ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Dr. Dhia Al-Din Abdul-Hussein Owaid

Wasit University, College of Education for Humanities

Email: dawaid@uowasit.edu.iq

Keywords:

Morphohydrological , Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), Artificial Intelligence (AI), Data Integration.

CC BY

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 26. Sep.2026

Revised 10. Nov.2026

Accepted 12. Nov.2026

Published 25. Nov.2026

Integrated Cartographic Representation of the Morpho-Hydrological Characteristics of the Wadis in Eastern Wasit Governorate Using Geographic Information Systems, Remote Sensing, and Artificial Intelligence (GIS–RS–AI)

A B S T R A C T

The research aims to reveal the integrative cartographic method in linking the morphohydrological characteristics of the basins of the eastern part of Wasit Governorate using cartographic representation according to statistical analyses of both morphometric and hydrological variables, and adopting the statistical standard and indicator and representing them cartographically to link spatial data using Geographic Information Systems, Remote Sensing, and integrative Artificial Intelligence in calculating correlation relationships (GIS → RS → Statistics → AI → Cartographic Integration) among the variables. This is considered one of the problems of cartographic representation in measuring point, linear, and areal data in map drawing and with spatial professionalism that represents the change in the methodology of thematic map drawing according to a map scale that links the statistical variables. Therefore, the research adopted the calculation of areal, shape, drainage-network, and hydrological indices using the statistical analysis of data derived from DEM and field observations of the basin areas using the Global Positioning System (GPS) for the reliability of the spatial data adopted in the study. Through developing an integrative cartographic methodology that combines morphometric and hydrological measurements, statistical analysis, spatial modelling, and cartographic representation, this provides spatial and statistical significance for calculating any integrative spatial data for map production

© 2026 EDUJ, College of Education for Humans Sciences, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol65.Iss2.5679

التمثيل الخرائطي التكاملي للخصائص المورفوهيدرولوجية لأودية الجزء الشرقي من محافظة واسط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي (GIS–RS–AI)

أ.م.د. ضياء الدين عبد الحسين عويد
جامعة واسط ـ كلية التربية للعلوم الإنسانية

المستخلص

يهدف البحث الى الكشف عن الطريقة التكاملية الخرائطية في ربط الخصائص المورفوهيدرولوجية لأحواض الجزء الشرقي لمحافظة واسط باستخدام التمثيل الخرائطي وفق التحليلات الإحصائية لكل من المتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية واعتماد المعيار والمؤشر الاحصائي وتمثيلها خرائطيا لربط البيانات المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والذكاء الاصطناعي التكاملي في حساب العلاقات الارتباطية (GIS → RS → Statistics → AI → Cartographic Integration) بين المتغيرات وهذا يعد من المشاكل التمثيل الخرائطي لقياس البيانات النقطية والخطية والمساحية في رسم الخرائط وباحترافية مكانية تمثل التغير في منهجية رسم الخرائط الموضوعية وفق مقياس رسم يربط بين المتغيرات الإحصائية لذلك اعتمد البحث حساب المؤشرات المساحية والشكلية والشبكية والهيدرولوجية بأسلوب التحليل الاحصائي للبيانات المشتقة من DEM والرصد الحقلي لمناطق الاحواض باستخدام جهاز الموقع العالمي GPS لموثوقية البيانات المكانية المعتمدة بالدراسة . من خلال تطوير منهجية خرائطية تكاملية تجمع بين القياسات المورفومترية والهيدرولوجية والتحليل الاحصائي والنمذجة المكانية والتمثيل الكارتوغرافي، هذا يعطي دلالة مكانية إحصائية لحساب أي بيانات مكانية تكاملية لإنتاج الخرائط.

الكلمات المفتاحية: المورفوهيدرولوجية ، التمثيل الخرائطية، GIS، RS، الذكاء الاصطناعي، تكامل البيانات.

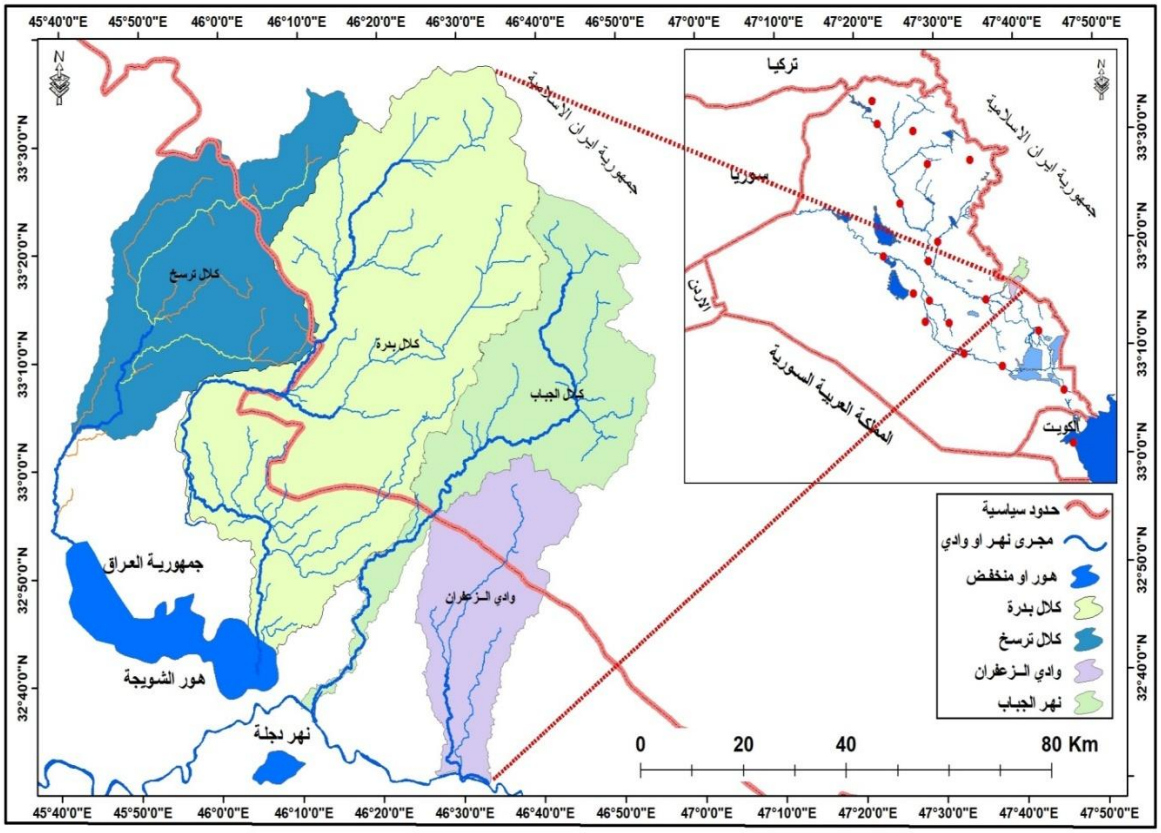
أولا: مشكلة البحث: هل يمكن تطوير منهجية خرائطية تكاملية قادرة على ربط القياسات والمؤشرات المورفومترية والهيدرولوجية بالتحليل الإحصائي والنمذجة المكانية، وتحويل نتائجها إلى خرائط موضوعية متكاملة ذات دلالة مكانية وإحصائية، مما يسهم في تحسين تمثيل البيانات المكانية وإظهار العلاقات والتباينات المورفوهيدرولوجية لأحواض الجزء الشرقي من محافظة واسط.

ثانيا: فرضية البحث: توظيف المؤشرات والمعايير المورفومترية والهيدرولوجية وربطها بالتحليل الإحصائي والعلاقات الارتباطية، وتحويل نتائجها إلى طبقات وخرائط موضوعية، يتيح بناء تمثيل خرائطي ذي دلالة مكانية وإحصائية يمكن من خلاله تكامل البيانات النقطية والخطية والمساحية وإنتاج خرائط موضوعية تعكس التباين المكاني للخصائص المدروسة.

ثالثا: موقع حدود البحث: تقع منطقة الدراسة في الجزء الشرقي من محافظة واسط، وتمثل مجموعة من الأحواض المائية والأودية التي تمتد ضمن المنطقة الشرقية للمحافظة باتجاه الحدود العراقية–الإيرانية. وتشمل الدراسة عددًا من الأحواض الرئيسة، من اهمها حوض وادي كلال بدرة، وحوض وادي كلال ترسخ، وحوض نهر الجباب، وحوض وادي كلال الزعفران. وتتباين خصائصها المورفومترية والهيدرولوجية من حيث المساحة والشكل وشبكة التصريف والخصائص التضاريسية والاستجابة الهيدرولوجية، ولتطبيق التحليل المكاني والإحصائي والتمثيل الخرائطي التكاملي.

تم تحديد حدود منطقة الدراسة وأحواضها المائية اعتمادًا على نماذج الارتفاع الرقمية (DEM) وتحليل شبكة التصريف باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مع الاستفادة من بيانات الاستشعار عن بُعد والرصد الحقلي باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) للتحقق من بعض المعالم والبيانات المكانية. والموقع الفلكي دوائر العرض (33°30′N – 34°40′N) خطوط الطول (45°50′E – 46°50′E). ينظر خريطة (١) موقع منطقة الدراسة من العراق.

خريطة (١) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة على مستوى العراق والمحافظة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الارتفاع الرقمي DEM بدقة مكانية ٣٠ م وخريطة العراق الإدارية لعام ٢٠١٤ مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠ باستخدام برنامج Arc Map 10.8

رابعا: منهجية البحث: اعتمد البحث على منهجية تكاملية تجمع بين التحليل المكاني والكمي والتكامل الكارتوغرافي لتحليل الخصائص المورفوهيدرولوجية لأحواض الجزء الشرقي من محافظة واسط، وفق التسلسل:

GIS → RS → Statistics → AI → Cartographic Integration

وتضمنت المنهجية إعداد ومعالجة البيانات المكانية ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، واستخراج حدود الأحواض وشبكات التصريف وحساب المؤشرات المساحية والشكلية والشبكية والهيدرولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. إضافة الى توظيف بيانات الاستشعار عن بُعد والرصد الميداني باستخدام (GPS) لدعم دقة البيانات المكانية. واعتماد التحليل الإحصائي للمتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية، ودراسة العلاقات الارتباطية بينها وتصنيف قيم المؤشرات، وتوظيف الذكاء الاصطناعي والنمذجة المكانية في تحليل العلاقات والتكامل بين المتغيرات. وفي المرحلة النهائية تم تحويل النتائج إلى طبقات مكانية وخرائط موضوعية ودمجها لإنتاج تمثيل خرائطي تكاملي يوضح التباين والعلاقات المكانية والإحصائية بين الخصائص المورفوهيدرولوجية للأحواض. وتتضمن منهجية البحث أربع مراحل رئيسة مترابطة :

أولًا: إنتاج قاعدة بيانات مكانية للمؤشرات المورفوهيدرولوجية

تعد مرحلة جمع وتنظيم البيانات المكانية والوصفية مرحلة أولية لبيانات ومنها نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) والمرئيات الفضائية، والخرائط الجيولوجية والجيومرفولوجية، وبيانات التربة واستعمالات الأرض، فضلًا عن بيانات الأمطار والجريان السطحي والسيول . وتكون معالجة البيانات ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، لاشتقاق استخراج شبكة التصريف وحدود أحواض الأودية واتجاهات الجريان والتجمع المائي اعتمادًا على مصادر البيانات، وتُحسب مجموعة من المؤشرات المورفوهيدرولوجية، مثل مساحة الحوض، المحيط، طول الحوض، أطوال المجاري، رتب المجاري، نسبة التشعب، كثافة التصريف، تكرار المجاري، معامل الشكل، نسبة الاستطالة، نسبة الاستدارة، التضرس، الانحدار وغيرها من المؤشرات التي تخدم هدف البحث. وتُنظم جميع النتائج في **قاعدة بيانات مكانية موحدة** ترتبط بالوحدات الحوضية، بحيث تمثل كل قيمة مورفوهيدرولوجية متغيرًا مكانيًا قابلًا للتحليل والتمثيل الخرائطي **(Ma'rouf et al 2025)** . اهم خطوات العمل هي

أ- **طرائق العمل داخل برنامج:GIS** لتحويل خريطة الأحواض المرفقة إلى نموذج تصريف مائي حقيقي، يتم اتباع المنهجية العلمية التالية باستخدام **نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)** للمنطقة لإنتاج الخرائط للمؤشرات

١- **معالجة سطح الأرض :(Fill)** لمعالجة الفراغات أو الخلايا الخاطئة في نموذج الارتفاع الرقمي لضمان جريان المياه بشكل صحيح دون انقطاع.

٢- **تحديد اتجاه الجريان :(Flow Direction)** تحديد المسار الإجباري الذي تسلكه مياه الأمطار من الارتفاعات العالية إلى المناطق المنخفضة بناءً على ميل السطح.

٣- **التراكم المائي :(Flow Accumulation)** حساب كمية الخلايا المائية المتجمعة، وهي الخطوة المسؤولة عن رسم **مجاري الأودية وشبكة التصريف المائي** بدقة متناهية .

٤- **ترتيب الأودية :(Stream Order)** تصنيف رتب المجاري المائية (مثل طريقة Strahlerأو Shreveلمعرفة رتبة كل وادٍي الرتبة الأولى، الثانية، وصولاً إلى المجرى الرئيسي لكل حوض.

