Sana'a University Journal of Human Sciences مجلة جامعة صنعاء للعلوم الإنسانية
Vol. 4 | No. 6 | Page 371 – 398 |2025 | https://journals.su.edu.ye/index.php/jhs
ISSN : 2958-8677

Morphometric Analysis of the Western Wadi Al-Boun Basin in Amran Governorate and its Hydrological Indicators Using Geographic Information Systems

Ahlam Ali Mohamed AL-Sanhani [1,*], Mohamed Ahmed Hamoud Maiyas [1]
[1]Department of Geography and Geoinformatics , Faculty of Arts and Humanities - Sana'a University, Sana'a, Yemen.
***Corresponding author:** *tahadimi@gmail.com*

Keywords

1. Morphometric Analysis
2. Water Basin
3. Hydrological indicators
4. Geographic Information Systems (GIS)

Abstract:

The study aimed at analysis the morphometric characteristics of the Western Wadi Al-Boun Basin and highlighting its hydrological indicators. As well as building a digital database using Geographic Information Systems and relying on the Digital Elevation Model and standard mathematical equations The Western Wadi Al-Boun Basin is one of the seasonal runoff valleys that are famous for agriculture in the Amran Governorate, covering an area of approximately (193km²). Through hydrological analysis of the study area within a (GIS) environment and the application of morphometric mathematical equations, the study concluded that the basin tends to have a rectangular shape with an asymmetrical perimeter. The circularity ratio, elongation ratio, form factor, and compactness coefficient were found to be (0.40, 0.63, 0.32, 1.57) respectively, indicating hydrologically a medium surface runoff velocity and high water loss, which reduces the significance of flooding in the region. The basin is characterized by high slope and ruggedness, with a ruggedness index of (25.10 m/km). The hypsometric integral and ruggedness values suggest that the basin is in the early stages of its erosional cycle. The analysis of the drainage network indicated that the basin is of the fifth order, consisting of (395) streams with a total length of (349.3 km). The bifurcation ratio was (3.44), indicating a low drainage density. The values for linear drainage density, stream frequency, and stream maintenance were (1.80 km/km², 2.04 streams/km², 0.55 km²/km) respectively, reflecting the influence of climatic factors, rock type, and vegetation cover on the basin's morphometric characteristics.

Sana'a University Journal of Human Sciences
Vol. 4 | No. 6 | Page 372 – 398 | 2025
مجلة جامعة صنعاء للعلوم الإنسانية
https://journals.su.edu.ye/index.php/jhs
ISSN : 2958-8677

التحليل المورفومتري لحوض وادي البون الغربي في محافظة عمران ومؤشراته الهيدرولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

أحلام علي محمد السنحاني [1]،* , محمد أحمد حمود مياس [1]

[1] قسم الجغرافيا والجيوإنفروماتكس، كلية الآداب والعلوم الإنسانية - جامعة صنعاء ، صنعاء ، اليمن.

*المؤلف: tahadimi@gmail.com

الكلمات المفتاحية

1. التحليل المورفومتري
2. حوض مائي
3. المؤشرات الهيدرولوجية
4. نظم المعلومات الجغرافية

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي البون الغربي وإبراز مؤشراتها الهيدرولوجية، فضلًا عن بناء قاعدة بيانات رقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وبالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي والمعادلات الرياضية القياسية. يُعد حوض وادي البون الغربي أحد الأودية الموسمية الجريان التي تشتهر بالزراعة في محافظة عمران ويغطي مساحة تقدر بنحو (193كم^2)، ومن خلال عمل التحليل الهيدرولوجي لمنطقة الدراسة داخل بيئة (GIS) وتطبيق المعادلات الرياضية المورفومترية توصلت الدراسة إلى أن الحوض يميل إلى الشكل المستطيل وعدم تناسق شكل محيطه، حيث بلغت نسبة الاستدارة، والاستطالة، ومعامل الشكل، والاندماج (0.40، 0.63، 0.32، 1.57) على التوالي، ما يُشير هيدرولوجيًا إلى متوسط سرعة الجريان السطحي وارتفاع كمية الفاقد المائي، مما يقلل من دلالة الفيضانات في المنطقة، ويتصف الحوض بالانحدار والتضرس المرتفع، حيث بلغت نسبة تضرسه (25.10م/كم)، ومن خلال قيم التكامل الهبسومتري والوعورة، تبين أن الحوض في بداية دورته الحتية، وأشارت نتائج تحليل شبكة التصريف المائي إلى أن الحوض ينتمي للرتبة الخامسة ويتألف من (395) مجرى يصل إجمالي أطوالها إلى (349.3كم)، وبلغت قيمة التشعب (3.44)، مما يُشير إلى أن الحوض ذو كثافة تصريفيه منخفضة، حيث بلغت قيم الكثافة التصريفية الطولية، والعددية، ومعدل بقاء المجرى (1.80كم/كم^2، 2.04 مجرى/كم^2، 0.55كم^2/كم) على التوالي، الأمر الذي يعكس تأثير العامل المُناخي ونوعية الصخور وطبيعة الغطاء النباتي على خصائص الحوض المورفومترية.

المقدمة:

تُمثل الدراسات المورفومترية لبيئة أحواض التصريف المائي القائمة على القياسات والتحليلات الكمية أحد أهم الاتجاهات التطبيقية لعلم الجيومورفولوجيا، والأساس المعتمد عليه في العديد من الدراسات الجغرافية التطبيقية، فمنذ منتصف القرن العشرين زادت أهمية هذه الدراسات، وذلك لتطرق كل من (Strahler,1964 & Horton,1945) إلى التحليل الكمي للعمليات الجيومورفولوجية في الأحواض النهرية والشبكة المائية، ولا سيما تصنيف الروافد المائية (الريان، 2014،صـ3)، وفي الآونة الأخيرة أخذت هذه الدراسات مكانًا مهمًا كونها توفر قاعدة بيانات هيدروفومترية متكاملة (كمية ونوعية) تُشكل مرجعًا علميًا تستند عليه البحوث المستقبلية، ومتخذو القرار والجهات المسؤولة في وضع العديد من الخطط التنموية الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، وخاصةً في بيئات المناطق الجافة وشبة الجافة ذات الموارد المحدودة والتي تشهد تغيرات مُناخية تنعكس على هيدرولوجية الأحواض المائية فيها، وتأتي أهمية دراسة الخصائص المورفومترية للأحواض المائية في التعرف على شكل الأحواض المائية والمرحلة الحتية التي وصلت لها تلك الأحواض، إضافة إلى شبكة التصريف المائي التي تُعد انعكاسًا لمجموعة من العوامل الطبيعية التي تختلف من مكان لآخر، ومدى تأثيرها على الخصائص الهيدرولوجية، وتعتمد دقة نتائج التحليل المورفومتري في أي حوض مائي على دقة تحديد شبكة التصريف المائي.

إن الانتشار الواسع والتطور الكبير والمستمر لتقنيات الجيوماتكس كالاستشعار عن بعد (Remote Sensing)، ونظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems)، والخرائط الرقمية وغيرها من التقنيات والبرامج الحاسوبية سهل وزاد من إمكانية تحليل ومعالجة ونمذجة العديد من البيانات والمعلومات المكانية وغير المكانية بنوعيها الرقمية والوصفية المستخلصة من المرئيات الفضائية ونموذج الارتفاعات الرقمي (Digital Elevation Model) وغيرها من المصادر بشكل أسرع وأدق نتائج من الطرق التقليدية التي تشوبها الأخطاء، فضلًا عن إجراء القياسات والتحليلات الكمية التي يتعذر تحقيقها في العمل الميداني كالقياسات المورفومترية، إضافة إلى ذلك يمكن استرجاع وتحديث قاعدة البيانات التي تم بناؤها مما يُسهل عملية مراقبة التطورات الطبيعية التي تحدث للأشكال الأرضية وشبكة أحواض التصريف المائي، الأمر الذي عزز من قيمة ودور الدراسات المورفومترية (زعرير ،2024،صـ132).

ومن أهم الدراسات العالمية والمحلية التي سلطت الضوء على دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف المائي باستخدام تقنيات (GIS) ونموذج الارتفاعات الرقمي (DEM)، وخلصت إلى فاعلية استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في إدخال ومعالجة وتحليل وتفسير وتحديث البيانات الجغرافية عامةً والهيدرومورفومترية خاصةً بدقة عالية كلاً من دراسة (الريان، 2014)، ودراسة (Ahmed & Rao Koduri,2015)، ودراسة (عبدالغني وآخرون،2017)، ودراسة (القحطاني، 2019)، ودراسة (ناجي والورافي،2022)، ودراسة

(علي والعجيلي،2023)، ودراسة (زعرير،2024)، أما ما يخص الدراسات التطبيقية على منطقة الدراسة ـ على حد علم الباحثين ـ لا يوجد، وعليه تناولت هذه الدراسة تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي البون الغربي بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) وباستخدام برنامج (ArcGIS)، والذي يُعد من أهم التطبيقات المستخدمة في دراسة وتحليل أشكال سطح الأرض، فضلًا عن عمل التحليلات الهيدرولوجية التي تساعد في بناء قاعدة بيانات متكاملة ثلاثية الأبعاد ، كما تم تطبيق العديد من المعادلات الرياضية لقياس الخصائص المساحية، والشكلية، والتضاريسية وشبكة التصريف المائي لمنطقة الدراسة، من ثم تحليل نتائج تلك المعادلات هيدرولوجيًا وجيومورفولوجيًا وربطها بالعوامل التي ساهمت في تشكيل وتطور منطقة الدراسة، إضافة إلى بناء قاعدة بيانات مكانية رقمية يمكن الاستفادة منها في إدارة موارد المنطقة المائية.

مشكلة الدراسة:

يُعد حوض وادي البون الغربي أحد الأحواض الزراعي في محافظة عمران، والتي تعاني من محدودية الموارد المائية وطبيعة التهاطل المطري الذي يتسم بالتذبذب والتباين الفصلي والسنوي، ولا سيما في ظل التغيرات المُناخية الحالية، فالأمطار تأتي على شكل زخات مطرية شديدة تتميز بالتركز خلال فترة زمنية قصيرة تسيل على أثرها الأودية، مما يؤدي إلى حدوث سيول جارفة، فضلًا عن تجمع مياه الجريان السطحي وتدفقه خارج الحوض عبر مجرى الوادي الرئيس دون الاستفادة منها، الأمر الذي تطلب دراسة وتحليل الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائية للحوض، كونها تساعد في تحديد المؤشرات الهيدرولوجية للمنطقة، للتخفيف من آثار السيول وإقامة الحواجز والسدود في مناطق تجمع المياه السطحية.

أهداف الدراسة:

هدفت الدراسة إلى الآتي:

1. دراسة الخصائص الطبيعية وانعكاساتها على قيم المتغيرات المورفومترية في منطقة الدراسة.
2. اشتقاق وتحليل الخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة من جانب، وتطبيق المعادلات الرياضية القياسية لتفسير أبعاد القياسات المورفومترية من منظور هيدرولوجي من جانب آخر.
3. بناء قاعدة بيانات رقمية مكانية لمنطقة الدراسة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في الآتي:

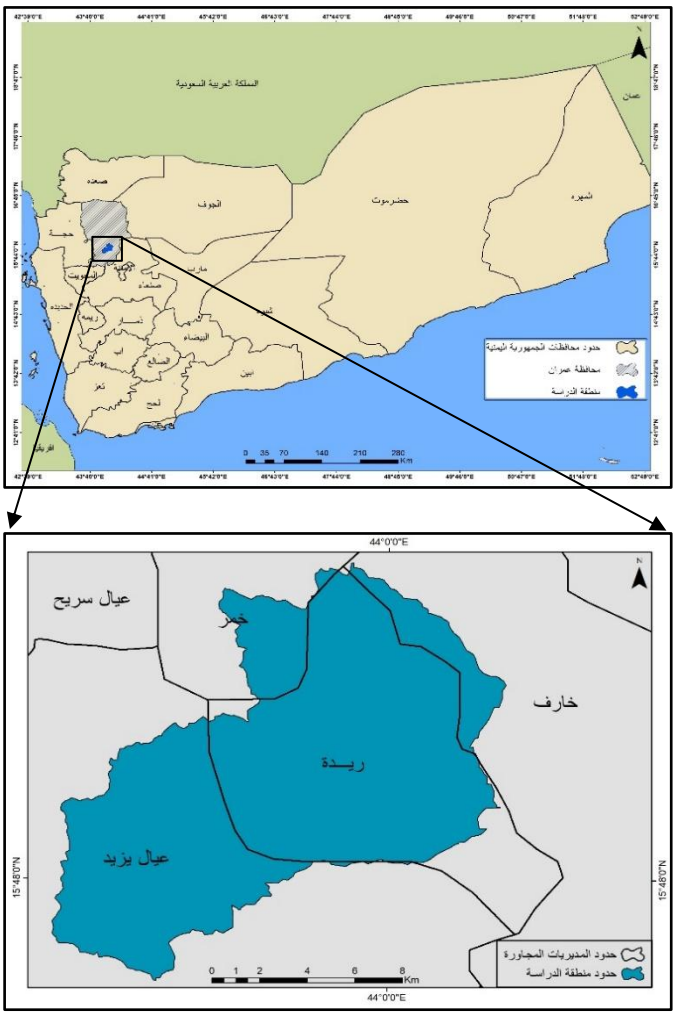
1. تُعد أول دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في منطقة الدراسة.
2. تتناول أحد أهم الأحواض المائية الزراعية والرعوية في محافظة عمران.
3. يمكن الاستفادة من نتائجها في البحوث المستقبلية المرتبطة بالمنطقة، كما ستساعد متخذي القرار والجهات المسؤولة في وضع الخطط التنموية في المجالات: الهيدرولوجية، والزراعية، والبيئية، وفي التخطيط العمراني للحفاظ على حياة المواطنين ومسارات الأودية الموسمية.

