2	0.453	0.46
3	0.608	0.61
4	3.54	3.60
5	0.244	0.24

وبالتالي يصبح وسطي العكارة $c = 1.071gr/l$ وباستخدام الجهاز $1.086gr/l$.

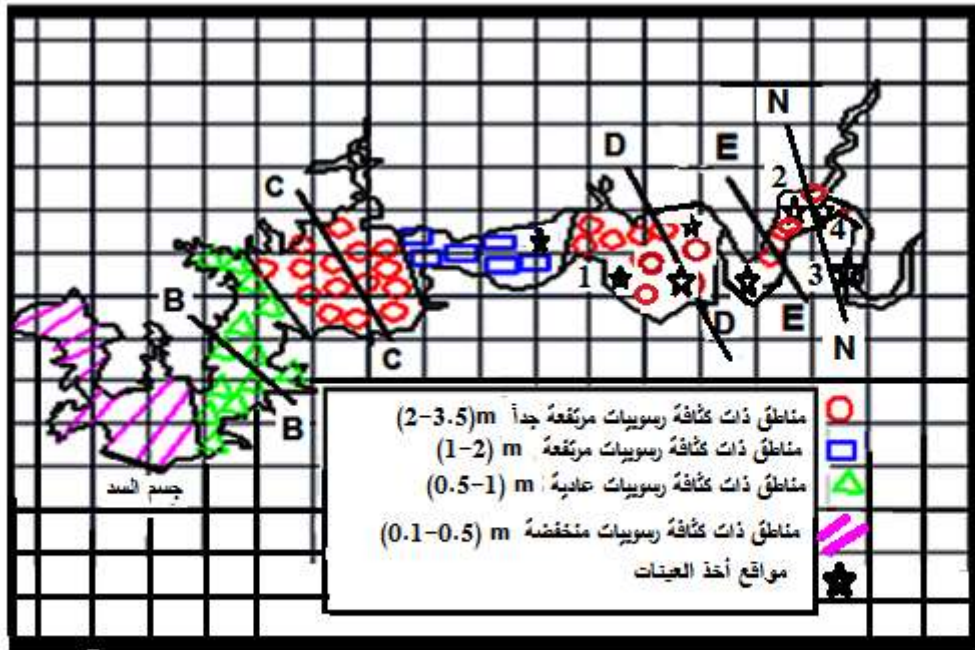
من خلال التجارب المجراة على عينات الرسوبيات نجد أن طبيعة هذه المواد غضارية-سلتية-رملية، أما

الرسوبيات المعلقة المنقولة خلال الفيضان فهي تسبب عكارة متوسطة للمياه.

يبين الشكل (10) مخطط توزيع كثافة الرسوبيات ضمن البحيرة، كما تبين الأشكال (11-13) مقاطع عرضية

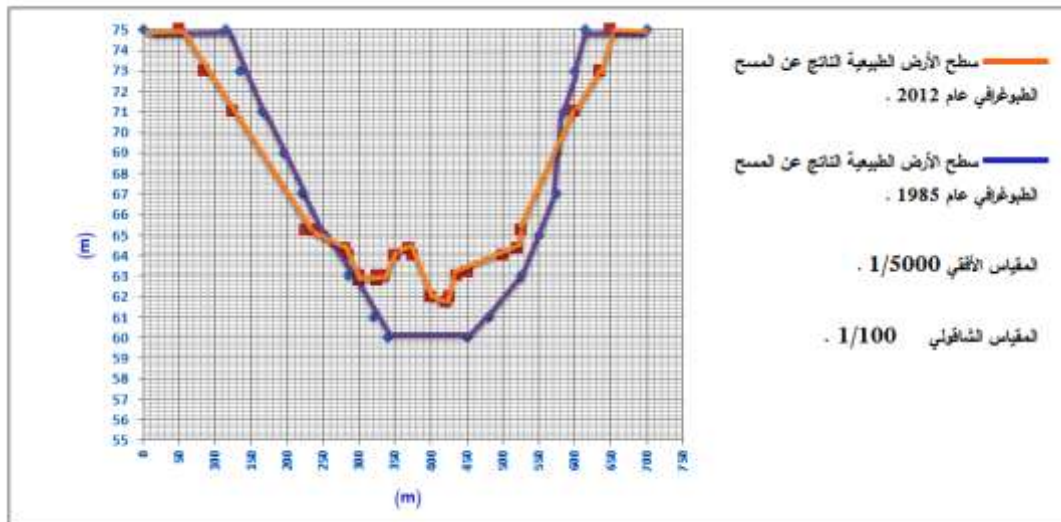
في مواقع مختلفة من البحيرة ناتجة عن عمليات المسح الطبوغرافي للبحيرة الذي تم إجراؤه خلال شهري آب وأيلول عام

