

تقدير حجم التعرية المائية بحوض وادي الصدر باستخدام نموذج المعادلة العالمية

المعدلة لتعرية التربة

أفراح بنت أحمد بن علي الزهراني

الأستاذ المساعد في الجغرافية الطبيعية بقسم العلوم الفيزيائية، برنامج نظم المعلومات الجغرافية، جامعة جدة،

المملكة العربية السعودية

aaalzahrani@uj.edu.sa

المستخلص. تهدف الدراسة إلى تقدير حجم التعرية المائية في حوض وادي الصدر من خلال تطبيق نموذج المعادلة العالمية (RUSLE) باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. ولتحقيق هذا الهدف تدرجت منهجية الدراسة من مراجعة الأدبيات لمعرفة معايير تطبيق هذا النموذج كالأمتار، والتضاريس، والتربة، والغطاء النباتي، ودعم إجراءات الحد من التعرية، ومن ثم البدء بجمع بيانات هذه المعايير من عدة مصادر، والقيام بمعالجة هذه البيانات تمهيداً لاشتقاق الطبقات المعلوماتية لكل معيار، وبالتالي القيام بتطبيق معادلة نموذج المعادلة (RUSLE) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتقدير حجم التعرية السنوية في الحوض وتصنيفها حسب مخاطرها. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن حجم التعرية المائية للتربة في حوض وادي الصدر تراوحت بين ٠-٣٣٥٧,٩ طن/هكتار/سنة، بمتوسط على المستوى المكاني للحوض ٢,٢ طن/هكتار/سنة، وأظهرت النتائج أن غالبية الحوض يقل فيه حجم التعرية عن ٠,٥ طن/هكتار/سنة، بمساحة ٣٠٧,٧٥ كم^٢، بنسبة ٧٤,٩١٪ من مساحة الحوض، وتغطي المنطقة التي تتصف بتعرية مائية تراوحت بين ٠,٥ - ٥ طن/هكتار/سنة ٥٤,٢١ كم^٢، بنسبة ١٣,٢٪ من مساحة الحوض، بينما تبلغ مساحة المنطقة التي يتراوح بها حجم تعرية التربة بين ٥ - ١٠ طن/هكتار/سنة ١٦,٦٨ كم^٢، بنسبة ٤,٠٦٪ من مساحة الحوض، وتبلغ مساحة المنطقة التي يتراوح فيها حجم التعرية المائية بين ١٠ - ١٥ طن/هكتار/سنة ٨,٦٧ كم^٢، بنسبة ٢,١١٪، في حين تبلغ مساحة المنطقة التي يتجاوز فيها حجم التعرية المائية للتربة ١٥ طن/هكتار/سنة ٢٣,٥٣ كم^٢، بنسبة ٥,٧٢٪ من إجمالي مساحة الحوض.

كلمات مفتاحية: النمذجة، التعرية المائية، المعادلة العالمية لتعرية التربة، حوض وادي الصدر، منطقة الباحة.

١ . المقدمة

أكدت العديد من الدراسات السابقة أن هناك زيادة كبيرة في تعرية التربة خلال القرن العشرين في أجزاء مختلفة من العالم (Jahun et al., 2015, p.37). وأظهرت ان تعرية التربة أدى حتى الآن إلى تدهور ما يقارب من ٨٠٪ من الأراضي الزراعية (Angima et al., 2003, p.297). وتعتبر التربة وسيط معقد إلى حد كبير وتتغير بدرجة كبيرة فهي عرضة لمخاطر التدهور بالتعرية، ويعرف تدهور الأراضي على أنه انخفاض في إمكانات إنتاج الأراضي بسبب استنفاد التربة الخصبة، والتنوع البيولوجي المهم للتربة، والموارد الطبيعية، ويوصف تدهور الأراضي بأنه مشكلة مزمنة تشكل تهديد خطيرة على الأمن الغذائي. ويعد تدهور موارد الأرض عائق رئيسي للتنمية (Balabathina, 2019, p.142).

وتعد تعرية التربة أسوأ أنواع تدهور الأراضي في إفريقيا والدول الآسيوية، واعتبر تدهور الأراضي التهديد البيئي الأكثر شمولاً في العديد من البلدان النامية (Tessema et al., 2020, p.2). وتوصف التعرية المائية للتربة بأنها أسوأ أشكال تدهور الأرض، لما لها من تداعيات بيئية واجتماعية اقتصادية خطيرة تؤثر على الإنتاجية الزراعية واستدامة الموارد والمحافظة البيئية. (Kebede et al., 2021, p.1). ويؤدي تدهور الأراضي الزراعية بسبب تعرية التربة إلى فقدان الطبقة الخصبة العليا، وزيادة الجريان السطحي، وقلة توافر المياه للنباتات (Ganasri & Ramesh, 2016, p.955).

وبذلك تعتبر تعرية التربة من أبرز المخاطر الجيومورفولوجية لتدهور الأراضي في الحوض، وتعتبر تعرية التربة واحدة من أهم تحديات التنمية البيئية المستدامة التي تؤثر في إنتاجية الأرض في حوض وادي الصدر، وبالتالي فإن إنتاج خرائط تقييم التعرية المائية حسب متغيراتها المكانية، وتقدير حجم تعرية التربة السنوية في الحوض يعد خطوة أساسية في تنفيذ إجراءات الحفاظ على تربة الحوض وصيانتها من خلال النمذجة الكمية لتقدير تعرية التربة.

تعتبر معادلة فقدان التربة العالمية (USLE) واحدة من أهم التطورات في مجال الحفاظ على التربة في القرن العشرين، ونشرت كتقنية لأول مرة في عام ١٩٦٥ في دليل الزراعة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية رقم ٢٨٢، ونشرت نسختها المحدثه عام ١٩٧٨ في دليل الزراعة الأمريكية رقم ٥٣٧، وصدرت معادلة فقدان التربة العالمية المنقحة (RUSLE)، وهي نسخة محوسبة من الأصل (USLE) مع تحسين تقديرات العوامل عام ١٩٩٢ (USDA, 2024).

وأعطت الأمم المتحدة عبر منظماتها أهمية قصوى لموضوع تعرية التربة، حيث قامت بمقارنة التعرية الفعلية لهذه الطريقة بالتصنيف المقترح من قبل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، ومنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة اليونسكو (Pennock, 2015, P. 21). وكان إعادة تصنيف النتائج ضرورياً لفهم العمليات التي تنطوي على تعرية وفقدان التربة بشكل أفضل، والنظر في عوامل نموذج المعادلة RUSLE، وتقديم منتجات خرائطية تساعد على فهم هذا الموضوع، وتحديد المناطق التي تتطلب تنفيذ ممارسات إدارة التربة والحفاظ عليها، وبالتالي دعم تخطيط وإدارة موارد المياه.

١-٢ دراسات سابقة

قدر (Benchettouh et al., 2017) مخاطر تعرية التربة في حوض وادي مينا (شمال غرب الجزائر) باستخدام نموذج المعادلة (RUSLE) ضمن بيئة (GIS)، حيث تراوح معدل التعرية بين ٠,٠ وأكثر من ١٠٠ طن/هكتار/سنة، بمتوسط سنوي بلغ ١١,٢ طن/هكتار/سنة، وأكدت الدراسة أن ٣٦,١٪ من مساحة الحوض تعاني من مخاطر شديدة جدا للتعرية المائية. وحلل (Dagneu & Yesuph, 2019) شدة تعرية التربة في حوض النيل الأزرق إثيوبيا شمال شرق إثيوبيا باستخدام نموذج المعادلة (RUSLE)، وتوصلت النتائج إلى تراوح معدل التعرية المائية بين ٠-٩٣٥ طن/هكتار/سنة، بمتوسط ٣٧ طن/هكتار/سنة، وتعاني المناطق الشمالية الشرقية من شدة مخاطر تعرية التربة بسبب شدة الانحدار ووعورة التضاريس. ونمذج (Koirala et al., 2019) تعرية التربة مكانياً في نيبال باستخدام نموذج المعادلة (RUSLE)، وتوصلت النتائج إلى أن متوسط التعرية المائية بلغ ٢٥ طن/هكتار/سنة، وتتركز تعرية التربة الشديدة بالمرتفعات الوسطى في الهملايا. وقدم (Luvai et al., 2022) مراجعة شاملة لتقييم تعرية التربة باستخدام نموذج معادلة تعرية التربة العالمية المعدلة (RUSLE) مع التركيز بشكل كبير على تحديات ونجاحات اشتقاق كل عامل على حدة، وتوصلت الدراسة إلى أن هناك معادلات مختلفة تم تطويرها من قبل الباحثين لنمذجة العوامل الخمسة لنموذج المعادلة (RUSLE). وقيم (Belfoul Imajjane, 2020&) تعرية التربة غرب المغرب بتطبيق المعادلة العالمية (RUSLE) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى تراوح معدل التعرية بين ٠ - ٢٢٧,٦٧ طن/هكتار/سنة، بمتوسط ٤٠,٣٨ طن/هكتار/سنة. وتطرق (George et al., 2021) لنمذجة تعرية التربة وتقييم مخاطرها في ولاية أوتارانتشال الهندية، وتوصلت النتائج إلى أن متوسط تعرية التربة السنوي ٢٧,٤٥ طن/هكتار/سنة، بإجمالي ١١٩ طن/هكتار/سنة. وقام (Abdo et al., 2022) بقياس التعرية المائية للتربة باستخدام منهجية قائمة على (RUSLE) في حوض نهر القشش، اللاذقية، حيث كان هدف الدراسة تقييم شدة تعرية التربة باستخدام معادلة فقدان التربة العالمية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المعدل السنوي لتعرية التربة ٨١,١ طن/هكتار/سنة بمتوسط مكاني يصل إلى ٥٥,٢ طن/هكتار/سنة.

ونموذج (Ejaz et al., 2023) تعرية التربة باستخدام تقنيات (RUSLE) والاستشعار عن بعد في حوض وادي بيش، بالمملكة العربية السعودية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن حجم التعرية المائية السنوية في الحوض تقدر بنحو ٥٧,٩١ مليون طن، وأن تعرية التربة شمال وجنوب الحوض تتصف بكونها شديدة، بينما تعتبر نموذجية وسط وادي بيش.

وبذلك كان سبب استخدام الدراسة لنموذج المعادلة العالمية (RUSLE). لأنها النموذج التجريبي الأكثر تطبيقاً وقبولاً لتقدير تعرية التربة في العالم (Barbosa et al., 2024, p. 2). فضلا عن ذلك يستخدم هذا النموذج عدة من متغيرات تقدير قابلية تعرية التربة. كمتغير الأمطار (R)، وخصائص التربة (K)، والطبوغرافيا (LS)، واستخدام وأغطية الأرض (C)، وممارسات إدارة وحفظ التربة (Phinzi and Ngetar, 2019, p. 33).

٢-١ منطقة البحث

يقع حوض وادي الصدر في منطقة الباحة غرب المملكة العربية السعودية (شكل ١)، وتبلغ مساحته ٤١٠,٨٥ كم^٢، ويقع الحوض فلكياً بين دائرتي عرض "N 20° 08' 36" - N 20° 21' 06"، وبين خطي طول 41° E - 12' 17" - 27' 10" E، وتبدأ الروافد العليا من مرتفعات محافظتي الباحة وبنو حسن جنوباً ليصب في محافظة المنطق شمالاً، ويتصف الحوض بطبوغرافية تعزز من نشاط ظاهرة التعرية المائية، حيث يتراوح ارتفاع تضاريس الحوض بين ١٦١٠ - ٢٥٦٥ م، ونسب انحدارها تتراوح بين ٠-٢٧٨,٨٥٪، فضلا عن ذلك يقع الحوض ضمن أكثر المناطق مطراً في المملكة حيث يتراوح المتوسط السنوي لكمية امطار الحوض من ٣٥٤,٥ إلى ٥١٠,٨ ملم سنوياً، مما يعني حدوث ظاهرة الفيضانات، ونشاط التعرية المائية للتربة في الحوض، لذا هناك عدة سدود تنظم فيضانات الحوض أهمها سد وادي الصدر وسد وادي مشنية وسد وادي مدهاس، لذا تم اختيار حوض وادي الصدر كمنطقة دراسة بسبب نشاط عمليات التعرية المائية بشكل ملحوظ، وتأثير الرواسب في التقليل من قدرة السدود التخزينية وكفاءتها وانعكاساتها على إمدادات المياه.

