Journal of Azzaytuna University (JAZU)
JAZU Homepage: https://azzujournal.azu.edu.ly
ISSN (Print):2523-1006, ISSN (Online): 3105-4420 **DOI: 10.35778/d5nzyq39**

تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

د. سليمان يحي السبيعي*

أستاذ مشارك–قسم الجغرافيا–كلية الآداب–جامعة سرت

dr.soliman.alsubaie@su.edu.ly

المؤلف المرسل: (*)

تاريخ النشر : 31 مارس 2026

الملخص: تهدف الدراسة إلى تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة عن طريق معالجة وتحليل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) Digital Elevation Model المستخرجة من المرئية الفضائية ASTER بدقة تمييزية (30) متر، من خلال توظيف برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لتحديد واستخلاص شبكة التصريف المائية وتصنيف رتبها وفقاً لتصنيف(Strahler,1957) ، كما تم استخدام المعادلات الرياضية في حساب قيم (25) مُتغيراً مورفومترياً والتي تشمل: الخصائص المساحية، التضاريسية، والشكلية إضافة إلى خصائص شبكة التصريف المائي.

وتوصلت الدراسة إلى أن حوض وادي هراوة يعتبر من الأحواض كبيرة المساحة، حيث بلغت مساحته حوالي 2536.63 كم^2، ومحيط حوضه 505.86 كم، ويميل الحوض إلى الاستطالة بقيمة 0.53، ويوصف الحوض بأنه ذو نسيج خشن بلغ حوالي (2.01 مجرى/كم^2) وفق تصنيفSmith ، نتيجة سيادة الصخور الجيرية اللينة. كما بلغ التكامل الهيبسومتري نحو (0.69)، مما يدل على أن الحوض لا يزال في مرحلة الشباب من دورته الحتّية.

وبلغت شبكة التصريف المائية للحوض الرتبة السادسة. شكلت مجاري الرتبة الأولى والثانية حوالي 90.47 % من إجمالي عدد الروافد وأطوالها، كما أظهرت الدراسة انخفاض نسبة التشعب للحوض، حيث بلغت حوالي 3.823 مجرى/كم، مما انعكس على انخفاض كثافة التصريف التي بلغت (0.747 كم/كم^2) وشدة التصريف (0.53 بوصة/كم)، وهو ما يدل على بطء استجابة الجريان السطحي وتأخر ذروة التصريف، وبالتالي انخفاض احتمالية الفيضانات المفاجئة.

الكلمات المفتاحية: وادي هراوة –الخصائص المورفومترية –نموذج الارتفاعات الرقمية –نظم المعلومات الجغرافية–نسبة التشعب.

ABSTRACT: This study aims to analyze the morphometric characteristics of Wadi Harawa basin by processing and analyzing Digital Elevation Model (DEM) data extracted from ASTER satellite imagery with a resolution of (30) meters. Geographic Information System (GIS) software was employed to identify and extract the drainage network and classify its order according to the Strahler (1957) classification. Mathematical equations were used to calculate the values of (25) morphometric variables, including areal, topographic, and shaped morphological characteristics, in addition to the drainage network characteristics. The study concluded that Wadi Harawa basin is a large basin, with an area of approximately 2536.63 km² and a perimeter of 505.86 km. The basin has an elongation of 0.53 and is characterized by a coarse texture, with an average of approximately 2.01 streams/km² according to Smith's classification, due to the predominance of soft limestone. The hypsometric integration reached approximately 0.69, indicating that the basin is still in the early stages of its erosion cycle. The basin's drainage network was classified as sixth-order. First- and second-order channels constituted about 90.47% of the total number and length of tributaries. The study also revealed a low Bifurcation ratio of the basin, at approximately 3.823 channels/km², which resulted in a low drainage density of 0.747 km/km² and a low Drainage intensity of 0.53 in/km². This indicates a slow surface runoff response and a delayed peak discharge, thus reducing the likelihood of flash floods.

Keywords: Wadi Harawa - morphometric characteristics - Digital Elevation Model - Geographic Information System - Bifurcation ratio

 This is an open access article under the CC BY-SA license.

المقدمة:

يهتم علم الجيومورفولوجيا بدراسة العمليات الميكانيكية والكيميائية التي تحدث فوق سطح الأرض أو بالقرب منه، والتي تؤدي إلى تكوين وتطور السمات الطبوغرافية لسطح الأرض. ومن خلال دراسة هذه العمليات؛ يهدف علم الجيومورفولوجيا إلى تحديد وفهم التغيرات التي تطرأ على سطح الأرض عبر الزمن، بالإضافة إلى الأسباب الكامنة وراء هذه التغيرات، ومن ناحية أخرى يُشير مصطلح (علم المورفولوجي) إلى التخصص العلمي المعني بقياس وتحليل أشكال سطح الأرض وتكوينها، مما يوفر فهماً كمياً لخصائص أشكال سطح الأرض (Rafiq et al., 2013).

لقد خضع تطور أساليب قياس أشكال سطح الأرض لعملية طويلة، فمنذ منتصف القرن العشرين شهدت الدراسات الجغرافية عموماً، والجيومورفولوجية خصوصاً ثورةً كميةً، بعدما كان البحث الجغرافي يعتمد على الأساليب الوصفية في دراساته، وعلى الرغم من أنها كانت دراسات رائدة إلا أنها اتُّهمت بقلة الموضوعية، وتأثرها الشديد بخبرات الباحثين وخلفياتهم العلمية المختلفة، وأرائهم الشخصية، وكانت هذه من أبرز المآخذ على المنهج الوصفي القديم، الذي قاده في الجيومورفولوجيا مؤسسه الفذ وليم موريس ديفيز (شحدة، 2016، ص 87).

لقد لعبت أعمال هورتون Horton (1932-1945)، ولانغباين Langbein (1947)، وسميث Smith (1950)، وشوم Schumm (1956)، وستراهلر Strahler (1957-1964) دوراً محورياً في تحويل دراسة أحواض التصريف النهري من منهج وصفي واستنتاجي إلى منهج كمي دقيق. وقد كان للتحليل المورفومتري الذي قدمه هورتون Horton لأول مرة عام 1945 في مجال هيدرولوجية أحواض التصريف المائية دور فعّال في فهم خصائص هذه الأحواض وطرق تكوينها وتطورها، حيث عزز التحليل المورفومتري لأحواض التصريف فهم كيفية تأثير شبكات التصريف السطحي علي خصائص التضاريس وتقييم أنظمة التصريف كمياً (Padala, R. S. & Mathew, A. 2024) وقد مهدت كل هذه الأعمال لظهور المدرسة المورفومترية في الدراسات الجيومورفولوجية وتطورها بشكل كبير، لتكون نواة لظهور علم الجيوموفومتري (Geomorphometry) الذي يهتم بتحليل وقياس أشكال سطح الأرض كمياً (شحدة، 2016، ص 88).

غير أن وسائل التحليل المورفومتري الحديثة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية أخذت تتطور بسرعة هائلة، وأصبحت تأخذ مكانة هامة في البحوث الجيومورفولوجية، وحلت محل الطرق التقليدية. حيث أثبتت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS أنها فعّالة للغاية وذات كفاءة كبيرة في التحليل المورفومتري لأحواض التصريف المائية، حيث توفر هذه التقنيات منصة قوية تسمح بإدارة البيانات الضخمة واسترجاعها وعرضها وتحليلها وتخزينها. مما يُتيح التعامل مع المشكلات المعقدة في التحليل المورفومتري لأحواض التصريف. بما توفره من وقت وجهد ودقة في انجاز العمليات التحليلية للأودية والمجاري النهرية.

تزايد الاهتمام مؤخراً بدراسة الأحواض المائية في ليبيا، وذلك بسبب تزايد المخاطر البيئية الناتجة عن جريان تلك الأحواض، وزيادة احتمالية حدوث ظاهرة السيول بها، لا سيما ونحن نعيش مرحلة التغير المناخي الذي يشهده العالم خلال هذه السنوات، وما يتبعه من تعاقب دورات الجفاف والفيضانات. وخير مثال على ذلك ما حدث في وادي درنة عقب إعصار دانيال يوم 10 سبتمبر 2023م، والتي تعتبر أكبر الكوارث الطبيعية التي شهدتها ليبيا عبر التاريخ، حيث أدت هذه الكارثة إلى وفاة أكثر من 5000 شخص، وتدمير آلاف المباني في المدينة وجرفها إلى البحر.

وفي هذا الإطار تأتي الدراسة الحالية متواكبة مع هذا الاتجاه؛ الذي يهدف إلى إنشاء قاعدة بيانات جغرافية لأحواض التصريف المائية بمنطقة سرت، حيث تشكل الدراسات المورفومترية للأحواض الجافة خطوة مهمة نحو فهم العمليات الجيومورفولوجية وتطورها، ومن خلالها يتم الكشف عن الأنماط الجيولوجية والترسيبية التي تسهم في نشأتها، مما يساعد في تفسير ديناميكيات السطح وتحديد تأثيرات المناخ والتغيرات البيئية على تشكيل المظهر الجيومورفولوجي لهذه الأحواض.

كما تساهم هذه الدراسات في توجيه جهود التخطيط البيئي، والحفاظ على الموارد الطبيعية وتنميتها، وتساعد في تطوير استراتيجيات لإدارة مخاطر الفيضانات والإنذار المبكر. وبذلك تعتبر هذه الدراسات أداة فعّالة للباحثين والمخططين يُستفاد منها في أبحاث الزراعة وموارد المياه، واختيار مواقع إنشاء السدود والتخطيط المستدام لاستخدام الأراضي والتنمية المستدامة وطرق التكيف مع التغيرات المناخية في هذه المناطق.

مشكلة الدراسة:

قام الباحث بطرح عدد من التساؤلات لجعل الإطار المنهجي للبحث أكثر تحديداً ومن أهمها:

1. هل تؤثر الخصائص الجيولوجية على الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة وشبكته المائية؟
2. هل يمكن حساب الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية؟
3. ما مدى كفاءة الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لحوض التصريف من خلال معالجة وتحليل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؟

فرضيات الدراسة:

1. تؤثر الخصائص الجيولوجية التي تشمل التركيب الصخري Lithology ونظام بنية الطبقات Structure على الخصائص المورفومترية للأحواض المائية، سواء في نشأتها أو تطورها.

2. يمكن حساب الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، من خلال معالجة وتحليل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM).
3. أثبتت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS أنها فعّالة للغاية وذات كفاءة كبيرة في التحليل المورفومتري لأحواض التصريف المائية، حيث توفر هذه التقنيات منصة قوية تسمح بإدارة البيانات الضخمة واسترجاعها وعرضها وتحليلها وتخزينها. مما يُتيح التعامل مع المشكلات المعقدة في التحليل المورفومتري لأحواض التصريف.

أهمية الدراسة:

1. تتمثل أهمية الدراسة في كونها تُعد بمثابة خطوة في توفير إطاراً مرجعياً لدراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف المائية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بمناطق أخرى من ليبيا. إذ يُلاحظ افتقار الدراسات الجغرافية المحلية إلى هذا الإطار.
2. إن فهم الخصائص المورفومترية للأحواض المائية وتحليلها يمكن أن يوفر فهماً عميقاً لسلوك وخصائص العمليات الهيدرولوجية والتنبؤ بأنماط الجريان السطحي، وتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وتساعد في تطوير استراتيجيات لإدارة مخاطر الفيضانات والإنذار المبكر.
3. تُبرِز هذه الدراسة الأهمية البالغة لإنشاء قاعدة بيانات مورفومترية لأحواض التصريف المائية في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تُعاني من تدهور عناصر المنظومة البيئية، يُستفاد منها في أبحاث الزراعة وموارد المياه، واختيار مواقع إنشاء السدود والتخطيط المستدام لاستخدام الأراضي والإدارة البيئية في هذه المناطق.

أهداف الدراسة: يهدف البحث إلى تحقيق ما يلي:

1. استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لحوض تصريف وادي هراوة وذلك بالاعتماد على معالجة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية.
2. اشتقاق وبناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة من خلال نظم المعلومات الجغرافية.
3. إنشاء خرائط رقمية دقيقة لحوض وادي هراوة وشبكته المائية بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي هراوة في وسط الشمال الليبي عند خليج سرت، إلى الشرق من مدينة سرت بحوالي 70 كم. ويمتد فلكياً بين خطي طول 25˝.57'.16°-42˝.24'.17° شرقًا، وما بين دائرتي عرض 28˝.07'.30°–05˝.08'.31° شمالاً خريطة (1)، وينحدر الوادي من عند دور أم الدحيّ ودور أبولشلم في الجنوب الذي يمثل خط تقسيم المياه الجنوبي مع وادي تلال. حيث يشق مجراه ممتداً من الجنوب إلى الشمال ليصب في خليج سرت عند منطقة هراوة إلى الشرق من مدينة سرت بحوالي 70 كم. ليصل إلى البحر.

يحده من الشرق خط تقسيم المياه مع وادي الحمر حيث يفصلهما سماح أعليم الرمث في الشمال، ودور الأنوف وخشيم المساجير في الجنوب. ويحده من الغرب خط تقسيم المياه مع وادي تلال؛ حيث تفصل بينهما حمراية أبوشوك في الجنوب، وعلمّ القرينة وخط تقسيم المياه مع وادي العميرة في الشمال.

