

تقييم الخصائص الجيولوجية والهيدرومورفومترية وتأثيرها على السلوك

الهيدرولوجي لحوض نهر راويل في اقليم الساحل السوري

د. سعيد إبراهيم*

د. يوسف العلي**

(تاريخ الإبداع ٢٠٢٥/ ٢/١٩ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٥/ ٥/١٥)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى تحديد الخصائص الجيولوجية والهيدرومورفومترية لحوض نهر راويل، وتحليل مدلولاتها الهيدرولوجية لمعرفة تأثيرها على السلوك الهيدرولوجي للحوض، وذلك بالاعتماد على الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والجلوات الميدانية، وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS.

أظهرت الدراسة أن البنية الجيولوجية للحوض تتميز بسيطرة صخور البازلت البليوسيني التي تشكل ٨٠ % من مساحته، والتي تتميز ببنيتها الفراغية وبتحطمها بشبكة من الفوالق والشقوق الكثيفة، مما تسبب في زيادة نفاذية الحوض والحد من سرعة الجريانات السطحية، رغم التضرس والانحدارات الكبيرة في أعالي الحوض.

أظهرت دراسة الخصائص الشكلية للحوض امتداده طويلاً، مما يزيد زمن التركيز ويخفض سرعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، تدل قيمة زمن التركيز على أن استجابته متوسطة عند نقطة التركيز في سهل البقعة، لكن قيمته عند سدة راويل التحويلية في منتصف الحوض بلغت ٢,٣٥ ساعة، وهي قيمة منخفضة تظهر سرعة استجابة الحوض في تلك النقطة مما يشكل خطورة على السدة التحويلية لسرعة وصول موجة الفيضان إليها عقب الهطولات الغزيرة. بينت دراسة شبكة التصريف النهري للحوض أنها ذات كثافة تصريف معتدلة، وهي من النمط الشجري، ويحمل مجراها الرئيس المرتبة السادسة.

أظهر تحليل مجمل الخصائص الهيدرومورفومترية للحوض انخفاض مخاطر حدوث الفيضانات فيه، ويعزى ذلك إلى سيادة الصخور البازلتية الفراغية والمشققة ذات النفاذية الجيدة في معظم مناطق الحوض، لكن ينبغي حماية السدة التحويلية وسط الحوض من الجريانات التي تعقب الهطولات الغزيرة.

يمكن الاستفادة من نتائج هذا البحث لفهم السلوك الهيدرولوجي لحوض نهر راويل ولحوض نهر الكبير الجنوبي والإسهام في إدارة مواردها المائية، واستثمارها بالشكل الأمثل.

الكلمات المفتاحية: حوض نهر راويل - الخصائص الجيولوجية - دراسة هيدرومورفومترية - شبكة التصريف المائي .

GIS -

1- أستاذ في قسم الجغرافيا (اختصاص جيولوجيا)، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة طرطوس، سوريا.
2- أستاذ مساعد في قسم الجغرافيا (اختصاص هيدرولوجيا)، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة طرطوس، سوريا.

Evaluation of geological and hydromorphometric characteristics and their impact on the hydrological behavior of the Rawil River Basin - Syrian Coastal Region

Dr. Said Ibrahim*
Dr. Youssef Alali**

(Received 19/2 /2025. 15 /5/2025)

□ABSTRACT□

This research aims to identify the geological and hydromorphometric characteristics of the Rawil River Basin and analyze their hydrological implications to determine their impact on the hydrological behavior of the basin. To achieve this, geological and topographic maps, field trips, and Geographic Information Systems (GIS) techniques were used.

The study showed that the geological structure of the basin is dominated by basalt by 80% which are exposed Pliocene basalt rocks. It is characterized by its shattering by a network of dense faults and cracks, which caused an increase in the permeability of the basin and limited the speed of surface flows despite the ruggedness and large slopes in the upper parts of the basin.

The study of the morphological characteristics of the basin showed that it is longitudinally extended, which reduces the speed of the hydrological response of the basin. The value of the concentration time indicates that its response is average at the concentration point in the Al-Baqia Plain, but its value at the Rawil diversion dam in the middle of the basin reached 2.35 hours, which is a low value that shows the speed of the basin's response at that point, which poses a risk to the diversion dam due to the speed of the flood wave reaching it after heavy rainfall. The basin has a moderate drainage density, and is of the dendritic type, its main course ranks sixth.,

The analysis of the overall hydromorphometric characteristics of the basin showed a low risk of flooding, which is attributed to the dominance of cracked basalt rocks with good permeability in most areas of the basin. However, the diversion dam in the middle of the basin should be protected from the flows that follow heavy rainfall.

The results of this research can be used to understand the hydrological behavior of Rawil River Basin and the basin of Elkaber Aljonobi and contribute to the management and optimal investment of their water resources.

Keywords: - Geological Characteristics - Hydromorphometric Study - Water Drainage Network – GIS.

*Professor (geologist) in the Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities; Tartous University, Syria.

**Assistant Professor (hydrologist) in the Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities; Tartous University, Syria.

1. مقدمة:

تؤدي البنية الجيولوجية والمظاهر الشكلية والخصائص المورفومترية للأحواض المائية دوراً محورياً في إبراز خصائصها الهيدرولوجية وبالتالي تحديد سلوكها الهيدرولوجي. فالأحواض المائية وأنظمة التصريف الخاصة بها ذات طبيعة ديناميكية، وتتأثر بعدة عوامل مهمة منها: التضاريس، وبنية الصخور المحلية وطبيعتها، والخصائص التكتونية [١]. إن تلك المظاهر والخصائص إما أن تسهم في زيادة سرعة جريان المياه في مجاري شبكة تصريف الحوض وبالتالي تسريع وصول مياه الفيضان إلى مخرج الحوض أو إلى أي موقع على امتداد المجرى الرئيس له، وإما أنها تعيق حركة المياه الجارية وتدفعها للتسرب باتجاه المياه الجوفية. ورغم أن الفيضانات في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط ترتبط عموماً بالأحداث المناخية، إلا أن الخصائص الجيومورفولوجية لشبكة الصرف ومورفولوجيا حوض التصريف يمكن أن تزيد حدتها [٢]. حيث تتأثر العمليات الهيدرولوجية بنمط شبكات التصريف، وكذلك بالخصائص الجيومورفومترية للأحواض النهرية، والتي ينعكس تأثيرها بشكل خاص على العلاقة بين هطول الأمطار والجريان السطحي أو ما يعرف بالاستجابة الهيدرولوجية للحوض، وهي بدورها تتحكم بتشكيل الفيضانات والظواهر والعمليات الأخرى ذات الصلة بانجراف التربة وحفظ المياه والنباتات، وحماية التجمعات البشرية [٣].

لذلك، يعد تحديد الخصائص الهيدرومورفومترية لحوض التصريف وفهم مدلولاتها، وربطها مع الخصائص الطبيعية الأخرى للحوض أمراً حيوياً، وركيزة أساسية للتخطيط ولوضع استراتيجيات فعالة لإدارة موارد المياه والتربة وحفظ التوازن البيئي [4]. إن التحليل الهيدرومورفومتري للحوض المائي، وتحديد بارامتراته الهيدرومورفومترية يوفر معلومات حول المنحدرات والتضاريس وحالة التربة وخصائص الجريان السطحي في الحوض، كما أنه يتيح فهم العمليات الهيدرولوجية فيه بشكل أفضل [٥]. ويتم إجراء التقييم الهيدرومورفومتري للحوض ونظام جريان المياه الخاص به من خلال تحديد خصائص الحوض الشكلية والمساحية والتضاريسية. تتمثل إحدى مزايا هذا النمط من التحاليل الكمية في أن العديد من بارامترات الحوض الناتجة هي قيم نسبية بلا أبعاد، مما يسمح بإجراء مقارنة فعالة بين الأحواض بغض النظر عن المقياس المكاني [٣].

يصعب فحص جميع شبكات تصريف الأحواض المائية من خلال المسوحات الميدانية والدراسات الحقلية بسبب امتدادها عادةً عبر تضاريس وعرة وعلى مناطق شاسعة وخاصة في المناطق الجبلية. يمكن تحديد شبكات التصريف داخل الحوض أو الحوض الفرعي من خلال الخرائط الطبوغرافية [٦]، أو باستخدام طرق متقدمة مثل معالجة صور الأقمار الصناعية عالية الدقة ونماذج الارتفاع الرقمية (DEM)، خاصة في المناطق التي يصعب الوصول إليها وذات التضاريس الجبلية والمعقدة [7]. وفي الحالتين يمكن استخراج شبكات التصريف وامتداد الحوض وترسيم حدوده وحدود الأحواض الفرعية ضمنه.

تتناول هذه الدراسة حوض نهر راويل أحد الروافد الرئيسة لنهر الكبير الجنوبي، وتسعى لتحديد الخصائص الجيولوجية والهيدرومورفومترية للحوض وتحديد مدلولاتها الهيدرولوجية وتأثيرها على السلوك الهيدرولوجي للحوض. يتميز الحوض المدروس ببنية الجيولوجية والتكتونية المعقدة، والتي تميزه من الكثير من الأحواض المائية في إقليم الساحل السوري. حيث يرتبط تشكل وادي هذا النهر بالبنية الانهدامية السورية، وعمليات التعرية والتفريغ العميقة التي حدثت على امتداد الفوالق الإقليمية الرئيسة ذات الاتجاه شمال - جنوب،

حيث أدت هذه الفوالق إلى تشكل منطقة مخلعة وضعيفة سهلة الحت والإنجراف. ويمكن استخدام نتائج هذا التحليل في تقييم إمكانات الموارد المائية للحوض وأيضاً لمعرفة مخاطر الفيضانات فيه، كما يمكن أن تساعد نتائج الدراسة المعنيين من إداريين ومخططين في تخطيط وتنفيذ تدابير الحفاظ على الموارد الطبيعية في الحوض وخاصة المياه والتربة.

2. أهمية البحث وأهدافه:

يمثل فهم السلوك الهيدرولوجي للحوض المائي وتحديد العوامل المؤثرة فيه الركيزة الأساسية التي يتم الاستناد إليها في إدارة الحوض، واتخاذ الإجراءات اللازمة للتحكم بالجريان السطحي ودرء مخاطر الفيضانات فيه. تكتسب دراسة الخصائص الهيدرومورفومترية والجيولوجية للحوض أهمية كبيرة في هذا المجال، فهي تمكننا من بناء قاعدة بيانات ذات مدلولات هيدرولوجية تتيح فهم السلوك الهيدرولوجي للحوض. وتكمن أهمية هذا البحث أيضاً بكونه يتناول حوض نهر راويل الذي، الذي أقيم ضمنه سد المزينة، والذي يشكل مع سدين آخرين (سد تل حوش، وسد الأبرش) منظومة مائية متكاملة في جنوب السلسلة الساحلية، وذلك لأن هذه السدود ترتبط مع بعضها بواسطة قناة تغذية، وبالتالي فإن هذا النهر يشكل مورداً مائياً مهماً ولاسيما في مناطق غرب حمص، ولم تسبق دراسته بشكل وافٍ من الناحية الهيدرومورفومترية. ويسعى البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1. تحديد الخصائص الجيولوجية لحوض نهر راويل.
2. تحديد الخصائص الهيدرومورفومترية وتوصيف شبكة التصريف النهري للحوض.
3. تحليل المدلولات الهيدرولوجية للبارمترات الهيدرومورفومترية للحوض وتأثيرها على سلوكه الهيدرولوجي.

