



Estimating surface runoff volume using a curve number model in the Wadi Bani Walid basin – Libya

Abdulsalam Ibrahim Abunwar^{1*}, Muamar Mohamed Algihwel²

¹Department of Environment and Water Resources, Mesallata Technical Engineering College, Mesallata Libya

²Department of Civil Engineering, Mesallata College of Engineering Technology, Alkhums, Libya

aabunouwar@fem.edu.ly

تقدير حجم الجريان السطحي باستخدام نموذج رقم المنحنى
في حوض وادي بني وليد - ليبيا

عبد السلام إبراهيم أبونوار¹*, معمر محمد الغويل²
¹قسم البيئة والموارد المائية، كلية التقنية الهندسية مسلاتة، مسلاتة، ليبيا
²قسم الانشائي، كلية التقنية الهندسية مسلاتة، الخمس، ليبيا

Received: 05-04-2026	Accepted: 13-05-2026	Published: 20-05-2026
		
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).		

المخلص:

يهدف هذا البحث إلى إجراء تحليل هيدرولوجي لحوض وادي بني وليد، لتقييم استجابته للجريان السطحي، تم استخدام طريقة رقم المنحنى (SCS-CN) لتقدير الجريان الناتج عن عاصفة مطرية بمتوسط هطول 73.44 ملم، أظهرت الحسابات أن الحوض يتميز بسعة تخزينية قصوى منخفضة ($S=11.14$) ملم، وفقد أولي ($I_a=2.23$) ملم، مما أدى إلى عمق جريان سطحي كبير بلغ 61.58 ملم وحجم إجمالي تجاوز 104 مليون متر مكعب، تم تطبيق أربع طرق تجريبية مختلفة لحساب زمن التركيز (T_c) كيربيتش، ممارسات كاليفورنيا، جياندوتي، وتأخر (SCS)، كشفت مقارنة منحنيات الوحدة الناتجة عن تباين كبير في ذروة التصريف (Q_p) وزمن الذروة (T_p)، حيث تراوحت قيم Q_p بين 15.33 و 33.59 م³/ث لكل 1 ملم جريان، تم استنتاج المنحنى الزمني للتصريف للعاصفة الأصلية، حيث بلغت ذروة التصريف 2067.8 م³/ث، مما يشير إلى خطر فيضان عالٍ، يقدم البحث تحليلاً هندسياً وهيدرولوجياً مفصلاً لهذه النتائج وتأثيرها الحاسم على تصميم منشآت التحكم بالفيضانات ومخاطر انجراف التربة.

الكلمات الدالة: الجريان السطحي، ذروة التصريف، زمن التركيز، منحنى الوحدة، هيدرولوجية الوادي.

Abstract

This research aims to conduct a hydrological analysis of the Wadi Bani Walid basin to assess its response to surface runoff. The Curve Number-Corridor (SCS-CN) method was used to estimate the runoff from a rainstorm with an average rainfall of 73.44 mm. Calculations showed that the basin has a low maximum storage capacity ($S=11.14$) mm and an initial loss ($I_a=2.23$) mm, resulting in a large surface runoff depth of 61.58 mm and a total volume exceeding 104 million

cubic meters. Four different experimental methods were applied to calculate the concentration time (Tc): Kirbych, California practice, Giandotti, and SCS delay. Comparison of the resulting unit curves revealed a significant variability in the peak discharge (Qp) and peak time (Tp), with Qp values ranging from 15.33 to 33.59 m³/s per 1 mm of runoff. The time-discharge curve for the original storm was derived, showing a peak discharge of 2067.8 m³/s, indicating... High flood risk; the research provides a detailed engineering and hydrological analysis of these findings and their crucial impact on the design of flood control structures and soil erosion risks.

Keywords: Surface Runoff, Peak Discharge, Time of Concentration, Unit Hydrograph, Wadi Hydrology.

المقدمة

تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة تحديات هيدرولوجية متزايدة، حيث أصبحت السيول الفجائية ظاهرة متكررة تُهدد الاستقرار البيئي والبشري على نحو غير مسبوق، وتتفاقم هذه الظاهرة بفعل التغيرات المناخية التي أدت إلى زيادة وتيرة الأمطار العالية الفجائية، مما ينتج عنه جريان سطحي هائل وأحجام مياه متدفقة من الأحواض المائية تتجاوز القدرة الاستيعابية للبنية التحتية، هذان التدفق السريع والمفاجئ للمياه لا يمثلان تهديداً مباشراً لحياة الإنسان فحسب بل يمتد تأثيره ليشمل تدمير البنية التحتية بما في ذلك انهيار العبارات والسدود وتضرر الطرق والمنشآت العمرانية، وفي هذا السياق يكتسب الجريان السطحي أهمية بالغة، خصوصاً في البيئات التي تتميز بانخفاض معدلات هطول الأمطار وغياب الجريان الدائم، وعلى الرغم من أن هذه المناطق قد لا تشهد جرياناً سطحياً، مستمراً إلا أن العواصف المطرية الموسمية المفاجئة يمكن أن تولد كميات هائلة من الجريان السطحي، مما يؤدي إلى ظاهرة الفيضانات الخاطفة التي تشكل تهديداً كبيراً للبنية التحتية، والأرواح نظراً لطبيعتها المفاجئة وقوتها التدميرية (الرياني وآخرون، 2019).

إن التقدير الدقيق للجريان السطحي وخصائصه الزمنية يُعد حجر الزاوية في التخطيط العمراني المستدام وتصميم المنشآت الهيدروليكية الحيوية، فضلاً عن تطوير استراتيجيات فعالة لإدارة مخاطر الفيضانات (عاشور، 2022)، ففهم ديناميكيات تدفق المياه لا يقتصر على الجوانب الهيدروليكية، بل يمتد ليشمل تقييم الآثار البيئية العميقة التي تخلفها هذه التدفقات المحملة بالرواسب والملوثات، وتُعد ظاهرة انجراف التربة من أخطر هذه التأثيرات، حيث تؤدي إلى تدهور حاد في خصوبة الأراضي الزراعية وتدمير الغطاء النباتي وزيادة معدلات التصحر، كما أن انتقال كميات ضخمة من الرواسب نحو المسطحات المائية والمناطق الحضرية يمثل تهديداً مباشراً للتوازن البيئي واستدامة الموارد الطبيعية في المنطقة، ومع ذلك يواجه المهندسون والباحثون تحديات جمة في نمذجة هذه الأحواض المائية، ويعزى ذلك بشكل أساسي إلى ندرة البيانات الهيدرولوجية المرصودة، مما يفرض الاعتماد على النماذج التجريبية وشبه الفيزيائية (بن طاهر، 2024)، وفي هذا السياق تبرز أهمية دراسة حوض وادي بن وليد في ليبيا كنموذج حيوي لفهم هذه الظواهر المعقدة.