تبلغ مساحة حوض وادي هراوة حوالي 2536.63 كم^2، ويصل أقصى طول للوادي من الجنوب إلى الشمال حوالي 106.43 كم، ويبلغ أقصى عرض له حوالي 40.73 كم في الجزء الذي يمتد من علمّ القرينة غرباً إلى سماح أعليم الرمث شرقاً، بينما يبلغ متوسط عرضه 24كم، في حين يبلغ محيط حوض الوادي حوالي 506.86 كم.

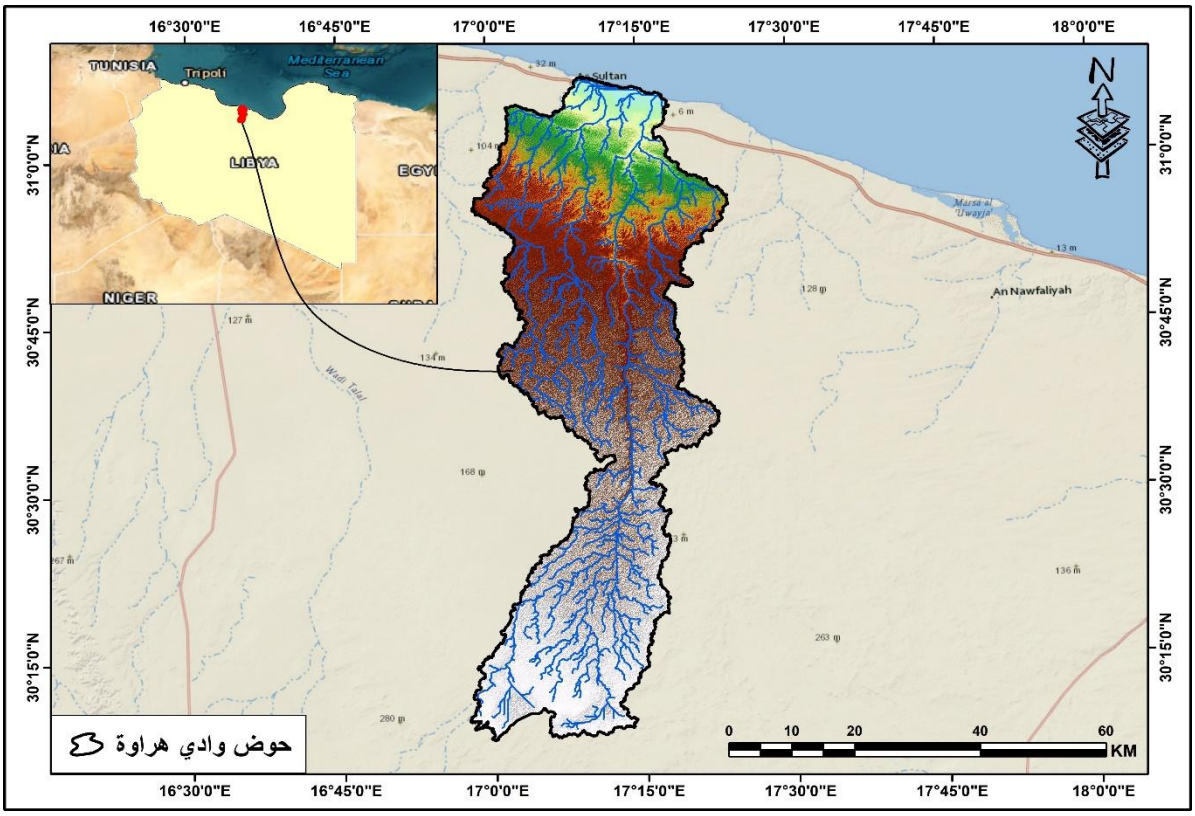
منهجية الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة أعتمد الباحث على استخدام المنهج الوصفي Descriptive Method لوصف بعض الظاهرات المورفولوجية والجيولوجية لحوض الوادي، كما أعتمد الباحث على استخدام المنهج التحليلي الكمي The quantitative analytical Method لتحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة، إعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) من خلال تطبيق المعادلات الرياضية من أجل حساب المعاملات المورفومترية لحوض وادي هراوة وشبكته المائية. كما تم استخدام الأسلوب الكارتوجرافي في رسم الخرائط الرقمية لحوض الوادي وشبكته المائية.

مصادر البيانات: اعتمدت الدراسة على البيانات المُشتقة من:

1. نموذج الارتفاعات الرقمية DEM يُغطي منطقة الحوض، من بيانات القمر الصناعي AETER لسنة 2014 بدقة تمييزية 30*30 متر.
2. البيانات الجيولوجية: أُشتقّت من الخرائط الجيولوجية لسنوات 1977-1980 بمقياس رسم 1:250000 الكتيب التفسيري، لوحة قصر سرت ولوحة النوفلية، الصادرة عن مركز البحوث الصناعية، طرابلس، ليبيا.
3. الكتب والرسائل العلمية والأبحاث المنشورة التي تناولت موضوع الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف المائية، بحيث وفرت إطاراً مرجعياً يمكن الاعتماد عليه في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة.
4. التحليل المورفومتري للبيانات من خلال تطبيق العديد من الصيغ والمعادلات الرياضية لحساب قيم المعاملات المورفومترية المساحية والشكلية والتضاريسية ومعاملات شبكة التصريف المائية، ويوضح الجدول (1) أهم الصيغ الرياضية المستخدمة في حساب المعاملات المورفومترية في حوض وادي هراوة.

خريطة رقم (1) الموقع الجغرافي لحوض وادي هراوة



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج Arc map 10.8

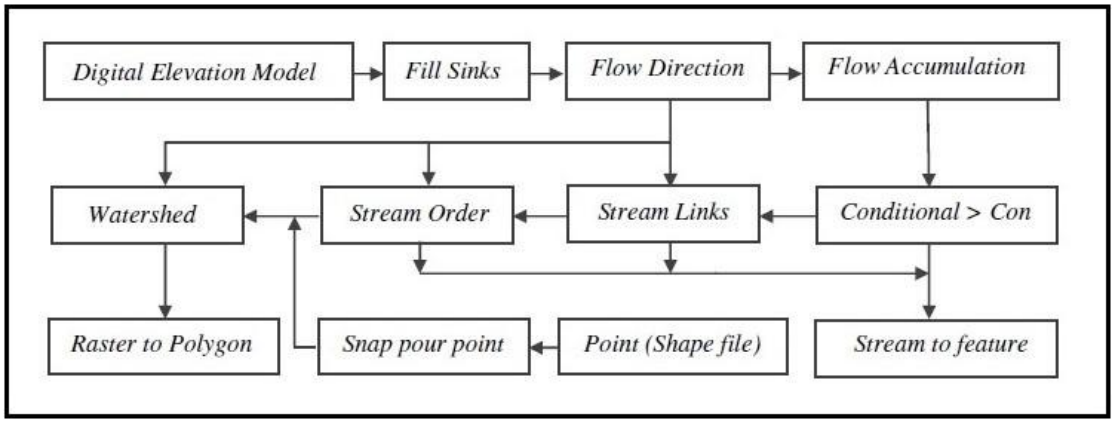
No.	المعامل المورفومتري Morphometric parameter	صيغة المعادلة Formula	المرجع References
Areal parameters المعاملات المساحية			
1	Area (A) المساحة	GIS (km^2)	GIS
2	Perimeter (P) المحيط	GIS (km)	
3	Length (L_b) الطول	GIS (km)	Schumm (1956)
4	Width (W) العرض	GIS (km)	Schumm (1956)
Shape parameters معاملات الشكل			
5	(R_e) معامل الاستطالة	$R_e = 1.128 * \sqrt{A} / L_b$	Schumm (1956)
6	(R_c) معامل الاستدارة	$R_c = 4 * 3.14 * A / P^2$	Miller (1953)
7	(R_f) معامل الشكل	$R_f = A / L_b^2$	Horton (1932)
8	(k) نسبة التفلطح	$k = L_b^2 / 4 * A$	Chorely (1957)

9	معامل الاندماج (C_c)	$C_c=P/2(3.14*A)^{0.5}$	Horton (1945)
Relief parameters المعاملات التضاريسية			
10	تضرس الحوض (**B_h**)	$B_h = H - h$	Schumm (1963)
11	نسبة التضرس (**R_r**)	$R_r = H / L_b$	Schumm (1956)
12	التضاريس النسبية (**R_{hp}**)	$(R_{hp}) = (H/P *100)$	Milton (1957)
13	درجة الوعورة (**R_n**)	$R_n=D_d*(\frac{H}{1000})$	Strahler (1957)
14	نسيج الحوض (**D_t**)	$D_t = N_u / P$	Schumm (1956)
15	التكامل الهبسومتري (**H_i**)	$H_i = (\bar{H}-h)/(H-h)$	Strahler (1957)
Water network parameters معاملات الشبكة المائية			
16	الرتب النهرية (**u**)	Hierarchical order (GIS)	Strahler (1957)
17	أعداد المجاري (**N_u**)	GIS	Horton (1945)
18	أطوال المجاري (**L_u**)	GIS (km)	Horton (1945)
19	متوسط طول المجاري (L_{sm})	$L_{sm} = L_u / N_u$	Strahler (1964)
20	نسبة طول المجاري (R_L)	$R_L = L_u / L_u-1$	Horton (1945)
21	نسبة التشعب (R_b)	$R_b = N_u / N_u+1$	Schumm (1956)
22	كثافة التصريف (D_d)	$D_d = L_u / A$	Horton (1945)
23	تكرار المجاري (F_s)	$F_s = N_u / A$	Horton (1945)
24	شدة التصريف (D_i)	$D_i = F_s / D_d$	Faniran (1968)
25	طول الجريان الصفائحي (**L_o**)	$L_o = \frac{1}{2} * D_d$	Horton (1945)

جدول (1) الصيغ الرياضية المستخدمة في حساب المعاملات المورفومترية لحوض وادي هراوة

التقنيات المستخدمة في الدراسة: اعتمدت الدراسة في تحليلها للبيانات على عدد من البرامج أهمها:

1. برنامج Arc GIS 10.8 من إنتاج شركة إزري (Esri) الأمريكية، وتم استخدامه في تحليل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) من خلال الأداة المساعدة (Arc Hydrology) الملحقة بالبرنامج والخاصة بتحليل أحواض التصريف، للحصول على بعض القياسات المورفومترية كطول الحوض وعرضه ومساحته ومحيطه، ومساحة التكوينات الجيولوجية، واشتقاق شبكة التصريف المائية لحوض الوادي. ويوضح شكل (1) مراحل استخلاص حوض التصريف وشبكة التصريف المائية من نموذج الارتفاع الرقمي. إضافة إلى إعداد الخرائط الرقمية للحوض.
2. برنامج Microsoft Excel: وتم من خلاله حساب المعاملات المورفومترية للخصائص المورفومترية لحوض الوادي باستخدام الصيغ الرياضية المختلفة.



شكل (1) خطوات اشتقاق حوض وشبكة التصريف المائية من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)

الدراسات السابقة:

شـــهدت دراســـات التحليل المورفومتري للأحواض المائية زيادة ملحوظة بين عامي 2010-2025، حيث أظهر البحث في الأدبيات على قاعدة بيانات ســكوبس (https://www.scopus.com) باســتخدام مصــطلح البحث (التحليل المورفومتري للأحواض المائية) وجود 45.580 ألف مقالة علمية خلال الفترة المذكورة. يُعزى هذا الاهتمام المتزايد إلى التحديات المناخية الراهنة وتوفر تقنيات الاســتشــعار عن بُعد. وقد ســاهمت هذه التطورات في التغلب على القيود المتعلقة بالحجم والتكاليف، مما أتاح اتباع نُهج أكثر شمولية في الدراســات التي تتناول الخصــائص المورفومترية لأحواض التصــريف المائية. حيث قام الباحث في هذا الجانب بالاطلاع على بعض الدراسات الأجنبية وترجمتها، وخاصة تلك المُصنفة ضمن قاعدة بيانات سكوبس Scopus التي تعتبر ذات موثوقية عالية ومنها:

1. دراســـة (Revuelta –Acosta JD, et al., 2025) بعنوان: تقييم جيومكاني شـــامل للمعايير المورفومترية والأثار الهيدرولوجية في خمسة أحواض مكسيكية. تقدم هذه الدراسة توصيفًا جيومكانياً شاملاً للخصائص المورفومترية عبر خمسة أحواض نهرية مكسيكية بارزة تصب في خليج المكسيك. وباستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية المتقدمة، قام الباحثون بتحليل معايير مورفومترية متنوعة تُسـلط الضـوء على السـلوك الهيدرولوجي والديناميكيات البيئية لهذه الأحواض. تشـير نتائج هذه الدراسة إلى تباين كبير في مسـاحة الحوض وشـكله وكثافة تصـريفه وخصـائصـه الطبوغرافية، والتي قد تؤثر مجتمعةً على توليد الجريان السـطحي، واحتمالية حدوث الفيضـانات، ونقل الرواسـب. كما أبرز التحليل الدور الحاسـم للمعايير المورفومترية في فهم الاسـتجابات الهيدرولوجية لهذه الأحواض، مما يُسـهم في الإدارة الفعالة للموارد المائية واسـتراتيجيات الحد من الفيضـانات.

