

التحليل المورفومتري لحوض نهر قره طاطا في الساحل السوري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

عامر علي أبو عصى*

مهند علي لוחو**

تاريخ الإيداع ١٠/١/٢٠٢٥. قُبل للنشر في ١٢/٢٧/٢٠٢٥

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى سد الفجوة البحثية في الدراسات الهيدرولوجية للساحل السوري من خلال إجراء أول تحليل مورفومتري كمي وشامل لحوض نهر قره طاطا - أكبر الأحواض المستقلة ضمن حوض البسيط -، والذي لم تسبق دراسته بنحو مفصل. اعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متراً وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لاستخلاص ١٩ مؤشراً مورفومترياً وتحليلها، شملت الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية وخصائص شبكة التصريف.

كشفت النتائج أن الحوض يتميز بتضاريس وعرة ونشطة جيومورفولوجياً، حيث بلغ التضرس الكلي ٧٤٤ متراً وقيمة الوعرة ٤٩. كما هيمنت المجاري قصيرة الطول (الرتب ١-٣) مشكلة ما نسبته ٩٤.٦٦% من إجمالي الشبكة التصريفية. وتحليل متكامل للخصائص المورفومترية والهيدرولوجية، أظهرت النتائج أن الحوض يجمع بين خصائص الأحواض الساحلية قصيرة المجاري شديدة الانحدار واستجابة هيدرولوجية متوسطة نسبياً، حيث بلغت كثافة التصريف ١.٤٥ كم^٢/كم^٢ ونسبة التشعب المرجحة ٤.٥٢٧، مما يعكس كفاءة تصريفية متوسطة.

تكمن الأهمية التطبيقية للدراسة في تحديدها الدقيق للبور الحرجة الأكثر عرضة للانجراف والتعرية (المناطق ذات الرتب النهرية ١-٣) والمناطق شديدة الانحدار ذات القدرة العالية على توليد الجريان السطحي السريع. توفر هذه الدراسة قاعدة بيانات مكانية مرجعية لم تكن متوفرة سابقاً، وتشكل أساساً علمياً متيناً لوضع خطط فعالة لإدارة الموارد المائية، وتصميم مشاريع حصاد المياه، والتخطيط لتدابير الحد من مخاطر التعرية والجريان السطحي في الحوض والأحواض المشابهة بالساحل السوري.

الكلمات المفتاحية: التحليل المورفومتري، حوض نهر قره طاطا، نظم المعلومات الجغرافية، نموذج الارتفاع

الرقمي، إدارة الموارد المائية، الساحل السوري.

* مدرس (عضو هيئة تدريسية) في قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة طرطوس.

** مدرس (عضو هيئة فنية) في قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة طرطوس.

Morphometric Analysis of the Qara Tatta River Basin in the Syrian Coast Using Geographic Information Systems

* Amer Ali aboasa
** Mohannad Ali Loho

□ ABSTRACT □

(Received 1/10 /2025. 27 /12/2025)

This research aims to address a knowledge gap in the hydrological studies of the Syrian coast by conducting the first comprehensive quantitative morphometric analysis of the Qara Tatta River Basin – the largest independent basin within the Al-Basit watershed – which had not been previously studied in detail. The study relied on a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM) and Geographic Information Systems (GIS) techniques to extract and analyze 19 morphometric parameters, encompassing areal, shape, topographic, and drainage network characteristics.

The results revealed that the basin features rugged and active geomorphic terrain, with a total relief of 744 meters and a ruggedness index of 49. There was a clear dominance of short-length streams (orders 1–3), constituting 94.66% of the total drainage network. An integrated analysis of morphometric and hydrological characteristics showed that the basin combines features of steep, short coastal basins with a relatively moderate hydrological response. The drainage density was 1.45 km/km², and the weighted bifurcation ratio reached 4.527, reflecting a medium drainage efficiency.

The practical significance of the study lies in its precise identification of critical hotspots most susceptible to erosion and sediment transport (areas with stream orders 1–3) and steep slope areas with a high potential for generating rapid surface runoff. This study establishes a spatially referenced database that was previously unavailable, serving as a robust scientific foundation for developing effective water resource management plans, designing rainwater harvesting projects, and planning measures to mitigate erosion and surface runoff risks in the basin and similar basins along the Syrian coast.

Keywords: Morphometric Analysis, Qara Tatta River Basin, Geographic Information Systems (GIS), Digital Elevation Model (DEM), Water Resources Management, Syrian Coast.

* Lecturer, Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities, Tartous University, Tartous, Syria

* Lecturer, Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities, Tartous University, Tartous, Syria

١. مقدمة:

تشكل الأحواض النهرية وحدات هيدرولوجية طبيعية تمثل حجر الزاوية في إدارة الموارد المائية، لكونها مناطق تجميع وتصريف لمياه الأمطار (Singh & Singh, 2019). ويكتسب التحليل المورفومتري للأحواض أهمية خاصة في البيئات الساحلية وشبه الجافة مثل الساحل السوري، حيث يتأثر النظام الهيدرولوجي بتباين التضاريس وشدة الأمطار الموسمية (Pandey et al., 2021)، يساعد هذا التحليل على فهم ديناميكيات التصريف السطحي، وتقييم مخاطر الفيضانات والانجرافات، وتحديد إمكانات حصاد المياه وإدارة الموارد المائية بشكل مستدام (Rai et al., 2017).

رغم وجود دراسات مورفومترية سابقة لعدد كبير من الأحواض السورية كحوض بردى والعاصي (Al-Hamwi, 2018)، إلا أن حوض قره طاطا الذي يقع في الجزء الشمالي من الساحل السوري ويشكل أكبر الأحواض المستقلة المنتمية لحوض البسيط، لم يحظَ بدراسة مورفومترية شاملة حتى الآن، ويُعد هذا الحوض نموذجاً مميزاً للأحواض الساحلية قصيرة المجاري وشديدة الانحدار، ما يجعله عرضة للفيضانات المفاجئة وخسارة التربة نتيجة التعرية، خاصة مع تزايد الضغوط البشرية وتراجع الغطاء النباتي خلال العقد الأخير.

٢. أهمية البحث وأهدافه:

١.٢. أهمية البحث:

تُبرز أهمية الدراسة في كون الأحواض النهرية حجر الزاوية لإدارة الموارد المائية، بينما يكتسب التحليل المورفومتري أهميته في البيئات الساحلية وشبه الجافة مثل الساحل السوري لفهم ديناميكيات التصريف وتقييم مخاطر الفيضانات والانجراف. كما تكمن الأهمية في دراسة حوض قره طاطا النموذجي شديد الانحدار والمعرض لهذه المخاطر، مما يسد فجوة بحثية ويوفر مرجعاً علمياً لمستقبل إدارة الأحواض المشابهة.

٢.٢. أهداف البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل مورفومتري كمي لحوض قره طاطا بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ متر، وتوظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لاستخلاص مجموعة من المعايير المورفومترية الأساسية، بما في ذلك الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية وخصائص شبكة التصريف (Smith & Sandwell, 2019)، ويسعى البحث إلى ربط هذه المؤشرات بالواقع الجيومورفولوجي والهيدرولوجي للحوض، وتقديم قاعدة بيانات مكانية يمكن الاستفادة منها في:

- تحسين خطط إدارة الموارد المائية.
- دعم برامج حصاد مياه الأمطار.

