Dirasat: Human and Social Sciences, Volume 51, No. 2, 2024

Deanship of Scientific Research

Estimating Soil Loss Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE): Wadi Zarqa Ma'in Watershed as a Case Study

Ibrahim M. Oroud [1]*, Salah Al-Tarawneh [2], Atef A. Ghumaid[2]

[1]Department of Geography, College of Social Sciences, Mu'tah University, Karak, Jordan.

[2] The Ministry of Education, Amman, Jordan.

Received: 8/4/2022
Revised: 15/1/2023
Accepted: 12/4/2023
Published: 30/3/2024

* *Corresponding author:*
ioroud@mutah.edu.jo

Citation: Oroud, I. M. ., Al-Tarawneh, S. ., & Ghumaid, A. A. . (2024). Estimating Soil Loss Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE): Wadi Zarqa Ma'in Watershed as a Case Study. *Dirasat: Human and Social Sciences*, *51*(2), 196–212. https://doi.org/10.35516/hum.v51i2.1484

Abstract

Objectives: The present study examines soil loss in Wadi Zarqa Ma'in watershed, which drains the Madaba Plateau in Jordan.

Methods: The study employs the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) to map potential soil loss. Remote sensing data were obtained from the USGS website, while rainfall and soil data were obtained from the Ministry of Water and Irrigation and the Ministry of Agriculture in Jordan.

Results: The results of the study reveal that potential soil loss in the upper parts of the watershed was minimal because of the relatively flat terrains, the vegetation cover, and the widespread urban landscapes. However, significant soil loss was observed along watercourses draining the watershed due to the very steep topography and the lack of vegetation cover. According to the classification scheme of soil erosion archived by the FAO, the potential soil loss prevalent in the study area is very limited. The study reveals that the average soil loss over the entire watershed is 14.4 ton/ha per year.

Conclusion: If 40% of this soil loss is transported by waterways, there will be 120-130 thousand tons of sediment, giving a sediment volume of 80-100 $\times 10^3$ m^3 each year. The current study could supply valuable quantitative guidelines to identify areas where terracing is needed to control soil erosion in watersheds. Furthermore, it could serve as a valuable decision support tool for land management aimed at protecting natural resources and conserving ecosystems.

Keywords: Erosion, Jordan, sediment yield, soil loss, soil loss equation.

تقدير فقدان التربة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) حوض زرقاء ماعين: حالة دراسية

إبراهيم العرود[1]*، صلاح الطراونة[2]، عاطف الغميض[2]

[1]قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة مؤتة، الكرك، الأردن.

[2] وزارة التربية والتعليم الأردنية، عمان، الأردن.

ملخّص

الأهداف: يقيّم هذا البحث فقدان التربة من حوض وادي زرقاء ماعين الذي يصرف مياه هضبة مادبا، الأردن.

المنهجية: استُخدِمَ الدراسة معادلة فقدان التربة العالمية المعدلة (RUSLE) لانتاج خريطة خسارة التربة المحتملة. جرى الحصول على بيانات الاستشعار عن بعد من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية، في حين تم الحصول على بيانات هطول الأمطار والتربة من وزارة المياه والري ووزارة الزراعة، الأردن.

النتائج: توضح نتائج الدراسة أن فقدان التربة المحتملة كانت صغيرة في الأجزاء العليا من الحوض لانخفاض تضرس السطح نسبيًا ووجود غطاء نباتي وانتشار التجمعات الحضرية. لوحظ فقدان كبير للتربة على طول مجاري المياه بسبب التضاريس شديدة الانحدار وعدم وجود غطاء نباتي. ووفقًا لتصنيف تآكل التربة الذي تم اقتراحه من منظمة الأغذية والزراعة، فإن فقدان التربة المحتمل السائد في منطقة الدراسة هو خفيف جدًا. وجدت الدراسة أن المتوسط الحسابي لفقدان التربة على جميع أجزاء الحوض بحدود 14.4 طن/ هكتار في السنة.

الخلاصة: إذا تم الافتراض أن 40٪ من التربة المفقودة تنقلها المجاري المائية، فسيكون هناك 120-130 ألف طن من الرواسب، مما يعطي حجمًا يتراوح بين 80-100 ألف متر مكعب من الرواسب كل عام. يمكن أن توفر المنهجية الحالية إرشادات لتحديد المناطق التي يلزمها تشييد مصاطب لدرء تآكل التربة. كما يمكن استخدام النموذج الحالي كأداة لدعم القرار لإدارة الأراضي لحماية الموارد الطبيعية ولحفظ النظم البيئية.

الكلمات الدالة: فقد التربة، الإنتاج الرسوبي، التعرية، الأردن، معادلة فقدان التربة.

© 2024 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

المقدمة

يعد انجراف التربة أحد أهم الأخطار الرئيسة التي تهدد ديمومة الزراعة والتطور الاقتصادي .(Li, 2000; FAO, 2015) وتعاني المناطق الجافة وشبه الجافة من مشكلة انجراف التربة بسبب طبيعة الأمطار الفجائية عالية الشدة أحيانا من جهة وقلة أو خلو السطح من الغطاء النباتي ;El-Swaify,1997 .((Oroud, 2015كما أن الانجراف يسهم في فقدان مغذيات التّربة وانخفاض غلة المحاصيل وانخفاض الإنتاجية .(Renard et al.,1997) ويعد انجراف التربة أحد الأسباب الرئيسة لتدهور الأراضي ويشكل تهديدًا خطيرًا للأمن الغذائي والاستدامة الزراعية .(Kalambukattu & Kumar,2017) وتحتاج الترب في البيئات الجافة وشبه الجافة فترة طويلة للتكون لقلة المطر وارتفاع التبخر- نتح الكامن. وذكر تقرير صادر عن منظمة الأغذية والزراعة أنه لتكوين طبقة من التربة بعمق 2-3 سم في بعض المناطق الجافة وشبة الجافة، فإن ذلك يستغرق حوالي 1000 عام .(FAO & ITPS, 2015)

ويُعد انجراف التربة أحد الأسباب الرئيسة لتدهور أراضي الأحواض المائية في الأردن وخاصةً الأحواض المطلة على البحر الميت لارتفاع كمية الأمطار النسبية من جهة وشدة الانحدار. كما تتعرض هذه الاحواض للرعي الجائر وتراجع مساحات النباتات نتيجة التحطيب وتوالي سنوات الجفاف ,Oroud)) .2018ويعد انجراف التربة أحد أبرز مظاهر تدهورالأحواض النهرية الذي يترتب عليه آثار سلبية على الوضع الاقتصادي والأمن الغذائي الوطني وكمية ونوعية الموارد المائية السطحية والجوفية .

وقد أجريت العديد من الدراسات لتقييم انجراف التربة، وكان معظمها يتم بالرصد الحقلي. وعلى الرغم من الدقة النسبية العالية للرصد الحقلي، إلا أن هذه الوسائل تحتاج الكثير من الأيدي العاملة والكلفة العالية، علاوة على محدودية المساحات الجغرافية التي يمثلها المسح الحقلي. وقد أدى إطلاق الأقمار الصناعية وما رافقها من تحسن كبير في القدرة التمييزية المكانية للمرئيات الفضائية الملتقطة على توفير بيانات لمساحات واسعة من سطح الأرض وبصورة متزامنة. كما أن تطور برمجيات أنظمة المعلومات الجغرافية وقدرتها الكبيرة على إجراء حسابات رياضية معقدة أتاح الفرصة للباحثين دمج بيانات الاستشعار عن بعد ضمن بيئة أنظمة المعلومات الجغرافية لدراسة الكثير من المعالم السطحية ضمن مساحات واسعة .

تم تطوير العديد من النماذج التي تقدر فقدان وانجراف التربة، منها على سبيل المثال المعادلة العالمية لفقدان التربة Universal Soil Loss) (Equation: USLE، والمعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (:Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE) ومشروع توقع التعرية المائية Water) (Erosion Prediction Project WEPPونموذج توقع الانجراف) Erosion Prediction Model: EPM :) أنظر على سبيل المثال ,Igwe et al., 2017: Renard et al., 1997).

وهناك عدة دراسات استخدمت نموذج RUSLE لتقدير انجراف التربة في الأردن والمناطق المشابهة في مناخها. فقدرت القطيش (2013) انجراف التربة في وادي الحسا باستخدام نموذج RUSLE وتوصلت أن قابلية الانجراف تراوحت ما بين 10 إلى أكثر من 100 طن/هكتار/سنة. ودرس Farhan et) (al.,2013فقدان التربة باستخدام RUSLE في حوض كفرنجة في محافظة عجلون ووجد أن المعدل السنوي لفقدان التربة يتراوح بين 0 - 1850 طن/هكتار/سنة. كما درس العودات (2019) تقدير الناتج الرسوبي في حوض كفرسوم ضمن وادي اليرموك بالاعتماد على معادلةRUSLE ، وتوصلت الدراسة أنّ حوالي 96.6% من مساحة الحوض تعاني من تآكل خفيف، بناتج رسوبي أقل من 10 طن/هكتار/سنويًا، وقدرت نسبة الأراضي المعرضة للتآكل الخطر 0.27% من الحوض حيث زاد الناتج الرسوبي فيها عن 100 طن لكل هكتار سنويًا. كما درست (Al-Shamaylh, 2017) فقدان التربة ضمن حوض وادي العراق في جنوب محافظة الكرك، وأظهرت الدراسة أنّ متوسط فقدان التربة السنوي في منطقة الدراسة بلغ 85 طن/هكتار. كما درست المحمد والبلبيسي (2019) تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام معادلة RUSLE وتم الكشف عن مناطق الترب المتدهورة وحساب مساحتها وتحديد مناطق الانجراف والتدهور على مستوى وحدات صغيرة من التربة.