وأكدت الدراسة على أهمية اتباع مناهج متكاملة تجمع بين الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية والآثار الهيدرولوجية لمعالجة القضايا البيئية الملحة.

2. دراسة (Padala, R. S. & Mathew, A. 2024) بعنوان التحليل المورفومتري لأحواض تصريف المياه: مراجعة شاملة لمصادر البيانات وجودتها والتقنيات الجيومكانية. وهي دراسة نقدية تهدف إلى أوجه القصور والثغرات البحثية في كثير من البحوث. حيث ترى غياب التصنيفات المورفومترية الواضحة وذات الدلالة في تقييم المعاملات المورفومترية للأحواض. فالعديد من الأوراق البحثية تشير إلى ما إذا كانت القيمة الناتجة للمعامل المورفومتري مرتفعة أو منخفضة؛ دون تقديم نطاقات قيم محددة أو دلالات مرتبطة بها. علاوة على ذلك، افتقرت بعض المقالات إلى التحقق من قانوني هورتون الأول والثاني وتقييم الارتباطات بين المعايير المورفومترية.

3. دراسة (Farhan, et al. 2015) بعنوان: التحليل الكمي للمعايير الجيومورفومترية لوادي الكرك (الأردن) باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، استخدمت الدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية DEM المُشتق من المرئية الفضائية ASTER بدقة 30 متر لإجراء تحليل جيمورفومتري للخصائص المورفومترية المساحية، والشكلية والتضاريسية، والخصائص المورفومترية للشبكة المائية، لحوض وادي الكرك، والأحواض الفرعية به، كما أُعِدَّ المنحنى الهيبسومتري والتكامل الهيبسومتري باستخدام خرائط طبوغرافية بمقياس 1:50,000 وكشفت النتائج أن وادي الكرك في مرحلة الشباب من دورته الحتّية. كما أن التعرية النهرية المصاحبة لمراحل التجديد المتعاقبة تلعب دوراً هاماً في تطور حوض التصريف، حيث تعرض الحوض إلى أربع مراحل لتجدد الشباب نتج عنها نشاط في عمليات التعرية المائية.

4. دراسة (Rafiq et al., 2013) حول تطبيق التحليل المورفومتري في الدراسات الجيوهيدرولوجية باستخدام التقنيات المكانية بالتطبيق على حوض تصريف فيشاف. وتوصلت الدراسة إلى أن عدد المجاري المائية وطولها يكونان في أقصى حدّ لهما في الرتبة الأولى ويتناقصان مع تزايد الرتبة، وأن حوض التصريف يميل للاستطالة حيث بلغ معامل الاستطالة 0.15، ومعامل الشكل 0.22 وأن الحوض يتميز بانخفاض كثافة التصريف، كما توصلت إلى لأن التحليل المورفومتري القائم على GIS يعتبر أداة فعّالة في الدراسات الجيوهيدرولوجية.

5. دراسة (Pareta & Pareta 2011) بعنوان: دراسة هيدروموفوجيولوجية لحوض كاروان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، استخدمت الدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية DEM المُشتق من المرئية الفضائية ASTER لإجراء دراسة هيدرومورفوجيولوجية لحوض وادي كاروان بهدف الكشف عن المناطق المحتملة لوجود المياه الجوفية بالحوض، نظراً لشُحّة المياه في المنطقة، وقام الباحثان بحساب أكثر من 85 معاملاً مورفومترياً لتقييم دلالاتها الهيدرولوجية، وبناءً على تحليل جميع المعايير المورفومترية؛ توصلت الدراسة إلى أن تطور التعرية في المنطقة بفعل الجداول قد تجاوز مرحلة النضج، وأن التركيب الصخري كان له تأثير كبير على تطور نظام الصرف. كما أنه من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية في المعمل تم التوصل إلى أن رواسب الوديان

والسفوح المدفونة مناطق ذات إمكانات جيدة للمياه الجوفية، وكذلك مناطق الفواصل والكسور وتقاطعاتها، تُعد مواقع مُحتملة لاستغلال المياه الجوفية. كما توصلت الدراسة إلى أن التحليل الهيدرومورفوجيولوجي يُعدّ أداةً بسيطةً لا تتطلب تكلفةً أوليةً كبيرةً لدراسة حوض النهر داخل المختبر، واختيار المناطق ذات الإمكانات المحتملة للمياه الجوفية لإجراء دراسات ميدانية مُركّزة لاحقة. وأن هذا التحليل يُقلّل من تكاليف العمل الميداني، والوقت المُستغرق، ويُحسِّن جودة النتائج.

تنظيم الدراسة: لتسهيل تنظيم البحث قُسِّمَت الدراسة إلى العناصر التالية:

أولاً: الخصائص الجيولوجية لحوض التصريف.

ثانياً: الخصائص المورفومترية لحوض التصريف.

ثالثاً: الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف.

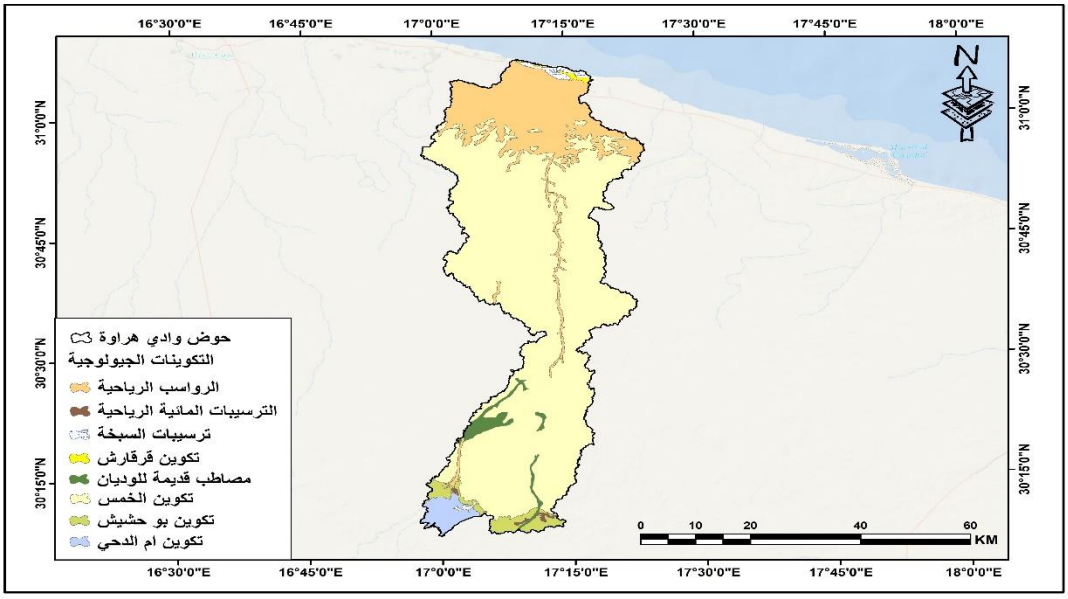
رابعاً: النتائج والتوصيات.

أولاً: الخصائص الجيولوجية لحوض التصريف:

يؤثر البناء الصخري Lithology ونظام بنية الطبقات Structure على الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للأحواض النهرية، سواء في نشأتها أو تطورها، ولهذا فلا بد من إبراز الخصائص الليثولوجية لصخور حوض التصريف وتوزيعها الجغرافي.

ومن خلال دراسة الخريطة الجيولوجية لحوض وادي هراوة خريطة (2)، يتضح أن التركيب الجيولوجي للحوض يتسم بالبساطة، حيث تغطي تكوينات عصر الأوليجوسين Oligocene Formations متمثلة في تكويني أم الدحيّ Umm ad Dahiy Formation وبوحشيش Bu Hashish Formation الجزء الجنوبي للحوض، بينما تغطي تكوينات عصر الميوسين Miocene Formations متمثلة في تكوين الخمس Al khums Formation الجزء الأوسط للحوض، بينما تغطي تكوينات عصر البليوسين-البليستوسين متمثلة في المصاطب القديمة للوديان Old Wadies Terraces مساحة صغيرة، في حين تغطي تكوينات الزمن الرابع بعصريه البليستوسين والهولوسين الجزء الشمالي منه، متمثلة في تكوين قرقارش Gargaresh Formation وترسيبات السبخة Sabkha Sediments والترسبات المائية الرياحية Fluvio-Aeolian deposits والرواسب الرياحية Aeolian deposits وفيما يلي وصف مختصر لجميع هذه الوحدات الصخرية من الأقدم إلى الأحدث:

خريطة (2) جيولوجية حوض وادي هراوة



المصدر: إعداد الباحث باستخدام GIS استناداً إلى مركز البحوث الصناعية لوحات (قصر سرت، النوفلية) طرابلس 1977، 1980.

1. **تكوين أم الدحيّ** Umm ad Dahiy Formation:

ينتمي تكوين أم الدحيّ إلى عصر الأوليجوسين Oligocene ويعتبر من أقدم التكوينات الجيولوجية التي تظهر في حوض وادي هراوة، وتُغطي رواسب هذا التكوين مساحة تُقدّر بحوالي 55.4 كم^2 أي ما نسبته 2.18 % من إجمالي مساحة الحوض جدول (2). وتمتد المساحة التي يغطيها عند دور أم الدحيّ ودور بولشّلم في أقصى الجزء الجنوبي الغربي للحوض.

تتألف صـــخور هذا التكوين من الحجر الجيري الدلوميتي الغني بالحفريات والمارل والحجر الطيني، ويتراوح سمكه بين 8-13 متراً (مركز البحوث الصناعية، 1980، ص 8).

2. **تكوين بوحشيش** Bu Hashish Formation:

ينتمي تكوين بوحشيش إلى عصر الأوليجوسين Oligocene ويُغطي هذا التكوين مساحة تقدر بحوالي 65.7 كم^2 أي ما نسبته 2.59 % من إجمالي مساحة الحوض وتمتد المساحة التي يغطيها على هيئة قوس يحيط بمناطق انتشار تكوين أم الدحي في الجزء الجنوبي من الحوض، عند دور بوحشيش الذي سُميَّ التكوين باسمه، وخشم المساجير إلى الشرق منه، وطويّل المشفة إلى الغرب من دور بوحشيش.

تتألف صـخور هذا التكوين من الطباشـير الحجر الجيري الدلوميتي والمارل والحجر الجيري الغني بالحفريات، ويتراوح سمكه بين 8-13 متراً ويتراوح سُمكـه بين 70-75 متراً (Industrial Research Centre. Explanatory Booklet. 1980. P46).

3. **تكوين الخُمس** Al khums Formation:

ينتمي تكوين الخُمس إلى عصـر الميوسـين Miocene ويُغطي أكبر مسـاحة في حوض وادي هراوة، بمسـاحة تصـل إلى 1862.18 كم^2 أي ما نسـبته 73.41 % من جملة مسـاحة الحوض جدول (2). ويمتد من شمال دور بوحشـيش، وطويّل المشـفة ودور فريته في أقصى جنوب الحوض ممتداً شمالاً ليخترق حمراية أبوشوك وسماح عليم الرمث إلى أن يصل أمّاجن أم الاجباد وبير الصحابية في الشمال خريطة (2).

يتألف الجزء العلوي لتكوين الخمس من الحجر الجيري والحجر الجيري الطباشـيري والمارلي الذي ترسـب في بيئة بحرية ضـحلة، بينما يتألف الجزء السفلي من الحجر الجيري الرملي والجبس (مركز البحوث الصناعية، 1980، ص 8) وتظهر بها الطبقات بوضوح كما أنها غنية بالحفريات ويتراوح سمك رواسـب هذا التكوين بين 40 – 60 متر (Industrial Research Centre. 1980. P .50)

4. **المصاطب القديمة للوديان: Old Wadies Terraces**:

تنتمي هذه التكوينات إلى عصـر البليوسـين-البليستوسـين وهي تغطي مسـاحة صـغيرة لا تتجاوز 44.78 كم^2، أي ما نسـبته 1.76 % من إجمالي مسـاحة حوض وادي هراوة. وتتكون هذه الرواسـب في الغالب من كونجلوميرات متماسـكة إلى غير متماسـكة وحصى ورمل، ويتراوح سمك هذه الرواسب بين 1-10 أمتار، وتنتشر على نطاق محدود في الجزء الجنوبي من مجرى الوادي بالقرب من دور بوحشيش، ومساحة محدودة في الركن الجنوبي الغربي عند خور الطليّة (مركز البحوث الصناعية، 1980، ص 9).

5. **تكوين قرقارش: Gargaresh Formation**:

ينتمي تكوين قرقارش إلى عصر البليستوسين Pleistocene ويُغطي مساحة صغيرة جداً في أقصى شمال الحوض لا تتجاوز 7.1 كم^2 أي ما نسبته 0.27 % من إجمالي مساحة الحوض. ويمتد على شكل شريط عرضي ضيق بالقرب من منطقة المصب، حيث يظهر على شكل حافات صغيرة تفصل بين السبخات الممتدة على الشريط الساحلي مثل سبخة أبوقصبة والنعيم وسبخة سـلطان. وتتألف صـخور هذه التكوين من الكالكارينيت ذات اللون الرمادي مع عدسـات من الغرين أحياناً (مركز البحوث الصناعية، 1977، ص 3).

