

Estimating of the Amount of Sediments that Reach to Balluran's Dam Lake

Dr. Izzeddin Hassan^{*}

Dr. Ibrahim Yazbik^{**}

Mohammad Saeid Wakil^{***}

(Received 25 / 5 / 2022. Accepted 5 / 1 / 2023)

□ ABSTRACT □

This research aims to create a map of the quantities of soil lost in Balluran Dam watershed, estimate the average total amount of potential erosion, and calculate the ratio between the amount of sediment arriving at the lake to total sediment estimated, and propose appropriate solutions to reduce the quantities of these sediments and mitigate their negative impact.

This study included calculating the sediments amount resulting from soil water erosion using the revised universal soil loss equation (RUSLE) and (GIS) techniques, where a map was prepared representing the quantities of eroded soil in the research area in each partial cell of (29.7x29.7) m², and then the erosion rates in the region were classified into five classes according to international references.

The study concluded that the annual amount of measured sediments reaching the lake is (15758 ton), and this quantity constitutes 38% of the total annual amount of calculated sediments resulting from soil water erosion, which is equivalent to (40044 ton) and constitutes the actual value of sediments that reach the Balluran Dam lake through the river water, which negatively affects the storage capacity of the dam lake, and this calls for finding appropriate solutions to reduce transferred sediments amount.

Keywords: Water Erosion, Balluran Dam, RUSLE, GIS.

^{*}Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-Mail: izzhassan@scs-net.org

^{**}Assistant Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-mail: ibra84914@gmail.com

^{***}Postgraduate (Master) student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-mail: mswakil85@gmail.com

تقدير كمية الرواسب الواردة إلى بحيرة سد بللوران

د. عز الدين حسن*

د. إبراهيم يزبك**

محمد سعيد وكيل***

(تاريخ الإيداع 25 / 5 / 2022. قُبل للنشر في 5 / 1 / 2023)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى وضع خريطة لكميات التربة المفقودة في حوض بحيرة سد بللوران، وتقدير متوسط الكمية الكلية المحتملة للانجراف ومن ثم حساب نسبة كمية الرواسب الواصلة للبحيرة إلى كمية الرواسب الكلية المقدرة، واقتراح الحلول المناسبة للتقليل من كميات هذه الرواسب والتخفيف من تأثيرها السلبي.

تضمنت هذه الدراسة حساب كمية الرواسب الناتجة عن الانجراف المائي للتربة بواسطة المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE)، وبالإستعانة بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث تم إعداد خارطة تمثل كميات التربة المنجرفة في منطقة البحث في كل خلية جزئية بمساحة 29.7×29.7 m²، ومن ثم صُنفت معدلات الانجراف في المنطقة إلى خمسة صفوف وفقاً للمراجع العالمية.

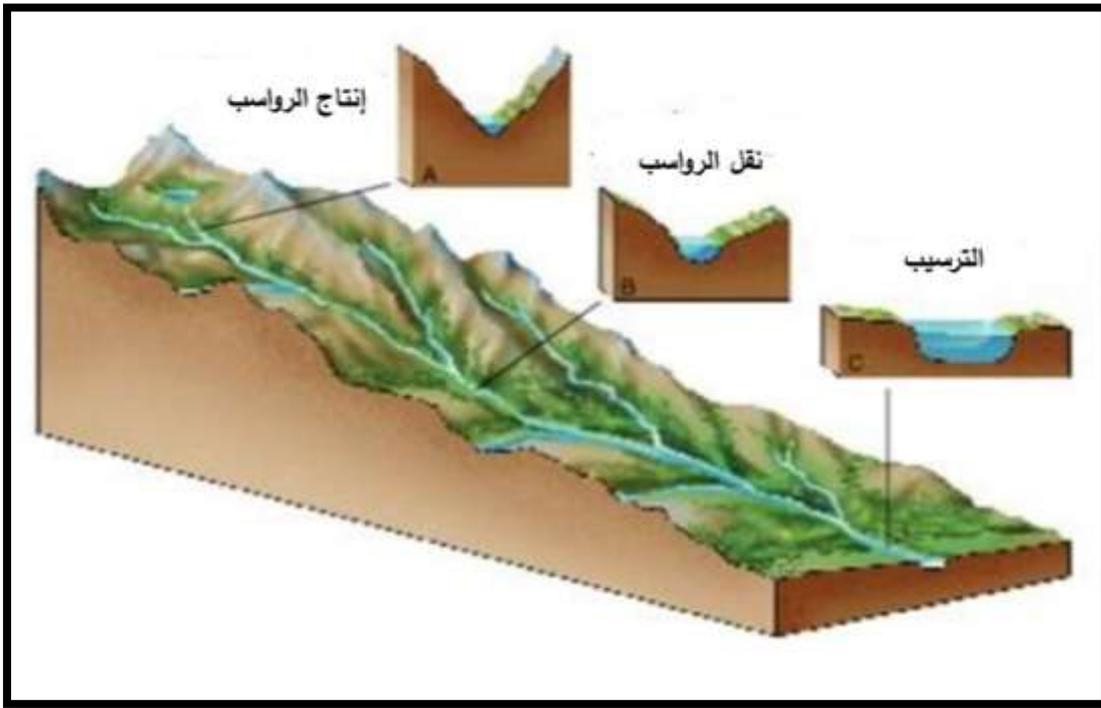
توصلت الدراسة إلى أن كمية الرواسب السنوية المقاسة والواصلة إلى البحيرة (15758 ton)، وتشكل هذه الكمية نسبة 38% من الكمية الإجمالية السنوية للرواسب المحسوبة والناجمة عن الانجراف المائي للتربة والتي تعادل (40044 ton)، وهي تشكل القيمة الفعلية للرواسب التي تصل بحيرة سد بللوران عن طريق مياه النهر، الأمر الذي يؤثر سلباً على السعة التخزينية لبحيرة السد، وهذا يستدعي إيجاد الحلول المناسبة من أجل التقليل من كمية الرواسب المنقولة.

الكلمات المفتاحية: الانجراف المائي للتربة، سد بللوران، GIS، RUSLE.

* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. /izzhassan@scs-net.org/
** مدرس - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. /ibra84914@gmail.com/
*** طالب دراسات عليا - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. /mswakil85@gmail.com/

مقدمة:

يُعدّ انجراف المائي للتربة تحدياً بيئياً خطيراً، فهو أحد أهم أسباب تدهور التربة، ويعرف بأنه عملية فصل ونقل حبيبات التربة نتيجة جريان المياه، مما يؤدي إلى ترسيبها في أماكن أخرى تكون فيها سرعة جريان المياه بطيئة وبالتالي كشف وتعرية التربة وتشكيل رسوبيات جديدة الأمر الذي يؤثر على استخدامات الأراضي وإضعاف موارد المياه وتقليل الحجم الفعال لبحيرات السدود، ويوضح الشكل رقم (1) مراحل تشكل الرواسب ضمن المجاري المائية الطبيعية. إن كميات الهطل في المنطقة الساحلية تتجاوز الـ 700 ملم سنوياً، وتصل في بعض الأحيان إلى 1200 ملم سنوياً، إضافةً إلى الحرائق المفتعلة وغير المفتعلة والرعي الجائر والتعدي على الغابات واستغلالها بشكل غير صحيح الأمر الذي أدى إلى تعرية سطح التربة والاضرار بالغطاء النباتي، جعل مشكلة الانجراف وفقدان التربة من المشكلات التي تستدعي دراستها والوقوف عندها وتقديرها كما ونوعاً [1].



الشكل رقم (1): مراحل تشكل الرواسب.