. 2012



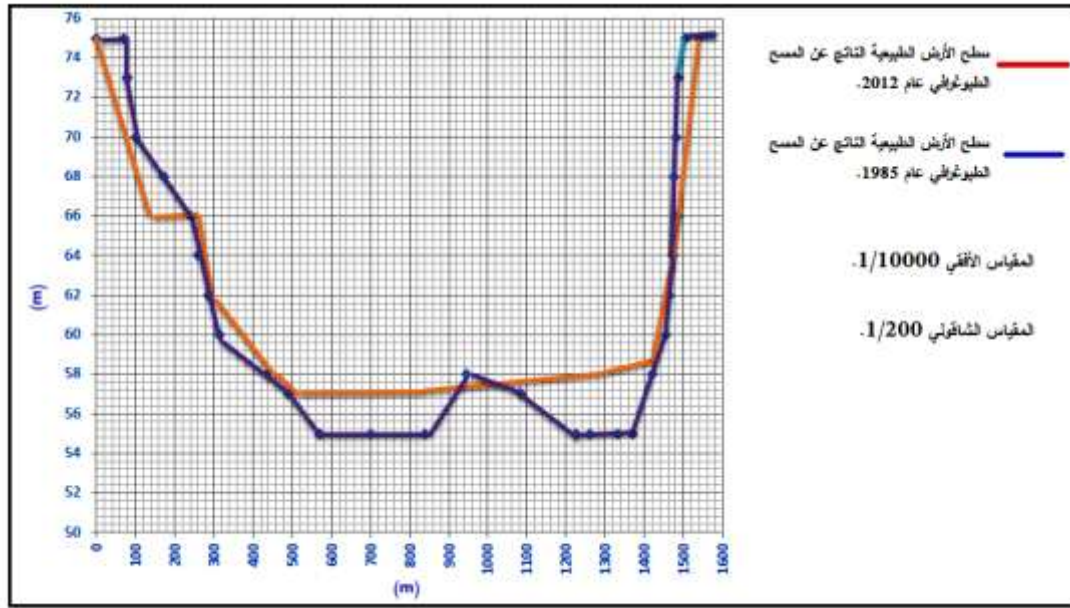
مقياس الرسم 1/100000

الشكل (10). توزع الرسوبيات ضمن بحيرة سد تشرين.



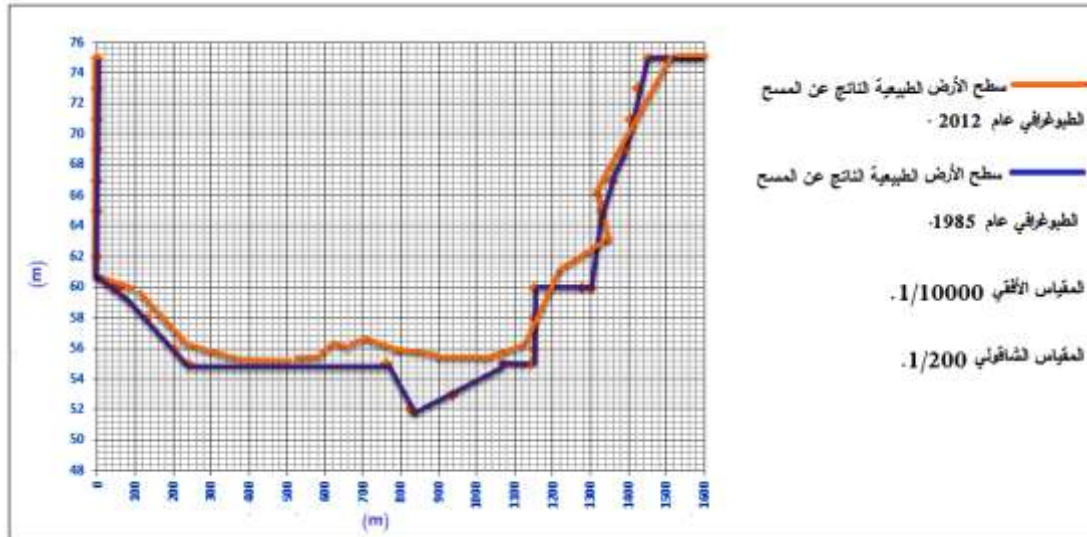
الشكل (11). مقطع عرضي E-E قرب ذيل البحيرة.

