https://doi.org/10.5281/zenodo.23890423

الأهمية التطبيقية للتحليل المورفومتري في تفسير السلوك الهيدرولوجي وإدارة الموارد المائية في الأحواض النهرية بالمناطق الجافة وشبه الجافة

* د. محمد سالم إجبيل القبائلي

تاريخ الاستلام: 2026/8/12 تاريخ إجازة النشر: 2026/10/13 تاريخ النشر: 2026/11/5

المستخلص: تُعدّ الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية من المؤشرات المهمة لفهم السلوك الهيدرولوجي في المناطق الصحراوية التي تتسم بندرة الأمطار وشُحّ الموارد المائية. ويهدف البحث إلى إفادة الباحثين والمهتمين بالشأن الجيومورفولوجي والبيئي وذلك ببيان أهمية الدراسات المورفومترية في تفسير استجابة الأحواض النهرية للسيول، وتحديد مواضع الخطورة، إلى جانب تحسين إدارة الموارد المائية. حيث اعتمد البحث على دراسة مجموعة من الخصائص المورفومترية، مثل الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية والتصريفية للأحواض النهرية بشكل عام. وقد أظهرت النتائج ارتباط الخصائص المورفومترية بشكل وثيق بمعدلات التدفق والجريان السطحي وحجم التصريف المائي في الأحواض النهرية، لكونها أداة فعّالة وذات أهمية كبيرة للتنبؤ بمشكلة الفيضانات ومخاطر السيول، وتقييم فعالية العمليات الجيومورفولوجية. كما تسهم في وضع الاستراتيجيات اللازمة لخطط التنمية المستدامة فيما يتعلق بحصاد المياه وتقليل المخاطر البيئية في المناطق الصحراوية. وخلصت الدراسة إلى أن الدراسات الجيومورفولوجية والتحليل المورفومتري لخصائص الأحواض المائية يُعدّان من ضروريات برامج التنمية المستدامة، ورافدًا قويًا لدعم برامج التخطيط المكاني والبيئي في الأقاليم المتطرفة مناخيًا وبيئيًا، لما لهذه الأبحاث من أهمية كبيرة في فهم السلوك الهيدرولوجي وإدارة الموارد المائية وإمكانية حصادها وتجنب خطر الفيضانات والسيول الفجائية التي تتعرض لها كثير من المناطق الصحراوية الآونة الأخيرة استجابةً للتغيرات المناخية العالمية، مع التوصية بالأخذ بنتائج هذه الدراسات عند وضع الخطط والسياسات لإدارة الموارد المائية والتنمية المكانية واستراتيجيات الاستدامة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة.

الكلمات المفتاحية: الخصائص المورفومترية، إدارة الموارد المائية، الأحواض النهرية، الأقاليم الجافة وشبه الجافة، السلوك الهيدرولوجي، GIS.

The Applied Significance of Morphometric Analysis in Understanding Hydrological Behavior and Water Resources Management in River Basins of Arid and Semi-Arid Regions

Dr. Mohammed Salem Ejbail Al-Gabaili

Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Arts, Ajdabiya University, Libya.

Abstract: Morphometric characteristics of drainage basins are considered essential indicators for understanding hydrological behavior, particularly in arid regions characterized by low rainfall and scarce water resources. This study aims to provide valuable insights for researchers and specialists in geomorphology and environmental sciences by highlighting the significance of morphometric analysis in interpreting basin responses to flood events, identifying hazard-prone areas, and improving water resource management. The research is based on the analysis of a set of morphometric parameters, including areal, shape, relief, and drainage characteristics of river basins in general. The results reveal a strong correlation between morphometric properties and key hydrological variables such as runoff rates, surface flow, and discharge volume. These findings demonstrate that morphometric analysis is an effective and reliable tool for predicting flood hazards, assessing flash flood risks, and evaluating the efficiency of geomorphological processes. Furthermore, morphometric studies contribute significantly to the development of sustainable management strategies, particularly in the context of water harvesting and environmental risk reduction in arid environments. The study concludes that geomorphological investigations and morphometric analysis of drainage basin characteristics are indispensable components of sustainable development programs. They represent a critical support for spatial and environmental planning, especially in

* أُستاذ مشارك، قسم الجغرافيا، جامعة اجدابيا، ليبيا Mohamedsga@gmail.com

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

climatically and environmentally extreme regions. Given the increasing frequency of flash floods in many arid areas as a response to global climate change, this research emphasizes the importance of integrating morphometric analysis into water resource management policies, spatial planning frameworks, and sustainability strategies in arid and semi-arid regions.
Keywords: Morphometric Characteristics, Water Resources Management, Drainage Basins, Arid and Semi-Arid Regions, Hydrological Behavior, Geographic Information Systems (GIS).

المقدمة:

تُعد الأحواض النهرية من أبرز الظاهرات الجيومورفولوجية التي تعكس مدى التفاعل المعقد بين العوامل الطبيعية المختلفة، كالمناخ والبنية الجيولوجية والتضاريس. وقد حظيت هذه الوحدات باهتمام متزايد في الدراسات الجغرافية والهيدرولوجية، لما لها من دور مهم في تحديد أنماط الجريان السطحي والتصريف. ويبرز التحليل المورفومتري كأحد أهم الأساليب الكمية لدراسة الخصائص الشكلية والهندسية لأحواض التصريف النهري، من خلال مجموعة من المؤشرات الرياضية التي تعكس أبعاد الحوض، وشبكة تصريفه، وبنيته الجيولوجية. ولقد أسهمت الدراسات القديمة، منذ منتصف القرن الماضي، في إرساء الأسس العلمية لهذا النوع من التحليل، حيث تم تطوير مفاهيم رئيسة مثل كثافة التصريف، ورتبة المجاري المائية، ونسبة التفرع، والتي أثبتت فعاليتها في تفسير السلوك الهيدرولوجي للأحواض النهرية. ومع تسارع التطور التكنولوجي، شهد التحليل المورفومتري نقلة نوعية بفضل دمج التقنيات الحديثة في هذه الدراسة، وعلى رأسها نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنية الاستشعار عن بعد ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM)، مما أعطى إمكانية إجراء تحليلات دقيقة وشاملة وذات قيمة علمية كبيرة لمختلف الخصائص المكانية لا سيما لظاهرة الأحواض النهرية موضوع الدراسة. وتتضح أهمية دراسة الخصائص المورفومترية في قدرتها على الربط بين الشكل الهندسي للحوض ووظيفته الهيدرولوجية، مما يسهم في فهم ديناميكية الجريان السطحي، وتقدير حجم التصريف، والتنبؤ بمخاطر الفيضانات والسيول. كما تمثل هذه الدراسات رافدً علميًا قويًا يدعم عمليات التخطيط البيئي وإدارة الموارد المائية، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعاني من تذبذب في مواردها المائية. ووفقًا لذلك، يهدف هذا البحث إلى إبراز الأهمية العلمية والتطبيقية للتحليل المورفومتري للأحواض النهرية، من خلال التطرق إلى أهم المفاهيم الأساسية، وتحليل أبرز المعاملات المورفومترية المستخدمة في هذا الجانب، وبيان الدور الذي تلعبه في تفسير آلية السلوك الهيدرولوجي، فضلًا عن تسليط الضوء على دور التقنيات الحديثة في تطوير هذا المجال العملي.

مشكلة البحث:

تتزايد التحديات المرتبطة بإدارة الموارد المائية ومخاطر الفيضانات، وفي المقابل تتباين الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض النهرية وفقًا اختلاف خصائصها الطبيعية، لذلك برزت الحاجة إلى فهم علمي دقيق للعلاقة بين الخصائص المورفومترية لهذه الأحواض وطبيعة الجريان السطحي وسلوكها الهيدرولوجي. وعلى الرغم من التطور الملحوظ الذي شهدته الأوساط العلمية في استخدام التقنيات الحديثة في التحليل الجغرافي، إلا أن توظيف التحليل المورفومتري كأداة متكاملة تساهم بدرجة كبيرة في تفسير هذه العلاقة ما يزال يواجه بعض القصور في العديد من الدراسات التطبيقية.

وعليه، يمكن صياغة مشكلة البحث في التساؤل العام الآتي:

إلى أي مدى تسهم دراسة الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية في تفسير سلوكها الهيدرولوجي، وكيفية إدارة مواردها المائية، والتنبؤ بالمخاطر والكوارث الطبيعية والآثار البيئية باستخدام هذه التقنيات؟

تساؤلات البحث:

1- ما المقصود بمفهوم الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية؟

2- ما أهم المؤشرات والمعاملات الإحصائية المستخدمة في التحليل المورفومتري؟

3- ما الأهمية العلمية والتطبيقية للخصائص المورفومترية في الدراسات الجيومورفولوجية؟

4- كيف تسهم التقنيات الحديثة في تطوير هذا المجال لاستخدامه في استراتيجيات التنمية المستدامة؟

أهداف البحث:

1- توضيح مفهوم التحليل المورفومتري وأبعاده العلمية في دراسة أحواض التصريف النهري.

2- تصنيف أهم الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية حسب التصنيف الجيومورفولوجي العام.

3- إبراز الأهمية التطبيقية لدراسة الخصائص المورفومترية في إدارة الموارد المائية.

4- ربط التحليل المورفومتري بالتقنيات الحديثة لتعزيز دعم خطط وبرامج التنمية المستدامة.

أهمية البحث:

1. الأهمية العلمية: دعم الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية الحديثة، وتطوير الفهم الكامل للعلاقة بين شكل الحوض وسلوكه الهيدرولوجي.

2. الأهمية التطبيقية: تحسين برامج إدارة المياه في الأقاليم الجافة، وتعزيز دعم خطط الحد من المخاطر الطبيعية، والمساهمة في التخطيط العمراني المستدام.

3- الأهمية البيئية: المساهمة في دراسة الجوانب البيئية المتعلقة بالفيضانات والسيول، واتخاذ التدابير والاستراتيجيات اللازمة للحد من مخاطرها.

مناهج البحث:

1- المنهج الوصفي التحليلي: يُستخدم هذا المنهج في توصيف المفاهيم الأساسية ذات العلاقة بالتحليل المورفومتري، والمتمثلة في خصائص الأحواض النهرية وأنماط شبكة التصريف والمعاملات الجيومورفولوجية المختلفة. إضافة إلى تحليل العلاقات بين هذه المفاهيم، وبيان دورها في التأثير على السلوك الهيدرولوجي.

2- المنهج الكمي: يُعد المنهج الكمي الركيزة الأساسية في الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة، حيث يتم من خلاله قياس وتحليل الخصائص المورفومترية باستخدام مجموعة من المعاملات الرياضية الدقيقة، مثل نسبة التفرع وكثافة التصريف، ومعامل الشكل، والاستدارة، والاستطالة، وغيرها.

مفهوم التحليل المورفومتري للأحواض النهرية:*

يُعد التحليل المورفومتري أحد الأدوات الكمية الأساسية في دراسة الأحواض النهرية، حيث يركز على قياس الخصائص الشكلية والهندسية للحوض وشبكة التصريف باستخدام مؤشرات رياضية دقيقة تسهم في تفسير العمليات الهيدرولوجية المرتبطة بالجريان السطحي (Horton, 1945; Strahler, 1957). وقد تطور هذا المفهوم ليشمل تحليل العلاقات الوظيفية بين شكل الحوض واستجابته الهيدرولوجية، مما جعله أداة تحليلية متكاملة في الدراسات البيئية التطبيقية (Chorley, 1969).

ومع التقدم التكنولوجي، أصبح التحليل المورفومتري يعتمد بشكل متزايد على البيانات الرقمية عالية الدقة، مما عزز من قدرته على تقديم نتائج أكثر دقة وموضوعية في تفسير السلوك المائي للأحواض النهرية (Thomas et al., 2018).

