



## استخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM في تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة

د. سليمان يحيى السبيعي

أستاذ مشارك بقسم الجغرافيا/كلية الآداب/جامعة سرت- ليبيا.

dr.soliman.alsubaie@su.edu.ly

الكلمات المفتاحية:

الملخص:

<p>وادي الحنيوة، الخصائص المورفومترية، نموذج الارتفاعات الرقمية، نظم المعلومات الجغرافية، نسبة التشعب.</p> <p>معلومات النشر: تاريخ الاستلام: 2025/12/25 تاريخ القبول: 2026/01/22 تاريخ النشر: 2026/03/01</p>	<p>تهدف الدراسة إلى تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة عن طريق معالجة وتحليل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) 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) متغيراً مورفومترياً والتي تشمل: الخصائص المساحية، التضاريسية، والشكلية إضافة إلى خصائص شبكة التصريف المائي. وتوصلت الدراسة إلى أن حوض وادي الحنيوة يعتبر من الأحواض صغيرة المساحة، حيث بلغت مساحته حوالي 460 كم<sup>2</sup>، ومحيط حوضه 177.01 كم، ويميل الحوض إلى الاستطالة بقيمة 0.61، ويوصف الحوض بأنه ذو نسيج متوسط الخشونة (9.8 مجرى/كم<sup>2</sup>) وفق تصنيف Smith، نتيجة سيادة الصخور الجيرية اللينة. كما بلغ التكامل الهيسومتري نحو (0.68)، مما يدل على أن الحوض لا يزال في مرحلة الشباب من دورته الحثية. وبلغت شبكة التصريف المائية للحوض الرتبة السادسة. شكلت مجاري الرتبة الأولى والثانية حوالي 77% من إجمالي عدد الروافد وأطوالها، كما أظهرت الدراسة انخفاض نسبة التشعب للحوض، حيث بلغت حوالي 1.9 مجرى/كم، مما انعكس على انخفاض كثافة التصريف التي بلغت (2.02 كم<sup>2</sup>/كم<sup>2</sup>) وشدة التصريف (1.86 بوصة/كم)، وهو ما يدل على بطء استجابة الجريان السطحي وتأخر ذروة التصريف، وبالتالي انخفاض احتمالية الفيضانات المفاجئة.</p>
--	--

## Using Digital Elevation Model (DEM) in Analyzing the Morphometric Properties of Wadi Al-Haniwah Basin

Dr. Soliman Yahia Al-Subaie

Geography Department, Faculty of Arts, Sirte University - Libya

dr.soliman.alsubaie@su.edu.ly

### Abstract:

This study aims to analyze the morphometric characteristics of the Wadi Al-Haniwah 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 area, topographic, and morphological characteristics, in addition to the drainage network characteristics. The study concluded that the Wadi Al-Haniwah basin is a small basin, with an area of approximately 460 km<sup>2</sup> and a perimeter of 177.01 km. The basin has an elongation of 0.61 and is described as having a medium-coarse texture (9.8 streams/km<sup>2</sup>) according to Smith's classification, due to the predominance of soft limestone. The hypsometric integration was approximately 0.68, 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 streams constituted about 77% of the total number and length of tributaries. The study also revealed a low bifurcation ratio of approximately 1.9 tributaries/km<sup>2</sup>, which resulted in a low drainage density of 2.02 km/km<sup>2</sup> and a low discharge intensity of 1.86 in/km<sup>2</sup>. This suggests a slow surface runoff response and a delayed peak discharge, thus reducing the likelihood of flash floods.

### Keywords:

Wadi Al-Haniwah, Morphometric characteristics, Digital Elevation Model, Geographic Information System, Bifurcation ratio.

### Information:

Received: 25/12/2025  
Accepted: 22/01/2026  
Published: 01/03/2026

## 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. ويهدف علم الجيومورفولوجيا من دراسة هذه العمليات 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 كميًا لخصائص أشكال سطح الأرض (Rafiq et al., 2013).

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

ولعبت أعمال روبرت هورتون (1932-1945)، و لانغباين (1947)، وسميث (1950)، و شوم (1956)، وآرثر ستريبل (1957-1964) دورًا محوريًا في تحويل دراسة أحواض التصريف النهري من منهج وصفي واستنتاجي إلى منهج كمي دقيق. وكان للتحليل المورفومتري الذي قدمه هورتون لأول مرة عام 1945 في مجال هيدرولوجية أحواض التصريف المائية دور فعال في فهم خصائص هذه الأحواض وطرق تكوينها وتطورها، حيث عزز التحليل المورفومتري لأحواض التصريف فهم كيفية تأثير شبكات التصريف السطحي على خصائص التضاريس وتقييم أنظمة التصريف كميًا (Padala, R. S. & Mathew, A. 2024) ومهدت كل هذه الأعمال لظهور المدرسة المورفومترية في الدراسات الجيومورفولوجية وتطورها بشكل كبير، لتكون نواة لظهور علم الجيومورفومتري (Geomorphometry) الذي يهتم بتحليل وقياس أشكال سطح الأرض كميًا (شحدة، 2016، ص 88). غير أنّ وسائل التحليل المورفومتري الحديثة باستخدام تقنيات الاستشعار

عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية أخذت تتطور بسرعة هائلة، وأصبحت تأخذ مكانة مهمة في البحوث الجيومورفولوجية، وحلت محل الطرق التقليدية. حيث أثبتت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS أنّها 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 إنجاز العمليات التحليلية للأودية والجاري النهرية.

وتزايد الاهتمام مؤخرًا 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 في 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 تُعدّ أكبر الكوارث الطبيعية التي شهدتها ليبيا عبر التاريخ، حيث أدت هذه الكارثة إلى وفاة 5923 شخص، (تقرير النتائج السنوي للأمم المتحدة في ليبيا، 2023، ص 7) وتدمير آلاف المباني في المدينة وجرفها إلى البحر.

وفي الإطار ذاته تأتي هذه الدراسة متواكبة مع هذا الاتجاه الذي يهدف إلى إنشاء قاعدة بيانات جغرافية لأحواض التصريف المائية بمنطقة سرت، حيث تشكّل 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 تسهم هذه الدراسات في توجيه جهود التخطيط البيئي، والحفاظ على الموارد الطبيعية وتنميتها، وتساعد في تطوير استراتيجيات لإدارة مخاطر الفيضانات والإنذار المبكر. وبذلك تُعدّ 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

- استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لحوض تصريف وادي الحنيوة وذلك بالاعتماد على معالجة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية.
  - اشتقاق وبناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة من نظم المعلومات الجغرافية.
  - إنشاء خرائط رقمية دقيقة لحوض وادي الحنيوة وشبكته المائية بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.
- منطقة الدراسة:**

يقع حوض وادي الحنيوة في وسط الشمال الليبي عند خليج سرت، إلى الشرق من مدينة سرت بحوالي 40 كم. ويمتد فلكيًا بين خطي طول (45.296°'48.'16-°46.08.'02.'17 شرقًا)، ودائرتي عرض (39.168°'49.'30 - °39.549.'09.'31 شمالًا) الخريطة رقم (1)، وينحدر الوادي من مجموعة الهضاب الجنوبية عند حرماية أبوشوك ونقب أبوسدره حيث يتكون من التقاء فرعيه وادي زير الذي يمثل رافده الجنوبي الشرقي، ووادي أم الحيران الذي يمثل رافده الجنوبي الغربي، حيث يلتقي هذين الواديين عند أمأجن الهماملة ليُشكِّلا مجرى واحد يسمى وادي الحنيوة، والذي يقطع السهل الساحلي ليصل إلى البحر، ويمتد في البداية متخذًا اتجاهًا عامًا من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي في جزئه الجنوبي ثم يأخذ اتجاهًا عامًا من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي في جزئه الشمالي ليصب في البحر المتوسط عند خليج سرت، ويحده من الشرق خط تقسيم المياه مع وادي هراوة والعامرة ومن الغرب خط تقسيم المياه مع وادي تلال. وتبلغ مساحة حوض وادي الحنيوة حوالي 460 كم<sup>2</sup>، ويصل أقصى طول للوادي من الجنوب إلى الشمال حوالي 39.8 كم، ويبلغ أقصى عرض له حوالي 22.9 كم في الجزء الذي يمتد من نقب أبوسدره غربًا إلى حرماية أبوشوك شرقًا، بينما يبلغ متوسط عرضه 15 كم، في حين يبلغ محيط حوض الوادي حوالي 177.01 كم.

#### منهجية الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة اعتمد الباحث على استخدام المنهج الوصفي Descriptive Method لوصف بعض الظواهر المورفولوجية والجيولوجية لحوض الوادي، كما اعتمد الباحث على استخدام المنهج التحليلي الكمي The quantitative analytical Method لتحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة، اعتمادًا على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بتطبيق المعادلات

- أكثر تحديدًا ومن أهمها:
  - هل تؤثر الخصائص الجيولوجية على الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة وشبكته المائية؟
  - هل يمكن حساب الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية؟
  - ما مدى كفاءة الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لحوض التصريف بمعالجة وتحليل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؟
- فرضيات الدراسة:**

- تؤثر الخصائص الجيولوجية التي تشمل التركيب الصخري Lithology، ونظام بنية الطبقات Structure على الخصائص المورفومترية للأحواض المائية، سواء في نشأتها أو تطورها.
- يمكن حساب الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية بمعالجة وتحليل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM).

