

2018

مقارنة الطرائق التقليدية والتقانات الآليّة لحساب الخصائص (المورفومترية لحوض قويق (سورية))

طارق نمورة
tareqnamora@gmail.com

د.حسام حاج حسين

أ.د.ناظم عيسى

Follow this and additional works at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/aae>

Recommended Citation

عيسى، أ.د.ناظم (2018) "مقارنة الطرائق التقليدية والتقانات الآليّة لحساب and نمورة، طارق; حاج حسين، د.حسام
المجلة العربية للبيئات الجافة Arab Journal of Arid Environments", (الخصائص المورفومترية لحوض قويق (سورية))
Vol. 11 : No. 1 , Article 10.

Available at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/aae/vol11/iss1/10>

This Article is brought to you for free and open access by Arab Journals Platform. It has been accepted for inclusion in Arab Journal of Arid Environments المجلة العربية للبيئات الجافة by an authorized editor. The journal is hosted on Digital Commons, an Elsevier platform. For more information, please contact rakan@aarj.edu.jo, marah@aarj.edu.jo, u.murad@aarj.edu.jo.

مقارنة الطرائق التقليدية والتقانات الآليّة لحساب الخصائص المورفومترية (لحوض قويق سورية)

Cover Page Footnote

©2018 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved. ISSN:2305 - 5243
; AIF(NSP)-177



مقارنة الطرائق التقليدية والتقانات الآلية لحساب الخصائص المورفومترية لحوض قويق (سورية)

Comparison Between Manual Methods and Automated Techniques to Calculate Morphometric Properties of Quweiq Basin

أ.د. ناظم عيسى⁽¹⁾

د. حسام حاج حسين⁽²⁾

طارق نمورة⁽¹⁾

Tareq Nammora⁽¹⁾

Dr. Hussam H. M. Husien⁽²⁾

Prof. Nazem Eissa⁽¹⁾

tareqnamora@gmail.com

(1) قسم الجغرافيا، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة دمشق، سورية.

(1) Dep. of Geography, Faculty of Arts and Human Sciences, Damascus University, Syria

(2) الهيئة العامة للبحوث العلميّة الزراعيّة، دمشق، سورية.

(2) General Commission for Scientific Agricultural Research, (GCSAR), Damascus, Syria.

الملخص

أجريت الدراسة في عام 2014 بهدف حساب الخصائص المورفومترية لحوض قويق الذي يعد الحوض الرئيس في هضبة حلب (سورية). ويشغل مساحة 5831 كم²، منها 4930 كم² في سورية، و 901 كم² في تركيا. باستخدام 18 رقعة طبوغرافية 1:50000 تغطي كامل مساحة الحوض الواقع في الأراضي السورية، ومعطيات المسح الراداري (Shuttle Radar Topography Mission) لاستكمال منطقة الحوض ضمن تركيا المتمثلة بأنموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model)، عُولجت البيانات بتوسعة ArcHydro ضمن نظام ArcGIS، وحُسبت الخصائص المورفومترية بالطريقتين اليدوية والآلية اللتين أظهرتا تبايناً في النتائج المستخلصة والمحسوبة كالتالي: بلغ عدد المسيلات بالطريقة اليدوية 9102 مسيلاً، وبمجموع طولي قدره 6949 كم، بينما كانت بالطريقة الآلية 25922 وبمجموع طولي بلغ 16884 كم. كما بلغ متوسط نسبة التشعب 3.6 بالطريقة اليدوية و 4.4 بالطريقة الآلية، في حين ظهرت قيمة تكرارية المجاري 1.5 مجرى/كم² بالطريقة اليدوية، و 4.4 بالآلية، أمّا كثافة شبكة التصريف فكانت 1.2 كم/كم² بالطريقة اليدوية، و 2.9 بالطريقة الآلية، وسجّل معامل التعرّج النهري القيمة 1.6 بكلتا الطريقتين، في حين بلغت قيمة ثابت المجرى المائي 0.8 كم²/كم² بالطريقة اليدوية، و 0.3 بالطريقة الآلية. أظهرت الدراسة أن استخدام الطرائق الآلية هو أسهل وأشمل وأسرع.

الكلمات المفتاحية: حوض قويق، الخصائص المورفومترية، أنموذج الارتفاع الرقمي، نظام المعلومات الجغرافية.

Abstract

The Quweiq basin is considered as the major basin in Aleppo plateau in the northwest of Syria, occupying an area of 5831 km², of which 4930 km² is in Syria and 901 km² is in Turkey. The study was carried out in 2014 in order to calculate the basin's morphometric properties using 18 topographic maps at scale 1:50000, and SRTM 90m-DEM to complete the basin's area in Turkey. Data were processed using Arc Hydro which is an extension of ArcGIS. The morphometric properties were calculated in a manual method (traditional) and in automated techniques. The results showed variation between the two methods, as the stream number in manual is 9102, in automated is 25922, total stream length is 6949

km in manual, in automated 16884, mean bifurcation ratio in manual is 3.7, in automated is 4.4, Stream frequency in manual is 1.5, in automated is 4.4, Drainage density in manual is 1.2, in automated is 2.9, Sinuosity index in manual is 1.6, in automated is 1.6, Constant of channel maintenance in manual is 0.8, in automated is 0.3. The study showed that the using of automated technique is comprehensive, easier and faster than the manual method.

Keyword: Quweiq basin, Morphometric properties, Digital Elevation Model (DEM), Geographic Information System (GIS).

المقدمة

يستعمل تعبير التحليل المورفومتري للدلالة على القياسات والخواص الهندسية لسطح الأرض التي تسهم الأنهار ونظمها المختلفة في تشكيله (مصطفى، 1998)، وعرف الطويل (2005) الدراسات المورفومترية بأنها دراسة كمية لخصائص الأحواض التجميعية، كما عرف سلوم (2012) مصطلح المورفومتري (Morphometry) حرفياً بقياس الشكل، وعرفها سلامة (1980) بأنها الخصائص الحوضية القياسية، أو الهندسية التي تنتج عن قياسات معينة للأحواض المائية بما في ذلك الخصائص الشكلية، وتعتمد بشكل أساسي على قياس أشكال المظاهر السطحية لشبكة المسيلات السطحية، ومعالجتها وفق أسس التحليل الكمي من خلال تطبيق المعادلات الرياضية والطرائق الإحصائية على البيانات المستقاة من الخرائط الطبوغرافية والقياسات الحقلية والصور الجوية والفضائية، والتي استندت في أغلبها على قوانين Horton (1945) و Schumm (1956) و Strahler (1957) وغيرهم، وذلك لاستخدام نتائجها في تصنيف المظاهر السطحية، وتحديد العوامل المسؤولة عن نشوئها وتطورها (حاج حسن، 1996)، فضلاً عن الاستفادة من هذه الدراسات في تطبيقات صيانة التربة والموارد المائية والمنشآت الهندسية، ومعرفة المراحل الحثية للأحواض والمظاهر الأرضية.

