



النمذجة المكانية للتعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر باستخدام تقنيات الجيوإنفورماتيكس

د. أميرة محمد البنا

مدرس الجيومورفولوجيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب، جامعة السويس

amirabana37@gmail.com

 10.21608/jfpsu.2024.286943.1349

This is an open access article licensed under the terms of
the Creative Commons Attribution International License
(CC BY 4.0). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



النمذجة المكانية للتعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر باستخدام تقنيات الجيوإنفورماتيكس

مستخلص

تعد دراسة الخصائص البيدوجغرافية وخاصة معدلات تعرية التربة بأحواض التصريف من الموضوعات المهمة التي يجب الأخذ بها في ظل اتجاه الدولة لزيادة مساحة الأراضي المستصلحة، كما أن دراسة معدلات التعرية وفق النماذج الرياضية يمكن من خلالها تقدير درجات الخطورة التي قد تتعرض لها تلك الأحواض، والتي تؤثر على استدامة الموارد والمحافظة البيئية عليها. واعتمدت الدراسة منهج التحليل الكمي، وتقنيات الجيوإنفورماتيكس مع تطبيق الأسلوب الكمي بنموذج RUSLE لتقدير فقدان التربة بسبب التعرية المائية بحوض وادي سدر، والتي تتأثر بالعديد من العوامل والعمليات، مثل: الخصائص الجيولوجية، والتضاريسية، والمناخية، والهيدرولوجية. ويمثل عامل قابلية التربة للتعرية المائية من أهم العوامل في تقدير حجم التعرية لما له من تأثير يعكس خصائص التربة ومدى قابليتها لفقدان أجزاء منها من خلال نقل الرواسب والعمليات الهيدروليكية المرتبطة بها، حيث يرتبط بنسيج ونفاذية التربة ومحتواها من المادة العضوية. وبناءً عليه تم تصنيف المناطق المعرضة لتعرية التربة المحتملة سنوياً بحوض وادي سدر، وقد ساعد التحقق الميداني من التأكد من ذلك، ورصد بعض الدلائل والظواهر البيدوجغرافية على عمليات التعرية المائية للتربة، مثل: رواسب القاع، والتشققات الطينية، والمصاطب، وقد توصلت الدراسة إلى وضع خطة شاملة ومتكاملة للتنمية المستدامة بحوض وادي سدر وخاصة التنمية الزراعية وتنمية محاجر الرمال والزلط، واقتراح العديد من الوسائل للحماية من أخطار التعرية المائية عن طريق إنشاء السدود والخزانات والبرابخ.

الكلمات المفتاحية: الخصائص البيدوجغرافية، التربة، التعرية المائية، حوض وادي سدر، جيوإنفورماتيكس.

Spatial Modelling of Soil Erosion by Water in Wadi Sidr Basin Using Geoinformatics Techniques

Abstract

The study of pedogeographic characteristics, particularly soil erosion rates in drainage basins, is one of the significant topics that must be taken into account in light of the state's tendency to increase the area of reclaimed lands. Besides, studying erosion rates according to mathematical models can be used to estimate the degrees of danger to which these basins may be exposed, which affects the sustainability of resources and their environmental preservation. The study adopts the quantitative analysis approach and geoinformatics techniques with the application of the quantitative method using the RUSLE model to estimate soil loss due to water erosion in Wadi Sidr Basin, which is affected by many factors and processes such as: geological, topographic, climatic, and hydrological characteristics. The factor of soil susceptibility to water erosion represents one of the most significant factors in estimating the extent of erosion due to its impact that reflects the characteristics of the soil and the extent of its susceptibility to losing parts through the transfer of sediments and the hydraulic processes associated with them, as it is linked to the texture and permeability of the soil as well as its organic content. Accordingly, the areas exposed to potential soil erosion annually in Wadi Sidr Basin were classified. Field investigation helped confirm this, and monitored some pedogeographic evidence and phenomena of water erosion processes such as: bottom sediments, mud cracks, and terraces. The study concludes with developing a comprehensive and integrated plan for sustainable development in Wadi Sidr Basin, particularly agricultural development and the development of sand and gravel quarries, and proposing several means to protection against the dangers of water erosion by constructing dams, reservoirs and culverts.

Keywords: Pedogeographic characteristics, soil, water erosion, Wadi Sidr Basin, Geoinformatics.

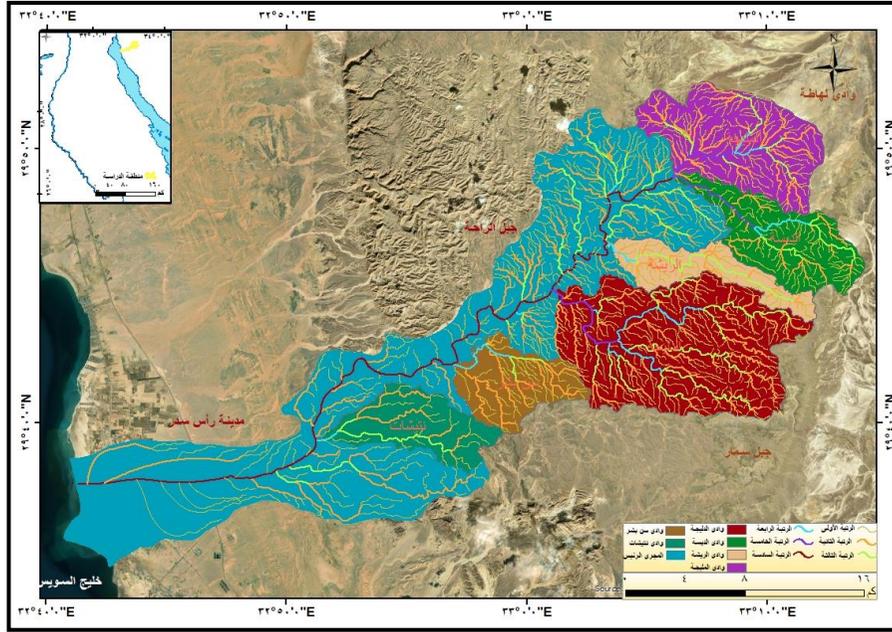
تمهيد:

ينقسم علم التربة Soil Science إلى فرعين رئيسيين، وهما: البيدولوجي Pedology وهو العلم الذي يبحث في التربة كجسم طبيعي بغض النظر عن استعمالها، وذلك للتعرف على عوامل نشأتها وتكوينها وخواصها، والثاني الأيدافولوجي Edaphology وهو العلم الذي يبحث في التربة كبيئة لنمو النبات وتوفير جميع الظروف الملائمة له. ويعد التقييم البيدوجغرافي من الموضوعات المهمة التي يجب الاهتمام بها وبصفة خاصة في الدول التي ترتفع كثافتها السكانية كما هو الحال في مصر، حيث يفيد في معرفة إمكانات التربة في الوقت الحالي، ومعرفة المشكلات التي تعاني منها خاصة التعرية المائية، والتنبؤ بالاستخدام المستقبلي الأمثل لها، ذلك من أجل المساهمة في تحقيق التنمية المستدامة للتربة (بشندي، ٢٠١٨).

وتمثل دراسة معدلات تعرية التربة في أحواض التصريف مؤشراً مهماً يجب أخذه في الاعتبار، خاصة في ظل اتجاه الدولة نحو زيادة مساحات الأراضي المستصلحة. فهي تُعدّ إحدى المحاور المهمة في التوسُّع الزراعي والنمو العمراني. وتتزايد أهميتها لارتباطها الوثيق بالغطاء النباتي. كما يمكن من خلال دراسة معدلات التعرية في أحواض التصريف، وفق النماذج الرياضية، تقدير درجات المخاطر التي قد تتعرَّض لها الأنشطة البشرية بالأحواض (أبراية، ٢٠١٩).

وتوصف التعرية المائية للتربة بأنها أسوأ أشكال تدهور الأراضي لما لها من تداعيات بيئية واجتماعية واقتصادية خطيرة تؤثر على استدامة الموارد والمحافظة البيئية عليها، وتوفر النمذجة نهجاً كمياً لتقدير تعرية التربة وخاصة بأحواض التصريف وعائد الرواسب في ظل مجموعة واسعة من المتغيرات (Ganasri and Ramesh, 2016).

وقد تم دمج تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية مع معادلة فقدان الأراضي العالمية Universal Land Loss Equation من خلال استخدام نموذج The Rusle Model، والذي يعتمد على العديد من المتغيرات من أهمها معدلات التعرية المطرية ومدى قابلية التربة للتعرية ودرجة انحدارها بطول المجرى الرئيس والروافد الفرعية وطولها، بالإضافة إلى الغطاء النباتي بحوض التصريف، وذلك للتقدير الكمي للرواسب



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على خرائط طبوغرافية مقياس ١: ٥٠٠٠٠ سنة ١٩٩٣، باستخدام برنامج Arc gis

شكل (٢) الأحواض الفرعية ورتب المجارى لحوض وادي سدر

الدراسات السابقة:

تتسم الدراسات البيدوجغرافية بندرتها في مصر بصفة عامة ومنطقة الدراسة بصفة خاصة، فلم تكن هدف أصيل في أي دراسة سابقة لحوض وادي سدر، ولكن حظى موضوع ومنطقة الدراسة بالعديد من الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية، وبعض الدراسات البيدوجغرافية لمناطق أخرى من أهمها:

- دراسة (الديب، ١٩٩٨): وموضوعها "حوض وادي سدر بشبه جزيرة سيناء دراسة جيومورفولوجية" وتناولت دراسة الخصائص المورفومترية لحوض التصريف والخصائص الهيدرولوجية بالإضافة إلى تحديد الأماكن المعرضة لخطر الجريان السلي وأهم الظواهر الجيومورفولوجية بالمنطقة.
- دراسة (السعدنى، ٢٠١٤): وموضوعها "الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبي الغربى من طريق رأس سدر . صدر الحيطان دراسة جيومورفولوجية" وتناولت الخصائص الجيولوجية والمناخية، وخطر السيول على الطريق بالإضافة الى خطر

- حركة المواد على المنحدرات المجاورة للطريق.
- دراسة (التلاهين ، ٢٠١٨): موضوعها "تقدير الناتج الرسوبي في حوض وادي الوالة باستخدام نموذج RUSLE ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية" وتناولت تحديد المناطق ذات الناتج الرسوبي العالي، كما هدفت إلى دراسة خصائص الغطاء النباتي وعلاقتها بعمليات الانجراف المائي.
 - دراسة (أبورية، ٢٠١٩): موضوعها "التقدير الكمي لتعرية التربة بحوض وادي سنور دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد" وتناولت شرح وتحليل النماذج المستخدمة والملاحم الطبيعية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي سنور بالإضافة إلى نتائج تطبيق نموذج التعرية المائية والريحية للتربة.
 - دراسة (أحمد، ٢٠٢١): موضوعها "النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة في المنطقة فيما بين رأس حولة ورأس علم الدين بالساحل الشمال الغربي لمصر دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية" وتناولت التقدير الكمي لانجراف التربة ومطابقتها بخرائط استخدام الأرض، وتحديد التوزيع المكاني للمناطق حسب قابليتها للانجراف، وتحديد أنماط هذا الانجراف. وتم إعداد مصفوفة المتغيرات الخاصة بالمعادلة والتي جرى قياسها من المرئيات الفضائية والدراسة الميدانية، وإنتاج خرائط تمثل متغيرات العوامل التي تشكل نموذج راسل RUSLE.
 - دراسة (الشريفات، ٢٠٢٣): وموضوعها "تقدير قابلية التربة للانجراف في حوض وادي راجب باستخدام نموذج المعادلة العالمية RUSLE". واتبعت الدراسة المنهج التحليلي لمعطيات مختلفة ليمثل من خلالها متغيرات المعادلة المختلفة لنموذج RUSLE، منها: نموذج التضرس الرقمي DEM، وبيانات خصائص التربة، والمرئية الفضائية Sentinel-2، والبيانات المطرية، داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

أهداف الدراسة:

- إيضاح التكامل بين دور نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في الدراسات البيوجغرافية، مثل: التقدير الكمي للتعرية المائية وإبراز العلاقة بين خصائص حجم الجريان وتعرية التربة.
- إبراز أهم المتغيرات المكانية المؤثرة في التعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر والقياس الكمي والمورفومتري لها.
- تحديد مناطق التعرية المائية للتربة والدلائل البيوجغرافية، وربطها بالتمتية المستدامة بحوض وادي سدر.

منهج البحث:

اعتمدت الدراسة المنهج التحليل الكمي في دراسة العلاقات بين التعرية المائية للتربة والخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والتضاريسية لحوض وادي سدر لإيضاح التباين المكاني سواء في الخصائص المورفولوجية أو المورفومترية أو الميكانيكية للتربة، وذلك لإبراز أهم الأماكن التي تتعرض فيها التربة للتعرية المائية، وتقدير حجمها، ومدى قابليتها لفقدان أجزاء منها، لمعرفة تأثير ذلك على التمتية المستدامة بحوض وادي سدر.

أساليب الدراسة:

اعتمدت الدراسة تقنيات الجيوإنفورماتيكس مع تطبيق الأسلوب الكمي بنموذج RUSLE وخاصة الاستشعار عن بعد والنمذجة، وقواعد البيانات المكانية، واستخدام نظام المواقع العالمية GPS في تحديد مواقع عينات التربة.

أولاً: النمذجة المكانية لعوامل وعمليات التعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر:

تتعدد العوامل والعمليات التي تؤثر على التعرية المائية للتربة والتي تبدأ من الخصائص الجيولوجية، وذلك لمعرفة التكوينات الصخرية وتقييم درجة مقاومتها لعمليات التجوية وعوامل التعرية، والخصائص التضاريسية وتأثيرها على سرعة المياه ودرجة تسربها ومن ثم تأثيرها على عمليات التعرية، والخصائص المناخية وخاصة الأمطار ودرجة الحرارة، والتي يمكن تناولها على النحو الآتي.

جدول (١) التكوينات والرواسب الجيولوجية بحوض وادي سدر

الزمن	العصر	التكوينات والرواسب	المساحة	
			كم ^٢	%
الرابع	الهولوسين	السبخات	٠,٥	٠,١
		الاوذية	١٠٦,٦	١٦,١
	البليستوسين	رواسب الفانجلوميرات	٠,٩	٠,١
		الحمادة النهرية	٢٩,٣	٤,٥
الثالث	الميوسين الأعلى	الزيت	١,٣	٠,٢
		كريم	٢٢,٩	٣,٥
	الميوسين الأوسط	حمام فرعون	٩,٢	١,٤
		روديس	٢٢,٩	٣,٥
	الميوسين الأسفل	سومار	٥٤,١	٨,٣
		المنيا	٨,٠	١,٢
		طيبة	٨,٣	١,٣
		وسيط	١,٦	٠,٣
	الايوسين الأسفل (اللبيى الأعلى)	تكوين اسنا	١٦,٣	٢,٥
		تكوين سدر	١٣٦,٤	٢١,٠
الميوسين (اللبيى الأسفل) الباليوسين	الطباشيري	تكوين ضوى	٩٥,٥	١٤,٧
		تكوين مطلة	١٧,٦	٢,٧
		تكوين وطا	٩٠,٥	١٤,٠
		تكوين جلاله	٢٩,٨	٤,٦
الإجمالي			٦٤٦,٩	١٠٠

المصدر : إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (٣)

جدول (٢) أطوال وأعداد الصدوع بحوض وادي سدر

الاتجاه	شمال / جنوب	شرق / غرب	شمال شرق / جنوب غرب	شمال غرب / جنوب شرق	المجموع
العدد	٢٠	١١	٤	١٣	٤٨
%	٤١,٧	٢٢,٩	٨,٣	٢٧,١	١٠٠
الطول	٧١,١	٣٦,١	١٢,٧	٣٠,٦	١٥٠,٥
%	٤٧,٢	٢٣,٩	٨,٤	٢٠,٣	١٠٠

المصدر : إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (٣)



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

لوحة (١) بعض التكوينات والرواسب بحوض وادي سدر

- تمثل تكوينات الزمن الثالث أكبر مساحة بحوض وادي سدر، حيث تمثل ٤٣,٢٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وهي تتكون من ١٠ تكوينات تنتمي إلى ٣ عصور، يحتل تكوين سدر (عصر الباليوسين) المساحة الأكبر والتي بلغت ٢١,٠٪ من إجمالي مساحة المنطقة، ويتألف من حجر جيرى طباشيرى، ويتميز بلونه الأبيض الناصع (علي، ٢٠٠١)، ويمثل هذا التكوين المكون الأساسى لمعظم الحافات

شديدة التقطع التي يطلق عليها أراضي شديدة الوعورة (الديب، ١٩٩٨)، وينتشر هذا التكوين بحوض وادي ليتشات والضقة الشرقية للمجرى الرئيس لحوض وادي سدر (لوحة ١). يليه تكوين سومار (عصر الميوسين) بنسبة ٨,٣٪، والذي يتألف من حجر جيرى أصفر ومارل ذو قاعدة كونجلوميراتية، وينتشر جنوب وجنوب شرق جبل سن البشر (لوحة ١). ويشكل هذا التكوين جزءاً ضيقاً من قطاع الوادي يتخلله فقط رواسب قاع الأودية، ويمثل وادي سدر. أما باقي التكوينات فلم تتجاوز ٣,٥٪ لكل تكوين من إجمالي مساحة المنطقة، والتي تنتمي الى عصر الأيوسين متمثلة فى تكوين إسنا الذى يتألف من حجر جيرى مارلى أصفر إلى رمادى (Elsyeb, 2001). وتكوين وسيط من حجر جيرى أبيض صلب به أحافير، وتكوين طيبة الذى يتكون من حجر جيرى رمادى إلى أبيض، بالإضافة إلى تكوين المنيا وهو عبارة عن حجر جيرى أبيض طباشيرى فى الجزء العلوى، وأبيض مائل للرمادى والإصفرار فى الجزء السفلى. أما تكوينات الميوسين فتشمل: تكوين سومار، والذي يتألف من حجر جيرى أصفر ومارل ذو قاعدة كونجلوميراتية (لوحة ١)، وبالنسبة لتكوين روديس فيتكون من مارل وحجر رملى بجزءه الأعلى. يجدر بالذكر أن هذه المناطق التي ينتشر بها التكوين تتميز بوجود ظاهرات التقويض السفلي والسقوط الصخري بسبب تتابع طبقات الطفل الرخوة مع طبقات الحجر الرملي الصلب. أما تكوين حمام فرعون الذى يتكون من سحنة جيرية تتألف من حجر جيرى طينى، مع وجود طبقات بينية من الطفل والمارل، بالإضافة إلى سحنة طفلية من طفل ومارل وحجر رملى، وبالنسبة لتكوين كريم فيتألف من طبقات من الصخور الفتاتية بها تداخلات من الأنهدريت وأحياناً من الحجر الجبرى، وطبقات بينية مارلية، وأخيراً يشمل تكوين الزيت صخور الانهدريت التي تحتوي علي الجبس وتتداخل مع المارل والحجر الرملي.