مشكلة البحث:

تتمثل المشكلة البحثية الرئيسية في التباين الكبير في تقديرات ذروة الفيضان الناتجة عن الاختلاف في طرق حساب زمن التركيز (Time of Concentration)، وهو معلم هيدرولوجي حاسم يؤثر مباشرة على شكل المنحنى الهيدروغرافي وذروة التصريف. هذا التباين يؤدي إلى عدم اليقين في التصميم الهندسي للمنشآت المائية، ويزيد من مخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية والريفية على حد سواء. بالإضافة إلى ذلك، فإن ندرة البيانات الهيدرولوجية في المناطق الجافة وشبه الجافة تزيد من تعقيد عملية اختيار الطريقة الأنسب لتقدير زمن التركيز والجريان السطحي، مما يستدعي إجراء تحليل مقارن شامل للطرق المتاحة لضمان دقة وموثوقية التقديرات الهيدرولوجية.

أهداف البحث:

تهدف هذه الورقة البحثية إلى استعراض الأبعاد المتعددة لمخاطر السيول، مع التركيز على بناء قاعدة معرفية رصينة تدعم خطط التنمية المستدامة، ومن خلال توظيف تقنيات حديثة في تحليل البيانات الجيو مكانية

والهيدرولوجية، تسعى الدراسة إلى تقديم حلول عملية تعزز من قدرة المجتمع على التكيف مع هذه الكوارث وتقليل التبعات الاقتصادية والبيئية السلبية، حيث أن الوصول إلى تقدير دقيق لمخاطر السيول وتأثيراتها البيئية يُعد الركيزة الأساسية لتطوير استراتيجيات إدارة مائية فعالة تضمن حماية الأرواح والممتلكات وتحافظ على النظم البيئية الهشة في منطقة الدراسة، وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

1. تطبيق منهجية متكاملة لتقدير حجم وعمق الجريان السطحي في حوض الوادي باستخدام طريقة رقم المنحنى (SCS-CN).

2. إجراء تحليل مقارن لأربع طرق مختلفة لحساب زمن التركيز (كيربيتش، ممارسات كاليفورنيا، جيانوتي، تأخر SCS) وتقييم مدى دقتها في البيئة المدروسة.

3. توفير تفسير هيدرولوجي وهندسي معمق للنتائج المتحصل عليها، مع التركيز على تأثير زمن التركيز على شكل المنحنى الهيدروغرافي وذروة التصريف.

4. تقييم الآثار المحتملة لذروة التصريف العالية على استقرار البنية التحتية ومعدلات انجراف التربة في منطقة المصب.

أهمية الدراسة:

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة من عدة جوانب:

1. الأهمية الهندسية: تساهم النتائج المستخلصة في تحسين دقة التصميم الهندسية للمنشآت المائية، مثل السدود والعبارات، وتوفير أسس علمية لتطوير أنظمة الحماية من الفيضانات، مما يقلل من الخسائر المادية والبشرية، كما توفر الدراسة إرشادات للمهندسين لاختيار الطريقة الأنسب لتقدير زمن التركيز في مشاريعهم.

2. الأهمية الهيدرولوجية: تقدم الدراسة فهماً أعمق لديناميكيات الجريان السطحي والفيضانات الخاطفة في البيئات الجافة وشبه الجافة، وتوضح العلاقة بين زمن التركيز وخصائص الفيضان. هذا الفهم يعزز القدرة على التنبؤ بالظواهر الهيدرولوجية المتطرفة وإدارتها بفعالية.

3. الأهمية الفيضانية من خلال تقييم الآثار المحتملة لذروة التصريف العالية على استقرار البنية التحتية ومعدلات انجراف التربة، تساهم الدراسة في تطوير استراتيجيات أكثر فعالية للتخفيف من مخاطر الفيضانات، وحماية الأراضي الزراعية والمناطق السكنية، وتعزيز الأمن المائي والبيئي في المناطق المتأثرة.

البيانات المستخدمة:

اعتمدت الدراسة على منظومة متكاملة من البيانات المكانية والمناخية والهيدرولوجية التي جرى توظيفها ضمن بيئة تحليل جغرافي رقمي بهدف نمذجة استجابة حوض الوادي للجريان السطحي و تقدير مخاطر الفيضانات وقد شملت قاعدة البيانات مرئيات فضائية متعددة الأضيايف من القمر الصناعي (Landsat-8) والتي استخدمت في تصنيف استعمالات الأراضي و الغطاء النباتي وتحديد المناطق العمرانية والسطوح الصخرية لما لذلك من تأثير مباشر في قيم رقم المنحنى ومعاملات الفقد الهيدرولوجي كما تم الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية 30 متر من القمر الصناعي (SRTM) والمتاح عبر هيئة المساحة الأمريكية (USGS) بهدف اشتقاق الخصائص المورفومترية للحوض، كما استندت الدراسة إلى خرائط التربة العالمية الصادرة عن منظمة (FAO) لتحديد أنواع التربة السائدة ومجموعاتها الهيدرولوجية، في حين تم الحصول على البيانات المناخية من قواعد بيانات وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) إضافة إلى سجلات المركز الوطني للإرصاد الجوي بمحطة بن وليد، وقد جرى تنفيذ جميع عمليات المعالجة المكانية والتحليل الهيدرولوجي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برنامج (ArcGIS)، وبذلك شكلت هذه البيانات المتكاملة إطاراً علمياً أتاح توصيفاً كمياً عالي الموثوقية للاستجابة الهيدرولوجية.

منهجية الدراسة:

اتبع الباحث المنهج التحليلي والكمي داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية Geographic information Systems (GIS) والاستشعار عن بعد Remote Sensing (RS) لرسم وإعداد الخرائط المتعلقة بمنطقة

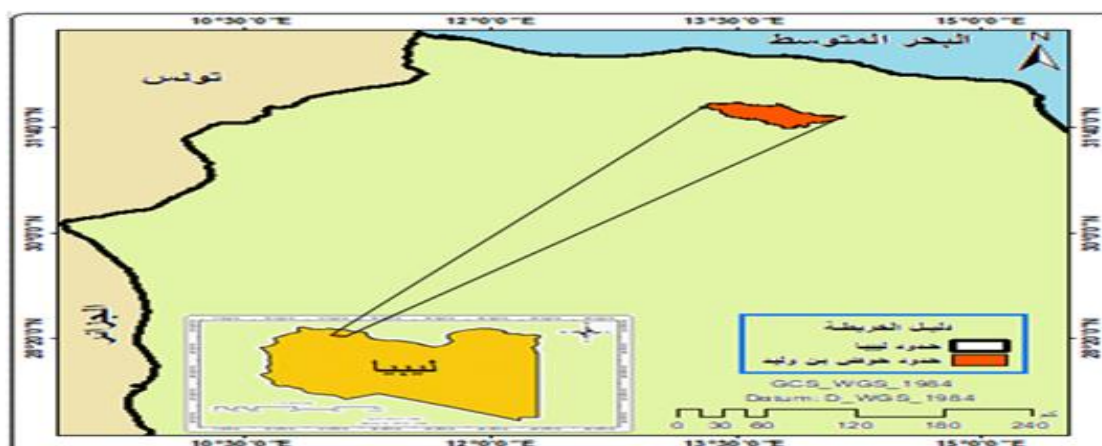
الدراسة من خلال بيانات (SRTM) المتاحة من قبل وكالة ناسا (NASA) واستخدمت خرائط ونتائج مسح التربة المعدة من قبل منظمة (FAO)، كما تم الاعتماد على خرائط استعمالات الأراضي اعتماداً على المرئيات الفضائية من خلال (Landsat -8) المتاحة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) للفترة 2021 بالإضافة لإعداد خريطة منحني خدمة حفظ التربة (SCS - CN) لتقدير الجريان السطحي والتي تزودنا بالمفاهيم العامة لاشتقاق أرقام المنحني (CN) التي تم تطويرها من خلال طريقة خدمة حفظ التربة (Soil Conservation Services) التي طورتها وزارة الزراعة الأمريكية (The USDA SCS) عام 1954 م، حيث تم إعداد خريطة رقم المنحني النهائية، بالإضافة إلى استخدام طريقة مضلعات ثيسن (Tiessen) لتقدير العمق المكافئ للجريان السطحي اعتماداً على بيانات الأمطار اليومية.