وهناك عدة دراسات أجريت في المنطقة العربية لأحواض نهرية تشبه ظروفها المناخية تلك السائدة في الأحواض النهرية في الأردن التي تصرف مياهها نحو حفرة الانهدام. فقد تناول (Abdo & Salloum, 2015) فقد التربة في حوض مرقايا شمال غرب سوريا باستخدامRUSLE ، وأظهرت النتائج أنّ معدل انجراف التربة السنوي تراوح بين 0 – 109.32 طن/هكتار/سنة. وأن 58% من مساحة الحوض تتمتع بفقدان منخفض من التربة و27% فقدان متوسط و11% تعاني من فقدان شديدة و4% شديدة جدا. كما قارن محمد وآخرون (2016) فقدان التربة باستخدام RUSLE وبرنامج WEPP في منطقة الشيخ بدر– سوريا، وأشارت نتائج الدراسة أنّ معدلات الانجراف في منطقة الدراسة وفق نموذج RUSLE تراوحت بين 2.8-146.48 طن/هكتار/سنة، بينما تراوحت حسب برنامج WEPP ما بين 3.5 إلى 288 طن/هكتار/سنة .

ومن الملاحظ التفاوت الكبير في قيم فقدان التربة ضمن الدراسات سابقة الذكر. وتعزى هذه الاختلافات إلى عدة عوامل تشمل :

1. التفاوت في الظروف المناخية والغطاء النباتي وطبوغرافية الأحواض المختلفة. إذ على الرغم من وقوع هذه الأحواض ضمن بيئة البحر المتوسط، إلا أن هناك تفاوتا كبيرا بين هذه الأحواض من حيث الهطول المطري الذي يتراوح بين 200 ملم أو أقل كما هو في وادي الحسا إلى أكثر من 600 ملم كما هو في منطقة عجلون وجزء غير يسير من حوض اليرموك. ونتيجة الاختلافات المطرية، فإن الغطاء الأرضي يتفاوت على نحو واسع ضمن الأحواض المختلفة، إذ أن بعض الأحواض يخلو من النباتات نتيجة ظروف الجفاف القاسية من جهة والرعي الجائر من جهة أخرى، بينما تكسو بعض

الأحواض الأخرى نباتات وشجيرات كثة كما هو الحال في جبال عجلون تؤثر في دورها على فقدان التربة بفعل الماء .

2. لحساب قدرة المطر على التعرية (rainfall erosivity) وكذلك في ما يتعلق بإدارة الأحواض النهرية وحساب العامل الطبوغرافي. وينتج عن هذه الفروق تباين واضح في النتائج التي يحصل يستخدم الباحثون معاملات (equation coefficients) ومعايرات (parameterizations) مختلفة في المعادلات المستخدمة لحساب العناصر الخمسة الموجودة ضمن المعادلة العالمية المعدلة لانجراف التربة. فمثلا هناك عدة معادلات بمعاملات مختلفة (expressions)علها الباحثون.

3. هناك بعض الأخطاء التي تحصل عند تقدير المطر وتحويله من بيانات نقطية إلى حقل مستمر (continuous field). إذ أنه نتيجة قلة بيانات المطر في معظم البيئات في الأردن أو صعوبة الحصول علها أو عدم دقتها في كثير من الأحيان، فإنه عند تحويل بيانات المطر النقطية وربما تكون محطة واحدة ضمن الحوض أو ربما يتم التقدير أيضا على نحو حدسي (intuitive) يحدث خطأ عند تحويل البيانات النقطية إلى بيانات متصلة مما يسهم في زيادة الخطأ في نتائج النموذج.

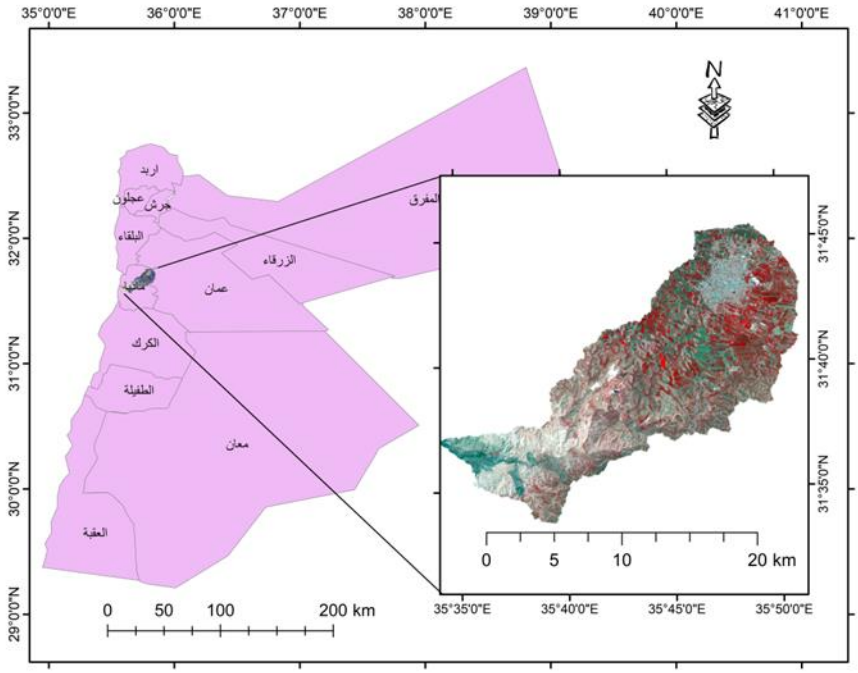
وعطفا على ما تقدم، فقد توخت الدراسة الحالية تجنب عدم الموثوقية (uncertainty) في العناصر التي يتم من خلالها حساب فقدان التربة من خلال استخدام المعادلات التي ثبت مصداقية مخرجاتها من خلال المسح الحقلي، كما أنه تم تقدير المطر ضمن حوض الدراسة بناء على منهجية علمية تأخذ بعين الاعتبار كل من التوزيع النقطي للمطر (spatial domain) والعامل الطبوغرافي كعامل طبيعي مقيد .(Oroud, 2022) (physical constraint)

وتهدف الدراسة الحالية إلى تقييم قابلية فقدان التربة السنوي في حوض وادي زرقاء ماعين اعتمادًا على المعادلة العالمية لفقدان التربة RUSLE. وسيتم دمج البيانات المستخلصة من الرصد الحقلي وبيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية GIS لتقدير فقدان التربة بفعل الماء. كما يسهم البحث الحالي في تقدير حجم الناتج الرسوبي المتدفق من الحوض النهري التي ينتهي بها المطاف عادة في السدود المائية المقامة أو المزمع إنشاؤها، وهكذا تسهم مثل هذه الدراسات في بناء تصور مسبق عن حجم الرسوبيات المتوقعة قبل إنشاء السدود المائية وكذلك في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية المائية التي تستوجب إدارتها قبل البدء بتنفيذ السدود المائية. أي أن هذه الدراسات تمثل جزءا مهما يجب تنفيذها قبل إنشاء السدود على الأودية.

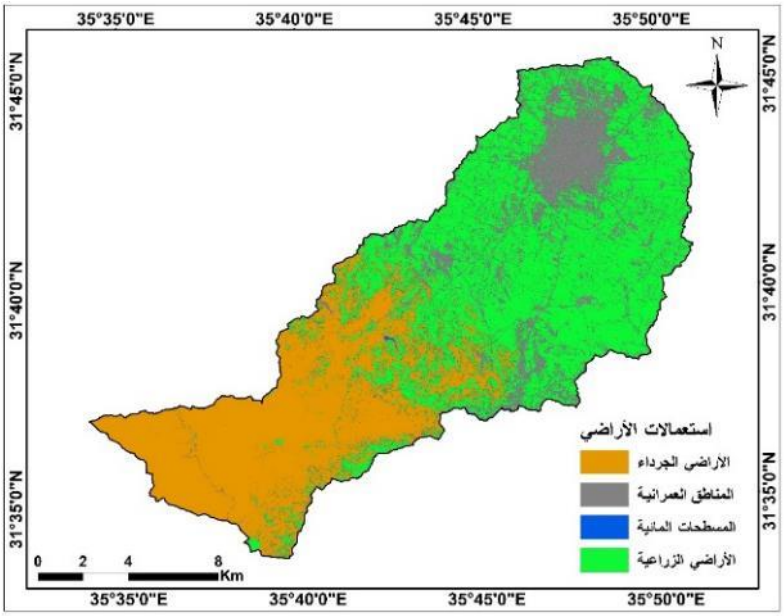
منطقة الدراسة

يقعُ حوض وادي زرقاء ماعين على الطرف الشمالي الشرقي للبحر الميت ويحده من الجهة الجنوبية وادي الوالة ومن الجهة الشمالية وادي المنشل، ويقع الحوض فلكيًا بين خطي طول (35.566 -35.851) شرقًا وبين دائرتي عرض (31.561 – 31.7575) شمالًا. ويوضح شكل 1 موقع منطقة الدراسة. وتبلغ مساحة الحوض حوالي 235.3 كم2، كما أنّ 91% من مساحة الحوض تقع ضمن أراضي محافظة مادبا و9% من المساحة تقع ضمن أراضي العاصمة عمان. ويتراوحُ ارتفاع الحوض بين 886م فوق مستوى سطح البحر في منطقة تلة خربة العال و365م تحت مستوى سطح البحر قرب مصبه.