تصنيف الخصائص المورفومترية:

* تم اعتماد أسلوب التوثيق بدون رقم الصفحة للفقرات التي تم اقتباسها بطريقة غير مباشرة، في حين ذُكرت أرقام الصفحات في فقرات الاقتباس المباشر.

1- الخصائص الخطية: تشمل الخصائص الخطية مجموعة المؤشرات المرتبطة ببنية شبكة التصريف، مثل أطوال المجاري ورتبها ونسبة التفرع، والتي تُعد مؤشرًا على درجة تعقيد النظام النهري وتأثره بالعوامل الجيولوجية والبنيوية (Strahler, 1957). كما تعكس هذه الخصائص طبيعة التطور الجيومورفولوجي للحوض ومدى استقراره (Sreedevi et al., 2019).

2- الخصائص المساحية: تتمثل في مساحة الحوض ومعامل الشكل ونسبة الاستدارة، وهي عوامل تؤثر بشكل مباشر على سرعة الاستجابة الهيدرولوجية، حيث تميل الأحواض الدائرية إلى إنتاج ذروة جريان أعلى خلال فترة زمنية قصيرة مقارنة بالأحواض المستطيلة (Schumm, 1956). وقد أكدت الدراسات الحديثة أن هذه المؤشرات تلعب دورًا مهمًا في نمذجة الفيضانات والتنبؤ بها (Meshram & Sharma, 2017).

3- الخصائص التضاريسية: تشمل الخصائص التضاريسية الانحدار والتضرس والارتفاع النسبي، وهي عناصر تتحكم في طاقة الجريان وسرعته وزمن التركيز داخل الحوض، حيث يؤدي ارتفاع درجة الانحدار إلى زيادة سرعة الجريان وتقليل فرص التسرب (Pike & Wilson, 1971). كما تسهم هذه الخصائص في تحديد قابلية الحوض للتعرية والانجراف (Patel et al., 2020).

العلاقة بين الخصائص المورفومترية والسلوك الهيدرولوجي:

ترتبط الخصائص المورفومترية ارتباطًا وثيقًا بالسلوك الهيدرولوجي للأحواض النهرية، حيث تؤثر بشكل مباشر في حجم الجريان السطحي وزمن الذروة وشدة الفيضانات. فالأحواض ذات الكثافة التصريفية العالية تميل إلى إنتاج استجابة سريعة للهطول المطري، مما يزيد من احتمالية حدوث السيول (Gregory & Walling, 1973).

وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن دمج المؤشرات المورفومترية مع النماذج الهيدرولوجية يعزز من دقة التنبؤ بالفيضانات، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتسم بتقلبات مناخية حادة (Ali et al., 2021).

دور الخصائص المورفومترية في التنبؤ بالفيضانات:

تلعب الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية دورًا محوريًا في التنبؤ بالفيضانات، لمساهمتها في تحديد نمط الاستجابة الهيدرولوجية للحوض عند الهطول المطري. حيث تؤثر مؤشرات مثل شكل الحوض وكثافة التصريف والانحدار بشكل مباشر في سرعة الجريان السطحي وزمن التركيز، مما ينعكس على شدة الفيضانات واحتمالية حدوثها. وبناءً على ذلك، يُعد التحليل المورفومتري أداة علمية فعّالة في الحد من المخاطر الطبيعية، وبناء نماذج تنبؤية تسهم في دعم إدارة الموارد المائية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة.

ربط التحليل المورفومتري بالتقنيات الحديثة

1- الإطار المفاهيمي للربط بين التحليل المورفومتري والتقنيات الحديثة:

أ- التحليل المورفومتري التقليدي: أعتمد هذا التحليل على الخرائط الطبوغرافية الورقية، والقياس اليدوي بالمسطرة والبلانيميتر (Planimeter)، بالإضافة إلى اعتماده على الحسابات الرياضية البسيطة، وهنا ما يجعل دقة هذه الدراسات محدودة، واستهلاكها وقتًا طويلًا، وجهدًا كبيرًا، فضلًا عن صعوبة الحصول على تحليلات دقيقة لمساحات واسعة من سطح الأرض.

ب- تحول التحليل المورفومتري نحو التقنيات الحديثة: ساعد هذا التحول على دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد، ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) واستخدامها في عمليات التحليل المورفومتري بشكل واسع مما زاد من أهمية هذه الدراسات الجيومورفومترية في تحليل خصائص الأحواض النهرية.

2- الربط العلمي باستخدام دمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS):

أ- دور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التحليل المورفومتري: تُستخدم تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحويل البيانات الجغرافية من صيغتها الإنشائية إلى معلومات كمية ورقمية دقيقة، كاستخراج خصائص شبكة التصريف من تحديد المجاري المائية وتصنيف الرتب النهرية، وحساب المؤشرات المورفومترية مثل كثافة التصريف ونسبة التفرع ومعامل الشكل، فضلًا عن التحليل المكاني الذي يربط الخصائص المورفومترية بالعوامل الطبيعية الأخرى كالجيولوجيا، والتربة، والمناخ، وغيرها.

ب- خطوات العمل داخل (GIS): وتتمثل في إدخال نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM)، ومعالجة البيانات (Fill Sinks)، وتحديد اتجاه جريان (Flow Direction)، وحساب تراكم الجريان (Flow Accumulation)، واستخراج شبكة الأودية، وتحديد حدود الحوض، وحساب المؤشرات المورفومترية.

3- دور الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)

أ- مصادر البيانات: وتتمثل في الأقمار الصناعية، والصور الجوية.

ب- الأهمية العلمية: وتتضح في تحديث البيانات بشكل مستمر خصوصًا لظاهرات والأشكال الأرضية القابلة للتغير مع مرور الزمن، إضافة إلى تغطية مساحات واسعة بسهولة وسرعة تختصر الوقت والجهد، فضلًا عن تحديد التغيرات الزمنية التي تطرأ على الظاهرات المختلفة.

