

تطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية في حوض وادي نعمان بوسائل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

سعد أبوراس الغامدي

قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، ص.ب. ٣٣٠٠٦، مكة المكرمة ٢١٩٥٥

كلمات مفتاحية: حوض وادي نعمان، التعرية المائية، نموذج جافريلوفيك،
الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية

ملخص البحث: يعد حوض وادي نعمان من الأظهرة المائية والزراعية المهمة لمدينة مكة المكرمة. ويحوي الحوض موارد طبيعية جيدة مما يجعله قابلاً لتنمية زراعية كبيرة، إذ أن ربع مساحة الحوض تقريباً ذو ترب عميقة ذات قدرة متوسطة على حفظ الماء. ومع هذا فإن دراسات سابقة للحوض قد أكدت تناقص المساحات الزراعية وإنتاجيتها بفعل تعرية التربة بالسيول الجارفة. وقد اختار الباحث واحداً من نماذج التعرية التي طورت أصلاً للمناطق الجبلية، وهو نموذج جافريلوفيك للتعرية، لتحديد مخاطر التعرية المائية السطحية في الحوض، وقد طبق ذلك النموذج باستخدام تقنيي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. وقد أمكن حساب قابلية مواد الحوض للتعرية ومقدار تعرية المواد سنوياً على مستوى الحوض، وعلى مستوى الأحواض الجزئية انطلاقاً من حسابها على مستوى الخلية. وتبين من هذه الدراسة أن أقدام المنحدرات وما يليها باتجاه مخرج الحوض عرضةً دائمةً لسيول جارفة نتيجة للطابع البيئي للحوض المصاحب بانحدارات شديدة، بالإضافة إلى فقر الغطاء النباتي الذي يعد عاملاً مهماً في إبطاء سرعة الجريان السطحي، وكذلك ضعف التدابير البشرية لتخفيف أضرار السيول في تعرية التربة. وقد اتضح من هذه الدراسة أن الحوض بأكمله يتعرض لمخاطر التعرية المائية بدرجات متفاوتة، حيث يعظم خطر التعرية في الأجزاء الجنوبية والغربية وأقل من ذلك في المنابع العليا الشمالية. وظهر أيضاً من هذه الدراسة أن أكثر من نصف مساحة الحوض يتعرض للتعرية مؤثرة، وأن ١٨٪ من مساحة الحوض تتعرض لجرف شديد جدا. وقدر المعدل السنوي للتعرية المائية بنحو ٥٢٨ م^٣/كم^٢/السنة، وكان أدنى الحوض تحديداً بالإضافة إلى حوضي المجيريش ورهجان هي الأكثر تأثراً بمخاطر التعرية المائية، مما يستدعي بالضرورة إتباع مجموعة من وسائل التحكم، خاصة في الأحواض الجزئية العليا، لتقليل مخاطر التعرية في الحوض.

Application of Gavrilovic' Model for Water Erosion hazards in Wadi Naman Basin through Remote Sensing and GIS Techniques

Saad Aburas Al-Ghamdi

**Department of Geography, University of Umm Al-Qura,
P.O. Box 33006, Makkah 21955, Saudi Arabia**

Keywords: Wadi Naman Basin, Water Erosion, Gavrilovic's Model, Remote Sensing, Geographic Information System

Abstarct:

The Naman basin is considered to be one of the most important water and agricultural hinterlands of Makkah Al-Mokarramah City. The basin contains good natural resources which enable substantial agricultural development, as one quarter of the basin consists of thick soil with moderate capability of holding water. However, previous studies of the basins indicated a decrease of agricultural lands and productivity as a result of soil degradation by torrents. The researcher chose Gavrilovic's model, which was designed basically for mountainous areas, to determine the surface water erosion hazards in the basin. This model was applied using the remote sensing and geographic information system techniques. It was possible to compute the basin's erodibility as well as the annual erosion rate for the whole basin and sub-basins based upon pixel unit calculations. It was evident the foothill and the areas toward the basin outlet are subject to torrents affect as a result of basin's geologic structure, steep slopes, poor vegetal cover which is important factor in slowing the runoff, and weak human management for retarding flood effect on soil erosion. This study concluded that all basin is under water erosion with different rates, where erosion is greater in the south and west. In contrary, erosion is weaker in the basin's northern source. It was also concluded that more than half of the basin is under considerable erosion hazards, and about 18% of the basin is in very erosive states. The annual rate of water erosion is estimated to be $528 \text{ m}^3/\text{k}^2/\text{year}$. The lower basin, Rahajan and Mojairish basins are the most effected by water erosion hazards. It is recommended to adopt certain measures and procedures, particularly in the upper sub-basins to control erosion hazards in the basin.

مقدمة:

يعرف تدهور التربة soil degradation بأنه نقصان جودة إنتاجية التربة نوعاً أو كما نتيجة لعمليات متعددة طبيعية وبشرية (Mushtak and Chen, 2005). وقد عرفت شير (Scherr, 1999) تدهور التربة بشكل أدق، حيث ذكرت بأنه التغيير السلبي عبر الوقت في محتوى التربة من العناصر الغذائية، أو في قدرة التربة على حفظ الماء، أو في محتوى التربة من المواد العضوية، أو التغيير في درجة حموضة التربة أو ملوحتها أو عمقها أو كتلتها. وهناك عوامل طبيعية وبشرية عديدة تؤدي إلى ذلك، ومن أهم تلك العوامل ما يعرف بتعرية التربة soil erosion والتي ينسب إليها حوالي ٨٥٪ من تدهور التربة. وتأتي التعرية المائية water soil erosion في مقدمة عمليات تعرية التربة، وذلك بفعل الماء الجاري على السطح ابتداءً من قطرات المطر التي تضرب السطح rain splash ، مروراً بالجريان السطحي runoff ، وانتهاءً بقنوات التصريف الرئيسية.

إن تعرية التربة يؤدي إلى تدمير مصفوفة التربة والتي تحمل الهواء والرطوبة والعناصر المعدنية، والذي يؤدي بدوره في مقدار تسرب الماء في التربة ويعرض صلاحيتها للخطر (omuto, 2008). وليس هذا الخطر قاصراً على المناطق الزراعية ، بل وعلى مناطق الغابات والمراعي والتنزه والنقل (Huu Ty, 2008). ولقد تزايد معدل تعرية التربة خلال القرن الماضي، بحيث أن الإنتاجية المحصولية للأرض قد تناقص بمقدار ١٧٪ (Angima, et al., 2003). وهذا ما انعكس على سد حاجة سكان الأرض من الغذاء، بحيث أن معهد بحوث سياسة الغذاء العالمي (IFPRI) قد قدم صورة مستقبلية قائمة لإنتاج الغذاء في العالم، فذكر أن معدل زيادة إنتاج الغذاء ما بين عامي ١٩٩٥-٢٠٢٠ سوف يكون محدود ١,٥٪ سنوياً، وهذا لا يتواءم مع زيادة الطلب المضطردة نتيجة زيادة السكان المتنامية في العالم (Scherr, 1999). وهو ما يستدعي ابتكار الحلول للحفاظ على التربة وتنمية مقدرتها الإنتاجية.

وتتداخل مجموعة من العوامل في تحديد مقدار تعرية التربة بفعل المياه السطحية الجارية، منها نوع التربة وخصائصها، ودرجة الانحدار slope، ونوع الغطاء الأرضي vegetation cover type، وصفات التساقط precipitation، وإدارة التربة وأحواض التصريف soil and watershed managements. ويطلق على استجابة التربة للتعرية مصطلح قابلية التربة للتعرية soil erodibility، فبعض الترب أكثر قابلية للتعرية من غيرها متى كانت العوامل الأخرى ثابتة. وتعتمد

قابلية التربة للتعرية على نسيج التربة soil texture ومحتواها من المواد العضوية organic content. فنسيج التربة له أهمية في دخول الماء إلى التربة وفي قدرتها على توليد الجريان السطحي runoff، ويعبر عن هذه الخاصية بمصطلح النفاذية permeability، فنجد أن التربة تصبح أقل قابلية للتعرية مع نقصان محتواها من الطمي بغض النظر عن زيادة نسبة الرمل أو الصلصال. فالطمي أسهل جرفاً من الترب الصلصالية، كما أنه يولد مقداراً عالياً من الجريان السطحي، وهذا يعكس الترب الرملية التي تتميز بجودة صرفها نتيجة نفاذيتها العالية، ومن ثم قلة الجريان السطحي عليها. وبالنسبة للمواد العضوية فإن زيادة تركيزها في التربة يؤدي إلى حمايتها ومقاومتها للجرف (Brady, 1984). ولعامل الانحدار دور كبير في تعرية التربة، فمع زيادة طول المنحدر وميله يصبح الجريان السطحي أكثر شدة بغض النظر عن كمية المياه المتدفقة. ولهذا يلجأ إلى وسائل لتخفيف سرعة الجريان السطحي على المنحدرات الشديدة عن طريق زيادة كثافة النبات أو بإعاقة الجريان عن طريق إنشاء خزانات سطحية اعتراضية. وتبرز غطاءات النبات كواقٍ للتربة من قطرات المطر المتساقطة، وفعاليتها الكبيرة في إبطاء سرعة الجريان، بالإضافة إلى فعل الجذور في زيادة قدرة تسرب الماء في التربة مما ينعكس في ضعف الجريان السطحي وتعرية أقل للتربة. وكقاعدة فإن كلما زاد علو النبات وزادت كثافته كلما أدى ذلك إلى درء خطر التعرية المائية (Zorn and Komac, 2008). أما طبيعة التساقط فيتضح دوره في حال الأمطار الفجائية القصيرة التي تتميز بشدتها intensity وتسارع ذروتها في فترة قصيرة، وهذا ينتج جرفاً عالياً للتربة، خاصة لتلك الترب التي تعاني من قلة الحماية الطبيعية كوجود غطاء نباتي كثيف، أو من سوء إدارة في استغلال الأرض وأسلوب الأنشطة المقامة عليها. لهذا فإن أي حل للحفاظ على التربة من التعرية المائية على وجه الخصوص يستدعي أخذ العوامل السابقة في الاعتبار.

ولقد طور العديد من الحلول والنماذج لتقدير تعرية التربة ونواتج الرسوبات (أنظر Qing-fen, 2005; Vente and Poesen, 2008; et al.). ومن أبرز هذه الحلول ما يسمى بنموذج جافريلوفيك Gavrilovoc Model للتعرية، والذي أطلق عليه جافريلوفيك نفسه مسمى Erosion Potential Method (EPM). ويبرز نموذج جافريلوفيك كأحد نماذج التعرية السطحية المناسبة للمناطق المتضرسة والأحواض كبيرة المساحة (Globevnik, et al., 2003)، فهو من النماذج النادرة التي صممت للأحواض الجبلية، وهو بهذا يتلافى القصور في بعض النماذج الذائعة الاستخدام كمعادلة RUSLE (Revised Universal Soil Lose Equation) التي تستخدم نموذجياً لتقدير تعرية

التربة في المناطق الزراعية ذات الانحدارات التي لا تزيد عن ١٥٪، ولأحواض صغيرة المساحة (liu, et al., 2000). فما يميز نموذج جافريلوفيك أنه يعمل على أحواض قد تصل مساحتها إلى ٧٠٠٠ كم^٢، وفي مناطق شديدة التضرس والميل، وذات غطاءات واستعمالات أرضية land use-cover متعددة (Emmanouloudis, et al., 2003). ومما يميزه أيضاً أنه يقدر أنواعاً عديدة من التعرية المائية السطحية كالتعرية الغطائية sheet erosion والمسيلية rill erosion والخانقية gully erosion والصفافية bank erosion، بالإضافة إلى تقديره للانزلاقات الأرضية كإحدى نواتج التعرية السطحية. وهذا النموذج الرياضي لجافريلوفيك يأخذ في اعتباره متغيرات عديدة كنوع التركيب الصخري ومعدل درجة الانحدار وحالة الغطاء والتربة بالإضافة إلى عنصري المطر والحرارة. وهذه المتغيرات تجعل من تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية أدوات مناسبة وذات أهمية في تطبيق هذا النموذج باعتبار تباين هذه المتغيرات من جزء إلى آخر في الحوض، بل أن استخدام هاتين التقنيتين يمكن من تقدير تدهور التربة بفعل عامل التعرية المائية السطحية على مستوى الخلية pixel unit وليس على مستوى الأحواض الجزئية sub-basins فقط. وقد أصبح هذا النموذج معيارياً (standard) وشديد الذبوع في بلدان أوروبا الشرقية كيوغسلافيا وسولوفينيا ومقدونيا وكرواتيا وشبه جزيرة البلقان عموماً (Globevnik, et al., 2003; Gavrilovic, et al., 2006; Ostric and Horvat, 2008)، وقد انتشر خارج هذه البلدان فطبق في إيطاليا (Bazzoffi, 1985; Fanetti and Vezzoli, 2007)، وفي اليونان (Emmanouloudis, et al., 2003)، وفي سويسرا (De Cesare, et al., 1998)، وفي إيران (Amir, et al., 2007; Gandomkar, 2008)، وهي في معظمها بلاد جبلية شديدة التضرس. وقد اختبر هذا النموذج كثيراً وقورن بقياسات حقلية ودراسات مناظرة، فوجد أنه ذو مصداقية في تقدير تعرية التربة بفعل المياه الجارية، وفي حساب حصيلة الإرسابات النهريّة (Emmanouloudis, et al., 2003; Milevski, et al., 2008; Stefanovic, et al., 2004)، بل أن فانييتي وفيزولي (Fanetti and Vezzoli, 2007) يريان أن نموذج جافريلوفيك أصلح للتطبيق وأكثر ملاءمة من نموذج RUSLE الذائع الصيت.