يقع الحوض في بيئة شبه جافة إلى شديدة الجفاف ويتراوح المعدل السنوي للهطول بين 80-320 ملم سنويًا. ويتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين 16-25 درجة سيلسيوس. ويمتد الحوض ضمن قرينة جفاف بوديكو (Budyko Dryness Index: (DI= RN/(P. LE:حيث أن RN صافي الأشعة السنوية، P كمية المطر السنوي، LE الحرارة الكامنة للتبخر) بين 3.8 في المناطق المرتفعة إلى ما يزيد عن 30 قرب البحر الميت (Oroud, 2015). علما أن المناطق الواقعة ضمن قرينة أقل من 5-6 تمثل بيئات مناخية شبه جافة وتنجح فيها الزراعة المطرية، (البعلية)، أما عندما تكون القرينة بين 6-12 فيمكن أن يمارس فيها الرعي المقيد، بينما تكون البيئات الي تزيد فيها قرينة الجفاف عن 12 قاحلة إلى قاحلة جدا (hyperarid) وانتاجيتها النباتية منخفضة جدا مما يجعلها بيئة هشة وذات حساسية عالية للممارسات البشرية الخاطئة. ويظهر شكل 2 أصناف استعمالات الأراضي ضمن حوض الدراسة: المناطق العمرانية والأراضي الجرداء والأراضي الزراعة والمسطحات المائية. وبلغت مساحة الأصناف سابقة الذكر 28.1 كم2، 83.1 كم2، 124.1 كم2 وأقل من1 كم2على التوالي.



الشكل (1): موقع حوض وادي زرقاء ماعين – الأردن. يظهر حوض الدراسة بمرئية لاندسات 8 مدمجة باللون "الكاذب": الحزم 5،4،3 (false color sharpened image) ذات قدرة تمييزية 15 متر أخذت في 2020/4/11.



الشكل (2): استعمالات الأراضي في حوض وادي زرقاء ماعين

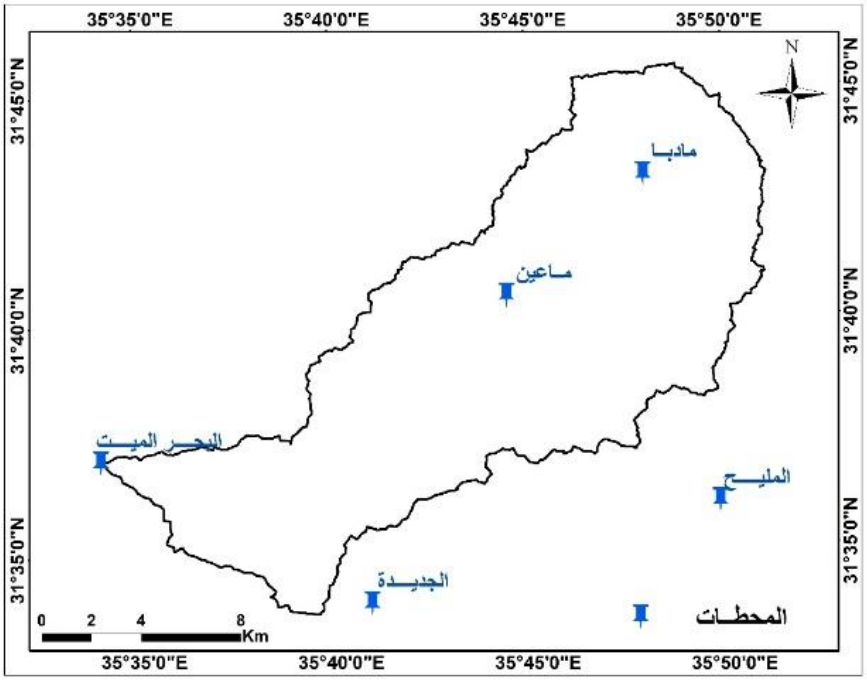
منهجية الدراسة

تقسم منهجية الدراسة إلى جزئين، الأول يتعلق بمصادر البيانات ونوعيتها والثاني يناقش آلية عمل نموذج RUSLE.

مصادر البيانات

بيانات الأمطار

تم الحصول على بيانات الهطول المطري السنوي من محطات الرصد التابعة لوزارة المياه والري، وتم الاعتماد على أربع محطات، اثنتان منهما ضمن منطقة الدراسة، ماعين ومادبا ومحطتان على أطراف الحوض، الجديدة ومليح، وتم أخذ كمية المطر على الشاطئ الشمالي الشرقي للبحر الميت 80 ملم. ويبين الشكل (3) توزيع المحطات المطرية (أنظر أيضا الجدول 1).



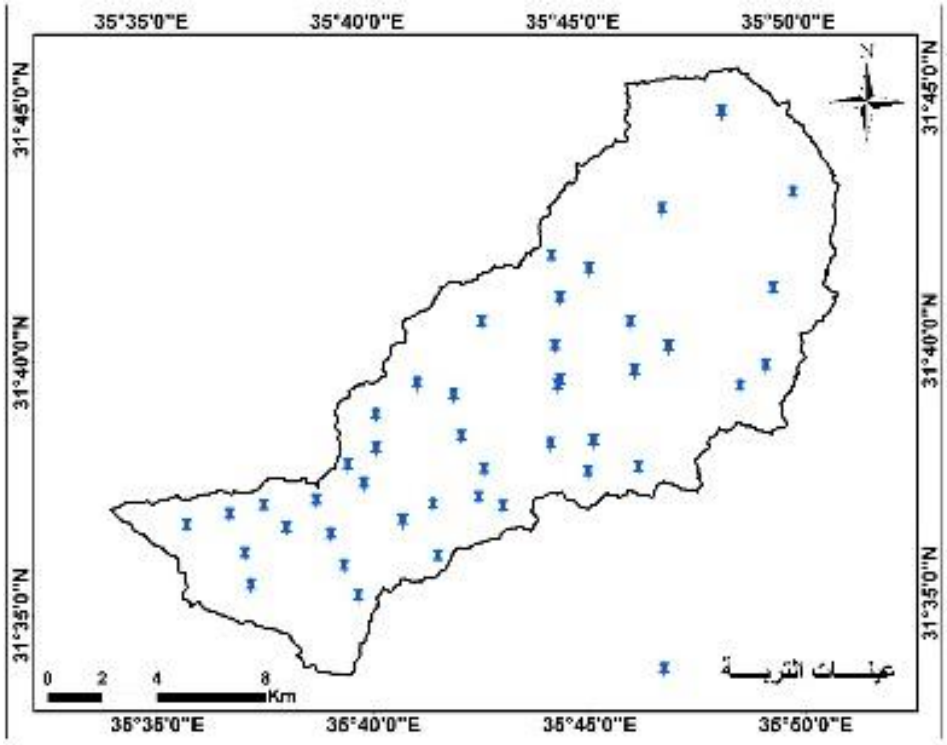
الشكل (3): موقع المحطات المستخدمة في تقدير المطر في الحوض.

الجدول (1): متوسط هطول الأمطار السنوي (ملم) لمحطات.

المحطة	من سنة	إلى سنة	معدل هطول الامطار السنوي (ملم)
مادبا	1998	2018	320
ماعين	1998	2018	230
الجديدة	1998	2018	80
مليح	1998	2018	130
البحر الميت	1974	2018	80

التربة

تم الحصول على 43 عينة تربة ضمن حدود منطقة الدراسة تم جمعها من وزارة الزراعة والمركز الوطني للبحوث الزراعية سنة 2020. ويوضح شكل 4 مواقع جمع عينات التربة. وتم من خلال هذه العينات تحديد تركيب التربة ونسيجها. وتم الاستعانة ببيانات المشروع الوطني لمسح التربة واستعمالات الأراضي (وزارة الزراعة، 1994) لمعرفة أصناف الترب المنتشرة في منطقة الدراسة وتبيان نظام الحرارة والرطوبة التي تقع ضمنها الترب المختلفة.



الشكل (4): مو اقع جمع عينات التربة في حوض وادي زرقاء ماعين. المصدر: وزارة الزراعة والمركز الوطني للبحوث الزراعية.

بيانات الاستشعارعن بعد

تم تحميل مرئية فضائية ملتقطة سنة 2019 بواسطة القمر الصناعي ***Sentinel 2*** من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الامريكية (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov). وتبلغ القدرة التمييزية المكانية 10م. وقد استخدمت المرئية لتصنيف استخدام الأرض ولحساب الغطاءات الأرضية المختلفة وحساب الاختلاف النباتي المعير (Normalized: NDVI Difference Vegetation Index). أما نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) فقد تم تحميله من القمر الصناعي ALOS PALSAR عبر الرابط https://asf.alaska.edu. بقدرة تمييزية مكانية 12.5 متر.

المعادلة العالمية لتقدير فقدان التربة RUSLE.