يبلغ حجم الرواسب في المقطع العرضي E-E 500 m^3 وباعتبار الوزن الحجمي للرسوبيات 1.77 t/m^3 يبلغ وزن الرواسب 770 طن، كما يتبين لدينا أيضاً وجود انزلاقات في جوانب البحيرة بدءاً من المنسوب 70m على الضفة اليمنى و65m على الضفة اليسرى تبعاً لطبيعة التربة المفككة واستثمار الأراضي.



الشكل (12). مقطع عرضي D-D في وسط البحيرة.

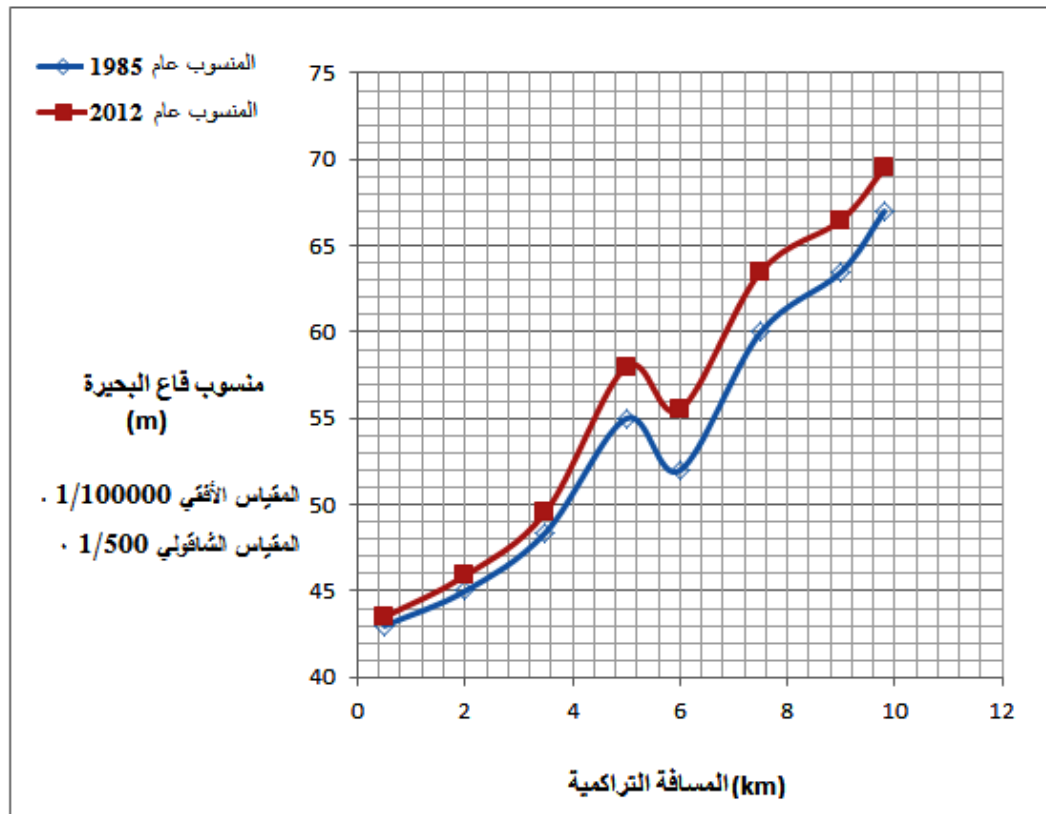
يبلغ حجم الرواسب في المقطع D-D 1785m^3 وباعتبار الوزن الحجمي للرواسب 1.54t/m^3 يبلغ وزن الرواسب 2748.9 طن، كما يلاحظ وجود انزلاقات في جوانب البحيرة حيث أن الانزياح في الضفة اليسرى أكبر من الانزياح في الضفة اليمنى ويعود ذلك لضعف الغطاء النباتي وطبيعة التربة المفككة، ويعود سبب التغيرات الحادة إلى الطبيعة اللحية للمجرى وتمايز الطبقات المكونة.