4- نموذج الارتفاع الرقمي (DEM):

أ- المفهوم: وهو عبارة عن نموذج رقمي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد لتمثيل سطح الأرض لكي يسهل فهم أشكال السطح والتمييز بينها من خلال هذه التقنية العلمية الحديثة.

ب- أهميته في التحليل المورفومتري: يستخدم في حساب انحدارات سطح الأرض، وتحديد الاتجاهات تجاري العام للتدفقات السيدية بدقة عادية.

5- النمذجة الهيدرولوجية: (Hydrological Modeling)

أ- المفهوم: ويقصد بها تلك الاستخدامات للنماذج الرياضية والكمية التي تعمل على محاكاة سلوك المياه داخل حوض التصريف.

ب- علاقته بالتحليل المورفومتري: وتتمثل علاقة في استخدام المؤشرات المورفومترية كمدخلات للنماذج، كزمن التركيز، وسرعة الجريان، وزمن التباطؤ.

6- التكامل بين التقنيات: (Integration): وتتم عملية الربط بين هذه التقنيات من خلال الجدول التالي:

جدول (1) التكامل والربط بين التقنيات

المرحلة	الأداة	الوظيفة
جمع البيانات	الاستشعار عن بعد	صور فضائية
معالجة البيانات	نظم المعلومات الجغرافية	تحليل مكاني
استخراج الخصائص	نموذج الارتفاع الرقمي	حساب المؤشرات
التحليل النهائي	النمذجة الهيدرولوجية	التنبؤ بالجريان

المصدر: إعداد الباحث.

7- الأهمية العلمية لهذا الربط العلمي:

أ- زيادة الدقة في النتائج والتقليل من الأخطاء البشرية في الحساب.

ب- التنبؤ بالمخاطر وتوقع حدوث الفيضانات، وتهديد المواضع الخطرة داخل الأحواض النهرية.

جـ- دعم اتخاذ القرارات التخطيطية المناسبة لإدارة الكوارث، والاستثمار الأمثل للموارد المائية.

د- التحليل الديناميكي المتمثل في دراسة وتتبع التغيرات التي تطرأ على الظاهرات الطبيعية عبر الزمن.

8- التقييم العلمي لاستخدام التقنيات الحديثة:

يُعد دمج التحليل المورفومتري مع التقنيات الحديثة مؤشرا قويا للانتقال من التحليل الوصفي التقليدي إلى التحليل الكمي والرياضي، إلى جانب تحسين فهم النظم الهيدرولوجية بصورة دقيقة، مما يعزز القدرة على إمكانية التنبؤ بالمخاطر الطبيعية، والتخطيط السليم لمواجهتها، وتجنب آثارها المختلفة.

وخلاصة القول وفقًا لما سبق تتمثل في الآتي:

(إن التحليل المورفومتري + GIS + DEM + النمذجة الهيدرولوجية = نظام متكامل لفهم وتوقع السلوك الهيدرولوجي للأحواض النهرية بشكل عام).

الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية ودلالاتها الجيومورفولوجية:

أولًا: الخصائص المساحية: Areal Characteristics

1- مساحة الحوض: Basin Areas

تعد مساحة الحوض من الخصائص المورفومترية الهامة والمؤثرة في حجم التصريف بالحوض، فمن الطبيعي أنه كلما كبرت مساحة الحوض زادت كمية الأمطار التي تستقبلها، مما يؤثر في زيادة حمولة الوادي، وذلك مع افتراض ثبات بقية المتغيرات الأخرى مثل نوع الصخر ونظامه والتضرس وشبكة التصريف. (جودة وآخرون، 1991، ص ص289–290).

2- طول الحوض: Basin Length

يؤدي طول الحوض دورًا مهمًا في عملية الجريان السطحي حيث يتحكم بمدة تفريغ الحوض لمياهه وحمولته الرسوبية، كما تتناسب معدلات التسرب والبخر مع طول الحوض تناسبًا طرديًا، وذلك لتباطؤ سرعة المياه الجارية بالاتجاه نحو مخرج الحوض بسبب قلة انحدار السطح واتساع القنوات والمجاري المائية. (سلوم، 2012، ص401).

3- متوسط عرض الحوض: Mean Basin Width

يشير العرض الحوضي لنشاط عمليات التعرية المائية، حيث يبلغ العرض الحوضي أقصاه في الوسط بسبب زيادة النحت الأفقي وزيادة المجاري أطوالها (النحت الصاعد)، في حين يقلل عرض الحوضي في نطاقات مصبات الأودية بسبب اتجاه مجال الأودية لتعميق مجاريها للوصول لمستوى سطح البحر. كذلك يعكس العرض الحوضي كميات المياه التي تستقبلها الأحواض أثناء التساقط المطري. (أبورية، 2018، ص182).

4- محيط الحوض: Basin Perimeter

يقصد بمحيط الحوض خط تقسيم المياه الذي يفصل بين الحوض المدروس والأحواض المجاورة له أي يعد الحدود الخارجية للحوض، ويُعدُّ من المتغيرات المورفومترية الأساسية للحوض لارتباطه بالعديد من الخصائص الأخرى مثل: (مساحة الحوض، وشكل الحوض، وعرضه، والاستدارة، والاستطالة). (الشامخ، والمبروك، 2022، ص235).