تتكون المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة من خمسة عناصر: المطر السنوي وقابلية التربة للانجراف ومعامل الطبوغرافيا الذي يشمل طول المنحدر وزاوية الانحدار والغطاء الأرضي وإدارة الحوض مثل وجود المصاطب والحراثة الكنتورية ووسائل حفظ التربة الأخرى. ويتم الحصول على التوزيع المكاني لفقدان التربة من حاصل ضرب جميع العناصر سابقة الذكر (Samanta et al., 2016; Shamshad et al., 2008)،

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \qquad (1)$$

حيث أن:

A= تمثل مقدار التربة المفقودة (طن/(هكتار.سنة)

R= عامل التعرية المطرية (Rainfall-Runoff Erosivity Factor)($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.yr^{-1}$)،

K= عامل قابلية التربة للانجراف (Soil Erodibility Factor) ($Ton.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$)،

LS= العامل الطبوغرافي (topographic factor)، (بدون وحدات)

C= عامل الغطاء الأرضي (Cover Management Factor) (بدون وحدات)

P= عامل إجراءات الصيانة (Conservation Practice Factor) (بدون وحدات)

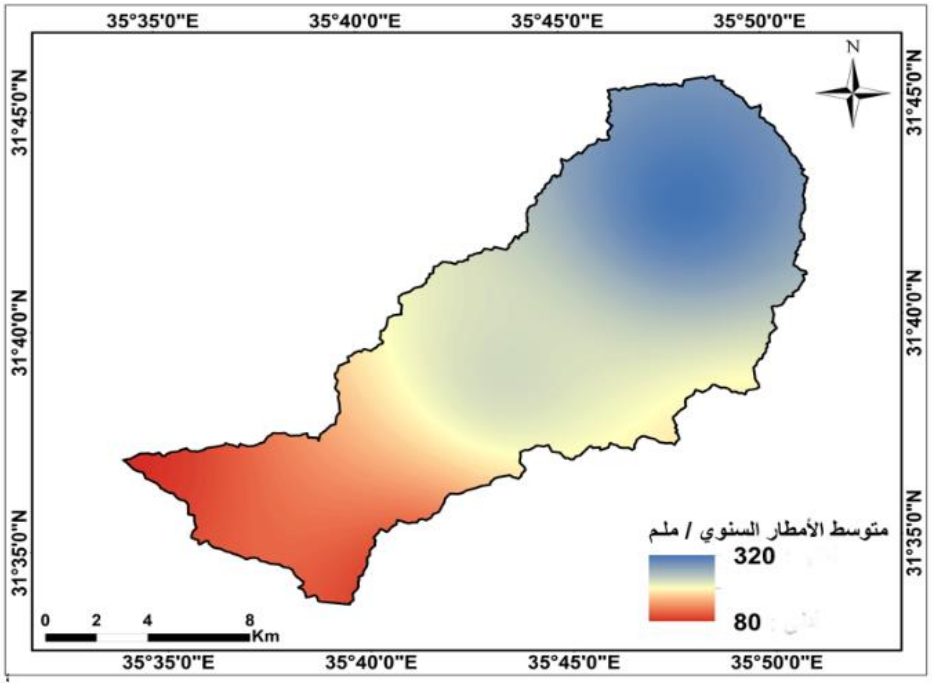
عامل التعرية المطرية Rainfall Erosivity Factor (R)

يعد عامل التعرية المطرية (R) العامل المناخي الوحيد ضمن عوامل نموذج RUSLE، تم إنشاء طبقة شبكية (Raster layer)، وتم تقدير العامل المطري ضمن الحوض بناءً على خمس محطات مطرية آخذين بعين الاعتبار عند تقدير المطر التضاريس. وتم الحصول على حقل متصل للمطر من

خلال أداة (inverse distance weighting) IDW. وتم اشتقاق عامل التعرية المطرية R بالاعتماد على مؤشر روز Rose Index الذي يتناسب مع البيئات الجافة وشبة الجافة التي يقع ضمنها حوض وادي زرقاء ماعين (Ghosal & Bhattacharya,2020)،

$$R = 0.5\,P \qquad (2)$$

حيث أن R هو مؤشر التعرية المطرية و P كمية المطر السنوية. ويبين الشكل 5 التوزيع المكاني لعامل R في منطقة الدراسة، فقد تراوحت قيمة عامل التعرية المطرية R في حوض وادي زرقاء ماعين بين 40-1160-MJ.mm.ha-1.h-1.yr.



الشكل (5): عامل التعرية المطرية R.

عامل الطبوغرافيا Topographic Factor (LS)

يتم الحصول على عامل الطبوغرافيا (LS) عند دمج طول المنحدر (L) والانحدار (S) سواء كان في الدرجات أو النسبة المئوية. ويمثل عامل LS تأثير التضاريس على فقدان التربة الذي يرتفع عند زيادة زاوية الانحدار وطول المنحدر(Sahu et al.,2017). وتشير العديد من الدراسات أن زاوية ميل المنحدر أكثر أهمية في التأثير على فقدان التربة من طول المنحدر (e.g., McCool et al., 1987). وهناك العديد من التعبيرات الكمية التي وضعت لحساب قيمة LS، ولكن الفروق الناتجة في قيمة LS قليلة نسبيا. ويمكن كتابة LS على النحو التالي (Burch and Moore,1985)،

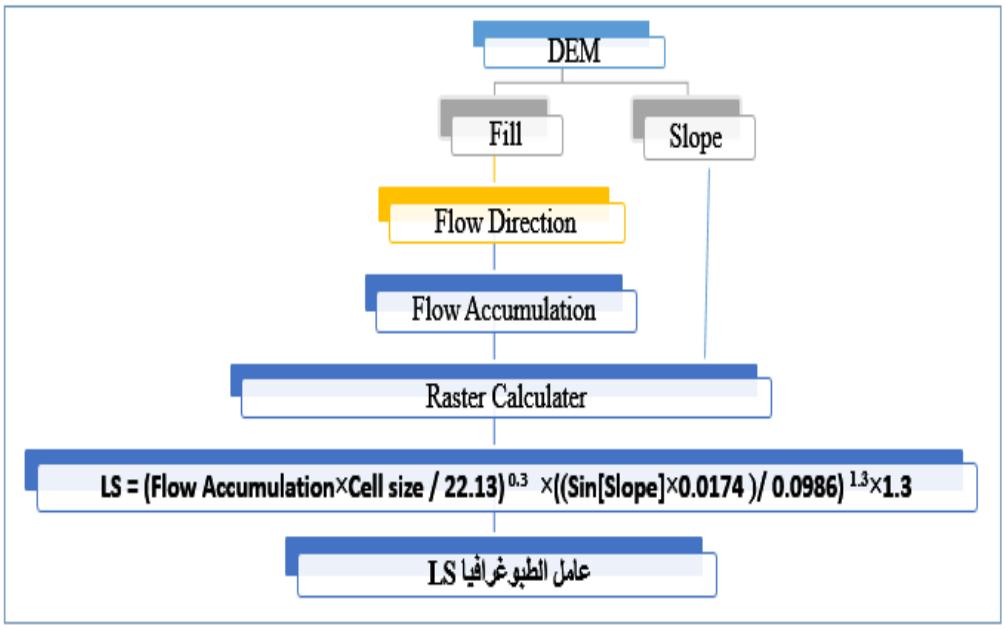
$$LS = ((FACC\,\frac{CZ}{22.13})^{0.3} \times \sin(S \times 0.0174)/0.0986)^{1.3\times 1.3} \qquad (3)$$

حيث أن FACC هو (Flow accumulation)

CZ هو حجم الخلية (القدرة التمييزية للمرئية).

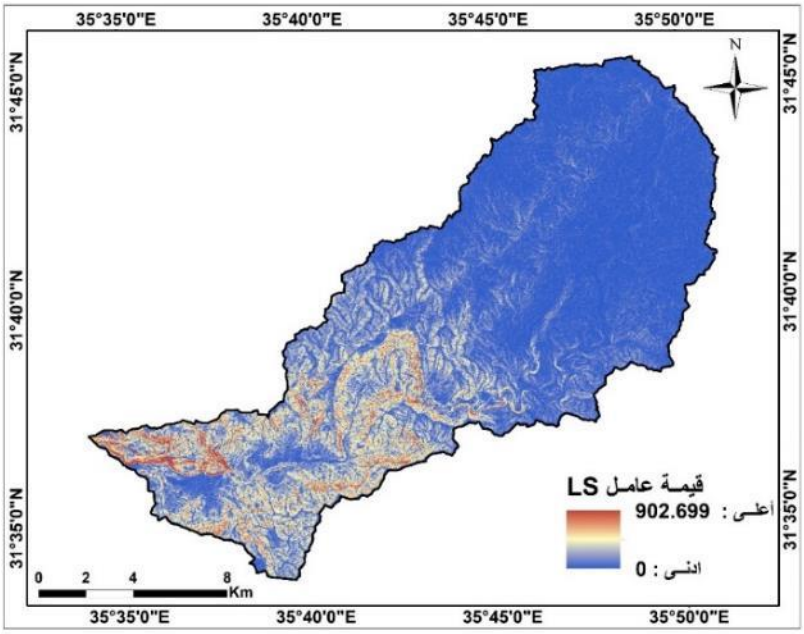
S الانحدار بالدرجة.

ويوضح الشكل 6 خطوات اشتقاق عامل LS من خلال بيانات DEM باستخدام برنامج ArcMap 10.7



الشكل (6): مخطط توضيحي لحساب عامل الطبوغرافيا (LS).

ويظهر الشكل 7 عامل الطبوغرافيا. وتزداد القيم في المناطق شديدة الانحدار وعندما يكون طول المنحدر كبيرا.



الشكل (7): التوزيع المكاني لعامل الطبوغرافيا LS ضمن حوض الدراسة.