• تحديد المناطق الأكثر عرضة للمخاطر الطبيعية مثل الفيضانات والانجرافات الأرضية (Zhou et al., 2020).

بهذا الإطار تسعى الدراسة إلى سد الفجوة البحثية وتوفير مرجع علمي يمكن أن يُبنى عليه في الدراسات المستقبلية للأحواض المشابهة في الساحل السوري.

٣. مواد البحث وطرائقه:

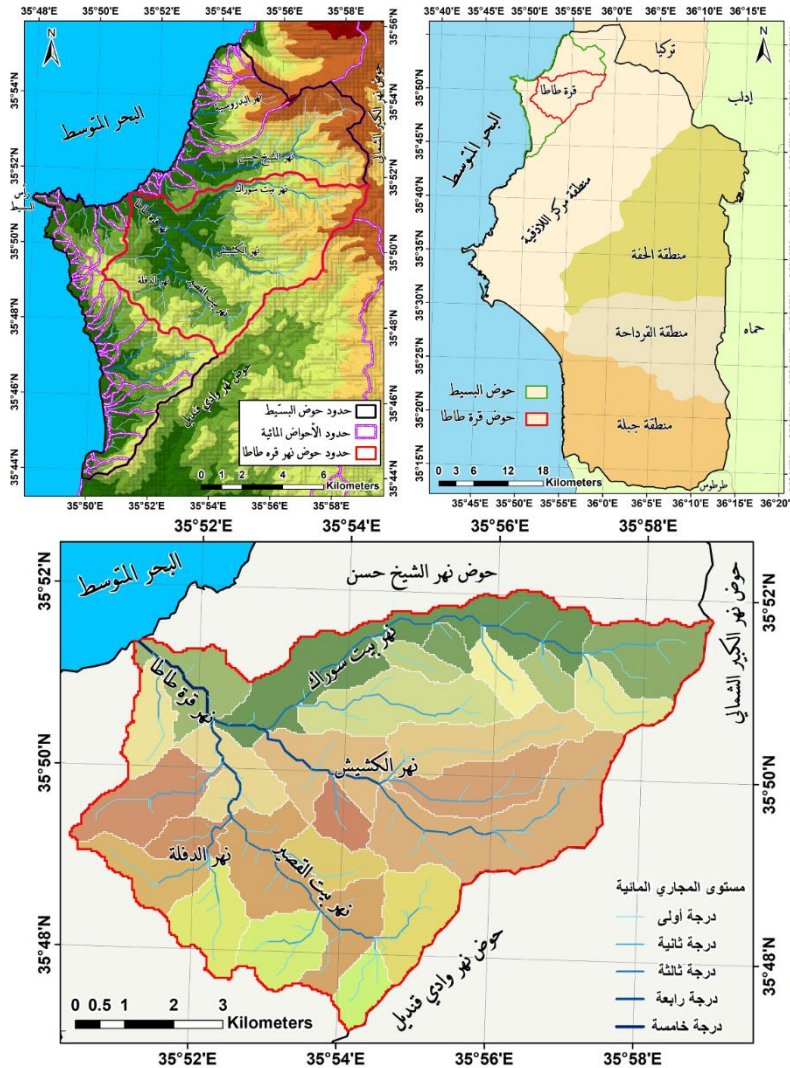
٣.١. منطقة الدراسة:

٣.١.١. الموقع الفلكي:

يعد حوض قره طاطا حوضاً هيدرولوجياً يتبع لحوض الساحل السوري، ويقع الحوض فلكياً بين دائرتي عرض (٢٢° ٤٧' ٣٥")، و (٥٢° ٣٥') شمال خط الاستواء، وبين خطي طول (٥٠° ٣٥') و (٥٠° ٥٨' ٣٥') شرق غرينتش، كما يبين الشكل (١).

٣.١.٢. الموقع الجغرافي:

حدود حوض قره طاطا الهيدرولوجية (شكل ١): من الشمال حوض بيت الشيخ حسن، ومن الجنوب والجنوب الشرقي حوض وادي قنديل، ومن الشرق حوض نهر الكبير الشمالي، ومن الغرب البحر المتوسط، وهو أحد المجاري المائية الموسمية في القسم الشمالي للمنطقة الساحلية في سورية، يتكون من العديد من الأحواض الفرعية، ويبدأ مجرى النهر من السفوح الغربية لجبال البسيط على ارتفاع وسطي (٥٥٠م)، ويبلغ طول النهر الإجمالي (١١) كم، وتبلغ مساحة حوض قره طاطا (٦٥.٧١) كم^٢.



شكل (١) موقع حوض نهر قره طاطا ضمن حوض البسيط شمال اللاذقية

ينتمي النهر إلى الأنهار الساحلية التي تتميز بقصر مجراها وشدة انحدارها، وبأنها ذات نظام سيلبي فإنه يفيض شتاءً ويجف صيفاً، ويطلق على النهر في القسم الأعلى الأوسط للحوض اسم نهر الكشيش، حيث يحمل هناك طابع النهر الجبلي؛ يجري النهر في وادٍ عميق بشكل (V) وله سفوح منحدره عالية تتراوح بين (٢٠٠ - ٢٥٠) م تغطي أشجار الصنوبر سفوح الوادي، قاع الوادي غير عريض (١٠ - ١٥) م، ويتجه بشكل أساسي نحو الغرب، يرفده من جهة الشمال نهر بيت سورك الذي يشكل القسم الشمالي من الحوض.

يبدأ جريان النهر مع بداية موسم الأمطار، ويكون هذا عادة في شهر تشرين الأول، ويمكن أن ترتفع المياه في المجرى إلى (١)م، يتعلق ذلك بعرض المجرى المشوه والمتآكل بشكل كبير؛ إضافة إلى أن الشبكة الهيدرولوجية في هذا الجزء من الحوض ضعيفة؛ يتسع وادي النهر عند قرية قره طاطا وعلى مسافة (٦) كم من المصب، يستقبل النهر من الجانب الأيسر أكبر روافده نهر قره عتي أو (بيت القصير والدقلة)، ويشكل هذان الرافدان مع نهر الكشيش بعد التقائهم نهر قره طاطا، وعلى مسافة (٣٠٠) م فوق مصب النهر أنشئ جسر لطريق السيارات، وعليه موقع أنشئ مركز قياس هيدرومترية.

٢.٢. مصادر البيانات والبرمجيات المستخدمة:

اعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ٣٠ متر من مصدر بيانات SRTM المقدم من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS, 2023)، لما يوفره من دقة مناسبة للتحليلات الطبوغرافية والمورفومترية على مستوى الأحواض المتوسطة والصغيرة (Yan et al., 2021). جرى التحقق من دقة النموذج عبر مقارنته بخرائط طبوغرافية بمقياس ١:٥٠,٠٠٠ وبيانات ميدانية محدودة، لضمان تطابق خطوط تقسيم المياه وشبكة التصريف مع الواقع.

تمت معالجة البيانات وتحليلها باستخدام بيئة نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS (إصدار ١٠.٨) مع توظيف وحدة Spatial Analyst، بالإضافة إلى استخدام أدوات التحليل الهيدرولوجية مثل Flow Direction، Flow و Accumulation لاستخلاص شبكة المجاري وتحديد حدود الحوض.

٣.٢. طرق التحليل:

أُتبعَت منهجية كمية-جيومورفولوجية (quantitative geomorphological approach) تتضمن الخطوات الآتية:

(١) معالجة نموذج الارتفاع الرقمي:

• تصحيح الأخطاء الطبوغرافية باستخدام أداة Fill لإزالة الحفر الرقمية التي قد تعيق استمرارية التدفق (Tarboton, 1997).