ثانيًا: الخصائص الشكلية: Basin Shape Indices

1- معامل الاستطالة: Basin Elongation

وهي نسبة قطر دائرة تكون مساحتها مماثلة لمساحة الحوض إلى الحد الأقصى للطول الحوضي، وتقع نسبتها ما بين (0–1)، وكلما اقتربت القيم من الصفر دل ذلك على شدة استطالة الحوض، أما إذا اقتربت من الواحد الصحيح دل ذلك على اقتراب الحوض من الشكل الدائري. (يحيى، وآل حسين، 2019، ص24). ويحسب المعامل بالمعادلة التالية:

$$\text{معامل الاستطالة} = \frac{\text{طول قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض}}{\text{أقصى طول للحوض}}$$

2- معامل الاستدارة: Circularity Ratio

تدل نسبة الاستدارة على العلاقة بين مساحة الحوض ومساحة الدائرة التي لها محيط الحوض نفسه، وتعد نسبة الاستدارة معكوسًا مورفولوجيًا لنسبة الاستطالة، حيث يُقصد بها مدى تشابه شكل حوض التصريف مع الشكل الدائري .كما يوضح المدلول الجيومورفولوجي لنسبة الاستدارة وجود علاقة طردية بين قيمة هذه النسبة وشكل الحوض؛ فكلما ارتفعت القيمة واقتربت من الواحد الصحيح كان الحوض أكثر ميلًا للاستدارة، والعكس صحيح. (الشكلية، 2023، ص96). ويحسب المعامل بالمعادلة التالية:

$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\text{مساحة الحوض/ كم}^2}{\text{مساحة الدائرة التي يساوي محيطها محيط الحوض}}$$

3- معامل الشكل: Form Factor

تشير قيم معامل شكل الحوض إلى مدى انتظام عرض الحوض على طول امتداده من منطقة المنبع إلى منطقة المصب. (الحسبان، وزريقات، 2015، ص1284).

وتشير القيم المنخفضة إلى الانخفاض النسبي في بسط هذه العلاقة وهو المساحة الحوضية بالنسبة إلى مقامها وهو الطول الحوضي، وهذا يعني ازدياد الطول النسبي لأحد بعدي الحوض على حساب الآخر، وبالتالي يقارب شكل المثلث. كما تشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى ارتفاع قيمة بسط العلاقة (المساحة الحوضية) على حساب مقامها (الطول الحوضي)، وبالتالي اقتراب شكل الحوض من الشكل المربع. (جودة وآخرون، 1991، ص319). ويحسب هذا المعامل بالمعادلة التالية:

$$\text{معامل الشكل} = \frac{\text{مساحة الحوض/ كم}^2}{\text{مربع طول الحوض}}$$

4- معامل الاندماج: Compactness Coefficient

ويعكس مدى تناسق شكل المحيط مع مساحته الحوضية، وقرب أو بعد المحيط عن مركز الحوض ودرجة تعرج خطوط تقسيم المياه، ويوضح مدى تطور المرحلة الجيومورفولوجية التي قطعها الحوض. وتشير القيم المرتفعة إلى أن محيط الحوض ترتفع به التعرجات وتقل درجة تناسق شكله، بينما القيم المنخفضة تشير إلى أن الحوض قطع شوطًا كبيرًا في دورته الجيومورفولوجية بشكل عام. (أبو حصيرة، 2013، ص76). ويحسب بالقانون التالي:

$$\text{معامل الاندماج} = \frac{\text{محيط الحوض/ كم}}{\text{محيط الدائرة التي تكافئ مساحتها مساحة الحوض/ كم}^2}$$

5- معامل الانبعاج: Lemniscate Ration

يدل معامل الانبعاج على العلاقة بين مربع طول حوض التصريف إلى أربعة أمثال مساحة الحوض وهو يدل على مدى التشابه بين شكل حوض التصريف والشكل الكمثري لان معظم أحواض التصريف المتناسقة الشكل تميل إلى الشكل الكمثري وليس الشكل الدائري تمامًا، حيث تدل القيم المرتفعة لمعامل الانبعاج الى الزيادة في استطالة حوض التصريف وسيادة عمليات

النحت الراسي أكثر من النحت الجانبي. بينما تدل القيم المنخفضة إلى زيادة انبعاج شكل الحوض مما يدل على زيادة أطوال وأعداد المجاري في الرتب الدنيا مع سيادة عمليات النحت الراسي والجانبي. (محمد، 2023، ص439). ويحسب كالتالي:

$$\text{معامل الانبعاج} = \frac{\text{مربع طول الحوض}}{\text{مساحة الحوض/ كم}^2}$$

ثالثًا: الخصائص التضاريسية: Relief Characteristics

1- أقصى ارتفاع: Maximum Elevation

وهو أعلى ارتفاع في حوض الوادي، ويقع على خط تقسيم المياه بالقرب من منبع الوادي النهري.

2- أدنى ارتفاع: Minimum Elevation

وهو أدنى منسوب لحوض الوادي، ويمثل أقل المناطق انخفاضًا عند مصبه بارتفاع صفر.

3- درجة الانحدار: Degree of slope

درجة الانحدار ليست مجرد خاصية طبوغرافية، بل هي عنصر حاكم في فهم السلوك الهيدرولوجي للأحواض النهرية، إذ تربط بين الشكل الجيومورفولوجي للحوض وبين ديناميكية الجريان السطحي والتوازن المائي في البيئات الطبيعية، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة.

4- معامل التضرس: Relief Ratio

يُعبِّر هذا المعدل عن مدى تضرس الحوض التصريفي بالنسبة لطوله الحوضي، وهو يشير بصورة مباشرة إلى درجة انحدار الحوض، وترتفع قيمته بزيادة الفارق بين منسوب أعلى وأدنى نقطة في الحوض. (جودة وآخرون، 1991، ص323). ويحسب المعامل عن طريق القانون التالي:

$$\text{معامل التضرس} = \frac{\text{تضاريس الحوض} \left(\text{الفرق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض}\right)}{\text{طول الحوض/ كم}}$$

5- التضاريس النسبية: Relative Relief

ويشير هذا المعدل إلى الفرق بين أعلى منسوب وأدنى منسوب في الحوض والمحيط الحوضي، ويتم حساب ذلك عن طريق المعادلة التالية:

$$\text{التضاريس النسبية} = \frac{\text{الفرق بين أعلى وأدنى منسوب في الحوض}}{\text{محيط حوض التصريف}}$$

