Abhat Journal, Volume. 18, Issue. 2, September 2026

Abhat Journal, Faculty of Arts, Sirte University مجلة أبحاث بكلية الآداب جامعة سرت
Source Homepage: http://journal.su.edu.ly/index.php/ABHAT/index
https://doi.org/10.37375/aj.v18i2.4294

تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الزَّنَّاد باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

د. خالد أحمد بشير قناو
أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا/ كلية التربية– الخمس/ جامعة المرقب – ليبيا
khalid2014.m.a.a.t@gmail.com

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد وذلك بالاعتماد على أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، وتمّ استخدام المنهج الكمي التحليلي لبناء قاعدة بيانات جغرافية رقمية لمورفومترية الحوض والتي تتضمن الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية وشبكة التصريف المائي، وذلك من أجل رسم الخرائط الطبيعية واشتقاق مختلف القياسات للحوض المائي وتحليلها باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، وتبيّن من نتائج التحليل المورفومتري أنّ حوض وادي الزناد يشغل مساحة صغيرة تقدر بـ(3.06كم^2) وبطول بلغ (3.6كم) وبأن محيطه غير منتظم الشكل الذي وصل طوله (9.05كم) واقتراب شكله من المستطيل بنسبة استطالة بلغت (0.54)، كما أنّ تضاريسه تقطع ثلاث مناطق تضاريسية تتفاوت فيها مناسيب الارتفاع بين (8 إلى 128متر)، وبلغت درجة الانحداربين (0– 3.5درجة) ويصنف بأنّه خفيف الانحدار وفق تصنيف العالم (Young,1972)، كما توصّلت الدراسة أنّ شبكة التصريف المائي تحتوي على رتبتين مائيتين مختلفة العدد والطول وبعدد (13) مجرى مائي بمجموع طولي بلغ (63كم) وبكثافة تصريفية بلغت (20.58كم/كم^2)، كما توصّلت إلى أنّ مرحلة التطور الجيومورفولوجي التي وصل إليها حوض التصريف هي مرحلة الشباب بقيمة وعورة مرتفعة بلغت (272.8كم)، وأنّ الحوض المائي شديد التضرس وذات نسيج طبوغرافي خشن بقيمة بلغت (1.4مجرى/كم) حسب تصنيف العالم (Smith,1950)

الكلمات المفتاحية:

الخصائص المورفومترية، نموذج الارتفاع الرقمي، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بُعد، وادي الزناد.

معلومات النشر:
تاريخ الاستلام: 2026/06/02
تاريخ القبـــول: 2026/07/16
تاريخ النشـــر: 2026/09/01

Analysis of the morphometric characteristics of the Wadi Zannad basin using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques.

Dr. Khalid Ahmed Bashir Gnaw
Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Education
Al-Khums, Al-Marqab University - Libya
khalid2014.m.a.a.t@gmail.com

Abstract:

This study aimed to analyze the morphometric characteristics of the Wadi Al-Zanad basin using th Digital Elevation Model (DEM). A quantitative analytical approach was employed to construct a digita geographic database of the basin's morphometric features, including its spatial, morphological topographic, and drainage network characteristics. This database was used to create physical maps, deriv various measurements of the basin, and analyze them using Geographic Information Systems (GIS) an remote sensing technologies. The morphometric analysis revealed that the Wadi Al-Zanad basin occupie a small area of approximately 3.06 km² and has a length of 3.6 km. Its irregular perimeter, measuring 9.0 km in length, is nearly rectangular with an elongation of 0.54. Its topography is divided into three distinc zones with varying elevations ranging from 8 to 128 meters. The gradient ranges from 0 to 3.5 degrees classifying it as gently sloping according to Young (1972). The study also found that the drainage networ comprises two different water orders, each with varying numbers and lengths, totaling 13 watercourse with a combined length of 63 km and a drainage density of 20.58 km². Furthermore, the study conclude that the drainage basin has reached a young geomorphological stage, characterized by a high roughnes value of 272.8 km². The basin is highly rugged and has a coarse topographic texture, with a density of 1.4 watercourses/km², according to Smith (1950).

Keywords:

Morphometric characteristics, Digital elevation model, Geographic Information Systems, Remote Sensing, Wadi Zannad.

Information:
Received: 02/06/2026
Accepted: 16/07/2026
Published: 01/09/2026

©Abhat Journal, Sirte University 2026

المقدمة (Introduction)

تُعدّ تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد من أهم التطبيقات المستخدمة في تحليل الخصائص الطبيعية وذات قدرة وكفاءة كبيرة وخاصة في التحليل المورفومتري وذلك لما تتمتع به من إدارة البيانات الضخمة واسترجاعها وعرضها وتحليلها وتخزينها، وتُعدّ دراسة الخصائص المورفومترية للأحواض المائية ضرورية لفهم العمليات الهيدرولوجية وإدارة الأحواض المائية والتنبؤ بأنماط الجريان السطحي وتحديد كمية المياه؛ وذلك بهدف استخدامها لأغراض متعددة والتخطيط المستدام لاختيار مواقع إنشاء السدود، وتبرز هذه الدراسة الأهمية البالغة في تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد بالاعتماد على أنموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation (DEM) Model بدقة تمييزية تصل إلى (30 مترًا) والمشتق من أنموذج Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) وسيتم الكشف عن تلك الخصائص وتحليلها بواسطة الأدوات المنسدلة من تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS) وذلك من أجل بناء قاعدة معلومات جغرافية رقمية للحوض المائي من حيث الخصائص المساحية والخصائص الشكلية والخصائص التضاريسية وخصائص شبكة التصريف المائي، كما ستقوم الدراسة برسم الخرائط الخاصة بتلك الخصائص واشتقاق مختلف القياسات المورفومترية التي عرّفها العالم (Strahler, 1969) بأنّها علم قياس الخصائص الهندسية لظاهرات سطح الأرض الناتجة عن التعرية النهرية، بينما عرّفتها (Morisawa,1968) بأنّها التحليل العددي لأشكال سطح الأرض وتحديد العلاقات الرياضية بين المظاهر الطوبوغرافية وشبكات التصريف المائي، حيث يشير التحليل المورفومتري إلى المظاهر الطبيعية التي لها علاقة بتحديد شكل الأرض وتطورها مما يعطي تصورًا واضحًا عن المرحلة العمرية التي وصل إليها الحوض المائي، وكذلك معرفة شبكة التصريف المائي للحوض من حيث كمية كثافة التصريف المائي وتكرارية المجاري ونسبة تشعبها وذلك من أجل المحافظة على الموارد المائية وتنميتها خاصة في المناطق ذات المورد المائي المحدود بما يخدم الوصف الهيدرولوجي للمنطقة والحد من المخاطر البيئية كالسيول والفيضانات وانجراف التربة والاستفادة من مياه الأمطار والسيول والحفاظ على التربة وحماية الغطاء النباتي.

– مشكلة الدراسة (The Problem of study)

1. ما هي طبيعة الخصائص المورفومترية السائدة في حوض وادي الزناد؟ وما هي انعكاساتها على الجريان والتصريف المائي؟
2. ما هو دور استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في التحليل المكاني للخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد؟

– فرضيات الدراسة (Hypothesis of the study)

1. هناك ارتباط بين تنوع الخصائص المورفومترية الشكلية والتضاريسية وبين تنوع العمليات الجيومورفولوجية وتطورها.
2. توجد علاقة بين التوزيع الجغرافي للخصائص المورفومترية وبين طبيعة وتطور شبكة التصريف المائي في حوض وادي الزناد.

– أهداف الدراسة (Objectives of the study)

1. الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد بواسطة تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد وقياس أبعادها ومتغيراتها وتفسيرها ودراسة العلاقات المكانية بين متغيراتها.
2. تكوين قاعدة بيانات جغرافية رقمية للحوض المائي وتحليلها تحليلًا كميًا وربطها ببعض بما يساهم في اشتقاق المدلولات الطبيعية للحوض.
3. إنشاء وتصميم الخرائط الرقمية لمورفومترية الحوض وتحليلها للتعرّف على أهم الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية والتصريفية.