٣-١ أهداف البحث

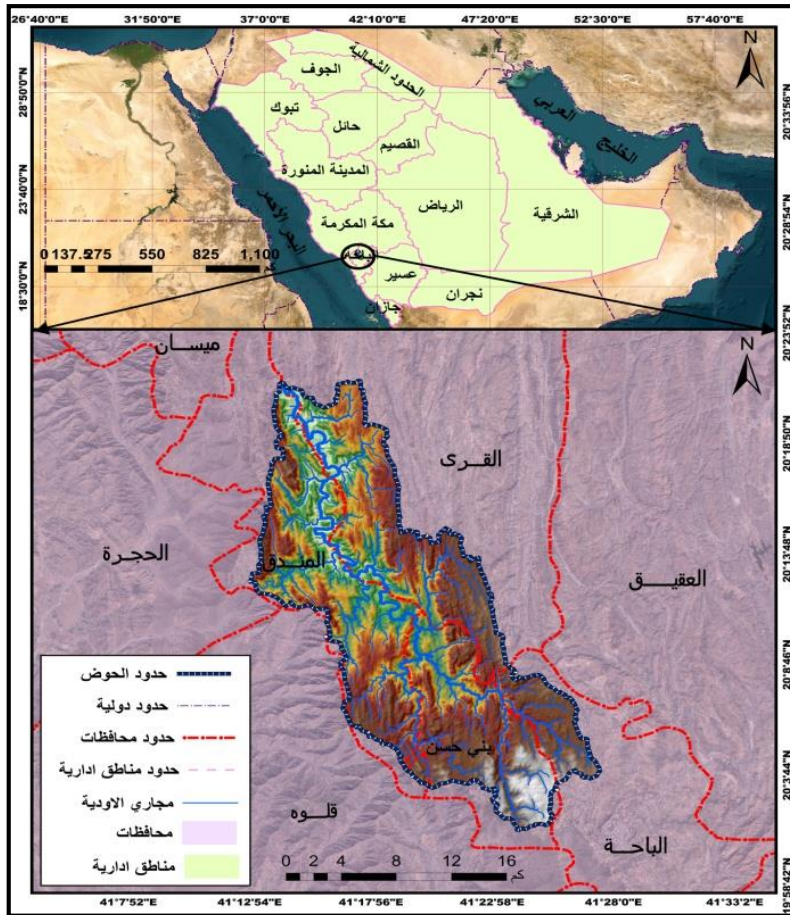
- التحليل المكاني لخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية في حوض وادي الصدر.
- تقييم أثر كل معيار من معايير المعادلة العالمية في التعرية المائية للتربة في الحوض.
- تقدير حجم التعرية المائية للتربة في الحوض.

٢. منهجية الدراسة

تتطلب منهجية تطبيق نموذج المعادلة (RUSLE) توفر خرائط العوامل الموضوعية متمثلة بهطول الأمطار، والانحدار وطول المنحدر، والغطاء النباتي، وقابلية تعرية التربة، وممارسات التحكم في التعرية، وبذلك تدرجت منهجية الدراسة كما يأتي:

١-٢ جمع البيانات

حيث قامت الباحثة بجمع البيانات الخاصة بتطبيق نموذج المعادلة العالمية (RUSLE) لتعرية التربة المبنية على خمسة معايير مكانية متمثلة ببيانات توزيع الأمطار التي تم الحصول عليها على شكل طبقة خلية (Raster) للمدة بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٢ من موقع وكالة ناسا للقمر الصناعي (GPM) بدقة مكانية ١,٨ كم (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>).



شكل ١. موقع حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات (shapfile) للمناطق الإدارية والمحافظات، ونموذج ارتفاع رقمي دقة ٣٠ م.

أما بيانات معيار طبوغرافيا الحوض فقد تم اشتقاقها من نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM) بدقة مكانية ٣٠م من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

وتم الحصول على بيانات معيار خصائص التربة من ثلاثة مصادر، الأول أطلس التربة في المملكة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦)، والثاني موقع المركز الدولي لمعلومات التربة الذي ينتج طبقات (Grid) لخصائص التربة بدقة مكانية ٢٤٠م (<https://soilgrids.org>)، والثالث طبقة رقمية (Shapfile) من موقع منظمة الزراعة والأغذية العالمية FOW (<https://www.fao.org/soils>). وتم اشتقاق طبقة معيار الغطاء النباتي من مرئية لاندسات (٨) بدقة مكانية ٣٠م تم الحصول عليها من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>). وتم استخلاص طبقة إجراءات الحد من الانجراف من نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM) بدقة مكانية ٣٠م من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

٢-٢ معالجة البيانات

بعد الحصول على البيانات المبينة في الخطوة السابقة كانت أولى خطوات معالجة تغير نظام ارجاع كل منها من النظام الإحداثي الجغرافي إلى النظام المتري (UTM-Zone-37N)، ومن ثم توحيد الدقة المكانية للطبقات من خلال تحويل كل منها إلى (Shapfile Point) ومن ثم عمل (Interpolation) لاشتقاق طبقات جديدة لجميع المتغيرات عند دقة ٢٠م، ومن ضمن خطوات معالجة البيانات تعبئة أو ملء الفراغات الموجود في طبقة (DEM) باستخدام أداة (fill)، وكذلك تصحيح الغلاف الجوي للنطاقين (٤، ٥) من مرئيات لاندسات بهدف تحويل القيم الرقمية إلى إشعاع.

٣-٢ اشتقاق طبقات المتغيرات

بعد المعالجة الأولية لبيانات الامطار تم استخدام خوارزمية (IDW) لاشتقاق طبقة خلوية مستمرة لتوزيعها في الحوض، وبعد معالجة نموذج الارتفاع الرقمي استخدمت عدة خوارزميات في برنامج (Arc Map 10.5) لاشتقاق طبقات تراكم الجريان بواسطة (flow accumulation)، وشبكة الجريان حسب نظام (Strahler) التي اقتطعت (clip) حسب طبقة حدود الحوض المشتقة باستخدام (Watershed)، ونسب الانحدار المشتقة بالميل (Slope)، وخطوط الكنتور بواسطة (Counters).

وبعد تهيئة طبقات التربة استخدمت خوارزمية (IDW) لاشتقاق طبقات متغيرات الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة كالكتافة الظاهرية ونسب كل من الطين والرمل والغرين والحصى والمواد العضوية ونيروجين

وكربون وحموضة التربة ونوعيتها، وبالاعتماد على طبقة حدود الحوض تم الاقتطاع من طبقتي التربة لمنظمة الأغذية والزراعة الفاو.

وبعد الانتهاء من معالجة مرئية لاندسات تم استخدام مؤشر (Normalized difference vegetation index) ضمن برنامج (ERDAS 14) لاشتقاق طبقة الغطاء النباتي.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

معادلة رقم 1 (Rouse et al., 1973)

وصنفت طبقات جميع المتغيرات التي اشتقت سابقا إلى فئات باستخدام أداة (Classify).

٢-٤ اشتقاق طبقات معايير النموذج

بعد الانتهاء من اشتقاق طبقات المتغيرات اللازمة لتطبيق المعادلات الخاصة بمعايير نموذج المعادلة (RUSLE) انتقلت الدراسة لخطوة اشتقاق طبقات تطبيق النموذج بالاعتماد على تلك الطبقات، حيث اعتمدت الدراسة في اشتقاق طبقة معيار أثر الأمطار (R-Factor) في تعرية التربة بتطبيق المعادلة في حاسبة برنامج (Arc Map 10.5)

$$R = - 8.12 + 0.562 * PCP$$

معادلة رقم 2 (Ejaz et al., 2023, p.6)

حيث PCP طبقة مستمرة بصيغة (Raster) للأمطار في الحوض. وبالتالي تم اشتقاق طبقة تأثير متغير الطبوغرافيا (LS-Factor) في تعرية التربة من خلال تطبيق المعادلة:

$$Ls = \left(\frac{Qa * M}{22.13}\right) Y * (0.065 + 0.045 * Sg + 0.0065 * Sg^2)$$

معادلة رقم 3 (Wischmeier & Smith, 1978, p.12)

حيث (Qa) طبقة تراكم الجريان، (M) أبعاد خلايا نموذج الارتفاع الرقمي، (Sg) طبقة نسب الانحدار، (Y) اس يتراوح بين (٠,٢ - ٠,٥). وبعدها اشتقت طبقة معيار أثر خصائص التربة (K-Factor) في تعرية التربة بالاعتماد على طبقات عدة متغيرات من خلال تطبيق المعادلة:

$$K = 2.1 * M1.14 * 10^{-4} * (12-a) + 3.25 * (b-2) + 2.5 * (c-3)$$

معادلة رقم 4 (Wischmeier & Smith, 1978, p.10).

حيث (M) نسبة الغرين + نسبة الرمل * (١٠٠ - نسبة الطين)، (a) المواد العضوية، (C) نفاذية التربة التي تتراوح بين ١ - ٦، (b) بنية التربة وتتراوح بين ١ - ٤.

وأعقبها اشتقاق طبقة معيار أثر الغطاء النباتي (C-Factor) في تعرية تربة الحوض بالاعتماد على طبقة متغير النبات، وتطبيق المعادلة في حاسبة (Raster Calculator in Arc GIS).

$$C = 0.1 ((-NDVI+1)/2)$$

معادلة رقم 5 (Durigon et al., 2014, p.219)

وأخيراً اشتقت طبقة معيار أثر الإجراءات (P-Factor) في تعرية تربة الحوض بالاعتماد على طريقة خطوط الكنتور (contouring) القائمة على طبقات متغير نسب الانحدار وقيم طريقة زراعة الكنتور حسب (Shin, 1999).

٢-٥ تقدير التعرية المئوية

بعد اشتقاق طبقات معايير تطبيق نموذج المعادلة (RUSLE) المتمثلة في (R-LS-K,C,P) تم استخدام حاسبة برنامج (Arc Map 10.5) لتطبيق المعادلة العالمية لتعرية التربة كما يأتي:

$$A = R * K * LS * C * P$$

معادلة رقم 6 (Sheikh et al., 2011)

حيث (A) متوسط خسارة التربة السنوية (طن/هكتار/عام)، (R) طبقة معيار هطول الأمطار، (K) طبقة معيار قابلية التربة للتعرية، (LS) متغير معيار الطبوغرافيا، (C) معيار النبات، (P) طبقة معيار إجراءات التحكم في التعرية.

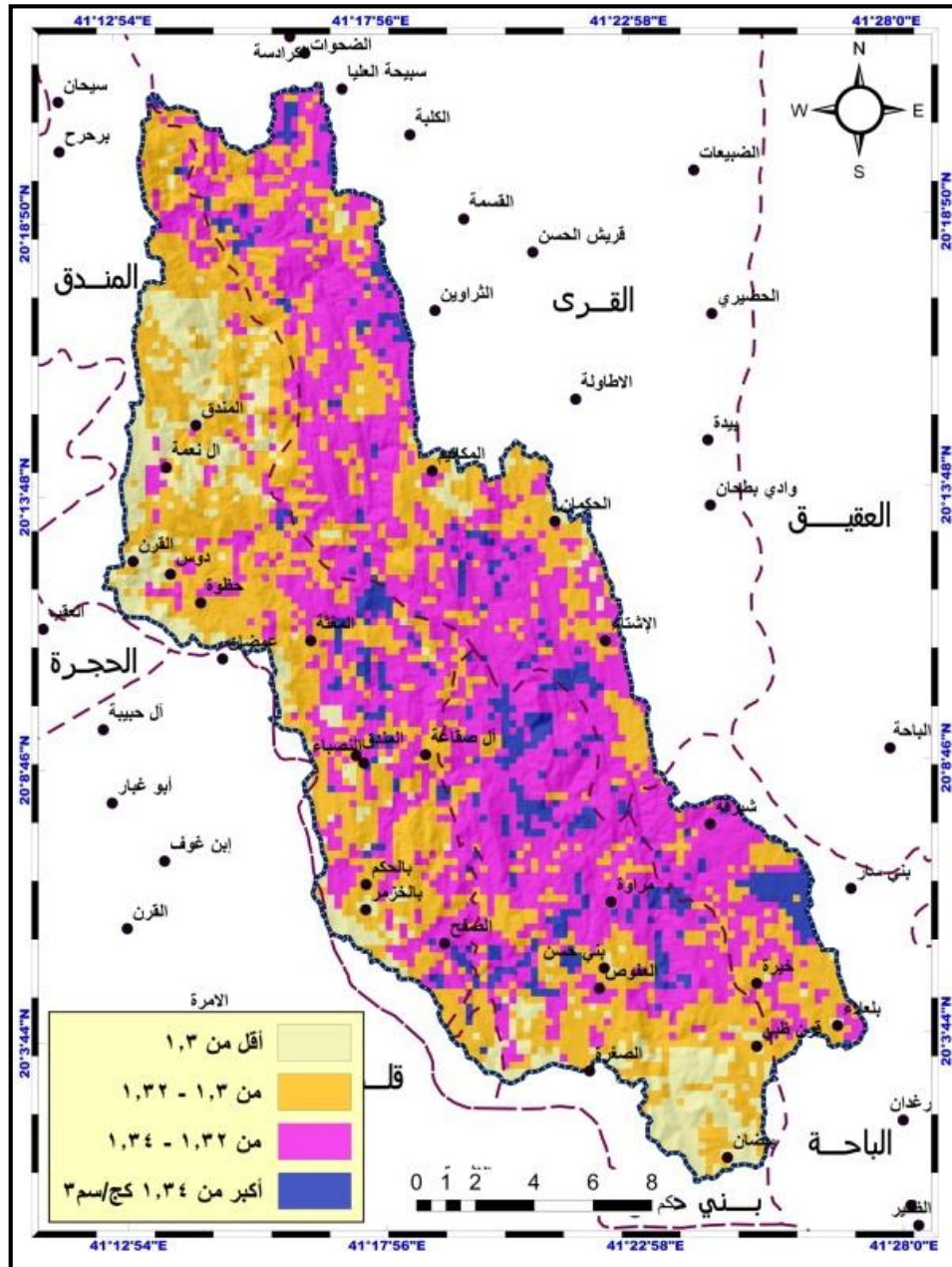
٣. تحليل ومناقشة نتائج الدراسة

٣-١ الخصائص الفيزيائية لتربة الحوض

٣-١-١ الكثافة الظاهرية للتربة

يقصد بكثافة التربة (Bulk density) وزن التربة الجافة مقسوم على حجمها الكلي، وتعكس كثافة التربة حجم وشكل وترتيب وفراغات حبيباتها (بنيتها)، وتعد بنية التربة مؤشر مهم لمعرفة حساسيتها للتعرية المائية، فكلما زادت الكثافة زاد تماسك حبيباتها، وقل تأثيرها بالتعرية والعكس. وبذلك تراوحت كثافة تربة حوض وادي الصدر بين ٠ - ١,٤١ كج/سم^٣، بمتوسط مكاني للحوض بلغ ١,٣٢ كج/سم^٣. وتظهر نتائج تصنيف كثافة التربة شكل (٢) وقوع المنطقة التي تتصف بحساسية عالية لتعرية تربتها حيث تقل الكثافة عن ١,٣ كج/سم^٣ جنوب وشرق غرب الحوض بمساحة ٤٨,٨ كم^٢ بنسبة ١١,٨٨٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتسم تربتها بحساسية معتدلة للتعرية، حيث تراوح كثافة التربة بين ١,٣-١,٣٢ كج/سم^٣، غرب وجنوب ووسط شرق الحوض، بمساحة ١٥٩,٨٢ كم^٢ بنسبة

٣٨,٩٪ من مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تتصف تربتها بحساسية منخفضة للتعرية، حيث تتراوح كثافة التربة الظاهرية ١,٣٢-١,٣٤ كج/سم^٣، وسط وشمال الحوض بمساحة ١٧٣,٣٨ كم^٢ بنسبة ٤٢,٢٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تتسم تربتها بحساسية منخفضة جدا للتعرية، حيث تتجاوز الكثافة ١,٣٤ كج/سم^٣، وسط وشمال وجنوب شرق حوض وادي الصدر بمساحة ٢٨,٨٤ كم^٢ بنسبة ٧,٠٢٪ من مساحة الحوض.