3. طرائق البحث ومواده:

تم في سياق البحث الاعتماد على المنهج الوصفي لتوصيف حوض الدراسة وخصائصه الجغرافية الطبيعية، وكذلك على منهج التحليل الكمي من خلال تطبيق المعادلات الرياضية والطرائق الاحصائية على البيانات المستقاة من الخرائط الطبوغرافية والمرئيات الفضائية المتاحة للحوض. كما تم استخدام نظام المعلومات الجغرافي (GIS 10.3) لإنشاء عدة شرائح برمجية بهدف رسم الشبكة المائية للحوض، وإجراء بعض القياسات عليها وتحديد الخصائص الهيدرومورفومترية للحوض. واستخدمت جملة من المعطيات والبيانات المتوفرة عن المنطقة وهي:

- (1) الخرائط الطبوغرافية لرقع تلكلخ وقلعة الحصن مقياس $\frac{1}{25.000}$ [8].
- (2) الخرائط الجيولوجية لرقع الخرائط الطبوغرافية السابقة، مقياس $\frac{1}{50.000}$ ، مع مذكراتها الإيضاحية [9].

(3) الصور الفضائية للمنطقة المدروسة المأخوذة من موقع (Google Earth Pro).

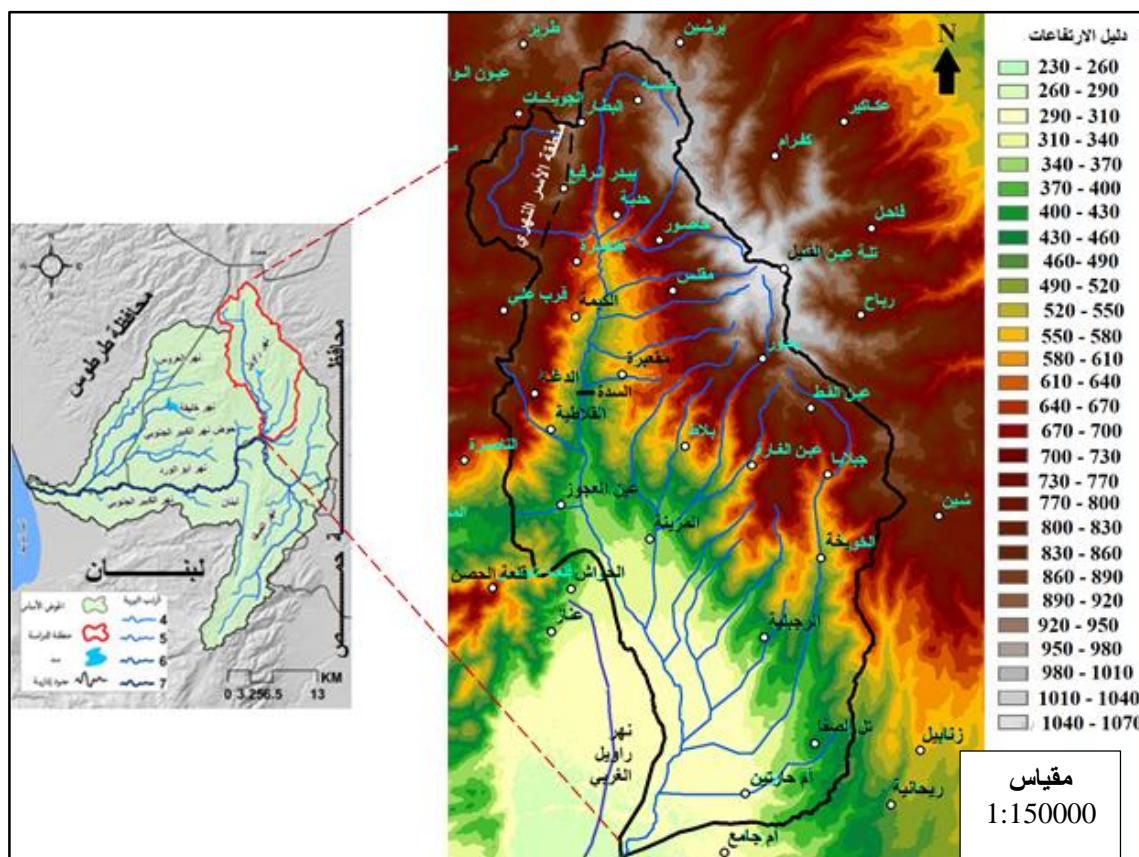
(4) نموذج الارتفاع الرقمي للحوض المدروس (D.E.M) دقة (12.5 م).

منطقة البحث:

يقع حوض نهر راويل في جنوب سلسلة الجبال الساحلية السورية وتبلغ مساحته 142.4 كم²، وهو يمتد من الشمال نحو الجنوب مسافة 22 كم تقريباً، باتجاه موازي لخط الطول بين قمة جبال السلسلة الساحلية

الغربية وهضبة شين (جبل الحلو) الواقعة في الطرف الشرقي المقابل. وتتراوح الارتفاعات في هذا الحوض بين 1058 م في أعلى نقطة (تلة عين القتيل) و ٢٦٥ م عند نقطة تركيز الحوض (نقطة تلاقيه مع نهر الصفا)، حيث يتشكل نتيجة هذا التلاقي مجرى نهر الكبير الجنوبي (شكل 1). تمتد منطقة الحوض اعتباراً من الموقع (31° 41' 34" N)، وتنتهي عند الموقع (27° 53' 34" N). كما تمتد بالنسبة إلى خطوط الطول من الموقع (00° 17' 36" E)، وحتى الموقع (56° 24' 36" E).

وتجدر الإشارة إلى وجود نهر صغير يسمى (نهر راويل الغربي) خارج حدود منطقة الدراسة يمتد في سهل البقعة جنوب غرب حوض راويل ويلتقي مجراه الرئيس (طوله ٧,٥ كم فقط) مع نهر الكبير الجنوبي جنوب غرب نقطة تركيز نهر راويل (الشكل ١). لذلك يطلق أحيانا على الحوض المدروس اسم نهر راويل الشرقي.



الشكل (1). موقع حوض نهر راويل بالنسبة لحوض نهر الكبير الجنوبي، والشبكة النهرية الرئيسة لحوض نهر راويل، وارتفاعات التضاريس المحيطة به، مع التجمعات السكانية، وكذلك منطقة حدوث الأسر النهري. تم الحصول على الشكل باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، بدقة 12.5 م.

يلاحظ في الطرف الشمالي الغربي للحوض وجود أحد الروافد يخترق خط الذرى للجبال الساحلية في الغرب عبر وادي ضيق وعميق (وادي الغبابيط)، وذلك إلى الجنوب من قرية بيدر الرفيع. حيث أدت عملية أسر نهري إلى إضافة منطقة تغذية هذا الروافد، وهي بمساحة 6.5 كم² تقريباً (وادي رمتة) وتقع على السفح الغربي للسلسلة الساحلية (إلى الغرب من خط الذرى)، إلى حوض نهر راويل الذي يقع إلى الشرق من خط الذرى لهذه الجبال (شكل 1)، وهذه حالة فريدة من نوعها في منطقة الجبال الساحلية [١٠]. كذلك الأمر يلاحظ ضيق المساحة الحوضية على الجانب الأيمن للمجرى الرئيس للنهر من الجهة الغربية للحوض وشدة انحدارها.

مناخياً يسود في منطقة الدراسة نموذج المناخ المتوسطي الذي يتميز بفصلين أساسين؛ صيف حار جاف، وشتاء معتدل ماطر ورطب، مع فصلين انتقالين الربيع والخريف. ولرصد مناخ منطقة الدراسة جرى اعتماد بيانات الدورة المناخية (١٩٩٠ - ٢٠٢٠) لعدة محطات داخل الحوض أو بالقرب من حدود الحوض، نظراً لامتداد الحوض والتباين التضريسي له وهي محطات (الناصر، قلعة الحصن، المزينة، الرجيلية، العريضة) والتي تظهر مواقعها في (الشكل 1)، وقد بلغ المعدل السنوي للهطل في محطة الناصرة ٧٨٤ ملم، وفي محطة قلعة الحصن 893 ملم، وفي محطة المزينة 861 ملم، وفي محطة الرجيلية ٦٤٥ مم وفي محطة العريضة أدنى الحوض 879 مم. كما يتميز مناخ منطقة الدراسة بتباين درجات الحرارة بين الصيف والشتاء والليل والنهار، وقد بلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة ١٨,٦٣°. إن أحر الأشهر هو آب بمتوسط سنوي للحرارة العظمى يبلغ (٢٦,٧°) والأبرد كانون الثاني بمتوسط سنوي للحرارة الدنيا يبلغ (9.9°). كما يتصف مناخ المنطقة بارتفاع معدلات الرطوبة النسبية عموماً، وقد سُجّلت أعلى قيمة للرطوبة النسبية في شهر تموز (70.3 %) باختلاف طفيف عن شهر آب (69.9 %)، أما متوسط سرعة الرياح فبلغ ذروته خلال فصل الشتاء، وتحديداً في شهر كانون الثاني (5 م/ثا)، في حين سُجّلت أدنى قيمة في شهر تشرين الأول (2 م/ثا)، مع الإشارة إلى أن المعدل السنوي لسرعة الرياح في منطقة الدراسة بلغ (3 م/ثا).

هيدرولوجياً يتشكل نهر راويل في السفوح الشرقية لسلسلة الجبال الساحلية، يجري النهر في العشرة كيلومترات الأولى داخل وادي ضيق وعميق يصل عمقه في بدايته إلى ٣٥٠ م، ويسير في مجرى شبه مستقيم ليتسع بعدها باتجاه سهل البقعة بعرض حوالي ٣ كم. يتلقى النهر معظم روافده من الجانب الأيسر أي من الجهة الشرقية للحوض بسبب ضيق المساحة الحوضية من الجهة الأخرى (الشكل 1)، حيث يرفده مجرى نبع الناصرية في الشمال الشرقي من السهل ونهر جحا، ويستمر بالجريان ضمن سهل البقعة باتجاه الجنوب ليلتقي مع نهر الصفا ليتشكل نتيجة ذلك المجرى الرئيس لنهر الكبير الجنوبي [1١].