– أهمية الدراسة (Importance of the study)

1. الكشف عن الخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد وتحليلها بتطبيق المعاملات المورفومترية المنسدلة داخل برنامج (Arc Toolbox).
2. تحديد أهمية الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية والتصريفية للحوض وروافده الرئيسية وبيان المناطق التضاريسية المهددة بالجريان والانجراف المائي.
3. دراسة وتفسير العلاقات المكانية بين متغيرات الحوض المنتجة من الخرائط المورفومترية خاصة أنّ مجرى الحوض يمرّ في منطقة مأهولة بالسكان مما يعرّضهم لخطر الانجراف والفيضانات أثناء سقوط الأمطار.

– منهجية الدراسة (Approach of Study)

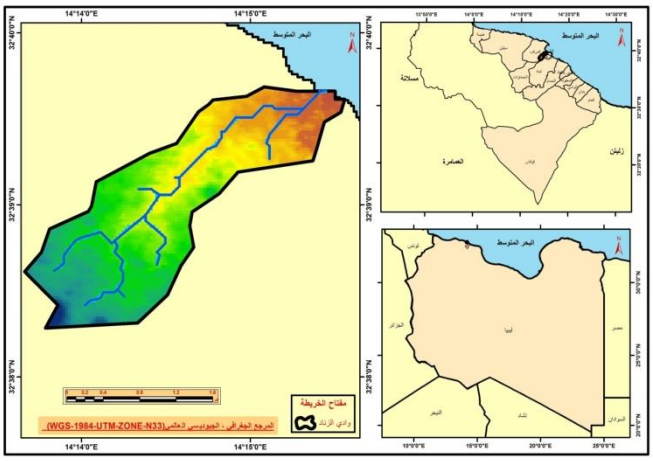
شملت هذه الدراسة عدة طرق للوصول إلى البيانات والمعلومات المتعلقة بالخصائص المورفومترية، ويأتي المنهج التحليلي الكمي The quantitative analytical Method على قمة هذه الطرق في دراسة ووصف تلك الخصائص وإجراء القياسات وتطبيق المعادلات الرياضية، ثم يأتي دور تقنية نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information System) وتقنية الاستشعار عن بُعد (Remote

Sensing في تحليل بيانات أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وذلك لإجراء التحليلات واستخلاص النتائج عن الخصائص المورفومترية للحوض المائي كتحديد مجراه الرئيسي وشبكات التصريف المائي وخصائصه المساحية والشكلية والتضاريسية والتوزيع الجغرافي لها.

– حدود منطقة الدراسة (Boundaries of the study area)

يقع حوض وادي الزناد في بلدية الخمس وتحديدًا في الجهة الغربية منها، ويتموضع جغرافيًا بين محلاتي بن جحا والبلدية والمرقب بمساحة بلغت (3.06كم^2)، وينحصر فلكيًا بين خطي طول (39" 13` 14°) و (33" 15` 14°) شرقًا وبين دائرتي عرض (16" 38` 32°) و(41" 39` 32°) شمالًا، وينحدر طبوغرافيًا بين حوض وادي الطوالب من الناحية الغربية بطول (1.7كم)، وبين مجموعة من الأراضي السهلية من الناحية الشرقية والجنوبية، أمّا من ناحية الشمال فهي عبارة عن أراضي سهلية صغيرة مقام عليها مرفأ للصيد البحري.

خريطة (1) الموقع الفلكي والجغرافي لحوض وادي الزناد



المصدر: من عمل الباحث استناداً للتقسيم الإداري للبلديات وبالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– الدراسات السابقة:

هناك العديد من الدراسات المتعلقة بتحليل الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للأحواض المائية سواء كانت على المستوى المحلي أو الدولي، وسيتم في هذه الدراسة عرض الدراسات المحلية الخاصة بمنطقة الخمس والتي لها علاقة بالدراسات المورفومترية فقط وربطها بالدراسة الحالية، ومن بين هذه الدراسات:

– دراسة (سليم، 2016) بعنوان "تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي كعام باستخدام نظم المعلومات الجغرافية" وهدفت الدراسة لرسم صورة رئيسية للمتغيرات المورفومترية اعتمادًا على تقنية نظم المعلومات الجغرافية وأنموذج الارتفاع الرقمي، وتوصّلت الدراسة إلى فاعلية تقنية نظم المعلومات الجغرافية من حيث السرعة والدقة في بناء قاعدة بيانات مورفومترية وإنتاج خرائط رقمية للحوض للاستفادة منها في الحصاد المائي وإقامة السدود والإنتاج الزراعي، وبيّنت أنّ الشكل العام للحوض يأخذ شكل المثلث، وأنّ الحوض منخفض التضرس، وأنّ المجاري الرئيسية للحوض لم تصل إلى التطور الفعلي من حيث العدد والطول وبالتالي لم يكمل دورته التحاتية وأنّه مازال في مرحلة النضج..

– دراسة (قناو، 2021) بعنوان **"المُناخ وأثره على التطور الجيومورفولوجي لحوض وادي لبدة"** والتي تناول فيها تطور الخصائص المورفومترية للحوض نتيجة تأثير العناصر المناخية، وتمّ في هذه الدراسة حساب الخصائص المساحية والتضاريسية والشكلية وخصائص شبكة التصريف المائي، وتوصّلت إلى أنّ حوض وادي لبدة بلغ المرتبة الخامسة وبعدد مجاري (253) مجرى مائيًا وبنسبة تشعب (1.9)، بينما بلغت تكرارية المجاري بحوض التصريف نحو (1.18 مجرى/كم^2) وبكثافة تصريفية بلغت (0.97كم/كم^2) وهي كثافة منخفضة مما يدل أنّ الحوض مازال يمرّ بمرحلة الشباب وفي بداية دورته التعروية، وأنّ عناصر المناخ لها دور كبير في تطور المظاهر الجيومورفولوجية في الحوض خاصة عنصري الأمطار ودرجة الحرارة.

– دراسة (قناو وبالنور، 2022) بعنوان "تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي سوق الخميس في منطقة الخمس" اشتملت الدراسة إلى استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن الخصائص المورفومترية للحوض المائي، وتوصّلت الدراسة إلى العديد من النتائج كان أهمها أنّ الحوض المائي يقطع ثلاثة مناطق تضاريسية تتفاوت فيها مناسيب الارتفاع بين منطقة وأخرى، كما أنّ شبكة التصريف المائي تحتوي على أربع رتب مائية مختلفة العدد والطول وبعدد (109) مجرى مائيًا والذي صنفت بأنّ الحوض المائي شديد التضرس وذات نسيج طبوغرافي خشن، وأنّ المرحلة العمرية التي يمر بها هي مرحلة الشباب واقتراب شكله من المستطيل وهذا ما سيؤثر على العمليات الهيدرولوجية للحوض.

– دراسة (قناو وعبد الصادق، 2022) بعنوان "التحليل الرقمي للخصائص المورفومترية لحوض وادي الطوالب في منطقة الخمس واستثمارها اقتصاديًا" استخدمت الدراسة أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة تمييزية (30 مترًا) في تحديد ورسم الخرائط الطبوغرافية للحوض المائي واشتقاق مختلف القياسات المورفومترية، وخلُصت هذه الدراسة إلى أنّ حوض وادي الطوالب يشغل مساحة تقدر بـ (9.181كم^2) وبطول (7.100كم)، وبلغت درجة

الانحدار(11.4درجة) في حين كانت نسبة الانحدار العام (20.2%) وفق تصنيف العالم (Young,1972)، كما توصّلت الدراسة إلى أنّ شبكة التصريف المائي تحتوي على ثلاث رتب مائية بعدد (23) مجرى مائيًا وبطول (14.272 كم) وفقًا لتصنيف ستراللر. (Strahler,1969) والتي يمكن استثمارها اقتصاديًا بوضع سدود تعويقية لحجز المياه والاستفادة منها بما تخدم المشاريع الزراعية والصناعية في المنطقة وخاصة أن المنطقة تعاني من شح المياه.