- تغطي رواسب الزمن الرابع ٢٠,٨٪ من إجمالي مساحة حوض وادي سدر (لوحة ١)، ومن ثم فهي تأتي في الترتيب الثالث بعد تكوينات الزمن الثاني والثالث، وتسجل رواسب الأودية (عصر الهولوسين) أعلى نسبة، حيث بلغت

١٦,١٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وهي عبارة عن خليط من الرواسب المفككة من الحصى والجلاميد بالإضافة إلى الرمال الناعمة، وتختلف طبيعة هذه الرواسب حسب طبيعة وخصائص الصخور التي اشتقت منها، فتكثر الجلاميد والحصى في قيعان الأودية التي تعبر مناطق الصخور النارية، بينما تظهر في شكل خليط متنوع من الصخور (نارية - متحولة - رسوبية) في تلك الأودية التي تمتد منابعها في مجموعة تلك الصخور المتباينة وتتوزع تلك الرواسب في الأودية الصدعية الضيقة والأودية المتشعبة فتفرش قيعان الأودية من منابعها وحتى مصباتها، كما أن عمليات التجوية والإنهيارات الأرضية ساهمت في ارتفاع نسبة المفتتات ذات الأحجام الكبيرة وتوجد هذه الرواسب في الأودية الفرعية فتغطي وادي المليحة، ووادي عين أبورجيم، ووادي عين الديسة. أما رواسب الحمادة النهرية فهي تأتي في الترتيب الثاني بعد رواسب الأودية والتي تنتمي إلى عصر البليستوسين، وهي عبارة عن كميات هائلة من المفتتات الصخرية الناتجة عن فعل عوامل التعرية الشديدة للحافات الصخرية، والتي تكون سهلاً واسع الإمتداد مغطى بالحصى والحصباء والجلاميد الصخرية بمصب الوادي، في حين باقي الرواسب لا تتجاوز نسبتها ٠,١٪ لكل منها، وهي أقل النسب بمنطقة الدراسة، والمتمثلة في رواسب الفانجلوميرات والتي تتألف من الرمال المختلطة بالحصى والصلصال، ورواسب السبخات وتتألف من أملاح الكربونات والكبريتات .

- تعرضت منطقة الدراسة للعديد من الحركات التكتونية، شكلت محاور عملت من خلالها عمليات وعوامل التعرية على تقطيع وتخفيض سطح الحوض. حيث أثرت الصدوع وكثافتها في توجيه حركة المياه السطحية، وتشكل نطاقات ضعف في السطح، مما سهل عمل التعرية المائيّة (أبورية، ٢٠١٩). وقد بلغ عدد الصدوع بمنطقة الدراسة ٤٨ صدعاً (شكل ٣) ذات الاتجاه الشمالي - الجنوبي بنسبة ٤١,٧٪ من إجمالي عدد الصدوع بمنطقة الدراسة، بمجموع أطوال ٤١,٧ كم. وسجلت أعلى نسبة سواء للعدد أو الطول كان للاتجاه شمال - جنوب حيث بلغت ٤١,٧٪ و ٤٧,٢٪ على التوالي، أما أقل نسبة سواء للعدد أو الطول فسجلت

للاتجاه شمال شرق - جنوب غرب، إذ بلغت ٧,٣% و ٨,٤% على الترتيب، أما باقي الاتجاهات فتراوحت بين ٢٠,٣ و ٢٧,١% سواء للعدد أو الطول (جدول ٢)، وقد أثرت تلك الصدوع في توجيه مسارات واتجاهات الروافد ومن ثم توجيه حركة المياه السطحية، فيتضح ذلك مع التقاء روافد وادي المليحة بروافد وادي سدر الفرعى من الرتبة الرابعة لتكوين المجرى الرئيس من وادي سدر بالرتبة الخامسة. كما تبين من الدراسة الميدانية الدور الذى لعبته الفواصل فى زيادة تأثير التعرية المائية. فعندما تتسرب المياه عبر الفواصل، فإنها تعزز عملية النحت عن طريق الضغط الناجم عن تدفق مياه السيول خلال الفواصل فتتم عملية التمزق والتكسير، وتنتشر الفواصل على جوانب منحدرات قيعان المجارى الرئيسية بأطوال تتراوح بين ٥٠ سم و ٢٠ متراً، كما يتراوح اتساعها بين ٢٠ سم و ١٠٠ سنتيمتر تقريباً (لوحة ٢).



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

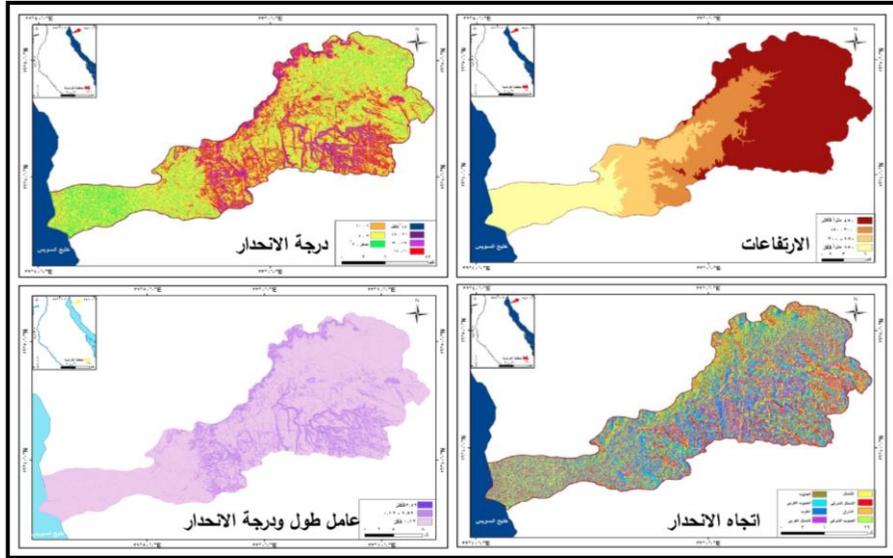
لوحة (٢) انتشار الفواصل بصخور حوض وادي سدر

يتضح مما سبق تنوع التكوينات الجيولوجية المكونة لحوض وادي سدر، الأمر الذي انعكس أثره على اختلاف نوع الصخر ونظامه، وبالتالي على درجة استجابته لعوامل التشكيل المختلفة، وقد تبين من دراسة التكوينات الجيولوجية إن كل تكوين يتكون من عدة

صخور مختلفة الصلابة، وهناك تبادل بين الصخور سهلة النحت مثل الطفل والمارل مع صخور أشد مقاومة لعوامل النحت والتي ظهرت تقريباً في جميع العصور، أدى وجود هذا النمط من التوزيع إلى تأثيرها الشديد بعوامل التعرية خاصة الجريان السيلي ومن ثم نشاط عمليات النحت في التكوينات الرخوة، ولا شك أن وجود المارل كصخر هش نسبياً بين صخور الحجر الجيري أدى إلى شيوع ظاهرة التقويض السفلى في معظم المنحدرات، كما أدى ذلك إلى انهيار أجزاء من تلك الحواف وسقوطها على هيئة كتل ضخمة. بالإضافة إلى ذلك دور الصدوع في توجيه حركة المياه السطحية عن طريق تكوين مناطق الضعف الطبوغرافي. والتي تعتبر عامل جذب للمياه السطحية. كما تتميز صخور الزمن الثالث - وهي معظمها صخور جيرية - بكثرة الشقوق والفواصل. وتتميز الفواصل بأنها تسود على جانبيها عمليات التجوية وعوامل التعرية المختلفة، كما تؤدي الفواصل على جانبي مجاري الأودية إلى حدوث عمليات الانزلاق الصخري، وتؤدي هذه العملية إلى امتلاء جوانب بطون الأودية بالرواسب والمفتتات الصخرية بالإضافة إلى الكتل الصخرية الكبيرة الحجم.

(٢) الخصائص التضاريسية:

تؤثر الخصائص التضاريسية على عملية تكوين التربة، وذلك لارتباطها بنشاط التعرية المائية، حيث يساعد العامل الطبوغرافي على ثبات التربة أو تعريتها (فايد، ١٩٦٦)، فكلما زادت حدة المنحدر زاد الجريان السطحي والطاقة الحركية، مما يقلل من استقرار التربة. كما أن التربة أسفل المنحدرات أكثر عرضة للتآكل من الموجودة أعلاه بسبب زخم الجريان السطحي وتركيزه أعلى في قاعدة المنحدر. ويوضح شكل (٤) خصائص السطح بحوض وادي سدر.



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي STRM بدقة ١٢,٥ متراً

شكل (٤) بعض الخصائص التضاريسية بحوض وادي سدر

ويتبين من تحليل خصائص السطح شكل (٤) ما يلي:

- تبلغ مساحة الأراضي التي يزيد ارتفاعها على ٤٥٠ متراً ٥٠,٧% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة وتضم مناطق خط تقسيم المياه لوادي الديابة بمنطقتي جبل الديسة، ومنايع وادي المليحة، ومنطقة قلعة الجندي، في دلالة واضحة على زيادة سرعة الجريان، وبالتالي زيادة معدلات التعرية، أما الارتفاعات المنخفضة فتتمثل بمنطقة المروحة الفيضية والتي يقل ارتفاعها عن ١٥٠ متراً بنسبة ١٦,١% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، فيؤدي إختلاف الارتفاعات إلى تدفق المياه ونحت التربة ونقل الرواسب من المناطق ذات الارتفاعات المرتفعة إلى المنخفضة.
- تمثل عملية تعرية التربة ناتج شدة الانحدار، حيث تزيد الانحدارات الشديدة من قدرة المياه على نقل الرواسب وتآكل التربة، فتغطي الأراضي التي يزيد درجة انحدارها على ٤٥° مساحة ٠,١%، وتتمثل في معظم جوانب المجرى الرئيس كما تتراوح مساحة الأراضي التي يتراوح درجة انحدارها بين ١١° و ١٨° نحو ١٦% من إجمالي مساحة حوض التصريف، وبالتالي يزيد هذا من مقدار التعرية المائبة للتربة، من خلال تسريع تدفق مياه السيل وتعرض الصخور للتأثير المباشر للأمطار والتيارات

المائية الناشئة أثناء حدوث العاصفة المطيرة، مما يؤدي إلى تآكل السطح. في المقابل، تسمح الانحدارات الهينة بتراكم الرواسب في المناطق المنخفضة نتيجة لقلة قوة تدفق المياه وتأثيرها على التربة.

- يلعب اتجاه الانحدار دوراً حاسماً في حدوث التعرية المائية فتتجه المياه المحملة بالرواسب وفقاً لاتجاه ميل السطح. ويتفق اتجاه الروافد الفرعية مع هذا الميل حيث تصب بالمجرى الرئيس، وتتخذ روافد وادي الريشة والمليجة وسن البشر اتجاه الغربى - الشرقى، والغربى الجنوبي - الشرقى الشمالى بإجمالي مساحة تبلغ ٢٧,٦٪ من إجمالي مساحة حوض وادي سدر، بالإضافة إلى ذلك يتخذ وادي المليجة اتجاه الشمالى - الجنوبى.

- يشير العامل الطبوغرافى (طول المجرى وانحداره) L.S إلى مدى تأثير التضاريس والطبوغرافية على معدلات تآكل التربة فهو عامل مشترك يجمع بين طول المجرى الرئيس للوادي وروافده، ودرجة انحداره بحيث يتم احتساب طول المنحدر إلى درجة انحداره بطول ٢٢,١٣ متراً لكل ٩٪ من الانحدار (Shinde, 2011)، فيعمل متغير الطول (L Factor) على حساب مدى تأثير التعرية على طول المجرى، بينما يعمل متغير الانحدار (S Factor) على حساب مدى تأثير التعرية على انحدار المجرى (Almouctar, 2021) إذ أن ارتفاع القيم يعمل على زيادة الجريان السيلى وحمل كميات هائلة من الرواسب مما يزيد من فعل التعرية ويصبح سطح حوض التصريف مكشوفاً لعوامل التعرية من أمطار ورياح وقد تم الاعتماد على المعادلة التالية^(١):

$$LS = \text{Power} \{ (FA) \times \text{cell size of DEM} / 22.13 \}^{0.4} \times \text{power} (\sin ((\text{slope}) \times 0.01745 / 0.09))^{1.3} \text{ (Moore \& Burch, 1985)}$$

يتضح من تحليل الشكل (٤) أن قيم عامل الطول ودرجة الانحدار تختلف بشكل

كبير بين المناطق بحوض وادي سدر، حيث بلغت قيم عامل الطول ودرجة الانحدار ٢,٥ بوادي الأثامي ووادي المره ووادي الدليحية بالإضافة إلى مناطق أخرى مثل قلعة الجندي

^(١) LS: عامل طول المجرى وانحداره، FA: تراكم التدفق وتم الحصول عليها من خلال استخدام Arc Hydrology

وجبل محرقوية وجبل الراحة، مما يشير إلى وجود ميل حاد في التضاريس وطبوغرافية الأرض في تلك المناطق. أما في منطقة جبل سن بشر، ومنابع وادي نتيشات ووادي أبوخشير، فإن قيم عامل الطول ودرجة الانحدار تتراوح بين ٠,١٢ و ٢,٥.

يتبين مما سبق أن خصائص السطح تؤثر بشكل كبير على عملية تكوين التربة وارتباطها بنشاط التعرية المائية. فعلى سبيل المثال، أدى ارتفاع السطح ودرجة الانحدار في منطقة تقسيم المياه في حوض وادي سدر إلى زيادة سرعة الجريان وبالتالي زيادة معدلات التعرية، مما أسهم في نحت ونقل الرواسب من المناطق ذات المناسيب المرتفعة إلى المناطق الأدنى. وعلى صعيد آخر، يظهر أن اتجاه الانحدار يلعب دوراً مهماً في حدوث التعرية المائية، حيث تتجه المياه المحملة بالرواسب وفقاً لاتجاه انحدار السطح نحو المجرى الرئيس والمروحة الفيضية للوادي، مما يزيد من فرص حدوث التعرية المائية، كما يشير عامل الطبوغرافية إلى تنوع في التضاريس، ووجود منحدرات أقل حدة وتضاريس أكثر تسطحاً في المجرى الرئيس والمروحة الفيضية مقارنة بالمناطق الأخرى بالحوض، مما يجعلها مناطق لتجمع الرواسب.

٣) الخصائص المناخية:

تعد دراسة الخصائص المناخية أحد العوامل الرئيسية في فهم كيفية تكوين التربة وكيفية تغييرها عبر الزمن، حيث يساهم هطول الأمطار بغزارة في زيادة قدرة الماء على فصل جزيئات التربة ونقلها، كما أن تعرض الأراضي الجرداء للعواصف والرياح بشكل مستمر سيزيد ذلك من قابليتها للتعرية المائية، كما تسبب ارتفاع درجات الحرارة في سرعة التحلل الكيميائي للتربة (الساعاتي، ١٩٩١). وقد تم الاعتماد في دراسة الخصائص المناخية على محطات السويس، ورأس سدر، سانت كاترين، (جدول ٣) و (شكل ٥).

أ) درجة الحرارة:

تتباين معدلات درجة الحرارة بحوض وادي سدر، حيث سجلت منطقة المناخ أدنى متوسط سنوي للحرارة ٢٢,٦ ° فأقل، وتغطي درجة حرارة التي تتراوح بين ٢٢,٦ ° و ٢٣ ° معظم منطقة الدراسة، حيث تمثل ٦٠,٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، تليها درجة الحرارة التي تتراوح بين ٢٣ ° و ٢٣,٤ ° والتي تغطي مساحة تبلغ ١٣٤ كم^٢

ليغطي الجزء الأوسط من المجرى الرئيس لوادي سدر، ثم ترتفع متوسط درجات الحرارة في منطقة المصب لتبلغ ٢٣,٨ ° فأكثر بمنطقة المروحة الفيضية للوادي. ليتزايد معدلات التبخر بزيادة درجات الحرارة؛ مما يؤدي إلى تقليل من محتوى التربة من الرطوبة لتصبح رواسب هشة مفككة أكثر تأثراً بالتعرية، وخاصة مع زيادة المدى الحراري حيث بلغت أقصاها ١١ ° بمحطة رأس سدر (Egyptian Meteorological Authority, 2016).

جدول (٣) الخصائص المناخية بمنطقة الدراسة

المحطة	الخصائص المناخية	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
السويس	متوسط درجة الحرارة (متوية)	١٥,٣١	١٥,٩٦	١٨,٥٢	٢٢,٣٨	٢٥,٨٦	٢٨,٦٤	٣٠,٢٥	٣٠,٢٢	٢٨,٣٣	٢٥,٣٦	٢٠,٦٧	١٦,٧٤	٢٣,١٩
	الرطوبة النسبية (%)	٥٨,٧٧	٥٦,٢٧	٥٢,٤٥	٤٦,٠٠	٤٥,٤١	٤٧,٢٣	٥١,٣٠	٥٣,٦٣	٥٤,٥٣	٥٦,٢٧	٥٧,٥٣	٥٤,٠٠	٥٢,٧٨
	الأمطار (مم)	٣,٠٥	٢,٢٩	٣,٧٩	٠,٤٠	٠,٢٩	٠,٠٦	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٢	٠,٥٦	١,٢٤	٢,٢٣
رأس سدر	متوسط درجة الحرارة (متوية)	١٥,٤٠	١٦,٨	٢٠,٤٠	٢٢,٩٠	٢٦,٨٠	٢٩,٦٠	٣١,٤٠	٣١,٥٠	٢٨,٩٠	٢٦,٧٠	٢٢,٣٠	١٧,٦٠	٢٤,١٩
	الرطوبة النسبية (%)	٥٩,٨٣	٥٦,٧٦	٥٥,٠٣	٥٢,٠٠	٤٨,٨٧	٤٩,٨٠	٥١,٣٧	٥٤,٧٣	٥٧,٦٩	٦٠,٢٠	٥٩,١٠	٥٩,٥٩	٥٥,٤١
	الأمطار (مم)	٢,٨٣	١,٩٨	٣,٢٨	٠,٧٨	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٢٣	١,٢٤	٢,٣١	١٢,٦٥
سانت كاترين	متوسط درجة الحرارة (متوية)	٨,٠٣	٨,٩٨	١١,٨٠	١٧,٥٨	٢١,٦٧	٢٤,٥١	٢٥,٧٧	٢٥,٦٧	٢٣,٥٨	١٩,٥٧	١٦,٩٤	١٤,٧٩	١٧,٥٧
	الرطوبة النسبية (%)	٤٦,٠٠	٤٢,٠٠	٣٥,٠٠	٢٨,٠٠	٢٧,٠٠	٢٩,٠٠	٢٩,٠٠	٣١,٠٠	٣٣,٠٠	٣٦,٠٠	٤٠,٠٠	٤٣,٠٠	٣٤,٩٢
	الأمطار (مم)	٦,١٢	٢,٥٨	٢,٦٣	٢,٢٠	٣,٢٢	٠,٠٠	٠,١٨	٠,١٢	٠,٢١	٣,٧٠	٢,٣٩	٢,٩٩	٢٦,٣٤

Source: Egyptian Meteorological Authority, 2016.