• إنشاء طبقات الانحدار (slope) والتعرض (aspect) لاستخدامها في التحليلات المورفومترية.

(٢) استخلاص شبكة التصريف وحدود الحوض

• توليد شبكة التصريف باستخدام أدوات Flow Direction و Flow Accumulation.

• تحديد نقطة المصب (pour point) ورسم خط تقسيم المياه للحصول على حدود الحوض بدقة.

• تصنيف المجاري إلى رتب هيدرولوجية بحسب طريقة Strahler (1957)، وهي الطريقة الأكثر

استخداماً في الدراسات المورفومترية الحديثة.

(٣) حساب المؤشرات المورفومترية:

صُنِفَت المؤشرات إلى أربع مجموعات رئيسية، ومجموعة خامسة تمثل مؤشرات الخطورة، حُسِبَت باستخدام

معادلات معتمدة في الأدبيات العلمية، كما يظهرها الجدول (١):

جدول (١) المعايير المورفومترية ومعادلاتها المستخدمة في البحث مع مصدر كل منها

المؤشرات المورفومترية	المؤشرات الفرعية	صيغة المعادلة	رقم المعادلة	الوحدة	المرجع
المعالم المساحية	(A) مساحة الحوض	$A = \sum_{i=1}^n a_i$ (sum of cell areas within watershed)	(1)	كم ^٢	(Strahler, 1957)
	(P) محيط الحوض	$P = \text{Length of watershed divide}$	(2)	كم	(Schumm, 1956)
	(Lb) طول الحوض	$L_b = \sqrt{A \times 1.4}$	(3)	كم	(Schumm, 1956)
	(W) متوسط العرض	$W = \frac{A}{L_b}$	(4)	كم	(Zovoianu, 1985)
المعالم الشكلية	(Rc) نسبة الاستدارة	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	(5)	بدون	(Miller, 1953)
	(Rf) عامل الشكل	$R_f = \frac{A}{L_b^2}$	(6)	بدون	(Horton, 1932)
	(Re) نسبة الاستطالة	$R_e = \frac{2\sqrt{A}}{L_b}$	(7)	بدون	(Schumm, 1956)
	معامل الاندماج (التقارب) (Cc)	$C_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	(8)	بدون	Aziz Abdulrazzaq & Mansur (2020)
المعالم التضاريسية	(H) ارتفاع الحوض (Ra) التضرس الكلي	$Ra = H_{\max} - H_{\min}$	(9)	م	(Strahler, 1952)
	(Rh) نسبة التضاريس	$R_h = \frac{H}{L_b}$	(10)	م/كم	(Schumm, 1956)
	(Rn) قيمة الوعورة	$R_n = Dd \times \frac{Ra}{1000}$	(11)	بدون	(Schumm, 1956)
	(Hi) التكامل الهيبسومتري	$H_i = \frac{\text{Mean Elevation} - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}$	(12)	بدون	(Strahler, 1952)
معاملات الشبكة المائية	(U) رتبة المجرى المائي	Classified by Strahler's method (hierarchical ordering)	(13)	بدون	(Strahler, 1957)
	(Lu) طول المجرى المائي	$L_u = \sum l_{ui}$ (sum of stream segments of order u)	(14)	كم	(Horton, 1945)
	متوسط طول المجرى المائي (Lsm)	$L_{sm} = \frac{L_u}{N_u}$	(15)	كم	(Horton, 1945)
	نسبة التشعب بين رتبتين متتاليتين (Rb)	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	(16)	بدون	(Strahler, 1957)

المؤشرات المرفومترية	المؤشرات الفرعية	صيغة المعادلة	رقم المعادلة	الواحدة	المرجع
معاملات الشبكة المائية	نسبة التشعب لكل الحوض (R)	$Rbm = \sum \left(\frac{\sum N_u}{Nu + 1} \right) / K$	(١٧)	بدون	(Strahler, 1957)
	نسبة التشعب المرجح لكل الحوض (R)	$Rb^- = \sum \left(\frac{\sum Rb \cdot Nu}{\sum Nu} \right)$	(18)	بدون	(Strahler, 1957)
	كثافة التصريف (Dd)	$D_d = \frac{\sum L_u}{A}$	(19)	كم/كم ^٢	(Horton, 1932)
	كثافة المجاري (Fs)	$F_s = \frac{\sum N_u}{A}$	(20)		(Horton, 1945)

4. النتائج والمناقشة:

جرى حساب ١٩ مؤشراً مورفومترياً لحوض قره طاطا استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة ٣٠ م، ويمكن تلخيصها كما في الجدول (١).

4. ١. الخصائص المساحية:

بتطبيق المعادلات (١ و ٢ و ٣ و ٤) تشير التحليلات المورفومترية إلى أن مساحة الحوض بلغت ٦٥.٧١ كم^٢، وهي قيمة تعكس حجم الحوض المتوسط نسبياً، ما يمنحه قدرة محدودة على تجميع المياه مقارنة بالأحواض الكبيرة، ولكنه في الوقت نفسه يكفي لتوليد جريان مهم خلال الهطولات المطرية الغزيرة. وتساعد معرفة مساحة الحوض في تفسير مستوى استجابة الحوض للفيضانات، حيث يرتبط مقدار المساحة بشكل مباشر بكمية المياه التي يمكن أن تتدفق إلى المصب خلال أحداث الهطول المختلفة (Chow, 1964).

أما محيط الحوض، فقد بلغ ٤٨.٢٠٧ كم، وهو يعكس الشكل العام للحوض وامتداد حدوده، ويعطي مؤشراً على مدى تباين الانحدارات والحواف الطبوغرافية التي تحدد تصريف المياه السطحية. فالمحيط الكبير نسبياً بالنسبة إلى المساحة قد يشير إلى حواف غير منتظمة، تتخللها مناطق منحدره وتجمعات للأودية الثانوية، مما يزيد تعقيد شبكة الصرف ويؤثر على توزيع المياه والجريان داخل الحوض (Strahler, 1964).

بالنسبة إلى الطول الكلي للحوض (Lb)، فقد بلغ ١١.٦٥٦ كم، بينما بلغ أقصى اتساع للحوض ١٣.٧٤٤ كم، ويشير هذا الامتداد الطولي الواضح إلى أن الحوض يمتد بشكل أساسي على محور طولاني، من بداية نهر بيت سوراك إلى بداية نهر الدفلة. ويظهر هذا الامتداد الطولي بوضوح في الشكل (٢)، حيث يلاحظ توزيع المجاري على طول محور الحوض بطريقة تسمح بتجمع المياه بسرعة نسبية عند المصب الرئيس. يمتاز الحوض ذو الامتداد الطولي البارز بأن توزيع الجريان يكون أكثر تركيزاً على المحور الرئيس، وهو ما قد يؤدي إلى ارتفاع ذروة الجريان في أوقات الهطول الغزير، مقارنة بالأحواض ذات الشكل الدائري أو القريب من الاستدارة، التي تسمح بتوزيع أبطأ للجريان (Gregory & Walling, 1985).

توزيعاً متوازناً للجريان عبر كافة المساحات. هذا التأثير يكون أكثر وضوحاً في أوقات الهطولات الغزيرة، حيث يؤدي شكل الحوض إلى ارتفاع ذروة الجريان مقارنة بحوض مستدير بنفس المساحة (Miller, 1953).