- تُعدّ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS فعالة 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:

- تتمثل أهمية الدراسة في كونها تُعدّ بمثابة خطوة في توفير إطار مرجعي لدراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف المائية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بمناطق أخرى من ليبيا، إذ يُلاحظ افتقار الدراسات الجغرافية المحلية إلى هذا الإطار.
  - إن فهم الخصائص المورفومترية للأحواض المائية وتحليلها يمكن أن يوفر فهمًا عميقًا لسلوك وخصائص العمليات الهيدرولوجية والتنبؤ بأنماط الجريان السطحي، وتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وتساعد في تطوير استراتيجيات لإدارة مخاطر الفيضانات والإنذار المبكر.
  - تُبرز 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:** تهدف الدراسة إلى تحقيق ما يأتي:

## الجدول (1) الصيغ الرياضية المستخدمة في حساب المعاملات المورفومترية

## لحوض وادي الحنيوة.

No.	المعامل المورفومتري Morphometric parameter	صيغة المعادلة Formula	المراجع References
<b>Areal parameters</b> المعاملات المساحية			
1	المساحة Area (A)	GIS (km <sup>2</sup> )	GIS
2	الخط المحيط Perimeter (P)	GIS (km)	
3	الطول Length (L <sub>b</sub> )	GIS (km)	
4	العرض Width (W)	GIS (km)	
<b>Shape parameters</b> معاملات الشكل			
5	معامل الاستطالة (R <sub>c</sub> )	$R_c = 1.128 \sqrt{A} / L_b$	Schumm (1956)
6	معامل الاستدارة (R <sub>c</sub> )	$R_c = 4 * 3.14 * A / P^2$	Miller (1953)
7	معامل الشكل (R <sub>f</sub> )	$R_f = A / L_b^2$	Horton (1932)
8	نسبة التفلطح (k)	$k = L_b^2 / 4 * A$	Chorely (1957)
9	معامل الاندماج (C <sub>c</sub> )	$C_c = P / 2(3.14 * A)^{0.5}$	Horton (1945)
<b>Relief parameters</b> المعاملات التضاريسية			
10	تضرس الحوض (B <sub>h</sub> )	$B_h = H - h$	Schumm (1963)
11	نسبة التضرس (R <sub>t</sub> )	$R_t = H / L_b$	Schumm (1956)
12	التضاريس النسبية (R <sub>tp</sub> )	$(R_{tp}) = (H/P * 100)$	Milton (1957)
13	درجة الوعورة (R <sub>n</sub> )	$R_n = D_d * (\frac{H}{1000})$	Strahler (1957)
14	نسيج الحوض (D <sub>t</sub> )	$D_t = N_u / P$	Schumm (1956)
15	التكامل المسومتري (H <sub>t</sub> )	$H_t = (H-h)/(H-h)$	Strahler (1957)
<b>Water network parameters</b> معاملات الشبكة المائية			
16	الرتب النهرية (u)	Hierarchical order (GIS)	Strahler (1957)
17	أعداد المجاري (N <sub>u</sub> )	GIS	Horton (1945)
18	أطوال المجاري (L <sub>u</sub> )	GIS (km)	Horton (1945)
19	متوسط طول المجاري (L <sub>sm</sub> )	$L_{sm} = L_u / N_u$	Strahler (1964)
20	نسبة طول المجاري (R <sub>L</sub> )	$R_L = L_u / L_u - 1$	Horton (1945)
21	نسبة التشعب (R <sub>b</sub> )	$R_b = N_u / N_u + 1$	Schumm (1956)
22	كثافة التصريف (D <sub>d</sub> )	$D_d = L_u / A$	Horton (1945)
23	تكرار المجاري (F <sub>s</sub> )	$F_s = N_u / A$	Horton (1945)
24	شدة التصريف (D <sub>t</sub> )	$D_t = F_s / D_d$	Faniran (1968)
25	طول الجريان الصفاحي (L <sub>o</sub> )	$L_o = \frac{1}{2} * D_d$	Horton (1945)
مفتاح الرموز متوسط ارتفاع الحوض = H, أدنى ارتفاع في الحوض = h, أعلى ارتفاع في الحوض = H, مساحتها = A, محيط الحوض = P, طول الحوض = L <sub>b</sub> , كثافة التصريف = D <sub>d</sub> , تكرار المجاري (F <sub>s</sub> ), إجمالي عدد المجاري = N <sub>u</sub> , مجموع أطوال المجاري = L <sub>u</sub> , المائي = L <sub>u</sub> .			

المصدر: إعداد الباحث.

## التقنيات المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة في تحليلها لبيانات على عدد من البرامج أهمها:

- 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) الملحقه بالبرنامج والخاصة بتحليل أحواض التصريف؛ للحصول على

الرياضية من أجل حساب المعاملات المورفومترية لحوض وادي الحنيوة وشبكته المائية، كما تم استخدام الأسلوب الكارتوجرافي في رسم الخرائط الرقمية لحوض الوادي وشبكته المائية.

## مصادر البيانات:

اعتمدت الدراسة على البيانات المشتقة من:

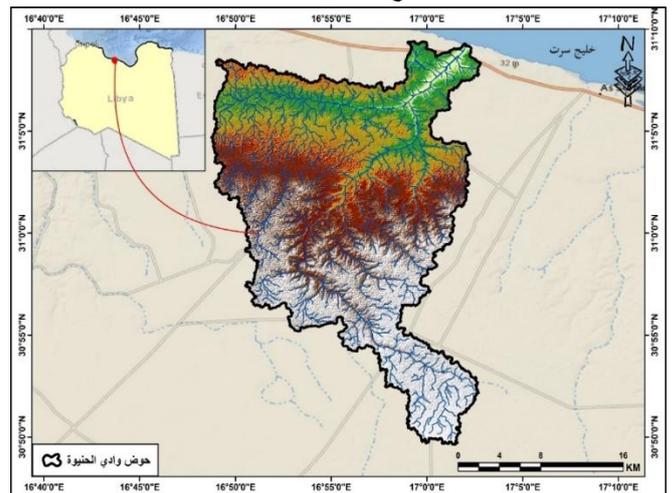
- نموذج الارتفاعات الرقمية DEM يُغطي منطقة الحوض، من بيانات القمر الصناعي ASTER لسنة 2014 بدقة تمييزية 30\*30 متر.

- الخرائط الجيولوجية لعامي 1977-1980 الصادرة عن مركز البحوث الصناعية بمقياس رسم 1:250000 لوحة قصر سرت ولوحة النوفلية.

- 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 الحنيوة.

- التحليل المورفومتري للبيانات بتطبيق 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 الحنيوة.

## الخريطة (1) الموقع الجغرافي لحوض وادي الحنيوة.



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

ونظم المعلومات الجغرافية المتقدمة، وقام الباحثون بتحليل معايير مورفومترية متنوعة تُسلط الضوء على السلوك الهيدرولوجي والديناميكيات البيئية لهذه الأحواض، وتشير نتائج هذه الدراسة إلى تباين كبير في مساحة الحوض وشكله وكثافة تصريفه وخصائصه الطبوغرافية، والتي تؤثر مجتمعةً على توليد الجريان السطحي، واحتمالية حدوث الفيضانات، ونقل الرواسب، كما أبرز التحليل الدور الحاسم للمعايير المورفومترية في فهم الاستجابات الهيدرولوجية لهذه الأحواض، مما يُسهم في الإدارة الفعالة للموارد المائية واستراتيجيات الحد من الفيضانات، وأكدت الدراسة على أهمية اتباع مناهج متكاملة تجمع بين الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية والآثار الهيدرولوجية لمعالجة القضايا البيئية الملحة.

– 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 تحديد 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 افترقت بعض المقالات إلى التحقق من قانوني هورتون الأول والثاني وتقييم الارتباطات بين المعايير المورفومترية.

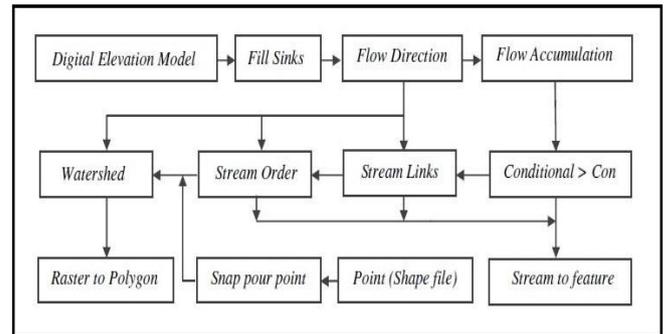
– دراسة (Farhan, et al. 2015) بعنوان: التحليل الكمي للمعايير الجيومورفومترية لوادي الكرك (الأردن) باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، استخدمت الدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية DEM المشتق من المرئية الفضائية ASTER بدقة 30 متر لإجراء تحليل جيمورفومتري للخصائص المورفومترية المساحية، والشكلية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

– دراسة (Rafiq et al., 2013) حول تطبيق التحليل المورفومتري

بعض القياسات المورفومترية كطول الحوض وعرضه ومساحته ومحيطه، ومساحة التكوينات الجيولوجية، واشتقاق شبكة التصريف المائية لحوض الوادي. ويوضح الشكل (1) مراحل استخراج حوض التصريف وشبكة التصريف المائية من نموذج الارتفاع الرقمي، إضافة إلى إعداد الخرائط الرقمية للحوض.

– برنامج Microsoft Excel: تمّ من خلاله حساب المعاملات المورفومترية للخصائص المورفومترية لحوض الوادي باستخدام الصيغ الرياضية المختلفة.