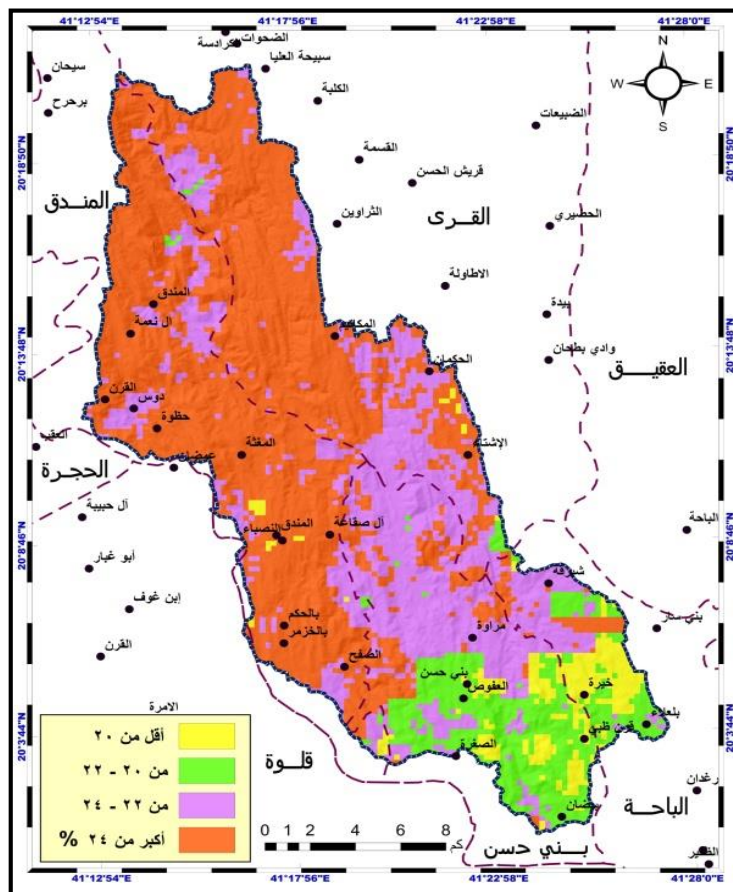


شكل ٢. الكثافة الظاهرية للتربة لحوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

٣-١-٢ نسبة الطين في التربة

تعتبر نسبة الطين ضمن أهم المكونات التي تحدد حجم التعرية المائية فالتربة الطينية معتدلة النسيج وتقلل من حجم التعرية مقارنة بالتربة الرملية الخشنة. حيث تؤدي زيادة نسبة الطين إلى زيادة التصاق حبيبات التربة وبالتالي زيادة مقاومة التربة للتعرية (Istanbuly et al., 2021, p.8). وعليه فقد تراوحت نسبة الطين في اربة الحوض بين ٠ - ٢٧,٨٪، بمتوسط على مستوى الحوض ٢٣,٧٪. وتقع المنطقة التي تقل فيها نسبة الطين عن ٢٠٪ بشكل (٣) السابق في المناطق المرتفعة جنوب الحوض بمساحة ٢٠,٦٨ كم^٢ بنسبة ٥,٠٣٪ من مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تتراوح فيها نسبة الطين بين ٢٠ - ٢٢٪ جنوب الحوض، بمساحة ٤٤,٢٤ كم^٢ بنسبة ١٠,٧٦٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تتراوح فيها نسبة الطين بين ٢٢ - ٢٤٪ شرق ووسط وشمال الحوض بمساحة ١١٦,٣٣ كم^٢ بنسبة ٢٨,٣٢٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تجاوزت فيها نسبة الطين ٢٤٪ أدنى ووسط وغرب الحوض بمساحة ٢٢٩,٥٩ كم^٢ بنسبة ٥٥,٨٩٪ من مساحة الحوض.

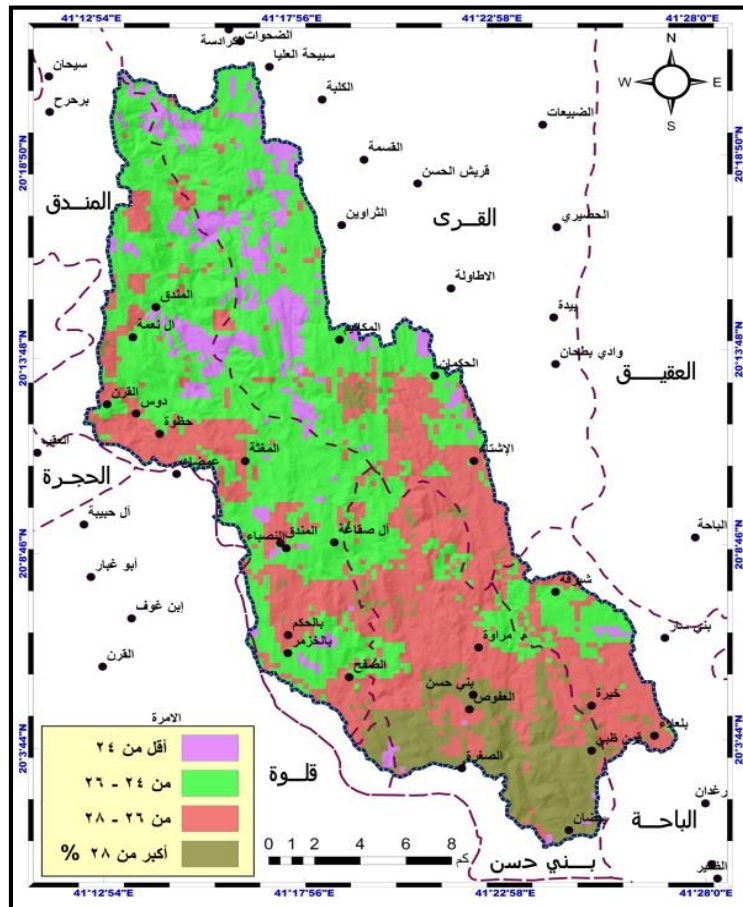


شكل ٣. نسبة الطين في تربة حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

٣-١-٣ نسبة الغرين في التربة

تعتبر التربة الغنية بالغرين من الترب التي تتصف بكونها ناعمة النسيج، مما يعزز من مخاطر التعرية المائية. وبصورة عامة تكون التربة ذات المستويات المنخفضة من الطمي أقل قابلية للتعرية (Ghosal & Bhattacharya, 2020, p.696). وبذلك تراوحت نسبة الغرين ضمن تكوين تربة الحوض بين ٠-٣٢,٧٪، بمتوسط على مستوى الحوض ٢٥,٨٧٪. وتنتشر المنطقة التي تقل فيها نسبة الغرين عن ٢٤٪، كما يتضح من الشكل (٤)، أدنى ووسط الحوض بمساحة ٣٤,٨٢ كم^٢ بنسبة ٨,٤٦٪ من مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تراوحت فيها نسبة الغرين بين ٢٤ - ٢٦٪ وسط وأدنى الحوض، بمساحة ١٨٧,٩٣ كم^٢ بنسبة ٤٥,٧٥٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتراوح فيها نسبة غرين التربة بين ٢٦ - ٢٨٪ جنوب ووسط وغرب الحوض بمساحة ١٤١,٦٦ كم^٢ بنسبة ٣٤,٤٨٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تجاوزت فيها نسبة الغرين ٢٨٪ جنوب وجنوب غرب الحوض بمساحة ٤٦,٤٢ كم^٢ بنسبة ١١,٢٩٪ من مساحة الحوض.



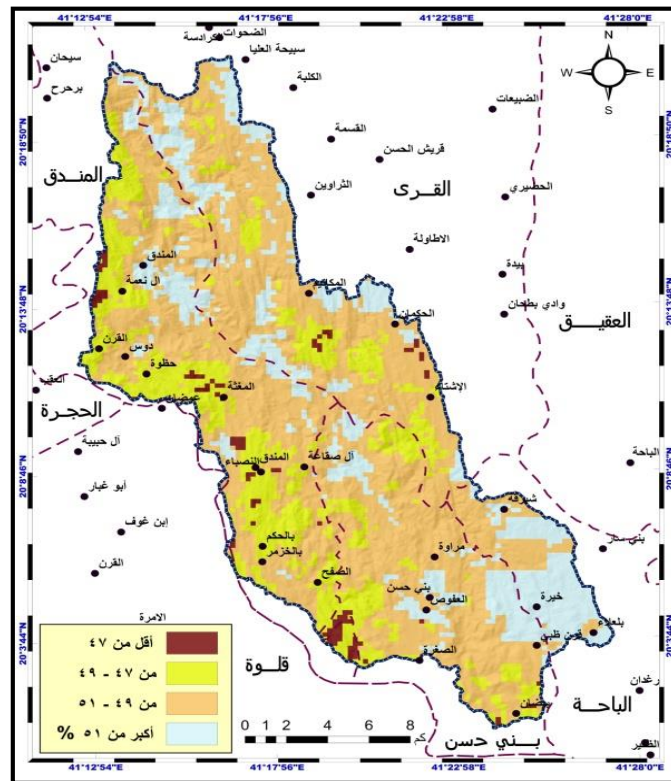
شكل ٤. نسبة الغرين في تربة حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

٣-١-٤ نسبة الرمل في التربة

تعزز جزيئات الرمل والطمي من امكانيات التعرية المائية العالية للتربة، ويمكن أن تزداد تعرية التربة إذا زادت النسبة المئوية لهذه الجزيئات في تكوينها (Istanbuly et al., 2021, p.8). وبالتالي تقل مقاومة التربة الرملية لعمليات التعرية المائية كونها خشنة النسيج، وهذا يقلل من تماسك حبيبات التربة، ويعزز من مخاطر التعرية. وعليه فقد تراوحت نسبة رمل تربة الحوض بين ٠ - ٥٥,١٪، بمتوسط مكاني على مستوى الحوض ٤٩,٧٢٪.

وتنتشر المناطق التي تقل فيها نسبة الرمل عن ٤٧٪ كما في الشكل (٥) السابق غرب ووسط شرق الحوض بمساحة ٦,٦ كم^٢ بنسبة ١,٦٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتراوح فيها نسبة الرمل بين ٤٧ - ٤٩٪ غرب وجنوب ووسط شرق الحوض، بمساحة ٨٢,٦٦ كم^٢ بنسبة ٢٠,١٢٪ من مساحة الحوض. وتغطي المنطقة التي تتراوح فيها نسبة الرمل بين ٤٩ - ٥١٪ غالبية الحوض بمساحة ٢٤٢,٤١ كم^٢ بنسبة ٥٩٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تجاوزت فيها نسبة الرمل ٥١٪ جنوب شرق ووسط وأدنى الحوض بمساحة ٧٩,١٨ كم^٢ بنسبة ١٩,٢٧٪ من مساحة الحوض.