٥- **استخلاص الحدود :(Basin / Watershed)** رسم الحدود الرقمية الدقيقة لكل حوض من الأحواض الأربعة (كلال بدرة، ترساخ، الجباب، الزعفران) ومطابقتها مع الخريطة الورقية الأصلية

DEM → Fill → Flow Direction → Flow Accumulation → Stream Order → Basin / Watershed → Map

ثانيا: التمثيل الخرائطي للمؤشرات الإحصائية المساحية للأحواض المدروسة:

إن عمليات تجميع البيانات وادارتها تتطلب مجهودا كبيرا ونظرة واسعة للبيانات، ويجب ان تشمل البيانات على البيانات المطلوبة في نظم المعلومات الجغرافية **(Biesheuvel & Hemker, 1993)** وتجهيز البيانات المورفوهيدرولوجية. ويمكن ادخال البيانات بشكل يدوي من لوحة المفاتيح او بطريقة تصدير البيانات من برامج أخرى لبناء قواعد البيانات. ويمكن استبدال الإدخال اليدوي للخرائط بالمسح الضوئي. وإنّ إمكانية دمج أنواع مختلفة من البيانات المورفوهيدرولوجية باستعمال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج الخرائط التكاملية. لذلك تم استخراج القياسات المورفومترية والهيدرولوجية وتحويلها الى خرائط رقمية وورقية تم بنائها على ضوء مؤشرات إحصائية لتصنيف الاحواض كون أكثر الدراسات المورفوهيدرولوجية تفتقر الى معيار او مؤشر لتصنيفها وربطها مكانيا بحسب القياسات الحقلية والرقمية المعتمدة للدراسة. ومن اهم المؤشرات المعتمدة منها المورفوهيدرولوجية وتشمل

١- **مؤشر مساحة احواض التصريف Basin Area:** يدل مؤشر المساحة لأحواض التصريف في علاقتها الوثيقة بنظام شبكة التصريف، من خلال تشابه كل العوامل المورفوهيدرولوجية لحجم التصريف وقمته ذروة التدفق للشدة المطرية ترجعان أساساً الى مساحة حوض التصريف **(Morisawa, 1962)**. وكلما زادت قدرته على تجميع مياه الأمطار، ولذلك يمكن تمثيل الأحواض وفق فئات مساحية باستخدام Natural Breaks (Jenks) أو فئات مناسبة لطبيعة بيانات الدراسة **(Jenks, 1967)**. ينظر ملحق جدول (١)

٢- **مؤشر عرض الحوض Basin With:** يدل حساب مؤشر حساب عرض الحوض للتصريف وفق الطريقة المباشرة وذلك عن طريق تحديد أعلى أجزاء الحوض اتساعاً ومقارنتها بأعلى طول لحوض التصريف وفق استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ذات دقة مكانية (٣٠م). وحساب عرض الحوض المائي باستخدام المعادلة المورفومترية. ويمكن حساب متوسط عرض الحوض حسب المعادلة :

$$W = \frac{A}{Lp}$$

W = عرض مؤشر الحوض المائي (كم).

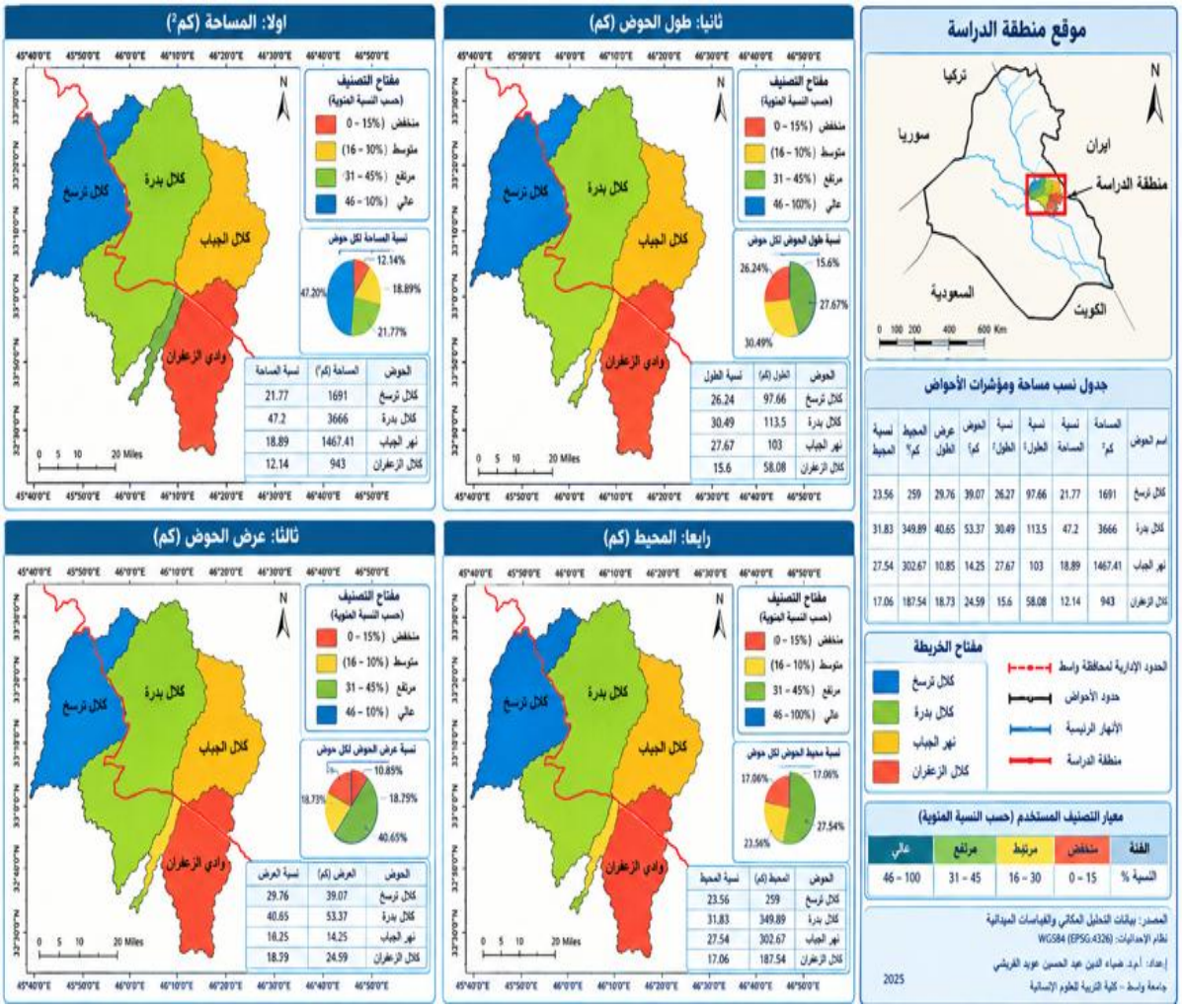
A = مؤشر مساحة الحوض (كم^2).

Lb = مؤشر طول الحوض (كم).

وقد بلغ عرض الحوض لكلال بدرة (٥٣.٣٧) كم وكلال ترسخ بلغ (٣٩.٠٧) كم ونهر الجباب ١٤.٢٥) كم وكلال الزعفران (٢٤.٥٠) كم. ينظر خريطة (٢).

٣- **مؤشر طول الحوض Basin Length (Lb):** يقاس طول الحوض المائي وفق **طريقة (Schumm)** وهي من الطرق المعتمدة عليها في قياس طول الحوض المائي من خلال خط يمتد من اوطأ نقطة في الحوض المائي وتمثل (نقطة مصب الحوض) الى أعلى نقطة في الحوض لتقسيم المياه والتي تمثل (نقطة منبع الحوض). **وطريقة (Maxwell)** يعتمد عليها في ايجاد مؤشر طول المحيط المائي وتحديد طول الحوض عن طريق قياس طول خط موازٍ للقناة النهرية الرئيسية من المصب الى المنبع ينظر خريطة (٢) وقد بلغ طول حوض كلال بدرة (١١٣.٥كم) وكلال ترسخ (٩٧.٦٦كم) ونهر الجباب (١٠٣كم) وكلال الزعفران (٥٨.٠٨كم) **(Schumm, 1956)** .

خريطة (٢) التمثيل الخرائطي لمؤشرات الخصائص المساحية لأحواض الأودية



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات جدول الملحق (١) ونتائج التحليل الخرائطي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

٤- **مؤشر معامل شكل الحوض(Form Factor)** : يُعد مؤشر الشكل من المؤشرات المورفومترية التي تستخدم لتحديد مدى اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري أو استطالته **وتمثل رموز المعادلة.** $R_f = \frac{A}{L_b^2}$

Rf= معامل شكل الحوض **A**= مساحة الحوض كم٢ **Lb**= طول الحوض كم

وتم اعتماد التصنيف حسب Natural Breaks (Jenks) . وتم التصنيف احصائيا لتحديد قيمة مؤشر شكل الحوض (Jenks, 1967) حيث نلاحظ تسجيل نهر الجباب وترسخ ضمن فئة المنخفضة ووادي كلال بدرة والزعفران ضمن الفئة المرتفعة ينظر خريطة (٣)

٢- **مؤشر نسبة الاستطالة:** (Basin Elongation): تُعد من المؤشرات المورفوهيدرولوجية المهمة في تحديد الشكل الهندسي للحوض ودرجة استطالته، إذ تعبر عن العلاقة بين قطر الدائرة التي تساوي مساحة الحوض وطول الحوض. وتشير القيم المرتفعة من هذا المؤشر إلى اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري، في حين تشير القيم المنخفضة إلى زيادة استطالة الحوض. حسب بيانات الخريطة (٣) **Re = نسبة الاستطالة، وهي قيمة بلا وحدة. A = مساحة الحوض المائي (كم ²). Lb = طول الحوض (كم). π = ثابت رياضي ≈ ٣.١٤١٦.** (Schumm, 1956)

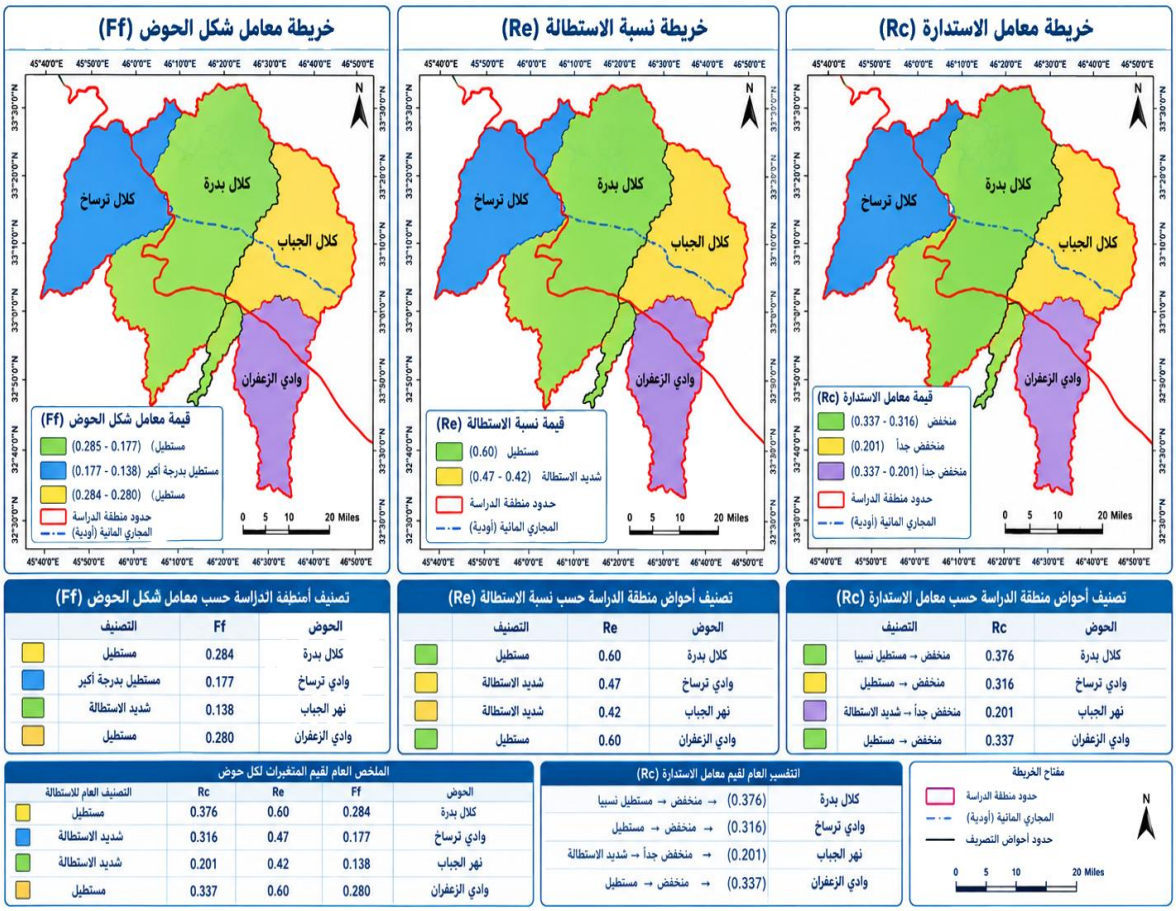
$$Re = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L_b}$$

٣- **مؤشر معامل الاستدارة الحوض: (Basin Circularity)** يُعد من المؤشرات المورفوهيدرولوجية المستخدمة في تحديد مدى اقتراب شكل الحوض من الشكل الدائري.

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Rc = مؤشر استدارة الحوض، وهو بلا وحدة. A = مساحة الحوض المائي (كم²). P = محيط الحوض (كم). π = ثابت رياضي ≈ ٣.١٤١٦.