تم استخدام نماذج عديدة لتقدير كمية الانجراف المائي للتربة ضمن الأحواض المائية، وهذه النماذج متباينة فيما بينها من البسيط إلى المعقد، وكذلك تختلف من حيث البيانات اللازمة وقدرتها على التنبؤ بمعدلات الانجراف [2]. إن استخدام المعادلة العامة لفقد التربة (USLE) Universal Soil Loss Equation بواسطة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يُعتبر طريقة جيدة لتقدير أو التنبؤ بسلوك الانجراف ضمن الأحواض الساكنة للأشجار [3]. أنجز كل من الباحثين (حسن وآخرون) دراسة للانجراف المائي في الحوض الساكن لنهر زغارو، وأظهرت النتائج أن معدل الانجراف المحسوب وفق المعادلة العامة لفقد التربة وصل إلى $(8.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1})$ ، والكمية الكلية للرواسب الواصلة إلى بحيرة سد 16 تشرين من نهر زغارو 69.4 طن سنوياً [4].

وفي دراسة أعدها (حماد وآخرون) في حوض نهر الكبير الشمالي بين سد برادون وسد 16 تشرين باستخدام المعادلة العامة المعدلة لفقد التربة (RUSLE) Revised Universal Soil Loss Equation وبالاستعانة بتقنيات برنامج

نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS)، وخلصت الدراسة إلى أن متوسط الانجراف المائي في المنطقة المدروسة هو $28.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ [5].

قام كل من الباحثين (حسن وآخرون) دراسة تهدف إلى معرفة كمية الرسوبيات المتجمعة في بحيرة سد 16 تشرين، وبالتالي معرفة الفاقد في حجم التخزين المفيد للبحيرة الناجم عن الرسوبيات المتجمعة، وخلصت الدراسة إلى أن كمية الرسوبيات المتجمعة تعادل حوالي (4.6) مليون طن خلال فترة الاستثمار، وسببت خسارة في حجم التخزين المفيد مقداره (9.1 MCM) أي حوالي 7.58% من الحجم الإجمالي المفيد للسد [6].

كذلك أعدَّ الباحثون (بركات وآخرون) خارطة خطر الانجراف المائي لترتب حوض نهر الأبرش في طرطوس باستخدام نموذج كورين ونظام المعلومات الجغرافية وتبين أنَّ حوالي (4.81%) من مساحة الحوض تعاني من خطر انجراف شديد، وحوالي (22.15%) تعاني من انجراف متوسط، و(73.04%) ذات خطر انجراف منخفض. كما تركزت مناطق خطورة الانجراف الشديد في الأجزاء الشرقية الشمالية من منطقة الدراسة [7].

بخصوص الدراسات المتعلقة بقياس الرسوبيات المنقولة في مياه الأنهار، فقد قام الباحث (Hayes S.K. et al.) بقياس الرسوبيات المنقولة عبر نهر باسيج في الفلبين، بطريقة Equal width increment وباستخدام لاقط نموذج DH-84/ لقياس الرواسب المعلقة ولاقط فرق الضغط مزود بشبكة ذات أبعاد 1 mm لقياس رواسب القاع [8].

أهمية البحث وأهدافه:

يُعد سد بللوران من السدود الهامة في الساحل السوري حيث يتم استخدام المياه المخزنة في بحيرة السد في الري وتزويد بعض القرى المحيطة بمياه الشرب، وتتعرض تربة الحوض الساكب للبحيرة للانجراف المائي نتيجة توافر الظروف المساعدة لعملية الانجراف مثل كميات الهطول العالية، الانحدارات الشديدة والنشاطات الزراعية الكثيفة ولذلك كان لا بد من إجراء تقييم لمؤشرات الانجراف المائي وتحديد كميات الرواسب الواصلة إلى البحيرة من أجل اقتراح الحلول المناسبة لتقليل كمياتها والتخفيف من آثارها السلبية.

إذاً ومما سبق فإن هذه الدراسة تهدف إلى حساب كمية الرواسب الناتجة عن الانجراف المائي باستخدام المعادلة العامة المعدلة لفقد التربة وقياس كمية الرواسب المنقولة والواصلة إلى بحيرة سد بللوران.

طرائق البحث ومواده:

مكان وزمان إجراء البحث: جامعة تشرين خلال الفترة 2020-2021.

منطقة الدراسة:

يقع حوض سد بللوران في القسم الشمالي الغربي للجمهورية العربية السورية، ضمن حوض الساحل وبين خطي عرض ($35^{\circ} 58'$ ، $35^{\circ} 56'$) شمال خط الاستواء وخطي طول ($35^{\circ} 49'$ ، $35^{\circ} 46'$) شرق غرينتش.

تخضع منطقة الدراسة لمناخ متوسطي ذو شتاء ماطر معتدل وصيف حار وجاف، ومعدلات رطوبة مرتفعة وهطولات مطرية عالية تتراوح بين 809.8 مم في موقع السد و1254.6 مم في عطيرة، ويمتوسط هطول سنوي يقدر بحوالي 877 مم. تشكل مساحة الأراضي التي تغطيها الغابات حوالي 70% من المساحة الإجمالية تنتشر فيها أشجار السنديان والبلوط والشوح والصنوبر وينمو تحت هذه الأشجار غطاء من الأعشاب، أما المناطق الزراعية فتشكل حوالي 27% حيث تسود في المنطقة زراعة الزيتون والحمضيات والأشجار المثمرة.

تم استخدام برنامج ArcGIS وبالإستعانة بالأداة ArcHydro لرسم واستنتاج خواص الحوض الساكب لسد بللوران حيث بلغت المساحة الإجمالية للحوض الساكب المدروس حوالي (47.682 km²) وطول النهر في المنطقة المدروسة حوالي (15.95 km) وبلغ الميل الوسطي للحوض حوالي 21.28%.

ويبين الشكل رقم (2) صورة جوية للحوض المدروس، مبيناً عليها مجرى نهر قره جالية، مع مواقع المحطات المناخية المعتمدة في هذا البحث، كما يبين الشكل رقم (3) حدود الحوض الساكب والمسيلات المائية ضمنه.



الشكل رقم (3): حدود منطقة الدراسة.



الشكل رقم (2): صورة جوية للحوض المدروس.

حساب الانجراف المائي باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة RUSLE:

لحساب كمية الانجراف المائي للتربة A نستخدم المعادلة العالمية لفقد التربة: [5] [9] [12]

$$A = R \cdot K \cdot Ls \cdot C \cdot P \quad (1) \text{ المعادلة رقم}$$

A: كمية التربة المنجرفة (طن/هكتار/سنة) (ton.ha-1.year-1).

R: عامل الهطل المطري (ميغاجول.مم/هكتار/ساعة/سنة) (MJ.mm.ha-1.h-1.year-1).