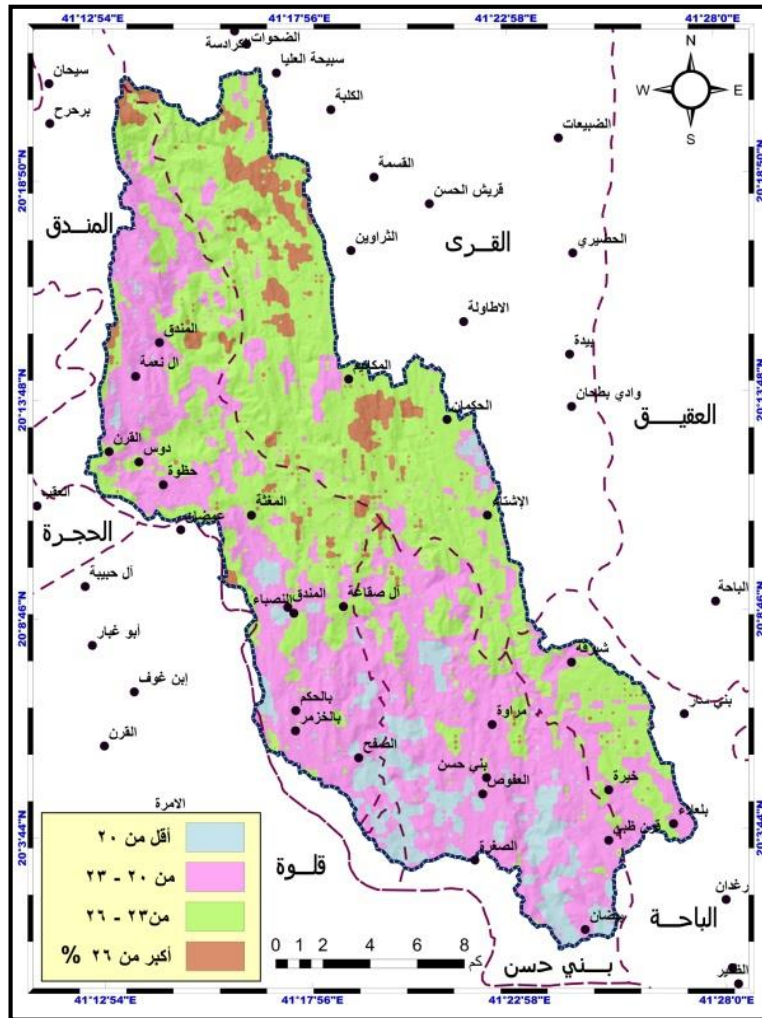


شكل ٥. نسبة الرمل في تربة حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

٣-١-٥ نسبة الحصى في التربة

يقصد بالحصى حبيبات التربة التي يتجاوز حجمها عن ٢ ملم، وتعد من مؤشرات تقييم تعرية التربة، حيث تؤثر في محتواها وحجم الجريان، حيث يسهم حصى التربة في تبديد طاقة قطرات المطر، لذلك تعد التربة التي تحتوي على كمية معتدلة من الحصى على السطح أكثر مقاومة للتعرية المائية، بسبب ترشيح جزء كبير من مياه الأمطار. ويقل متوسط تعرية التربة بالمياه في الترب الحصوية بنسبة تتراوح بين ٩ - ٧٠٪. (Chow et al., 2007, p.565). وتراوح نسبة الحصى في تربة الحوض بين ٠,٠٠٦ - ٣٠,٤٨٪، بمتوسط على مستوى الحوض ٢٢,٨٪. وتقع المنطقة حيث تقل نسبة الحصى عن ٢٠٪ كما يتضح من شكل (٦) جنوب غرب الحوض بمساحة ٣٠,٩٦ كم^٢ بنسبة ٧,٥٣٪ من مساحة الحوض.



شكل ٦. نسبة الحصى في تربة حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

وتغطي المنطقة التي تتراوح فيها نسبة الحصى بين ٢٠-٢٣٪ غرب وجنوب ووسط الحوض، بمساحة ١٧٠,٨٢ كم^٢ بنسبة ٤١,٥٨٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة حيث نسبة تتراوح الحصى بين ٢٣ - ٢٦٪ بمساحة ١٨٧,١٧ كم^٢ بنسبة ٤٥,٥٦٪ من مساحة الحوض وسط وشرق حوض وادي الصدع. وتظهر المنطقة التي تجاوزت فيها نسبة الحصى ٢٦٪ شمال وشمال شرق الحوض بمساحة ٢١,٩ كم^٢ بنسبة ٥,٣٣٪ من مساحة الحوض.

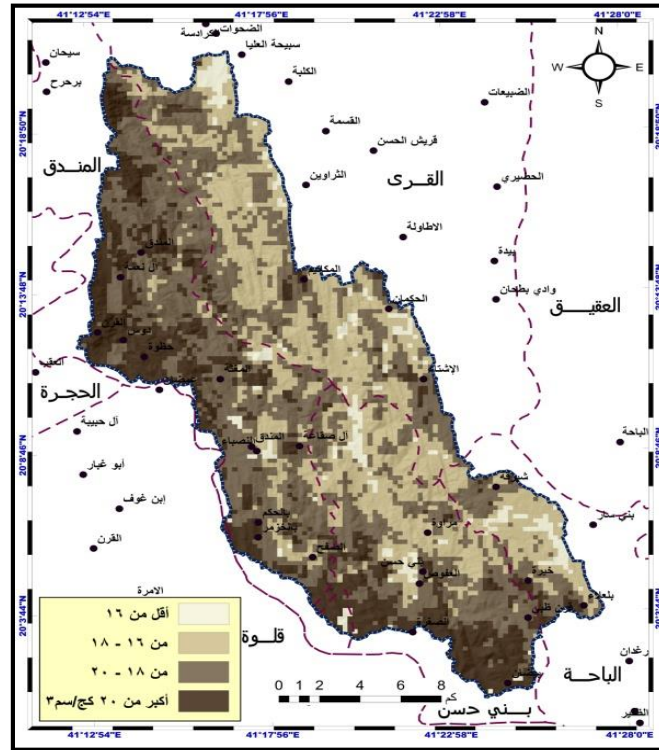
٢-٣ الخصائص الكيميائية للتربة

١-٢-٣ كثافة المواد العضوية

تقلل المواد العضوية في التربة من سرعة تعريتها بالمياه، حيث تقل عمليات التعرية مع زيادة كثافة المواد العضوية والعكس، وعليه تتراوح كثافة المواد العضوية في تربة الحوض بين ٠ - ٢٥,٩ كج/سم^٣، بمتوسط مكاني للحوض ١٨,٦ كج/سم^٣، ويظهر شكل (٧) السابق وقوع المنطقة التي تعاني من حساسية عالية جدا لتعرية التربة حيث تقل كثافة المواد العضوية عن ١٦ كج/سم^٣ جنوب ووسط وشرق الحوض بمساحة ١٧,٥٨ كم^٢ بنسبة ٤,٢٨٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتسم تربتها بحساسية عالية للتعرية حيث تراوح كثافة المواد العضوية بين ١٦ - ١٨ كج/سم^٣ وسط وجنوب شرق وشرق وشمال الحوض، بمساحة ١٢٦,٦٥ كم^٢ بنسبة ٣٠,٨٢٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتصف تربتها بحساسية معتدلة للتعرية حيث تتراوح كثافة المواد العضوية بين ١٨ - ٢٠ كج/سم^٣ وسط وغرب حوض وادي الصدر بمساحة ١٧٧,٦٧ كم^٢ بنسبة ٤٣,٢٥٪ من مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تتسم تربتها بحساسية منخفضة للتعرية حيث تتجاوز الكثافة ٢٠ كج/سم^٣ جنوب غرب وشمال غرب الحوض بمساحة ٨٨,٩٤ كم^٢ بنسبة ٢١,٦٥٪ من إجمالي مساحة الحوض.

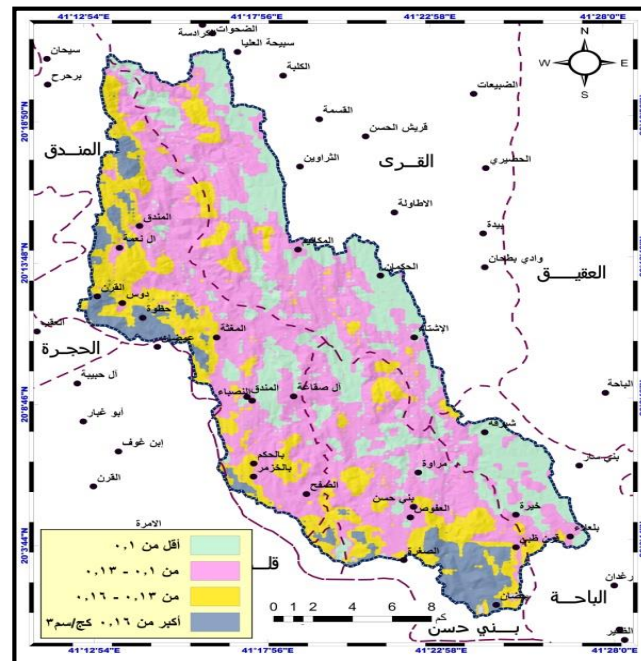
٢-٢-٣ نيتروجين التربة

يعزز نيتروجين التربة من تماسك حبيباتها وشدة مقاومتها للتعرية المائية، وعليه تتراوح كثافة المواد العضوية في تربة الحوض بين ٠ - ٠,٣٣ كج/سم^٣، بمتوسط مكاني للحوض ٠,١٢ كج/سم^٣، ويظهر شكل (٨) وقوع المنطقة التي يقل فيها نيتروجين التربة عن ٠,١ كج/سم^٣ وسط وشرق وأدنى حوض وادي الصدع بمساحة ٩٢,٣٤ كم^٢ بنسبة ٢٢,٤٨٪ من مساحة الحوض. وتغطي المنطقة التي يتراوح فيها نيتروجين التربة بين ٠,١ - ٠,١٣ كج/سم^٣ وسط الحوض، بمساحة ٢٠٧ كم^٢ بنسبة ٥٠,٣٩٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي يتراوح فيها النيتروجين بين ٠,١٣ - ٠,١٦ كج/سم^٣ وسط وجنوب غرب وغرب وشمال غرب الحوض ٧٩,٣٦ كم^٢ بنسبة ١٩,٣١٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي يتراوح فيها نيتروجين التربة ٠,١٦ كج/سم^٣ جنوب غرب وشمال غرب الحوض بمساحة ٣٢,١٤ كم^٢ بنسبة ٧,٨٢٪ من إجمالي مساحة الحوض.



شكل ٧. كثافة المواد العضوية في تربة حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.



شكل ٨. نيتروجين التربة في حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

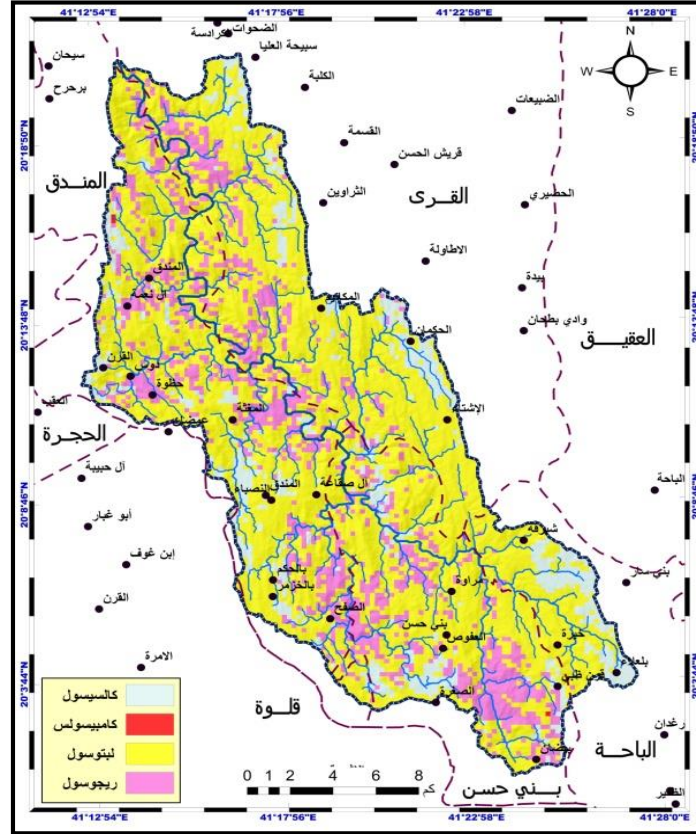
٣-٣ أنواع التربة في الحوض

تنتشر في حوض وادي الصدر كما يوضح شكل (٩) اربعة انواع من التربة الاولى تعرف بتربة (Calcisol)، وهي إحدى مجموعات التربة في نظام تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (الفاو)، وتقابل هذه التربة ما يعرف حسب التصنيف الأمريكي للتربة تربة (Aridisols) وهي تربة تتصف بأفق سطحي فاتحة اللون مع محتوى منخفض للغاية من المواد العضوية، وعادة ما تتميز بكونها تربة جيدة الصرف ذات نسيج ناعم إلى متوسط، تنتشر شرق ووسط وغرب الحوض بمساحة بلغت ٤٥,١ كم^٢ بنسبة ١٠,٩٧٪ من مساحة الحوض. وتعرف النوع الثاني بتربة (Cambisol) إحدى مجموعات تصنيف (الفاو) للتربة تتميز بعدم وجود طبقة من الطين المتراكم والدبال والأملاح القابلة للذوبان، تتكون بشكل طبيعي على مواد أم متوسطة إلى دقيقة النسيج تحت أي ظروف مناخية وطبوغرافية وغطاء نباتي، وتختلف عن المواد الأم التي تكونت منها، وبسبب بنيتها ومحتواها من المعادن يمكن استغلالها للزراعة، وتتصف بنسيج رملي طيني ويصل سمكها إلى ١٥ سم أو أكثر، وتختلف عن (Leptosols) و (Regosols) من خلال عمقها الأكبر ونسيجها الأكثر نعومة، تظهر شمال غرب الحوض بمساحة بلغت ٠,١٦ كم^٢ بنسبة ٠,٠٣٧٪ من مساحة الحوض. أما النوع الثالث فيعرف بتربة (Leptosols) وهي إحدى مجموعات تصنيف (الفاو) للتربة وهي عبارة عن تربة ضحلة للغاية فوق الصخور الصلبة ذات عمق جانبي ضحل جدًا يشير إلى تأثير ضئيل لعمليات تكوين التربة، تحتوي على كميات كبيرة من الحصى، ويظهر فيها أفق محدود تنشأ بفعل عمليات التعرية، وتقابل حسب التصنيف الأمريكي تربة (Entisol)، وهي تربة يتم تحديدها من خلال غياب أو شبه غياب آفاق التربة التي تعكس عمليات تكوين، وتغطي غالبية مساحة الحوض بمساحة بلغت ٢٨٤,٨٥ كم^٢ بنسبة ٦٩,٣٤٪ من مساحة الحوض. ويعرف النوع الرابع من ترب حوض وادي الصدر بتربة (Regosol) وهي إحدى مجموعات التربة من قبل (الفاو)، تتميز بمواد ضحلة إلى متوسطة إلى ناعمة غير متماسكة من أصل غريني، ولا يوجد فيها أي أفق بسبب الظروف المناخية الجافة، وتشبه في التصنيف الأمريكي تربة (Entisol) التي تكونت في المناطق المناخية الحارة شديدة الجفاف.