منطقة الدراسة:

يقع وادي بن وليد في أقصى الشمال الغربي لمنطقة بن وليد الواقعة في الجزء الشمالي الغربي في ليبيا و يقطع مدينة بن وليد الذي تقع على ضفتيه، حيث يخترق تلال المنطقة منحدرًا من مرتفعات الجبل الغربي باتجاه الشرق، مشكلاً حزام يتراوح عرضه بين (1.5 - 2 كم) (محمد، 2017)، ويمتد بين خطي طول (13, 50, 16, 22, 09, 14) ودائرتي عرض (38, 38, 31, 45, 03, 32 شمالاً) ضمن الجزء الجنوبي من إقليم طرابلس، والذي يبعد عنها حوالي 160 كم.

الحدود المكانية: تشمل الحدود المكانية لمنطقة الدراسة كامل حوض الوادي الممتد من الجبل الغربي حيث حدود خط تقسيم المياه بينه وبين أحواض أودية شمال غرب ليبيا ووصولاً إلى نقاط التقائه مع وادي تماسلة شرقاً ليكوناً معاً مجرى حوض وادي المردوم.

شكل (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: الباحثان بالاعتماد على برنامج Arc map

الخصائص الجيومورفولوجية:

يستمد حوض وادي بن وليد معظم مياهه من المرتفعات الشمالية الواقعة شمال غرب الحوض، حيث تُعد هذه الأراضي المنابع العليا لمجراه عند ارتفاع (956 م) فوق مستوى سطح البحر، بينما يصل أدناه (154 م) فوق مستوى سطح البحر عند مجاري الحوض، والجدول التالي يبين الخصائص الجيومورفولوجية لحوض الوادي.

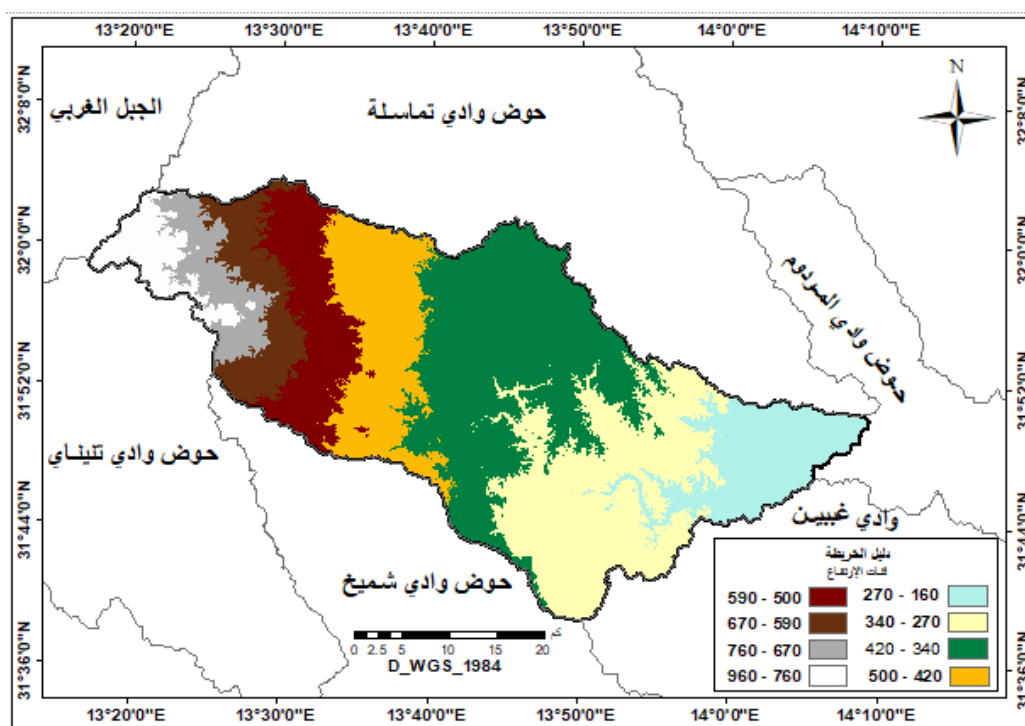
جدول (1) الخصائص الجيومورفولوجية لحوض وادي بن وليد

المعامل	القيمة	الوحدات	المعامل	القيمة	الوحدات
المساحة	1692	كم ²	العرض عند المنبع	2	كم
المحيط	290	كم	العرض عند المصب	11	كم
طول الحوض	111	كم	أقصى ارتفاع	956	متر
متوسط عرض الحوض	15	كم	أدنى ارتفاع	154	متر
عرض منتصف الحوض	30	كم	متوسط الانحدار للأرض الطبيعية	0.00723	م/م

المصدر: الباحثان بناءً على نتائج التحليل الهيدرولوجي لحوض وادي بن وليد باستخدام ArcGIS10.3.

ينتهي مجرى وادي بن وليد عند نقطة التقائه بمجرى وادي تماسلة مكونين مجرى المردوم، من خلال الخريطة شكل (2) توضح أن الجزء الشمالي الغربي من حوض الوادي يقع في مناطق شديدة الانحدار تتمثل في مرتفعات الجبل الغربي، حيث يغطي هذه السفوح طفوح البازلت التي تستمر في الامتداد في اتجاه جريان الوادي.

شكل (2) فئات الارتفاعات لمنطقة الدراسة



المصدر: الباحثان بالاعتماد على (DEM) باستخدام برنامج Arc map.

جدول (2) فئات الارتفاعات ومساحتها والنسبة المئوية بمنطقة الحوض

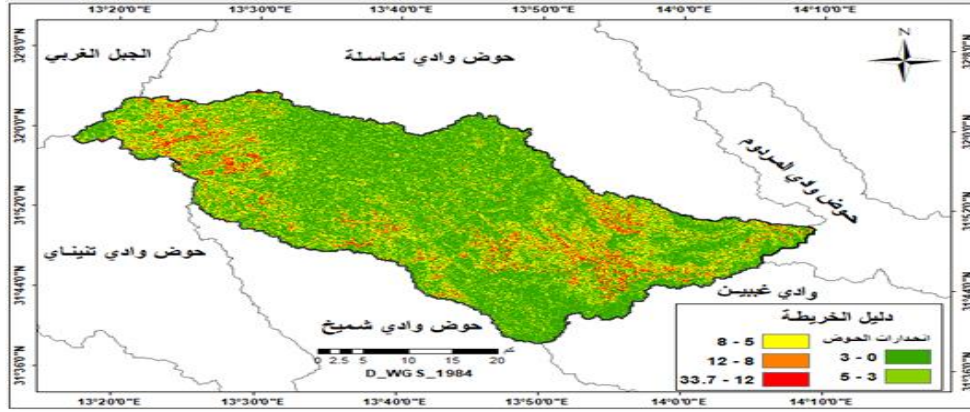
ت	الارتفاع (م)	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية (%)	ت	الارتفاع (م)	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية (%)
1	270 - 160	169	10	5	590 - 500	169	10
2	340 - 270	372	22	6	670 - 590	118	7
3	420 - 343	491	29	7	760 - 670	85	5
4	500 - 420	220	13	8	960 - 760	68	4