الشكل(13). مقطع عرضي N-N في وسط البحيرة.

يبلغ حجم الرواسب في المقطع N-N 1991.25m^3 وباعتبار الوزن الحجمي للرواسب 1.54t/m^3 يبلغ وزن الرواسب 3295.52 طن، كما يلاحظ وجود انزلاقات في جانب البحيرة الأيمن في حين لا يوجد انزلاقات في الضفة اليسرى، ويعود ذلك لطبيعة التربة المتماسكة على الجانب الأيسر.

كما يبين الشكل (14) مقطع طولي في البحيرة يوضح التغيرات في قاع البحيرة بين عامي 1985 و 2012 .



الشكل (14). تغيرات قاع البحيرة بين عامي 1985 و 2012 .

تم حساب وزن الرسوبيات المتجمعة على كامل البحيرة وبلغت قيمتها 4640000 طن خلال فترة استثمار 29 سنة، أي أن المتوسط السنوي للرسوبيات المتجمعة 160000 طن.

وفي دراسة حقلية وجد أن كمية الرسوبيات المنقولة من نهر زغارو سنوياً بلغت 24500 طن، بما يعادل 15% تقريباً من كمية الرسوبيات الإجمالية الواردة للبحيرة [8,15].

تم الحصول على العينات في العام 2016 لمعرفة خصائص المواد المترسبة الفيزيائية والميكانيكية في وقت الجفاف، الأمر الذي لا يتطلب توافق مع عمليات المسح الطبوغرافي المائي لقاع البحيرة الذي أنجز في العام 2012. بالرجوع إلى المخططات التصميمية لسد 16 تشرين تبين أن منسوب الحجم الميت يقع عند المنسوب +52، بمقارنة هذا المنسوب مع المقاطع العرضية للبحيرة والمقطع الطولي في وسط البحيرة نلاحظ أن الرسوبيات المتجمعة في قاع البحيرة قد تجاوزت الحجم الميت في الكثير من المقاطع بمعدل وسطي مقداره (2.7m) ضمن البحيرة وأصبحت ضمن الحجم المفيد للبحيرة، وباعتبار مساحة البحيرة 11.2 km^2 يكون حجم الفاقد في حجم التخزين 9.1 مليون متر مكعب، وبالتالي يجب التخلص من هذه الرسوبيات المتجمعة عن طريق إزالة هذه الرسوبيات عندما تكون بحيرة السد فارغة بسبب الجفاف، أو تفريغ البحيرة بالكامل بحيث نستطيع إزالة الرسوبيات المتراكمة باستخدام الآليات والمعدات المناسبة، كما يمكن إزالة الرسوبيات عن طريق إعطاء تدفقات مائية بغزارة مناسبة وتصريف المياه المحملة بالرسوبيات عن طريق المخارج السفلية في السد.