خريطة (٣) التمثيل الخرائطي لمؤشرات الخصائص المساحية لأحواض الأودية المدروسة



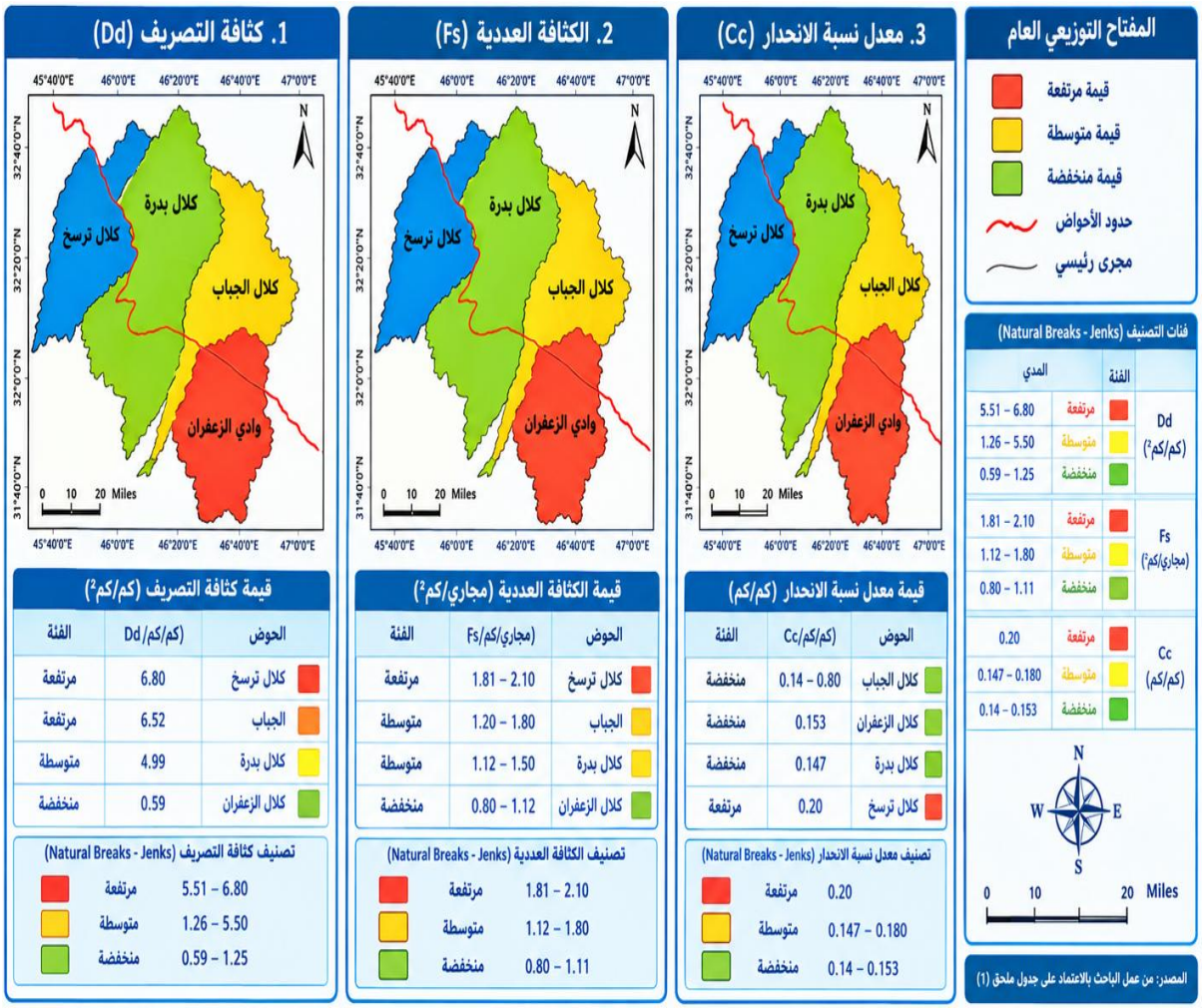
المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات جدول الملحق (١) ونتائج التحليل الخرائطي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

ثالثا: المؤشرات الشبكية للأحواض: تعد المؤشرات الشبكية للأحواض المقاييس الكمية الاحصائية التي تدرس شبكة التصريف المائي من حيث مؤشرات عدد المجاري المائية وأطوالها ومراتبها وكثافتها وتوزيعها المكاني لتحليل الشبكة الهيدرولوجية ودرجة تشعبها ومدى تأثير الخصائص الجيولوجية والتضاريسية والمناخية في تكوينها. وتمثل هذه المؤشرات أحد المحاور الأساسية في التحليل المورفوهيدرولوجية، وهي متغيرات مكانية قابلة للتمثيل الكارتوغرافي والتحليل الاحصائي بين الأحواض. ينظر جدول ملحق (٣). يوضح خصائص شبكة الوديان **(Horton, 1945, p. 275)** ومن اهم المؤشرات الشبكية المعتمدة ينظر خريطة (٤) .

١- **مؤشر كثافة التصريف (Drainage Density, Dd)** : من المؤشرات المورفوهيدرولوجية المهمة في دراسة الخصائص الشبكية للأحواض المائية ، ويمثل درجة تركز شبكة المجاري المائية بالنسبة إلى مساحة الحوض . وتعتمد في تفسير طبيعة شبكة التصريف ومدى استجابة الحوض للعوامل المورفوهيدرولوجية. وتم اعتماد التمثيل الخرائطي

المساحي لقياس كثافة التصريف ينظر خريطة (٤) اعتمد التصنيف حسب (Natural Breaks – Jenks) ضمن مساحة الخريطة مع مؤشراتها المكانية (Krishnan & Arjun, 2024) **(جورج فريدريك جينكس)** هو جغرافي ورسام خرائط أمريكي (١٩١٦–١٩٩٦)، ارتبط اسمه بتطوير أسلوب الكمية على الخرائط الموضوعية.

خريطة (٤) المؤشرات الشبكية لأحواض الدراسة



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات جدول الملحق (١) وبرنامج ArcGIS 10.8.

٢- **مؤشر الكثافة العددية (Stream Frequency)** : هي أحد المؤشرات المورفوهيدرولوجية للشبكة المائية، وتعبّر عن عدد المجاري المائية الموجودة في وحدة المساحة من الحوض، وتستخدم لقياس درجة كثافة شبكة التصريف وتطورها. **Fu = الكثافة العددية للمجاري المائية (مجرى/كم²). N = العدد الكلي للمجاري المائية في الحوض.A = مساحة الحوض المائي (كم²).** $\mathbf{fu = \frac{N}{A}}$ وتتمثل الشبكة للكثافة العددية من الناحية الخرائطية بأسلوب النموذج الخطي على مساحة الحوض المائي وأفضل طريقة خرائطية لاشتقاق اعتماد طريقة **(Strahler)** لرسم رتب المجاري المائية لأحواض. (القريشي وآخرون، ٢٠١٦) ينظر خريطة (٤) .

٣- **معدل نسبة الانحدار: (Average Slope Percentage)**: من المؤشرات المورفوهيدرولوجية المهمة في سطح الاراض تحليل الأحواض، إذ يعبّر عن متوسط درجة انحدار سطح الحوض، ويساعد في تفسير سرعة الجريان السطحي، ودرجة التعرية، وزمن وصول المياه إلى المجرى الرئيس. ويمكن حسابه بالمعادلة $\mathbf{S = \frac{\Delta H}{L} x_{100}}$ **S = معدل نسبة الانحدار (Delta H) =.(%) الفرق بين أعلى وأدنى ارتفاع في الحوض**

(م). \(\L\) = طول الحوض أو المسافة الأفقية (م). ومن تحليل خريطة (٤) ونتائج جدول ملحق (١) نلاحظ ان معدلات الانحدار سجلت كلال (٠.١٤٧) بدرة منخفضة و (٠.٢٠) كلال ترسخ مرتفعة و(٠.١٤) نهر الجباب منخفضة و(٠.١٥٣) كلال الزعفران منخفضة. (**Earth Resources Observation and Science [EROS] Center, 2019**) تم اعتماد تصنيف العالم (Jenks) لقيم الارتفاع للأحواض وهي أفضل طريقة للتمثيل الخرائطي. ينظر خريطة (٤).

٤- درجة الوعورة (Ruggedness Number – Rn): تعد المؤشرات المورفوهيدرولوجية التي تجمع بين كثافة التصريف **(Dd)** والتضرس النسبي/التضرس الكلي، وتستخدم للتعبير عن درجة خشونة سطح الحوض وتقطع تضاريسه. وتُحسب غالبًا بالمعادلة: $\mathbf{kn = Dd \times R}$

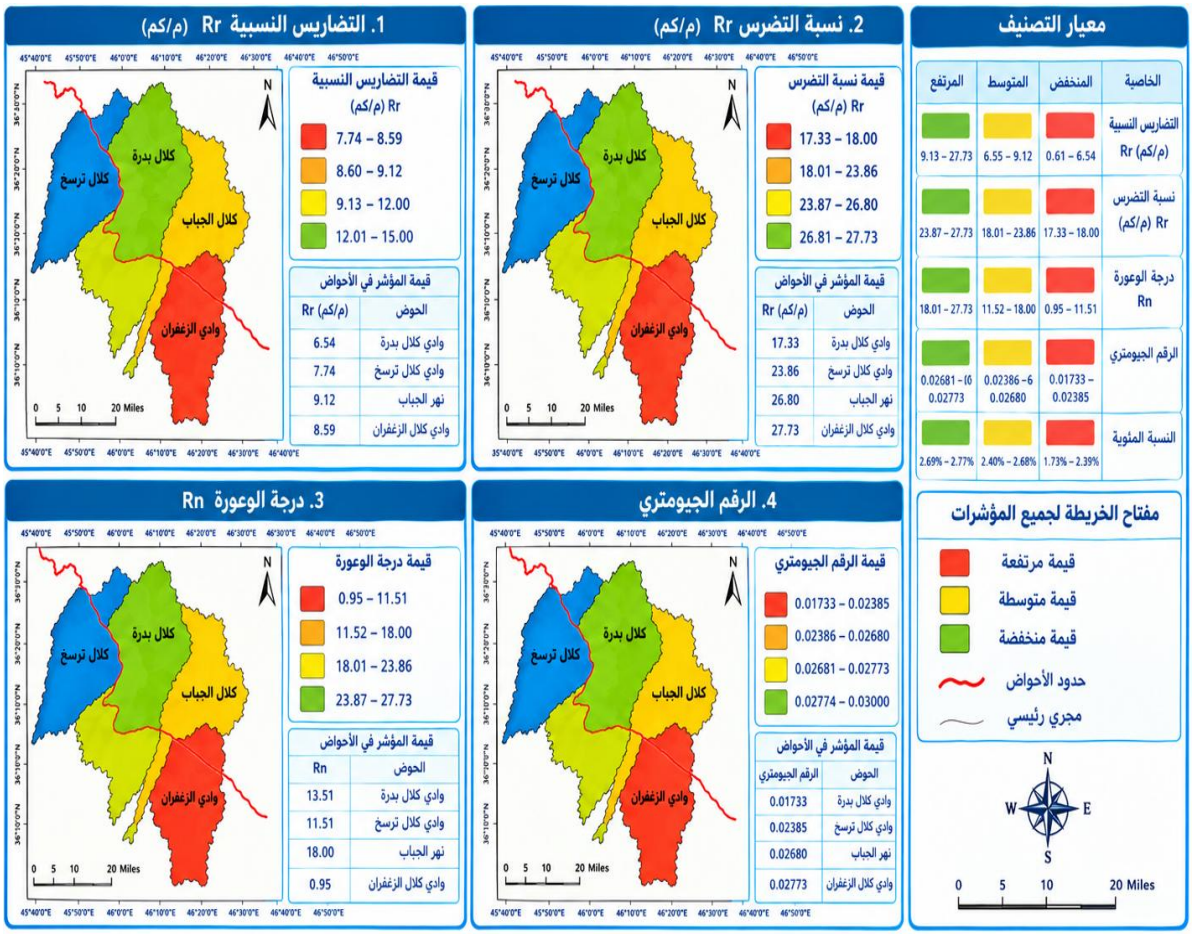
Rn = درجة الوعورة. Dd = كثافة التصريف (كم/كم²). **R = التضرس النسبي أو التضرس الكلي بوحدة مناسبة، مع ضرورة توحيد الوحدات قبل الحساب. ينظر خريطة (٥)**

٥- الرقم الجيومتري (Geometric Number): الرقم الجيومتري هو من المؤشرات المستخدمة في التحليل المورفوهيدرولوجية للأحواض المائية، ويشير الى العلاقة الهندسية بين مساحة الحوض وطول المجرى الرئيس، ويُستخدم للمساعدة في تحديد الشكل الهندسي للحوض ومدى استطالته. ويُحسب بالمعادلة: $\mathbf{G = \frac{A}{L_b^2}}$

G= الرقم الجيومتري. **A** = مساحة الحوض المائي (كم²). **Lb** = طول الحوض أو طول المجرى الرئيس (كم). (Singh et al., 2019)

٦- مؤشر التضاريس النسبية (Relative Relief Ratio – Rr): من المؤشرات المورفوهيدرولوجية التي تُستخدم لقياس شدة التضرس والانحدار النسبي للحوض، وتوضح العلاقة بين فرق الارتفاع بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض وطول الحوض. **وتُحسب بالمعادلة:** $\mathbf{R_r = \frac{H}{L_b}}$ **Rr = التضاريس النسبية (م/كم). H = التضرس الكلي أو فرق الارتفاع بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض (م). Lb = طول الحوض (كم).** ويتم تمثيل المؤشر خرائطيًا بطريقة Natural Breaks (Jenks) إلى ثلاث فئات: منخفضة، متوسطة، ومرتفعة، لإظهار التباين المكاني في التضرس النسبي بين الأحواض وكما مثبت بالخريطة (٥).

خريطة (٥) مؤشرات الخصائص التضاريسية للأحواض



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات جدول الملحق (١) وبرنامج ArcGIS 10.8.

