African Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Sciences (AJASHSS)
المجلة الإفريقية للدراسات المتقدمة في العلوم الإنسانية والاجتماعية
Online-ISSN: 2957-5907
Volume 1, Issue 3, August 2022, Page No: 288-318
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajashss/index

التحليل المورفومتري لحوض التصريف السطحي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدرولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

د. عادل حمود لطف ناجي[1*]
أستاذ الجيولوجيا المساعد، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة إب، اليمن
أ. محمد عبده أحمد علي الورافي[2]
قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة إب، اليمن

Morphometric Analysis of the of Ibb City Basin Surface Drainage and its Hydrological Implications Using RS and GIS

Dr. Adel Hammood Lotf Nagi[1*]
[1]Assistant Professor of Geology, Department of Geography, College of Arts, Ibb University, Yemen
Mohammed Abdu Ahmed Ali Al-Warafi[2]
[2]Department of Geography, College of Arts, Ibb University, Yemen

[*]Corresponding author	joodtabark2021@gmail.com	[*]المؤلف المراسل
تاريخ النشر: 2022-08-17	**تاريخ القبول:** 2022-08-16	**تاريخ الاستلام:** 2022-08-01

الملخص

قدمت هذه الدراسة نموذجاً تطبيقياً لاستخدام تقنية (GIS)، في إنشاء قاعدة بيانات رقمية للخصائص الهيدرومورفومترية للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، بالاعتماد على (DEM) وبرنامج (Arc GIS 10.8)؛ إذ تم التوصل إلى العديد من النتائج التي تُعتبر ذات مدلولات هيدرولوجية: إذ تُعتبر الأحواض المدروسة أحواضاً صغيرة في الامتداد المساحي، مع وجود صراع هيدرولوجي بينها في مناطق تقسيم المياه، فضلاً عن وجود ظاهرة التنافس بين المجاري الأولية؛ ما أدى إلى عدم السماح بتطور ونمو مجاري الرتبة الأولى وقلة أعدادها، وميل الأحواض إلى الاستطالة، ونتيجة لزيادة الطول الكلي للحوض المائي مقارنة بعرضه مع زيادة مساحة الأحواض نحو المنبع وضيقها عند المصب؛ جعل شكل تلك الأحواض يقترب من شكل المثلث، ويُفسر هيدرولوجياً بمأمن أدنى الحوض من خطورة حدوث الفيضانات، وسجلت معظم قيم المتغيرات المورفومترية قيم منخفضة ومتفقة مع بعضها من حيث التدني والمدلولات الهيدرولوجية، فضلاً عن زيادة أطوال المجاري الرئيسة للأحواض وقصر أطوال المجاري الفرعية، وقلة أعدادها، وصغر مساحتها؛ وأهم مدلولاتها الهيدرولوجية زيادة مسافة ومساحة الجريان المائي من المنبع إلى المصب، ووصول المياه على شكل دفعات متدفقة ومتتالية، وطول مدة التصريف، وزيادة الفواقد المائية، وانخفاض كمية الجريان السطحي وتدنيها، علاوة على ارتفاع قيم معدل بقاء المجرى، وانخفاض شدة التصريف ورقم الترشيح للحوض المائي لمدينة إب، التي تُشير جميعها إلى بطء سرعة الجريان السطحي للمياه. وأهم نتائج تحليل الخصائص الهيدرولوجية الجريانية: انخفاض معامل الفيضان، وصغر زمن الاستجابة.

الكلمات المفتاحية: التحليل الجيومتري، التحليل المورفومتري، المدلولات الهيدرولوجية، تقنية (DEM & GIS)، الحوض المائي لمدينة إب.

Abstract
This study presented an applied model for using GIS technology to create a digital database for the hydromorphometric characteristics of the Ibb water basin and its sub-basins depending on (DEM) and (Arc GIS 10.8). Several results have been reached that have hydrological implications: the studied basins are considered small basins in the area extension, with a hydrological conflict between them in the areas of water division in addition to the competition between primary streams, which led to lack of development and growth of first-order sewers and their small number, and the tendency of basins to elongate. The increase in the total length of the aquarium compared to its width with an increase in the area of the aquarium basins upstream and narrow downstream makes the shape of these basins almost look like a triangle. Hydro-logically, it is explained that the lower basin is immune to flooding, and most of the values of the morphometric variables are low and agree with each other in terms of low and hydrological implications. In addition to the increase in the lengths of the main sewers of the basins and the shorter lengths of the secondary sewers, their small number, and their small area, its most important hydrological implications are an increase in the distance and area of water flow from the source to the estuary, the arrival of water in the form of flowing and successive batches, the length of the drainage period, the increase in water losses, and the decrease in the amount of surface runoff. The most important results of the analysis of the hydrological flow characteristics were the low coefficient of flooding, and the short response time.

Keywords: Geometric Analysis, Morphometric Analysis, Hydrological Implications, (DEM & GIS) Technology, Ibb City Water Basin.

المقدمة:

من أبرز المظاهر الجيومورفولوجية لمدينة إب، أحواض التصريف السطحي وشبكاتها التصريفية، حيث لم يُحظى الحوض المائي الرئيس لمدينة إب بأي دراسة تتعلق بالخصائص الجيومترية أو المورفومترية أو بالدراسات الهيدرولوجية الجريانية لأحواض التصريف المائي السطحي لمدينة إب غير المرصودة هيدرولوجياً؛ نظراً لغياب محطات الرصد الهيدرومترية الخاصة بقياس المعاملات الهيدرولوجية، التي لها انعكاسات هيدرولوجية على مدينة إب التي تشهد توسعاً عمرانياً كبيراً وكثافة سكانية كبيرة جداً (حوالي مليون نسمة) مقارنة بالمساحة، فضلاً عن ظهور أزمة في مياه الشرب نتيجة انخفاض منسوب المياه في الآبار التي تُغذي المدينة بالمياه الجوفية.

وتتميز مدينة إب بوجود عدد من الوديان الموسمية (التي يطلق عليها في اليمن مصطلح السائلة)، بتصاريف مائية عالية في فصل التساقط المطري (فصل الصيف)، وأثناء حدوث العاصفة المطرية، ولاشك في أن عملية تقدير الخصائص الهيدرولوجية لأحواض تلك الوديان تتوقف على الحصول على المعطيات والمعلومات الهيدرولوجية، لتشكيل قاعدة بيانات كاملة يمكن توظيفها في مجالات خطط التنمية (المائية والبيئية)، وبناءً على ما سبق فإن دراستنا الحالية سوف تتناول دراسة واشتقاق وتحليل الخصائص الجيومترية، والشكلية، والتضاريسية، والمورفومترية للحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض

الفرعية التابعة له، من أجل التوصل إلى المدلولات الهيدرولوجية لتلك الخصائص. حيث تمثل الخصائص الجيومترية للأحواض المائية المواصفات الهندسية للحوض المائي بحد ذاته بغض النظر عن تشكيلة الأودية والروافد (شبكة التصريف المائي) الموجودة ضمنه. علماً بأن أي حوض المائي يتحدد نطاقه الجغرافي بالمناطق المرتفعة حول شبكة التصريف المائي، التي منها يبدأ تغذية الروافد المائية؛ وبالتالي يُعتبر الحوض المائي وحدة مساحية لها خصائصها التي يمكن قياسها كمياً، ومن ثم يمكن تحليلها وتصنيفها، وكذلك يمكن معالجة الحوض المائي على أنه نظام تدخله كمية من الطاقة المتمثلة في كمية الأمطار ثم تخرج منه كتصريف مائي (السيول، أو الجريان السطحي للمياه) (آل سعود، 2014، ص 24).

أما الخصائص المورفومترية فتتناول كل مواصفات ومقايس الروافد المائية (أودية رئيسة وفرعية، وطريقة ترابطها، والتشكيلة النسيجية المكونة لشبكة التصريف المائية المتكاملة)، ومن خلال دراسة الخصائص المورفومترية يمكن التعرف إلى أهم ثلاث خصائص في دراسة الأحواض المائية هيدرولوجياً وهي:

- معرفة امتداد وشكل الحوض المائي اللذين يُحددان مقدار الكمية المستقبلة من مياه التساقط المطري.
- معرفة التضاريس، ودرجة الانحدار ومن خلالهما تُحدد سرعة الجريان السطحي للمياه.
- معرفة خصائص شبكة التصريفي المائي، التي تُحدد الفاعلية الهيدرولوجية.

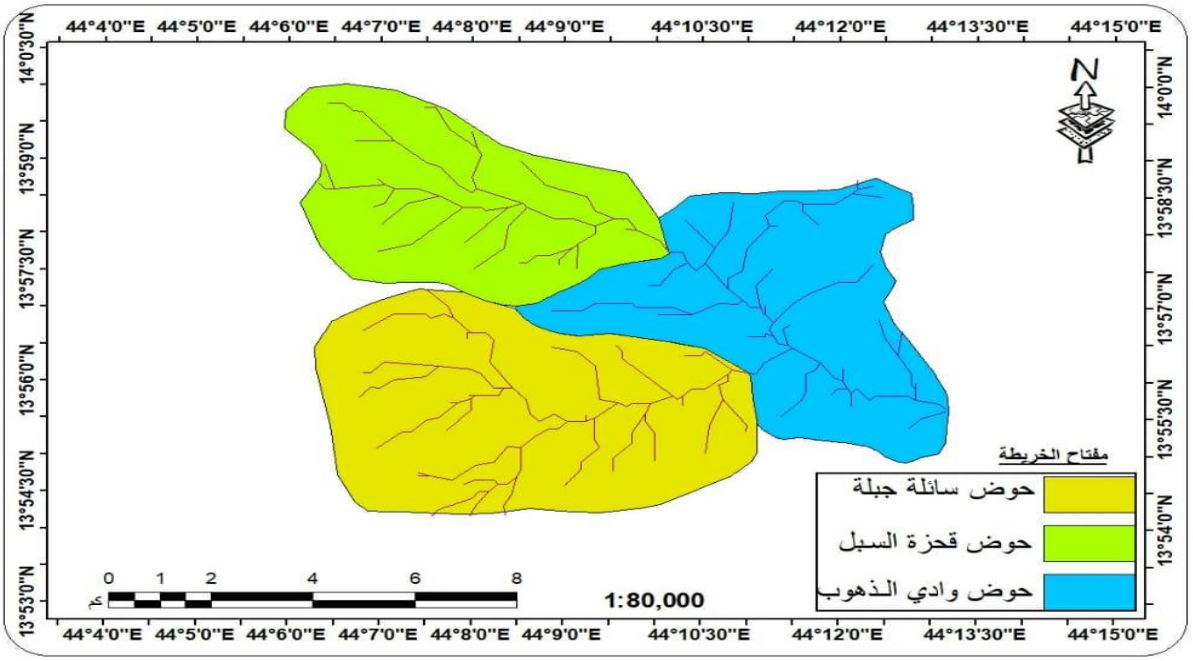
ومن المعروف أن لكل مجرى مائي في أي حوض مائي أياً كانت رتبته حدوداً حوضية يصرف فيها مياهه؛ أي إن عدد الأحواض المائية الصغيرة (ضمن الحوض المائي الرئيسي الكلي للمنطقة) تساوي عدد الروافد المائية مهما كان قياسها. وفي دراستنا هذه تم اعتماد الأحواض الفرعية أنها تلك الأحواض المائية للرتب العليا في الحوض المائي الرئيس لمدينة إب ابتداءً من الرتبة الثالثة حتى الرتبة الخامسة على أن تتصل بالمجرى الرئيس للحوض (المصب الرئيس لجميع الروافد المائية). وعلية فقد تم تقسيم الحوض المائي الكلي لمدينة إب إلى (3) أحواض فرعية كما هي موضحة في الشكل (1) بناءً على أساس التحليل الهيدرولوجي لمنطقة الدراسة، وعلى أن حوض التصريف المائي يُمثل المساحة التي تشمل سمك التصريف المحددة بخط تقسيم المياه، أي بناءً على تحديد المساحة المساهمة في تجميع مياه الجريان السطحي لكل مجرى مائي، علماً بأن التركيز على الأحواض ذات الرتبة العليا له أهمية في حساب التباينات في التغذية المائية والمرتبطة بالمقاييس المورفومترية المستخلصة (Miller, 1953)، وذلك بحكم أن الأحواض ذات الرتب الأقل تصرف مياهها في الأحواض التالية لها في الرتبة؛ وبالتالي فإن أحواض الرتب العليا هي ما ينصب علية الاهتمام في إدارة الأحواض ، وفي هندستها المائية (آل سعود، 2014، ص 24). ومن هذا المنطلق فقد تم تسمية الأحواض الفرعية الثلاثة التابعة للحوض المائي الرئيس لمدينة إب حسب الاسم المشهور به الوادي الرئيس (المجاري المائية ذات الرتب العليا) الموجودة فيها وهي:

1-الحوض الأول حوض وادي سائلة جبلة في الجزء الجنوبي لمدينة إب.

2-الحوض الثاني حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم في الجزء الشرقي لمدينة إب.

3-الحوض الثالث حوض وادي سائلة قحزة-السبل في الجزء الشمالي الغربي لمدينة إب.

وفي هذه الدراسة تم استخراج الخصائص الجيومترية وخصائص شبكة التصريف المائي للحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له بالاستعانة بتحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمدينة إب، واستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وعلى أساس النتائج المستخلصة من تحليل تلك الخصائص تم التوصل إلى فهم الدلائل والمؤشرات الهيدرولوجية لأحواض التصريف المائي لمدينة إب.



الشكل (1): الحوض المائي الرئيس لمدينة إب والأحواض الفرعية التابعة له.
المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام برنامج (Arc GIS 10.8).

مشكلة الدراسة:

تُمثل أحواض التصريف المائية وشبكاتها أبرز المظاهر الجيومورفولوجية لمدينة إب، إلا أنها تفتقر كثيراً إلى الدراسات المتعلقة بخصائص تلك الأحواض التصريفية، وفي ظل غياب محطات الرصد الهيدرولوجية الخاصة بقياس المعاملات والخصائص الهيدرولوجية في مدينة إب، التي تُعاني أيضاً من توسع عمراني كبير، وكثافة سكانية كبيرة جداً مقارنة بمساحتها غير الملائمة للتوسع العمراني، فضلاً عما تعانيه المدينة من أزمة في مياه الشرب؛ نتيجة لانخفاض منسوب المياه الجوفية في الآبار التي تغذي المدينة بمياه الشرب خاصة آبار المياه الجوفية التابعة لمؤسسة المياه والصرف الصحي فرع إب، وبناءً على ما سبق ذكره من المشاكل التي تُعاني منها مدينة إب؛ فيمكن صياغة مشكلة الدراسة بالتساؤلات الآتية:

1-ما الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والمورفومترية للحوض المائي الرئيس لمدينة إب؟

2-ما التقنيات الحديثة التي يمكن الاستعانة بها لمعرفة الخصائص والمعلومات ذات المتغيرات المورفومتترية، والهيدرولوجية الجريانية لمدينة إب التي تُشكل قاعدة بيانات كاملة يمكن توظيفها في مجالات خطط لتحقيق التنمية المستدامة في المدينة؟

3-ما المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجية، التي يمكن الحصول عليها من اشتقاق وقياس وتحليل الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والمورفومترية لأحواض التصريف المائية السطحية لمدينة إب؟

أهمية الدراسة:

تنبع أهمية الدراسة من النقاط الآتية:

1-أنها تستخدم التقنيات الحديثة كتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، لاستخلاص وقياس الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والمورفومترية لشبكة التصريف المائي للحوض المائي الرئيس لمدينة إب ككل وللأحواض الفرعية التابعة له، وإنتاج الخرائط الرقمية لها بجهد أقل ودقة عالية وأكبر من الطرق التقليدية، ومن أجل الاستفادة من نتائجها لاحقاً في أية تطبيقات تتعلق بالتحليل الهيدرولوجي الجرياني (كسرعة واتجاه وتجمع مياه الجريان السطحي)؛ وبناءً على ذلك يمكن الاستفادة من نتائج التقييم

الهيدرولوجي في تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار والسيول بإنشاء تقنيات حصاد المياه (كالسدود الترشيحية، والحواجز والبرك والكرفانات المائية)، فضلاً عن الاستفادة منها في التخطيط العمراني، والحفاظ على مسارات الأودية الموسمية، فضلاً عن وضع الضوابط المطلوبة للحد من احتمالية أخطار حدوث الفيضانات.

2-بنائها قاعدة بيانات جيومترية، ومورفومترية لشبكة التصريف المائية للحوض المائي الكلي لمدينة إب؛ ومن ثم أمكانية توظيفها في مجالات تحقيق خطط التنمية المستدامة لمياه الشرب، وللزراعة.