المصدر: الباحثان بالاعتماد على شكل (2)

تحليل الانحدارات وتصنيف يونغ (Slope Analysis and Young Classification):

يُعد تحليل الانحدارات (Slope Analysis) أحد أهم الخصائص المورفومترية التي تؤثر بشكل مباشر على سرعة الجريان السطحي، وبالتالي على زمن التركيز وذروة التصريف، وتم تصنيف انحدارات حوض وادي بن وليد وفقاً لتصنيف يونغ (Young, 1972; Tarboton, 1997) جدول (3) وهو تصنيف جيومورفولوجي شائع يعتمد على تقسيم زوايا الانحدار إلى فئات محددة لتقييم التضاريس ومخاطر التعرية. يُظهر تحليل الانحدارات أن غالبية مساحة الحوض (74 %) تقع ضمن فئات الانحدارات المنخفضة إلى المتوسطة (0 - 5 %)، مما يشير إلى أن التضاريس السائدة هي تضاريس سهلية أو متموجة، هذا التوزيع يؤثر على سرعة الجريان السطحي، حيث تزيد الانحدارات المنخفضة من زمن التركيز (Tc) وتسمح بزيادة التخزين السطحي، مما يقلل من ذروة التصريف مقارنة بالأحواض ذات الانحدارات الشديدة، ومع ذلك فإن وجود مناطق ذات انحدار قوي إلى شديد (12 - 33.7 %) في مناطق المنابع والذي تمثل 2% من المساحة الكلية شكل (3) تساهم في توليد كميات كبيرة من الجريان السطحي بسرعة في المراحل الأولية للعاصفة، مما يفسر ارتفاع ذروة التصريف.

شكل (3) فئات الانحدار بمنطقة الحوض.



المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM باستخدام برنامج GIS

جدول (3) تصنيف انحدارات حوض وادي بن وليد وفقاً لتصنيف يونغ (Young)

لا	فئة الانحدار بالدرجة	المساحة (كم ²)	النسبة (%)	(Young Classification)
1	3 - 0	643	38	شبه مستوي إلى خفيف
2	5 - 3	609	36	خفيف إلى متوسط
3	8 - 5	288	17	متوسط إلى قوي
4	12 - 8	118	7	قوي إلى شديد
5	33.7 - 12	34	2	شديد جداً

المصدر: الباحثان بالاعتماد على شكل (3) باستخدام برنامج Arcgis

جيولوجية منطقة الدراسة:

تنتمي منطقة الدراسة للمنطقة الانتقالية بين وحدتين تركيبيتين رئيسيتين هما حوض الحمادة الحمراء و حوض سرت وقد تأثرت المنطقة بسلسلة من الصدوع تمتد في اتجاه الشمال الغربي - الجنوب الشرقي من تأثير أخدود هون (الهيئة العامة للمياه، 1992)، حيث تظهر على السطح الصخور المميزة لتكوين تغرنة - مزدة، بعضها مغطى بالترسبات الحديثة بينما يقع الجزء الشمالي الغربي ضمن مناطق شديدة الانحدار، حيث يغطي

سطحه تتابع من طفوح البازلت التي تمتد على هيئة تدفقات متوافقة مع اتجاه جريان الوادي، ويزداد انكشاف الأساس الجيولوجي كلما اتجهنا شرقاً على امتداد المجرى، إذ يتكون من أحجار علوية متنوعة تعود إلى عصر الباليوسين، ويسود فيها عضو معزولة الذي يتألف من حجر جيرى دولوميتي جزئياً دقيق التبلور، إضافة إلى الحجر الجيري المارلي، ويظهر هذا التكوين مكشوفاً على السطح في معظم أجزائه، بينما يظهر تكوين قصر تغرنة، المكون من حجر جيرى مارلي وحجر جيرى طباشيري ومارل، في قيعان الأودية والمناطق المجاورة لها نتيجة عمليات النحت و التعرية السطحية، كما تكونت روسب الوادي خلال فترات الفيضانات، وتتكون في معظمها من الطمي والرمل الناعم والطفل الرملية مع وجود كميات محدودة من الحصى، ويعتبر تكوين تغرنة أقدم تكوين يظهر على سطح الأرض ويقع تحته الطباشيري العلوي وتقع الطبقات القارية لتكوين ككلة تحت تكوينات الطباشيري العلوي (مركز البحوث الصناعية، 1977).

التربة Soil:

يعد نوع التربة وخصائصها الفيزيائية من أهم العوامل التي تتحكم في سلوكها المائي، حيث تؤثر بشكل مباشر في قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة ومعدل تسرب المياه داخلها، وتختلف هذه الخصائص باختلاف القوام والبنية، إذ تميل التربة الدقيقة إلى الاحتفاظ بكميات أكبر من المياه مقارنة بالتربة الرملية الخشنة وينعكس ذلك على الخصائص الهيدرولوجية للحوض، خاصة سرعة الجريان السطحي التي تزداد في التربة ضعيفة الاحتفاظ بالماء، كما تلعب المسامية والنفاذية دوراً مهماً في تحديد استجابة التربة للهطول المطري. وفي هذا الإطار تم تصنيف تربة حوض وادي بن وليد بالاعتماد على خريطة التربة الصادرة عن منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، و التي تُعد من أهم المراجع العالمية في هذا المجال، وقد أظهر هذا التصنيف تنوع التربة داخل الحوض واختلاف خصائصها الهيدرولوجية، حيث تم تقسيمها إلى ثلاثة أنواع رئيسية كما هو موضح في شكل (4)، حيث يساعد هذا التصنيف في تفسير التباين المكاني في الجريان السطحي و التغذية الجوفية داخل الحوض كما يُعد أساساً علمياً مهماً في الدراسات الهيدرولوجية و التخطيط المائي (USDA, 2004 & FAO, 2006)، وتتمثل الأنواع في الآتي:

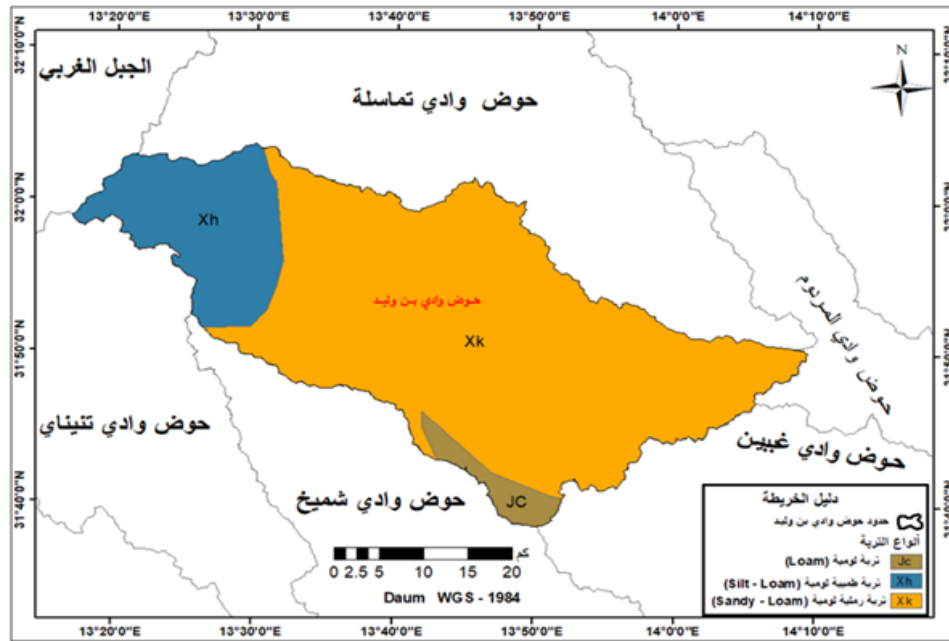
أ. **تربة لومية (Loam):** وهي عبارة عن تربة طبقية كلسية بنسبة جير تعادل 20% (Brady & Weil, 2016) تغطي مساحة (55 كم²) بنسبة (3.26 %) من مساحة الحوض الكلية تكون مائلة للحمرة، بالإضافة إلى احتوائها على الجبس، تتميز بمثالية للزراعة حيث تمتاز بتوازن في محتواها من الرمل والطين والطين، ما يمنحها خصائص فيزيائية وكيميائية متوسطة تجمع بين نفاذية جيدة وقدرة على الاحتفاظ بالرطوبة، مما يزيد من خصوبتها، كما يتميز هذا النوع من الصنف من التربة بوجود طبقات رسوبية مختلفة الخواص والاعماق في قطاعها، وهي عبارة عن رواسب مسيلات المجاري المائية مع وجود صخور الحجر الجيري على سطحها، بالإضافة إلى أنها تتميز بمناخها الجاف والغطاء النباتي الفقير الذي أدى إلى عدم تطور قطاعها.

ب. **اللومية الطميية (Silt Loam):** وهي نوع من التربة التي تحتوي نسبة عالية من الطمي مقارنة بالرمل والطين، (50 – 80 %) (Soil Science Division Staff, 2017)، وتشغل مساحة (306 كم²) بنسبة (18%) من المساحة الكلية للحوض، تمتاز بنعومتها واحتفاظها العالي بالمياه، مما يجعلها ملائمة للمحاصيل التي تتطلب رطوبة دائمة، وحسب (FAO) فإن هذه التربة تندرج غالباً تحت فئة الرواسب الحديثة Fluvisols (USDDA-NRCS, 2012) وتتميز بنمو طفيف في طبقات قطاعها، بالإضافة لوجود تربة ضحلة فوق مواد حجرية غير متماسكة تحتوي نسبة عالية من الايونات القلوية، بمعنى أنها غنية بالمغذيات مما

يجعلها مثالية للزراعة ومن خصائصها تميزها الجيد في تصريف المياه.

ج. التربة اللومية الرملية (Sandy – Loam): يعرف هذا النوع من الترب بالترب الجافة الكلسية (Brady & Weil, 2016) تغطي مساحة (1330 كم²) بنسبة (79%) تقريباً من مساحة الحوض، وهي خليط من الطين والطيني والرمل الذي تزيد نسبته فيها عن 60 % (FAO and UNESCO, 1998) من نسبة مكوناته، حيث تتكون في ظروف المناخ الجاف وشبه الجاف وتكون عرضة للتصحّر، مما يجعلها أكثر تهوية وأسرع تصريف للمياه من الأنواع الأخرى، وتعد مثالية للمحاصيل التي لا تتحمل الرطوبة العالية ويصنفها النظام الأمريكي ضمن الترب الخفيفة القوام (وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، 2005) وهي تربة ضحلة حديثة التكوين فوق مواد حجرية متماسكة مع تربة مترسبة بواسطة المياه مع وجود صخور الحجر الجيري على سطحها وذات انحدار خفيف.

شكل (5) أنواع التربة في منطقة الدراسة

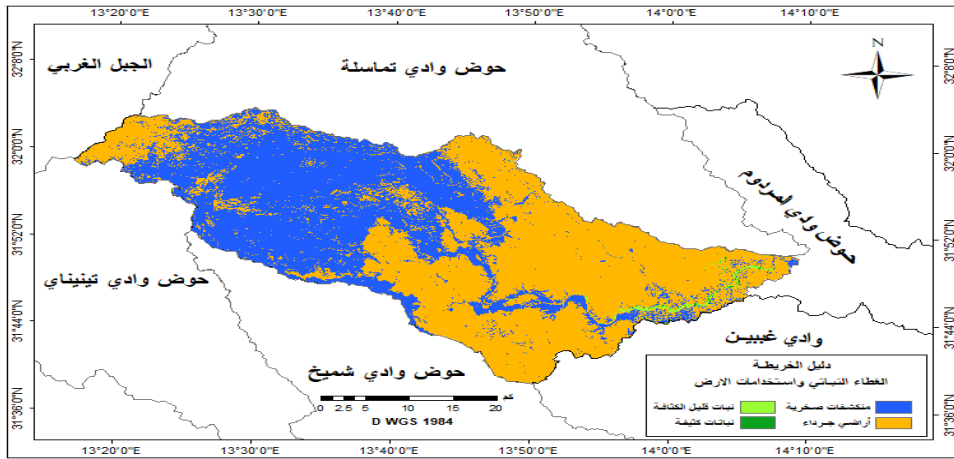


المصدر: (The Digital Soil Map of the world , FAO/UNESCO, Version 3.6, January 2006.

الغطاء النباتي واستخدامات الأرض:

يعتبر نوع وكثافة الغطاء النباتي انعكاساً لعدة عوامل طبيعية متمثلة في الظروف المناخية والتضاريس ونوع التربة، كما أنه يؤثر على عمليات التعرية السائدة في الحوض ويؤثر على البنية الصخرية حيث يؤدي إلى توسيع الشقوق والفواصل، كما يؤدي إلى زيادة نشاط عمليات التجوية الكيميائية بالإضافة إلى تأثيره على كمية التدفق والجريان السطحي وتقليل كميات التسرب إلى داخل التربة، بالإضافة إلى تقليله من عمليات انجراف الطبقات العليا للتربة، وقد تم تصنيف أنواع الغطاء النباتي لمنطقة الدراسة وفقاً للخريطة شكل (6) إلى عدة أنواع كما هي مبينة في الجدول (4).