جدول (2) التكوينات الجيولوجية في حوض وادي هراوة

الزمن	العصر	التكوينات الجيولوجية	المساحة ونسبتها في الحوض	
			كم^2	%
الثالث	الأوليجوسين	تكوين أم الدحي	55.4	2.18
		تكوين بوحشيش	65.7	2.59
	الميوسين	تكوين الخمس	1862.18	73.41
الثالث –الرابع	البليوسين –البليستوسين	مصاطب قديمة للوديان	44.78	1.76
الرابع	البليستوسين	تكوين قرقارش	7.1	0.27
		ترسيبات السبخة	16.84	0.66
	الهولوسين	الترسبات المائية الرياحية	5.9	0.23
		الرواسب الرياحية	478.73	18.90
المجموع			2536.63	% 100

المصدر: من عمل الباحث باستخدام GIS

6. ترسيبات السبخة: **Sabkha Sediments**:

تنتمي ترسيبات السبخة إلى عصر البليستوسين Pleistocene وتُغطي مساحة صغيرة في أقصى شمال الحوض لا تتجاوز 16.84 كم^2 أي ما نسبته 0.66 % من إجمالي مساحة الحوض. وتشمل سبخة أبوقصبة وسبخة سلطان ذات المنشأ البحري، وتتكون من الرمال والغرين والصلصال، والجبس والملح (Industrial Research Centre. 1977. P 22).

7. الترسبات المائية الرياحية: **Fluvio–Aeolian deposits**:

تنتمي الترسبات المائية الرياحية إلى عصر الهولوسين Holocene وتُغطي مساحة صغيرة جداً في الجزء الشمالي من الحوض لا تتجاوز 5.9 كم^2 أي ما نسبته 0.23 % من إجمالي مساحة الحوض، وتتألف هذه الترسبات من الغرين والرمال الناعمة واللويس الرملي (مركز البحوث الصناعية، 1977، ص 4).

8. الرواسب الرياحية: **Aeolian deposits**:

تنتمي الرواسب الرياحية إلى عصر الهولوسين Holocene وتُغطي مساحة تقدر بحوالي 478.73 كم^2 أي ما نسبته 18.90 % من إجمالي مساحة الحوض، وتمتد المساحة التي تغطيها هذه الرواسب في الجزء الشمالي من حوض الوادي، حيث تبدأ من عند أمّاجن أم الاجباد وبير الصحابية إلى حدود السبخات الممتدة على طول الشريط الساحلي مثل سبخة أبوقصبة وسبخة سلطان عند

منطقة المصب، إضافة إلى أنها تحتل بطون الأودية خريطة (2). وتتألف هذه الترسبات من الكثبان والغطاءات الرملية (مركز البحوث الصناعية، 1977، ص 4).

ثانياً: الخصائص المورفومترية لحوض وادي هراوة:

تعد الدراسة المورفومترية أحد فروع الجيومورفولوجيا، ويقصد بها الوصف الكمي لأشكال سطح الأرض، ويطلق على الوصف الكمي لنظم التصريف النهرية مورفومترية أحواض التصريف الذي أسسه هورتون Horton في الأربعينيات الميلادية. فتعتبر الخصائص المورفومترية أساليب تحليلية تعالج الظواهر السطحية للأرض بالاعتماد على مجموعة من البيانات المتحصل عليها إما ميدانياً أو مشتقة من الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية أو مرئيات الأقمار الصناعية كنماذج الارتفاعات الرقمية DEM.

وقد ساهمت نظم المعلومات الجغرافية بما وفرته من أساليب وتقنيات حديثة ومتطورة في نجاح مختلف تطبيقات هذه النماذج الرقمية، خاصة في تحليلها واستخلاص بعض البيانات منها؛ وخصوصاً المتعلقة بالشبكة الهيدروغرافية وأحواض التصريف المائية.

وتختلف الدراسات في عدد الخصائص أو المتغيرات المورفومترية المستخدمة في الدراسة، فبلغت عند بعض الباحثين 85 مُتغيراً (Pareta & Pareta. 2011. P. 243)، رغم هذا ظلت دراسات هورتون Horton (1945)، وستراهلر Strahler (1957) المرجع الرئيسي لمعظم الدراسات المورفومترية التي أُجريت خلال هذا القرن. حيث صنفّت الخصائص المورفومترية إلى أربعة فئات رئيسية هي: الخصائص المساحية، والشكلية، والتضاريسية، والشبكية. وقد بلغ عدد المعاملات المورفومترية المستخدمة في هذه الدراسة 25 معاملاً مورفومترياً مصنفة في أربع فئات رئيسية تظهر نتائجها في الجدول (3) كما يلي:

1- الخصائص المورفومترية المساحية لحوض وادي هراوة:

1. **مساحة الحوض: (A) Basin Area**

تُعرف مساحة حوض التصريف بأنها المنطقة المحددة بخط تقسيم المياه Water divideوالتي تُزود المجرى أو مجموعة من المجاري بالمياه (Leopold, et al., 1964, p.131)، وتؤثر مساحة الحوض بشكل مباشر على الجريان السطحي وحجمه وكمية الرواسب المنقولة، ويرى (Schumm, 1963) أن هناك علاقة طردية بين مساحة حوض التصريف وطول المجرى المائي؛ حيث أنه كلما زادت مساحة الحوض زادت أطوال شبكة المجاري المائية المرتبطة بها (Padala, R. S. & Mathew, A. 2024. P. 19) وكذلك زيادة كمية الأمطار التي يستقبلها مما يؤدي إلى زيادة حمولة الوادي، هذا مع افتراض ثبات بقية المتغيرات الأخرى، مثل الخصائص المناخية والتركيب الجيولوجي إضافة إلى عامل الزمن (جودة وآخرون، 1991، ص 290)، ومن خلال تحليل نموذج الارتفاع الرقمي بلغت مساحة حوض وادي هراوة 2536.63كم^2. جدول (3).

جدول (3) الخصائص المورفومترية (المساحية، الشكلية، التضاريسية، الشبكة المائية) لحوض وادي هراوة

المعاملات المساحية **Areal parameters**			
محيط الحوض / كم	عرض الحوض / كم	طول الحوض/ كم	مساحة الحوض كم^2
506.86	24.00	106.43	2536.63
معاملات الشكل Shape parameters			
نسبة التفلطح	معامل الاندماج	معامل الشكل	معامل الاستدارة	معامل الاستطالة
1.11	4.01	0.22	0.12	0.53
المعاملات التضاريسية Relief parameters				
التكامل الهبسومتري كم^2/م	نسيج الحوض/كم	التضاريس النسبية %	نسبة التضرس م/كم	درجة الوعورة /كم	تضرس الحوض / م
0.69	2.01	48.33	2.3	0.36	245
معاملات الشبكة المائية Water network parameters					
كثافة التصريف كم/كم^2	نسبة التشعب	متوسط طول المجاري	أطوال المجاري/ كم	أعداد المجاري	الرتب النهرية
0.747	3.823	1.857	1896.88	1021	6
طول الجريان الصفائحي/ كم		شدة التصريف بوصة / كم	نسبة طول المجاري	تكرار المجاري مجرى/كم^2	
0.373		0.53	0.508	0.402	

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام GIS، وتطبيق الصيغ الرياضية جدول (1).

2. طول الحوض: (Lb) Basin length

هناك كثير من الطرق لحساب طول حوض التصريف للأودية النهرية. غير أن أسهلها وأكثرها شيوعاً بين الباحثين هي طريقة (Schumm, 1963) التي تقيس طول الحوض بخط يمتد من نقطة المصب إلى أبعد نقطة على محيط الحوض، على أن يمتد هذا الخط على المحور المستقيم للمجرى الرئيسي. ويعتبر قياس طول الحوض مهماً في الدراسات المورفومترية؛ حيث يُستخدم في حساب العديد من المتغيرات الأخرى، خاصة شكل الحوض. ويتأثر طول الحوض بالعوامل التكتونية والبنيوية والتضاريس واتجاه منحدراتها، وعمليات النحت التراجعي Head Ward Erosion.

ويؤثر طول الحوض في الوقت نفسه على الجريان السطحي في الحوض من حيث سرعة جريان المياه والناتج الرسوبي ووصولها إلى المصب، حيث توصف العلاقة بين طول الحوض وسرعة الجريان بأنها علاقة عكسية. فكلما زاد طول الحوض زاد الزمن اللازم لوصول الفيضان إلى منطقة المصب (شحدة، 2016، ص 15)، في حين تتناسب معدلات التبخر والتسرب طردياً مع طول المجرى المائي، فتزداد بزيادتها (عنيبة، 2018). ويبلغ طول وادي هراوة بدايةً من مصبه إلى أقصى نقطة على محيطه نحو الجنوب الغربي 106.43كم جدول (3).

3. عرض الحوض: (W) Basin Width

عرض الحوض ليست له كثير من الدلالات المورفومترية، أو بمعنى أوضح لا يُستخدم في استخراج الكثير من المعاملات المورفومترية، غير أنه يؤثر في تحديد شكل الحوض، وزيادة طول المدة اللازمة لتصريف مياه الحوض وحمولته الرسوبية، إضافة إلى تحديد زمن قمة الفيضان وحِدتها (سلوم، 2012، ص 402).

وتتعدد الطرق المستخدمة لقياس عرض حوض التصريف غير أن أهمها التي تتم بقياس المسافة بين أبعد نقطتين متقابلتين تقريباً على محور الحوض (جودة وآخرون، 1991، ص 293)، وقد قام الباحث باستخدام هذه الطريقة كونها الأكثر انتشارا بين الباحثين، وتُعبِر عن مدى نشاط شبكة المجاري المائية وتوسعها، ويبلغ عرض حوض وادي هراوة حوالي 24 كم جدول (3).

4. محيط الحوض: Perimeter basin (P)

يقصد بمحيط الحوض هو طول خط تقسيم المياه Water Divide الذي يفصل بين حوض التصريف قيد الدراسة وما يجاوره من أحواض.

ويُعرف محيط الحوض عند الهيدرولوجيين بخط تقسيم المياه الطبوغرافي Topographic Water Divide، ويتأثر محيط الحوض بعدة عوامل منها: تطور المجاري المائية من الرتب الأولي ونموها، وعمليات الأسر النهري، وتراجع المنحدرات (السبيعي، 2016، ص116).

يؤثر محيط حوض التصريف على مختلف العمليات الهيدرولوجية، مثل استجابة هطول الأمطار للجريان السطحي ونقل الرواسب، ولذلك من خلال قياس محيط حوض التصريف وعلاقته بخطوط التصريف بين الأحواض المجاورة يمكن للباحثين الحصول على معلومات قيّمة حول شكل حوض التصريف وحجمه وسلوكه الهيدرولوجي. ويبلغ طول محيط حوض وادي هراوة 506.86 كم جدول (3)، ويعكس هذا الطول الكبير لمحيط الحوض مدى تعرج خط تقسيم المياه لحوض وادي هراوة متأثراً بتطور وزيادة المجاري المائية في الرُتبة الأولى؛ بسبب نشاط عمليات النحت الرأسي والجانبي بفعل شدة التعرية المائية الناتجة عن تشكل الروافد النهرية.

2- الخصائص المورفومترية الشكلية لحوض وادي هراوة:

تهدف دراسة الخصائص الشكلية لأحواض التصريف المائي إلى إبراز أثر العمليات الجيومورفولوجية في اتخاذ حوض التصريف شكلاً بعينه وعدم اتخاذه شكلاً أخر، أي أننا نحاول الربط بين الظروف الجيولوجية والمناخية والتضاريسية من جهة، ومدى تناسق واتساق ذات الحوض مع أحد الأشكال الهندسية (الدائرة، أو المستطيل، أو المثلث) من جهة أخرى. إضافة إلى أنها تتيح إمكانية إجراء مقارنة دقيقة بين أشكال الأحواض المائية وترتيبها. بل وتصنيفها بشكل دقيق وفق صيغ رياضية ضمن كل مجموعة شكلية، فالأحواض

المتشابهة في خصائصها الشكلية لابد أن تتماثل في خصائصها الجيومورفولوجية الأخرى، لأنها نتجت عن العمليات الجيومورفولوجية ذاتها.

ترتبط الخصائص الشكلية لأحواض التصريف المائية ارتباطاً مباشراً بمدى التطور الجيومورفولوجي للحوض، والخصائص الجيولوجية متضمنة التركيب الصخري Lithology والبنية الجيولوجية structure والمناخ السائد إضافة إلى عامل الزمن؛ والتي تؤثر بدورها على مختلف عمليات التعرية المائية بالحوض. كما تعطي الخصائص الشكلية دلالة على العمليات الجيومورفولوجية السائدة في الحوض.