– دراسة (الكف، 2025) بعنوان "الخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولوجية لحوض وادي الرمل" هدفت الدراسة إلى استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن الخصائص المورفومترية للحوض المائي وتحليل العلاقة المكانية فيما بينها، وخرجت الدراسة إلى العديد من النتائج أبرزها أنّ مساحة الحوض بلغت (242كم^2) وأنّ شكله يميل للاستطالة وسيادة عمليات النحت التراجعي وفي بداية دورته التعروية بكثافة تصريف منخفضة بلغت (1.8).

– الخصائص المورفومترية لحوض وادي الزناد:

تُعدّ الخصائص المورفومترية (Morphometric Properties) إحدى القياسات الكمية والتحليلية وذلك باستخدام مقاييس رياضية مثل مساحة الحوض، نسبة الاستطالة، كثافة التصريف، ومعاملات التضرس، والتي تساعد جميعها في فهم العمليات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية للحوض المائي والتي تساهم في عمليات التخطيط والتنمية المستدامة وذلك لاستغلالها الاستغلال الأمثل وخاصة الموارد الطبيعية، وستقوم الدراسة بتحليل العديد من المعاملات المورفومترية والتي تصنف حسب أهميتها إلى الآتي:

أولًا: الخصائص المورفومترية المساحية (Area Characteristics)

تُعدّ مساحة حوض التصريف من أهم المتغيرات المورفومترية التي تؤثر على شبكة التصريف من حيث الكثافة والتكرار، ويؤثر ذلك بدوره على كمية المياه التي يستطيع الحوض أنْ يصرفها، وعلى كمية الرواسب التي يتم نقلها وإرسابها داخل الحوض وخاصة عند منطقة المصب (schumm, 1977,p.70)، وهناك عدة عوامل تسهم بمجملها في تحديد المساحة الحوضية ومن أهمها الحركات التكتونية ونوع الصخور والظروف المناخية (مكولا، 1986، ص28)، وعليه فإنّ أهم الخصائص المساحية هي:

– مساحة الحوض (A) Basin Area: تشكّل مساحة الحوض كل المجال المحدد بخطوط تقسيم المياه والتي تعني أرض محددة بمحيطها يميزها عمّا يجاورها من الأحواض المائية التي تنصرف مياهها المتجمعة نحو مجاري أوديتها لينتهي بها المطاف إلى المصب، وتؤثر مساحة الحوض تأثيرًا مباشرًا على عدد وأطوال المجاري المائية وما يتبع ذلك من تأثير كمية التصريف وحجم وكمية الرواسب وخاصة إذا كانت مساحة الحوض كبيرة (الصالح، 1996، ص75) وبلغت مساحة حوض وادي الزناد (3.06كم^2).

– محيط الحوض (P) Basin perimeter: هو خط تقسيم المياه والذي يفصل بين الحوض المائي عما جاوره من أحواض مائية أخرى (الدليمي، الجابري، 2018، ص82)، ويتأثر محيط الحوض بشكل مباشر بتطور شبكة المجاري المائية من الرتبة الأولى وبعمليات الأسر النهري ونشوء المجاري الموسمية عقب سقوط الأمطار (سلوم، 2012، ص404)، وبلغ محيط حوض وادي الزناد حسب التحليل المورفومتري نحو (9.05كم) ويرجع صغر محيطه إلى صغر المساحة وميل المجاري المائية لتعميق مجراها وازدياد أطوالها بدلًا من توسيع مساحته ومحيطه.

– طول الحوض (L_b) Basin length: يُعدّ الطول من بين أهم المتغيرات الهندسية التي تميز الأحواض المائية فيما بينها على مستوى الشكل، ويُعدّ عاملًا مفسِّرًا لمجموعة من الظواهر الهيدرولوجية كعملية الجريان المائي، وذلك عن طريق الوقت الذي تستلزمه المياه والرواسب للوصول إلى منطقة المصب والتي تتناسب تناسبًا طرديًا مع طول الحوض، بالإضافة إلى معدلات التسرب والتبخر وذلك لتباطؤ سرعة المياه الجارية باتجاه المصب، وبلغ طول حوض وادي الزناد نحو (3.6كم).

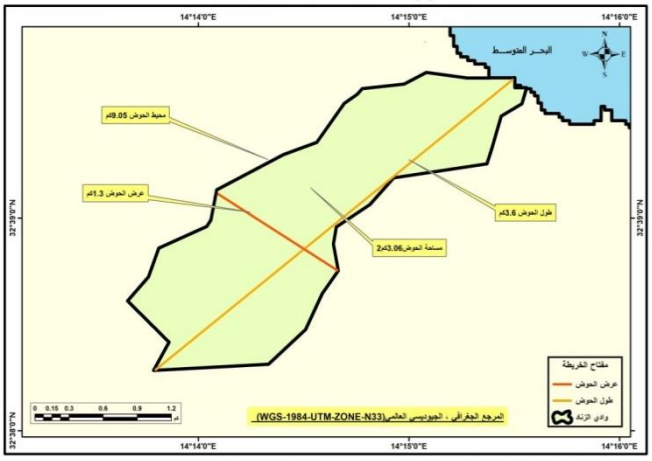
– عرض الحوض (W) Basin Width: عبارة عن أقصى مسافة عرض بين جانبي الحوض، أو بقسمة مساحة الحوض على طوله، ويؤثر هذا المقياس على كمية التساقط والجريان المائي والتسرب فضلًا عن تحديد المدة الزمنية للتصريف وزمن قمة الفيضان (سلوم، 2012، ص403)، وتمّ قياس أقصى مسافة عرض للحوض فبلغت (1.3كم)، كما تمّ حسابها رياضيًا فبلغت (850م).

الجدول (1) الخصائص المساحية لحوض وادي الزناد.

المعطيات المساحية	قيمتها
مساحة الحوض	3.06كم^2
محيط الحوض	9.05كم
طول الحوض	3.6كم
أقصى مسافة عرض	1.3كم
متوسط عرض الحوض	850م

المصدر: من حسابات الباحث بالاعتماد على برنامج (Arc map 10.8).

خريطة (2) الخصائص المساحية لحوض وادي الزناد



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

ثانيًا– الخصائص المورفومترية الشكلية (Formal Characteristics)

– نسبة الاستدارة (Rotation Ratio (R_e): هي المقارنة بين نسبة مساحة الحوض ومساحة دائرة يساوي طول محيطها طول محيط الحوض نفسه، وتتراوح قيم هذا المعامل بين (صفر–1)، فالقيم القريبة من الواحد تدل عن اقترابه من الشكل الدائري، وكلّما ابتعدت القيمة عنه باتجاه الصفر دل ذلك على ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري واقترب من الشكل المستطيل، وبلغت نسبة الاستدارة في حوض وادي الزناد بنحو (0.46) وهي قيمة منخفضة مما يدل على أنّ شكل الحوض بعيد عن الشكل الدائري ويميل إلى الاستطالة وعدم انتظام محيطه ويمر بتعرجات ملحوظة تؤثر على أطوال المجاري المائية وخاصة من الرتبة الأولى التي تقع بالقرب من خط تقسيم المياه وأنّ الحوض يمر بمرحلة الشباب، ويعبر عنها رياضيًّا (الدراجي، 2019، ص99):

$$Re = \frac{4\pi A}{p^2} = \frac{4 \times 3.1416 \times 3.06}{(9.05)^2} = \frac{38.45}{81.90} = 0.46$$