رابعا: بناء النموذج الخرائطي التنبؤي المتكامل للاستجابة الهيدرولوجية:

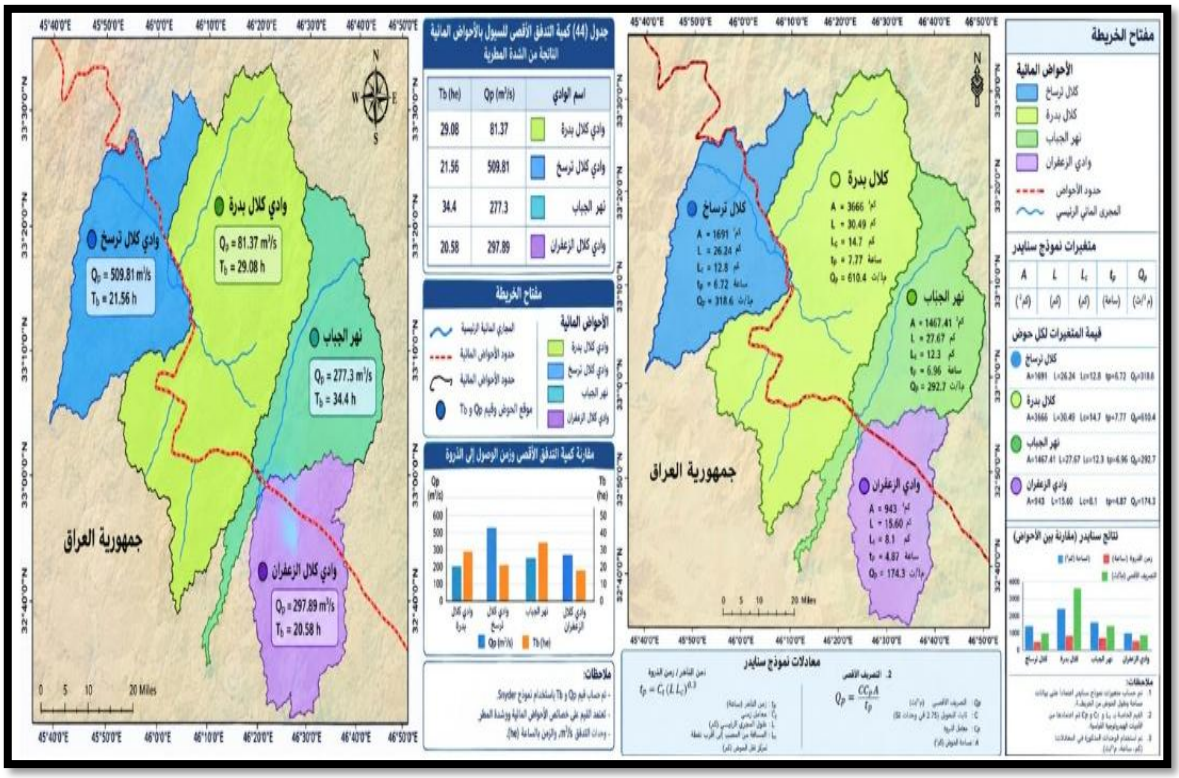
تمثل هذه المرحلة بناء قاعدة البيانات المكانية للمؤشرات الهيدرولوجية الأساسية في بناء النموذج الخرائطي المتكامل للأحواض ومكملة لمؤشرات المورفوهيدرولوجية، من خلال ربط البيانات الهيدرولوجية بالبيانات المكانية المورفومترية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما يوفر إجراء التحليل المكاني والإحصائي وإنتاج الخرائط الموضوعية للمؤشرات الهيدرولوجية. وتم بناء قواعد البيانات ضمن (Geodatabase) ويرتبط كل حوض مائي بوحدة مكانية محددة، وتُخزن في جداول وصفية مرتبطة بالطبقات المكانية. وربط المؤشرات بالبيانات مثل شبكة التصريف، والانحدار، واتجاه الجريان، وتراكم الجريان، والأمطار، وبناء قاعدة بيانات مكانية متكاملة قابلة للتحديث والتحليل. وتُستخدم قاعدة البيانات الناتجة في إجراء المقارنات المكانية بين الأحواض، وتصنيف قيم المؤشرات باستخدام طريقة الفواصل الطبيعية (Jenks)، وإنتاج خرائط موضوعية متعددة الطبقات، مع دمج المؤشرات في نموذج خرائطي مركب لتحديد التباين في الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض. وتمثل هذه القاعدة الأساس المكاني لمرحلة التحليل الإحصائي والنمذجة التنبؤية باستخدام تقنيات GIS–RS–AI (Snyder, 1938, pp. 450–451) عند بناء بيانات مرجعية للاستجابة للسيول، يمكن توظيف خوارزميات تعلم آلي مثل Random Forest أو من الخوارزميات المناسبة، مع تقييم أداء النموذج باستخدام مؤشرات الدقة المناسبة. من خلال بناء نموذج خرائطي تنبؤي متكامل لتحديد التباين المكاني في الاستجابة الهيدرولوجية لأحواض الأودية عبر دمج البيانات المورفوهيدرولوجية والبيئية المستخرجة بواسطة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الاستشعار عن بُعد (RS)، مع تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI). ويشمل

النموذج توحيد الطبقات المكانية، واختيار المتغيرات، وتحليل العلاقات الإحصائية، ودمجها ضمن بيئة تحليل مكانية لإنتاج خريطة تنبؤيه تمثل درجات الاستجابة الهيدرولوجية وتباينها المكاني بين الأحواض. وتكون مدخلات النموذج الأساسية:

DEM + Slope + Rainfall + LULC + Soil + NDVI + Flow Accumulation + Morphometric& Hydrological Indicators

وبذلك يصبح هذا المحور هو المرحلة التكاملية النهائية التي تربط نتائج التحليل المورفوهيدرولوجية والبيئي بالتمثيل الخرائطي التنبؤي. (Saha & Pal, 2024, p. 130907). ومن اهم مؤشرات الهيدرولوجية هو مؤشر نموذج سنايدر ويتمثل النموذج الترتيب الهيدرولوجي الأفضل للحساب النموذج ينظر خريطة (٦)

خريطة (٦) التمثيل الخرائطي للخصائص الهيدرولوجية للأحواض المدروسة وفق نموذج سنايدر



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الواردة في جدول (٢)، وفق نموذج سنايدر (Snyder).

خامساً: المعادلات الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر(Snyder Synthetic Unit Hydrograph)

١- **حساب مؤشر التدفق الاعلى للسيول بالحوض المائي:** برمز له (Qp) ويقدر (م٣/ثانية) وتحسب القيمة لحجم التدفق الاعلى للسيول للأحواض من خلال صيغة المعادلة التالية :

$$Qp(\frac{m2}{s}) = \frac{CpA}{tp(hr)}$$

Qp = حجم مؤشر التدفق الاعلى للسيول بالحوض المائي مقاسة (م٣/ثانية) Cp = مؤشر معامل يرتبط بقابلية الحوض المائي لتخزين المياه وتتراوح قيمته بين (٢.٠ – ٦.٥) A = مساحة الحوض المائي (كلم٢) tp = فترة استجابة الحوض المائي لهطول الامطار محسوبة (الساعة). (Raghunath, 1991, pp. 150–152). ويتم الحصول على قيمة المحسوبة لفترة استجابة الحوض المائي لهطول الامطار tp(hr) من خلال المعادلة التالية $tp = Ct(Lb\ Lca)0.3$ **Tp= فترة استجابة الحوض المائي لهطول**

الأمطار محسوبة (الساعة) Ct= معامل خاص بطبيعة الحوض وانحداره تتراوح قيمته بين (٠.٢ – ٢.٢) Lb = المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله (كلم)

جدول (١): المؤشرات الهيدرولوجية وذروة التدفق للأحواض المائية المدروسة

ت	الحوض المائي	مساحة الحوض A (كم²)	زمن الذروة Tp (ساعة)	زمن التأخر TR (ساعة)	التدفق الأقصى Qp (م³/ثا)
1	وادي كلال بدرة	3666	5.29	0.962	693.2
2	ترسخ	1691	3.92	0.713	430.87
3	نهر الجباب	1467.41	6.25	1.136	234.79
4	وادي كلال الزعفران	943	3.74	0.68	252.14

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تطبيق معادلات نموذج Snyder معادلةQp

٢- **حساب مؤشر المدة الزمنية المثالية لهطول الامطار**: ويرمز له **tr** وتحسب (الساعة) ويتم حساب المدة الزمنية المثالية لهطول الامطار في وديان منطقة الدراسة من خلال صيغة المعادلة التالية. **(Aron et al., 1987) pp. 479 – 485** **T r(hr) = المدة الزمنية المثالية لهطول الامطار محسوبة (الساعة) tb(hr)= مدة استجابة الحوض المائي لهطول الامطار مقاسة (الساعة) ٥.٥= عدد ثابت** $tr(hr) = \frac{tp(hr)}{5.5}$

جدول (٢) حساب المدة الزمنية المثلى للهطول الفعال للأحواض المائية المدروسة وفق نموذج سنايدر

ت	الحوض المائي	زمن الذروة Tp ساعة	الحساب	مدة الهطول المثلى TR ساعة	بالدقائق
1	وادي كلال بدرة	5.29	5.29 ÷ 5.5	0.962	57.7
2	ترسخ	3.92	3.92 ÷ 5.5	0.713	42.8
3	نهر الجباب	6.25	6.25 ÷ 5.5	1.136	68.2
4	وادي كلال الزعفران	3.74	3.74 ÷ 5.5	0.68	40.8

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج سنايدر ، وبيانات زمن الذروة (Tp).

٣-**مدة الاساس (زمن القاعدة) للسيل: ويرمز** له Tb وتقاس باليوم $TB(Days) = 3 + \frac{tp(hr)}{8}$ **Tb= المدة الاساسية لحدوث السيل محسوبة (اليوم) tp(hr) = مدة استجابة الحوض المائي لهطول الامطار محسوبة (الساعة) وهي تقاس بواسطة المعادلة (٢) 8-3 اعداد ثابتة. (عبد الرحمن ومارديني، ٢٠٠٣، ص ١٤٣) .**

جدول (٣) فترة الأساس وزمن الذروة للأحواض المائية وفق نموذج سنايدر

ت	الحوض المائي	زمن الذروة Tp (ساعة)	فترة الأساس Tb (يوم)
1	وادي كلال بدرة	5.29	12.84
2	ترسخ	3.92	9.621
3	نهر الجباب	6.25	15.342
4	وادي كلال الزعفران	3.74	9.18

المصدر :من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذج سنايدر للهيدروغراف معادلة Tb

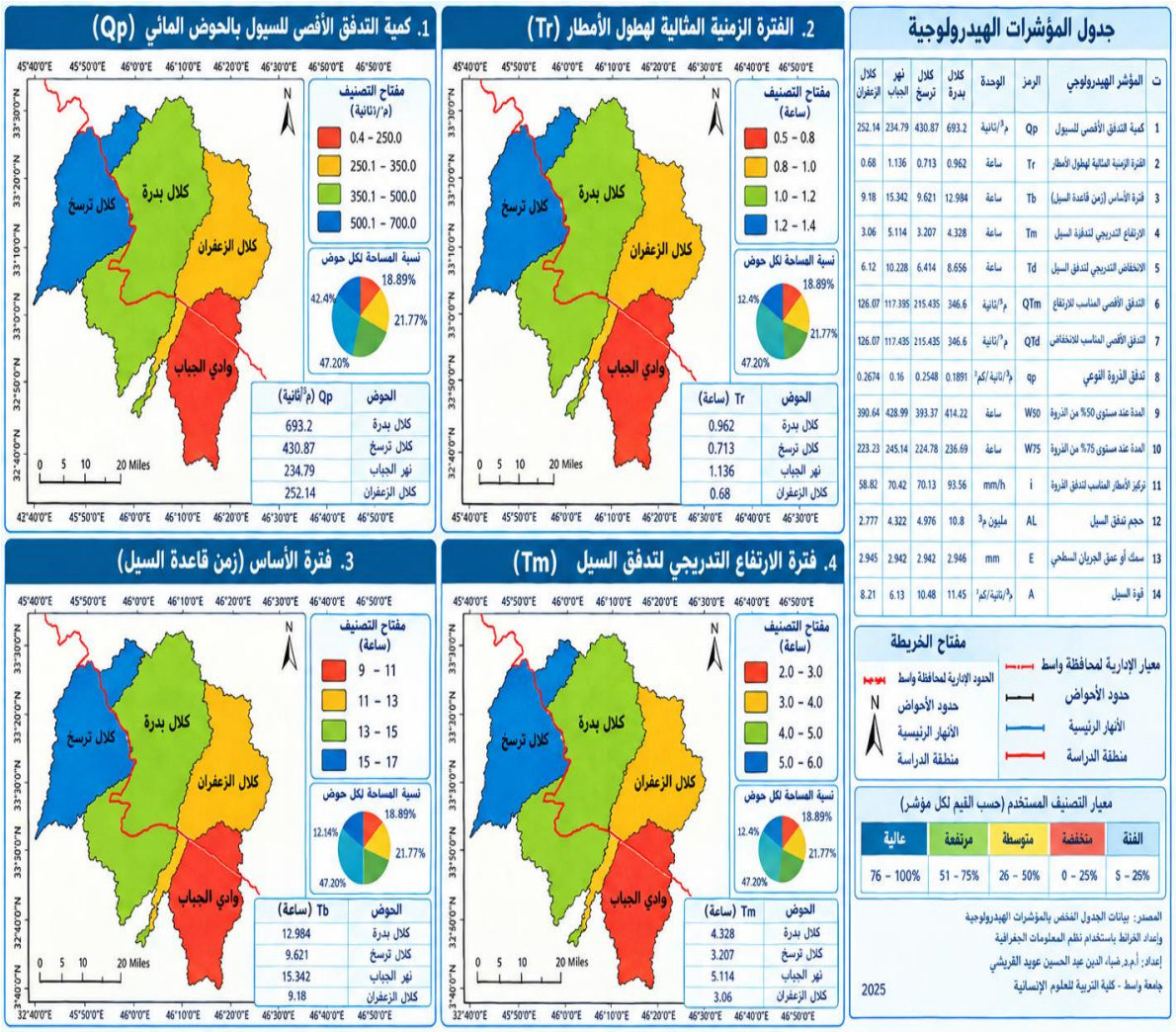
٤- حساب مدة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل: ويرمز له T_m ويتم قياسها بالساعة، وهي المدة الزمنية التي يستغرقها السيل للوصول الى اقصاه اي بمعنى المدة التي يحتاجها الجريان السطحي للوصول الى اعلى منسوب له، ويتم حسابها من المعادلة: $Tm(hr) = \frac{1}{3}Tb(hr)$ **Tm(hr)= مدة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الساعة) Tb(hr) = زمن القاعدة للسيل ويحسب بواسطة المعادلة (٣) ينظر جدول (٤) وخريطة (٧) .**

جدول (٤): قيم زمن الذروة وزمن التأخر ومدة الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المدروسة

ت	الحوض	ساعة Tp	ساعة TR	ساعة Tm
1	وادي كلال بدرة	5.29	0.962	4.328
2	ترسخ	3.92	0.713	3.207
3	نهر الجباب	6.25	1.136	5.114
4	وادي كلال الزعفران	3.74	0.68	3.06

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذج سنايدر للهيدروغراف معادلة Tm

خريطة (٧): التمثيل الخرائطي للخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية المدروسة (Qp – Tr – Tm – Tb)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الواردة في جدول (٢)، وفق نموذج سنايدر (Snyder).