6- قيمة الوعورة: Ruggedness Number

يدرس هذا المعامل العلاقة بين تضرس سطح أرض الحوض وأطوال مجاري شبكته التصريفية، وتعد قيمة الوعورة من أهم المقاييس المورفومترية التي تعالج العلاقة التبادلية المركبة بين أكثر من متغيرين، فهو يقيس العلاقة بين كل من التضرس الحوضي وأطوال المجال والمساحة الحوضية، أو بعبارة أخرى يعبر عن العلاقة بين التضرس الحوضي وكثافة الشبكة التصريفية. (جودة وآخرون، 1991، ص328). وتحسب بالمعادلة التالية:

$$\text{قيمة الوعورة} = \frac{\text{التضاريس الحوضية/م} \times \text{الكثافة التصريفية}}{1000}$$

7- التكامل الهيبسومتري: Hypsometric Integral

يعد هذا المعامل من أدق المعاملات المورفومترية في تعبيره عن دورة التعرية النهرية، ويستعمل كمقياس زمني يعبر عن المرحلة الحتية التي تمر بها الأحواض المائية. (بحر، 2022، ص426). ويحسب كالتالي:

$$\text{معامل التكامل الهيبسومتري} = \frac{\text{متوسط ارتفاع الحوض} - \text{أدنى ارتفاع}}{\text{أعلى ارتفاع} - \text{أدنى ارتفاع}}$$

رابعًا: خصائص شبكة التصريف النهري: Drainage Network Characteristics

1- رتب المجاري المائية وأعدادها: Stream Numbers, Stream Order

وهي المجاري أو الروافد التي تتكون منها الشبكة المائية والتي تجري داخل الحوض بحسب مراتبها وحجمها وصلتها ببعضها. (المزوغي، وعون، 2020، ص10).

2- كثافة التصريف: Drainage Density

تعبر كثافة التصريف عن العلاقة النسبية بين أطوال المجاري ومساحة الأحواض، وتعد كثافة التصريف مقياسًا أساسيًا للخصائص المساحية لحوض التصريف وللتحليل الهيدرولوجي، وهي تعكس مدى كفاءة التصريف ومقياسًا لمدى تقطع أرضية الحوض. (البشتي، والغرياني، 2016، ص105). وتحسب الكثافة بالمعادلة التالية:

$$\text{كثافة التصريف} = \frac{\text{مجموع أطوال المجاري/ كم}}{\text{مساحة الحوض/ كم}^2}$$

3- تكرارية المجاري: Stream Frequency

يعد هذا المعامل من المقاييس المهمة التي توضح مقدرة الحوض على تجميع مياه الانسياب السطحي، كما يعد مقياسًا لنسيج أحواض التصريف. ويشكل صورة أخرى لقياس الكثافة التصريفية، والتي يطلق عليها أحيانًا كثافة الصرف العددية؛ لأنها اعتمدت على نسبة متغير عدد الروافد إلى المساحة الكلية، بعكس الكثافة الطولية التي اعتمدت على طول الرافد إلى المساحة الكلية. والهدف من هذا المعامل هو تحديد العوامل التي تتحكم في نشأة وتطور الشبكات المورفومترية لأحواض المنطقة. (السباحي، 2018، ص267). ويحسب بالمعادلة التالية:

$$\text{تكرار المجاري} = \frac{\text{مجموع أعداد الروافد}}{\text{مساحة الحوض/ كم}^2}$$

4- معامل النسيج الطبوغرافي: (Texture Ratio)

يُعبِّر عن درجة تقطع سطح الحوض بمجاري الشبكة التصريفية، أي مدى تقارب أو تباعد هذه المجاري بعضها عن بعض دون وضع أطوالها بالاعتبار، وللعوامل الطبيعية تأثير على نسيج الصرف داخل أحواض التصريف (المناخ، وشدة هطول الأمطار، التضاريس، والصخر، التربة والغطاء النباتي). (الشامخ، والمبروك، 2022، ص248). ويتم حساب المعامل بالقانون التالي:

$$\text{معامل النسيج الطبوغرافي} = \frac{\text{عدد المجاري المائية من الرتبة الأولى}}{\text{محيط الحوض/ كم}}$$

5- اتجاهات جريان شبكة التصريف: Drainage Flow Directions

تعد قياسات اتجاهات المجاري أحد الخصائص المورفومترية المهمة، فهي تعكس اتجاهاتها ومدى تأثرها باتجاه منحدرات السطح والصدوع والكسور، كما تعكس عمر الشبكة المائية للأحواض. (الشامخ، والمبروك، 2022، ص244).

6- معامل التشعب (التفرع) النهري: Bifurcation Ratio

اقترح هورتون هذا المعامل لاستكمال العلاقة بين الرتبة النهرية وأعداد المجاري، ويقصد بهذا المعدل نسبة عدد المجاري لرتبة ما منسوبًا إلى عدد مجاري الرتبة التي تليها، وتحسب نسبة التشعب للحوض بإيجاد متوسط التشعب داخل الحوض ككل. (علي، 2001، ص143). ويتم حساب المعدل عن طريق المعادلة التالية:

$$\text{معامل التشعب (التفرع)} = \frac{\text{عدد المجاري في رتبة ما}}{\text{عدد المجاري في الرتبة الأعلى منها}}$$

سادسًا: الخصائص الهيدرولوجية: Hydrological Characteristics

1- زمن التركيز: Time of Concentration

وهو الفترة الزمنية اللازمة لانتقال الماء من أقصى نقطة تقع على المحيط الحوضي إلى مصب الحوض ومخرجه. ويحسب المعامل بالمعادلة التالية:

$$\mathbf{Tc = (0.00013)\ (L^{1.15})\ (H^{0.38})}$$

حيث إن: Tc = زمن التركيز، وL = طول المجرى الرئيس بالأمتار، وH = الفارق الرأسي (الفارق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض)، و0.15، و0.38 = أسس ثابتة تدل على خصائص الحوض من نبات طبيعي، ومفتتات صخرية، وخشونة سطح الحوض.