عامل قابلية التربة للانجراف Soil Erodibility Factor (K)

تتكون التربة من كميات متفاوتة من الطين والغرين والرمل. وهناك ترب ذات قابلية للانجراف أكثر من غيرها اعتمادًا على نسيج التربة (Kalambukattu & Kumar, 2017). ويعد عامل K تعبيرا كميا لقابلية التربة على الفقدان بواسطة حبيبات المطر المتساقطة والمياه الجارية. وتم تقدير هذا العامل اعتمادا على عينات تم جمعها من قبل وزارة الزراعة ومركز البحوث الزراعية. ويوضح الجدول 2 معامل K لأنواع متعددة من التربة الموجودة في منطقة الدراسة. كما تم استخدام مثلث قوام التربة (Nomograph) لإيجاد نفاذية وبنائية التربة (Wischmeier & Smith, 1978). ويعتمد عامل قابلية التربة للتعرية K Factor على الخصائص الفيزيائية للتربة، التي تتضمن نفاذية التربة Soil Permeability ونسيج التربة Soil Texture. وبالاعتماد

على النسبة المئوية للطين Clay والسلت Silt والمادة العضوية. وتشير القيم الواردة في الجدول 3 قابلية التربة على الانجراف. وتم استخرج قيمة K لكل عينة من خلال المعادلة التالية (Wischmeier & Smith, 1965)،

$$K = 22.76M^{1.14} \times 10^{-8} \times (12 - A) + 0.0043 + (B - 2) \times 0.003(C - 3) \qquad (4)$$

K= عامل قابلية التربة للانجراف.

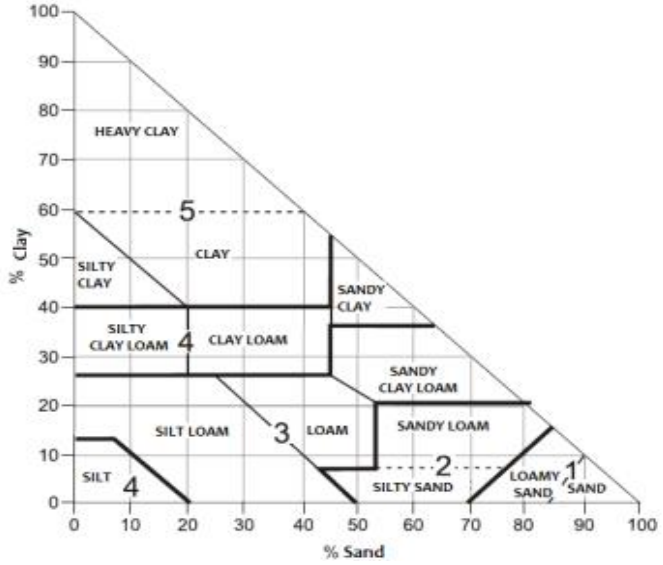
M= معامل حجم الحبيبات (particle size distribution) وتساوي (نسبة السلت - نسبة الرمل) × (100- نسبة الطين)

([%silt-%sand] × [100-%clay])

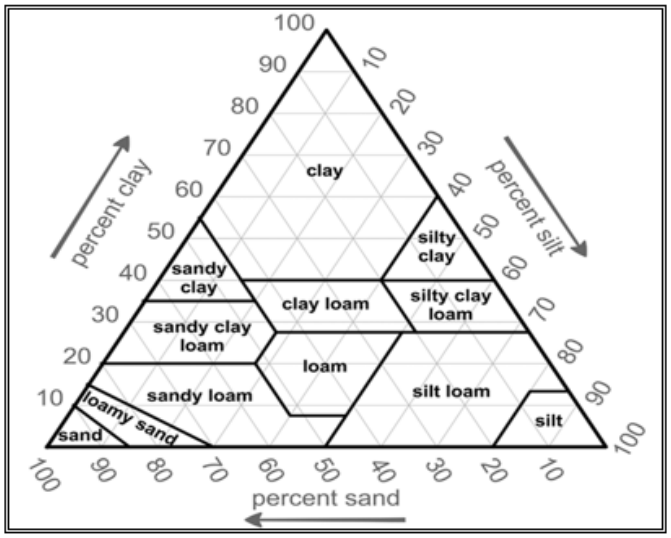
A= نسبة المادة العضوية،

B= بنائية التربة ويستخرج من منحنى Nomograph وتتراوح قيمتها بين 1 – 5 (أنظر شكل 8)،

C= نفاذية التربة النسبية وتستخرج من منحنى Nomograph وتتراوح قيمتها بين 1 – 6 (أنظر شكل 9 والجدول 2).



الشكل (8): بنية التربة على أساس التصنيف التركيبي. المصدر: (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)



الشكل (9): مثلث قوام التربة. المصدر: (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

الجدول (1): نفاذية التربة بالاعتماد على نسيج التربة.

نسيج التربة	قيمة النفاذية
Heavy clay, Clay	6
Silty clay loam, Sandy clay	5
Silty clay loam, Sandy loam	4
Loam, Silt loam	3
Loam sand, Sandy loam	2
Sand	1

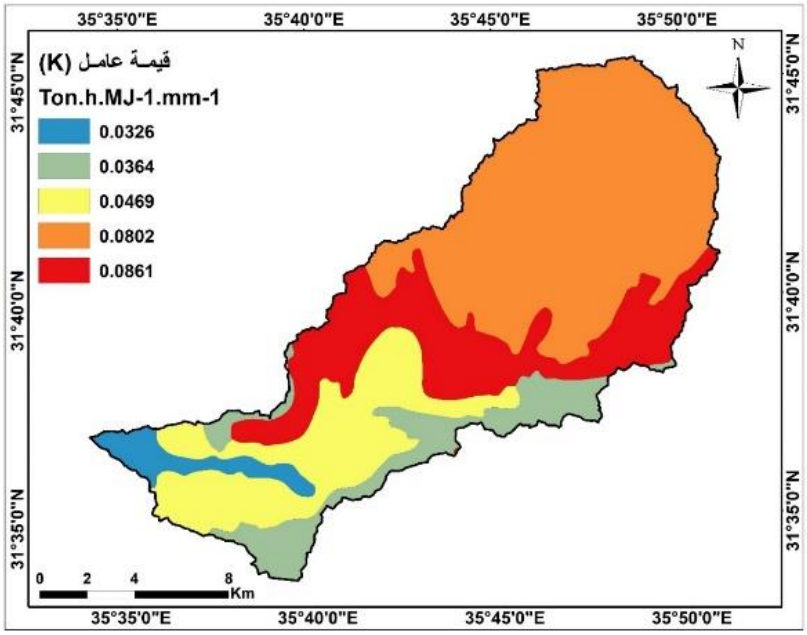
المصدر: (USDA, 1983) (SCS, 1972)

وقد تم الاستعانة بعينات التربة التي تم الحصول عليها لاشتقاق نوع التربة ونسيجها. واستخدمت العينات لتحديد قيمة K ضمن كل نوع من أنواع الترب المنتشرة داخل حدود الحوض، ويبين الجدول 3 قيمة عامل قابلية التربة على الانجراف (K) بالنسبة لأنواع الترب المنشرة في منطقة

الجدول (1): قيمة عامل قابلية التربة على الانجراف (K).

نوع التربة	قيمة K
تربة البحر المتوسط مبتدئة التطور الكلسية الجافة	0.0861
تربة المتوسط مبتدئة التطور قليلة العمق	0.0802
تربة البحر المتوسط مبتدئة التطور العميقة	0.0469
التربة الكامبية الجافة العميقة	0.0364
التربة الكامبية الكلسية الجافة	0.0326

ويبين شكل 10 أنّ قيمة K تراوحت في منطقة الدراسة ما بين 0.0326 – 0.0861 $Ton.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$.



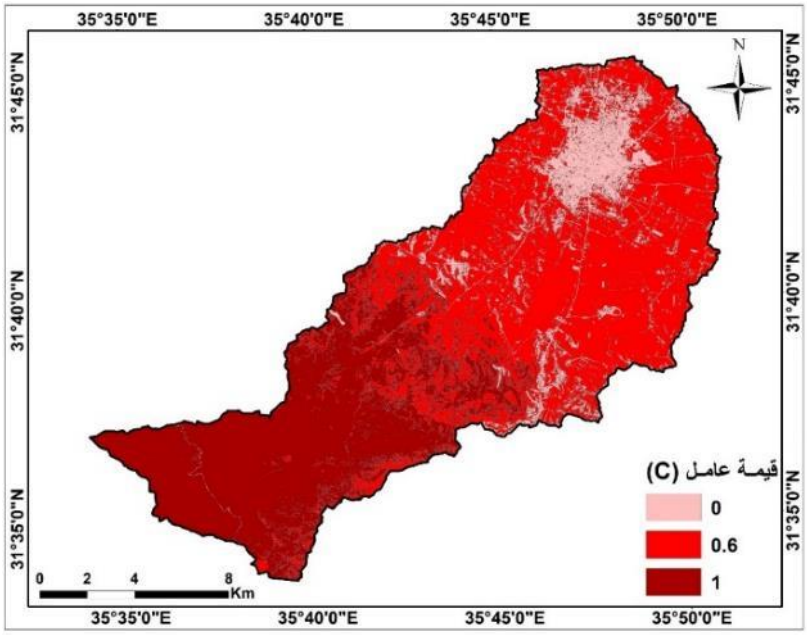
الشكل (10): عامل قابلية التربة للانجراف (K).

عامل الغطاء الأرضي Cover Management Factor (C)

تعتمد قيمة C على نوع الغطاء الأرضي السائد في المنطقة، وتتراوح قيمة عامل C بين 0-1، وتدل قيمة 1 على احتمالية فقدان كبير لخلو الغطاء النباتي بينما تنخفض في المناطق العمرانية والمناطق كثيفة الغطاء النباتي. يحدد نمط استعمال الأراضي في منطقة الدراسة قيمة عامل C، وقد تم تعيين هذا العامل من خلال أنماط استعمال الأراضي، ويوضح الجدول 4 قيم عامل الغطاء الارضي C المناظرة لكل نوع من استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة. وتوجد أعلى القيم للترب الجرداء بينما تتلاشى في المناطق العمرانية والمسطحات المائية. ويبين شكل 11 توزيع قيم عامل الغطاء الأرضي في منطقة الدراسة.