حدود منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة (حوض وادي البون الغربي) في الجزء الشمالي الغربي من الجمهورية اليمنية، تتبع إداريًا محافظة عمران وتمتد في الجزء الجنوبي منها عبر أربع

مديريات هي: ريدة التي تغطي الجزء الأكبر من المساحة تصل نسبتها إلى (51.8%)، تليها جبل عيال يزيد بنسبة (35%)، وأجزاء من مديريتي خمر وخارف بنسبة (6.8، 6.3%) على التوالي، وذلك من إجمالي مساحة المنطقة التي تصل إلى (193كم^2) خريطة (1)، أما هيدرولوجيًا يُعد حوض البون الغربي إحدى الأحواض الثانوية لحوض عمران أحد روافد وادي الخارد خريطة (2)، بينما يمتد الحوض فلكيًا بين دائرة عرض (30" 45 ′15 °15− 60" 55 ′15 °15) شمالًا، وخطي طول (30" 52 ′43 °43− 30" 20 ′44 °44) شرقًا.

خريطة (1): موقع منطقة الواسة بالنسبة للجمهورية اليمنية

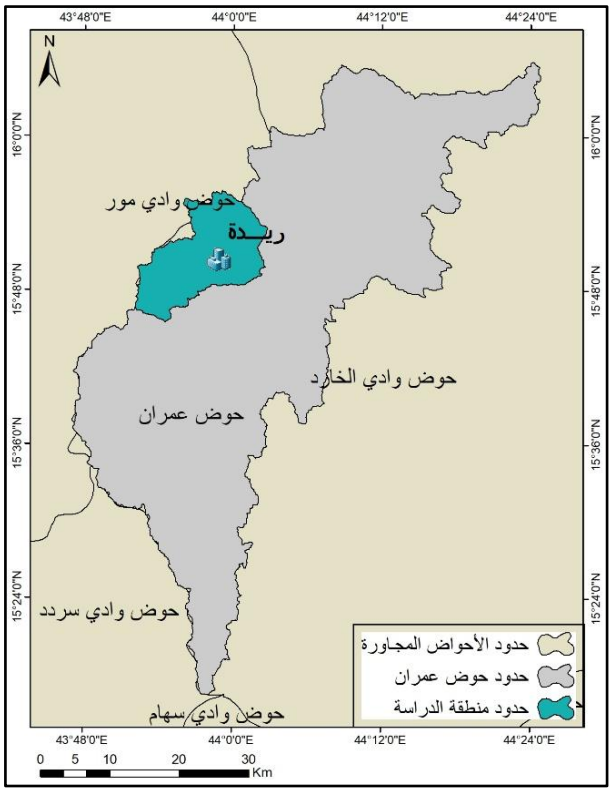


المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على منهجين هما: المنهج الوصفي معززًا بالأسلوب الوصفي التحليلي، وذلك لوصف وتحليل الخصائص الطبيعية المؤثرة في تحديد قيم خصائص الحوض المورفومترية، كما أُستخدم المنهج التحليلي الكمي لعمل التحليلات المكانية للبيانات من الخرائط الرقمية، والمرئية الفضائية ونموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) الخاصة بالمنطقة، وقد تم ذلك باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وبالتكامل مع تطبيق المعادلات الرياضية للمتغيرات المورفومترية الموضحة في جدول(7)، وتفسير نتائجها وإبراز مؤشراتها الهيدرولوجية.

خريطة (2): موقع منطقة الواسة بالنسبة لحوض عمران



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

البيانات المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة على العديد من البيانات الخطية والشبكية التي تم الحصول عليها من مصادرها المتعددة، وتتمثل في الآتي:

[1] خريطة جيولوجية لوحة صنعاء بمقياس رسم 250000:1، صادرة عن مشروع الموارد الطبيعية لهيئة المساحة الجيولوجية ـ صنعاء، وبالتعاون مع (Robertson Group) البريطانية، لعام 1991م.

[2] خريطة طبوغرافية لوحتي خمر وريدة بمقياس رسم 50000:1، صادرة عن مصلحة المساحة والسجل العقاري ـ صنعاء، لعامي 1989، 1983م على التوالي.

[3] الخريطة الوطنية للترب والأراضي اليمنية، لوحة الجزء الغربي من الجمهورية اليمنية بمقياس رسم 50000:1، صادرة عن الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي ـ ذمار، لعام 2006م.

[4] نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) بدقة تمييز مكاني (12.5م) من القمر الصناعي (SRTM)، صادر عن موقع هيئة المساحة الجيولوجية (USGS)، لعام 2006م.

[5] مرئية فضائية للقمر الصناعي (Landsat 8) بدقة تمييز مكاني (30م)، صادرة عن موقع هيئة المساحة الجيولوجية (USGS)، لعام 2022م.

[6] بيانات مُناخية شهرية وفصلية وسنوية، صادرة عن موقع وكالة ناسا الفضائية (NASA)، للفترة 1991–2023م.

ومن خلال هذه البيانات تمت دراسة الخصائص الطبيعية واشتقاق وتحليل الخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة باستخدام برامج: (ArcGIS10.8.1)، (PLC Geomatics 2015)، (Erdas Imagine V15)، (Global Mapper V25.1).

نتائج الدراسة ومناقشتها:

إن تحليل الخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة يتطلب دراسة الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة، إضافة إلى تطبيق المعادلات الرياضية المختلفة وتحليلها إحصائيًا، وهي على النحو الآتي:

أولًا: الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة:

تمثل دراسة الخصائص الطبيعية (الجيولوجيا، التضاريس، المُناخ، التربة والنبات الطبيعي)، لأي حوض مائي مدخلًا ضروريًا يعطي صورة واضحة عن طبيعة الحوض، فضلًا عن تأثيرها البارز في تحديد الكثير من المتغيرات المورفومترية ولا سيما خصائص شبكة التصريف المائي، وأدناه توضيح لتلك الخصائص على النحو الآتي:

1. جيولوجية منطقة الدراسة:

تتصل جيولوجية منطقة الدراسة اتصالًا وثيقًا بالتاريخ التكتوني والرسوبي للجمهورية اليمنية التي تحتل الجزء الجنوبي من الدرع العربي النوبي، والتي تضم العديد من الأحواض المائية التي تكونت خلال الحقب والأزمنة الجيولوجية المختلفة منها حوض وادي البون الغربي الذي تشكل في نهاية الزمن الجيولوجي الثاني وبداية الزمن الثالث نتيجة تأثره بالحركات البنائية التي تعرضت لها اليمن أثناء تكون البحر الأحمر، فهو عبارة عن هيكل تكتوني يمتد من الجنوب الغربي إلى

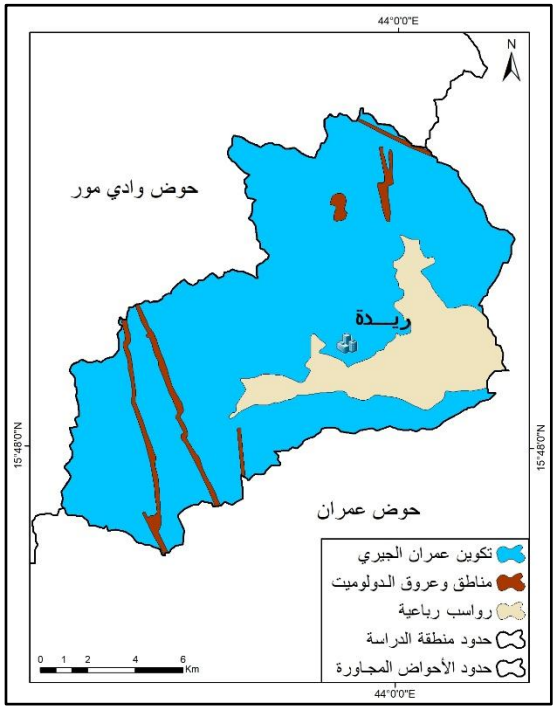
الشرق يحده العديد من الصدوع والشقوق، كما تتركز على جوانبه حافات انكسارية ذات انحدار كبير.

1.1. التكوينات الصخرية:

لمعرفة أنواع التكوينات الصخرية في منطقة الدراسة تم تحليل الخريطة الجيولوجية (Robertson Group) لوحة صنعاء بمقياس رسم 1:250000، داخل بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1)، وعليه يتبين من خريطة (3) وجدول (1) التكوينات الصخرية المنكشفة في منطقة الدراسة طبقًا لعمرها الجيولوجي من الأقدم إلى الأحدث، وهي على النحو الآتي:

أ- **تكوين عمران الجيري:** يضم هذا تكوين صخور مدبي ونيفع والأهجر التي تكونت خلال العصر الجوراسي الأوسط والمتأخر، فهي عبارة عن صخور جيرية ودولوماتية متحجرة ذات قاع ناعم مختلطة بطبقات رملية مقحمة بالصخر الزيتي والمارل والطفل، ونتيجة لمصدرها المائي فهي غنية بالأحافير البحرية والمرجانيات والطحالب والرخويات، وتتموضع هذه الصخور فوق تكوين كحلان بسمك يتراوح بين (400-600م)(Tibbiees& Aubel,1980,p15)، وتتكشف على نطاق واسع من السطح لتغطي جميع المرتفعات المحيطة بالحوض بمساحة تصل إلى (157.60كم^2) بنسبة (81.66%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ويتخلل هذه الصخور الجيرية مناطق وعروق الدولوميت المنتشرة في الأجزاء الجنوبية الغربية والشمالية بمساحة تصل إلى (6.90كم^2) بنسبة (3.58%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتتصف الصخور الجيرية بأنها ذات نفاذية منخفضة تمنع تسرب المياه إلى أسفل، باستثناء مناطق الضعف الجيولوجي؛ لذا تكون سرعة الجريان السطحي وتدفقه عالي، مما يساعد على إقامة منشآت الحصاد المائي عليها.

خريطة (3): التكوينات الجيولوجية في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (Robertson Group) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

الجدول (1): مساحة ونسب التكوينات الجيولوجية في منطقة الواسة

اسم التكوين	المساحة / كم^2	النسبة %
تكوين عمران الجيري	157.60	81.66
مناطق وعروق الدولوميت	6.90	3.58
رواسب رباعية	28.50	14.76
المجموع	**193**	**100**

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (3).

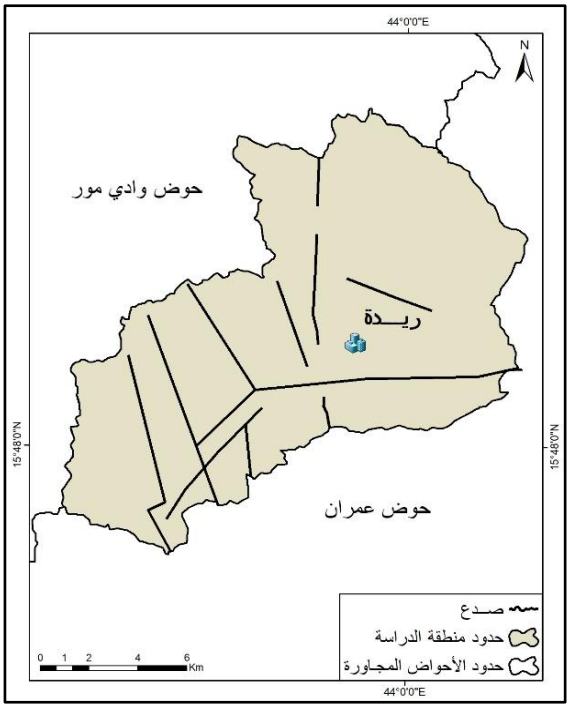
ب- **الرواســـب الرباعية:** هي عبارة عن رواســـب حـــديثـــة مفككـــة تتكون من خليط اللويس، والطين، والغرين، والحصـــــى، والرمال والكتل

الصخرية منقولة الأصل، ذات أشكال وأحجام مختلفة تملأ قاع الوادي الرئيس للحوض ترسبت خلال عصري البليوسين والبليوستوسين بسمك يتجاوز (300م) (Tibbiees & Aubel,1980,p16)، وتغطي الرواسب الرباعية المنخفض التكتوني للحوض ومجاري بعض الأودية الثانوية ومخارجها بمساحة تبلغ نحو (28.50كم^2) بنسبة (14.76%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتتميز هذه الرواسب بمسامية ونفاذية عالية وتربة خصبة غنية بالعضويات؛ لذا تستغل هذه المناطق بشكل كبير في الزراعة.