مشكلة الدراسة وأهدافها:

تعد مدينة مكة المكرمة من أسرع مدن المملكة نمواً في العقود الأخيرة بفعل الزيادة السكانية المتسارعة نتيجة الهجرات الوافدة، وهذا يخلق ضغطاً مستمراً على الخدمات والموارد الطبيعية. ويحيط بمدينة مكة المكرمة مجموعة من الأحواض المائية التي يفترض أن تكون أظهرت لتزويد المدينة بالغذاء والماء. ومن الأحواض المتاخمة لمدينة مكة المكرمة حوض وادي نعمان والذي كان مداً لساكبي المدينة المقدسة عبر قرون عديدة من الزمن بمنتجاته الزراعية وبمائه أيضاً، حتى أن عواري اعتبرت هذا الحوض بمثابة شرايين الحياة بالنسبة لمدينة مكة المكرمة (عواري، ٢٠٠٥).

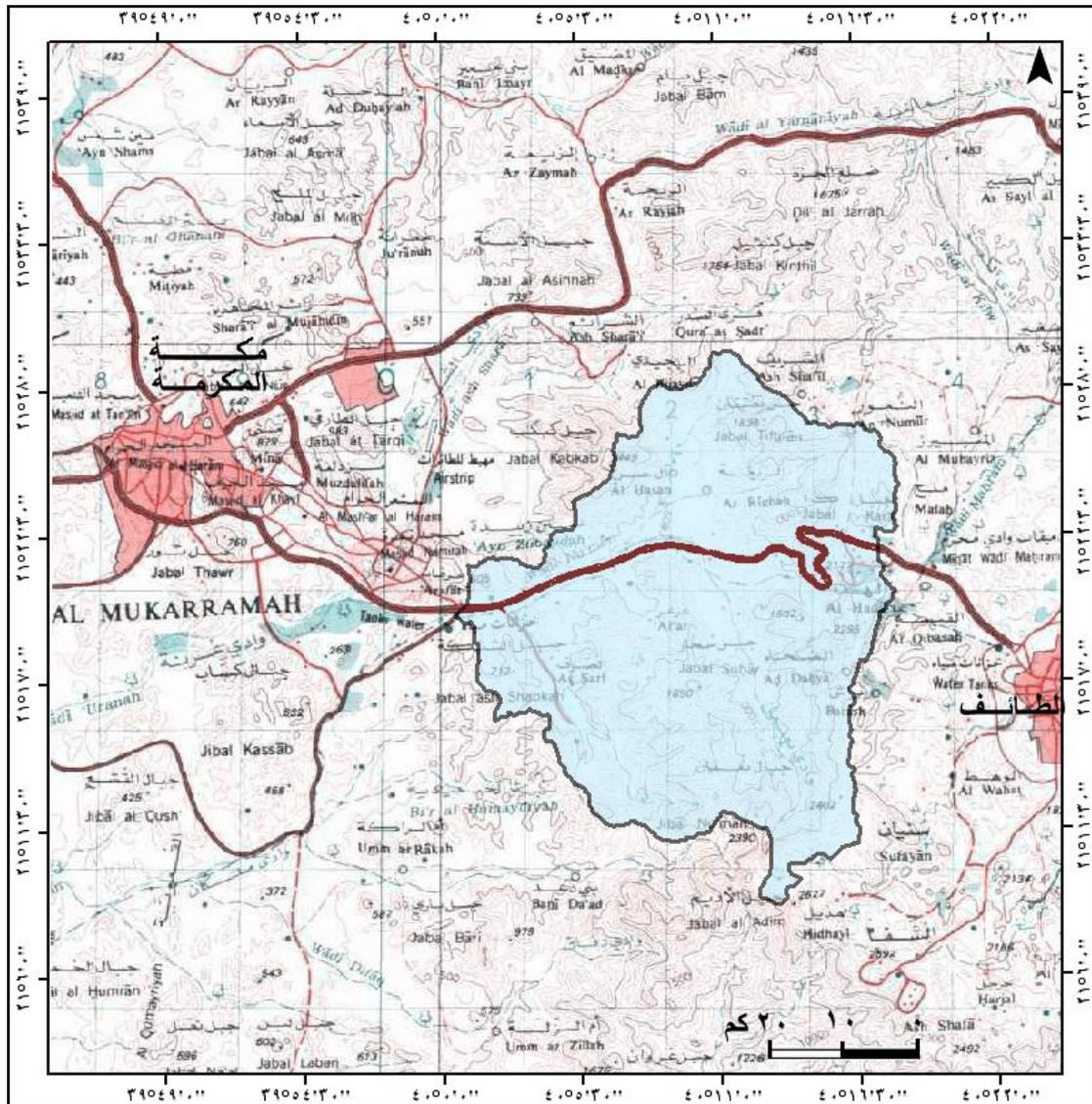
وتتمحور مشكلة الدراسة في أن بعض الدراسات أشارت إلى أن مساحة الأراضي الزراعية كانت حوالي ١٦ مليون م^٢ عام ١٩٧٠م، ثم تناقصت إلى حوالي ٣ مليون م^٢ في عام ٢٠٠١م، مع أن التقارير تشير إلى وجود مخزون مائي جوفي في حوض الوادي يقدر بنحو ١٠٠ مليون م^٣ (البلوشي، ٢٠٠٧م). كما تعرض السعيد (Es-Saeed, et al., 2004) لتأثير السيول العرمة على جرف التربة وطمر الارسابات من حطام الصخور للأراضي الزراعية في بطون الأودية في حوض وادي نعمان، حتى أن سيل ١٤٢٥هـ قد طمر جزءاً من أراضي الوادي الزراعية لمسافة امتدت ٩ كم. وجميع هذا في غياب دراسات تعنى بتقدير مخاطر التعرية المائية والعمل على التحكم في عواملها. ومن ناحية أخرى فإن الدراسات التقليدية تحسب نواتج التعرية من خلال قياسات حقلية أو حلول تجريبية empirical method على مستوى الحوض ككل ممثلة في قيمة مفردة single value دون الاهتمام بالتباينات على مستوى الأحواض الجزئية أو بناء قاعدة بيانات صلبة للرجوع إليها مستقبلاً لكشف التغير وتقييم نواتج الأساليب الماضية في إدارة أحواض التصريف watershed management. ومن هنا فإن هذه الدراسة تسعى إلى تقديم نموذج تطبيقي لتقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقدير مخاطر التعرية المائية للتربة والصخور في حوض وادي نعمان باستخدام نموذج جافريلوفيك للتعرية كأول دراسة في المنطقة العربية تطبق هذا النموذج. كما تهدف الدراسة أيضاً إلى تقدير تعرية التربة على مستوى وحدة الخلية، وعلى مستوى الأحواض الجزئية الكبرى وصولاً إلى تقديرها على مستوى الحوض ككل، وهو ما يتفق مع أصول تقدير تعرية التربة من خلال الحلول التجريبية (Globevnik, et al., 2003, 1984, Beasley, et al.).

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي نَعْمَان إلى الشرق من مكة المكرمة بنحو ٢٥ كم، حيث يشغل مساحة تبلغ ٦٨٢ كم^٢ (شكل رقم ١). ووادي نعمان يتكرر ذكره في التاريخ الإسلامي، حيث يروى أن النبي صلى الله عليه وسلم هو من أطلق هذا الاسم عليه، وبهذا الوادي وروافده يرتبط المشروع الإنساني العظيم المعروف بعين زبيدة، والمنسوب إلى زبيدة بنت جعفر زوجة الخليفة العباسي هارون الرشيد، والذي هدف إلى تزويد حجاج بيت الله بالماء العذب عبر قنوات صرف تمتد من أعالي جبال نعمان إلى المشاعر المقدسة. وفي هذا دلالة أكيدة على أن هذا الحوض منذ القدم كان ظهيراً مائياً معتمداً للمدينة المقدسة.

وتمتد الحدود الهيدروغرافية لهذا الحوض بين دائرتي عرض ٣٦ ° و ٠٨ ° و ٢١ ° و ٣٠ ° و ٢٩ ° و ٢١ ° شمالاً، وبين خطي طول ٢٢ ° و ٠٠ ° و ٤٠ ° و ٣٦ ° و ١٩ ° و ٤٠ ° شرقاً. ويتخذ الحوض شكلاً قريباً من المثلث، قاعدته نحو منابعه في الشرق، ويبلغ معامل الشكل للحوض ٤٦،٠، ونسبة استدارته ٤٧،٠، مما يعكس تأثير الطبيعة البنيوية الانكسارية للحوض في تشكيل حدود تصريفه وأن الحوض لا زال نشطاً في دورته التحاتية.

ويمثل هذا الحوض قسماً كبيراً من الحوض الأعلى لوادي عرنة الذي ينتهي في البحر الأحمر. وتبدأ الروافد العليا لحوض وادي نعمان من جبال عديدة كالأديم وشعار وسحار ونعمان وكرا (الكر) وتفتان و ككب، حيث تنصب منها أودية المجيريش وعلق ويعرج والشرا لتلتقي في منطقة العرجا مكونة وادي نعمان الكبير الذي يصب فيه بعد ذلك بمسافة ليست بعيدة واديا عرعر ورهجان (شكل رقم ٢)، ومن ثم يلتقي بوادي عرنة بالقرب من عرفة ليتابع الوادي سيره غرباً باسم وادي عرنة حتى يصب في البحر الأحمر. وقد تشكلت على سطح هذا الحوض شبكة تصريف متقدمة وصلت بمجراها الرئيس إلى الرتبة السادسة تبعاً لنظام ستريلار Strahler. ويبين جدول رقم (١) بعض الخصائص المورفومترية للأحواض الجزئية لحوض تصريف وادي نعمان، حيث اقتصر الباحث على الأحواض الجزئية التي تزيد مساحة كل منها عن ٣٠ كم^٢. ويشتهر هذا الوادي منذ القدم بمياهه وزراعته وجودة إنتاجه من العسل، ويعد أحد الأظهرة الهامة لمدينة مكة المكرمة زراعياً ومائياً كما



شكل رقم (١). موقع منطقة الدراسة بين مدينتي الطائف ومكة المكرمة.

أسلف القول. ويبلغ عدد سكانه قرابة ١٢٠٠٠ نسمة، يشتغل معظمهم في حرفتي الزراعة والرعي (البلوشي، ٢٠٠٦م).

وتتألف معظم المنطقة من صخور نارية جوفية ومتحولة قديمة التكوين كالمونزوجرانيت والجرانوديورايت والديورايت والجابرو والنيس البيوتايي، ومعظم هذه الصخور يتبع معقدات نعمان وجعرانة وملح والشامية وشرقة. وتغطي تكوينات معقد نعمان معظم أجزاء الحوض الجنوبية والشامية، بينما يكون معقدا شرقة وملح أجزاء كبيرة من شمال وشمال شرق الحوض حيث أعالي أودية الشرا ويعرج وعلق. وتتصف صخور معقد شرقة بصلابتها مقارنة بصخور معقد نعمان، فهي تتكون في معظمها من طبقات متداخلة من الجابرو والديورايت. ومن الواضح أن الصدوع قد أثرت كثيراً على صخور الحوض وعلى بنيتها الجيولوجية، وقد تشكلت معظم أودية منطقة الدراسة في مناطق الصدوع تلك، كأودية يعرج ونعمان وعرعر ورهجان. ويغطي المجرى الرئيس لوادي نعمان وجوانبه رواسب رملية دقيقة تعود تكويناتها إلى العصر الرباعي (Moore and Al-Rehaili, 1989).

وتتصف تضاريس المنطقة بتعقيدها الشديد بالنظر إلى طبيعتها البنيوية. ويبين ذلك أن نسبة التضرس relief ratio في عموم الحوض قد بلغت ٠,٥٦، كذلك بلغ معدل بقاء المجرى ٠,٣١، وهي قيمة عالية تعكس شدة انحداره وتقطع سطحه بفعل مجاريه، ويبدأ أيضاً على ضيق مساحة الحوض بالنسبة لأطوال مجاريه ونشاط عمليات التعرية المائية فيه، والأمر كذلك على مستوى الأحواض الجزئية للحوض. ومما يلاحظ من خلال جدول رقم (١) تقارب قيم الخصائص المورفومترية التضاريسية بالإضافة إلى كثافة التصريف للأحواض الجزئية مما يدل على التشابه البنيوي والتجانس الصخري وما يعمل على سطح الحوض من عوامل تجوية ومناخ.

ويبلغ متوسط ارتفاع تضاريس الحوض ١٠٢٥م فوق مستوى سطح البحر. ويتدرج ارتفاع التضاريس في منطقة الدراسة من ٣٥٠م فوق مستوى سطح البحر في أدنى الحوض غرباً إلى ٢٥٠٠م فوق مستوى سطح البحر في أعالي شفا سفيان في أقصى جنوب الحوض. وتشتغل التضاريس التي يقل ارتفاعها عن ١٠٠٠م فوق مستوى سطح البحر ما نسبته ٥٧٪ من تضاريس الحوض، بينما لا تزيد

جدول رقم (١) بعض الخصائص المورفومترية للأحواض الجزئية الكبيرة في حوض وادي نعمان.