شكل (6) أصناف الغطاء النباتي لمنطقة الدراسة



المصدر: الباحثان اعتماداً على المرئية الفضائية للقمر الصناعي Landsat ومخرجات برنامج Arc map ومن خلال خريطة الغطاء النباتي شكل (6) اتضح أن معظم أراضي الحوض تَمَثَّلَة في صنف الاراضي الجرداء والمنكشفات الصخرية بالإضافة إلى قليل من النباتات المنتشرة في مجرى وعلى ضفاف الوادي، من خلال خريطة الغطاء النباتي شكل (6) اتضح أن معظم أراضي الحوض تَمَثَّلَة في صنف الاراضي الجرداء والمنكشفات الصخرية بالإضافة إلى قليل من النباتات المنتشرة في مجرى وعلى ضفاف الوادي، وبالتالي فهي تؤثر بشكل كبير في عملية الجريان السطحي حيث تقتصر إلى الغطاء النباتي الذي يعمل على تقليل سرعة جريان المياه، بالإضافة إلى الاسطح الصلبة التي تغطي معظم الأراضي العمرانية مما يمنع تسرب المياه، محدثاً زيادة في سرعة وكمية المياه الجارية على السطح وبالتالي زيادة احتمالية خطر الفيضان.

جدول (4) أصناف الغطاء النباتي لمنطقة الدراسة

ت	التصنيف	نسبة المساحة %	المساحة (كم ²)
1	الصخور والمباني	43.6	737
2	أراضي جرداء	55.5	942
3	نباتات قليلة الكثافة	0.7	11
4	نباتات كثيفة	0.1	2

المصدر: الباحثان بالاعتماد برنامج Arc map

الظروف المناخية:

يعتبر المناخ أحد العناصر الأساسية المؤثرة في النظام النهري ويؤثر بشكل مباشر على كل من الجيولوجية والتربة والغطاء النباتي والتي تنعكس على التعرية النهريية والعمليات الجيومورفولوجية في الحوض، كما يؤثر على الخصائص الهيدرولوجية للحوض:

أ. درجة الحرارة:

نظراً لوقوع منطقة الدراسة في نطاق المناخ الشبه صحراوي وتأثرها بعدة عوامل أهمها الموقع الجغرافي والفلكي بالإضافة إلى قوعها جنوب الجبل الغربي الذي يشكل فاصلاً يمنع وصول المؤثرات البحرية لها مما يجعلها تتميز بارتفاع درجة حرارتها نهاراً وانخفاضها ليلاً، حيث يعتبر شهر يناير أكثر الشهور انخفاضاً، حيث سجلت أدنى درجة حرارة فيه (6.0°) ثم ترتفع تدريجياً ابتداءً من فبراير حيث تصل إلى أقصاها في شهر يونيو (38.1°) جدول (5) بينما بلغ معدل درجة الحرارة السنوي (21°) درجة مئوية حيث سجلت أقصى قيمة لها 56.8 في شهر يوليو 1939م.

جدول (5) متوسط الحدين الأعلى والأدنى والمدى لدرجة الحرارة الشهرية لمنطقة بن وليد

	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الحد الأدنى	6.0	7.6	10.0	12.6	16	19.6	21.1	21.2	16	15.7	11.6	6.9
الحد الأعلى	17.4	20.0	23.3	27.3	32	36.6	38.1	37.3	34.6	29.7	25.1	18.6
المدى	11.4	12.4	13.3	14.7	16	17	17	16.1	18.6	14	13.5	11.7

المصدر: تقارير الهيئة العامة للمياه اعتماداً على المركز الوطني للإرصاد الجوي (محطة بني وليد)

الأمطار Rainfall:

تعتبر الأمطار من أهم عناصر الدورة الهيدرولوجية، حيث تعد المياه الجارية الناتجة عن الهطول المطري أحد العوامل الأساسية المؤثرة في عمليات التجوية الكيميائية، كما أنها إحدى الخصائص المناخية التي لها تأثير كبير في الخصائص المورفومترية للأحواض المائية عامة، وفي خصائص الشبكة المائية و التصريف المائي خاصة، ولذا فهي من أهم العوامل التي يجب تحليلها بعناية ودقة بالغة عند دراسة السيول ودرء أخطارها، حيث تلعب دوراً مهماً في تحديد التوقعات المستقبلية لكمياتها وتوزيعها على زمن سقوطها في العاصفة، حيث تسقط أغلب الأمطار على منطقة بني وليد في فصل الشتاء، ومن خلال البيانات المناخية التابعة لوكالة ناسا (NASA) الفضائية فإنه يمكن من تقدير متوسطات الهطول المطري اليومي و السنوي لمحطة بن وليد، حيث بلغت (52 ، 124 ملم) على التوالي، ولكنها تتباين تبايناً كبيراً من عام إلى آخر سواء في كميتها أو في توزيعها على شهور السنة إلى درجة أنه من الصعب تحديد الشهر الذي تظهر فيه قمة المطر، وبالرغم من وقوع حوض وادي بن وليد ضمن منطقة يشح أمطارها إلا أن المنابع العليا للحوض ذات ارتفاعات عالية تصل إلى أكثر من (956 م) فوق سطح البحر و بالتالي فهي تتلقى كميات كبيرة من الأمطار سنوياً، وتعتبر أمطار منطقة الدراسة فصلية، تسقط على هيئة رحات مطرية شديدة و خلال وقت قصير ويمتد موسم سقوطها من شهر (أكتوبر) حيث تأخذ كمياتها في التزايد خلال شهري (يناير ، فبراير) ثم تبدأ في التناقص حتى تنتهي في أواخر شهر مايو، وإمكانية تقدير كمية الجريان السطحي فقد تم الاعتماد على تقدير عمق المطر لأعلى رحه مطرية من خلال البيانات المناخية التابعة لوكالة ناسا الفضائية NASA حيث تبين أن أعلى رحه مطرية خلال الفترة (2011 – 2021) كانت بتاريخ (25 / 9 / 2015) تراوحت بين (23.5 – 185) ملم كما مبينة بالجدول (6).

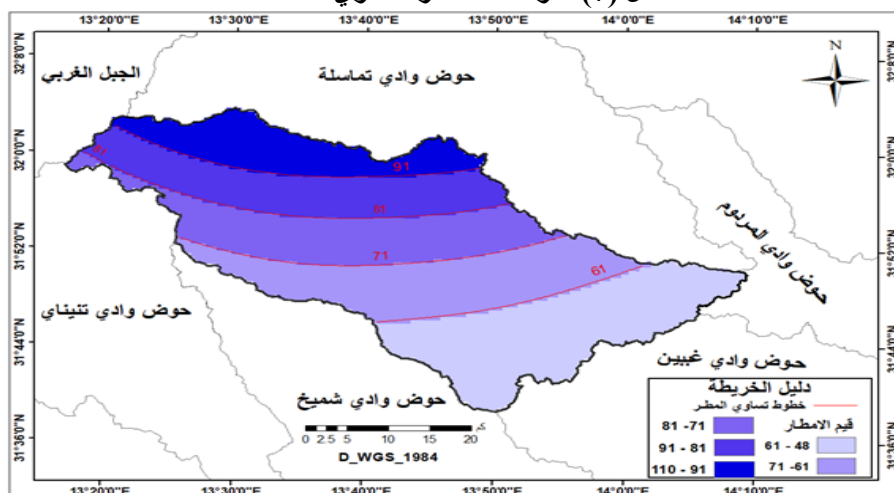
جدول (6) متوسط الأمطار السنوي ومعدل أعلى رحه مطرية ليوم واحد