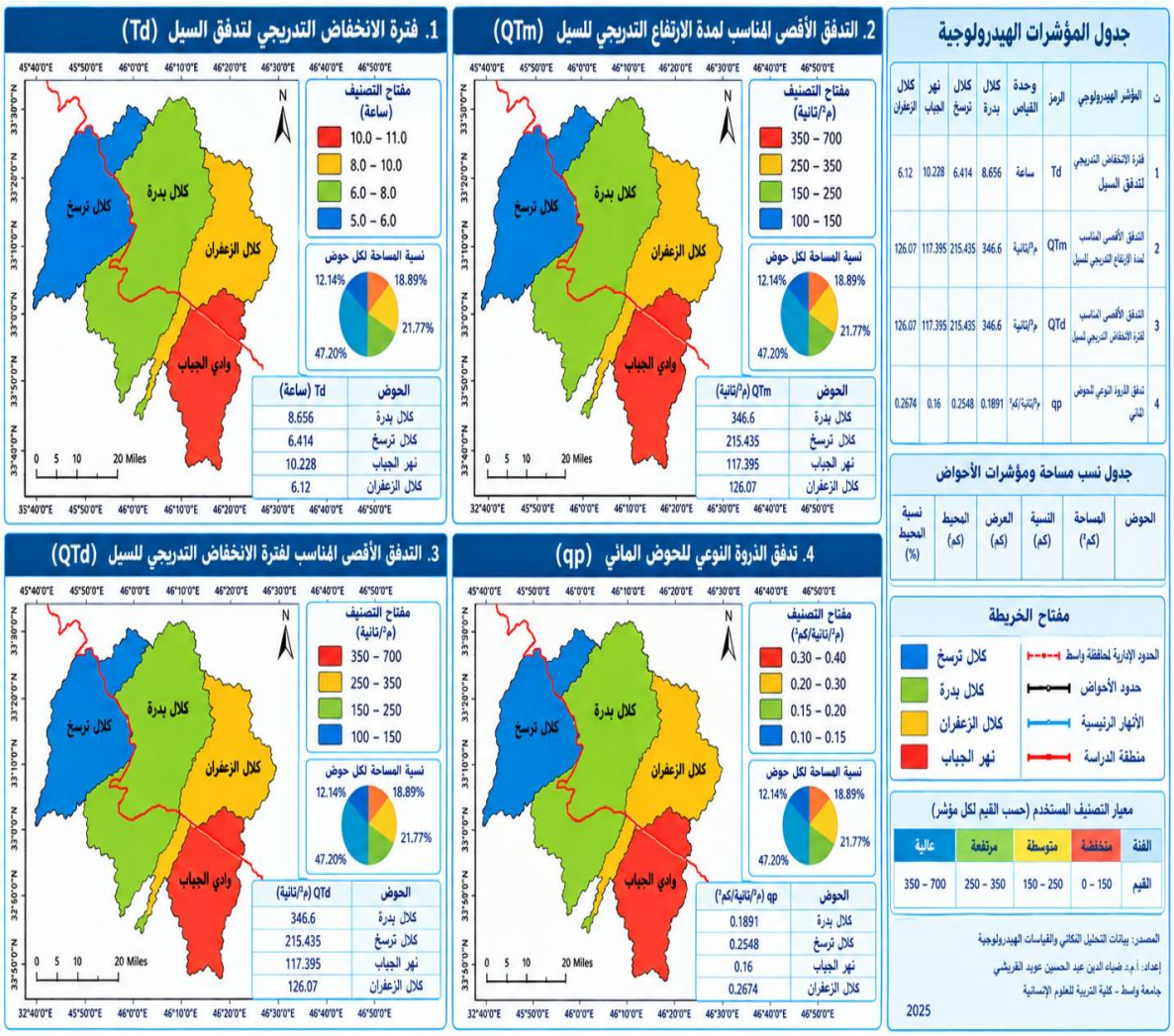
٥-حساب فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل: ويرمز له **(T_d)** ويتم حسابها (بالساعة) وهي المدة الزمنية التي يستغرقها السيل لرجوع مياه الامطار الى وضعها الطبيعي بمعنى هي مدة انخفاض منسوب السيل واستقرار الجريان السطحي الى وضعة الطبيعي، ويتم حسابها من المعادلة $Td(hr) = \frac{2}{3} Tb(hr)$ **مدة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الساعة) Tb(hr) = زمن**

جدول (٥): حساب فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيول في الأحواض المائية المدروسة

ت	الحوض المائي	فترة الأساس Tb (ساعة)	زمن الانخفاض التدريجي Td(ساعة)
1	وادي كلال بدرة	12.984	8.656
2	ترسخ	9.621	6.414
3	نهر الجباب	15.342	10.228
4	وادي كلال الزعفران	9.18	6.12

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذج سنايدر للهيدروغراف معادلة Td

خريطة (٨): التمثيل الخرائطي للخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية المدروسة (Td- QTm – QTd- qp)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الواردة في جدول (٢)، وفق نموذج سنايدر (Snyder).

٦-**حساب التدفق الاقصى المناسب لمدة الارتفاع التدريجي للسيل:** ويرمز له QTm ويتم تقديره (م٣ في الثانية) ويتم خلاله معرفة كمية تدفق السيل للمدة الزمنية التي يستغرقها السيل للوصول الى اقصاه ويتم حسابها حسب المعادلة التالية $$QTm\left(\frac{m3}{s}\right) = \text{Qp max}(\frac{\text{m3}}{\text{s}})[T/Tm(hr)]2$$

QTm(m3/s) =حجم التدفق الاقصى لمدة الارتفاع التدريجي للسيل محسوبة (م٣/ثانية) Qp max (m3/s)= حجم التدفق الاقصى للسيول بالأحواض المائية مقاسة (م٣/ ثانية) حيث تعني Max قيمة (Mean – Maxi – Mini). T= الفاصل الزمني المقدر للارتفاع التدريجي للتدفق (دقائق – ساعات) Tm(hr) = وقت الارتفاع التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الساعة) ينظر جدول (٦) وخريطة (٨) .

جدول (٦) حساب التدفق الأقصى المناسب لمدة الارتفاع التدريجي للسيول في الأحواض المائية المدروسة

ت	الحوض المائي	Qp (م³/ثا)	Tm (ساعة)	التدفق عند نهاية الارتفاع QTm (م³/ثا)
1	وادي كلال بدرة	693.2	4.328	346.6
2	ترسخ	430.87	3.207	215.44
3	نهر الجباب	234.79	5.114	117.4
4	وادي كلال الزعفران	252.14	3.06	126.07

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذج سنايدر للهيدروغراف معادلة QTm

٧- **حساب التدفق الاقصى المناسب لفترة الانخفاض التدريجي للسيل:** ويرمز له (Q_{Td}) ويتم تقديره (م٣/ثانية) بواسطة المعادلة التالية: $$QTd\left(\frac{\text{m3}}{\text{s}}\right) = \text{QP max}(\frac{\text{m3}}{\text{s}}).(\text{Td(hr)} - \text{T/Td(hr)})^3$$

حيث تمثل: QTd=حجم التدفق الاقصى المناسب لمدة الانخفاض التدريجي للسيل محسوبة (م٣/ثانية) Qp max(m3/s) = حجم التدفق الاقصى للسيول بالحوض المائي مقاسه (م٣/ثانية) حيث تعني Max قيمة (Mean – Maxi – Mini) Td(hr)= مدة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الساعة) T =الفاصل الزمني المحدد لتقدير الانخفاض التدريجي للتدفق محسوب (دقائق او ساعات) $$\text{QTd} = \frac{\text{Qp(max)}}{2}$$

جدول (٧) المؤشر الهيدرولوجي للتدفق الأقصى المناسب لفترة الانخفاض التدريجي للسيل

المؤشر الهيدرولوجي	الرمز	وحدة القياس	وادي كلال بدرة	وادي كلال ترسخ	نهر الجباب	وادي كلال الزعفران
التدفق الأقصى المناسب لفترة الانخفاض التدريجي للسيل	QTdQ_{Td}	م³/ثانية	346.6	215.435	117.395	126.07

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذج سنايدر للهيدروغراف معادلة QTd

وكانت النتائج حسب المعادلة كلال بدرة (٢/٦٩٣.٢=٣٤٦.٦ م٣/ثا) اما كلال ترسخ (٢/٤٣٠.٨٧ = ٢١٥.٤٣٥ م٣/ثا) أما نهر الجباب سجل (٢/٢٣٤.٧٩=١١٧.٣٩٧م٣/ثا) اما كلال الزعفران سجل (٢/٢٥٢.١٤=١٢٦.٠٧ م٣/ثا) ينظر جدول (٧) .

٨- **حساب معدل تدفق الذروة النوعي للحوض المائي** : ويرمز له (qp) ويتم تقديره (م٣/ثانية) ويتم حسابة حسب الصيغة الرياضية التالية : $qp(\frac{\frac{m3}{s}}{km2}) = \frac{Qp(\frac{m3}{s})}{A(km2)}$ **Qp(m3/s/km2) = حجم تدفق الذروة النوعي للحوض المائي مقاس (م٣/ثانية) Qp(m3/s/km2) = كمية التدفق الاقصى للسيول بالحوض المائي مقاسة (م٣/ثانية) A(km2) = مساحة الحوض المائي (كلم٢)**. ينظر جدول (٨)

جدول (٨) مؤشر تدفق الذروة النوعي للأحواض المائية المدروسة

الحوض المائي	Qp م³/ثا	A كم²	qp² م³/ثا/كم
وادي كلال بدرة	693.2	3666	0.1891
وادي كلال ترسخ	430.87	1691	0.2548
نهر الجباب	234.79	1467.41	0.16
وادي كلال الزعفران	252.14	943	0.2674

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على قيم التدفق الأقصى (Qp) ومساحات الأحواض المائية المدروسة

٨- **حساب المدة الزمنية (W50) و(W75) المناسبة لارتفاع منسوب السيل (الهيدروغراف) عندى مستوى (٥٠٪) و(٧٥٪) على التوالي من تدفق الذروة:** ويرمز له (W50) و(W75) ويتم تقديره (م٣/ثانية) $Ww50(hr) = \frac{5.6}{(qp)1.08}$ **W50(hr)= المدة الزمنية المناسبة لارتفاع منسوب السيل عند مستوى (٥٠٪) محسوبة بالساعة 5.6=عدد ثابت qp= قيمة تدفق الذروة النوعي للحوض المائي مقاس (م٣/ثانية /كلم٢)**

ينظر جدول (٩)

جدول (٩): المدة الزمنية {W50W_{50}و W75W_{75}المناسبة لارتفاع منسوب السيل عند مستويي ٥٠٪ و٧٥٪ من تدفق الذروة

اسم الوادي	%W50	%W75
وادي كلال بدرة	414.22	236.69
وادي كلال ترسخ	393.37	224.78
نهر الجباب	428.99	245.14
وادي كلال الزعفران	390.64	223.23

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على قيم تدفق الذروة النوعي \(q_p\) ومعادلة حساب المدة الزمنية المناسبة لارتفاع منسوب السيل

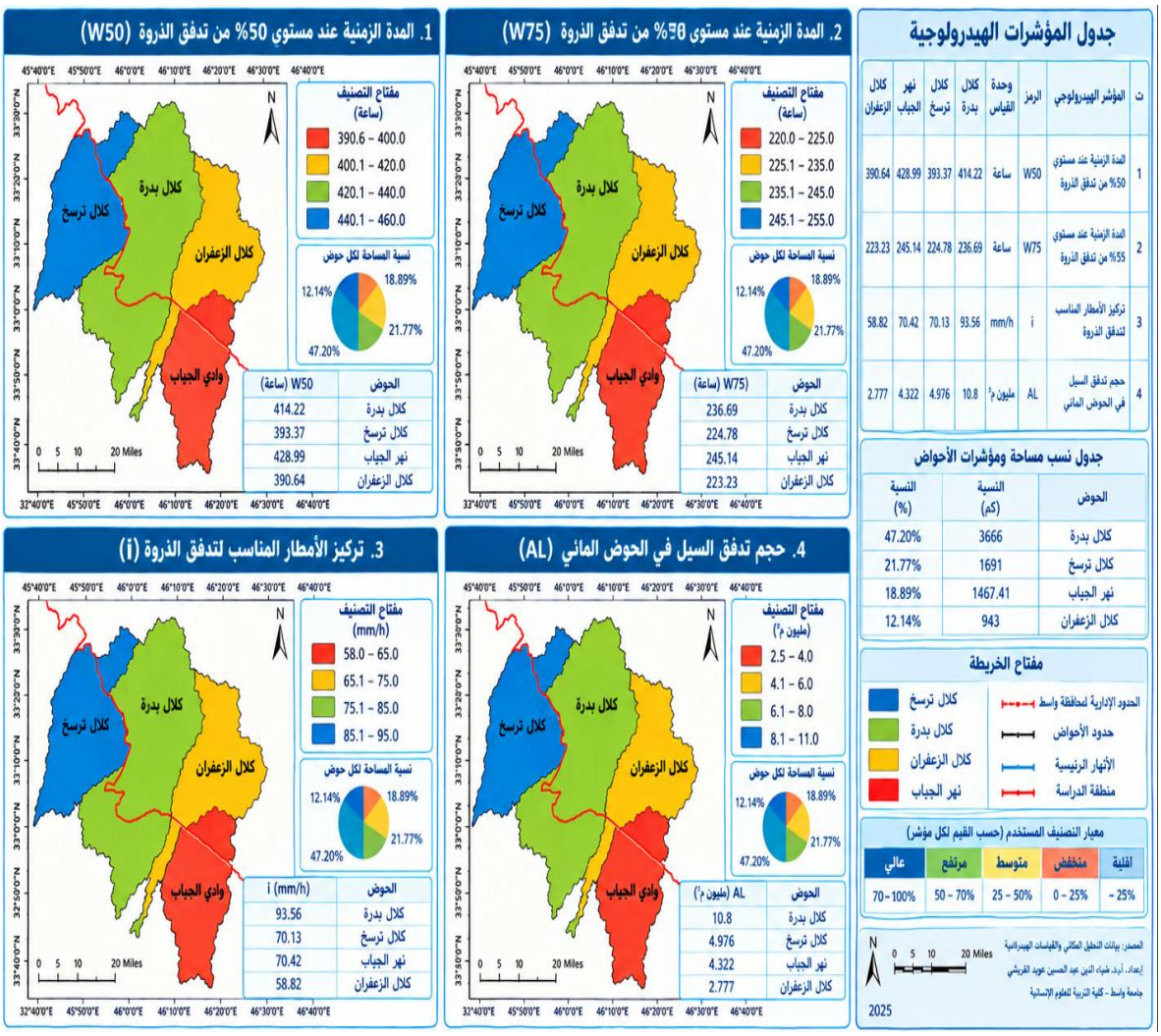
٩- **حساب تركيز الامطار المناسبة لتدفق الذروة : ويرمز له (i) ويتم تقديره (سم/ساعة) ويتم حسابة من المعادلة التالية** $i\ (\frac{cm}{hr}) = \frac{1}{tr(hr)}$ **i (cm/hr) = تركيز الامطار المناسبة لتدفق الذروة من الشدة المطرية محسوبة (سم/ساعة) tr(hr = عدد ثابت = المدة الزمنية المثالية لهطول الامطار محسوبة (الساعة) ينظر خريطة (١٠) .**

