مجلة كلية الآداب جامعة بورسعيد
https://jfpsu.journals.ekb.eg/

P-ISSN: 2356-6493 E-ISSN:2682-3551

النمذجة المكانية للتعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر باستخدام تقنيات الجيوانفورماتيكس

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 الجيوانفورماتيكس

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 الجيوانفورماتيكس 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 سنويًا بحوض وادي سدر، وقد ساعد التحقق الميداني من التأكد من ذلك، ورصد بعض الدلائل والظاهرات 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، جيوانفورماتيكس.

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 RUSLEmodel 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 رئيسين، 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 الملائمه 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 مؤشرًا مهمًا يجب أخذه في الاعتبار، خاصة في ظل اتجاه الدولة نحو زيادة مساحات الأراضي المستصلحة. فهي تُعَدُّ 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 (أبوراية، ٢٠١٩).

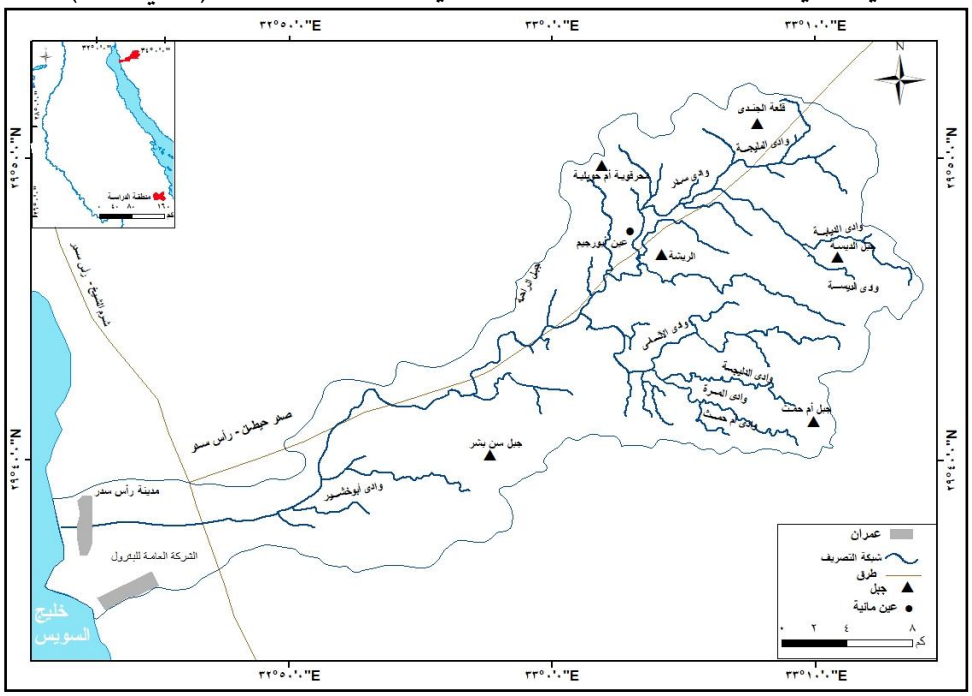
وتوصف التعرية المائية للتربة بأنها أسوأ أشكال تدهور الأراضى لما لها من تداعيات بيئية واجتماعية واقتصادية خطيرة تؤثر على استدامة الموارد والمحافظة البيئية عليها، وتوفر النمذجة نهجاً كمياً لتقدير تعرية التربة وخاصة بأحواض التصريف وعائد الرواسب فى ظل مجموعة واسعة من المتغيرات (Ganasri and Ramesh, 2016).

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، والذى 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 النباتى بحوض التصريف، وذلك للتقدير الكمي للرواسب

المفقودة بفعل التعرية المائية.

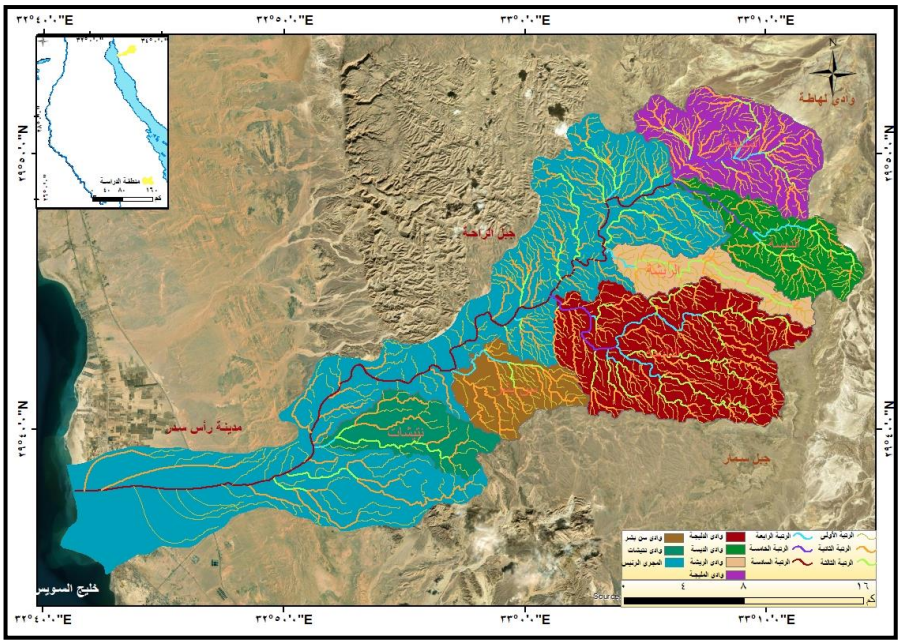
منطقة الدراسة:

يمتد حوض وادي سدر بالقرب من النطاق الغربى من هضبة التيه ليقع المصب بمدينة رأس سدر على الجانب الشرقي لخليج السويس، ويقع احداثيًا بين دائرتي عرض ٥٢″ ٣٤ ´ ٢٩ ° و ٥٨″ ٥٢ ´ ٢٩ ° شمالاً وبين خطى طول ٥٣″ ٤٠ ´ ٣٢ ° و ١٥″ ١٤ ´ ٣٣ ° شرقاً، ويغطى الحوض مساحة ٦٤٩,٦كم٢، ويحده من الشمال وادي لهاطة أحد روافد وادي العريش وجبل الراحة ومن الجنوب وادي وردان وجبل سمار (شكلي ١و٢).



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

شكل (١) أهم المعالم الجغرافية بحوض وادي سدر



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 السلى وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية بالمنطقة.
- دراسة (السعدنى، ٢٠١٤): وموضوعها "الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبى 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 RUSLEضمن 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 الكمى لتعرية التربة بحوض وادي سنور دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد" وتناولت شرح وتحليل النماذج المستخدمة والملامح الطبيعية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي سنور بالاضافة إلى نتائج تطبيق نموذج التعرية المائية والريحية للتربة.
- دراسة (أحمد، ٢٠٢١): موضوعها "النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة فى المنطقة فيما بين رأس حولة ورأس علم الدين بالساحل الشمال الغربى لمصر دراسة فى الجيومورفولوجية التطبيقية" وتناولت التقدير الكمى لانجراف التربة ومطابقتها بخرائط استخدام الأرض، وتحديد التوزيع المكاني للمناطق حسب قابليتها للانجراف، وتحديد أنماط هذا الانجراف. وتم إعداد مصفوفة المتغيرات الخاصة بالمعادلة والتى 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 Sentinle-2، والبيانات المطرية، داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

أهداف الدراسة:

- إيضاح التكامل بين دور نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد فى الدراسات البيدوجغرافية، مثل: التقدير الكمى للتعرية المائية وإبراز العلاقة بين خصائص حجم الجريان وتعرية التربة.
- إبراز أهم المتغيرات المكانية المؤثرة فى التعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر والقياس الكمى والمورفومتري لها.
- تحديد مناطق التعرية المائية للتربة والدلائل البيدوجغرافية، وربطها بالتنمية 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 المكانى سواء في الخصائص المورفولوجية أوالمورفومترية أوالميكانيكية للتربة، وذلك لإبراز أهم الأماكن التى تتعرض فيها التربة للتعرية المائية، وتقدير حجمها، ومدى قابليتها لفقدان أجزاء منها، لمعرفة تأثير ذلك على التنمية المستدامة بحوض وادي سدر.

أساليب الدراسة:

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

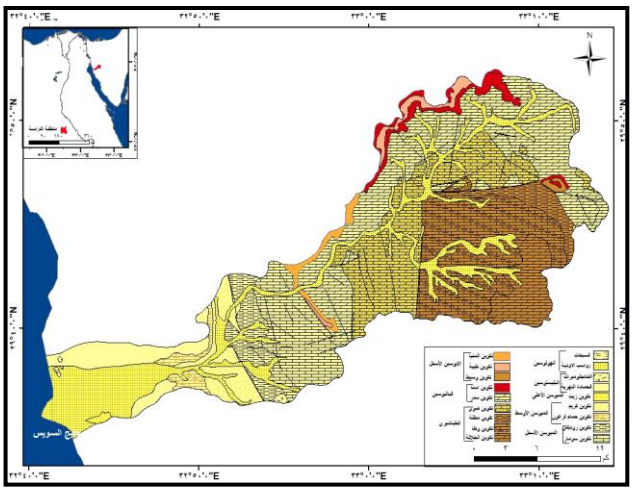
أولاً: النمذجة المكانية لعوامل وعمليات التعرية المائية للتربة بحوض وادي سدر:

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.

١) الخصائص الجيولوجية:

تظهر الخصائص الجيولوجية بمنطقة الدراسة مدى التعقد الجيولوجي بها فتضم صخور الزمن الثانى التي أصابتها العمليات البنائية بجانب الصخور الرسوبية المعرضة لعمليات التعرية والتجوية، بالإضافة إلى الرواسب المفككة التي تنتمي للزمن الرابع، وقد تبين من شكل (٣) وجدولى (١ و٢) ولوحة (١) ما يلي:

- تغطي تكوينات الزمن الثاني ٣٦٪ من إجمالي مساحة وادي سدر، وتضم ٤ تكوينات، سجلت أعلى نسبة لتكوين وطا (عصر الطباشيرى)، والتي بلغت ١٤,٠٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وهو عبارة عن حجر جيرى بنى مائل للصفرة، ويمثل المنابع العليا لوادي الأثامى ووادي أم حمث فى الجنوب الشرقى لوادي سدر، يليه في الترتيب تكوين ضوى بعصر الطباشيرى بنسبة ١٤,٧٪ ويتكون من طبقات متبادلة من الصخور الفتاتية والصخور الجيرية، وينتشر بجبل الريشة والمجرى الرئيس لوادي سدر. أما باقي التكوينات فكانت نسبتها ضعيفة مثل تكوين جلالة (٤,٦٪) ويتألف المارل وصلصال لونهما أصفر مائل للخضرة (Ball, 1916)، وتكوين مطلة (٢,٧٪) والذى يتألف من حجر جيري طييني ومارل وطفل.