عرف Soille و Gratin (1994) شبكة المسيلات السطحية بأنها مظاهر طبوغرافية تتركز فيها مياه الجريان السطحي، وإن دراسة شبكات المجاري المائية ذات أهمية في فهم العمليات الجيومورفولوجية الجارية في الحوض النهري.

يتم استخلاص الخصائص المورفومترية لشبكة المجاري السطحية تقليدياً من الخرائط الطبوغرافية أو الصور الجوية أو المسح الحقلية، وذلك حسب الهدف ومساحة المنطقة. وقد استخدم Horton (1945) طريقة الخطوط الزرقاء المتصلة أو المتقطعة لتمثيل مجاري المياه (Watercourses)، وتبنت ذلك بعض الجهات الحكومية الأمريكية (Gregory و Walling، 1973) وقد انتشرت طريقة (Horton) لتمثيل مجاري المياه فيما بعد في أنحاء العالم. إلا أن استخدام هذه الطريقة أدى إلى ظهور مشكلتين هما:

1 - ترتبط صحة النتائج المستخلصة بقياس الرسم، فكلما كان مقياس الرسم كبيراً كان الاستخلاص دقيقاً والعكس صحيح، وأشار Gregory و Walling (1973) إلى أن الخرائط الطبوغرافية ذات المقياس 1:25000 تستخدم في بريطانيا، بينما تستخدم في الولايات المتحدة الخرائط ذات المقياس 1:24000، أما في سورية فتستخدم الخرائط ذات المقياس 1:25000 إلا أنها غير متاحة بشكل واسع ولا تغطي كامل المناطق، مما يجعل استخدام الخرائط ذات المقياس 1:50000 أمراً حتمياً، وهذا بدوره يولد أخطاءً في القياس، ومن ثم في النتائج.

2 - إن الخطوط الزرقاء حسب Gregory و Walling (1973) لا تمثل كل المسيلات المائية، لذلك تبدو طريقة تتبع خطوط التسوية باتجاه المنبع لاستكمال النقص في شبكة المسيلات السطحية ضرورية، وتعرف هذه الطريقة بطريقة التحوّز الكونتوري لتحديد شبكة المسيلات، أو طريقة مقطعات خطوط التسوية لتحديد الشبكة المائية (Contour crenulation network delimitation)، إلا أن الباحثين السابقين عادا وشككا بها لأنها قد تتضمن مسيلات هي في الأصل أودية جافة، واعتبرا أن طريقة الخطوط الزرقاء ملائمة للمناطق الرطبة مثل بريطانيا، ولكن في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تقع منطقة الدراسة ضمنها فإن المسيلات تكون جافة لفترات طويلة خلال العام. وحسب Gardiner (1981) فإن كثيراً من الباحثين في الولايات المتحدة ونيوزيلندا يفضلون استخدامها. يضاف إلى ما سبق أن الجريان في المناطق الجافة وشبه الجافة يتميز بعدم انتظامه نتيجة سقوط الأمطار خلال بضعة أسابيع أو بضعة أشهر، بالإضافة إلى عدم التجانس المكاني والزمني الناتج عن عدم انتظام الهطل، وبالتالي فإن كل مسيل مرسوم على الخرائط يمكن أن يكون مسيلاً جافاً لا قيمة له في الجريان، وحتى عند حدوث الجريان فقد يحدث في بعض أجزاء الحوض دون غيرها لأن العواصف المطرية قد لا تغطي كامل المساحة بالنسبة للأحواض الكبيرة، إلا أن أهم مشكلات هذه الطريقة أنها تخضع للاجتهاد، ولذلك وضع Gardiner (1981) مجموعة قواعد لضبط العمل بها.

إن العيوب المترافقة مع العمل بالطريقتين السابقتين (طريقة استخلاص الخصائص المورفومترية لشبكة المجاري المائية بالطريقة التقليدية من الخرائط الطبوغرافية أو بطريقة الخطوط الزرقاء)، بالإضافة إلى النقص في الخرائط الطبوغرافية ذات المقياس المناسب لتنفيذ الدراسات المورفومترية دعت إلى البحث عن طرائق أخرى. جرت محاولات عديدة لاستخلاص الخصائص المورفومترية من الصور الفضائية من أجل استكمال الخرائط الطبوغرافية غير المكتملة، أو تعويض النقص الحاصل فيها، وتعد محاولة McCoy (1969) الأولى من نوعها عندما

استخدم صوراً رادارية لاستنتاج شبكة المسيلات لعدد من الأحواض في الولايات المتحدة، وقد كانت شبكة المسيلات المستنتجة من صور رادارية بمقياس 1:200000 تعادل تقريباً الشبكة المستنتجة من الخرائط الطبوغرافية ذات مقياس 1:62500. إن ظهور بيانات أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) أحدث ثورة في مجال استنتاج شبكات المسيلات المائية بشكل آلي كما بين كل من Soille و Gratin (1994) و Chorowicz و Fabre (1997) و Yin و Xinhao (1998)، وقد حدد الموقع الرسمي لوكالة الفضاء الأمريكية (NASA) دقة أنموذج الارتفاع الرقمي العالمي SRTM بين 6 ± 10 م على المستوى العالمي، ودقة أنموذج الارتفاع الرقمي العالمي ASTER بين 7 ± 14 م (داوود، 2012)، وفي دراسة أجريت على مدينة مكة (داوود، 2012) تبين أن دقة أنموذج SRTM3 بلغت $5.85 \pm$ ودقة أنموذج ASTER $8.66 \pm$. بين الصالح (1999) أن صوراً مطبوعة ومحسنة من الماسح الغرضي (Thematic Mapper) قد أظهرت عدداً من المسيلات التي لم تكن موجودة على الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:50000، كذلك وجد أن بيانات التوابع الصناعية كانت أكثر دقة في استنتاج شبكة المسيلات على الصخور البركانية مقارنة بالصخور الرسوبية السائدة في منطقة الدراسة، ويظهر من دراسة الفيضان (2008) أن درجة الوضوح المكاني للتابع Ikonos مناسبة لرسم شبكة التصريف المائي للأحواض النهرية وذلك من حيث مقدرته على إظهار مسيلات الجزء الأدنى من الشبكة المائية للحوض النهرية، وأظهرت نتائج أبحاث Ozah (2008) أنه يمكن استخدام بيانات أنموذج الارتفاع الرقمي DEM 90m بدلاً عن استخدام الخرائط الطبوغرافية ذات المقياس 1:50000، وتبين من دراسة Sharma (2011) أن أنموذج الارتفاع الرقمي DEM 90m يحوي على قدر كبير من المعلومات، وأنه كاف للنمذجة الهيدرولوجية، وذكر Keeratikasikorn (2008) أن دقة أنموذج الارتفاع الرقمي DEM 90 مناسبة للمقاييس الصغيرة والمتوسطة.