أقيم في حوض نهر راويل سد المزينة الذي يقع على السفح الغربي لهضبة شين، وتم انجازه في العام 2003 م، ويبلغ حجمه التخزيني الأعظمي 19.2 مليون م^٣ [١٢]. يتغذى هذا السد من نهر عين الغارة ونهر بلاط التي تشكل روافد لنهر راويل. ونظراً لأن نهر راويل يجري في سهل البقعة في منطقة ارتفاعها 310 م، أي أخفض من مكان وجود السد من الناحية الطبوغرافية (ارتفاعه 380 م)، وبغية تغذية السد تمت إقامة سدة صغيرة (جدار اسمنتي صغير يعترض مجرى النهر)، تسمى سدة راويل التحويلية، وهي تقع على ارتفاع 420 م (الشكل ١). حيث تعمل هذه السدة على دفع المياه القادمة عبر وادي نهر راويل من جهة الشمال وتحويلها عبر قناة جر تسمح بجريان الماء عبرها بغزارة 5 م^٣/ثا لتغذي سد المزينة. يغذي سد المزينة بدوره السدين الآخرين الواقعين إلى الغرب منه بالمياه الفائضة عن طاقته التخزينية بواسطة قناة تغذية، مما يسمح بوجود منظومة مائية متكاملة بين هذه السدود الثلاثة (المزينة، تل حوش، والأبرش)، ويعد سد المزينة مصدراً مائياً مهماً في ريف حمص الغربي والمناطق المجاورة، فهو يروي مساحة تقدر بـ ٤ آلاف هكتار في سهل البقعة [١٢]. تبلغ مساحة حوض نهر راويل حتى سدة راويل التي تحول المياه إلى سد المزينة نحو ٥٠,٨ كم^٢، وطول المجرى حتى جسم السدة يبلغ نحو ١٢,٦ كم.

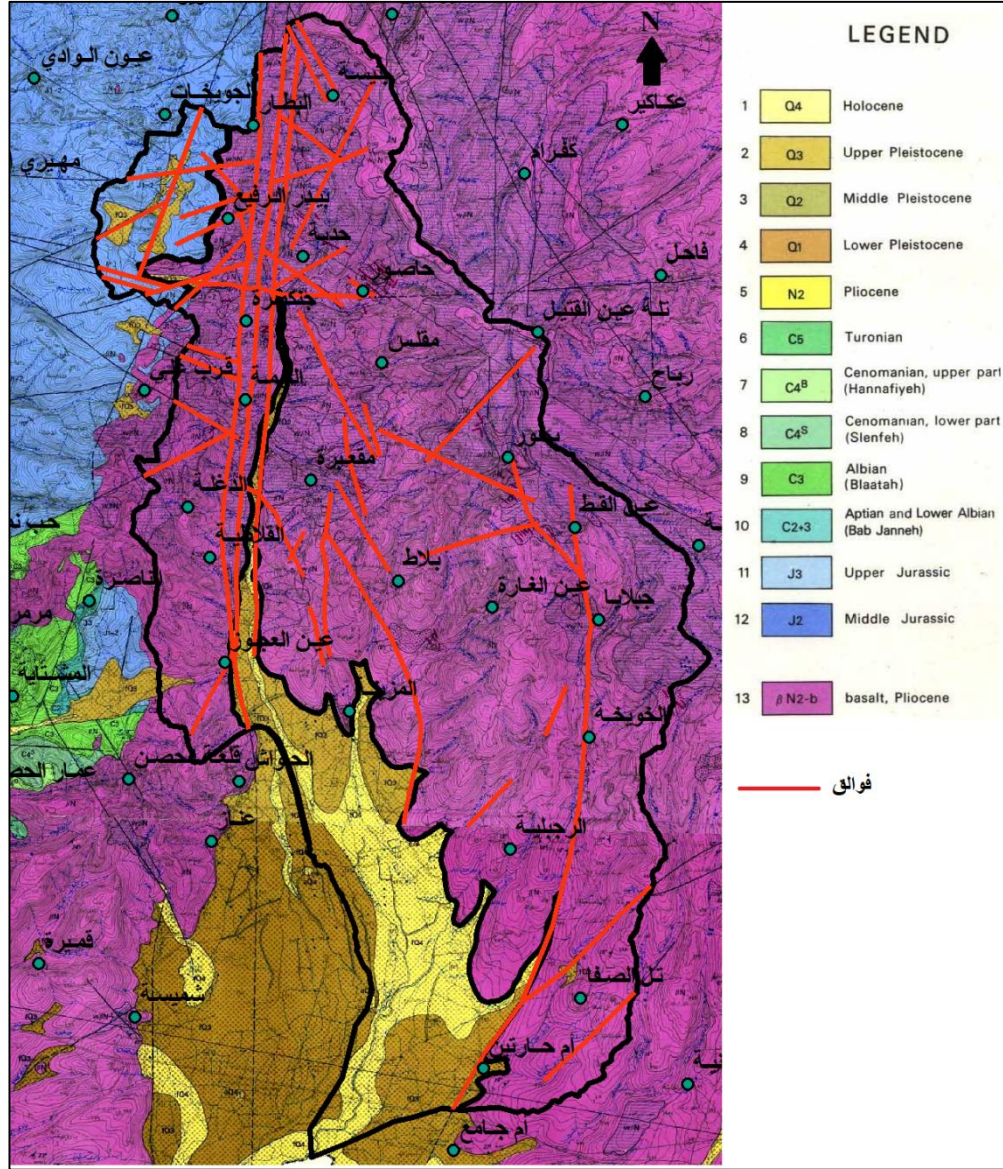
ونظراً لطبيعة الصخور البازلتية المشققة والفراغية المكونة لغالبية مساحة الحوض فإن منطقة الحوض غنية بالينابيع إذ جرى إحصاء 190 نبعاً، ويعد نبع الكيمة من أهم هذه الينابيع التي تشكل مصادراً مائية مهمة [٩].

يفيض نهر "راويل" نتيجة لغزارة الأمطار وذوبان الثلوج على السفوح الجبلية في أعالي الحوض، وقد ذكرت بعض الوثائق التاريخية وبالاستناد إلى رواية أهالي المنطقة أن طوفانات كثيرة حدثت في الماضي لنهر راويل، وكانت تجرف الأتربة والأشجار والمزروعات وأهمها الطوفان الكبير الذي وقع في عام ١٩٢٧ [١٣]. إلا أنه لم تسجل في السنوات الأخيرة أية فيضانات ملحوظة في الحوض، ويمكن أن يعزى ذلك لتغيرات في أنماط وتوزيع الهطولات، لكن تجدر الإشارة إلى أن القياسات والبيانات المتاحة للهطولات والعناصر المناخية الأخرى في الحوض تقتصر على العقود الثلاثة الأخيرة ولا تسمح بتأكيد أو نفي فرضية تراجع كميات الهطل أو حدوث تغيرات مناخية في منطقة الدراسة.

4. النتائج والمناقشة:

1.4. البنية الجيولوجية لحوض نهر راويل:

ترتبط البنية الجيولوجية لحوض نهر راويل مع البنية الجيولوجية للمنطقة الانهدامية الموجودة في غرب سورية، حيث يوجد هذا الحوض في النهاية الجنوبية لهذه المنطقة الانهدامية. وقد ترافق تشكل وتطور فوالق هذه المنطقة الانهدامية العميقة مع عمليات بركنة واسعة حدثت خلال عصر النيوجين الأعلى (البليوسين)، حيث أدت عمليات البركنة الشديدة إلى تشكل سماكات كبيرة من البازلت البليوسيني (βN^2) الذي غطى مساحات واسعة من جنوب المنطقة الانهدامية السورية (الشكل ٢) [١٤].



الشكل (2). صورة مقتطعة من الخريطة الجيولوجية لرقة تملك وقلعة الحصن بمقياس $\frac{1}{50.000}$ توضح البنية الجيولوجية لحوض نهر

راويل والانتشار الواسع لصخور البازلت، وكذلك شبكة الفوالق، وقد تم إعدادها بالاعتماد على [٩]؛ [١٤].

أدت عمليات الحركة والإزاحة الجانبية المستمرة التي حدثت عبر الفوالق الرئيسية العميقة (ذات الاتجاه شمال - جنوب) بالإضافة إلى الفوالق الثانوية المتفرعة عنها في هذه المنطقة إلى تحطم صخور البازلت القاسية بشبكة من الفوالق (بلغ عدد الفوالق الكبيرة في حوض نهر راويل 45 فالقاً، بطول إجمالي حوالي 136 كم). وقد أسهم وجود هذه الفوالق بالإضافة إلى شبكة الشقوق الكثيفة المرافقة لها في المساعدة على حدوث التجوية الكيميائية (الحلمهة) التي تعرضت لها صخور البازلت، كل ذلك تسبب في تنشيط أعمال الحث والتفريغ، وخاصة على امتداد فوالق الانهدام الرئيسية المتجهة شمال - جنوب، الأمر الذي أدى في النهاية إلى تشكل وتعمق وادي نهر راويل الحالي، والذي يبدو بشكل وادي ضيق وعميق يفصل بين هضبة شين البازلتية في الشرق، وسفوح الجبال الساحلية في الغرب (البطار، وبيدر الرفيع). يقابله من الجهة اللبنانية (وادي شدرا) المشابه والمناظر له من جهة الجنوب.

يتميز حوض نهر راويل من الأحواض النهرية الأخرى الموجودة في إقليم الساحل السوري بسيطرة صخور البازلت البليوسيني المتكشفة على مساحة حوالي 114 كم^٢ (أي 80 % من مساحة الحوض). أما توضع المصاطب النهرية الرباعية فهي تغطي حوالي 22.5 كم^٢ (16 %) من هذه المساحة، وهي توجد في أسفل الحوض أي تغطي الأراضي المنخفضة في سهل البقعة بسماكة تصل إلى 70 متر. وتشير المقاطع الجيولوجية والآبار المحفورة في هذا السهل إلى وجود الصخور البازلتية تحت هذه المصاطب الرباعية، وبالتالي يصبح مجموع المناطق التي تشغلها الصخور البازلتية 96 % من مساحة هذا الحوض النهري. أما النسبة الباقية والتي هي 4 % تقريباً من المساحة فقط فتشغلها الصخور الرسوبية (حوالي 6 كم^٢).

تتألف الصخور البازلتية البليوسينية في حوض نهر راويل من الصبات البازلتية المتعاقبة، حيث تتألف كل صبة بشكل عام من بازلت طازج، وبازلت فراغي، يعلوها مستوى خبثي. أما القسم القريب من سطح الصبة فهو على شكل نطاق تجوية للخبث. يتميز نطاق التجوية بلونه الأحمر، ويمكن الاعتماد عليه في معرفة عدد التدفقات البازلتية، حيث يصل عددها في بعض الأماكن (قرية مقلس) إلى 35 صبة [٩].