2.1. البنية الجيولوجية:

هي مظاهر الضعف في التكوينات الصخرية والمتمثلة بالصدوع والفواصل وغيرها التي تقطع سطح الأرض، لتظهر على شكل خطوط مستقيمة أو منحنية قليلًا، وتكون نتاج العمليات الباطنية والخارجية التي حدثت خلال العصور الجيولوجية المختلفة، وتكمن أهميتها في تحديد المناطق التي تنشط بها عملية تسرب مياه الجريان السطحي إلى طبقات المياه الجوفية وتحديد اتجاه وامتداد شبكة التصريف المائي ونظام التصريف فيها، ولدراسة مناطق انتشار الصدوع وتحديد اتجاهاتها وأطوالها تم الاعتماد على تحليل مرئية فضائية (Landsat 8) ملحق (1) داخل بيئة برنامج (PLC Geomatics 2015) إضافة إلى تحليل الخريطة الجيولوجية داخل بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1)، ونتيجة لتأثر منطقة الدراسة بالحركات التكتونية المختلفة خلال عمرها الجيولوجي ظهرت العديد من الصدوع المتركزة في الأجزاء الوسطى والجنوبية والغربية بأطوال واتجاهات مختلفة خريطة (4)، يصل عددها إلى (13) صدع، وتتراوح أطوالها ما بين (0.02-14.23كم)، ويصل مجموع أطوالها إلى (61.73كم)، بمتوسط (4.74كم)، وانحراف معياري (3.89كم)، كما تأخذ غالبية هذه الصدوع اتجاه موازي لأخدود البحر الأحمر شمال غرب - جنوب شرق، إضافة إلى اتجاه غرب - شرق الذي يتخذه المجرى الرئيس لوادي البون الغربي.

خريطة (4): توزيع الصدوع في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على خريطة (Robertson Group)، ومرئية فضائية (Landsat 8)، ومخرجات برنامجي (ArcGIS10.8.1)(PLC Geomatics 2015).

2. تضاريس منطقة الدراسة:

هي أشكال سطح الأرض المتمثلة بالارتفاعات، والانخفاضات، والانحدارات واتجاهاتها الموجودة على السطح، وتحظى دراسة خصائص تضاريس أحواض الوديان بأهمية كبيرة كونها تشكل الملامح المورفومترية لتلك الأحواض وتحدد نظام الجريان السطحي فيها، فضلًا عن تصريفه وسرعته على سطح الأرض، ولإلقاء

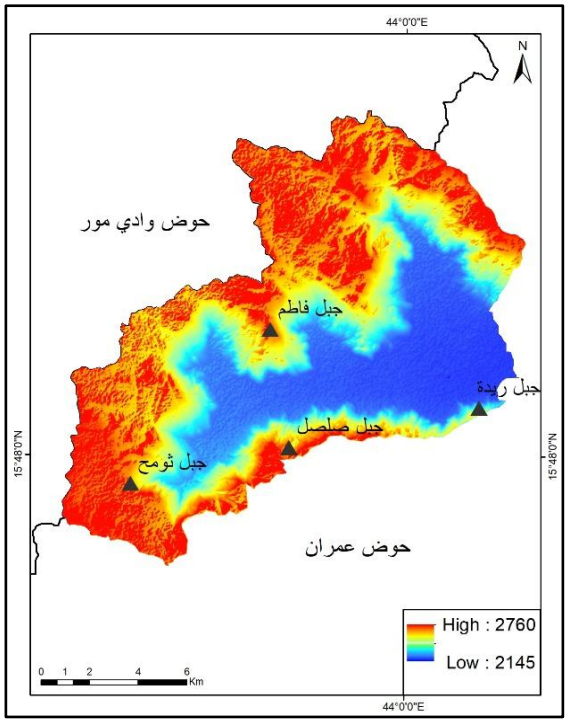
الضوء على تضاريس منطقة الدراسة تم تحليل نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) والخريطة الطبوغرافية داخل بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1).

1.2. خصائص الارتفاع:

يتبين من قراءة خريطة (5) أن منطقة الدراسة تتسم بالارتفاع العام المتدرج من (2145م) فوق مستوى سطح البحر عند مخرج الحوض في أقصى الشرق إلى (2760م) عند منابع الحوض العليا في الأجزاء الشمالية والغربية والجنوبية، وتبعًا لعامل الارتفاع تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاث نطاقات تضاريسية خريطة (6) وجدول (2) على النحو الآتي:

أ- **نطاق الأراضي المنخفضة:** يقع هذا النطاق على ارتفاع يتراوح بين (2145 – 2299م)، فهو عبارة عن منخفض بنائي مملوء بالرواسب الرباعية الحديثة المنقولة بواسطة المياه الجارية من الأجزاء العليا للحوض، ليغطي الأجزاء الشرقية عند منطقة المصب ويمتد نحو الأجزاء الوسطى غربًا ليشكل المجرى الرئيس لوادي البون الغربي وبعض مجاري الأودية الثانوية المنحدرة من المرتفعات الجبلية المحيطة بالمنخفض نحو المجرى الرئيس بمساحة تصل إلى (55.83كم^2) بنسبة (28.93%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتنحدر أراضي هذا النطاق تدريجيًا من الجنوب الغربي إلى الشرق نحو حوض عمران، بدرجة انحدار لا تزيد عن (5°)، وتتصف أسطح النطاق بأنها شبه مستوية إلى خفيفة الانحدار؛ لذلك يكون الجريان السطحي فيه منخفضًا بعد هطول الأمطار وكمية التسرب عالي.

خريطة (5): ارتفاعات سطح الأرض في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

ب- **نطاق الأراضي المتوسطة الارتفاع:** تتراوح ارتفاعات هذا النطاق بين (2299–2600م) فوق مستوى سطح البحر، بمساحة تصل إلى (67.99كم^2) بنسبة (35.23%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، فهو عبارة عن هضاب انكسارية متقطعة مزقتها الصدوع، ويحتوي هذا النطاق على قمم جبلية متوسطة الارتفاع تغطيها صخور عمران الجيرية كجبل ريدة، ويشغل الأراضي الواقعة في منطقة التقاء منخفض البون الغربي مع نطاق المرتفعات الجبلية، ويتخلله بعض الأحواض الترسيبية

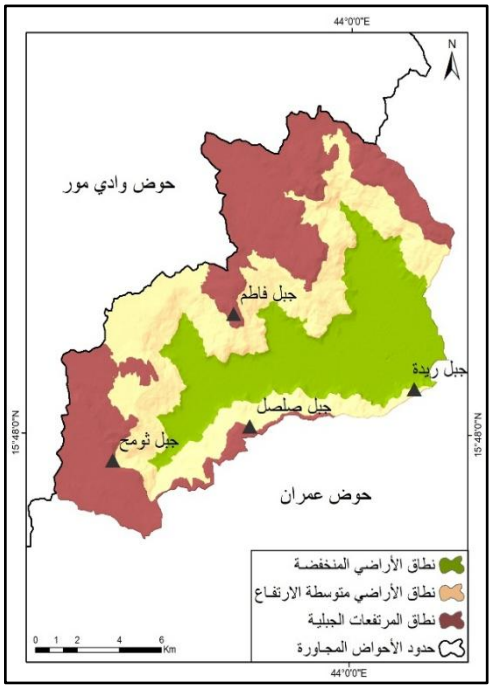
ومجاري الأودية الثانوية، كما تنتشر فيه أقدام الحافات الصخرية، وتتصف أسطح هذا النطاق بانحدار فوق متوسط إلى شديد بدرجة تتراوح بين (10–30°)؛ لذا تتميز أراضيه بجريان سطحي عالٍ بعد هطول الأمطار

ت- **نطاق المرتفعات الجبلية:** يمثل هذا النطاق خط تقسيم المياه، إذ يتراوح ارتفاعه بين (2600 –2760م) فوق مستوى سطح البحر، فهو عبارة عن سلاسل وقمم جبلية عالية ذات حواف صدعية كجبل الصليل وثومح وفاطم، والتي تمتد من الجنوب الغربي حتى الشمال الشرقي يتخللها عدد من القيعان الزراعية، ويشغل هذا النطاق مساحة تصل إلى (69.18كم^2) بنسبة (35.84%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ويتصف بانحدار شديدة إلى شديدة جدًا؛ لذا يكون الجريان السطحي فيه عالي جدًا بعد هطول الأمطار وكمية التسرب الجوفي منخفضة.

2.2. الانحدار:

هو ميل سطح الأرض عن المستوى الأفقي (الدليمي والجابري،2018، صـ121)، إذ يرتبط شكل سطح الأرض في الأحواض التصريفية بطبيعة ودرجة الانحدار، مما ينعكس على خصائص الشبكة التصريفية وكمية وسرعة الجريان السطحي الذي يرتبط طرديًا بدرجة الانحدار، فكلما زاد الانحدار زادت سرعة المياه السطحية وعملية النحت بأشكاله المختلفة والعكس صحيح، وللتعرف على درجات انحدار منطقة الدراسة تم الاعتماد على تصنيف (Young,1972)، إذ تراوحت درجات انحدار منطقة الدراسة ما بين (0–57°)، ومن خلال تحليل خريطة (7) وجدول (3)

خريطة (6): أقسام تضاريس السطح في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج(ArcGIS10.8.1).

الجدول (2): مساحة ونسب أقسام تضاريس السطح في منطقة الواسة

التصنيف	الارتفاع /م	المساحة /كم^2	النسبة /%
نطاق الأراضي المنخفضة	2299 - 2145	55.83	28.93
نطاق الأراضي المتوسطة الارتفاع	2600 - 2299	67.99	35.23
نطاق المرتفعات الجبلية	2760 - 2600	69.18	35.84
المجموع		**193**	**100**

المصدر: الباحثين اعتماداً على خريطة

يتضح أن درجات الانحدار تتوزع بشكل متباين إلى حد ما بين الانحدار شبة المستوى والخفيف الذي يغطي المنخفض الرسوبي ومجاري الأودية الثانوية ومناطق القيعان في الأجزاء الشمالية الغربية والجنوبية الغربية التي تُعد أكثر المناطق استقطابًا للنشاط الزراعي بنسبة (48.02%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، بينما تتوزع فئتي الانحدار المتوسط وفوق المتوسط في جميع أجزاء المنطقة ما عدا على المجرى الرئيس للوادي،

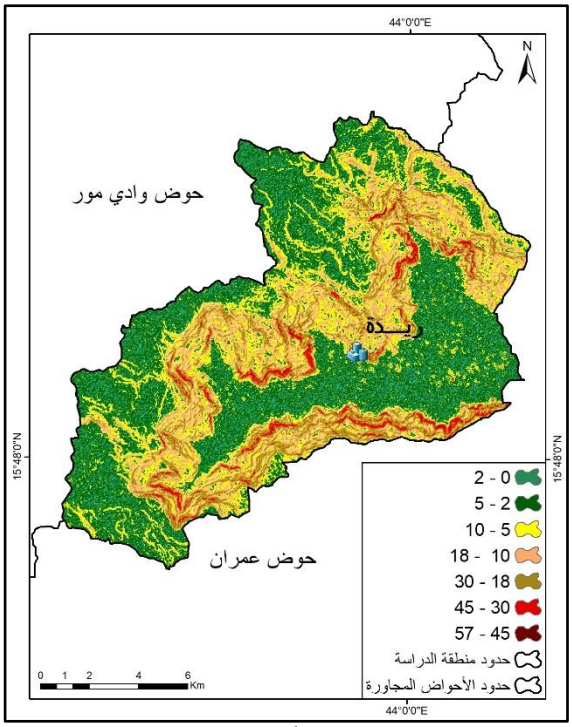
كما تغطي مواقع مكانية متعددة منها ما بين الأودية وأخرى في الأطراف الحدودية للمجرى الرئيس بنسبة (37.22%)، في حين تتركز فئتي الانحدار الشديدة والشديدة جدًا والجرفي في السفوح المحيطة بالمنخفض بنسبة (14.76%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وبشكل عام فإن منطقة الدراسة تتصف بالانحدار الخفيف إلى فوق المتوسط.

3. المُناخ:

يُعد المُناخ بعناصره المختلفة من العوامل الطبيعية المؤثرة في الخصائص المورفومترية لشبكة المجاري المائية وتطور أحواض أوديتها، كما يُحدد هيدرولوجية الأحواض المائية، إذ إن كمية الجريان السطحي ونوعية التصريف المائي واستمرار تدفقه يتأثر بشكل مباشر بعناصر المُناخ ولا سيما الأمطار ودرجة الحرارة، لذلك سيقتصر الحديث عنهما كونهما أهم مدخلات نظام التصريف المائي، ولإلقاء الضوء على مُناخ منطقة الدراسة تم اعتماد موقع محطة ريدة المُناخية الأرضية التابعة للهيئة العامة للموارد المائية لتحليل البيانات المُناخية التابعة لوكالة ناسا الفضائية (NASA) للفترة (1991–2023م).