يعتري التقادم الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:50000 لحوض نهر قويق، فقد تمّ إتمام المسح الأرضي فيها منذ أربعة أو خمسة عقود، فعلى سبيل المثال: إن رقعة إعزاز صدرت عام 1945 وطُبعت دون إجراء أيّ تعديل عليها عام 1986، وكذلك طبعت رقعة الراعي وأورم الصغرى وغربي الباب ونبغة عام 1942، والسفيرة عام 1943، وإدلب وجبل سمعان عام 1944، بالإضافة إلى القدم فإن هذه الخرائط يشوبها الكثير من الأخطاء، ففي رقعة حارم لم ترسم شبكة المسيلات المائية، وفي رقعة أخرى رسم جزء منها فقط على الرغم من وضوح الأودية فيها (اعتماداً على شكل خطوط التسوية)، إضافة إلى عدم التطابق بين خطوط التسوية وخطوط شبكة المسيلات المائية بين نهاية رقعة وبداية رقعة أخرى، يضاف إلى ذلك عدم وضوح مجرى نهر قويق وروافده في منطقة الحوض الأدنى بين قرية الحاضر وحتى المصب في السيحة، مما يتسبب بعدم وضوح الحدود الدنيا للحوض لأن المنطقة سهلية وحضرية وقد أثرت في عدم وضوح خط تقسيم المياه. أما في جزء الحوض الواقع في الأراضي التركية فلم تتوفر الخرائط بمقياس 1:50000، إذ تمّت الاستعانة بخرائط طبوغرافية قديمة بمقاييس 1:100000، وخرائط جيولوجية بمقياس 1:200000 التي تغطي أجزاء من جنوبي تركيا المجاورة لشمالي الحوض، وقد كان هنالك ضعف في دقة الشبكة النهرية المرسومة في الأراضي التركية. لذلك كان لا بد من إجراء تكامل بين الطريقة اليدوية والطريقة الآلية المتمثلة بنظام المعلومات الجغرافية للوصول إلى حسابات دقيقة للخصائص المورفومترية للحوض.

هدف البحث

- دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي قويق بالطريقتين اليدوية والآلية والمقارنة بينهما.
- إظهار ضرورة التكامل بين الطريقتين اليدوية والآلية عند تحديد الأجزاء الدنيا للأحواض النهرية.

مواد البحث وطرقه

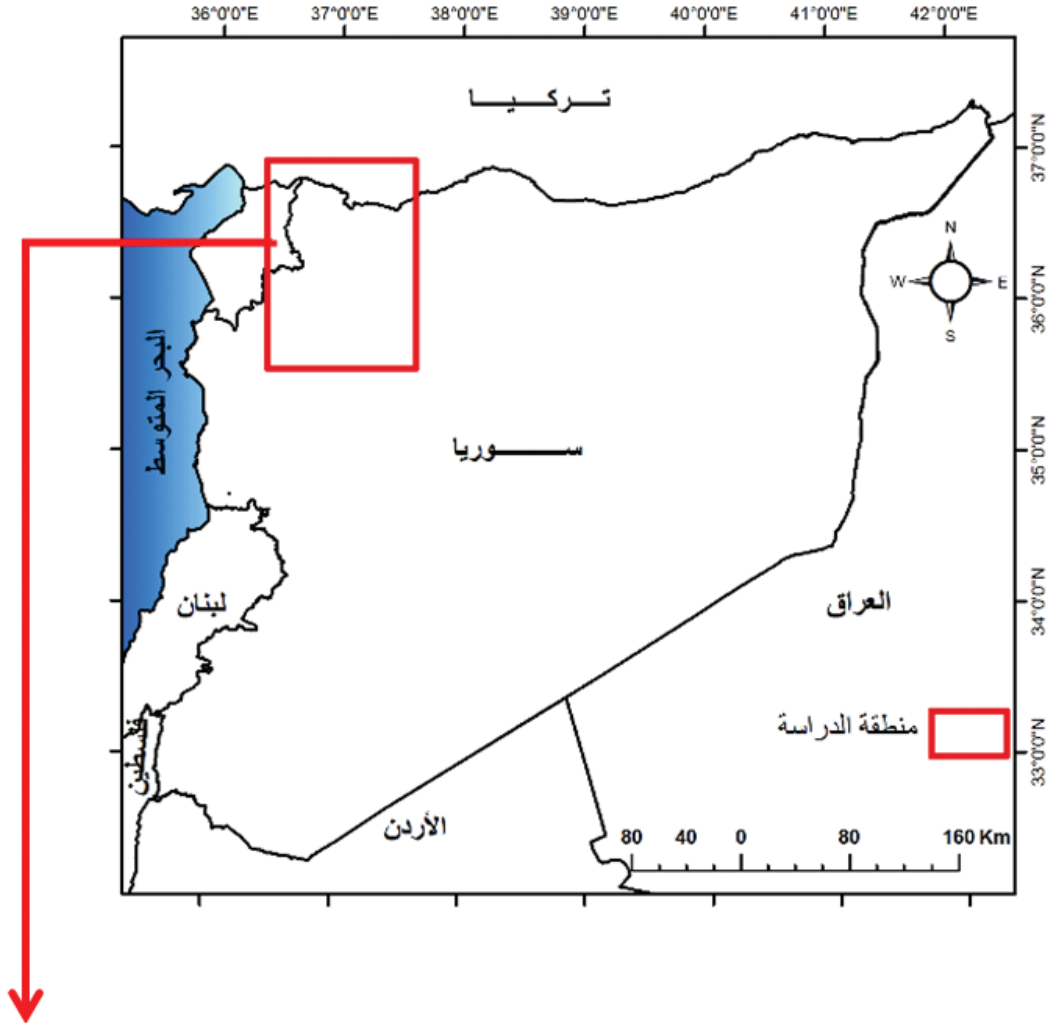
منطقة الدراسة:

يعدّ حوض قويق الحوض الرئيس في هضبة حلب (الشكل 1)، إذ يمتد بين خطي طول ($37^\circ 37'$ و $36^\circ 21'$) شرقاً، وخطي عرض ($36^\circ 56'$ و $35^\circ 34'$) شمالاً على مساحة 5831 كم²، منها 4930 كم² ضمن سورية و901 كم² ضمن تركيا (اعتماداً على الطريقة الآلية لتحديد حدود الحوض)، متخذاً شكلاً متطاولاً من الشمال الشرقي في ولاية غازي عينتاب في تركيا باتجاه الجنوب الغربي إلى محافظتي حلب وإدلب في سورية (الشكل 2)، ويقسم إلى ثلاثة أقسام:

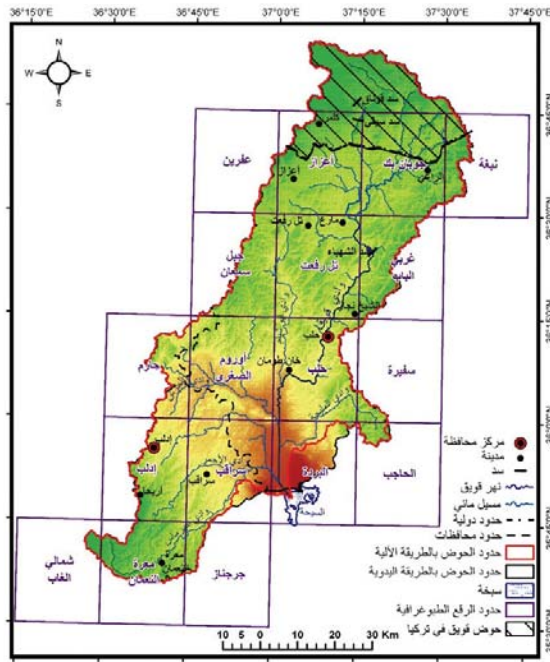
- 1 - الحوض الأعلى، ويقع كلياً في تركيا وينتهي عند دوبيق.
- 2 - الحوض الأوسط، ويمتد من دوبيق حتى سهل الحاضر.
- 3 - الحوض الأدنى، ويمتد من سهل الحاضر حتى المصب في السيحة.