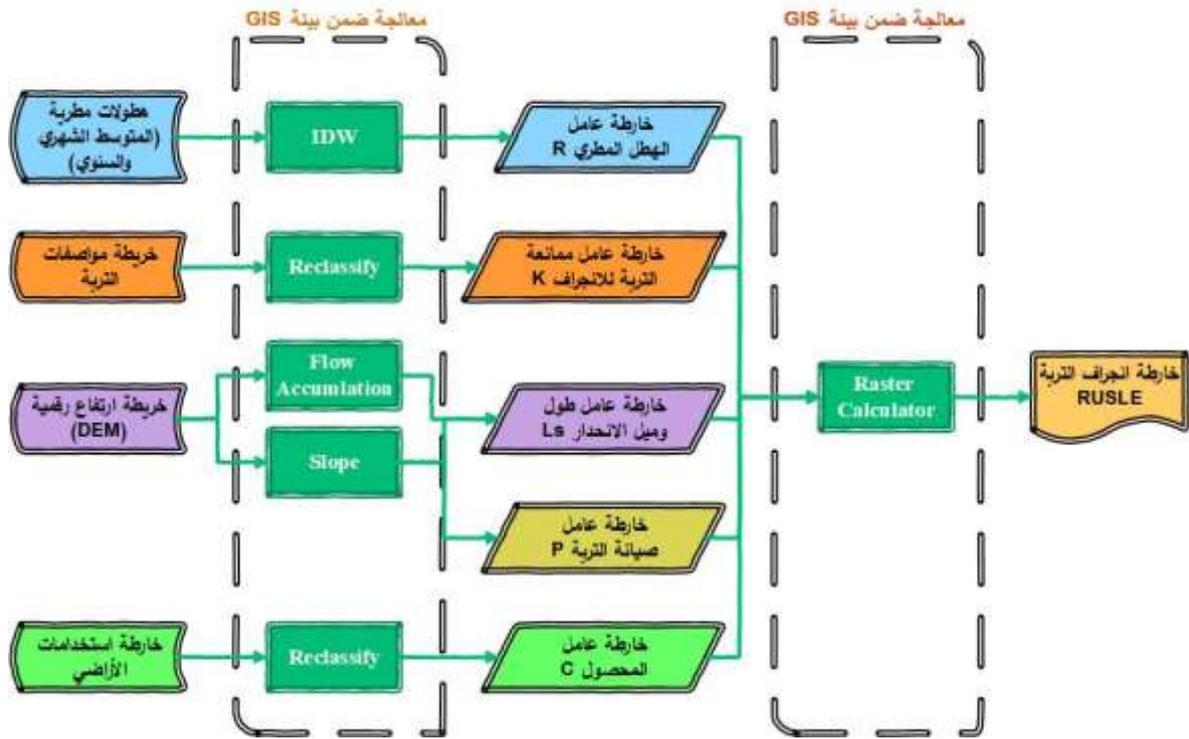
K: عامل قابلية التربة للانجراف (طن.هكتار.ساعة/هكتار/ميغاجول/مم) (ton.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1).

Ls: عامل طول وميل المنحدر.

C: عامل المحصول (الغطاء النباتي) وتتراوح قيمته بين (0~1).

P: عامل صيانة التربة وتتراوح قيمته بين (0~1) وفي حال عدم تطبيق أي إجراءات لصيانة التربة من الانجراف تؤخذ قيمته مساوية للواحد.

تم حساب كلاً من العوامل السابقة للمنطقة المدروسة باستخدام تقنيات ال GIS ومن ثم تم إعداد خارطة تمثل كميات التربة المنجرفة، ويبين الشكل رقم (4) منهجية حساب العوامل السابقة وصولاً لاستنتاج خارطة التربة المفقودة للمنطقة المدروسة.



الشكل رقم (4): منهجية استنتاج خارطة انجراف التربة.

عامل الهطل المطري R

يتم حساب عامل الهطول المطري (R) لأجل عدد من السنوات من خلال القيمة المتوسطة لمجموع نواتج (E.I) لسلسلة قيم ارتفاع الهطل المطري خلال زمن قدره /30/ دقيقة.

حيث E تمثل كمية الطاقة الحركية الإجمالية للعاصفة المطرية خلال زمن قدره /30/ دقيقة وتُحسب من العلاقة:

$$E = 916 + 331 \log(I_{30}) \quad \text{المعادلة رقم (2)}$$

وبما أن المحطات المعتمدة في هذه الدراسة والموزعة ضمن وحول الحوض المدروس لا تتوفر فيها بيانات لارتفاع الهطل المطري خلال زمن قدره /30/ دقيقة، فسوف نقوم بحساب المعامل R اعتماداً على بيانات الهطول السنوية من العلاقة التي وضعها (Babu R. et al.) [9] [10].

$$R = 81.5 + 0.375A \quad \text{المعادلة رقم (3)}$$

R: عامل الهطل المطري ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$).

A: معدل الهطل المطري السنوي (mm).

وبيين الجدول رقم (1) قيم كل من معدل الهطل المطري السنوي وعامل الهطل المطري لكل محطة من المحطات الموزعة ضمن وحول الحوض الساكب، حيث تم الحصول على بيانات الهطول من الهيئة العامة للأرصاد الجوية

الجدول رقم (1): قيم معدل الهطل المطري السنوي وعامل الهطل المطري للمحطات المناخية

م	اسم المحطة	معدل الهطل المطري A (mm)	عامل الهطل المطري R (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .year ⁻¹)
1	سد بللوران	809.8	385.175
2	برماننة	827.0	391.625
3	الدروقيات	856.9	402.838
4	قسطل معاف	1078.3	485.863
5	الدقلة	851.0	400.625
6	سد بيت القصير	734.3	356.862
7	ربيعة	1128.8	504.800
8	كسب	1233.6	544.100
9	عطيرة	1254.6	551.975

ومن هذه القيم وبواسطة برنامج ArcGIS تم إعداد خريطة للعامل R لتلك المحطات ومن ثم تم اقتطاع منطقة الدراسة من هذه الخريطة.

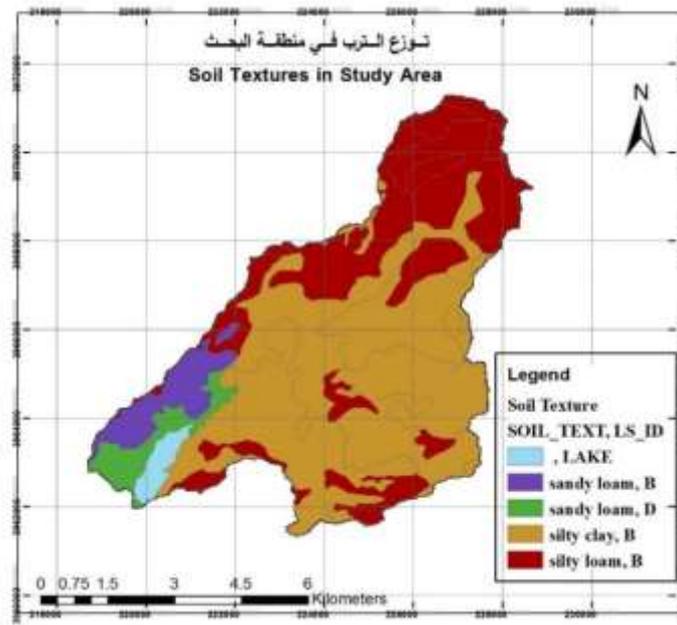
عامل قابلية التربة للانحراف K

وهو يعبر عن مدى ممانعة سطح التربة للانجراف، وتتباين قيمته بحسب نوع التربة ومحتوى المادة العضوية الموجودة في التربة ويبين الجدول رقم (2) قيم العامل K وفقاً لنوع التربة ونسبة محتوى المادة العضوية فيها [11].

الجدول رقم (2): قيم عامل تأكل التربة

Soil Texture	Organic Matter Content (%)		
	0.5	2	4
Very Fine Sand	0.42	0.36	0.28
Loamy Very Fine Sand	0.44	0.38	0.30
Very Fine Sandy Loamy	0.47	0.41	0.33
Sandy Loam	0.27	0.24	0.19
Fine Sand	0.16	0.14	0.10
Loamy Sand	0.12	0.10	0.08
Silty Loam	0.48	0.42	0.33
Clay Loam	0.28	0.25	0.21
Silty Clay Loam	0.37	0.32	0.26
Silty Clay	0.25	0.23	0.19

ولمعرفة أنواع الترب المنتشرة في المنطقة المدروسة تم الحصول على خارطة رقمية للترب المنتشرة في حوض الساحل تم إعدادها من قبل الهيئة العامة للاستشعار عن بعد في محافظة اللاذقية وباستخدام برنامج ArcGis تم استنتاج خارطة أنواع الترب وتوزعها ضمن الحوض الساكن لسد بللوران والمبينة في الشكل رقم (5).