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



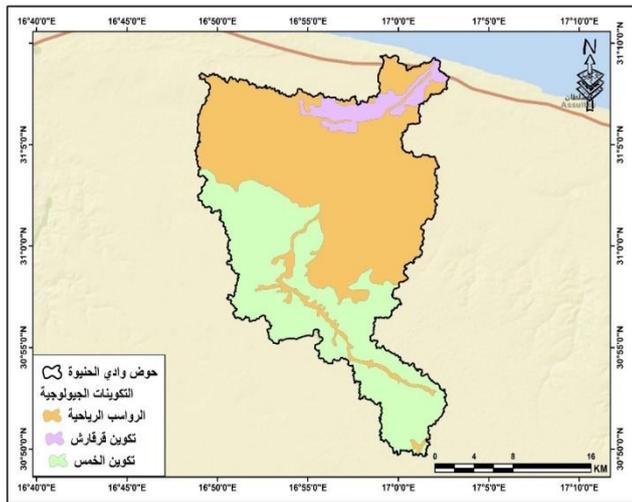
المصدر: إعداد الباحث.

الدراسات السابقة: شهدت دراسات التحليل المورفومتري للأحواض المائية زيادة ملحوظة بين عامي 2010-2025، حيث أظهر البحث في الأدبيات على قاعدة بيانات سكوبس (<https://www.scopus.com>) باستخدام مصطلح البحث (التحليل المورفومتري للأحواض المائية) وجود 45.580 ألف مقالة علمية في الفترة المذكورة، ويُعزى هذا الاهتمام المتزايد إلى التحديات المناخية الراهنة وتوفر تقنيات الاستشعار عن بُعد، وساهمت هذه التطورات في التغلب على القيود المتعلقة بالحجم والتكاليف، مما أتاح اتباع نُهج أكثر شمولية في الدراسات التي تتناول الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف المائية؛ حيث قام الباحث في هذا الجانب بالاطلاع على بعض الدراسات الأجنبية وترجمتها، وخاصة تلك المصنفة ضمن قاعدة بيانات سكوبس Scopus التي تُعدّ ذات موثوقية عالية ومنها:

– دراسة (Revuelta –Acosta JD, et al., 2025) بعنوان: تقييم جيومكاني شامل للمعايير المورفومترية والآثار الهيدرولوجية في خمسة أحواض مكسيكية، وتقدم هذه الدراسة توصيفًا جيومكانيًا شاملًا للخصائص المورفومترية عبر خمسة أحواض نهرية مكسيكية بارزة تصب في خليج المكسيك، وباستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد

على الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للأحواض النهرية، سواء في نشأتها أو تطورها، ولهذا فلا بد من إبراز الخصائص الليثولوجية لصخور حوض التصريف وتوزيعها الجغرافي. ومن دراسة الخريطة الجيولوجية لحوض وادي الحنيوة الخريطة (2)، يتضح أنّ التركيب الجيولوجي للحوض يتسم بالبساطة، حيث تغطي تكوينات عصر الميوسين Miocene Formations متمثلة في تكوين الخمس Al khums Formation الجزء الجنوبي للحوض، في حين تغطي تكوينات الزمن الرابع بعصوره البليستوسين والهولوسين الجزء الشمالي منه، متمثلة في تكوين قرقارش Gargaresh Formation والرواسب الراحية Aeolian deposits ، وفيما يلي وصف مختصر لجميع هذه الوحدات الصخرية من الأقدم إلى الأحدث:

### الخريطة (2) جيولوجية حوض وادي الحنيوة.



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

**تكوين الخمس Al khums Formation:** يُعدّ من أقدم التكوينات الجيولوجية التي تظهر في حوض وادي الحنيوة، حيث يغطي الجزء الجنوبي لحوض الوادي بمساحة تصل إلى 173.7 كم<sup>2</sup> أي ما نسبته 37.76% من جملة مساحة الحوض الجدول (2)، ويمتد في شكل حزام عريض يبدأ من نقب أبوسدرة في الغرب إلى حمراية أبوشوك في الشرق، ويتألف الجزء العلوي لتكوين الخمس من الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي الذي ترسب في بيئة بحرية ضحلة، بينما يتألف الجزء السفلي من الحجر الجيري الرملي والجبس (مركز البحوث الصناعية، 1980، ص 8) وتظهر بها الطبقات بوضوح، كما أنّها غنية بالحفريات ويتراوح سمك رواسب هذا التكوين بين 40 - 60 متر، كما تُدُلّ دراسة المحتوى الحفري لصخور هذا التكوين على أنّها ترسبت في عصر الميوسين الأوسط الذي يُعرف بالعصر اللغني

في الدراسات الجيوهيدروجيولوجية باستخدام التقنيات المكانية بالتطبيق على حوض تصريف فيشاف، وتوصّلت الدراسة إلى أنّ عدد المجاري المائية وطولها يكونان في أقصى حدّ لهما في الرتبة الأولى ويتناقصان مع تزايد الرتبة، وأنّ حوض التصريف يميل للاستطالة حيث بلغ معامل الاستطالة 0.15، ومعامل الشكل 0.22 وأنّ الحوض يتميز بانخفاض كثافة التصريف، كما توصّلت إلى أنّ التحليل المورفومتري القائم على GIS يُعدّ أداة فعّالة في الدراسات الجيوهيدروجيولوجية.

- دراسة (Pareta & Pareta 2011) بعنوان: دراسة هيدرومورفوجيولوجية لحوض كاروان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، استخدمت الدراسة نموذج الارتفاعات الرقمية DEM المشتق من المرئية الفضائية ASTER لإجراء دراسة هيدرومورفوجيولوجية لحوض وادي كاروان بهدف الكشف عن المناطق المحتملة لوجود المياه الجوفية بالحوض؛ نظراً لشحّة المياه في المنطقة، وقام الباحثان بحساب أكثر من 85 معاملاً مورفومترياً لتقييم دلالاتها الهيدروجيولوجية، وبناءً على تحليل جميع المعايير المورفومترية، وتوصّلت الدراسة إلى أنّ تطور التعرية في المنطقة بفعل الجداول تجاوز مرحلة النضج، وأنّ التركيب الصخري كان له تأثير كبير على تطور نظام الصرف، كما أنّه بتحليل صور الأقمار الصناعية في المعمل تمّ التوصل إلى أنّ رواسب الوديان والسفوح المدفونة مناطق ذات إمكانات جيدة للمياه الجوفية، وكذلك مناطق الفواصل والكسور وتقاطعاتها، وتُعدّ مواقع مُحتملة لاستغلال المياه الجوفية، كما توصّلت الدراسة إلى أنّ التحليل الهيدرومورفوجيولوجي يُعدّ أداة بسيطة لا تتطلب تكلفةً أوليةً كبيرةً لدراسة حوض النهر داخل المختبر، واختيار المناطق ذات الإمكانيات المحتملة للمياه الجوفية لإجراء دراسات ميدانية مُركّزة لاحقة، وأنّ هذا التحليل يُقلّل من تكاليف العمل الميداني، والوقت المستغرق، ويُجسّن جودة النتائج.

**تنظيم الدراسة:** لتسهيل تنظيم البحث قُسمت الدراسة إلى العناصر الآتية:

- 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

(Industrial Research Centre. 1980. P 50) Langhian).

## الجدول (2) التكوينات الجيولوجية في حوض وادي الحنيوة.

الزمن	العصر	التكوينات الجيولوجية	المساحة ونسبتها في الحوض	
			كم <sup>2</sup>	%
الثالث	الميوسين	تكوين الخمس	173.7	37.76
الرابع	البليستوسين	تكوين قرقارش	22.8	4.95
		الرواسب الرياحية	263.5	57.29
المجموع			460	%100

المصدر: من عمل الباحث باستخدام GIS.

تكوين قرقارش **Gargaresh Formation**: يغطي

مساحة محدودة من حوض وادي الحنيوة لا تتعدى 22.8 كم<sup>2</sup> أي ما نسبته 4.95% من مساحة الحوض الجدول (2)، ويمتد على شكل لسان ضيق في أقصى شمال غرب الحوض، متخذاً اتجاهًا عامًا من الغرب إلى الشرق في البداية عند وادي العلندايا أهم رافد لوادي الحنيوة، ثم ينحرف شمالاً ليصل إلى مصب الوادي في خليج سرت. وترسب تكوين قرقارش في عصر البليستوسين المبكر تحت سطح البحر على امتداد الجزء الساحلي الضيق، وتتألف صخوره من الكالكارينيت ذي اللون الرمادي الفاتح الذي يحتوي على الرخويات البحرية وتداخلات من الرمال الرياحية أو الغرين الجيري، ويتراوح شُكّه بين 1-2 متر (مركز البحوث الصناعية، 1980، ص 4).

**الرواسب الرياحية Aeolian deposits**: تغطي أكثر من نصف مساحة حوض وادي الحنيوة بمساحة تصل إلى حوالي 263.5 كم<sup>2</sup> أي ما نسبته 57.29% من إجمالي مساحة الحوض الجدول (2)، حيث تغطي النصف الشمالي من حوض الوادي، وتمتد على شكل حزام عريض يبدأ من جبانة الحاج عمر في الجنوب الشرقي ماراً بوادي زير الذي يمثل الرافد الجنوبي الشرقي لوادي الحنيوة، ثم يمتد ليغطي وادي أم الحيران الذي يمثل الرافد الجنوبي الغربي لوادي الحنيوة، حيث يلتقي هذين الواديين عند أمّاجن الهماملة ليُشكّل مجرى واحد يسمى وادي الحنيوة والذي يقطع السهل الساحلي ليصل إلى البحر. وتتألف الرواسب الرياحية من حقول الكنتان والغطاءات الرملية الناتجة عن فعل الرياح، وتتركب من حبيبات الرمل الدقيقة الكاملة الاستدارة وذات الحجم المتشابه، وتتكون من الكوارتز والمرو والكربونات مختلطة بالطفلة والتي ترسبت في الهولوسين المتأخر (Industrial Research Centre. 1980. P 64).