3-يتوقع أنها تمثل في المستقبل أساساً لعدد من الدراسات الهيدرولوجية الجريانية لأحواض التصريف السطحية لمدينة إب غير المرصودة هيدرولوجياً، التي لها انعكاسات هيدرولوجية على الحوض المائي وعلى مدينة إب.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق ما يأتي:

1-تحديد شبكة التصريف السطحية للحوض المائي الرئيس لمدينة إب باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

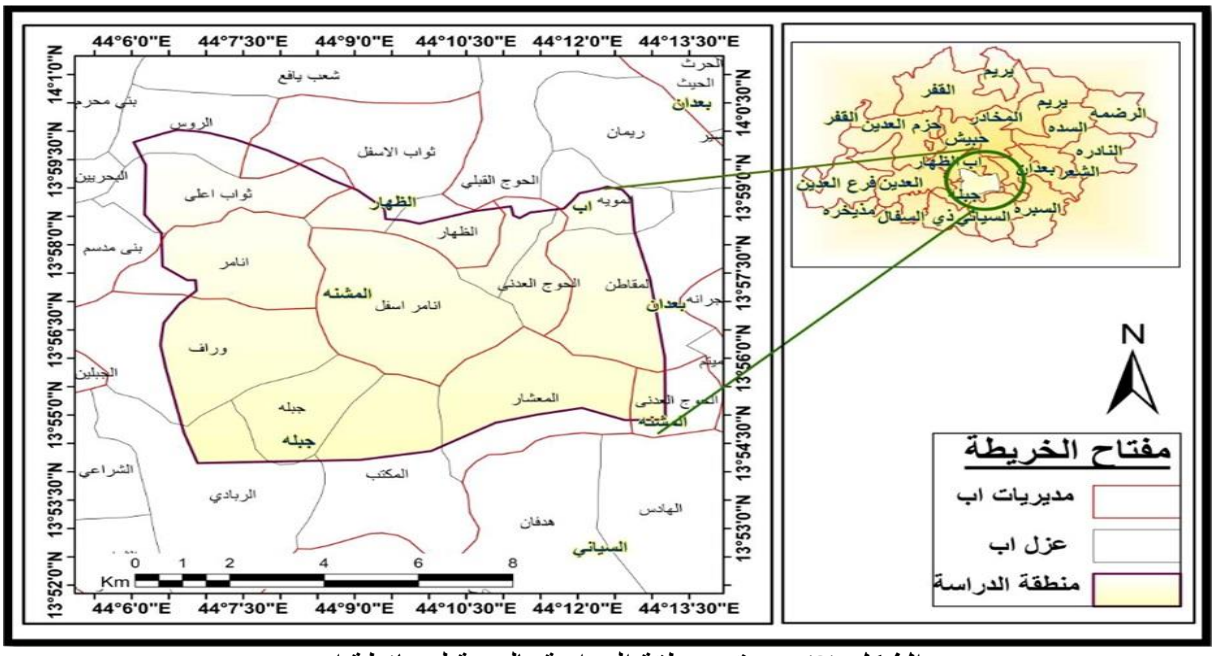
2-اشتقاق وقياس وتحليل الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والمورفومترية للحوض المائي لمدينة إب ككل وللأحواض التصريفية الفرعية التابعة له، واستخلاص المدلولات الهيدرولوجية منها.

3-بناء قاعدة بيانات رقمية للخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائية للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، من خلال تحليل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، وبالاستعانة ببرنامج (Arc GIS 10.8).

منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة المتمثلة بالحوض المائي الرئيس لمدينة إب في مدينة إب مركز محافظة إب الواقعة في الوسط الجنوبي الغربي لليمن؛ ويمتد الحوض المائي لمدينة إب، بين دائرتي عرض (″00 ′54 °13)، (″00 ′00 °14) شمالاً، وبين خطي طول (″00 ′06 °44)، (″30 ′13 °44) شرقاً الشكل (2)، وتبلغ المساحة المدروسة حوالي (95) كم^2، يحدها من الشمال وادي السحول ومن الشرق جبل بعدان ومن الجنوب سلسة من الجبال العالية التي تتبع مديرية جبلة، ويحدها من الغرب سلسلة جبلية تمتد من منطقة السبل إلى منطقة قحزة، ويبلغ عدد السكان في مدينة إب حوالي مليون نسمة وفقاً لتقديرات الجهاز المركزي للإحصاء لعام 2021م. وتتميز منطقة الدراسة بأمطارها الغزيرة خصوصاً في فصل الصيف التي تسقط بشكل زخات قوية لا تستطيع التربة امتصاصها كلها؛ فتسيل على سطح الأرض وتعمل على جرف التربة (خليط من الحطام الصخري والرمل والطين) من سفوح المرتفعات الجبلية؛ إذ سُجل متوسط الساقط المطري السنوي لعام 2019م لمدينة إب بنحو (1039.8) ملم/سنة، ويبلغ متوسط درجة الحرارة للشهر الدافئ (°25) مئوية، ودرجة الحرارة الصغرى (°19) مئوية، ومتوسط درجة الحرارة للشهر البارد (°13.3) مئوية (العمامي، 2021،ص 27,23). وتم تقسيم منطقة الدراسة المتمثلة بالحوض المائي الرئيس لمدينة إب إلى (3) أحواض فرعية للتصريف المائي، الحوض الأول: حوض وادي سائلة جبلة، وتبلغ مساحته (38) كم^2، ويشمل أراضي القسم الجنوبي والجنوبي الغربي لمدينة إب، وجميع المجاري المائية فيه تصب في المجرى المائي الرئيس للحوض المعروف بسائلة جبلة والمتمثلة بالرتبة الرابعة، أما الحوض الثاني فهو حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم، فيغطي أغلب أراضي القسم الشرقي للمدينة ووسط المدينة بمساحة (31) كم^2، وتصب المجاري المائية فيه بالمجرى الرئيس لوادي ميتم والمتمثلة في الرتبة الخامسة، بينما يُغطي الحوض الثالث: حوض وادي سائلة قحزة-السبل أغلب أراضي القسم الشمالي والشمالي الغربي وتبلغ مساحته (26) كم^2،

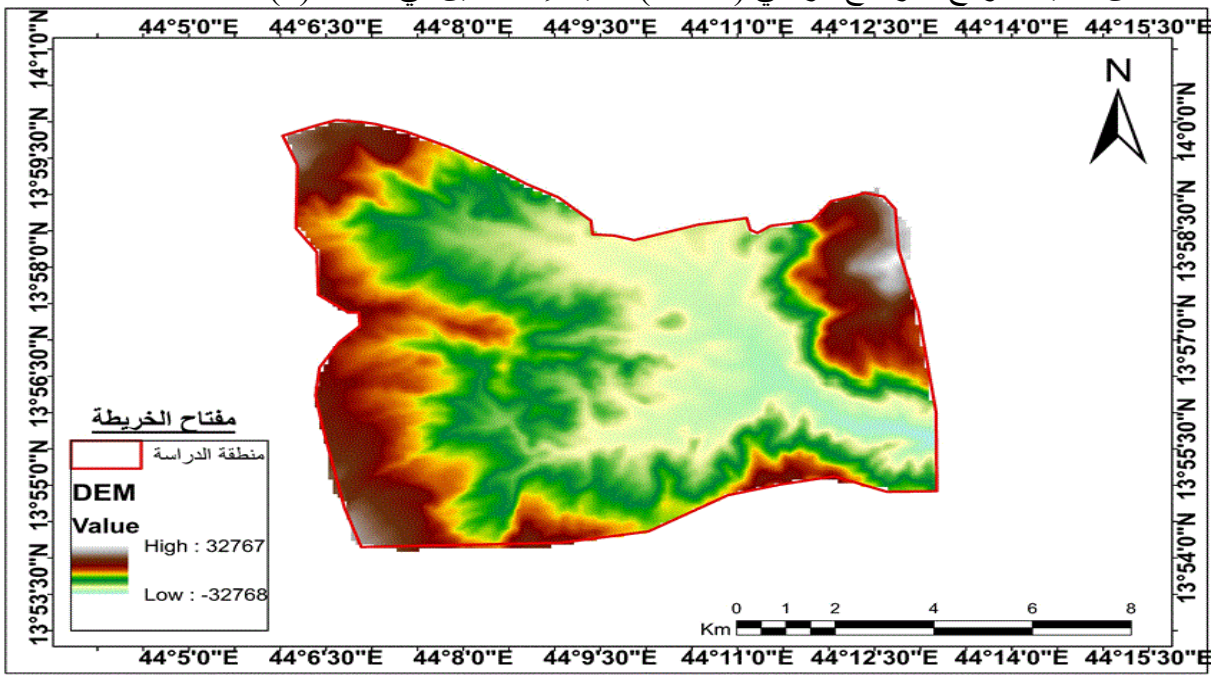
والمجرى المائي الرئيس لهذا الحوض الذي تصب فيه جميع المجاري المائية يعرف بسائلة قحزة-السبل والمتمثلة بالرتبة الرابعة كما هي موضحة في الشكل (1).



الشكل (2): موقع منطقة الدراسة بالنسبة لمحافظة إب.
المصدر: الباحثان باستخدام. Arc GIS 10.8

منهجية الدراسة:

تم في هذه الدراسة استخدام المنهج الوصفي، والمنهج التحليلي، وذلك لوصف الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والمورفومترية لأحواض التصريف المائية لمدينة إب وتحليلها وتفسيرها إلى جانب الاستفادة من التقنيات الحديثة وتوظيفها في أطار متكامل لتحقيق الهدف الرئيس من هذه الدراسة والمتمثلة في الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ للوصول إلى النتائج المرجوة من الدراسة ابتداءً من تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمدينة إب المبين في الشكل (3).



الشكل (3): نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة.
المصدر: (ناجي والورافي، 2022، ص 555).

1.تحليل الخصائص الجيومترية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب:

تُعنى الخصائص الجيومترية للحوض المائي بالشكل الهندسي للحوض؛ إذ إن تحليل المواصفات الجيومترية للأحواض المائية تُساعد في تقييم آلية تصريف المياه من الروافد ذات الرتب الصغيرة إلى المجرى الرئيس؛ وبالتالي يمكن من خلالها تقدير الفترات الزمنية لوصول المياه، وكذلك حجم التدفق المائي بعد الأخذ بعين الاعتبار مجموعة من العوامل أهمها: انحدار الأسطح ضمن الحوض المائي. وفي هذه الدراسة تم تحليل الخصائص الجيومترية للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له كما هو موضح أدناه والمبينة في الجدول (1)، والجدول (2).

1.1.تحليل الأبعاد الرئيسة للحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له:

1.1.1.مساحة أحواض التصريف المائي:

تُعد مساحة الحوض من الخصائص المؤثرة على حجم التصريف المائي النهائي للحوض؛ فكلما كبرت مساحة الحوض زادت كمية ما يستقبله الحوض من أمطار؛ ما يؤدي إلى زيادة حمولة الوادي من الرواسب، وزيادة احتمال ارتفاع الفيضانات مع الأخذ بعين الاعتبار ثبات المتغيرات الأخرى مثل: نوع الصخر وتركيبته، والتضرس، وشكل التصريف، ومن ثم فإن هنالك علاقة طردية بين المساحة الحوضية وحجم التصريف المائي لشبكة التصريف النهري (آل سعود، 2014، ص 25). وقد تم حساب مساحة الحوض المائي الكلي لمدينة إب، الذي يشمل مساحة الأحواض الفرعية الثلاثة التابعة له؛ حيث تقدر بحوالي (95) كم^2، وتتوزع على الأحواض الفرعية كما هي موضحة في الشكل (1)، وبالجدول (1) أدناه، حيث بلغت مساحة حوض وادي سائلة جبلة (38) كم^2، وبذلك يعتبر هذا الحوض أكبر الأحواض من حيث مساحة التصريف في منطقة الدراسة؛ وبناء على ذلك يعد من أكبر الأحواض من حيث كمية الجريان السطحي للمياه.

وعموماً تُعتبر أحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة أحواض صغيرة في الامتداد المساحي؛ ولعل السبب في ذلك يعود إلى الظروف الجيولوجية البنيوية (التركيبية) للمنطقة، وللنشاط البركاني الكبير الذي حدث في العصر الثلاثي وبداية العصر الرباعي اللذين كان لهما الدور الكبير في تكون السلاسل الجبلية المرتفعة، التي تُعتبر من أهم المظاهر الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة، وأسهمت مع التشققات والفواصل في صخور المنحدرات الجبلية في قلة أعداد المجاري الأولية فيها خاصة أعداد الرتبة الأولى، وقصر أطوالها، نتيجة ظاهرة التنافس التي نشأت بين المجاري الأولية على المسافات والمساحات الفاصلة بين الأحواض في مناطق الصراع الهيدرولوجي والمتمثلة بمناطق تقسيم المياه؛ ما أدى إلى تنشيط عمليات الحث التراجعي، وتوسيع الوديان الرئيسة (ذات الرتب العالية) في الحوض المائي الكلي لمدينة إب.

الجدول (1): الأبعاد الرئيسة للحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	مساحة الحوض كم^2	طول الحوض كم	عرض الحوض كم	طول محيط الحوض كم	المحيط/المساحة كم	المساحة/الطول (متوسط عرض الحوض كم)
1-حوض وادي سائلة جبلة	38	8	4	24.08	0.63	4.75
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	31	7	4	27.16	0.9	4.43
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	26	8	3	21.26	0.8	3.3
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	95	23	11	72.5	0.8	12.48

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

1.1.2.أطوال أحواض التصريف المائي:
يُقاس هذا البعد الجيومتري بخط مستقيم على امتداد المجرى الرئيس من نقطة المصب إلى أعلى نقطة في الحوض (ويمكن قياس أقصى طول للحوض المائي من أعلى وأقل نقطة ارتفاع في الحوض). وللطول الأقصى للحوض دور مهم في هيدرولوجية المجاري المائية؛ حيث يتحكم بمدة تفريغ الحوض لمياهه وحمولته من الرواسب المنقولة، وكذلك من خلال سرعة جريان المياه (زمن التركيز)، وزمن الترشيح (زمن التسريب المائي لباطن الأرض)، وزمن التبخر-النتح.
ومن خلال الجدول (1) نلاحظ أن طول الحوض المائي الكلي لمدينة إب بلغ (23) كم، أما حوض وادي سائلة جبلة وحوض وادي سائلة قحزة-السبل فقد بلغ طول كل منهما (8) كم بالرغم من اختلافهما من حيث المساحة، بينما بلغ طول حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (7) كم.

1.1.3.متوسط عرض أحواض التصريف المائي:
يؤثر هذا المقياس على كمية المياه المتساقطة من الأمطار، وعلى حجم التدفق المائي، والتسرب، والتبخر-النتح؛ فكلما زاد عرض الحوض زاد ما يتلقاه من الساقط المطري؛ ومن ثم زيادة الجريان السطحي للمياه. ومن المعروف أن الأحواض العريضة نسبياً تصل فيها المياه إلى المجرى الرئيس في وقت واحد تقريباً؛ ما يؤدي إلى زيادة حمولة المجرى الرئيس والتي تتركز في فترة زمنية محددة، ويعمل ذلك بدوره على زيادة حجم الرواسب المنقولة التي يحملها الوادي أيضاً. أما الأحواض التي تتميز بزيادة طولها مقارنة بعرضها (كما هو حاصل في أحواض منطقة الدراسة)؛ فإنها تتميز بوصول المياه إلى المجرى الرئيس في أوقات مختلفة؛ ومن ثم يستمر الجريان السطحي للمياه لمدة أطول مع انخفاض قيمة الفيض المائي (آل سعود، 2014، ص 26).
علماً بأن متوسط عرض الحوض يُعبر عنه بالنسبة ما بين محيط الحوض والمساحة، وهذه النسبة تُستخدم في تقييم تعرج الحدود الخارجية للحوض؛ فكلما زادت هذه النسبة زاد معها معدل التعرج لمحيط الحوض، والعكس صحيح، ويمكن حساب متوسط عرض الحوض المائي من خلال المعادلة الآتية: متوسط عرض الحوض المائي = مساحة الحوض (كم^2)/طول الحوض (كم)، وعند تطبيق هذه المعادلة على أحواض منطقة الدراسة تم التوصل إلى النتائج الموضحة في الجدول (1)، حيث سجل الحوض المائي الكلي لمدينة إب متوسط عرض بلغ (12.48) كم؛ ما يعني ازدياد تعرج خط تقسيم المياه، وزيادة محيط الحوض الكلي لمدينة إب، أما حوض وادي سائلة جبلة فقد بلغ متوسط عرضه (4.75) كم، وهو يُسجل بذلك أعلى معدل تعرج لمحيط الحوض؛ حيث بلغ متوسط عرض حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (4.43) كم، بينما متوسط عرض حوض وادي سائلة قحزة-السبل؛ بلغ (3.3) كم.
فضلاً عن استخدام المعادلة السابقة في حساب متوسط عرض المحيط تم الاعتماد على برنامج (Arc GIS 10.8) ومن طبقة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في استخراج عرض الأحواض التصريفية لمدينة إب كما هو مبين أيضاً في الجدول (1)، حيث نجد أن عرض الحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغ (11) كم، أما حوض وادي سائلة جبلة فقد بلغ عرضه (4) كم، وبلغ حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم أيضاً (4) كم، بينما بلغ عرض حوض وادي سائلة قحزة-السبل (3) كم، وبناءً على ذلك يتبين أن عرض أحواض التصريف في منطقة الدراسة متباينة بشكل بسيط جداً؛ ما يؤدي إلى تقارب في الجريان المائي السطحي لاسيما بعد العاصفة المطرية؛ وقد يرجع ذلك إلى طبيعة الصخور المتشابهة في المنطقة، أو قد يرجع هذا التقارب في عرض الأحواض إلى تماثل نشاط شبكة المجاري المائية في الأحواض الفرعية لمدينة إب، وتشابه فاعليتها في توسع ونمو المجاري المائية من خلال تشابه عوامل وظروف الحث التراجعي والجانبي السائدة في تلك الأحواض، أو قد يكون سبب التماثل في عرض الأحواض الفرعية التابعة للحوض المائي لمدينة إب الذي يُعود إلى شدة انحدار المنحدرات الجبلية المطلة على تللك الأحواض، وإلى تساقط كميات متساوية من الأمطار في مناطق تقسيم المياه؛ ما يؤدي إلى اتساع تلك الأحواض بنفس النسبة.

1.1.4.محيط أحواض التصريف السطحي:
يُقصد بمحيط الحوض: الحدود الخارجية للحوض التي تفصله عن بقية الأحواض الأخرى المجاورة له (خط تقسيم المياه)؛ فكلما زاد طول محيط الحوض المائي؛ زادت معه مساحة الحوض (زاد أتساع الحوض). وقد تم استخراج أطوال محيط لأحواض منطقة الدراسة اعتماداً على برنامج (Arc GIS 10.8) ومن طبقة

نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، والموضحة في الجدول (1)، حيث نلاحظ وجود تباين بسيط بين الأحواض الفرعية التابعة للحوض المائي الكلي لمدينة إب على أساس طول المحيط لكل منها؛ ويعُود سبب هذا التباين البسيط إلى الاختلاف الصغير في عدد المراتب النهرية في كل حوض، وقد بلغ طول المحيط للحوض المائي الكلي لمدينة إب (72.5) كم لكُبر مساحته مقارنة بمساحة الأحواض الفرعية؛ وبالتالي ازدياد تعرج خط تقسيم المياه، وزيادة محيط الحوض الكلي لمدينة إب.