جدول (٤) حساب عامل التعرية لمحطات المناخية بمنطقة الدراسة

المحطة المناخية	المعدل السنوي للأمطار (مم)	عامل تعرية المطر (R)
السويس	١٣,٩٣	١٢,٠
رأس سدر	١٢,٦٥	١٠,٩
سانت كاترين	٢٦,٣٤	٢٢,٧٨

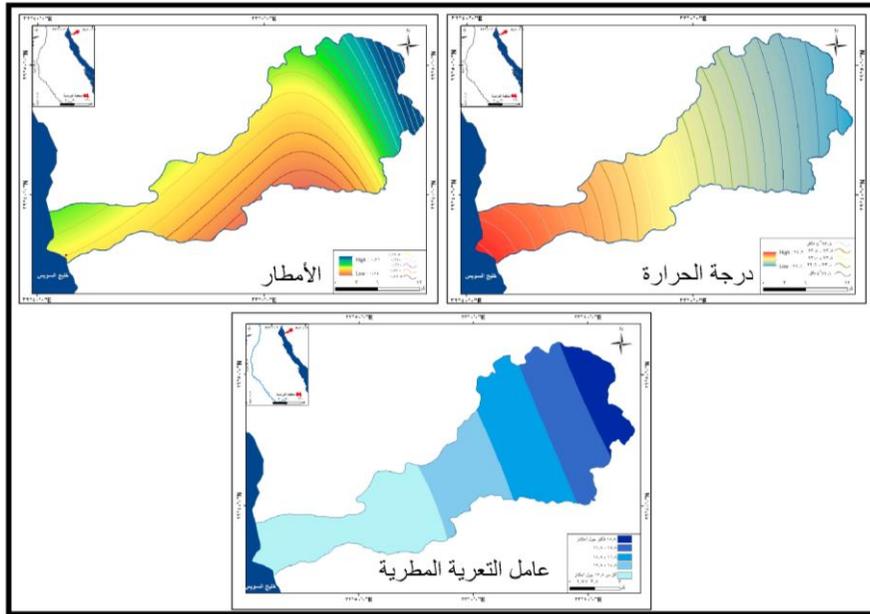
المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على معادلة معامل المطر.

ب) الأمطار وعامل التعرية المطرية بحوض وادي سدر:

تساهم الأمطار في حدوث عملية التعرية المائية وانجراف التربة في المناطق الجافة، حيث تعمل على زيادة تحلل الصخور وزيادة معدلات انجراف الرواسب السطحية المكشوفة المفككة مع حدوث الجريان السيلوي، وتتسم منطقة الدراسة بتذبذب هطول الأمطار فسجلت محطة سانت كاترين بشهر يناير ٦,١٣ مم ومحطة السويس بشهر مارس ٣,٧٩ مم ومحطة رأس سدر بشهر مارس ٣,٢٨ مم أعلى قيم مطرية بشهور السنة بينما

تتعدم الأمطار بشهور فصل الصيف.

كما تتميز الأمطار بمنطقة الدراسة بأنها أمطار فجائية الحدوث فكانت أكبر كمية مطر سقطت في يوم واحد بمحطة سانت كاترين ٥٠,٨٠ مم بتاريخ ١٩٩٧/١/٢٣، كما بلغت بمحطة السويس ٢٢,٠ مم بتاريخ ١٩٩٠ /١/٢٦، كما بلغت أكبر كمية مطر سقطت في يوم واحد بمحطة رأس سدر ٢١,٢٠ مم بتاريخ ١٩٩٤/٠٣/١١ (Source: Egyptian Meteorological Authority, 2016)



المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية، ومعادلة التعرية المطرية بالاعتماد على برنامج Arc Gis 10.8.4

شكل (٥) بعض الخصائص المناخية بالمحطات المناخية بمنطقة الدراسة

ويتضح من تحليل الجدول (٤) والشكل (٥) سقوط أعلى متوسطات مطر بمنطقة المناخ لحوض التصريف بمنطقة قلعة الجندي وجبل الديسة للتناقص تدريجياً باتجاه الجنوب الشرقي بمنطقة جبل سن بشر، كما أستحوذت الفئة التي تتراوح بين ٠,٥٨ و ٠,٦١ مم معظم منطقة الدراسة بمساحة بلغت ٣١٥ كم^٢ فتشمل منطقة جبل الريسة والمجرى الرئيس لوادي سدر بمنطقة بير أبوجراد.

ويمثل تقدير كمية الأمطار الساقطة وكثافتها من أهم العوامل التي تؤثر في

حدوث تعرية التربة، ويمكن حساب عامل تعرية المطر من خلال حاصل ضرب الطاقة الحركية لهطول المطر في الحد الأقصى للعاصفة مطيرة مدتها ٣٠ دقيقة (Wischmeier and Smith, 1956) ، وتعد طريقة المسافة العسكية الموزنة (IDW) The Inverse Distance Weighted من أهم طرق الاستيفاء دقة في تقدير المكانية لهطول الأمطار بالإعتماد على بيانات المتوسطات السنوية لمحطات المناخ القريبة من حوض التصريف وبالإعتماد على المعادلة التالية^(١). ومع تطبيق المعادلة باستخدام الجبر العلائقي Map Algebra تم اشتقاق شكل (٥).

$$R = (P \times 0.5) \times 1.73 \quad (\text{Febri, 1991})$$

وبتحليل الشكل (٥) تتميز قيم عامل التعرية المطرية R بحوض وادي سدر بالتدرج من منطقة خط التقسيم وصولاً إلى نقطة المصب، ويرجع ذلك إلى ارتفاع كميات الأمطار الساقطة بمحطتي سانت كاترين ونخل والتي بلغت ٢٦,٣٤ و ٣٣,٣ مم على التوالي، تغطي القيم أقل من ١٢,٨ جول/هكتار حوالى ثلث مساحة منطقة الدراسة بنسبة ٢٩,٧٪، وتنتشر مع بداية المرحلة الفيضبة مع التقاء وادي نيشات وادي أبوخشير بالمجرى الرئيس لوداي سدر، تليها القيم التي تتراوح بين ١٥,٨ و ١٨,٨ جول/هكتار، وتغطي ٢٣,٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتتمثل في منطقة قلعة الجندي والتقاء وادي المليحة مع المجرى الرئيس لوداي سدر، بينما تمثل القيم ١٨,٨ جول/هكتار أقل نسبة حيث بلغت ٩,٩٪ من إجمالي مساحة حوض التصريف حيث يقتصر انتشارها بمنطقة جبل الديسة ومنايع وادي المليحة.

يتضح مما سبق أن الأمطار متقطعة وقليلة بمنطقة الدراسة حيث تتعرض للرخات فجائية، مما يجعل السطح أكثر عرضة لعمليات التعرية والانجراف خاصة مع قلة الغطاء النباتي وطبيعة التكوينات الجيولوجية بتلك المنطقة التي تساعد على فاعلية عامل في التعرية المائية بحوض وادي سدر.

(١) R: عامل تعرية المطر P: المعدل السنوي لتساقط الأمطار مم

ج. درجة حرارة ورطوبة التربة:

تُعد درجة حرارة ورطوبة التربة من أهم العوامل البيدوجغرافية التي تؤثر على عملية التعرية المائية. وتتوقف درجة حرارة ورطوبة التربة على شدة الأمطار وفترات سقوطها (الخطيب، ٢٠٠٦). فيؤدي الهطول المطري إلى زيادة تشبع التربة بالماء، مما يسبب زيادة في لزوجة التربة، إلى جانب تراكم المواد الطينية والجيرية. وعندما تكون درجة حرارة التربة مرتفعة، يميل الماء في الأرض إلى التبخر بسرعة أكبر، مما يقلل من تراكم الماء في التربة، وبالتالي يقلل من فرصة حدوث الجريان السيلي وحوادث التعرية المائية. على العكس، عندما تنخفض درجة حرارة التربة، يقل التبخر ويزيد تراكم الماء في التربة، مما يزيد من احتمالية حدوث الجريان السيلي.

وقد تم الاعتماد على تقنية الاستشعار عن بعد في حساب مؤشر درجة حرارة السطح LST ومؤشر رطوبة التربة SMI (شكل ٦) باستخدام مرئيات Landsat8 بتاريخ ٢٠٢٣/٢/٢٧ آخر عاصفة مطيرة بمنطقة الدراسة ومرئية أخرى بتاريخ ٢٠٢٣/١٠/١٥ تمثل فترة الجفاف. وللحصول على درجة حرارة ورطوبة التربة تم الاعتماد على الخطوات التالية (شكل ٦):

. تحويل القيم الرقمية DN الخاصة بكل خلية بمرئية منطقة الدراسة إلى قيم إشعاعات

طيفية Conversion to Top-of Atmosphere (TOA)

$$L(\lambda) = M_L \times \text{Band 10} + A_L - O_i$$

حيث أن: $L(\lambda)$ الانعكاس الطيفي، M_L ، A_L قيم معايرة للنطاق band 10 يتم الحصول عليها من ملف MTL، كما أن O_i قيمة الصحيح بمرئيات Landsat 8 Band10 وهي قيمة ثابتة ٠,٢٩

. تقدير درجة السطوع بتحويل دقة الحرارة من كلفن إلى الدرجة السليزية

$$BT = K2 / \ln (k1/L(\lambda)+1) - 273.15$$

حيث أن: BT درجة حرارة السطوع، $L(\lambda)$ الانعكاس الطيفي، $k1$ و $K2$ قيم ثابتة

للتحويل الحرارى Band10 يتم الحصول عليها من ملف MTL

. تقدير مؤشر الغطاء النباتى NDVI

$$(NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED))$$

. حساب قيم انبعاثات الطيفية (LSE) Land Surface Emissivity من خلال المعادلة التالية:

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$$

حيث أن PV : قيم الانبعاثات الطيفية ، NDVI مؤشر الغطاء النباتي ، $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ قيم الحد الأقصى والأدنى بمعادلة مؤشر الغطاء النباتي . تقدير قيم انبعاثات سطح الأرض من خلال تطبيق المعادلة:

$$E = 0.004 \times PV + 0.986$$

حيث أن E : قيم انبعاثات سطح الأرض ، PV قيم الانبعاثات الطيفية

. حساب درجة حرارة سطح الأرض (LST) Land Surface Temperature

$$LST = BT / (1 + (\lambda \times BT / C2) \times \ln(E))$$

حيث أن BT : درجة حرارة السطوح، λ الطول الموجي Band10 ويساوي ١٠,٨ ،

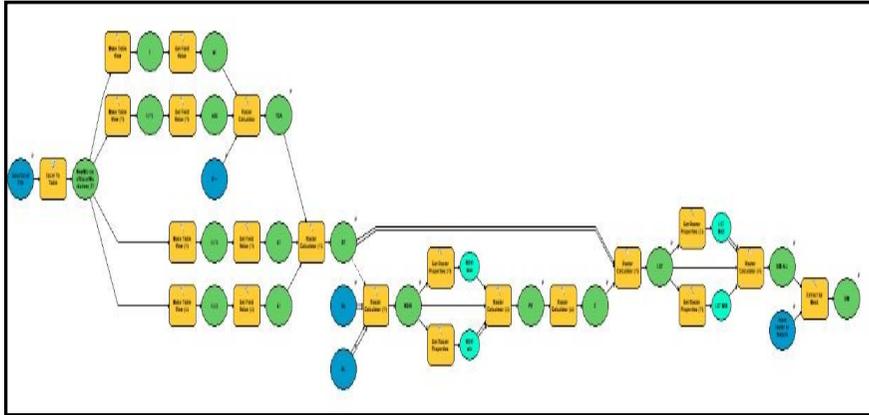
E انبعاثات سطح الأرض ، C2 يعادل ١٤٣٨٨ Mk

لتقدير مؤشر رطوبة التربة (SMI) Soil Moisture Index تم الاعتماد على المعادلة التالية :

$$SMI = (LST_{max} - LST) / (LST_{max} - LST_{min})$$

حيث أن LST_{max} : الحد الأعلى لدرجة حرارة التربة، LST_{min} الحد الأدنى لدرجة

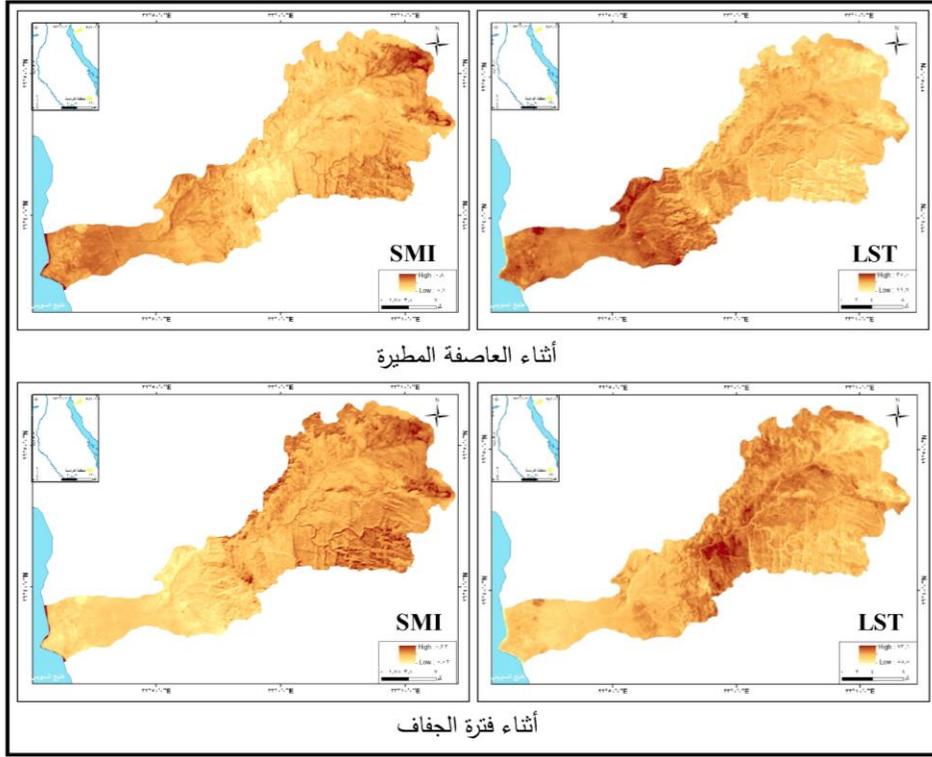
حرارة التربة LST درجة حرارة سطح الأرض.



المصدر : إعداد الباحثة بالاعتماد على برنامج Arc gis 10.8

شكل (٦) النمذجة المكانية لمؤشر درجة حرارة السطح LST ومؤشر رطوبة التربة

SMI بحوض وادي سدر



المصدر : من إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (٦)

شكل (٧) مؤشر درجة حرارة السطح LST ومؤشر رطوبة التربة SMI بحوض وادي سدر

يتضح من تحليل شكل (٧) في فترة العاصفة أن أقل درجة حرارة للتربة بلغت $19,7^{\circ}$ بمنايع وادي المليجة، ووادي الديابة بمنطقة جبل الديسة، ومنايع وادي الدليجة. وتنتشر بتكوين وطا وتكوين الجلالة لترتفع رطوبة التربة بها لتبلغ $0,80$ ، وتمثل نقطة بداية الجريان السيلي وعملية التعرية المائية. ترتفع درجة حرارة التربة في منطقة جبل الريشة وعين أبو رجم إلى $29,1^{\circ}$ ، لتتخفض رطوبة التربة بها لتصل $0,17$ ، ثم ترتفع بعد ذلك بمنطقة جبل سن بشر ووادي نتيشات لتصل لرطوبة التربة بها $0,48$. في المقابل، ترتفع درجة حرارة التربة أيضاً بمنطقة المروحة الفيضية لتبلغ $35,0^{\circ}$. أما في فترة الجفاف فتتراوح درجة حرارة التربة بين $58,5^{\circ}$ و $73,6^{\circ}$ ، وكانت أقل درجة حرارة للتربة بوادي المليجة حيث بلغت أعلى درجة رطوبة للتربة $0,23$. وترتفع درجة الحرارة بمنطقة المجرى الرئيس، ذات المنحدرات العالية، لتمثل سطوحاً مكشوفة عليها والتي تساعد على

امتصاص لدرجات الحرارة، مما يقلل من رطوبة التربة لتبلغ ٠,١٣، ثم تنخفض مرة أخرى في منطقة رواسب الأودية المفككة، ذات النفاذية العالية والقدرة على احتفاظ مياه الجريان السيلى مما يعمل على زيادة رطوبة التربة بها لتبلغ ٠,٠٣ .