الجدول (1): قيمة عامل C حسب تصنيف استعمال الأراضي.

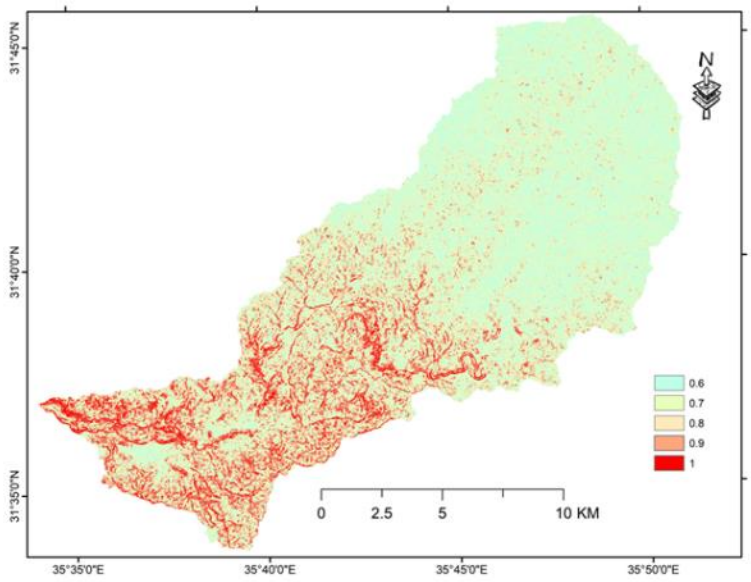
صنف	قيمة C	المصدر
المناطق العمرانية	0	(Farhan et al., 2013)
المسطحات المائية	0	(USDA-SCS, 1972)
الأراضي الزراعة	0.6	et al.,2017) (Sahu
الأراضي الجرداء	1	(Farhan et al., 2013)



الشكل (11): عامل الغطاء الأرضي C.

5.2.5- عامل ممارسة الحفظ Conservation Practice Factor (P)

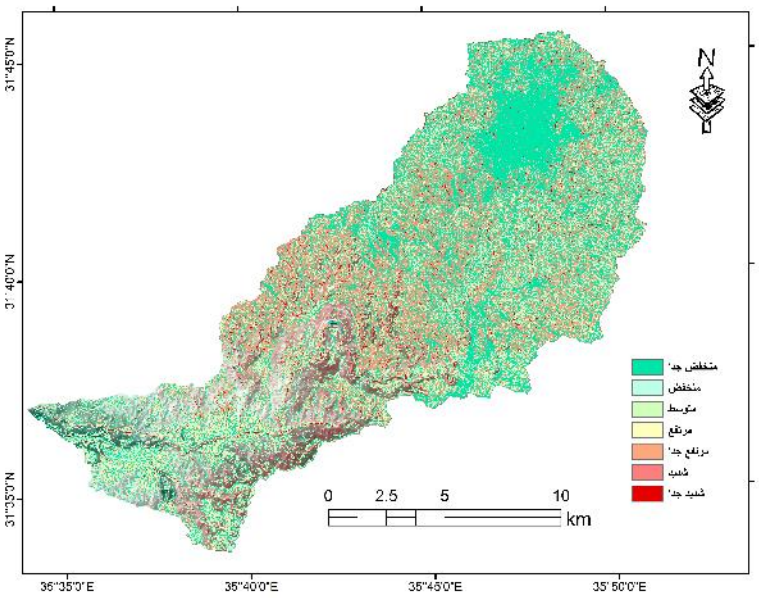
بسبب غياب إجراءات الصيانة والمحافظة على التربة في منطقة الدراسة فقد كان من الصعُب استخراج قيم عامل P بصورة دقيقة. وقد تم اشتقاق هذا العامل من خلال نسبة الانحدار حسب دراسة (Sailesh et al.,2016). وتم إعطاء 0.6 لفئة الانحدار من 0 – 7 درجة و 0.7 للفئة 7 – 14 درجة، و 0.8 للفئة 14 – 21 درجة و 0.9 للفئة 21 – 28 درجة وواحد صحيح للانحدار الذي يزيد عن 28 درجة. ويبين الشكل (12) التوزيع المكاني لعامل إجراءات المحافظة على التربة في منطقة الدراسة.



الشكل (12): عامل إجراءات المحافظة على التربة (P).

نتائج الدراسة

يوضح الشكل 13 درجات فقدان التربة حسب مقياس منظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO) (أنظر الجدول 5 لمزيد من الايضاح). ومن خلال الشكل نلاحظ أن معدل فقدان التربة يزداد مع زيادة الانحدار. وهناك توافق كبير بين الغطاء الأرضي وفقدان التربة، حيث يزداد معدل فقد التربة في الأراضي الجرداء خصوصا تلك التي تتصف بالانحدار المرتفع. ويلاحظ من خلال الشكل انخفاض فقدان التربة في معظم الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية من الحوض لوجود الغطاءات الأرضية مثل المحاصيل الزراعية والمناطق العمرانية التي تترافق مع انحدار قليل.



الشكل (13): التوزيع المكاني لانجراف التربة في حوض وادي زرقاء ماعين كما تم حسابها من نموذج RUSLE حسب تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO).

وقد صنفت منظمة الأغذية والزراعة (FAO: Food and Agriculture Organization) شدة انجراف التربة إلى سبعة مستويات، أقلها منخفض جدا عندما يكون الانجراف أقل من طن/هكتار في السنة وأشدها عندما يتجاوز الانجراف 100 طن/هكتار في السنة (أنظر الجدول 5). واعتمادا على التصنيف سابق الذكر، فقد صنفت قيم الفقدان في منطقة الدراسة والمساحات المناظرة لكل شدة كما هو موضح في العمودين 3 و4 من الجدول 5.

الجدول (1): كميات وأصناف الانجراف في حوض وادي زرقاء ماعين بالاعتماد على نتائج RUSLE..

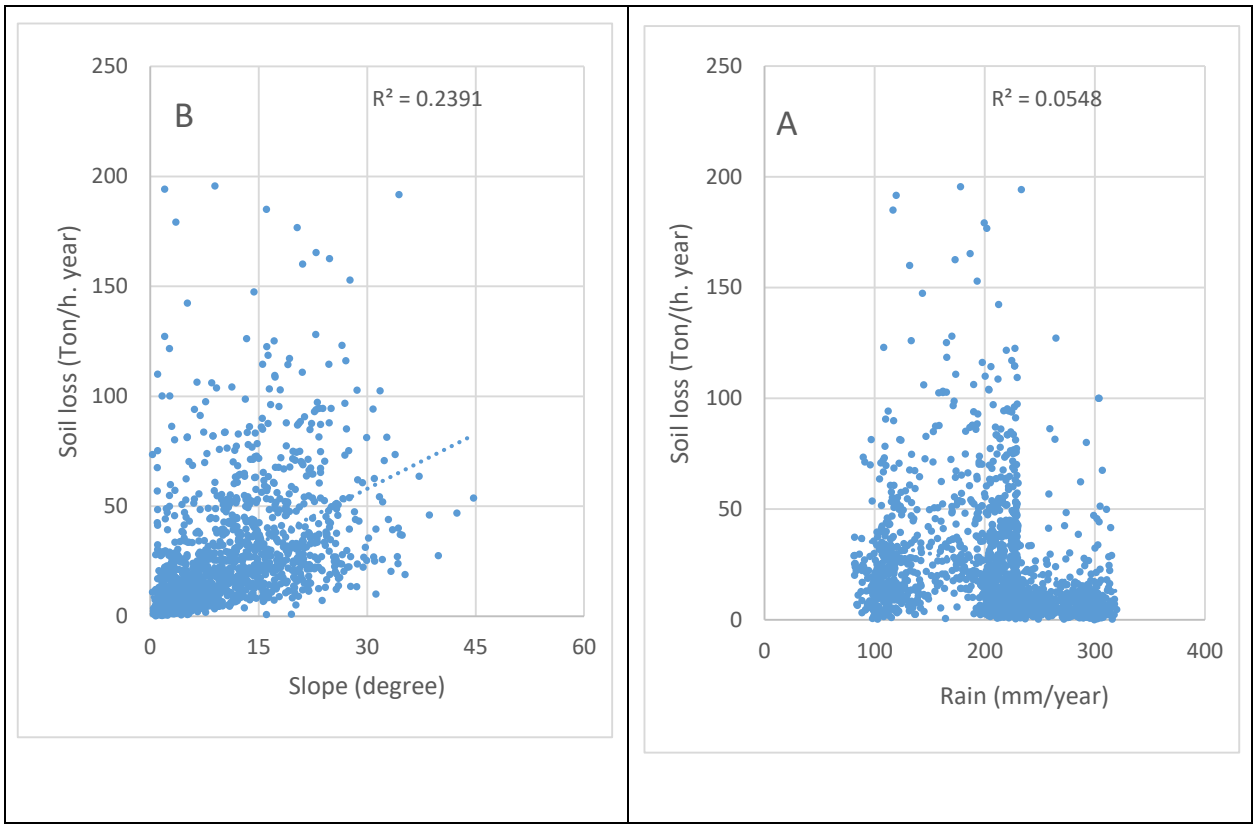
الصنف	كمية انجراف التربة طن/هكتار/سنة*	المساحة/كم2	النسبة (%)
منخفض جدًا	أقل 1	88.09	37.35
منخفض	1 – 5	42.81	18.15
متوسط	5 – 10	26.20	11.10
مرتفع	10 – 20	34.17	14.48
مرتفع جدًا	20 – 50	27.13	11.50
شديد	50 – 100 أكثر 100	12.12	5.13
شديد جدا (خطر)		5.3	2.23

*مصدر العمودين الأول والثاني من بيانات الفاو (FAO, 1988)

وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة وثيقة بين فقدان التربة والعناصر المختلفة التي يتم دمجها عادة للحصول على تمثيل رقمي لفقدان التربة. وعند استثناء المطر والانحدار، فإن بقية العناصر الأخرى يتم تمثيلها على شكل قيم منفصلة (discrete values)، وهكذا لا يمكن إيجاد علاقة إحصائية مباشرة بين هذه القيم وكمية فقدان التربة. لذا سيتم إيجاد علاقة أولية مشروطة (tentative) بين فقدان التربة من جهة وكل من المطر والانحدار. ولإيجاد العلاقة تم إنشاء 5000 نقطة عشوائية تم من خلالها استخلاص فقدان التربة وكمية الهطول المطري والانحدار على هذه القيم. ويوضح شكل 14 العلاقة الخطية بين فقدان التربة وكل من المطر والانحدار بالدرجة. وقد تم استثناء القيم الكبيرة جدا لفقد التربة كونها قيم متطرفة ولا تمثل إلا عددا قليلا جدا من الخلايا.