المصدر : إعداد الباحثة بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية مقياس ١: ٢٥٠٠٠٠، هيئة المساحة الجيولوجية، ١٩٩٤.

شكل (٣) الخصائص الجيولوجية لحوض وادي سدر

جدول (١) التكوينات والرواسب الجيولوجية بحوض وادي سدر

الزمن	العصر	التكوينات والرواسب	المساحة كم٢	المساحة ٪
الرابع	الهولوسين	السبخات	٠,٥	٠,١
		الاودية	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
	الميوسين الأوسط	كريم	٢٢,٩	٣,٥
		حمام فرعون	٩,٢	١,٤
	الميوسين الأسفل	روديس	٢٢,٩	٣,٥
		سومار	٥٤,١	٨,٣
	الايوسين الأسفل (الليبى الأعلى)	المنيا	٨,٠	١,٢
		طيبة	٨,٣	١,٣
		وسيط	١,٦	٠,٣
	الباليوسين (الليبى الأسفل) الباليوسين	تكوين اسنا	١٦,٣	٢,٥
		تكوين سدر	١٣٦,٤	٢١,٠
الزمن الثانى	الطباشيرى	تكوين ضوى	٩٥,٥	١٤,٧
		تكوين مطلة	١٧,٦	٢,٧
		تكوين وطا	٩٠,٥	١٤,٠
		تكوين جلالة	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 التى يطلق عليها أراضى شديدة الوعورة (الديب، ١٩٩٨)، وينتشر هذا التكوين بحوض وادي ليتشات والضفة الشرقية للمجرى الرئيس لحوض وادي سدر (لوحة ١). يليه تكوين سومار (عصر الميوسين) بنسبة ٨,٣٪، والذى يتألف من حجر جيري أصفر ومارل ذو قاعدة كونجلوميراتية, وينتشر جنوب وجنوب شرق جبل سن البشر (لوحة ١). ويشكل هذا التكوين جزءًا ضيقًا 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، والذى يتألف من حجر جيري 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 الأنهيدريت وأحياناً من الحجر الجيرى، وطبقات بينية مارلية، وأخيرًا يشمل تكوين الزيت صخور الانهيدريت التي تحتوي علي الجبس وتتداخل مع المارل والحجر الرملي.

- تغطي رواسب الزمن الرابع ٢٠,٨٪ من إجمالي مساحة حوض وادي سدر(لوحة١)، 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، وهى عبارة عن خليط من الرواسب المفككة من الحصى والجلاميد بالإضافة إلى الرمال الناعمة، وتختلف طبيعة هذه الرواسب حسب طبيعة وخصائص الصخور التى اشتقت منها، فتكثر الجلاميد والحصى فى قيعان الأودية التى تعبر مناطق الصخور النارية، بينما تظهر فى شكل خليط متنوع من الصخور (نارية – متحولة – رسوبية) في تلك الأودية التي تمتد منابعها فى مجموعة تلك الصخور المتباينة وتتوزع تلك الرواسب فى الأودية الصدعية الضيقة والأودية المتشعبة فتفترش قيعان الأودية من منابعها وحتى مصباتها، كما أن عمليات التجوية والإنهيارات الأرضية ساهمت فى ارتفاع نسبة المفتتات ذات الأحجام الكبيرة وتوجد هذه الرواسب في الأودية الفرعية فتغطى وادي المليحة، ووادي عين أبورجيم، ووداى عين الديسة. أما رواسب الحمادة النهرية فهي تأتي في الترتيب الثاني بعد رواسب الأودية والتي تنتمي إلى عصر البليستوسين، وهى عبارة عن كميات هائلة من المفتتات الصخرية الناتجة عن فعل عوامل التعرية الشديدة للحافات الصخرية، والتى 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 اثرت الصدوع وكثافتها فى توجيه حركة المياه السطحية، وتشكل نطاقات ضعف فى السطح، مما سهل عمل التعرية المائية (أبورية، ٢٠١٩). وقد بلغ عدد الصدوع بمنطقة الدراسة ٤٨ صدعاً (شكل٣) ذات الاتجاه الشمالى - الجنوبى بنسبة ٤١,٧٪ من إجمالي عدد الصدوع بمنطقة الدراسة، بمجموع اطوال 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 (جدول٢)، وقد أثرت تلك الصدوع فى 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 و٢٠متراً، كما يتراوح اتساعها بين ٢٠ سم و ١٠٠سنتيمتر تقريبًا (لوحة٢).

المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤

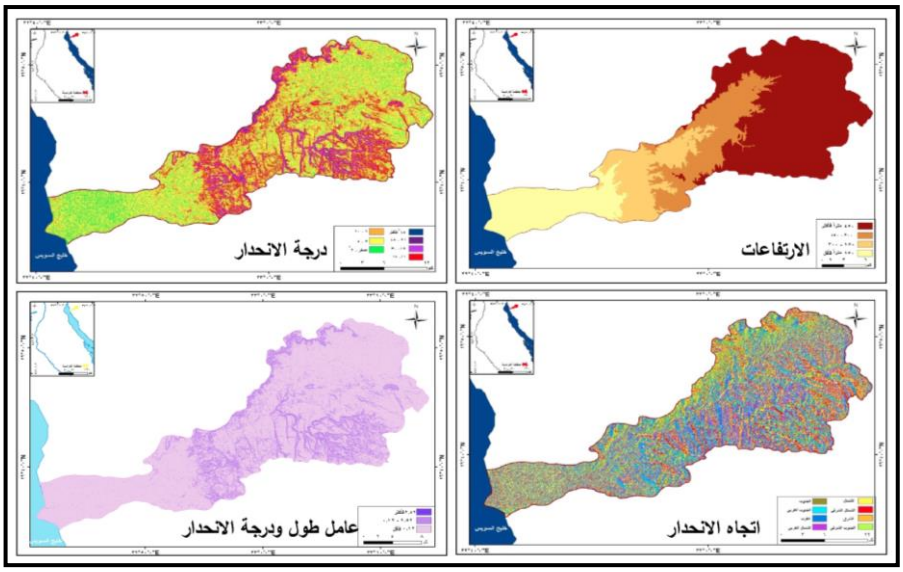
لوحة (٢) انتشار الفواصل بصخور حوض وادي سدر

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 تأثرها 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 - وهى معظمها صخور جيرية – بكثرة الشقوق والفواصل. وتتميز الفواصل بأنها تسود على جانبيها عمليات التجوية وعوامل التعرية المختلفة، كما تؤدى 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 الطبوغرافى 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 الرقمى STRM بدقة ١٢,٥ متراً

شكل (٤) بعض الخصائص التضاريسية بحوض وادي سدر

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

- تبلغ مساحة الأراضى التى يزيد ارتفاعها على ٤٥٠ متراً ٥٠,٧٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة وتضم مناطق خط تقسيم المياه لوادي الديابة بمنطقى جبل الديسة، ومنابع وادي المليحة، ومنطقة قلعة الجندى، فى دلالة واضحة على زيادة سرعة الجريان، وبالتالى زيادة معدلات التعرية، أما الارتفاعات المنخفضة فتتمثل بمنطقة المروحة الفيضية والتى يقل ارتفاعها عن ١٥٠ متراً بنسبة ١٦,١٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، فيؤدى 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، فتغطى الأراضى التى يزيد درجة انحدارها على ٤٥ ° مساحة ٠,١٪، وتتمثل فى معظم جوانب المجرى الرئيس كما تتراوح مساحة الأراضى التى يتراوح درجة انحدارها بين ١١°و ١٨° نحو ١٦٪ من إجمالي مساحة حوض التصريف، وبالتالي يزيد هذا من مقدار التعرية المائية للتربة، من خلال تسريع تدفق مياه السيل وتعرض الصخور للتأثير المباشر للأمطار والتيارات

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

- يلعب اتجاه الانحدار دوراً حاسماً فى 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 الجنوبى– الشرقى الشمالى بإجمالي مساحة تبلغ ٢٧,٦٪ من إجمالي مساحة حوض وادي سدر، بالإضافة إلى ذلك يتخذ وادي المليجة اتجاه الشمالي – الجنوبي.
- يشير العامل الطبوغرافي (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 تاثير التعرية على انحدار المجرى (Almouctar, 2021) إذ أن ارتفاع القيم يعمل على زيادة الجريان السيلي وحمل كميات هائلة من الرواسب مما يزيد من فعل التعرية ويصبح سطح حوض التصريف مكشوفًا لعوامل التعرية من أمطار ورياح وقد تم الاعتماد على المعادلة التالية[١]:

$$LS = Power \{(FA) \times cell\ size\ of\ DEM / 22.13\}^{0.4} \times power (\sin((slope) \times 0.01745 / 0.09)^{1.3}$$ (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 و٢,٥.

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 تسطحًا 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 فى سرعة التحلل الكيميائى للتربة (الساعاتى، ١٩٩١). وقد تم الاعتماد في دراسة الخصائص المناخية على محطات السويس، ورأس سدر، سانت كاترين، (جدول٣) و (شكل٥).

أ) درجة الحرارة:

تتباين معدلات درجة الحرارة بحوض وادى سدر، حيث سجلت منطقة المنابع أدنى متوسط سنوى للحرارة ٢٢,٦ ° فأقل، وتغطى درجة حرارة التى تتراوح بين٢٢,٦ ° و٢٣ ° معظم منطقة الدراسة، حيث تمثل ٦٠,٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، تليها درجة الحرارة التى تتراوح بين ٢٣ ° و٢٣,٤ °والتى تغطى مساحة تبلغ ١٣٤ كم^{٢}

ليغطى الجزء الأوسط من المجرى الرئيس لوادي سدر، ثم ترتفع متوسط درجات الحرارة فى منطقة المصب لتبلغ ٢٣,٨ ° فأكثر بمنطقة المروحة الفيضية للوادي. ليتزايد معدلات التبخر بزيادة درجات الحرارة؛ مما يؤدى إلى تقليل من محتوى التربة من الرطوبة لتصبح رواسب هشة مفككه 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	العناصر المناخية	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوى
السويس	متوسط درجة الحرارة (مئوية)	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	٠,٠٢	٠,٥٦	١,٢٤	٢,٢٣	١٣,٩٣
رأس سدر	متوسط درجة الحرارة (مئوية)	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 (مئوية)	٨,٠٣	٨,٩٨	١١,٨٠	١٧,٥٨	٢١,٦٧	٢٤,٥١	٢٥,٧٧	٢٥,٦٧	٢٣,٥٨	١٩,٥٧	١٣,٩٤	٩,٧٩	١٧,٥٧
	الرطوبة النسبية (٪)	٤٦,٠	٤٢,٠	٣٥,٠	٢٨,	٢٧,٠	٢٩,٠	٢٩,٠	٣١,٠	٣٣,٠	٣٦,٠	٤٠,٠	٤٣,٠	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 السنوى للامطار (مم)	عامل تعرية المطر (R)
السويس	١٣,٩٣	١٢,٠
رأس سدر	١٢,٦٥	١٠,٩
سانت كاترين	٢٦,٣٤	٢٢,٧٨