الشكل رقم (5): توزيع الترب في منطقة الدراسة.

وتم الحصول على قيمة المواد العضوية في التربة المنتشرة في الحوض، تم الاعتماد على خريطة ورقية مُعدة من قبل مديرية الزراعة بالإضافة إلى استمارات لوصف مقاطع التربة مُعدة من قبل كيببو وآخرون [1]، ومن هذه البيانات تم الحصول على قيمة المادة العضوية في السطح الأفقي للتربة.

عامل طول وميل المنحدر L_s :

يُعبّر عامل طول المنحدر عن تأثير أطوال المنحدرات في الانجراف المائي للتربة وهو يكافئ نسبة فقد التربة من منحدر ما، إلى فقد التربة الناجم من حوض قياسي بطول انحدار قدره (22.1 meter).

أما ميل المنحدر فهو يكافئ نسبة فقد التربة من حوض ينحدر بميل وسطي محدد، إلى فقد التربة الناجم من حوض قياسي ميله (9%). ولحساب العامل L_s ضمن نظام الـ(GIS) تم اعتماد العلاقة التي أوردها Mitasova [12] وفق التالي:

$$L_s = (m + 1) \left[\frac{A_r}{22.13} \right]^m \left[\frac{\sin \beta_r}{0.09} \right]^n \quad (4) \text{ المعادلة رقم (4)}$$

حيث: m, n ثوابت تجريبية تؤخذ كالتالي $m=0.6$ و $n=1.3$.

$A_{(r)}$: طول ضلع الخلية المكون للنموذج الرقمي للارتفاع (DEM) مضروباً بدليل طول الجريان (Flow Acc.).

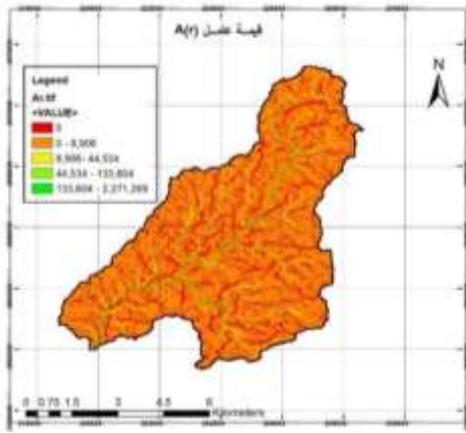
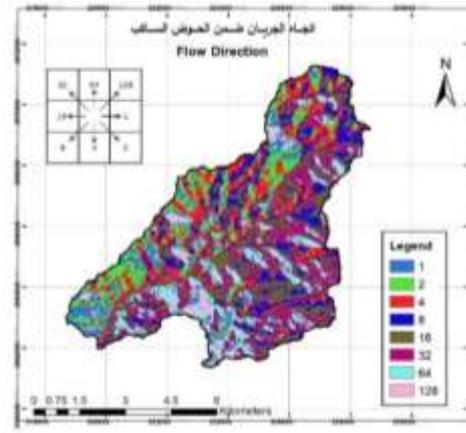
$\beta_{(r)}$: درجة ميل الأرض وتحسب من الـ(DEM).

يختلف طول الجريان ضمن الخلية بحسب اتجاه الجريان في الخلية فعندما يكون الجريان قطري وبما أن الخلية مربعة

يحسب العامل $A_{(r)}$ من المعادلة رقم (5) وفي حال كان الجريان أفقي أو شاقولي فيحسب من المعادلة رقم (6):

$$A_{(r)} = \sqrt{2} * cellsize * flow \text{ accumulation} \quad (5) \text{ المعادلة رقم (5)}$$

$$A_{(r)} = cellsize * flow \text{ accumulation} \quad (6) \text{ المعادلة رقم (6)}$$

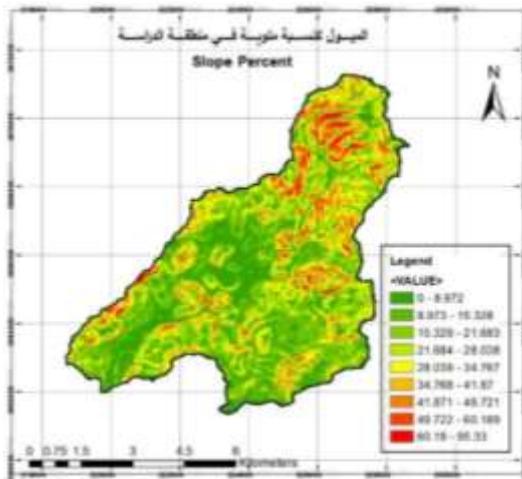
الشكل رقم (7): مخطط قيمة العامل $A(r)$ 

الشكل رقم (6): مخطط اتجاه الجريان ضمن الحوض الساكب.

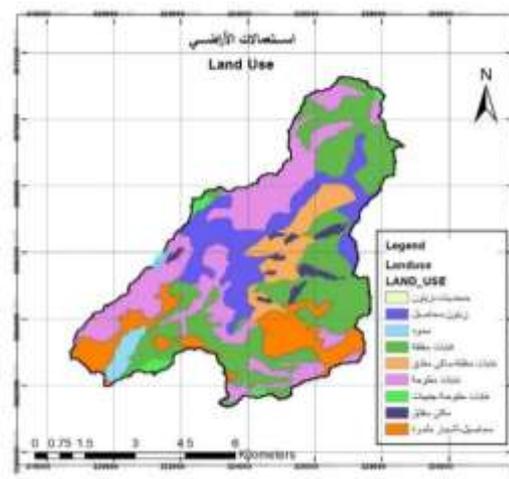
ولمعرفة اتجاه الجريان تم الحصول على خارطة Flow Direction الموضحة بالشكل رقم (6) باستخدام الأداة ArcHydro، واعتماداً على قيمة كل خلية من هذه الخارطة تم إعداد خارطة $A(r)$ والموضحة بالشكل رقم (7)؛ ومن خلال النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) تم الحصول على خارطة الميول ضمن الحوض الساكب $B(r)$ والموضحة في الشكل رقم (9).

عامل إدارة المحصول C

يُعرف عامل إدارة المحصول بأنه نسبة فقد التربة الناتج عن الغطاء النباتي والزراعة والري والخدمات الأخرى، إلى فقد التربة الناتج عن إراحة التربة من الزراعة، ولمعرفة المحاصيل المنتشرة في منطقة الدراسة تم الاستعانة بخريطة رقمية لاستعمالات الأراضي في حوض الساحل (Land use) مُعدّة من قبل الهيئة العامة للاستشعار عن بعد في محافظة اللاذقية ومن هذه الخريطة تم استنتاج مخطط استخدام الأراضي لمنطقة الحوض الساكب للبحيرة والموضح في الشكل رقم (8).



الشكل رقم (9): الميول كنسبة مئوية ضمن الحوض الساكب.



الشكل رقم (8): استعمالات الأراضي ضمن الحوض الساكب.

ولتحديد قيم العامل C وفقاً لاستخدامات الأراضي تم الاستعانة بجداول عالمية تعطي قيماً لعامل إدارة المحصول تبعاً للغطاء النباتي [4] [5]، كما هو وارد في الجدول رقم (3):

الجدول رقم (3): قيم عامل المحصول C.