1.3. درجة الحرارة: إن موقع منطقة الدراسة على دائرة عرض (15°) شمال خط الاستواء أكسبها خصائص الإقليم المداري شبة الجاف، حيث تتلقى قدرًا كبيرًا من الأشعة الشمسية التي تعمل على رفع معدل درجات الحرارة السنوية وما يترتب عليها من ارتفاع قيم التبخر، ويتبين من تحليل جدول (4) أن المعدل السنوي لدرجة الحرارة في منطقة الدراسة بلغ (22.7°م) خلال الفترة (1991–2023م)، بينما بلغ المعدل

خريطة (7): درجات انحدار السطح في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

الجدول (3): مساحة ونسب فئات انحدار السطح في لمنطقة الدراسة

فئة الانحدار بالدرجات	المساحة /كم²	النسبة /%	نوع الانحدار
2 – 0	27.49	14.24	شبه مستوى
5 – 2	65.19	33.78	خفيف
10 – 5	36.26	18.79	متوسط
18 - 10	35.58	18.43	فوق متوسط
30 - 18	23.56	12.21	شديد
45- 30	4.81	2.49	شديد جداً
57 - 45	0.11	0.06	جرفي
المجموع	**193**	**100**	

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (7)، وتصنيف (Young,1972,p173).

السنوي لدرجات الحرارة العظمى (33.2°م)، والصغرى (14°م)، ويقدر المدى الحراري بينهما بنحو (19.3°م) خلال نفس الفترة، أما بالنسبة للتوزيع الفصلي فدرجات الحرارة ترتفع في فصل الصيف لتصل إلى (25.9م°) خاصةً في شهر يونيو، متحكمًا بذلك زيادة كمية

الإشعاع الشمسي؛ نتيجة زاوية أشعة الشمس العمودية على مدار السرطان، وطول ساعات النهار، الأمر الذي يزيد من كمية التبخر، مما ينعكس سلبًا على كمية الجريان السطحي في المنطقة، في حين ينخفض متوسط درجات الحرارة في فصل الشتاء إلى (18.6م°)، ويعود ذلك إلى تأثير الرياح الشمالية الشرقية الباردة والجافة التي تزيد من برودة الجو، وعامل الارتفاع عن مستوى سطح البحر الذي يعمل خفض درجة الحرارة.

2.3. الأمطار: تهطل الأمطار على منطقة الدراسة طوال العام تقريبًا ولكن بنسب متفاوتة، وتُعد أمطار فصل الصيف هي الرئيسة لارتباطها بنظام الموسميات إضافة إلى الأمطار الربيعية، كما تهطل أمطار متفرقة في بقية أشهر السنة تخضع لمؤثرات تتحكم في عملية التهاطل وتوزيعها الجغرافي، وبشكل عام تمتاز أمطار منطقة الدراسة بموسمية هطولها وتباين كميتها من سنة إلى أخرى، إضافة إلى تذبذبها ومحدودية استمراره وفجائيتها التي تأتي على شكل زخات مطرية سريعة وقوية ومركزة في أوقات زمنية قصيرة، فهي أمطار تضاريسية ناتجة عن الرياح الموسمية الرطبة، ويتضح من قراءة جدول (4) أن المجموع السنوي للتهاطل المطري في منطقة الدراسة خلال (32) سنة بلغ (1930.17 ملم)، بمعدل (160.85ملم)، حيث تبلغ الأمطار ذروتها في فصل الصيف بمعدل (310.09ملم) وبنسبة (48.19%)، ويعد شهر أغسطس أغزر الشهور مطرًا، ويعود ذلك إلى تأثير هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية الرطبة القادمة من المحيط الاطلسي، بينما شكلت الأمطار الربيعية نسبة (19.56%) من إجمالي كمية أمطار منطقة الدراسة السنوية وبمعدل (125.89 ملم)، ويعزى ذلك إلى تأثر المنطقة بالرياح الجنوبية الممطرة، مكونة الموسم الأول لهطول الأمطار في شهري أبريل ومايو، في حين يعد فصل الخريف أجف فصول السنة مقارنة بالفصول الأخرى، حيث بلغ معدل التهاطل فيه (93.87ملم).

الجدول (4): معدلات درجات الحرارة والأمطار الشهرية والفصلية والسنوية لمنطقة الواسة للفترة 1991-2023م.

الأشهر / الفصول	معدل درجة الحرارة (م°)			كمية الأمطار (ملم)
	العظمى	الصغرى	المتوسط	
ديسمبر	28.8	9.4	18.1	198.49
يناير	29.1	9.2	18.1	76.35
فبراير	30.7	10.5	19.7	65.79
فصل الشتاء	**29.5**	**9.7**	**18.6**	**113.54**
مارس	32.5	12.3	21.6	77.59
ابريل	34.0	15.1	23.7	198.36
مايو	36.3	17.2	25.8	101.72
فصل الربيع	**34.3**	**14.9**	**23.7**	**125.89**
يونيو	37.0	18.9	27.1	163.76
يوليو	36.1	18.5	25.5	277.18
اغسطس	36.0	18.2	25.2	489.33
فصل الصيف	**36.4**	**18.5**	**25.9**	**310.09**
سبتمبر	35.9	16.0	25.5	43.30
اكتوبر	32.9	12.5	22.2	141.87
نوفمبر	30.4	10.5	19.7	96.43
فصل الخريف	**33.1**	**13.0**	**22.5**	**93.87**
المعدل السنوي	**33.3**	**14.0**	**22.7**	**160.85**

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على بيانات موقع وكالة ناسا الفضائية https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.

4. التربة:

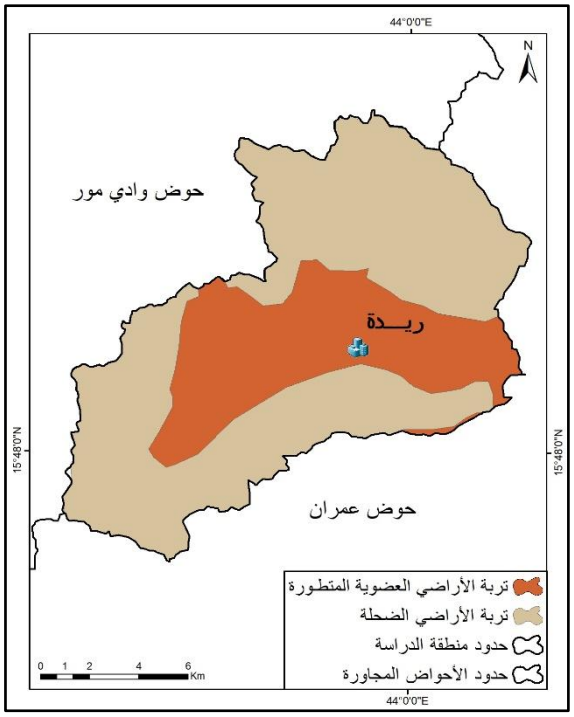
هي الطبقة الرقيقة والهشة التي تغطي معظم سطح الأرض اليابس بحجم حبيبات متباينة على ارتفاع يتراوح بين بضعة سنتيمترات وعدة أمتار (أبو سمور وغانم، 1998، صـ153)، ويؤثر نوع التربة وخصائصها المتمثلة بدرجة مساميتها، ونفاذيتها ودرجة رطوبتها في الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائي، ويظهر ذلك من خلال العلاقة العكسية التي تربط خصائص التربة وقيم الكثافة التصريف وتكرار

المجاري، وكمية وسرعة الجريان السطحي، ولمعرفة أنواع الترب في منطقة الدراسة تم تحليل الخريطة الوطنية للترب والأراضي اليمنية في بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1)، وعليه صنفت الترب وفقًا للنظام الأمريكي التابع لوزارة الزراعة بالولايات المتحدة الأمريكية (USDA,1994) والنظام العالمي المرجعي (WRB.1998) إلى رتبتين ذات خصائص متباينة تكونت على مر الزمن خريطة (8) وجدول (5)، وهما على النحو الآتي:

1.4. رتبة الأراضي العضوية المتطورة: هي عبارة عن تربة عضوية متشققة ومتطورة وناضجة، تتصف باللون البني الداكن إلى الأسود لاحتوائها على نسبة عالية من المواد العضوية؛ لذلك فهي ذات خواص جيدة وقابلية عالية للإنتاج الزراعي، يتراوح عمقها ما بين (97–140سم) (AL-Ashwal,2008,p82)، ويتركز تواجدها في المنخفض الترسيبي شرق ووسط المنطقة، وفي قيعان الوديان والمدرجات الزراعية العلوية بمساحة تصل إلى (60.28كم^2) بنسبة (31.23%) من إجمالي مساحة المنطقة.

2.4. رتبة الأراضي الصخرية الضحلة: هي عبارة عن ترب رسوبية جافة غير متطورة ضحلة قليلة العمق، تتصف بأنها تربة موضعية تكونت من مواد الصخر الذي تكونت عليه وتحمل صفاته، تتدرج ألوانها من البني الفاتح إلى الأصفر يغلب عليها صفة الجفاف وقلة السمك لاحتوائها على نسبة عالية من الكلس، يصل معدل عمقها إلى أقل من (45سم) (AL-Ashwal,2008,p143) ، ويغطي هذا النوع قاعدة صخور عمران الجيرية في معظم أجزاء الحوض بمساحة تصل إلى(132.72كم^2) بنسبة (68.77%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

خريطة (8): أنواع الترب في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على الخريطة الوطنية للترب والأراضي اليمنية، ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

الجدول (5): مساحة ونسب أنواع الترب في منطقة الواسة

النوع	المساحة /كم^2	النسبة /%
تربة الأراضي العضوية المتطورة	60.28	31.23
تربة الأراضي الضحلة	132.72	68.77
المجموع	**193**	**100**

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على خريطة (8).

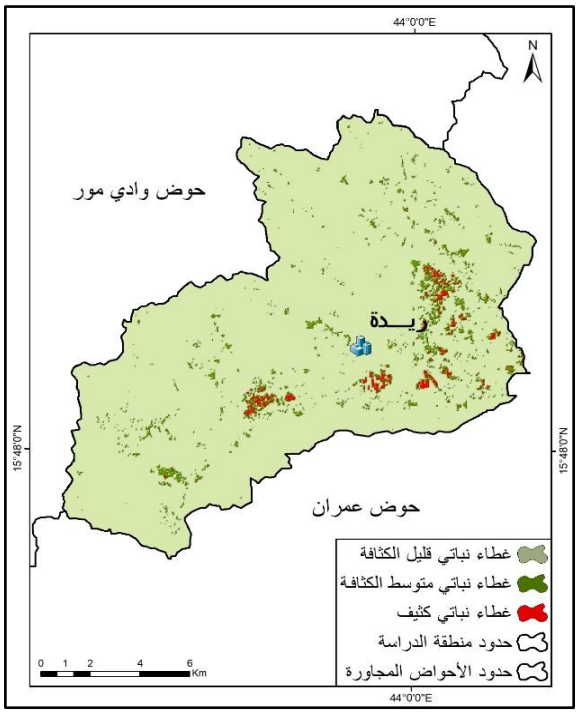
5. النبات الطبيعي:

يقصد به النباتات التي تنمو بشكل طبيعي كالأشجار والأعشاب والحشائش، نتيجة تفاعل البيئة الطبيعية مع المُناخ والمياه والتربة، وتكمن أهميته في تأثيره المباشر على حجم الجريان السطحي وكمية التسرب إلى باطن الأرض، الأمر الذي يلعب دورًا فعالًا

في تحديد خصائص شبكة التصريف المائي، ولمعرفة طبيعة الغطاء النباتي الطبيعي في منطقة الدراسة تم تحليل المرئية الفضائية (Landsat 8 ,2022) في بيئة برنامج (Erdas Imagine V15)، وذلك لاستخراج قيم مؤشر كثافة الغطاء النباتي الطبيعي (Normalized Difference Vegetation Index)، من خلال حساب فرق الانعكاسات الطيفية عند الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والأشعة الحمراء المرئية (RED) على مجموع هذه الانعكاسات، وتتراوح قيم (NDVI) ما بين (−1−+1)، إذ تُشير القيم الموجبة والقريبة من الواحد الصحيح إلى وجود غطاء نباتي كثيف، بينما تشير القيم السالبة والقريبة من صفر تغطية نباتية منخفضة، وبتطبيق معادلة (1)* تبين أن قيم (NDVI) في منطقة الدراسة تراوحت بين (0.08 −0.76)، وعليه فإن نسبة (95.62%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة تتصف بتغطية نباتية طبيعية منخفضة خريطة (9)، متحكمًا بذلك سيادة المُناخ شبة الجاف، واستغلال سكان المنطقة أراضي النبات الطبيعي كمدرجات زراعية على سفوح المنحدرات، ومناطق زراعية، ومراعي للمواشي خاصة في منحدرات الحجر الجيري، فضلًا عن استخدامها في التحطيب وأغراض البناء، وتصل مساحة المناطق ذات التغطية النباتية المتوسطة والكثيفة إلى (8.45كم^2) بنسبة (4.38%) جدول (6)، وتتوزع هذه النباتات في أجزاء متفرقة من المنطقة، فهي عبارة عن حشائش وأعشاب قصيرة ونباتات شوكية وأشجار وشجيرات متناثرة تتركز على مجاري وبطون الأودية وفي القيعان وعند أقدام المنحدرات الصخرية وحول المزارع والقرى، كما تتخلل الحقول والمدرجات الزراعية.