أدنى نعمان	وادي رهجان	وادي عرعر	وادي المجير يش	وادي علق	وادي يعرج	وادي الشرا	
٩٥،٣	١٤٩،٧	٣٣،٧	١٧٣،٩	٦٩،٦	٦٩،٤	٩٠،٦	المساحة (كم ^٢)
٠،٣٢	٠،٣٥	٠،٣٢	٠،٢٤	٠،٢٦	٠،٢٩	٠،٤٨	معامل الشكل
٠،٢٦	٠،٥٣	٠،٥٩	٠،٣٩	٠،٤٦	٠،٤٩	٠،٦٥	نسبة الاستدارة
٣٥٠	٣٥٤	٤٥٠	٤٨٩	٥٠٩	٥١٠	٥٠٠	أقل ارتفاع (م)
٥٢٩	٨٦٠	٦٨٨	١٢٥٢	١٢٩٦	١٣٢٦	٨٥٥	متوسط الارتفاع (م)
١٦٨١	٢٠٠٠	١٥١٥	٢٥٠٠	٢٢٧٨	٢٠٠٠	١٨٢٥	أعلى ارتفاع (م)
٩،١	١٤،٠	١٢،٦	١٧،٠	١٤،٢١	١٥،٢	١٣،١	متوسط الانحدار (درجة)
٧٦،٩	٧٩،٩	١٠٣،٤	٧٣،٩	١٠٨،٥	٩٦،٨	٩٦،٧	نسبة التضرس
٣،٨	٥،٣	٣،٥	٦،٦	٦،٩	٤،٨	٤،٥	قيمة الوعورة
٠،٣٦	٠،٣١	٠،٣٠	٠،٣٠	٠،٢٦	٠،٣١	٠،٢٩	معدل بقاء المجرى
٦٧،٦	٥٩،٥	٢٦،٧	٧٤،٦	٤٣،٨	٤٢،٣	٤١،٨	طول محيط الحوض (كم)
١٧،٣	٢٠،٦	١٠،٣	٢٧،٢	١٦،٣	١٥،٤	١٣،٧	أقصى طول للحوض (كم)
٩،٦	١٤،٨	٦،١	١٤،١	١٣،١	٩،٥	١٠،٦	متوسط طول الحوض (كم)
١٢،٤	١١،٢	٥،٢	١١،٢	٩،٥	٨،٣	١٣،١	أقصى عرض للحوض (كم)
٧،٦	٩،٣	٣،٤	٧،١	٥،٨	٥،٢	٧،٨	متوسط عرض الحوض (كم)
٢٦٦،٨	٤٧٢،٣	١١٠،٥	٥٦٥،٢	٢٧١،٩	٢٢٥،٥	٣٠٦،٤	مجموع أطوال المجاري (كم)
٢،٨٠	٣،١٦	٣،٢٨	٣،٢٥	٣،٩١	٣،٢٥	٣،٣٨	كثافة التصريف (كم ^٣ /كم ^٢)
١٨،٩	٢٣،٤	١٠،٥	٣٠،٩	١٦،٥	١٥،٣	١٣،٣	طول المجرى الرئيس (كم)
٦	٥	٥	٥	٥	٥	٤	الرتبة النهريّة (ستريلاز)

نسبة التضاريس التي تعلو ارتفاع ٢٠٠٠ م فوق مستوى سطح البحر عن ٤٪ من مساحة منطقة الدراسة. ويبلغ متوسط انحدار تضاريس الحوض ١٥°، على أن حوالي ٩٪ من مساحة الحوض تشكل منحدرات شديدة يتجاوز ميلها أكثر من ٣٠°، كذلك توجد في أعالي الحوض بعض الجروف الصخرية شبه القائمة (precipitous) والتي تصل زاوية ميلها إلى ٧٠° تقريباً. وكان لعامل الانحدار الشديد دوره في الاندفاع السريع لحمولة الأودية العليا نحو بطون الأودية الدنيا مما نتج عنه عدداً من المراوح الفيضية ومخاريط الرواسب الخشنة، خاصة منطقة التقاء أودية يعرج وعلق والمجيريش.

ويتكون معظم أعالي الحوض من جروف صخرية، خالية من تربة حقيقية، وإن وجدت على بعض المنحدرات الأقل ميلاً فهي تربة ضحلة تتكون من مفتتات صخرية خشنة. وتوجد الترب الطميية في مجاري الأودية الكبرى بالحوض، خاصة نعمان ورهجان وعرعر. وتحول التربة في أدنى الحوض إلى ترب يغلب القوام الرملي عليها بسماكة تصل إلى أمتار عديدة. وقد صنفت وزارة الزراعة والمياه (١٩٨٦م) ترب منطقة الدراسة إلى وحدتين رئيسيتين، هما بروزات صخرية جبلية Rock outcrop وكامب اورثيدز-توري سامنتس Camporthids-Torripsammments. أما وحدة البروزات الصخرية فهي ما يؤلف الجبال القطاعات الجبلية التي تتصف بشدة الانحدار والتضرس، ويتكون نصف هذه الوحدة تقريباً من منكشفات صخرية خالية من التربة، والبقية من هذه الوحدة تتألف في معظمها من تربة توري أورثنتس Torriorthents، وهي تربة ضحلة ذات قدرة منخفضة على حفظ الماء، ولذلك فإن هذه الوحدة عموماً تنشئ معظم الجريان السطحي في الحوض. أما الوحدة الثانية فتتكون من ترب طميية ورملية عميقة ذات نفاذية سريعة وقدرة منخفضة في حفظها للماء. ومما تتميز به هذه التربة أن نحو ٩٠٪ منها صالح للزراعة.

وتتباين درجة الحرارة بين أعلى الحوض وأدناه بدرجة كبيرة بفعل عامل تباين الارتفاع، فمتوسط الحرارة في أعلى الحوض يبلغ ١٩°م، بينما يبلغ حوالي ٣١°م في منطقة شداد. أما التساقط فيتصف بالفجائية والذي يولد أحياناً سيولاً عرمة. ويبلغ معدل التساقط السنوي في منطقة المنابع العليا للحوض حوالي ٣٥٠ ملم، ويتناقص بانخفاض الارتفاع حتى يصل إلى ١٧٩ ملم بالقرب من مخرج الوادي. ويستأثر فصلاً الربيع والخريف بنحو ثلثي الأمطار المتساقطة على الحوض (البلوشي، ٢٠٠٦).

ويتصف الجريان السطحي بشدته وتعاضم كميته في الأوقات التي تصاحب تساقطاً ذو ذروة عالية مما يتسبب أحياناً في اقتلاع النبات من جذوره، ويجرف رواسب فيضية ذات قيمة عظيمة، وفي حالات كثيرة قد تؤدي تلك السيول إلى فقدان قطعان الأغنام والإبل وتدمير المزارع والطرق والمنازل (ES-Saeed, et al., 2004). وهذه السيول العرمة ليست ضارة فقط بالنشاط الزراعي والرعي في الحوض ولكن آثارها تمتد لتشمل الطريق الحيوي الذي يربط مكة بالطائف عبر جبال الكمر، والذي يغلق في بعض أيام السنة نتيجة الإنهيارات التي تسببها السيول (للمثال شكل رقم ٣).

وتصنف جميع مياه الحوض على أنها عذبة، وأنها مصدر مائي هام لمدينة مكة المكرمة وللأنشطة الزراعية في الحوض. وبالرغم من أن السعيد وزملائه (Es-Saeed, et al., 2004) يشيرون إلى هبوط مستوى الماء الجوفي في الحوض، وأن الماء في كثير من آبار الحوض قد أصبح على عمق يتجاوز ٢٠ متراً بسبب كثرة السحب العشوائي، إلا أن بعض التقارير الأخرى تشير أيضاً إلى أن المخزون الجوفي من المياه بالحوض يقترّب من ١٠٠ مليون م^٣، بل أن تقرير شركة ايتال كونسولت قدرت المخزون الجوفي بما يزيد على ٨٠٠ مليون م^٣ (البلوشي، ٢٠٠٦). وقد اقترح السعيد وزملائه تنفيذ سددين في أعالي وادي رهجان ونعمان لتغذية المياه الجوفية، وقد بدأ تنفيذ أحد السددين بالفعل في أعالي وادي المجرش.

منهج الدراسة

ارتكزت هذه الدراسة على توظيف تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقدير تعرية التربة في حوض وادي نعمان بتطبيق نموذج جافريلوفيك للتعرية. ويتمثل دور تقنية الاستشعار عن بعد في تصنيف غطاءات الأرض وتحسين تصنيف التربة، وفي تحديد حالة تطور التعرية في الحوض. أما دور نظم المعلومات الجغرافية فتمثل في تصنيف فئات الارتفاع والانحدار واستخلاص شبكة التصريف وتحديد الأحواض الجزئية، وفي إعداد طبقات التركيب الصخري والتربة، وإنشاء خطوط التساوي للحرارة والتساقط، ومن ثم في تطبيق معادلة جافريلوفيك في عدة مراحل وذلك من خلال وظائف المحلل المكاني Spatial Analyst في برنامج ArcGIS كما سيرد تفصيله لاحقاً.

نموذج جافريلوفيك للتعرية: ينسب نموذج جافريلوفيك إلى سلوبودان جافريلوفيك Solobodan Gavriloic الذي عمل عليه بالتعاون مع آخرين في معهد تطوير موارد المياه بيوغسلافيا ما بين



شكل رقم (٣). في الأعلى صورة لأحد الروافد العليا لوادي علق حيث تتكون الخوانق العميقة نتيجة صرف معظم طاقة المجاري المائية هنالك في التعميق الرأسي، ويلاحظ الركام الفتاتي على الجانب الأيسر للرافد. وفي الصورة السفلى آثار سيل حديث في السهل الفيضي لوادي نعمان حيث جُرف جزء من الطريق الإسفلتي مخلفاً مصطبة مرتفعة. ويلاحظ أيضاً حجم الرواسب الخشنة التي طرحت في السهل الفيضي القديم.

عامي ١٩٥٢-١٩٧٦ من خلال ثلاث مراحل معروفة (Stefanovic, et al., 2004). ويذكر جلوبفنيك (Globevnik, et al., 2003) أن هذا النموذج أصبح هو المعتمد لتقدير تعرية التربة وحصيلة الإرسابات في بلدان أوروبا الشرقية خلال العقود الأربعة المنصرمة. بل أن ستفانوفيك وزملاءه (Stefanovic, et al., 2004) يقررون أن هذا النموذج أصبح بمثابة الحل القياسي لحساب التعرية السطحية في مجال إدارة الموارد المائية. كذلك كما أسلفنا من قبل فقد أختبرت مصداقية هذا النموذج في عدد من الدراسات، فقد حسب سيزار وزملاؤه (De Cesare, et al., 1998) مقدار التعرية المائية باستخدام نموذج جارفوليك في تسعة عشر موقعاً في سويسرا، ثم قارنوها بقياسات حقلية حيث وجدوا أن الارتباط بين القيم المنتجة بكلا الأسلوبين يبلغ ٩٠٪، وبلغت نسبة الصحة في القيم المحسوبة مقارنة بالقيم المقاسة ٩٩٪. وتؤثر عوامل نوع الصخور ودرجة انحدار السطح ودرجة الحرارة وكمية التساقط وخصائص التربة واستخدامات الأرض على القيمة النهائية المنتجة بواسطة هذا النموذج. ولكل من العوامل السابقة وزن بحكم تأثيره في التعرية المائية، باستثناء عامل التساقط الذي يدخل في النموذج بقيمه الأصلية (ملم/السنة).

ولضرب مثل على ذلك، فإن كوستادينوف وزملاؤه (Kostadinov, et al., 2008) طبقوا هذا النموذج على حوض تصريف في صربيا تبلغ مساحته ٣٤٦ كم^٢، ويبلغ المتوسط السنوي للحرارة فيه ١١ م^٥، والتساقط ٨٩١ ملم سنويا، ويتألف معظم سطحه من صخور رسوبية سهلة الحث تعود إلى العصر الكريتاسي، ويبلغ متوسط انحدار السطح ٣٧٪، وتغطي الغابات الشجرية الكثيفة حوالي ٥٧٪ من سطحه، والبقية مراعي، باستثناء مناطق جرداء لا تشغل سوى ٤٪ من مساحته. وبالحوض صيانة متقدمة لدرء خطر جرف السيول حيث بنيت السدود، واستزرعت فيه الأشجار على المنحدرات الشديدة بما يقدر بنحو ١١٪ من مساحته في الفترة المحصورة بين عامي ١٩٥٥-٢٠٠٦ م. وقد بلغ ناتج التعرية في الحوض ٧٢٠ م^٣/كم^٢/السنة. أي أنه بالرغم من قابلية الصخور والتربة للتعرية، إلا أن الممارسات البشرية في استثمار الحوض وصيانتها بالإضافة إلى الغطاء النباتي الكثيف قد حد من تأثير التعرية المائية على سطحه. وللمقارنة فإن معدل التعرية السنوي يبلغ حوالي ٣٥٠ م^٣/كم^٢/السنة في جمهورية سلوفينيا (Globevnik, et al., 2003)، بينما يصل إلى ٦٨٥ م^٣/كم^٢/السنة في جمهورية مقدونيا (Cukaliev, et al., 2003).