استخدامات الأراضي	قيم العامل C
الغابات المغلقة (Closed forest)	0.0002
الغابات المفتوحة (Open forest)	0.0007
الماكي المغلق (البلوط السندياني) (Closed Maki)	0.002
الجنيات (Shrubs)	0.007
الأشجار المثمرة (Fruit trees)	0.02
الزيتون (Olives)	0.04
المحاصيل (Crops)	0.1

وفي حال الأراضي الجرداء والنتوءات الصخرية يؤخذ قيمة العامل $C = 1$ ، وفي حال تواجد أكثر من استخدام ضمن الخلية الواحدة فتؤخذ قيمة وسطية للعامل C.

عامل صيانة التربة P

يُعرف بأنه نسبة فقد التربة عند وجود إجراء أو أكثر للسيطرة على انجراف التربة، إلى فقد التربة الناجم عن النشاطات الزراعية في حال عدم وجود أي من هذه الإجراءات؛ ووفقاً للعديد من الدراسات المرجعية العالمية وفي الأراضي الزراعية التي تنتشر فيها المدرجات بشكل موازي لخطوط الكنتور فإن قيم العامل P تؤخذ بحسب الميول الوسطية ضمن المنطقة المدروسة وفق الجدول رقم (4) [4] [5].

الجدول رقم (4): قيم عامل صيانة التربة P في الأراضي الزراعية الحاوية على مدرجات موازية لخطوط الكنتور.

الميل الوسطي للحوض	قيمة العامل P
1-2%	0.60
3-8%	0.50
9-12%	0.60
13-16%	0.70
17-20%	0.80
21-25%	0.90

ونظراً لانتشار المدرجات الكنتورية في منطقة البحث والزراعة تتم بشكل موازٍ لخطوط الكنتور فقد قمنا بإعداد خريطة الميول لمنطقة الدراسة الشكل رقم (9) وذلك للحصول على قيمة العامل P للحوض الساكن المدروس.

قياس كميات الرواسب الواصلة

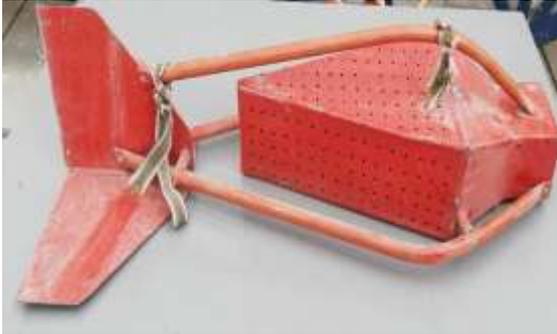
لقياس كميات الرواسب الواصلة إلى البحيرة تم اختيار موقع لقطف العينات لنهر قره جالية عند جسر الروضة قبل مصبه ضمن بحيرة السد بمسافة حوالي 375/ متر المبين بالشكل رقم (10) وذلك باستخدام جهازين قياس مستخدمين عالمياً، تم تصنيعهما محلياً وهذه الأجهزة موجودة ضمن مخبر الهيدروليك التابع لكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين، أحدهما لقياس الرواسب المعلقة والآخر لقياس الرواسب المتدرجة على القاع.



الشكل رقم (10): موقع أخذ العينات (جسر الروضة).

بالنسبة لجهاز قياس الرواسب المعلقة وغير المنحلة (Dissolved & Suspended load) فهو مكون من عمود معدني معلق عليه ثلاث عبوات بلاستيكية بشكل أفقي حجم كل عبوة (1500 ml) بحلقات معدنية يمكن زلقها على العمود المعدني ولكل عبوة فوهة (nozzle) بقطر (d = 10 mm) بالإضافة إلى أنبوب مع كوع من أجل طرد الهواء (Vent) بقطر داخلي (d= 5 mm) الموضح بالشكل رقم (11).

أما بالنسبة لجهاز قياس للرواسب المتدرجة على القاع (Bed load) فتم استخدام نموذج (Helly - Smith) الموضح بالشكل رقم (12) حيث تدخل المياه من فتحة أبعادها (7.62 * 7.62 cm) لتصل بعدها إلى فلتر ناعم جداً من أجل حجز الرواسب وتخرج المياه بعدها من قمع معدني مثقب وتستمر بالجريان ضمن النهر.



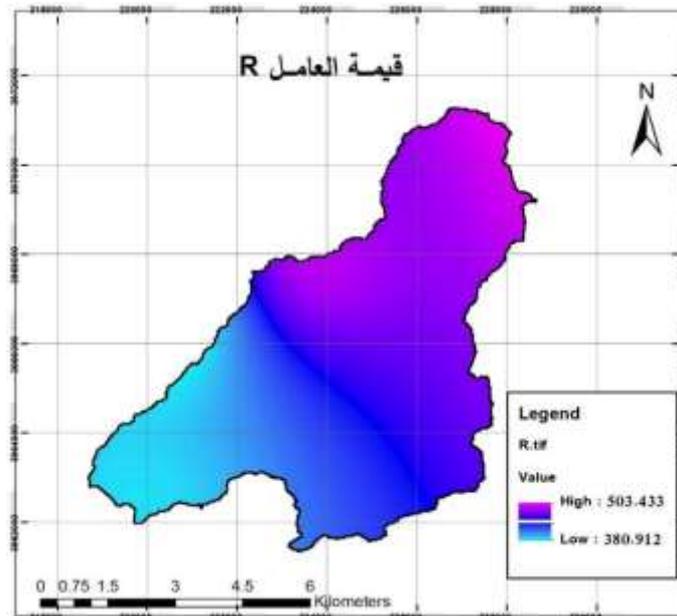
الشكل رقم (11): جهاز قطف عينات الرواسب المحمولة. الشكل رقم (12): جهاز قطف عينات الرواسب المتدرجة على القاع.

النتائج والمناقشة:

تطبيق نموذج RUSLE

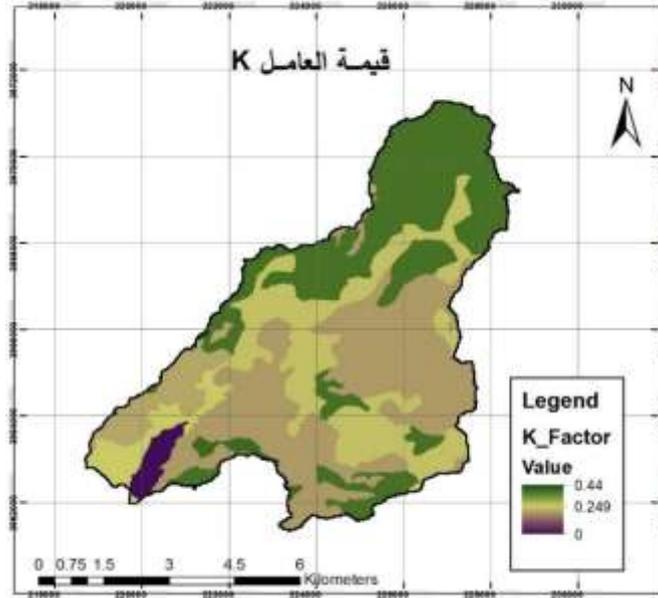
تم إعداد خريطة التوزع المكاني لعامل الهطل المطري ضمن الحوض الساكب المدروس وذلك من خلال برنامج ArcGIS الموضحة في الشكل (12)، حيث تراوحت قيمة عامل الهطل المطري في المنطقة المدروسة ضمن المجال $(380 - 457 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1})$.

نلاحظ من الشكل (13) بأن قيم العامل R تزداد كلما اتجهنا نحو الشمال والشمال الشرقي ويعود سبب الاختلاف في هذه القيم بسبب التباين في الارتفاعات ضمن المنطقة المدروسة، حيث بلغ الارتفاع الأعظمي ضمن الحوض الساكب 773 m ، وبلغت قيمة العامل R عند السد $(385.17 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1})$.