1.2.تحليل الخصائص الشكلية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب:

تُؤدي السمات الشكلية لأحواض التصريف المائي دوراً مهماً في تحديد مياه الأحواض، وتحديد كمياتها؛ نظراً لارتباطها بمساحات وأبعاد هذه الأحواض، وتُفيد الخصائص الشكلية في تحديد الخصائص الهيدرولوجية لها؛ إذ يرتبط الشكل العام للحوض المائي بالعوامل الجيومورفولوجية، والمناخية القديمة وهو يتحكم بشكل رئيس في آلية تدفق المياه من تصريف، وسرعة جريان المياه في الروافد، فضلاً عن وقت وصولها إلى المصب. ويتم عادة تقييم شكل الحوض من خلال مقارنته بالأشكال الهندسية الشائعة (الدائرة، المثلث، المستطيل، المخروط)، فإذا كان شكل الحوض– مثلاً- دائرياً، فإن مياه الحوض تصل إلى المصب الرئيس في نفس الوقت تقريباً؛ ومن ثم يحدث ارتفاع سريع في منسوب المياه (جريان مائي غير منتظم زمانياً وكمية التصريف تكون عالية)، أما إذا كان شكل الحوض مستطيلاً أو قريباً منه فيتميز بفيضانات أقل خطراً، وبطول مدة التصريف التي تتناسب طردياً مع مدى استطالة الحوض، كما يكون تصريف المياه من الحوض على شكل دفعات (تدفقات) مائية متواصلة ومتقاربة في الحجم؛ وذلك لوصول المياه إلى المصب الرئيس للحوض بشكل متتالٍ، وزمن متعاقب (Morisawa, 1968)؛ إي إن الأحواض ذات الشكل المستطيل تكون ذات جريان مائي منتظم زمانياً وكمية التصريف تكون واطئة، فضلاً عن بطء وصول المياه من المنبع إلى المصب خلال جريانها بسبب تعرضها إلى عاملي التبخر والتسرب إلى باطن الأرض (عبدالله وسلمان، 2015، ص 422)، بينما في حالة أن يكون شكل الحوض مخروطي فهنالك حالتان: الأولى إذا كان رأس المخروط هو المصب؛ فإن المياه تصل إلى المصب في فترة زمنية طويلة، والأخرى إذا كان المصب على الجهة العريضة للحوض؛ فإن المياه تصل إلى المصب الرئيس بشكل سريع (آل سعود، 2014، ص 27).

وفي هذه الدراسة تم تحديد الخصائص الشكلية للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية؛ كما هي موضحة في الجدول (2)، أدناه:

الجدول (2): الخصائص الشكلية للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	نسبة تماسك المساحة (نسبة الاستدارة)	نسبة تماسك المحيط	نسبة الاستطالة	معامل شكل الحوض	معامل التفلطح (الانبعاج)
1-حوض وادي سائلة جبلة	0.82	1.10	0.87	0.59	0.42
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	0.53	1.37	0.9	0.63	0.4
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	0.72	1.18	0.72	0.41	0.62
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	0.23	2.09	0.48	0.18	1.39

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

1.2.1.نسبة تماسك المساحة (نسبة الاستدارة):

تُشير نسبة الاستدارة إلى مدى اقتراب أو ابتعاد الحوض المائي من الشكل الدائري، وانتظام تقسيم المياه، وتحسب من خلال نسبة مساحة الحوض إلى مساحة دائرة لها نفس محيط الحوض (Cooke, 1974, P 11). وتتراوح قيم نسبة تماسك المساحة ما بين (1-0)؛ فكلما اقتربت قيمة معامل الاستدارة من الواحد الصحيح، اقترب الحوض المائي من الشكل الدائري (يكون الشكل قريباً من الاستدارة)، وكلما ابتعدت القيمة عن واحد صحيح؛ ابتعد الحوض عن الشكل الدائري.

وفي هذه الدراسة تم احتساب نسبة تماسك المساحة لأحواض التصريف من خلال المعادلة الآتية: نسبة الاستدارة = 12.57 × مساحة الحوض كم^2/(محيط الحوض كم^2)^2 (Pareta, 2012, PP 47-62). وكانت النتائج المستخلصة لنسبة الاستدارة كما هي مبينة في الجدول (2)، حيث وجد أن نسبة تماسك المساحة للحوض المائي الكلي لمدينة إب تساوي (0.23) فهي أدنى نسبة استدارة، وبلغت في حوض وادي سائلة جبلة (0.82)، وفي حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم بلغت النسبة (0.53)، أما حوض وادي سائلة قحزة-السبل فسجل نسبة بلغت (0.72)، ومن ذلك نستنتج أن جميع أحواض التصريف المائية لمنطقة الدراسة بعيدة عن الشكل الدائري، مع وجود تباين في نسبة تماسك المساحة لكن بشكل بسيط، وميلها إلى شكل المستطيل؛ لأن قيم نسبة تماسك المساحة للأحواض المدروسة كانت منخفضة ومبتعدة عن قيمة الواحد الصحيح، وبناءً على ما سبق ذكرة فإن أهم المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجية المستنبطة من نتائج نسبة الاستدارة للأحواض المدروسة تتلخص في: عدم انتظام خطوط تقسيم المياه المحيطة بالأحواض، فضلاً عن طول المجاري المائية الرئيسة، وقصر أطوال الروافد الفرعية وزيادة أعدادها، وهذا يُشير إلى بساطة انحدار المجاري المائية الرئيسة للأحواض، وانخفاض تصريفها بشكل عام (أي انخفاض قيمة الفيض المائي).

1.2.2.نسبة تماسك المحيط:

نسبة تماسك المحيط= 1/(نسبة تماسك المساحة)^{½} (Miller, 1953)، والناتج من تطبيق هذه المعادلة يكون أكبر من الواحد الصحيح، فكلما ارتفعت قيمة نسبة تماسك المحيط كانت مؤشراً إلى اقتراب الحوض المائي من شكل المستطيل، وابتعاده عن الشكل الدائري. وعند تطبيق المعادلة السابقة كانت نتائج الحسابات لنسبة تماسك المحيط لأحواض منطقة الدراسة والمسجلة في الجدول (2)، حيث نلاحظ أن نسبة تماسك المحيط للحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغت (2.09)؛ ما يدل على ابتعاد الحوض الكلي عن الشكل الدائري واقتراب الحوض من شكل المستطيل، نلاحظ أيضاً أن قيم نسبة تماسك المحيط للأحواض الثلاثة الفرعية التابعة للحوض المائي الكلي لمدينة إب أكبر من الواحد الصحيح؛ ما يشير إلى ابتعادها عن الشكل الدائري وقربها من الشكل المستطيل، وبناءً على ذلك فإن أهم مدلولاتها الهيدرولوجية المستخلصة من نتائج نسبة تماسك أحواض التصريف لمدينة إب تكمن في: احتمالية انخفاض خطر حدوث الفيضانات في تلك الأحواض، بسبب انخفاض كميات تصريفها.

1.2.3.نسبة الاستطالة:

وفي هذه الدراسة تم احتساب نسبة الاستطالة لأحواض التصريف في مدينة إب من خلال تطبيق المعادلة الآتية: E= √A * 1.128 / L (Gregory & Walling, 1975, P 51)؛ حيث تصف نسبة استطالة الحوض المائي مدى اقتراب امتداد مساحة الحوض مقارنة مع الشكل المستطيل أو قريبة منه، وتنحصر قيم نسبة الاستطالة ما بين (1-0)، إذ يكون شكل الحوض المائي قريباً من الاستطالة عند ابتعاد قيمة معدل الاستطالة عن الواحد الصحيح، واقترابها من الصفر؛ ما يعني اقتراب الحوض من الشكل المستطيل، وكلما اقتربت النسبة من الواحد الصحيح دل ذلك على اقتراب الحوض من الشكل الدائري. وعند تطبيق المعادلة السابقة كانت نتائج الحسابات لنسبة استطالة أحواض منطقة الدراسة والموضحة في الجدول (2)، حيث نلاحظ أن هناك تبايناً بين الأحواض من حيث نسبة الاستطالة؛ إذ بلغت أدنى نسبة الاستطالة في الحوض الكلي لمدينة إب (0.48)، وبلغت في حوض وادي سائلة جبلة (0.87)، أما في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم فقد بلغت (0.9)، وهي أعلى نسبة استطالة، أما حوض وادي سائلة قحزة-السبل فبلغت (0.72)، وأخيراً بلغ المعدل العام لقيمة نسبة الاستطالة للأحواض المدروسة (0.8). وعلى الرغم من هذا التباين بين الأحواض المائية فإن كل قيم نسبة الاستطالة فيها منخفضة وقريبة من الصفر؛ وهذا يُشير إلى أن جميع الأحواض المائية لمنطقة الدراسة تميل إلى الاستطالة نوعاً ما (أي الاقتراب من الشكل المستطيل)؛ لاختلاف عرضها مع امتدادها الطولي (لزيادة طول الأحواض المدروسة مقارنة بعرضها)، وابتعادها عن الشكل الدائري.

ومن أهم المدلولات الهيدرولوجية المستنتجة من احتساب قيم نسبة الاستطالة لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب: إن زيادة استطالة أحواض التصريف السطحي لمدينة إب أدى إلى زيادة مساحة الجريان المائي من المنبع إلى المصب، ووصول المياه على شكل دفعات متدفقة (متتالية)، متقاربة في الحجم (أي كمية

التصريف تكون واطئة)، وبزمن متعاقب (أي بطء وصول المياه من المنبع إلى المصب)؛ ما يُشير إلى زيادة الضائعات المائية من خلال تسرب المياه إلى باطن الأرض أو عن طريق تبخرها بواسطة الحرارة؛ وبذلك تقل كمية جريان المياه السطحية في الحوض المائي الكلي لمدينة إب، وهذا يؤثر إيجابياً على عمليات حصاد المياه لغرض تغذية خزانات المياه الجوفية، فضلاً عن أن زيادة استطالة الأحواض المدروسة؛ تؤدي إلى انخفاض دلالة خطر حدوث الفيضان فيها.

1.2.4.معامل الشكل:

معامل الشكل للحوض المائي: عبارة عن النسبة ما بين مساحة الحوض المائي (كم^2) إلى ضعف المسافة ما بين أبعد نقطتين في الحوض (كم) (Horton, 1932, PP 350-361)،

$F = A / L^2$ حيث إن: F= معامل الشكل، A= مساحة الحوض كم^2، L= طول الحوض كم، يُمثل هذا المعامل مقياساً للعلاقة بين عرض الحوض وطوله، ويُشير إلى مدى اقتراب أو ابتعاد شكل الحوض من الشكل المثلث، وتتراوح قيم معامل شكل الحوض المائي ما بين (1-0)؛ فكلما اقتربت القيمة من الصفر؛ دل ذلك على اقتراب شكل الحوض من شكل المثلث (وتدل أيضاً على صغر المساحة الحوضية نسبة إلى طول الحوض)، وكلما ابتعدت قيمة معامل الشكل عن الصفر دل ذلك على ابتعاد الحوض من الشكل المثلث.

والدلالة الهيدرولوجية لقيمة معامل الشكل تأتي من خلال حالتين: الحالة الأولى، عندما تكون منطقة المنبع رأس المثلث ومنطقة المصب قاعدة المثلث؛ ومن ثم فإن التصريف المائي يزيد بعد سقوط الأمطار مباشرة مؤدياً إلى ارتفاع منسوب الماء بشكل سريع؛ أي: زيادة خطر حدوث الفيضان؛ إذ تصل الموجات المائية بسرعة كبيرة إلى المجرى الرئيس؛ وذلك لقرب الروافد والمسيلات من المصب الرئيس (Gregory and Walling, 1973, P 269)، أما الحالة الأخرى فعندما تُشكل منطقة المنبع (مناطق تقسيم المياه) قاعدة المثلث، والمصب يُشكل رأس المثلث كما هي الحال في معظم أحواض التصريف في منطقة الدراسة؛ وذلك يُشير إلى انخفاض احتمالية خطر حدوث الفيضان في الأجزاء الدنيا من أحواض منطقة الدراسة؛ لبطء سرعة وصول موجات المياه عند التساقط الشديد إلى المجرى الرئيس ضمن الأحواض؛ وذلك لاتساع مساحة الأحواض نحو الأعلى وضيقها عند المصبات، وأيضاً يُشير إلى بطء في سرعة الجريان المائي السطحي في الحوض من المنبع إلى المصب؛ ما يؤدي إلى زيادة الفاقد المائي بسبب تسرب مياه الجريان لباطن الأرض بواسطة الترشيح أو بواسطة تبخر المياه بفعل الحرارة.

ومن خلال حساب قيم معامل الشكل للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له والموضحة في الجدول (2)؛ يتضح أن قيمة معامل الشكل للحوض الكلي لمدينة إب بلغت (0.18)، وفي حوض وادي سائلة جبلة (0.59)، وبلغ في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (0.63)، بينما بلغ حوض وادي سائلة قحزة-السبل (0.41)، وبناءً على ذلك فإن قيم معامل الشكل للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له منخفضة؛ ما يعني اقتراب شكل تلك الأحواض من شكل الهندسي للمثلث، علاوة على أن مناطق المنابع (مناطق تقسيم المياه) في تلك الأحواض تُشكل قاعدة المثلث، بينما منطقة المصب تُشكل رأس المثلث.

والدلالة والمؤشر الهيدرولوجي لانخفاض قيم معامل الشكل في أحواض تصريف مدينة إب: تُشير إلى يحتاج التصريف المائي إلى فترة زمنية طويلة لوصول الذروة أولاً ثم الوصول إلى منطقة المصب ثانياً؛ ما يؤدي إلى انخفاض خطر حدوث الفيضان في الأجزاء الدنيا من الأحواض؛ لانخفاض سرعة وصول موجات المياه عند التساقط المطري الشديد إلى المجرى الرئيس ضمن الأحواض؛ وذلك نتيجة لامتداد واتساع مساحة الأحواض نحو الأعلى وضيقها عند المصاب؛ ونتيجة ما سبق تقل سرعة الجريان السطحي للمياه، وزيادة الفواقد (الضائعات) المائية.

1.2.5.معامل التفلطح (الانبعاج):

المعادلة التالية تُستخدم لاحتساب قيم معامل الانبعاج والتفلطح لأي حوض مائي: (Gregory & Walling, 1975, P 51) $K = L^2/4A$، ويُعبر هذا المعامل عن العلاقة ما بين طول الحوض المائي (كم) ومساحته (كم^2)، وهو يختلف عن المعاملات السابقة الذكر (المعاملات المرتبطة بالأشكال الهندسية)؛ كون معامل التفلطح يقارن شكل الحوض المائي بالشكل الكمثري؛ إذ تدل قيمة معامل التفلطح المنخفضة على تفلطح الحوض(ميل الحوض للاستدارة أكثر منة إلى الاستطالة)، وزيادة في أعداد المجاري المائية

الأولية، وأطوالها في مكان ما من الحوض دون سواه، وعلى أحد جانبي الحوض أو كليهما؛ (أي تطور الشبكة المائية في المنطقة بفعل نشاط عمليات الحت التراجعي والتصدع)، وتُعد قيم معامل الانبعاج الواقعة دون الواحد الصحيح ذات دلالة مؤكدة على تفلطح الحوض، ويحدث عكس ما ذُكر آنفاً عندما تكون قيم مرتفعة معامل الانبعاج مرتفعة.

وعند تطبيق معادلة معامل الانبعاج على أحواض منطقة الدراسة، تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (2)؛ فقد بلغت قيمة معامل الانبعاج للحوض المائي الكلي لمدينة إب (1.39)، وهي قيمة مرتفعة تدل على أن الشكل العام للحوض الكلي لمدينة إب غير متفلطح، وهو ما يتفق مع ميل شكل الحوض الكلي لمدينة إب إلى الاستطالة، أما أحواضه الفرعية، فحوض وادي سائلة جبلة بلغت نسبة التفلطح فيه (0.42)، وبلغت في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (0.4)، بينما بلغت في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (0.62)، وجميع تلك القيم لمعامل انبعاج الأحواض الفرعية منخفضة تُشير إلى تفلطح الشكل العام لتلك الأحواض بنسب قليلة، وقلة تناسقها من حيث الشكل، واتجاهها إلى الاستطالة أكثر منه إلى الاستدارة.

وفي ضوء ما تم ذكره سابقاً من النتائج المستخلصة من الخصائص الشكلية للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له يمكن الاستنتاج بأن جميع الأحواض تميل نحو الاستطالة أكثر من الاستدارة، مع وجود استدارة بسيطة في بعض أجزائها، وبروز حالة عدم انتظام في عرض الحوض المائي على طول امتداده من منطقة تقسيم المياه حتى المصب، أوجدت شكلاً قريباً من المثلث، التي شكلت التراكيب المحدبة للمنحدرات الجبلية والموزعة في السلاسل الجبلية لمنطقة الدراسة مناطق قاعدة للأحواض المائية لمدينة إب؛ ما جعل تلك الأحواض تتصف بجريانات مائية منتظمة من الناحية الزمانية وبكميات تصريفية قليلة مقارنة مع الأشكال الحوضية الدائرية أو القريبة من الدائرية؛ ويُعزى ذلك إلى تعرض جزء من الكميات التصريفية للمياه إلى عاملي الترشيح والتبخر في أثناء جريان المياه من منطقة المنبع إلى منطقة المصب الرئيس للحوض المائي الكلي لمدينة إب.