ثانياً: **الخصائص المورفومترية لحوض وادي الحنيوة**: تُعدّ الدراسة المورفومترية إحدى 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، وتُعدّ 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 مريّات الأقمار الصناعية كنماذج الارتفاعات الرقمية DEM.

وساهمت 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 الهيدرولوجية وأحواض التصريف المائية. وتختلف الدراسات الجيومورفولوجية لأحواض التصريف المائية في عدد الخصائص أو المتغيرات المورفومترية المستخدمة في الدراسة، فبلغت عند بعض الباحثين 85 متغيراً (Pareta & Pareta. 2011. P. 243)، ورغم هذا ظلت دراسات روبرت هورتون Horton (1945)، وآرثر سترالهر (Strahler 1957) المرجع الرئيسي لمعظم الدراسات المورفومترية التي أُجريت في هذا القرن؛ حيث صنفت الخصائص المورفومترية إلى أربعة فئات رئيسة هي: الخصائص المساحية، والشكلية، والتضاريسية، والشبكية، وبلغ عدد المعاملات المورفومترية المستخدمة في هذه الدراسة 25 معاملاً مورفومترياً مصنفة في أربع فئات رئيسة تظهر نتائجها في الجدول (3) كما يأتي:

الجدول (3) الخصائص المورفومترية (المساحية، الشكلية، التضاريسية،

الشبكة المائية) لحوض وادي الحنيوة.

المعاملات المساحية Areal parameters					
مساحة الحوض كم <sup>2</sup>	طول الحوض / كم	عرض الحوض / كم	محيط الحوض / كم		
460	39.8	22.9	177.01		
معاملات الشكل Shape parameters					
معامل الاستدارة	معامل الاستدارة	معامل الشكل	معامل الاندماج	نسبة الفلطح	
0.61	0.18	0.29	3.3	1.083	
المعاملات التضاريسية Relief parameters					
التكامل الميسومتري كم <sup>2</sup> /م	نسبة التضررس / كم	درجة الوعورة / كم	نسبة التضررس %	نسيج الحوض / كم	تضررس الحوض / م
0.68	3.36	0.27	75.7	9.8	134
معاملات الشبكة المائية Water network parameters					
كثافة التصريف كم <sup>2</sup> /كم	نسبة التشعب	متوسط طول المجاري	أطوال المجاري / كم	أعداد المجاري	الرتب النهرية
2.02	1.9	0.537	931.02	1734	6
الجريان الصفائحي / كم	شدة التصريف بوصة / كم	تكرار المجاري مجرى/ كم <sup>2</sup>			
1.01	1.86	3.76			

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام GIS، وتطبيق الصيغ الرياضية الجدول (2).

**- الخصائص المورفومترية المساحية لحوض وادي الحنيوة:**

**- مساحة الحوض (A) Basin Area:** تُعرّف مساحة حوض التصريف بأنها المنطقة المحددة بخط تقسيم المياه Water divide والتي 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) أنه هناك علاقة طردية بين مساحة حوض التصريف وطول المجرى المائي؛ حيث إنّه 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، وهذا مع افتراض ثبات بقية المتغيرات الأخرى، مثل الخصائص المناخية والتركيبة الجيولوجية إضافة إلى عامل الزمن (جودة وآخرون، 1991، ص290)، وتحليل نموذج الارتفاع الرقمي بلغت مساحة حوض وادي الحنيوة 460 كم<sup>2</sup>. الجدول (3).

**- طول الحوض (Lb) Basin length:** هناك كثير من الطرق لحساب طول حوض التصريف للأودية النهرية، غير أنّ 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 أنّ يمتد هذا الخط على المحور المستقيم للمجرى الرئيسي، ويُعدّ قياس طول الحوض مهمّاً في الدراسات المورفومترية؛ حيث يُستخدم في حساب العديد من المتغيرات الأخرى، خاصة شكل الحوض، ويتأثر طول الحوض بالعوامل التكتونية والبنوية 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 والنتائج الرسوبية ووصولها إلى المصب، حيث توصف العلاقة بين طول الحوض وسرعة الجريان بأنها علاقة عكسية، فكّما زاد طول الحوض زاد الزمن اللازم لوصول الفيضان إلى منطقة المصب (شحدة، 2016، ص15)، في حين تتناسب معدلات التبخر والتسرب طردياً مع طول المجرى المائي، فتزداد بزيادة (عنيبة، 2018). ويبلغ طول وادي الحنيوة بدايةً من مصبه إلى أقصى نقطة على محيطه نحو الجنوب الغربي 39.8 كم الجدول (3).

**- عرض الحوض (W) Basin Width:** ليست له كثير من الدلالات المورفومترية، أو بمعنى أوضح لا يُستخدم في استخراج الكثير

من المعاملات المورفومترية، غير أنّه يؤثر في تحديد شكل الحوض، وزيادة طول المدة اللازمة لتصريف مياه الحوض وحمولته الرسوبية، إضافة إلى تحديد زمن قمة الفيضان وحدتها (سلوم، 2012، ص402). وتتعدد الطرق المستخدمة لقياس عرض حوض التصريف غير أنّ أهمها التي تتم بقياس المسافة بين أبعد نقطتين متقابلتين تقريباً على محور الحوض (جودة وآخرون، 1991، ص293)، وقام الباحث باستخدام هذه الطريقة كونها الأكثر انتشاراً بين الباحثين، وتُعبّر عن مدى نشاط شبكة المجاري المائية وتوسعها، ويبلغ عرض حوض وادي الحنيوة حوالي 22.9 كم الجدول (3).

**- محيط الحوض (P) Perimeter basin:** ويقصد به 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 الأولى ونموها، وعمليات الأسر النهري، وتراجع المنحدرات. (السبيعي، 2016، ص116). ويؤثر محيط حوض التصريف على مختلف العمليات الهيدرولوجية، مثل استجابة هطول الأمطار للجريان السطحي ونقل الرواسب، ولذلك وبقياس 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 الحنيوة 177.01 كم الجدول (3)، ويعكس هذا الطول الكبير لمحيط الحوض مدى تعرج خط تقسيم المياه حوض وادي الحنيوة متأثراً بتطور وزيادة المجاري المائية في الرتبة الأولى؛ بسبب نشاط عمليات النحت الرأسي والجاني بفعل شدة التعرية المائية الناتجة عن تشكّل الروافد النهرية.

**- الخصائص المورفومترية الشكلية لحوض وادي الحنيوة:** تهدف دراسة الخصائص الشكلية لأحواض التصريف المائي إلى إبراز أثر العمليات الجيومورفولوجية في اتخاذ حوض التصريف شكلاً بعينه وعدم اتخاذه شكلاً آخر؛ أي أنّنا 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 أنّها تتيح إمكانية إجراء مقارنة دقيقة بين أشكال الأحواض المائية وترتيبها، بل وتصنيفها بشكل دقيق وفق

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 واقتربه من الشكل الدائري، وانتظام خط تقسيم المياه وسيادة عمليات النحت الجانبي والتراجعي وزيادة الناتج الرسوبي sediment yield، ويعكس بذلك تقدّم الدورة التحاتية للحوض (Strahler 1964)، وحُسبت نسبة الاستدارة لحوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Miller 1953) الجدول (1)، معادلة (6)، حيث بلغت قيمتها 0.18، 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.

**- معامل الشكل (Form factor) ( $R_f$ ):** اقترح (Horton 1932) هذا المعامل لقياس العلاقة بين مساحة حوض التصريف ومربع 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 الأحواض ذات القيم القريبة من الواحد الصحيح بسرعة تدفق المياه، وقصر الوقت اللازم في الوصول إلى قمة الجريان، مما يجعل الحوض عرضة لمخاطر الفيضانات، في حين تتميز الأحواض 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. وتمّ حساب قيمة معامل الشكل باستخدام صيغة معادلة (Horton 1932) الجدول (1)، معادلة (7)، وبلغت هذه القيمة في حوض وادي الحنيوة حوالي 0.29 وهي قيمة منخفضة تدل على عدم تناسق شكل الحوض، وميله إلى الاستطالة وبالتالي يتميز بمسارات تدفق أطول مما يؤخر تدفقات الذروة وينشر الجريان السطحي على مدى فترة أطول، كما يتميز بمعدلات تآكل وترسيب متفاوتة اعتماداً على طول

صيع رياضية ضمن كل مجموعة شكلية، فالأحواض المتشابهة في خصائصها الشكلية لا بد أن تتماثل في خصائصها الجيومورفولوجية الأخرى؛ لأنها نتجت عن العمليات الجيومورفولوجية ذاتها. وترتبط الخصائص الشكلية لأحواض التصريف المائية ارتباطاً مباشراً بمدى التطور الجيومورفولوجي للحوض، والخصائص الجيومورفولوجية متضمنة التركيب الصخري Lithology والبنية الجيومورفولوجية 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 والتفطح أو الانبعاج، وتشمل الخصائص الشكلية المدروسة ما يأتي:

**- نسبة الاستطالة (Elongation Ratio) ( $R_e$ ):** يُعدّ معامل الاستطالة متغيراً مورفومترياً مؤشراً 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)، ويُعدّ 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، وحُسبت نسبة الاستطالة لحوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Schumm 1956) الجدول (1)، معادلة (5)، حيث بلغت قيمته 0.61، ووفقاً لتصنيف Schumm فإنّ حوض وادي الحنيوة يُعدّ حوضاً متوسط الاستطالة، وفي مرحلة الشباب من دورته التحاتية، وهذا يُعدّ مؤشراً هيدرولوجياً 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.