تكون معظم تكشفات البازلت الطازج كتلية بسماكة تتراوح بين 2 - 12 م، حيث يوجد أحياناً بشكل صبات موشورية ذات مقطع سداسي أو خماسي، أو بشكل كتل كروية ومستديرة يتراوح قطرها بين 25 - 100 سم. تصل سماكة الأقسام الأخرى من الصبة، أي البازلت الفراغي والخبث، ومستوى التجوية إلى 4 م، وتبلغ بشكل وسطي 1م. كذلك يشاهد في المنطقة الجدر القاطعة (الدايكات) التي تنتشر بشكل رئيس ضمن التوضعات البيروكلاستية، حيث يأخذ معظم هذه الدايكات اتجاه شمال غرب - جنوب شرق (وهو ما يتوافق مع اتجاه الشقوق التي خرجت منها اللافا)، وتتراوح سماكتها بين 1.5 - 6 م. تعد صخور البازلت المشقق والفراغي من الصخور النفوذة والخازنة للمياه الجوفية، وهو ما أدى إلى وجود عدد كبير من الينابيع المائية في منطقة الحوض (تم إحصاء 190 نبعاً). كذلك يساهم وجود الصخور البازلتية المشققة والمفككة في حدوث الكثير من الانزلاقات الأرضية وذلك أثناء تشبعها بالمياه بعد فترات الأمطار الغزيرة (الأمر الذي يتميز به هذا الحوض)، حيث تساهم هذه الانزلاقات الأرضية الكثيرة بالإسراع في تعميق وتوسيع الوادي النهري وخاصة في قسمه الأعلى (بالقرب من جنكمرة، وبيدر الرفيع، والبطار، وحديّة)، حيث يطلق السكان المحليون تسمية (هدة) على هذه الانهيارات الأرضية.

أما تكشفات الصخور الرسوبية فهي محدودة الانتشار، وهي توجد فقط في القسم الشمالي الغربي من الحوض

وض بالقرب من قرية البطار، وإلى الغرب من بيدر الرفيع، (الشكل ٢). حيث أدت حادثة الأسر النهري إلى إضافة هذه المنطقة إلى حوض نهر راويل [١٠]. يعود عمر الصخور الرسوبية في هذه المنطقة إلى الحقب الجيولوجي الثاني، وهي تتألف من صخور العصر الجوراسي الأسفل الكلسية الدولوميتية المزرقّة اللون، القاسية والسميكة التطبيق [١٥]، كما تتميز بتعرضها الشديد لعمليات الكارست مما تسبب بتشكيل حفر ابتلاع كارستي كبيرة في منخفض رمتة. كذلك تشير الدراسات اللاحقة إلى كشف طبقات صخرية تعود بعمرها إلى الدور الترياسي وذلك في المناطق المحيطة بقرية البطار والمقالع الموجودة إلى الشمال منها، وهي تتألف من صخور دولوميتية، ودولوميتية كلسية متوسطة سماكة الطبقات أطلق عليها أسم تشكيلة الجويخات [16]. ويمكن من

خلال المشاهدة الحقلية (وخاصة في مقالع البطار) ملاحظة الفرق بين صخور هذه التشكيلة الرمادية القليلة التماسك، وبين صخور الجوراسي الأسفل المتكشفة إلى الغرب منها. كذلك أدت عمليات التعرية العميقة التي يقوم بها مجرى الغباييط بين قريتي بيدر الرفيع وجنكمرة إلى اختراق صخور البازلت وظهور صخور الترياسي في قاع المجرى النهري.

كذلك توجد الصخور الرسوبية بشكل مصاطب نهريّة رباعية تغطي سهل البقيعة الذي يشكل مستوى أساس محلي لمجرى نهر راويل. تتألف هذه المصاطب النهريّة التي تعود إلى (Q_3 ، و Q_4) من لحقيات نهريّة حطامية جرفتها السيول والمجاري المائية من الجبال المجاورة التي تحيط تقريباً بسهل البقيعة. تشكل توضعات هذه المصاطب النهريّة مناطق زراعية جيدة تغطي سهل البقيعة.

2.4. الخصائص الهيدرومورفومترية لحوض نهر راويل:

أولاً: الخصائص المساحية للحوض

• **مساحة الحوض:** تلعب مساحة الحوض دوراً مهماً في تحديد أبعاد المخطط المائي للحوض، ولأسيما امتداد تدفق الذروة، وأيضاً في تحديد التدفق الوسطي لحوض التصريف بعد تلقيه عاصفة مطرية [17]، فمساحة الحوض تؤثر في حجم تصريفه، حيث إن كمية الأمطار التي يستقبلها الحوض تزداد كلما كبرت مساحته، مما يؤدي إلى زيادة غزارة النهر والتي تؤثر بدورها على مقدرته ونشاطه الحثي وحمولة المجرى من نواتج الحث، وقد بلغت مساحة حوض راويل 142.4 كم².

• **طول الحوض:** وهو طول الخط المستقيم بين نقطة التركيز وأبعد نقطة على محيط الحوض، أي المسافة بين مصب النهر وأقصى نقطة عند محيط الحوض، والتي تمثل نهايته وتصله عن الحوض المجاور من جهة المنبع [18]، وقد بلغ طول حوض نهر راويل 22 كم.

• **عرض الحوض:** وهو طول الخط المستقيم العرضي الواصل بين أبعاد ارتفاعين متناظرين من خط تقسيم المياه المحدد للحوض، ويعد واحداً من العوامل الرئيسية التي تضبط حركة المياه في الحوض [19]. يُلاحظ تزايد عرض حوض راويل تدريجياً من أعلى الحوض حتى منتصفه ثم يعاود التناقص وصولاً لأخفض نقاط الحوض، وقد بلغ متوسط عرض الحوض 6.8 كم.

• **محيط الحوض:** يمثل طول الحد الخارجي للحوض أي طول المسقط الأفقي لخط تقسيم المياه الذي يفصله عن الأحواض الأخرى المجاورة [18]، وقد بلغ محيط حوض نهر راويل 66.66 كم.

يبين الجدول (1) الخصائص المساحية لحوض نهر راويل.

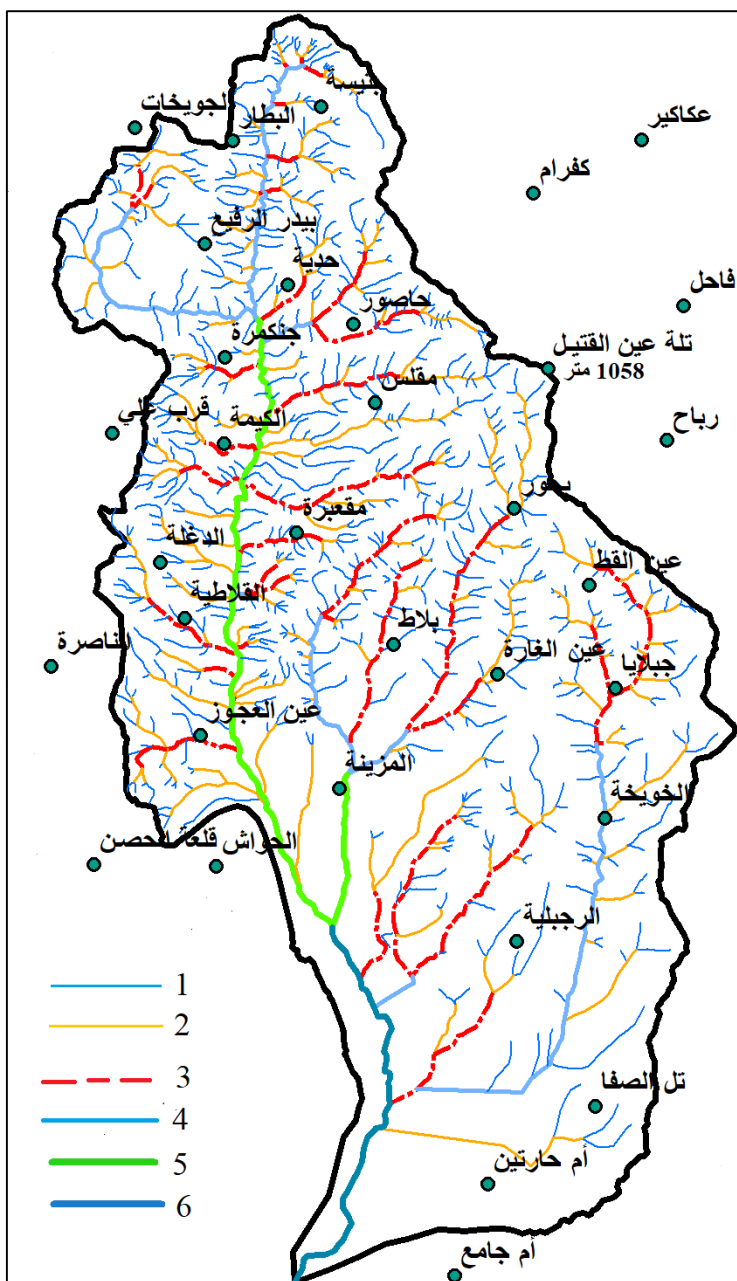
الجدول (1). الخصائص المساحية لحوض نهر راويل.

مساحة الحوض (كم ²)	متوسط عرض الحوض (كم)	محيط الحوض (كم)	طول الحوض (كم)	أعلى نقطة (م)	أدنى نقطة (م)
142.4	6.8	66.66	22	1058	265

ثانياً: خصائص الشبكة المائية للحوض:

تمثل شبكة التصريف المائية لأي حوض محصلة تفاعل العوامل الطبيعية، الجيولوجية والمناخية، من جهة والعمليات الهيدرومورفولوجية والجيومورفولوجية في ذلك الحوض من جهة أخرى. جرى رسم الشبكة المائية للحوض المدروس باستخدام برنامج (Arc GIS 10.3) وبالاعتماد على الخريطة الطبوغرافية التي تغطي

منطقة الدراسة بمقياس $\frac{1}{25.000}$ ، والمرسومة بفواصل شاقولية بين منحنيات التسوية بمقدار 5 م*، وهي موضحة في (الشكل ٣). حيث يلاحظ من الشكل أن الشبكة المائية للحوض هي عموماً من النمط الشجري، حيث تلتنقي المجاري النهرية بعضها ببعض وبالمجرى الرئيس للنهر بزوايا حادة.



الشكل (٣). الشبكة المائية لحوض نهر راويل، مع رتبها.

* وبذلك يختلف هذا البحث عن البحوث التي تعتمد على التقانات الرقمية (Dem) في تحديد الشبكة النهرية.

- رتب المجاري النهرية وعددها:

• **الرتب النهرية:** هي التتابع الهرمي للمجاري المائية التي تتكون منها الشبكة المائية للحوض، وتعد أحد المؤشرات الرئيسة التي تعكس الفعالية الهيدرولوجية للحوض، وعليه يفيد تحديد درجة الرتبة النهرية ضمن الحوض في معرفة خصائص التصريف المائي له، وفي تقييم قدرة الحوض على الاحت. جرى اعتماد طريقة (Strahler) لتحديد رتب المجاري المائية في الحوض المدروس، والتي شاع استخدامها في الدراسات الهيدروميترومورفية نظراً لبساطتها ووضوحها [٢٠]. ووفقاً لهذه الطريقة تُعطى الرتبة الأولى لأصغر المجاري التي لا تصب فيها أية روافد ثانوية، بينما يأخذ المجرى الرئيس الرتبة الأعلى، وعليه فُتِمَّتْ الشبكة النهرية لحوض راويل إلى 6 رتب، وصُنِفَ المجرى الرئيس باعتباره من المرتبة السادسة، أما عدد مجاري كل رتبة فجرى تحديده في بيئة نظم المعلومات الجغرافية كما هو موضح في الجدول (٢).