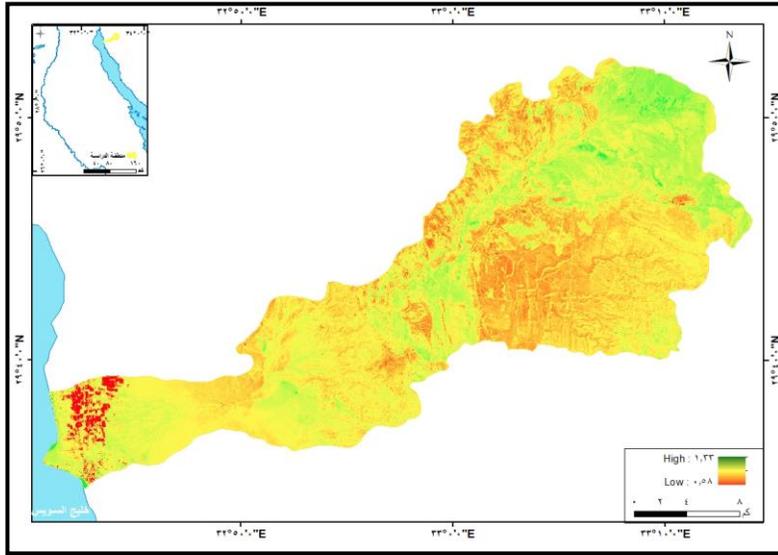
٤) عامل الغطاء النباتي (C) Vegetation factor:

يؤثر تواجد الغطاء النباتي من عدمه في حدوث التعرية المائية، وقد اعتمدت الدراسة على مرئية Sentinel 2 باستخدام على band 4 الممثل للنطاق الأحمر بدقة مكانية ١٠ متر band 8 الذى يمثل النطاق الحرارى بدقة مكانية ١٠ متر وباستخدام الجبر الخرائطى داخل نموذج تم تطبيق مؤشر النباتى Normalized Difference (NDVI) Vegetation الذى يحسن التمييز الطيفي للغطاء النباتي شكل (٨)، فالنبات يتميز من غيره بعكس كمية قليلة من الأشعة الحمراء، وعكس كمية كبيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة، لذلك فإنه يمكن الربط بين الكتلة الحيوية للنباتات وقيم الدليل النباتي الذي يحسب من تناسب نطاق الأشعة الحمراء ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة من المعادلة التالية:

$$\text{الدليل النباتي المعدل NDVI} = \frac{\text{الأشعة تحت الحمراء} - \text{الأشعة تحت الحمراء}}{\text{الأشعة تحت الحمراء} + \text{الأشعة تحت الحمراء}}$$

ليتم حساب عامل الغطاء النباتي (C) من خلال تطبيق المعادلة التالية :

$$C = 1.02 - 1.21 \times \text{NDVI} \quad (\text{Karaburun, 2010})$$



المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد على مرئية 2 Sential باستخدام برنامج SNAP

شكل (٨) عامل الغطاء النباتى لحوض وادي سدر



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

لوحة (٣) انتشار النباتات الطبيعية بالمجرى الرئيس والأودية الفرعية بحوض وادي سدر

تتراوح قيم عامل الغطاء النباتي (C) بين ١,٣٢ و ٠,٥٨ حيث تشير القيم المنخفضة إلى المناطق الجيرية بداية من منطقة تقسيم المياه بوادي مليحة ووادي سدر وقلعة الجندي حيث يندم الغطاء النباتي بتلك المنطقة وبالتالي أكثر عرضة للتعرية المائية. بينما ترتفع قيمة عامل الغطاء النباتي بمنطقة المجرى الرئيسي للوادي والادوية الفرعية منه حيث انتشار النباتات الطبيعية وهذا ما تم تأكيده من خلال الدراسة الميدانية حيث تم رصد انتشارها من حقول للنباتك وانتشار أشجار الأكاسيا بمجرى وادي المليجة وسن البشر والمجرى الرئيس لوحة (٣)، لتصبح أقل عرضة للتعرية المائية، ويعود السبب في ذلك إلى أن هذا الغطاء يساهم في امتصاص طاقة قطرات المطر وربط جزيئات التربة ببعضها البعض، ويعمل على إبطاء سرعة جريان المياه وزيادة قدرة التربة على امتصاص المياه. بالإضافة إلى ذلك، يقوم تحلل البقايا النباتية بدور مهم في تكوين مادة الدوبال، حيث تعمل كمادة لاصقة تربط حبيبات الرمال، وبالتالي يعد الغطاء النباتي أحد وسائل حماية التربة من عوامل التعرية المائية.

٥) خصائص الجريان السيلي بحوض وادي سدر:

يتميز حوض وادي سدر بمساحته التي تبلغ ٦,٦ كم^٢، تتوزع غالبيتها بمنطقة المجرى الرئيس الذي تبلغ مساحته ٤,٤ كم^٢، يليه حوض وادي الدليجة بمساحة ٨,٤٥ كم^٢، ثم حوض وادي المليجة بمساحة ٩,٦٣ كم^٢، ويشير ذلك إلى كميات المياه الضخمة التي يستقبلها الحوض، مما يزيد من كميات التصريف وقدرته على النحت ونقل الرواسب.

جدول (٥) الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي سدر

حوض وادي سدر	الأحواض الثانوية لحوض وادي سدر							الخصائص الحوض
	المجرى الرئيس	نتيحات	سن بشر	الدليجة	الريشة	الديسة	المليجة	
٦٤٩,٦	٢٩٧,٤	٣٦,٦	٣٤,٩	١٤٥,٨	٢٨,٧	٤٢,٣	٦٣,٩	المساحة (كم ^٢)
٨٤,٣	٨٢,٨	٨٦,١	٨٨,٠	٨٤,٠	٨٦,٤	٨٧,٩	٨٤,٣	CN الأرقام المنحنية
١٤٩,٧	١٤٨,٣	١٥١,٢	١٥٣,٠	١٤٩,٤	١٥١,٦	١٥٢,٩	١٤٩,٧	معامل سمك التربة المشبعة بالماء S (مم)
١٨١,٠	٢٩,٦	٣٠,٢	٣٠,٦	٢٩,٨	٣٠,٣	٣٠,٥	٢٩,٩	Ia الفواقد
٦,٩	٦,٢	١,١	٠,٧٧	٢,٢	١,٤	١,٥	١,٦	زمن التأخير
١١,٥	١٠,٥	١,٨	١,٢	٣,٧	٢,٣	٢,٢	٢,٧	زمن التركيز
٤,٩	٤,٤	٦,٨	٦,٩	٤,٥	٦,٣	٥,٨	٤,٦	سرعة الجريانة (كم/ساعة)
٢٥٢٤	٥٧٧	٢٣٦	٢٥١	٦٤٣	١٨١	٢٨١	٣٥٥	حجم التصريف (ألف م ^٣)
٢٣١٣,١	٥٤٧,٤	٢٠٥,٨	٢٢٠,٤	٦١٣,٢	١٥٠,٧	٢٥٠,٥	٣٢٥,١	صافي الجريان

المصدر : إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (٩) باستخدام برنامجي Arc gis10.8 , wms 11.2

وتؤثر خصائص الجريان السيلي مثل: سرعة الجريان وحجم وذروة التصريف، بشكل قوى على عملية التعرية المائية، لذلك تم الاعتماد على النماذج الهيدرولوجية HEC-1 في تحليل نظم التصريف بحوض وادي سدر بالاعتماد على التحليل الجيولوجي واستخدامات الأراضي لاستخراج أرقام المنحنيات CN شكل (٩)، والتي تباينت قيمها بين ٨٨ لحوض وادي سن بشر و ٨٢,٨ لحوض المجرى الرئيس، وهذا يتماشى مع نتائج دراسة سابقة لثلاثة عشر حوض بجنوب سيناء حيث تراوحت قيم المنحنيات الموزونه بين ٧٥,١ و ٩٤,٨ (Masoud, 2011). ويعود هذا التشابه إلى انتشار الصخور الصلبة بشبه جزيرة سيناء، حيث تتناسب قيم معامل التربة المشبعة بالماء (S) مع نوع التربة وقد تراوحت سمك التربة المشبعة بالماء بعد بدء الجريان بين ١٤٨,٣ مم بالمجرى الرئيس و ١٥٣,٠ مم بحوض وادي سن بشر و ١٥٢,٩ و مم بحوض وادي الديسة كما بلغت بحوضى وادي الريشة و ١٥١,٦ مم. فقد ارتبطت القيم المنخفضة بالمناطق الأقل نفاذية للتربة بأحواض وادي الدليجة وحوض وادي المليجة، بينما ارتبطت القيم المرتفعة بالمواقع الأكثر نفاذية مع انتشار النباتات الصحراوية والرواسب الوديانية بحوض وادي سن بشر وحوض وادي نتيحات.

وقد تم دراسة خصائص الجريان السيلي على النحو التالي :

(أ) سرعة الجريان:

تعد سرعة الجريان من أهم المعاملات الهيدرولوجية التي يمكن الاعتماد عليها لتحديد خطورة أحواض التصريف على النشاط البشري، فكلما زادت سرعة التدفق زادت القدرة على النحت والنقل، وبالتالي زيادة معدلات التعرية ومن ثم زيادة القدرة التدميرية (صابر والبناء، ٢٠١٣)، وقد تم الاعتماد على المعادلة التالية لإيجاد سرعة المياه حيث أن:

سرعة المياه (كم/ساعة) = طول الحوض/ زمن تركيز الحوض (خضر، ١٩٩٧).

وقد تم الاعتماد على طريقة NRCS Velocity في الحصول على زمن التركيز حيث أنها الطريقة الأكثر دقة والتي تأخذ معامل خشونة ماننج في الاعتبار (صابر وآخرون، ٢٠٢٣) من خلال تطبيق المعادلة التالية^(١) داخل برنامج wms:

$$T_c = T_{t1} + T_{t2} + T_{t3} + \dots + T_{tm} \quad T_i = L/3600V$$

$$T_c = T_{sheet} + T_{shallow} + T_{channel}$$

$$T_{sheet} = 0.0018 L_{sheet}^{0.6} n^{0.6} / j^{0.4} S_w^{0.3} \quad \& \quad T_{shallow} = L_{shallow} / 3.6C (S_w)^{-0.5}$$

$$\& \quad T_{channel} = 0.44 L_c n^{0.75} / j^{0.25} A^{0.125} S_c^{0.375}$$

بلغ زمن التركيز لحوض وادي سدر ١١,٥ ساعة ولحوض الوادي الرئيسي ١٠,٥ ساعة، وهي الأحواض التي تمثل أكبر القيم من حيث مساحة حوض التصريف، وطول المجرى الرئيس، وأقصى طول للحوض، وأيضاً الفارق الرأسي وبالتالي في زيادة زمن التركيز بها، بينما بلغ زمن التركيز ١,٢ ساعة بحوض ادى سن بشر و ١,٨ ساعة بحوض وادي نتيشات.

وتعتمد سرعة الجريان على متغيرين فقط، وهما طول الحوض (طردية)، وزمن التركيز (عكسية). فمع زيادة قيم زمن التركيز، تقل سرعة الجريان. على سبيل المثال عندما بلغ زمن التركيز ١,٢ ساعة في حوض وادي نتيشات الذي يبلغ طوله ١٢,٢ كم، بلغت سرعة الجريان ٦,٩ كم/ساعة، وعندما بلغ زمن التركيز ١٠,٥ ساعة في حوض المجرى الرئيس، قلت سرعة الجريان إلى ٤,٤ ساعة/كم.

(١) L = طول المجرى الرئيس، و S = الانحدار (معدل الانحدار)، و n = معامل ماننج، و A = مساحة حوض التصريف، و C = 4.918 unpaved and 6.196 paved Area، و Sc = معدل انحدار المجرى الرئيس، و Sw = معدل انحدار الحوض، و Tt = زمن الوصول، و V = متوسط السرعة، و Y = متوسط درجة الانحدار (%)، و C = مجموع أطوال خطوط الكنتور، و I = الفاصل الكنتوري.

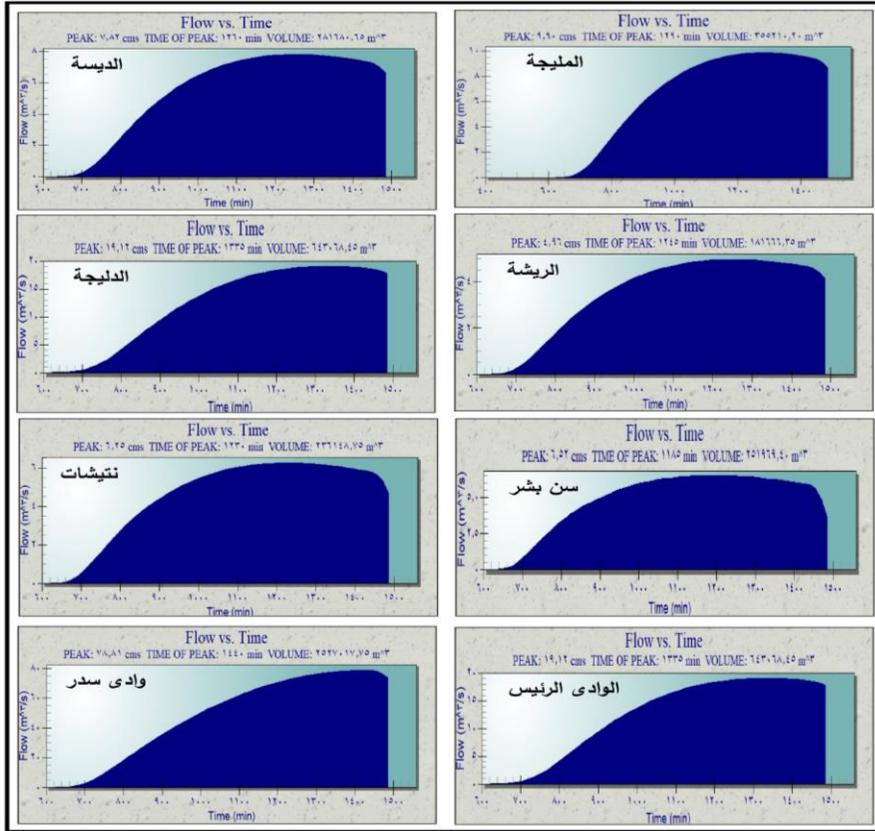


المصدر: بدو جنوب سيناء.

لوحة (٤) الجريان السيلي بوادي سدر يوم ٢٠٢٣/١٠/١٥

(ب) صافي الجريان السيلي:

يعد صافي الجريان من المعاملات الهيدرولوجية المهمة الذي يتحدد علي أساسه احتمالية حدوث السيول من عدمه، ويعبر عنه بحجم المياه الفعلية، وبالتالي تحديد مدى قوتها في حمل المفتتات الصخرية ونقلها، ومن ثم تحديد مدى قوة عامل التعرية المائية بالحوض، وتحديد اختيار أنسب وسائل الحماية بما يتناسب مع حجم هذه المياه (Saber and Hassan, 2023). وقد تراوح صافي الجريان بين ١٥٠,٧ ألف م^٣/ثانية لحوض وادي الريشة و ٦١٣,٢ ألف م^٣/ ثانية لحوض وادي الدليجة، كما بلغ بحوض المجرى الرئيس ٥٤٧,٤ ألف م^٣/ ثانية، ليلبغ صافي الجريان السيلي بحوض وادي سدر ككل ٢٣١٣,١ ألف م^٣/ ثانية.



المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على نتائج برنامج WMS11.1 باستخدام نموذج HEC-1

شكل (٩) منحنى الجريان (هيدروجراف) للأحواض الفرعية لحوض وادي سدر

يتبين مما سبق أن سرعة الجريان السيلي والتي بلغت ٤,٤ كم/ساعة مع كميات تصريف ضخمة ساعدت على تعرية أجزاء من قاع المجرى الرئيس من الرواسب والمفككات وكشف صخور القاعدة الأصلية، وتآكل الطرق الأسفلتية ونقلها إلى أماكن بعيدة عنها (لوحة ٥)، في إشارة واضحة على مدى تأثير التعرية المائية للتربة والصخور بمنطقة الدراسة.

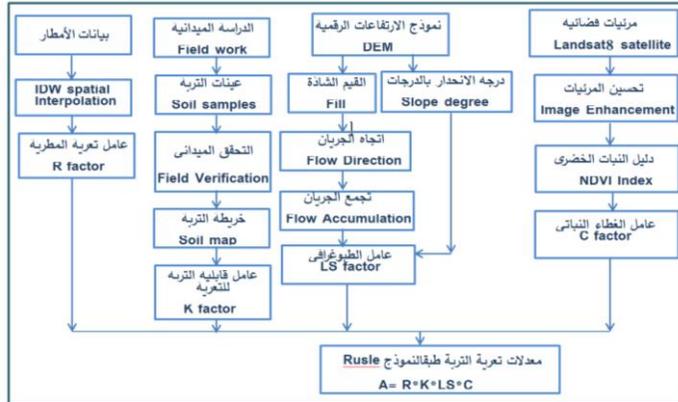


المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤.

لوحة (٥): أثر عملية النحت على حوض وادي سدر، والذي يوضح قوة الجريان المائي في عملية التعرية

ثانيًا - التقدير الكمي لحجم رواسب التعرية المائية بحوض وادي سدر:

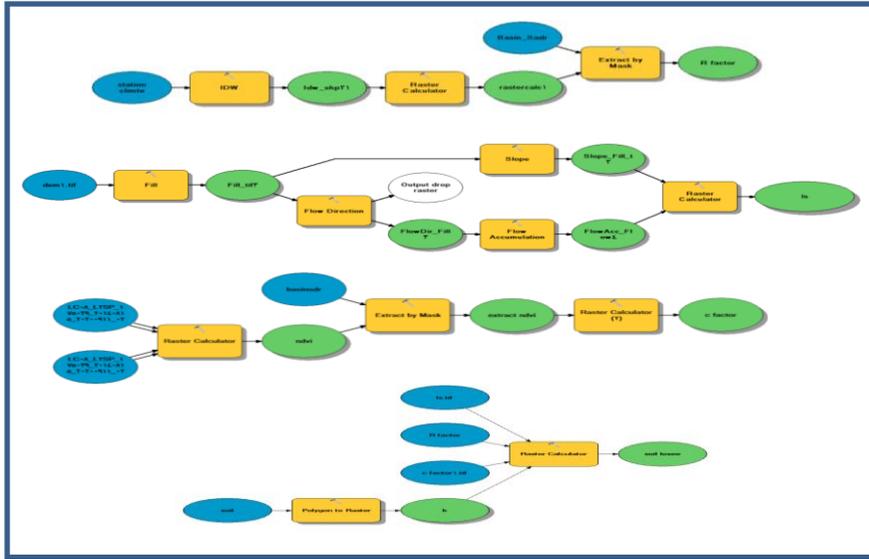
يعد نموذج $RUSLE^{(1)}$ من أهم النماذج لتقدير فقدان التربة بسبب التعرية المائية شكل (١٠ و ١١)، ويستخدم هذا النموذج لتقدير معدل فقدان التربة بوحدات الكتلة على وحدة المساحة. وتم تعديل هذا النموذج عدة مرات منذ إصداره الأول في السبعينيات، وهذا يعكس التحسينات المستمرة في فهمنا للعوامل التي تؤثر على التعرية المائية.