الاستنتاجات والتوصيات

- إن كمية الرسوبيات المنقولة عبر نهر الكبير الشمالي وروافده والمرتسبة على قاع البحيرة تعادل 4640000 طن خلال فترة استثمار 29 سنة أي 160000 طن سنوياً منها 24500 طن من نهر زغارو.
- تسبب هذه الكمية المتجمعة من الرسوبيات خسارة في حجم التخزين المفيد للسد تعادل وسطياً ارتفاع 5م فوق منسوب الحجم الميت في أجزاء كبيرة من البحيرة خلال فترة الاستثمار.
- حجم الفاقد في المخزون المفيد يعادل 22.4 مليون متر مكعب وهذا يعادل 7.6% من الحجم الإجمالي المفيد للسد.
- تترسب الأقطار الكبيرة عند نيل البحيرة، وكذلك عند مصب نهري زغارو والأسود في البحيرة تبعاً لكثافتها وسرعة ترسيبها، وبالتالي تتركز عملية التعزيل عند مصبات الروافد وذيل البحيرة.
- يوصى بإجراء عمليات تعزيل لبحيرة السد في السنوات الجافة أو عن طريق تفريغ البحيرة باستخدام الآليات المناسبة، أو عن طريق إجراء عمليات ضخ ضمن البحيرة وتصريف الرسوبيات عبر المخارج السفلية في السد.
- يوصى بإنشاء محطات خاصة لقياس كميات الرواسب المنقولة في النهر ومحطات لقياس التدفق مع ردف هذه المحطات بعناصر فنية مؤهلة.
- يوصى باستخدام المصائد المائية وسدود الترسيب لتقليل كمية الرواسب المنقولة للبحيرة عن طريق الروافد.

المراجع

- 1- حسن، عزالدين. تنمية مشروعات مائية و تقانات متقدمة، جامعة تشرين، قسم الهندسة المائية، 2012-2011.
- 2- El-SERSAWY, H. *Sediment Deposition Mapping In Aswan High Dam Reservoir Using Geographic Information System (GIS)*, Ninth International , Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharam El-Sheikh, Egypt, 239-247 pages.
- 3-CULLOUGH, M. G .*Transportation of Sediments from Rivers into Lakes Process And Numerical Modeling* .April 2001, 25 pages.
- 4-RADOANE, N ؛ MARIA, R .*Dams, Sediment Sources and Reservoir Silting in Romania* ،2002 ، 12 pages.
- 5- MOHAMMAAD ،B . A ؛SHAMSI, A .*Effects of Density Current on Sedimentation in Reservoirs* ،Scientia Iranica, Vol. 14, No. 5, October.404-395 ،2007 .
- 6- 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, Association for the science of Limnol .Oceanography, 2015, 17 pages.
- 7- USSD COMMITTEE ON HYDRAULICS OF DAMS, Subcommittee on Reservoir Sedimentation .*Modeling Sediment Movement in Reservoirs* ،USSD ،June 2015 ، 31pages.
- 8- حواط، ماهر ، وضع نموذج رياضي لتوزيع مواد الإطماء ضمن بحيرة سد16 تشرين(برنامج mike3)، مجلة جامعة تشرين، المجلد(39) العدد (1) لعام 2017، 19 صفحة.
- 9- ADAM,A ؛ OSMAN, M. *Predicting The Deposited Sediment Volume Case Study Roseires Reservoir*, Hydrology And Water Resources, 2005, 11 pages.

10-BAK,L؛ DABKOWSKY, L.S. *Spatial Distribution Of Sediment In Suchedniow Reservoir*, Journal Of Sediment And Land Development, NO19(VII-XII), PL-ISSN 1429-7426, 2013, 10 pages.

11-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, January 8-10, 2014,10 pages.

12- BEEBO, G؛ BILAL, A. R. *Simulating bathymetric changes in reservoirs due to sedimentation Application to Sakuma dam, Japan*, Avdelningen for Teknisk Vattenresurslära, TVVR-12/5018, 2012, 66 pages.

13- AHN, J. *Numerical Modeling Of Reservoir Sedimentation And Flushing Processes*, For the Degree of Doctor of Philosophy Colorado State University, Fall 2011, 158 pages.

14- CHEEGWAN ،L .S ؛ Beletsky, J. D ؛ STROUD, D .J ؛ Lesht, B. *Numerical modeling of mixed sediment resuspension transport, and deposition during the March 1998 episodic events in southern Michigan* ،Journal Of Geophysical Research ،Vol. 112, 2007, 17 pages.

15- اسماعيل، كنان، حساب النسبة بين كمية الرواسب الناتجة من الانجراف المائي للتربة و كمية الرواسب

المنقولة في نهر زغارو، مجلة جامعة تشرين، المجلد (36)، العدد (2) لعام 2014 ، 23 صفحة.

16- أحمد، مفيدة. *ميكانيك التربة 1* ، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، 2004-2005، 252 صفحة.

17- سالم، محمد. *ميكانيك التربة* ، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة حلب، 1979-1980، 346 صفحة.