يشغل الحوض من ناحية التقسيم الهيدرولوجي للأحواض المعتمد في سورية الجزء الغربي من حوض حلب، يحده من الشرق حوض نهر الذهب الذي يؤلف الجزء الشرقي من حوض حلب، ومن الغرب حوض العاصي، ومن الجنوب حوض البادية، وستتم تسميته في هذه الدراسة حوضاً بشكل مجازي لأنه وفقاً للتقسيم السابق هو عبارة عن حوض فرعي (SubBasin) ضمن حوض حلب.

يُعد نهر قويق أهم مصدر مائي في هضبة حلب، لكن تمّ قطع مياهه من قبل الأتراك عام 1920 (عبد السلام، 1990). ينبع النهر من الأراضي التركية شمال غربي مدينة كلس عند التقاء وادي باليق صوبو مع صئبة صوبو عند دويبق ليشكلا ما يعرف بوادي دبرة غير، الذي يلتقي بوادي طفشين في أدنى سهل مارع، ومن ثم يتلقى رافده الآخر وادي مرد عين مشكلاً نهر قويق (الوادي الكبير) على شكل قوس كبير يبدأ من منطقة تل مالد إلى منطقة فاين، ثم يتجه النهر نحو الجنوب، وقبيل منطقة فاين يرفده أودية أهمها: وادي الأكسار وأبي رجوم والقبليّة والأبيض وربص والدبس والسوس والبريج والحليصة والشيخ كيف من الشرق، ووادي حشوري والوحشية من الغرب، ثم يتجه النهر بعدها باتجاه الجنوب مخترباً مدينة حلب، ومتلقياً عدة روافد أهمها وادي السبيل والزيت والشمس والصوان ودروس والرمل والطواف وجروف العدليات من الشرق، ووادي السرير والسيفات والبستان واللواص والكبيرة والجب من الغرب وإلى الجنوب من مدينة حلب بنحو 13 كم، يتجه النهر غرباً حتى منطقة خان طومان، حيث يلتقي بعدها بوادي أبو شيلم (القافين أو جوح)، وهو روافد مهم يتشكل من التقاء وادي النبل ووادي ظهر العقبة (نبي الكاسا)، وينحدر من الشمال إلى الجنوب موازياً لمجرى وادي قويق، ويرفده من الجهة الغربية بنحو 18 كم إلى الجنوب الغربي من مدينة حلب، ويتلقى أبو شيلم روافد مهمة أهمها البحصة والخرنوب وطه والمنازل من الشرق، والهوتة والبيض والمربط ونيسان وفياض من الغرب، ويتجه من الشمال إلى الجنوب موازياً لمجرى وادي قويق ليرفده في النهاية من الجهة الغربية، وإلى الجنوب من منطقة الحاضر يبدأ المجرى الأدنى للنهر متفرعاً إلى فرعين شرقي رئيسي يصب في منخفض السيحة، وغربي يصب في منخفض المتخ، حيث يرفده وادي العبيد والمليحة من الشرق، ومن جهة الغرب وادي برنس وعطبرة والقواق الذي يتشكل من وادي المغر والهرماس، مع العلم أن خط الكونتور ذو القيمة 245 م يحيط بمنخفض السيحة الذي يشكل مصب وادي قويق.

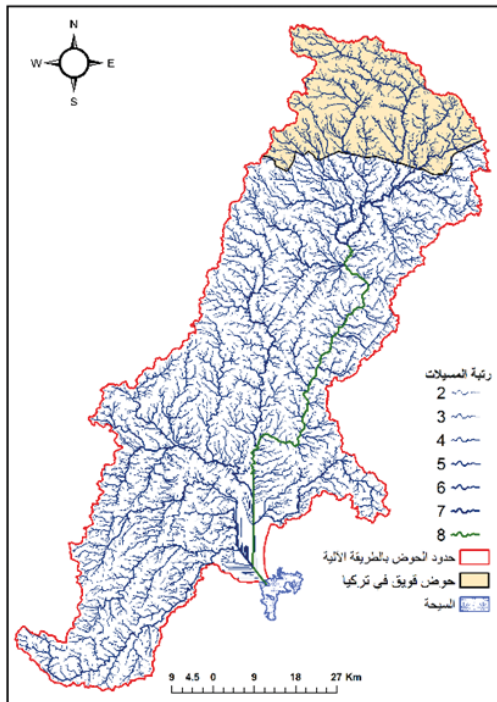


الشكل 1. موقع حوض قويق.

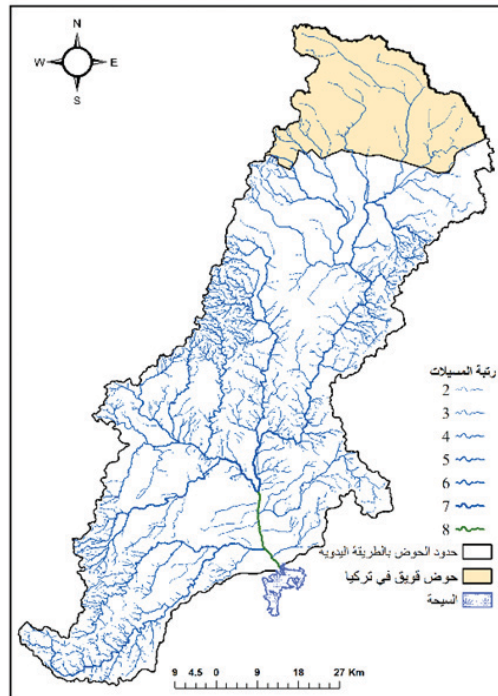


الشكل 2. حدود حوض فويق بالطريقتين اليدوية والآلية.

تم رسم شبكة التصريف بالطريقتين ترقيماً لـ 18 خريطة طبوغرافية مقياس 1:50000 للرقع التالية: نبغة والراعي وإعزاز وعفرين وغربي الباب وتل رفعت وجبل سماعيل وسفيرة وحلب وأورم الصفري وحارم والحاجب والبردة وسراقب وإدلب وجرجناز ومصرة النعمان. مع الاستعانة بمرئية فضائية (Landsat TM path:173 row:35) وبصور (Google Earth) لأعوام مختلفة (2011 إلى 2013) من أجل تدقيق مسيلات الدرجة الأولى. واستنتاجاً بالاستعانة بأنموذج الارتفاع الرقمي DEM لرسم وتدقيق مسيلات الجزء الأدنى من الحوض، كذلك الجزء الموجود ضمن الأراضي التركيّة بشكل آلي اعتماداً على برمجية ArcHydro، (الشكلان 3، 4).