المصدر: إعداد الباحثة اعتمادًا على معادلات نموذج $RUSLE$

شكل (١٠) : خريطة التدفق لتعرية التربة باستخدام نموذج معادلة تعرية التربة $RUSLE$

¹⁾ $RUSLE = Revised Universal Soil Loss Equation.$



المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد على شكل (١٠) على برنامج Arc gis 10.8

شكل (١١) النمذجة المكانية لعوامل تعرية التربة باستخدام نموذج RUSLE

(أ) عامل قابلية التربة للتعرية (K) Soil Erodibility Factor

يمثل عامل قابلية التربة للتعرية المائية من أهم العوامل في تقدير حجم التعرية لما له من تأثير يعكس خصائص التربة ومدى قابليتها لفقدان أجزاء منها من خلال نقل الرواسب والعمليات الهيدروليكية المرتبطة بها، حيث يرتبط بنسيج التربة سواء كانت ذات تكوين رملي أو طيني، كذلك محتوى التربة من المادة العضوية ومؤشر النفاذية بالإضافة إلى مؤشر البنية، فالتربة التي تحتوي على نسب عالية من الرمال والطيني تكون أكثر عرضة للتعرية المائية، وذلك لعدم وجود خصائص التماسك بين جزيئاتها. بينما تكون التربة ذات التصريف الجيد أقل عرضة لعملية التعرية. كما أن احتواءها على الطين والمواد العضوية يجعلها أكثر مقاومة للتعرية، ويعود السبب في ذلك إلى أن تواجد الطين والمواد العضوية في التربة يزيد من تماسكها.

وقد تم الاعتماد على المعادلة التالية^(١) (Williams, 1995) (et al., 2005)

^(١) $K_{USLE} = F_{cl-si}$ = عامل قابلية التربة للتعرية، و F_{csand} = مؤشر قابلية التربة الرملية للتعرية، و $F_{cl-si} = F_{hisand}$ = مؤشر قابلية التربة الطميية للتعرية، و F_{hisand} = مؤشر قابلية التربة السلتية للتعرية، و F_{hisand} = مؤشر قابلية التربة ذات المحتوى العضوي، و ms = نسبة الرمال (%) والتي تتراوح قطرها بين (٠,٠٥ - ٢,٠٠ مم)، و

(Wawer & وذلك على النحو التالي:

$$K_{USLE} = F_{csand} \times F_{cl-si} \times F_{orgc} \times F_{hisand}$$

$$F_{csand} = (0.2 + 0.3 \exp \{-0.256 m_s (1 - (m_{silt} / 100))\})$$

$$F_{cl-si} = (m_{silt} / \{m_c + m_{silt}\})$$

$$F_{orgc} = 1 - (\{0.25 \times orgc\} / orgc + \exp \{3.72 - 2.95 orgc\})$$

$$F_{hisand} = 1 - (0.7 \times \{1 - (m_s / 100)\}) / (1 - \{m_s / 100\} + \exp \{-5.51 + 22.9 * \{1 - (m_s / 100)\}\})$$

والجدير بالذكر أن قيمة k تتراوح بين صفر و ١، حيث تزيد احتمالية تعرية التربة وتآكلها كلما اقترب الناتج من الواحد والعكس، وتوجد علاقة عكسية بين قوام ونفاذية التربة، مما ينعكس على درجة مقاومتها للتعرية فالتربة الطينية تتميز بمقاومة أكبر التعرية بسبب زيادة رطوبتها وتماسكها، بينما تقل مقاومة التربة الرملية للتعرية لارتفاع نفاذيتها فتصبح مفككة غير متماسكة، مما يزيد من احتمالية انجرافها مع الجريان السطحي داخل الحوض (أبورية، ٢٠١٩).

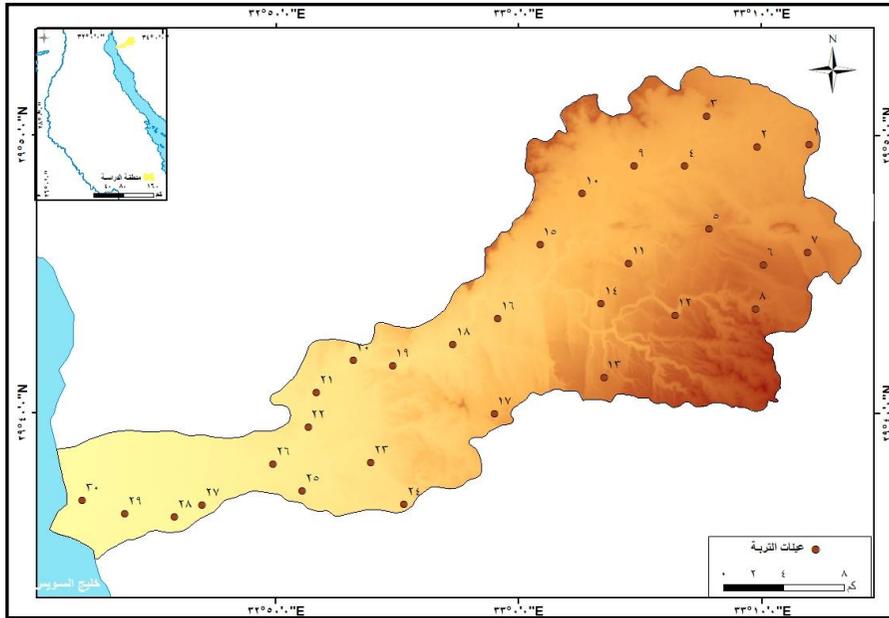
وقد تم الإعتماد على الدراسة الميدانية للحصول على ٣٠ عينة موزعة على منطقة الدراسة وإجراء التحليل الميكانيكي والعضوي لها جدول (٦) وشكل (١٢) وذلك لحساب عامل قابلية التربة للتعرية (K) بحوض وادي سدر (شكل ١٣) و (جدول ٧).

msil نسبة السلت (%) والتي تتراوح قطرها بين (٠.٠٠٢ - ٠.٠٥ مم)، و mc نسبة الطمي (%) والتي تتراوح قطرها بين (أقل من ٠.٠٠٢ مم)، و orgc نسبة المادة العضوية (%)

جدول (٦) التحليل الميكانيكي لعينات التربة بحوض وادي سدر

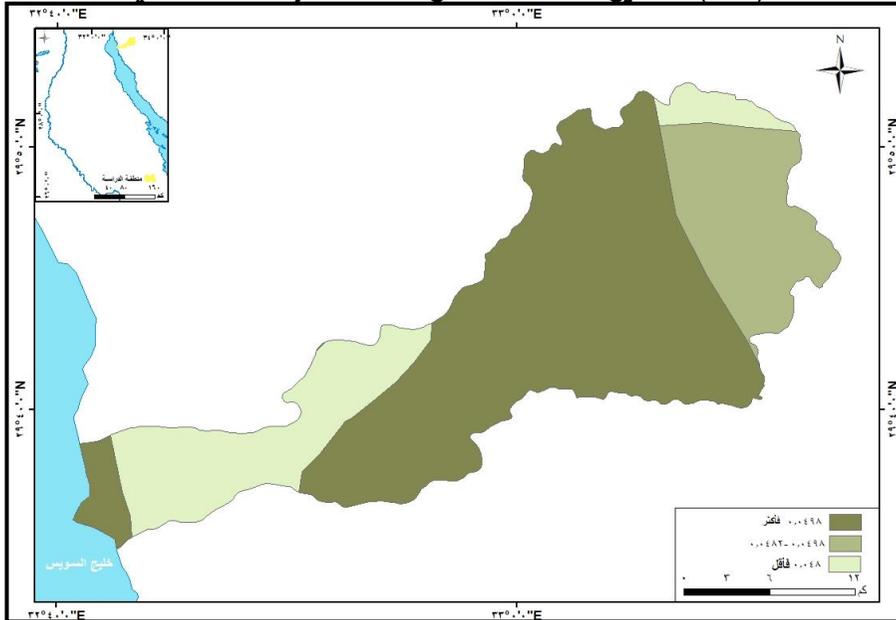
مادة عضوية (%)	طين (%)	سلت (%)	الرمال (%)			
			ناعم	متوسطة	خشنة	
٠,٧	٨,٠	٨,٦	٣,٥	٤,٢	٧٥,٧	١
٠,٨	٨,١	١٠,٢	٠,٦	١٥,٢	٦٥,٩	٢
٠,٧	٨,٥	١٠,٨	١,٢	١٤,٣	٦٥,٢	٣
٠,٦	٦,٣	١١,٢	١,٥	١٦,٨	٦٤,٢	٤
٠,٧	٩,٠	١٣,٢	٢,٥	١٥,٢	٦٠,١	٥
٠,٨	٩,٢	١٢,٥	١,٩	١٦,٢	٦٠,٢	٦
٠,٩	٩,٥	١٣,٦	١,٢	١٥,٣	٦٠,٤	٧
٠,٩	٨,٧	١٢,٣	١,٣	١٢,٥	٦٥,٢	٨
١,٠	١٠,١	١٣,١	٢,٠	١٤,٥	٦٠,٣	٩
١,٠	١٠,٢	١٠,٣	٢,١	١٤,٠	٦٣,٤	١٠
١,١	٢,٣	٣,١	٩,٢	١٥,٢	٧٠,٢	١١
١,١	٢,٥	٣,٤	٤,٦	١٨,٢	٧١,٣	١٢
١,٢	٣,٠	٣,٢	٤,٨	١٦,٢	٧٢,٨	١٣
١,٢	٣,٨	٤,٥	١,٦	١٧,٢	٧٢,٩	١٤
١,١	٤,٦	٥,٦	٥,١	١١,٢	٧٣,٠	١٥
١,٣	٤,٨	٥,٧	١,٦	١٤,٣	٧٣,٦	١٦
١,٣	٦,٨	٧,٩	٠,٦	١٠,٢	٧٤,٥	١٧
١,٤	٧,١	٨,٠	١,٣	٨,٦	٧٥,٠	١٨
١,٤	٧,٥	٨,١	٣,٠	٥,٨	٧٥,٦	١٩
١,٦	٨,٠	٨,٦	٣,٥	٤,٢	٧٥,٧	٢٠
١,٧	٠,٢	٠,٦	١,٤	٨,٢	٨٩,٦	٢١
١,٨	٠,٥	٠,٧	٤,٨	٥,٢	٨٨,٨	٢٢
١,٧	٠,٤	٠,٨	٠,٥	٨,٩	٨٩,٤	٢٣
١,٨	٠,١	٠,٥	٥,٥	٤,٦	٨٩,٣	٢٤
١,٩	٠,٣	٠,٨	٣,٤	٦,٩	٨٨,٦	٢٥
١,٩	٠,٤	٠,٩	٣	٧,٣	٨٨,٤	٢٦
١,٨	٠,٥	٠,٦	٣,٢	٨,٤	٨٧,٣	٢٧
١,٩	٠,٣	٠,٧	٥,٣	٦,٨	٨٦,٩	٢٨
٢,٠	٠,٦	٠,٣	٤,٥	٨,٤	٨٦,٢	٢٩
٢,٠	٠,٤	٠,٥	٣,٣	٩,٨	٨٦,٠	٣٠

المصدر: تم تحليل العينات بمعمل التربة بكلية الزراعة جامعة الزقازيق.



المصدر : إعداد الباحثة اعتمادا على الدراسة الميدانية

شكل (١٢) التوزيع الجغرافي لمواقع عينات التربة بحوض وادي سدر



المصدر : إعداد الباحثة اعتمادا على جدول (٧)

شكل (١٣) عامل قابلية التربة للتعرية (K) بحوض وادي سدر

جدول (٧) أنواع التربة ومؤشر $K F_{csand} \times F_{cl-si} \times F_{orgc} \times F_{hisand}$

نوع التربة	المساحة (هكتار)	الرمال %	السلت %	الطين %	المادة العضوية %	F_{hisand}	F_{orgc}	F_{cl-si}	F_{csand}	K
١ تربة رملية	١٨٢٤	٩٤,١	٣,٤	٢,٥	١,١	٠,٢	٠,٩٧٥	٠,٣	٠,٨٥٧	٠,٠٥٠
٢ تربة رملية سلتية	١٢٦٦٤	٨٣,٤	٨,٦	٨,٠	١,٦	٠,٢	٠,٩٧٩	٠,٣	٠,٨٢٠	٠,٠٤٨
٣ تربة رملية طينية	٣٨٧٢٢	٧٤,١	١٥,٥	١٠,٥	٢,٠	٠,٢٠	٠,٩٨٩	٠,٣	٠,٨٤٧	٠,٠٥٠
٤ تربة رملية	١١٧٥٠	٩٩,١	٠,٥	٠,٤	١,٠	٠,٢	٠,٩٩١	٠,٣	٠,٨٣٨	٠,٠٤٩

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على جدول (١)

يتضح من تحليل الجدول (٧) والشكل (١٣) ارتفاع قيم قابلية التربة للتعرية (K) ذات القوام الرملي والرملي الغريني، حيث بلغت ٠,٥٠، ويعزى ذلك إلى ارتفاع نسبة الرمال مع زيادة نسبة النفاذية وبالتالي زيادة معدلات تسرب المياه وجفاف التربة، مما ساعد على تفككها بصورة أسرع وتأثرها بعوامل التعرية المائية.

وتتركز القيم المرتفعة لقابلية التربة للتعرية (K) والتي تبلغ ٠,٠٥ فأكثر بمناطق النقاء الروافد الرئيسية بحوض وادي سدر بالمجرى الرئيس، حيث يتقاطع وادي المليجة بالمجرى الرئيس ووادي عين أبو رجم، حيث تنتشر منحدرات منطقة تقسيم المياه بمنطقة المنابع بمنتصف ووسط منطقة الدراسة، إذ يتراوح انحدارها بين ١٩° و ٣٠°، وللانحدار كما سبق ذكره له أثره الواضح في تعرية سطح المنحدرات من الرواسب المفككة لتلقيها بمناطق الانحدارات الهينة. كما توجد بمنطقة المصب حيث ارتفاع نسبة الرمال نتيجة ما يتم ارسابه بفعل حركة الأمواج على السهل الساحلي.

وتنتشر قيم قابلية التربة للتعرية (K) والتي تبلغ ٠,٠٤٨ بالتربة الرملية الطميية، وتمثل بمنطقة المروحة الفيضية للوادي حيث ارتفاع نسبة الطين والتي بلغ متوسطها ٨% مع ارتفاع نسبة المواد العضوية والتي بلغ متوسطها ١,٦%، حيث تمثل منطقة الارساب، مما أدى إلى زيادة تماسك التربة.

يتضح مما سبق أن هناك مجموعة من العوامل المختلفة التي تؤثر على قابلية التربة للتعرية، إذ ان هناك تباين بقيمتها بحوض وادي سدر بناءً على خصائص التربة والظروف البيئية المتباينة، حيث تظهر القيم المرتفعة للتربة الرملية والرملية الغرينية بسبب ارتفاع

نسبة الرمال وزيادة النفاذية، مما يزيد من تأثيرها بعوامل التعرية المائية.

ب) المناطق المعرضة لتعرية التربة المحتملة سنوياً:

اعتمدت الدراسة المعادلة التالية^(١) فى تصنيف المناطق المعرضة لتعرية التربة

المحتملة سنوياً بحوض وادي سدر:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

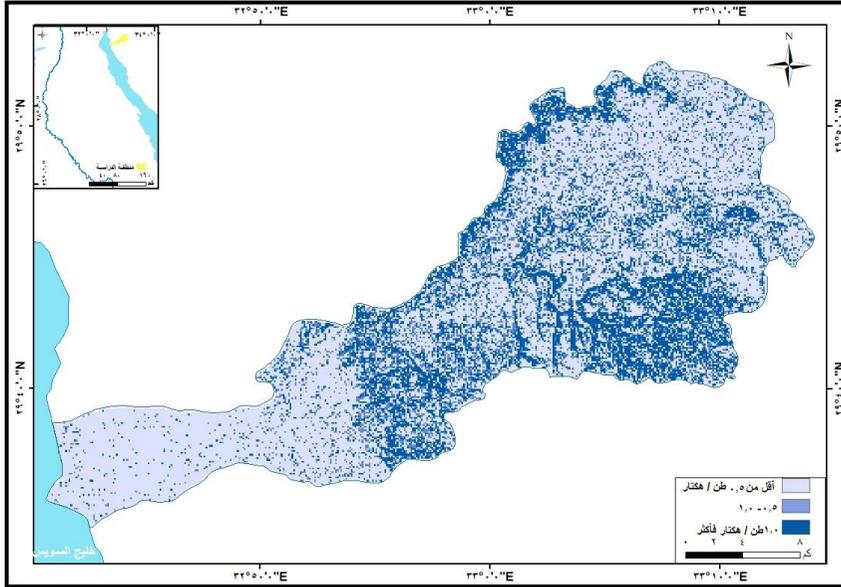
وجدير بالذكر أن معامل إجراء حماية التربة من التعرية (p) والذي يعتمد على خرائط الاستخدامات الأرضية فان منطقة الدراسة تقع ضمن النطاق الجاف، وحوض وادي سدر جاف يقتصر على الجريان السيلى وقت حدوث الأمطار الفجائية، وتقتصر استخدامات الأراضى على منطقة المروحة الفيضية والمتمثلة في بعض مناطق الاستصلاح الزراعى، وتغطي نحو ١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، لذلك تم احتساب معامل إجراء حماية التربة من التعرية (P) بقيمة ١ صحيح.