2- زمن التباطؤ: Lag Time

يُعرف زمن التباطؤ بأنه الفترة المحصورة بين تولد الجريان ووصوله لبداية المجاري المحددة، ويمثل الوقت الذي ترتفع فيه معدلات التسرب، ويكون مرتفعًا في حالة السطوح منخفضة الانحدار والأجزاء شبه المستوية بسبب انخفاض فعل الجاذبية الأرضية على هذه السطوح، وتؤدي هذه الظروف إلى المزيد من الفاقد عن طريق التبخر والتسرب، مع تراكم المياه لمدة أطول والعكس. (الفيتوري، ولشهب، 2021، ص429، نقلًا عن صالح، 1989، ص37). ويحسب من خلال المعادلة التالية:

$$\mathbf{TL = K1\ (A0.3)\ /\ (Sa/Dd)}$$

حيث إن: TL= وقت التباطؤ، و A= مساحة حوض التصريف/كم^2، وSa = متوسط انحدار حوض التصريف، وDd = كثافة التصريف، وK1 = معامل ثابت = 0.4 للسطوح الصخرية شديدة الانحدار، و0.25 للسطوح الرملية والحصوية. (Cook, R, u., et., 1982, P239).

3- زمن تصريف الحوض: Basin Drainage Time

وهو الفترة الزمنية التي يستغرقها الحوض لصرف إجمالي كمية مياه الأمطار من المنبع وحتى المصب، ونظرًا لصعوبة قياس هذا الزمن أثناء حدوث السيول لذا من الممكن أن يقاس هذا الزمن من خلال المعادلة الآتية:

$$\mathbf{Td = (0.305\ L)1.15\ /7700\ (0.305\ H)\ 0.38}$$

حيث إن: TD = زمن تصرف الحوض بالساعة. L = طول المجرى الرئيس بالمتر. وH = الفرق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض. (الفيتوري، ولشهب، 2021، ص429، نقلًا عن السلاوي، 1989ص102).

4- سرعة المياه: Flow Velocity

من صعب حساب سرعة المياه في الأحواض النهرية أثناء حدوث السيول، لذلك يتم حسابها بالقانون التالي:

$$\text{سرعة المياه} = \frac{\text{طول الحوض}}{\text{زمن تركيز الحوض بالمتر المكعب/ الساعة}}$$

(الفيتوري، ولشهب، 2021، ص431).

5- حجم التصريف: Runoff Volume

ويقصد به حجم التصريف في الحوض النهري بالمتر المكعب في الثانية الواحدة بشكل يفترض بأن الأمطار تتساقط على الحوض بنفس الكمية، ويمكن حساب المعامل بالمعادلة التالية:

Q = 99 A0.5 (**Cooke**, **R**. **u**., **et al**., **1982**, **P239**).

حيث إن: Q = معدل التصريف قدم3/الثانية، وA = مساحة حوض التصريف/ ميل2.

6- الفواقد الهيدرولوجية: Hydrological Losses

أ- التبخر: يُعد التبخر أحد أهم مكونات الفواقد الهيدرولوجية، حيث يمثل العملية التي يتم من خلالها انتقال المياه من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي في صورة بخار، مما يؤدي إلى تقليل الكمية المتاحة من المياه للجريان السطحي أو التغذية الجوفية. ويكتسب التبخر أهمية خاصة في الدراسات الهيدرولوجية، نظرًا لتأثيره المباشر في ميزانية المياه داخل الأحواض النهرية، حيث يتحكم في توزيع الموارد المائية ويؤثر في شدة الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

ب- التسرب: يقصد بالتسرب مقدار ما يتسرب من المياه المتساقطة خلال التربة السطحية وصولًا إلى الطبقة الصخرية التحتية غير المنفذة للمياه، مما يزيد من رطوبة الطبقة السطحية حتى تصل إلى مرحلة التشبع الفعلي فيحدث بذلك الجريان السطحي. وسرعة تولد هذا الجريان تعتمد على كمية الأمطار المتساقطة، فكلما كانت غزيرة تتولد عنها التدفقات السيلية والعكس. ويمكن حساب كمية التسرب خلال زمن التباطؤ من خلال المعادلة التالية:

كمية التصرف خلال زمن التباطؤ = مساحة الحوض/زمن التباطؤ للحوض/0.25

حيث إن: 0.25 م3/ الثانية = متوسط التسرب لكل أنواع الرواسب السطحية.

(نوماجبوري، 1989، ص114، نقلًا عن النجار، 2005، ص237).

7- جملة الفواقد: Total Losses

وهي جملة ما يفقد من المياه في الحوض سواء بالتبخر أو بالتسرب، وبناء عليها تحسب جملة الفائض من المياه وقيمة الجريان الفعلية في الحوض. ويحسب معامل جملة الفواقد بالمعادلة التالية:

Ltotal = P–R

حيث إن: Ltotal = جملة الفواقد، وP = الأمطار الساقطة، وR = حجم الجريان السطحي.

8- صافي جريان: Net Runoff

ويقصد به الكمية المتبقية من مياه الأمطار بعد تعرضها لعمليات التبخر والتسرب، ويمكن الحصول على هذا المعامل من خلال المعادلة التالية:

Run–Off = P – Losses

حيث إن: Run = صافي الجريان، وP = إجمالي التساقط، وLosses = إجمالي الفواقد.

وتشير الدلالات الهيدرولوجية عن قيم هذا المعامل بأن القيم الموجبة تعني ارتفاع معدلات التساقط على الفواقد، بينما تشير القيم السالبة إلى العكس.

9- زمن ذروة التدفق: Time to Peak

ويقصد به الزمن الذي يفصل بين بداية سقوط الأمطار ووصول التصريف النهري إلى أقصاه (ذروة الفيضان) عند مخرج الوادي النهري أو مصبه. فكلما كان زمن تدفق الذروة قصيرًا دل على وصول سريع للمياه مما يعكس قابلية عالية لحدوث السيول المفاجئة ذات الشدة المرتفعة في الحوض. ويحسب زمن الذروة بالمعادلة التالية:

$$Tp = Tc + 0.5 / Tlag$$

حيث إن: Tp = زمن ذروة التدفق بالساعة، وTc = زمن التركيز بالساعة، وTlag = زمن الاستجابة بالساعة.