٣-٤ توزيع الأمطار

تعد الأمطار وما يترتب عليها من جريان سطحي الطاقة التي يتم من خلالها حت ونقل مكونات التربة المعدنية من مكان إلى آخر، ويعتبر تأثير الامطار الذي يحسب بمعادلة خاصة به احد معايير المعادلة العالمية لتقدير تعرية التربة، وعليه فقد تراوح المتوسط السنوي لكمية الأمطار في حوض وادي الصدر بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٢ بين ٣٥٤,٤٨ ملم شمال غرب الحوض إلى ٥١٠,٨٤ ملم سنويا بمتوسط مكاني على مستوى الحوض

بلغ ٤٢٠,١ ملم سنوياً، ويبين شكل (١٠) تدرج كمية الأمطار بالانخفاض من المناطق الأكثر ارتفاعاً (٢٥٦٥)م جنوب شرق الحوض، نحو المناطق المنخفضة شمال غرب الحوض (١٦١٠) م.



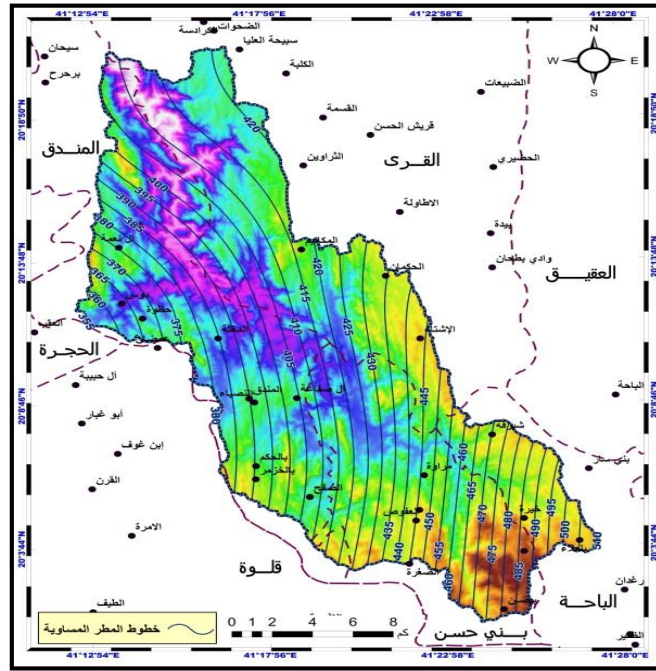
شكل ٩. أنواع التربة في حوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات خلوية (Raster)، دقة مكانية ٢٤٠ م، المركز الدولي لبيانات التربة.

٣-٥ الغطاء النباتي

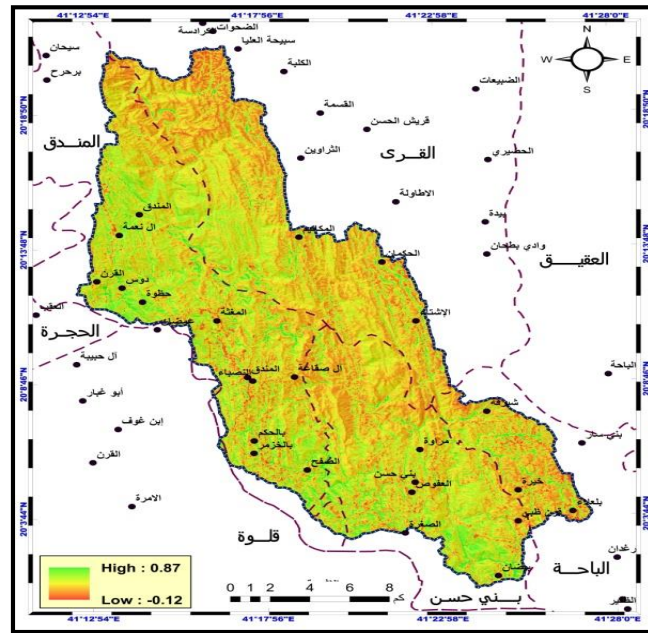
يعتبر الغطاء النباتي ثاني أهم عامل بعد التضاريس يتحكم في مخاطر تعرية التربة، يعترض الغطاء النباتي هطول الأمطار، ويزيد من تسربها ويقلل من طاقتها في حت ونقل حبيبات التربة بالتعرية (Koirala et al., 2019, p.7).

وعليه يعد الغطاء النباتي من أهم مدخلات تقدير تعرية التربة بواسطة المعادلة العالمية، وعليه يظهر شكل (١١) السابق تراوح مؤشر الاختلاف الخصري الطبيعي للغطاء النباتي في الحوض بين ٠,١٢ - في مناطق البناء ومياه السدود جنوب ووسط الحوض إلى ٠,٨٧ حيث ترتفع كمية الأمطار جنوب وجنوب غرب الحوض، بمتوسط على المستوى المكاني للحوض بلغ ٠,٤.



شكل ١٠. خطوط المطر المتساوية في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM)، موقع وكالة ناسا، بيانات مناخ الأرض. ومرئية لاندسات (2023/06/28)، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.



شكل ١١. مؤشر (NDVI) في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM)، موقع وكالة ناسا، بيانات مناخ الأرض. ومرئية لاندسات (2023/06/28)، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.

٣-٦ معايير تقييم تعرية التربة بنموذج (RUSEL)

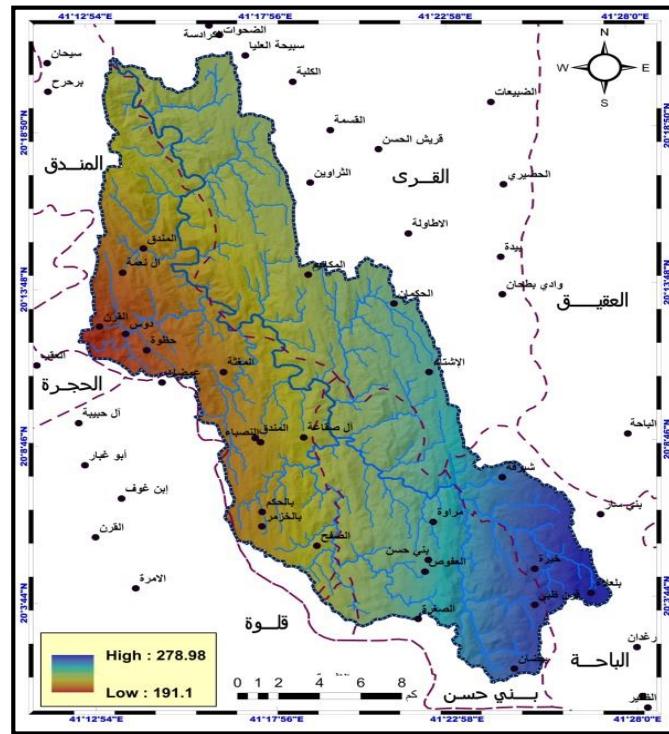
٣-٦-١ معيار تعرية الأمطار

تعتبر الأمطار أول معايير نموذج تقدير تعرية التربة باستخدام المعادلة العالمية (RUSLE)، واعتمدت الدراسة في كشف أثر الأمطار على معادلة تتناسب مع مناخ الحوض الواقع ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة، وعليه توصلت نتائج تطبيق المعادلة تباين أثر الأمطار في تعرية تربة حوض وادي الصدر، ومما يؤكد ذلك شكل (١٢) تراوح قيمة معيار أثر الأمطار بين ١٩١,١ في المناطق التي يقل فيها أثر الامطار في التعرية غرب الحوض، إلى ٢٧٨,٩٨ حيث يشهد أثر الأمطار في التعرية جنوب وجنوب شرق الحوض، بمتوسط لتأثير الأمطار في التعرية المائية لتربة الحوض بلغت ٢٢٧,٩٧ ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة.

وتبين نتائج كشف أثر فئات توزيع الامطار في التعرية المائية في الحوض شكل (١٣) وقوع غالبية الحوض تحت تأثير معتدل، وتظهر الفئة التي يقل تأثير امطارها عن ٢١٠ ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة وسط غرب الحوض بمساحة بلغت ٥٨,٥٤ كم^٢، بنسبة ١٤,٢٥٪ من إجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي يتراوح تأثير الأمطار بين ٢١٠ - ٢٣٠ ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة، بمساحة ٢٠٠,٧٨ كم^٢، بنسبة ٤٨,٨٧٪ وسط وشمال وجنوب غرب الحوض. وتظهر المنطقة حيث يتراوح أثر الأمطار في التعرية ٢٣٠ - ٢٥٠ ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة، بمساحة تبلغ ٩٠,٦٣ كم^٢، بنسبة ٢٢,٠٦٪ وسط وشرق الحوض، وتبرز المنطقة التي يتجاوز أثر أمطارها ٢٥٠ ميغا جول/ملم/هكتار/ساعة/سنة جنوب وجنوب شرق الحوض، بمساحة بلغت ٦٠,٨٩ كم^٢، بنسبة ١٤,٨١٪.

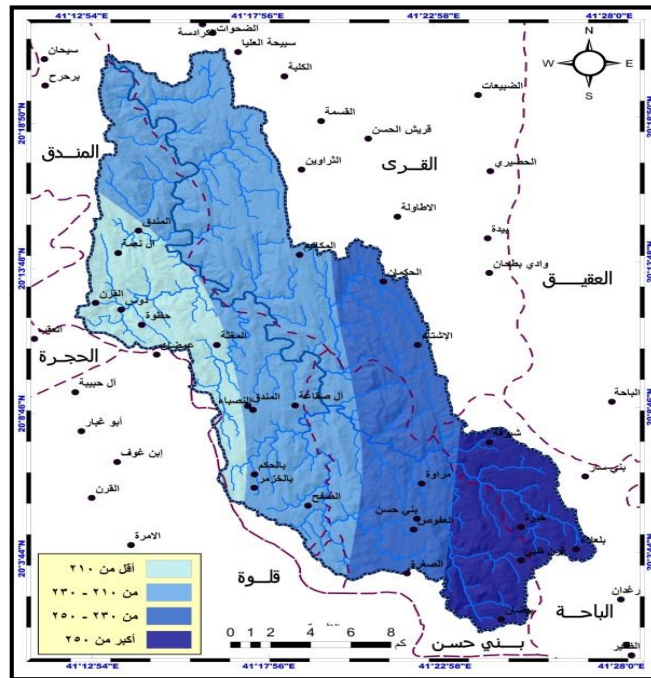
٣-٦-٢ معيار مقاومة التربة

يعتبر معيار تأثير التربة مقياس تجريبي لقابلية تعريتها التي تتأثر بمجموعة متنوعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (Fu et al., 2005, p.74). ويُعرّف هذا العامل بـمدة قابلية تعرية التربة على أنه معدل فقدان التربة لكل وحدة قياسه على قطعة أرض، ويفسر تأثير خصائص التربة على تعرية التربة أثناء حدوث العواصف. (Benchettouh et al., 2017, p.6). ويرتبط بنسب التربة، ومحتواها من المواد العضوية، والنفاذية، وعوامل أخرى، ويتحدد إلى حد كبير بنوع التربة (Renard, 1997, p.404). وبذلك تظهر نتائج كشف أثر التربة في التعرية المائية بحوض وادي الصدر تباين مكاني في تأثيرها، ومما يدل على ذلك شكل (١٤) أن تأثير معيار خصائص التربة يتراوح بين ٠,٠٢٨ بالمناطق التي تتصف بتدني أثر التربة في التعرية جنوب غرب وشرق الحوض، إلى ٠,٤٣ حيث تسهم خصائص التربة في التعرية وسط وشمال الحوض، بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ ٠,٢٥ طن/ساعة/ميجا جول/ملم.



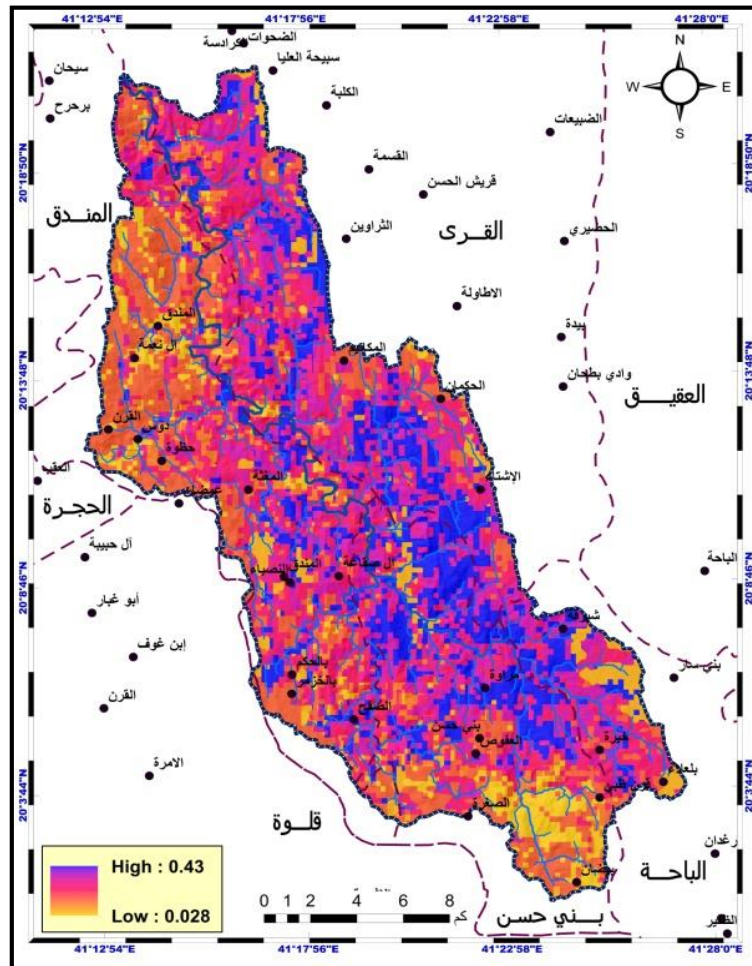
شكل ١٢. أثر تعرية الأمطار في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات متوسط كمية الأمطار السنوية ٢٠٠٠-٢٠٢٢، موقع وكالة ناسا، بيانات مناخ الأرض.