**- نسبة الاستدارة (Circularity ratio) ( $R_c$ ):** يُشير هذا المعامل إلى مدى اقتراب شكل حوض التصريف إلى شكل الدائرة

وبلغت هذه القيمة في حوض وادي الحنيوة حوالي 3.3 الجدول (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 أنّ الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحتانية، وهذا يتوافق تمامًا مع نتائج معاملات الشكل الأخرى.

**- الخصائص المورفومترية التضاريسية لحوض وادي الحنيوة:** تُعدّ 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. فضلًا عن معرفة أثر الاختلافات الصخرية والبنوية على خصائص شبكة التصريف المائي، والمرحلة التي قطعها الأحواض في دورتها التحتانية، وتُعدّ كل هذه الخصائص ضرورية لفهم الطاقة المتاحة للتدفق المائي في شبكة التصريف، والتآكل المحتمل ونقل الرواسب. ويُبيّن الجدول (4) عددًا من المتغيرات التضاريسية لحوض وادي الحنيوة التي تمّ اشتقاقها على النحو الآتي:

**- تضرس الحوض ( $B_h$ ) Basin relief:** يُشير في الجيومورفولوجيا إلى الفارق الرأسي في الارتفاع بين أعلى نقطة وأدنى نقطة في حوض التصريف، على أنّ تكون أعلى نقطة عند خط تقسيم المياه، وأدناها عند مخرج الحوض، وتبرز أهمية تضرس الحوض في كونه يُعدّ انعكاسًا لمدى فعالية ونشاط الخصائص الديناميكية للحوض وخاصة عمليات التعرية المائية التي تعمل على تشكيل سطح الأرض، مما يجعلها شاهدًا على التاريخ الجيومورفولوجي للحوض، ويمكن منها تحديد المرحلة التحتانية التي يمر بها الحوض، ومدى تأثيرها بالاختلافات الليثولوجية والبنوية؛ حيث يرى (Chorley 1957) أنّ لتوزيع المرتفعات والقمم البعيدة عن خط تقسيم مياه الحوض دلالة باليوجيومورفولوجية Paleo Geomorphology بوصفها تمثّل مستويات أساس قديمة Ancient base levels، وتمّ تخفيض ما حولها بفعل عمليات الحتّ والإزالة (سلوم، 2012، ص381). ويبلغ ارتفاع أعلى نقطة في حوض وادي الحنيوة حوالي 161 متر فوق مستوى سطح البحر، وتقع في أقصى جنوب شرق الحوض عند حمراية أبو شوك، في حين يبلغ ارتفاع أدنى نقطة حوالي 27 متر فوق مستوى سطح البحر عند مخرج الحوض، وبذلك بلغت قيمة تضرس حوض وادي الحنيوة حوالي 134 متر الجدول (3)، وهي قيمة منخفضة تدل على قلة تضرس الحوض وبطء سرعة

مسارات التدفق وإحداها.

**- نسبة التفلطح ( $k$ ) Lemniscat ratio:** تتجه غالبية أنظمة التصريف المائي لأن يكون شكل مساحة أحواضها واسعًا بالمجرى الأعلى، ويضيق تدريجيًا كلما اتجهنا نحو المصب، مما يجعل شكل الحوض لا يشبه الأشكال الهندسية المنتظمة كالمستطيل والدائرة...، ولهذا اقترح (Chorley 1957) هذا المعامل لقياس مدى تشابه شكل الحوض مع الشكل الكُمثري Pear-shape حيث يرى فيه حلًا مثاليًا يعالج سلبيات معامل الاستدارة، ومشكلة مقارنة شكل الحوض الطبيعي بالأشكال الهندسية المجردة، وتشير القيم المنخفضة إلى تفلطح الحوض واقترابه من الشكل الكُمثري، وزيادة عدد مجاري الرتبة الأولى وأطولها، ومن ثم نشاط عمليات الحت التراجعي مما يدل على أنّ الحوض قطع شوطًا طويلاً من دورته الحثية، والعكس في حالة القيم المرتفعة لهذا المعامل (سلوم، 2012، ص407). وتمّ حساب قيمة نسبة التفلطح باستخدام صيغة معادلة (Chorley 1957) الجدول (1، معادلة 8)، وبلغت هذه القيمة في حوض وادي الحنيوة حوالي 1.083 جدول (3)، وهي قيمة مرتفعة تدل على استطالة الحوض وابتعاده عن الشكل المنبجج أو الكُمثري، وهو أمر توافقه الملاحظة البصرية لشكل الحوض، كما يدل ذلك على أنّ الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحتانية.

**- مُعامل الاندماج ( $C_c$ ) Coalition coefficient:** يوفر هذا المعامل والذي يُعرف أيضًا بمؤشر غرافيليوس (Gravelius) مقياسًا لمدى تماسك أو استدارة حوض التصريف المائي مُقارنةً بالدائرة المثالية والتي تُعدّ الشكل الأكثر كفاءة للتصريف، حيث يُستخدم هذا المقياس مؤشّرًا للمسافة بين خط تقسيم المياه ومركز حوض التصريف، ويُعبّر عن مدى تجانس الحوض وتناسق شكل المحيط الحوضي مع مساحته، وهو بذلك يشابه معامل الاستدارة، غير أنّ الشكل يُقاس هنا بدلالة محيط الحوض بدلًا من مساحته (Revuelta -Acosta JD, et al., 2025، p.14) وتُعدّ قيمة (1 صحيح) الحد الأدنى لهذا المعامل، وتُشير هذه القيمة إلى أنّ الحوض كامل الاستدارة تمامًا، وأنّ شكل محيط الحوض متناسق مع مساحته، وإلى تقدم الحوض في دورته الحثية، وكلّما زادت القيمة عن 1 صحيح دلّ ذلك على استطالة الحوض وتعرج خط تقسيم المياه، وأنّ الحوض ما زال في بداية دورته الحثية (Pareta & Pareta 2011). وتمّ حساب قيمة معامل الاندماج باستخدام صيغة معادلة (Horton 1945) الجدول (1، معادلة 9)،

مساحة فئة الانحدار فوق المتوسط (5,70° فأكثر) 11.9 كم<sup>2</sup> بنسبة 2.7 % من إجمالي مساحة الحوض. وهذا يدل على أنّ الانحدارات في حوض وادي الحنيوة هينة أو لطيفة، حيث إنّ عملية الجريان لا تحدث بشكل منتظم فوق كل المنحدرات في وقت واحد، ويعود هذا إلى تأثير اختلاف انحدار السطح؛ حيث تزيد نسبة الفقد والتبخر في المناطق قليلة الانحدار بسبب بطء جريان المياه فوقها.

#### الجدول (4) مساحة فئات التضرس وفئات معدل الانحدار

##### في حوض وادي الحنيوة.

مناطق الحوض	فئات الارتفاع	المساحة كم <sup>2</sup>	%	فئة الانحدار	المساحة كم <sup>2</sup>	%	الدلالة
المنطقة الدنيا	27-86	180.8	39.30	0-1.27	108.6	23.6	شبه مستوي
المنطقة الوسطى	86-120	122.9	26.71	1.27-2.88	209	45.4	انحدار خفيف جدًا
المنطقة العليا	120-161	156.06	33.92	2.88-4.15	93.8	20.4	انحدار خفيف
				4.15-5.70	36.7	7.9	انحدار متوسط
				5.70 فأكثر	11.9	2.7	انحدار فوق المتوسط
المجموع	--	460	100%	--	460	100	

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

#### - التضاريس النسبية (Relative Relief (R<sub>hp</sub>): تُعدّ

التضاريس النسبية أهم المتغيرات المورفومترية التي يتم بها 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 سلبية 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 رية، 2007، ص 57). وتمّ حساب قيمة التضاريس النسبية باستخدام صيغة معادلة (Milton, 1954) الجدول (1، معادلة 12) وبلغت هذه القيمة في حوض وادي الحنيوة حوالي 75.7 %.

الجريان، وضياح جزء كبير منه بواسطة عمليتي التسرب والتبخر، مما يقلل خطورة ذروة الفيضان. ومن اشتقاق مساحة فئات الارتفاع من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الجدول رقم (4) والخريطة (3) تبين أنّ مساحة المنطقة الدنيا بالحوض التي تمثل فئة الارتفاع (27-86 متر) تحتل أكبر مساحة؛ حيث بلغت مساحتها حوالي 180.8 كم<sup>2</sup> أي ما نسبته 39.30 % من جملة مساحة الحوض، حيث يشق الوادي مجراه في سهل سرت الفسيح، تليها المنطقة العليا التي تمثل فئة الارتفاع (120-161 متر) حيث احتلت مساحة 156.06 كم<sup>2</sup> بنسبة 33.92 % من مساحة الحوض، بينما بلغت مساحة المنطقة الوسطى التي تمثل فئة الارتفاع (86-120 متر) حوالي 122.9 كم<sup>2</sup>، أي ما نسبته 26.71 % من إجمالي مساحة حوض وادي الحنيوة.