وبحسب المعادلة (٦) بلغ معامل الشكل (Rf) ٠.٤٨، ما يعكس استطالة متوسطة وليست شديدة للحوض، بمعنى أن نسبة الطول إلى العرض لا تصل إلى حد القيم المرتفعة التي تشير إلى أحواض شديدة الاستطالة، تتيح هذه الاستطالة المتوسطة للحوض توازناً بين قدرة الجريان على الانتشار في الفرع الرئيس واستجابات الروافد الثانوية، كما تؤثر على زمن التركيز والجريان، حيث يكون التوزيع الزمني للذروة معتدلاً ولا يؤدي عادة إلى فيضانات ومضية سريعة مثل الأحواض ذات الاستطالة الشديدة، يشير ذلك إلى أن تصميم شبكة الصرف والهيدرولوجيا الطبيعية للحوض يسمح بتراكم المياه بشكل تدريجي نسبياً، مع الحفاظ على فعالية تصريفية معقولة (سعد، ٢٠٢٤).

في حين بلغت نسبة الاستطالة (Re) ٠.٧٨ بحسب المعادلة (٧)، تؤكد الاستنتاج السابق حول الطابع المتوسط للاستطالة، وتدل على أن الحوض بعيد عن الشكل الدائري أو الشكل الطويل (إبراهيم والعلي، ٢٠٢٤). الاستطالة المعتدلة تعطي الحوض قدرة متوازنة على تخزين مياه الجريان السطحي في مناطق الانحدار المتوسط، مع تقليل احتمالية تشكل ذروات جريان حادة في الروافد الثانوية، كما أنها تعكس توزيعاً جيومورفولوجياً متنقلاً بين المناطق العليا والدنيا للحوض (Schumm, 1956).

وبلغ معامل الاندماج (التقارب) ١.٦٧ بحسب المعادلة (٨)، مما يشير إلى أن شكل الحوض غير منتظم، ويتميز بتعقيد نسبي في شبكة الصرف. تعكس عادة القيم الأعلى لهذا المؤشر وجود فروق في الانحدارات والمستويات الطبوغرافية، مما يزيد طول المسارات الجانبية للمجري ويخلق شبكة تصريف أكثر تشابكاً. هذا التعقيد يؤدي إلى تأثير مزدوج: من جهة، يزيد قدرة الحوض على توزيع المياه عبر شبكة فرعية متعددة، وبالتالي يقلل من حدة بعض ذروات الجريان؛ ومن جهة أخرى، فإن التعقيد في شبكة الصرف يعزز مناطق التركيز المحلي للمياه، خاصة في المواقع المنحدرة، مما يزيد مخاطر الانجراف المحلي والتعرية عند سقوط أمطار غزيرة (Strahler, 1957).

بالجمع بين هذه المؤشرات الأربعة، يمكن وصف الحوض بأنه يمتلك شكلاً كمثرياً (المستطيل بشكل طفيف) متوسط الاستطالة مع توزيع غير منتظم للمجري الفرعية. هذا النمط المورفومتري يوضح العلاقة بين البنية الشكلية للحوض واستجابته الهيدرولوجية: فالاستطالة المعتدلة تساهم في تصريف متوازن للمياه، في حين أن التعقيد في شبكة الصرف يزيد تباين توزيع الجريان في أوقات الهطول، ما يستدعي النظر في سياسات إدارة الحوض التي تركز على تثبيت التربة في المناطق الحساسة، حماية المجري الثانوية، وتوزيع الاستخدامات الأرضية بطريقة تقلل مخاطر الفيضانات والانجراف (Chorley et al., 1984).

تقدم هذه المؤشرات معاً صورة متكاملة عن ديناميكية الحوض، حيث يربط الشكل الهندسي مع خصائص الجريان والتصريف، ويعكس التأثير المتزامن للانحدار، والتضاريس، وتركيب شبكة الصرف، بما يوفر أساساً علمياً لتطوير نماذج هيدرولوجية دقيقة وتخطيط إستراتيجي لإدارة المياه والحد من المخاطر الطبيعية في الحوض (Gregory & Walling, 1985).

٤.٣. الخصائص التضاريسية:

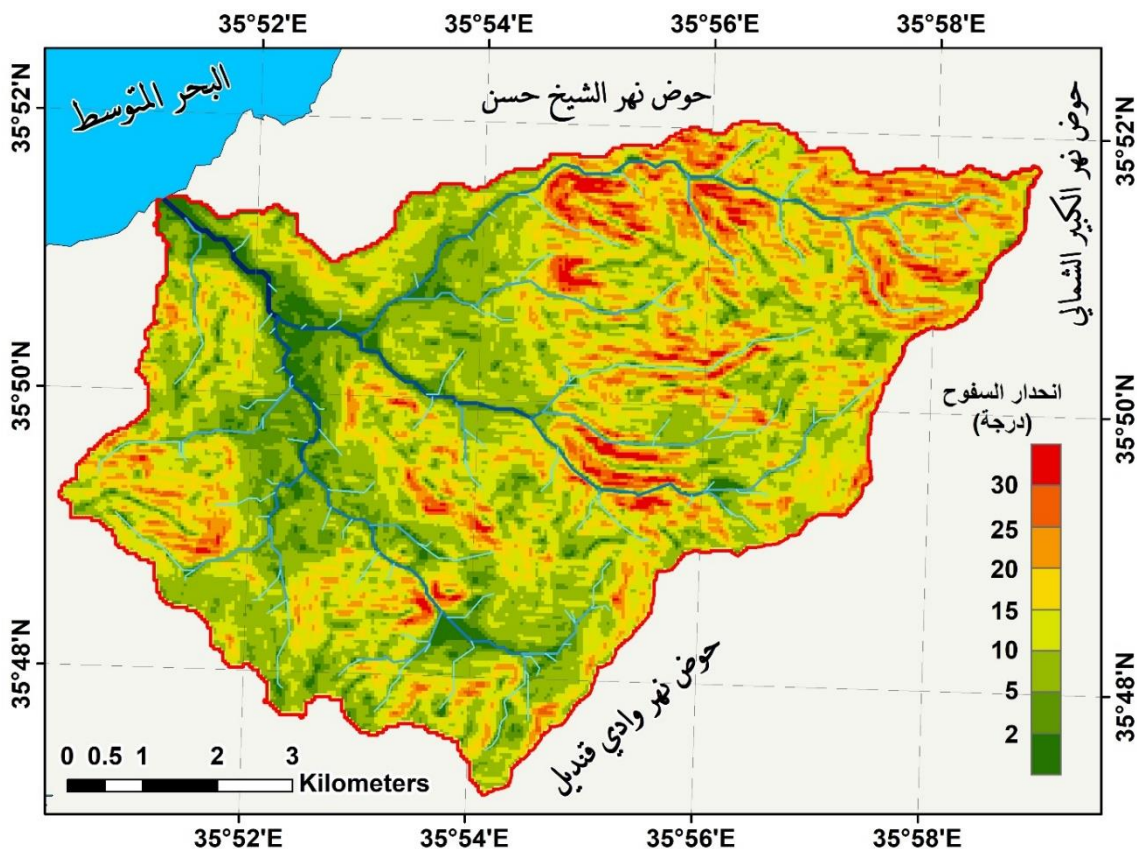
٤.٣.١. تحليل سطح الأرض: أظهر تحليل نموذج الارتفاع الرقمي في الشكل (٢) أن الحوض يتميز بتضاريس متنوعة، حيث بلغت قيمة التضرس (Ra) بحسب المعادلة (٩) ٧٤٤م، وهي قيمة عالية تشير إلى وجود فروق في الارتفاعات بين أقصى النقاط العليا والدنيا للحوض. يعكس هذا الفرق في الارتفاعات طبيعة حوضية غير

مستوية، تتسم بوجود قمم صخرية، ووديان عميقة، ومنحدرات يظهرها الشكل (٣)، إن مثل هذه التضاريس تسهم إسهاماً مباشراً في زيادة طاقة الجريان السطحي، حيث يكون للمياه المتدفقة قدرة أكبر على حمل الرواسب والحت في مناطق الانحدار الشديد، وبالتالي تكون العمليات الهيدرولوجية أكثر نشاطاً مقارنة بالأحواض ذات التضاريس الخفيفة أو الانحدارات المعتدلة (Strahler, 1952).