شكل ١٣. فئات أثر تعرية الامطار في الحوض.

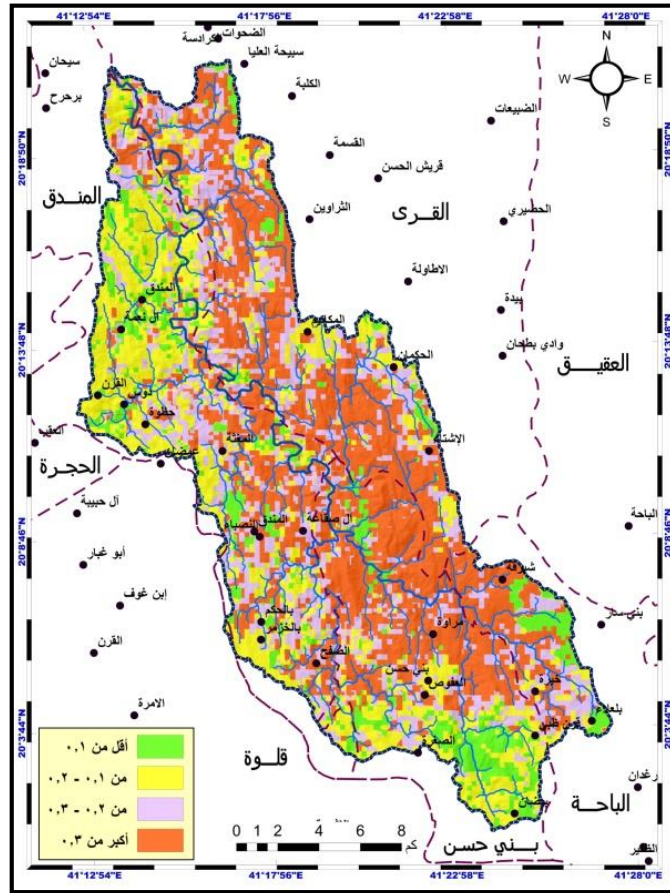
المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات متوسط كمية الأمطار السنوية ٢٠٠٠-٢٠٢٢، موقع وكالة ناسا، بيانات مناخ الأرض.



شكل ١٤. أثر التربة في التعرية بالحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات نسب الغرين والرمل والطين والمواد العضوية وبنية ونفاذية التربة، دقة مكانية ٢٤١ م، المركز الدولي لمعلومات التربة.

وتوضح نتائج كشف أثر التربة على مستوى الفئات كما في الشكل (١٥) وقوع المنطقة حيث يقل تأثير التربة في التعرية عن ٠,١ طن/ساعة/ميجا جول/ملم وسط وجنوب وغرب وجنوب غرب الحوض بمساحة ٤٤,٥ كم^٢، بنسبة ١٠,٨٣٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تراوح فيها تأثير التربة في التعرية بين ٠,١-٠,٢ طن/ساعة/ميجا جول/ملم جنوب وجنوب غرب وغرب الحوض، بمساحة ١٠٤,٨٨ كم^٢، بنسبة ٢٥,٥٣٪. بينما تظهر المنطقة التي تراوح فيها تأثير التربة في التعرية المئوية بين ٠,٢-٠,٣ طن/ساعة/ميجا جول/ملم شمال ووسط وشرق الحوض، بمساحة بلغت ٩٧,١٦ كم^٢، بنسبة ٢٣,٦٣٪. وتغطي المنطقة حيث يتجاوز أثر التربة في التعرية ٠,٣ طن/ساعة/ميجا جول/ملم وسط وشرق وشمال شرق الحوض، بمساحة ١٦٤,٣ كم^٢، بنسبة ٣٩,٩٩٪ من إجمالي مساحة الحوض.



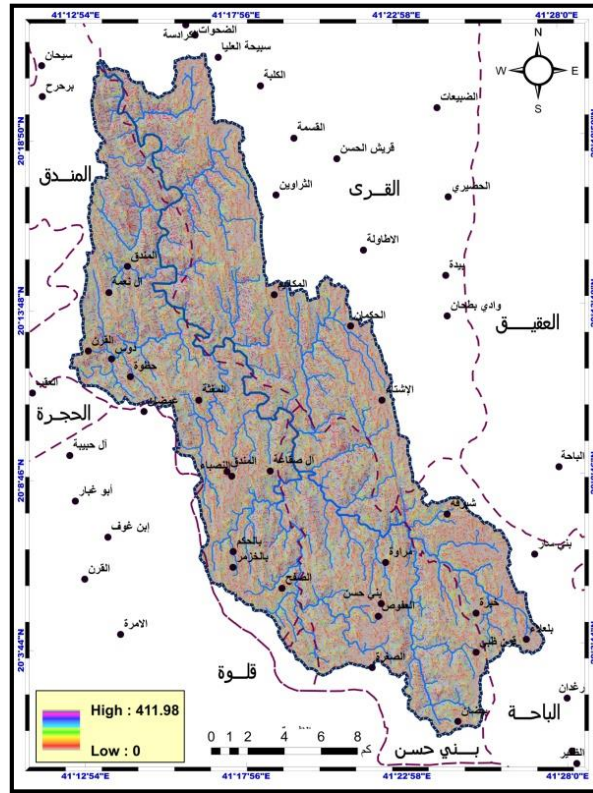
شكل ١٥. فئات أثر التربة في التعرية بالحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات نسب الغرين والرمل والطين والمواد العضوية وبنية ونفاذية التربة، دقة مكانية ٢٤١ م، المركز الدولي لمعلومات التربة.

٣-٦-٣ معيار الطبوغرافيا

عامل طول المنحدر (L) ونسبة الانحدار (S) يحددان خصائص التضاريس التي تؤثر في تعرية التربة (Fayas et al., 2019, p.133). وبالتالي فإن معلمتي طول المنحدر ونسبة الانحدار أهم معلمتين فيما يتعلق بنمذجة تعرية التربة والأهم عند حساب قوة نقل الجريان السطحي (Koirala et al., 2019, p.7). ويجمع معيار (LS) بين تأثيرات طول المنحدر والانحدار وكلاهما يفسر أثر طبوغرافية المناظر الطبيعية في التعرية. وعليه يختلف أثر معيار تضاريس الحوض في تعرية التربة، ومما يؤكد ذلك شكل (١٦) تراوح تأثير تضاريس حوض وادي الصدر بين ٠ في المناطق شبة المستوية إلى ٤١١,٩٨ في المناطق التي تتصف بطول وشدة الانحدار، بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ ١,٩٢.

وبذلك توضح نتائج تحديد أثر فئات طبوغرافية حوض وادي الصدر في تعرية تربة الحوض بالشكل (١٧) وقوع غالبية الحوض تحت تأثير منخفض للتضاريس، ومما يؤكد ذلك تغطي المنطقة التي يقل فيها أثر تضاريسها في التعرية المائية عن ٥ غالبية الحوض بمساحة بلغت ٣٦٣,٨٢ كم^٢، بنسبة ٨٨,٥٦٪ من إجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي يرتفع فيها أثر التضاريس ليتراوح بين ٥ - ١٥ جنوب ووسط وأدنى وشمال غرب الحوض، بمساحة ٣٣,٢٧ كم^٢، بنسبة ٨,١٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي يزداد فيها أثر التضاريس في التعرية ليتراوح ١٥ - ٢٥ أدنى ووسط وجنوب غرب الحوض، بمساحة ٨,٨٤ كم^٢، بنسبة ٢,١٥٪ من مساحة الحوض، وتقع المنطقة التي يتجاوز تأثير تضاريسها ٢٥ جنوب ووسط وأدنى وغرب الحوض، بمساحة بلغت ٤,٩١ كم^٢، بنسبة ١,١٩٪.



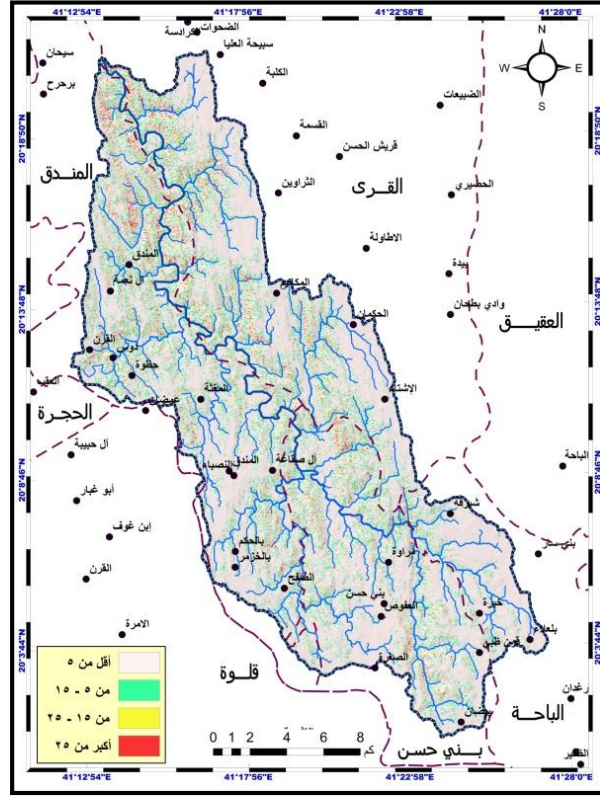
شكل ١٦. أثر تعرية التضاريس في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، دقة مكانية ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.

٣-٦-٤ معيار إدارة الغطاء النباتي

عامل الغطاء النباتي يعكس تأثير المحاصيل وممارسات الإدارة الأخرى على معدلات التعرية المائية، ويتراوح معيار إدارة الغطاء النباتي من ٠ إلى ١، حيث تشير القيم العالية إلى ضعف تأثير الغطاء النباتي في

مناطق الأراضي العارية، بينما تعني القيم المنخفضة لهذا المعيار إلى تأثير قوي جدا للغطاء النباتي في حماية التربة من مخاطر التعرية المائية (Panagos et al., 2015, p.42).

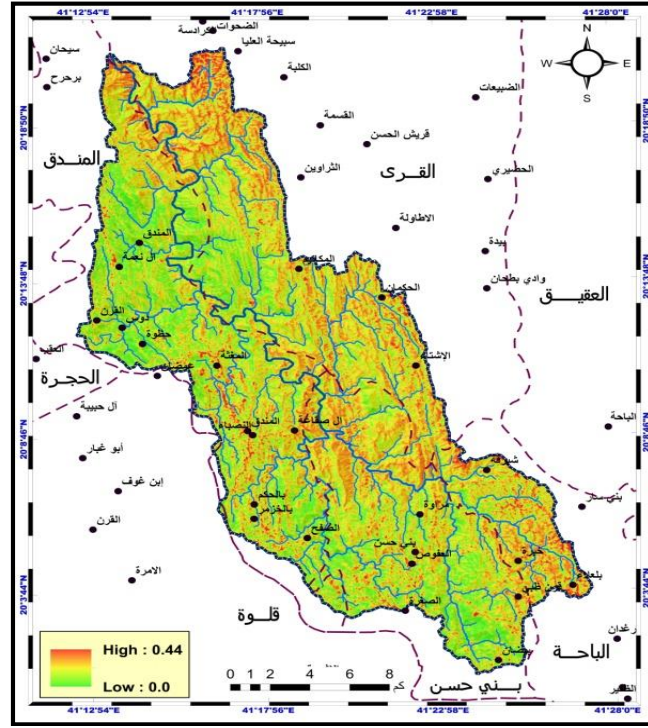


شكل (١٧) فئات أثر تعرية التضاريس في الحوض

المصدر: الباحثة بالاعتماد على نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، دقة مكانية ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.

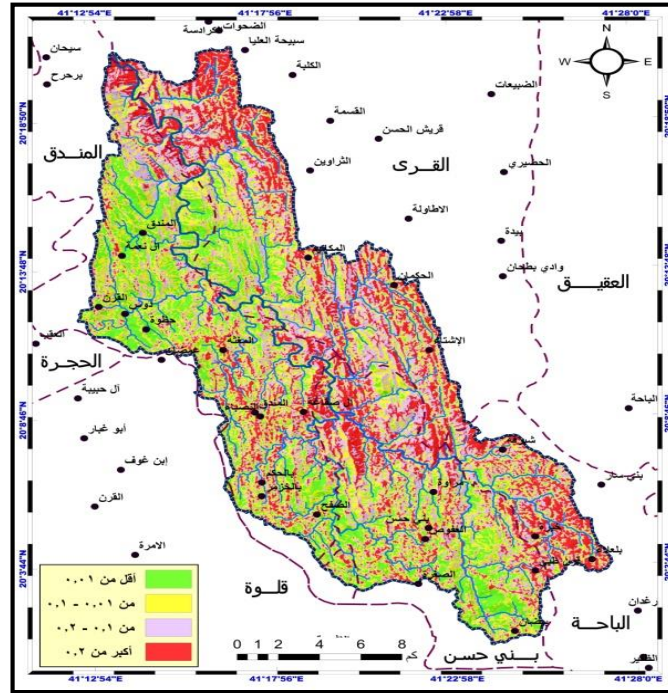
وعليه يظهر الشكل (١٨) تباين تأثير هذا المعيار في تعرية تربة حوض وادي الصدر، ويؤكد ذلك تراوح قيمته بين ٠ في مجاري الأودية وجنوب غرب وغرب الحوض، حيث ينتشر الغطاء النباتي ويحمي تربة الحوض من التعرية المائية، و٠,٤٤ في المناطق التي تتصف بكونها جرداء من الغطاء النباتي، حيث تشكل التعرية مخاطر كبيرة على التربة، بمتوسط مكاني على مستوى حوض وادي الصدر ٠,١٣.