(Serrano et al,2019,p3)

خريطة (9): فئات مؤشر كثافة الغطاء النباتي في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً مرئية فضائية (Landsat 8)، ومخرجات برنامجي (Erdas Imagine V15)

جدول (6): مساحة ونسب فئات مؤشر كثافة الغطاء النباتي في منطقة الواسة

التصنيف	قيم (NDVI)	المساحة /كم^2	النسبة /%
غطاء نباتي قليل الكثافة	0.19 – 0.08	184.55	95.55
غطاء نباتي متوسط الكثافة	0.39 – 0.20	6.99	3.62
غطاء نباتي كثيف	0.76 – 0.40	1.46	0.76
المجموع		193	100

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (9).

* NDVI=[NIR−RED] / [NIR+RED]

ثانيًا: تحليل الخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة:

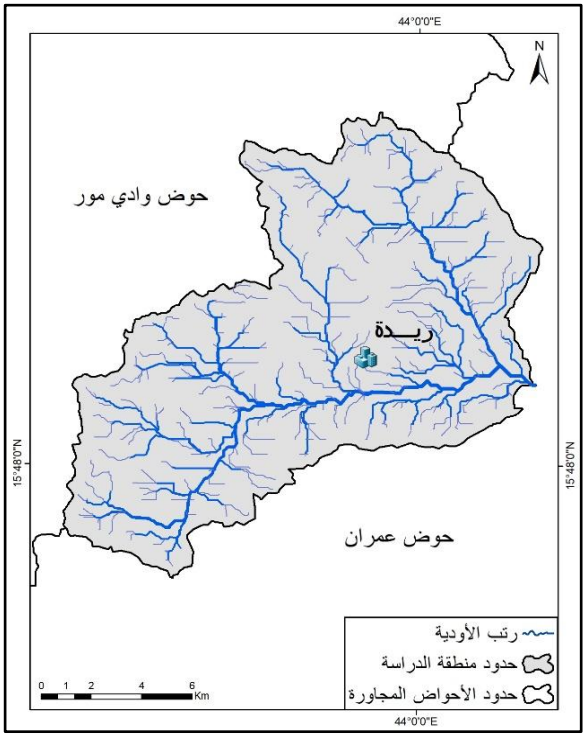
يُعد التحليل المورفومتري أحد الاتجاهات التطبيقية الحديثة في دراسة الأحواض المائية بأسلوب كمي، ويُعرف بأنه التحليل الرقمي لأحواض التصريف المائية وشبكاتها التصريفية ضمن وحدة مساحية محددة، ومعرفة العلاقة المتبادلة بين مساحاتها وأبعادها المختلفة (أبو راضي، 2004، صـ199)، باستخدام طرق كمية ومعادلات وتحليلات إحصائية متعددة، المائية في ارتباطها المباشر بالعوامل الطبيعية السابق ذكرها التي شكلتها وطورتها تلك من جهة والعلاقة ما بين مورفومتريتها وهيدرولوجيتها من جهة أخرى، ولقياس وتحليل الأبعاد المورفومترية في منطقة الدراسة تم عمل تحليل هيدرولوجي داخل بيئة برنامجي (ArcGIS10.8.1)،(Global Mapper V25.1)، لاستخراج شبكة الأودية من نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) خريطة (10)، إضافة إلى تطبيق المعادلات الرياضية الموضحة في جدول (7)، للوصول إلى قياسات مورفومترية دقيقة، وفهم الدلائل الهيدرولوجية للأحواض المائية، وهي على النحو الآتي:

1. **تحليل الخصائص المساحية:** تشمل دراسة المساحة الإجمالية لحوض التصريف المائي وأبعاده الرئيسية التي تضم الطول، والعرض والمحيط جدول (8)، وهي على النحو الآتي:

1.1 مساحة الحوض:

هي مساحة أرض محددة بمحيطها الذي يميزها عما يجاورها من الأحواض، وتعكس مساحة الحوض أعداد

خريطة (10): شبكة الأودية في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نموذج الإرتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

جدول (8): نتائج تحليل الخصائص المساحية لمنطقة الواسة

المساحة	الطول الفعلي	الطول المثالي	متوسط العرض	المحيط
193كم	24.5كم	21.0كم	7.9كم	77.3كم

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (10)، والقياسات المورفومترية.

وأطوال المجاري وكمية التصريف المائي النهائي داخل الحوض، إذ تزداد قدرة الحوض على استيعاب أكبر كمية من مياه الأمطار الهاطلة مع زيادة المساحة الحوضية في حالة ثبات نوع الصخر ونظامه وتضرسه وشكل شبكة التصريف (حسنين وآخرون، 1991، صـ290)، وتم قياس مساحة حوض وادي البون الغربي في بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1) خريطة (10)، وعليه بلغت مساحة الحوض (193كم^2)، إذ

جدول (7): معادلات قياس المتغيرات المورفومتري المستخدمة في الواسة

ر.م	المعامل المورفومتري	المعادلة	الوصف	المصدر
2	متوسط العرض	W=A /L	مساحة الحوض /كم^2=A طول الحوض/كم =L	(Gregory& Walling,1979,p50,51)
3	نسبة الاستدارة	Rc=4πA/P2	π= 3.1416 مساحة الحوض/كم^2 =A مربع محيط الحوض/كم =P2	
4	نسبة الاستطالة	Re=2$\sqrt{A}/\pi$/L	مساحة الحوض/كم^2 =A π= 3.1416 طول الحوض/كم =L	
5	نسبة الطول إلى العرض	Rlw=L /W	طول الحوض/كم =L عرض الحوض/كم =W	
6	معامل الشكل	Ff=A/L2	مساحة الحوض/كم^2 =A طول الحوض/كم =L	(Horton,1932,p351)
7	معامل الاندماج	Cc=0.282×P/$\sqrt{A}$	ثابت =0.282 محيط الحوض/كم =P مساحة الحوض/كم^2 =A	(Gregory& Walling,1979,p51)
8	نسبة التضرس	Rh= H/L	أعلى ارتفاع – أدنى ارتفاع/م =H أقصى طول للحوض/كم =L	(Strahler,1958,p283)
9	التضاريس النسبية	Rr=H/P	تضرس الحوض/م =H محيط الحوض/كم =P	
10	قيمة الوعورة	Rv=H×(Dd /1000)	تضرس الحوض/م =H كثافة التصريف/م/كم^2=Dd	(Strahler,1958,p289)
11	نسبة التقطع	Rt= Nu/P	عدد المجاري =Nu محيط الحوض/كم =P	(Smith, 1950,p657)
12	التكامل الهبسومتري	Ih=A/H	مساحة الحوض/كم^2 =A تضرس الحوض/م =H	(Strahler,1952,p1119)
13	معدل أطوال المجاري	Lsm=Lu/Nu	طول المجاري المائية في رتبة معينة/ كم =Lu عدد المجاري المائية في نفس الرتبة =Nu	(Ahmed & Rao Koduri,2015,p71)
14	نسبة التشعب	Rb=Nu/Nu+1	عدد المجاري في رتبة معينة =Nu عدد المجاري في الرتبة التي تليها =Nu+1	(Horton,1945,p286)
15	كثافة التصريف الطولية	Dd=ΣLu/ A	مجموع أطوال المجاري المائية/كم =ΣLu مساحة الحوض/كم^2 =A	(Horton,1932,p357)
16	كثافة التصريف العددية	Fs =$\Sigma Nu/A$	مجموع عدد المجاري =ΣNu مساحة الحوض/كم^2 =A	(Horton,1945,p285)
17	معدل بقاء المجاري	Mc =A/ΣLu	مساحة الحوض/كم^2 =A مجموع أطوال المجاري المائية/كم =ΣLu	(Schumm,1956,p607)
18	معامل الانعطاف	Fs =Cl/L	طول المجرى الحقيقي للحوض /كم =Cl طول المجرى المثالي للحوض/كم =L	(Schumm,1956,p605)
19	شدة التصريف	Di= Fs/Dd	الكثافة التصريفية العددية =Fs الكثافة التصريفية الطولية =Dd	(Pareta& Pareta,2012, p50)

يُعد من الأحواض الصغيرة، متحكماً بذلك الوضع الجيولوجي البنيوي والتضاريسي للمنطقة. كمية من مياه الأمطار الهاطلة مع زيادة المساحة الحوضية في حالة ثبات نوع الصخر ونظامه وتضرسه وشكل شبكة التصريف (حسنين وآخرون، 1991، صـ290)، وتم قياس مساحة حوض وادي البون الغربي في بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1) خريطة (10)، وعليه بلغت مساحة الحوض (193كم2)، إذ يُعد من الأحواض الصغيرة، متحكمًا بذلك الوضع الجيولوجي البنيوي والتضاريسي للمنطقة.

2.1. طول الحوض:

يرتبط الطول بشكل وتضرس الحوض، فضلًا عن شبكة التصريف، كما يلعب دروًا مهمًا في هيدرولوجية المجاري المائية، حيث يتحكم بمدة تفريغ الحوض لمياهه وحمولته الإرسابية، ويُقاس طول الحوض الفعلي (الحقيقي) بالمسافة التي يقطعها مجرى الوادي الرئيس من أبعد نقطة لمنبعه شاملًا كافة الالتواءات والتعرجات التي يتعرض لها المجرى وصولًا إلى نقطة المصب (Gregory& Walling,1979,p49)، أما الطول المثالي للحوض حُدد برسم خط موازٍ للمجرى الرئيس يمتد من نقطة المصب إلى أبعد نقطة على محيط الحوض والتي تفصله عن الحوض المجاور من جهة المنبع، ويتضح من خريطة (11) أن الطول الفعلي للحوض بلغ (24.50كم)، في حين بلغ الطول المثالي (21كم)، مما يُشير إلى أن الحوض يمتاز بزيادة طوله؛ لذا فالمياه تصل إلى المجرى الرئيس في وقت أطول إلى حدٍ ما مقارنة بالأحواض القصيرة، مما يزيد من كمية الفواقد المائية ويقلل من حجم الجريان.

3.1 متوسط عرض الحوض:

يؤثر هذا المتغير على كمية التهاطل المطري، وحجم الجريان السطحي، والتسرب والتبخر–النتح في الحوض، وبتطبيق معادلة (2) جدول (7)، تبين أن متوسط عرض حوض وادي البون الغربي بلغ (7.9كم)، وهي قيمة منخفضة مقارنة بالطول تشير إلى كثرة تعرج خط تقسيم المياه وزيادة محيط الحوض، متحكمًا بذلك طبيعة الصخور والنشأة الصدعية التي تعيق توسع الحوض، وعليه فإنّ مياه الأمطار تصل إلى المجرى الرئيس في أوقات مختلفة، مما يستمر الجريان لمدة أطول وتزداد كمية الفواقد المائية.

خريطة (11): الأبعاد المساحية لمنطقة الدراسة

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (10) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

4.1. محيط الحوض:

هو طول الحدود الخارجية للحوض المائي التي تفصله عن الأحواض المجاورة له (خطوط تقسيم المياه)، إذ يتأثر هذا المتغير بشكل مباشر بتطور ونمو مجاري الرتبة الأولى، ويستخدم كمؤشر لتحديد مساحة

الحوض، وشكله، وطبيعة الجريان فيه (Pareta& Pareta,2012,p48)، وتم قياس طول محيط الحوض في بيئة برنامج (ArcGIS10.8.1) اعتمادًا على خريطة (10)، وعليه يقدر محيط الحوض بحوالي (77.3كم)، وهي قيمة مرتفعة، تعزى إلى كثرة تعرج خط تقسيم المياه في الحوض.

2. تحليل الخصائص الشكلية:

تُسهم دراسة السمات الشكلية لأحواض التصريف في تحديد خصائصها الهيدرولوجية من خلال تأثير شكل الحوض على حجم التصريف المائي وسرعته وزمن وصوله إلى المجرى الرئيس، وأدناه أهم المتغيرات التي تستخدم في تحديد شكل الحوض جدول (9):

جدول (9): نتائج تحليل الخصائص الشكلية في منطقة الدراسة

نسبة الاستدارة	نسبة الاستطالة	نسبة الطول إلى العرض	معامل الشكل	معامل الاندماج
0.40	0.63	3.10	0.32	1.57

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (10)، والقياسات المورفومترية.