وقد اتضح من تحليل الشكل (١٤) ما يلى :

- مناطق تعرية منخفضة: تمثل الأراضى المعرضة للتعرية المائية ٠,٥ طن/هكتار سنوياً وتغطي معظم حوض التصريف، حيث بلغ مساحتها ٦٤,٩٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.
- مناطق تعرية متوسطة: تمثل الأراضى المعرضة للتعرية المائية بين ٠,٥ و ١,٠ طن/هكتار سنوياً وتغطي ١٢,٨٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وينتشر بالمناطق الشمالية والشمالية الشرقية بمنطقة خط تقسيم الحوض، خاصة برافد وادي المليحة وتتركز بوضوح بمنطقة جبل الديسة بروافد وادي الديابة.
- مناطق تعرية مرتفعة: تمثل الأراضى المعرضة للتعرية المائية ١,٠ طن/هكتار سنوياً، وتغطي ٢٢,٣٪، وتوجد على شكل شريط طولى ممتد بموازاة خط تقسيم المياه من الشمال الغربى من قلعة الجندى إلى منطقة خروج المروحة الفيضية بطول ٣٠ كم. تغطي المناطق ذات الكثافة المطرية العالية، والتي تراوح بين ٠,٥٨

^(١) A = الفاقد السنوى للتربة (طن/هكتار)، R = عامل التعرية المطرية، K = عامل قابلية التربة للتعرية، L, S = عامل طبوغرافى (طول ودرجة انحدار المجرى)، C = عامل الغطاء النباتى، P = عامل إجراءات حماية التربة من التعرية.

و ٠,٦١ مم، مما يزيد من عامل التعرية المطرية R والتي تتراوح قيمتها بين ١٦,٨ و ١٨,٨ جول/هكتار بالتوافق مع المناطق ذات التضاريس المرتفعة، خاصة بالمناطق ذات منسوب ٤٥٠ متراً فأكثر، فهي مناطق تربة منحدر غير المتماثلة، حيث تتراوح درجة انحدارها بين ١٩° و ٤٥° خاصة التربة الرملية الطينية، وتقع في الأجزاء الوسطى من الحوض، حيث يزداد عامل التعرية وانجراف التربة بفعل السيول، لتنتشر بروافد وادي المره وروافد وادي الاثامي .



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (١١).

شكل (١٤) معدلات التعرية المائية بحوض وادي سدر باستخدام نموذج RUSLE

ثالثاً: بعض الدلائل البيدوجغرافية للتعرية المائية بحوض وادي سدر:

ساعد التحقق الميداني من التأكد من وجود بعض الدلائل البيدوجغرافية على عمليات

التعرية المائية للتربة والتي تم دراستها على النحو التالي :

(١) رواسب القاع:

تعد رواسب القاع المحصلة النهائية لتفاعل كل من الانحدار وحجم التصريف المائي

وسرعة الجريان، حيث يحدث الترسيب تدريجياً على طول مجرى الحوض حسب تدرج

حجم الرواسب المنقولة، والتناقص في كل من الانحدار والتصريف المائي وسرعة الجريان، فالانحدار الشديد يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان وبالتالي يكون له القدرة على نقل رواسب القاع كبيرة الحجم، بينما قلة الانحدار تؤدي إلى قلة سرعة التيار المائي، ومن ثم تترسب الحبيبات الخشنة تدريجياً وتحمل الرواسب الناعمة إلى المصب (ليليافسكى، ١٩٦٦). كما أن انتشار المفتتات الصخرية شبه المستديرة وكاملة الاستدارة تدل على أثر التعرية المائية في نقل تلك المفتتات لمسافات كبيرة بلغت ٤٠ كم وهي مسافة مناسبة لاستدارتها وصقلها (لوحة ٦).

ويشير سيادة فئات الحصى الخشن جدا بأراضي مجاري وادي الدليجة وسن البشر إلى عدم قدرة الوادي على حملها للترسب في المنطقة العليا والوسطى من الحوض، في حين انجرف الحصى الأصغر حجماً بفعل سرعة التيار المائي نحو مصبات الأودية الفرعية، كما يدل ارتفاع نسبة الحصى الخشن أن مجاري الأودية كانت تحتوي كميات كبيرة من المياه المتدفقة والتيارات المضطربة، التي عملت على تحريك تلك الرواسب ونقلها باتجاه المصب.



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤.

لوحة (٦) التدرج الحجمي لرواسب قيعان الأودية الفرعية والمجرى الرئيس
لحوض وادي سدر

٢) التشققات الطينية:

تمثل التشققات الطينية انعكاساً لحدوث فترات مطيرية تليها فترات جفاف، وترتبط مورفولوجياً بكميات التصريف بمنطقة الدراسة. وتتشكل التشققات الطينية عندما يجف سطح الطبقة الطينية أو الرملية المشبعة بالماء نتيجة لتعرضها لأشعة الشمس بعد تسرب المياه إلى الطبقات الأسفل من الطبقة السطحية.

يساعد التغير في الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن تغير كمية التصريف في حدوث التشققات الطينية، حيث تمتلئ مسام التربة بمياه الجريان السيلي، مما يؤدي إلى حدوث ضغط

على حبيبات التربة من الداخل مما يؤدي إلى تكون التشققات الطينية مما يؤثر على استقرار التربة وقوة تماسكها، وتنتشر التشققات الطينية بالمجرى الرئيس لحوض وادي سدر والمجاري الفرعية، حيث تظهر على شكل رقائق طينية بوادي ليتشات (لوحة٧).



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤.

لوحة (٧): التباين في خصائص التشققات الطينية بالمجرى الرئيس بحوض وادي سدر

٣) مصاطب الأودية:

تعد المصاطب أوضح الظواهر البيدوجغرافية المرتبطة بالقطاعات العرضية للأودية، وتنتج بفعل توالى عمليتي النحت والإرساب المائي، فتمثل الأجزاء المتبقية من القيعان القديمة للأودية؛ وذلك لأنها تحكى أهم المتغيرات التي طرأت على الأودية من نحت وترسيب خلال الفترات الجافة (الدسوقي، ١٩٩٥).

وتظهر مصاطب الأودية على جوانب المجرى الرئيس للوادي (لوحة ٨)، حيث ترتبط بمدة قوة الوادي على حمل المفصلات والرواسب وحدوث التعرية المائية، إذ تكون المحصلة النهائية لحدوث تغييرات فى مستوى الأساس أو حدوث فترات مطرية أعقبها فترات جفاف، أما تغيير مستوى الأساس فيتمثل فى حدوث انخفاض للمستوى الذى ينتهى إليه الوادي، مما يؤدي إلى زيادة طاقته وقدرته على النحت والتعرية بهدف الوصول إلى مستوى الأساس تاركاً سهل فيضى قديم على شكل مستوى مرتفع يتناسب ارتفاعه مع معدل الانخفاض الذى تعرض له منسوب مياه الوادي أثناء الجريان فتظهر سلسلة من المصاطب الممتدة فى موازاة المجرى المائي للوادي على كلا الجانبين فتتكون من رواسب طميية وحصوية (محسوب، ٢٠٠١) كما هو الحال فى المصطبة المصاحبة للمجرى الرئيس لوادي سدر حتى خروجه إلى منطقة المروحة الفيضية (لوحة ٨)، وقد تم من خلال الدراسة الميدانية رصد ٥ مصاطب بحوض وادي سدر، وفيما يلي عرض لأهم الخصائص المورفومترية والبيدوجغرافية لتلك المصاطب.

جدول (٨) الخصائص المورفومترية لمصاطب الأودية بحوض وادي سدر

متوسط انحدار الواجهة بالدرجات	متوسط انحدار السطح بالدرجات	اتساع السطح	الارتفاع (متراً)	موقع المصطبة	جانب الوادي	أحواض التصريف
٦٥	٢	١٥	٢٠	الأدنى	الغربي	المجرى الرئيس
٧٠	٣	١١	١٨	الأدنى	الشرقي	المجرى الرئيس
٨٧	٢	١٢	٧,	الأدنى	الغربي	سن بشر
٨٩	٢	١٦	٢,٣	الأوسط	الغربي	نتيشات
٨٨	٢	١٤	١٢	الأدنى	الغربي	الدليجة

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على الدراسة الميدانية.

ويتضح من تحليل الجدول (٨) ما يلي :

- يتراوح ارتفاع مصاطب الأودية بين ٢٠ متراً فوق منسوب قاع الوادي، وذلك

- بمصطبة الجانب الغربي لمجرى الرئيس، و ٠,٧ متراً فوق منسوب قاع الوادي بالجانب الغربي من وادي سن بشر، كما يتراوح عرض السطح بين ١٥ متراً بمصطبة الجانب الغربي من الوادي الرئيس، و ١١ متراً بمصطبة الجانب الشرقي.
- يتراوح متوسط درجة انحدار السطح بمصاطب المجرى الرئيس بين ٢° و ٣°، بينما يبلغ متوسط درجة انحدار السطح بباقي المصاطب ٢°، ويرجع انخفاض درجة الانحدار بمصاطب وادي سدر إلى أنها مصاطب تقع بالجزء الوسط والأدنى من الوادي، وبالتالي قلة مناسيبها.

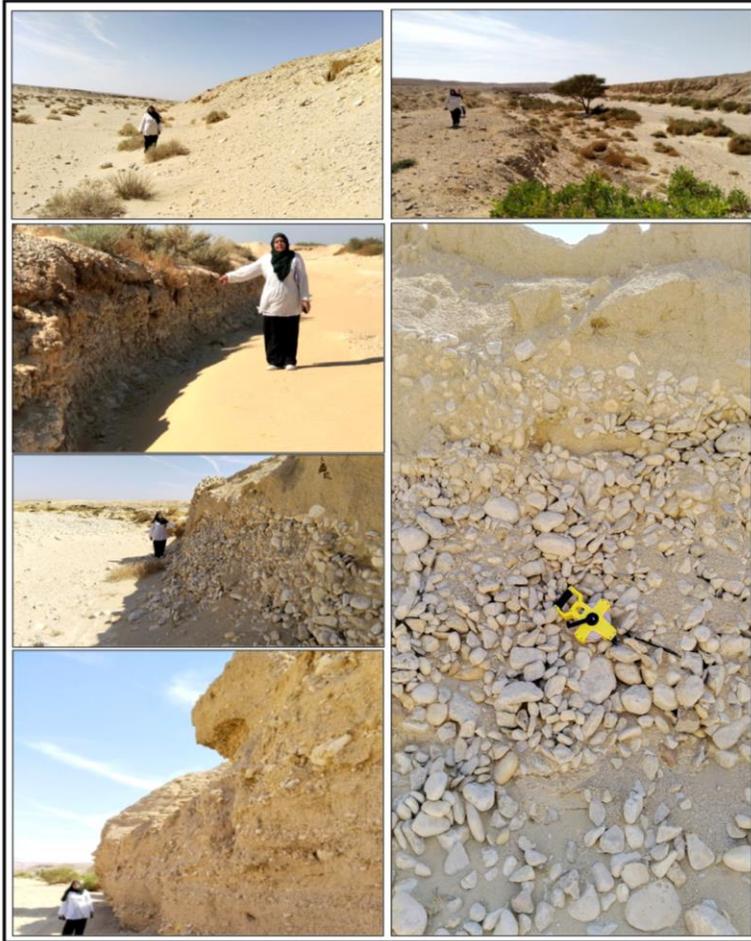
جدول (٩) الخصائص الميكانيكية لعينات رواسب مصاطب حوض وادي سدر

أحواض التصريف	ارتفاع المصطبة	٢,٠ - ٤,٠ مم حصى	١,٠ - ٢,٠ مم رمل خشن جدا	٠,٥ - ١,٠ مم رمل خشن	٠,٢٥ - ٠,٥ مم رمل متوسط	٠,١٢٥ - ٠,٢٥ مم رمل ناعم	٠,٠٦٢٥ - ٠,٢٥ مم رمل ناعم جدا	أقل من ٠,٠٦٢٥ مم طمي وصلصال	الإجمالي
المجرى الرئيس الجانب الغربي	٢٠,٠	٤٧,٩	٤,٦	١٣,٤	٧,٩	٢٠,١	٤,٦	١,٥	١٠٠
المجرى الرئيس الجانب الشرقي	١٨,٠	٥٠,٢	٩,١	٨,٢	١٣,١	١٤,٨	٣,٤	١,٣	١٠٠
وادي سن بشر	٧,٠	٥٢,٦	٨,٦	١١,٢	٩,١	١٥,٣	٢,٤	٠,٨	١٠٠
وادي ننيشات	٢,٣	٦٠,٢	١١,٢	١٠,١	٨,٢	٧,٦	٢,١	٠,٦	١٠٠
الدليجة وادي	١٢,٠	٣٠,٤	٩,٨	٧,١	٦,٣	٢٣,٤	١٩,٥	٣,٥	١٠٠
المتوسط	١١,٩	٤٨,٣	٨,٧	١٠,١	٨,٩	١٦,٢	٦,٤	١,٥	١٠٠

المصدر: تم التحليل بمعمل التربة بكلية الزراعة بجامعة الزقازيق.

- بلغ متوسط درجة انحدار الواجهة بمصاطب المجرى الرئيس بين ٦٥° و ٧٠°، بينما بلغ متوسط درجة انحدار الواجهة بمصطبتي وادي سن بشر ٨٧° و ننيشات ٨٩°.
- تراوحت نسبة الحصى، والتي يزيد قطرها على ٢ مم في عينات مصاطب أودية منطقة الدراسة بين ٦٠,٢ و ٣٠,٤٪ بمتوسط بلغ ٤٨,٣٪ (جدول (٩))، وسجلت أقل نسبة بمصطبة وادي الدليجة، والتي يبلغ ارتفاعها ١٢ متراً، أما أعلى نسبة فسجلت بمصطبة وادي ننيشات، والتي يصل ارتفاعها ٢,٣ متراً.

- تراوحت نسبة الرمال بمصاطب أودية منطقة الدراسة بين ٦٦,١ و ٣٩,٢% مع سيادة الرمال الناعمة، إذ تراوحت نسبتها بين ٢٣,٤% من إجمالي حجم الرواسب بمصطبة وادي الدليجة و ٧,٦% بمصطبة وادي نتيشات.
- بلغ متوسط نسبة الطمي والصلصال بمصاطب أودية الدراسة ١,٥%، وقد سجلت أقل نسبة بمصطبة وادي نتيشات فبلغت ٠,٦%، كذلك بلغت ٠,٨% بمصطبة وادي سن بشر بينما بلغت أعلى نسبة بمصطبة الجانب الغربي من المجرى الرئيس ١,٥%.



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤.

لوحة (٨): التباين في الخصائص المورفومترية والبيدوجغرافية
لمصاطب الأودية بحوض وادي سدر

ويساهم تعاقب فترات من الأمطار الفجائية تليها فترات من الجفاف في تكوين مصاطب الاودية، حيث يؤثر حجم كمية التصريف بالحوض على حجم حملته من الرواسب وسرعة جريانه ودرجة انحداره، وبالتالي مدى قدرته على عملية التعرية المائيّة. وهذا ما اتضح بمصطبة وادي نتيشات حيث اختلف حجم الرواسب الذي حملها وادي نتيشات نتيجة قوة التصريف بسيل فجائي، فحمل رواسب من الحصى جيد الاستدارة، والتي تقع بالجزء السفلى من المصطبة في دلالة واضحة على دور النحت المائي لتلك الرواسب فيترواح متوسط أحجام الكتل الحصوية (٥سم X ٣سم X ٤سم)، وبكثافة ٦٠ قطعة/م^٢. ومع وجود فترات جفاف وعدم قدرة السيل على حمل الرواسب الكبيرة، يتم ارساب مفتتات صخرية ناعمة بالجزء العلوى من المصطبة فيبلغ ارتفاع المصطبة ٢,٣ متراً لوحدة (٨).

كذلك مصطبة وادي الدليجة تتميز بتعاقب المفتتات الصخرية متوسطة الحجم مع صغيرة الحجم بالإضافة إلى الرواسب الدقيقة، ويبلغ متوسط ارتفاعها ٤ متراً ويتراوح درجة انحدارها باتجاه مجرى الوادي بين ٢° و ٤°، كما تتقطع بمجاري مائية من سطحها إلى الجزء الأدنى باتجاه المجرى الرئيس للوادي سدر.

يتبين مما سبق تركيز المصاطب بصفة أساسية بالجانب الغربى من المجرى الرئيس والأودية الفرعية بحوض وادي سدر، نتيجة تعرضها لعمليات النحت والتآكل المستمر بفعل المياه الجارية مع مرور الزمن ونشاط عملية التعرية المائيّة بها.

تتضاءل أبعاد المصاطب سواء بالإرتفاع أم العرض في اتجاه الأجزاء العليا من حوض وادي سدر، ويتفق ذلك مع مصاطب وادي الرملية (الدسوقي، ١٩٩٥) وقد أرجعها إلى قلة الترسيب وزيادة معدلات النحت في الأجزاء الوسطى منه، وقلة معدلات النحت والنحت وزيادة الترسيب في الأجزاء الدنيا أثناء وبعد تكوين المصاطب.

كما أن الإختلاف في نسب أحجام الرواسب بمصاطب منطقة الدراسة إلى التباين في كمية الأمطار الساقطة، بالإضافة إلى اختلاف سرعة الجريان المائي نفسه، وانعكاس التغيرات المناخية التي حدثت في عصري البليستوسين والهولوسين من خلال عمليتي النحت والترسيب، مع تعاقب فترات المطر والجفاف بمنطقة الدراسة، وقد انعكس ذلك على

حجم الرواسب بالمصطبة الواحدة، فتمتيز مصطبة وادي سن بشر بارتفاعها عن قاع الوادي بنحو ١٧٥م في بدايتها ليقل كلما اتجهنا نحو نقطة التقاء الوادي مع المجرى الرئيس لحوض سدر ليلعب ارتفاعها ٦٠ سم، وتتألف من مفتتات من الحصى المتوسط إلى صغير الحجم بكثافة ١٥ قطعة/م^٢ في دلالة على تكوينها أثناء سيل متوسط القوة من حيث حجم التصريف وسرعة الجريان (لوحة ٨).

رابعاً: تأثير الخصائص البيدوجغرافية على التنمية المستدامة لحوض وادي سدر:
يمكن الاستفادة من الخصائص البيدوجغرافية على التنمية المستدامة لحوض وادي سدر من خلال المحاور التالية:

(١) التنمية الزراعية والرعى:

تمثل التنمية الزراعية أحد أهم ركائز التنمية المستدامة. يمكن تحقيق التنمية الزراعية والرعية في المناطق المعرضة لانجراف التربة بطريقة تحافظ على البيئة وتساهم في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية من خلال تبني استراتيجيات تعتمد على الممارسات الزراعية الذكية وإدارة الموارد الطبيعية بشكل فعال مثل: التدوير الزراعي والاستخدام الأمثل للموارد المائية، وتقنيات الري الفعالة مثل الري بالتنقيط. ويمكن أيضاً تطبيق التقنيات الزراعية المتقدمة مثل زراعة الأشجار والنباتات والشجيرات المثبتة للتربة، وإنشاء الحواجز الطبيعية للحد من حركة التربة. بالإضافة إلى ذلك، تقوية هيكل التربة باستخدام التقنيات المتقدمة مثل الزراعة الأفقية والزراعة المتدرجة لتقليل تأكلها.