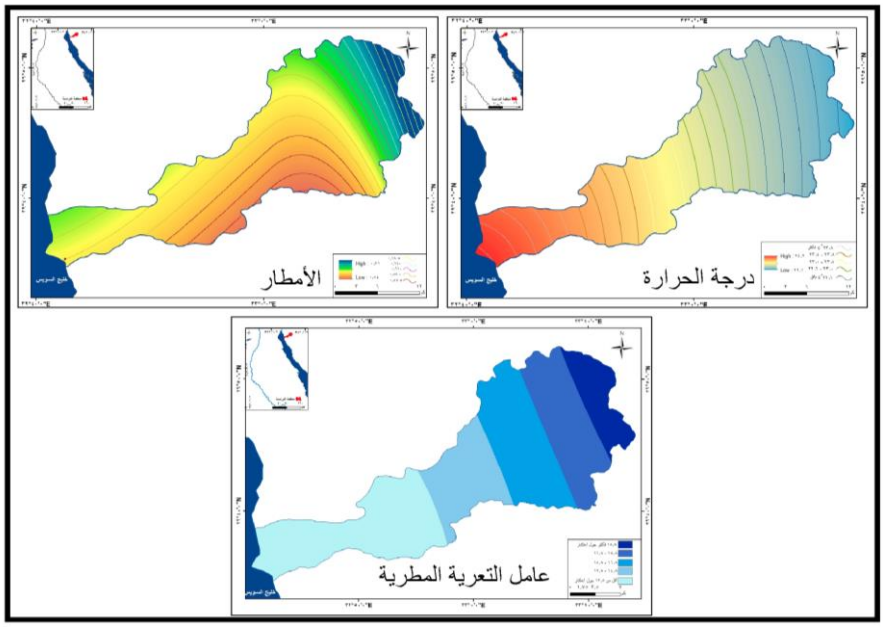
المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على معادلة معامل المطر.

ب) الأمطار وعامل التعرية المطرية بحوض وادي سدر:

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

تنعدم 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 ١/٢٦/ ١٩٩٠، كما بلغت أكبر كمية مطر سقطت في يوم واحد بمحطة رأس سدر ٢١,٢٠مم 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 المنابع لحوض التصريف بمنطقة قلعة الجندى وجبل الديسة للتناقص تدريجياً بإتجاه الجنوب الشرقى بمنطقة جبل سن بشر، كما أستحوذت الفئة التى تتراوح بين ٠,٥٨ و ٠,٦١مم 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 التى تؤثر فى

حدوث تعرية التربة، ويمكن حساب عامل تعرية المطر من خلال حاصل ضرب الطاقة الحركية لهطول المطر فى 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 فى تقدير المكانى لهطول الأمطار بالإعتماد على بيانات المتوسطات السنوية لمحطات المناخ القريبة من حوض التصريف وبالإعتماد على المعادلة التالية[١]. ومع تطبيق المعادلة باستخدام الجبر العلائقى Map Algebra تم اشتقاق شكل (٥).

$$R= (P\times0.5) \times1.73 \quad (\text{Febrri, 1991})$$

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 بمحطتى سانت كاترين ونخل والتى بلغت ٢٦,٣٤ و ٣٣,٣مم على التوالى، تغطى القيم أقل من ١٢,٨جول/هكتار حوالى ثلث مساحة منطقة الدراسة بنسبة ٢٩,٧٪، وتنشر مع بداية المرحة الفيضبة مع التقاء وادي نيشات ووادي أبوخشير بالمجرى الرئيس لودای سدر، تليها القيم التى تتراوح بين ١٥,٨ و ١٨,٨ جول/هكتار، وتغطى ٢٣,٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتتمثل فى منطقة قلعة الجندى والتقاء وادي المليحة مع المجرى الرئيس لوادي 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 ومنابع 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 النباتى وطبيعة التكوينات الجيولوحية بتلك المنطقة التى تساعد على فاعلية عامل فى التعرية المائية بحوض وادي سدر.

[١] R: عامل تعرية المطر P: المعدل السنوى لتساقط الأمطار مم

جـ . 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 وحدوث 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 فى حساب مؤشر درجة حرارة السطح LST ومؤشر رطوبة التربة SMI شكل(٦) باستخدام مرئيات Landsat8 بتاريخ٢٠٢٣/٢/٢٧ أخر عاصفة مطيرة بمنطقة الدراسة ومرئية أخرى بتاريخ ٢٠٢٣/١٠/١٥ تمثل فترة الجفاف. وللحصول على درجة حرارة ورطوبة التربة تم الاعتماد على الخطوات التالية (شكل٦):

. تحويل القيم الرقمية DN الخاصة بكل خلية بمرئية منطقة الدراسة إلى قيم إشعاعات طيفية Conversion to Top-of Atmosphere (TOA)

$$L(\lambda) = M_L \times Band\ 10 + A_L - Oi$$

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

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

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

حيث أن : BT درجة حرارة السطوع ،$L(\lambda)$ الانعكاس الطيفى، 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 Land Surface Emissivity (LSE) من خلال المعادلة التالية:

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

حيث أن : PV قيم الانبعاثات الطيفية ، NDVI مؤشر الغطاء النباتى ، $NDVI_{min}$ و$NDVI_{max}$ قيم الحد الأقصى والأدنى بمعادلة مؤشر الغطاء النباتى

. تقدير قيم انبعاث سطح الأرض من خلال تطبيق المعادلة:

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

حيث أن : E قيم انبعاث سطح الارض ، PV قيم الانبعاثات الطيفية

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

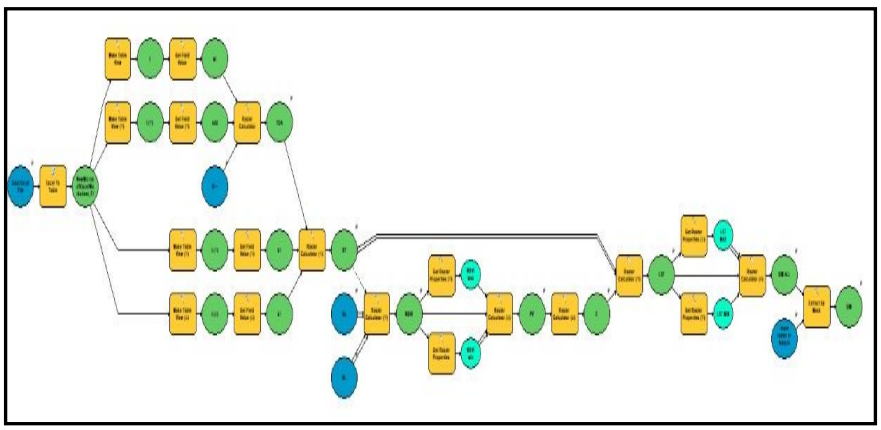
$$LST = BT / (1+ (\lambda \times BT / C2) \times \ln (E))$$

حيث أن : BT درجة حرارة السطوع، λ الطول الموجى Band10 ويساوى ١٠,٨ ، E انبعاث سطح الأرض ، C2 يعادل ١٤٣٨٨ Mk

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

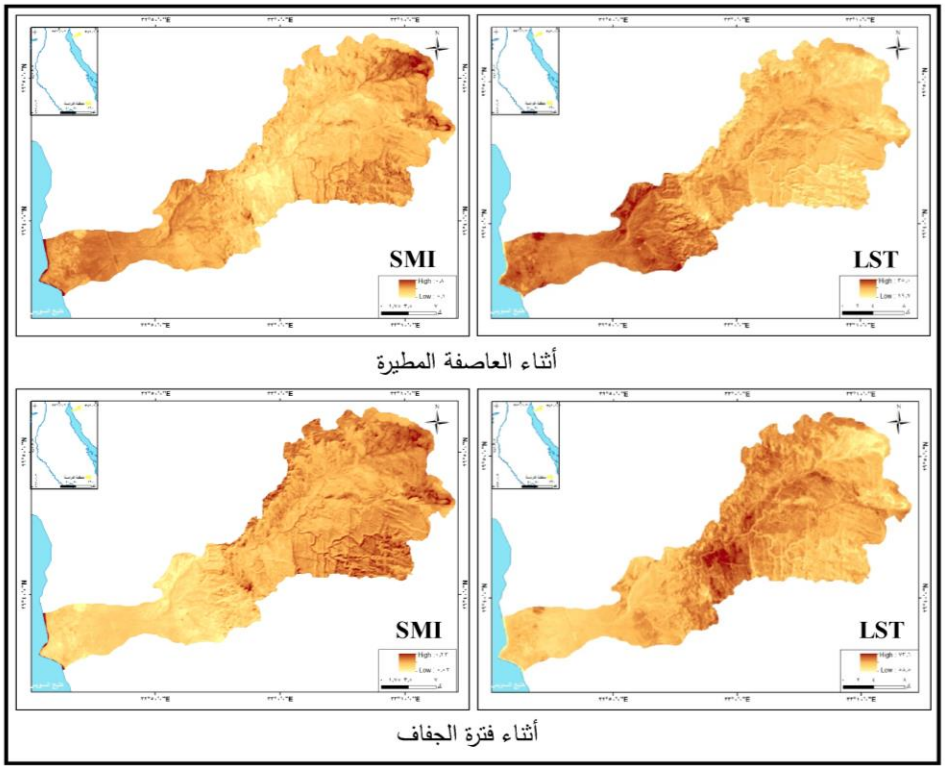
$$SMI = (LST_{max} - LST) / (LST_{max} - LST_{min})$$

حيث أن : LST_{max} الحد الأعلى لدرجة حرارة التربة، LST_{min} الحد الأدنى لدرجة حرارة التربة LST درجة حرارة سطح الأرض.



المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد 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 ومؤشررطوبة التربة SMI بحوض وادي سدر

يتضح من تحليل شكل (٧) فى فترة العاصفة أن أقل درجة حرارة للتربة بلغت ١٩,٧° بمنابع وادي المليجة، ووادي الديابة بمنطقة جبل الديسة، ومنابع وادي الدليجة. وتنتشر بتكوين وطا وتكوين الجلالة لترتفع رطوبة التربة بها لتبلغ ٠,٨٠، وتمثل نقطة بداية الجريان السيلي وعملية التعرية المائية. ترتفع درجة حرارة التربة فى منطقة جبل الريشة وعين أبو رجم إلى ٢٩,١ °، لتنخفض رطوبة التربة بها لتصل٠,١٧، ثم ترتفع بعد ذلك بمنطقة جبل سن بشر ووادي نتيشات لتصل لرطوبة التربة بها ٠,٤٨. فى المقابل، ترتفع درجة حرارة التربة أيضاً بمنطقة المروحة الفيضية لتبلغ ٣٥,٠°. أما في فترة الجفاف فتتراوح درجة حرارة التربة بين ٥٨,٥° و ٧٣,٦°، وكانت أقل درجة حرارة للتربة بوادي المليجة حيث بلغت أعلى درجة رطوبة للتربة ٠,٢٣. وترتفع درجة الحرارة بمنطقة المجرى الرئيس، ذات المنحدارات العالية، لتمثل سطوحاً مكشوفة عليها والتي تساعد على

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

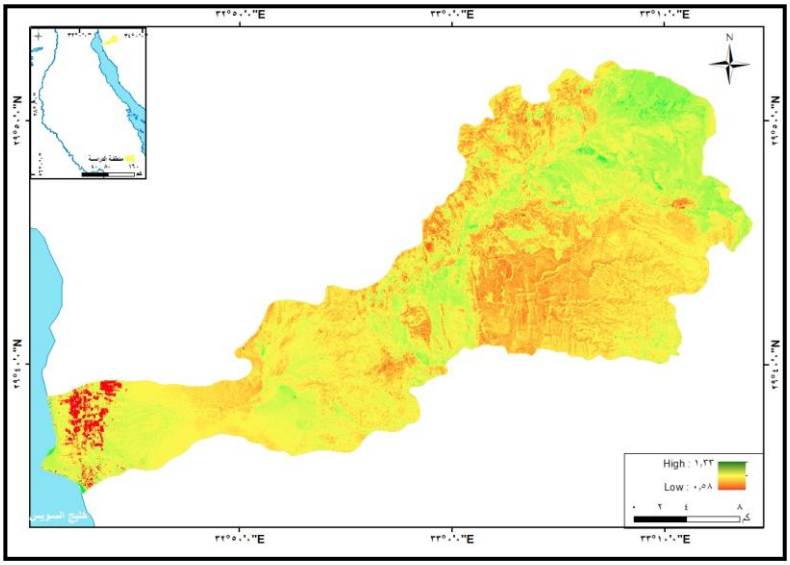
٤) عامل الغطاء النباتي (Vegetation factor (C:

يؤثر تواجد الغطاء النباتي من عدمه في حدوث التعرية المائية، وقد اعتمدت الدراسة على مرئية Sential 2 باستخدام على band 4 الممثل للنطاق الأحمر بدقة مكانية ١٠ متر band 8 الذى يمثل النطاق الحرارى بدقة مكانية ١٠ متر وبإستخدام الجبر الخرائطى داخل نموذج تم تطبيق مؤشر النباتى (NDVI) Normalized Difference Vegetation الذي 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:

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

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

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



المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد على مرئية Sential 2 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 النباتى (C) بين ١,٣٢ و ٠,٥٨ حيث تشير القيم المنخفضة إلى المناطق الجيرية بداية من منطقة تقسيم المياه بوادي مليحة ووادي سدر وقلعة الجندى حيث ينعدم الغطاء النباتى بتلك المنطقة وبالتالى أكثر عرضة للتعرية المائية. بينما ترتفع قيمة عامل الغطاء النباتى بمنطقة المجرى الرئيسى للوادي والادوية الفرعية منه حيث انتشار النباتات الطبيعية وهذا ما تم تأكيده من خلال الدراسة الميدانية حيث تم رصد انتشارها من حقول للنباك 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 فى تكوبن مادة الدوبال، حيث تعمل كمادة لاصقة تربط حبيبات الرمال، وبالتالى يعد الغطاء النباتى أحد وسائل حماية التربة من عوامل التعرية المائية.

٥) خصائص الجريان السيلي بحوض وادي سدر:

يتميز حوض وادي سدر بمساحته التى تبلغ ٦٤٩,٦كم^{٢}، تتوزع غالبيتها بمنطقة المجرى الرئيس الذى تبلغ مساحته ٢٩٧,٤كم^{٢}، يليه حوض وادي الدليجة بمساحة ١٤٥,٨كم^{٢}، ثم حوض وادي المليجة بمساحة ٦٣,٩كم^{٢}، ويشير ذلك إلى كميات المياه الضخمة التى يستقبلها الحوض، مما يزيد من كميات التصريف وقدرته على النحت ونقل الرواسب.

جدول (٥) الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي سدر

الخصائص / الحوض	الأحواض الثانوية لحوض وادي سدر							حوض وادي سدر
	المليجة	الديسة	الريشة	الدليجة	سن بشر	نتيشات	المجرى الرئيس	
المساحة (كم٢)	٦٣,٩	٤٢,٣	٢٨,٧	١٤٥,٨	٣٤,٩	٣٦,٦	٢٩٧,٤	٦٤٩,٦
CN الارقام المنحنية	٨٤,٣	٨٧,٩	٨٦,٤	٨٤,٠	٨٨,٠	٨٦,١	٨٢,٨	٨٤,٣
معامل سمك التربة المشبعة بالماء S (مم)	١٤٩,٧	١٥٢,٩	١٥١,٦	١٤٩,٤	١٥٣,٠	١٥١,٢	١٤٨,٣	١٤٩,٧
Ia الفواقد	٢٩,٩	٣٠,٥	٣٠,٣	٢٩,٨	٣٠,٦	٣٠,٢	٢٩,٦	١٨١,٠
زمن التأخير	١,٦	١,٥	١,٤	٢,٢	٠,٧٧	١,١	٦,٢	٦,٩
زمن التركيز	٢,٧	٢,٢	٢,٣	٣,٧	١,٢	١,٨	١٠,٥	١١,٥
سرعة الجريانة (كم/ ساعة)	٤,٦	٥,٨	٦,٣	٤,٥	٦,٩	٦,٨	٤,٤	٤,٩
حجم التصريف (ألف م٣)	٣٥٥	٢٨١	١٨١	٦٤٣	٢٥١	٢٣٦	٥٧٧	٢٥٢٤
صافي الجريان	٣٢٥,١	٢٥٠,٥	١٥٠,٧	٦١٣,٢	٢٢٠,٤	٢٠٥,٨	٥٤٧,٤	٢٣١٣,١

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

وتؤثر خصائص الجريان السيلى مثل: سرعة الجريان وحجم وذروة التصريف، بشكل قوى على عملية التعرية المائية، لذلك تم الاعتماد على النماذج الهيدرولوجية HEC-1 فى تحليل نظم التصريف بحوض وادي سدر بالاعتماد على التحليل الجيولوجى واستخدامات الأراضى لاستخراج أرقام المنحنيات CN شكل (٩)، والتي تباينت قيمها بين ٨٨ لحوض وادي سن بشر و٨٢,٨ 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 التربه 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 بشرو ١٥٢,٩و مم بحوض وادي الديسة كما بلغت بحوضى وداى الريشة و١٥١,٦ مم. فقد ارتبطت القيم المنخفضة بالمناطق الأقل نفاذية للتربه 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 نتيشات.

وقد تم دراسة خصائص الجريان السيلى على النحو التالى :

أ) سرعة الجريان:

تعد سرعة الجريان من أهم المعاملات الهيدرولوجية التى يمكن الاعتماد عليها لتحديد خطورة أحواض التصريف على النشاط البشرى، فكلما زادت سرعة التدفق زادت القدرة على النحت والنقل، وبالتالى زيادة معدلات التعرية ومن ثم زيادة القدرة التدميرية (صابر والبنا، 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 فى الحصول على زمن التركيز حيث أنها الطريقة الأكثر دقة والتى تأخذ معامل خشونة مانينج فى الاعتبار (صابر وآخرون، ٢٠٢٣) من خلال تطبيق المعادلة التالية[١] داخل برنامج wms:

- $T_c = T_{t1} + T_{t2} + T_{t1} + \ldots\ldots\ldots\ldots T_{tm}$ $\quad T_t = L/3600V$
- $Tc = T_{sheet} + T_{shallow} + T_{channel}$

$T_{sheet} = 0.0018L_{sheet}^{0.6}\, n^{0.6}/j^{0.4}S_w^{0.3}$ & $T_{shallow} = L_{shallow}/3.6C(S_w)^{-0.5}$
& $T_{channel} = 0.44L_c n^{0.75}/j^{0.25}A^{0.125}S_c^{0.375}$

بلغ زمن التركيز لحوض وادي سدر ١١,٥ ساعة ولحوض الوادي الرئيسى ١٠,٥ ساعة، وهى الأحواض التي تمثل أكبر القيم من حيث مساحة حوض التصريف، وطول المجرى الرئيس، وأقصى طول للحوض، وأيضا الفارق الرأسي وبالتالى 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.

---

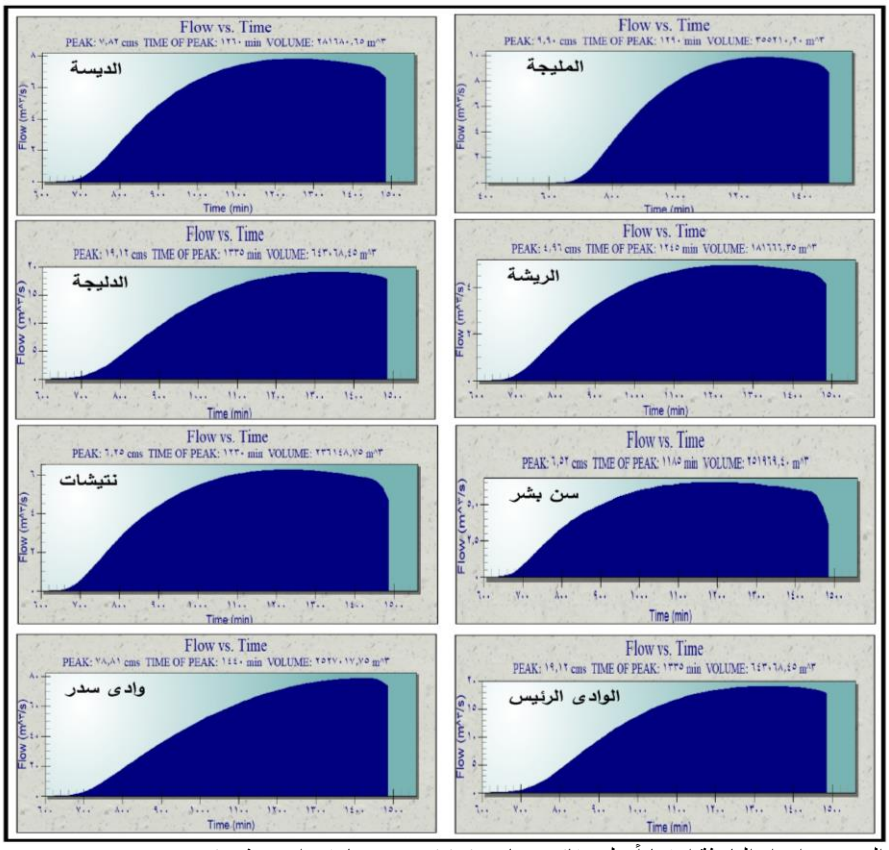
[١] L = طول المجرى الرئيس، و S = الانحدار (معدل الانحدار)، و n =معامل مانينج، و A مساحة حوض التصريف، و C = 4.918 unpaved and 6.196 paved Area، و Sc =معدل انحدار المجرى الرئيس، و Sw =معدل انحدار الحوض ، و Tt = زمن الوصول، وV = متوسط السرعة، و Y = متوسط درجة الانحدار(٪) و C= مجموع أطوال خطوط الكنتور، و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

المصدر: بدو جنوب سيناء.