الشكل 4. شبكة المسيلات المانية بالطريقة الآلية (عدا مسيلات الرتبة الأولى).



الشكل 3. شبكة المسيلات المانية بالطريقة اليدوية (عدا مسيلات الرتبة الأولى).

حدّدت الخصائص المورفومترية بكلتا الطريقتين (اليدوية والآلية)، وتمّ تحديد الفرق بينهما، وحدّدت الحدود الدنيا للحوض عند سهل الحاضر وحتى منخفض السيحة بالاستعانة بأنموذج الارتفاعات الرقمي DEM، اعتماداً على أخفض نقاط السطح الطبوغرافي في نهاية وادي قويق وذلك عند خط التسوية 245 م وعلى اتجاه المسيلات المائية، وكذلك على الخريطة الطبوغرافية (رقعة بردة). وتمّ إجراء تقاطعات لمساحة السيحة (بين مساحتها بالاعتماد على رقعة بردة والصور الفضائية للمنطقة) التي تبين أن حدودها قد رسمت بشكل واضح على خريطة البردة بالرغم من قدم عملية المسح الطبوغرافي، إذ بلغت مساحتها نحو 40 كم².

ترتبط الخصائص المورفومترية للأحواض بمحيطها ومساحتها، فمحيط الحوض المائي هو عملياً خط تقسم المياه (Water divide line) الذي يشكل الحدود الخارجية للحوض ويفصله عن الأحواض المجاورة، مع العلم أن هناك صعوبة في تحديد خط تقسيم المياه في المناطق المنخفضة أو المستوية لأنه يتخذ شكل نطاق عريض غير واضح المعالم (سلوم، 2012) كما في منطقة الحوض الأدنى لوادي قويق، وتمّ رسمه اعتماداً على الخرائط الطبوغرافية لمنطقة الدراسة، وبالاستعانة بأنموذج الارتفاع الرقمي، أما مساحة الحوض المائي (Basin Areas) فهي تملك أهمية كبيرة، إذ تتحكم بكمية الأمطار التي يستحوذ عليها الحوض، وكذلك كمية الرواسب وحجمها وكمية التبخر، هذا فضلاً عن أن بعض المعادلات الرياضية المورفومترية تعتمد في استخراجها على حساب المساحة.

الخصائص المورفومترية للحوض:

تمّ رسم شبكة التصريف بالطريقة اليدوية وذلك بإجراء رقمنة للخرائط الطبوغرافية (Digitizing) للمنطقة بمقياس 1:50000، وكذلك بالطريقة الآلية عن طريق الاستعانة بأنموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ولاسيما لتدقيق مسيلات الجزء الأدنى من الحوض وكذلك الجزء الموجود ضمن الأراضي التركية، وذلك اعتماداً على برمجة Arc Hydro. تمت دراسة الخصائص المورفومترية التالية:

● رتبة المسيلات (Stream Order): يرمز لها (U) ويقصد بها تصنيف المسيلات المائية في حوض التصريف إلى رتب وفقاً لتدرجها الهرمي داخل الحوض، وقد تم الاعتماد على طريقة Strahler (1957) المعدلة عن طريقة Horton (1945)، لسهولة ومرونتها ولاعتمادها ضمن نظام المعلومات الجغرافي. يستند مبدأ هذه الطريقة على أن الجداول الصغيرة الموجودة ضمن حوض التصريف والتي ليس لها تفرعات أخرى تصنف ضمن الرتبة الأولى، وعند التقاء فرعين من الرتبة الأولى تتكون الرتبة الثانية، ولا تتكون رتبة أعلى إلا عندما يلتقي مجريان من الرتبة نفسها، وهناك علاقة وثيقة بين درجة الرتب وانحدار أراضي الحوض، إذ تجري الرتب العالية في مناطق قليلة الانحدار، بينما تجري الرتب المتوسطة في المناطق التي يكون انحدارها متوسطاً إلى شديداً، أما الرتب الدنيا فهي التي تتواجد في المنحدرات الصخرية ذات الانحدار الشديد. وتفيد معرفة رتب المسيلات في دراسة كمية التصريف المائي على مستوى الحوض، وفي تقدير قدرة الأحواض الحثية والإرسابية، ومن ثم الحد من تأثيرها في استخدامات الأراضي.

● عدد المسيلات حسب الرتب (Stream Numbers): ويرمز له (Nu)، وهي مجموع الروافد التي تتكون منها رتبة معينة (Horton، 1945)، ويفيد توسع Arc Hydro الملحق ببرنامج ArcGIS في حساب عدد الروافد في رتبة معينة، وأقصر رافد وأطول رافد لتلك الرتبة، ومجموع أطوال روافدها، والمتوسط الحسابي لأطوال الرتبة، والانحراف المعياري لمجموع أطوال روافد الرتبة، كما يتيح البرنامج جدولاً القيم المتعلقة بعدد الرتب، وعدد المسيلات لكل رتبة وأطوال المسيلات في جدول مستقل ومصنف، وذلك عن طريق عمل التوزيع التكراري (Frequency Distribution) لتلك القيم وتطبيق معامل تكرارية المجاري. تعمل المسيلات المائية بمختلف رتبها على زيادة المساحة الحوضية عن طريق الحث المائي، الذي تزداد فعاليته مع تزايد أعدادها، ولاسيما مجاري الرتب الدنيا الأولى والثانية، (Horton، 1945).

● نسبة الترافد (التشعب) للمسيلات المائية (Bifurcation Ratio): شاع استخدام مصطلح نسبة التشعب في الدراسات الجيومورفولوجية الذي اقترحه Horton (1945) لاستكمال العلاقة بين الرتب النهرية وأعداد مسيلاتها، ويرمز لها (R_b)، وتعرّف بأنها النسبة بين عدد المسيلات التابعة لرتبة معينة وعدد المسيلات التابعة لرتبة أعلى منها مباشرة، واقترح سلوم (2012) تعديل مصطلح نسبة التشعب إلى مصطلح نسبة الترافد (Tributary Ratio) أو نسبة التجمع (Accumulation Ratio) ليتوافق مع آلية استخراج النسب ومفهومها الجيومورفولوجي، لأنه يرى أن مصطلح نسبة التشعب صحيح في حال كانت جهة الناظر نحو المنطقة العليا، لكنه مخالف تماماً لصياغة المعادلة الخاصة باستخراجه، والتي تعني أن عدداً من المجاري المائية اجتمع وترافد في مجرى جديد، وأيضاً إن مصطلح نسبة التشعب ينسجم مع مفهوم الدلتا.