ويطبق هذا النموذج من خلال سلسلة من المعادلات على النحو الآتي (Zorn and Komac, 2008):

$$W = T * h * \pi * \sqrt{Z^3} * F \quad \text{معادلة (١)}$$

حيث:

W المعدل السنوي لتعرية التعرية (م^٣/كم^٢/السنة). ويرى مايلفيسكي وزملاؤه (Milevsky, et al., 2008) أن معدلات التعرية السنوية الضعيفة تقل عن ٥٠٠ م^٣/كم^٢/السنة، وأن معدلات التعرية العالية هي ما يتجاوز ٨٠٠ م^٣/كم^٢/السنة.

T معامل الحرارة والذي يحسب عن طريق المعادلة الآتية:

$$T = (0.1t_0 + 0.1)^{0.5} \quad \text{معادلة (٢)}$$

حيث t_0 المعدل السنوي لدرجة الحرارة.

H المعدل السنوي للأمطار (ملم).

F مساحة منطقة الدراسة (كم^٢).

z معامل التعرية erosion coefficient ، وهو أهم عناصر نموذج جافريلوفيك، وقد يكتفى به لوحده كمؤشر على تقدم التعرية في الأحواض المائية (Blinkov, et al., 2008; Kostadinove, et al., 2004). وله فائدة عظيمة في تتبع التغير في مستويات التعرية مع مرور الزمن لاختبار تأثيرات مستويات الممارسة والتغير في الأنشطة واستخدامات الأرض. وقد صنفت مستويات التعرية تبعاً لقيمة Z على النحو الذي نراه في جدول رقم (٢)، حيث تتدرج هذه القيمة من صفر حينما لا تكون هناك تعرية إلى أكثر من ١،٥ حيث تكون التعرية شديدة جداً.

ويحسب معامل التعرية عن طريق المعادلة الآتية:

$$z = Y * X_a * (\Phi + \sqrt{J_a}) \quad \text{معادلة (٣)}$$

حيث:

Y معامل قابلية التربة للتعرية soil erodibility coefficient.

X_a معامل حماية التربة soil protection coefficient.

Φ معامل تطور التعرية وشبكة التصريف soil and stream network development coefficient.

J_a معدل انحدار التضاريس في منطقة الدراسة (%).

وتستخرج قيم معاملات معادلة رقم (3) من جداول طورت بواسطة جافريلوفيك في الأصل، ثم عدلت فيما يعد عن طريق جملة من الباحثين (جدول رقم 3). ويعد العمل الحقلية أحد ركائز هذا النموذج باعتبار مدخلاته في تقديره لقيمة معامل التعرية (Z)، وإن كان هذا من عوامل ضعف هذا النموذج إذ أنه يخضع لتقدير الباحثين بناء على خلفيتهم العلمية ودقة ملاحظاتهم الحقلية. ومع هذا فإن قيم هذه المعاملات معياراً بشكل جيد مما يساعد على اختيار الفئة التي تتعلق بحالة التعرية حقلية.

البيانات وطرق معالجتها: يتطلب الإعداد لتطبيق نموذج جافريلوفيك عدداً كبيراً من البيانات تتعلق بطبيعة الصخور والتركيب الجيولوجي، والانحدار، والتربة، والتساقط، والحرارة، وغطاءات الأرض، بالإضافة إلى معلومات حقلية من خلال زيارات ميدانية تغطي كامل الحوض، حيث يتم من خلالها التعرف على مستويات التعرية في الحوض. وقد ارتكزت هذه الدراسة كلياً على المعالجة الآلية لبيانات الأقمار الصناعية، وعلى توظيف نظم المعلومات الجغرافية في تجهيز بيانات الدراسة كمدخلات لنموذج جافريلوفيك، ومن ثم حساب مخرجاته آلياً عن طريق برنامج ArcGIS. ويبين شكل رقم (4) مخططاً انسيابياً لأهم إجراءات التطبيق في نموذج جافريلوفيك.

وما يأتي هو شرح للأساليب التي استخدمت في هذه الدراسة لمعالجة البيانات وفقاً لكل معامل في النموذج.

أولاً: معامل الحرارة (T): باستخدام بيانات الحرارة لست محطات، ثلاث منها تقع داخل الحوض:

جدول رقم (٢). فئات مستويات التعرية تبعاً لقيمة معامل التعرية (Z).

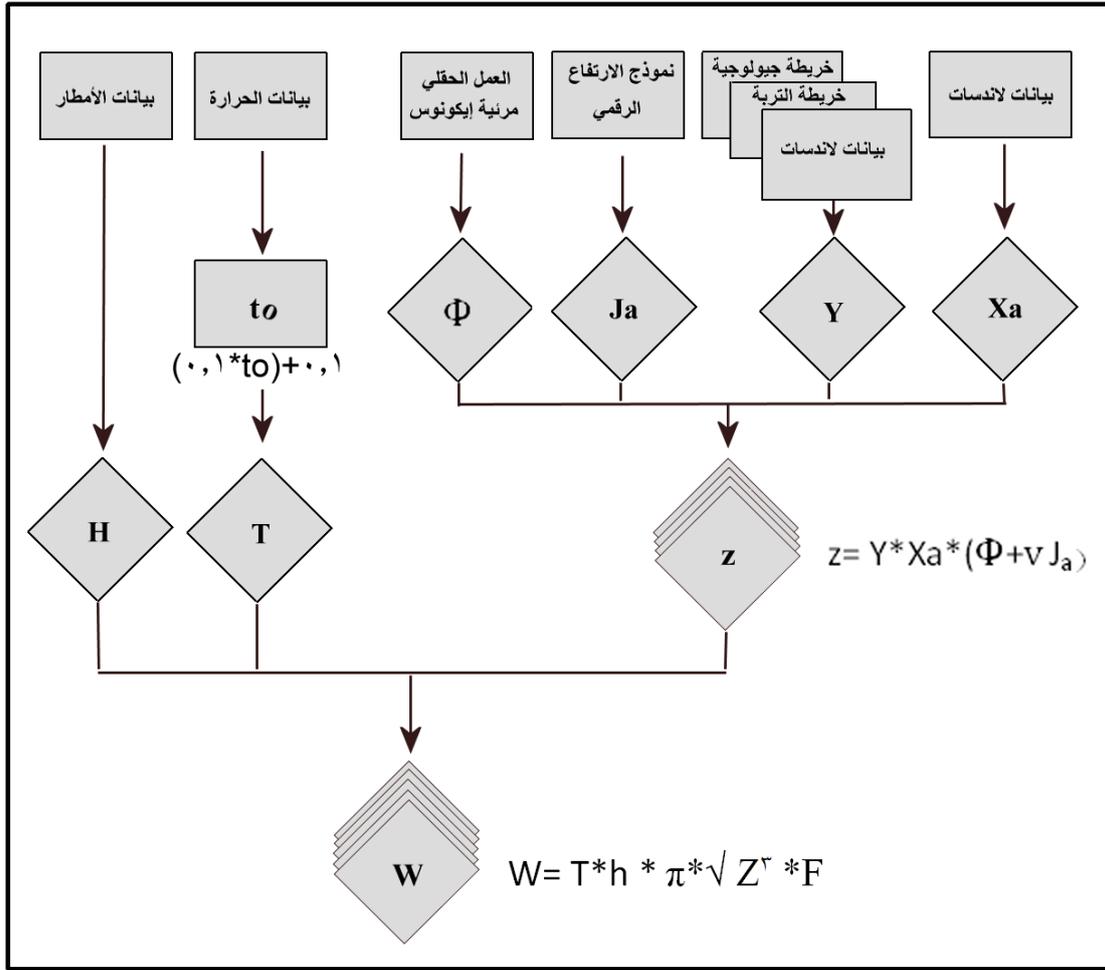
متوسط القيمة	معامل التعرية	مستوى التعرية
١,٢٥	١,٥١ - أكثر من ١,٥١	شديد جدا
٠,٨٥	١,٠ - ٠,٧١	شديد
٠,٥٥	٠,٧٠ - ٠,٤١	متوسط
٠,٣٠	٠,٤٠ - ٠,٢٠	خفيف
٠,١٠	٠,١٩ - ٠,٠١	خفيف جدا

المصدر: (Ostic and Horvat, 2008).

جدول رقم (٣). العوامل الوصفية المستخدمة في تقدير قيمة معامل التعرية.

Y	معامل قابلية التربة للتعرية
٠,٣ - ٠,١	صخور صلبة شديدة المقاومة
٠,٥ - ٠,٣	صخور ذات مقاومة متوسطة
٠,٦ - ٠,٥	صخور ضعيفة المقاومة
٠,٨ - ٠,٦	ركام حطامي ورواسب خشنة وتراب صلبة
١,٠ - ٠,٩	رواسب رملية ناعمة وتراب لا مقاومة لها
Xa	معامل حماية التربة
٠,٢ - ٠,٠٥	غابات مختلطة كثيفة - متوسطة الكثافة وأحراج
٠,٤ - ٠,٢	غابات صنوبرية وجنابت متبعثرة وأجمات على جوانب القنوت المائية
٠,٦ - ٠,٤	مراع وغابات أو جنابت متضررة
٠,٨ - ٠,٦	مزارع ومراع متضررة
١,٠ - ٠,٨	أراض جرداء
Φ	معامل تطور التعرية وتطور شبكة التصريف
٠,٢ - ٠,١	تعرية ضعيفة في حوض التصريف
٠,٥ - ٠,٣	تعرية في القنوت المائية بين ٢٠٪ - ٥٠٪ من حوض التصريف
٠,٧ - ٠,٦	تعرية في الأنهار، والأحاديث، والإرسابات الفيضية، وتعرية كارستية
٠,٩ - ٠,٨	٥٠٪ - ٨٠٪ من حوض التصريف تحت تأثير التعرية والانزلاقات الأرضية
١,٠	جميع حوض التصريف تحت تأثير التعرية

المصدر: بتصريف عن (Stefanidis and Kalinderis, 2008; Zorn and Komac, 2008).



شكل رقم (٤). مخطط انسيابي لتسلسل تطبيق نموذج حافريلوفيك اعتماداً على بيانات متعددة المصادر.

القرين في حوض وادي الشرا، ونعمان في الحوض الأسفل، وجرف الهدا في حوض وادي يعرج؛ وثلاث تقع خارج الحوض: الهدا والشفا ومكة. وعن طريق وظيفة Interpolation في Box ArcTools تم إنشاء خطوط الحرارة المتساوية في الحوض، ثم أُخضع الناتج للمعادلة رقم (٢)، والتي عن طريقها نتجت قيم معامل الحرارة لكل خلية في الحوض.

ثانياً: المعدل السنوي للأمطار (H). على غرار ما سبق، أُستخدمت بيانات المعدل السنوي للأمطار لفترة تتراوح بين ٢٥-٣٠ سنة لخمس عشرة محطة، ثمان منها تقع داخل الحوض، والبقية تتوزع خارج حدود حوضه، ومن هذه البيانات أنشئت طبقة خطوط المطر المتساوي.

ثالثاً: معامل التعرية (Z). إن تخصيص قيمة هذا المعامل لكل خلية في حوض التصريف تعتمد على احتساب قيم أربعة متغيرات، هي كالاتي:

١ - معامل قابلية التربة للتعرية (Y). استخدم الباحث الخريطة الجيولوجية لمربع الطائف (٢١/٤٠C)، بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، لإنشاء طبقة تتعلق بالتركيب الصخري لمنطقة الدراسة. وقد خُصص لكل نوع من الصخور قيمة من جدول رقم (٣) تتوافق مع طبيعة الصخر وقابليته للتعرية السطحية، وما نتج من هذا هو قيمة معامل (Y) فيما يختص بقابلية الصخور للتعرية في كل خلية في الحوض.

٢ - يعد نسيج التربة soil texture عاملاً مهماً في احتساب قيمة (Y) في نموذج جارفولوفيك. وبالنظر للخريطة العامة للتربة، لوحة ١٥٩ (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦م) فإن ترب منطقة الدراسة قد صُنفت إلى فئتين عريضتين هما: بروزات صخرية-توري سامنتس Rock outcrop-Torripsamments (قد تسمى تربة توري سامنتس بالتربة الفجة الرملية الصحراوية)، والفئة الثانية هي تربة كامب أورثيدز- توري سامنتس Cambortihds-Torripsamnets (تربة جفافية عادية كامبية وتربة فجة رملية صحراوية). ومن أجل نتائج أكثر دقة، فإن الباحث رأى أن يحسن ذلك التصنيف اعتماداً فقط على نسيج التربة وسماكتها وهو ما يتوافق مع نموذج جارفولوفيك. وقد تحقق ذلك عن طريق تحليل مرئية فضائية للقمر سبوت SPOT-XS، أُلتقطت في عام ٢٠٠٧م، بالإضافة إلى جمع عينات من التربة للتأكد من صحة التصنيف وتعديله. ففي البدء تم تصنيف المرئية بأسلوب

التصنيف غير الموجه *unsupervised classification* إلى عشرين فئة، ثم وزعت خمسون عينة على هذه الفئات الطيفية بطريقة العينات العشوائية الطباقية *stratified random sampling* للتعرف على نسيج التربة حقلياً وفقاً لحدود الفئات الطيفية من خلال الحجم الحبيبي للتربة (Brady, 1984, p. 37). وبناء على ذلك فقد أصبح التصنيف النهائي للتربة موزعاً في أربع وحدات: منكشفات صخرية خالية من أي غطاء للتربة بنسبة ٣٧٪ من منطقة الدراسة، وتربة المنحدرات الجبلية الضحلة بنسبة ٣٩٪ من منطقة الدراسة، وتربة طميية حصوية متوسطة النفاذية وذلك بنسبة ١١٪ من مساحة حوض التصريف، وتربة رملية طميية سريعة النفاذية بنسبة ١٣٪ من مساحة حوض التصريف.