أظهرت الدراسة أن عدد مجاري المرتبة الأولى في حوض نهر راويل يبلغ 702، وهي تشكل نسبة تقارب 52 % من المجموع الكلي للمجاري المائية في الحوض (جدول 2). في حين بلغ عدد روافد المرتبة الثانية 331 مجرىً شكّلت نحو 24% من مجمل المجاري المائية للحوض، أما مجاري المرتبة الثالثة فبلغ عددها 190 مجرىً (نسبتها 14 %)، ومجاري المرتبة الرابعة 88 مجرىً (ونسبتها تتخفف إلى 6.4 %). كذلك انخفض عدد مجاري المرتبة الخامسة إلى نصف عدد مجاري المرتبة السابقة حيث بلغ 44 مجرىً فقط، بنسبة ٣ % تقريباً. بينما لوحظ انخفاض كبير بعدد مجاري المرتبة السادسة (5 فقط) بنسبة 0.36 %.

جدول (2): يوضح خصائص شبكة التصريف المائي في حوض نهر راويل.

الرتبة النهرية	عدد المجاري	نسبة عدد المجاري (%)	نسبة التشعب	مجموع أطوال المجاري (كم)	نسبة مجموع الطول (%)	معدل طول مجاري الرتبة (كم)
1	702	51.60	2.12	225.22	52.97	0.32
2	331	24.30	1.74	95.50	22.46	0.29
3	190	13.90	2.15	56.76	13.35	0.30
4	88	6.40	2.00	25.31	5.95	0.29
5	44	3.20	8.80	14.79	3.48	0.34
6	5	0.36		7.60	1.79	1.52
المجموع	1360		العامة 3.36	425.18		

يشير الارتفاع الكبير في عدد مجاري المرتبة الأولى مقارنة ببقية المراتب، وارتفاع نسبة مجموع أطوالها (53%)، إلى انخفاض معدلات تسرب المياه في مناطق انتشار تلك المجاري في أعالي الحوض [21]، ويمكن أن يعزى ذلك إلى الانحدارات الشديدة التي تحفز الجريان السطحي في تلك المناطق. ويشير ذلك أيضاً إلى أن الحوض لا يزال في مرحلة الشباب في جزئه الأعلى، حيث تنشط فيه عمليات الحت الرأسي [٢٢].

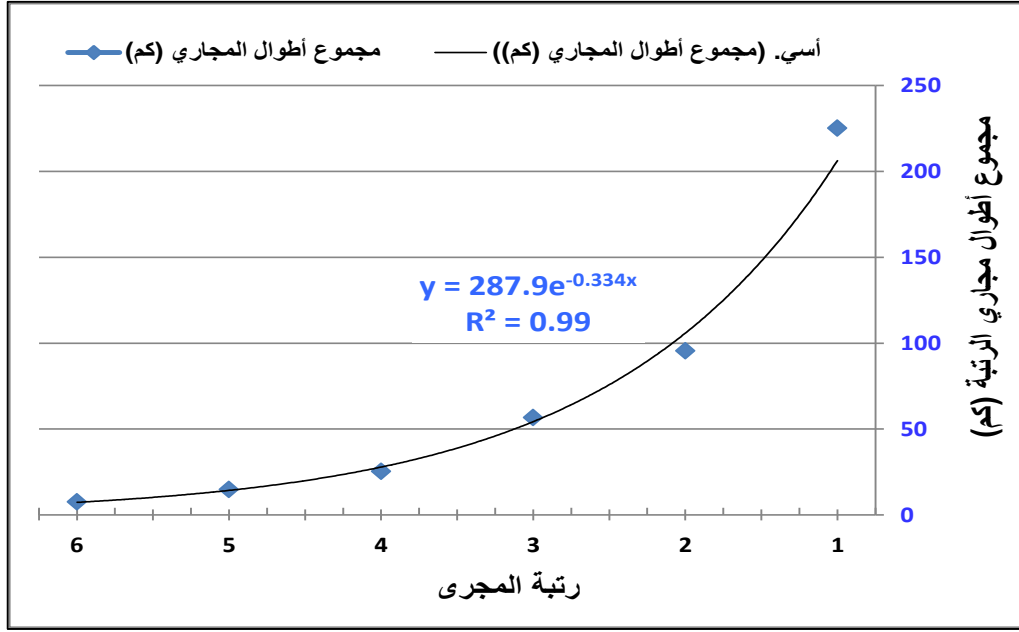
• **معدل التشعب النهري:** وهو النسبة بين عدد المجاري المائية لرتبة نهريّة معينة إلى عدد المجاري للرتبة الأعلى التي تليها. أي يعبر معدل التشعب عن العلاقة بين عدد المجاري في كل رتبتين متتاليتين، ويسمى أيضاً (نسبة التفرع أو الترافد)، ويحسب هذا المعدل من العلاقة التالية [١٩]:

$$\text{معدل التشعب النهري} = \frac{\text{عدد المجاري المائية التابعة لرتبة معينة}}{\text{عدد المجاري المائية للرتبة التالية لها}}$$

تبرز أهمية حساب هذا المعدل باعتباره أحد المؤشرات المهمة في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية كونه يعكس العوامل التي تتحكم في معدل تصريف الحوض، فهو يرتبط بعلاقة طردية مع كميات المياه المنصرفة من الحوض [٢٣]. وكذلك يظهر مدى تجانس الحوض من حيث الخصائص الجيولوجية والمناخية؛ فعندما تتقارب قيم نسب التشعب لمجاري الحوض من بعضها البعض لمختلف رتبه النهريّة يدل ذلك على تجانس الحوض جيولوجياً ومناخياً، والعكس صحيح [٢٤].

يبين الجدول (2) نسب التشعب للمجاري المائية في حوض نهر راويل، ويلاحظ من خلال الجدول أن تلك النسب متقاربة بين الرتب من الأولى حتى الخامسة (تبلغ ٢ تقريباً)، بينما بلغت بين الرتبتين الخامسة والسادسة (8.8) أي يفترض أن يتلقى كل مجرى من المرتبة السادسة قرابة ٩ مجارٍ من المرتبة الخامسة. أما نسبة التشعب العامة للحوض، والتي تمثل المتوسط الحسابي لمعدل نسب التشعب المحسوبة في الحوض، فقد بلغت 3.36، وهي بذلك تعد نسبة منخفضة نسبياً تعكس تأثير نوعية الصخور النفوذة إلى حدٍ ما على خصائص الحوض [23].

• **طول الشبكة النهريّة:** يمثل مجموع أطوال المجاري المائية لكل الرتب بدءاً من الرتبة الأدنى حتى المجرى الرئيس في الحوض، وقد بلغ طول الشبكة النهريّة لحوض نهر راويل ٤٢٥,١٨ كم. ويلاحظ من الجدول (٢) تفاوت كبير في أطوال المجاري بين الرتب النهريّة المختلفة، مما يعكس تبايناً كبيراً في تضاريس الحوض [٢٥]. يوضح الشكل (٤) العلاقة بين رتب المجاري النهريّة وأطوالها.



الشكل (٤). العلاقة بين رتب المجاري النهرية وأطوالها.

يظهر الشكل (٤) وجود علاقة طردية سالبة (عكسية) بين أطوال المجاري والرتب النهرية لها، ويمكن أن يعزى تناقص عدد المجاري مع زيادة الرتبة إلى أن المجاري من الرتب الأعلى تنتشر عموماً وسط وأدنى الحوض حيث يقل الانحدار مما يسمح بتطور المجاري الطويلة [٢٠] ، وقد أظهرت إضافة منحنى اتجاه للنقاط التي تمثل هذه العلاقة على الشكل أنها تتوافق إلى حد كبير مع نمط التابع الأسّي حيث بلغت قيمة معامل التحديد $(R^2) = 0.99$.

• معدل طول المجاري المائية: يمكن حساب معدل طول المجاري

النهرية لكل رتبة من خلال تقسيم مجموع أطوال مجاري هذه الرتبة على عدد روافدها، وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\text{معدل أطوال مجاري الرتبة} = \frac{\text{مجموع أطوال المجاري للرتبة}}{\text{عدد المجاري في نفس الرتبة}}$$

يبين الجدول (2) معدلات طول مجاري كل رتبة في الحوض المدروس، ويلاحظ من الجدول أن معدل طول مجاري غالبية الرتب النهرية في الحوض يتراوح بين 0.29 و 0.34 كم، باستثناء مجاري الرتبة السادسة التي يبلغ معدل طولها 1.52 كم، ويمكن تفسير ذلك بقلة عدد مجاري هذه الرتبة بالمقارنة مع بقية المراتب النهرية في الحوض.

• كثافة شبكة التصريف النهري: تمثل المجموع الكلي لأطوال المجاري المائية في واحدة المساحة

ضمن حوض النهر، أي أنها تمثل درجة انتشار وتفرع الشبكة النهرية ضمن مساحة محددة من الحوض [26]. يمكن أن يعكس هذا البارامتر تأثير البنية الجيولوجية للحوض على شبكة تصريفه كارتفاع كثافة الشبكة النهرية في مناطق تكشف الصخور الكريمة، والعكس في مناطق تكشف الصخور النفوذة. وتشير قيم كثافة أطوال المجاري المائية أيضاً إلى حالة التوازن القائم بين قوى الحث النهري من جهة، ومقاومة الصخور السطحية من جهة أخرى. كما أنها تعطي فكرة عن السلوك الهيدرولوجي للحوض كونها تعكس

مدى استجابة الحوض للهطولات المطرية التي يستقبلها [23]. وتحسب كثافة التصريف النهري وفق علاقة هورتون كما يلي [26]:

$$\text{كثافة شبكة التصريف} = \frac{\text{مجموع أطوال الشبكة النهريّة كم} / \text{مساحة الحوض} / \text{كم}^2}{2} = \frac{425.18}{142.4} = 2.99 \text{ كم}^2/\text{كم}^2$$

تدل هذه النتيجة على أن كل (1) كم² من مساحة الحوض يمتلك نظرياً قرابة (3) كم من المجاري النهريّة لتصريف مياهه. أي أن شبكة تصريف حوض راويل متوسطة الكثافة وهذا يشير إلى وجود توازن بين مساحة الحوض وأطوال المجاري المائية فيه، وتكون المسافة بين المجاري المائية معتدلة إلى حد ما [27]، وهو مؤشر على انخفاض خطر الفيضان في الحوض. كما أن هذه القيمة تشير إلى خشونة سطح الحوض بحسب تصنيف Morisawa [28].