نتائج الدراسة:

1- تُظهر الخصائص المورفومترية للأحواض النهرية ارتباطاً وثيقاً بالسلوك الهيدرولوجي العام للحوض، حيث تتحدد استجابة الأحواض للهطول المطري من خلال مجموعة من العوامل الشكلية والمساحية والتضاريسية وشبكات التصريف.

2- تُعد الخصائص التضاريسية، وخاصة درجة الانحدار، من العوامل الحاكمة في ديناميكية الجريان السطحي، إذ تسهم في تسريع حركة المياه نحو مجرى التصريف الرئيسي، مما يؤدي إلى تقليص زمن التركز وزيادة احتمالية حدوث الجريان السطحي المفاجئ.

3- تؤثر الخصائص الشكلية للحوض (مثل معامل الشكل ومعامل الاستطالة ومعامل الاستدارة) بشكل مباشر في نمط توزيع الجريان وزمن وصوله إلى المخرج، حيث تميل الأحواض الدائرية إلى إنتاج ذروة تصريف أعلى مقارنة بالأحواض الممدودة.

4- تُعد كثافة التصريف وتكرارية المجاري المائية مؤشرات مهمة في تفسير كفاءة النظام التصريفي داخل الحوض، حيث ترتبط القيم المرتفعة منهما بزيادة سرعة تصريف المياه وضعف فرص التسرب والتغذية الجوفية.

5- أثبتت الدراسة أن دمج التحليل المورفومتري مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) والاستشعار عن بعد يعزز من دقة التحليل المكاني والهيدرولوجي، ويتيح بناء نماذج أكثر كفاءة في التنبؤ بالفيضانات.

6- يُعد التحليل المورفومتري أداة فعالة في دعم إدارة الموارد المائية في البيئات الجافة وشبه الجافة، من خلال المساهمة في تحديد مناطق الخطر، وتوجيه عمليات حصاد المياه، وتحسين التخطيط البيئي المستدام.

التوصيات:

1- ضرورة إدماج التحليل المورفومتري ضمن الدراسات الهيدرولوجية التطبيقية عند تقييم الأحواض النهرية، نظراً لدوره الحيوي في تفسير سلوك الجريان السطحي والتنبؤ بالمخاطر الطبيعية.

2- تعزيز استخدام التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) في استخراج وتحليل الخصائص المورفومترية بدقة عالية.

3- الاعتماد على المؤشرات المورفومترية في إعداد خرائط القابلية للفيضانات والسيول، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتسم بتقلبات مناخية حادة واستجابة هيدرولوجية سريعة.

4- تطوير قواعد بيانات جغرافية متكاملة للأحواض النهرية تشمل الخصائص الشكلية والتضاريسية وشبكات التصريف، بما يسهم في دعم عمليات التخطيط المكاني وإدارة الموارد المائية.

5- تفعيل دور الدراسات المورفومترية في التخطيط البيئي والتنمية المستدامة من خلال ربط نتائجها بسياسات إدارة الكوارث الطبيعية وحصاد المياه.

6- تشجيع الدراسات التطبيقية المقارنة بين الأحواض النهرية في البيئات المختلفة بهدف تحسين فهم الفروق في السلوك الهيدرولوجي وتطوير نماذج تنبؤية أكثر دقة.

قائمة المراجع:

أولًا: المراجع العربية:

- أبو حصيرة، محمد عبد الله. (2013). التحليل الجيومورفولوجي للأحواض المائية. القاهرة: دار الفكر العربي.

- البشتي، سالم محمد، والغرياني، أحمد علي. (2016). التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة العلوم الجغرافية، 12(2)، 95–110.

- بحر، أحمد محمود. (2022). التكامل الهيبسومتري ودلالاته الجيومورفولوجية للأحواض النهرية. مجلة البحوث الجغرافية، 18(1)، 410–430.

- الحسبان، أحمد محمد، وزريقات، خالد عبد الله. (2015). تحليل الخصائص المورفومترية للأحواض المائية باستخدام تقنيات GIS. المجلة الأردنية للعلوم التطبيقية، 11(3)، 1275–1290.

- السباحي، محمد علي. (2018). تحليل شبكات التصريف النهري ودلالاتها الهيدرولوجية. طرابلس: دار الحكمة.

- الشامخ، عبد الرحمن، والمبروك، صالح. (2022). تأثير العوامل الطبيعية في نسيج شبكات التصريف. مجلة الجغرافيا التطبيقية، 14(2)، 230–255.

- الفيتوري، خالد محمد، ولشهب، عبد السلام علي. (2021). النمذجة الهيدرولوجية للأحواض المائية في البيئات الجافة. مجلة الدراسات البيئية، 9(1)، 415–435.

- المزوغي، حسن علي، وعون، محمود عبد الكريم. (2020). تحليل رتب المجاري المائية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة علوم الأرض، 8(2)، 1–15.

- جودة، حسين محمد، وآخرون. (1991). جيومورفولوجية الأشكال الأرضية. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

- محمد، عبد القادر أحمد. (2023). التحليل المورفومتري للأحواض النهرية ودوره في تفسير العمليات الجيومورفولوجية. مجلة العلوم الطبيعية، 20(3)، 420–445.

- نوماجبوري، صالح عبد الله. (1989). الهيدرولوجيا التطبيقية في المناطق الجافة. بنغازي: جامعة قاريونس.

- يحي، عبد الله حسين، وآل حسين، محمد علي. (2019). التحليل المورفومتري للأحواض المائية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. مجلة البحوث الجغرافية، 10(1)، 15–30.

ثانيًا: المراجع الأجنبية:

- Cooke, R. U., Warren, A., & Goudie, A. S. (1982). Desert geomorphology. London: UCL Press.

- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56(3), 275–370.

- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), Handbook of applied hydrology (pp. 4–39). New York: McGraw-Hill.

- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67(5), 597–646.

- Chorley, R. J., Malm, D. E., & Pogorzelski, H. A. (1957). A new standard for estimating drainage basin shape. American Journal of Science, 255(2), 138–141.