٣ - يقصد بمعامل حماية التربة (Xa) في نموذج حافريلوفيك الغطاءات الأرضية النباتية أيضاً كان منشؤها والتي تساعد في تثبيت التربة، وإبطاء سرعة الجريان السطحي، والمساعدة على زيادة تسرب الماء في التربة، ومن ثم حماية التربة بشكل عام من الجرف. لهذا فقد صنفت مرئية سبوت السابقة الذكر إلى خمسين فئة لتحديد غطاءات الأرض *land cover* في منطقة الدراسة، وعن طريق المسح الحقلية تم معرفة ما تمثله كل فئة طيفية، ثم دجت الفئات الطيفية التي تنتمي إلى نفس الفئة الحقلية لينتج أربع فئات غطاءية: أراضٍ مزروعة تتفاوت بين زراعة جيدة تعتمد على الري من مياه الآبار، وأراضٍ زراعية بعلية يغلب على معظمها الضرر نتيجة تأثيرها بعوامل الجرف وقلة الصيانة. وفئة أخرى تمثلت في الغطاءات النباتية الطبيعية التي تنوعت بين نباتات أودية *reparian* وحشائش فقيرة على المنحدرات، وشجيرات من السمر *Acacia tortilis* والسلم *Acacia ehrenbergiana* على المنحدرات، لتصبح في أعالي المرتفعات غطاء متبعثر من أشجار العرعر *Juniperus procera*، خاصة في أعلى حوض وادي رهجان. ولا تمثل المناطق المزروعة والغطاءات النباتية الطبيعية إلا ما نسبته ١٧٪ من مساحة الحوض. أما البقية من الحوض فهي صخور وإرسابات جرداء. وبمقابلة هذه الفئات الغطاءية على الوحدات في جدول رقم (٣)، نشأت طبقة (Xa) والتي تراوحت قيمها ما بين ٤،٠ إلى ١٠،٠، وكان القيمة الوسطى في هذه الطبقة ٥،٧٩، والتي تعكس ضعف حماية التربة الناتجة عن فقر الغطاء النباتي.

٤ - كانت المرحلة قبل الأخيرة في استنباط قيمة معامل Z هي إيجاد قيمة معامل Φ المتعلق بتطور التعرية وشبكة التصريف في الحوض. ولا تستنبط هذه القيمة إلا من العمل الحقلية عن طريق ملاحظات الباحث عن تطور التعرية في الحوض وتصنيفها وفقاً للفئات الخمس في جدول رقم (٢). وقد اقتضى هذا من الباحث زيارات عديدة لأجزاء من الحوض، مع الاستعانة بمرئية إيكونوس IKONOS ذات دقة تمييز ٤م، بالإضافة إلى المرئية المصنفة لاستعمالات الأرض. وبناء عليه فقد صنف الحوض إلى عدة مستويات من التعرية، وكان المتوسط العام لقيمة معامل Φ هو ٠,٦١.

٥ - استخدم برنامج ArcGIS لدمج طبقات معاملات Y و Xa و Φ ، لينتج عن ذلك طبقة Z، بحيث أصبح لدينا قيمة لمعامل التعرية لكل خلية في الحوض. وقد تراوحت قيم هذا المعامل بين ٠,٠٢ و ١,٣، وقد أعيد تصنيف هذه الطبقة إلى فئات وفقاً لجدول رقم (٢) لتقرير درجة التعرية في كل خلية من الحوض، ومن ثم في كل حوض جزئي.

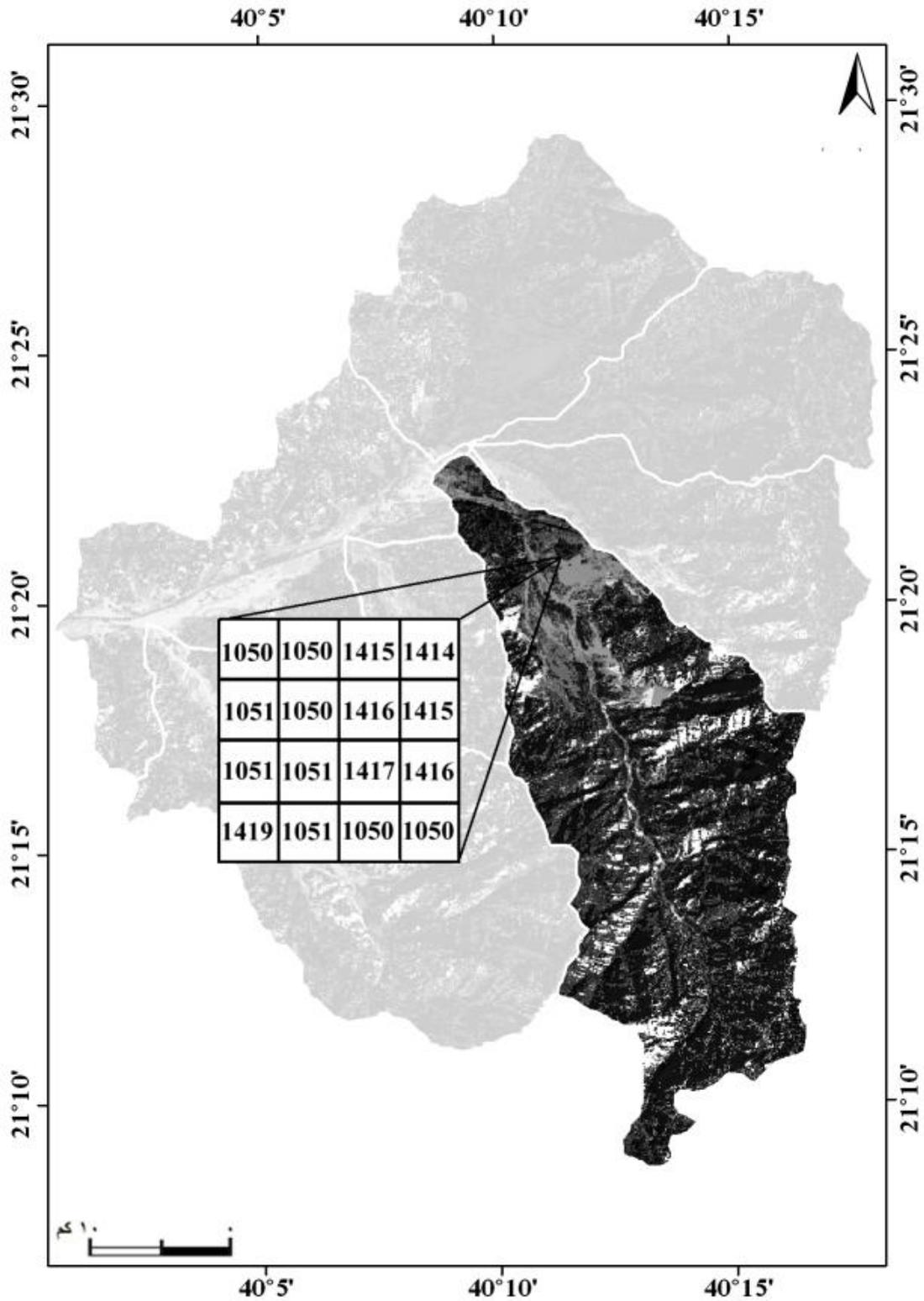
٦ - استخدم الباحث نموذج ارتفاع رقمي digital elevation model، بدقة تمييز ٣٠م لإنشاء طبقة الانحدارات slopes للحوض بغية استخراج قيمة معدل انحدار تضاريس الحوض (Ja). وقد أتبع أسلوب فانيتي و فيزولي (Fanetti and Vessoli, 2007) في تخصيص قيم موزونة وفقاً لدرجات الميل، كما استخدمت هذه البيانات في تصنيف الارتفاعات في الحوض واستخلاص البيانات المتعلقة بتضاريسه. وبالإضافة إلى ما سبق، فقد استخدم برنامج TauDEM الذي يعمل في بيئة ArcGIS لاستخلاص شبكة التصريف المائية وبعض القياسات المورفومترية العامة المتعلقة بالحوض (أنظر جدول رقم ١). وهذه القياسات لها نفع في المدلولات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية، وفي الربط بينها وبين مستويات التعرية على الخصوص لاختبار مستوى العلاقة بهدف التنبؤ بمستويات التعرية في أحواض بيئية مشابهة إن كانت هناك علاقة ذات أهمية إحصائية.

رابعاً: كانت الخطوة الأخيرة هي باستخدام الحاسبة الخلية raster Calculator في برنامج ArcGIS لتطبيق معادلة نموذج جافريلوفيك، حيث نتج من ذلك طبقة W، والذي تراوحت فيه قيم W بين ٨ م^٣/كم^٢/سنة و ٥٠٣٢ م^٣/كم^٢/سنة. وقد أمكن حساب ذلك على مستوى الخلية والأحواض الجزئية وصولاً إلى الحوض إجمالاً (للمثال: شكل رقم ٥). وقد أعيد تصنيف قيم

W بعد ذلك لعموم الحوض بمدى ٢٠٠ م^٣/كم^٢/سنة لينتج سبع فئات من أجل مقارنة مستويات التعرية بين الأحواض الجزئية.

النتائج والمناقشة

كونت هذه الدراسة قاعدة بيانات جيدة لأهم الملامح والموارد الطبيعية السطحية لحوض وادي نعمان. فقد تبين أن معظم الحوض يتألف من صخور نارية جوفية، صلبة قديمة التكوين، مع تكوينات رسوبية فيضية رباعية في مجاري الأودية الكبرى بالحوض. وتميزت تضاريس الحوض بتعقيدها الشديد بالإضافة إلى غلبة المنحدرات الشديدة في مناطق المنابع العليا، مما جعل مجاري الأودية العليا ملأى بالهشيم الصخري الناتج عن انزلاق الكتل الصخرية على المنحدرات. كما تبين أن ٧٦٪ من الحوض يتكون من بروزات صخرية وترب ضحلة جداً (Torriorthents) على المنحدرات الجبلية، بينما تكوّن الترب الطميية الحصوية (Camborthids) ما نسبته ١١٪، والترب الرملية الطميية (Torripsamments) ما نسبته ١٣٪، من حوض التصريف. وبذلك فإن الترب ذات التصريف الجيد في الحوض لا تتجاوز نسبتها ٢٤٪ من إجمالي مساحة الحوض، مما يوحي بأن ما يتساقط على الحوض من مياه سوف يفرغ معظم طاقته في الجريان السطحي، والذي ينعكس مباشرة في تعرية السفوح والتعميق الرأسي لقنوات الأودية وجرف التربة الرسوبية في الحوض الأسفل. ولا يوجد بالحوض أي نوع من تدابير الصيانة للموارد الطبيعية للحوض، خاصة فيما يتعلق بالحماية المصطنعة من جرف التربة كالاستزراع planting أو تكوين المدرجات terraces أو أحواض المستجمعات detention basins على سفوح المنحدرات، مما يجعل التربة تقع مباشرة تحت تأثير عمليات التعرية. أما التغطية النباتية الطبيعية في الحوض فتبلغ مساحتها نحو ٦٩ كم^٢، أي ما نسبته ١٠٪ فقط من إجمالي مساحة الحوض، وهي فقيرة في مجملها، ويتركز أكثر توزعها في أعالي وادي الجيريش. وبالنسبة للمناطق الزراعية، حيث يكون للعامل البشري دور كبير في صيانة التربة ومنعها من الانجراف، فإن مساحة الأراضي الزراعية بالحوض تبلغ ٤٥،٣ كم^٢، ولكننا نجد أن ٨٩٪ من هذه المساحة هي لأراضٍ زراعية متضررة، وبعضها أصبح مهجوراً. ولو نظرنا فقط إلى مجمل مساحة



شكل رقم (٥). مثال من وادي المجيريش على حساب المخرجات في نموذج جافريلوفيك على ثلاث مستويات، تبدأ بمستوى الخلية، ثم الأحواض الجزئية، وتنتهي بالحوض أجمعه. الأرقام داخل الخلايا لقيم المعدل السنوي للتعرية ($\text{م}^3/\text{كم}^2/\text{السنة}$) في ست عشرة خلية متجاورة.