وعلى أساس النتائج المستخلصة من تحليل الخصائص الشكلية للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له؛ تم التوصل إلى أهم المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجية لها التي يمكن تلخيصها في الآتي:

1- زيادة مساحة أحواض التصريف لمدينة إب نحو المنبع وضيقها عند المصب.

2- زيادة مسافة الجريان السطحي المائي من المنبع إلى المصب الرئيس.

3- انخفاض كميات التصريف المائي، وتصريفها على شكل دفعات وتدفقات مائية متقاربة في الحجم، ووصول المياه إلى المصب بشكل متتالي.

4- انخفاض كمية الجريان المائي السطحي، وبطء وصولها من المنبع إلى المصب؛ لبطء سرعة الجريان السطحي للمياه.

5- انخفاض احتمالية دلالة خطر حدوث الفيضان المائي؛ لأن التصريف المائي يحتاج إلى فترة زمنية طويلة لوصول الذروة أولاً ثم الوصول إلى منطقة المصب ثانياً.

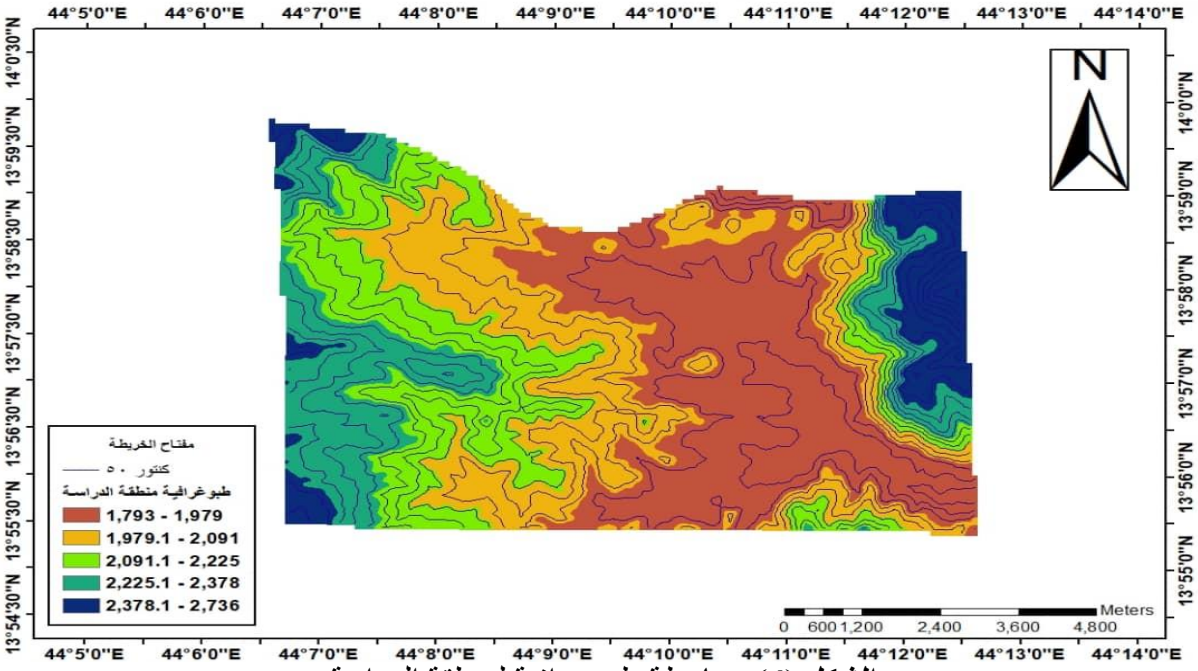
6- زيادة الفواقد (الضائعات) المائية من خلال تسرب المياه إلى باطن الأرض أو عن طريق التبخر.

7- زيادة طوال المجاري الرئيسة للأحواض التصريفية لمدينة إب، وقصر أطوال الروافد الفرعية لها، وزيادة أعدادها؛ وذلك لبساطة انحدار المجاري الرئيسة وانخفاض تصريفها بشكل عام.

2.تحليل الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب:

لخصائص المورفومترية التضاريسية أهمية كبيرة في الدراسات الهيدرولوجية؛ إذ يمكن من خلال نتائج تحليلها فهم الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة الشكل (4)، التي لها أهمية كبيرة في تحديد معالم الشبكة المائية لأحواض التصريف السطحي، وتطورها، والهيدرولوجية الجريانية للحوض المائي مثل: تحكم تضاريس أحواض التصريف بمدى تركز أو توزيع وقت التصريف المائي داخل الأحواض (Langbein, 1947, P 125). كما تعكس السمات التضاريسية (نسبة التضرس، ومعدل النسيج الطبوغرافي) كل من: الظروف الجيولوجية، والجيومورفولوجية لمناطق هذه الأحواض، وتهدف دراسة السمات التضاريسية عادة إلى إظهار المدى الذي وصل إليه تقطيع المنطقة بواسطة عمليات التعرية السائدة

في تلك الأحواض، وتتمثل في منطقة الدراسة بشبكة تصريف أودية الحوض المائي لمدينة إب، وعموماً تعكس السمات التضاريسية مدى تأثر هذه العمليات ببنية وجيولوجية المنطقة.
ومن أهم الخصائص التضاريسية التي سوف يتم دراستها وتحليلها في هذه الدراسة ولها دور في تحديد معدلات النحت والجريان السطحي للمياه في الحوض المائي لمدينة إب والأحواض الفرعية التابعة له ما يأتي:



الشكل (4): خارطة طبوغرافية لمنطقة الدراسة.
المصدر: (ناجي والورافي، 2022، ص 556).

2.1.نسبة التضرس (معامل التضرس):

تُعد نسبة التضرس مقياساً مهماً لمعرفة طبيعة طبوغرافية أية منطقة، وتُعبر عن مدى تضرس الحوض التصريفي بالنسبة لطول الحوض، وهي تُشير بصورة مباشرة إلى درجة انحدار سطح الحوض (Verstaphen, 1983, PP 193-211)، كما أنها تعتبر مؤشراً جيداً لتخمين كمية الرواسب المنقولة (تزداد نسبة الرواسب المنقولة مع زيادة نسبة التضرس، كما تسهم في زيادة سرعة الجريان السطحي للمياه) (Strahlar, 1957, PP 913- 920).
ونسبة التضرس: عبارة عن نسبة الفارق بين أعلى وأدنى نقطة ارتفاع في الحوض المائي (م) (ارتفاع الحوض)، وطول الحوض (كم) (أطول بُعد في الحوض موازياً للمجرى المائي الرئيس للحوض). وتدل القيم المتدنية لنسبة التضرس على أن المنطقة المدروسة قليلة الانحدار، أو أرض شبه مستوية وأن سبب قلة التضرس يعود إلى ضعف التعرية المائية في المنطقة؛ وبهذا تكون الرواسب المنقولة قليلة الكمية.
ومن خلال تصنيف (Strahlar, 1964, PP 571-596)، يمكن تقسيم نسبة التضرس إلى: تضرس قليل إذا كانت النسبة أقل من (5)، وتضرس متوسط إذا كانت قيمة نسبة التضرس تتراوح ما بين (5-10)، وتضرس شديد إذا كانت قيمة نسبة التضرس تتراوح ما بين (10-20)، وتضرس شديد جداً إذا كانت النسبة أكثر من (20). ومن خلال حساب نسبة التضرس لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب، وبالاستعانة بالخارطة الطبوغرافية لمدينة إب الشكل (4)، كانت نتائج حساب نسب التضرس لأحواض التصريف في مدينة إب، كما هي موضحة في الجدول (3) أدناه، تُشير إلى أن: نسبة التضرس للحوض الكلي لمدينة إب (37.83) م/كم؛ أي: تضرس شديد جداً، وسجل حوض وادي سائلة جبلة تضرس شديد جداً بنسبة تضرس

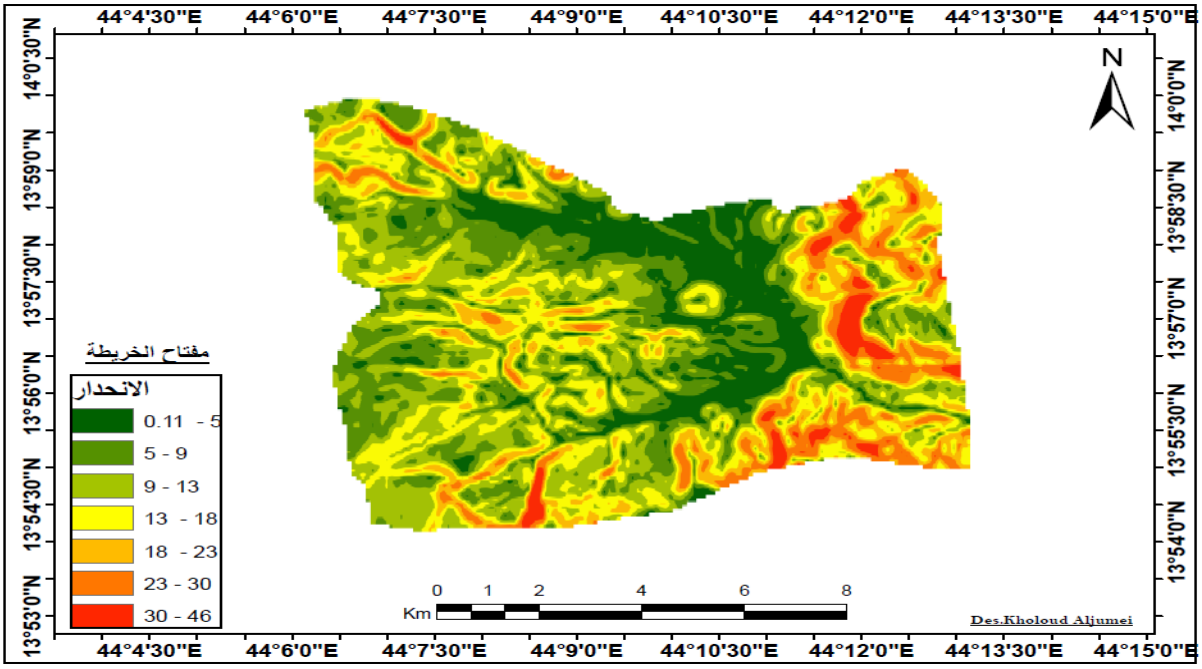
بلغت (90) م/كم، أما أعلى قيمة لنسبة تضرس فسجلت في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (124.23) م/كم؛ وبذلك فهذا الحوض أشد تضرساً من بقية أحواض منطقة الدراسة؛ لوجود أعلى قمة مرتفعة بمنطقة الدراسة في هذا الحوض، بينما بلغت في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (78.75) م/كم، وهذا الاختلاف في نسبة التضرس بين الأحواض الفرعية لمنطقة الدراسة يرجع إلى اختلاف مساحاتها؛ إذ تنخفض نسبة التضرس غالباً في الأحواض ذات المساحة الواسعة أو تلك التي تمتاز بزيادة طولها كما هو حاصل في حوض وادي جبلة مساحته (38) كم^2 وطوله (8) كم، وعلى العكس من حوض وادي الذهوب مفرق ميتم (31) كم^2 وطوله (7) كم؛ إذ زادت فيه نسبة التضرس إلى (124.23) م/كم، وهو ما يُشير إلى أن نسبة تضرسه عالية جداً؛ ولعل السبب في ذلك يكمن في زيادة الفارق بين منسوب أعلى نقطة وأدنى نقطة في هذا الحوض الذي وصل إلى حوالي (870) م عن مستوى سطح البحر، فضلاً عن صغر مساحته، وقصر طوله؛ ومن ثم ينعكس هذا بطبيعة الحال على شدة النحت والجريانية.

وتم احتساب معدل متوسط نسبة التضرس لجميع الأحواض المدروسة (97.7) م/كم، وهي قيمة مرتفعة جداً، تدل على أن أحواض منطقة الدراسة تشمل معظم أجزائها منحدرات جبلية عالية الارتفاع شديدة الانحدار، كما هو مبين في الشكل (5) خارطة الانحدارات الجبلية لمنطقة الدراسة، وأن سبب ارتفاع نسبة التضرس لأحواض التصريف لمدينة إب؛ يعود لوجود انحدار شديد لمجاريها المائية الدنيا في مناطق تقسيم المياه من نطاق المرتفعات الجبلية.

ومن أهم الدلالات الهيدرولوجية المستخلصة من نتائج احتساب قيم نسب التضرس لأحواض منطقة الدراسة ما يأتي:

-قوة عمليات التعرية المائية وشدتها في الحوض المائي لمدينة إب، والحوض نشط من الناحية الجيومورفولوجية، مع غزارة الأمطار الساقطة عليه.

-أن الرواسب المنقولة عبر المجاري المائية للحوض المائي لمدينة إب كبيرة الكمية.



الشكل (5): الانحدارات الجبلية لمنطقة الدراسة.

المصدر: (ناجي والورافي، 2022، ص 557).

الجدول (3): الخصائص التضاريسية للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	أدنى ارتفاع م	أعلى ارتفاع م	فرق الارتفاع م	نسبة التضرس (معامل التضرس) م/كم	قيمة الوعورة	نسبة التقطيع أو النسيج الطبوغرافي مجرى/كم	درجة انحدار الروافد
1-حوض وادي سائلة جبلة	1940	2660	720	90	0.58	2.2	0.04
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	1860	2730	870	124.23	0.67	1.58	0.05
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	1970	2600	630	78.75	0.49	1.32	0.03
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	1860	2730	870	37.83	0.69	1.71	0.01

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومن خارطة الطبوغرافية (4)، باستخدام Arc GIS 10.8.

2.2.قيمة الوعورة:

تُشير قيمة الوعورة إلى مدى تضرس الحوض المائي، ومدى انحدار المجرى المائي فيه، وذلك من خلال الاعتماد على كثافة التصريف الطولية للحوض؛ ما يعني أن قيم الوعورة تتناسب طردياً مع كل من تضرس الحوض وكثافة شبكة التصريف، وارتفاع درجة الوعورة يرجع إلى زيادة الكثافة التصريفية الناتجة عن زيادة أعداد المجاري المائية، ومن شدة التضرس، وشدة الانحدارات وامتدادها، وسيادة التعرية المائية، ومن ثم زيادة نقل الرواسب من المنابع العليا للأحواض إلى أسفل المنحدرات (Abdulla, 2011, P 170).

ويمكن الحصول على قيم الوعورة للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له من خلال المعادلة الآتية: (Pareta, 2011, P 264) Rn = Dd * (H/1000)؛ حيث إن: Rn = قيمة الوعورة، Dd = الكثافة التصريفية (كم/كم^2، H = تضاريس الحوض (م) (فرق الارتفاع). وسُجلت نتائج حساب قيمة الوعورة للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية في الجدول (3)؛ حيث بلغت قيمة الوعورة للحوض الكلي لمدينة إب (0.69)، أما في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم فقد بلغت قيمة الوعورة فيه (0.67) بوصفها أعلى قيمة للوعورة في الأحواض الفرعية، يليه حوض وادي سائلة جبلة؛ إذ سجل وعورة قدرها (0.58)، بينما سجل حوض وادي سائلة قحزة-السبل أدنى قيمة للوعورة؛ بلغت (0.49)، ومن خلال القيم السابقة لوعورة الأحواض المائية الفرعية لمنطقة الدراسة فإن معدل متوسط درجة وعورتها (0.6)، وهي قيمة منخفضة، ومن أهم دلائلها الهيدرولوجية: انخفاض الكثافة التصريفية للأحواض الفرعية التابعة للحوض الكلي لمدينة إب، وانخفاض سرعة الجريان المائي من المنبع إلى المصب؛ إذ أثرت طبيعة صخور منطقة الدراسة على انخفاض درجة الوعورة والمكونة من صخور نارية كثيرة الفواصل والتشققات التي تمتاز عن غيرها بنفاذية عالية، فضلاً عن وجود ترسبات حديثة خليط من الحطام والطين والرمل، وزيادة أطوال المجاري المائية الرئيسية للأحواض أكثر من أطوال المجاري ذات الرتب الدنيا، وبشكل عام تُشير إلى قلة أعداد المجاري المائية، وصغر مساحتها الحوضية، وإلى أن الحوض المائي في مرحلة النضوج.

2.3.نسبة التقطيع (معدل النسيج الطبوغرافي):

يمكن تعريف معدل النسيج الطبوغرافي بأنه المعدل الذي يُوضح درجة تقطيع الشبكة المائية لحوض التصريف، ومن ثم يُبين مدى تقارب المجاري المائية لهذه الشبكة أو مدى تباعدها عن بعضها البعض بغض النظر عن أطوالها، ويُقاس معدل النسيج الطبوغرافي للحوض المائي من خلال نسبة التقطيع؛ وهي عبارة عن النسبة ما بين مجموع أعداد المجاري المائية بالحوض (مجرى) إلى طول محيط الحوض (كم)، (Horton, 1945, P 286).

وهناك تصنيف ومقياس للنسيج الطبوغرافي يتمثل في أنه إذا كانت نسبة التقطيع (أقل من 2) يكون النسيج الطبوغرافي (التقطيع) خشناً جداً، أما إذا كانت النسبة محصورة بين (2-4) فالتقطيع خشن، وعندما تكون

النسبة محصورة بين (4-6) فالنسيج معتدل، بينما في حالة انحصارها بين (6-8) يكون نسيجاً جيداً، وأخيراً عندما نسبة التقطيع (أكبر من 8) فيكون نسيجاً ناعماً (Smith, 1950, P 657)، وعند تطبيق هذا التصنيف على القيم المحسوبة لمعامل النسيج الطبوغرافي لأحواض التصريف لمدينة إب، الموضحة نتائجها في الجدول (3)، نجد أنها بلغت في الحوض المائي الكلي لمدينة إب (1.71) مجرى/كم، وهي قيمة منخفضة أقل من (2)، ومن ثم تقع ضمن نسيج طبوغرافي خشن جداً (تقطيع خشن جداً)، ونتيجة لانخفاض معدل النسيج الطبوغرافي للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية مؤشرات ومدلولات هيدرولوجية تتمثل بـ:

-أن تقطيع سطح الحوض المائي بمجاري شبكة التصريف خشن جداً بمعنى تباعد المجاري فيما بينها.