لوحة (٤) الجربان السيلى 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, وبالتالى تحديد مدى قوتها فى 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، ليبلغ 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

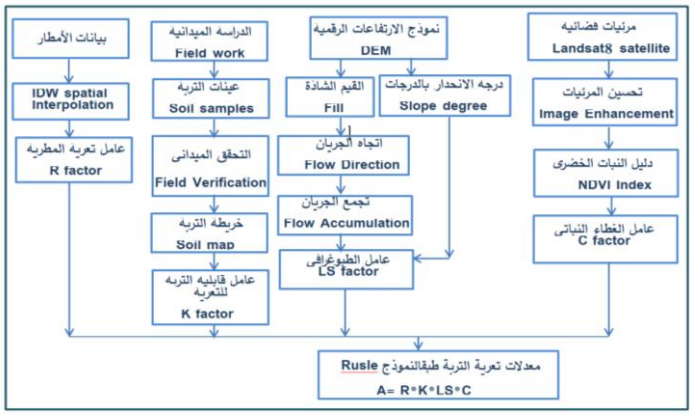
يتبين مما سبق أن سرعة الجريان السيلى والتى بلغت ٤,٤ كم/ساعة مع كميات تصريف ضخمة ساعدت على تعرية أجزاء من قاع المجرى الرئيس من الرواسب والمفككات وكشف صخور القاعدة الأصلية، وتأكل الطرق الأسفلتية ونقلها إلى أماكن بعيده عنها (لوحة٥)، فى إشارة واضحة على مدى تأثير التعرية المائية للتربة والصخور بمنطقة الدراسة.

المصدر: الدراسة الميدانية، ٢٠٢٤.

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

ثانيًا ـ التقدير الكمى لحجم رواسب التعرية المائية بحوض وادي سدر:

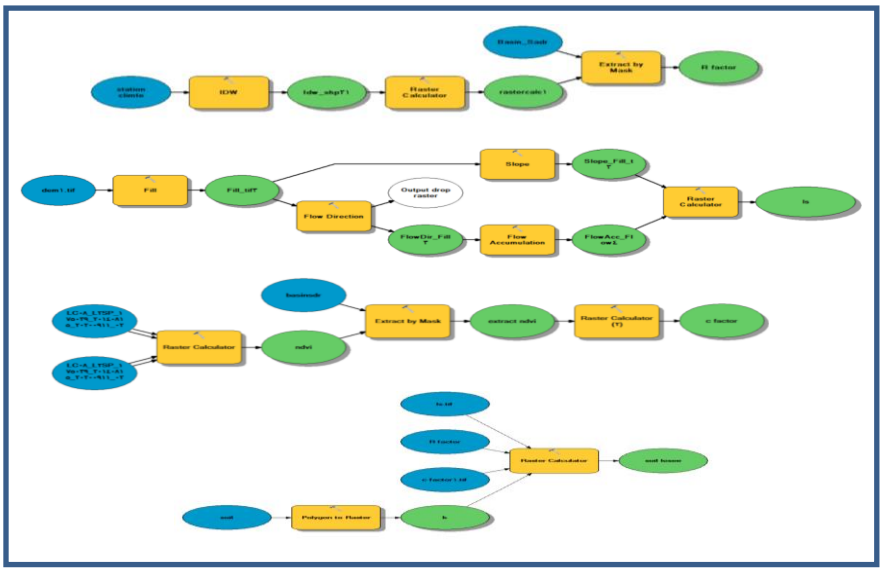
يعد نموذج RUSLE[1] من أهم النماذج لتقدير فقدان التربة بسبب التعرية المائية شكلى(١٠ و١١)، ويستخدم هذا النموذج لتقدير معدل فقدان التربة بوحدات الكتلة على وحدة المساحة. وتم تعديل هذا النموذج عدة مرات منذ إصداره الأول في السبعينيات، وهذا يعكس التحسينات المستمرة في فهمنا للعوامل التي تؤثر على التعرية المائية.



المصدر: إعداد الباحثة اعتمادًا على معادلات نموذج RUSLE

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

[1] RUSLE = Revised Universal Soil Loss Equation.



المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد 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 فى 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 رملى أو طمى أو طينى، كذلك محتوى التربة من المادة العضوية ومؤشر النفاذية بالإضاقة إلى مؤشر البنية، فالتربة التي تحتوي على نسب عالية من الرمال والطمي 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 = عامل قابلية التربة للتعرية، و F csand = مؤشر قابلية التربة الرملية للتعرية، و F cl-si = مؤشر قابلية التربة الطميية للتعرية، و F hisand = مؤشر قابلية التربة السلتية للتعرية ، و F hisand = مؤشر قابلية التربة ذات المحتوى العضوى، و ms نسبة الرمال (٪) والتى تتراوح قطرها بين (٠,٠٥ -٢,٠٠ مم)، و

Wawer &) وذلك على النحو التالى:

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

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

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

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

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

والجدير بالذكر أن قيمة k تتراوح بين صفر و ١، حيث تريد 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 السطحى داخل الحوض (أبورية، ٢٠١٩).

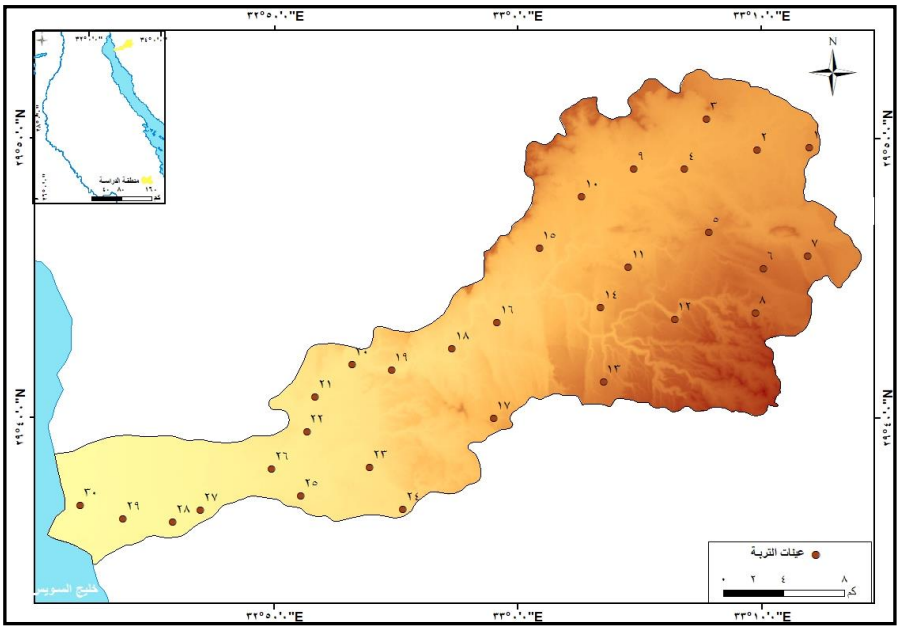
وقد تم الإعتماد على الدراسة الميدانية للحصول على ٣٠عينة موزعة على منطقة الدراسة وإجراء التحليل الميكانيكى والعضوى لها جدول (٦) وشكل (١٢) وذلك لحساب عامل قابلية التربة للتعرية (K) بحوض وادي سدر (شكل١٣) و (جدول ٧).

msil نسبة السلت (٪) والتى تتراوح قطرها بين (٠,٠٠٢ -٠,٠٥مم)، و mc نسبة الطمى (٪) والتى تتراوح قطرها بين (أقل من ٠,٠٠٢ مم)، و orgc نسبة المادة العضوية (٪)

جدول (٦) التحليل الميكانيكى لعينات التربة بحوض وادي سدر

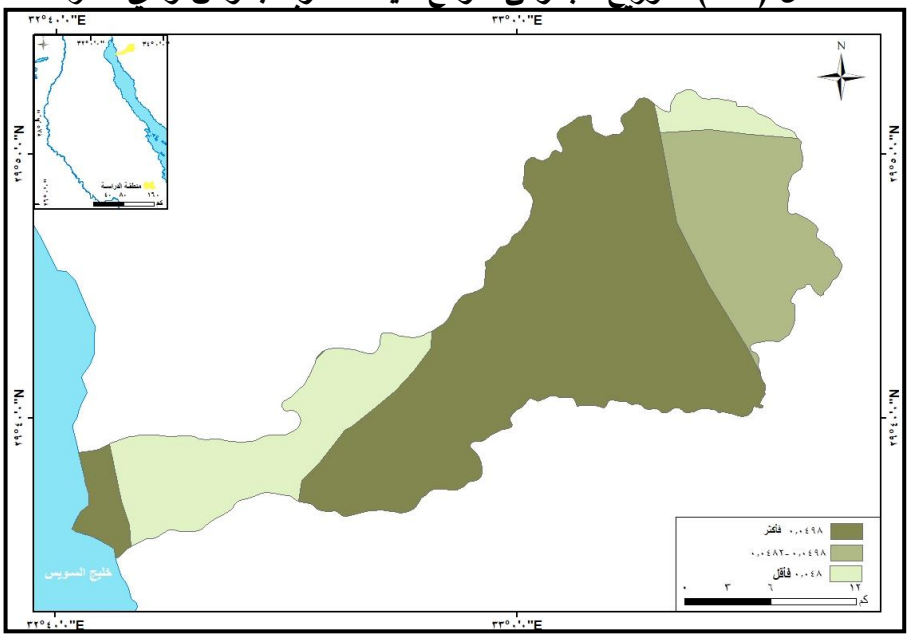
	الرمال(٪)			سلت (٪)	طين(٪)	مادة عضوية(٪)
	خشنة	متوسطة	ناعم			
١	٧٥,٧	٤,٢	٣,٥	٨,٦	٨,٠	٠,٧
٢	٦٥,٩	١٥,٢	٠,٦	١٠,٢	٨,١	٠,٨
٣	٦٥,٢	١٤,٣	١,٢	١٠,٨	٨,٥	٠,٧
٤	٦٤,٢	١٦,٨	١,٥	١١,٢	٦,٣	٠,٦
٥	٦٠,١	١٥,٢	٢,٥	١٣,٢	٩,٠	٠,٧
٦	٦٠,٢	١٦,٢	١,٩	١٢,٥	٩,٢	٠,٨
٧	٦٠,٤	١٥,٣	١,٢	١٣,٦	٩,٥	٠,٩
٨	٦٥,٢	١٢,٥	١,٣	١٢,٣	٨,٧	٠,٩
٩	٦٠,٣	١٤,٥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

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



المصدر : إعداد الباحثة اعتمادا على الدراسة الميدانية

شكل (١٢) التوزيع الجغرافى 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 وبالتالى زيادة معدلات تسرب المياه وجفاف التربة، مما ساعد على تفككها بصورة أسرع وتأثرها بعوامل التعرية المائية.