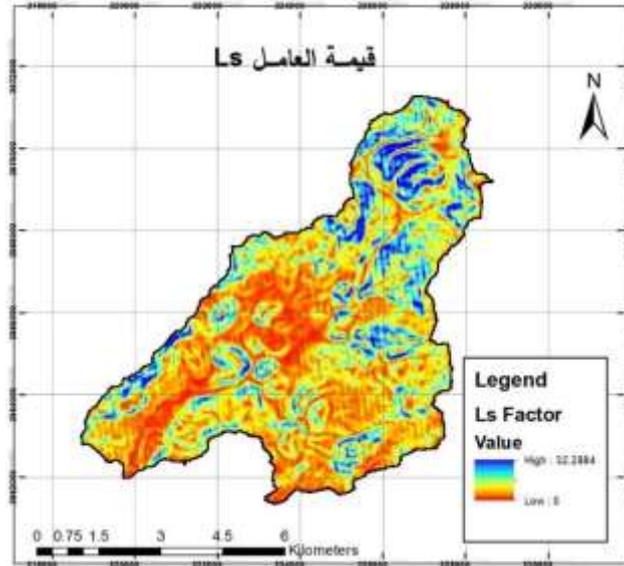
الشكل رقم (13): توزيع عامل الهطل المطري R ضمن المنطقة المدروسة.

توزعت قيم العامل K ضمن الحوض الساكب بين $(0 - 0.44 \text{ ton.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1})$ ، حيث تتباين قيم هذا العامل باختلاف نوع التربة المنتشرة ومحتوى المادة العضوية فيها، حيث تقل قيمه في التربة الطينية والغنية بالمادة العضوية التي تعتمد على استخدامات الأراضي والمحاصيل المزروعة وعمليات التسميد العضوي السائدة في المنطقة المدروسة، ويبين الشكل (14) توزيع قيم العامل K ضمن منطقة البحث.



الشكل رقم (14): التوزيع المكاني للعامل K ضمن منطقة البحث.

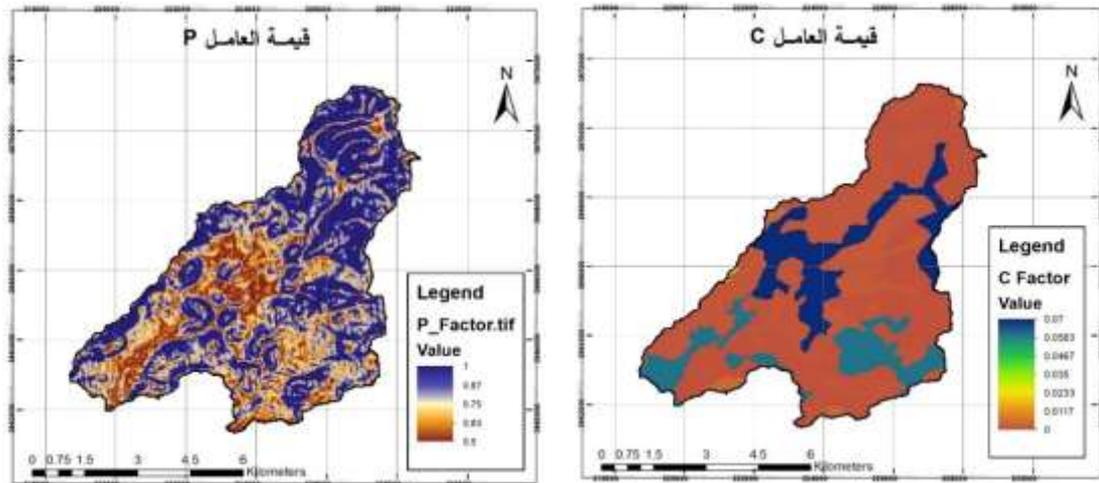
وفيما يخص عامل طول وميل الانحدار Ls فقد تراوحت قيمه بين (0 – 32.29)، تزداد قيم العامل Ls عند منبع نهر قره جالية ومنابع الروافد حيث تكون تلك المناطق شديدة الميول والانحدار، فيما تقل قيمته في المناطق الأقل انحداراً والسهول والأراضي المنبسطة، ويبين الشكل (15) التوزيع المكاني للعامل Ls ضمن الحوض الساكن المدروس.



الشكل رقم (15): التوزيع المكاني لعامل طول وميل المنحدر ضمن المنطقة المدروسة.

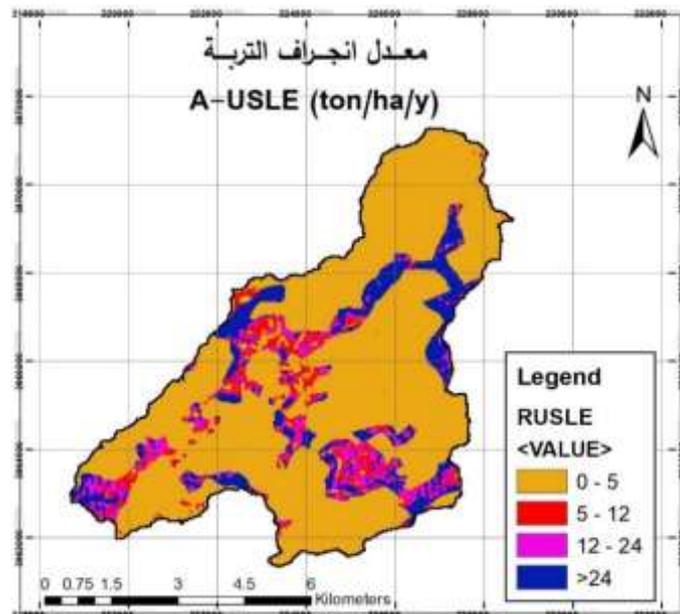
وفيما بعد تم إعداد خريطة للتوزيع المكاني لعامل المحصول C ضمن الحوض الساكن وتباينت قيمته ضمن المجال (0 ~ 0.7) كما هو موضح في الشكل (16) حيث تركزت القيم الدنيا للعامل C في مناطق الغابات المغلقة والمفتوحة، فيما سُجلت القيم الكبرى في مناطق زراعة المحاصيل والخضروات، بينما القيم الوسطى كانت ضمن مناطق الأشجار المثمرة والزيتون.

أما العامل P فقد تراوحت قيمه بين (1 ~ 0.5) وذلك وفقاً للميول ضمن الحوض الساكب المدروس ويوضح الشكل (17) التوزيع المكاني لقيم عامل صيانة التربة ضمن منطقة الدراسة، ونلاحظ من الشكل أن القيم (1 ~ 0.85) قد تركزت في مساحات واسعة من المنطقة المدروسة في أماكن الميول العالية، حيث تزداد قيمة العامل P بازدياد الميول والانحدار الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الانجراف المائي للتربة وعليه لا بد من اتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من انجراف التربة (تنفيذ مدرجات - تسوية الأراضي - ...).



الشكل رقم (16): التوزيع المكاني للعامل C لمنطقة البحث. الشكل رقم (17): التوزيع المكاني للعامل P لمنطقة البحث.

وبعدما تم حساب كافة عوامل المعادلة العالمية لفقد التربة (R, K, Ls, C, P) وإعداد خارطة لكل عامل، قمنا بإعداد خارطة التنبؤ بكمية التربة المنجرفة من خلال جداء هذه العوامل ببعضها باستخدام برنامج ArcGIS، ويبين الشكل (18) خارطة التنبؤ بكمية الرواسب المنجرفة ضمن المنطقة المدروسة.



الشكل رقم (18): خارطة التنبؤ بكمية التربة المنجرفة ضمن حوض سد بلوران.