-قلة أعداد المجاري المائية وقصر أطوالها.

-سيادة الصخور البلورية الصلبة كثيرة التشقق والفواصل؛ الأمر الذي يؤدي إلى نفاذ وتسرب نسبة كبيرة من المياه الجارية إلى باطن الأرض؛ ما يُعيق تطور الجريان السطحي للمياه.

-انخفاض كمية الجريان السطحي للمياه في أحواض منطقة الدراسة.

2.4.درجة انحدار الروافد:

ينتج انحدار المجاري المائية من العلاقة المتبادلة بين جيولوجية الحوض المائي والعوامل الطبيعية التي شكلت المجاري من بداية الرحلة النهرية، يحدث تراجع في انخفاض درجة انحدار الرافد من المنبع إلى المصب. وانحدار المجاري يتناقص من الرتب الدنيا إلى الرتب العليا، وهناك علاقة عكسية قوية بين انحدار القناة والرتبة (Pareta, 2011, P 253)، ويُعد انحدار المجاري المائية مؤشراً يمكن من خلاله تقدير حجم الجريان السطحي للمياه (Sreedevi, et al., 2009, P 551)، وكذلك تقدير المدة الزمنية التي تحتاج إليها المياه للجريان (للتدفق) داخل القناة عن طريق زيادة الانحدار، ومن ثم انخفاض المدة لبلوغ ذروة الفيضان، ليصبح بذلك أكثر حدة مع زيادة الانحدار (Shultz, 2007, P 30).

وفي هذه الدراسة تم حساب درجة انحدار الرافد (فقط للمجرى الرئيس في أحواض التصريف السطحي ذات الرتب العليا)، من خلال المعادلة الآتية: درجة انحدار الرافد = فرق المنسوب بين نقطة المنبع والمصب للمجرى الرئيس بالحوض (م)/طول المجرى الرئيس بالحوض (م)، وتم إيجاد درجة انحدار أطول مسار للمجرى المائي الرئيس بالحوض الكلي لمدينة إب من أدنى نقطة (المصب لكل من: الرتبة الثالثة لحوض قحزة-السبل، والرتبة الرابعة في حوض جبلة، والرتبة الخامسة في حوض الذهوب-مفرق ميتم) إلى أعلى نقطة (المنبع لكل من: الرتبة الثالثة لحوض قحزة-السبل، والرتبة الرابعة في حوض جبلة، والرتبة الخامسة في حوض الذهوب-مفرق ميتم)، وقد بلغ طوله الكلي (24.46) كم، وهو أطول مسار للمجرى الرئيس تجري فيه المياه بمنطقة الحوض الكلي لمدينة إب (أي مجموع أطوال الرتب الثالثة، والرابعة، والخامسة)، بينما بلغت درجة انحدار المجرى المائي الرئيس للحوض الكلي لمدينة إب (0.01°)، ويعود انخفاض درجة انحدار المجرى الرئيس لمدينة إب إلى كبر المسافة الأفقية للمجرى بالنسبة لفرق الارتفاع الرأسي بين منبعه ومصبه حوالي (245) م، في حين بلغت درجة انحدار المجرى الرئيس لحوض وادي سائلة جبلة (طول الرتبة الرابعة 3.81 كم) حوالي (0.04°)، وتُشير هذه النسبة إلى انخفاض معدل الانحدار للمجرى الرئيس لهذا الحوض نتيجة لصغر الفارق في الارتفاع بالنسبة لطول المجرى، بينما بلغ انحدار المجرى الرئيس لحوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم (الرتبة الخامسة 2.93 كم) حوالي (0.05°) وهذا المجرى منخفض الانحدار أيضاً، بينما بلغ درجة انحدار المجرى الرئيس لحوض وادي سائلة قحزة-السبل (الرتبة الثالثة 6.01 كم) (0.03°)، وهو أدنى وأصغر انحدار مقارنة ببقية انحدار المجاري الرئيسة بمنطقة الدراسة. وفي ضوء ما سبق نلاحظ أن درجة انحدار المجاري الرئيسة لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب منخفض جداً؛ لأن المجاري الرئيسة لهذه الأحواض ذات رتب عليا، وهذا ما توضحه خارطة الانحدارات لمنطقة الدراسة الشكل (5)، (أي وجود علاقة عكسية قوية بين انحدار القناة والرتبة)، كما تُشير قيم انحدار المجاري المائية الرئيسة لأحواض مدينة إب إلى كبر المدة الزمنية التي تحتاج إليها المياه للجريان (للتدفق) داخل هذه المجاري الرئيسة للأحواض؛ نتيجة انخفاض انحدارها، ومن ثم بطء سرعة الجريان السطحي للمياه.

وخلاصة لعملية قياس واحتساب الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب ومن خلال تحليل النتائج المستخلصة منها تم التوصل إلى أهم مؤشراتها ودلالاتها الهيدرولوجية والمتمثلة فيما يأتي:

1- انخفاض الكثافة التصريفية للمياه في أحواض مدينة إب.
2- قلة أعداد المجاري المائية، وصغر مساحتها الحوضية.
3- زيادة أطوال المجاري المائية الرئيسة للأحواض (ذات الرتب العليا) أكثر من أطوال المجاري أو الروافد ذات الرتبة الدنيا.
4- انخفاض كمية مياه الجريان السطحي وتدنيها.
5- نفاذ وتسرب كمية كبيرة من مياه الجريان السطحي إلى باطن الأرض.
6- انخفاض درجة انحدار المجاري المائية الرئيسة للأحواض (ذات الرتب العليا)، وشدة انحدار الروافد ذات الرتبة الدنيا.
7- كبر المدة الزمنية التي تحتاج إليها المياه للجريان داخل المجاري المائية الرئيسة للأحواض.
8- بطء سرعة الجريان السطحي للمياه.
9- زيادة كمية الرواسب المنقولة عبر المجاري المائية الرئيسة للأحواض.
10- انخفاض درجة تقطيع الشبكة المائية لسطح الأحواض التصريفية (نسيج-تقطيع الأحواض خشن جداً)، ما يعني تباعد مجاري الأحواض فيما بينها.
11- التضرس الشديد للأحواض المائية.
12- نشاط الحوض المائي من الناحية الجيومورفولوجية وغزارة الأمطار الساقطة، والحوض في مرحلة النضوج.
13- سيادة الصخور الصلبة البلورية ذات الفواصل والشقوق (صخور بازلتية) ذات النفاذية العالية، فضلاً عن وجود الترسبات الحديثة خليط من الأحجام المختلفة من (الحطام، والطين، والرمل).

3.تحليل الخصائص المورفومترية (شبكة التصريف المائي) لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب:

يُطلق مصطلح شبكة التصريف المائية على الشكل العام الذي تظهر به مجموعة المجاري المائية في أي حوض تصريفي، وتتناول الخصائص المورفومترية للحوض المائي كل مواصفات، ومقايس الروافد المائية (أودية رئيسة وفرعية)، وطريقة ترابطها، والتشكيلة النسيجية المكونة لشبكة التصريف المتكاملة. وترتبط الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائي بأصل النشأة، وكيفية التطور، ومظاهر التشكيل الجيومورفولوجي، وآليات البناء الجيولوجي، حيث أن دور هذه الشبكات مهم جداً في التحكم بآلية جريان المياه وتصريفها؛ وبهذا فهي لا تقل أهمية عن الخصائص الجيومترية للحوض المائي؛ وبناءً على ذلك فإنه لابد في هذه الدراسة من تحليل الخصائص المورفومترية والجيومترية للحصول على تقييم هيدرولوجي متكامل لنظام الجريان السطحي في الحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، لما لذلك من دور في التحكم بآلية جريان المياه وتدفقها في الأودية الموسمية الموجودة في مدينة إب (وادي سائلة جبلة، وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم، وادي سائلة قحزة-السبل)، وكذلك التأثير في حدوث السيول (الفيضانات).

وهنالك العديد من الخصائص المورفومترية، التي يستند تحديدها إلى تطبيق مجموعة من الصيغ الرياضية المورفولوجية، وسوف نتناول في هذه الدراسة أهم هذه الخصائص، التي سنعرضها بشكل حسابي، وبالاستعانة بتقنية الاستشعار عن بعد (RS) وتقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

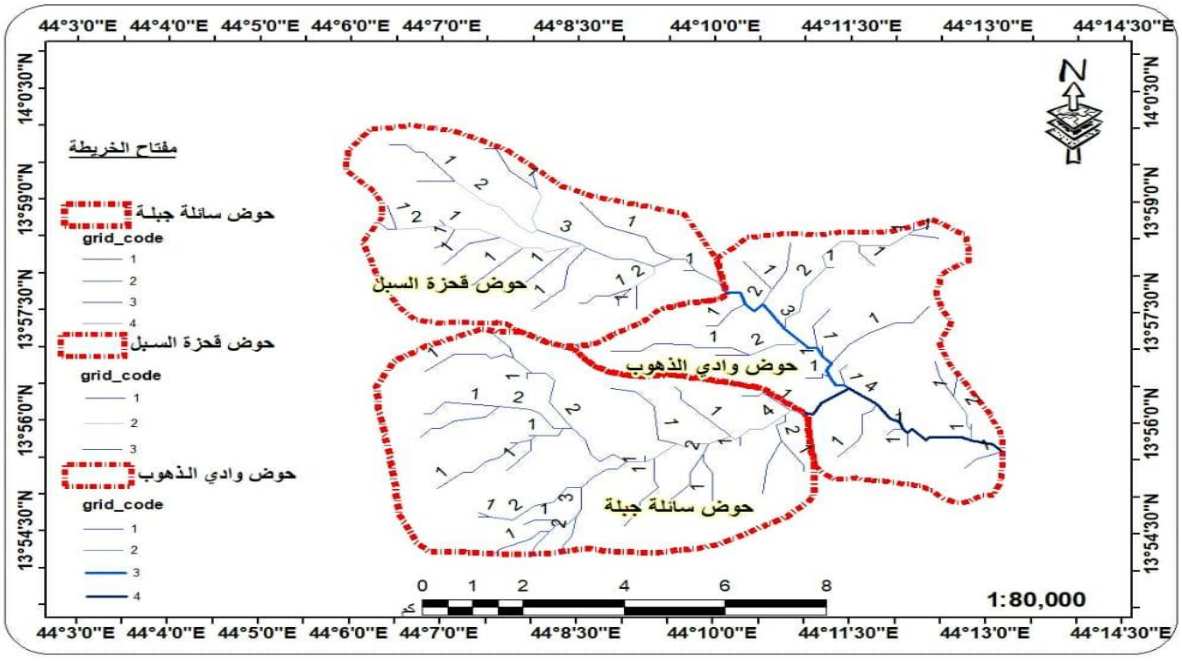
3.1.الرتب النهرية:

المراتب النهرية عبارة عن: التدرج الرقمي لمجموعة المجاري المائية (الروافد) التي يتكون منها الحوض المائي، وتُفيد عملية التعرف إلى درجة الرتبة النهرية التي تتكون منها الأحواض؛ عند دراسة كمية التصريف المائي الخاصة بكل حوض، وقدرة الأحواض على التعرية والترسيب؛ حيث تدل الرتب العالية للمجاري المائية على أنها تسير في مناطق قليلة الانحدار، وذات نفاذية عالية؛ لأن المياه تجري فيها بشكل بطيء، أما الرتب المتوسطة فهي تتواجد في المناطق التي يكون انحدار سطحها متوسط إلى عال، وكلما زاد عددها يدل على أن الصخور مكونة من مواد صلبة، في حين الرتب الواطئة (الرتبة الأولى، والثانية)

توجد في المنحدرات الجبلية عالية الانحدار، بأعداد كبيرة؛ لأن المياه تسير في هذه الروافد بسرعة. ولعدد المجاري المائية أهمية كبيرة في تقدير مدى خطورة السيول الناتجة عن العاصفة المطرية، فزيادة أعداد المجاري المائية يرفع كفاءة شبكة المجاري المائية في نقل المياه الجارية فيها.

وفي هذه الدراسة الحالية تم اعتماد طريقة (Strahler, 1964, PP 571-596) في تصنيف وحساب الرتب النهرية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب، وباستخدام برنامج (Arc GIS 10.8) تم تحديد الرتب النهرية، وأعدادها، كما هو موضح في الشكل (6)، والجدول (4)، حيث تم تحديد التدرج الرقمي لمجموع الروافد التي يتكون منها المجرى الرئيس للمياه للحوض المائي الكلي لمدينة ولأحواضه الفرعية والبالغ (124) مجرى مائياً تمثل شبكة التصريف المائي لجميع أحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة، وسجلت كل من الرتبة الأولى والثانية العدد الأكبر في الحوض المائي الكلي لمدينة إب، وقد بلغ عدد الروافد ذات الرتبة الأولى في جميع أحواض منطقة الدراسة حوالي (38) مجرى مائياً وبنسبة (30.6%)، وبمساحة (29.07) كم^2 من إجمالي المساحة الكلية للحوض البالغة (95) كم^2، أما الرتبة الثانية فعددها حوالي (47) رافد وبنسبة (37.9%)، وبمساحة (36.01) كم^2، بينما عدد الروافد للرتبة الثالثة (25) رافد وبسنة (20.2%)، وبمساحة (19.19) كم^2، أما الرتبة الرابعة فسجلت حوال (13) مجرى مائياً وبنسبة (10.5%)، وبمساحة (9.97) كم^2، وأخيراً عدد روافد الرتبة الخامسة بلغ (1) مجرى مائي، وبنسبة (0.8%)، وبمساحة تقريباً (0.76) كم^2، في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم وهو الحوض الوحيد الذي يحمل أعلى الرتب النهرية في منطقة الدراسة (الرتبة الخامسة، وهي الرتبة الأخيرة التي يتكون منها الحوض المائي الكلي لمدينة إب)، أما حوض وادي سائلة جبلة فأعلى رتبة نهرية فيه الرتبة الرابعة، بينما حوض وادي سائلة قحزة-السبل فيحمل الرتبة الثالثة بوصفها أعلى رتبة فيه.

وفي ضوء ما سبق ذكره نلاحظ قلة أعداد مجاري الرتبة الأولى مقارنة بأعداد مجاري الرتبة الثانية، فشذوذ الرتبة الأولى وقلة أعدادها مقارنة بأعداد الرتبة الثانية؛ ناتج عن الصراع الهيدرولوجي للأحواض الفرعية وتجاوزها وتنازعها على خط تقسيم المياه؛ ما أدى إلى عدم السماح بتطوير ونمو أعداد مجاري الرتبة الأولى في تلك الأحواض، علاوة على أن الرتبة الأولى دائماً ما تكون غير واضحة المعالم بشكل عام على الخرائط الكنتورية، فضلاً عن انخفاض الارتفاع في الجهة الشمالية والجهة الشمالية الغربية لمنطقة الدراسة مقارنة بالجهة الشرقية والجنوبية للمنطقة، وكذلك يرجع الأمر إلى زيادة أطوال الرتبة الثانية؛ ما قلل من أعداد الرتبة الأولى، وأعاق من توقيعها.



الشكل (6): شبكة التصريف المائية والرتب النهرية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب.
المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS.

الجدول (4): رتب وأعداد ومساحة المجاري المائية للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	الرتبة															مجموع عدد المجاري		
	الأولى			الثانية			الثالثة			الرابعة			الخامسة					
	العدد	النسبة%	المساحة كم^2	العدد	النسبة%	المساحة كم^2	العدد	النسبة%	المساحة كم^2	العدد	النسبة%	المساحة كم^2	العدد	النسبة%	المساحة كم^2	العدد	النسبة%	المساحة كم^2
1-حوض وادي سائلة جبلة	15	28	10.75	19	36	13.62	18	34	12.9	1	2	0.72	-	-	-	53	100	38
2-حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	16	37	11.51	8	19	5.76	6	14	4.32	12	28	8.63	1	2	0.7	43	100	31
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	7	25	6.5	20	71.43	18.57	1	3.57	0.93	-	-	-	-	-	-	28	100	26
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	38	30	29	47	42	38	25	17.19	18	13	15	9.3	1	2	0.7	124	100	95

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

3.2.أطوال المجاري النهرية:

تُعد أطوال المجاري المائية من أهم السمات الهيدرولوجية، والجيومورفولوجية؛ فهي تعكس خصائص الجريان السطحي للمياه في المجاري، وتأثير عامل طول وقصر المجرى داخل الأحواض، فتتسم المجاري القصيرة بانحدار أكبر من المجاري الطويلة (Rao, et al., 2010, P 184)، كما تعد مؤشراً مهماً لمعرفة قمة الفيضان داخل المجاري المائية، والوقت الذي تقطعه المياه للوصول إلى منطقة المصب. وكما هو معروف أن المجاري المائية ذات الرتبة الأولى تكون أقصر طولاً، وكلما زادت رتبة المجرى المائي؛ زاد طول تلك المجاري، ومن خلال الجدول (5) أدناه، نلاحظ أن مجموع أطوال المجاري المائية في جميع أحواض التصريف السطحي بمنطقة الدراسة قد بلغ (74.64) كم، فيما بلغ مجموع أطوال المجاري في حوض وادي سائلة جبلة (30.7) كم، أما أطوال حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم فبلغت (23.79) كم، في حين بلغت أطوال المجاري المائية في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (20.15) كم، وهذا التباين في الأطوال لا يقتصر على الأحواض فقط؛ بل يشمل أيضاً أطوال الرتب النهرية فقد سجلت الرتبة الثانية مجموع أطوال في كافة أحواض تصريف منطقة الدراسة حوالي (29.36) كم؛ فهي تمثل أعلى المراتب من حيث الطول، وتُشير إلى وجود منحدرات مرتفعة، وارتفاع نسب التضرس كما هو حاصل في حوض وادي سائلة جبلة وحوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم، بينما سجلت الرتبة الخامسة أقل المراتب من حيث الطول (0.65) كم، تُشير إلى انحدار شبة مستوي، وانخفاض نسب التضرس في المجرى الرئيس لحوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم الذي تصب فيه جميع المجاري المائية لجميع أحواض التصريف السطحي لمدينة إب.