ونسبة الترافد هي انعكاس للظروف الطبيعية لمنطقة الدراسة، كما أنها من المعاملات الرياضية المهمة لأنها أحد العوامل التي تتحكم في معدل التصريف، وكلما ازدادت قيمة نسبة التشعب كلما ازداد معها خطر السيول عقب سقوط الأمطار بكثافة في منطقة أجزاء الحوض العليا (الشامي، 1995). وتحسب نسبة التشعب للحوض بالمعادلة التالية:

$$R_b = \frac{N_u}{N_u + 1}$$

- حيث: R_b : نسبة الترافد (التشعب)، N_u : عدد مسيلات مرتبة ما، $N_u + 1$: عدد مسيلات الرتبة التي تليها.
- مجموع أطوال المسيلات حسب الرتبة (Stream Order Length): يرمز له $(\sum Lu)$ ، وهي مجموع أطوال الروافد التي تغذي كل رتبة على حدة، إذ تكون مجاري الرتبة الأولى هي الأقصر والأكثر عدداً، وبزيادة درجة الرتبة يزداد طول المسيلات ويقل عددها.
 - يمكن من خلال نظم المعلومات الجغرافية عمل توزيع تكراري لعدد الرتب وعدد المسيلات وأطوالها في كل رتبة، ضمن جدول مستقل، وذلك من أجل تسهيل عملية استدعاء تلك المتغيرات ومن ثم بناء بقيّة المعادلات المورفومترية.
 - متوسط أطوال المسيلات حسب الرتبة (Mean Stream Order Length): ويرمز له (Lu^*) ويحسب وفقاً للمعادلة التالية (Horton، 1945):

$$L_u = \frac{\sum_{i=1}^N (L_u)}{N_u}$$

- حيث: \hat{L}_u : متوسط أطوال المسيلات (كم)، L_u : متوسط أطوال المسيلات حسب الرتبة (كم)، N_u : عدد المسيلات لرتبة معينة.
- نسبة أطوال المسيلات (Stream Length Ratio): وتحسب من المعادلة التالية (Horton، 1945):

$$L_R = \frac{\hat{L}_u}{L_u - 1}$$

- حيث: L_R : نسبة أطوال المسيلات، \hat{L}_u : متوسط أطوال المسيلات في رتبة معينة، $L_u - 1$: متوسط أطوال المسيلات للرتبة التي قبلها.
- تكرارية المسيلات (Stream Frequency): ويتم حسابها من المعادلة التالية (Horton، 1945):

$$F_S = \frac{\sum N_u}{A}$$

- حيث: F_S : تكرارية المسيلات (مسيل/كم²)، $\sum N_u$: مجموع عدد المسيلات للحوض المائي، A : مساحة الحوض (كم²).
- كثافة شبكة التصريف (Drainage Density): تأخذ الرمز Dd وتحسب من المعادلة التالية (Horton، 1945):

$$Dd = \frac{\sum L_u}{A}$$

- حيث: Dd : كثافة شبكة التصريف (كم/كم²)، $\sum L_u$: مجموع أطوال المسيلات للحوض المائي (كم)، A : مساحة الحوض (كم²).
- معامل التعرج النهري (Sinuosity index): ويرمز له (S) وفقاً لـ Schumm (1956) ويتم حسابه بالمعادلة التالية:

$$S = \frac{L_s}{L_v}$$

- حيث: S : معامل التعرج النهري، L_s : طول القناة الرئيسية (كم) وتساوي (188 كم)، L_v : طول الخط المستقيم الواصل بين نقطة المنبع والمصب (كم) ويساوي (120 كم).
- ثابت بقاء المسيل المائي (Constant of Channel Maintenance): ويرمز له (C) ويتم حسابه وفقاً للمعادلة التالية (Schumm، 1956):

$$C = \frac{1}{Dd} = \frac{A}{\sum_{i=1}^K \sum_{i-1}^N L_u}$$

- حيث: C : ثابت بقاء المسيل المائي، Dd : كثافة شبكة التصريف، A : مساحة الحوض (كم²)، $\sum_{i=1}^K \sum_{i-1}^N L_u$: مجموع أطوال عدد المسيلات لجميع الرتب (كم).

النتائج والمناقشة

تظهر نتائج تحديد حدود الحوض بالطريقتين الآلية واليدوية عدم التطابق في المساحة واختلاف شكل الحوض قرب منطقة المصب، فعند استخدام الطريقة اليدوية رسمت حدود الحوض اعتماداً على مفهوم خط تقسيم المياه بناءً على الخرائط الطبوغرافية، وتم رسم حدود أجزاء الحوض الأعلى والأوسط بسهولة نتيجة لوضوح القمم التي مر منها خط تقسيم المياه، وتجلّى ذلك في منطقة الحدود الغربية للحوض مع حوض نهر عفرين، في حين كانت الصعوبة في تحديد أجزاء الحوض الدنيا بالقرب من منخفضي المتخ والسيحة لأن المنطقة سهلية وخضعت لتأثير النشاط البشري بشكل كبير، ما أسهم في عدم وضوح التباينات في الارتفاعات، وعدم وضوح المجاري المائية لأنها لم ترسم بشكل دقيق وكامل. أما الطريقة الآلية فكانت أكثر سهولة وسرعة لأن حدود الحوض في أجزاءه العليا والوسطى كانت واضحة تماماً، بينما ظهرت مشكلة دقة رسم الحدود في تحديد أجزاءه الدنيا، لأن استخدام (DEM) غير كاف فيبرز الاعتماد على الخريطة الطبوغرافية، ولكن في هذه الطريقة لم تكن المشكلة في تحديد المسيلات الموجودة قرب مصب قويق، وإنما في تحديد نهايات الجزء الأدنى للحوض وكذلك حدود منخفض السيحة.

أعطت الطريقة اليدوية نتائج أفضل في رسم حدود منخفض السيحة، بينما كانت دقة الطريقة الآلية أكبر في وضوح شبكة المجاري المائية. كما أظهرت خريطتنا شبكة المجاري المائية بالطريقتين السابقتين أن الشبكة في الطريقة الآلية كانت أكثر كثافة من الطريقة اليدوية، إذ تظهر كثافة للشبكة المائية غربي الحوض وجنوبه بينما تقل في أجزاءه العليا، وبالتالي فإن الطريقة الآلية في رسم حدود الأحواض باستخدام DEM كانت أكثر دقة من الطريقة اليدوية، إذا كانت المنطقة ذات تباينات واضحة في الارتفاع وكانت التضاريس واضحة، وفي حال عدم وضوح التباين في التضاريس فتكون الحاجة ملحة إلى اللجوء إلى الخرائط الطبوغرافية أو الصور الفضائية، أو الدراسات والمسوحات الحقلية.

إن تضرس المنطقة، ولا سيما في الأجزاء العليا جعل من السهل رسم محيط الحوض، فقد كانت الحدود الشرقية والغربية والشمالية من الحوض واضحة تماماً، وأظهرت الحدود المرسومة بالاستعانة بأنموذج الارتفاع الرقمي مع تلك المرسومة بالطريقة اليدوية في تلك الجهات تطابقاً كبيراً، وتم رسم محيط الحوض الأدنى اعتماداً على الخرائط الطبوغرافية. إذ بلغ محيط الحوض 614 كم بالطريقة اليدوية و 889 كم بالطريقة الآلية اعتماداً على أنموذج الارتفاعات الرقمي DEM وباستخدام Arc GIS توسعة Arc Hydro، ويمكن إجراء عملية التنعيم (Smoothing) لشكل الحدود بالطرائق الآلية بحيث أصبح طول المحيط 931 كم بطريقة (BEZIER-INTERPOLATION) التي لا تتطلب قيمة (Smoothing Tolerance)، بينما أخذ طول المحيط عند إجراء عملية التنعيم وبطريقة (PAEK) القيم 728 كم، 741 كم، 687 كم بعد إعطاء (Smoothing Tolerance) القيم 20 م، 50 م، 100 م على التوالي.