وتتركز القيم المرتفعة لقابلية التربة للتعرية (K) والتى تبلغ ٠,٠٥ فأكثر بمناطق التقاء الروافد الرئيسية بحوض وادي سدر بالمجرى الرئيس، حيث يتقاطع وادي المليجة بالمجرى الرئيس ووادي عين أبورجم، حيث تنتشر منحدارت منطقة تقسيم المياه بمنطقة المنابع بمنتصف ووسط منطقة الدارسة، إذ يتراوح انحدارها بين ١٩ ° و ٣٠ °، وللانحدار كما سبق ذكره له أثره الواضح فى تعرية سطح المنحدارت من الرواسب المفككه لتلقيها بمناطق الانحدارات الهينه. كما توجد بمنطقة المصب حيث ارتفاع نسبة الرمال نتيجة ما يتم ارسابه بفعل حركة الأمواج على السهل الساحلى.

وتنتشر قيم قابلية التربة للتعرية (K) والتى تبلغ ٠,٠٤٨ بالتربة الرملية الطميية، وتتمثل بمنطقة المروحة الفيضية للوادي حيث ارتفاع نسبة الطين والتى بلغ متوسطها ٨٪ مع ارتفاع نسبة المواد العضوية والتى 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 بقيمها 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 تأثرها 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:

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

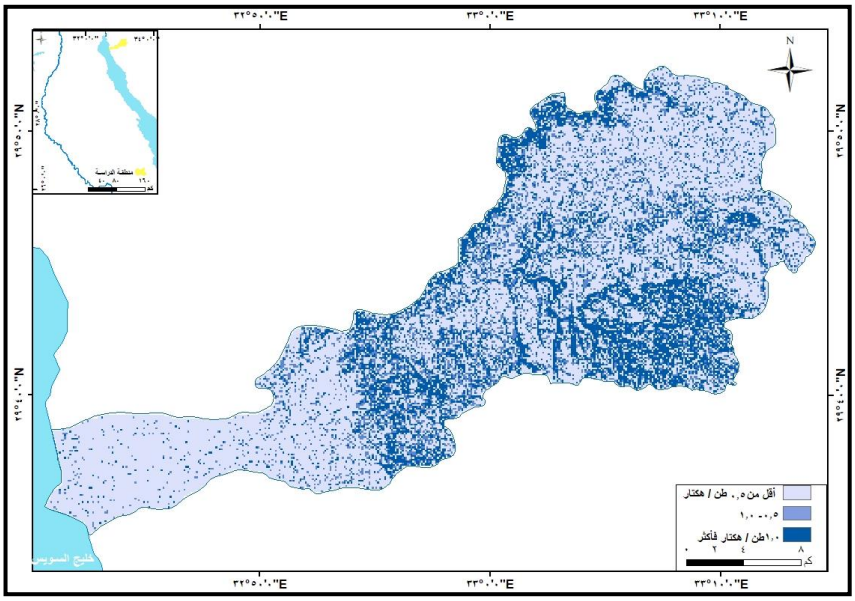
وجدير بالذكر أن معامل إجراء حماية التربة من التعرية (p) والذى يعتمد على خرائط الاستخدامات الأرضية فان منطقة الدراسة تقع ضمن النطاق الجاف، وحوض وادي سدر جاف يقتصر على الجريان السيلى وقت حدوث الأمطار الفجائية، وتقتصر استخدامات الأراضى على منطقة المروحة الفيضية والمتمثلة في بعض مناطق الاستصلاح الزراعى، 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 ٠,٥طن/هكتار سنوياً وتغطى 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 ١,٠طن/هكتار سنوياً وتغطى 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، وتغطى ٢٢,٣٪، وتوجد على شكل شريط طولى ممتد بموازة خط تقسيم المياه من الشمال الغربى من قلعة الجندى إلى منطقة خروج المروحة الفيضية بطول٣٠كم. تغطى المناطق ذات الكثافة المطرية العالية، والتى 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 إجراءلت حماية التربة من التعرية.

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



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

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

ثالثا: بعض الدلائل البيدوجغرافية للتعرية المائية بحوض وادي سدر:

ساعد التحقق الميدانى من التأكد من وجود بعض الدلائل البيدوجغرافية على عمليات التعرية المائية للتربة والتى تم دراستها على النحو التالى :

١) رواسب القاع:

تعد رواسب القاع المحصلة النهائية لتفاعل كل من الانحدار وحجم التصريف المائي وسرعة الجريان، حيث يحدث الترسيب تدريجيًا 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 تدريجيًا وتحمل الرواسب الناعمة إلى المصب (ليليافسكى، ١٩٦٦).

كما أن انتشار المفتتات الصخرية شبه المستديرة وكاملة الاستدارة تدل على أثر التعرية المائية فى نقل تلك المفتتات لمسافات كبيرة بلغت ٤٠كم وهى 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 فى المنطقة العليا والوسطى من الحوض، في حين انجرف الحصى الأصغر حجما 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 اللميدانية، ٢٠٢٤.

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

٢) التشققات الطينية:

تمثل التشققات الطيبنية 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 فى الضغط الهيدروستاتيكى الناتج عن تغير كمية التصريف فى حدوث التشققات الطينية، حيث تمتلئ مسام التربة بمياه الجريان السيلى، مما يؤدى إلى حدوث ضغط

على حبيبات التربة من الداخل مما يؤدى إلى تكون التشققات الطينية مما يؤثر على استقرار التربة وقوة تماسكها، وتنتشر التشققات الطينية بالمجرى الرئيس لحوض وادي سدر والمجارى 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 الظاهرات البيدوجغرافية المرتبطة بالقطاعات العرضية للأودية، وتنتج بفعل توالى عمليتي النحت والإرساب المائى، فتمثل الأجزاء المتبقية من القيعان القديمة للأودية؛ وذلك لأنها تحكى أهم المتغيرات التي طرأت على الأودية من نحت وترسيب خلال الفترات الجافة (الدسوقى، ١٩٩٥).

وتظهر مصاطب الأودية على جوانب المجرى الرئيس للوادي (لوحة٨)، حيث ترتبط بمدة قوة الوادي على حمل المفتتات والرواسب وحدوث التعرية المائية، إذ تكون المحصلة النهائية لحدوث تغييرات فى مستوى الأساس أو حدوث فترات مطرية أعقبتها فترات جفاف، أما تغيير مستوى الأساس فيتمثل فى حدوث انخفاض للمستوى الذى ينتهى إليه الوادي، مما يؤدى 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 موازة المجرى المائى للوادي على كلا الجانبين فتتكون من رواسب طمية وحصوية (محسوب، ٢٠٠١) كما هو الحال فى المصطبة المصاحبة للمجرى الرئيس لوادي سدر حتى خروجه إلى منطقة المروحة الفيضية (لوحة٨)، 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

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

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 الغربى لمجرى الرئيس، و ٠,٧ متراً فوق منسوب قاع الوادي بالجانب الغربى من وادي سن بشر، كما يتراوح عرض السطح بين ١٥ متراً بمصطبة الجانب الغربى من الوادي الرئيس، و١١ متراً بمصطبة الجانب الشرقى.

- يتراوح متوسط درجة انحدار السطح بمصاطب المجرى الرئيس بين ٢ ° و ٣ °، بينما يبلغ متوسط درجة انحدار السطح بباقى 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	حصى ٢,٠ – ٤,٠مم	رمل خشن جدا ١,٠ – ٢,٠ مم	رمل خشن ٠,٥ – ١,٠مم	رمل متوسط ٠,٢٥ – ٠,٥ مم	رمل ناعم ٠,١٢٥ – ٠,٢٥ مم	رمل ناعم جدا ٠,٦٢٥ – ٠,١٢٥مم	طمى وصلصال أقل من ٠,٦٢٥ مم	الإجمالي
المجرى الرئيس الجانب الغربى	٢٠,٠	٤٧,٩	٤,٦	١٣,٤	٧,٩	٢٠,١	٤,٦	١,٥	١٠٠
المجرى الرئيس الجانب الشرقى	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 نتيشات	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 نتيشات ٨٩ °.
- تراوحت نسبة الحصى، والتى يزيد قطرها على ٢ مم في عينات مصاطب أودية منطقة الدراسة بين ٦٠,٢ و٣٠,٤٪ بمتوسط بلغ ٤٨,٣٪ جدول (٩)، وسجلت أقل نسبة بمصطبة وادي الدليجة، والتي يبلغ ارتفاعها ١٢متراً، أما أعلى نسبة فسجلت بمصطبة وادي نتيشات، والتي يصل ارتفاعها ٢,٣ متراً .

- تراوحت نسبة الرمال بمصاطب أودية منطقة الدراسة بين ٦٦,١ و٣٩,٢٪ 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 الغربى 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 فى تكوين مصاطب الاودية، حيث يؤثر حجم كمية التصريف بالحوض على حجم حمولته من الرواسب وسرعة جريانه ودرجة انحداره، وبالتالى مدى قدرته على عملية التعرية المائية. وهذا ما اتضح بمصطبة وادي نتيشات حيث اختلف حجم الرواسب الذى حملها وادي نتيشات نتيجة قوة التصريف بسيل فجائى، فحمل رواسب من الحصى جيد الاستدارة، والتي تقع بالجزء السفلى من المصطبة فى دلالة واضحة على دور النحت المائى لتلك الرواسب فيتراوح 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 لوحة (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 بمجارى مائية من سطحها إلى الجزء الأدنى باتجاه المجرى الرئيس للوادي سدر.

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

تتضاءل أبعاد المصاطب سواء بالإرتفاع أم العرض فى اتجاه الأجزاء العليا من حوض وادي سدر، ويتفق ذلك مع مصاطب وادي الرملية (الدسوقى، ١٩٩٥) وقد أرجعها إلى قلة الترسيب وزيادة معدلات النحت فى الأجزاء الوسطى منه، وقلة معدلات النحت النحت 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، فتتميز مصطبة وادي سن بشر بارتفاعها عن قاع الوادي بنحو ١٧٥سم فى بدايتها ليقل كلما اتجهنا نحو نقطة التقاء الوادي مع المجرى الرئيس لحوض سدر ليبلغ ارتفاعها ٦٠ سم، وتتألف من مفتتات من الحصى المتوسط إلى صغير الحجم بكثافة ١٥ قطعة/م^{٢} فى دلالة على تكوينها أثناء سيل متوسط القوة من حيث حجم التصريف وسرعة الجريان (لوحة٨).