1.2. نسبة الاستدارة:

هو مقياس يشير إلى مدى اقتراب أو ابتعاد شكل الحوض المائي من الشكل الدائري المنتظم، وتتراوح قيمته ما بين (0–1)، فالحوض يميل إلى الشكل الدائري إذا اقتربت نسبة استدارته من الرقم الواحد الصحيح وعكس ذلك إذا ابتعدت النسبة عن الرقم الواحد الصحيح (حسنين وآخرون، 1991، صـ318)، وبتطبيق معادلة (3) جدول (7)، يتضح أن نسبة استدارة حوض وادي البون الغربي بلغت (0.40)، وهذا يشير إلى ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري، مما يدل هيدرولوجيًا على عدم انتظام خطوط تقسيم مياه الحوض وارتفاع مناطق منابعه، إضافة إلى طول المجرى الرئيس وقلة انحداره.

2.2. نسبة الاستطالة:

هو مقياس يبين مدى اقتراب شكل الحوض المائي أو ابتعاده عن الشكل المستطيل، وتنحصر قيمته بين (0–1)، فكلما ابتعدت النسبة عن الواحد الصحيح واقتربت من الصفر دل على اقتراب الحوض من الشكل المستطيل (حسنين وآخرون، 1991، صـ316–317)، وبتطبيق معادلة (4) جدول (7)، تبين أن نسبة الاستطالة في حوض وادي البون الغربي بلغت (0.63)، مما يعني أن الحوض يميل للاستطالة وهذا يتوافق مع نتائج الاستدارة، ويعزى ذلك إلى انتشار الصخور الكلسية الصلبة، وتعامد اتجاهات التراكيب البنيوية المساهمة في تشكيل الحوض (مداغش، 2003، صـ 58)، مما أثر على زيادة طول المجرى الرئيس وقصر أطوال مجاري الرتب الدنيا، وزيادة أعدادها مقارنة بالرتب الأخرى، الأمر الذي يُشير هيدرولوجيًا إلى زيادة مساحة الجريان السطحي وبطء وصول المياه من المنبع إلى المصب، مما يؤدي إلى ارتفاع كمية الفواقد المائية وتغذية الخزانات الجوفية.

3.2. نسبة الطول إلى العرض:

يُشير هذا المقياس إلى العلاقة بين الطول إلى العرض الحوضي، فمن خلال تطبيق معادلة (5) جدول (7)، اتّضح أن نسبة الطول إلى العرض في حوض وادي البون الغربي بلغت (3.10)، وهي نسبة مرتفعة، تؤكد اقتراب الحوض من الشكل المستطيل وزيادة طول مجراه الرئيس من خلال الحت التراجعي وتناقص الحت الجانبي الذي يعمل على اتساع عرض الحوض.

4.2. نسبة معامل الشكل:

يصف معامل الشكل مدى انتظام عرض الحوض على طول امتداده من مناطق تقسيم المياه حتى منطقة

المصب، فالقيم المنخفضة القريبة من الصفر تشير إلى عدم تناسق أجزاء حوض التصريف واتخاذه شكلًا يقارب شكل المثلث والعكس صحيح (Horton, 1932, p351)، ويتضح من تطبيق معادلة (6) جدول (7)، أن معامل الشكل لحوض وادي البون الغربي بلغ (0.32) وهي قيمة منخفضة، تدل على عدم تناسق شكل الحوض واقترابه من شكل المثلث الذي رأسه عند منطقة المصب وقاعدته عند مناطق المنابع، بسبب تأثر مناطق تقسيم المياه بالبنية الصدعية، وهذا ما تؤكده نتائج الاستدارة والاستطالة فطول الحوض يزيد عن عرضه، والدلالة الهيدرولوجية لانخفاض نسبة معامل شكل حوض وادي البون الغربي تتمثل في طول الفترة الزمنية التي يستغرقها التصريف المائي للوصول إلى ذروته وإلى منطقة المصب عند التهاطل الشديد، مما يؤدي إلى انخفاض خطر الفيضان في أجزاء الحوض الدنيا، وذلك لاتساع المساحة التي تقطعها الوديان في أجزاء الحوض العليا وضيقها عند المصب، الأمر الذي ينتج عنه انخفاض سرعة الجريان السطحي نوعًا ما وارتفاع كمية الفاقد المائي.

5.2. معامل الاندماج (نسبة تماسك المحيط):

هو مقياس يبين مدى تجانس شكل المحيط الحوضي مع مساحته التجميعية، ودرجة انتظام وتعرج خطوط تقسيم المياه، فضلًا عن مدى تباعدها عن مركز الحوض، وتكون قيمة هذا المعامل دائمًا أعلى من الرقم الواحد الصحيح (Ahmed & Rao Koduri,2015,p73)، وبتطبيق معادلة (7) جدول (7)، تبين أن معامل اندماج حوض وادي البون الغربي بلغ (1.57)، وهي قيمة مرتفعة، تُشير إلى زيادة تعرج محيط الحوض، وعدم تناسق شكله واقترابه من شكل المستطيل، إضافة إلى أنه لايزال في بداية مرحلة دورته الحتية، وبذلك فإنّ قيمة هذا المعامل جاءت معززة لبقية المتغيرات الشكلية السابق ذكرها.

3. تحليل الخصائص التضاريسية:

تُمثل دراسة الخصائص التضاريسية للأحواض المائية أهمية كبيرة، لما لها من دلالات ومؤشرات ترتبط بالعوامل البنائية التي ساهمت في نشأة الأحواض التصريفية، فضلًا عن معرفة مدى نشاط وفعالية عمليات التعرية وانعكاساتها على تشكيل معالم الشبكة المائية، وتحديد المرحلة التي قطعها الحوض المائي في دروته الحتية، وتشمل المتغيرات الموضحة في جدول (10)، وهي على النحو الآتي:

جدول (10): نتائج تحليل الخصائص التضاريسية في منطقة الواسة

أعلى ارتفاع	أدنى ارتفاع	تضرس الحوض	نسبة التضرس
2760م	2145م	615م	25.10م/كم
التضاريس النسبية	درجة الوعورة	نسبة التقطع	التكامل الهبسومتري
7.95م/كم	1.11	5.10مجرى/كم	0.31كم^2/م

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على خريطة (10)، والقياسات المورفومترية.

1.3. تضرس الحوض:

هو الفرق بين أعلى وأدنى نقطة ارتفاع في الحوض التصريفي، وترتفع قيمة هذا المعامل بزيادة الفارق بين منسوب أعلى وأدنى نقطة في الحوض (Gregory& Walling,1979,p60)، وعليه فأن تضرس حوض وادي البون الغربي بلغ (615م) خريطة (5)، وهي قيمة مرتفعة تُشير إلى زيادة الفارق التضاريسي ودرجة انحدار الحوض وتقارب خطوط الارتفاعات المتساوية

على حساب قلة مساحته، ويعزى ذلك إلى ارتفاع المنابع العليا للحوض.

2.3. نسبة التضرس:

هي أحد المقاييس التي تعكس درجة انحدار سطح الحوض التي تؤثر على سرعة وفعالية الجريان السطحي، وكمية التصريف والرواسب المنقولة، وترتبط قيم نسبة التضرس ارتباطًا طرديًا مع درجة التضرس وارتباطًا عكسيًا مع مساحة الحوض وكمية التصريف (Schumm,1956,p612)، وبتطبيق معادلة (8) جدول (7)، تبين أن نسبة تضرس حوض وادي البون الغربي بلغت (25.10م/كم)، وهي نسبة عالية، تدل على شدة تضرس سطح الحوض وفقًا لتصنيف ((Strahlar 1964)[1]*، متحكمًا بذلك درجة الانحدار، وطبيعة المُناخ السائد وحركات الرفع التكتوني التي تعرض لها الحوض والتي نتج عنها ارتفاع مناطق المنابع وهبوط منطقة المصب، الأمر الذي ينتج عنه هيدرولوجيًا أوقات الشدة المطرية سرعة وصول مياه الجريان السطحي إلى المصب وزيادة كمية الرواسب المنقولة.

3.3. التضاريس النسبية:

يُعبر هذا المقياس عن العلاقة بين المدى التضاريسي للحوض ومحيطه، حيث يؤثر على الكثافة التصريفية، ويدل على وجود علاقة عكسية بين قيمة التضاريس النسبية ودرجة المقاومة الصخرية لعوامل التعرية في حالة ثبات الظروف المُناخية (Schumm,1956,p614)، ويتضح من تطبيق معادلة (9) جدول (7)، أن قيمة التضاريس النسبية في حوض وادي البون الغربي بلغت (7.95م/كم)، مما يعني تضرس الحوض، ويعود ذلك إلى أن الحوض ينبع من مناطق جبلية عالية تصل في ارتفاعها إلى (2760م)، إضافةً إلى ضعف الطبيعة الصخرية المقاومة لعمليات التعرية.

4.3. درجة الوعورة:

تبين قيمة الوعورة مدى تضرس الحوض وانحدار مجراه الرئيس (ناجي والورافي، 2022، صـ302)، فضلًا عن تأثره بالعمليات الحتية، وأشار (Strahlar,1958) إلى أن القيم التي أكبر من الواحد تدل على ارتفاع درجة الوعورة ((p290، وبتطبيق معادلة (10) جدول (7)، اتّضح أن قيمة الوعورة في حوض وادي البون الغربي بلغت (1.11)، وهي قيمة مرتفعة نسبيًا تُؤكد صغر مساحة الحوض وزيادة الفارق التضاريسي، وتُشير هيدرولوجيًا إلى انخفاض الكثافة التصريفية نوعاً ما، وزيادة طول المجاري المائية الرئيسية مقارنة بأطوال مجاري الرتب الدنيا، وكثرة الصدوع والفواصل التي زادت من نفاذية صخور عمران الجيرية، فضلًا عن أن الحوض مازال في بداية دورته الحتية.

5.3. نسبة التقطع (النسيج الحوضي):

هو مقياس يوضح درجة تقطع الحوض بمجاري الشبكة التصريفية، ومدى تقاربها أو تباعدها عن بعضها دون أخذ أطوالها في الحسبان (حسنين وآخرون، 1991، صـ330)، وبتطبيق معادلة (11) جدول (7)، تبين أن نسبة تقطع حوض وادي البون الغربي بلغت (5.10مجرى/كم)، وتشير هذه النسبة وفقًا لتصنيف

[1] أقل من (5) تضرس قليل، تضرس متوسط ما بين (5–10)، تضرس شديد ما بين (10–20) وأكثر من (20) تضرس شديد جداً (ناجي والورافي، 2022، صـ300).

(Smith,1950,p661)[2]* أن نسيج الحوض متوسط ونسبة تقطع الحوض بالمجاري متزنة نسبيًا، فضلًا عن الجريان السطحي جيد نوعًا ما.

6.3. التكامل الهبسومتري:

يُعد من المقاييس الزمنية المستخدمة في تحديد المرحلة التحتية التي تمر بها الأحواض المائية أو أي جزء من أجزائها، فهو مقياس كمي يوضح العلاقة بين المساحة الحوضية وتضاريس الحوض، وتتناسب قيم هذه العلاقة طرديًا مع مساحة الحوض وعكسيًا مع تضرس الحوض، ويتبين من تطبيق معادلة (12) جدول (7)، أن التكامل الهبسومتري لحوض وادي البون الغربي بلغ (0.31كم^2/م)، وهي قيمة منخفضة تؤكد تضرس الحوض، وصغر مساحته وحداثة عمره، متحكمًا بذلك صلابة التكوينات الصخرية المقاومة لعمليات التعرية المائية والحركات البنائية التي أدت إلى رفعها (عبدالغني وآخرون، 2017، صـ48)، فضلًا عن انحدار السطح، وزيادة الرواسب المنقولة.

4. خصائص شبكة التصريف:

يُعد الشكل العام الذي تظهر به مجموعة المجاري المائية في أي حوض تصريفي برتبها المختلفة محصلة العلاقة المكانية المتبادلة بين الخصائص الطبيعية من جهة والعمليات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية من جهة أخرى، التي تُسهم في رسم وتعديل المظهر العام لشكل شبكة التصريف وتحديد مساراتها (علي والعجيلي،2023، صـ341)، وسيتم دراسة وتحليل خصائص شبكة التصريف المائي لحوض وادي البون الغربي على النحو الآتي:

1.4. رتب المجاري المائية:

هو التدرج الرقمي لمجموعة الروافد والمسيلات التي تتكون منها الشبكة المائية التي تغذي المجرى الرئيس بالمياه، وتعد من المؤشرات المرتبطة ارتباطًا مباشرًا بكمية التصريف المائي وسرعة الجريان السطحي (Gregory& Walling,1979,p41)، ولتحليل رتب المجاري المائية لشبكة أودية حوض وادي البون الغربي أُعتمدت طريقة (Strahlar) الذي اعتبر كل رافد لا يتصل بروافد أخرى يتخذ رتبة أولى، والتقاء رافدين من الرتبة الأولى يكونان مجرى من الرتبة الثانية، والتقاء رافدين من الرتبة الثانية يكونان مجرى من الرتبة الثالثة وهكذا وصولًا إلى المجرى الرئيس الذي يحمل الرتبة العليا (Strahlar,1957,p914)، ووفقًا لذلك وصل حوض البون الغربي إلى الرتبة الخامسة التي احتلت المجرى الرئيس خريطة (12) وجدول (11).