المحطة	متوسط الأمطار السنوية	أعلى رحه مطرية ليوم	y	x
ترهونة	252	185	32.43139	13.63806
بن وليد	124	52	31.79556	14.11583
غريان	263	66	32.17389	13.0125
تاورغا	189	57	32.0351	15.1611
زليت	222	148	32.4688	14.565
مصراته	212	85	32.3225	15.09722
مزدة	132	36	31.44889	13.92778
مسلاته	257	183.5	32.5808	14.0433
تينيناي	80	35.7	31.402616	13.732335
نسمة	100	35.33	31.402822	13.32735
الشقيقة	210	38	31.650228	12.800208
السدادة	165	23.5	31.46581	14.60627
الزنتان	200	52	31.9797	12.246873

المصدر: الباحثان بالاعتماد موقع البيانات المناخية لوكالة ناسا

ومن خلال التوزيع المكاني لكميات الهطول المطري الناتجة عن أعلى رخة مطرية مسجلة على حوض وادي بن وليد خلال هذه الفترة، والمستخرجة من بيانات الأقمار الصناعية الصادرة عن وكالة الفضاء الأمريكية (NASA)، واعتماداً على طريقة خطوط تساوي المطر (Isohyetal Method)، قد أظهرت النتائج أن العمق المتوسط للهطول المطري على كامل الحوض بلغ 73.44 ملم، في حين تباينت الأعماق الفعلية للهطول بين أجزاء الحوض المختلفة تبعاً لاختلاف المساحات الواقعة بين خطوط تساوي المطر، حيث تراوحت قيم عمق المطر بين 54.5 و 100.5 ملم كما هو موضح في الجدول (7)، وقد بينت خريطة خطوط تساوي المطر شكل (7) أن أعلى أعماق للهطول تركزت في المناطق المرتفعة في الجزء الشمالي الغربي للحوض، وهو ما يُعزى إلى التأثير الأورو جرافي للطبوغرافيا في تعزيز عمليات الرفع الهوائي وزيادة الهطول، حيث يعكس هذا التباين المكاني في كميات الهطول عدم انتظام توزيع الأمطار على الحوض، وهو ما أدى بدوره إلى اختلاف حجم الجريان السطحي المتولد في كل نطاق مساحي، ويُعزى هذا الاختلاف بشكل رئيسي إلى تباين الخصائص الهيدرولوجية للتربة، ولا سيما نوع التربة وقيم رقم المنحنى (Curve Number-CN) الممثلة لكل مساحة، إضافة إلى تأثير الانحدار وشبكة التصريف، ونتيجة لذلك لم يكن حجم الجريان السطحي متناسباً طردياً مع عمق المطر فقط، بل تأثر بشكل واضح بقدرة التربة على التسرب والاحتفاظ بالمياه.

شكل (7) متوسط الامطار السنوي



المصدر: الباحثان بالاعتماد موقع البيانات المناخية لوكالة ناسا

وأظهرت الحسابات أن الحجم الكلي للأمطار الساقطة على كل مساحة الحوض الناتجة عن أعلى رخة مطرية و المحتسبة اعتماداً على التوزيع المكاني للأمطار باستخدام طريقة خطوط تساوي المطر شكل(7)، بلغ 124268500 م³، في المقابل أدى استخدام العمق المتوسط للهطول المطري مع متوسط قيمة رقم المنحنى إلى تقدير حجم جريان أقل بلغ حوالي 124260480 م³، ويُظهر هذا التقارب الكبير بين الطريقتين أن العمق المطري المتوسط يمثل تمثيلاً تكاملياً مناسباً للتوزيع المكاني للأمطار خلال هذا الحدث المطري اليومي، مع احتفاظ طريقة خطوط تساوي المطر بقدرتها الأعلى على تمثيل التباين المكاني.

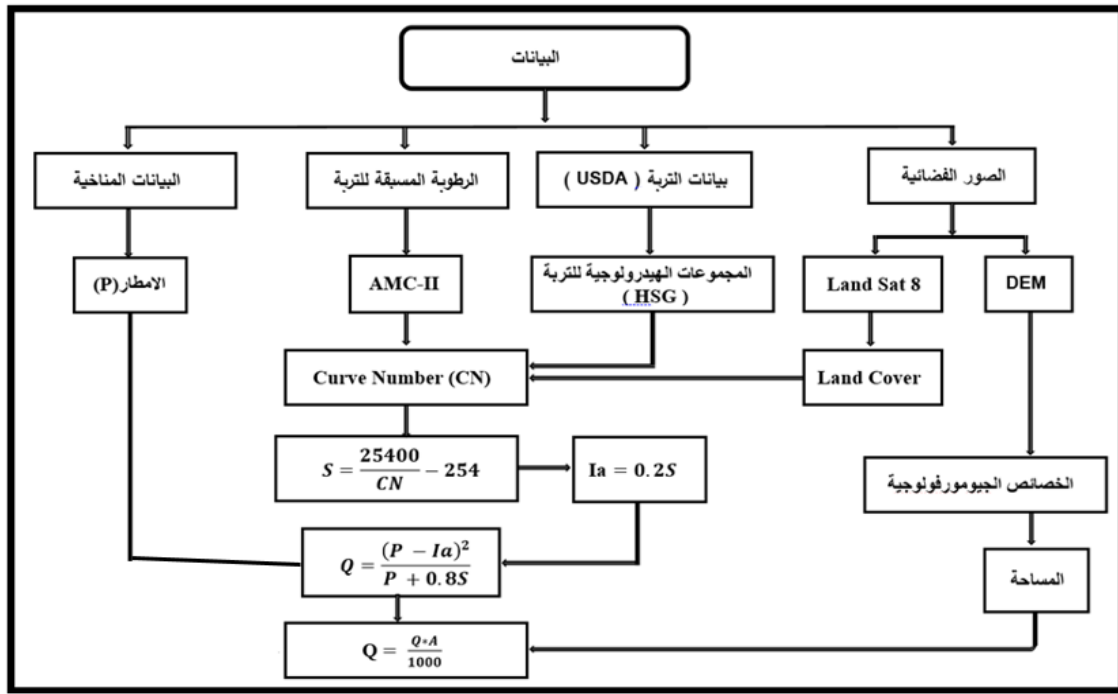
جدول (7) العمق المتوسط للمطر باستخدام خطوط تساوي المطر

ت	النسبة (%)	المساحة (كم ²)	عمق المطر (مم)	الحجم (م ³)	متوسط سمك المطر (مم)
1	26	440	54.5	23980000	73.44 مم
2	22	372	66	24552000	
3	20	338	76	25688000	
4	18	305	86	26230000	
5	14	237	100.5	23818500	

المصدر: الباحثان بالاعتماد على شكل (7)

تقدير الجريان السطحي باستخدام طريقة رقم المنحنى (SCS-CN):

إن عملية استخلاص الخصائص الهيدرولوجية للجريان السطحي لحوض وادي بن وليد تتطلب العديد من المراحل والمعادلات والإجراءات كما هي موضحة بالشكل (8) بالإضافة إلى الصيغة الرياضية لنموذج أرقام منحنى الجريان بعد جبر قيمة S، حيث تعتمد هذه الطريقة على تمثيل مبسط ولكنه فيزيائي للفوائد الهيدرولوجية، من خلال متغير الخزن المحتمل (S) والفقد الأولي (Ia)، وفق العلاقات جدول (8) الشكل (8) المخطط الانسيابي لتقدير حجم الجريان السطحي وفق طريقة (SCS)