تشير نسبة التضرس (Rh)، التي بلغت ٣١.١ م/كم حسب المعادلة (١٠)، إلى أن الانحدار العام للحوض مرتفع نسبياً، وهو ما يوضح أن كل كيلومتر من الحوض يشهد تغيراً متوسطاً في الارتفاع. هذه القيمة تعد مؤشراً على اعتدال المنحدرات، حيث تعكس تأثيرها المباشر على سرعة الجريان السطحي وزيادة قوة الانجراف والتعرية، خاصة في المناطق العليا للروافد، ويظهر هذا التأثير بوضوح في خريطة الانحدارات الشكل (٣)، حيث يمكن ملاحظة المناطق ذات الانحدارات الحادة التي تركز الجريان السطحي وتسهم في نقل الرواسب بكفاءة عالية نحو الأودية السفلى، ما يعزز عمليات الحت العميق والتشكيل الديناميكي لقاع الوادي (Horton, 1945).

من جهة أخرى، بلغت قيمة الوعرة (Rn) ٤٩ بحسب المعادلة (١١)، وهي قيمة مرتفعة جداً وفق المعيار الذي وضعه (Melton 1959)، مما يشير إلى أن الحوض يتميز بدرجة عالية من الوعرة الجيومورفولوجية. يوضح هذا المؤشر أن الحوض يحتوي اختلافات كبيرة في الانحدار بين المنحدرات العليا والمنخفضات، ويشير إلى وجود شبكة تصريفية متفرعة ومعقدة. الحوض عالي الوعرة يكون عرضة بشكل خاص لمخاطر انجراف التربة والانهيئات الأرضية في المناطق ذات الانحدارات الشديدة، حيث تزداد قوة الجريان مع ارتفاع الانحدار، وتصبح التربة أقل قدرة على مقاومة الفيضانات أو الانجراف (Selby, 1993).

إن دمج هذه المؤشرات الثلاثة (التضرس الكلي، نسبة التضرس، والوعرة) يوفر صورة دقيقة عن ديناميكية الحوض الهيدرولوجية، فالتضاريس الوعرة والانحدارات الحادة تؤدي إلى تركيز المياه في مجارٍ محددة بسرعة، مما يزيد قدرة الحوض على الحت، لكنه في الوقت نفسه يعزز المخاطر البيئية مثل انجراف التربة وتآكل الضفاف النهرية والتشكل السريع للوديان. هذه الخصائص المورفولوجية تجعل الحوض حساساً للتغيرات المناخية، إذ إن أية زيادة في الهطول المطري قد تؤدي إلى فيضانات مفاجئة، وانهيئات أرضية في المنحدرات العليا، مع تأثير مباشر على استقرار البيئة المحلية والموارد المائية (Chorley et al., 1984).



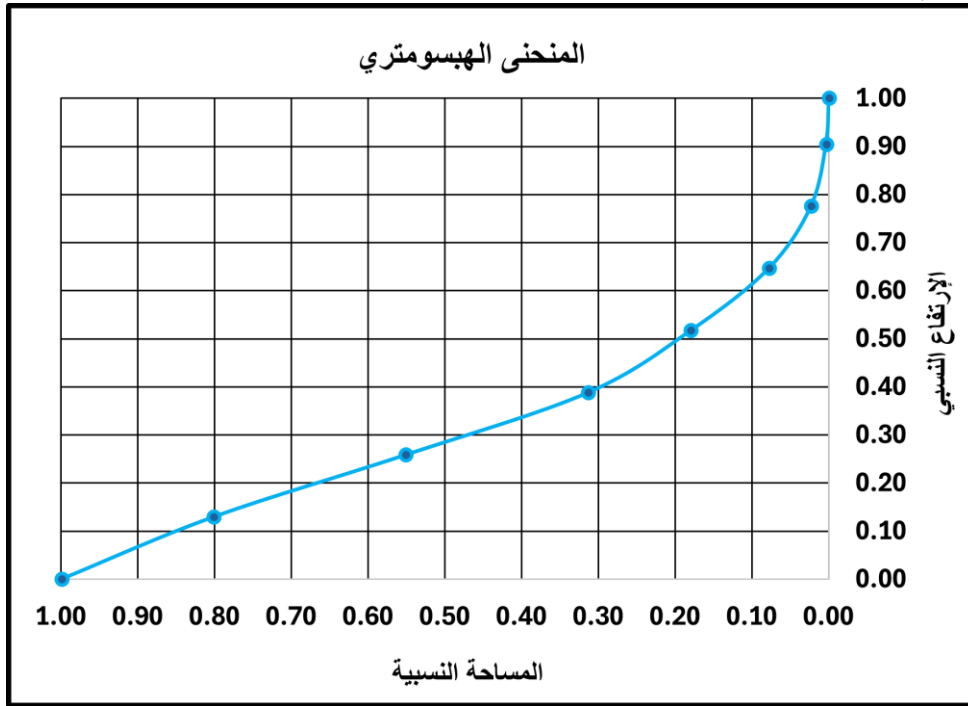
شكل (٣) خريطة انحدارات سطح الأرض في حوض نهر قره طاها

من الناحية التخطيطية، تؤكد هذه النتائج الحاجة إلى إجراءات وقائية مدروسة، مثل تعزيز الغطاء النباتي في المناطق العليا، وبناء مصاطب أو حواجز صغيرة لتخفيف قوة الجريان، ومراقبة الانحدارات شديدة التعرض للانجراف، لضمان الحد من مخاطر التعرية والانجراف، وتحسين إدارة الموارد المائية في الحوض. كما أن هذه القيم تتيح أيضاً إمكانية تحديد المناطق الأكثر مناسبة لحصاد المياه واستغلال الانحدارات المتوسطة لتخزين المياه بفاعلية، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة وإدارة المخاطر الطبيعية في الأحواض الوعرة (Morgan, 2005).

٢.٣.٤ التحليل الهيبسومتري: يشكل التحليل الهيبسومتري أداة هامة لفهم التدرج الطبوغرافي والخصائص الجيومورفولوجية للحوض المائي، حيث يربط توزيع الارتفاعات مع المساحة الإجمالية للحوض ويكشف عن العمليات السائدة فيه (Strahler, 1952). تشير النتائج إلى أن الارتفاع المتوسط للحوض بلغ ٢٤٥ متراً، مما يوضح أن الحوض يمتد بين مناطق منخفضة ومرتفعات متوسطة الارتفاع، وهو ما يعكس تنوعاً طبوغرافياً نسبياً. بلغت قيمة التكامل الهيبسومتري (Hi) بحسب المعادلة (١٢) ٠.٧١، وهي قيمة تشير إلى أن توزيع المساحات على الارتفاعات يميل إلى التركيز في الأجزاء المنخفضة والمتوسطة، مع وجود جزء أقل نسبياً في المناطق العليا (Pike & Wilson, 1971).