وتتعدد المعاملات المورفومترية التي تقارن أشكال الأحواض المائية بالأشكال الهندسية الشائعة (دائري، مثلث، مستطيل ...)، أو بالأشكال العامة من حيث الاندماج والتفلطح أو الانبعاج. وتشمل الخصائص الشكلية المدروسة ما يلي:

1. نسبة الاستطالة: Elongation Ratio (Re)

يُعدّ معامل الاستطالة كمتغير موفومتري مؤشرًا بالغ الأهمية يُشير إلى مدى تشابه شكل حوض التصريف مع شكل المستطيل، ويمثل النسبة بين قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض، وأقصى طول للحوض (Schumm 1956)، ويُعد هذا المعامل من أكثر المعاملات المورفومترية دقة في قياس أشكال أحواض التصريف، وتتراوح قيمته بين $(0 - 1)$، وتُشير النسبة القريبة من الصفر إلى استطالة حوض التصريف، وهذا يؤدي إلى تأخر وصول مياه الجريان السطحي إلى المصب، وانخفاض تأثير الفيضان الناتج عن طول الحوض، وزيادة نسبة الفاقد من المياه بسبب التبخر والتسرب؛ خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة. حُسبت نسبة الاستطالة لحوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Schumm 1956) جدول (1، معادلة 5)، حيث بلغت قيمته 0.53، ووفقًا لتصنيف Schumm فإن حوض وادي هراوة يعد مستطيل الشكل، وفي مرحلة الشباب من دورته التحاتية. وهذا يُعد مؤشر هيدرولوجي يرتبط بتأخير زمن الاستجابة وزمن التركيز Time of concentration، وبالتالي جريان المياه مسافة أكبر على طول المجرى الرئيسي، وفقدان جزء كبير منها بالتسرب والتبخر، مما يزيد وقت الوصول إلى منطقة المصب. وهذا يقلل خطر تعرض الحوض للفيضانات؛ وإن حدثت يسهل التعامل معها.

2. نسبة الاستدارة: Circularity ratio (R_c)

يُشير هذا المُعامل إلى مدى اقتراب شكل حوض التصريف إلى شكل الدائرة باعتبارها أفضل شكل هندسي منتظم، ويمثل النسبة بين مساحة الحوض ومساحة دائرة يساوي طول محيطها طول محيط ذلك الحوض (Miller 1953)، وتتراوح قيمة نسبة الاستدارة بين $(0 - 1)$، وتُشير النسبة القريبة من الواحد الصحيح إلى استدارة حوض التصريف واقترابه من الشكل الدائري، وانتظام خط تقسيم المياه وسيادة عمليات النحت الجانبي والتراجعي وزيادة الناتج الرسوبي sediment yield؛ ويعكس بذلك تقدم الدورة التحاتية

للحوض (Strahler 1964). حُسبت نسبة الاستدارة لحوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Miller 1953) جدول (1، معادلة 6)، حيث بلغت قيمتها 0.12، وهي قيمة منخفضة تدل على قرب شكل الحوض إلى الاستطالة منه إلى الاستدارة، وكثرة تعرج محيطه، ونشاط عمليات التعرية به، إضافة إلى كونه في مرحلة الشباب من دورته التحاتية.

3. معامل الشكل: Form factor(R_f)

أقترح (Horton 1932) هذا المعامل لقياس العلاقة بين مساحة حوض التصريف ومُربع طوله، وهو بذلك يُشير إلى مدى انتظام وتناسق عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة المنبع وحتى بيئة المصب (سلامة، 2004، ص 181). وتتراوح قيمة هذا المعامل بين $(0 - 1)$، حيث تدل القيم المنخفضة على صغر مساحة الحوض بالنسبة لطوله، ما يجعله أكثر استطالةً. في حين تدل القيم المرتفعة على استدارة حوض التصريف. ويوفر معامل الشكل مؤشرات حول مدى الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المائية؛ لا سيما فيما يتعلق بتوليد الجريان السطحي واحتمالية حدوث فيضان. حيث تتميز الاحواض ذات القيم القريبة من الواحد الصحيح بسرعة تدفّق المياه، وقِصر الوقت اللازم في الوصول إلى قمة الجريان، مما يجعل الحوض عرضة لمخاطر الفيضانات، في حين تتميز الاحواض ذات القيم القريبة من الصفر بتأخير زمن الاستجابة وزمن التركيز، وبالتالي جريان المياه مسافة أكبر على طول المجرى الرئيسي، مما يزيد وقت الوصول إلى منطقة المصب. وهذا يقلل من احتمالية حدوث ذروة فيضان حادة.

تم حساب قيمة معامل الشكل باستخدام صيغة معادلة (Horton 1932) جدول (1، معادلة 7)، وبلغت هذه القيمة في حوض وادي هراوة حوالي 0.22 وهي قيمة منخفضة تدل على عدم تناسق شكل الحوض، وميله إلى الاستطالة وبالتالي يتميز بمسارات تدفق أطول؛ مما قد يؤخر تدفقات الذروة وينشر الجريان السطحي على مدى فترة أطول، كما يتميز بمعدلات تآكل وترسيب متفاوتة اعتماداً على طول مسارات التدفق وانحدارها.

4. نسبة التفلطح: Lemniscat ratio (k)

تتجه غالبية أنظمة التصريف المائي لأن يكون شكل مساحة أحواضها واسعاً بالمجرى الأعلى، ويضيق تدريجياً كلما اتجهنا نحو المصب، مما يجعل شكل الحوض لا يشبه الأشكال الهندسية المنتظمة كالمستطيل والدائرة ....، ولهذا أقترح (Chorley 1957) هذا المعامل لقياس مدى تشابه شكل الحوض مع الشكل الكُمّثري Pear- shape حيث يرى فيه حلاً مثالياً يعالج سلبيات معامل الاستدارة، ومشكلة مقارنة شكل الحوض الطبيعي بالأشكال الهندسية المجردة، وتشير القيم المنخفضة إلى تفلطح الحوض واقترابه من الشكل الكُمّثري، وزيادة عدد مجاري الرتبة الأولى وأطوالها، ومن ثم نشاط عمليات الحت التراجعي؛ مما يدل على أن الحوض قد قطع شوطاً طويلاً من دورته الحتّية، والعكس في حالة القيم المرتفعة لهذا المعامل (سلوم، 2012، ص 407).

تم حساب قيمة نسبة التفلطح باستخدام صيغة معادلة (Chorley 1957) جدول (1، معادلة 8)، وبلغت هذه القيمة في حوض وادي هراوة حوالي 1.11 جدول (3)، وهي قيمة مرتفعة تدل على استطالة الحوض وابتعاده عن الشكل المنبعج أو الكُمّثري، وهو أمر توافقه الملاحظة البصرية لشكل الحوض، كما يدل ذلك على إن الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحاتية.

5. مُعامل الاندماج: Coalition coefficient (C_c)

يوفر هذا المُعامل والذي يُعرف أيضاً بمُؤشر غرافيليوس (Gravelius) مقياساً لمدى تماسك أو استدارة حوض التصريف المائي مُقارنةً بالدائرة المثالية والتي تعتبر الشكل الأكثر كفاءة للتصريف، حيث يُستخدم هذا المقياس كمؤشر للمسافة بين خط تقسيم المياه ومركز حوض التصريف، ويُعبر عن مدى تجانس الحوض وتناسق شكل المحيط الحوضي مع مساحته، وهو بذلك يشابه معامل الاستدارة، غير أن الشكل يُقاس هنا بدلالة محيط الحوض بدلاً من مساحته (Revuelta –Acosta JD, et al., 2025, p.14).

تعتبر قيمة (1 صحيح) الحد الأدنى لهذا المعامل، وتُشير هذه القيمة إلى أن الحوض كامل الاستدارة تماماً، وأن شكل محيط الحوض متناسق مع مساحته، وإلى تقدم الحوض في دورته الحتّية. وكلما زادت القيمة عن 1 صحيح دّل ذلك على استطالة الحوض وتعرج خط تقسيم المياه، وأن الحوض ما زال في بداية دورته الحتّية (Pareta & Pareta 2011).

تم حساب قيمة معامل الاندماج باستخدام صيغة معادلة (Horton 1945) جدول (1، معادلة 9)، وبلغت هذه القيمة في حوض وادي هراوة حوالي 4.01 جدول (3)، وهي قيمة مرتفعة تدل على عدم تناسق وانتظام شكل الحوض، واقترابه من الشكل المستطيل، إضافة إلى شدة تعرج خط تقسيم المياه، كما يدل ذلك على إن الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحاتية، وهذا يتوافق تماماً مع نتائج مُعاملات الشكل الأخرى.

3- الخصائص المورفومترية التضاريسية لحوض وادي هراوة:

تعتبر دراسة الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف المائي ذات أهمية بالغة في الدراسات المورفومترية، كونها المحصلة النهائية لمختلف عوامل التعرية التي يبرز دورها ومدى نشاطها وقوتها، وتُشير إلى طبيعة العامل والعملية الجيومورفولوجية التي تعمل على تشكيل سطح الحوض المائي. فضلاً عن معرفة أثر الاختلافات الصخرية والبنيوية على خصائص شبكة التصريف المائي، والمرحلة التي قطعتها الأحواض في دورتها التحاتية، وتعتبر كل هذه الخصائص ضرورية لفهم الطاقة المُتاحة للتدفق المائي في شبكة التصريف، والتآكل المحتمل ونقل الرواسب. ويُبين الجدول (4) عدداً من المتغيرات التضاريسية لحوض وادي هراوة التي تم اشتقاقها على النحو التالي:

1. تضرس الحوض: Basin relief (B_h)

يُشير تضرس الحوض في الجيومورفولوجيا إلى الفارق الرأسي في الارتفاع بين أعلى نقطة وأدنى نقطة في حوض التصريف، على أن تكون أعلى نقطة عند خط تقسيم المياه، وأدناها عند مخرج الحوض. وتبرز أهمية تضرس الحوض في كونه يعتبر انعكاساً لمدى فعالية ونشاط الخصائص الديناميكية للحوض وخاصة عمليات التعرية المائية التي تعمل على تشكيل سطح الأرض. مما يجعلها شاهداً على التاريخ الجيومورفولوجي للحوض؛ يمكن من خلالها تحديد المرحلة التحاتية التي يمر بها الحوض، ومدى تأثرها بالاختلافات الليثولوجية والبنيوية. حيث يرى (Chorley 1957) أن لتوزع المرتفعات والقمم البعيدة عن خط تقسيم مياه الحوض دلالة باليوجيومورفولوجية Paleo Geomorphology بوصفها تمثل مستويات أساس قديمة Ancient base levels تم تخفيض ما حولها بفعل عمليات الحتّ والإزالة (سلوم، 2012، ص 381).

يبلغ ارتفاع أعلى نقطة في حوض وادي هراوة حوالي 255 متر فوق مستوى سطح البحر، وتقع في أقصى جنوب الحوض عند دور أم الدحيّ، في حين يبلغ ارتفاع أدنى نقطة حوالي (10) متر فوق مستوى سطح البحر عند مخرج الحوض؛ وبذلك بلغت قيمة تضرس حوض وادي هراوة حوالي 245 متر جدول (3)؛ وهي قيمة منخفضة تدل على قلة تضرس الحوض وبطء سرعة الجريان، وضياع جزء كبير منه بواسطة عمليتي التسرب والتبخر، مما يقلل خطورة ذروة الفيضان.

ومن خلال اشتقاق مساحة فئات الارتفاع من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) جدول رقم (4) وخريطة (3) تبين أن فئة المنطقة الوسطى بالحوض التي تمثل فئة الارتفاع (114-184 متر) تحتل أكبر مساحة؛ حيث بلغت مساحتها حوالي 1039.34 كم^2 أي ما نسبته 41 % من جملة مساحة الحوض، تليها المنطقة العليا التي تمثل فئة الارتفاع (184-255 متر) حيث أحتلت مساحة 996.63 كم^2 بنسبة 39.28 % من مساحة الحوض، بينما بلغت مساحة المنطقة الدنيا التي تمثل فئة الارتفاع (10-114 متر) حوالي 500.66 كم^2، أي ما نسبته 19.72 % من إجمالي مساحة حوض وادي هراوة.

2. نسبة التضرس: Relief ratio (R_r)

يُشير هذا المُعامل إلى مدى تضرس الحوض بالنسبة إلى طوله، ويتم حسابه من خلال نسبة الفارق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض إلى الطول الحقيقي للحوض، وتؤثر نسبة التضرس تأثيراً مُباشراً على سرعة الجريان وكمية المواد المنقولة.

تم حساب قيمة نسبة التضرس باستخدام صيغة معادلة (Schumm 1956) جدول (1، معادلة 11) وبلغت هذه القيمة في حوض وادي هراوة حوالي 2.3 م/كم جدول (3). وهي قيمة منخفضة تدل على نشاط عملية النحت والتراجع نحو المنبع، وتقويض مناطق تقسيم المياه. مما أدى إلى انخفاض قيمة كثافة التصريف، وقلة كمية الرواسب المحمولة من المرتفعات ومجاري الأودية إلى المنخفضات والمصبات.