ومن الملاحظ أن العلاقة بين فقدان التربة والمطر السنوي لا يمكن تحديده بسهولة لأن الفقد يتأثر أيضا بعوامل متعددة تشمل الانحدار والغطاء النباتي والمادة العضوية وخصائص التربة الفيزيائية واتجاه السفوح والممارسات البشرية مثل الحراثة والرعي ومستوى صيانة. التربة. علما أن فقد التربة ينخفض على نحو كبير في المناطق المنبسطة أو قليلة الانحدار وذات الغطاء النباتي الكبير، كما ينخفض أيضا في المناطق العمرانية لعدم وجود تربة هناك. ويرتفع الفقد كثيرا في المناطق المنحدرة، حتى لو كانت كمية المطر السنوي الهاطل معتدلة. وعليه، فالعلاقة بين فقد التربة والمطر لا يمكن تمثيله إحصائيا بصورة دقيقة لتوزع المطر على نطاقات انحدار مختلفة مما يعطي قيم فقد مختلفة لنفس كمية الهطول. أما العلاقة بين فقدان التربة والانحدار فهي قوية ويبلغ معامل الارتباط بينهما حوالي 49%. وعلى أية حال وعلى الرغم من أهمية العناصر الأخرى وتأثيرها المهم، إلا أن المحرك الرئيس للعمليات الجيومورفولوجية المائية مثل فقدان التربة والتعرية والانهيارات والزحف الأرضي ترتبط على نحو مباشر بالانحدار لأنه المحرك الرئيس لجميع الحركات الأرضية الجيومرفولوجية لارتباط العناصر سابقة الذكر بالجاذبية الأرضية التي تزداد كلما زاد الانحدار (Goudie, 1981).

وعلى أية حال فإن العلاقة بين كمية فقدان التربة والعناصر الطبيعية المؤثرة فيها تحتاج الى بيانات تفصيلية على المستويين الزمني والمكاني للوصول لنتائج دقيقة، أما عند استخدام معدلات عامة، فإن لعلاقة الإحصائية قد لا تكون واضحة.



الشكل (14): العلاقة بين فقدان التربة (طن/ هكتار في السنة) وكل من كمية المطر السنوي (A) والانحدار بالدرجة (B)

النقاش والخاتمة

يمثل انجراف التربة خطرا يهدد الإنتاج الزراعي، خصوصا في البيئات الجافة وشبه الجافة لطول الفترة الزمنية اللازمة لتكون التربة في هذه البيئات لانخفاض كمية الهطول المطري المسؤول عن التجوية الكيماوية. كما أن انجراف التربة يمثل خطرا يهدد السدود المقامة أو المنوي إنشاؤها. إذ يؤدي انجراف التربة إلى خفض السعة التخزينية للسدود كما يقلل من العمر الافتراضي لهذه السدود. ويسهم انجراف التربة أيضا في التأثير على نوعية المياه وتهديد الحياة المائية، إن وجدت، ضمن السدود المقامة. إذ أن انجراف التربة يرافقه عادة انتقال المبيدات والأسمدة العضوية والكيماوية التي تتوضع في السدود وما يرافق ذلك من التأثير على نوعية المياه وزيادة الاثراء الغذائي (eutrophication) الذي يعمل على خفض الأكسجين عند موت وتحلل الطحالب في مياه السدود.

ومن خلال النتائج الواردة حسب النموذج، توجد أعلى قيم لفقدان التربة في المناطق شديدة الانحدار المحاذية للمجاري المائية. وعلى الرغم من أن المناطق الدنيا من الحوض تخلو من الغطاء النباتي ولوجود انحدار كبير نسبيا، إلا أن فقدان التربة منخفض نسبيا في هذه القفار المجدبة لقلة الأمطار. وقد بلغت مساحة الأراضي ذات الفقد المنخفض جدا حوالي 88.09 كم2 وبنسبه تصل 37.35% من مساحة الحوض. وتنتشر هذه القيم في أراضي الحوض العليا لسيادة الأراضي الزراعية المنبسطة والمناطق العمرانية. أما الفقد المنخفض (1–5 طن/هكتار/سنة) فينتشر في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية بمساحة 42.81 كم2 وبنسبة 18.15 %. أما الفقد المتوسط فينتشر بصورة عشوائية في الحوض بمساحة 26.20 كم2 وشكل نسبة 11.10% من مساحة الحوض. أما الشديد والشديد جدًا فقد بلغت مساحتها 17.42 كم2 وبنسبة 7.35% من مساحة الحوض.

وفي هذا السياق يجب الإشارة إلى عدة نقاط مهمة في ما يتعلق بدراسة فقد التربة التي يغفل عنها كثير من الباحثين وهي كمية الرسوبيات المنتجة وما يقدمه النموذج من وسيلة متقدمة في إدارة الأحواض النهرية والحفاظ على الأراضي الزراعية والمواد الطبيعية الأخرى. إذ أن النموذج الحالي يفيد في تقدير حجم الرسوبيات التي يمكن أن تصل لأي سد مقام ضمن الحوض. فمن خلال حساب المساحات المعروضة في الجدول 5-الأعمدة 3 و4 التي تم الحصول عليها بعد تحويل الأصناف المختلفة إلى بيانات خطية، فإن متوسط قابلية التربة للانجراف في الحوض ككل تبلغ بحدود 14.4 طن/ هكتار في السنة. وتتوافق هذه النتائج مع دراسات سابقة حيث وجد (Bensekhria, and Bouhata, 2022) أن معدل فقدان التربة السنوي في وادي العويد في الأوراس/ الجزائر كانت بحدود 16 طن/هكتار.

وتعد كمية الرواسب المنقولة بواسطة المجاري المائية إلى مخرج الحوض مقارنة مع مجموع التعرية من الحوض ككل مؤشرا شائع الاستخدام في

الأحواض النهرية، ويطلق على هذا المؤشر مصطلح مؤشر الرسوبيات الخارجة من الحوض (sediment delivery ratio) (Walling, 1983; Dickenson and Collins, 1998). وتعرف نسبة الرسوبيات الخارجة من الحوض على أنها كمية الرسوبيات الفعلية المتدفقة خارج الحوض مقارنة بكمية الرسوبيات المنتجة داخل الحوض. إذ أن فقدان التربة في جزء من الحوض لا يعني بالضرورة أن ذلك يمثل ناتج رسوبي بل أن هذا الفقد يترسب في كثير من الأحيان داخل بيئة الحوض نفسه قبل أن يصل إلى المجاري المائية. وتتناسب نسبة الرسوبيات الخارجة عكسيا مع مساحة الحوض. وتعد هذه المعلومات قيمة في ما يتعلق بكمية الرسوبيات التي يمكن أن ينتهي بها المطاف داخل السدود المائية، وهكذا التأثير على العمر الافتراضي للسدود المقامة. ويعتمد تآكل التربة في الأحواض النهرية على شكل الحوض وطوبوغرافيته وخصائص التربة والغطاء الأرضي والظروف المناخية وإدارة الحوض؛ وتتراوح النسبة للأحواض متوسطة الحجم، كما هو حال الحوض قيد الدراسة، ما بين 10% أو أقل في الأحواض ذات الغطاء النباتي الكثيف إلى ما يزيد عن 40% للأحواض المنهكة التي تتعرض لرعي جائر وسوء إدارة خصوصا عندما يترافق ذلك مع طبوغرافية وعرة ((Nguyen and Chen, 2018). ووجد الكثير من الباحثين علاقة بين مساحة الحوض ومؤشر الرسوبيات الخارجة من الحوض. ومن خلال نتائج النموذج الحالي، فإنه يمكن تقدير الكمية الكلية للرسوبيات التي "يصدرها" الحوض باتجاه سد مقام إن وجد. وعند حساب الكمية الكلية، وبافتراض أن 40% من كمية التربة المفقودة تنتهي كمواد منقولة نحو الأودية، فإن الكمية التي سيتم نقلها ستكون بحدود 120-130 ألف طن في السنة. وعند الافتراض أن الكثافة النوعية (specific gravity) للرسوبيات بحدود 1.3-1.4، فإن حجم الرسوبيات السنوية تبلغ بحدود 80-100 ألف متر مكعب. وتعطي هذه الكمية فكرة جيدة عن معدل التراكم السنوي للرسوبيات. وعلى أية حال، فإنه يجب حساب حجم الرسوبيات الواقعة في المناطق المغذية لجسم السد وليس الشكل الطبيعي للحوض الذي ينتهي عادة في البحر الميت. كما يجب الإشارة إلى أن حجم الرسوبيات السنوية تتذبذب بصورة كبيرة بين سنة وأخرى نتيجة وقوع الحوض في بيئة شبه جافة تتعرض لتذبذبات واسعة في كمية الهطول المطري السنوي وتوزيعه الزمني وشدته مما يؤثر في حجم الرسوبيات الناتجة. وعلى الرغم من أن القيم الواردة أعلاه تقريبية، إلا أنها تعد مؤشرا جيدا يفيد في حساب العمر الافتراضي للسدود المقامة أو المقترحة في البيئات الأردنية المختلفة، ويمكن هكذا البناء عليها لتقييم كمية الرسوبيات المتدفقة في الأحواض المختلفة، علما أنه لا يوجد قياسات حقلية لكمية الرسوبيات المتوقعة عند البدء بإنشاء السدود والحفائر المائية.