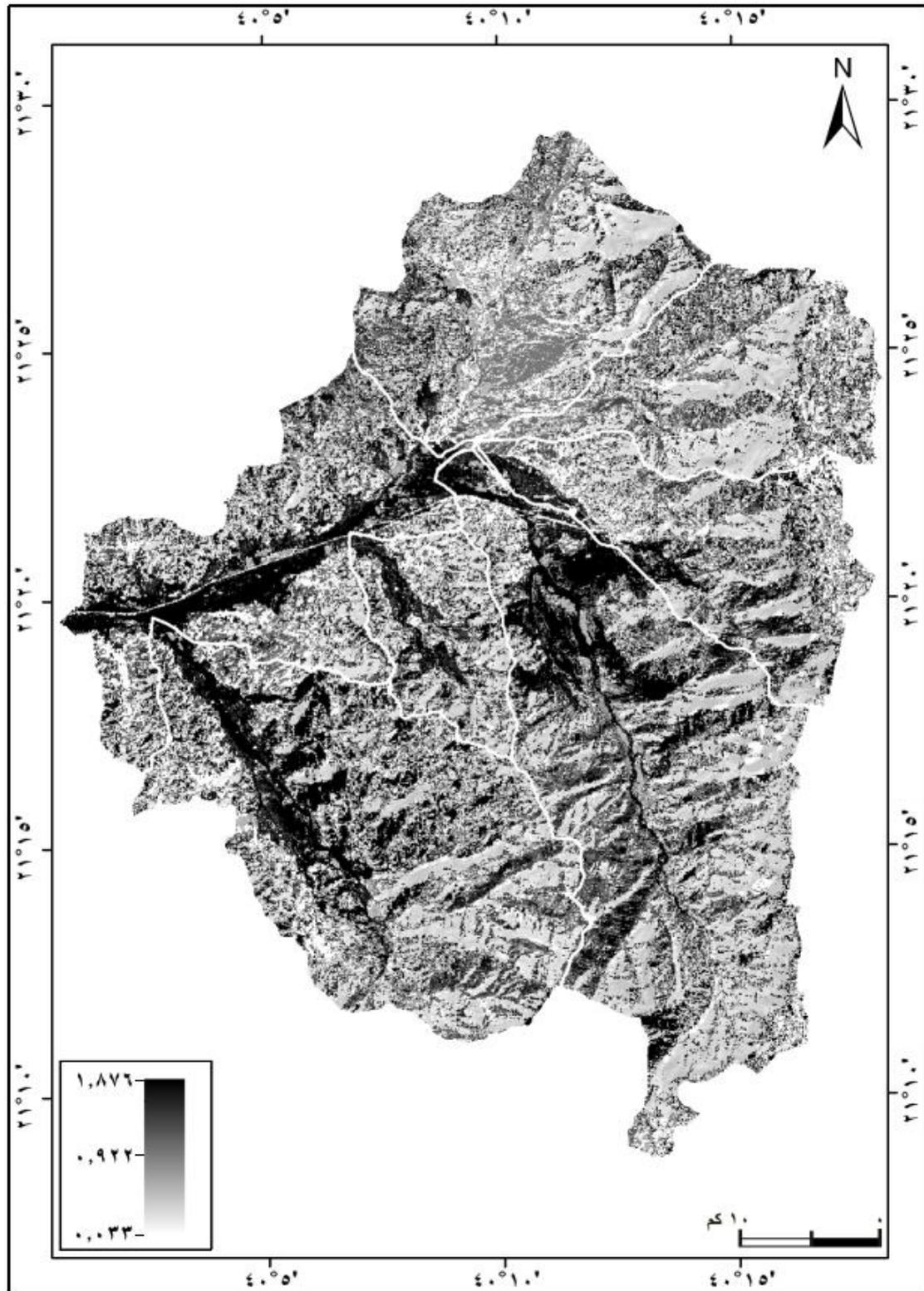
الترب العميقة بمجري أودية المجريش ورهجان وأدنى الحوض والتي تبلغ نحو ١٦٤ كم^٢، فإننا نجد أنه لا يستغل منها سوى ٣٪ في زراعة جيدة مستديمة، والبقية تركت عرضة لعمليات التعرية دون أدنى صيانة أو استغلال، مع أن هذه الترب مصائد ومخازن جيدة للمياه المندفعة من أعالي الحوض.

وباعتبار أن قيمة معامل التعرية (Z) هي انعكاس مباشر للوضع الطبوغرافي، خاصة الانحدار، وملكونات التربة والصخور في الحوض، وللغطاء النباتي الطبيعي والممارسات البشرية في الحوض والتي تكون عاملاً مهماً في حماية التربة أو تدهورها، فإننا نجد أن المتحكم في قيمة هذا المعامل هو البنية الجيولوجية ونوع التركيب الصخري، ونسيج وتماسك التربة في ظل غياب وسائل الحماية الطبيعية المتمثلة في غطاء نباتي جيد، وفي انعدام صيانة التربة ووقايتها بفعل الإنسان. ويبين جدول رقم (٤) قيمة هذا المعامل المستخرج للأحواض الجزئية وللحوض ككل، حيث بلغ ٠،٤١٢ لعموم الحوض، أي أن تأثير التعرية المائية متوسط في عموم الحوض بفعل ضعف الحماية الطبيعية ووسائل صيانة التربة والنبات فيه. وقد تراوحت قيمة المعامل بين ٠،٠٣٣ و ١،٨٧٦، حيث تعظم التعرية في وسط الحوض وغربه، وقريباً من ذلك في جنوبه (شكل رقم ٦). وهذا يعود في المقام الأول إلى أن معظم التكوينات الصخرية في شمال وشرق الحوض ذات صلابة أشد من الصخور التي تكون بقية أجزائه الجنوبية والغربية، بالإضافة إلى تغطية الرواسب المفككة سهلة الجرف لمعظم أجزاء أودية المجريش وعرعر ورهجان والمجرى الرئيس في وسط وجنوب وغرب الحوض فيما يمثل نحو ربع مساحة منطقة الدراسة. وهذا يتفق تماماً مع توزيع الوحدات الجيومورفولوجية في الحوض، المتمثلة في الرواسب النهرية في السهل الفيضي والمصاطب الفيضية، بالإضافة إلى المراوح الفيضية ومخاريط الحطام الصخري والرواسب الخشنة. ومما جعل قيمة معامل (Z) عالية أيضاً في الحوض فقر الغطاء النباتي وانعدام وسائل التحكم والصرف. فقد أثبت بلينكوف وزملاؤه (Blinkov, et al., 2008) أن غياب النبات الطبيعي يؤدي إلى زيادة قيمة هذا المعامل من ٠،٣٧ إلى ٠،٧٨، أي مضاعفة قيم (Z) بمقدار ٢،١ مرة.

ومن ملاحظة قيمة معامل التعرية على مستوى الأحواض الجزئية في جدول رقم (٤)، فإننا نجد أن الأحواض الأقرب إلى أدنى الحوض تعد أكبر من غيرها في معدلات التعرية، وهي أودية المجريش ورهجان ومنطقة المجرى الرئيس. وأقل معدلات التعرية كانت في الأحواض العليا الشمالية والشمالية

جدول رقم (٤). قيمة معامل التعرية (z) وفقاً لمستويات التعرية الواردة في جدول رقم (٢).

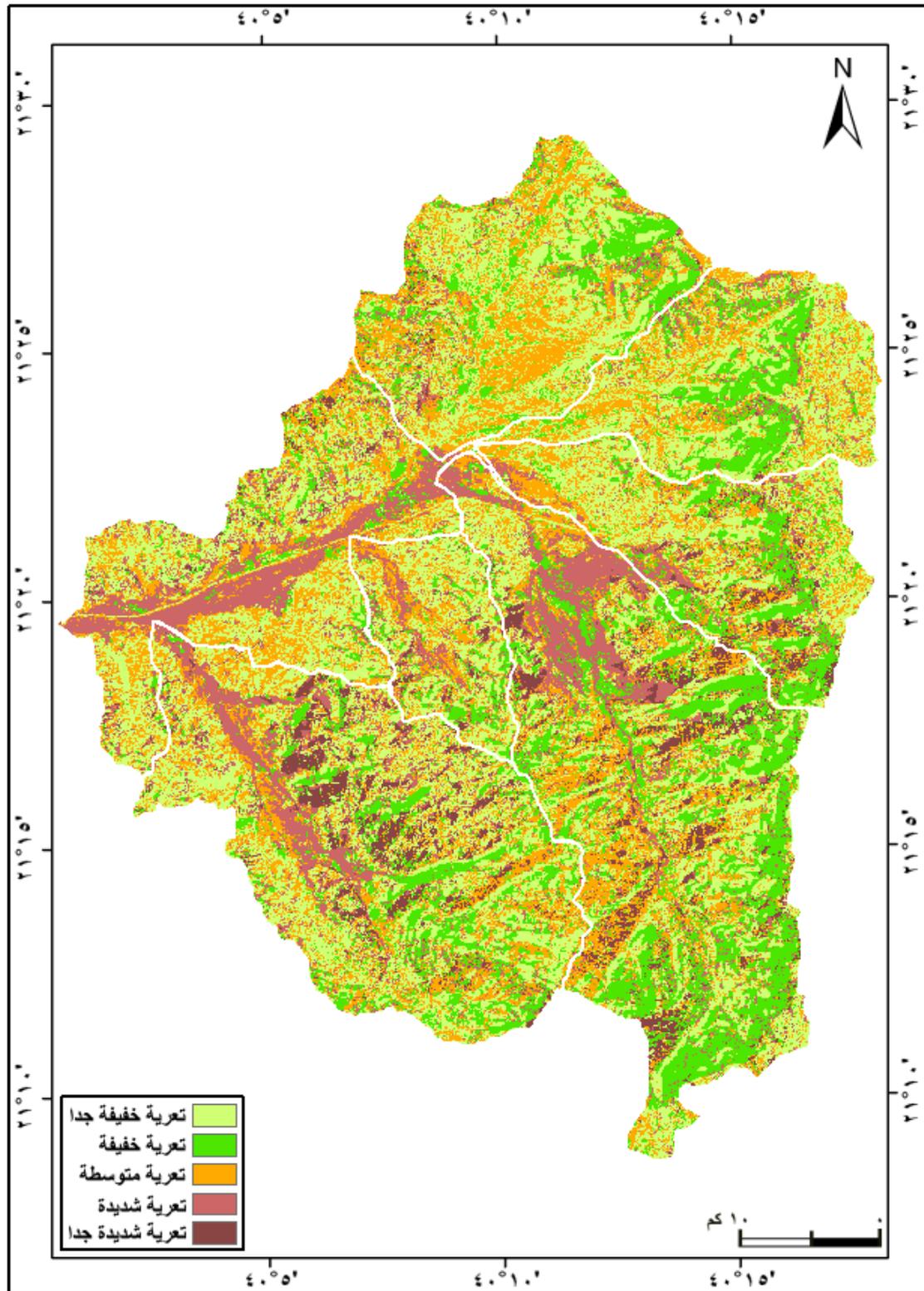
نسبة مستويات التعرية من مساحة الحوض						الحوض الجزئي
تعرية شديدة جدا	تعرية شديدة	تعرية متوسطة	تعرية خفيفة	تعرية خفيفة جدا	متوسط قيمة Z	
٪١	٪٧	٪٣٢	٪١٩	٪٤١	٠,٣٤٤	الشران
٪١	٪٨	٪٢٦	٪٢٢	٪٤٣	٠,٣٣٨	يعرج
٪٥	٪١٢	٪٢٥	٪٢١	٪٣٧	٠,٣٩٩	علق
٪٨	٪١٧	٪٢١	٪٢٧	٪٢٧	٠,٤٦٤	المجبريش
٪٣	٪١٦	٪٢٥	٪١٣	٪٤٣	٠,٤١٠	عرعر
٪٨	٪١٦	٪٢٣	٪١٦	٪٣٧	٠,٤٥٩	رهجان
٪٢	٪٢٥	٪٢٨	٪٧	٪٣٨	٠,٤٦٨	أدنى نعمان
٪٤	٪١٤	٪٢٦	٪١٨	٪٣٨	٠,٤١٢	مجممل الحوض