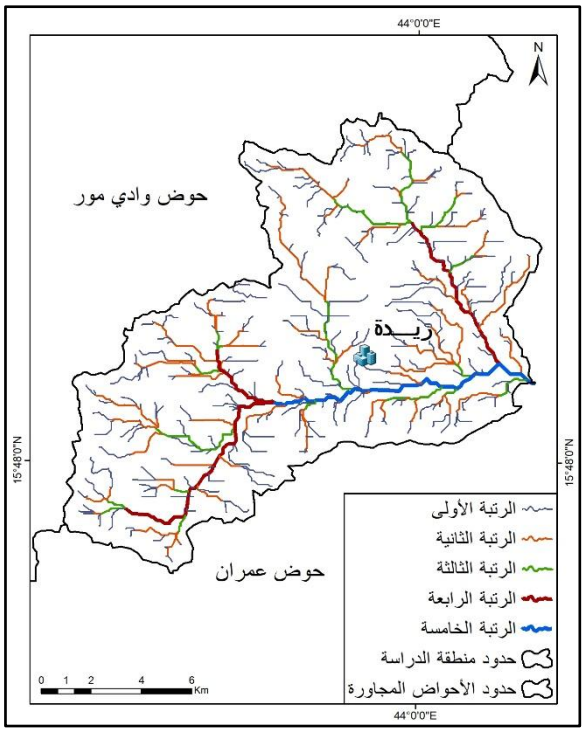
2.4. أعداد المجاري المائية:

هي مجموعة من الروافد التي تتكون منها رتبة معينة، إذ تؤثر أعداد المجاري تأثيرًا كبيرًا في خصائص الجريان السطحي، فالأحواض التي تضم أعداد كبيرة من المجاري تكون ذات كفاءة عالية في نقل الجريان السطحي والعكس صحيح، ويتضح من جدول (11) أن إجمالي أعداد المجاري المائية في حوض وادي البون الغربي بلغت (395) مجرى، فمعظم هذه المجاري تقع ضمن الرتبة الأولى بنسبة (76.70%)، في حين شكلت بقية الرتب من الثانية إلى الخامسة النسبة الباقية، ويعود ارتفاع أعداد مجاري الرتبة الأولى إلى زيادة انحدار السطح في المنابع

[2]* يتراوح النسيج الخشن ما بين (0-4مجرى/كم)، والنسيج المتوسط (4-10مجرى/كم)، أما النسيج الناعم يكون أكثر من (10مجرى/كم).

العليا، وصلابة التكوينات الصخرية، إضافة إلى انتشار الظاهرات البنيوية التي تسمح بتطور الروافد الصغيرة والتقائها في مسافات قصيرة لتكون مجاري مائية.

خريطة (12): شبكة التصريف المائي في منطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).

3.4. أطوال المجاري المائية:

تمثل أطوال المجاري المائية انعكاسًا لخصائص الحوض الطبيعية، وتنبع أهميتها من ارتباطها بعملية الجريان السطحي من خلال المسافة التي يقطعها الجريان في الروافد حتى يصل إلى الوادي الرئيس، وتربط أطوال المجاري المائية ورتبها علاقة طردية، إذ تزداد أطوال المجاري مع زيادة رتبها (Strahlar,1958,p488)، ويتبين من جدول (11) أن مجموع أطوال المجاري المائية بمختلف رتبها في حوض وادي البون الغربي بلغت (349.3كم)، حيث حظيت الرتبة الأولى بأعلى نسبة طول تقدر بنحو (52.67%)، الأمر الذي يشير إلى وجود منحدرات مرتفعة، تليها الرتبة الثانية بنسبة (28.25%)، في حين بلغت نسبة طول الرتبتين الثالثة والرابعة (9.44، 6.0%) على التوالي، بينما شكلت الرتبة الخامسة التي تصب فيها جميع الرتب الأخرى نسبة (3.25%)، متحكمًا بذلك انخفاض نسبة تضرس المجرى الرئيس وانحداره شبه المستوي، وامتداد صدع مع المجرى الرئيس، إضافة إلى وجود عدد من مجاري الرتبة الأولى والثانية التي ترفد المجرى مباشرةً.

4.4. معدل أطوال المجاري:

هي العلاقة القائمة بين أعداد المجاري المائية وأطوالها على مستوى كل رتبة، فمعدل أطوال المجاري في رتبة معينة يعد أقل طولًا من الرتبة الأعلى منها مباشرةً وأكثر طولًا من الرتبة الأدنى منها مباشرةً، (Pareta & Pareta,2012,p45)، وبتطبيق معادلة (13) جدول (7)، نجد أن المعدل العام لأطوال مجاري الحوض بلغ (4.64كم)، كما يتضح من تحليل جدول (11) أن الرتب الدنيا في الحوض تتميز بصغر معدل أطوال مجاريها، في حين يرتفع معدل أطوال مجاري الرتب العليا، إذ بلغ معدل طول الرتبة الأولى (0.61كم)، والرتبة الثانية (1.41كم)، والرتبة الثالثة (1.83كم)، والرتبة الرابعة (7.07كم)، والرتبة الخامسة (12.30كم)، الأمر الذي يؤكد أن حوض البون الغربي ينبع من أراضي وعرة ومرتفعة، حيث يقل معدل أطوال المجاري في تلك الأراضي ويزداد بزيادة الرتب وصولًا إلى الأراضي المبسطة والأقل تضرسًا، فهذه التباينات تلعب دورًا في معدل الجريان السطحي، إذ ينخفض الجريان في الرتب ذات المجاري الطويلة، ويرتفع في رتب المجاري القصيرة.

جدول (11): أعداد وأطوال رتب المجاري المائية ونسبة تشعبها في منطقة الواسة

العدد	الرتبة					المجموع
	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	
	303	70	18	3	1	395
الأطوال /كم	184	98.7	33	21.2	12.3	349.3
معدل الطول رتبة / مجرى	0.61	1.41	1.83	7.07	12.33	4.64
نسبة التشعب لكل رتبتين	2:1	3:2	4:3	5:4	معدل التشعب	
	4.32	3.88	6	3	3.44	

المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على خريطة (12)، والقياسات المورفومترية.

5.4. نسبة التشعب:

هي العلاقة بين عدد المجاري في كل رتبتين متتاليتين، وتُعد من المؤشرات التي تتحكم في حجم التصريف وزمن وصول المياه إلى المجرى الرئيس؛ نظرًا لارتباطها بعلاقة عكسية مع حجم التصريف الذي يتناسب طرديًا مع خطر الفيضان (عاشور، 1986، صـ462)، وبتطبيق معادلة (14) جدول (7)، يتضح أن معدل نسبة التشعب في حوض وادي البون الغربي بلغت (3.44) وهي قيمة تقترب من الحد الأدنى لنسب تشعب الأحواض التي حدده (Strahlar) والمحصورة بين(3-5) (Ahmed &Rao Koduri,2015,p72)، مما يُشير إلى انخفاض الكثافة التصريفية ودلالة حدوث الفيضانات، ويتبين من جدول (11) أن نسبة تشعب مجاري الرتبة الأولى والثانية، والثانية والثالثة، والرابعة والخامسة بلغت (4.32، 3.88، 3) على التوالي، وبذلك تقع ضمن المدى المحدد للنسب، ويعود ذلك إلى أن المجاري المائية تحتل مناطق متجانسة من حيث تركيبها وبنيتها الجيولوجية ومُناخها، مما جعل مجاريها ذات نمط شجري، في حين ترتفع نسبة تشعب الرتبة الثالثة مع الرابعة إلى (6)، بسبب تأثير الصدوع واختلاف عدد مجاري كل رتبة، فضلًا عن طبوغرافية الحوض وتباين ارتفاعاته.

6.4. كثافة التصريف:

يقصد بها مقدار انتشار وتفرع شبكة المجاري المائية ضمن مساحة محددة، وهي من المقاييس التي تعكس أثر العوامل الطبيعية واستعمالات الأرض على شبكة التصريف المائي والجريان السطحي في الحوض (عاشور، 1986، صـ465)، وتتوقف قيمة كثافة التصريف على كمية الأمطار الهاطلة والتبخر ونفاذية التربة والصخور، إضافة إلى درجة الانحدار، وتشمل كثافة التصريف نوعين هما:

أ- كثافة التصريف الطولية:

وتعني نسبة أطوال المجاري المائية في الحوض إلى إجمالي المساحة الحوضية، وتكمن أهميتها في تقدير كفاءة الشبكة التصريفية في تقليل المياه والرواسب من الحوض المائي، وبتطبيق معادلة (15) جدول (7)، يتبين أن كثافة التصريف الطولية لحوض وادي البون الغربي بلغت (1.80كم/كم^2) جدول (12)، وتعتبر قيمة منخفضة وفقًا لتصنيف

(Strahlar,1964)[3]*، تشير إلى تباعد مجاري الحوض فيما بينها، متحكمًا بذلك تأثر الحوض بالحركات التكتونية وما نتج عنها من انتشار الصدوع والفواصل التي تنعكس سلبًا على الفاقد المائي، فضلًا عن سيادة المُناخ الجاف لفترات طويلة وتذبذب معدلات الأمطار من سنة إلى أخرى، وقلة انحدار الحوض في الأجزاء القريبة من المجرى الرئيس، الأمر الذي يعيق تطور ونمو مجاري الأودية، مما يؤثر على الجريان السطحي.

ب- كثافة التصريف العددية (تكرار المجاري):

هو مقياس آخر لقياس كثافة التصريف من زاوية أخرى، إذ يعبر عن مدى تكرار عدد المجاري المائية بجميع رتبها في وحدة مساحة ثابتة، بهدف تحديد الخصائص الهيدرولوجية ومعرفة مدى تكرار وكثافة المجاري في كل كيلومتر مربع، وبالتالي معرفة شدة تقطع الحوض بالمجاري (الشمري والحسناوي، 2018، صـ16)، ومن خلال بتطبيق معادلة (16) جدول (7)، يتضح أن كثافة التصريف العددي لحوض البون الغربي بلغت (2.04مجرى/كم^2)، وهي كثافة منخفضة، تُشير إلى قلة أعداد المجاري ومعدل تكرارها مقارنة بالمساحة، مما قلل من كمية الجريان السطحي وزاد من عملية التسرب إلى باطن الأرض، وهذه دلاله أخرى على أن الحوض لم يقطع شوطًا كبيرًا في دورته الحتية.

7.4. معدل بقاء المجرى:

يُشير معدل بقاء المجرى إلى متوسط الوحدة المساحية التي تغذي الوحدة الطولية الواحدة من مجاري الشبكة التصريفية، وتتراوح قيمته ما بين

جدول (12): نتائج تحليل خصائص الشبكة التصريفية لمنطقة الواسة

كثافة التصريف الطولية	كثافة التصريف العددية	معدل بقاء المجرى	معامل الانعطاف	شدة التصريف
1.80 كم/كم^2	2.04 مجرى /كم^2	0.55 كم^2/كم	1.16	1.1

المصدر: إعداد الباحثين اعتمادًا على خريطة (12)، والقياسات المورفومترية.

الصفر والواحد(Schumm,1956,p607)، وبتطبيق معادلة (17) جدول (7)، تبين أن معدل بقاء المجرى لحوض وادي البون الغربي بلغ (0.57كم^2/كم)، أي أن كل (1كم) من أطوال المجاري تُغذية مساحة تقدر بنحو (0.55 كم^2/كم)، وهي قيمة منخفضة تقترب من الصفر، وذلك بسبب تأثر الحوض بالتراكيب البنيوية وانحدار مجاريه المائية (ناجي والورافي، 2022، صـ310)، فضلًا عن سيادة الصخور الجيرية ذات الكثافة العالية والنفاذية المنخفضة، الأمر الذي لا يسمح بتكوين مجاري مائية جديدة، مما يجعل الحوض ذات جريان سطحي متوسط نوعًا ما.

8.4. معامل الانعطاف:

هو درجة انعطاف الوادي عن المجرى المستقيم وشدة انثنائه، وتكمن أهميته في معرفة مدى انعطاف المجرى، لما له من تأثير في كمية المياه الجارية في المجرى، ومن خلال تطبيق معادلة (18) جدول (7)، اتّضح أن معامل انعطاف المجرى الرئيس لحوض وادي البون الغربي بلغ (1.16)، وتُشير هذه القيمة إلى أن المجرى متعرج (ملتوي) حسب تصنيف (Schumm)[4]*، ويعزى ذلك إلى الانحدار الشديد للمجاري المائية في

[3] * تكون الكثافة التصريفية منخفضة إذا كانت أقل من (4)، ومتوسطة إذا تراوحت بين (4-12)، وتكون عالية إذا كانت أكثر من (13) (ناجي والورافي، 2022، صـ309).

[4] * إذا كانت قيمة معامل الانعطاف أقل من (1.1) فالمجرى مستقيم، أما إذا تراوحت بين (1.1-1.5) فمجرى الوادي متعرج، ويكون المجرى منعطف إذا كانت القيمة أكثر من (1.5) (Schumm,1956,p607)).