وتعكس خصائص الانحدار العلاقة بين الارتفاع والخصائص الجيولوجية والمساحة الحوضية وطول الحوض، ومن خلال تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لحوض وادي هراوة باستخدام الامر (slope) من قائمة (Surface Analysis) تم حساب فئات الانحدار بالحوض في خمسة فئات رئيسية حسب تصنيف (Young, A., 1972) جدول (4) خريطة (3)، حيث احتلت فئة الانحدار الخفيف جداً (1.39 – 3.37°) أكبر مساحة من حوض التصريف بلغت حوالي 1362.86 كم² بنسبة 53.72 % من جملة المساحة وتتركز هذه الفئة في الأجزاء الشمالية من الحوض، تليها فئة الانحدار الخفيف (3.37 – 5.24°) بمساحة 515.06 كم² بنسبة 20.31 % من إجمالي مساحة الحوض. في حين بلغت مساحة فئة الانحدار شبه المستوي (0 – 1.39°) حوالي 471.84 كم² بنسبة 18.61 % من جملة مساحة الحوض. ولم تتعدى مساحة فئة الانحدار المتوسط (5.24 – 7.69°) حوالي 153.33 كم² بنسبة 6.04 % من إجمالي مساحة الحوض. وهذا يدل على أن الانحدارات في حوض وادي هراوة هينة أو لطيفة، حيث أن عملية الجريان لا تحدث بشكل منتظم فوق كل المنحدرات خلال وقتٍ واحد، ويعود هذا إلى تأثير اختلاف انحدار السطح؛ حيث تزيد نسبة الفقد والتبخر في المناطق قليلة الانحدار بسبب بطء جريان المياه فوقها.

جدول (4) مساحة فئات التضرس وفئات معدل الانحدار في حوض وادي هراوة

مناطق الحوض	فئات الارتفاع	المساحة كم²	%	فئة الانحدار	المساحة كم²	%	الدلالة
المنطقة الدنيا	10 – 114	500.66	19.72	1.39 – 0	471.84	18.61	شبه مستوي
المنطقة الوسطى	114 – 184	1039.34	41.00	3.37 – 1.39	1362.86	53.72	انحدار خفيف جداً
المنطقة العليا	184 – 255	996.63	39.28	5.24 – 3.37	515.06	20.31	انحدار خفيف
				7.69 – 5.24	153.33	6.04	انحدار متوسط
				7.69 فأعلى	33.54	1.32	انحدار فوق المتوسط
المجموع	--	2536.63	% 100	--	2536.63	100	

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج Arc map 10.8

3. التضاريس النسبية: Relative Relief (R_{hp})

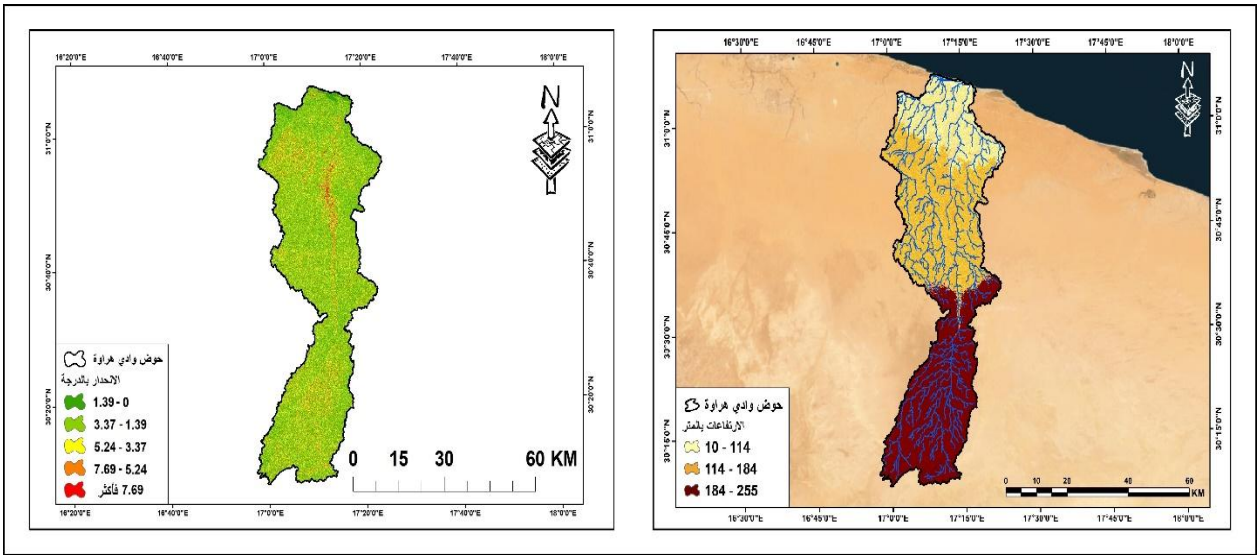
تعتبر التضاريس النسبية أهم المتغيرات المورفومترية التي يتم من خلالها معرفة الخصائص التضاريسية للحوض، وهي تُشير إلى العلاقة المتبادلة ما بين قيمة تضرس الحوض وطول محيطه على شكل نسبة مئوية. وتؤثر التضاريس النسبية على العديد من المتغيرات في الحوض وأهمها الخصائص الهيدرولوجية وكثافة التصريف.

وتدل القيم المنخفضة للتضاريس النسبية على ضعف مقاومة الصخر لنشاط عوامل التعرية حيث يرى (Schumm, 1954) وجود علاقة ارتباط سالبة بين التضرس النسبي ودرجة مقاومة الصخر لعوامل التعرية عند ثبات الظروف المناخية، كما تُشير إلى اتساع

مساحة الحوض؛ مما يدل على نشاط عملية النحت التراجعي Head Ward Erosion وتقويض خطوط تقسيم المياه، وبالتالي إمكانية حدوث أسر نهري River Capture مما يُشير إلى مرحلة الشباب (أبو ريّة، 2007، ص 57).

تم حساب قيمة التضاريس النسبية باستخدام صيغة معادلة (Milton, 1954) جدول (1، معادلة 12) وبلغت هذه القيمة في حوض وادي هراوة حوالي 48.33 %. وهي قيمة منخفضة تدل على ضعف مقاومة الصخر لنشاط عوامل التعرية؛ حيث تسود حوض الوادي تكوينات جيولوجية ليّنة تتألف من صـــخور الحجر الجيري والحجر الجيري الرملي والكثبان والغطاءات الرملية الناتجة عن فعل الرياح. كما تُشير إلى نشاط عملية النحت التراجعي وتقويض خطوط تقسيم المياه.

خريطة (3) فئات التضرس الكلي والانحدار في حوض وادي هراوة



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج Arc map 10.8.

4. درجة الوعورة: Ruggedness number (R_n)

يُشير هذا المُعامل إلى العلاقة بين تضرّس سطح الحوض وأطوال مجاري شبكة التصريف. وترتبط درجة الوعورة طردياً مع تضرس الحوض وكثافة التصـــريف وأطوال المجاري المائية؛ فتزيد بزيادتها وتنخفض بانخفاضـــها. وتعتبر قيمة الوعورة من أهم المقاييس المورفومترية حســـب رأي (Strahler,1956) لأنها تحدد بدقة المرحلة التطورية التي وصـــل إليها حوض التصـــريف (الســـبيعي، 2016، ص 134). كما أشار من خلال دراساته للعديد من الأحواض المائية إلى أن قيم درجة الوعورة تتراوح بين أقل من 1 صحيح في الأحواض المائية قليلة التضرس، وأكثر من 1 صحيح في الأحواض المائية شديدة التضرس والانحدار. حيث تكون منخفضة في المراحل الأولى من

الدورة الحَتّية، وتتزايد مع الزمن إلى أن تصل ذِروتها في مرحلة النّضج، ثم تبدأ بعد ذلك في الانخفاض في مرحلة الشيخوخة والاقتراب من نهاية الدورة الحَتّية (أعنيبة، 2018، ص 202).

تم حساب قيمة درجة الوعورة باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1957) جدول (1، معادلة 13) حيث بلغت حوالي 0.36 جدول (3)، وهي قيمة منخفضة تُشير إلى تضاريس مسطحة وناعمة نسبياً ذات منحدرات لطيفة وتغيرات طفيفة في الارتفاع. وتميل هذه المناطق إلى الاستجابة البطيئة للجريان السطحي، حيث تتسرب نسبة أكبر من الأمطار إلى باطن الأرض أو تُساهم في التدفق الجوفي. كما تُشير هذه القيمة إلى أن حوض وادي هراوة لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحاتية.

5. نسيج الحوض: Drainage texture (D_t)

يُعَبِّر هذا المعامل عن مدى تقطع سطح حوض التصريف بالمجاري المائية المنتشرة على كامل مساحته بغضّ النظر عن أطوالها، وكذلك يُلقي الضوء على مدى نمو الشبكة المائية. ولذلك يمكن اعتباره كمؤشر لكثافة التصريف، ودليلاً على المرحلة العمرية التي وصلت إليها شبكة التصريف في دورة التعرية (السبيعي، 2016، ص 138). ويتأثر معدل النسيج الطبوغرافي بمجموعة من العوامل أهمها المناخ، والتكوينات الصخرية ونظامها، وكثافة الغطاء النباتي، ونوعية التربة ونفاذيتها، ودرجة تضرس سطح الأرض ومدى انحداره، والمرحلة العمرية التي يمر بها الحوض من الدورة الحتية.

وقد صنّفَ سميث (1950) Smith نسيج الحوض إلى ثلاثة فئات رئيسية هي كالآتي: أحواض تضم أقل من 4 مجاري في 1 كم تعتبر ذات نسيج خشن، أحواض تتراوح فيها المجاري المائية 10:4 مجاري في 1 كم ذات نسيج متوسط، أحواض تحتوي على أكثر من 10 مجاري في 1 كم وتعتبر ذات نسيج ناعم.

تم حساب قيمة نسيج الحوض باستخدام صيغة معادلة (Schumm, 1956) جدول (1، معادلة 14) حيث بلغت حوالي 2.01 مجرى لكل 1 كيلومتر جدول (3)، حيث يُصّنف حوض وادي هراوة ضمن الأحواض ذات النسيج الخشن وفق تصنيف Smith وهذا يرجع إلى سيادة الصخور الجيرية الليّنة والتُرب ذات المسامية العالية والتي تُشّكِل قوامها الكثبان والغطاءات الرملية.

6. التكامل الهيبسومتري: Hypsometric integral (H_i)

يعتبر التكامل الهبسومتري من أدق المعاملات المورفومترية تمثيلاً للفترة الزمنية المقطوعة من الدورة التحاتية لأحواض التصريف، وتعّبِر قيمته عن المرحلة العمرية للحوض، ويفيد في فهم العلاقة ما بين طبوغرافية الحوض وتعرية المجاري المائية للسطح.

ويرى Strahler (1957) أن معامل التكامل الهيبسومتري يمكن أن يُصنّف إلى ثلاثة فئات رئيسية: فعندما تكون قيمة هذا المُعامل أقل من 0.4 فهذا يدّل على أن الحوض يمر بمرحلة الشيخوخة من دورته الحتيّة، وإذا كانت القيمة تتراوح بين 0.4-0.6 فإنه يمرّ بمرحلة النضج التي أطلق عليه Strahler مرحلة التوازن، أما إذا تراوحت قيمة هذا المُعامل بين 0.61-0.80 فإن الحوض في هذه الحالة يمر بمرحلة الشباب من دورته الحتيّة، والتي أطلق عليها مرحلة عدم التوازن (Salim, et al., 2020, p.195).

تم حساب قيمة مُعامل التكامل الهيبسومتري باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1957) جدول (1، معادلة 15) حيث بلغت حوالي 0.69 % جدول (3)، وهذا يعني أن الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته الحتيّة، وأن حوالي 31 % فقط من كتلته الصخرية قد تعرضت للتآكل بفعل عمليات التعرية.

ثالثاً: الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائية في حوض وادي هراوة:

تمثل شبكة التصريف الشكل العام الذي تظهر فيه مجموعة المجاري المائية في الحوض، وتعتبر المحصلة النهائية للظروف البنيوية والمناخية والصخرية للحوض.

تم دراسة شبكة التصريف لحوض وادي هراوة من خلال حساب مجموعة من المتغيرات المورفومترية التي تم الحصول عليها من تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية خلال أدوات التحليل الرقمي لبرمجية نظم المعلومات الجغرافية ضمن أدوات Spatial Analysis-Hydrology. وفق عدة خطوات باتت معروفة لدى كل الباحثين، ومن المتغيرات التي تمت دراستها ما يلي:

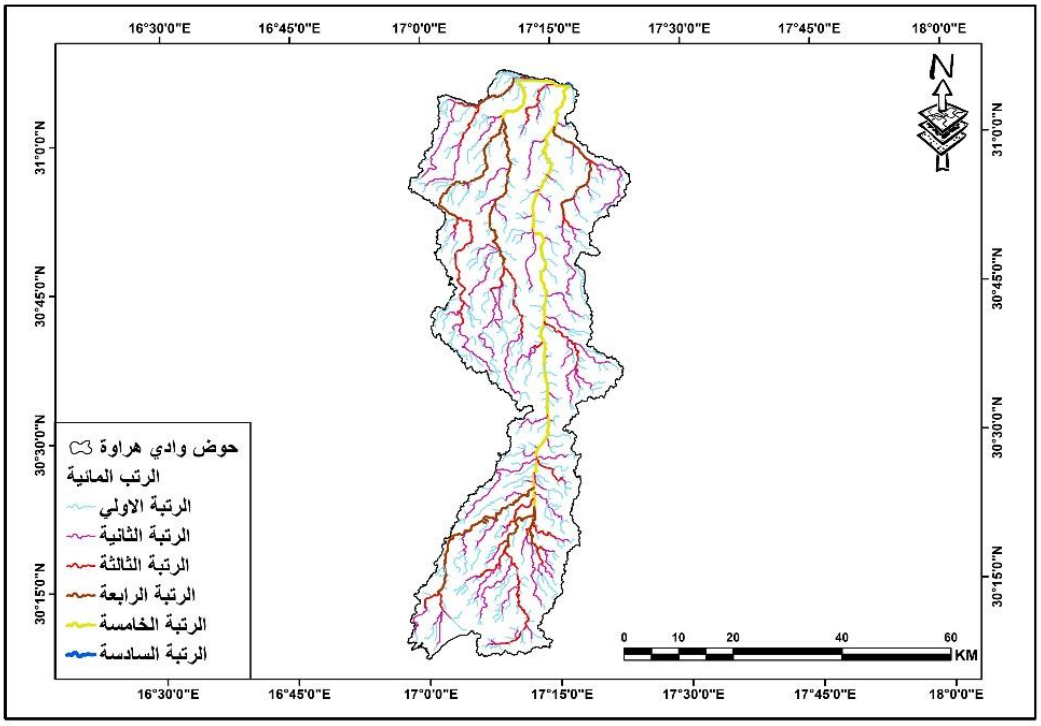
1. رُتب المجاري المائية: (u) Stream order

تعتبر الخطوة الأولى في دراسة شبكة التصريف للأحواض المائية، وتُشير الرُتب النهرية إلى التدرج الرقمي لمجموعة الروافد التي يتكون منها الوادي، وهو تصنيف هرمي للمجاري المائية داخل حوض التصريف يُستخدم في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لفهم حجم شبكة التصريف، وتقييم نشاط التعرية، ودراسة تطور الشبكة المائية.