تم حساب المساحة اعتماداً على شريحة مساحة الحوض التي تم تحريرها بناءً على الخرائط الطبوغرافية للمنطقة بمقياس 1:50000، والتي بلغت بالطريقة اليدوية 5998 كم² منها 5113 كم² ضمن الأراضي السورية و 885 كم² ضمن الأراضي التركية، واعتماداً على أنموذج الارتفاع الرقمي DEM وبلغت المساحة بالطريقة الآلية 5831 كم² منها 4930 كم² ضمن الأراضي السورية و 901 كم² ضمن الأراضي التركية. حُسبت رتبة المسيلات المائية بالطريقتين وكانت من الدرجة الثامنة، في حين بلغت قيمة ثابت المجرى المائي 0.8 بالطريقة اليدوية و 0.3 بالطريقة الآلية، فيما توزع عدد المسيلات في كل رتبة بالطريقة اليدوية والآلية وفق الجدول 1.

الجدول 1. عدد المسيلات في كل رتبة بالطريقة اليدوية والآلية.

عدد المسيلات Nu		الرتبة
بالطريقة اليدوية	بالطريقة الآلية	
6965	19713	1
1644	4766	2
374	1166	3
86	198	4
24	63	5
5	13	6
2	2	7
1	1	8
9101	25922	المجموع

تشير النتائج إلى تطابق عدد المسيلات في كلا الطريقتين بالنسبة للرتبة الثامنة والسابعة، بينما ازداد عدد المسيلات بالطريقة الآلية عن اليدوية بحسب الرتب وفق النسب المئوية التالية: (1: 35.3 %)، (2: 34.49 %)، (3: 32.07 %)، (4: 43.43 %)، (5: 38.09 %)، (6: 46.15 %). كما ظهرت علاقة عكسية بين رتبة المسيلات وأعدادها، فتناقص عدد المسيلات مع ازدياد قيمة رتبة المسيلات بشكل متوالية هندسية معكوسة، وهذا يتفق مع Horton (1945) عند حساب قيمة معامل الارتباط (Pearson) بين عدد المسيلات لكل رتبة ودرجة الرتبة إذ كانت القيمة (-0.7) بالطريقتين اليدوية والآلية، وتشير القيمة إلى ارتباط سلبي طردي وقوي. تراوحت قيم نسبة التشعب للمسيلات المائتة في حوض قويق بين 3 إلى 5 (الجدول 2)، وحسب Horton (1945) وStrahler (1957) فإن هذه النسب تدل على أن الحوض متجانس إلى حد ما من الناحيتين المناخية والتضريبية، وإن أي تغير في هذه النسبة عن الحد المذكور هو دليل على عدم تماثل الحوض مناخياً وتضريبياً.

الجدول 2. نسبة التشعب المحسوبة بالطريقة اليدوية والآلية.

الرتبة	الطريقة اليدوية		الطريقة الآلية	
	عدد المسيلات (Nu)	نسبة التشعب (R _p)	عدد المسيلات (Nu)	نسبة التشعب (R _p)
1	6965	4.2	19713	4.1
2	1644	4.4	4766	4.1
3	374	4.3	1166	5.9
4	86	3.6	198	3.1
5	24	4.8	63	4.8
6	5	2.5	13	6.5
7	2	2	2	2
8	1	1	1	1
المجموع	9101		25922	

يوضح الجدول نفسه أن نسبة التشعب بلغت 3.6 بالطريقة اليدوية و 4.4 بالطريقة الآلية. ظهرت أطوال المسيلات ومجموع أطوالها بحسب الرتب وفق الطريقة اليدوية والآلية كما في الجدول 3.

الجدول 3. أطوال المسيلات ومجموعها بحسب الرتب وفق الطريقة اليدوية والآلية.

الرتبة	الطول (Lu)	
	الطرائق اليدوية	الطرائق الآلية
1	3235	9242
2	1692	3955
3	915	1836
4	560	938
5	321	542
6	176	220
7	29	43
8	21	108
	∑Lu = 6949 Km	∑Lu = 16884 Km

إذ يلاحظ زيادة مجموع أطوال المسيلات للرتب كافة، إذ بلغت النسبة المئوية لمجموع أطوال المسيلات بالطريقة اليدوية إلى عدد المسيلات بالطريقة الآلية 41.15% .
كان متوسط أطوال المسيلات متطابقاً في الرتبة الأولى بالطريقتين، بينما ازداد متوسط الأطوال في الرتب الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة بالطريقة اليدوية عن الآلية، وازداد متوسط الأطوال في الرتب السابعة والثامنة بالطريقة الآلية عن اليدوية (الجدول 4).

الجدول 4. متوسط أطوال المسيلات في حوض نهر قويق.

الطريقة الآلية			الطريقة اليدوية			الرتبة
متوسط أطوال المسيلات	العدد	الطول	متوسط أطوال المسيلات	العدد	الطول	
0.5	19713	9242	0.5	6965	3235	1
0.8	4766	3955	1	1644	1692	2
1.6	1166	1836	2.4	374	915	3
4.7	198	938	6.5	86	560	4
8.6	63	542	13.4	24	321	5
16.9	13	220	35.2	5	176	6
21.5	2	43	14.5	2	29	7
108	1	108	21	1	21	8

وباستثناء الرتبة الثامنة المحسوبة آلياً فقد ظهر تناقص في مجموع أطوال المسيلات باضطراد مع زيادة الرتبة بالنسبة للعلاقة بين نسب أطوال المسيلات، فلم يكن هناك رابط بين النسب والطريقة التي تم الحساب بها (الجدول 5).

الجدول 5. نسب أطوال المسيلات المحسوبة بالطريقة اليدوية والآلية.

الطريقة الآلية			الطريقة اليدوية			الرتبة
L_R	العدد	الطول	L_R	العدد	الطول	
	19713	9242		6965	3235	1
1.8	4766	3955	2.2	1644	1692	2
1.9	1166	1836	2.4	374	915	3
3	198	938	2.7	86	560	4
1.82	63	542	2.1	24	321	5
2	13	220	2.6	5	176	6
1.3	2	43	0.4	2	29	7
5	1	108	1.4	1	21	8

ولدى حساب قيمة معامل الارتباط (Pearson) بين طول المسيلات لكل رتبة وقيمة الرتبة نفسها كانت القيمة (-0.87) بالطريقة اليدوية و(-0.81) بالطريقة الآلية، وتشير القيمتان إلى ارتباط سلبي طردي وقوي.
ومن البديهي أن ترتبط أطوال المجاري مع مساحة الأحواض التابعة لها، كما كان هناك عوامل أخرى كدرجة الانحدار ونوعية التركيب الصخري، إذ تكون المجاري أطول وأقل عدداً عند مرورها على الصخور القاعدية.
بلغت تكرارية المسيلات 1.5 مسيل/كم² بالطريقة اليدوية و 4.4 بالطريقة الآلية، وبلغت كثافة شبكة التصريف 1.2 كم²/كم² بالطريقة اليدوية و 2.9 بالطريقة الآلية، والزيادة في القيمة ناتجة عن زيادة طول الشبكة بهذه الطريقة، والجدير بالذكر أن كثافة الشبكة المائية كانت أكثر تجانساً بالطريقة الآلية من اليدوية ويظهر ذلك من الشكلين 3 و 4، واعتماداً على التحليل المكاني (Spatial Analyst)، في حين كانت قيمة معامل

التعرّج متطابقة بالطريقتين إذ بلغت 1.6.