- نسبة التضرس (Relief ratio (R<sub>r</sub>): يُشير هذا المعامل إلى مدى تضرس الحوض بالنسبة إلى طوله، ويتم حسابه من نسبة الفارق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض إلى الطول الحقيقي للحوض، وتؤثر نسبة التضرس تأثيراً مباشراً على سرعة الجريان وكمية المواد المنقولة. وتمّ حساب قيمة نسبة التضرس باستخدام صيغة معادلة (Schumm 1956) الجدول (1، معادلة 11) وبلغت هذه القيمة في حوض وادي الحنيوة حوالي 3.36 م/كم الجدول (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 ومجري الأودية إلى المنخفضات والمصبّات. وتعكس خصائص الانحدار العلاقة بين الارتفاع والخصائص الجيولوجية والمساحة الحوضية وطول الحوض، وبتحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لحوض وادي الحنيوة باستخدام الأمر (slope) من قائمة (Surface Analysis) تمّ حساب فئات الانحدار بالحوض في خمسة فئات رئيسية حسب تصنيف (Young, A., 1972) الجدول (4) الخريطة (3)، حيث احتلت فئة الانحدار الخفيف جداً (1.27 - 2.88°) أكبر مساحة من حوض التصريف بلغت حوالي 209 كم<sup>2</sup> بنسبة 45.4 % من جملة المساحة وتتركز هذه الفئة في الأجزاء الشمالية من الحوض، تليها فئة الانحدار شبه المستوي (0 - 1.27°) بمساحة 108.6 كم<sup>2</sup> بنسبة 23.6 % من إجمالي مساحة الحوض. في حين بلغت مساحة فئة الانحدار المتوسط (4.15 - 5.70°) حوالي 36.7 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.9 % من جملة مساحة الحوض، ولم تتعدّ

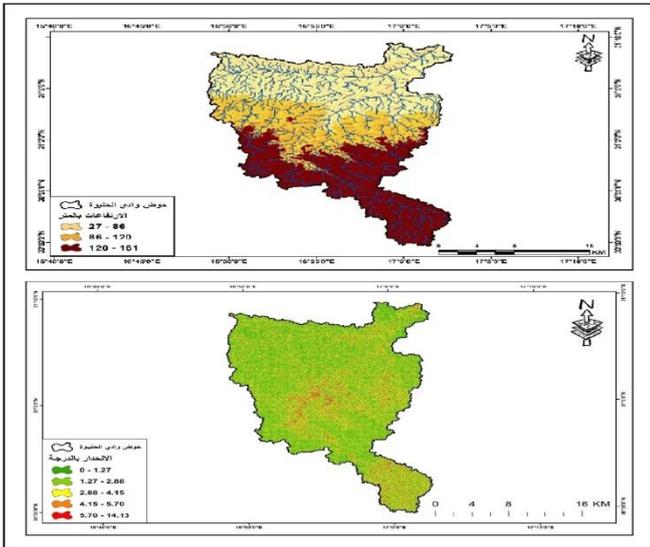
قيمة منخفضة تدل ضعف مقاومة الصخر لنشاط عوامل التعرية؛ حيث تسود حوض الوادي تكوينات صخور الحجر الجيري والحجر الجيري الرملي والكتبان والغطاءات الرملية الناتجة عن فعل الرياح، كما تُشير إلى نشاط عملية النحت التراجعي وتقويض خطوط تقسيم المياه.

**- درجة الوعورة (R<sub>n</sub>) Ruggedness number :** يُشير هذا المعامل إلى العلاقة بين تضرس سطح الحوض وأطوال مجاري شبكة التصريف، وترتبط درجة الوعورة طرديًا مع تضرس الحوض وكثافة التصريف وأطوال المجاري المائية؛ فتزيد بزياتها وتخفض بانخفاضها. وتعدّ قيمة الوعورة من أهم المقاييس المورفومترية حسب رأي (Strahler, 1956)؛ لأنها تحدد بدقة المرحلة التطورية التي وصل إليها حوض التصريف (السبيعي، 2016، ص 134)، كما أشار من دراساته للعديد من الأحواض المائية إلى أنّ 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 الحثية، وتزيد مع الزمن إلى أنّ تصل ذروتها في مرحلة التضج، ثم تبدأ بعد ذلك في الانخفاض في مرحلة الشيخوخة والاقتراب من نهاية الدورة الحثية (عينية، 2018، ص 202). وتمّ حساب قيمة درجة الوعورة باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1957) الجدول (1)، معادلة (13) حيث بلغت حوالي 0.27 الجدول (3)، وهي قيمة منخفضة تُشير إلى تضاريس مسطحة وناعمة نسبيًا 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 أنّ حوض وادي الحنيوة لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته التحاتية.

**- نسيج الحوض (D<sub>t</sub>) Drainage texture :** يُعبّر هذا المعامل عن مدى تقطع سطح حوض التصريف بالمجاري المائية المنتشرة على كامل مساحته بغض النظر عن أطوالها، وكذلك يُلقي الضوء على مدى نمو الشبكة المائية؛ ولذلك يمكن اعتباره مؤشرًا 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 الحثية. وصنّف سميث (1950) Smith نسيج الحوض إلى ثلاثة فئات رئيسة كالتالي: أحواض تضم أقل من 4 مجاري في 1 كم تُعدّ ذات نسيج خشن، أحواض تتراوح فيها المجاري المائية 4:10 مجاري في 1 كم ذات نسيج متوسط، أحواض تحتوي على أكثر من 10 مجاري في 1 كم وتُعدّ ذات نسيج ناعم. وتمّ حساب قيمة نسيج الحوض باستخدام صيغة معادلة (Schumm, 1956) الجدول (1)، معادلة (14) حيث بلغت حوالي 9.8 مجرى لكل 1 كيلومتر الجدول (3)، حيث يُصنّف حوض وادي الحنيوة ضمن الأحواض ذات النسيج متوسط الخشونة وفق تصنيف Smith وهذا يرجع إلى سيادة الصخور الجيرية اللينة والتربة ذات المسامية العالية والتي تُشكّل قوامها الكتبان والغطاءات الرملية.

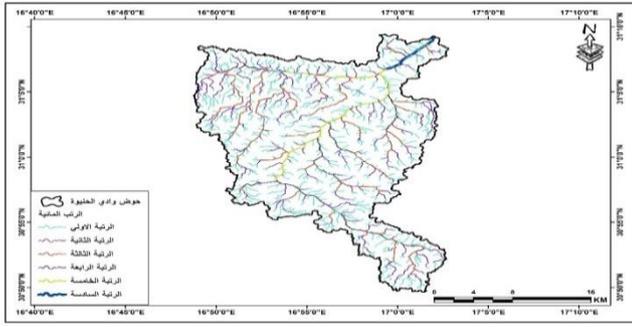
### الخريطة (3) فئات التضرس الكلي والانحدار في حوض وادي الحنيوة.



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

**- التكامل الهيسومتري (H<sub>i</sub>) Hypsometric integral :** يُعدّ من أدق المعاملات المورفومترية تمثيلًا للفترة الزمنية المقطوعة من الدورة التحاتية لأحواض التصريف، وتعبّر قيمته عن المرحلة العمرية للحوض، ويفيد في فهم العلاقة ما بين طبوغرافية الحوض وتعرية المجاري المائية للسطح. ويرى (Strahler 1957) أنّ معامل التكامل الهيسومتري يمكن أن يُصنّف إلى ثلاثة فئات رئيسة: فعندما تكون قيمة هذا المعامل أقل من 0.4 فهذا يدلّ على أنّ الحوض يمر بمرحلة الشيخوخة من دورته الحثية، وإذا كانت القيمة تتراوح بين 0.4-0.6 فإنّه يمرّ بمرحلة التضج التي أطلق عليها Strahler مرحلة التوازن، أمّا إذا تراوحت قيمة هذا المعامل بين 0.61-0.80 فإنّ الحوض في هذه الحالة يمر بمرحلة الشباب من دورته الحثية، والتي أطلق

## الخريطة (4) الرتب النهرية في حوض وادي الحنيوة.



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

- أعداد المجاري المائية ( $N_u$ ) Number of streams:

تُعدّ مؤشرًا مورفومترياً مهمًا يُستدل به على حجم شبكة التصريف، ومرحلة التطور التي بلغها الحوض، حيث يزداد عدد المجاري المائية مع تقدم الحوض في دورته الحثية، 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. وبلغ مجموع أعداد المجاري المائية في حوض وادي الحنيوة 1734 مجرى الجدول (3)، وتتنوع على كامل مساحة حوض التصريف، أما بالنسبة لأعداد المجاري المائية على مستوى الرتب فيظهر من الجدول (5) أنّ عدد مجاري الرتبة الأولى بلغ 878 مجرى شكّلت ما نسبته 50.63% من إجمالي عدد المجاري، وبلغ عدد مجاري الرتبة الثانية 387 مجرى أي ما نسبته 22.31% من إجمالي عدد المجاري المائية في الحوض، أما مجاري الرتبة الثالثة فبلغ عددها 240 مجرى شكّلت ما نسبته 13.84% من إجمالي عدد المجاري، في حين بلغ عدد مجاري الرتب الرابعة والخامسة والسادسة 141، 87، 1. على الترتيب، أي ما نسبته 8.13، 5.01، 0.05% على نفس الترتيب.

## الجدول (5) المعاملات المورفومترية لشبكة التصريف على مستوى الرتب

## بحوض وادي الحنيوة.

الرتب المائية	عدد المجاري	النسبة %	أطوال المجاري كم	النسبة %	متوسط طول المجاري	نسبة طول المجاري	نسبة التشعب
1	878	50.63	494.36	53.1	0.563	--	--
2	387	22.31	222.98	23.9	0.576	0.451	2.27
3	240	13.84	119.96	12.9	0.998	0.537	1.61
4	141	8.13	54.75	5.9	0.388	0.564	1.70
5	87	5.01	32.26	3.5	0.370	0.589	1.62
6	1	0.05	6.71	0.7	6.71	0.208	87
المجموع	1734	% 100	931.02	% 100	--	--	--

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

عليها مرحلة عدم التوازن (Salim, et al., 2020, p.195). وتمّ حساب قيمة مُعامل التكامل الهيسومترى باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1957) الجدول (1)، معادلة (15) حيث بلغت حوالي 0.68 % الجدول (3)، وهذا يعني أنّ الحوض لا يزال يمر بمرحلة الشباب من دورته الحثية، وأنّ حوالي 32% فقط من كتلته الصخرية تعرّضت للتآكل بفعل عمليات التعرية.