تم تقسيم هذه القيم إلى 4 مراتب وفقاً للدراسات والمراجع العالمية بحيث تعبر كل مرتبة عن مدى خطورة الانجراف المائي، وحساب المساحات التي تغطيها هذه المجالات ونسبتها من المساحة الكلية للمنطقة المدروسة وبيين الجدول رقم (5) النسب المئوية والمساحات لمراتب خطورة الانجراف.

الجدول رقم (5): النسب المئوية والمساحات لمراتب خطورة الانجراف.

رقم المرتبة	المساحة التي يشغلها (Km ²)	النسبة المئوية	كمية التربة المفقودة (t.ha ⁻¹ .y ⁻¹)	تصنيف الخطورة
1	36.157	76.13%	0 – 5	منخفض جداً
2	2.810	5.92%	5-12	منخفض
3	3.069	6.46%	12-24	متوسط
4	5.455	11.49%	>24	عالٍ
Σ	47.491	100%		

نلاحظ من الجدول السابق أن المرتبة الأولى والتي تُمثل خطورة منخفضة جداً تشغل مساحة قدرها (36.157) كم² أي ما يعادل حوالي 76% من مساحة المنطقة المدروسة ومنتوزعة على امتداد الحوض. أما المرتبة الثانية والتي تمثل خطورة منخفضة للانجراف المائي فشغلت مساحة قدرها (2.81) كم² أي ما يعادل 5.92% من مساحة الحوض الساكب وتركزت في المنطقة الوسطى والجزء الغربي والجنوبي الغربي من الحوض. بينما المرتبة الثالثة والتي تمثل خطورة متوسطة فشغلت مساحة قدرها (3.069) كم² أي ما يعادل 6.46% من مساحة المنطقة المدروسة وتركزت أيضاً في المنطقة الوسطى والجزء الجنوبي الغربي من الحوض الساكب. أما المناطق ذات الخطورة العالية فقد شغلت مساحة قدرها (5.455) كم² أي ما يعادل 11.49% من مساحة المنطقة المدروسة وتوزعت على طول مسار نهر قره جالية وروافده وصولاً إلى بحيرة السد. ومما سبق نلاحظ أن المناطق ذات الخطورة المنخفضة هي مناطق انتشار الغابات سواءً كانت مغلقة أو مفتوحة، والميول فيها خفيفة ومنبسطة، وهذا يتوافق مع الدراسات المرجعية كون العلاقة بين طول وميل الانحدار وسرعة الجريان السطحي هي علاقة طردية، وعند زيادة سرعة الجريان تزداد عمليات الحت ونقل الرواسب، بينما الغطاء النباتي الكثيف كالغابات يعيق حركة الجريان ويخفف من سرعته وبالتالي يخفف من عملية انجراف التربة، ومن هنا نستنتج أن عاملي الميل والغطاء النباتي هما العاملان الأساسيان اللذان يتحكمان بعملية الانجراف المائي للتربة. بالمقابل نلاحظ أن القيم العليا للانجراف المائي وفق نموذج RUSLE لمنطقة الدراسة تركزت في مناطق المحاصيل الزراعية، ويعود السبب إلى العمليات الزراعية وحصد المحاصيل حيث تؤدي هذه العمليات إلى تفكك التربة وبالتالي معرضة لجريان الهطل المطري ضمنها وبالتالي جرفها، إضافةً إلى مناطق الترب ذات القابلية العالية للانجراف والتي تكون محتواها من المادة العضوية قليل حيث يوضح كل من الشكل (19) والشكل (20) انهيار طريق بللوران كسب قرب القسم الجنوبي الغربي من السد نتيجة انجراف التربة جراء الغزرات المطرية العالية في تلك المنطقة. كما بلغ متوسط الكمية الكلية للانجراف المائي ضمن منطقة الدراسة 8.74 ton/ha/year، وهو ضمن الحدود المسموح بها عالمياً (2.5 ~ 12 t/ha/y) أي أن المنطقة تعاني من خطر انجراف للتربة متوسط وبالتالي يتطلب اتخاذ

إجراءات لحماية التربة ضمن المناطق ذات الخطورة العالية (المناطق الزراعية والمناطق ذات الانحدار الشديد)، بالإضافة إلى إجراءات صيانة التربة الدورية في بقية المناطق



الشكل رقم (19): انهيار طريق بللوران كسب نتيجة الانجراف المائي. الشكل رقم (20): انهيار استرداد كسب نتيجة انجراف التربة.

حساب كميات الرواسب الواصلة إلى البحيرة

من أجل دراسة جريان المياه ضمن نهر قره جالية اعتمدنا على قيم الغزارة الوسطية الشهرية بالإضافة إلى حجم الجريان الوسطية الشهرية الواردة إلى البحيرة والمبينة بالجدول رقم (6)، حيث تم الحصول على هذه القيم من مديرية الموارد المائية في محافظة اللاذقية.

الجدول رقم (6): الغزارة وحجم الجريان الوسطي الشهري الواردة إلى بحيرة بللوران.

الوحدة	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول
m ³ /s	0.19	0.02	0.44	0.81	0.70	1.03	0.61	0.24	0.09	0.03	0.13	0.36
MCM	0.51	0.06	1.19	2.18	1.69	2.75	1.57	0.63	0.23	0.08	0.36	0.94

إن التدفق الوسطي السنوي للمياه الواردة للبحيرة هو المتوسط الحسابي للتدفقات الوسطية الشهرية للنهر:

$$Q_{avg} = \frac{\sum_{1}^{12} Q_{month,avg}}{12} = 0.39m^3/s \quad \text{المعادلة رقم (7)}$$

أما حجم الوارد المائي الكلي السنوي للبحيرة فهو عبارة عن مجموع أحجام الجريان الوسطية الشهرية الواردة إلى البحيرة:

$$V_{year} = \sum_{1}^{12} V_{month} = 12.19MCM \quad \text{المعادلة رقم (8)}$$

نورد في الجدول رقم (7) نتائج تجارب قياس تراكيز المواد المعلقة (Suspended Load) الواردة إلى بحيرة سد بللوران وذلك في حالات العكارة المختلفة للمياه الواردة وذلك على محورين: الجانب الأيمن بعيداً عن الضفة والجانب الأيسر بعيداً عن الضفة وعلى أعماق مختلفة باستخدام جهازي قياس الرواسب المعلقة [13].

الجدول رقم (7): نتائج تجارب قياس المواد الصلبة المعلقة.

حالة المياه الواردة عند إجراء القياس	تاريخ القياس	رقم العينة	الحجم الكلي المرشح من العينة (ml)	الوزن الكلي للمواد الصلبة المعلقة ضمن الحجم الكلي المرشح (gr)	تركيز المواد الصلبة المعلقة المقاسة Si(g/m ³)	التركيز المتوسط للمواد الصلبة المعلقة Si,avg(g/m ³)	التركيز المتوسط الإجمالي للمواد الصلبة المعلقة S,avg(g/m ³)
خفيفة	2020/2/21	1	1495	0.3932	263.0	271.7	1049.3

		280.4	0.4187	1493	2		العكارة
	810.3	763.0	1.1415	1496	1	2020/3/1	متوسطة
		857.5	1.2845	1498	2		العكارة
	2066.0	1959.5	2.9314	1496	1	2020/3/19	عكرة
		2172.4	3.2456	1494	2		

من الجدول السابق نلاحظ أن التركيز المتوسط الإجمالي للمواد الصلبة المعلقة في كافة حالات عكارة المياه الواردة إلى بحيرة بللوران هو 1049.3 gr/m^3 ، وعليه تكون الكمية السنوية الإجمالية للمواد الصلبة المعلقة هي:

$$\text{Suspended Load, year} = C_{SL} \times V_{\text{year}} = 1049.3 \times 12.19 \approx 12791 \text{ ton} \quad (9)$$

نورد في الجدول رقم (8) نتائج تجارب قياس تراكيز المواد المتدرجة على القاع (Bed Load) الواردة إلى بحيرة سد بللوران وذلك في حالات العكارة المختلفة للمياه الواردة وذلك التركيز الوسطي المستنتج من المتوسط الحسابي لتراكيز العينات المأخوذة.