الجدول (5): أطوال المجاري المائية للرتب المختلفة للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	الرتبة					مجموع أطوال المجاري المائية كم
	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة	
1-حوض وادي سائلة جبلة	8.254	14.38	6.823	1.237	-	30.7
2-حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	9.53	3.87	5.25	4.482	0.658	23.79
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	6.882	11.109	2.161	-	-	20.15
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	24.67	29.36	14.234	5.72	0.65	74.64

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

3.3.نسبة التشعب:

يُعد نسبة التشعب من الخصائص المهمة لشبكة التصريف المائية؛ كونها تمثل أحد العوامل المتحكمة بمعدل التصريف المائي، والوقت اللازم لوصول السيول إلى مصباتها، ووجود علاقة عكسية ما بين نسبة التشعب وقمة الفيضان، فكلما قلت نسبة التشعب ارتفعت مؤشرات ودلالات احتمالية حدوث فيضانات؛ ويُعود سبب ذلك إلى زيادة زمن وصول الموجات المائية (السيول) من المنبع إلى المصب (زيادة حجم الموجات المائية بعد العاصفة المطرية)، ويحدث عكس ذلك إذا كانت نسبة التشعب كبيرة فإن كثافة التصريف المائي للحوض تزيد؛ نتيجة تناقص المسافة الخطية التي تقطعها المياه وصولاً إلى مصب الحوض، علاوة على توزيع المياه على عدد أكبر من المجاري، فتصل المياه إلى المجرى الرئيس، وهي متشتتة؛ فيقل خطر فيضانها لانخفاض كمية المياه والكثافة التصريفية لها. كما وجد (Strahler, 1964, PP 571-596): أن نسب التشعب تختلف من الرتب الدنيا إلى الرتب العليا؛ بسبب تطور المراحل الجيولوجية والصخرية داخل الحوض نفسه، كما أن القيم المنخفضة لنسب التشعب في الأحواض الفرعية تأثرت بنسب أقل من الحركات البنيوية داخل الحوض، وفيما تُشير القيم المرتفعة إلى تأثر المنطقة بالانكسارات والصدوع وانعكاسها على أنماط التصريف (Ramaiah, et al., 2012, P 91). وفي ضوء دراسة نسبة التشعب للأحواض المائية لمدينة إب، على النحو الموضح في الجدول (6) أدناه؛ نلاحظ أن معدل نسبة التشعب لأحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة محصورة بين (4-10.2)؛ ما يُشير إلى على عدم وجود خطر لحدوث الفيضانات؛ لانخفاض كميات المياه وكثافتها التصريفية. وكذلك نجد أن مجاري الرتبة الأولى في الحوض الكلي لمدينة إب تمثل نسبة تشعب منخفضة (0.8)، مقارنة بالرتبة الثانية؛ إذ بلغت نسبة التشعب فيها حوالي (1.9)، بينما تكون نسبة التشعب عالية في الرتب العليا(الرتبة الرابعة والخامسة)؛ إذ بلغت على التوالي (2) و(13)، وقد سُجل متوسط نسبة التشعب الإجمالي في الحوض المائي الكلي لمدينة إب حوالي (2.2) التي تم استخراجها من مجموع عدد المجاري لكل رتبتين متتاليتين وضربه في نسب التشعب، ومن ثم تقسيم مجموع الناتج على عدد المجاري كما هو موضح في الجدول (7).

ومن نتائج احتساب نسب التشعب والمتوسط الإجمالي للحوض المائي الكلي لمدينة إب يمكن استنباط أهم دلائلها الهيدرولوجية:

-انخفاض نسبة التشعب يؤدي إلى زيادة زمن وصول الموجات المائية من المنبع إلى المصب، وزيادة حجم الموجات المائية.

-انخفاض مؤشرات ودلالات خطر حدوث الفيضانات؛ لانخفاض كميات المياه وكثافتها التصريفية.

-تأثر الأحواض بنسب أقل من الحركات البنيوية داخل الحوض.

الجدول (6): نسبة التشعب للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	نسبة التشعب= عدد المجاري لرتبة ما /عدد مجاري الرتبة التي تليها				
	½	⅔	¾	4/5	نسبة التشعب
1-حوض وادي سائلة جبلة	0.8	1.1	18	-	6.6
2-حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	2	1.3	0.5	12	4
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	0.35	20	-	-	10.2
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	0.8	1.9	2	13	4.4

المصدر: الباحثان اعتماداً على الجدول (4).

الجدول (7): حساب متوسط نسبة التشعب للحوض المائي الكلي لمدينة إب.

مجموع الرتب	عدد المجاري لكل رتبتين متتاليتين	معدل نسبة التشعب	عدد المجاري لكل رتبتين متتاليتين Xمعدل نسبة التشعب	متوسط نسبة التشعب الإجمالي للحوض الكلي لمدينة إب
2+1	47+38	0.8	68	463/209 = 2.2
3+2	25+47	1.9	137	
4+3	13+25	2	76	
5+4	1+13	13	182	
المجموع	209		463	

المصدر: الباحثان اعتماداً على الجدول (4)، وعلى الجدول (6).

3.4.كثافة تصريف الشبكة المائية:

يُقصد بكثافة تصريف الشبكة المائية: درجة انتشار وتفرع الشبكة المائية ضمن مساحة محددة، وتكمن أهمية هذا العامل في التحليلات الهيدرولوجية؛ كونها تعكس مدى كفاءة التصريف، ومقياس لمدى تقطيع أراضي الحوض المائي، وتشمل كثافة تصريف الشبكة المائية على نوعين من الكثافة: النوع الأول كثافة التصريف الطولية، وأما النوع الآخر فكثافة التصريف العددية (تكرارية المجاري).

ومن الدلالات الهيدرولوجية لقيم كثافة التصريف بشكل عام: اختلاف نظام الجريان، والتدفق المائي في الأحواض المائية؛ إذا ما كانت شبكة التصريف كثيفة أو قليلة الكثافة، فكلما ارتفعت قيم كثافة التصريف؛ ارتفعت معها كفاءة شبكة المجاري المائية، والحمولة المتدفقة عبرها، وقل معدل التسرب المائي إلى باطن الأرض، وزيادة سرعة جريان المياه؛ وبالتالي ازدياد نشاط عمليات الحث والتعرية في الأودية النهرية، ويحدث عكس ما سبق في حالة ما إذا انخفضت قيم كثافة التصريف.

3.4.1.كثافة التصريف الطولية:

عبارة عن النسبة ما بين مجموع أطوال المجاري المائية في الحوض (كم) إلى مساحة الحوض (كم^2) (Schumm, 1956, P 607)، ويُستفاد من ذلك في تقدير كفاءة الشبكة التصريفية في نقل المياه والرواسب من الحوض المائي، فضلاً عن كونها أحد العوامل المؤثرة في زمن الاستجابة للجريان السطحي للمياه في الأحواض؛ لأن زمن الاستجابة يتناسب طردياً مع طول الأحواض؛ أي إن هناك علاقة ما بين الكثافة الطولية للتصريف والخصائص المساحية والشكلية لتلك الأحواض. وتُشير القيم المرتفعة لكثافة التصريف

الطولية إلى ارتفاع كثافة التصريف (أي تُشير إلى مناطق جيدة التصريف في نقل المياه والرواسب المحمولة)، فيما تُشير القيم المنخفضة إلى مناطق ضعيفة التصريف (أي تباعد مجاري الأحواض فيما بينها بسبب نفاذية الصخور تلك المناطق، وكثرة الشقوق والفواصل بها؛ فتعمل على تسرب المياه داخلها ما يُعيق تطور الجريان السطحي للمياه). وحسب تصنيف كثافة التصريف ل(Strahler, 1964, PP 571-596)، الذي ينص على أن الكثافة التصريفية تكون منخفضة إذا كانت أقل من (4)، وإذا كانت بحدود (4-12) فالكثافة التصريفية متوسطة، بينما تكون الكثافة التصريفية عالية إذا كانت أكثر من (13).

ومن المؤشرات والدلالات الهيدرولوجية التي يمكن استخلاصها من نتائج احتساب الكثافة الطولية لأحواض التصريف لمنطقة الدراسة والموضحة في الجدول (8)، والذي يتضح فيه أن قيمة الكثافة الطولية لجميع أحواض التصريف لمدينة إب تراوحت بين (0.77-0.81) كم/كم^2، وهي قيم منخفضة، ومتقاربة في جميع الأحواض المدروسة، وتُشير إلى قصر أطوال المجاري المائية في أحواض منطقة الدراسة. وقد بلغت الكثافة التصريف الطولية للحوض المائي الكلي لمدينة إب حوالي (0.79) كم/ كم^2، ويعتبر تصرف الحوض الكلي لمدينة إب مماثلاً لكثافة تصريف أحواضه الفرعية (حوض وادي سائلة قحزة-السبل (0.78) كم/كم^2، وحوض وادي سائل الذهوب-مفرق ميتم (0.77) كم/ كم^2)، وبناء على ما سبق ذكره نستخلص أن أحواض منطقة الدراسة تندرج تحت فئة الأحواض القليلة الكثافة أو الخشنة السطح (تباعد مجاري الأحواض فيما بينها)، وذلك يفسر سيادة صخور الترسبات الحديثة وصخور البازلت ذات النفاذية العالية؛ ما يعمل على نفاذ وترشيح المياه السطحية نحو التكوينات تحت السطحية، فضلاً عن شدة انحدار المنحدرات الجبلية المقابلة للأحواض التي تنحدر منها المجاري المائية الأولية، وبسبب الظروف المناخية السائدة حالياً والعاجزة من زيادة أعداد المجاري المائية وأطوالها في منطقة الدراسة، علاوة على كون أراضي المجاري العليا الرئيسة للأحواض قليلة الانحدار (أراضي مستوية)؛ ما يؤدي أعاقة الجريان الجريان السطحي للمياه).

الجدول (8): كثافة التصريف الطولية والعددية ومعدل بقاء المجرى للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	مجموع المجاري المائية	مجموع أطوال المجاري كم	المساحة كم	الكثافة التصريف الطولية كم/كم^2	الكثافة العددية (تكرارية المجاري) كم^2/كم	معدل بقاء المجرى كم^2/كم
1-حوض وادي سائلة جبلة	53	30.7	38	0.81	1.39	1.23
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	43	23.79	31	0.77	1.39	1.30
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	28	20.15	26	0.78	1.1	1.28
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	124	74.64	95	0.79	1.31	1.27

المصدر: الباحثان اعتماداً على الجدول (5) والجدول (6).

3.4.2.كثافة التصريف العددية (تكرارية المجاري):

هي النسبة ما بين مجموع أعداد المجاري المائية لحوض ما (مجرى) إلى مساحة الحوض (كم^2) (Horton, 1945, P 286)؛ إذ تعكس هذه النسبة مدى تكرار المجاري المائية في وحدة مساحة ثابتة، ودورها في زيادة فعالية التعرية المائية، وزيادة التقطيع، فضلاً عن زيادة كثافة التصريف. وتُشير القيم المرتفعة لتكرارية المجاري المائية إلى إمكانية عالية لحصاد وتجميع مياه الأمطار والسيول داخل حوض التصريف، ومن ثم حدوث جريان سطحي بصورة أكبر (بينما تنخفض تكرارية المجاري في الأحواض كبيرة المساحة والعكس صحيح)، ومن الجدول (8) أعلاه: نجد أن كثافة التصريف العددية للحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغت (1.31) مجرى/كم^2، وهي كثافة منخفضة، بينما سجل كل من حوض وادي سائلة جبلة وحوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم نفس قيمة تكرارية المجاري (1.39) مجرى/كم^2، وهي أعلى

قيمة مقارنة بباقي الأحواض الفرعية بمنطقة الدراسة، وجميع قيم الكثافة التصريفية العددية للأحواض المدروسة منخفضة؛ بسبب زيادة طول المجرى الرئيس في الحوض المائي لمدينة إب (23) كم؛ ما يُشير إلى امتداد المجرى الرئيس للحوض لمسافات طويلة مقارنة بأطوال المجاري الفرعية للحوض؛ ما قلل من أعداد الروافد ومعدل تكرارها. ويمكن الاستدلال مما سبق على أن زيادة أطوال المجاري التي يمكن أن ترفع كثافة التصريف المائي بالحوض لا تؤدي بالضرورة إلى زيادة أعداد المجاري، ومن ثم تكراريتها، ومن ثم ترتبط تكرارية المجاري بزيادة الأعداد وتغيرات المسافة أكثر من ارتباطها بالأطوال.

3.5.معدل بقاء المجرى:

يُمثل معدل بقاء المجرى متوسط الوحدة المساحية (كم^2) اللازمة لتغذية الوحدة الطولية (كم) من مجاري شبكة التصريف بالمياه (المقلوب الجذري لكثافة التصريف الطولية) (Schumm, 1956, P 248). وكلما ارتفعت قيمة هذا المعامل؛ دلت على كُبر مساحة الحوض على حساب أطوال مجاريه (أي ابتعدت المجاري المائية عن بعضها البعض). وكلما اقتربت قيمة معدل بقاء المجرى من الصفر أشار ذلك إلى تأثر المنطقة بالتراكيب البنيوية، ونفاذية منخفضة للتربة، والانحدار الشديد للمجاري الرئيسة، والجريان السطحي السريع، والعكس صحيح؛ أي كلما اقترب معدل بقاء المجرى من الواحد الصحيح (Ali & Khan, 2013, P 25).

ومن خلال الجدول (8)، لوحظ أن قيم معدل بقاء المجرى للحوض المائي الكلي لمدينة إب فبلغت (1.27) كم^2/كم؛ أي إن كل (1) كم من أطوال المجاري تُغذيه مساحة تُقدر بنحو (1.27) كم، وهي قيمة مرتفعة أكبر من الواحد الصحيح، ومن الدلائل الهيدرولوجية لقيمة معدل بقاء المجرى للحوض المائي لمدينة إب:

-كُبر مساحة الحوض على حساب أطوال مجاريه المائية.

-تباعد المجاري المائية عن بعضها البعض.

-بطء سرعة الجريان السطحي للمياه.

-تتسم التربة بنفاذية عالية.

-الانحدار البسيط للمجاري المائية الرئيسية.

3.6.معامل الانعطاف النهري(معامل التعرج الطبوغرافي):

يُقصد به: درجة انعطاف النهر (الوادي) عن المجرى المستقيم، وشدة انثنائه. وتتراوح قيمة معامل التعرج بين (1-4) أو أكثر؛ فإذا كانت قيمته تساوي (1) فالنهر أو الوادي مستقيم، وإذا كانت قيمته أقل من (1.5) فالنهر أو الوادي متعرج، بينما إذا كانت القيمة أكثر من (1.5) فالوادي أو النهر منعطف (Wolman et al., 1964, P 522). ويُعبر عن معامل الانعطاف(التعرج النهري) من خلال المعادلة الآتية: معامل الانعطاف (معامل التعرج الطبوغرافي) = طول المجرى المائي الحقيقي المتعرج (كم)/طول المجرى المائي المثالي المستقيم (كم) (Schumm, 1956, P 605)؛ حيث إن: طول المجرى المائي الحقيقي هو المسافة التي يقطعها المجرى من المنبع إلى المصب(الوادي متعرج)، وطول المجرى المائي المثالي هو أقصر مسافة يسلكها المجرى من المنبع إلى المصب (الوادي مستقيم).

ولمعامل الانعطاف تأثير واضح على الخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية عن طريق تأثيره على زيادة طول المجرى المائي؛ فكلما زادت درجة الانعطاف ازدادت احتمالية فقدان المياه بفعل الترشيح والتبخر ويقلان في احتمالية قلة درجة انعطاف المجرى نتيجة سرعة الجريان ووصول المياه إلى منطقة المصب في مدة زمنية قليلة.

ومن خلال الجدول (9)، يتضح: أن قيمة معامل الانعطاف الأحواض المائية لمدينة إب تراوحت بين (1.05-1.17)، وهذا يُشير إلى أن الوديان الرئيسة والروافد المائية التابعة للحوض الكلي لمدينة إب متعرجة حسب تصنيف (Schamm, 1956, P 605)؛ ويعود ذلك إلى الانحدار الشديد للمجاري المائية في الأجزاء العليا من الحوض، ووجود العوائق والحواجز في المجاري كالنباتات والصخور التي تعمل على إعاقة حركة المياه وانحرافها عن خط الجريان في بعض المناطق. وبحسب قيم معامل التعرج لوديان الحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له فهي أقل من (1.5)، ومن مؤشراتها أو دلائلها الهيدرولوجية: أن وديان الأحواض المدروسة تكون أقرب إلى الالتواء منها إلى الاستقامة؛ وذلك يعود إلى التشابه في الظروف الجيولوجية والتضاريسية والمناخية في الأحواض؛ ما يؤدي إلى التخفيف من طاقة

الجريان السطحي للمياه، وتزيد من قدرة الوادي على الحمولة؛ بسبب عمليات التعرية المباشرة على نقاط الالتواء (التعرج)، وهذا يبطئ من زمن وصول المياه الجارية من المنبع إلى المصب (بطء سرعة الجريان السطحي للمياه)؛ ومن ثم يؤدي إلى زيادة التبخر أو التسرب المائي من الوادي (زيادة الفواقد المائية).