جدول (١٠): تركيز الأمطار المناسب لتدفق الذروة في الأحواض المائية المدروسة

لمؤشر الهيدرولوجي	وحدة القياس	وادي كلال بدرة	وادي كلال ترسخ	نهر الجباب	وادي كلال الزعفران
تركيز الأمطار المناسب لتدفق الذروة i	mm/h	93.56	70.13	70.42	58.82

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر (i)

خريطة (٩): التمثيل الخرائطي للخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية المدروسة (W50 – W75 – I – AL)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الواردة في جدول (٢)، وفق نموذج سنايدر (Snyder).

١٠- **حساب معدل تدفق السيل في الحوض المائي:** ويرمز له (AL) ويتم قياسة(مليون م٣/ثانية) ويتم قياسه وفق المعادلة التالية $AL(Hm3)(106m3) = Qp(m3/s)(Tm(sec.)10-6)$

$AL(Hm3)(10^6m3)$=AL(Hm3) حجم تدفق السيل في الحوض المائي محسوب (مليونم٣/ثانية) Qp(m3/s) = التدفق الاقصى للسيل محسوب (م٣/ثانية) Tm(s)= مدة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الثانية) جدول (١١) .

جدول (١١): حجم تدفق السيل في الأحواض المائية المدروسة (AL)

ت	الحوض المائي	Qp (م³/ثا)	Tm (ساعة)	Tm (ثانية)	AL (Hm³)
1	وادي كلال بدرة	693.2	4.328	15,580.80	10.8
2	وادي كلال ترسخ	430.87	3.207	11,545.20	4.974
3	نهر الجباب	234.79	5.114	18,410.40	4.322
4	وادي كلال الزعفران	252.14	3.06	11,016.00	2.778

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر (AL)

١١- حساب سمك الجريان السطحي للشدة المطرية المناسب لذروة حجم السيل في الحوض: ويرمز له (E) ويتم حسابه من المعادلة الرياضية $\mathbf{E(mm) = Qp\ max(\frac{m3}{s})((Tm(sec.) * 10^{-3})(S^{-1})\ (km2))}$

E(mm)= عمق الجريان السطحي المناسب لذروة تدفق السيل (ملم) للشدة المطرية Qp max(m3/s) = حجم كمية التدفق الاقصى للسيول بالحوض المائي مقاسة (م٣/ثانية) حيث تعني Max قيمة (Maxi – Mini – Mean) Qp . Tm(sec.) = مدة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل محسوبة (الثانية) S= مساحة الحوض محسوبة (كلم٢) . تحويل قيمة Tm تحويلها من الساعات الى الثواني وحسب المعادلة

١٢- حساب مؤشر قوة السيل في الحوض المائي: ويرمز له (A) ويتم حسابة حسب المعادلة التالية

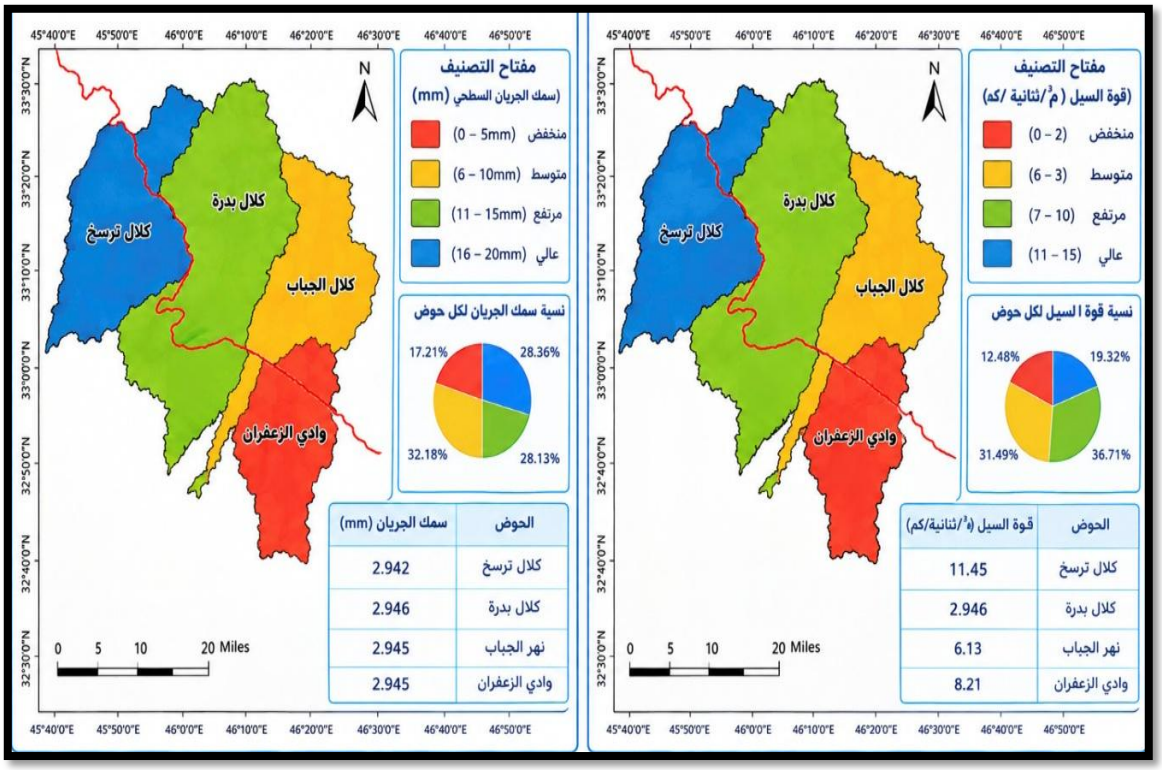
$\boldsymbol{A = Qp(\frac{m3}{s})/\sqrt{A(km2)}}$ **A= مؤشر معامل قوة السيل من الشدة المطرية Qp(m3/s) = حجم التدفق الاقصى للسيل محسوب (م٣/الثانية) A(km2) = مساحة حوض المائي (كلم٢) ينظر جدول (١٢) وخريطة (١٠).**

جدول (١٢): المؤشرات الهيدرولوجية المرتبطة بتدفق الذروة في الأحواض المائية المدروسة

المؤشر الهيدرولوجي	الرمز	وحدة القياس	وادي كلال بدرة	وادي كلال ترسخ	نهر الجباب	وادي كلال الزعفران
سمك أو عمق الجريان السطحي الموافق لذروة التدفق	E	ملم (mm)	2.946	2.942	2.945	2.945
قوة السيل في الحوض المائي	A	م³/ثا/√كم²	11.45	10.48	6.13	8.21

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الهيدرولوجية وفق نموذج سنايدر .(A) (E)

خريطة (١٠): التمثيل الخرائطي للخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية المدروسة (A– E)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الحسابات الواردة في جدول (٢)، وفق نموذج سنايدر (Snyder).

سادساً: التحليل التكاملي بين الخصائص المورفوهيدرولوجية.

يعتمد التحليل التكاملي على الربط بين مساحة الحوض وشكله وأبعاده وشبكة التصريف وخصائص التضاريس من جهة، وبين زمن التأخر **TR**، وزمن الذروة **Tp**، والتدفق الأقصى **Qpمن** جهة أخرى والمؤشر المساحي أكثر ترابط تكاملي يسجل من خلال تفسير كمية التصريف الأقصى لذلك حوض كلال بدرة أكبر مساحة سجل اعلى تصريف اما باقي الاحواض سجلت تباين ينظر جدول (١٣) ومن خلال التحليل التكاملي نلاحظ التصريف يرتبط ببعض الخصائص مثل شكل الحوض كثافة التصريف وزمن التركيز والاستجابة المطرية لتحقيق التكامل التحليلي. وتتمثل العلاقة من خلال عدة متغيرات منها

١– **المؤشرات المورفومترية والهيدرولوجية:** تعتمد على النتائج المحسوبة للأحواض حسب بيانات الجدول (١٣)

جدول (١٣) مصفوفة الخصائص المورفوهيدرولوجية وفق نموذج Snyder

الحوض	A كم²	Rf	Re	Dd	Fs	Tp ساعة	Qp م³/ثا
وادي كلال بدرة	3666	0.2845	0.603	4.99	1.12	5.29	693.2
ترسخ	1691	0.1772	0.481	6.8	1.35	3.92	430.87
نهر الجباب	1467.41	0.1383	0.422	6.52	1.2	6.25	234.79
وادي كلال الزعفران	943	0.2796	0.597	0.59	3.54	3.74	252.14

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الدراسة ومعادلات

Horton (1945) ، Schumm (1956)، Snyder (1938).

يتضح من الجدول وجود تباين واضح في الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض الأربعة، ويمكن تفسيره على النحو الآتي:

أ- وادي كلال بدرة يمتلك أكبر مساحة حوضية **(3666) كم²** ومعامل استدارة بلغت لـ **Rf = 0.2845** ومعامل استطالة و**Re = 0.603**، وهذا يشير الى انتظام شكل الحوض وانعكس ذلك في تسجيل أعلى ذروة تصريف هيدرولوجية **Qpم³/ثا = 693.20** . نتيجة لمعامل شكل واستطالة الحوض. وهذا أحد مؤشرات التكامل المورفوهيدرولوجي.

ب- كلال ترسخ يتميز بكثافة تصريف بلغت **Ddكم/كم² = 6.80** وأعلى نسبة لمعامل تكرار المجاري بلغ **Fs = 1.35**، وسجل ذروة تصريف بلغ **Qpم³/ثا = 430.87** .وهذا ينعكس على تعزيز سرعة الاستجابة الهيدرولوجية التكاملية

ج- نهر الجباب سجل أدنى قيمة معامل الشكل بلغت **Rf = 0.1383**ومعامل استطالة **Re = 0.422**، مع مساحة أقل من بدرة وترسخ، لذلك سجل تصريف ذروة تصريف أطول وتقليل مدة وصول ذرة التصريف وقد بلغت **234.79 م³/ثا**، وقد بلغ زمن الذروة هو الأطول **Tp = 6.25** نتيجة الشكل الهندسي المتحكم بالاستجابة الهيدرولوجية.

د- كلال الزعفران سجل قيمة مرتفعة نسبيًا لمعامل الشكل بلغ **Rf = 0.2796**وسجل قيمة مرتفعة لمعامل تكرار المجاري بلغ **Fs = 3.54**، ولكن سجل معامل كثافة تصريف منخفضة بلغ **Dd = 0.59** وهي منخفضة جدًا مقارنة بالأحواض الأخرى، وبلغت ذروة التصريف 252.14. Qp م٣/ثا نتيجة تفاعل عدة مؤشرات مورفوهيدرولوجية. (Gonzales- Inca et al (2022) . ينظر جدول (١٤) (١٥).