• **معدل التكرار النهري:** يمثل نسبة مجموع أعداد المجاري النهريّة لكل الرتب في حوض النهر إلى مساحة الحوض، لذلك يسمى أيضاً كثافة التصريف العددية، ويحسب هذا المعدل وفق العلاقة التالية [26]:

$$\text{معدل التكرار النهري} = \frac{\text{مجموع عدد المجاري النهريّة في الحوض}}{\text{مساحة الحوض} / \text{كم}^2} = \frac{1360}{142.4} = 9.5 \text{ مجرى/كم}^2$$

مما يعني أن كل (1) كم² من مساحة الحوض تمتلك نظرياً (9.5) من المجاري النهريّة لتصريف مياهها.

كذلك جرى حساب معدل تكرار المجاري المائية لكل رتبة نهريّة في حوض نهر راويل (الجدول 3).

الجدول (3): معدل تكرار المجاري المائية لكل رتبة في حوض نهر راويل (مجرى/كم²).

الرتبة النهريّة	1	2	3	4	5	6
معدل تكرار المجاري	4.93	2.32	1.33	0.62	0.31	0.04

يلاحظ من الجدول السابق انخفاض معدل تكرار المجاري تدريجياً بالانتقال من الرتب الأدنى إلى الرتب

الأعلى ضمن الحوض المدروس، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تطور المجاري المائية للحوض [29].

• **معدل بقاء المجاري المائية للحوض:** وهو مؤشر لكفاءة نقل المياه من أعالي الحوض إلى المصب، ويمثل هذا البارمتر متوسط الوحدة المساحية (كم²) اللازمة لتغذية الوحدة الطولية (كم) من مجاري شبكة التصريف المائية، وبالتالي فهو يساوي مقلوب كثافة شبكة التصريف [19]، وبذلك تعادل قيمته في الحوض المدروس 0.33 كم²/كم، أي أن كل 1 كم من المجاري المائية للحوض يتغذى من مساحة تقدر بـ 0.33 كم² من الحوض.

• **رقم التسرب:** يعد رقم التسرب مؤشراً لخصائص تسرب المياه في الحوض، وتتناسب قيمته عكساً مع معدل تسرب المياه وطرذاً مع الجريان السطحي في الحوض [30]، ويحسب في الحوض النهري وفق القانون التالي [31]:

$$\text{رقم التسرب} = \text{الكثافة التصريفية} \times \text{تكرار المجاري المائية}$$

تبلغ قيمة رقم التسرب¹ لحوض راويل $28.52 = 9.5 \times 2.99$ وهي قيمة متوسطة تشير إلى نفاذية جيدة لصخور الحوض بشكل عام، لا سيما في أوسط وأدنى الحوض، وهذا يتوافق مع المعطيات

¹ - تجدر الإشارة إلى أن رقم التسرب (Infiltration number) يعتبر في التطبيقات العملية مؤشراً رقمياً عديم الوحدة، يستخدم في الدراسات الهيدرومورفومترية للمقارنة بين الأحواض النهريّة من حيث الخصائص الهيدرولوجية، وهو يختلف كلياً عن معدل تسرب المياه في التربة (Infiltration rate).

الجيولوجية للحوض والتي تشير إلى سيادة الصخور البازلتية المشققة والفراغية وانتشار الصدوع بشكل كبير في الحوض.

• **زمن التركيز:** هو الزمن الذي تستغرقه مياه الجريان السطحي للوصول من أبعد نقطة في الحوض إلى مخرج الحوض (نقطة التركيز)، وهو يعبر عن سرعة استجابة الحوض للأمطار ويعتبر مؤشراً لفهم السلوك الهيدرولوجي للحوض [32]. يمكن تقدير زمن التركيز Tc (ساعة) بالعلاقة:

$$Tc = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{Hm-Hmin}} = \frac{4\sqrt{142.4}+1.5\times 26.8}{0.8\sqrt{603-265}} = 5.98$$

حيث: A مساحة الحوض (كم²)، L طول المجرى الرئيس (كم)، Hm : متوسط ارتفاع الحوض، $Hmin$ ارتفاع أدنى نقطة في الحوض (م).

بلغت قيمة زمن التركيز لحوض راويل عند نقطة التركيز وفق هذه العلاقة نحو 6 ساعات، وقيمة السرعة المتوسطة للمياه في الحوض 4.47 كم/ساعة، وبالتالي يصنف الحوض بالمجمل ضمن فئات الأحواض المائية ذات خطورة الفيضان المتوسطة [33].

أما لدى حساب زمن التركيز عند السدة التحولية فقد تبين أن قيمته تبلغ 2.35 ساعة، وهي قيمة منخفضة تظهر سرعة استجابة الحوض في تلك النقطة للهطولات الكبيرة مما يشكل خطورة على السدة التحولية لسرعة وصول موجة الفيضان إليها.

ثالثاً: الخصائص الشكلية للحوض

تبرز أهمية دراسة الخصائص الشكلية للحوض في معرفة الدلالة الهيدرولوجية لشكل الحوض وتأثيرها على الجريان السطحي وتصريف الحوض، أي في معرفة سرعة وصول موجات الفيضان إلى الذروة عند مخرج الحوض وما ترتب على ذلك من إجراءات وقائية ضد الفيضانات [18]. وقد أشار سلوم [23] إلى أنه ليس بالضرورة تطبيق كل المعادلات المورفومترية ذات الصلة على الحوض لتحديد شكله وإنما يكفي استخدام بعض المعادلات التي تعطي نتائج تتوافق مع الملاحظة البصرية، وتتسجم فيما بينها من حيث النتائج وإمكانية تفسيرها على أرض الواقع.

• **معامل شكل الحوض:** ويستدل منه على مدى تناسق شكل أجزاء الحوض، تدل قيمة المعامل المنخفضة على اقتراب شكل الحوض من شكل المثلث نتيجة ازدياد الطول النسبي لأحد بعدي حوض التصريف على حساب الآخر. جرى حساب معامل شكل الحوض بالعلاقة التالية [34]:

$$0.29 = \frac{142.4}{484} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}^2}{\text{مربع طول الحوض / كم}} = \text{معامل شكل الحوض}$$

وهي قيمة منخفضة تشير إلى الانخفاض النسبي للمساحة الحوضية لحوض نهر راويل مقارنةً بطوله، وإلى تقارب شكل الحوض المدروس من شكل المثلث. إلا أن خريطة الحوض (الشكل 1) تظهر اقتراب شكل الحوض من الشكل الورقي (شبيه بالورقة النباتية)، ومع أن ذلك يدل على ازدياد أحد أبعاد الحوض على حساب البعد الآخر، لكن لا يتوافق هذا الشكل مع شكل المثلث النموذجي.

• **معامل استطالة الحوض:** يعبر عن مدى التشابه بين شكل الحوض والشكل المستطيل، وتتراوح قيمة هذا المعامل بين الصفر والواحد الصحيح، ويتم حسابه من حاصل قسمة قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض على أقصى طول للحوض المائي كما يلي [19]:

$$\text{معامل استطالة الحوض} = \frac{\text{طول قطر دائرة مساوية لمساحة الحوض / كم}}{\text{أقصى طول للحوض / كم}} = \frac{13.37}{22} = 0.61$$

وتتنصف الأحواض التي تقل فيها قيمة هذا المعامل أو تنخفض إلى حدودها الدنيا بامتدادها واقتربها من الشكل المستطيل، بينما يدل اقتراب هذه النسبة من الواحد على اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري [٣٥]. إن ما يميز السلوك الهيدرولوجي للأحواض الأقرب إلى الاستدارة هو الجريان المائي غير المنتظم زمنياً، بينما تتميز الأحواض القريبة من الشكل المستطيل بفيضانات أقل خطراً وبطول مدة التصريف التي تتناسب طردياً مع استطالة الحوض [36]. إن القيمة المستحصل عليها في الحوض المدروس (0.61) تشير إلى أن شكل الحوض يتراوح بين الاستدارة والاستطالة، لكن الملاحظة البصرية تظهر الحوض أقرب إلى الاستطالة (الشكل ١).

• **نسبة الاستدارة (نسبة تماسك مساحة الحوض):** وتعدُّ مؤشراً لمدى اقتراب الحوض من الشكل الدائري أو ابتعاده عنه. وتتراوح قيم هذه النسبة بين (1 - 0)، فكلما زادت قيمتها دل ذلك على اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري، وابتعادها عن الواحد الصحيح يشير إلى استطالة الحوض وابتعاده عن الشكل الدائري ويقترب من الشكل الكمثري [٣٧]. يعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية [٣٨]:

$$\text{نسبة استدارة الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}^2}{\text{مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض / كم}^2} = \frac{142.4}{353.8} = 0.40$$

وهي قيمة منخفضة نسبياً تشير إلى أن شكل الحوض المدروس يميل إلى الاستطالة وهو أقرب إلى الشكل الكمثري من الشكل الدائري. ومن الناحية الهيدرولوجية تعكس القيمة المنخفضة لهذا المعامل بطء الجريان السطحي بعد هطول الأمطار وانخفاض قيمة ذروة التصريف المائي وتراجع خطر الفيضانات [٣٩].

• **نسبة الطول إلى العرض الحوضي:** وهي من المعاملات المورفومترية المبسطة لتحديد مدى استطالة شكل الحوض، وتتشابه في دلالتها مع معامل استطالة الحوض، وتحسب هذه النسبة كما يلي:

$$\text{نسبة طول الحوض إلى عرضه} = \frac{\text{طول الحوض / كم}}{\text{عرض الحوض / كم}} = \frac{22}{6.8} = 3.24$$

وتظهر هذه القيمة أن طول الحوض يبلغ ثلاثة أضعاف عرضه تقريباً ويتوافق ذلك مع المؤشرات المورفومترية الأخرى المحسوبة أعلاه والتي تبين الاستطالة النسبية للحوض.

• **معامل الانبعاج (معامل تفلطح الحوض):** ويستخدم لقياس درجة تفلطح محيط الحوض وعلاقتها بطول الحوض من خلال مقارنته بالشكل الكمثري. ويتم حساب هذا المعامل وفق العلاقة الآتية [٢٣]:

$$\text{معامل انبعاج الحوض (التفلطح)} = \frac{\text{مربع طول الحوض / كم}^2}{\text{أربعة أمثال مساحة الحوض / كم}^2} = \frac{484}{4 \times 142.4} = 0.85$$

وهي قيمة منخفضة نسبياً، إذ تشير القيم المنخفضة لهذا المعامل، التي تقل عن الواحد الصحيح، إلى زيادة تفلطح شكل الحوض، وبالتالي زيادة أطوال المجاري المائية وأعدادها من الرتب الدنيا، وتعطي المناطق المفلطحة من الحوض كميات أكبر من المياه الجارية مقارنة بغيرها من بقية أجزائه، فتتوافق قمة الفيضان أو التصريف المائي معها مكانياً وزمانياً. كذلك الأمر تدل القيم المنخفضة على سيادة عمليات الحت الرأسية والجانبية لفترات زمنية طويلة في الحوض، أي أنها تشير إلى أن الحوض قطع شوطاً في مراحل دورته الحتية [36]؛ [38]. ويحمل الجدول (٤) الخصائص الشكلية لحوض نهر راويل.