الجدول (9): معامل الانعطاف للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	الطول الحقيقي كم	الطول المثالي كم	معامل الانعطاف النهري (معامل التعرج الطبوغرافي)
1-حوض وادي سائلة جبلة	9	7.7	1.17
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	8	7.03	1.14
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	8	7.6	1.05
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	25	22.33	1.12

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

3.7.شدة التصريف:

تم ايجاد شدة الصرف لأحواض منطقة الدراسة من خلال نسبة تكرارية المجاري المائية إلى الكثافة التصريفية؛ إذ تُشير القيم المنخفضة لشدة الصرف إلى انخفاض الجريان السطحي للمياه؛ ما يترتب على ذلك بطء في عملية إزالة أسطح الأحواض؛ ما يجعلها تحتاج إلى مدة أطول من الزمن لتسوية تضاريسها، ويرتبط مع انخفاض الجريان السطحي حدوث انهيارات أرضية ولكنها لا تُعزى إلى الجريان السطحي وإنما لعوامل أخرى، بينما تُشير القيم المرتفعة لشدة الصرف عكس ذلك (Pareta, 2012, P 56).

ومن خلال الجدول (10) نلاحظ أن شدة الصرف للحوض الكلي لمدينة إب بلغت (1.66)، وهي قيمة منخفضة جداً ومدلولها الهيدرولوجي يُشير إلى بطء الجريان السطحي للمياه بمنطقة الحوض، ويُعود السبب بشكل عام إلى انخفاض قيم كل من الكثافة التصريفية، وتكرارية المجاري المائية، ولانخفاض درجة انحدار المجاري الرئيسة بالمنطقة.

الجدول (10): شدة الصرف ورقم الترشيح للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه الفرعية التابعة له.

اسم الحوض	شدة الصرف	رقم الترشيح
1-حوض وادي سائلة جبلة	1.72	1.13
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	1.81	1.07
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	1.41	0.86
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	1.66	1.03

المصدر: الباحثان اعتماداً على قياسات شبكة التصريف الجدول (8).

3.8.رقم الترشيح (التسرب):

يُعطي فكرة عن مدى تسرب المياه إلى باطن الأرض، وما يترتب على ذلك من سرعة أو بطء الجريان السطحي للمياه؛ إذ تُشير القيم المرتفعة لرقم الترشيح (التسرب) إلى سرعة الجريان السطحي للمياه، ووجود تربة أو صخور غير منفذة للمياه، بينما تُشير القيم المنخفضة إلى بطء الجريان السطحي للمياه، ووجود تربة أو صخور ذات نفاذية عالية للمياه، تسمح بترشيح المياه للخزان الجوفي (Pareta, 2012, P 56).

ووجود علاقة عكسية بين كثافة الشبكة المائية من جهة وطاقة التسرب من جهة أخرى؛ فزيادة التسرب يرافقه انخفاض الكثافة التصريفية للشبكة النهرية (Carleston, 1963, P C3)، وهو ما يؤخر الجريان السطحي للمياه بسبب النفاذية العالية للمواد السطحية التي تتكون منها الأحواض.

وتم حساب قيم رقم الترشيح لأحواض منطقة الدراسة من خلال المعادلة الآتية:

رقم الترشيح = تكرارية المجاري كثافة التصريف الطولية، ومن النتائج المدونة في الجدول (10)، نلاحظ أن قيمة الترشيح للحوض المائي الكلي لمدينة إب (1.03)، وهي قيمة منخفضة جداً، تُشير إلى بطء سرعة الجريان السطحي للمياه في المجاري المائية الرئيسة لمنطقة الدراسة، وهي متفقة مع قيم كل من الكثافة التصريفية، وتكرارية المجاري المائية، ودرجة انحدار المجاري الرئيسة لأحواض التصريف، وشدة الصرف، ويُعزى إلى النفاذية العالية للتربة أو الصخور تسمح بنفاذ المياه للخزان الجوفي، وطبيعة التضاريس السطحية.

3.9.أنماط التصريف:

شكل توزيع المجاري المائية أو نمط التوزيع: هو المقصود بنمط التصريف المائي، وفي ضوء الرتب النهرية أشير إلى أنه تم في هذه الدراسة استخدام طريقة ستايلر. يُعتبر نمط تصريف الحوض المائي الكلي لمدينة إب من النوع الشجري، كما هو موضح في الشكل (6)؛ وهذا يُشير إلى أن صخور الحوض متجانسة من حيث تكوينها، وبنيتها الجيولوجية، ودرجة صلابتها، وأن المجاري المائية تنتشر في جميع الاتجاهات، وتتخذ شكلاً مشابهاً لتفرعات الشجرة، ويتحكم في هذا النمط انحدار الحوض؛ ومن ثم فإنها تتبع في جريانها الانحدار العام للسطح.

وأهم المؤشرات والمدلولات الهيدرولوجية المستخلصة من تحليل الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب؛ يمكن تلخيصها بـما يأتي:

1-ينتهي الحوض المائي الكلي لمدينة إب بالرتبة الخامسة وقد بلغ مجموع عدد المجاري المائية لجميع الرتب (124) مجرى مائي تمثل شبكة التصريف المائي لجميع أحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة، وبطول (74.64) كم، ومع قلة أعداد مجاري الرتبة الأولى مقارنة بأعداد مجاري الرتبة الثانية، فهذا الشذوذ هو نتيجة تجاوز الأحواض الفرعية وتنازعها على خط تقسيم المياه؛ ما أدى إلى عدم السماح بتطوير ونمو أعداد من مجاري الرتبة الأولى في تلك الأحواض؛ ما أعاق من توقيعها وقلة أعدادها، فضلاً عن وجود عدد من الأسباب لقلة أعداد الرتبة الأولى تتمثل في: أن الرتبة الأولى دائماً ما تكون غير واضحة المعالم بشكل عام على الخرائط الكنتورية، علاوة على انخفاض الارتفاع في الجهة الشمالية والجهة الشمالية الغربية لمنطقة الدراسة مقارنة بالجهة الشرقية والجنوبية للمنطقة، وزيادة أطوال مجاري الرتبة الثانية، وشدة انحدار السفوح الجبلية التي تنحدر منها المجاري الأولية، وكذلك يرجع الأمر إلى زيادة أطوال الرتبة الثانية، كل ما سبق منع من تطور أودية الرتبة الأولى.

2-انخفاض كثافة التصريف المائي في أحواض مدينة إب.

3-انخفاض مؤشرات ودلالات احتمالية حدوث الفيضانات في أحواض مدينة إب.

4-بطء زمن وصول المياه الجارية من المنبع إلى المصب (أي يحتاج وصول المياه من المنبع إلى المصب إلى مدة زمنية كبيرة).

5-تباعد المجاري المائية بعضها عن بعض.

6-بطء الجريان السطحي للمياه.

7-زيادة احتمالية فقدان المياه لزيادة الفواقد المائية.

8-زيادة الترسبات المحمولة.

9-الانحدار البسيط للمجاري المائية الرئيسة للأحواض، وتعرجها والتوائها.

10-انخفاض طاقة الجريان السطحي للمياه.

4.تحليل الخصائص الهيدرولوجية الجريانية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب:

الخصائص الهيدرولوجية لسطح الأرض عبارة عن مجموعة من الخصائص التي تتحكم في حركة المطر المتساقط على سطح الأرض أو المياه السطحية عموماً، ولفهم حركة مياه السيول على سطح مدينة إب (حركة الجريان السطحي للمياه)، وقد اعتمدت هذه الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمدينة إب الشكل (4)، وعلى النتائج المستخلصة من تحليل الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، والخصائص المورفومترية لشبكة التصريف لأحواض مدينة إب، تم احتساب بعض الخصائص الهيدرولوجية لسطح مدينة إب، وفيما يأتي بعض وأهم الخصائص الهيدرولوجية الجريانية لسطح مدينة إب والمتمثلة بـ: معامل الفيضان، وزمن الاستجابة (زمن التركيز)، وسرعة الجريان السطحي للمياه.

4.1.معامل الفيضان المائي لأحواض التصريف بمدينة إب:

تؤثر الخصائص الجيومترية، والخصائص المورفومترية للأحواض المائية بشكل كبير على خصائصها الهيدرولوجية الجريانية؛ فهي إما أن تزيد من سرعة حركة الماء في المجاري، ومن ثم وصول الفيضان (السيل) إلى نهاية الحوض أو إلى أي موقع على امتداد المجرى الرئيسي لهذا الحوض، وإما أنها تعيق حركة الجريان المائي، وتتحكم الخصائص الجيومترية، والمورفومترية التي تم تحليلها ومناقشتها سابقاً في هذه الدراسة في: نمط جريان السيول، وأيضاً تتحكم في الفاصل الزمني بين تساقط المطر وحدوث الفيضان في الحوض المائي لمدينة إب.

علماً بأنه تم حساب معامل الفيضان لمنطقة الدراسة من خلال المعادلة الآتية:

معامل الفيضان = كثافة التصريف لكل حوض (كم/كم^2) X تكرارية مجاري الرتبة الأولى لكل حوض (مجرى/كم^2)، والجدول (11) أدناه: يبين أن متوسط معامل الفيضان للحوض المائي الكلي لمدينة إب وصل إلى (1.3)، وسُجلت أدنى قيمة لمعامل الفيضان في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (1.08)، وسبب انخفاض قيمة معامل الفيضان في هذا الحوض؛ يعود إلى انخفاض عدد مجاري الرتبة الأولى في حوض وادي سائلة قحزة-السبل حيث بلغت (7) روافد كما هو مبين في الجدول (4).

الجدول (11): معدل الفيضان، وسرعة الجريان وزمن الاستجابة لأحواض التصريف بمدينة إب.

اسم الحوض	مساحة الحوض الكلي لمدينة إب كم^2	طول المجرى الرئيسي كم	أدنى منسوب للحوض م	أعلى منسوب للحوض م	معدل انحدار الحوض %	زمن الاستجابة (التركيز) دقيقة	سرعة الجريان السطحي للمياه م/ثانية	معامل الفيضان
1-حوض وادي سائلة جبلة	38	8	1940	2660	95	49.58	0.75	1.36
2- حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم	31	7	1860	2730	124.23	38.11	0.85	1.39
3-حوض وادي سائلة قحزة-السبل	26	8	1970	2600	78.75	43.84	0.84	1.08
الحوض المائي الكلي لمدينة إب	95	23	1860	2730	37.83	120.91	0.88	1.31

المصدر: الباحثان اعتماداً على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

4.2.زمن الاستجابة (زمن التركيز) لأحواض التصريف بمدينة إب:

يُمثل زمن الاستجابة (زمن التركيز)، وسرعة الجريان السطحي للمياه أكثر المعاملات تحديداً للخصائص الهيدرولوجية الجريانية للحوض المائي. علماً بأن زمن الاستجابة يُقاس بالفترة الزمنية التي يستغرقها جريان الماء من أبعد نقطة في الحوض إلى نهايته أو إلى أي موقع على طول امتداد المجرى الرئيسي. ويمكن حساب زمن التركيز للأحواض التصريفية بمدينة إب من خلال المعادلة الآتية: (Jaton, 1980, P 41) $Tc = 76.3\ \sqrt{S}/\sqrt{I}$ حيث إن: Tc= زمن الاستجابة (التركيز)، S= مساحة الحوض كم^2، i= معدل الانحدار(%)، وعند تطبيق المعادلة السابقة على الحوض الكلي لمدينة إب وعلى الأحواض الفرعية التابعة له، وكما هو مبين في الجدول (11) أعلاه، وجد أن زمن الاستجابة للحوض المائي الكلي لمدينة إب بلغ (120.91) دقيقة، وهي قيمة تُشير إلى أن جريان السيول في الحوض المائي الكلي لمدينة إب يستغرق تقريباً ساعتين من الزمن للوصول من المنابع إلى المصب الرئيس للحوض (أي يتميز الحوض الكلي لمدينة إب بأسرع استجابة)، بينما في الأحواض الفرعية تتراوح بين (38.11-49.58) دقيقة؛ أي تمتاز بأسرع استجابة؛ كونها تحتاج تقريباً إلى أقل من ساعة واحدة زمنية لوصول الجريان المائي (السيول) من منبع كل حوض إلى المصب الرئيس لكل حوض فرعي.

4.3.سرعة الجريان السطحي للمياه في أحواض التصريف بمدينة إب:
سرعة الجريان السطحي للمياه (م/ثانية) في منطقة الدراسة تم استخراجها من المعادلة التالية: (Jaton, 1980, P 42) V = Lm/3.6 Tc(s)، حيث إن: V= سرعة الجريان، Lm= طول المجرى الرئيسي بالمتر، Tc(s)= زمن الاستجابة بالثواني وعند تطبيق المعادلة السابقة على الحوض الكلي لمدينة إب وعلى الأحواض الفرعية وقد أظهرت نتائج تطبيق معادلة حساب سرعة الجريان، والموضحة بالجدول (11) ما يأتي: أن معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في الحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغت (0.88) م/ثانية، وهو معدل متقارب في جميع الأحواض في منطقة الدراسة؛ إذ بلغ معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة جبلة (0.75) م/ثانية، أما معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم فبلغ (0.85) م/ثانية، بينما بلغ معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (0.84) م/ثانية؛ أي إنها متساوية تقريباً بمعدلات سرعة الجريان. وترجع قلة معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في أحواض مدينة إب إلى انخفاض معدل الانحدارات للمجاري الرئيسة، وإلى المساحات المستوية والواسعة في المجاري العليا والرئيسة (المصاب) لتلك الأحواض، ونظراً لتركز الانحدارات الشديدة في الأحواض التصريفية لمدينة إب في المجاري الدنيا (الرتبة الأولى والثانية) التي تُمثل منابع هذه الأحواض.
وخلاصة التحليل السابق للخصائص الهيدرولوجية الجريانية لأحواض التصريف بمدينة إب تتمثل في انخفاض معامل الفيضان، وصغر زمن الاستجابة لوصول الجريان السطحي للمياه من المنبع إلى المصب الرئيس للحوض؛ ومن ثم بطء سرعة الجريان السطحي. مع عدم وجود علاقة بين معامل الفيضان للأحواض المدروسة وزمن الاستجابة.

النتائج:
من خلال تحليل الخصائص الهيدرومورفومترية المتمثلة بـ: الخصائص الجيومترية (الابعاد الأساسية والمساحية، والشكلية)، والخصائص التضاريسية، والخصائص المورفومترية لشبكة التصريف السطحية للحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، واعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، وعلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ تم التوصل إلى عدد من النتائج التي تُعتبر ذات مؤشرات ومدلولات هيدرولوجية خاصة بالحوض المائي لمدينة إب؛ من أهمها:
1-تُعتبر أحواض التصريف المائية في منطقة الدراسة أحواضاً صغيرة في الامتداد المساحي؛ ولعل السبب الرئيس يُعود إلى الظروف الجيولوجية البنيوية للمنطقة، وللنشاط البركاني الكبير الذي حدث في العصر الثلاثي وبداية العصر الرباعي اللذين كان لهما الدور الكبير في تكون السلاسل الجبلية المرتفعة، التي أسهمت مع الصدوع والفواصل في صخور المنحدرات الجبلية في قلة أعداد المجاري الأولية فيها خاصة أعداد الرتبة الأولى، وقصر أطوالها، ونتيجة لظاهرة التنافس التي نشأت بين المجاري الأولية على المسافات والمساحات الفاصلة بين الأحواض في مناطق الصراع الهيدرولوجي المتمثلة بمناطق تقسيم المياه؛ أدى إلى تنشيط عمليات الحث التراجعي، وتوسيع الوديان الرئيسة (ذات الرتب العالية) في الحوض المائي الكلي لمدينة إب.
2-أن الحوض المائي الكلي لمدينة إب يميل إلى الاستطالة، بينما الأحواض الفرعية التابعة له مالت إلى الاستطالة بنسب مرتفعة أعلى من الحوض الكلي لمدينة إب؛ ما يُشير هيدرولوجياً إلى زيادة مساحة الجريان المائي من المنبع إلى المصب، وإلى وصول المياه إلى المصب الرئيس للأحواض علي شكل دفعات متدفقة، ومتتالية، ومتقاربة في الحجم، وبزمن متعاقب، أي أنها ذات جريان منتظم زمانياً، كما أن كمية التصريف تكون واطئة، فضلاً عن بطء وصول المياه من المنبع إلى المصب خلال جريانها بسبب تعرضها إلى عاملي التبخر والترشيح؛ ما يعني طول مدة التصريف التي تتناسب طردياً مع مدى استطالة الحوض؛ وبالتالي انخفاض دلالة ومؤشرات احتمالية خطر حدوث الفيضانات في الحوض الكلي لمدينة إب.
3-أن زيادة طول الحوض المائي الكلي لمنطقة الدراسة (23) كم مقارنة بعرضه (12.43) كم، مع بروز حالة انتظام في عرض الأحواض التصريفية الفرعية لمدينة إب، فضلاً عن زيادة مساحة الأحواض نحو المنبع وضيقها عند المصب؛ ما جعل معامل شكل الأحواض يقترب من الشكل الهندسي للمثلث، بحيث

شكلت منطقة المنبع قاعدة المثلث، والمصب شكل رأس المثلث؛ وتسبب ذلك هيدرولوجياً بجريانات سطحية للمياه منتظمة من الناحية الزمنية، وبشكل دفعات مائية متواصلة (متوالية)، ومتقاربة في الحجم، وتتوافق مع زمن التركيز وهذا يُفسر؛ هيدرولوجياً بمأمن أدنى الحوض من خطورة حدوث الفيضانات؛ وذلك لطول المسافة التي تقطعها مياه الأمطار والسيول للوصول لمخرج الحوض، وبطء سرعة الجريان السطحي للمياه، فضلاً عن نفاذية التربة والصخور وانتشار الشقوق والفواصل فيها، والانحدار البسيط للمجاري المائية الرئيسة للأحواض ذات الرتب العليا؛ ما يؤدي إلى زيادة الفواقد المائية عن طريق تسرب المياه لباطن الأرض أو التبخر.