كما يوضح الشكل (١٩) أثر فئات الغطاء النباتي في تعرية تربة حيث يقل أثر معيار الغطاء النباتي في التعرية المائية عن ٠,٠٦ جنوب غرب وغرب ووسط الحوض بمساحة بلغت ٧٠,٥٧ كم^٢، بنسبة ١٧,١٧٪ من إجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتصف بحماية معتدلة للغطاء النباتي من تعرية التربة حيث تتراوح قيمة هذه العامل بين ٠,٠٦ - ٠,١٢ جنوب غرب ووسط وغرب وأدنى حوض وادي الصدر، بمساحة ١٢٩,٢٣ كم^٢، بنسبة ٣١,٤٦٪ من مساحة الحوض.



شكل ١٨. أثر الغطاء النباتي في تعرية الحوض

المصدر: الباحثة بالاعتماد على مرئية لاندسات (2023/06/28)، دقة ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.



شكل ١٩. فئات أثر الغطاء النباتي في التعرية بحوض وادي الصدر.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على مرئية لاندسات (2023/06/28)، دقة ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.

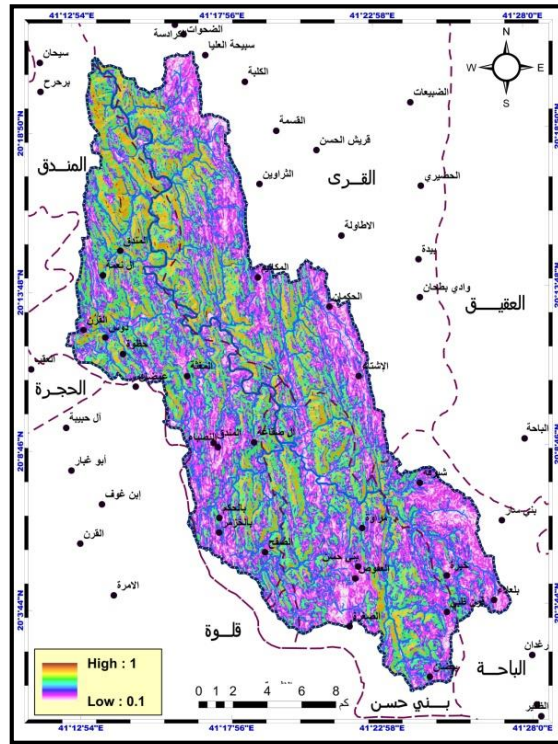
وتظهر المنطقة التي تتصف بحماية ضعيفة للتربة من التعرية المائية حيث تتراوح قيمة عامل الغطاء النباتي بين ٠,١٢ - ٠,١٨ وسط وشمال الحوض، بمساحة ١٢١,٦٧ كم^٢، بنسبة ٢٩,٦٢٪ من مساحة الحوض. بينما تقع المنطقة التي تتصف بحماية ضعيفة جدا للتربة من التعرية حيث تتجاوز قيمة عامل الغطاء النباتي ٠,١٨، بمساحة بلغت ٨٩,٣٨ كم^٢، بنسبة ٢١,٧٥٪.

٣-٦-٥ معيار الحد من التعرية

يتم التعبير عن عامل دعم الحد من التعرية على أنه النسبة بين معدل وكمية التربة المفقودة عند ممارسة إجراءات محددة، وخسارة مماثلة للتربة عند تنفيذ الزراعة الصفية بطريقة الانحدار صعوداً وهبوطاً (Alewell et al., 2019, p.207). ويهدف معيار ممارسة الدعم إلى تقليل الجريان السطحي للحد من تعرية التربة (Ghosal & Bhattacharya, 2020, p.691). ومن الاجراءات الأكثر شيوعاً استخدام خطوط الكنتور والمدرجات والمحاصيل والمجاري المائية العشبية وزراعة المنحدرات (May & Place, 2005, p.51). وتتراوح قيم معيار دعم الحد من تعرية التربة بين ٠ - ١، وتتوافق القيمة ١ مع الأراضي التي لا تمارس فيها اي اجراءات خاصة في الأراضي العشبية والأراضي الجرداء، بينما تشير القيم التي تقترب من الصفر إلى الأراضي التي تخضع لممارسات دعم محددة (Mallick et al., 2014, p.917). وبذلك تراوحت قيم معيار الدعم في حوض وادي الصدر كما يتضح من الشكل (٢٠) بين ٠,١ إلى ١ بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ ٠,٢. وتوضح نتائج كشف أثر فئات الدعم للحد في تعرية تربة الحوض في الشكل (٢١) وقوع المنطقة التي تتصف بدعم عالي جدا لحماية التربة حيث تقل قيمة معيار الدعم عن ٠,١ في المناطق التي تقل نسبة انحدارها عن ٥٪ شرق ووسط وجنوب الحوض بمساحة بلغت ٢٣,٥٢ كم^٢، بنسبة ٥,٧٢٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتسم بدعم عالي للحماية من تعرية التربة حيث تتراوح قيمة عامل الدعم بين ٠,١ - ٠,١٢ شرق ووسط وجنوب وغرب وجنوب غرب الحوض، بمناطق تراوح نسب الانحدار بين ٥ - ١٠٪ بمساحة ٤٤,٩٧ كم^٢، بنسبة ١٠,٩٤٪ من مساحة الحوض.

وتظهر المنطقة التي تتسم بدعم كبير لحماية التربة من تعرية حيث تتراوح قيمة عامل الدعم بين ٠,١٢ - ٠,١٤ جنوب وشرق ووسط الحوض، بمناطق تراوح نسب الانحدار بين ١٠ - ٢٠٪ بمساحة ١٠٣ كم^٢، بنسبة ٢٥,٠٧٪ من مساحة الحوض. وتنتشر المناطق التي تتسم بدعم معتدل للحماية من التعرية حيث تتراوح قيمة الدعم بين ٠,١٤ - ٠,١٩، بمختلف مناطق الحوض، اينما تتراوح نسب الانحدار بين ٢٠ - ٣٠٪ بمساحة ٨١,٦٤ كم^٢، وبنسبة ١٩,٨٦٪ من مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تتسم بدعم منخفض للحماية من تعرية التربة حيث تتراوح قيم عامل الدعم بين ٠,١٩ - ٠,٢٤ في جميع اجزاء الحوض، حيث تتراوح نسب الانحدار بين ٣٠ - ٥٠٪ بمساحة ١٠٦,٢٣ كم^٢، وبنسبة ٢٥,٨٦٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتسم بدعم منخفض جدا لحماية التربة من

تعرية المياه حيث قيم عامل الدعم بين ٠,٢٤ - ٠,٣٣ شمال ووسط وغرب الحوض، بمناطق تتراوح الانحدار بين ٥٠-١٠٠٪ بمساحة ٥٠,٨١ كم^٢، وبنسبة ١٢,٣٦٪ من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي لا يوجد بها دعم للحماية من تعرية التربة حيث يتجاوز عامل الدعم ٠,٣٣ شمال ووسط الحوض، بمناطق تتجاوز نسب الانحدار ١٠٠٪ بمساحة ٠,٦٧ كم^٢، وبنسبة ٠,١٦٪ من مساحة الحوض.



شكل ٢٠. أثر دعم حماية التربة من التعرية بالحوض.

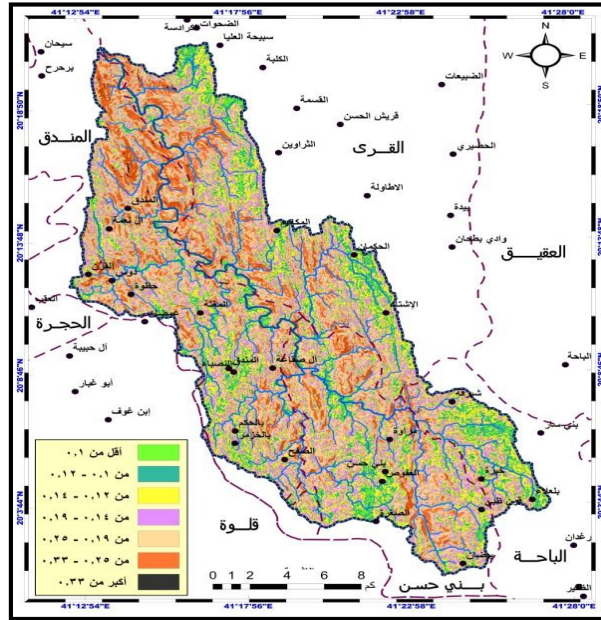
المصدر: الباحثة بالاعتماد على نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، دقة مكانية ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.

٣-٧ تقدير التعرية المائية للتربة في الحوض

تظهر نتائج تطبيق نموذج معادلة تقدير التعرية المائية بواسطة المعادلة العالمية (RUSEL) حيث يتضح أن حجم التعرية السنوية يتراوح بين ٠ - ٣٣٥٧,٨٩ طن/هكتار/سنة بمتوسط على المستوى المكاني لحوض وادي الصدر بلغ ٢,٢ طن/هكتار/سنة (شكل ٢٢).

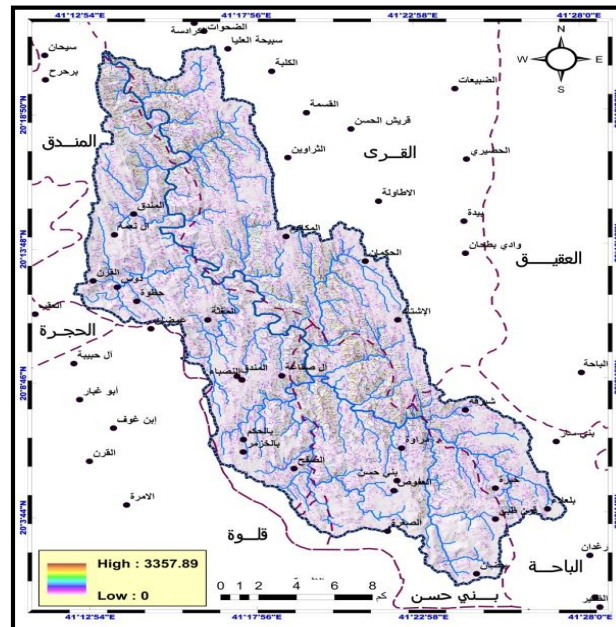
وعليه تغطي المنطقة التي يقل فيها حجم التعرية عن ٠,٥ طن/هكتار/سنة غالبية الحوض، بمساحة بلغت ٣٠٧,٧٥ كم^٢، وبنسبة ٧٤,٩١٪ من إجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتصف بتعرية مائية سنوية

يتراوح حجمها بين ٠,٥-٥ طن/هكتار/سنة شرق ووسط وغرب حوض وادي الصدر، بمساحة ٥٤,٢١ كم^٢، وبنسبة ١٣,٢٪ من مساحة الحوض (شكل ٢٣).



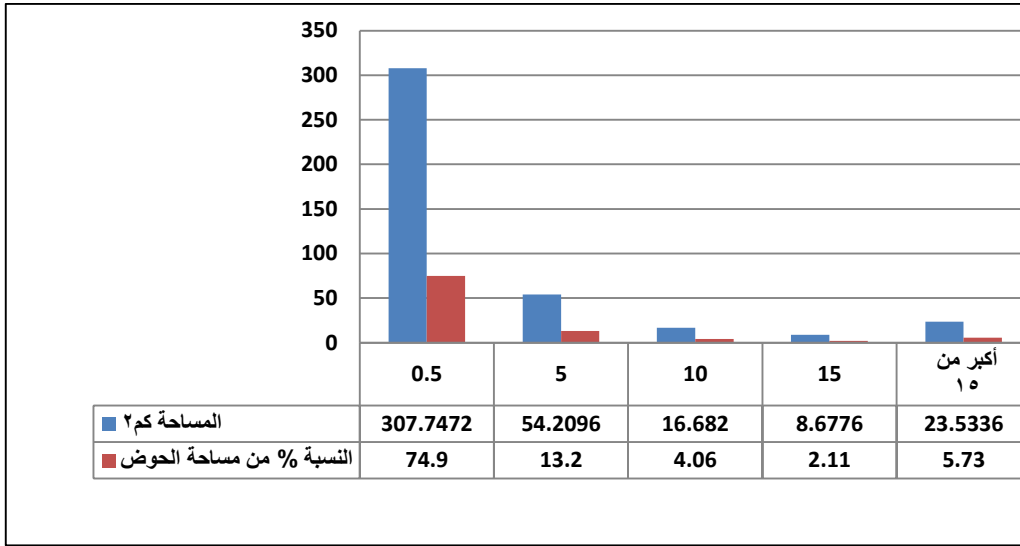
شكل ٢١. فئات أثر دعم حماية التربة من التعرية في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، دقة مكانية ٣٠ م، موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية.