– نسبة الاستطالة (Elongation Ratio (R_e): يعبر مؤشر الاستطالة عن مدى تشابه الحوض مع شكل المستطيل، وتتراوح نسبته ما بين (0–1) فكلّما اقتربت هذه النسبة من الواحد الصحيح فإنّه يشير إلى أنّ شكله قريب من الشكل المستدير، أمّا إذا ابتعدت هذه النسبة عن واحد صحيح فإنّه يكون قريبًا من الشكل المستطيل، وبلغت نسبة الاستطالة لحوض وادي الزناد (0.54) وهي قيمة متوسطة الاستطالة مما يدل على أنّ شكله أقرب إلى المستطيل وفي بداية مرحلته العمرية، مما يعمل مستقبلًا على ازدياد طول المجاري المائية وعددها خاصة التي تنتمي إلى الرتب الدنيا، وتستخرج نسبة الاستطالة وفق المعادلة الآتية (Schumm, 1956):

$$Re = 1.128 \times \sqrt{\frac{A}{L}} = 1.128 \times \sqrt{\frac{3.06}{3.6}} = 0.54$$

– معامل الاندماج (Compactness factor (C_e): يُعدّ من المعاملات المورفومترية التي تقيم شكل الحوض، ويشير إلى مدى استطالة أو استدارة الحوض المائي بكل تعرجاته مع مساحته، ودرجة انتظام وتعرج خطوط تقسيم المياه ومدى تباعدها (الدليمي، الجابري، 2018، ص109)، وتشير القيم المرتفعة عن الواحد الصحيح إلى ازدياد تعرجات الحوض وعدم تناسقه وقلة انتظامه، ويحدث في الأحواض التي تتميز بمحيطها الحوضي الكبير مما يدل على ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري واقترابه من الشكل المستطيل، كما أنّ القيم المنخفضة لهذا المعامل تشير إلى تناسق الأحواض في أشكالها وإلى تقدم الحوض في دورة التعرية المائية (جودة، 1991، ص320)، وبلغت قيم معامل الاندماج لحوض وادي الزناد نحو (2.9) مما يدل ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري واقترابه من الشكل المستطيل وقلة انتظامه وعدم تناسقه، كما أنّ كميات التصريف المائي تصل للمجرى الرئيسي بشكل طبيعي عبر فترات زمنية متقطعة، ويستخرج وفق العلاقة الرياضية الآتية (محسوب، 2001، ص212):

$$Ce = \frac{p}{2\sqrt{M\pi}} = \frac{9.05}{2\sqrt{0.97} \times 3.1416} = 2.9$$

– معامل الشكل (Form Factor (F_f): تشير قيم معامل شكل الحوض مدى انتظام وتناسق عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة المنبع وحتى بيئة المصب، وقد تميّز حوض وادي الزناد بالشكل المثلث حيث بلغت قيمته بنحو(0.23) والذي سيؤثر على نظام التصريف المائي مؤديًّا إلى ارتفاع منسوب الماء بشكل سريع وذلك لقرب الجداول والمسيلات المائية من المصب الرئيسي، ويحسب من خلال العلاقة الآتية (Horton, 1932):

$$F = \frac{A}{L^2} = \frac{3.06}{12.96} = 0.23$$

– معامل التفلطح (Lemniscate Factor (K): يُعدّ من القياسات المورفومترية التي تعبر عن شكل الحوض، حيث تشير القيم المرتفعة عن الواحد الصحيح على قلة تفلطحه واقتراب شكله من المستطيل وأنّ الحوض في مرحلة الشباب وعمليات التعرية المائية نشطة على طوله، بينما تشير القيم المنخفضة التي تقل عن الواحد الصحيح إلى ازدياد انبعاج الحوض واتخاذ شكل الدائري أو الكمثري، وبلغت قيمة معامل التفلطح في حوض وادي الزناد (1.05) وهي قيمة

مرتفعة تدل على قلة تفلطحه واقترابه من الشكل المستطيل، ويستخرج وفق المعادلة الآتية (سلوم، 2012، ص551):

$$K = \frac{L^2}{4A} = \frac{(3.6)^2}{4\times3.06} = \frac{12.96}{12.24} = 1.05$$

الجدول (2) الخصائص الشكلية لحوض وادي الزناد.

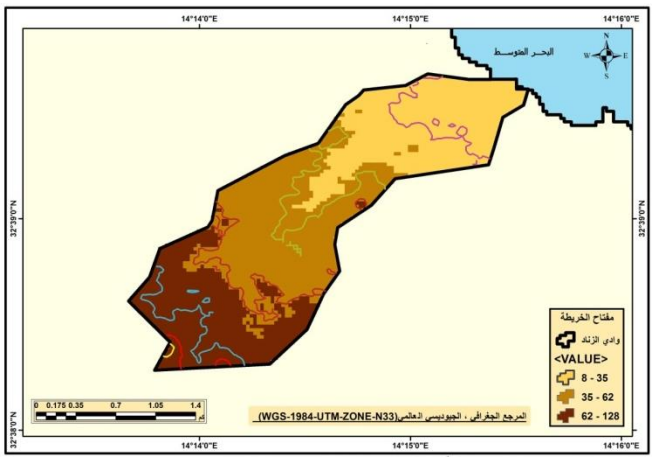
المعطيات الشكلية	قيمتها
مساحة الحوض/كم^2	3.06
محيط الحوض/كم	9.05
نسبة الاستطالة	0.54
نسبة الاستدارة	0.46
معامل الاندماج	2.6
معامل شكل الحوض	0.23
معامل التفلطح	1.05

المصدر: من حسابات الباحث بالاعتماد على برنامج (Arc map 10.8).

ثالثًا: الخصائص المورفومترية التضاريسية (Topological Characteristics)

– التضرس الكلي للحوض (B_h) Total Relief: تبرز أهمية دراسة التضرس باعتباره انعكاسًا لنشاط عمليات التعرية المائية وأثرها في تشكيل سطح الأرض داخل حدود الحوض مما يجعلها تتحدث عن التاريخ الجيومورفولوجي لها (علي، 2001، ص96)، ويقصد بالتضرس الكلي بأنّه الفارق الرأسي بين أعلى نقطة بالحوض وأدناها، على أنْ تكون أعلى النقاط عند خط تقسيم المياه وأدناها عند مخرج الحوض، حيث بلغت أعلى نقطة في الحوض (128 متر) بينما بلغت أدناها (8 متر) فوق مستوى سطح البحر، وبذلك بلغت قيمة التضرس الكلي في الحوض (120 متر)، وبالتالي فإنّ مناسيب التضرس لحوض وادي الزناد تتباين من منطقة إلى أخرى. ويتضح من الخريطة (3) وجود تدرج واضح في الارتفاعات والانخفاضات، حيث يتراوح التضرس في الجزء الشمالي من الحوض بنحو (8 إلى 35 متر)، في حين يتدرج الارتفاع في المنطقة الوسطى بنحو (35 إلى 62 متر)، بينما يزداد التضرس ويرتفع في الجزء الجنوبي من الحوض بنحو (62 إلى 128 متر)، وينعكس التضرس على معدلات النحت والإزالة فكلّما زاد الانحدار بين مناطق تقسيم المياه ومناطق ترسيبها ازدادت المياه قوة في الجريان مما ينعكس على عمليات النحت فتؤدي إلى تباين كبير بين أجزاء الحوض من حيث الارتفاع والانخفاض ومن حيث كثرة الروافد والرتب المائية وخاصة الرتب الأولى التي تتركز في المناطق العليا أي مناطق تقسيم المياه.