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:

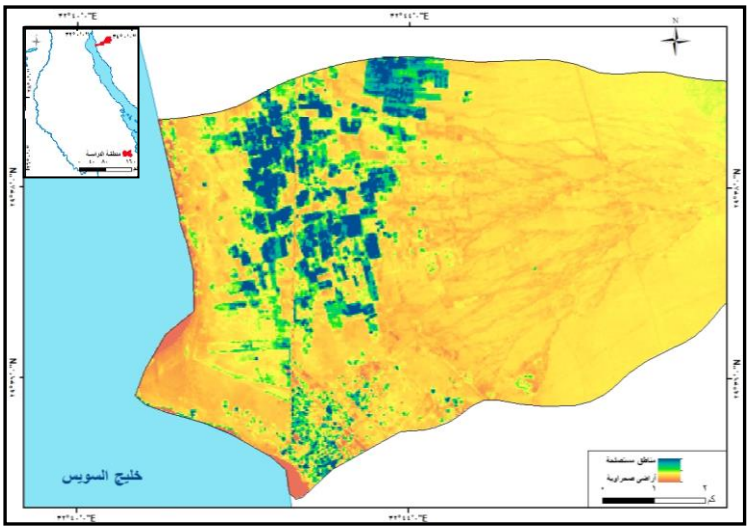
تمثل التنمية الزراعية أحد أهم ركائز التنمية المستدامة. يمكن تحقيق التنمية الزراعية والرعوية في المناطق المعرضة لانجراف التربة بطريقة تحافظ على البيئة وتساهم في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية من خلال تبنى استراتيجيات تعتمد على الممارسات الزراعية الذكية وإدارة الموارد الطبيعية بشكل فعال 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 هيكلة التربة باستخدام التقنيات المتقدمة مثل الزراعة الأفقية والزراعة المتدرجة لتقليل تآكلها.

وتنتشر الزراعات غير التقليدية بالمروحة الفيضية التى تعتمد على أحدث الطرق الحديثة بالرى بالتنقيط بحوض وادي سدر والتى تبلغ مساحتها ١٢,٣ كم^{٢}شكل (١٥) (لوحة١٠). وتتميز المروحة الفيضية باستواء السطح ووجود تربة صالحة للزراعة مع استخدام الطرق والمحاصيل المناسبة لها، فتنتمي إلى أراض الدرجة الثالثة والرابعة، حيث يمكن زراعتها. وتتسم تلك الأراضى بأنها عميقة وخشنة النسيج إلى حد ما، فتحتاج لمحسنات ومخصبات وأسمدة، وغسيل دائم للتربة لتقليل نسبة الملوحة بها، وتعتبر أراضي جيرية تتراوح كربونات الكالسيوم فبها بين ٣٠٪ و٩٠٪ (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 طبيعى لإنتاج اللحوم والألبان، كما يمكن استخدام المساحات الخضراء كحواجز طبيعية لامتصاص المياه وتقليل سرعة تدفق السيول.

المصدر:الدراسة الميدانية عام ٢٠٢٤

لوحة (١٠): النشاط الزراعى والرعى بحوض وادي سدر



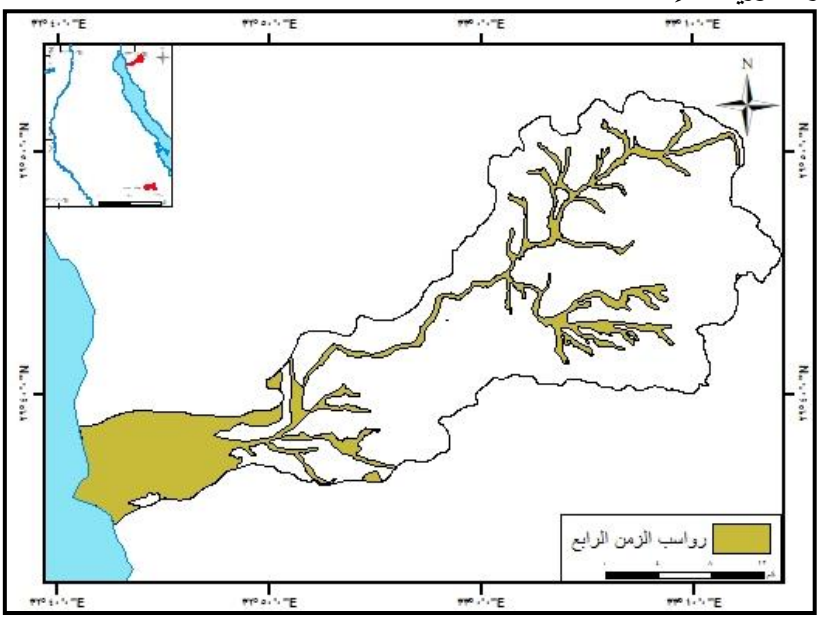
المصدر : من إعداد الباحثة بالاعتماد على مؤشر الدليل الخضرى NDVI

شكل (١٥): النشاط الزراعى بحوض وادي سدر

٢) محاجر الرمال والزلط:

يمكن استغلال مخرجات عملية التعرية المائية للتربة فى تنمية قطاع التحجير، خاصة بمحاجر الرمال والزلط. فالتعرية المائية هي عملية إزالة الطبقة السطحية للتربة بواسطة الجريان السيلى خاصةً 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، خاصةً بمنطقة وادي ليتشات ووادي سن بشر.

كما يساعد التحجير فى منطقة رواسب الزمن الرابع، وهى مناطق تجمع رواسب الناتجة عن التعرية المائية من رواسب ودیانية شكل (١٦) على تحسين كفاءة عمليات التحجير وزيادة الإنتاجية، نظرًا 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 "٢٥٠٠٠٠، 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 وتعلية الطرق، وتكسية جسور النيل، وتُستخدم كذلك بعد صقلها كأحجار زينة، ويفضل أن تكون رمال المبانى والرصف نظيفة وحبيباتها حادة الزوايا ، كما أن لرمل الزجاج مواصفات كيميائية وطبيعية خاصة، وغالباً ترتفع السليكا فى الرمل لتصل إلى أكثر من ٩٠٪ ونسبة المواد الطينية أقل من ٥,٠ ٪ وتتراوح حجم حبيباتها ما بين ٠,٥-٢,٠ مم وعند ذلك تكون صالحة كمادة للبناء ، كما أن الزلط كثير الاستخدام حسب أحجامه فالاحجام الكبيرة تستخدم بعد تكسيرهافى عمليات الرصف، والأحجام المتوسطة تستخدم فى الخرسانة المسلحة، والرقيقة فى 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 تفترش قاع المجرى الرئيس والمجارى 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 الرئيس، 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 الرئيس 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 تأثرها بعوامل التعرية المائية.

. توجد المناطق المعرضة لتعرية التربة المحتملة سنوياً طبقا لنموذج RUSLE على شكل شريط طولى ممتد بموازة خط تقسيم المياه من الشمال الغربى من قلعة الجندى إلى منطقة خروج المروحة الفيضية بطول ٣٠كم.

. يشير 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 حجما بفعل سرعة التيار المائي نحو مصبات الأودية الفرعية ، كما تنتشر التشققات الطينية بالمجرى الرئيس لحوض وادي سدر والمجارى الفرعية، حيث تظهر على شكل رقائق طينية بوادي ليتشات كدلائل بيدوجغرافية للتعرية المائية بحوض

وادي سدر.

- تنتشر الزراعات غير التقليدية بالمروحة الفيضية التى 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 الضرورى 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 (لوحة١١)، بالاضافة إلى غلق العديد من المواسير (البرابخ) سواء عن طريق رواسب السيول عن طريق تراكم الرواسب الكبيرة والخشنة داخل المواسير لصغر قطرها، أو انتشار الأعشاب والنباتات بها (لوحة١٢)، مما تتسبب قي التقليل من كفاءة وسيلة الحماية في تمرير مياه الجريان السيلي (شكل١٧).

وبناءً على ذلك اعتمدت الدراسة فى اختيار أنسب المواقع لانشاء السدود على دراسة (آل سليمان، ٢٠١٦) فى 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

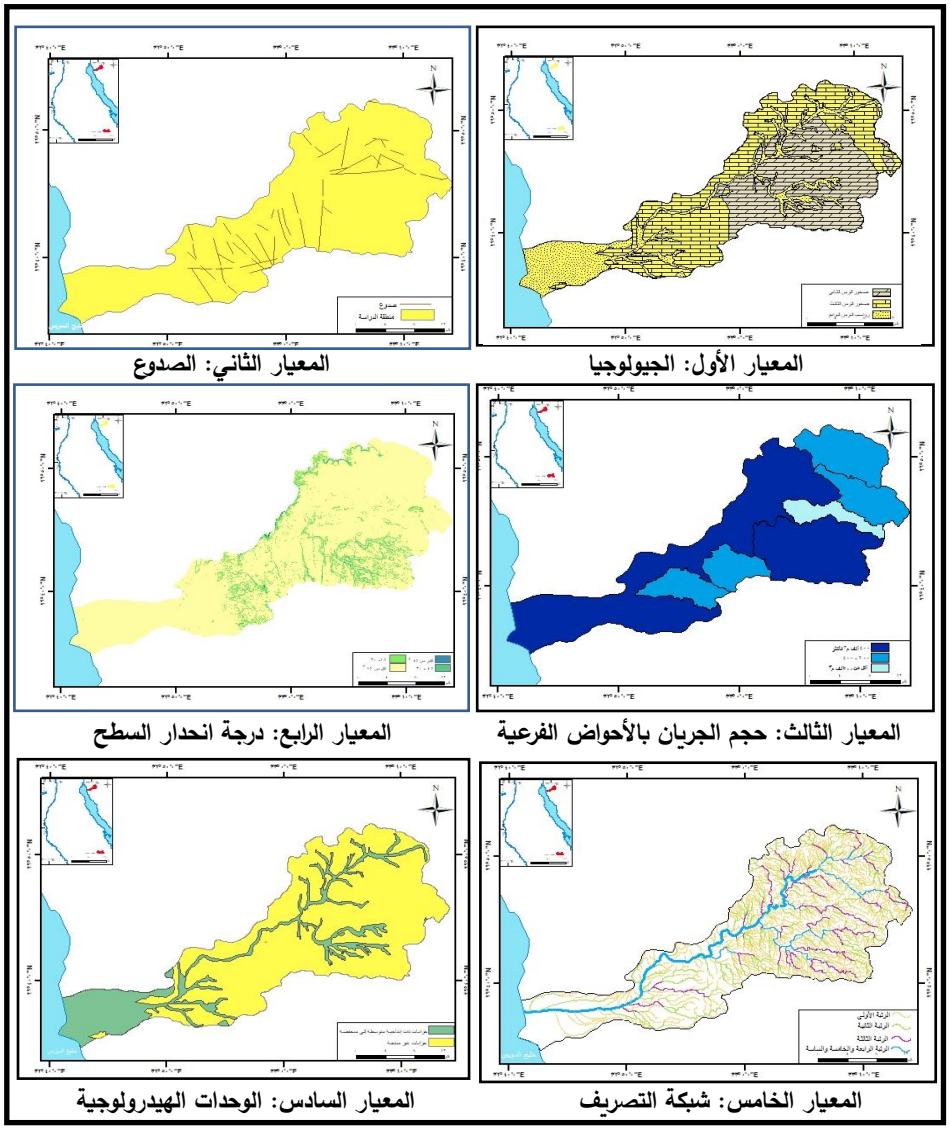
لوحة (١٢): عدم تطهير وصيانة وسائل الحماية من السيول من الرواسب والنباتات على جانبي الطرق بحوض وادي سدر

- **معيار الجيولوجى** : تتكون منطقة الدراسة من صخور العصر الزمن الثانى والثالث مثل: تكوين جلالة وتكوين ضوى وتكوين سدر التى تغطى معظم منطقة الدراسة. ويهدف هذا المعيار إلى ضرورة أن تكون مواضع السدود المختارة على أراضى

صخرية صلبة مع الابتعاد بقدر الإمكان عن رواسب الزمن الرابع من رواسب الحمادة النهرية ورواسب الفانجلوميرات، ورواسب الويادنية الضعيفة غير المتماسكة.