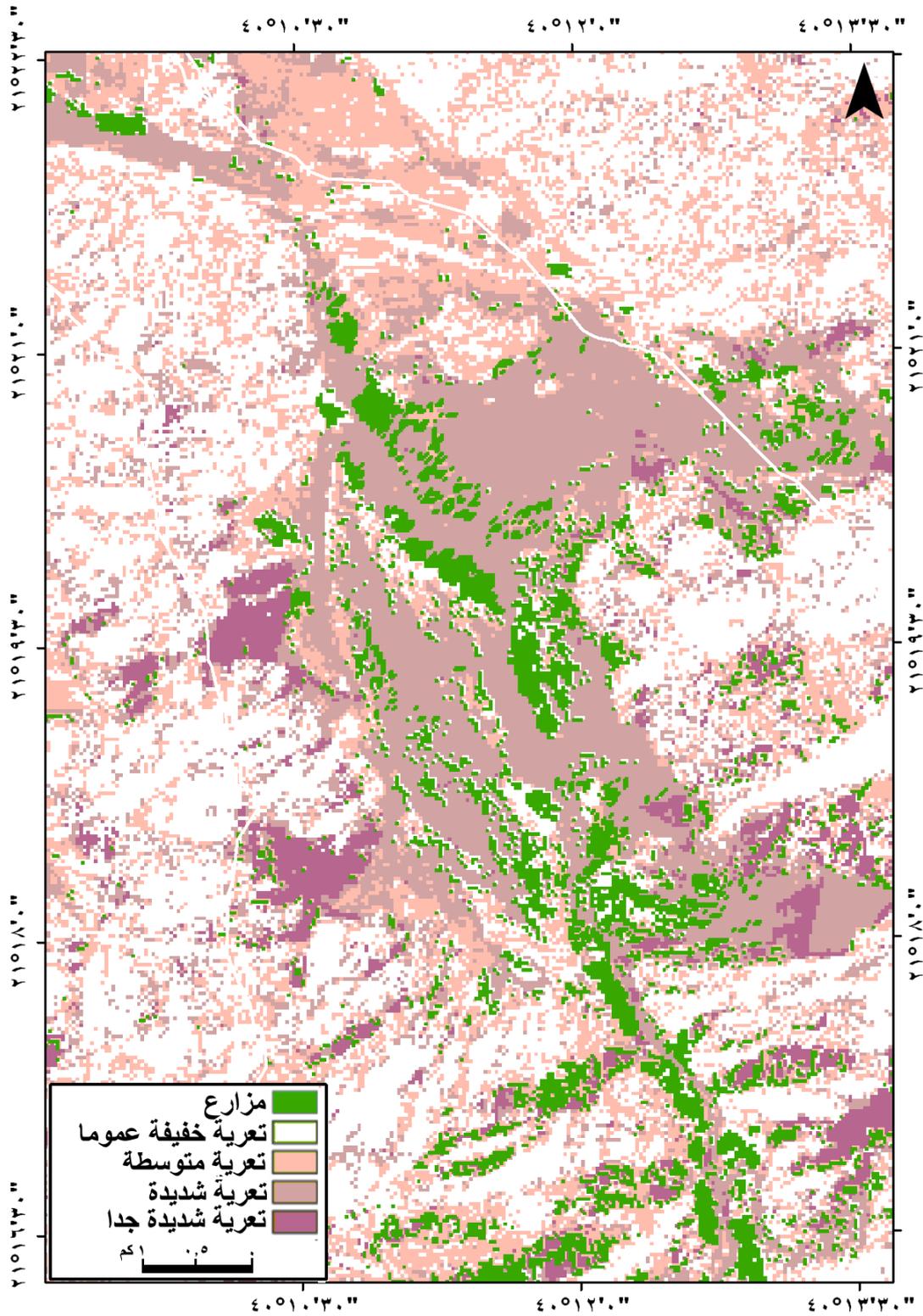
شكل رقم (٦). معامل التعرية (z). الأجزاء ذات التدرج الرمادي الداكن هي الأكثر قابلية للتعرية من غيرها.

الشرقية من الحوض في أحواض الشرا ويعرج وعلق، ويشاركهم في ذلك حوض وادي عرعر، وهذا عائد للتكوينات الصخرية الصلبة من الجابرو والديورايت والمونزوجرانيت التي تشكل معظم أعالي الحوض، بالإضافة إلى قلة الرواسب المفككة في الأحواض العليا، فالانحدار الشديد للأحواض العليا يؤدي بما يتفكك من صخورٍ في الأعلى إلى جرفٍ سريعٍ يستقر في مخرج تلك الأودية بمنطقة شداد.

وبالنظر إلى مستويات التعرية في جدول رقم (٤) على مستوى الحوض ككل، فإن منطقة الدراسة تقع تحت تأثير التعرية بمستويات مختلفة. فأكثر من نصف مساحة الحوض يتعرض لتعرية مائية خفيفة عموماً، وهي مستوى من التعرية يقتصر على سطح التربة من غسل لعناصرها وخلط لمكوناتها وإضعاف ثباتها وجرفٍ لموادها الأكثر تفككاً والأخف وزناً، وهو ما يؤدي بالتربة على المدى الطويل إلى تدهور خصائصها الطبيعية وضعف إنتاجيتها. ومن الملاحظ أن نسبة التعرية الخفيفة بدرجتها تكون أعظم في المنابع العليا وتقل باتجاه مخرج الحوض، بينما تكون التعرية الشديدة بدرجتها على عكس ذلك، حيث تشتد في الأحواض الدنيا وتقل باتجاه المنابع العليا للحوض (شكل رقم ٧)، وهذا عائد إلى أن الرواسب المفككة أكثر ما تكون في الأحواض الدنيا حيث تفرغ الأودية حمولتها، ومن ثم تكون نسبة التعرية الشديدة أعلى في أدنى الحوض. ومن الملاحظ أيضاً من نفس الجدول أن ١٨٪ من مجمل الحوض يتعرض لجرف شديد بفعل التعرية المائية. وقد عُرِف الجرف الشديد للتربة وفقاً لهذا التصنيف المستخدم لمستويات التعرية بأنه نحت المياه السطحية للتربة عميقاً حتى تنكشف الصخور الأصلية *parent material* (Gavriloic, et al., 2006)، وهذا مشاهدٌ في أجزاء من مجرى الوادي الرئيس بين وادي عرعر ورهجان. أما التعرية المتوسطة والتي يكون عملها أقل عمقاً فإنها تؤثر في ربع مساحة الحوض. ويلاحظ على هذا النوع من التعرية أنها توجد في جميع الأحواض الجزئية بنسب متقاربة. وبهذا فإن ٤٤٪ من مساحة حوض التصريف يتعرض لتعرية مائية مؤثرة، وهي تشمل في هذا التعرية المتوسطة والشديدة بدرجتها. وقد توافق توزيع المناطق الزراعية في الحوض، في أودية المجيريش ورهجان والحوض الأدنى وأسفل الشرا، مع توزيع التعرية الشديدة بدرجة كبيرة (شكل رقم ٨) مما يعكس أهمية الحاجة إلى توفير أدوات التحكم الضرورية في التعرية *control agents erosion*، خاصة في هذه المناطق من الحوض. ومن ملاحظات الباحث الحقلية في وادي رهجان



شكل رقم (٧). مستويات التعرية في منطقة الدراسة وفقاً لمعامل التعرية (z).



شكل رقم (٨). مثال من وادي المجيريش على توافق توزيع الأراضي الزراعية مع مستويات التعرية العالية.

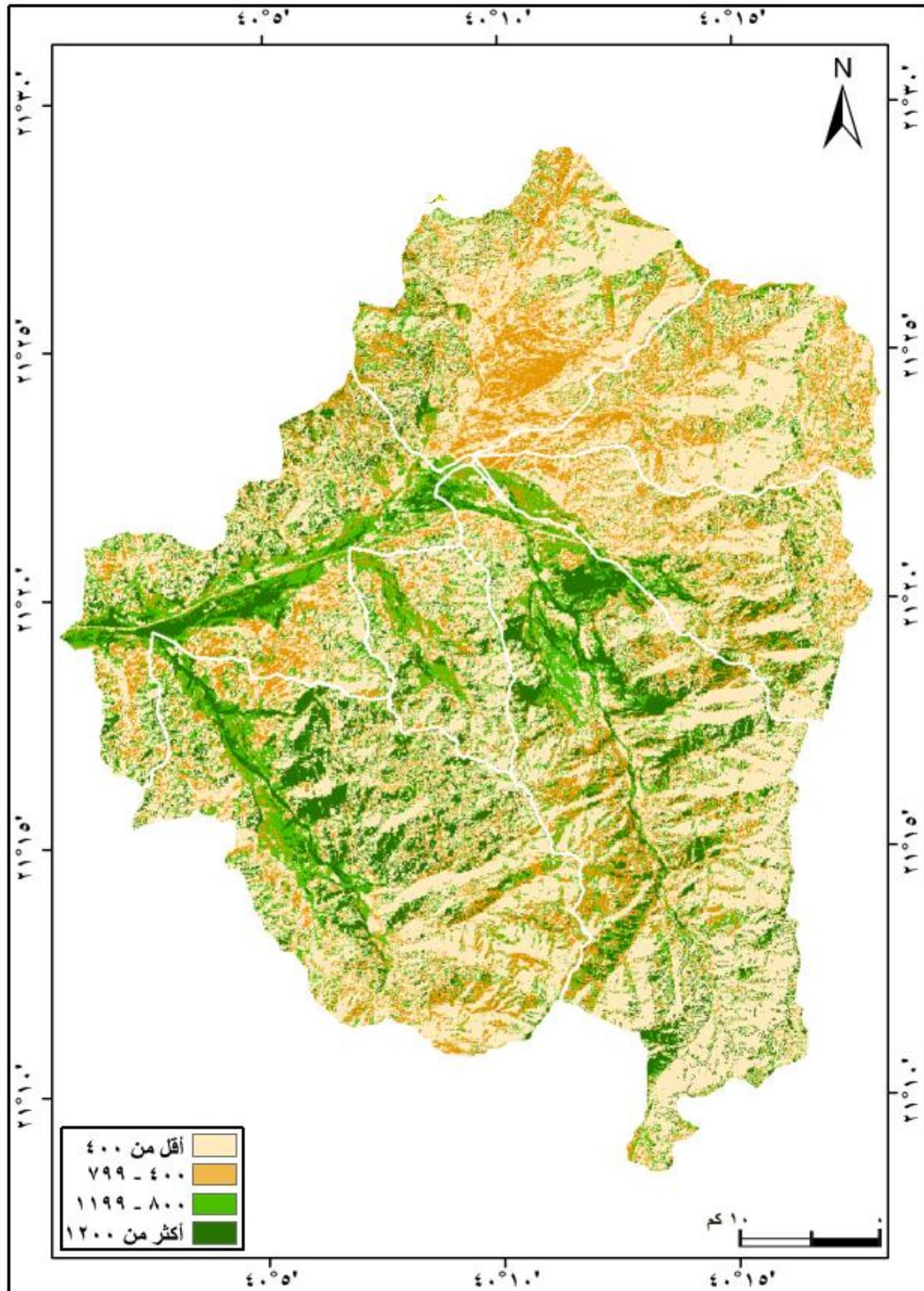
والمجبريش أن بعضاً من المزارعين يلجأون إلى ابتكار أدوات للتحكم في التعرية كعمل حواجز إسمنتية في أطراف مزارعهم باتجاه المنحدر، مع تصميم فتحات مناسبة للتصريف في حال السيول الجارفة. ومع هذا فإن فقر النبات الطبيعي، خاصة الأشجار، مع غياب أي إدارة فاعلة منظمة للموارد الطبيعية في الحوض، وقلة السدود الحديثة ماضياً وحاضراً في المنطقة، قد أدى جميعه إلى جعل الحوض جميعه تحت وطأة جرف السيول.

وبدراسة مستويات التعرية تفصيلاً تبعاً للأحواض الجزئية، فإننا نجد أن الأحواض الجنوبية تتعرض للتعرية المائية بدرجة أعلى من الأحواض الشمالية لقلّة مقاومة تكويناتها الصخرية للتعرية مقارنة بالأحواض الشمالية. ويستدل على ذلك من نسب التعرية العالية (المتوسطة-الشديدة جداً) التي تعمل على أكثر من نصف مساحة الحوض الأدنى وتجعله تحت تأثير الجرف المائي المستمر لمكونات سطحه، يليه في ذلك حوضي رهجان والمجبريش على الترتيب (شكل رقم ٩). وفي المقابل فإن مستويات التعرية الخفيفة (خفيفة جداً-خفيفة) هي الأكثر سيطرة في الأحواض العليا، ومع ذلك فإن الزيارة الحقلية تبين أن هذه المستوى من التعرية وإن كان خفيفاً إلا أن يساعد على جرف نواتج الكتل الصخرية المتفككة على المنحدرات الشديدة نحو الأحواض الدنيا.

وبحساب المعدل السنوي للتعرية المائية فإننا نجد أن المعدل العام في الحوض هو ٥٢٨ م^٣/ك^٢/سنة، أي نحو ٥،٥ ملم من الطبقة السطحية للتربة سنوياً، أي أن التعرية في الحوض متوسطة وفقاً لهذا المعدل. إلا أن هناك تفاوتاً في أجزاء الحوض في معدلات التعرية السنوية، فقد تراوحت قيم (W) بين ٨ م^٣/ك^٢/السنة و ٥٠٣٢ م^٣/ك^٢/السنة، وجميع القيم العالية تتركز في الرواسب الفيضية على جانب المجرى الرئيس وفي وسط وجنوب حوضي رهجان والمجبريش. وبحكم إضافة المعدل السنوي للأمطار (H) وقيمة معامل الحرارة (T)، فإنه من المتوقع أن يتغير ترتيب قابلية الأحواض الجزئية للتعرية عن النحو الذي كان في قيم معامل (Z). وبالنظر إلى شكل رقم (١٠) فإننا نجد أن أكثر من نصف مساحة الحوض (٥٥٪) ذو تعرية ضعيفة تقل فيه قيمة (W) عن ٤٠٠ م^٣/ك^٢/السنة، وتتمثل في مناطق التكوينات الصخرية الأكثر صلابة في الحوض والأقل أمطاراً. أما البنى الضعيفة الكثيرة الشقوق والفواصل وحيث التكوينات الصخرية ذات المعادن الأقل



شكل رقم (٩). النسبة المئوية لحال التعرية المائية في الأحواض الجزئية في حوض وادي نعمان.



شكل رقم (١٠). توزيع المعدلات السنوية للتعمرية المائية (م٣/٢كم/السنة).