يسيطر في الحوض الصرف النّهري الشجري (Dendritic Drainage) نتيجة للتجانس الصخري وسيادة الطبيعة السهليّة لأراضي الحوض وقلة التصدّعات فيه، واعتماداً على شريحة Flow Direction فإن اتجاه الجريان السائد في حوض قويق هو باتجاه الجنوب.

الاستنتاجات والمقترحات:

- أظهرت الدراسة أنّ استخدام الطرائق الآليّة (نظم المعلومات الجغرافيّة وبيانات الاستشعار عن بعد DEM) في حساب الخصائص المورفومترية لحوض قويق كانت أسهل وأسرع من الطرائق اليدوية التي تعتمد على الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:50000، وبالتالي لا بد من الاعتماد على الطرائق الآلية في الدراسات الهيدرولوجية.
- ساعد استخدام DEM على استنباط الشبكة النهرية لحوض قويق، ولاسيما لمسيلات الرتب الدنيا والتي تكون ذات أهمية كبيرة عند دراسة الخصائص المورفومترية، وترجع هذه الطريقة في الدراسات الهيدرولوجية على الطرائق اليدوية نتيجة إعطائها تفاصيل أكثر مقارنة بما تعطيه الطرائق اليدوية من تفاصيل متواضعة، إذ يتم إهمال الكثير من هذه المسيلات بالطرائق اليدوية التي تعتمد على رسم الشبكة النهرية من الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:50000.
- إنّ استخلاص شبكة المسيلات المائية بالطريقة الآلية ليس بالأمر السهل في المناطق السهلية (الأجزاء الدنيا من الأحواض النهرية)، ولذلك من الضروري التكامل بين الطريقة اليدوية والطريقة الآلية في الدراسات الهيدرولوجية عند دراسة هذه المناطق.
- يؤدي استخدام الطريقة الآلية إلى تلافي الخطأ البشري لأنّ الحسابات تُجرى آلياً، إلا أنه يجب التوسّع في مجال دراسة الخصائص المورفومترية باستخدام الطرائق الآلية، ولاسيما من خلال المقارنة بين بيانات مستشعرات مختلفة، ومن ثم تحديد نوع المستشعر الذي يجب استخدام بياناته وفقاً لمقياس الرسم المطلوب في الدراسات الهيدرولوجية، ولاسيما في البيئات الجافة وشبه الجافة.

المراجع

- حاج حسن، محمد فائد. 1996. أسس الجيومورفولوجيا المناخية، منشورات جامعة دمشق.
- الدوغان، محمود. 1999، الأودية الداخلة في منطقة الجرم بالمدينة المنورة، الجمعية الجغرافية السعودية، العدد 38، الرياض.
- داوود، جمعة. 2012، أسس المساحة الجيوديزية والجي بي اس، النسخة الأولى الإلكترونية: 286-287.
- سلامة، حسن رمضان. 1980، التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفومترية للأحواض المائية في الأردن، دراسات العلوم الإنسانية، المجلد السابع، العدد الأول، الأردن، عمان.
- سلوم، غزوان. 2012. حوض وادي القنديل (دراسة مورفومترية)، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد الأول، دمشق: 373-438.
- الشامي، ابراهيم. 1995، التحكم في السيول والاستفادة من مياهها ودرء أخطارها، الجمعية الجغرافية المصرية، ندوة المياه في الوطن العربي، المجلد الأول، القاهرة.
- الصالح، محمد عبد الله. 1999، استخدام صور الماسح الموضوعي المحسنة والخرائط الطبوغرافية للتحليل المورفومتري لوادي عنان ووادي مزيرعة بوسط المملكة العربية السعودية، مجلة جامعة الملك سعود، المجلد الحادي عشر، الآداب (2)، الرياض: 287-304.
- الطويل، صباح. 2005، الحمولة الصلبة في حوض وادي الرمال وتأثيرها على الموارد المائية السطحية، كلية علوم الأرض، الجزائر، قسنطينة، رسالة ماجستير.
- عبد السلام، عادل. 1990. الأقاليم الجغرافية السورية، منشورات جامعة دمشق.
- الفيضان، حنان، 2008. دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي لبن، رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود، قسم الجغرافية، الرياض.
- مصطفى، أحمد. 1998، الخرائط الكونتورية، جامعة الاسكندرية، قسم الجغرافيا، دار المعرفة الجامعية.
- Chorowicz, J. and J. Fabre. 1997. Organization of drainage networks from space imagery in the tanezrouft plateau (Western Sahara): implications of recent intratonic deformation. *Geomorphology*, 21(2):139 - 151.
- Gregory, K. J and D. E Walling. 1973. *Drainage Form and Processes Geomorphology Approach*, Edward Arnold, London.
- Gardiner, V. 1981. Drainage basin morphometry. In "geomorphological techniques" A. Goudie (ed), 47- 55, George

Allen & Unwin, London.

- 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. P281.
- Keeratikasikorn, C and I. Trisirisatayawong. 2008. Reconstruction Of 30m Dem From 90m SRTM DEM With Bicubic Polynomial Interpolation Method, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B1. Beijing: 791- 794.
- McCoy, R. 1969. Drainage network analysis with K-band radar imagery. The Geographical Review, Vol. LIX(4):493- 512.
- Ozah, A. P. and O. Kufonyi. 2008. Accuracy Assessment of Contour Interpolation From 1:50000 Topographical Maps And SRTM Data For 1:25000 Topographical Mapping, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B7. Beijing: 1347 - 1354.
- Soille, P. and C. Gratin. 1994. An efficient algorithm for drainage network extraction on DEMs. Journal of Visual Communication and Image representation, 5(2):181 - 189.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in badland at Perth Amboy New Jersey, Bull. Amer. Geol. Soc., Paper No. 67:597 - 646.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional topography, Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 63: 1117 -1142.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Trans, 38:913 - 920.
- Sharma, A. and Tiwari, K. N and P. B. S Bhadoria. 2011. Determining the optimum cell size of digital elevation model for hydrologic application, J. Earth Syst. Sci. 120, No. 4: 573 - 582.
- Xinhao, W. and Z. Yin. 1998. A Comparison of Drainage Networks Derived From Digital Elevation Models at Two Scales. Journal of Hydrology, 210:221 - 241.

N° Ref: 614