ثالثاً: الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائية في حوض وادي الحنيوة: تمثّل شبكة التصريف الشكل العام الذي تظهر فيه مجموعة المجاري المائية في الحوض، وتُعدّ المحصلة النهائية للظروف البنوية والمناخية والصخرية للحوض. وتمّ دراسة شبكة التصريف لحوض وادي الحنيوة بحساب مجموعة من المتغيرات المورفومترية التي تمّ الحصول عليها من تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية من 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 يأتي:

- رتب المجاري المائية ( $u$ ) Stream order: تُعدّ الخطوة الأولى في دراسة شبكة التصريف للأحواض المائية، وتُشير الرتب 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. وتمّ تصنيف وترتيب المجاري المائية لحوض وادي الحنيوة إلى رتب نهرية آلياً وفق طريقة (Strahler 1957) المعدلة عن Horton (1945)؛ وذلك لسهولة وساطتها وفعاليتها في حساب الرتب، وكذلك هي المعتمدة في برنامج Arc GIS، وتتلخص هذه الطريقة في أنّ الجداول المائية الصغيرة التي لا تصبّ فيها أي قنوات مائية أخرى تُعطى الرتبة الأولى، وعندما يلتقي مجريين من الرتبة الأولى يتكون مجرى من الرتبة الثانية، وعندما يلتقي مجريين من الرتبة الثانية يتكون مجرى من الرتبة الثالثة، وهكذا حتى الوصول إلى أعلى رتبة في الحوض، والتي يمثلها المجرى الرئيسي. وبناءً على استخدام طريقة (Strahler 1957) في تحديد رتب المجاري المائية، يُصنّف حوض وادي الحنيوة حوضاً من الرتبة السادسة الجدول (3)، وتوضّح الخريطة (4) توزيع رتب المجاري المائية في حوض التصريف.

حيث بلغ المتوسط العام لأطوال المجاري المائية في حوض وادي الحنيوة 0.537 كيلومترًا (الجدول (3)، أما متوسط أطوال المجاري على مستوى الرتب فيظهر من الجدول (5) أنه يتراوح بين 0.563 كم لمجري الرتبة الأولى، و6.71 كم لمجري الرتبة السادسة، في حين بلغ متوسط طول مجاري الرتبة الثانية 0.576 كم، والرتبة الثالثة 0.998 كم. ويظهر من ذلك أنّ متوسط طول المجاري المائية على مستوى الرتب يزداد بزيادة الرتبة النهرية، وهذا يتفق مع قانون Horton المشار إليه، كما يعكس كفاءة نقل الرواسب المتراكمة في المجاري ذات الرتب الأعلى.

#### – نسبة طول المجاري المائية Stream length ratio

( $R_L$ ): يُشير هذا المعامل إلى النسبة بين طول المجاري المائية في رتبة ما، وأطوال المجاري المائية في الرتبة الأدنى منها مباشرة، وعادةً تميل هذه النسبة إلى الارتفاع مع الانتقال من رتب مجاري مائية أدنى إلى رتب مجاري مائية أعلى؛ حيث يُشير الاتجاه التنازلي في نسبة طول المجاري المائية إلى أنّ التضاريس متموجة، وتتميز بوجود العديد من الجداول وأنماط مجاري مائية معقدة من رتب مختلفة. ويُستدلّ منه على المرحلة التي يمرّ بها الحوض المائي من دورته الحثية. وتمّ حساب قيمة نسبة أطوال المجاري المائية باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) (الجدول (1)، معادلة (20)). حيث يتضح من الجدول (5) أنّ نسبة طول المجاري المائية على مستوى الرتب تتراوح بين 0.208 – 0.589 كما يظهر من هذا التوزيع مدى تباين نسبة أطوال المجاري المائية بين الرتب المختلفة داخل الحوض، والتي غالبًا ما تكون نتيجةً للتغير في درجة انحدار السطح، وتباين التضاريس، ومرور الحوض بمرحلة الشباب من دورته الحثية.

#### – نسبة التشعب Bifurcation ratio ( $R_b$ ):

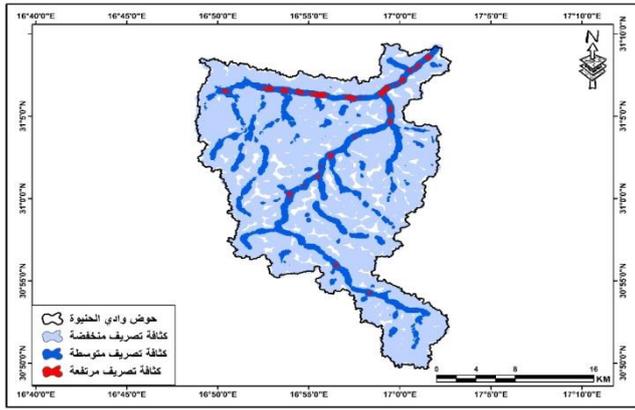
اقترح Horton (1945) هذا المعامل لاستكمال العلاقة بين الرتب النهرية وعدد المجاري، ويقصد به النسبة بين عدد المجاري المائية في رتبة معينة، وعدد المجاري المائية في الرتبة الأعلى منها مباشرة، وتمكن أهمية معدل نسبة التشعب في كونه أحد العوامل التي تتحكم في معدل التصريف المائي في الحوض وزمن تركيز وصول المياه إلى المجاري الرئيسية، وتحديد شكل منحني الفيضان، فكلما قلت نسبة التشعب زاد خطر الفيضان. (السبيعي، 2016، ص158). كما يُعدّ انعكاسًا للتركيب الجيولوجي ونوعية الصخر والظروف المناخية السائدة في الحوض.

ويلاحظ من الجدول (5) أنّ عدد المجاري المائية يتناقص بزيادة الرتب، حيث شكّلت روافد الرتبتين الأولى والثانية أكثر من 72.94 % من إجمالي عدد المجاري المائية في الحوض؛ وهذا يتماشى مع قانون Horton 1945 الذي يرى "أنّ عدد المجاري المائية التي تتدرج تناقصيًا في مجموعاتها أو مراتبها تُشكّل متواليّة هندسية، تبدأ بمجري أعلى رتبة وتزداد وفقًا لنسبة تشعب ثابتة." (Revuelta – Acosta J. D, et al., 2025, p.8).

#### – أطوال المجاري المائية ومتوسط أطوالها Stream length & Mean length ( $L_m$ )

أحد المعايير المورفومترية الرئيسة التي تعكس تطور شبكة التصريف المائي وخصائص الجريان السطحي، ويُحدّد إجمالي أطوال المجاري المائية داخل حوض التصريف يجمع أطوال الروافد المائية على مستوى الرتب، وتمّ قياس أطوال المجاري المائية في حوض وادي الحنيوة من نموذج الارتفاع الرقمي DEM باستخدام برنامج Arc GIS. وبلغ إجمالي أطوال المجاري المائية في حوض وادي الحنيوة 931.02 كيلومترًا (الجدول (5)). أما بالنسبة لأطوال المجاري المائية على مستوى الرتب فيظهر من الجدول (5) أنّ أطوال مجاري الرتبة الأولى بلغت 494.36 كم، بنسبة 53.1 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض، وبلغت أطوال مجاري الرتبة الثانية 222.98 كم، وشكّلت ما نسبته 23.9 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض، في حين بلغ طول مجاري الرتبة الثالثة 119.96 كم، بنسبة 12.9 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض. بينما بلغت أطوال المجاري المائية في الرتب الرابعة والخامسة والسادسة حوالي 54.75، 32.26، 6.71 كيلومترًا على التوالي، بنسبة بلغت 5.9، 3.5، 0.7 % من إجمالي أطوال المجاري المائية بالحوض على نفس الترتيب. ويلاحظ أنّ مجموع أطوال المجاري المائية يقلّ بتزايد الرتب النهرية. ويوفر مُعامل متوسط أطوال المجاري المائية بيانات قيّمة عن مدى تغطية الشبكة المائية لمساحة حوض التصريف، والخصائص الهيدرولوجية لصخور المنطقة. ويرى Horton (1945) أنّ متوسط طول المجاري المائية يزداد مع زيادة الرتبة النهرية، وهذا يعكس كفاءة نقل الرواسب المتراكمة في المجاري ذات الرتبة الأعلى، غير أنّ الشذوذ عن هذه القاعدة يُشير إلى تباين التركيب الجيولوجي لحوض التصريف (Revuelta – Acosta JD, et al., 2025, p.9). وتمّ حساب قيمة متوسط أطوال المجاري المائية باستخدام صيغة معادلة (Strahler, 1964) (الجدول (1)، معادلة (19)

## الخريطة (5) كثافة التصريف في حوض وادي الحنيوة.



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

– **تكرار المجاري ( $F_s$ ) Stream frequency**: 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 تحدد الحوض بواسطة التعرية المائية، وتتأثر 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 تقطع أو تحدد سطح الحوض بالمجاري المائية (عينية، 2018، ص 211). وتمّ حساب قيمة تكرار المجاري في حوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) الجدول (1، معادلة 23)، ويظهر من الجدول (3) أنّ معدل تكرار المجاري في حوض وادي الحنيوة بلغ حوالي 3.76 مجرى/كم<sup>2</sup>. وهي قيمة منخفضة؛ بسبب انخفاض قيمة كثافة التصريف في الحوض وارتفاع معدلات تسرب المياه نحو الباطن؛ نتيجة لسيادة الصخور ذات النفاذية العالية، وانخفاض قيمة النسيج الطبوغرافي.