الجدول (٤). الخصائص الشكلية لحوض نهر راويل.

معامل الشكل	معامل الاستطالة	معامل الاستدارة	نسبة الطول إلى العرض	معامل الانبعاج (التلطح)
0.29	0.61	0.40	٣,٢٤	0.85

رابعاً: الخصائص التضاريسية للحوض

تعكس هذه الخصائص مدى نشاط عمليات التعرية وحدتها، وأثر اختلاف التركيب الصخري والعمليات التكتونية على هذا النشاط، وتلقي الضوء على العوامل التي أسهمت في نشأة الحوض، كما تساهم في فهم الدورة الحتية للحوض وتطور شبكته المائية وفي تحديد المرحلة التي قطعها الحوض في دورته الحتية [36].

وفيما يلي الخصائص التضاريسية التي تمت دراستها لحوض نهر راويل:

• **تضريس الحوض الكلي:** هو فرق الارتفاع بين أعلى نقطة وأخفض نقطة في الحوض، ويعادل 793 م للحوض المدروس حيث بلغ ارتفاع أعلى نقطة فيه 1058 م، وذلك في قمة تلة عين القتيل. أما ارتفاع أخفض نقطة في الحوض فهو 265 م عند نقطة الترافد مع نهر الصفا ليتشكل نهر الكبير الجنوبي.

• **معامل التضرس:** يعبر عن مدى تضرس الحوض بالنسبة إلى طوله، وهو يشير بصورة مباشرة إلى درجة انحدار الحوض، ويتم الحصول عليه من خلال قسمة تضريس الحوض الكلي على طول الحوض [19].

$$\text{معامل التضرس} = \frac{\text{تضريس الحوض الكلي} / \text{طول الحوض كم}}{36.04 \text{ (م/كم)}} = \frac{793}{22} = 36.04 \text{ (م/كم)}$$

وتدل هذه القيمة على التضرس المرتفع نسبياً للحوض المدروس وبالتالي تنشيط عملية الحت فيه، وهذا يعني أن نهر راويل ينخفض بمعدل 36 م تقريباً كلما قطع 1 كم باتجاه مصبه، أي أن معدل انحدار الحوض يعادل 3.6 % تقريباً.

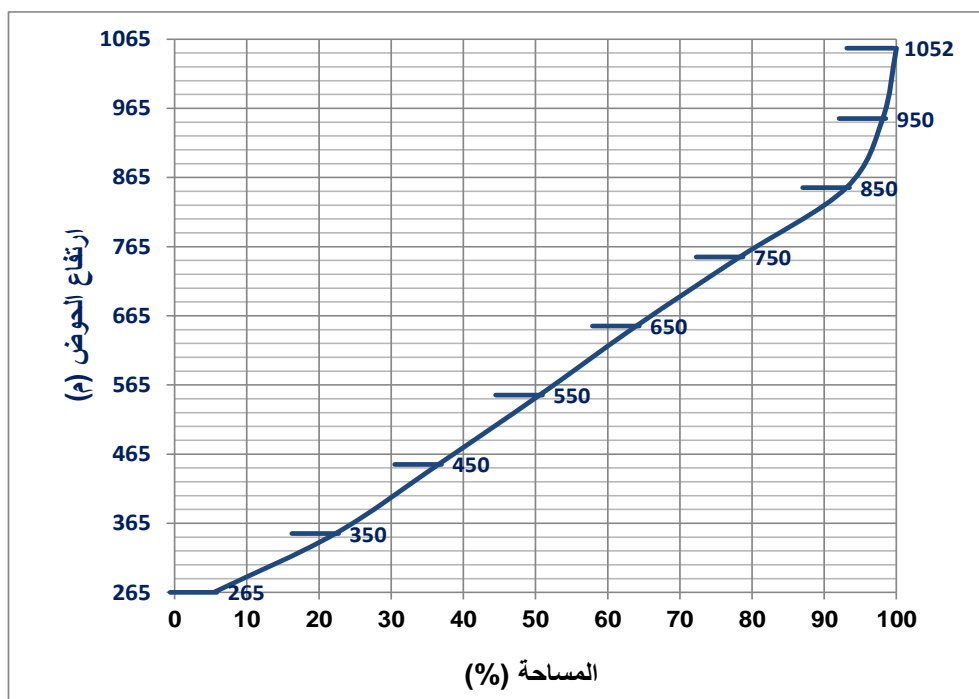
• **التضاريس النسبية:** تمثل العلاقة بين تضرس الحوض الكلي ومحيط الحوض، وتحسب وفق الصيغة التالية [18]:

$$\text{تضاريس الحوض النسبية} = \frac{\text{تضريس الحوض الكلي} / \text{محيط الحوض كم}}{11.90 \text{ (م/كم)}} = \frac{793}{66.66} = 11.90 \text{ (م/كم)}$$

وهي قيمة مرتفعة تشير إلى أن الحوض يتميز بتضاريس جبلية وعرة [19]، لكن البنية الصخرية المشققة فيه تحد من تأثير هذه الوعورة على الجريان السطحي للمياه وبالتالي على السلوك الهيدرولوجي للحوض.

• **المنحني الهيبسومتري:** وهو مخطط بياني يمثل العلاقة بين الارتفاع التضريسي في الحوض المائي والمساحة النسبية التي تقع فوق هذا الارتفاع (والتي تمثل على المحور الأفقي للمخطط)، وهو يساعد

في تحديد مرحلة تطور الحوض والشكل النموذجي له يأخذ شكل حرف S حيث يكون محدباً في الأعلى ومقعراً في الأسفل [٢٣]. ويظهر الشكل (٥) المنحني الهيبسومتري لحوض راويل، والذي يميل إلى الاستقامة مع ميل متوسط، ويظهر أن الحوض يتضمن مناطق مرتفعة وأخرى منخفضة متوازنة نسبياً، مما يظهر أن الحوض في مرحلة النضج، كما أن نسبة المساحة تحت المنحني إلى المساحة الكلية للحوض تقدر بنحو ٤٠ % ونسبة هذه المساحة تتراوح في مرحلة التوازن بين (٦٠-٣٥ %) بحسب (Strahler) [٢٢].



الشكل (٥): يوضح المنحني الهيبسومتري لحوض نهر راويل

يظهر الشكل (٥) أيضاً أن الحوض لديه قدرة تخزين مائي معتدلة فالجريان السطحي فيه ذو سرعة متوسطة.

• **التكامل الهيبسومتري:** يعبر رقمياً عن المرحلة العمرية للحوض، إذ يعد من أدق المعاملات المورفومترية تمثيلاً للفترة الزمنية التي قطعها حوض التصريف من دورته الحتية، ويشير إلى كمية المواد الصخرية التي لا تزال تنتظر دورها في العملية الحتية، وتتراوح قيمة هذا التكامل بين (0 و 100). ويدل ارتفاع قيمته على كبر المساحة الحوضية نتيجة الكثافة التصريفية الكبيرة وتقدم عمر الحوض، أما انخفاض قيم هذا المعامل فيشير إلى حداثة عمر الحوض من جهة، وإلى صغر مساحته الحوضية من جهة ثانية، وأنه لا يزال في بداية دورته الحتية. تحسب قيمة التكامل الهيبسومتري وفق المعادلة الآتية [٢٢]:

$$0.43 = \frac{365 - 603.24}{365 - 1058} = \frac{\text{الارتفاع المتوسط} - \text{الارتفاع الأدنى}}{\text{الارتفاع الأعظمي} - \text{الارتفاع الأدنى}}$$

وهي قيمة متوسطة تظهر أن حوض نهر راويل في طور النضج، ويلاحظ ذلك في أدنى الحوض حيث يقل الانحدار والتضرس في الأجزاء السفلى من الحوض، وتتوسع المجاري المائية ويقل عمقها، مما يؤدي إلى تراجع سرعة الجريان السطحي وتراجع معها خطورة الفيضانات.

5. الاستنتاجات والمقترحات:

أتاح هذا البحث تحديد خصائص البنية الجيولوجية لحوض نهر راويل وإنشاء قاعدة بيانات هيدرومورفومترية للحوض وتوصيف شبكته المائية، وقد أتاح التحليل المتكامل والجمع بين الخصائص الجيولوجية والهيدرومورفومترية فهم السلوك الهيدرولوجي للحوض، وخلص البحث إلى الاستنتاجات الرئيسية الآتية:

- ١- تتميز البنية الجيولوجية للحوض بسيطرة صخور البازلت البليوسيني المكتشفة والتي تغطي ٨٠% من مساحته، وهي محطة بشبكة من الفوالق والشقوق الكثيفة، مما تسبب في تنشيط أعمال الحت والتفريغ وخاصة على امتداد فوالق الانهدام الرئيسية المتجهة شمال - جنوب، الأمر الذي أدى في النهاية إلى تشكل وتعمق وادي نهر راويل الحالي، والذي يظهر في أعالي الحوض بشكل وادي ضيق وعميق.
- ٢- تعد صخور البازلت الفراغي والمشق المنتشرة في الحوض من الصخور النفوذة والخازنة للمياه الجوفية، وهو ما أدى إلى وجود عدد كبير من الينابيع المائية فيه (تم إحصاء وجود 190 ينبعاً).
- ٣- أدت حادثة الأسر النهري في شمال غرب الحوض إلى إضافة مساحة إضافية مؤخراً للحوض الساكب للنهر وهي حالة استثنائية في السلسلة الساحلية، وتقع المنطقة المضافة غرب خط الذرى ولكنها تغذي مجرى يقع شرق هذا الخط.
- ٤- أظهر تحليل الخصائص الهيدرومورفومترية الشكلية ابتعاد الحوض عن الشكل الدائري وامتداده طويلاً، وهذا يشير إلى أن المياه الجارية بعد الهطل تصل بصورة متعاقبة وبشكل تدريجي من أبعد نقطة في أعالي الحوض إلى نقطة التركيز وهذا يشير إلى انتظام التصريف المائي، وتوالي وصول الموجات المائية باتجاه أدنى الحوض، مما يبطئ الاستجابة الهيدرولوجية للحوض ويخفض قيمة تصريف الذروة بعد الهطل فيتراجع خطر الفيضانات في أدنى الحوض.
- ٥- يندرج الحوض تحت فئة الأحواض ذات النسيج المتوسط إلى الخشن بالمجمل ويعزى ذلك إلى سيادة الصخور البازلتية الفراغية والمتصدعة، وكثرة الشقوق، الأمر الذي أدى إلى إسهامها في زيادة التسرب وتقليل الجريان السطحي في معظم مناطق الحوض، وبالتالي لا توجد خطورة لحدوث فيضانات كبيرة فيه.
- ٦- إن نمط تصريف حوض راويل من النوع الشجري، ويتكون عادة هذا النمط فوق صخور متجانسة من حيث تكوينها وبنيتها ودرجة صلابتها، إذ تجري الوديان في كافة الاتجاهات وتتخذ شكلاً مشابهاً إلى حد ما، ويتحكم في هذا النمط انحدار الحوض فالمياه تتبع في جريانها الانحدار العام للسطح.
- ٧- يتميز الوادي النهري بسرعة تطوره الجيومورفولوجي بسبب كثرة الانزلاقات الأرضية التي تتعرض لها السفوح الشديدة الانحدار، لا سيما في الجزء الأعلى من الحوض.
- ٨- رغم أن شكل المنحني الهيبسومتري وقيمة التكامل الهيبسومتري أظهرت أن الحوض في مرحلة النضج، إلا أن الدراسة الميدانية والملاحظة البصرية تشير إلى أن الحوض لازال في مرحلة الشباب في جزئه الأعلى بسبب الانحدارات الشديدة وضيق الوادي النهري، أما في جزئه الأدنى، مع

الاقتراب من سهل البقعة حيث تخف الانحدارات ويزداد عرض المجرى، فقد وصل الحوض إلى مرحلة النضج وهذا ما أظهره تحليل المنحني الهيسومتري.