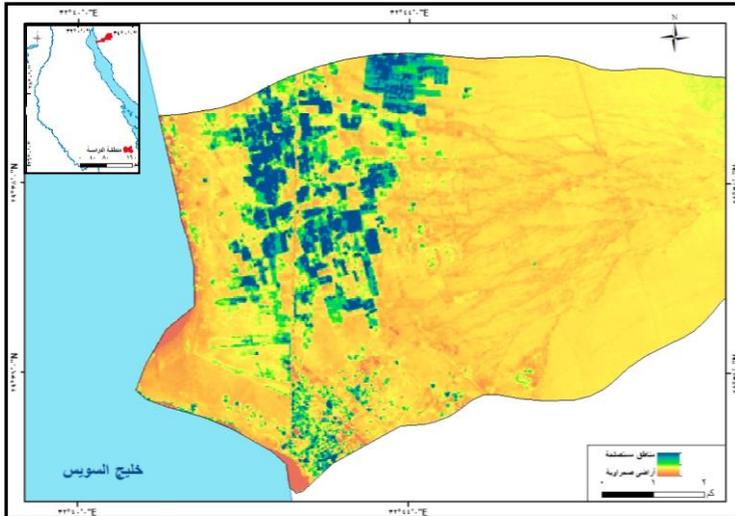
وتنتشر الزراعات غير التقليدية بالمروحة الفيضية التي تعتمد على أحدث الطرق الحديثة بالرى بالتنقيط بحوض وادي سدر والتي تبلغ مساحتها ١٢,٣ كم^٢ شكل (١٥) (لوحة ١٠). وتتميز المروحة الفيضية باستواء السطح ووجود تربة صالحة للزراعة مع استخدام الطرق والمحاصيل المناسبة لها، فتتنمي إلى أراض الدرجة الثالثة والرابعة، حيث يمكن زراعتها. وتتسم تلك الأراضي بأنها عميقة وخشنة النسيج إلى حد ما، فتحتاج لمحسنتات ومخصبات وأسمدة، وغسيل دائم للتربة لتقليل نسبة الملوحة بها، وتعتبر أراضي جيرية تتراوح كربونات الكالسيوم فيها بين ٣٠% و ٩٠% (معهد بحوث الصحراء، ٢٠٢٢)، وتصلح تلك الأراضي لزراعة النخيل والقمح والشعير والخضر والعنب. كما يمثل المجرى

الرئيس مكاناً جيداً للرعى خاصة مع انتشار النباتات الصحراوية بشكل جيد بها، لذا يمكن الاعتماد على استخدام سلالات جيدة من الأبقار والجمال والماعز واستخدام المنطقة كمرعى طبيعي لإنتاج اللحوم والألبان، كما يمكن استخدام المساحات الخضراء كحواجز طبيعية لامتناس المياه وتقليل سرعة تدفق السيول.



المصدر: الدراسة الميدانية عام ٢٠٢٤

لوحة (١٠): النشاط الزراعي والرعى بحوض وادي سدر



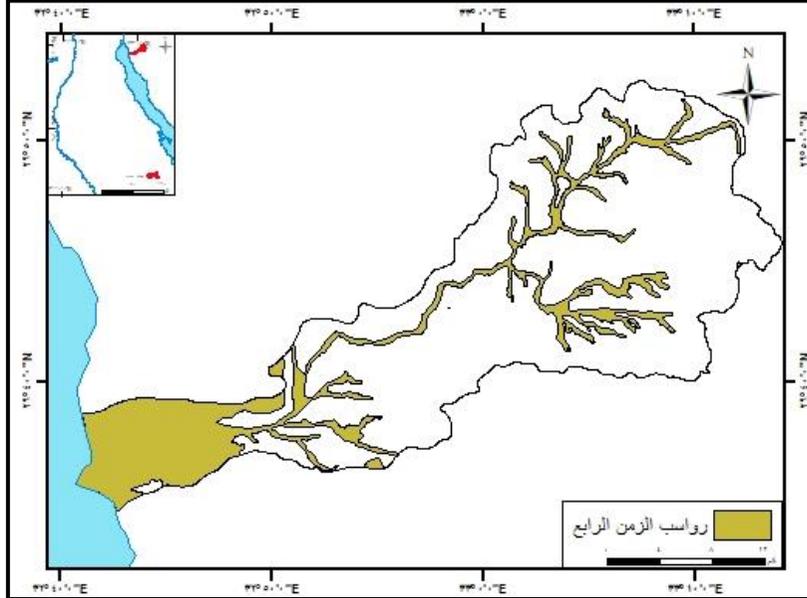
المصدر : من إعداد الباحثة بالاعتماد على مؤشر الدليل الخضري NDVI

شكل (١٥): النشاط الزراعي بحوض وادي سدر

٢) محاجر الرمال والزلط:

يمكن استغلال مخرجات عملية التعرية المائية للتربة في تنمية قطاع التحجير، خاصة بمحاجر الرمال والزلط. فالتعرية المائية هي عملية إزالة الطبقة السطحية للتربة بواسطة الجريان السيلى خاصة الرواسب متوسطة الحجم والدقيقة من جلاميد وحصى ورمال، ويضم حوض وادي سدر ٨ محجراً متنوعاً ما بين محاجر للرمال والزلط والسن (مركز المعلومات ودعم القرار بمحافظة شمال سيناء، ٢٠٢١)، والمنتشرة بمناطق متفرقة من حوض وادي سدر، خاصة بمنطقة وادي لبيتشات وادي سن بشر.

كما يساعد التحجير في منطقة رواسب الزمن الرابع، وهي مناطق تجمع رواسب الناتجة عن التعرية المائية من رواسب وديانية شكل (١٦) على تحسين كفاءة عمليات التحجير وزيادة الإنتاجية، نظراً للقدرة على استخراج المواد بشكل أكثر فعالية وسرعة. ويمكن أن تقلل عملية التعرية المائية من التكاليف الإجمالية لعمليات التحجير وتزيد من الربحية للشركات والمنظمات في هذا القطاع من خلال التحسين من جودة المواد المستخرجة وزيادة الإنتاجية.



المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية مقياس ١:٢٥٠٠٠٠٠، هيئة المساحة الجيولوجية

شكل (١٦): المناطق المقترحة لمحاجر الرمال والزلط

وتدخل رواسب الناتجة عن التعرية المائية في استخدامات عديدة، حيث تستخدم كمادة أولية في أعمال البناء والبياض والخرسانة المسلحة، كما تستخدم الرمال أيضًا في صناعة الطوب الجيري والطوب الرملي، ورصف وتعليق الطرق، وتكسية جسور النيل، وتستخدم كذلك بعد صقلها كأحجار زينة، ويفضل أن تكون رمال المبانى والرصف نظيفة وحببياتها حادة الزوايا، كما أن لرمال الزجاج مواصفات كيميائية وطبيعية خاصة، وغالباً ترتفع السليكا في الرمل لتصل إلى أكثر من ٩٠٪ ونسبة المواد الطينية أقل من ٥,٠ ٪ وتتراوح حجم حببياتها ما بين ٠,٥-٢,٠ مم وعند ذلك تكون صالحة كمادة للبناء، كما أن الزلط كثير الاستخدام حسب أحجامه فالأحجام الكبيرة تستخدم بعد تكسيرها في عمليات الرصف، والأحجام المتوسطة تستخدم في الخرسانة المسلحة، والرقيقة في الطوب الأسمنتى المفرغ والبلاطات الخرسانية (علام، ٢٠٠٤).

الخاتمة:

(١) النتائج

. تنوع تكوينات الجيولوجية بحوض وادي سدر بشكل واضح فيحتوي كل تكوين على مجموعة متنوعة من الصخور بمختلف درجات الصلابة. وبفعل التبادل بين الصخور الناعمة والصلبة، فيظهر تأثير عوامل التعرية المائية وعمليات النحت على الصخور الناعمة مثل الطفل والمارل بين الصخور الجيرية الأكثر صلابة، يزيد انتشار ظاهرة التقويض السفلي، تلعب الصدوع دورًا مهمًا في توجيه حركة المياه السطحية وتشكيل مناطق الضعف الطبوغرافي، مما يجذب المياه السطحية. وتتميز صخور الزمن الثالث بحوض وادي سدر بكثرة الشقوق والفواصل، والتي تؤدي إلى عمليات الانزلاق الصخري وتكوين رواسب صخرية ومفتتات حصوية تفرش قاع المجرى الرئيس والمجاري الفرعية للحوض.

. تؤثر خصائص سطح الأرض بشكل كبير على تكوين التربة ونشاط التعرية المائية في حوض وادي سدر. إذ يسهم ارتفاع السطح ودرجة الانحدار واتجاهه في زيادة سرعة الجريان والتعرية، مما ينتج عنه نقل الرواسب من المناطق العالية بمناطق خط التقسيم إلى المنخفضة بالمجرى الرئيس والمروحة الفيضية.

. ترتفع درجة الحرارة السطح في المناطق ذات المنحدرات العالية بالمجرى الرئيسي، مما يجعلها سطوحًا مكشوفة تمتص الحرارة، مما يقلل من رطوبة التربة إلى ٠,١٣، وتزيد رطوبة التربة بمنطقة المروحة الفيضية لتبلغ ٠,٠٣، بفعل قدرتها على احتفاظ مياه الجريان السيلي.

. تتراوح قيم عامل الغطاء النباتي بين ١,٣٢ و ٠,٥٨، فتشير القيم المنخفضة إلى المناطق الجيرية بخط تقسيم المياه بوادي مليحة ووادي سدر وقلعة الجندي، حيث ندرة الغطاء النباتي، مما يجعلها عرضة أكثر للتعرية المائية. في المقابل، يرتفع عامل الغطاء النباتي بالمجرى الرئيسي والأودية الفرعية، حيث ينتشر النباتات الطبيعية، مما يقلل من عرضتها للتعرية المائية. يساهم الغطاء النباتي في امتصاص طاقة قطرات المطر وربط جزيئات التربة.

. بلغ صافي الجريان السيلي بحوض وادي سدر ٢٣١٣,١ ألف م^٣/ثانية، كما بلغت سرعة الجريان ٤.٩ كم/ساعة مع كميات تصريف كبيرة، مما أدى إلى تعرية أجزاء من قاع المجرى الرئيسي من الرواسب والمفككات، وكشف صخور القاعدة الأصلية. كما أسفرت هذه العملية أيضًا عن تآكل الطرق الأسفلتية ونقلها إلى أماكن بعيدة عن مواقعها.

. هناك تباين بخصائص التربة والظروف البيئية بحوض وادي سدر مما أثر قابلية التربة للتعرية، حيث تظهر القيم المرتفعة للتربة الرملية والرملية الغرينية بسبب ارتفاع نسبة الرمال وزيادة النفاذية، مما يزيد من تأثيرها بعوامل التعرية المائية.

. توجد المناطق المعرضة لتعرية التربة المحتملة سنويًا طبقاً لنموذج RUSLE على شكل شريط طولي ممتد بموازاة خط تقسيم المياه من الشمال الغربي من قلعة الجندي إلى منطقة خروج المروحة الفيضية بطول ٣٠ كم.

. يشير سيادة فئات الحصى الخشن جدا بأراضي مجاري وادي الدليجة وسن البشر إلى عدم قدرة الوادي على حملها للتسرب في المنطقة العليا والوسطى من الحوض، في حين انجرف الحصى الأصغر حجماً بفعل سرعة التيار المائي نحو مصبات الأودية الفرعية، كما تنتشر التشققات الطينية بالمجرى الرئيسي لحوض وادي سدر والمجاري الفرعية، حيث تظهر على شكل رقائق طينية بوادي ليتشات كدلائل بيوجغرافية للتعرية المائية بحوض

وادي سدر .

. تنتشر الزراعات غير التقليدية بالمروحة الفيضية التي تعتمد على أحدث الطرق الحديثة بالرى بالتنقيط بحوض وادي سدر، كما يمكن الاعتماد على التنمية المستدامة بقطاع تحجير الرمال والزلط برواسب الزمن الرابع بمنطقة الدراسة .

(٢) التوصيات:

يتطلب تطوير التنمية المستدامة في المناطق المعرضة لخطر التعرية المائية للتربة مجموعة من الإجراءات والتدابير لتقليل تأثيرها، ويجب أن تتبنى هذه الإجراءات والتدابير بشكل شامل ومستدام لضمان حماية المجتمعات المعرضة للخطر، وتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية في تلك المناطق. لذا كان من الضروري وضع خطة شاملة ومتكاملة للتنمية المستدامة بحوض وادي سدر والحماية من أخطار التعرية المائية عن طريق إقامة منشآت دفاعية كالسدود والخزانات.

وقد تبين من الدراسة الميدانية تعرض العديد من الاستخدامات البشرية لخطر السيول وخاصة الطرق والتي تمثل الركيزة الأولى التي تعتمد عليها أي تنمية مستدامة، حيث نتج عنها تدمير أجزاء كاملة من الطرق (لوحة ١١)، بالإضافة إلى غلق العديد من المواسير (البرايخ) سواء عن طريق رواسب السيول عن طريق تراكم الرواسب الكبيرة والخشنة داخل المواسير لصغر قطرها، أو انتشار الأعشاب والنباتات بها (لوحة ١٢)، مما تتسبب في التقليل من كفاءة وسيلة الحماية في تمرير مياه الجريان السيلي (شكل ١٧).

وبناءً على ذلك اعتمدت الدراسة في اختيار أنسب المواقع لإنشاء السدود على دراسة (آل سليمان، ٢٠١٦) في تحديد مواضع السدود من خلال تحديد ثمانى معايير وهى

كالتالى :



المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

لوحة (١١): اثر تعرض الطرق لخطر السيول بحوض وادي سدر



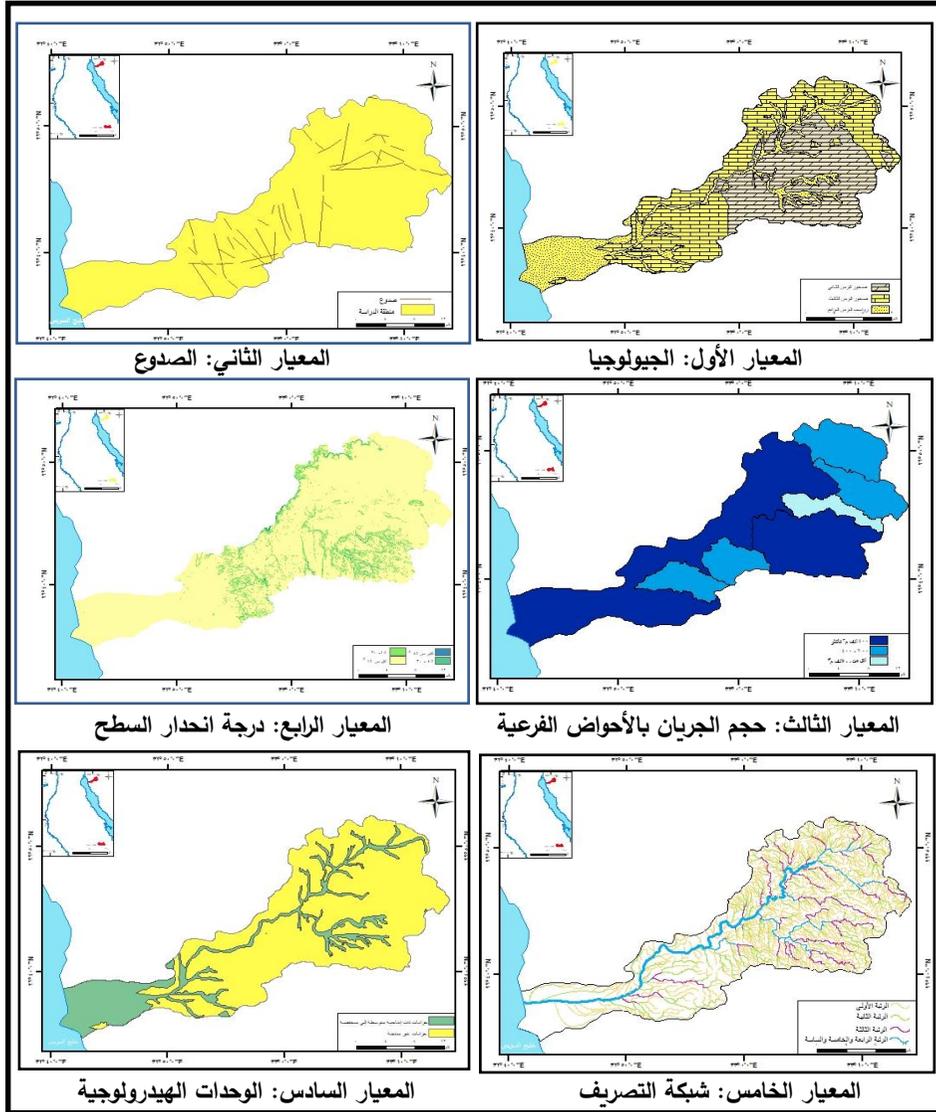
المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

لوحة (١٢): عدم تطهير وصيانة وسائل الحماية من السيول من الرواسب والنباتات على جانبي الطرق بحوض وادي سدر

- **معيار الجيولوجي** : تتكون منطقة الدراسة من صخور العصر الزمن الثاني والثالث مثل: تكوين جلاله وتكوين ضوى وتكوين سدر التي تغطي معظم منطقة الدراسة. ويهدف هذا المعيار إلى ضرورة أن تكون مواضع السدود المختارة على أراضي