4-اختلاف تضرس الحوض الكلي لمدينة إب من مناطق المنابع في المناطق الجبلية المرتفعة على طول مناطق تقسيم المياه بين الأحواض الفرعية التابعة للحوض الكلي إلى منطقة المصب لجميع المجاري المائية؛ إذ اقتصرت شدة التضرس العالية في مناطق المنابع (المجاري المائية الأولية)، وتميز الحوض الكلي لمدينة إب بنسبة تضرس عالية بلغت (37.83) م/كم، بينما سجلت الأحواض الفرعية نسب تضرس مختلفة؛ إذ سجل حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم تضرساً شديداً بلغ (124.23) م/كم؛ بسبب زيادة الفارق بالارتفاع بين منسوب أعلى نقطة وأقل نقطة بالحوض وصلت إلى (870) م؛ ما يعني احتمالية حدوث جريانات عالية للمياه في هذا الحوض مقارنة بحوض وادي سائلة جبلة الذي سجل نسبة تضرس شديدة بلغت (90) م/كم، أما حوض وادي سائلة قحزة-السبل فقد بلغت نسبة التضرس فيه (78.75) م/كم، ويُعود سبب ارتفاع نسبة التضرس لأحواض التصريف لمدينة إب إلى الانحدار الشديد لمجاريها المائية في مناطق تقسيم المياه من نطاق المرتفعات الجبلية، وإلى زيادة أطوالها واستطالتها، وإلى قوة التعرية المائية في المنطقة؛ ومن ثم تكون الرواسب المنقولة كبيرة الكمية.

5-أن أهم الدلائل الهيدرولوجية المستنبطة من قيم الوعورة للحوض المائي الكلي لمدينة إب ولأحواضه المائية الفرعية التي بلغت درجة وعورتها (0.6) وهي قيمة منخفضة، أن الحوض المائي في مرحلة النضوج، وأن انخفاض الكثافة التصريفية للأحواض الفرعية التابعة للحوض الكلي لمدينة إب، أثر في طبيعة صخور منطقة الحوض على انخفاض درجة الوعورة والمكونة من صخور نارية كثيرة الفواصل والشقوق، التي تمتاز عن غيرها بنفاذية عالية، فضلاً عن وجود ترسبات حديثة خليط من الحطام الصخري والطين والرمل، وأيضاً تُشير القيمة المنخفضة للوعورة الأحواض المدروسة إلى زيادة أطوال المجاري المائية الرئيسية ذات الرتب العليا للأحواض أكثر من أطوال المجاري ذات الرتب الدنيا، بالإضافة إلى أنها تُشير بشكل عام إلى قلة أعداد المجاري المائية، وصغر مساحتها الحوضية.

6-أن قيمة معدل التقطيع الحوض المائي الكلي لمدينة إب (1.71) مجرى/كم، وهي قيمة منخفضة، ومن أهم المؤشرات والمدلولات الهيدرولوجية لهذه القيمة: أن التقطيع لسطح الحوض المائي بواسطة مجاري شبكة التصريف خشن جداً بمعنى تباعد المجاري المائية فيما بينها، وتُشير أيضاً إلى قلة أعداد المجاري المائية وقصر أطوالها، وزيادة الضائعات المائية؛ ما يُعيق تطور الجريان السطحي للمياه، وانخفاض كمية الجريان السطحي للمياه في أحواض منطقة الدراسة.

7-ينتهي الحوض المائي الكلي لمدينة إب بالرتبة الخامسة، وبلغ مجموع عدد المجاري المائية لجميع الرتب (124) مجرى مائي تمثل شبكة التصريف المائي لجميع أحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة، وبطول (74.64) كم، وتمثل قلة أعداد مجاري الرتبة الأولى مقارنة بأعداد مجاري الرتبة الثانية، شذوذاً؛ هذا الشذوذ هو نتيجة تجاوز الأحواض الفرعية وتنازعها على خط تقسيم المياه؛ ما أدى إلى عدم السماح بتطوير ونمو أعداد مجاري الرتبة الأولى في تلك الأحواض؛ ما أعاق من توقيعها وقلة أعدادها، ولعل من أسباب قلة أعداد الرتبة الأولى، إن الرتبة الأولى دائماً ما تكون غير واضحة المعالم بشكل عام على الخرائط الكنتورية، فضلاً عن انخفاض الارتفاع في الجهة الشمالية والجهة الشمالية الغربية لمنطقة الدراسة مقارنة بالجهة الشرقية والجنوبية للمنطقة، وزيادة أطوال مجاري الرتبة الثانية، وشدة انحدار السفوح الجبلية التي تنحدر منها المجاري الأولية؛ وكذلك يرجع الأمر إلى زيادة أطوال الرتبة الثانية، كل ما سبق منع من تطور أودية الرتبة الأولى.

8-أن مجاري الرتبة الأولى في الحوض الكلي لمدينة إب تُمثل نسبة تشعب منخفضة (0.8)، مقارنة بالرتبة الثانية؛ إذ بلغت نسبة التشعب فيها حوالي (1.9)، بينما تكون نسبة التشعب عالية في الرتب العليا(الرتبة

الرابعة والخامسة)؛ إذ بلغت على التوالي (2) و(13)، وقد سُجل متوسط نسبة التشعب الإجمالي في الحوض المائي الكلي لمدينة إب حوالي (2.2)، وعليه فإن أهم دلائلها الهيدرولوجية: انخفاض نسبة التشعب يؤدي إلى زيادة زمن وصول الموجات المائية من المنبع إلى المصب، وإلى زيادة حجم الموجات المائية، فضلاً عن انخفاض مؤشرات ودلالات خطر حدوث الفيضانات؛ لانخفاض كميات المياه وكثافتها التصريفية، وتأثر الأحواض بنسب أقل من الحركات البنيوية داخل الحوض الكلي.

9-أن كثافة التصريف العددية للحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغت (1.31) مجرى/كم^2، وهي كثافة منخفضة، بينما سجل كل من حوض وادي سائلة جبلة وحوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم نفس قيمة تكرارية المجاري (1.39) مجرى/كم^2، وهي أعلى قيمة مقارنة بباقي الأحواض الفرعية بمنطقة الدراسة، وجميع قيم الكثافة التصريفية العددية للأحواض المدروسة منخفضة؛ بسبب زيادة طول المجرى الرئيس في الحوض المائي لمدينة إب (23) كم؛ ما يُشير إلى امتداد المجرى الرئيس للحوض لمسافات طويلة مقارنة بأطوال المجاري الفرعية للحوض؛ ما قلل من أعداد الروافد ومن ثم معدل تكرارها، ومن أهم مدلولاتها الهيدرولوجية: بطء سرعة الجريان السطحي للمياه. ويمكن الاستدلال مما سبق إلى أن زيادة أطوال المجاري التي يمكن أن ترفع كثافة التصريف لا تؤدي بالضرورة إلى زيادة أعداد المجاري، ومن ثم تكراريتها، ومن ثم ترتبط تكرارية المجاري بزيادة الأعداد وتغيرات المسافة أكثر من ارتباطها بالأطوال.

10-ارتفاع قيم معدل بقاء المجرى للحوض المائي الكلي لمدينة إب فبلغت (1.27) كم^2/كم؛ أي إن كل واحد كم من أطوال المجاري تُغذية مساحة تُقدر بنحو (1.27) كم، وهي قيمة مرتفعة (نتيجة لكُبر مساحة الحوض على حساب أطوال مجاريه المائية)، ونتيجة لتباعد مجاري الشبكة النهرية عن بعضها البعض، وهذا ما يتفق مع كل من نتائج المستخلصة للكثافة التصريفية ونسب التشعب لأحواض منطقة الدراسة؛ ما يعني عدم تأثر مجاري الشبكة النهرية لمنطقة الدراسة بالتراكيب الجيولوجية البنيوية، كما تتسم التربة بنفاذية عالية، والانحدار المنخفض جداً (البسيط) للمجاري المائية الرئيسية، وجريان سطحي للمياه بطيء.

11-في ضوء قيم معامل التعرج لوديان الحوض المائي الكلي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له التي بلغت أقل من (1.5)، فإن من مؤشراتها أو دلائلها الهيدرولوجية: إن وديان الأحواض المدروسة تكون أقرب إلى الالتواء منها إلى الاستقامة؛ ويعود السبب إلى التشابه في الظروف الجيولوجية والتضاريسية والمناخية في تللك الأحواض؛ ما يؤدي إلى التخفيف من طاقة الجريان السطحي للمياه، وتزيد من قدرة الوادي على الحمولة؛ بسبب عمليات التعرية المباشرة على نقاط الالتواء (التعرج)، وهذا يبطئ من زمن وصول المياه الجارية من المنبع إلى المصب (بطء سرعة الجريان السطحي للمياه)؛ ومن ثم يؤدي إلى زيادة التبخر أو التسرب المائي من الوادي (زيادة الفواقد المائية).

12-تدني شدة الصرف للحوض الكلي لمدينة إب؛ إذ بلغت (1.66)، وهي قيمة منخفضة جداً ومدلولها الهيدرولوجي يُشير إلى بطء الجريان السطحي للمياه بمنطقة الحوض، كما تم التوصل إلى أن قيمة رقم الترشيح للحوض المائي الكلي لمدينة إب (1.03)، وهي قيمة منخفضة جداً، والسبب يعود لانخفاض كل من: قيم شدة الصرف وقيم رقم الترشيح في الحوض المائي الكلي لمدينة إب بشكل عام لانخفاض قيم كل من: الكثافة التصريفية، وتكرارية المجاري المائية، ودرجة انحدار المجاري الرئيسة بالحوض.

13-أن زمن الاستجابة للحوض المائي الكلي لمدينة إب بلغ (120.91) دقيقة، وهي قيمة تُشير إلى أن جريان السيول في الحوض المائي الكلي لمدينة إب يستغرق تقريباً ساعتان من الزمن للوصول من المنابع إلى المصب الرئيس للحوض (أي يتميز الحوض الكلي لمدينة إب بأسرع استجابة)، بينما في الأحواض الفرعية تتراوح بين (38.11-49.58) دقيقة؛ أي تمتاز بأسرع استجابة؛ كونها تحتاج تقريباً إلى أقل من ساعة واحدة زمنية لوصول الجريان المائي (السيول) من منبع كل حوض إلى المصب الرئيس لكل حوض فرعي.

14-أن معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في الحوض المائي الكلي لمدينة إب قد بلغت (0.88) م/ثانية، وهو معدل متقارب في جميع الأحواض في منطقة الدراسة؛ إذ بلغ معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة جبلة (0.75) م/ثانية، أما معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم فبلغ (0.85) م/ثانية، بينما بلغ معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في حوض وادي سائلة قحزة-السبل (0.84) م/ثانية؛ أي إنها متساوية تقريباً بمعدلات سرعة الجريان. وترجع قلة

معدل سرعة الجريان السطحي للمياه في أحواض مدينة إب إلى انخفاض معدل الانحدارات للمجاري الرئيسة، وإلى المساحات المستوية والواسعة في المجاري العليا والرئيسة (المصاب) لتلك الأحواض، ونظراً لتركز الانحدارات الشديدة في الأحواض التصريفية لمدينة إب في المجاري الدنيا (الرتبة الأولى والثانية) التي تُمثل منابع هذه الأحواض.

التوصيات:

في ضوء النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة؛ نوصي بما يأتي:

1-ضرورة الاستفادة من مياه الجريان السطحي (السيول) التي يُحدثها الحوض التصريفي المائي في مدينة إب والأحواض الفرعية التابعة له، خلال موسم التساقط المطري بإنشاء تقنيات حصاد المياه الملائمة لكل حوض مثل: السدود الترشيحية، والحواجز والبرك والكرفانات المائية، وذلك بإقامتها على المجاري المائية الرئيسية (الوديان-السائلة) لتلك الأحواض الفرعية، والاستفادة منها في الأغراض الزراعية، وفي التغذية الاصطناعية لخزانات المياه الجوفية لمدينة إب.

2-ضرورة إنشاء محطات الرصد لتصاريف الوديان في الحوض المائي لمدينة إب؛ لأهمية الحوض من الناحية الهيدرولوجية، فضلاً عن ضرورة إقامة محطات مناخية خاصة بالعنصر المطري لأهمية ذلك في الدراسات الهيدرولوجية التطبيقية المستقبلية.

3-ضرورة القيام بدراسة الخصائص الهيدرولوجية الجريانية للحوض المائي الرئيس لمدينة إب باستخدام التقنيات الحديثة كالاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خاصة النموذج الرياضي الهيدرولوجي (SCS-CN)، لفهم هيدرولوجية الوديان المائية الموسمية الموجودة في مدينة إب.

المصادر والمراجع:

1-آل سعود، مشاعل بنت محمد، (2014): دراسة هيدرولوجية وادي السلي بمنطقة الرياض، الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض، الرياض، المملكة العربية السعودية، ص 1- 57.

2-العمامي، مطيع عبده، (2021): التحليل الجغرافي لتوزيع الجريمة في محافظة إب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، *رسالة ماجستير (غير منشورة)*، جامعة إب، كلية الآداب، إب، اليمن، ص 1-253.

3-عبدالله، خالد أكبر وسلمان، نيران محمود، (2015): الخصائص المورفومترية لحوض وادي الرياضة في قضاء عنه باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، *مجلة أوروك*، جامعة المستنصرية، كلية التربية، بغداد، العراق، المجلد (8)، العدد (4)، ص 422.

4-ناجي، عادل حمود والورافي، محمد عبده، (2022): تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية اصطناعياً في الحوض المائي لمدينة إب-اليمن باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، جامعة تعز، كلية التربية فرع التربة، تعز، اليمن، العدد (24)، ص 538-571.

5- Abdulla, H. (2011): *Morphometric Parameters Study for the Lower Part of Lesser zap Using GIS Technique*, Journal of Earth Science Department, College of Science, University of Baghdad, Baghdad, Iraq, 7(2): 127-155.

6- Ali, S. and Khan, N. (2013): *Evaluation of Morphometric Parameters Remote Sensing and GIS Based approach*, Open Journal of Modern Hydrology, Department of Geology, Aligarh Muslim University, India, 3: 20-27.

7- Carlston, C. (1963): *Drainage Density and Stream Flow*, Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers: C1-C8.

8- Cooke, D.P. (1974): *Geomorphology in Environmental Management*, Clarendon Press, Oxford, 1-11.

9- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1973): *Drainage Basin from and Process from Geomorphological approach*, Edward Arnold, London. 269.

10- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1975): *Drainage Basin from and Process from Geomorphological approach*, New York. 51.

11- Horton, R.E. (1932): *Drainage Basin Characteristics*, Transaction, America Geophysical Union, 13: 350-361.
12- Horton, R.E. (1945): *Erosional Development of Stream and their Drainage Basins: Hdrophysical approach to Quantitative Morphology*, Geological Society of America Bull, 56: 275-370.
13- Jaton, J.F. (1980): *Hydrologic De Surface (1ere partie):Ecoulement De Surface Et Debits Des Crues*, Ecole, Polytechnique, Institute De Genine Rural, Lausanne,42-129.
14- Langbein, W.B. (1947): *Topographic Characteristics of Drainage Basins*, Geological Survey, Water-Supply, 968-C: 125-158.
15- Miller, V. (1953): *A quantitative Geomorphic Study for Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee*, Technical Report No. 3,1-30, N6 ONR27130, Geology Department, Colombia University.
16- Morisawa, M. (1968): *Stream their Dynamics and Morphology*, McGraw-Hill, New York.
17- Pareta, K.U. (2011): *Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin India Using Aster (DEM) Data and GIS*, International Journal of Geometics and Geosciences, 2,I(1): 248-269.
18- Pareta, K.U. (2012): *Quantitative Geomorphologic Analysis of a Watershed of Ravi River Basin H.P. India*, International Journal of Remote Sensing and GIS, 1,I(1): 47-62.
19- Ramaiah, S. Gopalakrishna, G. Vittala, S. Najeeb, K. (2012): *Morphometric Analysis of Sub-basin in and around Malur Taluk Kolar District Karnataka Using Remot Sensing and GIS Techniques*, Nature Environment and Pollution Technology An International Quartery Scientific Journal, 11, (1): 89-94.
20- Rao, N.L. Latha, S. Kumar, A. Krishna, H. (2010): *Morphometric Analysis of Gostani River Basin in Andhra Pradesh Sate India Using Spatial Information Technology*, International Journal of Geometics and Geosciences, 1,(2): 179-187.
21- Schumm, S. (1956): *The Elevation of Drainage Systems and Slopes in Badland of Berth Amboy New Jersey*, Bulletin of Geological Society of America System, (67): 597-646.
22- Shultz, M.J. (2007): *Comparison of Distributed Versus Lumped Hydrologic Simulation Model Using Stationary and Moving Storm Events Applied to Small Synthetic Rectangular Basins and An Actual Watershed-Basin*, Ph.D. the University of Texas.
23- Smith, K. (1950): *Standard for Grading Textures of Erosional Topography America*, Journal SCI, 248-660.
24- Sreedevi, P. Owais, S. Khan, H. and Ahmed, S. (2009): *Morphometric Analysis of A Watershed of South India Using SRTM Data and GIS*, Journal of Geological Society of India, (67), 73: 543-552.
25- Strahlar, A.N. (1957): *Quantitative Analysis Watershed Geomorphology*, Transaction, American Geophysical Union, 38 (6): 913-920.
26- Strahlar, A.N. (1964): *Quantitative Geomorphology of Erosional Topography*, Bullentin of the Geological Society of America, 67: 571-596.
27- Verstaphen, H.T. (1983): *Applied Geomorphological Sources for Environment Development*, Chapter (4), Elsevier, New York, 193-211.
28- Wolman, M.G. Miller, J.P and Leopold, L.B. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*, Freeman, San Francisco, 522.