خريطة (3) فئات التضرس الرقمي لحوض وادي الزناد

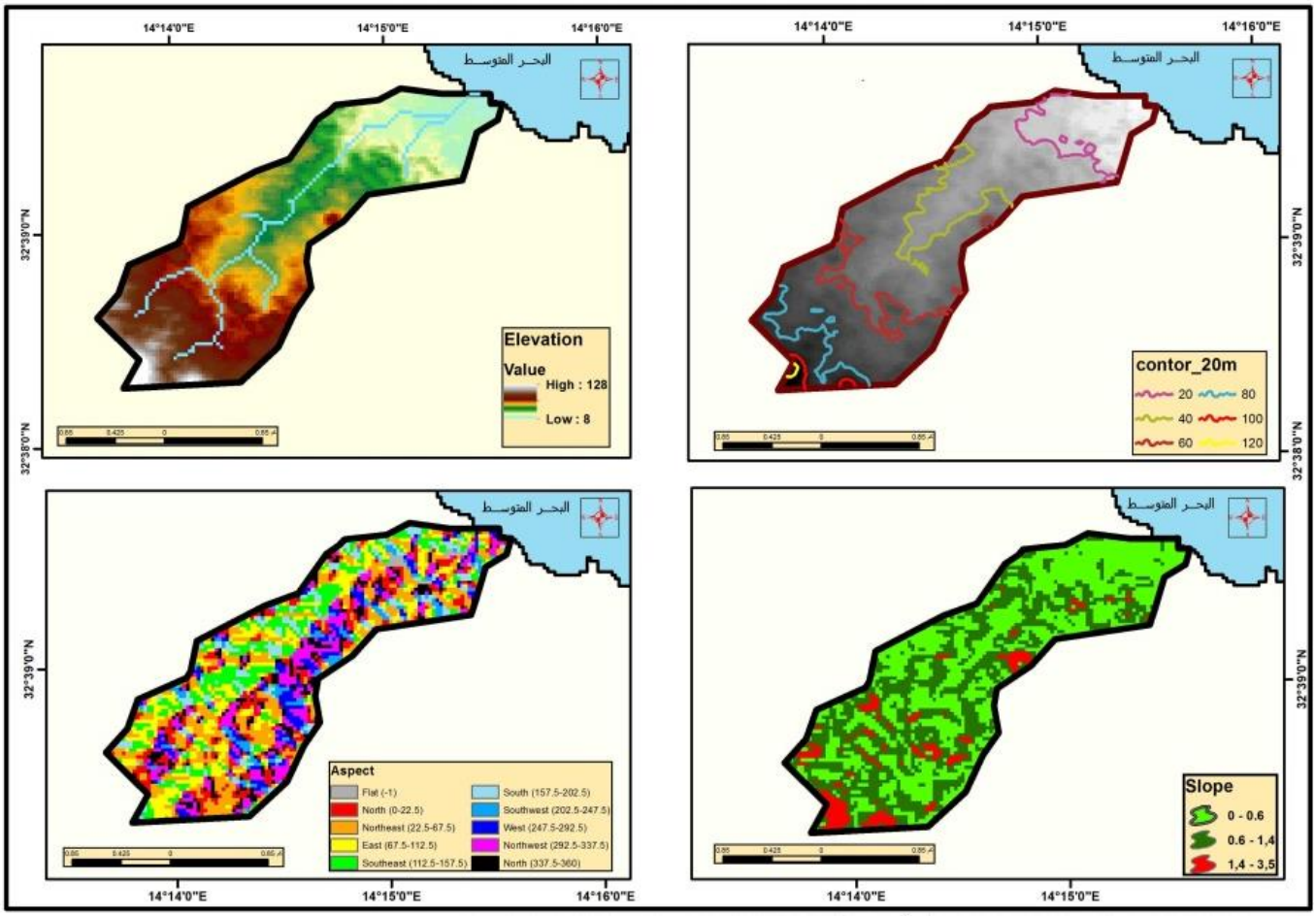


المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– نسبة التضرس (R_r) Relief Ratio: يشير إلى مقدار الاختلاف في الارتفاع بين أعلى نقطة في الحوض وأدناها، وترتفع قيمتها بزيادة الفارق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض وتقل مع زيادة طول الحوض؛ أي أنّ قيمة نسبة التضرس تتناسب طرديا مع درجة تضرس الحوض، بحيث تؤدي ارتفاع قيمته إلى ازدياد كمية الكثافة التصريفية والتكرار المائي وعمق المجاري المائية، وبلغت نسبة التضرس في حوض وادي الزناد (33.3 متر/كم) وهي نسبة مرتفعة جدًا مما تدل على صغر مساحة الحوض وكثافة عملية التعرية المائية وزيادة نسبة حمولة الرواسب المنقولة، كما أنّ عامل الانحدار (Slope) في الحوض المائي يتميز بالتدرج من الجنوب إلى الشمال أي من مناطق تجمع المياه إلى مناطق الجريان ومن ثم المصب بحيث يتراوح انحدارها بالدرجات ما بين (0-3.5 درجة) ويُعدّ حوض وادي الزناد حسب تصنيف (Young, 1972) خفيف الانحدار ويزداد الانحدار في جنوبه وخاصة في المجاري الرئيسية التي يتراوح ميولها ما بين (1.4-3.5 درجة) وهي من أكثر المناطق شدة في الانحدار داخل الحوض المائي وتسمى بالجروف أو التلال المرتفعة، تليها المناطق متوسطة الانحدار التي يتراوح ميولها ما بين (0.6- 1.4 درجة)، في حين تصنف معظم مناطق الحوض بأنّها خفيفة الانحدار أو مستوية السطح(سهلية) وتبلغ درجة ميولها بين (0-0.6 درجة)، ويعبّر عنه رياضيًا بالآتي (الدراجي، 2019، ص109):

$$\text{نسبة التضرس} = \frac{\text{الفرق بين أعلى وأخفض نقطة في الحوض/ م}}{\text{الطول الحقيقي للحوض/كم}} = \frac{120}{3.6} = 33.3 \text{م/كم}.$$

خريطة (4) المظهر الطبوغرافي لحوض وادي الزناد



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– التضاريس النسبية (R_{hp}) Relative Relief: يقصد بها العلاقة بين قيمة التضرس النسبي ومحيط الحوض، وتدل القيم المنخفضة للتضاريس إلى نشاط عملية التعرية، بينما تدل القيم المرتفعة في نسبة تضرسها إلى نشاط عملية النحت مع ظروف التضرس الشديد وأنها ما زالت في المراحل الأولى من دورتها التعروية، وبلغت قيمته في حوض وادي الزناد نحو (1325.9%) وهي قيمة بالغة الارتفاع والتي تدل على التضرس الشديد الذي يشهده الحوض، وأنّه مازال في بداية دورته التعروية، ويتم قياس هذا المؤشر بالصيغة الرياضية الآتية (تراب، 1997، ص212):

$$\text{التضاريس النسبية} = \frac{\text{الفرق بين أعلى وأخفض نقطة في الحوض/ م}}{\text{محيط الحوض/ كم}} \times 100 = \frac{120}{9.05} \times 100 = 1325.9\%$$

– نسبة النسيج الطبوغرافي (T_{tr}) Topography Texture Ratio: عبارة عن وصف طبيعة ودرجة تطور طبوغرافية الروافد المائية، وكذلك مدى اقتراب وابتعاد مجاري الشبكة المائية عن بعضها البعض، ومن التقسيم الذي وضعه كلٌّ من العالم (Smith, 1950) والعالم (Small, 1978) والعالم (Morisawa, 1985) لنسيج الأحواض المائية فقد بلغت نسبة النسيج الطبوغرافي لحوض الزناد نحو (1.4 مجرى/كم)، وهذه القيمة تدل على أنّ الحوض ذات نسيج طبوغرافي خشن، والسبب في ذلك يرجع إلى كثرة الشقوق والفواصل وتشقق التربة والصخور المنفذة للمياه التي ساهمت في زيادة التسرب وتقليل الجريان السطحي، ويمكن حسابه رياضيًا كالآتي (الدراجي، 2019، ص110):

$$\text{نسبة التقطع} = \frac{\text{مجموع أعداد المجاري المائية}}{\text{محيط الحوض/كم}} = \frac{13}{9.05} = 1.4 \text{ مجرى/كم}$$

– قيمة الوعورة (R_n) Ruggedness Value: ترتبط قيمة الوعورة ارتباطًا طرديًا بتضرس الحوض وكثافة التصريف المائي، حيث تنخفض قيمة الوعورة في بداية الدورة التحاتية للحوض حتى تصل إلى حدها الأقصى عند بداية مرحلة النضج ثم تبدأ قيمتها