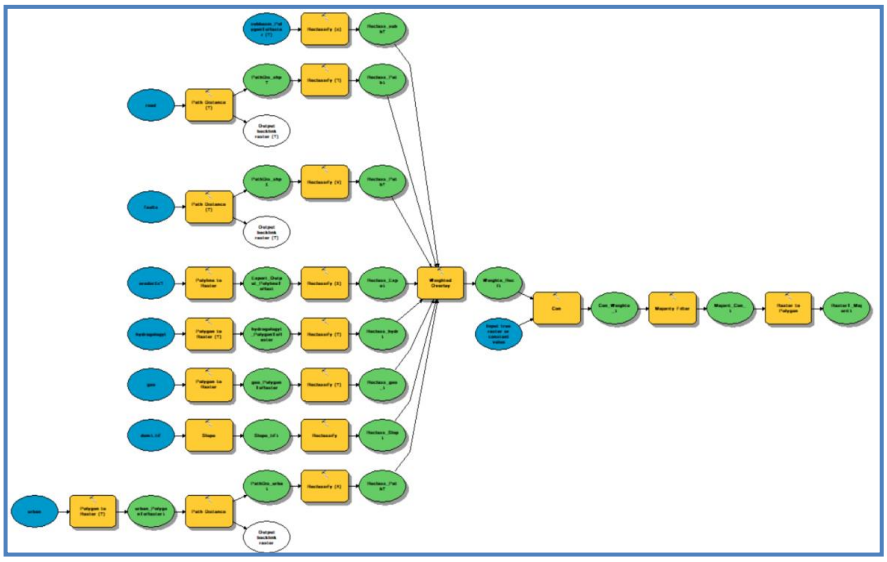
- **معيار الصدوع:** يجب أن تقع مواضع السدود على مناطق صلبة بعيدة غير متأثرة بالحركات التكتونية مثل الصدوع، وقد تم تحديد مسافة ١٠٠ متراً كحد أقصى يجب ألا تتجاوزها السدود. وكلما زاد الابتعاد عن هذه المسافة كان الموقع أكثر ملائمة لإقامة السد، والعكس صحيح.
- **معيار درجة انحدار السطح:** تُقام السدود على مناطق ذات انحدار هين، حيث يمكن أن يؤدى الانحدار الشديد إلى التعرية المائية بفعل الجريان السيلى، تم تحديد درجة الانحدار التى تتراوح بين صفر و١١ درجة وفقا للمعايير العالمية (الكفرى، ٢٠٠٨).
- **معيار حجم الجريان السيلى بالأحواض الفرعية:** يُعتبر هذا المعيار أحد المعايير الرئيسية المحددة لمواقع بناء السدود استنادًا 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.
- **معيار شبكة التصريف:** تم الإعتماد على روافد الرتب الأعلى والتى تجمع بها كميات مناسبة من المياه ملائمة لحجزها فى السدود، وتشمل رتب الروافد الأولى والثانية والثالثة.
- **معيار الوحدات الهيدروجيولوجية:** تتروح نفاذية الصخور فى حوض وادي سدر بين المتوسطة والمنخفضة. وتم إعطاء الأولوية للمناطق ذات النفاذية المتوسطة كمواضع لإنشاء السدود، لتكون مصادر لتجديد تغذية الطبقات الحاملة للمياه الجوفية.
- **معيار العمران:** يقتصر وجود العمران على منطقة المروحة الفيضية للحوض، والتى تم معالجتها داخل النموذج على اعتبارها مناطق تحتاج إلى حماية.
- **معيار 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

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



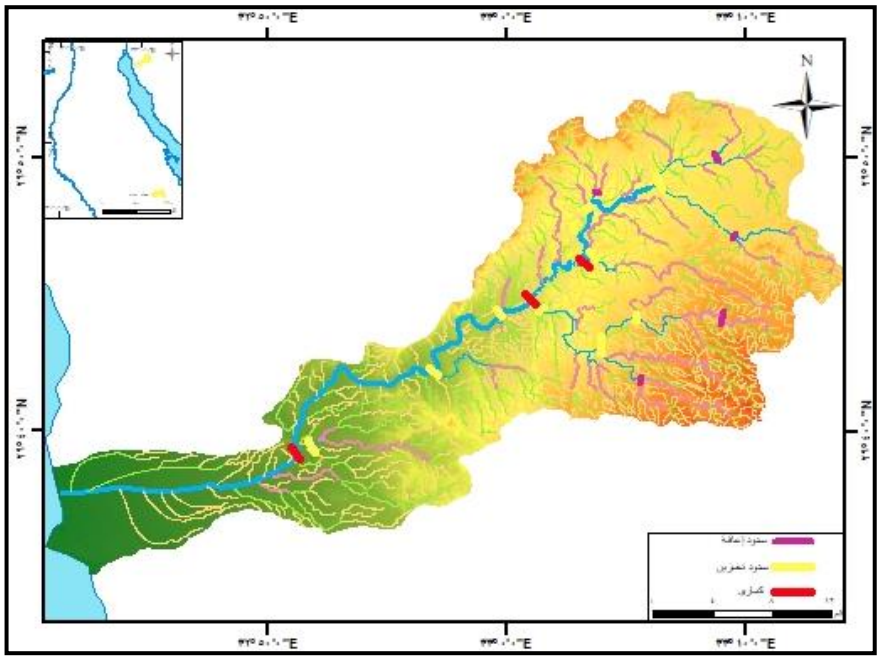
المصدر : إعداد الباحثة بالإعتماد على برنامج WMS and Arc gis10.8

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 التالى :

- **سدود إعاقة:** هى 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 إعاقة بالروافد العليا لوادي المليجة ووادي الديابة أحد روافد وادي الديسة بالإضافة إلى منابع وادي الدليجة والمجرى الرئيس فى أقصى الشمال الغربى 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 الانشطة البشرية بصفة عامة وتخزين المياه للاستفادة منها في الزراعة والرعي وتوصيلها لمناطق التجمعات البدوية. وتضم ٩ سدود بمصبات 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 الأُثامى لحجز كميات من المياه تصل إلى ٦٤٣ ألف م^{3} من المياه، مما يتيح إنشاء خزانات سطحية أمام السدود والاستفادة منها فى الزراعات المحمية والرعى وعمليات التحجير، ومقترح لإنشاء سد عند بداية المروحة الفيضية لحماية مدينة رأس سدر والأراضي الزراعية المستصلحة.
- **إقامة برابخ ومخرات السيول:** يقترح النموذج إقامة برابخ على أماكن تقاطع طريق رأس سدر ـ صدر حيطان مع مصبات الأحواض الفرعية، بحيث تكون هذه البرابخ مناسبة لحجم التصريف، مع شرط التطهير المستمر وخاصة عقب كل سيل، أو استبدال المواسير بالأنفاق الخرسانية لجودتها الأعلى. بالاضافة إلى انشاء مخر للسيول عند مخرج الحوض لينتهي بخليج السويس.

المراجع والمصادر

أولاً: المصادر

تنوعت المصادر التى اعتمدت عليها الدراسة فشملت ما يلى :

١) الخريطة الجيولوجية مقياس ١: ٢٥٠٠٠٠، إصدار هيئة المساحة الجيولوجية المصرية لشبة جزيرة سيناء Sheet No. 2 لسنة ١٩٩٤م.

٢) الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠٠٠٠ 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 العلمى قسم الأراضى عام ١٩٩٠ م.

٤) مرئية فضائية Lansat 8 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 Meterorological Surface Stations from 1981 to 2010, Cairo.

المراجع العربية:

١) أبورية، أحمد محمد (٢٠١٩): التقدير الكمى لتعرية التربة بحوض وادي سنور دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والإستشعار عن بعد، مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، العدد٢٠.

٢) أحمد، سحر نورالدين توفيق (٢٠٢١): النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة فى المنطقة فيما بين رأس حولة ورأس علم الروم بالساحل الشمالى الغربى 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 فى تقييم مواضع اليدود لتنمسة حصاد المياه فى منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية ، مجلة منشورات علوم جغرافية ، تونس.

٤) بشندى، شربات عطية عوض (٢٠١٨): مشكلات التربة فى 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 RUSLEضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير، جامعة مؤته، الأدرن.

٦) حسن، هويدا توفيق (٢٠١٩): النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي أم عدوى بجنوبى سيناء وأثره فى 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) الدسوقى، 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) الساعاتى، باسم عبدالعزيز (١٩٩١): أسس الجغرافيا الطبيعية، دار الأنجلو المصرية.

١١) السعدنى، عادل عبدالمنعم (٢٠١٤): الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبى

الغربى من طريق رأس سدر/ صدر الحيطان دراسة جيومورفولوجية، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة قناة السويس، عدد٩.

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، والبنا، أميرة محمد (٢٠٢٢): التقييم الجيوهيدرولوجي لزمن التركيز وتأثيره على الجريان السيلي على الحافة الشرقية لهضبة الجلالة البحرية، مجلة كلية الآداب، جامعة الوداى 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) الكفرى، عبدالمجيد (٢٠٠٨): ف لتجميع مياه الأمطار والسيول، الملتقى الدولى جيوتونى، تونس.

١٨) الكومي، عبدالرازق بسيونى(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 RUSLEModel 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. M., & 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. 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., Nowocieñ, 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., Nowocieñ, 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.