تم تصنيف وترتيب المجاري المائية لحوض وادي هراوة إلى رُتب نهرية آلياً وفق طريقة Strahler (1957) المُعدّلة عن Horton (1945) وذلك لسهولتها وبساطتها وفعاليتها في حساب الرُتب، وكذلك هي المعتمدة في برنامج Arc GIS، وتتلخص هذه الطريقة في أن الجداول المائية الصغيرة التي لا تصبّ فيها أي قنوات مائية أخرى تُعطى الرتبة الأولى، وعندما يلتقي مجريين من الرتُبة الأولى يتكون مجرى من الرُتبة الثانية، وعندما يلتقي مجريين من الرتُبة الثانية يتكون مجرى من الرُتبة الثالثة، وهكذا حتى الوصول إلى أعلى رُتبة في الحوض، والتي يمثلها المجرى الرئيسي.

وبناءً على استخدام طريقة Strahler (1957) في تحديد رُتب المجاري المائية، يُصنف حوض وادي هراوة حوضاً من الرُتبة السادسة جدول (3)، وتوضح خريطة (4) توزيع رتب المجاري المائية في حوض التصريف.

خريطة (4) الرتب النهرية في حوض وادي هراوة



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج Arc map 10.8.

2. أعداد المجاري المائية: Number of streams (N_u)

تعتبر أعداد المجاري المائية مؤشراً مورفومترياً هاماً يُستدل به على حجم شبكة التصريف، ومرحلة التطور التي بلغها الحوض، حيث يزداد عدد المجاري المائية مع تقدم الحوض في دورته الحتّية، وصولاً إلى مرحلة النضج (سلوم، 2012). إضافة إلى أهميتها في حساب عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف المائية مثل كثافة التصريف، ونسبة التشعب، والتكرار النهري وغيرها.

بلغ مجموع أعداد المجاري المائية في حوض وادي هراوة 1021 مجرى جدول (3) تتوزع على كامل مساحة حوض التصريف، أما بالنسبة لأعداد المجاري المائية على مستوى الرتب فيظهر من خلال الجدول (5) أن عدد مجاري الرتبة الأولى قد بلغ 667 مجرى شكّلت ما نسبته 65.32 % من إجمالي عدد المجاري، وبلغ عدد مجاري الرتبة الثانية 257 مجرى أي ما نسبته 25.15 % من إجمالي عدد المجاري المائية في الحوض، أما مجاري الرتبة الثالثة فقد بلغ عددها 71 مجرى شكلت ما نسبته 6.95 % من إجمالي عدد

المجاري، في حين بلغ عدد مجاري الرُتب الرابعة والخامسة والسادسة 19، 6، 1. على الترتيب. أي ما نسبته 1.85، 0.57، 0.16 % على نفس الترتيب.

ويُلاحظ من خلال الجدول (5) أن عدد المجاري المائية يتناقص بزيادة الرُتب، حيث شكلت روافد الرتبتين الأولى والثانية أكثر من 90.47 % من إجمالي عدد المجاري المائية في الحوض؛ وهذا يتماشى مع قانون Horton 1945 الذي يرى "أن عدد المجاري المائية التي تتدرج تناقصياً في مجموعاتها أو مراتبها تُشّكِل متوالية هندسية، تبدأ بمجرى أعلى رتبة وتزداد وفقاً لنسبة تشعّب ثابتة" (Revuelta –Acosta J. D, et al., 2025, p.8).

جدول (5) المعاملات المورفومترية لشبكة التصريف على مستوى الرتب بحوض وادي هراوة

الرتب المائية	عدد المجاري	النسبة %	أطوال المجاري كم	النسبة %	متوسط طول المجاري	نسبة طول المجاري	نسبة التشعب
1	667	65.32	1089.76	57.45	1.633	--	
2	257	25.15	449.47	23.7	1.748	0.412	2.595
3	71	6.95	139.51	7.35	1.964	0.310	3.619
4	19	1.85	119.44	6.3	6.286	0.856	3.736
5	6	0.57	73.07	3.85	12.178	0.611	3.166
6	1	0.16	25.63	1.35	25.63	0.350	6
المجموع	**1021**	**% 100**	**1896.88**	**% 100**	**--**	--	**--**

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج Arc map 10.8.

3. أطوال المجاري المائية ومتوسط أطوالها: Stream length (L_u) & Mean length (L_{sm}):

يُعدّ طول المجاري المائية أحد المعايير المورفومترية الرئيسية التي تعكس تطور شبكة التصريف المائي وخصائص الجريان السطحي، ويُحدد إجمالي أطوال المجاري المائية داخل حوض التصريف بجمع أطوال الروافد المائية على مستوى الرُتب، وقد تم قياس أطوال المجاري المائية في حوض وادي هراوة من نموذج الارتفاع الرقمي DEM باستخدام برنامج Arc GIS.

بلغ إجمالي أطوال المجاري المائية في حوض وادي هراوة 1896.88 كيلومتراً جدول (3). أما بالنسبة لأطوال المجاري المائية على مستوى الرتب فيظهر من خلال جدول (5) أن أطوال مجاري الرتبة الأولى بلغت 1089.76 كم، بنسبة 57.45 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض، وبلغت أطوال مجاري الرتبة الثانية 449.47 كم، وشكلت ما نسبته 23.7 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض، في حين بلغ طول مجاري الرتبة الثالثة 139.51 كم، بنسبة 7.35 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض. بينما

بلغت أطوال المجاري المائية في الرتب الرابعة والخامسة والسادسة حوالي 119.44، 73.07، 25.63 كيلومتراً على التوالي. بنسبة بلغت 6.3، 3.85، 1.35 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض على نفس الترتيب. ويُلاحظ أن مجموع أطوال المجاري المائية يقلّ بتزايد الرُتب النهرية.

ويوفر مُعامل **متوسط أطوال المجاري المائية** بيانات قيّمة عن مدى تغطية الشبكة المائية لمساحة حوض التصريف، والخصائص الهيدرولوجية لصخور المنطقة. ويرى Horton (1945) أن متوسط طول المجاري المائية يزداد مع زيادة الرتبة النهرية. وهذا يعكس كفاءة نقل الرواسب المتراكمة في المجاري ذات الرتبة الأعلى، غير أن الشذوذ عن هذه القاعدة يُشير إلى تباين التركيب الجيولوجي لحوض التصريف (Revuelta –Acosta JD, et al., 2025, p.9).

تّم حساب قيمة **متوسط أطوال المجاري المائية** باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1964) جدول (1، معادلة 19) حيث بلغ المتوسط العام لأطوال المجاري المائية في حوض وادي هراوة 1.857كيلومتر جدول (3)، أما متوسط أطوال المجاري على مستوى الرتب فيظهر من خلال جدول (5) أنه يتراوح بين 1.633كم لمجاري الرتبة الأولى، و25.63كم لمجرى الرتبة السادسة. في حين بلغ متوسط طول مجاري الرتبة الثانية 1.748كم، والرتبة الثالثة 1.964 كم. والرتبتين الرابعة والخامسة 6.286، 12.178 على التوالي. ويظهر من ذلك أن متوسط طول المجاري المائية على مستوى الرتب يزداد بزيادة الرتبة النهرية، وهذا يتفق مع قانون Horton المُشار إليه. كما يعكس كفاءة نقل الرواسب المتراكمة في المجاري ذات الرتب الأعلى.

4. نسبة طول المجاري المائية: Stream length ratio (R_L)

يُشير هذا المُعامل إلى النسبة بين طول المجاري المائية في رُتبةٍ ما، وأطوال المجاري المائية في الرتبة الأدنى منها مباشرة. وعادةً تميل هذه النسبة إلى الارتفاع مع الانتقال من رُتب مجاري مائية أدنى إلى رتب مجاري مائية أعلى. حيث يُشير الاتجاه التنازلي في نسبة طول المجاري المائية إلى أن التضاريس متموجة، وتتميز بوجود العديد من الجداول وأنماط مجاري مائية معقدة من رتب مختلفة. ويُستدلّ من خلاله على المرحلة التي يمرّ بها الحوض المائي من دورته الحتّية.

تّم حساب قيمة نسبة أطوال المجاري المائية باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) جدول (1، معادلة 20). حيث بلغت نسبة أطوال المجاري المائية في حوض وادي هراوة 0.508 كيلومتر، كما يتضح من خلال الجدول (5) أن نسبة طول المجاري المائية على مستوى الرتب تتراوح بين 0.310 –0.856 كيلومتر، ويظهر من هذا التوزيع مدى تباين نسبة أطوال المجاري المائية بين الرتب المختلفة داخل الحوض، والتي غالباً ما تكون نتيجةً للتغير في درجة انحدار السطح، وتباين التضاريس، ومرور الحوض بمرحلة الشباب من دورته الحتّية.

5. نسبة التشعّب: Bifurcation ratio (R_b)

أقترح Horton (1945) هذا المُعامل لاستكمال العلاقة بين الرتب النهرية وعدد المجاري، ويقصد به النسبة بين عدد المجاري المائية في رتبةٍ معينةٍ، وعدد المجاري المائية في الرتبة الأعلى منها مباشرةً. وتكمن أهمية معدل نسبة التشعّب في كونه أحد العوامل التي تتحكم في معدل التصريف المائي في الحوض وزمن تركيز وصول المياه إلى المجاري الرئيسية، وتحديد شكل منحنى الفيضان، فكلما قلت نسبة التشعب زاد خطر الفيضان. (السبيعي، 2016، ص 158). كما يعتبر إنعكاساً للتركيب الجيولوجي ونوعية الصخر والظروف المناخية السائدة في الحوض.

ويرى Strahler (1964) أن نسبة التشعب الطبيعية في أحواض التصريف تتراوح بين (3-5) في حال تجانس التركيب الصخري للحوض، وعندما تقل هذه النسبة عن (3) تعد مؤشراً على تجانس تضاريس الحوض، وسيادة التكوينات الجيولوجية اللينة. وتميل إلى أن تكون أكثر عرضة للفيضان؛ لأن شبكة التصريف تكون أكثر كفاءة في تجميع المياه ونقلها. وبالتالي زيادة احتمالية حدوث الفيضان في الحوض، لأنها تعطي جرياناً سطحياً سريعاً.

تّم حساب قيمة نسبة التشعب باستخدام صيغة معادلة (Schumm, 1956) جدول (1، معادلة 21) حيث بلغ معدل نسبة التشعب في حوض وادي هراوة 3.823 جدول (3)، أما نسبة التشعب على مستوى الرتب فيظهر من خلال جدول (5) أنها تتراوح بين 2.595 – 6 وهي تقع ضمن المعدل الطبيعي الذي حدده Strahler ويُظّهِر هذا التوزيع مدى تقارب نسبة التشعب بين الرتب المختلفة داخل الحوض، والتي غالباً ما تكون نتيجةً لتجانس التكوينات الجيولوجية، وتقارب معدلات سقوط الأمطار في أجزاء الحوض المختلفة.

6. كثافة التصريف: Drainage density (D_d)

تُعد كثافة التصريف من المقاييس المورفومترية الهامة في الدراسات الجيومورفولوجية؛ ذلك لأنها تعتبر مؤشر هام وجيد عن مدى تعرض سطح الحوض لعمليات الحتّ والتقطع بواسطة المجاري المائية، وتعني كثافة التصريف النسبة بين إجمالي أطوال المجاري المائية في حوضٍ ما، ومساحة هذا الحوض، وتتأثر كثافة التصريف بالتركيب الصخري والبنية الجيولوجية، والتربة ونفاذيتها والتضاريس والغطاء النباتي، والظروف المناخية السائدة (السبيعي، 2016، ص 167).