الجدول رقم (8): نتائج تجارب قياس المواد المتدرجة على القاع.

حالة المياه الواردة	تاريخ القياس	رقم العينة	فترة القياس (min)	الكتلة الجافة الملتقطة خلال فترة القياس (gr)	تركيز المواد المتدرجة على القاع في واحدة العرض من المجرى النهري [gr/(m.s)]	عرض المجرى (m)	تركيز المواد المتدرجة على القاع (gr/s)	التركيز المتوسط للمواد المتدرجة على القاع (gr/s)	التركيز المتوسط الإجمالي للمواد المتدرجة على القاع (gr/s)
خفيفة العكارة	2020/2/21	1	30	495	3.61	9	32.48	33.20	72.97
		2	30	517	3.77	9	33.92		
متوسطة العكارة	2020/3/1	1	30	1047	7.63	10	76.33	76.66	72.97
		2	30	1056	7.70	10	76.99		
عكرة	2020/3/19	1	30	1481	10.80	10	107.98	109.03	72.97
		2	30	1510	11.01	10	110.09		

وعليه تكون الكمية السنوية الإجمالية للمواد الصلبة المتدرجة هي:

$$\text{Bed Load, year} = C_{BL} \times \text{Flow Days} = \frac{72.97 \times 365 \times 24 \times 3600}{10^6} \approx 2301 \text{ ton} \quad (10)$$

ومنه نحصل على الكمية السنوية الإجمالية للرسوبيات الواصلة إلى بحيرة سد بللوران بجمع كمية المواد المتدرجة على القاع وكمية المواد الصلبة المعلقة:

$$\text{Total Load} = \text{Suspended Load} + \text{Bed Load} = 12791 + 2301 = 15092 \text{ ton}$$

نحسب النسبة ما بين كمية الرواسب المنقولة الواصلة إلى البحيرة إلى كمية الرواسب الناجمة عن الانجراف المائي لتربة حوض سد بللوران:

$$\frac{\text{Total Load}}{A_{\text{(total)}}} = \frac{15092}{40044} \approx 38\%$$

مما سبق نلاحظ أن كمية الرواسب المنقولة ضمن المسيلات المائية لحوض سد بللوران تساوي حوالي 38% من الكمية الإجمالية السنوية الناجمة عن الانجراف المائي لتربة هذا الحوض، وهي تعبر عن الكمية الفعلية الواصلة إلى بحيرة سد بللوران.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال دراسة نموذج R-USLE لحوض سد بلوران في محافظة اللاذقية وأخذ قياسات حقلية للرواسب الواصلة للبحيرة تبين ما يلي:

1. إن الانجراف المائي لتربة الحوض الساكب لسد بلوران يؤدي إلى إنتاج كمية من الرواسب تعادل حوالي (40044 ton) سنوياً؛
2. إن الكمية المقاسة للرواسب المنقولة والواصلة فعلياً إلى بحيرة السد حوالي (15758 ton) سنوياً، الأمر الذي يؤثر على السعة التخزينية للسد ما لم يتم اتخاذ الإجراءات اللازمة؛
3. استخدام المعادلة العامة المعدلة لفقد التربة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS – RUSLE) طريقة فعالة ودقيقة لحساب خطورة الانجراف المائي، وتحديد التوزيع المكاني لمناطق الخطورة خلال زمن قصير نسبياً وبكفاءة أقل. ووفقاً لهذه النتائج نقترح ما يلي:
 1. إنشاء محطات خاصة لقياس كمية الرسوبيات المنقولة والتغيرات في أسرة ووظائف المسيلات المائية ورفدها بعناصر مؤهلة؛
 2. التوسع في دراسة خطر انجراف التربة لإيجاد المعادلات والعوامل الرياضية الملائمة لظروف بلادنا وخصوصاً في المنطقة الساحلية؛
 3. الحفاظ على الغطاء النباتي واتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من انتشار الحرائق ضمن الغابات، باعتباره العامل الأكثر تأثيراً على الانجراف المائي للتربة؛
 4. اتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من وصول الرسوبيات المنقولة إلى بحيرة السد، إضافة إلى القيام بأعمال تعزيل البحيرة في أوقات الجفاف؛
 5. أخذ الحيطة أثناء شق الطرق وغيرها من الأعمال الهندسية الأخرى وذلك للحفاظ على التربة من الانجراف.

References:

1. Kabibo Issa, Bouaissa Abdel Aziz, Ibrahim Jihad. A study of soil erosion for eight separate sites with different degrees of slope in the coastal region and under the three systems // forests - burnt forests - agricultural soils //. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series, 2017, 39(1), 26-38.
2. CHADLI, K. *Estimation of soil loss using RUSLE model for Sebou watershed*. Model. Earth Syst. Environ. 2, 51, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0105-y>
3. BEN RHOUMA A, HERMASSI T, HABAIEB H. *Water Erosion modeling in a Mediterranean semi-arid catchment using USLE/GIS (El Gouazine, Central Tunisia)*. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology. Vol 50(7), 2018, 3071-3081.
4. Hassan Ezz El-Din, Hammad Monzer, Ismail Kinan. Calculating the ratio between the amount of sediment produced by water erosion of the soil and the amount of sediment transported in the Zagaro River. Tishreen University Journal for Scientific Research and Studies Series of Engineering Sciences, 2014, 36(2), 277-299.
5. Hammad Munther, Hassan Ezz El-Din, Khudair Rasha. Prediction of potential sediment quantity as a result of soil erosion in the Al-Kabir Al-Shamali River basin

between Bradon Dam and Tishreen 16 Dam. Tishreen University Journal for Scientific Research and Studies Series of Engineering Sciences, 2019, 41 (1), 515-534.

6. Hassan Ezz El-Din, Hammad Munther, Hawat Maher. The effect of sediment accumulation on the decline in live stock in the 16th of Tishreen Dam lake. Tishreen University Journal for Scientific Research and Studies Series of Engineering Sciences, 2018, 40(1), 179-199.

7. Barakat Mona, Al-Abd Muhammad, Hassan Ezz El-Din, Jawhara Ali. Preparing a water erosion hazard map for the soils of the Al-Abrash River Basin in Tartous using the Korine model and GIS. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies Biological Sciences Series, 2020, 42(5), 139-155.

8. HAYES SK, MONTGOMERY DR, NEWHALL CG. *Fluvial sediment transport and deposition following the 1991 eruption of Mount Pinatubo*. Geomorphology. 45, 2002, 211-224.

9. KAYET N, PATHAK K, CHAKRABARTY A, SAHOO S. *Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas*. International Soil and Water Conservation Research. 6, 2018, 31-42.

10. JAIN MK, DAS D. *Estimation of Sediment Yield and Areas of Soil Erosion and Deposition for Watershed Prioritization using GIS and Remote Sensing*. Water Resource Manage. 24, 2010, 2091-2112.

11. PARVEEN R, KUMAR U. *Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand*. Journal of Geographic Information System. 4, 2012, 588-596.

12. MITASOVA H, HOFIERKA J, ZLOCHA M, IVERSON LR. *Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. IJGIS. 10:5, 1996, 629 – 641.

13. HADDADCHI A, *Review of suspended sediment measurement techniques*. NIWA, 2017, 31.