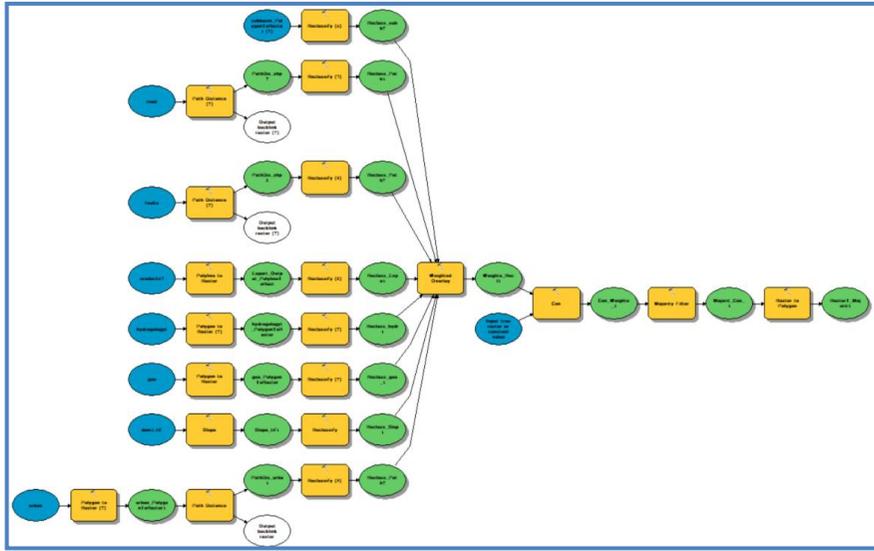
- صخرية صلبة مع الابتعاد بقدر الإمكان عن رواسب الزمن الرابع من رواسب الحمادة النهرية ورواسب الفانجلوميرات، ورواسب الويادنية الضعيفة غير المتماسكة.
- **معييار الصدوع:** يجب أن تقع مواضع السدود على مناطق صلبة بعيدة غير متأثرة بالحركات التكتونية مثل الصدوع، وقد تم تحديد مسافة ١٠٠ متراً كحد أقصى يجب ألا تتجاوزها السدود. وكلما زاد الابتعاد عن هذه المسافة كان الموقع أكثر ملائمة لإقامة السد، والعكس صحيح.
- **معييار درجة انحدار السطح:** تُقام السدود على مناطق ذات انحدار هين، حيث يمكن أن يؤدي الانحدار الشديد إلى التعرية المائية بفعل الجريان السيلي، تم تحديد درجة الانحدار التي تتراوح بين صفر و ١١ درجة وفقاً للمعايير العالمية (الكفري، ٢٠٠٨).
- **معييار حجم الجريان السيلي بالأحواض الفرعية:** يُعتبر هذا المعيار أحد المعايير الرئيسية المحددة لمواقع بناء السدود استناداً إلى تطبيق نموذج Hec-1 ، أظهرت الدراسة أن وادي الدليجة والمجرى الرئيس يتيح إنشاء سدود عليهما مع تخزين كميات كبيرة من المياه لنقلها عبر قنوات أو أنابيب إلى أماكن التجمعات البدوية والرعى.
- **معييار شبكة التصريف:** تم الإعتماد على روافد الرتب الأعلى والتي تجمع بها كميات مناسبة من المياه ملائمة لحجزها في السدود، وتشمل رتب الروافد الأولى والثانية والثالثة.
- **معييار الوحدات الهيدروجيولوجية:** تتراوح نفاذية الصخور في حوض وادي سدر بين المتوسطة والمنخفضة. وتم إعطاء الأولوية للمناطق ذات النفاذية المتوسطة كمواضع لإنشاء السدود، لتكون مصادر لتجديد تغذية الطبقات الحاملة للمياه الجوفية.
- **معييار العمران:** يقتصر وجود العمران على منطقة المروحة الفيضية للحوض، والتي تم معالجتها داخل النموذج على اعتبارها مناطق تحتاج إلى حماية.
- **معييار الطرق:** تم التطرق من قبل إلى أن حوض وادي سدر يتمتع بشبكة جيدة من الطرق الممهدة والعادية بطول ٦٠ كم، وقد تم بناء هذا النموذج على اعتبارها مناطق تحتاج إلى حماية خاصة حيث إنها مهددة بصورة مباشرة بخطر الجريان

السلي، وقد تم تحديد الوزن النسبي للمعايير المدخلة في النموذج، وذلك بإعطاء كل معيار وزناً حسب درجة تأثيره وأهميته في تحديد الموقع المناسب لإقامة السدود (شكل ١٨).



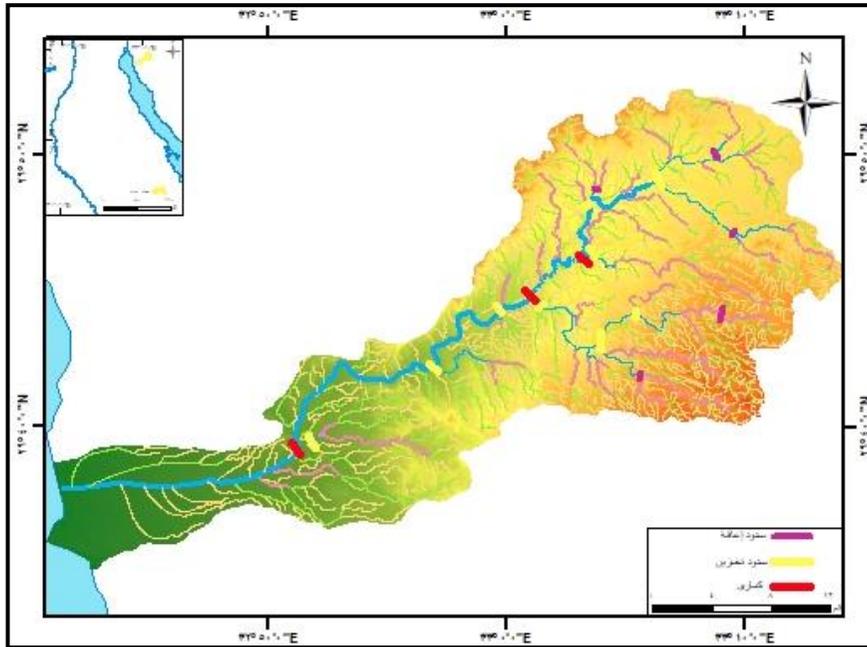
المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد على برنامج Arc GIS 10.8 و WMS

شكل (١٧) معايير تحديد أنسب مواضع السدود بحوض وادي سدر



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على برنامج Arcgis 10.8

شكل (١٨) النموذج المقترح لتحديد أنسب المواضع لإقامة السدود بحوض وادي سدر



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على شكل (١٧)

شكل (١٩) وسائل حماية من التعرية المائية بحوض وادي سدر

وقد تم تصنيف أعمال الحماية بما يتناسب مع الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي سدر على النحو التالي :

- **سدود إعاقاة:** هي سدود حجرية تهدف إلى إضعاف قوة التعرية المائية وتقليل سرعتها، وتخزين المياه مؤقتاً أمام اسد، وعندما تتزايد كمية الأمطار، يتم تجاوزها، مما يتيح الفرصة لرفع مستوى تغذية المياه الجوفية (حسن، ٢٠١٩). وتشمل ٤ سدود إعاقاة بالروافد العليا لوادي المليجة ووادي الديابة أحد روافد وادي الديسة بالإضافة إلى منابع وادي الدليجة والمجرى الرئيس في أقصى الشمال الغربي من حوض التصريف وتعمل هذه السدود على تغذية الخزان الجوفي في التربة التي تقع عليها، وهي تتميز بدرجة نفاذية عالية (شكل ١٩).
- **سدود الحماية والتخزين:** تُنشأ بهدف حماية كافة الأنشطة البشرية بصفة عامة وتخزين المياه للاستفادة منها في الزراعة والرعي وتوصيلها لمناطق التجمعات البدوية. وتضم ٩ سدود بمصببات الأحواض الفرعية بمصب وادي الدليجة ووادي الديسة ووادي المليجة ووادي سن البشر، بالإضافة إلى إقامة سدود داخل حوض وادي الدليجة على رافد وادي المرة ورافد وادي الأثامى لحجز كميات من المياه تصل إلى ٦٤٣ ألف م^٣ من المياه، مما يتيح إنشاء خزانات سطحية أمام السدود والاستفادة منها في الزراعات المحمية والرعي وعمليات التحجير، ومقترح لإنشاء سد عند بداية المروحة الفيضية لحماية مدينة رأس سدر والأراضي الزراعية المستصلحة.
- **إقامة بوابخ ومخزرات السيول:** يقترح النموذج إقامة بوابخ على أماكن تقاطع طريق رأس سدر - صدر حيطان مع مصبات الأحواض الفرعية، بحيث تكون هذه البوابخ مناسبة لحجم التصريف، مع شرط التطهير المستمر وخاصة عقب كل سيل، أو استبدال المواسير بالأنفاق الخرسانية لجودتها الأعلى. بالإضافة إلى إنشاء مخز السيول عند مخرج الحوض لينتهي بخليج السويس.

المراجع والمصادر

أولاً: المصادر

- تتوعت المصادر التي اعتمدت عليها الدراسة فشملت ما يلي :
- (١) الخريطة الجيولوجية مقياس ١ : ٢٥٠٠٠٠٠، إصدار هيئة المساحة الجيولوجية المصرية لشبة جزيرة سيناء Sheet No. 2 لسنة ١٩٩٤م.
 - (٢) الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠٠٠٠٠ لوحات رأس سدر، سن بشر، جبل سمار، جبل الزرافة ، جبل الراحة إصدار هيئة المساحة العسكرية عام ١٩٩٣ م.
 - (٣) خريطة تصنيف التربة لسيناء، أكاديمية البحث العلمي قسم الأراضي عام ١٩٩٠ م.
 - (٤) مرئية فضائية 8 Lansat عام ٢٠٢٤ لمنطقة الدراسة.
 - (٥) معهد بحوث الصحراء (٢٠٢٢): دراسة التربة وسط وشمال سيناء، تقرير غير منشور.
 - (٦) مركز المعلومات ودعم القرار بمحافظة شمال سيناء(٢٠٢١): أعمال التحجير بمحافظة شمال سيناء، تقرير غير منشور.
 - (٧) نموذج ارتفاعات رقمية DEM دقة ١٢,٥ متراً لحوض سدر،
 - 8) United States Geologic Service (2023) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global Data. Available online: <https://earthexplorer.usgs.gov/SRTM1Arc> (Accessed on 6 October 2023)
 - 9) Egyptian Meteorological Authority (2016): Egypt Climate Normals for Meteorological Surface Stations from 1981 to 2010, Cairo.

المراجع العربية:

- (١) أبورية، أحمد محمد (٢٠١٩): التقدير الكمي لتعرية التربة بحوض وادي سنور دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والإستشعار عن بعد، مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، العدد ٢٠.
- (٢) أحمد، سحر نورالدين توفيق (٢٠٢١): النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة في المنطقة فيما بين رأس حولة ورأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر دراسة

- في الجيومورفولوجية التطبيقية، مجلة كلية الآداب ، جامعة الفيوم ، مجلد ١٢ ، العدد ١ .
- ٣) آل سليمان، فايز بن محمد (٢٠١٦) : استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم مواضع اليدود لتمسة حصاد المياه في منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية ، مجلة منشورات علوم جغرافية ، تونس .
- ٤) بشندي، شربات عطية عوض (٢٠١٨): مشكلات التربة في منخفض الخارجة : دراسة جغرافية باستخدام الاستشعار عن بعد وظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراة غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة القاهرة .
- ٥) التلاهين، محمد سليمان (٢٠١٨): تقدير الناتج الرسوبي في حوض وادي الوالة باستخدام نموذج RUSLE ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير، جامعة مؤتة، الأردن .
- ٦) حسن، هويدا توفيق (٢٠١٩): النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي أم عدوى بجنوبي سيناء وأثره في التنمية باستخدام برنامج WMS بتطبيق طريقة SCS-CN، مجلة كلية الآداب ، جامعة السويس .
- ٧) خضر، محمود محمد (١٩٩٧): الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسية في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل ، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب، جامعة عين شمس .
- ٨) الدسوقي، صابر أمين (١٩٩٥): جيومورفولوجية الجانب الشرقي لحوض النيل فيما بين الصف وحلوان، مجلة كلية الآداب، جامعة الزقازيق فرع بنها، العدد الرابع .
- ٩) الديب، حسين سعد (١٩٩٨): حوض وادي سدر بشبه جزيرة سيناء، دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا كلية الآداب، جامعة الإسكندرية .
- ١٠) الساعاتي، باسم عبدالعزيز (١٩٩١): أسس الجغرافيا الطبيعية، دار الأنجلو المصرية .
- ١١) السعدني، عادل عبدالمنعم (٢٠١٤): الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبي

- الغربي من طريق رأس سدر/ صدر الحيطان دراسة جيومورفولوجية، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة قناة السويس، عدد ٩.
- ١٢) الشريفات، هاشم (٢٠٢٣): تقدير قابلية التربة للانجراف في حوض وادي راجب باستخدام نموذج المعادلة العالمية RUSLE، مجلة جامعة النجاح للأبحاث - العلوم الإنسانية، جامعة النجاح الوطنية، مجلد ٣٧ العدد ٥.
- ١٣) صابر، أحمد إبراهيم محمد، وحسن، هويدا توفيق، والبنبا، أميرة محمد (٢٠٢٢): التقييم الجيوهيدرولوجي لزمن التركيز وتأثيره على الجريان السيلبي على الحافة الشرقية لهضبة الجلالة البحرية، مجلة كلية الآداب، جامعة الوداي الجديد، المجلد ٨، العدد ١٢. <https://doi.org/10.21608/mkwn.2022.303951>
- ١٤) علام، عبدالله علام عبده (٢٠٠٤): الأثار الجيومورفولوجية والبيئية لعمليات التحجير دراسة حالة القاهرة الكبرى، مجلة كلية الآداب، جامعة المنصورة، العدد ٣٥.
- ١٥) علي، متولى عبدالصمد عبدالعزيز (٢٠٠١): حوض وادي وتير شرق سيناء دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراة غير منشورة ، جامعة القاهرة.
- ١٦) فايد، يوسف عبدالمجيد (١٩٦٤): المناخ والانسان ، دار الطباعة الحديثة .
- ١٧) الكفري، عبدالمجيد (٢٠٠٨): ف لتجميع مياه الأمطار والسيول، الملتقى الدولي جيوتونى، تونس.
- ١٨) الكومي، عبدالرازق بسيوني(٢٠٠١): منطقة جبل حماطة بالصحراء الشرقية بين وادي الجمال شمالاً ووادي لحمى جنوباً دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب، جامعة طنطا.
- ١٩) ليليافسكى، سيرج (١٩٦٦): الهيدروليكا النهرية (ترجمة عبد الفتاح فهمي)، الدار القومية للطباعة والنشر، القاهرة .
- ٢٠) محسوب، محمد صبرى (٢٠٠١): أطلس الجيومورفولوجي معالجة تحليلية للشكل والعملية، دار الفكر العربى.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- 1) Almouctar, M. A., & Dossou, J. F. (2021): Soil erosion assessment using the RUSLE Model and geospatial techniques

- (Remote sensing and gis) in south-central Niger (Maradi region), Water journal, volume 12, issue 24 (Switzerland), 13(24). <https://doi.org/10.3390/w13243511>.
- 2) Ball, J., (1916): The Geography and Geology of West Central Sinai, Geol. Survey, Cairo.
 - 3) El- shayeb, H. M. (2001): Geophysical contribution to the groundwater potentiality at wadi sudr.Sinai. The 6 the conference Geology of Sinai for development. Ismailia pp. 97-107.
 - 4) Fabbri, K. (1991): The Use of Geomorphic Information Systems and Remote Sensing Analysis for the assessment of soil erosion hazards. A case study in Central Bolivia. ITC, Enscheda, Netherlands. <http://www.itc.nl>.
 - 5) Ganasri B.P., & Ramesh H., (2016): Assessment of soil erosion by RUSLEmodel using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin, Geoscience Frontiers journal, Vol.7 , Issue 6.
 - 6) George G., Kumar. K. S., & Hole, R. M (2021): Geospatial Modelling of Soil Erosion and Risk Assessment in Indian Himalayan Region —A Study of Uttarakhand state”, Environmental Advances, Vol, 4, pp.1-14
 - 7) <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=2093>.
 - 8) Karaburun, A., (2010): Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. Ozean Journal of Applied Sciences 3 .
 - 9) Kebedea, S. K (2021): Modeling Soil Erosion Using RUSLEand GIS at Watershed Level in the Upper Belts, Ethiopia", Environmental Challenges, Vol, 2, pp.1-9.
 - 10) Masoud, A. A., (2011): Runoff modeling of the Wadi systems for estimating flash flood and groundwater recharge in Southern Sinai, Egypt: Arab Journal of Geosciences, Vol. 4 : Issue 5-6, pp. 785-801.
 - 11) Moore, I. D., & Burch, G.J., (1986): Modelling erosion and deposition: topographic effects. Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.) 29 (6), 1624–1630.
 - 12) Saber, A. I., & Hassan, H. T. (2023): Engineering

- Geomorphology and Geotechnical Assessment of Wadi Abu Daraj, El-Galala El-Bahariya Plateau Using Geomatics Applications, *Journal of the Faculty of Arts Port Said University*, 23(23), 171-225. doi: [10.21608/jfpsu.2022.142815.1197](https://doi.org/10.21608/jfpsu.2022.142815.1197)
- 13) Shinde V., Sharma A., & Singh M., (2011): Quantitative determination of soil erosion and prioritization of micro-watersheds using remote sensing and GIS. *J Indian Soc Remote Sens* 39(2):181–192. <https://doi.org/10.1007/s12524-011-0064-8>.
- 14) Wawer, R., Nowocień, E., & Podolski, B. (2005): Materials and Methods Model Experiments for Simulated Sprinkling of Soils Real and Calculated K USLE Erodibility Factor for Selected Polish Soils. In *Polish Journal of Environmental Studies* (Vol. 14, Issue5).
- 15) Wawer, R., Nowocień, E., & Podolski, B. (2005): Materials and Methods Model Experiments for Simulated Sprinkling of Soils Real and Calculated K USLE Erodibility Factor for Selected Polish Soils. In *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 14, Issue5.
- 16) Williams, J. R., (1995): The EPIC model. In: V. P. Singh (Ed.), *Computer Models of watershed hydrology*. Chapter 25: pp 909-1000. Water Resources Publications, Littleton, CO.
- 17) Wischmeier W. H., & Smith D. D., (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of Rocky Mountains. *USDA Agricultural Handbook*.