– **شدة التصريف ( $D_i$ ) Drainage intensity**: اقترح Faniran (1968) هذا المعامل ليُعبر عن النسبة بين معدل تكرار المجاري المائية وكثافة التصريف، كما تُعدّ كثافة التصريف مقياساً شاملاً لاستجابة الحوض لهطول الأمطار، وتشير القيم العالية لشدة 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 فتشير إلى أنّ نسبة أكبر من هطول الأمطار تتسرب إلى باطن الأرض، مما ينتج عنه منحني هيدرولوجي أكثر اعتدالاً وربما معدلات تآكل أقل (Revuelta – Acosta JD, et al., 2025, p.15). وتمّ حساب قيمة

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

وتمّ حساب قيمة نسبة التشعب باستخدام صيغة معادلة (Schumm, 1956) الجدول (1، معادلة 21) حيث بلغ المتوسط العام لنسبة التشعب في حوض وادي الحنيوة 1.9 الجدول (3)، أما نسبة التشعب على مستوى الرتب فيظهر من الجدول (5) أنّه يتراوح بين 1.61 الرتبة الأولى، و2.27 وهي تقل عن المعدل الطبيعي الذي حدده (1964) Strahler ويُظهر هذا التوزيع مدى تباين نسبة التشعب بين الرتب المختلفة داخل الحوض، والتي غالباً ما تكون نتيجةً لتجانس تضاريس الحوض، وسيادة التكوينات الجيولوجية اللينة.

– **كثافة التصريف ( $D_a$ ) Drainage density**:

تُعدّ من المقاييس المورفومترية المهمة في الدراسات الجيومورفولوجية؛ لأنّها تُعدّ مؤشراً مهمّاً وجيداً عن مدى تعرض سطح الحوض لعمليات الحث والتقطع بواسطة المجاري المائية، وتعني كثافة التصريف النسبة بين إجمالي أطوال المجاري المائية في حوض ما، ومساحة هذا الحوض، وتتأثر كثافة التصريف بالتركيب الصخري والبنية الجيولوجية، والترتبة ونفاذيتها والتضاريس والغطاء النباتي، والظروف المناخية السائدة (السبيعي، 2016، ص 167). وتمّ حساب قيمة كثافة التصريف في حوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) الجدول (1، معادلة 22). ويظهر من الجدول (3) والخريطة (5) أنّ كثافة التصريف في حوض وادي الحنيوة بلغت حوالي 2.02 كم/كم<sup>2</sup>، وهذا يعني أنّ كل كيلومتر مربع من مساحة الحوض تحتوي على 2.02 كيلومتر من المجاري المائية. وتُعدّ هذه القيمة منخفضة حسب تصنيف (Morisawa, 1962). ويمكن تفسير ذلك بقلّة أطوال المجاري المائية في الحوض وتباعدها، وانخفاض قيمة النسيج الطبوغرافي، وأنّ الحوض يمتد فوق تكوينات صخرية ذات نفاذية عالية، إضافة إلى سيادة الانحدارات اللطيفة والمهيّنة.

م/كم) مع نسيج تصريف متوسط الحشونة (9.8 مجرى/كم<sup>2</sup>) وفق تصنيف Smith، نتيجة سيادة الصخور الجيرية اللينة والغطاءات الرملية عالية المسامية، كما بلغ التكامل الهيسومرتري نحو (0.68)، مما يدل على أنّ الحوض لا يزال في مرحلة الشباب من دورته الحثية، حيث لم تتجاوز نسبة التآكل 32% من كتلته الصخرية.

- أظهرت دراسة شبكة التصريف أنّ حوض وادي الحنيوة من الرتبة السادسة وفق تصنيف Strahler، بعدد مجاري بلغ 1734 مجرى، شكّلت مجاري الرتبة الأولى 50.63% منها. وبلغ إجمالي أطوال المجاري 931.02 كم، مع انخفاض نسبة التشعب (1.9)، مما انعكس على انخفاض كثافة التصريف (2.02 كم/كم<sup>2</sup>) وشدة التصريف (1.86 بوصة/كم)، وهو ما يدل على بطء استجابة الجريان السطحي وتأخر ذروة التصريف، وبالتالي انخفاض احتمالية الفيضانات المفاجئة.

- تُظهر مراجعة شاملة للأدبيات أنّ منهجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS) برزت كأكثر التقنيات فعالية لتحليل مختلف الخصائص المورفومترية، وقد اكتسبت هذه التقنيات شعبيةً واسعة بين الباحثين بفضل فعاليتها من حيث التكلفة والوقت.

- ثبت أنّ نماذج الارتفاع الرقمية (DEMs) عالية الدقة تُعطي نتائج أكثر دقة، وتُسهّم هذه الدقة المتزايدة في تحسين جودة التحليل المورفومتري.

- تُشير النتائج إلى تباين كبير في حجم الحوض وشكله وكثافة التصريف وخصائصه الطبوغرافية، والتي تؤثر مجتمعةً على توليد الجريان السطحي، واحتمالية حدوث الفيضانات، ونقل الرواسب.

- أبرزت الدراسة الدور الحاسم للخصائص المورفومترية في فهم الاستجابات الهيدرولوجية لهذه الحوض، مما يُسهّم في الإدارة الفعالة للموارد المائية واستراتيجيات الحد من الفيضانات.

- تُرسّخ هذه الدراسة إطاراً أساسياً لتحليلات مورفومترية مستقبلية تشمل مناطق أخرى في ليبيا.

#### - التوصيات:

- نظرًا لتزايد التحديات المناخية وأهمية هذه الأحواض للتنوع البيولوجي الإقليمي وخدمات النظام البيئي، فإنّ 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

شدة التصريف في حوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Faniran, 1968) الجدول (1، معادلة 24)، ويظهر من الجدول (3) أنّ قيمة شدة التصريف في حوض وادي الحنيوة بلغت حوالي 1.86 بوصة/كم. وهي قيمة منخفضة تُشير إلى تأخير ذروة التصريف، ويُعطى من استجابة الجريان السطحي، مما يُقلل من احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة.

#### - طول الجريان الصفائحي Length of overland flow (L<sub>o</sub>):

يُشير هذا المعامل 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 المعامل بالتكوين الصخري والبنية الجيولوجية، ودرجة نفاذية التربة، والخصائص الطبوغرافية والغطاء النباتي، والمناخ السائد. وتمّ حساب قيمة طول الجريان الصفائحي في حوض وادي الحنيوة باستخدام صيغة معادلة (Horton, 1945) الجدول (1، معادلة 25). ويظهر من الجدول (3) أنّ معدل طول الجريان الصفائحي في حوض وادي الحنيوة بلغ حوالي 1.01 كم. وهي قيمة متوسطة تُشير إلى أنّ المياه تقطع مسافات أطول فوق سطح الأرض قبل وصولها إلى مجرى الوادي، وهذا يُعزز إمكانية التسرب ويُعطى من استجابة الجريان السطحي، مما يُقلل من احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة.

#### رابعاً: النتائج والتوصيات:

#### - النتائج:

- أظهرت الدراسة أنّ التركيب الجيولوجي لحوض وادي الحنيوة يتسم بالبساطة وتغطي سطحه تكوينات الرابح المتمثلة في الرواسب الرياحية التي تشكّل ما نسبته 57.29% من مساحة الحوض، تليها تكوينات الميوسين بنسبة 37.76% من مساحة الحوض.

- أظهرت دراسة الخصائص المساحية لحوض وادي الحنيوة أنّه حوض صغير المساحة حيث لم تتجاوز مساحته 460 كم<sup>2</sup>، في حين بلغ طوله 39.8 كم، وطول محيطه 177.01 كم.

- أظهرت دراسة الخصائص الشكلية لحوض وادي الحنيوة أنّ الحوض يميل للاستطالة حيث سجل هذا المعامل 0.61، في حين بلغت قيمة معامل الشكل 0.29، وهي قيمة منخفضة تدل على عدم تناسب شكل الحوض، وميله إلى الاستطالة وبالتالي يتميز بمسارات تدفق أطول مما يقلل من احتمالية حدوث ذروة فيضان حادة.

- تُظهر الخصائص التضاريسية انخفاض نسبة تضرر الحوض (3.36)

- 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. 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.
- Strahler, A. N., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* 38.
- Strahler, A.N., (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V. (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
- Horton, R.E., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56.
- Industrial Research Centre, (1980): Geological Map of Libya, Explanatory Booklet ,Annufaliyah sheet , 1:250.000,.Tripoli.
- 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).
- 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.
- 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:
- الأمم المتحدة (2023)، تقرير النتائج السنوي للأمم المتحدة في ليبيا.
- أبو رية، أحمد محمد أحمد (2007)، المنطقة الممتدة فيما بين القصير مرسى أم غيغ: دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
- جودة، حسنين جودة، وآخرون (1991)، وسائل التحليل الجيومورفولوجي، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- السبيعي، سليمان يحيى 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.
- 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.
- شحادة، ناصر شوقي (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.
- عنينة، عمر أمجد (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 1:250.000 لوحة قصر سرت 4-33 NH، الكتيب التفسيري، الطبعة الأولى، طرابلس.
- مركز البحوث الصناعية، (1980)، خريطة ليبيا الجيولوجية مقياس رسم 1:250.000 لوحة النوفلية 8-33 NH، الكتيب التفسيري، الطبعة الأولى، طرابلس.
- Chorley, R.J., Malm, D.E.G., Pogorzelski, H.A., (1957), A new standard for estimating drainage basin shape. *Am. J. Sci.* 225.
- 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.