بالانخفاض مرة أخرى عند نهاية الدورة التحاتية، وبلغت قيمة الوعورة في حوض وادي الزناد (272.8كم) وهي قيمة مرتفعة التضرس نتيجة الانحدار الشديد من الجنوب إلى الشمال وسيادة التعرية المائية وهذا ما يؤكده المدى التضاريسي للحوض والذي يبلغ نحو (120 متر) بين أجزائه العليا والدنيا، وتستخرج وفق المعادلة الآتية (تراب، 1997، ص272):

$$\text{قيمة الوعورة} = \frac{\text{تضاريس الحوض/م} \times \text{كثافة التصريف كم/كم}^2}{\text{محيط الحوض/كم}} = \frac{20.58 \times 120}{9.05} = 272.8 \text{ كم}$$

– التكامل الهبسومتري (Hi) Hypsometric Integration:

يُعدّ من أفضل المتغيرات الكمية في فهم العلاقات الطبيعية وتأثيرها على مراحل التطور الحتي للأحواض المائية، ومن خلال قيمة التكامل الهبسومتري التي تتراوح ما بين (0–1) يمكن تحديد المرحلة العمرية التي يمر بها الحوض المائي، وبلغت قيمة هذا المتغير في حوض وادي الزناد (0.0023 كم^2/م) وهي قيمة منخفضة جدًا مما تدل على حداثة عمر الحوض وصغر حجمه وارتفاع قيم التضرس وأنّه مازال في بداية مراحل الدورة التحاتية أي مرحلة الشباب، ويتم حسابه عن طريق قسمة مساحة الحوض على التضاريس النسبية (العبدان، 2008، ص7):

$$\text{التكامل الهبسومتري} = \frac{\text{مساحة الحوض}}{\text{التضاريس النسبية}} = \frac{3.06}{1325.9} = 0.0023 \text{ كم}^2/\text{م}$$

الجدول (3) الخصائص التضاريسية لحوض وادي الزناد.

المعطيات الشكلية	قيمتها
التضرس الكلي/م	120
نسبة التضرس/كم	33.3
التضاريس النسبية %	1325.9
النسيج الطبوغرافي/كم	1.4
قيمة الوعورة/كم	272.8
التكامل الهبسومتري كم^2/م	0.0023
أعلى نقطة/م	128
أدنى نقطة/م	8

المصدر: من حسابات الباحث بالاعتماد على برنامج (Arc map 10.8).

– الخصائص المورفومترية للشبكة المائية:

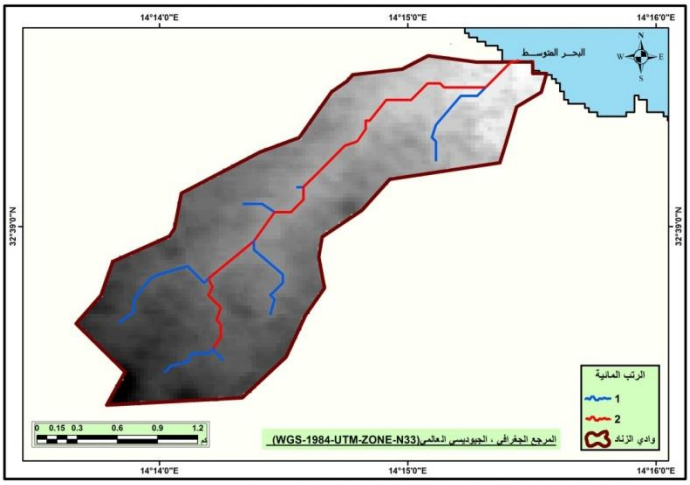
– الرتب المائية وأعداد مجاريها (Nu) Water classes and the number of their channels: عبارة عن مسالك طبيعية تقاس على أساسها كمية المياه الجارية ونسبة تشعبها وكثافة تصريفها فهي تعكس الخصائص العامة للشبكة المائية في منطقة الحوض المتأثرة بالخصائص المناخية والتركيب الجيولوجي والعمليات التكتونية، ويمكن تعريفها بأنّها التدرج الرقمي لمجموع الروافد المائية التي تتكون منها الأودية تبعا لمرحلة النشوء والعوامل والعمليات الجيومورفولوجية، (سلوم، 2012، ص425)، واستخدمت الدراسة طريقة ستراللر (Strahler) في تحديد رتب المجاري المائية وروافدها وذلك لتميزها بالبساطة وسهولة التطبيق ونتائج دقيقة، ويتضح من النتائج المدونة في الجدول (4) أنّ مجموعها في حوض وادي الزناد بلغ اثنان رتب مائية، في حين بلغ عدد مجاريها المائية (13) مجرى مائي بإجمالي طول (63كم) وتوزعت بين الرتب الأولى والثانية في الحوض، وأنّ أعدادها تتناقص مع زيادة قيمة الرتبة، حيث بلغ عدد المجاري المائية للرتبة الأولى نحو(7) مجرى مائي بطول (29كم) وبنسبة (46%) من مجموع المجاري المائية للحوض مما يدل على التنوع الكبير في أعدادها وأطوالها بفعل عمليات الحث المتراجع والتنافس على مناطق الصراع الجيومورفولوجي الحدودية التي أطلق عليها (Horton, 1945) قطاع اللاحث (Belt of no Erosion) وعرّفه بالمسافة الحرجة (Critical distance) التي تفصل بين خط تقسيم المياه وبداية المجاري المائية من الرتبة الأولى وهي حالة محققة نظريًا في حوض وادي الزناد (سلوم، 2012، ص415)، بينما تصل أعداد المجاري المائية للرتبة الثانية نحو (6) مجارى مائية وبطول (34كم) وبنسبة (54%) والتي تسير في مناطق سهلية وقليلة الانحدار وذات نفاذية عالية للمياه.

الجدول (4) عدد وأطوال المجاري المائية للرتب المختلفة في حوض وادي الزناد.

الرتب المائية	عدد المجاري	مجموع أطوال المجاري المائية/كم	النسبة المئوية%
الأولى	7	29	%46
الثانية	6	34	%54
المجموع	13	63كم	%100

المصدر: من حسابات الباحث بالاعتماد على برنامج (Arc map 10.8).

خريطة (5) التوزيع الجغرافي للرتب المائية لحوض وادي الزناد.



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– نسبة التشعب (R_b) Bifurcation Ratio:

هي النسبة التي تربط العلاقة بين عدد المجاري المائية لرتبة ما وبين عدد المجاري المائية للرتبة التي تليها مباشرة، وتحسب وفق المعادلة الآتية (أبو راضي، 2004، ص135):

$$\text{نسبة التشعب} = \frac{\text{عدد المجاري المائية التابعة لرتبة معينة}}{\text{عدد المجاري المائية للرتبة التالية لها}}$$

ومن بيانات الجدول (5) يتضح أنّ نسبة التشعب بلغت 1.1 وهي قيمة منخفضة بحيث تتناقص نسبة التشعب في الرتب الكبرى وتزداد نسبتها في الرتب الصغرى؛ لأنّها تتوزع في الأراضي العليا أو خطوط تقسيم المياه وازدياد عدد الروافد في الرتبة الأولى، وهذا دليل على عدم تماثل الحوض جيولوجيًّا وطوبوغرافيًّا مما يؤثر على التوزيع الجغرافي للمظاهر الجيومورفولوجية داخل الحوض المائي.

الجدول (5) نسبة تشعب المجاري المائية في حوض وادي الزناد.

الرتب	عدد المجاري	نسبة التشعب	عدد المجاري في رتبتين متتاليتين	نسبة التشعب × عدد مجاري رتبتين متتاليتين
الأولى	7	1.1	13	14.3
الثانية	6	--	--	--
المجموع	13	1.1=1÷1.1	13	14.3

المصدر: من حسابات الباحث بالاعتماد على برنامج (Arc map 10.3).