يقدم المنحنى الهيبسومتري للحوض الشكل (٤) دعماً بصرياً لهذه النتائج، حيث يظهر ميل المنحنى نحو التقعر، وهو نمط يتوافق مع حوض في مرحلة الشباب الجيومورفولوجي. هذا الميل التقويزي يعكس سيطرة عمليات الحت والتعرية على تكوين التضاريس، بما يشير إلى أن المجاري النهرية تعمل بفاعلية على قطع الصخور والتربة وتحويلها إلى رواسب في المناطق الدنيا (Willgoose & Hancock, 1998). تتركز عمليات الحت بشكل أكبر في

المحدرات شديدة الانحدار، بينما تسهم التعرية الجانبية في اتساع الأودية وزيادة تشعب الشبكة التصريفية، ما يعزز النمو الطبوغرافي للروافد الثانوية ويدعم التطور المستمر للحوض.



شكل (٤) المنحنى الهيسومتري لتضاريس حوض نهر قره طاطا

يوضّح تحليل توزيع المساحات على الارتفاعات أن حوالي 20% من مساحة الحوض تقع على ارتفاع أعلى من ٣٨٧ مترًا (الارتفاع الأوسط)، وهي مناطق غالبًا ما تتسم بانحدارات حادة وظروف صخرية صلبة نسبيًا، ما يجعلها نقاطاً رئيسة لتوليد الجريان السطحي السريع وانجراف التربة. بالمقابل، تقع 50% من مساحة الحوض تحت ارتفاع ٢٢٢ مترًا، أي أن معظم الحوض يمتد في مناطق منخفضة إلى متوسطة الانحدار، مما يسمح بتجمع المياه وتحفيز عمليات ترسيب الرواسب وتكوين الأراضي الفيضية (Bishop et al., 2012). هذا التدرج في الارتفاعات يشير إلى وجود اختلاف واضح في ديناميات الجريان بين مناطق الرأس والمصب، حيث تتميز المناطق العليا بسرعة تدفق عالية وقدرة أكبر على الحت، بينما تكون المناطق الدنيا أكثر عرضة لتراكم الرواسب.

من الناحية الجيومورفولوجية، تؤكد هذه النتائج أن الحوض يقع في مرحلة الشباب النشط، وفق تصنيف ستراهل (Strahler, 1952)، حيث تُهيمن القوى الميكانيكية للحت والتعرية على تطوير الأودية والطبقات السطحية، وتكون التضاريس غير مستقرة نسبيًا، مع وجود تباين كبير في الانحدارات والطبوغرافيا. هذا يشير أيضًا إلى أن الحوض لم يصل بعد إلى مرحلة النضج، حيث تصبح الانحدارات أكثر اعتدالًا وتبدأ العمليات الترسيبية بالسيطرة بشكل أوسع (Summerfield, 2014).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن الاستنتاج أن التوزيع الهيسومتري يعكس إمكانات الحوض في إدارة المياه. فالمناطق ذات الانحدار المعتدل والمنخفض توفر فرصًا لتخزين المياه في الخزانات السطحية والجوفية، كما تساعد في تهدئة سرعة الجريان وتقليل مخاطر الفيضانات. في المقابل، تحتاج المناطق العليا ذات الانحدارات الشديدة إلى تدخلات وقائية، مثل تعزيز الغطاء النباتي وتثبيت التربة، للحد من الانجراف وحماية مجاري الأنهار من التعرية المفرطة (Goudie, 2013).

يوفر التحليل الهيبسومتري صورة دقيقة لتوزيع الارتفاعات في حوض النهر، ويتيح تفسيرًا متسقًا للسلوك الهيدرولوجي والجيوديناميكي للحوض. فالارتفاع المتوسط (٢٤٥ مترًا)، وتغير المنحنى الهيبسومتري، وتوزيع المساحات بين الارتفاعات العليا والدنيا، جميعها مؤشرات تدل على أن الحوض يتمتع بخصائص الشباب الجيومورفولوجي، مع سيادة عمليات الحت والتعرية، وتباين واضح في الانحدارات الذي يؤثر مباشرة على استجابة الحوض للهطول المطري وتوزيع المياه والرواسب (Hurtrez et al., 1999). هذه المعطيات تشكل قاعدة علمية أساسية لتطوير إستراتيجيات إدارة الحوض، سواء للحفاظ على الموارد المائية أم لتقليل مخاطر الفيضانات والانجراف في المستقبل.

٤. ٤. شبكة التصريف:

٤. ٤. ١. تحليل مؤشرات شبكة التصريف: أظهر الشكل (٢) والجدول (٢) أن ٧٥.٨% من المجاري تنتمي إلى الرتبة الأولى، وبحسب المعادلة (١٦) بلغت كثافة التصريف (Dd) ٣٣.٧٩ كم/كم^٢، وهي قيمة مرتفعة تعكس تقطعاً شديداً للسطح وسرعة تصريف عالية (Horton, 1945).

الجدول ٢: هرم رتب المجاري في حوض نهر قره طايا

الرتبة	مجموع أطوال المجاري (م)	عدد المجاري	الطول الوسطي (م)	النسبة (%)
1	47317.17	92	514.32	77.3
2	22950.44	19	1207.92	15.9
3	16246.84	5	3249.37	4.2
4	6332.74	2	3166.37	1.7
5	2435.94	1	2435.94	0.84
المجموع	95283.13	١١٩	-	١٠٠

المصدر: مخرجات ArcGIS

يظهر الجدول (٣) قيمة معامل التشعب (Rb) الفرعية بين الرتب المتتالية، حيث بلغ بين الرتبتين الأولى والثانية ٤.٨٤، وبين الرتبتين الثانية والثالثة ٣.٨، و٢ بين الرتبتين ٣ و٤، وكذلك بين الرتبتين ٤ و٥، ما يشير إلى نظام تصريف متوازن نسبياً، ولكنه ذو حساسية للهطولات المطرية المفاجئة، لحسب قيمة معامل التشعب (Rb) المرجح حسب المعادلة (١٨) تم تنظيم الجدول (3).