شكل ٢٢. التعرية المائية السنوية في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات الأشكال من (١٢-٢١).



شكل ٢٣. حجم التعرية السنوية في الحوض.

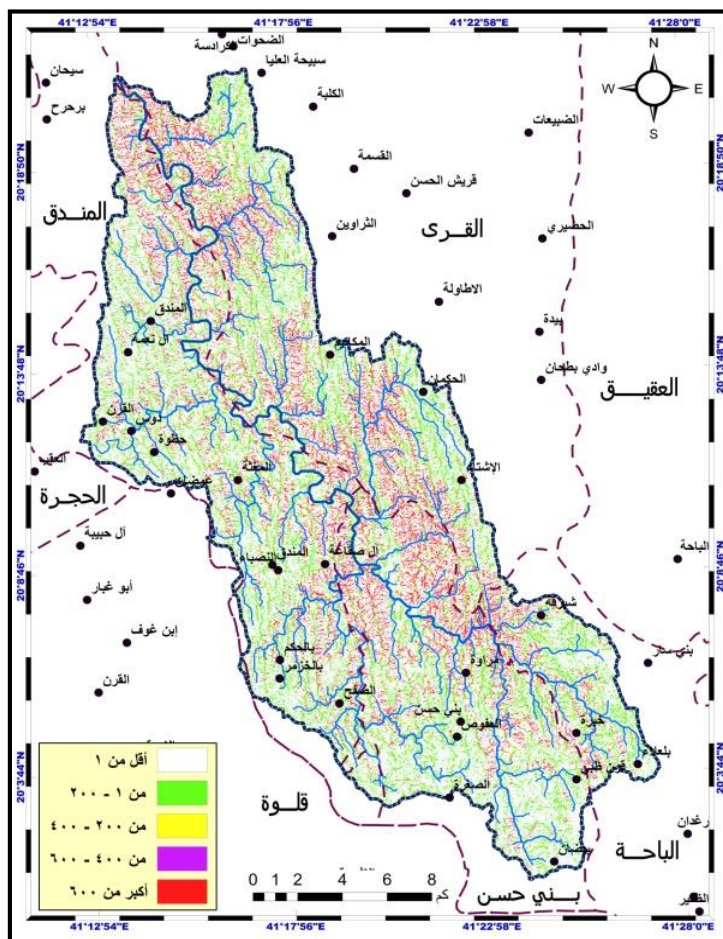
المصدر: الباحثة بالاعتماد على شكل (٢٣).

وتنتشر المناطق التي يتراوح فيها حجم التعرية المائية للتربة بين ٥ - ١٠ طن/هكتار/سنة على شكل بقع صغيرة في مختلف أرجاء الحوض، بمساحة ١٦,٦٨ كم^٢، بنسبة ٤,٠٦% من مساحة الحوض. بينما تقع المنطقة التي يتراوح فيها حجم التعرية المائية للتربة بين ١٠ - ١٥ طن/هكتار/سنة بمساحات صغيرة في مختلف مناطق الحوض، بمساحة بلغت ٨,٦٧ كم^٢، بنسبة ٢,١١% من مساحة الحوض، وتظهر المناطق التي يتجاوز فيها حجم التعرية المائية للتربة ١٥ طن/هكتار/سنة جنوب شرق وشرق ووسط وادنى الحوض، بمساحة ٢٣,٥٣ كم^٢، بنسبة ٥,٧٢% من إجمالي مساحة الحوض.

٤. الاستنتاجات

يمكن ان نستنتج من خلال استخدام نموذج المعادلة العالمية لتقدير التعرية المائية للتربة في حوض وادي الصدر أن غالبية المعاملات المؤثرة في تعرية التربة كالأمتار، وخصائص تكوين التربة، وتضاريس الحوض، ونوعية أغطية واستخدامات الأرض، وحماية سطح التربة بالغطاء النباتي جميعها لا تشجع على نشاط عمليات تعرية التربة في غالبية مساحة الحوض، ومما يدعم ذلك أن مساحة المنطقة التي يقل فيها حجم التعرية عن ٠,٥ طن/هكتار/سنة غالبية الحوض، بمساحة بلغت ٣٠٧,٧٥ كم^٢، بنسبة ٧٤,٩١% من إجمالي مساحة الحوض، بينما لم تتعدى مساحة المنطقة التي تعاني فيها التربة من تعرية شديدة حيث يتجاوز حجم التعرية المائية للتربة ١٥ طن/هكتار/سنة ٢٣,٥٣ كم^٢، بنسبة ٥,٧٢% من إجمالي مساحة الحوض، وبالتالي لن يكون للتعرية المائية أي مخاطر بيئية وتنموية واضحة وسريعة بأكثر من ٩٠% من إجمالي مساحة الحوض، وبالتالي توصي الدراسة

باتخاذ الاجراءات المناسبة لحماية التربة من التعرية بنحو ٥,٧٪ من إجمالي مساحة الحوض حيث تنشط عمليات التعرية المائية وتبرز انعكاسات سلبية على التنمية المستدامة للتربة المنتجة في الحوض بالمستقبل.



شكل ٢٣. فئات تقدير حجم التعرية في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات الأشكال من (١٢-٢١).

المراجع

أولاً: المراجع العربية

وزارة الزراعة والمياه، أطلس التربة، الخريطة العامة للتربة في المملكة العربية السعودية، الرياض، ١٩٨٦.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Abdo, H. G., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., Al-Mutiry, M. (2022). Quantifying the water soil erosion rate using RUSLE, GIS, and RS approach for Al-Qshish River Basin, Lattakia, Syria. Geofitika, Vol, 39, pp, 223-240.

Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Panagos, P. (2019). Using the USLE chances, challenges and limitations of soil erosion modelling, International Soil and Water Conservation Research, Vol. 7, pp. 203-225.

- Angima, S. D., Stott, D. E., Neill, M. K. O., Ong, C. K., Weesies, G. A.** (2003). Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 97, No. 1–3, pp. 295–308.
- Balabathina, V., Raju, R. P., Wuletaw, M.** (2019). Integrated remote sensing and GIS-based universal soil loss equation for soil erosion estimation in the Megech river catchment, tana lake sub-basin, north western Ethiopia, *American Journal of Geographic Information System*, Vol. 8, No. 4, pp. 141–157.
- Barbosa, W.C.d.S., Guerra, A.J.T., Valladares, G.S.** (2024). Soil Erosion Modeling Using the Revised Universal Soil Loss Equation and a Geographic Information System in a Watershed in the Northeastern Brazilian Cerrado. *Geosciences*, 14, 78. <https://doi.org/10.3390/geosciences14030078>
- Benchettouh, A., Kouri, L., Jebari, S.** (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria), *Arab J Geosci*, Vol, 10:79, pp. 1-14.
- Durigon, V., Carvalho, D., Antunes, M., Almeida, W., Oliveira, P.** (2014). Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM landsat 5, *Pe squisa Agropec uaria Brasileira*, Vol. 49, pp. 215–224.
- Ejaz, N., Elhag, M., Bahrawi, J., Zhang, L., Gabriel, H. F., Rahman, K. U.** (2023). Soil Erosion Modelling and Accumulation Using RUSLE and Remote Sensing Techniques: Case Study Wadi Baysh, Kingdom of Saudi Arabia. *Sustainability*, Vol, 15, pp.1-14.
- Fayas, M. C., Abeysingha, S. N., Nirmanee, S. G. K., Samaratunga, D. Mallawatantri, A.** (2019). Soil loss estimation using rusle model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka, *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 7, No. 2, pp. 130–137.
- Fu B.J., Zhao, W.W., Chen, L. D., Zhang, Q.J., Lu, Y.H., Gulinck, H., Poesen, J.** (2005). Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the loess plateau of China. *Land Degrad Dev*, Vol, 16, pp.73–85
- Ganasri P. B., & Ramesh, H.** (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS—a case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, Vol. 7, pp. 953–961.
- 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.
- Ghosal, K., Bhattacharya, S. D.** (2020). A review of RUSLE model, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 48, No. 4, pp. 689–707.
- Heat stress-heat related illness. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/heatrelillness.html>. Accessed Aug. 6, 2020.
- Imajjane, L. B, Belfoul, M. A:** (2020), Soil Loss Assessment in Western High Atlas of Morocco: Beni Mohand Watershed Study Case, *Hindawi Applied and Environmental Soil Science*, Vol, 15, pp.1-15.
- International Soil Information Centre, Soil Physical and Chemical Characteristics Layers, website link (<https://soilgrids.org>).
- Istanbuly, M. N., Dostál, T., Amiri, B. G.** (2021), Modeling the Soil Erosion Regulation Ecosystem Services of the Landscape in Polish Catchments. *Water*, 13, pp.1-13.
- Jahun, B. G., Ibrahim, R., Dlamini, S. N., Musa, M. S.** (2015). Review of soil erosion assessment using RUSLE model and GIS, *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, Vol. 5, No. 9, pp. 36–47.
- Kebedea, S. K, Endalamawa, N.T, Sinshaw, B. G, Atinkutcd, H. B:** (2021), Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia, *Environmental Challenges*, Vol, 2, pp.1-9.
- Koirala, B., Thakuri, S., Joshi, S., Chauhan, B.** (2019). Estimation of Soil Erosion in Nepal Using a RUSLE Modeling and Geospatial Tool, *Geosciences*, Vol, 9, pp.1-19.
- Luvai, A., Obiero, G., Omuto. C.** (2022). Soil Loss Assessment Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model. *Applied and Environmental Soil Science*, Vol, 2022, Article ID 2122554, pp. 1-14.
- Mallick, J., Alashker, Y., Mohammad, A. S., Ahmed, M., Hasan, A. M.** (2014). Risk assessment of soil erosion in semi-arid mountainous watershed in Saudi Arabia by RUSLE model coupled with remote sensing and GIS,” *Geocarto International*, Vol. 29, No. 8, pp. 915–940.
- May, L., Place, C.** (2005). A GIS-based model of soil erosion and transport, *Freshwater Forum*, Vol. 23, pp. 48–61.
- NASA**, Earth Climate Data, Image (GPM), website link, (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>).

- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L.** (2015). Land Use Policy Estimating the soil erosion cover management factor at the European scale. *Land Use Policy*, Vol, 48, pp.38–50.
- Pennock, D.D.** (2015). Status of the World's Soil Resources; Technical Summary; FAO: Rome, Italy.
- Phinzi, K., Ngetar, N.S.** (2019). The Assessment of Water-Borne Erosion at Catchment Level Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Review. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 7, 27–46.
- Renard, K.G., Foster, G. R., Weesies, G. A, McCool, D. K., Yoder, D. C.** (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agricultural handbook No. 703*. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W.,** (1973), Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.
- Shin, G.J.** (1999). The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS. Ph D dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-Won National University.
- Tessema, M. Y., Jasinska, J., Yadeta, T. L., Switoniak, M., Puchalka, R., Gebregeorgis, G. E.** (2020). Soil loss estimation for conservation planning in the welmel watershed of the genale dawa basin, Ethiopia. *Agronomy*, Vol. 10, No. 777, pp.1-19.
- USDA**, Agricultural Research Service, Accessed 10/29/2024, website link (<https://www.ars.usda.gov/midwest-area/>).
- USGS**, Digital Elevation Model, Satellite Image (SRTM), spatial resolution, 30 m, website link, (<https://earthexplorer.usgs.gov>).
- USGS**, Landsat (8) Satellite Image, spatial resolution, 30 m, website link, (<https://earthexplorer.usgs.gov>).
- Wieschmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning, Series: Agriculture Handbook (3-4), USDA, Washington, DC, USA.
- World Food and Agriculture Organization (FAO)**, Shapfile, website link, (<https://www.fao.org/soils>).
- Yesuph, A. Y., Dagneu, A. B.** (2019). Soil erosion mapping and severity analysis based on RUSLE model and local perception in the Beshillo Catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia, *Environmental Systems Research*, Vol, 8, pp.1-21.

Modeling Water Erosion in Wadi Al-Sadr Basin by Applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Afrah bint Ahmed bin Ali Al Zahrani

Assistant Professor of Physical Geography, Department of Physical Sciences - Geographic Information Systems Program, University of Jeddah, Saudi Arabia

aalzahrani@uj.edu.sa

Abstract. The study aims to estimate the volume of water erosion in Wadi Al-Sadr basin by applying the global equation model (RUSLE), using remote sensing data and geographic information systems. To achieve this aim, study methodology gradated from reviewing the literature to know criteria for applying this model such as rainfall-runoff erosivity, topography, soil erodibility, cover-management, and support practice. Then start collecting data for these criteria from several sources and processing these data in preparation for deriving the informational layers for each criterion. Then applying (RUSLE) model equation in geographic information systems environment to estimate annual erosion volume in basin and classify it according its risks. The results of study concluded that volume of soil water erosion in Al-Sadr wade basin ranged between 0 - 3357.9 tons/ha/ year, with an average 2.2 tons/ha/year at spatial level of basin. The results showed that most of basin has a volume of erosion less than 0.5 tons/ha/ year, an area 307.75 km², by 74.91% of basin area. The area characterized by water erosion ranging between 0.5 - 5 tons/ha/year covers 54.21 km², by 13.2% of basin area. While area of zone where soil erosion ranges between 5-10 tons/ha/year is 16.68 km², by 4.06% of basin area. The area of zone in which volume of water erosion ranges between 10-15 tons/ha/year is 8.67 km², by rate of 2.11% of basin area, and area of zone where volume of soil water erosion exceeds 15 tons/ha/year is reached 23.53 km², by 5.72% of total basin area.

Keyword: Modeling, Water Erosion, Universal Soil Loss Equation, Al-Sadr Wade Basin, Al-Baha Region.