– الكثافة التصريفية (D_d) Drainage Density:

تعبّر الكثافة التصريفية عن العلاقة النسبية بين مجموع أطوال الروافد المائية في أي حـوض ومساحته، حيث تتناقص معـدل الكثافة التصريفية مع زيادة الرتبة المائية من (3كم/كم^2) إلى (2.3 كم/كم^2)، فكلّما ازدادت كثافة التصريف ازدادت معها سرعة المياه وهذا له أثر كبير في نشاط عمليات الحت والتعرية وخاصة عند مدخلات الحوض ومخرجاته، وتستخرج وفق المعادلة الآتية:

$$\text{الكثافة التصريفية} = \frac{\text{الطول الكلي للمجاري المائية (كم)}}{\text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}} = \frac{63}{3.06} = 20.58 \text{ كم/كم}^2$$

وبلغت كثافة الصرف في حوض وادي الزناد (20.58كم/كم^2)، وهذا يعني أنّ لكل (20.58كم) من أطوال مجاري شبكة تصريف الحوض تحتل مساحة قدرها (1كم^2)، وهي قيمة مرتفعة فالحوض يتميز بكثافة تصريف عالية؛ وذلك بسبب صغر مساحة الحوض المائي وشكله المستطيل مما تزداد قيمة الجريان السطحي مع ازدياد معدلات سقوط الأمطار.

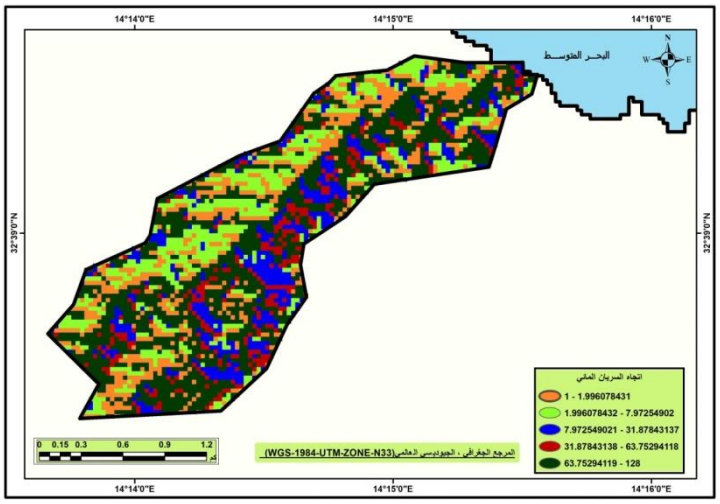
– شدة التصريف (D_i) Drainage Intensity:

تشير القيم المنخفضة لشدة الصرف إلى انخفاض الجريان السطحي للمياه فيترتب على ذلك بطء في عملية إزالة أسطح الأحواض مما يجعلها تحتاج إلى مدة زمنية أطول لتسوية تضاريسها، بينما تشير القيم المرتفعة إلى ازدياد الجريان السطحي ونشاط عمليات الحت والتعرية خاصة في المناطق شديدة الانحدار، وبلغت شدة الصرف لحوض وادي الزناد (0.20 بوصة /كم) وهي قيمة مرتفعة والتي تدل على نشاط العمليات الجيومورفولوجية وإلى سرعة عملية الجريان السطحي بمنطقة الحوض، وتستخرج قيمة شدة التصريف من المعادلة الآتية (Pareta 2011، p264):

$$Di = \frac{Fs}{Dd} = \frac{4.2}{20.58} = 0.20 \text{ بوصة/كم}$$

حيث إنّ: Di شدة الصرف، Fs تكرارية المجاري، Dd كثافة التصريف.

خريطة (6) اتجاه السريان المائي لحوض وادي الزناد



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– تكرارية المجاري(F_s) Stream Frequency:

تعبّر تكرارية المجاري عن العلاقة النسبية بين عدد المجاري المائية ومساحة الحوض، فهي تفيد في إعطاء صورة عامة لمدى شدة تقطع وكثافة شبكة التصريف في وحدة مساحية، فكلما ازدادت أعداد المجاري المائية ازدادت مساحة الحوض مع تزايد درجة الانحدار، بينما أشار هورتون (Horton) إلى أنّ عامل المساحة ليس له تأثير في تكرارية المجاري وأنّ النسبة تكون واحدة في جميع الأحواض مبررًا بوجود عوامل أخرى تتحكم في تكرارية المجاري أهمها البنية والتكوين الجيولوجي والمرحلة التحاتية، وبلغت تكرارية المجاري في الحوض نحو (4.2 مجرى مائي/كم^2) وهي قيمة مرتفعة والتي تدل على ازدياد

المجاري المائية في وحدة المساحة وهو ما هو محقق في الرتبة المائية الأولى، ويمكن الحصول على هذا العامل من المعادلة الرياضية الآتية (الدراجي، 2019، ص119):

$$Fs = \frac{\sum Nu}{Au} = \frac{13}{3.06} = 4.2$$

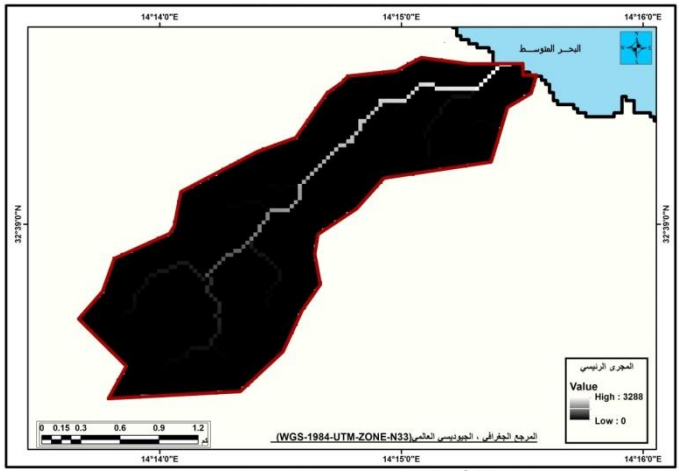
حيث إنّ : Fs= تكرارية المجاري للحوض المائي، $\sum Nu$ = مجموع أعداد المجاري المائية في حوض التصريف، Au = مساحة حوض التصريف.

– معامل التعرج (الانعطاف) (Sinuosity Factor (S_f):

يُعد هذا العامل مهمًا لمعرفة مدى انعطاف المجرى المائي وما لذلك من تأثير على كمية المياه فيه، حيث كلّما ازدادت درجة انعطاف المجرى ارتفعت احتمالات التبخر والرشح نظرًا لطول المسافة التي تتعرض فيها المياه لتلك العمليات، وقُسّم شكل المجرى المائي بحسب درجة التعرج إلى ثلاثة أشكال ففي الحالة الأولى يكون المجرى مستقيمًا (أقل من1.1)، أمّا إذا كانت النسبة ما بين (1.1–1.5) فيكون المجرى ملتويًا، أمّا إذا كانت أكثر من (1.5) فيكون المجرى منعطفًا، ومن ذلك يتبيّن أنّ قيمة التعرج في حوض وادي الزناد بلغت (1.2) مما يعني أنّ المجرى الرئيسي للحوض يمتاز بالالتواء البسيط لأنّ القيمة تمثّل بداية الصنف الثاني (الخريطة 7)، فتعرج الحوض المائي يعمل على تقليل سرعة وصول جريان المياه نحو بيئة المصب وازدياد قيمة التبخر والرشح. ويحسب معامل التعرج وفق المعادلة الآتية (الدليمي، 2005، ص300):

$$\text{تعرج المجرى} = \frac{\text{الطول الحقيقي للمجرى}}{\text{الطول المثالي للمجرى}} = \frac{3.6}{3} = 1.2$$

خريطة (7) المجرى الرئيس لحوض وادي الزناد.