مقاومة فيبلغ مقدار المواد المنحوتة منها ما بين ٤٠٠ - ٨٠٠ م^٣/كم^٢/السنة، وهي ما يمثل ١٨٪ من مساحة حوض التصريف. وتشتد تعرية المواد في مناطق الركام الصخري عند أقدام المنحدرات، ومناطق الإرسابات الفيضية حيث تتراوح قيمة (W) ما بين ٨٠٠ م^٣/كم^٢/السنة و أكثر من ٢٤٠٠ م^٣/كم^٢/السنة، وبما نسبته ٣٠٪ من حوض التصريف. كذلك يلاحظ من شكل رقم (١٠) أن معظم الأجزاء الغربية من الحوض هي الأكثر تأثراً بالتعرية المائية يليها في ذلك مناطق حطام الصخور ومفتاتها في المجاري العليا. وكانت أعلى حوض في مقدار التعرية السنوية هو حوض المجيريش حيث بلغت قيمة (W) نحو ٦٢٧ م^٣/كم^٢/السنة، وأقلها كان حوض وادي يعرج بقيمة ٣٠٦ م^٣/كم^٢/السنة. كما أن حوض وادي علق هو الأعلى من بين الأحواض الشمالية في مقدار التعرية السطحية والتي بلغت ٤٥٩ م^٣/كم^٢/سنة. وهذه المعدلات تعد عالية قياساً بصلابة المعادن التي تتكون منها معظم صخور الحوض خارج نطاق الرواسب الفيضية في أدنى الحوض، بالإضافة إلى ضالة معدلات التساقط عموماً في الحوض. ولعل ضالة التغطية النباتية وغياب أساليب التحكم في السيول الجارفة أدى إلى هذه القيم العالية. وهذه المعدلات تعد قريبة جداً مع قيم نتجت من بعض الدراسات التي أُجريت في أجزاء من أوروبا الشرقية حيث الصخور في معظمها رسوبية، والمعدل السنوي للتساقط عالٍ قد يتجاوز ١٠٠٠ ملم، ولكن الغطاء النباتي الشجري وفير مع تاريخ للتحكم في الجريان السيلي في أحواض التصريف يعود للخمسينات من القرن الماضي.

ومن دراسة العلاقة بين القياسات المورفومترية التي وردت في جدول رقم (١) وقيم المعدل السنوي للتعرية باستخدام لمعامل ارتباط بيرسون فإننا نجد أن التعرية تكون أكبر مع زيادة الطول الأقصى والمساحة للحوض. كذلك وجدت علاقة سالبة قوية نسبياً (-٠,٧٠) بين نسبة التضرس والمعدل السنوي للتعرية. وهذه العلاقة مفهومة بالنسبة للأحواض الجبلية ذات التضاريس الشديدة الانحدار، فما يتراكم في أدنى الحوض (الأكثر استواء) من مواد مفككة سهلة الحت نتيجة عمل التعرية في الأجزاء العليا سيكون قابلاً للنحت والجرف أكثر من غيره بفعل السيول المتدفقة من أعلى المنحدرات. لذلك فإن هناك ضرورة ملحة لاتخاذ تدابير على جوانب المنحدرات ومجاري الأودية العليا لإبطاء سرعة الجريان السطحي والتحكم في التدفق السيلي. ويذكر كوستنادينوف وزملاؤه (kostadinov, et al, 1996) أن مشروعاً في جنوب شرق صربيا طبق فيه عدد من وسائل التحكم المتنوعة في التعرية، اشتملت على بناء سدود حجرية في القطاعات العليا للأخهار، والاستنابات

planting بمعدل يصل إلى ١٠٠٠٠ نبتة في الهكتار على المنحدرات الشديدة التي كانت خالية أصلاً من النبات، قد أدى إلى خفض قيمة معامل التعرية (Z) من ١،٤٠ إلى ٠،٣٧، أي من حالة تعرية شديدة جداً إلى تعرية خفيفة.

الخاتمة:

يحتوي حوض وادي نعمان على موارد طبيعية ذات إمكانات ملائمة للتنمية الزراعية، فحوالي ربع مساحته قابلة لاستثمار زراعي جيد. ولكن جميع الحوض يتعرض لمخاطر التعرية وإن كانت بدرجات متفاوتة. وتصنف هذه الدراسة مخاطر التعرية المائية في عموم حوض وادي نعمان على أنها متوسطة، ومن المفترض في الأحواض قليلة التساقط وذات الإدارة الجيدة أن تكون التعرية ضعيفة، وخفيفة في أسوأ حالاتها، ومن ثم فإن حوض وادي نعمان بهذا التصنيف يتعرض لتعرية مؤثرة. فقد تبين من هذه الدراسة أن ٣٠٪ من مساحة الحوض يتعرض لتعرية شديدة بما يزيد معدله عن ٨٠٠ م^٣/كم^٢/السنة من المواد المنحوتة. وقد ساعد على شدة التعرية في بعض أجزاء الحوض قابلية التربة للتعرية وخلوها من غطاء نباتي جيد أو وسائل للتحكم في الجريان السطحي. كما اتضح من هذه الدراسة أن معدل التعرية السنوية في الحوض يقدر بنحو ٥٢٨ م^٣/كم^٢/السنة، وهو معدل مرتفع قياساً بقلّة التساقط فيه. كما ظهر أن التعرية المائية تكون عموماً أشد في الأجزاء الجنوبية والغربية من الحوض، حيث يتركز الاستيطان البشري ويمتد الطريق الحيوي بين مكة المكرمة والطائف. وقد تبين تحديداً من هذه الدراسة أن الجزء الأدنى من الحوض ما بين منطقة شداد ومخرج الحوض بالإضافة إلى حوضي المجيريش ورهجان هي أكثر أجزاء الحوض عرضة للتعرية المائية، مما يستدعي العمل على إنشاء مجموعة من التدابير التي تتحكم في تدفق السيول كبناء السدود في أعلى حوضي رهجان والمجيريش وعلق، أو بناء مجموعة من المستجمعات المائية خاصة بالقرب من مخارج الروافد الكبرى في المجرى الرئيس، وكذلك الاهتمام ببناء المدرجات والحواجز والاستزراع لتقليل سرعة الجريان السطحي وزيادة التغذية للخزانات الجوفية. كذلك ظهر للباحث من خلال تطبيق هذه الدراسة أن تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في حال تكاملهما واعدتان جداً في الدراسات الجيومورفولوجية، ويمكنان من تنفيذ نموذج جافريلوفيك أو أي نموذج آخر يعتمد على البيانات المكانية، وبمستوى دقة يصل إلى حجم الخلية المستخدمة في التطبيق. فعوضاً عن تقدير قيمة واحدة لكامل الحوض كما هو الحال في الأساليب القديمة التي قد تتسبب في الخروج بنتائج تقريبية بعيدة عن الصحة والدقة، فإن حساب قيمة كل خلية وفقاً لمعيار أو معامل محدد يمكن من

الحصول على نتائج أفضل، ويمكن البناء على ذلك للوصول إلى قيم الأحواض الجزئية الصغيرة، فالكبيرة، ثم الحوض ككل.

المراجع العربية

- [١] البلوشي، شاهينة، ٢٠٠٦م، الزراعة بحوض وادي نعمان بمنطقة مكة المكرمة من عام ١٣٩٠-١٤٢٦ هـ، رسالة ماجستير غير منشورة مقدمة إلى قسم الجغرافيا بجامعة أم القرى، مكة المكرمة.
- [٢] عواري، ابتسام، ٢٠٠٥م، الغطاء النباتي في حوض وادي نعمان مع التطبيق على رافده وادي المجيريش: دراسة في الجغرافيا الحيوية، رسالة دكتوراه غير منشورة مقدمة إلى قسم الجغرافيا بكلية التربية للبنات بجده، المملكة العربية السعودية.
- [٣] وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦، الخريطة العامة للتربة، الرياض، المملكة العربية السعودية.

المراجع الأجنبية

- [1] Amir, F., Chaichi, M., and T. Tabatabai (2007). Modeling soil erosion and Sedimentation by EPM model in center part of Iran. Presented at the XVII INQUA Congress 2007, Cairns, Australia.
- [2] Angima, S., D. Stott, M. O'Neill, C. Ong, and G. Weesies (2003). Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97: 295-308.
- [3] Es-Saeed, M., Z. Sen, A. Basamad and A. Dahlawi (2004). Strategic groundwater storage in Wadi Na'Man, Makkah Region, Saudi Arabia. SGS, Technical Report (SGS-TR-2004-1).

- [4] Bazzoffi, P., (1985) Methods for net erosion measurement in watersheds as a tool for the validation of models in central Italy. In: Workshop on Soil Erosion and Hillslope Hydrology with Emphasis on Higher Magnitude Events, Leuven.
- [5] Beasley, R., J. Gregory, and T. McCarty (1984). Erosion and sediment pollution control. Iowa State University Press, Ames, USA.
- [6] Blinkov, I., I. Mincev, B. Trendafilov (2008). Erosion risk analyses on The Vodno Mountain and impact to the surrounding areas. Presented at *BALWOIS 2008 – Ohrid*, Republic of Macedonia.
- [7] Brady, B. (1984). The Nature and properties of Soils. Macmillan Publishing Co. USA.
- [8] Cukaliev, C., K. Donevska, I. Blinkov, D. Mukaetov, P. Ristevski, and N. Aleksovska (2003). Capacity self-assessment within the thematic area of land degradation and desertification. In: National Capacity Self-Assessment-Desertification and Land Degradation, Skopje, Republic of Macedonia.
- [9] De Cesare, G., N. Beyer Portner, J. Boillat, A. Schleiss (1998). Modelling of erosion and sedimentation based on field investigations in Alpine reservoirs of hydropower schemes. Presented at *Lehfelddt-ICHE "Sediment Transport in Reservoirs (Parell 34)*.

- [10] Emmanouloudis, D. (2003). Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon River basin using GIS. *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques* (Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo. July 2003). IAHS Publ. no. 279.
- [11] Fanetti, D. and L. Vezzoli (2007). Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio rivers case study (Lake Como, Italy). *Quaternary International*, 173: 113–124.
- [12] Gandomkar, A. (2008). The use of GIS in estimating the real erosion in Zayandehrood basin. Presented at GIS Ostrava 2008, Ostrava.
- [13] Gavrilovic, Z., M. Stefanovic, M. Milojevic, and J. Cotric (2006). "Erosion Potential Method" An Important Support For Integrated Water Resource Management. Presented at XXIIIth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.
- [14] Globevnik, L., D. Holhevic, G. Petkovsek and J. Rubinic (2003). Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. In: *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*, IAHS Publication, no. 279.
- [15] Huu TY, P. (2008). Soil Erosion risk modeling within upland landscapes using remotely sensed data and the RUSLE model: A case study in Huong Tra district, Thua Thien Hue province, Vietnam. *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences 2008*.

- [16] Kostadinove, S., S. Markovic, M. Zalatic, N. Stojkov, and S. Milosevic-Sickinger (1996). Effect of vegetative cover on the distribution and intensity of water erosion in the watersheds. Internationales Symposium Interprevent 1996 – Garmisch-Partenkirchen, pp. 225-234.
- [17] Kostadinov, S., (2004) : Soil Erosion and Sediment Transport Within Small Torrential Drainage Basins of Serbia, Poster Report Booklet; Symposium AHS: Sediment transport through the fluvial system; Moscow, August 2004, pp. 16-21.
- [18] Kostadinov, S., S. Dragovic, M. Zilatic, and M. Todosijevic (2008). Erosion control works and the intensity of soil erosion in the upper part of the river Toplica drainage basin. Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.
- [19] Lin, C., W. Lin, and W. Chou (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil & Tillage Research*, 68: 143–152.
- [20] Milevski, I., I. Blinkov, and A. Trendafilov (2008). Soil erosion processes and modeling in the upper Bregalnica catchment. Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.
- [21] Moore, T. and M. Al-Rehaili (1989). Explanatory notes to the geologic map of The Makkah quadrangle, Sheet 21D. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Jeddah, The Kingdom of Saudi Arabia.

- [22] Mushtak, J., and X. Chen (2005). Soil degradation risk prediction Integrating RUSLE with geo-information techniques, the case of northern Shaanxi Province In China. *American Journal of Applied Science*, 2(2): 550-556.
- [23] Omuto, C. (2008). Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. *Agriculture, Ecosystems and Environment* ,128: 199–211.
- [24] Ostric, M. and B. Horvat (2008) Land cover/Land use change impact in surface runoff in a small watershed. Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.
- [25] Qing-feng, Z., W. Li, and W. Fa-qi. (2008). GIS-Based Assessment of Soil Erosion at Nihe Gou Catchment. *Agricultural Sciences in China*, 7(6): 746-753.
- [26] Scherr, S. (1999). Soil Degradation A Threat to Developing-Country Food Security by 2020. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 27, International Food Policy Research Institute.
- [27] Stefanovic, M., Z. Gavrilovic and M. Milojevic (2004). Erosion Potential method and erosion risk zoning in mountainous regions. In Internatioales Symposion Iterprevent-RIVA\TRIENT.
- [28] Vente, J. and J. Poesen (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews*, 71: 95–125.

[29] Zorn, M, and B. Komac (2008). Response of soil erosion to land use change with particular reference to the last 200 year (Julian Alps, Western Slovenia). Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.