وتعد المعادلة العالمية لفقدان التربة المعدلة وسيلة ملائمة لتحديد مناطق التعرية المائية على المدى الطويل. إذ يمكن استخدام النموذج الحالي كوسيلة لإدارة الأحواض النهرية من أجل المحافظة على التربة والحد من انجرافها وفي المحافظة على الموارد الطبيعية وكوسيلة لحفظ النظام الحيوي. إذ يمكن تحديد المناطق الأكثر عرضة للانجراف، وهكذا توجيه المزارعين أو الهيئات الحكومية المعنية لبناء المصاطب أو المصدات الزراعية التي تسهم في خفض فقدان التربة والانجراف. وتمثل الخريطة المُنتجة (التوزيع المكاني لاحتمالية لفقدان التربة) خطوة أساسية للبدء في اتخاذ إجراءات الصيانة للحفاظ على التربة والمحافظة على الموارد الطبيعية.

المصادر والمراجع

العرود، ابراهيم والسقرات، عمر،(2010)، عواصف الغبار في المناطق الصحراوية في الأردن: منطقة القطرانة- ضبعة: حالة دراسية. المجلة الأردنية للعلوم الاجتماعية، مجلد 2، عدد 3، الصفحة 311-327.

العودات، ميادة، (2019)، تقدير الناتج الرسوبي لحوض كفرسوم من حوض نهر اليرموك باستخدام معادلة RUSLE ونظم المعلومات الجغرافية "GIS". رسالة ماجيستير غير منشورة، جامعة مؤتة – الاردن.

القطيش، مها، (2013)، تقدير انجراف التربة باستخدام نموذج المعادلة العالمية لتقدير انجراف التربة RUSLE حالة دراسية: حوض وادي الحسا/الاردن. جامعة الملك خالد، المملكة العربية السعودية.

المحمد، هيفاء والبلبيسي، حسام، (2019)، تقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، دراسات، العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد 46، العدد1.

محمد، عيسى، وكبيبو، عمران وايلين، محفوظ، (2016)، تقدير الانجراف المائي في منطقة الشيخ بدر – سوريا باستخدام المعادلة العالمية للانجراف RUSLE وبرنامج WEPP، (ط)، سوريا: نور للنشر.

المركز الوطني للبحوث الزراعية، (2020)، عينات تربة. بيانات غير منشورة، عمان، الاردن.

شعوان، جمال، (2015)، توظيف الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة التعرية المائية بالريف الأوسط – حوض امزاز أنموذجا. رسالة دكتوراة منشورة، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس – المغرب.

فرحان، ي، خضر، ا. (2011)، انجراف التربة في حوض التصريف النهري الأعلى لوادي الزومر. رسالة ماجيستير منشورة. جامعة النجاح الوطنية، نابلس - فلسطين.

وزارة الزراعة، (1994)، المشروع الوطني لخارطة التربة واستعمالات الاراضي، المستوى الأول (بيانات غير منشورة)، عمان، الأردن.
وزارة المياة والري الأردنية، (2018)، بيانات مناخية، تقارير غير منشورة، عمان، الاردن.

REFERENCES

Abdo, H., Salloum, J. (2017). Mapping the soil loss in Marqya basin: Syria using RUSLE model in GIS and RS techniques. *Environ Earth Sci*, 76, 114. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6424-0

Alka. Sahu, Triambak. Baghel, Manish. Kumar Sinha. (2017), Erosion Modeling using Rusle and GIS on Dudhawa Catchment. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12, (6), 1147-1158.

Bensekhria, A.; Bouhata, R. (2022). Assessment and Mapping Soil Water Erosion Using RUSLE Approach and GIS Tools: Case of Oued el-Hai Watershed, Aurès West, Northeastern of Algeria. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2022, 11, 84. https://doi.org/10.3390/ijgi 11020084

Dickinson A, Collins R. (1998). Predicting erosion and sediment yield at the catchment scale. In: Penning de Vries FWT, Agus F, and Kerr J (Eds) Soil erosion at multiple scales, principles and methods for assessing causes and impact. CABI Publishing, Wallingford, UK in association with the International Board for Soil Research and Management, 317–342.

El-Swaify S. A., (1997). Factors Affecting Soil Erosion Hazards and Conservation Needs for Tropical Steep Lands, Soil Technology, 11(1). 3-16.

FAO (1984). Ethiopian Highland reclamation study. (EHRS). Final Report, vol 1-2 Roma.

FAO & ITPS, (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farhan, Y., Zregat, D., Farhan, I. (2013). Spatial Estimation of Soil Erosion Risk Using RUSLE Approach, RS, and GIS Techniques: A Case Study of Kufranja Watershed, Northern Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 1247-1261.

Goudie, A. (1981). Geomorphological Techniques, George Allen &Unwin Ltd, London, 395.

Li, X. Y (2000). Soil and Water Conservation in Arid and Semi-arid Areas: The Chinese Experience Annals of Arid Zone, 39(4), 377-393.

Igwe, P.U.; Onuigbo, A.A.; Chinedu, O.C.; Ezeaku, I.I.; Muoneke, M.M (2017). Soil Erosion: A Review of Models and Applications, *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci*., 4(12), 2349-2456, doi: 10.22161/ijaers.4.12.22

George, J., Suresh Kumar, S. (2017). Modelling soil erosion risk in a mountainous watershed of Mid-Himalaya by integrating RUSLE model with GIS .*Eurasian Journal of Soil Science*, 6 (2), 92-105.

Kaushik. Ghosal, Santasmita. Das Bhattacharya, (2020). A Review of RUSLE Model. *Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689–707. https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0.

López D. T., Aide M. T., Scatena F.N. (1998). The effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 34, 298–307.

McCool DK, Brown LC, Foster GR (1987) Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Trans Am Soc Agric Eng*, 30, 1387–1396.

Moore, I., Burch, G. (1986), "Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil". *Science Society of America Journal*, 50, 1294-1298.

Nguyen, K., Chen, W. (2018). Estimating sediment delivery ratio by stream slope and relief ratio, MATEC Web of Conferences 192(HY12): doi: 10.1051/matecconf/201819202040 ICEAST

Ontario Center for Soil Resource Evaluation (1993), (http://www.omafra.gov. on. ca/ english/ landuse/facts/soil_survey.htm).

Oroud, I. M (2015). Water budget assessment within a typical semiarid watershed in the Eastern Mediterranean, Environmental Process 06/2015; 3(2),1-15. DOI: 10.1007/s40710-015-0072-8.

Oroud, I. M. (2018). Global warming and its implications on meteorological and hydrological drought in the southeastern Mediterranean: Environmental Processes, DOI:10.1007/s4071-018-0301-z

Oroud, I. M. (2022). Integration of GIS and remote sensing to derive spatially continuous thermal comfort and degree days across the populated areas in Jordan. *International Journal of Biometeorology*, DOI: 10.1007/s00484-022-02355-6

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D., and Yoder, D., (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook (Washington)(703).

Samanta, S., Koloa, C., Kumar K., Palsamanta, B. (2016). Estimation of potential soil erosion rate using RUSLE and E30 model. Modeling Earth Systems and Environment volume 2, Article number: 149.

Shamshad, C.S. Leow, A. Ramlah, W.M.A. Wan Hussin, S.A. Mohd. Sanusi (2008). Applications of AnnAGNPS model for soil loss estimation and nutrient loading for Malaysian conditions, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10 (2008) 239–252

Soil Conservation Service (SCS) (1972) National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. Department of Agriculture, Washington DC, 762.

Soto, M. J., Domínguez-Ferreras, A., Pérez-Mendoza, D., Sanjuán, J., and Olivares, J. (2009). Mutualism versus pathogenesis: the give-and-take in plant–bacteria interactions. Cell. Microbiol. 11, 381–388. doi: 10.1111/j.1462-5822.2009.01282.x

Wang Q, Liu J and Zhu H (2018). Genetic and Molecular Mechanisms Underlying Symbiotic Specificity in Legume-Rhizobium Interactions. *Front. Plant Sci*. 9, 313. doi: 10.3389/fpls.2018.0031

Wischmeier, W., Smith, D. (1965), Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Issue 282 of Agriculture Handbook. Washington DC, USA. 47.

Wischmeier .W., Smith, D.,)1978), Predicting rainfall erosion losses—A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, 3–4.

Walling, D. E. (1983). The sediment delivery problem, J. Hydrology, 65, 209-237.

Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D. and Anderson, W. P. (1995). AGNPS: A Nonpoint Source Pollution Model. In: Computer Models of Watershed Hydrology, Chapter 26:1011-1020. Water Resources Publications, Colorado, USA.