الجدول ٣: هرم رتب المجاري ودلالاتها الجيومورفولوجية في حوض نهر قره طاطا

الانتقال بين الرتب	(Nu / Nu+1) نسبة التفرع	Rbi×Nu	الدلالة الهيدرولوجية
1 → 2	4.84	445.464	تشير إلى كثافة تصريف عالية، مما يعني أن الحوض يمتلك نسبة مرتفعة جدًا عددًا كبيرًا جدًا من المجاري الصغيرة (الرتبة ١) التي تغذي عدد قليل نسبيًا من هذا يزيد بشكل كبير من خطر الفيضانات. المجاري الأكبر (الرتبة ٢) المفاجئة لأن المياه تتركز بسرعة شديدة في قنوات التصريف الرئيسية.
2 → 3	3.80	72.200	نسبة مرتفعة، تظهر نمط التفرع العالي في الحوض، مما يعزز كفاءة وسرعة تجميع المياه.
3 → 4	2.50	12.500	بداية ظهور استقرار طفيف في الشبكة، لكنها لا تزال في المدى. نسبة متوسطة الذي يدعم التصريف السريع.
4 → 5	2.00	4.000	نسبة منخفضة، تشير إلى أن جزءًا من الشبكة أصبح أكثر نضجًا واستقرارًا.
المتوسط (Rb) المعادلة (١٧)	3.29		متوسط نسبة التفرع في الحوض (٣.٢٩) أعلى من المتوسط. المتوسط العام مرتفع هذا يؤكد أن الحوض يتميز بكثافة تصريف عالية (~3.0) العالمي النموذجي نسبيًا ويصنف على أنه عالي الاستجابة للأمطار، مما يجعله عرضة لخطر الفيضانات.

$$Rb = \frac{534.164}{118} \approx 4.527$$

بناءً على التحليل المورفومتري، يُظهر حوض قره طاطا خصائص هيدرولوجية وطبوغرافية متباينة. تشير القيمة العالية لمعامل التشعب (٤.٥٢٧)، المدعومة بالعدد الكبير للانتقالات من الرتبة الأولى إلى الثانية (٩٢ مجرى)، إلى هيمنة الرتب النهريّة الدنيا التي تسيطر على البنية التصريفية وتُسرع زمن تركيز الجريان، مما يزيد احتمالية ذروات الفيضانات المفاجئة، خاصة في المناطق ذات الانحدار الشديد المعرضة للتعرية. في المقابل، توفر المناطق ذات الانحدار المتوسط (أقل من ١٥%) فرصاً مثالية لحصاد المياه عبر منشآت تخزين صغيرة. تعكس قيمتا كثافة التصريف (١.٤٥ كم/كم^٢) وتكرار المجاري (١.٨١ مجرى/كم^٢) وسطية الخصائص الصخرية والنفاذية، مما يشير إلى استجابة هيدرولوجية معتدلة. يتطلب تحقيق التوازن بين الاستفادة من إمكانات حصاد المياه.

٤.٤.٢ التحليل التكاملي لخصائص شبكة التصريف: تظهر العلاقة بين مختلف خصائص من خلال

معادلة كفاءة الصرف:

$$كفاءة التصريف = \frac{Dd}{Fs} = 0.8$$

سيطرة واضحة للمجاري القصيرة (الرتب ١-٣) التي تشكل ٩٤.٦٦% من إجمالي المجاري. يؤكد متوسط طول المجاري البالغ ٠.٨٠ كم هذا الطابع الفتى للشبكة التصريفية، مما يبرز حساسية المناطق العلوية للانجراف ونقل الرسوبيات.

أما كثافة التصريف (١.٤٥ كم²/كم²) فتشير إلى استجابة هيدرولوجية متوسطة، تعكس توازناً بين الجريان السطحي والتغذية الجوفية. كما تدعم نسبة التشعب (٤.٨٤) هذه الصورة، حيث تُظهر تطوراً طبيعياً للشبكة من دون سيطرة تركيبية قوية.

ينتج عن دمج هذه المؤشرات "نظام نصف متوازن": سريع التأثير في الأجزاء العلوية بفعل المجاري القصيرة، لكنه متوازن على مستوى الحوض ككل. وهذا يستدعي تدخلات إدارية تركز على تثبيت التربة وتعزيز الغطاء النباتي في المناطق العلوية، وإنشاء منشآت صغيرة لتخزين المياه والتحكم في الذروات الفيضانية.

5. الاستنتاجات:

أظهرت نتائج التحليل المورفومتري لحوض قره طاطا جملة من المؤشرات التي يمكن تلخيصها فيما يلي:

- (١) أن حوض قره طاطا من الأحواض المتوسطة المساحة قريب من الشكل الكمثري.
- (٢) إن الحوض لم يقطع مرحلة متقدمة في دورته الهيدرولوجية، بل لا يزال في مرحلة الشباب.
- (٣) يعد نمط التصريف في حوض قره طاطا من النمط الشجري ويتكون هذا النمط عادة فوق صخور متجانسة من حيث البنية والصلابة.
- (٤) تمثل هذه الدراسة أول تحليل مورفومتري كمي لحوض قره طاطا، اعتماداً على بيانات دقيقة وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، الأمر الذي وفر قاعدة بيانات مكانية وكمية لم تكن متاحة سابقاً، مما يسد فجوة معرفية في الدراسات الهيدرولوجية للأحواض الساحلية المستقلة.
- (٥) يتميز الحوض بخصائص مزدوجة تجمع بين السمات الشكلية للأحواض الساحلية قصيرة المجاري شديدة الانحدار، وبين استجابة هيدرولوجية متوسطة نسبياً كما تعكسها قيم كثافة التصريف (١.٤٥ كم²/كم²) ونسبة التشعب (٤.٨٤). هذا المزيج يفسر سرعة استجابة الحوض للأمطار الغزيرة مع وجود قدر من التوازن يمنع التطرف الهيدرولوجي المستمر.
- (٦) بينت الدراسة أن الرتب النهرية الدنيا (١-٣) التي تشكل نحو ٩٤.٦٦% من المجاري تمثل البؤر الأكثر عرضة للانجراف والتعرية، خصوصاً في المناطق العلوية شديدة الانحدار، ما يجعلها مصدراً رئيسياً للفاقد الرسوبي وأولوية في خطط الإدارة.
- (٧) أثبتت الدراسة أن الخصائص المورفومترية تمثل محدداً أساسياً للسلوك الهيدرولوجي للحوض، وأن النماذج الكمية المستخلصة (مؤشرات الخطورة) توفر أساساً علمياً يمكن البناء عليه في إعداد خرائط المخاطر، وتصميم مشاريع حصاد المياه، وتطوير إستراتيجيات الإدارة المتكاملة للموارد المائية.

6. التوصيات:

- استناداً إلى هذه الاستنتاجات، تقدم الدراسة حزمة من التوصيات العملية والبحثية والإدارية لتعزيز الإدارة المستدامة لحوض قره طاطا والأحواض المشابهة:
- تطبيق إجراءات عاجلة لحفظ التربة في المناطق العليا من الحوض (روافد الرتب ١-٣)، من خلال إنشاء المصاطب والحواجز الحجرية وزراعة الأشجار الحرجية المقاومة للجفاف.
 - إنشاء منشآت صغيرة لحصاد المياه في مناطق الانحدارات المتوسطة والمنخفضة، مثل السدود الترابية والحفائر التخزينية، بهدف تغذية الخزان الجوفي وتقليل ذروات الجريان السطحي.

- إعداد خرائط تفصيلية لمخاطر الفيضانات والانهيئات استناداً إلى مؤشرات الخطورة المورفومترية، مع اعتمادها في خطط الطوارئ والإخلاء وحماية الأنشطة الزراعية والسكنية.
- دمج التحليل المورفومتري مع بيانات ميدانية هيدرولوجية (الأمطار والجريان) لمعايرة النماذج وتحقيق تمثيل أدق للاستجابة الهيدرولوجية.
- دراسة ديناميكية الرسوبيات في المجاري الرئيسية والفرعية لتقدير معدلات النقل الرسوبي ومخاطر انسداد القنوات والمنشآت.
- تقييم أثر التغير المناخي على سلوك الحوض باستخدام النماذج المناخية المستقبلية بالتكامل مع النتائج المورفومترية الحالية.
- تعزيز التنسيق المؤسسي بين الجهات المسؤولة عن المياه والزراعة والبيئة لتبني خطة إدارة متكاملة للحوض قائمة على المخرجات العلمية.
- تنظيم استخدامات الأراضي للحد من الأنشطة البشرية غير المستدامة، مثل القطع الجائر للغابات والإنشاءات العشوائية في المناطق شديدة الانحدار.