جدول (١٤) التكامل بين الخصائص المورفومترية وذروة التصريف

المتغير المورفومترية	الارتباط مع Qp	قوة العلاقة	التفسير
المساحة A	0.951	قوية جدًا	زيادة مساحة الحوض تؤدي إلى زيادة واضحة في ذروة التصريف
العرض W	0.963	قوية جدًا	يمثل من أكثر المتغيرات ارتباطًا بذروة التصريف
معامل الاستدارة Rc	0.703	قوية	الأحواض الأكثر استدارة تميل إلى تركيز الجريان بصورة أكبر
المحيط P	0.677	متوسطة – قوية	زيادة أبعاد الحوض ترتبط بزيادة التصريف
طول الحوض L	0.624	متوسطة – قوية	يؤثر في زمن انتقال المياه إلى المخرج
معامل الاستطالة Re	0.481	متوسطة	تأثير متوسط في ذروة التصريف
معامل الشكل Rf	0.474	متوسطة	يعكس تأثير شكل الحوض في تجميع الجريان
كثافة التصريف Dd	0.249	ضعيفة	تأثير محدود ضمن الأحواض الأربعة
تكرار المجاري Fs	-0.5	متوسطة عكسية	العلاقة تعكس اختلاف خصائص شبكة التصريف بين الأحواض
معامل التماسك Kc	-0.726	قوية عكسية	زيادة الاستطالة ترتبط بانخفاض نسبي في Qp

المصدر :من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الخصائص المورفومترية للأحواض وقيم ذروة التصريف Qp المحسوبة وفق نموذجSnyder ، وباستخدام معامل ارتباط بيرسون.(Pearson Correlation Coefficient)

جدول (١٥): العلاقة بين الخصائص المورفومترية والمؤشرات الهيدرولوجية لأحواض الدراسة وفق نموذجSnyder

الخصائص المورفومترية	معامل الارتباط مع TR	اتجاه العلاقة مع TR	معامل الارتباط مع Tp	اتجاه العلاقة مع Tp	معامل الارتباط مع Qp	اتجاه العلاقة مع Qp	التفسير المورفوهيدرولوجي
المساحة A	0.339	طردية	0.339	طردية	0.951	طردية قوية جدًا	زيادة مساحة الحوض ترتبط بزيادة حجم التصريف وذروة الجريان
معامل الاستطالة Re	-0.47	عكسية	-0.47	عكسية	0.486	طردية متوسطة	زيادة الاستطالة ترتبط بتغير زمن الاستجابة وشكل الهيدروغراف
معامل الشكل Rf	-0.428	عكسية	-0.428	عكسية	0.474	طردية متوسطة	الأحواض الأكثر امتلاءً أو قربًا من الشكل الدائري تميل إلى تركيز الجريان بصورة أكبر
كثافة التصريف Dd	0.517	طردية متوسطة	0.517	طردية متوسطة	0.249	طردية ضعيفة	ارتفاع كثافة التصريف يزيد سرعة تصريف المياه ويؤثر في زمن الاستجابة
تكرار المجاري Fs	-0.64	عكسية متوسطة-قوية	-0.64	عكسية متوسطة-قوية	-0.5	عكسية متوسطة	زيادة تكرار المجاري ترتبط بانخفاض زمن التركيز وبتغير توزيع الجريان
محيط الحوض P	0.747	طردية قوية	0.747	طردية قوية	0.677	طردية قوية	زيادة المحيط ترتبط بزيادة أبعاد الحوض وتأثيرها في الاستجابة الهيدرولوجية
طول الحوض L	0.666	طردية متوسطة-قوية	0.666	طردية متوسطة-قوية	0.624	طردية متوسطة-قوية	زيادة طول الحوض تؤثر في زمن انتقال المياه إلى المخرج
عرض الحوض W	-0.223	عكسية ضعيفة	-0.223	عكسية ضعيفة	0.963	طردية قوية جدًا	اتساع الحوض يرتبط بزيادة كمية المياه المتجمعة وذروة التصريف
طول المجرى الرئيس	0.994	طردية قوية جدًا	0.994	طردية قوية جدًا	-0.064	شبه معدومة	زيادة طول المجرى الرئيس ترتبط بزيادة زمن وصول الجريان إلى المخرج
معامل الاستدارة Rc	-0.591	عكسية متوسطة	-0.591	عكسية متوسطة	0.703	طردية قوية	الشكل الأقرب إلى الاستدارة يؤثر في تجميع الجريان وزمن الاستجابة
معامل الشكل Kc	0.615	طردية متوسطة	0.615	طردية متوسطة	-0.726	عكسية قوية	ارتفاع قيمة معامل الشكل تعكس زيادة استطالة الحوض وتغير نمط الاستجابة
نسبة التضرس Rr	0.536	طردية متوسطة	0.536	طردية متوسطة	-0.547	عكسية متوسطة	التضرس يؤثر في سرعة الجريان ووقت وصوله إلى المخرج
نسبة التضرس النسبية Rh	0.352	طردية ضعيفة	0.352	طردية ضعيفة	-0.42	عكسية متوسطة	تعكس تأثير التضرس في الطاقة الهيدرولوجية للحوض
الرقم التضاريسي Rn	0.838	طردية قوية	0.838	طردية قوية	0.234	طردية ضعيفة	زيادة التضرس ترتبط بزيادة زمن الاستجابة في هذه العينة
الرقم الهندسي	0.352	طردية ضعيفة	0.352	طردية ضعيفة	-0.421	عكسية متوسطة	يعكس العلاقة بين التضرس وشكل الحوض والاستجابة الهيدرولوجية

المصدر :من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الخصائص المورفومترية للأحواض وقيم ذروة التصريف Qpالمحسوبة وفق نموذجSnyder ، وباستخدام معامل ارتباط بيرسون.(Pearson Correlation Coefficient)

٢-**العلاقة بين زمن التأخر وزمن الذروة:** يتم من خلال نتائج نموذج سنايدر، ارتبطت قيم TRو Tpحسب بيانات الجدول (١٦)

جدول (١٦): نسبة زمن الذروة إلى زمن التركيز للأحواض المائية المدروسة وفق نموذجSnyder

الحوض المائي	ساعة TR	ساعة Tp	Tp /TR
وادي كلال بدرة	0.962	5.29	5.5
وادي كلال ترسخ	0.713	3.92	5.5
نهر الجباب	1.136	6.25	5.5
وادي كلال الزعفران	0.68	3.74	5.5

المصدر :من عمل الباحث بالاعتماد على معادلات نموذجSnyder

ومن تحليل بيانات الجدول (١٦) لتفسير العلاقة المسجلة لأحواض. وهذه النتيجة مهمة جدًا إذ إن النسبة ثابتة تقريبًا عند (5.5) في جميع الأحواض، وهو ما يتوافق مع العلاقة المستخدمة في تطبيق نموذج سنايدر:

$Tp = 5 \cdot 5\ TR$ وبالتالي فإن الاختلاف في زمن الذروة بين الأحواض يعكس اختلاف زمن التأخر الناتج عن الخصائص المورفومترية للحوض. ومن هنا نستدل على أن زمن الذروة لا يعتمد على متغير مورفومتري واحد، بل يمثل محصلة تفاعل مساحة الحوض وشكله وطول المجرى الرئيسي وشبكة التصريف والانحدار وخصائص الهطول.

٣- **العلاقة بين الشكل والاستجابة الهيدرولوجية:** قيمة شكل الحوض المرتفعة نسبيًا في كلال بدرة والزعفران تشير إلى شكل أكثر قربًا من الاستدارة مقارنة بالجباب وترسخ ينظر جدول (١٧) وهذا يؤدي ان الشكل الأكثر استدارة إلى

تقارب أزمنة وصول الجريان إلى المصب، وبالتالي زيادة قابلية تركيز الجريان. وبالمقابل، انخفاض قيمة شكل الحوض في نهر الجباب = 0.1383 يعكس شكلًا أكثر استطالة، وهو ما يتفق جزئيًا مع تسجيله أطول زمن للذروة (Tp=6.25) ساعة. قياسا بالأحواض الأخرى مما ينعكس على زمن الاستجابة الهيدرولوجية التكاملية لأحواض.

جدول (١٧): العلاقة بين شكل الأحواض المائية وزمن الاستجابة الهيدرولوجية وفق معامل الشكل (Rf) وزمن الذروة(Tp)

الحوض	Rf	التفسير الشكلي	Tp (ساعة)	التفسير الهيدرولوجي
كلال بدرة	0.2845	أقرب نسبيًا إلى الاستدارة	5.29	تركيز مائي كبير نتيجة كبر المساحة
كلال الزعفران	0.2796	قريب نسبيًا من الاستدارة	3.74	أسرع استجابة نسبيًا لصغر المساحة وقصر المجرى
كلال ترسخ	0.1772	أكثر استطالة	3.92	استجابة متوسطة مع تأثير عوامل أخرى
نهر الجباب	0.1383	الأكثر استطالة	6.25	أطول زمن للوصول إلى الذروة

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل المورفومتري وحسابات نموذج Snyder .

ثانيًا: بناء النموذج الخرائطي التنبؤي للاستجابة الهيدرولوجية باستخدام GIS–RS–AI

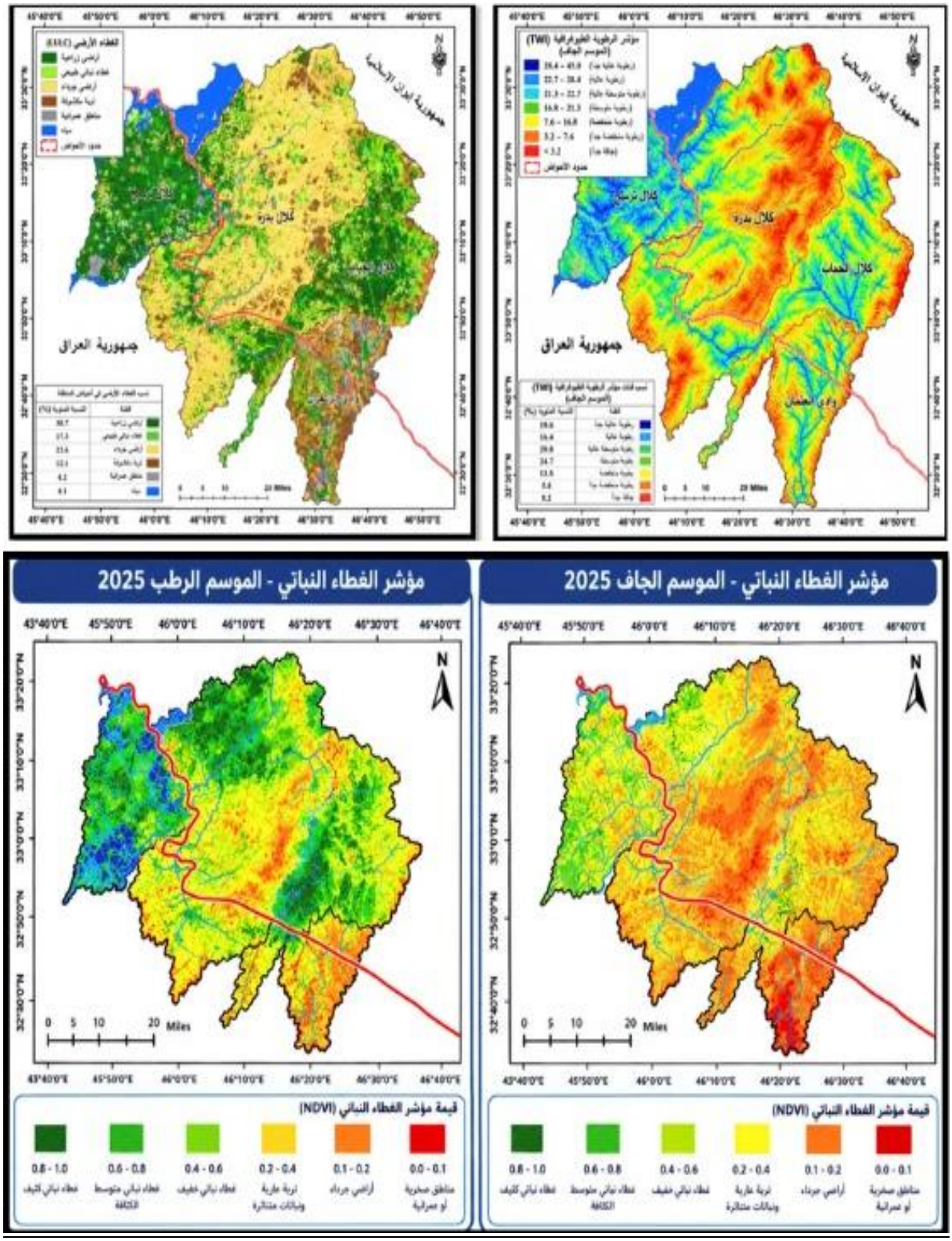
تمثل هذه المرحلة الجانب الرئيس في الدراسة، إذ تُحوّل مخرجات قاعدة البيانات المكانية إلى خرائط موضوعية رقمية توضح التوزيع المكاني لكل مؤشر من المؤشرات المورفوهيدرولوجية، وتُستخدم أساليب التمثيل الخرائطي المناسبة لطبيعة البيانات، مع توحيد نظم الإحداثيات ومقاييس الرسم والرموز والتصنيفات؛ بهدف ضمان المقارنة المكانية بين الأحواض. ثم تُدمج الخرائط الناتجة في **أطلس خرائطي رقمي** يوضح التباين المكاني للمؤشرات والعلاقات المكانية بينها، مع إعداد خرائط تركيبية توضح مناطق التباين والتركز والتداخل بين الخصائص المختلفة. ينظر جدول (١٨) وخريطة (١١) الطبقات المكانية للخرائط التكاملية.

جدول (١٨) الطبقات المكانية والبيئية المعتمدة في بناء النموذج الخرائطي التنبؤي للاستجابة الهيدرولوجية

ت	الطبقة المكانية/البيئية	الرمز	الوظيفة في النموذج التنبؤي
1	نموذج الارتفاع الرقمي	DEM	تحديد الارتفاعات، واستخراج الانحدار واتجاه الجريان وحدود الأحواض والشبكة التصريفية
2	الانحدار	Slope	تحديد درجة انحدار السطح وتأثيرها في سرعة الجريان السطحي وقابلية تجمع المياه
3	تراكم الجريان	Flow Accumulation	تحديد مسارات ومناطق تجمع الجريان السطحي ومواقع التركيز الهيدرولوجي
4	الأمطار	Rainfall	تمثيل المدخل المناخي للنموذج وتحديد التباين المكاني في كمية الهطول المؤثرة في الجريان
5	استخدامات/غطاء الأرض	LULC	تحديد تأثير خصائص السطح في الجريان السطحي والتسرب والاحتفاظ بالمياه
6	نوع التربة	Soil	تقدير قابلية نفاذية التربة والتسرب، وبالتالي تأثيرها في كمية الجريان السطحي
7	مؤشر الغطاء النباتي	NDVI	تمثيل كثافة الغطاء النباتي وتأثيره في اعتراض الأمطار والتسرب والجريان السطحي
8	حدود الأحواض المائية	Basin Boundary	تحديد النطاق المكاني للتحليل وحصر جميع الطبقات ضمن الأحواض المدروسة

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، ونتائج التحليل المكاني للمتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية والبيئية.

خريطة (١١) التوزيع المكاني التنبؤي للاستجابة المورفوهيدرولوجية لأحواض الدراسة باستخدام GIS–RS–AI



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) ، والأمطار(Rainfall) ، واستخدامات/غطاء الأرض(LULC) ، والتربة(Soil) ، ومؤشر الغطاء النباتي(NDVI) ، وطبقة تراكم الجريان(Flow Accumulation) ، ونتائج نموذج Random Forest ضمن بيئة.GIS–RS–AI

الاستنتاجات

١- **أظهرت الدراسة أن الأحواض المائية في الجزء الشرقي من محافظة واسط تتباين بوضوح في خصائصها المورفومترية والهيدرولوجية**، إذ انعكس الاختلاف في المساحة والمحيط والطول والشكل وكثافة التصريف والتضرس على طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية لكل حوض.