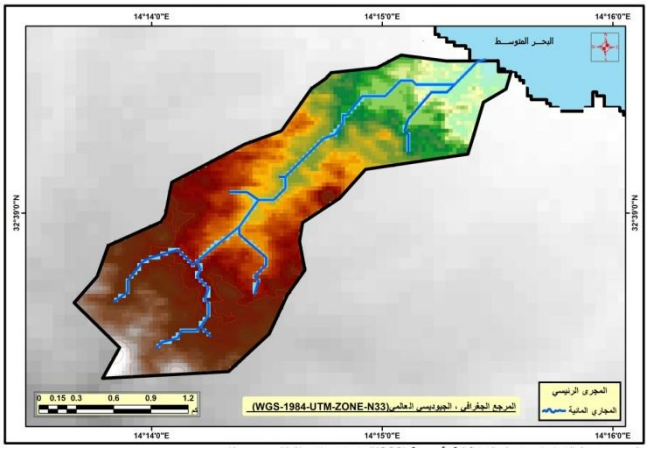


المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

– أنماط شبكة المجاري المائية (Patterns of the raceways network)

يُعدّ نمط التصريف المحصلة النهائية للشكل العام الذي تظهر به المجاري المائية في الحوض، فتوزيع شكل المجاري المائية يوضّح الدلائل الجيومورفولوجية المهمة التي تعكس طراز البنية الجيولوجية السائدة في الحوض، وقد ذكر زرينتز (Zernitz) أنّ أهم العوامل التي تتحكم في أشكال التصريف المائي هي طبيعة الانحدار والتطور الجيومورفولوجي لحوض التصريف، ويُلاحظ من الخريطة (8) أنّ شبكة المجاري المائية للحوض تنتمي إلى نمط التصريف الشجري (Drainage Pattern Dendritic) الذي تلتقي مجاري الأودية الثانوية والبالغ عددها (13) مجرى مائي مع الوادي الرئيسي بزوايا حادة غالبًا ما تكون دون (70˚) (أبو العينين، 1995، ص460)، وعادة ما يرتبط انتشاره في المناطق التي تسود فيها الصخور وعامل الانحدار وخاصة في المناطق المتقدمة في دورتها الحتية كالهضاب والمنحدرات وتأخذ الأراضي الواقعة بين الشبكة التصريفية للحوض في شكل حافات ونتوءات بارزة تمثل قممها مناطق لتقسيم المياه وتلتقي الروافد بعضها ببعض بزوايا حادة.

خريطة (8) أنماط شبكة المجاري المائية لحوض وادي الزناد.



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الرقمية من موقع (USGS) باستخدام برنامج (Arc Map 10.8).

النتائج:

1. إعداد وتصميم العديد من الخرائط الرقمية للحوض المائي وبناء قاعدة بيانات جغرافية للمظاهر والأشكال الجيومورفولوجية باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد.
2. بلغت مساحة حوض وادي الزناد (3.06كم^2) بمحيط مائي بلغ (9.05كم) وهو يُعدّ من الأحواض المائية الصغيرة في منطقة الخمس والذي وصل طوله بنحو(3.6كم).

3. بلغ عدد الرتب المائية لحوض وادي الزناد بواقع رتبتين طبقًا للنظام الذي وضعه ستراللر (Strahler) وبلغ عدد المجاري المائية إلى (13) مجرى مائيًا تباينت أعدادها من رتبة مائية لأخرى وبمجموع أطوال بلغ (63كم).

4. يصنف الحوض المائي ضمن الفئات التضاريسية الشديدة الوعورة بقيمة وعورة وصلت (272.8كم) وبمدى تضاريسي بلغ (120متر)، بينما بلغت نسبة تضرسه (33.3م/كم) وبنسيج طوبوغرافي خشن بلغ (1.4كم).

5. بلغت قيمة الكثافة التصريفية بنحو (20.58 كم/كم^2) وهي قيمة مرتفعة جدًا؛ وذلك بسبب عوامل متداخلة منها: صغر المساحة والشكل المستطيل والنسيج الطبوغرافي الخشن والانحدار الشديد، كما ارتفعت قيمة تكرارية المجاري المائية بنحو(4.2 مجرى مائي/كم^2) وشدة التصريف بلغت (0.20).

التوصيات:

1. إقامة محطات ونقاط رصد للجريان المائي على روافد الحوض والاستفادة من المياه المتجمعة اقتصاديًا بدلًا من ذهابها هدرًا.

2. إقامة السدود التعويقية واختيار مواقعها بدقة وذلك من أجل تنظيم جريان المياه وتغذية الخزان الجوفي بما يحقق كفاءة أعلى واستدامة طويلة الأمد.

3. توظيف نتائج هذه الدراسة وذلك لِمَا تنتجه من نتائج دقيقة وخرائط تفصيلية وبما يخدم الإدارة التخطيطية في بلدية الخمس لتجنب الفيضانات والانجرافات والتي ينعكس بدورها على حياة السكان.

المصادر والمراجع:

أولًا: الكتب:

- جودة، جودة حسنين و عاشور، محمود مُحَمَّد (1991) وسائل التحليل الجيومورفولوجي، منشأة المعارف، الإسكندرية.
- الدراجي، سعد عجيل (2019) الجيومورفولوجيا التطبيقية، دار الحداثة للطباعة والنشر، بغداد.
- الدليمي، خلف و الجابري، علي (2018) استخدام الجيوماتكس في دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية الجافة، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان.
- الدليمي، خلف حسين (2005) التضاريس الأرضية (دراسة جيومورفولوجية عملية تطبيقية) دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
- الصالح، مُحَمَّد بن عبد الله (1996) الطرق الأولية لتحليل الصور الجوية والفضائية، مطابع جامعة الملك سعود، الرياض.
- محسوب، مُحَمَّد صبري (2001) جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة.
- مكولا، باترك (1986) الأفكار الحديثة في الجيومورفولوجيا، ترجمة: وفيق الخشاب وعبد العزيز الحديثي، مطبعة جامعة بغداد ، العراق.

ثانيًا: المجلات والدوريات:

- تراب، مُحَمَّد مجدي (1997) التطور الجيومورفولوجي لحوض وادي القصيب بالنطاق الشرقي من جنوب شبه جزيرة سيناء، المجلة الجغرافية الجمعية الجغرافية المصرية، العدد30.
- سلوم، غزوان مُحَمَّد (2012) حوض وادي قنديل– دراسة مورفومترية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد الأول.
- سليم، علي مصطفى (2016) تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي كعام باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المؤتمر الدولي للتقنيات الجيومكانية، طرابلس، ليبيا.
- العبدان، رحيم (2008) التحليل الرقمي للخصائص المورفومترية لحوض وادي تانجيرو، مجلة جامعة القادسية، العدد الثالث.
- قناو، خالد أحمد (2021) المناخ وأثره على التطور الجيومورفولوجي لحوض وادي لبدة، أطروحة دكتوراه (غير منشورة) ليبيا، كلية الآداب، جامعة طرابلس.
- قناو، خالد أحمد و الصادق، محمود عبد الصادق (2022) التحليل الرقمي للخصائص المورفومترية لحوض وادي الطوالب في منطقة الخمس واستثمارها اقتصاديا" مجلة العلوم الإنسانية، كلية الآداب، جامعة المرقب، العدد 25.
- قناو، خالد أحمد و بالنور، خالد مُحَمَّد (2022) تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي سوق الخميس في منطقة الخمس، بحث مقدم للمؤتمر الجغرافي السادس عشر، طبرق.
- الكف، مُحَمَّد أحمد (2025) الخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولوجية لحوض وادي الرمل، مجلة أبحاث، كلية الآداب، جامعة سرت، العدد17.

ثالثًا: المراجع الأجنبية:

- Pareta ,K. Pareta, U (2011)Hydro morphological study of Karawan watershed Using GIS and Remote Sensing Techniques, E- International Scientific Research Journal .
- Schumm S,A (1977) The Fluvial System John Wily and Sons New York.
- Howard, A,D, (1967)Drainage Analysis in Geologic Interpretation a Summation the American Association of petroleum Geologists Bull.