٩- يشير تحليل مجمل الخصائص الهيدرومورفومترية للحوض إلى انخفاض مخاطر حدوث فيضانات فيه، وخاصة في الجزء الأدنى من الحوض، لكن زمن تركيز الجريان حتى السدة التحويلية مرتفع نسبياً.

المقترحات:

١- الحفاظ على الغطاء النباتي الطبيعي في الحوض لحماية التربة من الانجراف، لا سيما في مناطق الانحدارات الشديدة. وتطوير خطط لتثبيت السفوح الشديدة الانحدار في الجزء العلوي من الحوض (خاصة المناطق البازلتية المتصدعة) عبر تشجيرها أو استخدام الحواجز الهندسية للحد من الانزلاقات الأرضية.

٢- متابعة التطور الجيومورفولوجي للوادي النهري، وإجراء كشوف ميدانية دورية لرصد سرعة تطور الوادي بسبب الانزلاقات الأرضية، ويمكن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لهذا الغرض ونمذجة التغيرات.

٣- حماية المجاري وقنوات التصريف الطبيعية في الجزء الأدنى من الحوض (قرب سهل البقعة) والعمل على تنظيفها وصيانتها لاستيعاب أي زيادات مفاجئة في التصريف، بالتوازي مع الحفاظ على الخصائص الطبيعية التي تقلل خطر الفيضانات.

٤- تزويد الحوض بمحطات مناخية وهيدرومترية لمراقبة وقياس مناسيب المياه وتدفقات النهر وإنشاء قاعدة بيانات هيدرولوجية لتتبع السلوك الهيدرولوجي للنهر والتغيرات التي يمكن أن تطرأ عليه مستقبلاً.

6. المراجع

- [1]. KHALIFA, A.; ÇAKIR, Z.; OWEN, L.A.; KAYA, Ş. (2018), *Morphotectonic analysis of the East Anatolian Fault, Turkey*. Turk. J. Earth Sci. 27, 110–126.
- [2]. KARALIS, S., KARYMBALIS, E., VALKANOU, K., CHALKIAS, C., KATSAFADOS, P., KALOGEROPOULOS, K., BATZAKIS, V. AND BOFILIOS, A. (2014), *Assessment of the Relationships among Catchments' Morphometric Parameters and Hydrologic Indices*. International Journal of Geosciences, 5, 1571-1583. doi: 10.4236/ijg.2014.513128.
- [3]. DIMPLE, D., RAJPUT J., AL-ANSARI, N., ELBELTAGI, A., ZEROUALI, B., SANTOS, CAG. (2022), *Determining the Hydrological Behaviour of Catchment Based on Quantitative Morphometric Analysis in the Hard Rock Area of Nand Samand Catchment, Rajasthan, India*. Hydrology. Vol. 9(2):31. <https://doi.org/10.3390/hydrology9020031> -
- [4]. ABDETA, G.C.; TESEMMA, A.B.; TURA, A.L.; ATLABACHEW, G.H. (2020), *Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds and management planning and practices in Gidabo Basin, Southern Rift Valley of Ethiopia*. Appl. Water Sci. 10, 158.

- [5]. YOUSSEF, A.M., PRADHAN, B. AND HASSAN, A.M. (2010), *Flash Flood Risk Estimation along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt Using GIS Based Morphometry and Satellite Imagery. Environmental Earth Sciences*, 62, 611-623.
- [6]. إبراهيم، سعيد، والعلي، يوسف (٢٠٢٤)، دراسة هيدرولوجية لحوض نهر حريصون في إقليم الساحل السوري، مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية، المجلد (٨)، العدد (٦)، (قيد النشر).
- [7]. CHOWDHURY, M. S. (2024), *Morphometric analysis of Halda River basin, Bangladesh, using GIS and remote sensing techniques. Heliyon*, 10 (7):29085. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e29085.
- [8]. الخرائط الطبوغرافية لرقع تلكلخ وقلعة الحصن، مقياس $\frac{1}{25.000}$ ، إدارة المساحة العسكرية، دمشق.
- [9]. الخريطة الجيولوجية لرقعة قلعة الحصن، مقياس $\frac{1}{50.000}$ ، ومذكرتها الإيضاحية (١٩٧٩). المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية، دمشق.
- [10]. إبراهيم، سعيد. (٢٠٢٢)، دراسة حقلية لأهم المظاهر الجيومورفولوجية الكارستية في حوض نهر الأبرش. مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية - سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية، المجلد (٦)، العدد (٥): ٣٢-٩.
- [11]. درويش، عامر (٢٠٢٣)، دراسة وتحليل الهيدروغراف ضمن حوض الساحل السوري، جامعة حمص، كلية الهندسة المدنية (طروحة دكتوراه غير منشورة)، ٢٣٥ ص.
- [12]. مديرية الموارد المائية في حمص (٢٠١٩).
- [13]. الشامي، يوسف (٢٠١٠)، الحواش، القلعة والوادي: دراسة تاريخية اقتصادية ثقافية، مراجعة وتدقيق وتقديم: د. جودت إبراهيم - حمص ٢٠١٠.
- [14]. Ponikarov. V. (1963), Geological map of Syria. Scale $\frac{1}{200.000}$. V.O Technoexport, Moscow.
- [15]. حسين، كمال، محيي الدين (١٩٧٨)، جيولوجية سوريا الإقليمية (٢). الطبعة الثالثة، منشورات جامعة دمشق، سوريا، 452 ص.
- [16]. MOUTY, M., and GOUT C., (2010), *Overview of the Triassic System in Syria: Lithostratigraphic and biostratigraphic correlations with neighboring areas. GeoARABIA*, vol. 15, (1): 95-114.
- [17]. CHORLEY, R.J., MALM, D.E.G., POGORZELSKI, H.A., (1957). A new standard for estimating drainage basin shape. *Am. J. Sci.* 255, 138-141. doi: 10.2475/ajs.255.2.138 .
- [18]. GREGORY K.J., and D.E. WALLING. (1973), *Drinage basin, form and Process, A geomorphological approach*, Edward Arnold.
- [19]. SCHUMM SA. (1956), *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy*, New Jersey. *Geol Soc Am Bull.* vol. 67(5): 597 – 646.
- [20]. STRAHLER A.N. (1957), *Quantitative analysis of watershed geomorphology*, *Transactions-American Geophysical Union*, 38: 913 -920.
- [21]. GAJBHIYE S., MISHRA S.K., PANDEY A. (2014). *Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. Appl. Water Sci.*, 4, pp. doi 51-61, 10.1007/s13201-013-0129-7.

- [22]. STRAHLER, A.N. (1952), *Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography*. Geological Society of America Bulletin, vol. 63: 1117-1142.
- [23]. غزوان محمد أمين سلوم (2012)، *حوض وادي هريرة دراسة جيومورفولوجية*، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد 3 + 4، ص 513 - 579.
- [24]. MELTON, M.A. (1958), *Correlation Structures of Morphometric Properties of Drainage Systems and Their Controlling Agents*. Journal of Geology. vol. 66: 442-460. <http://dx.doi.org/10.1086/626527>.
- [25]. VYAS S., and SINGH G.P. (2020), *Morphometric analysis of hard rock terrain of Banne Watershed, district Chhatarpur, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS*, Int. J. Emer. Technol., 11, pp. 714-721
- [26]. HORTON, R.E. (1945), *Erosional development of streams and their drainage density: hydrophysical approach to quantitative geomorphology*. Geol. soc. Amer. Bull., vol. 56(3): 275-370.
- [27]. PADALA R., SH. ; ANEESH M., (2024), *Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data*
- [28]. MORISAWA, M: (1985): *Rivers, Form and Processes*, Longman, New York. P140.
- [29]. عاشور محمود محمد (1986)، *طرق التحليل الجيومورفولوجية، لشبكات التصريف المائي*، مجلة كلية الانسانيات والعلوم الاجتماعية، جامعة قطر، العدد (9).
- [30]. HORTON, R.E. (1945), *Erosional development of streams and their drainage density: hydrophysical approach to quantitative geomorphology*. Geol. soc. Amer. Bull., vol. 56(3): 275-370.
- [31]. FANIRAN, A. (1968), *The Index of Drainage Intensity -A Provisional New Drainage Factor*. Australian Journal of Science, vol. 31: 328-330.
- [32]. MCCUEN, R.H., (1998), *Hydrologic Analysis and Design. 2nd Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River*.
- [33]. CHOW, V., MAIDMENT, D., MAYS, L., (1988), *Applied Hydrology*, 588 pages.
- [34]. MORISAWA M. E. (1958), *Measurement of Drainage-Basin Outline Form*, Journal of Geology, vol. 66: 587- 591.
- [35]. CHANDRASHEKAR H, LOKESH K V, SAMEENA M, ROOPA J and RANGANNA G. (2015), *Proc. Int. Conf. on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (Mangalore)*, vol. 4 ed G S Dwarakish (Elsevier Procedia): 1345 – 1353
- [36]. غزوان محمد أمين سلوم (2012)، *حوض وادي القنديل دراسة مورفومترية*، مجلة جامعة دمشق، المجلد 28، العدد 1، ص 373 - 438.
- [37]. الشعال، فانتة؛ سلوم، جوليت وعبود، حازم (2018)، *ترتيب أولويات الصيانة الهيدرولوجية المستندة على البارامترات الجيوهيدرولوجية في حوض نهر قيس (محافظة طرطوس)*. مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية، المجلد (2)، العدد (2): 39 - 59.

[38]. MILLER, V.C. (1953), *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee*, Department of Geology, Columbia University: New York, NY, USA : 389–402.

[39]. CHOPRA R., DHIMAN, R.D., SHARMA, P.K., (2005), *Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur district, Punjab using remote sensing and GIS techniques*, *J. Indian Soc Rem. Sens.* vol. 33(4): 531-539.