7. المراجع:

المراجع العربية:

- إبراهيم، سعيد،، والعلي، يوسف. (٢٠٢٤). دراسة هيدرومورفومترية لحوض نهر حريصون في إقليم الساحل السوري. مجلة (مجلة جامعة طرطوس).
- سعد، أحمد. بكر. محمد سعيد. (٢٠٢٤). *تحليل الخصائص المورفومترية والتغيرات الجيومورفولوجية المعاصرة لحوض نهر نيا بارونجو باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية* (رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الفيوم). المستودع الرقمي لجامعة الفيوم.

المراجع الانكليزية:

- Abdallah, F. A., & Al-Ansari, N. A. (2010). *Morphometric Analysis to Determine the Priorities of Watershed. Journal of Environmental Science and Engineering*, 4(9), 12-22. (DOI: 10.4236/ojg.2020.102009)
- Aziz, N. A., Abdulrazzaq, Z., & Mansur, M. N. (2020). GIS-based watershed morphometric analysis using DEM data in Diyala River, Iraq. *Engineering and Technology Journal*, 38(2A), 256-269. <https://doi.org/10.30684/etj.v38i2A.658>
- Al-Hamwi, N. (2018). *Analysis of the Morphometric Characteristics of the Barada and Al-Assi River Basins Using Geographic Information Systems. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series*, 40(2), 45-60. <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/bassn/article/view/5759/5273>
- Bishop, M. P., James, L. A., Shroder, J. F., & Walsh, S. J. (2012). *Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. Geomorphology*, 137(1), 5-26. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.027>
- Chorley, R. J. (1969). *The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In R. J. Chorley (Ed.), Water, Earth, and Man (pp. 77-99). Methuen.* (<https://archive.org/details/waterearthman0000unse>)

- Chorley, R. J., Schumm, S. A., & Sugden, D. E. (1984). *Geomorphology*. Methuen <https://doi.org/10.1002/gj.3350210411>
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill <https://doi.org/10.1080/02626666509493376>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1029/89EO00083>
- FAO. (2003). *Water harvesting and soil moisture retention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/y5678e/y5678e00.htm>
- FAO. (2007). Guidelines for watershed management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/a-a1444e.pdf>
- Goudie, A. S. (2013). *The human impact on the natural environment: Past, present, and future*. John Wiley & Sons https://books.google.nl/books?id=YZVdDwAAQBAJ&hl=ar&source=gbs_navlinks_s
- Gravelius, H. (1914). *Grundriß der gesamten Gewässerkunde*. Band 1: Fließkunde. Göschen. (<https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb11152433>)
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1985). *Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological Approach*. Edward Arnold. (<https://www.worldcat.org/title/Drainage-basin-form-and-process-a-geomorphological-approach/oclc/1104563156>) 0470151986
- Horton, R. E. (1932). *Drainage Basin Characteristics*. *Transactions, American Geophysical Union*, 13(1), 350–361. (<https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>)
- 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. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Hurtrez, J. E., Sol, C., & Lucazeau, F. (1999). *Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal)*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(9), 799-808. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9<799::AID-ESP12>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<799::AID-ESP12>3.0.CO;2-2)
- Javed, A., Khanday, M. Y., & Ahmed, R. (2011). *Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and Land Use Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques*. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(2), 181-195. (<https://doi.org/10.1007/s12524-009-0016-8>)
- Javed, M. T., et al. (2011). *Flood Risk Analysis Using Morphometric Parameters*. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), 535-545. (<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.008>)
- Knighton, D. (1998). *Fluvial forms and processes: A new perspective*. Arnold. <https://www.routledge.com/Fluvial-Forms-and-Processes-A-New-Perspective/Knighton/p/book/9780340663134>
- Magesh, N. S., & Chandrasekar, N. (2013). *GIS model-based morphometric evaluation of Tamiraparani subbasin, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India*. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 131-141. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-013-0832-6>
- Melton, M. A. (1959). *A derivation of Strahler's channel-ordering system*. *Journal of Geology*, 67, 345-346. (<https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/626579>)
- Miller, V. C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Columbia University .

- <https://www.proquest.com/openview/b4314c3a828eee3611d3c47e75045a1c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing.<https://www.wiley.com/en-us/Soil+Erosion+and+Conservation%2C+3rd+Edition-p-9781405117814>
- Pandey, A., Chowdary, V. M., & Mal, B. C. (2021). Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds in a semi-arid region of India using GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(5), 1023–1034.(<https://doi.org/10.1029/WR012i005p00941>
- Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). *Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis*. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079-1084. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)
- Rai, P. K., Chandel, R. S., & Mishra, V. N. (2017). GIS-based morphometric analysis of a watershed for water resources management. *Applied Water Science*, 7(6), 2957–2969. (<https://doi.org/10.1007/s13201-017-0559-8>)
- 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 . [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[1111:AAOSCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[1111:AAOSCI]2.0.CO;2)
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press.<https://global.oup.com/academic/product/hillslope-materials-and-processes-9780198741831>
- Singh, P., & Singh, V. (2019). *Watershed planning and management*. McGraw-Hill Education. (<https://doi.org/10.2134/agronmonogr21.c31>)
- Smith, B., & Sandwell, D. (2019). High-resolution topography for hydrological applications: A review of DEM sources and processing techniques. *Computers & Geosciences*, 133, 104320. (<https://doi.org/10.5194/hess-11-1481-2007>)
- Smith, K. (2010). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351261647>
- Smith, M. J., Paron, P., & Griffiths, J. S. (Eds.). (2019). *Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. Elsevier. (<https://www.elsevier.com/books/geomorphological-mapping/smith/978-0-444-53446-0>)
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142. ([https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2))
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/TR038i006p00913>)
- Strahler, A. N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology* (pp. 4-39). McGraw-Hill . <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Summerfield, M. A. (2014). *Global geomorphology*. Routledge.<https://www.routledge.com/Global-Geomorphology/Summerfield/p/book/9780582301566>
- Tarboton, D. G. (1997). *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*. *Water Resources Research*, 33(2), 309-319.(<https://doi.org/10.1029/96WR03137>)

- United States Geological Survey (USGS). (2023). EarthExplorer.(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)
- Willgoose, G., & Hancock, G. (1998). *Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(7), 611-623. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199807\)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199807)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y)
- Yan, T., Zhao, W., & Wang, Z. (2021). *Evaluation of Different Resolution DEMs for Gully Morphology Mapping and Volume Estimation*. *Remote Sensing*, 13(5), 895.([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199807\)23:7%3C611::AID-ESP872%3E3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199807)23:7%3C611::AID-ESP872%3E3.0.CO;2-Y))
- Zhou, Q., Li, H., & Wang, L. (2020). *Integrating GIS and morphometric analysis for flood risk assessment: A case study*. *Natural Hazards*, 104(2), 1505–1527. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04229-9>)
- Zovoianu, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins* (2nd ed.). Elsevier. (<https://www.worldcat.org/title/morphometry-of-drainage-basins/oclc/13093610>)
- Zovoyannis, M. (1985). *Morphometric Analysis of Watersheds*. *Journal of Hydrology*, 78(3-4), 335-353.(<https://pdfs.semanticscholar.org/2f6c/70ff772d7fd5aa219af1a20295b96c764705.pdf>)