الأجزاء العليا من الحوض ووجود العوائق والحواجز في المجاري التي تعيق حركة المياه وانحرافها عن خط الجريان في بعض المناطق، حيث يحدث الانعطاف عادةً في مجاري الرتبة الأولى والثانية بسبب التفافها حول الكتل الجبلية لصلابة الصخور وتباين الانحدار، ومن الدلالات الهيدرولوجية لتعرج الوادي بطء سرعة الجريان السطحي نوعًا ما وارتفاع كمية الفواقد المائية.

9.4. شدة التصريف:

هي العلاقة القائمة بين الكثافة التصريفية العددي والكثافة التصريفية الطولية، ويتضح من تطبيق معادلة (19) جدول (7)، أن شدة التصريف في حوض وادي البون الغربي بلغت (1.1) جدول (12)، وهي قيمة منخفضة، تُوكد انخفاض الجريان السطحي، ويعزى ذلك إلى انخفاض قيم الكثافة التصريفية العددية والطولية، إضافة إلى انخفاض درجة انحدار المجاري الرئيسة في المنطقة.

النتائج:

من خلال تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي البون الغربي توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج ذات مؤشرات هيدرولوجية أهمها:

[1] يُعد حوض البون الغربي من الأحواض صغيرة الامتداد المساحي، متحكمة بذلك الظروف الجيولوجية البنيوية للمنطقة، فهو عبارة عن هيكل تكتوني يمتد من الجنوب الغربي إلى الشرق يحده العديد من الصدوع والفواصل.

[2] يشغل الحوض مساحة تصل إلى (193كم^2)، وطول (24.5كم)، ومتوسط عرض (7.9كم)، أما المحيط فبلغ (77.3كم).

[3] تُشير الخصائص الشكلية إلى أن الحوض ذو محيط متعرج وغير متناسق الشكل، ويميل إلى الشكل المستطيل، كما يزداد طوله على عرضه، حيث بلغ معامل الشكل، ونسبة الاستطالة، ونسبة الطول إلى العرض، ومعامل الاندماج (0.23، 0.63، 3.10، 1.57) على التوالي، مما يُشير هيدرولوجيًا إلى زيادة مساحة الجريان السطحي ومتوسط سرعته، وارتفاع كمية الفاقد المائي، الأمر الذي يقلل من دلالة حدوث الفيضانات في الحوض.

[4] أظهرت قيم المتغيرات التضاريسية أن الحوض ذو انحدار وتضرس مرتفع، إضافة إلى حداثة عمره، حيث بلغت نسبة التضرس ودرجة الوعورة، وقيمة التكامل الهبسومتري (25.10م/كم، 1.11، 0.31) على التوالي، مما يدل هيدرولوجيًا على سرعة وصول مياه الجريان السطحي إلى المصب وزيادة كمية الرواسب المنقولة أثناء أوقات الشدة المطرية.

[5] ينتهي حوض البون الغربي بالرتبة الخامسة، ويتألف من (395) مجرى، إذ تستحوذ الرتبة الأولى نسبة (76.70%) من إجمالي عدد المجاري المائية، ويعود ارتفاع أعداد مجاري الرتبة الأولى إلى زيادة انحدار السطح في المنابع العليا، وصلابة التكوينات الصخرية، إضافة إلى انتشار الصدوع والفواصل التي تسمح بتطور الروافد الصغيرة والتقائها في مسافات قصيرة لتكون مجاري مائية.

[6] بلغ إجمالي أطوال المجاري المائية في حوض البون الغربي (349.3كم)، إذ تحظى الرتبتين الأولى والثانية بأعلى نسبة طول تصل إلى (80.92%) من إجمالي أطوال المجاري المائية.

[7] أظهرت قيمة تشعب مجاري الحوض أن المجاري المائية تقع ضمن مناطق متجانسة جيولوجيًا ومُناخيًا، مما جعل مجاريها ذات نمط شجري.

[8] جاءت قيم الكثافة التصريفية الطولية والعددية ومعدل بقاء المجرى وشدة التصريف منخفضة، مما يُشير إلى قلة أعداد المجاري ومعدل تكرارها مقارنة بالمساحة، الأمر الذي قلل من كمية الجريان السطحي وزاد من عملية التسرب إلى باطن.

التوصيات:

[1] الاستفادة من قاعدة البيانات المكانية المستخلصة من هذه الدراسة، وتوظيفها في مجالات ودراسات جغرافية متعددة.

[2] إنشاء محطات مُناخية وهيدرولوجية في منطقة الدراسة، وذلك للحصول على بيانات دقيقة يستفاد منها في معرفة كمية التصريف المائي السنوي في المنطقة، بهدف إدارة استغلال الموارد المائية بشكل مناسب.

[3] توظيف تقنيات الجيوإنفروماتكس في الدراسات الجغرافية بأنواعها المتعددة ولاسيما الهيدرومورفومترية المستقبلية في الأحواض المائية، وأيضًا في الخطط التنموية المختلفة.

[4] تفعيل دور منشآت الحصاد المائي كالسدود الصغيرة والحواجز لرفد الخزانات الجوفية والاستفادة منها في الزراعة.

قائمة المصادر والمراجع

أولًا: المراجع باللغة العربية:

[1] أبو راضي، فتحي. (2004). **الأصول العامة في الجيمورفولوجيا**، دار النهضة العربية، بيروت.

[2] أبو سمور، حسن، وغانم، علي. (1998). **المدخل إلى علم الجغرافية الطبيعية**، الطبعة الأولى، دار صفاء للنشر، الأردن.

[3] حسنين، جودة وآخرون. (1991). **وسائل التحليل الجيمورفولوجي**، الطبعة الأولى، دار المطبوعات، الإسكندرية.

[4] الدليمي، خلف، والجابري، علي. (2018). **استخدام الجيوماتكس في دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية الجافة**. الطبعة الأولى. دار صفاء للنشر والتوزيع. عمان.

[5] الريان، وفاء. (2014). **الخصائص المورفومترية لحوض وادي القاعة – فلسطين باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية**، [رسالة ماجستير غير منشورة]، كلية الآداب. الجامعة الإسلامية، غزة.

[6] زعرير، أسامة. (2024). **التحليل المورفومتري لخصائص شبكة التصريف المائي لحوض اليرموك في الأردن: دراسة جيومورفولوجية تطبيقية باستخدام (GIS)**، مجلة العلوم الاجتماعية والإنسانية، المجلد (8)، العدد (2)، الأردن، 131-156.

[7] الشمري، أياد، والحسناوي، زينب. (2018). **التحليل المورفومتري لخصائص شبكة الصرف المائي لحوض وادي أبو غريبات قيم حافة ميسان**، مجلة الآداب، جامعة بغداد، العدد (279)، العرق، 1-25.

[8] القحطاني، ياسين. (2019). **التحليل المورفومتري لحوض وادي حرض في الجمهورية اليمنية**، مجلة الجامعة الوطنية، العدد (9)، اليمن، 59-118.

[9] عاشور، محمود. (1986). **طرق التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي**، حولية كلية الإنسانيات والعلوم الاجتماعية، جامعة قطر، العدد (9)، قطر، 459-488.

[10] عبدالغني، عماد وآخرون. (2017). **التحليل المورفومتري لوادي حوران باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، مجلة الأنبار للعلوم الزراعية، المجلد (15)، العدد (1)، العراق. 52-73.

[11] علي، رنا، والعجيلي، عبدالله. (2023). **التحليل المورفومترية لحوض وادي المهاري في محافظتي النجف والديواني**، مجلة الآداب، جامعة بغداد، ملحق العدد (145)، العراق، 337-364.

[12] مداغش، عبدالمجيد. (2003). **حوض عمران دراسة جيومورفولوجية**، [رسالة ماجستير غير منشورة]، قسم الجغرافيا، كلية الآداب والعلوم الإنسانية. جامعة صنعاء. اليمن.

[13] ناجي، عادل، والورافي، محمد. (2022). **التحليل المورفومتري لحوض التصريف السطحي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدرولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، المجلة الإفريقية للدراسات المتقدمة في العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد (1)، العدد (3)، شبكة الأنترنت، 288-318.

ثانيًا: المراجع باللغة الإنجليزية:

[1] Ahmed, F, & Rao Koduri, S. (2015). **Geomorphometic Analysis for Estimation of Sediment Production Rate and Run-off in Turin Watershed Mizoram**, International Journal of Remote Sensing Application, Vol. (5), India, 67-77.

[2] ALashwal, A. (2008). **Land Evaluation Using Remote Sensing and GIS Technology for Major Crops Grown in Amran Valley-Yemen Republic**. [Unpublished doctoral dissertation]. Department of Geography University of Pune, Pune University, India.

[3] Gregory, K. & Walling, D**.** (1979). **Drainage Basin Form and Process**: A Geomorphologic Approach, Edward Arnold, London.

[4] Horton, R. (1932). **Drainage Basin Characteristics,** Transactions of the American Geophysical Union, Vol. (13), America, 350-361.

[5] Horton, R. (1945). **Erosional Development of Stream and their Basins Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology**, Geological Society of America Bulletin, Vol. (56), America, 275-370.

[6] Pareta, K, & Pareta, U. (2012). **Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India**, Internet ional Journal of Remote Sensing and GIS, Vol. (1), No. (1), 41-56.

[7] Schumm, S. (1956). **Evolution of Drainage System and Slopes in Badlands at Perth Amboy New Jersey**, Geological Society of America Bulletin, Vol. (67), No. (5), America, 597-646.

[8] Serrano et al. (2019). **Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agor-Silvo Pastoral System**, Journal Water, Vol. (11), No. (62), Online, 1-20.

[9] Smith, K. (1950). **Standards for Grading Textures of Erosional Topography**, America Journal of Science, Vol. (248), America, 655-668.

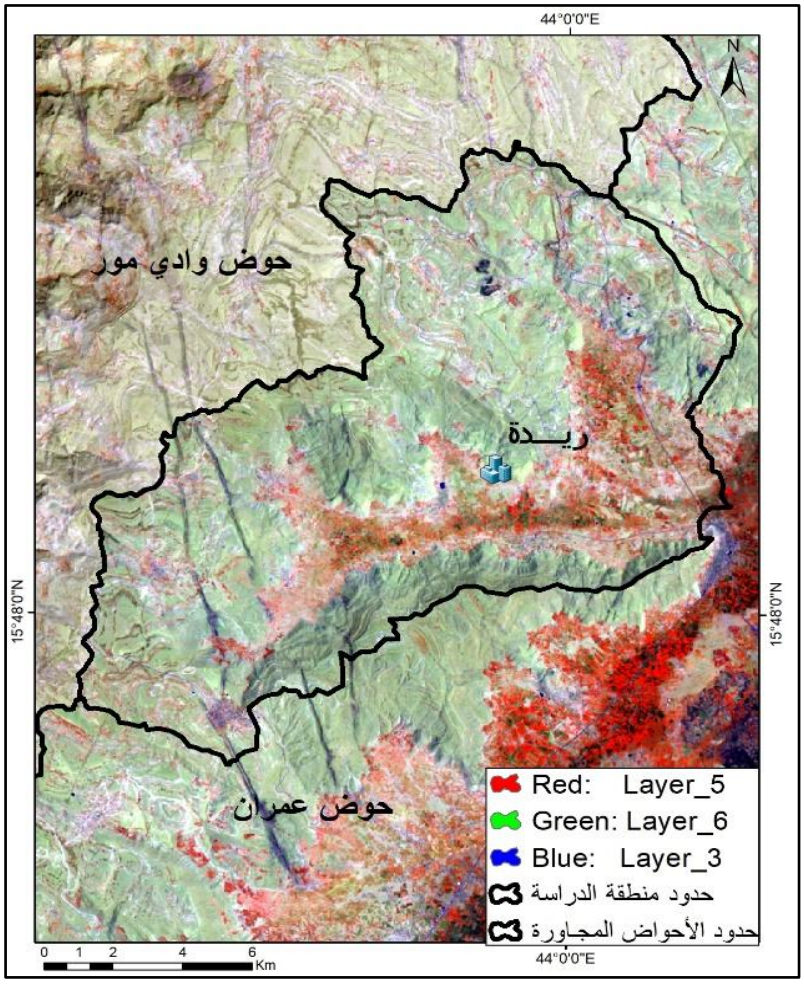
[10] Strahlar, A. (1952). **Hypsometric (Area-Altitude) Analysis Operational Topography**, Geological Society of America Bulletin, Vol. (63), No. (11), America, 1117-1142.

[11] Strahlar, A. (1958). **Dimensional Analysis Applied to Fluvially Eroded Landform**, Bulletin of the Geological Society of America, Vol. (69), America, 279-300.

[12] Tibbiees, G, & Aubel, J. (1980). **Groundwater Resources Investigation in the Amran Valley**, USGS & Yemen Arab Republic, Virginia.

[13] Young, A. (1972). **Slopes: Geomorphology**, Text (3), Oliver & Boyd, New York.

ملحق (1): مرئية فضائية لمنطقة الواسة



المصدر: إعداد الباحثين اعتماداً على مرئية فضائية للقمر الصناعي (Landsat 8, 2022)، ومخرجات برنامج (ArcGIS10.8.1).