تّم حساب قيمة كثافة التصريف في حوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) جدول (1، معادلة 22). ويظهر من خلال الجدول (3) أن كثافة التصريف في حوض وادي هراوة بلغت حوالي 0.747 كم/كم^2. وهذا يعني أن كل كيلومتر مربع من مساحة الحوض تحتوي على 0.747 كيلومتر من المجاري المائية. وتعتبر هذه القيمة منخفضة حسب تصنيف

(Morisawa,1962). ويمكن تفسير ذلك بقلة أطوال المجاري المائية في الحوض وتباعدها، وانخفاض قيمة النسيج الطبوغرافي، وأن الحوض يمتد فوق تكوينات صخرية ذات نفاذية عالية، إضافة إلى سيادة الانحدارات اللطيفة والهيّنة.

7. تكرّار المجاري: Stream frequency (F_s)

يُشير معدل تكرار المجاري المائية إلى النسبة بين مجموع أعداد المجاري المائية في الحوض، ومساحة ذلك الحوض بغض النظر عن أطوالها. وهو بذلك يدل على درجة تخدّد الحوض بواسطة التعرية المائية. وتتأثّر قيم تكرار المجاري المائية بمساحة الحوض وخصائصه الصخرية، والتضاريسية، وكثافة الغطاء النباتي، ويُستفاد من تحديد قيم تكرار المجاري في تقدير حجم التصريف المائي، ونمط التصريف، وتحديد مدى تقطّع أو تخدُّد سطح الحوض بالمجاري المائية (عنيبة، 2018، ص 211).

تّم حساب قيمة تكرار المجاري في حوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) جدول (1، معادلة 23). ويظهر من خلال الجدول (3) أن معدل تكرار المجاري في حوض وادي هراوة بلغ حوالي 0.402 مجرى/كم^2. وهي قيمة منخفضة؛ ويمكن تفسير ذلك بسبب انخفاض قيمة كثافة التصريف في الحوض وارتفاع معدلات تسرب المياه نحو الباطن؛ نتيجة لسيادة الصخور ذات النفاذية العالية، وانخفاض قيمة النسيج الطبوغرافي.

8. شدة التصريف: Drainage intensity(D_i)

أقترح Faniran (1968) هذا المُعامل ليُعّبِر عن النسبة بين معدل تكرار المجاري المائية وكثافة التصريف. كما تُعدّ كثافة التصريف مقياساً شاملًا لاستجابة الحوض لهطول الأمطار. تشير القيم العالية لشدّة التصريف إلى بيئة يتم فيها توجيه الجريان السطحي بسرعة عبر شبكة كثيفة من القنوات، مما يؤدي إلى ذروة تصريف أسرع وربما زيادة في حركة الرواسب. أما القيم المنخفضة فتُشير إلى أن نسبة أكبر من هطول الأمطار قد تتسرب إلى باطن الأرض، مما ينتج عنه منحنى هيدرولوجي أكثر اعتدالًا وربما معدلات تآكل أقل .(Revuelta –Acosta JD, et al., 2025, p.15)

تّم حساب قيمة شدّة التصريف في حوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Faniran, 1968) جدول (1، معادلة 24). ويظهر من خلال الجدول (3) أن قيمة شدة التصريف في حوض وادي هراوة بلغت حوالي 0.53 بوصة/كم. وهي قيمة منخفضة تّشير إلى تأخير ذروة التصريف، ويُبطئ من استجابة الجريان السطحي، مما يُقلل من احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة.

9. طول الجريان الصفائحي: Length of overland flow (L_o)

يُشير هذا المُعامل إلى المسافة التي تقطعها المياه فوق سطح الأرض قبل وصولها إلى مجرى النهر، مما يؤثر على سرعة الجريان السطحي ومعدل التسرب (Revuelta –Acosta JD, et al., 2025, p.15). ويتأثر هذا المُعامل بالتكوين الصخري والبنية الجيولوجية، ودرجة نفاذيّة التربة، والخصائص الطبوغرافية والغطاء النباتي، والمُناخ السائد.

تّم حساب قيمة طول الجريان الصفائحي في حوض وادي هراوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) جدول (1، معادلة 25). ويظهر من خلال الجدول (3) أن معدل طول الجريان الصفائحي في حوض وادي هراوة بلغ حوالي 0.373 كم. وهي قيمة متوسطة تّشير إلى أن المياه تقطع مسافات أطول فوق سطح الأرض قبل وصولها إلى مجرى الوادي. وهذا يُعزز إمكانية التسرب ويُبطئ من استجابة الجريان السطحي، مما يُقلل من احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة.

رابعاً: النتائج والتوصيات:

النتائج:

- أظهرت الدراسة أن التركيب الجيولوجي لحوض وادي هراوة يتسم بالبساطة وتغطي سطحه تكوينات الزمنين الثالث والرابع وأكثرها انتشاراً رواسب عصر الميوسين المتمثلة في تكوين الخمس بمساحة تصل إلى 1862.18كم^2 أي ما نسبته 73.41 % من إجمالي مساحة الحوض.
- أظهرت دراسة الخصائص المساحية لحوض وادي هراوة أنه حوض كبير المساحة حيث تصل مساحته إلى حوالي 2536.63 كم^2. في حين بلغ طوله 106.43 كم، وطول محيطه 506.86 كم.
- أظهرت دراسة الخصائص الشكلية لحوض وادي هراوة أنه الحوض يميل للاستطالة حيث سجل هذا المعامل 0.53، في حين بلغت قيمة معامل الشكل 0.22 وهي قيمة منخفضة تدل على عدم تناسق شكل الحوض، وميله إلى الاستطالة وبالتالي يتميز بمسارات تدفق أطول يقلل من احتمالية حدوث ذروة فيضان حادة.
- تُظهر الخصائص التضاريسية انخفاض نسبة تضرس الحوض (2.3 م/كم) وأنه ذو نسيج تصريف خشن (2.01 مجرى/كم^2) وفق تصنيف Smith، نتيجة سيادة الصخور الجيرية اللينة والغطاءات الرملية عالية المسامية. كما بلغ التكامل الهيبسومتري نحو (0.69)، مما يدل على أن الحوض لا يزال في مرحلة الشباب من دورته الحتّية، حيث لم تتجاوز نسبة التآكل 31٪ من كتلته الصخرية.
- أظهرت دراسة شبكة التصريف أن حوض وادي هراوة من الرتبة السادسة وفق تصنيف Strahler، بعدد مجارٍ بلغ 1021 مجرى، شكّلت مجاري الرتبة الأولى 65.32٪ منها. وبلغ إجمالي أطوال المجاري 1896.88 كم، مع انخفاض نسبة التشعب (3.823)، مما انعكس على انخفاض كثافة التصريف (0.747 كم/كم^2) وشدة التصريف (0.53 بوصة/كم)، وهو ما يدل على بطء استجابة الجريان السطحي وتأخر ذروة التصريف، وبالتالي انخفاض احتمالية الفيضانات المفاجئة.

- تُظهِر مراجعة شاملة للأدبيات أن منهجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS) برزت كأكثر التقنيات فعاليةً لتحليل مختلف الخصائص المورفومترية، وقد اكتسبت هذه التقنيات شعبيةً واسعة بين الباحثين بفضل فعاليتها من حيث التكلفة والوقت.
- ثبت أن نماذج الارتفاع الرقمية (DEMs) عالية الدقة تُعطي نتائج أكثر دقة. وتُسهم هذه الدقة المتزايدة في تحسين جودة التحليل المورفومتري.
- تُشير النتائج إلى تباين كبير في حجم الحوض وشكله وكثافة التصريف وخصائصه الطبوغرافية، والتي قد تؤثر مجتمعةً على توليد الجريان السطحي، واحتمالية حدوث الفيضانات، ونقل الرواسب.
- أبرزت الدراسة الدور الحاسم للخصائص المورفومترية في فهم الاستجابات الهيدرولوجية لهذه الحوض، مما يُسهم في الإدارة الفعالة للموارد المائية واستراتيجيات الحد من الفيضانات.
- تُرسّخ هذه الدراسة إطاراً أساسياً لتحليلات مورفومترية مستقبلية تشمل مناطق أخرى في ليبيا.

التوصيات

- نظراً لتزايد التحديات المناخية وأهمية هذه الأحواض للتنوع البيولوجي الإقليمي وخدمات النظام البيئي، فإن إجراء المزيد من البحوث ضروري لاستكشاف تأثيرات تغيرات استخدام الأراضي وتقلبات المناخ على العمليات الهيدرولوجية في هذه المناطق الحيوية.
- يؤكد هذا البحث على أهمية اتباع مناهج متكاملة تجمع بين الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية والآثار الهيدرولوجية لمعالجة القضايا البيئية الملحة.
- يمكن للرؤى المستقاة من هذا البحث أن تُسهم في تطوير ممارسات الإدارة المستدامة وتعزيز قدرة هذه النظم البيئية الحيوية على الصمود في وجه التغيرات العالمية المستمرة.

المصادر والمراجع:

- أبو ريّة، أحمد محمد أحمد (2007)، المنطقة الممتدة فيما بين القصير مرسى أم غيغ: دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
- السبيعي، سليمان يحي سليمان (2016)، جيومورفولوجية حوض وادي تلال في ليبيا باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه (غير منشورة)، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة بنها، مصر.
- جودة، حسنين جودة، وآخرون (1991)، وسائل التحليل الجيومورفولوجي، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- سلامة، حسن رمضان (2004)، أصول الجيومورفولوجيا، دار المسير للنشر والتوزيع والطباعة، عمان.
- سلوم، غزوان (2012)، حوض وادي القنديل دراسة مورفومترية، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد الأول.
- عنيبة، عمر أمحمد (2018)، تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي ساسو باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، مجلة أبحاث، كلية الآداب، جامعة سرت، العدد الثاني عشر، سبتمبر.

- مركز البحوث الصناعية، (1977)، خريطة ليبيا الجيولوجية مقياس رسم 250.000:1 لوحة قصر سرت NH 33-4، الكتيب التفسيري، الطبعة الأولى، طرابلس.
- مركز البحوث الصناعية، (1980)، خريطة ليبيا الجيولوجية مقياس رسم 250.000:1 لوحة النوفلية NH 33-8، الكتيب التفسيري، الطبعة الأولى، طرابلس.
- ناصر، شوقي شحدة (2016)، مقارنة بين نموذجي الارتفاعات الرقمية (SRTM3 & ASTER GDEM) في استخلاص الخصائص المورفومترية لحوض وادي تنزوفت (جنوب غرب ليبيا)، المؤتمر الدولي للتقنيات الجيومكانية – ليبيا جيو تك 2، الجمعية الليبية للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، طرابلس، 6-8 ديسمبر.
- Chorley, R.J., Malm, D.E.G., Pogorzelski, H.A., (1957), A new standard for estimating drainage basin shape. Am. J. Sci. 225, 138–141.
- Farhan, Yahya. et.al., (2015), Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using Remote Sensing and GIS, Journal of Water Resource and Protection, 7, P456-476.
- Horton, R.E., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. 56 (275–370).
- Industrial Research Centre, (1977). Geological Map of Libya, Explanatory Booklet ,Al Qaddahiyah Sheet, 1:250.000,.Tripoli.
- Industrial Research Centre, (1980): Geological Map of Libya, Explanatory Booklet ,Annufaliyah sheet , 1:250.000,.Tripoli.
- Koshak N, Dawod G,. (2011), A GIS morphometric analysis of hydrological catchments within Makkah Metropolitan area, Saudi Arabia. Int J Geomatics Geosci 2(2):544–554
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., &, Miller, J.P., (1964): Fluvial Processes in Geomorphology, Freeman & Co., London.
- Padala Raja Shekar, Aneesh Mathew, (2024), Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques, Watershed Ecology and the Environment, Volume 6 ,Pages 13-25 ,ISSN 2589-4714.
- Pareta, K. Pareta, U. (2011), Hydro morphological Study of Karawan Watershed Using GIS and Remote Sensing Techniques, E-International Scientific Research Journal, III. I, (4) 243-268.
- Rafiq AH, Aadil H, SamiUllah B (2013), "Application of Morphometric Analysis for Geo-Hydrological Studies Using Geo-Spatial Technology –A Case Study of Vishav Drainage Basin", Hydrol. Curre. Res., vol. 4, issue 3.
- Revuelta-Acosta JD, et.al. (2025), Comprehensive geospatial assessment: morphometric parameters and hydrological implications in five Mexican basins. Sci Rep. Jul 1;15(1):21698. https://doi.org/10.1038/s41598-025-05194-8
- Salim .A .M. et.al. (2020), Stepwise approach for Morphometric modeling of Wadi Zamzam watershed in north-western Libya using GIS and remote sensing techniques, Springer Nature, "Environmental Applications of Remote Sensing and GIS in Libya. PP175-204. Chapter-

Environmental Applications of Remote Sensing and GIS in Libya, (Ed.): Hamdi. A. Zurqani, Sprhnger. https://link.springer.com/gp/book/9783030978099

- Schumn, S.A., (1956). Evaluation of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Am. Bull. 67, 597–646.
- Strahler, A. N., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Union 38, 913–920.
- Strahler, A.N., (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V. (Ed.), Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill, New York, pp. 439–476.