٢- **تبين أن مساحة الحوض وشكله يمثلان عاملين أساسيين في تحديد حجم الاستجابة الهيدرولوجية**؛ فقد سجل حوض **كلال بدرة** أكبر مساحة بلغت نحو **3666كم²**، مما أسهم في قدرته على تجميع كميات أكبر من المياه، وانعكس ذلك في تسجيله أعلى تصريف ذروة **Qp = 693.20م³/ثا**.

٣- **أكدت المقارنة بين Rfو Tpأن شكل الحوض يؤثر في زمن الاستجابة الهيدرولوجية، لكنه لا يعمل بصورة منفردة**؛ فقد سجل نهر الجباب، ذي الشكل الأكثر استطالة، أطول زمن للوصول إلى الذروة Tp = 6.25ساعة، في حين سجل الزعفران أقصر زمن Tp = 3.74ساعة .ويشير ذلك إلى تداخل تأثير الشكل مع مساحة الحوض وطول المجرى والانحدار وكثافة التصريف.

٤- أظهر تطبيق **نموذج Snyder** تباينًا واضحًا في زمن التأخر وزمن الذروة والتصريف الأقصى بين الأحواض، إذ سجل **كلال بدرة أعلى قيمة للتصريف الأقصى Qp = 693.20م³/ثا**، يليه ترسخ 430.87م³/ثا، والزعفران 252.14م³/ثا، ثم الجباب 234.79م³/ثا.

٥- أظهرت النتائج أن **ارتفاع التصريف الأقصى لا يرتبط بمؤشر مورفومتري واحد**، بل ينتج عن التفاعل بين مساحة الحوض وشكله وطول المجرى وشبكة التصريف والخصائص التضاريسية والزمنية للاستجابة المطرية.

٦- **أكد التكامل بين الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية أن الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض ذات طبيعة مركبة**؛ إذ تتأثر سرعة وصول المياه إلى المخرج بحجم الحوض وشكله وكثافة شبكة التصريف والانحدار، في حين يتأثر حجم التصريف الأقصى بصورة أكبر بقدرة الحوض على تجميع المياه ومساحته والظروف المطرية.

٧- أظهر دمج **نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بُعد RS** قدرة عالية على بناء قاعدة بيانات مكانية متكاملة، وربط المتغيرات التضاريسية والمورفومترية والمطرية والبيئية ضمن بيئة تحليلية واحدة.

٨- أسهمت طبقات **DEMو Slopeو Flow Accumulationو Rainfallو LULCو Soilو NDVI**في بناء نموذج مكاني متكامل للاستجابة الهيدرولوجية، إذ تمثل هذه الطبقات مجموعة من العوامل التي تتحكم في مسارات الجريان وتجمع المياه والتسرب والجريان السطحي.

٩- أظهر توظيف **الذكاء الاصطناعي، ولا سيماRandom Forest** ، إمكانية الانتقال من التحليل الهيدرولوجي التقليدي القائم على القيم الجدولية إلى **التنبؤ المكاني بالاستجابة الهيدرولوجية** وإنتاج خرائط تبين التباين المكاني في درجات الاستجابة داخل الأحواض.

١٠- أظهر **التكامل بين GIS–RS–AI** قيمة منهجية مهمة في البحث؛ إذ وفرت GIS أدوات التحليل المكاني، وأسهم RSفي توفير المتغيرات البيئية والمناخية، بينما وفر AI إمكانية نمذجة العلاقات غير الخطية والتنبؤ بالتوزيع المكاني للاستجابة الهيدرولوجية.

١١- أظهرت المقارنة بين **النموذج الهيدرولوجي التقليدي Snyder والنموذج التنبؤي القائم على Random Forest**أن الجمع بين النموذجين يوفر إطارًا أكثر شمولًا؛ إذ يقدم Snyder تقديرًا عدديًا للخصائص الزمنية والتصريفية، بينما يقدم Random Forest **تمثيلًا مكانيًا تنبؤيًا** للاستجابة.

١٢- تؤكد النتائج أن **التمثيل الخرائطي لا يمثل مرحلة إخراج فقط، بل يمثل أداة تحليلية وتفسيرية** تساعد في الكشف عن التباين المكاني للعوامل المؤثرة في الاستجابة الهيدرولوجية وتحديد المناطق الأكثر قابلية لتجمع الجريان.

<u>التوصيات</u>

١- **اعتماد التكامل بين GIS–RS–AI** في الدراسات الهيدرولوجية والمورفومترية لأحواض الجزء الشرقي من محافظة واسط، لما يوفره من قدرة على تحليل العلاقات المكانية والتنبؤ بالتباين في الاستجابة الهيدرولوجية.

٢- **توظيف خريطة الاستجابة الهيدرولوجية التنبؤية في تحديد المناطق الأكثر تعرضًا لمخاطر السيول**، وجعلها إحدى طبقات المعلومات الأساسية عند التخطيط لمواقع الطرق والمنشآت والخدمات ومشروعات التنمية المستقبلية.

٣- **تطبيق نماذج تعلم آلي متعددة** مثل Random Forest و XGBoostو ANNو SVMوANFIS، ومقارنة أدائها من حيث R^2و RMSEو MAEوغيرها من مؤشرات التحقق، لاختيار النموذج الأكثر ملاءمة لبيئة منطقة الدراسة.

٤- **تحديث خرائط استخدامات/غطاء الأرض (LULC) ومؤشر الغطاء النباتي (NDVI) بصورة دورية** باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد، لأن التغير في استخدامات الأرض والغطاء النباتي قد يؤدي إلى تغير خصائص الجريان السطحي والاستجابة الهيدرولوجية.

٥- **ربط نتائج النموذج الخرائطي التنبؤي بالتخطيط العمراني**، ومنع أو الحد من التوسع العمراني غير المنظم في مسارات السيول والمناطق ذات الاستجابة الهيدرولوجية المرتفعة.

٦- **اعتماد التصنيف الخرائطي للاستجابة الهيدرولوجية كأداة مساعدة لصنع القرار** في إدارة مخاطر السيول، بدل الاقتصار على الجداول الرقمية، لأن الخريطة توضح التباين المكاني للمخاطر بصورة أكثر مباشرة.

٧- **إجراء تحقق ميداني مستمر للنتائج الخرائطية** من خلال الزيارات الحقلية وبيانات GPS ومقارنة مناطق التنبؤ المرتفع بمواقع تجمع المياه ومسارات السيول الفعلية بعد الحالات المطرية.

المصادر

1- Maaroof, B. F., Kareem, H. H., Al-Zubaydi, J. H., Al-Ansari, N., Aziz, M. A., Al-Quraishy, D. A. A., Al-Hasani, B., Abdellatif, M., Carnacina, I., Thannoun, R. G., Al-Kubaisi, M. S., & Al-Maarofi, S. S. (2025). Estimating soil erosion utilizing geospatial method and revised universal soil loss equation (RUSLE) of Abu Ghraibat Watershed, Eastern Misan Governorate, Iraq.

2- iesheuvel, A. and Hemker, C. J., 1993. Groundwater modelling and GIS: Integrating MICRO-FEM and ILWIS. In: Kovar, K. and Nachtnebel, H. P. (Eds.), *HydroGIS 93: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, Proceedings of the Vienna Conference, April 1993*. IAHS Publication No. 211, pp. 289– 296 .

3- Morisawa, M. E. (1962). Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, **73**(9), 1025–1046.

4- Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–190.

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

6-Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography, 7, 186–190.

7-Schumm, S. A. (1956). *Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Geological Society of America Bulletin, 67(5), 597–646. **https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2**

8-Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin, 56*(3), 275–370. https://doi.org/10.1130/0016- 7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

9-Krishnan, A., & Arjun, S. (2024). Morphometric analysis in the sub basins of the Kali River using Geographic Information System, Karnataka, India. Geomatica, 76(2), 100013. https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100013

١٠- القريشي، ضياء الدين عبد الحسين، وزملاؤه (٢٠١٦). النمذجة الكارتوكرافية لقياس تدفق السيول لوادي ترسخ وطلحة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS). مجلة لارك للفلسفة واللسانيات والعلوم الاجتماعية، كلية الآداب، جامعة واسط، ٨(٣)، ١٤٣.

11-Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. (2019). *Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Digital Terrain Elevation Data—Global*. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT

12- Singh, D., Singh, P. K., Patil, P., et al. (2019). *Morphometric analysis of Mewado Ka Math Micro-Watershed using remote sensing and **GIS.*** Green Farming, 10(3), 356–358.

13- Snyder, F. F. (1938). Synthetic unit-graphs. *Eos, Transactions American Geophysical Union, 19*(1), 447–454. https://doi.org/10.1029/TR019i001p00447

14- Saha, A., & Pal, S. C. (2024). Application of machine learning and emerging remote sensing techniques in hydrology: A state-of-the-art review and current research trends. Journal of Hydrology, 632, 130907. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130907

15- Raghunath, H. M. (1991). *Hydrology: Principles, Analysis and Design*. New Age International (formerly Wiley Eastern Limited), New Delhi, India, 482 p

16- Aron, G., Wall, D. J., White, E. L., & Dunn, C. N. (1987). Regional rainfall intensity-duration-frequency curves for Pennsylvania. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 23*(3), 479–485.

https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb00826

١٧- **عبد الرحمن، عبد الرحمن، ومارديني، جاك .(2003)** علم حركة المياه (الهيدرولوجيا)، جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية، الطبعة الأولى، مطبعة جامعة حلب، ص. ١٤٣.

Réméniéras, G. (1972). *Hydrologie de l'ingénieur*. 3e édition, Eyrolles, Paris, France, 456 p **18-**

19- Mohammadi, B. (2021). A review on the applications of machine learning for runoff modeling. *Sustainable Water Resources Management, 7*, 98.

20- Gonzales-Inca, C., Calle, M., Croghan, D., & Torabi Haghighi, A. (2022). Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) in the Integrated Hydrological and Fluvial Systems Modeling: Review of Current Applications and Trends. *Water, 14*(14), 2211. https://doi.org/10.3390/w14142211

جدول ملحق (١) الخصائص المورفومترية للأحواض المائية المدروسة

المؤشر	وادي كلال بدرة	وادي كلال ترسخ	نهر الجباب	وادي كلال الزعفران
المساحة A (كم²)	3666	1691	1467.41	943
المحيط P (كم)	349.89	259	302.67	187.54
الفارق التضاريسي H (م)	2708	1693	2760	1611
الارتفاع المتوسط (م)	2709	1695	2763.5	1612
طول الحوض (كم)	113.5	97.66	103	58.08
عرض الحوض (كم)	53.37	39.07	14.25	24.59
طول المجرى الرئيسي (كم)	91.49	51.03	136	45.69
معامل الشكل Rf	0.2845	0.1772	0.1383	0.2796
معامل الاستطالة Re	0.603	0.481	0.422	0.598
معامل الاستدارة Rc	0.376	0.316	0.201	0.336
معامل الانبعاج	0.879	1.411	1.808	0.894
معامل التماسك Kc	1.619	1.768	2.2	1.771
كثافة التصريف Dd (كم/كم²)	4.99	6.8	6.52	0.59
الكثافة العددية Fs (مجرى/كم²)	1.12	1.35	1.2	3.54
معدل بقاء المجرى C (كم²/كم)	0.2	0.147	0.153	1.695
التضاريس النسبية Rr	7.74	6.54	9.12	8.59
نسبة التضرس Rh	23.86	17.33	26.8	27.73
درجة الوعورة Rn	13.51	11.51	18	0.95
الرقم الجيومتري	0.02385	0.01733	0.0268	0.02773
النسبة المئوية	2.39%	1.73%	2.68%	2.77%

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على Horton (١٩٤٥) وStrahler (١٩٥٧)، ونتائج التحليل المكاني لشبكة التصريف باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

جدول ملحق (٢): القياسات الهيدرولوجية للأحواض المدروسة وفق نموذج Snyder

ت	لمؤشر الهيدرولوجي	الرمز	وحدة القياس	وادي كلال بدرة	وادي كلال ترسخ	نهر الجباب	وادي كلال الزعفران
1	كمية التدفق الأقصى للسيول بالحوض المائي	Qp	م³/ثا	693.2	430.87	234.79	252.14
2	زمن التأخر الهيدرولوجي	Tr	ساعة	0.962	0.713	1.136	0.68
3	فترة الأساس (زمن قاعدة السيل)	Tb	ساعة	12.984	9.621	15.342	9.18
4	فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل	Tm	ساعة	4.328	3.207	5.114	3.06
5	فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل	Td	ساعة	8.656	6.414	10.228	6.12
6	التدفق الأقصى المناسب لمدة الارتفاع التدريجي	QTm	م³/ثا	346.6	215.435	117.395	126.07
7	التدفق الأقصى المناسب لفترة الانخفاض التدريجي	QTd	م³/ثا	86.65	53.859	29.349	31.518
8	تدفق الذروة النوعي للحوض المائي	qp	م³/ثا/كم²	0.1891	0.2548	0.16	0.2674
9	المدة الزمنية عند مستوى ٥٠٪ من تدفق الذروة	W50	ساعة	12.93	9.38	15.45	8.88
10	المدة الزمنية عند مستوى ٧٥٪ من تدفق الذروة	W75	ساعة	7.37	5.35	8.81	5.06
11	شدة المطر المناسبة لتدفق الذروة	i	ملم/ساعة	3.062	4.126	2.592	4.331
12	حجم تدفق السيل في الحوض المائي	AL	مليون م³	10.8	4.976	4.322	2.777
13	سمك/عمق الجريان السطحي الموافق لذروة التدفق	E	ملم	2.946	2.942	2.945	2.945
14	قوة السيل في الحوض المائي	A	م³/ثا/كم	11.45	10.48	6.13	8.21

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الأحواض المائية وتطبيق معادلات نموذج سنايدر وعلاقات USACE لتحديد خصائص الهيدروغرافي علاقات ((W50) و((W75)) موثقة ضمن تطبيقات نموذج سنايدر