المصدر: الباحثان باستخدام برنامج Word 2013

جدول (8) المعادلات الرياضية المستخدمة في تقدير الجريان السطحي وذروة الفيضان

رقم المعادلة	تعريف الرموز	المصدر	المعادلة
1	Q = عمق الجريان السطحي (مم) P = امطار الساقطة (مم)	Natural Resources Conservation Service (2004, P 1 - 10)	$Q = \begin{cases} 0 & , P \leq I_a \\ \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & , P > I_a \end{cases}$
2	I_a = المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان السطحي (مم)	NRCS, 2004, P 2 - 10	$I_a = 0.2S$
3	S = التجمع السطحي الأقصى بعد بداية الجريان السطحي (مم)		$S = \frac{25400}{CN} - 254$
4	CN_i = رقم المنحنى لكل مساحة من (1 إلى n)، A_i = المساحة لكل رقم	USDA, 1986, P 1 - 2	$CN_w = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{A_t}$

		المنحنى (CN)، المساحة الكلية للحوض	
$Q_V = Q * A$	Chow et al., 1988, P 148	Q_V حجم الجريان (م ³) ، مساحة الحوض (كم ²) ، عمق الجريان (ملم)	5
$Q_p = \frac{0.208 AQ}{T_p}$	NRCS, 2004, P 1 - 16	T_p زمن الذروة (ساعة)	6

المصدر: الباحثان بالاعتماد على المراجع داخل الجدول (8)

مراحل استخلاص الخصائص الهيدرولوجية للجريان السطحي بحوض وادي بني وليد:
إن عملية الاستخلاص للخصائص الهيدرولوجية لعملية الجريان السطحي تتطلب العديد من المراحل والإجراءات يمكن تمثيلها بالمراحل الآتية:

أولاً: التحليل الوصفي للبيانات الأولية المتعلقة بغطاءات الأرض وهيدرولوجية التربة:
لتقدير الجريان السطحي باستخدام طريقة المنحنى، من الضروري فهم وتحليل الخصائص الفيزيائية للحوض المائي التي تؤثر على كيفية استجابته لهطول الأمطار، هذه الطريقة التجريبية التي أثبتت فعاليتها عالمياً، تقوم على مبدأ بسيط وعميق في آن واحد، أن حجم المياه التي تتدفق على سطح الأرض بعد عاصفة مطرية ليس مجرد ناتج عن كمية المطر، بل هو نتيجة تفاعل معقد بين طاقة المطر وخصائص الحوض، لذلك يمثل التحليل الوصفي للبيانات الأولية حجر الزاوية في هذه العملية، حيث يهدف إلى تفكيك هذا التفاعل مكوناته الأساسية التي تتمحور في مقدرة التربة على امتصاص المياه وطبيعة السطح التي تسقط عليه الأمطار، ومن خلال دمج هذين العاملين بدقة يمكننا تحديد معامل رقم المنحنى الذي يمثل إمكانية توليد الجريان السطحي لمنطقة الدراسة.

أ- تصنيف الترب بحسب مجموعة التربة الهيدرولوجية (Hydrologic Soil Groups):
تعد نوعية التربة من أهم العوامل المؤثرة على كمية الجريان السطحي وحجمه، ووفقاً لدليل الهندسة التي وضعتها وزارة الزراعة الأمريكية تم تصنيف التربة هيدرولوجياً باستخدام طريقة (SCS) إلى أربع مجموعات كما هي مبينة بالجدول (8) وفق معامل النفاذية وسعة ومقدرة التربة على الرشح المائي، حيث تبين أنه لكل مجموعة صفاتها الخاصة من حيث معامل النفاذية والتي تؤثر في عملية الجريان السطحي، وبالتالي فهي تشير إلى مدى تأثير نسيج التربة في عملية توليد الجريان السطحي (حميد، 2016).

جدول (8)

الوصف	عمق الجريان	نوع التربة
A	قليل	طبقة رملية عميقة مع كمية قليلة جداً من الطين و الغرين
B	متوسط	طبقة رملية أقل عمق من الصنف A مع معدل ارتشاح متوسط
C	فوق المتوسط	طبقة صخرية بطبقة من التربة مع معدل ارتشاح دون المتوسط
D	عالي	طبقة طينية مغطاة بطبقة ضحلة من الغرين الناعم أو طبقة صخرية منكشفة

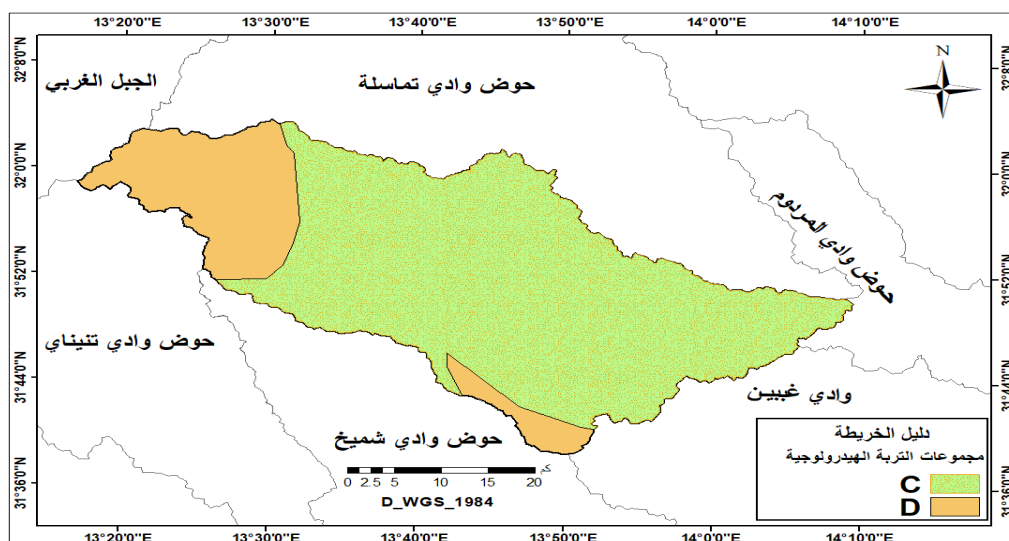
المصدر: Soil Conservation Service, 1986 Technical Releases 55

المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب طريقة (SCS-CN)
الخريطة شكل (9) والجدول (8) فقد تم تحديد المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب تصنيف (USDA) الأمريكي وفق مشروع (HWSD) والتي تم إنجازها من قبل منظمة (FAO) إذ تبين أن هناك مجموعتين من مجاميع التربة الهيدرولوجية في حوض وادي بني وليد وهي كالآتي:

1 – تربة المجموعة (C): يمتاز هذا النوع من الترب بمعدل ارتشاح دون المتوسط كما تسمح بزيادة معدلات الجريان السطحي فوقها ويشغل هذا النوع من الترب مساحة 1330 كم² أي بنسبة 78.61 % من مساحة الحوض الكلية.

2 – تربة المجموعة (D): حيث تُعد هذه المجموعة ذات مسامية ونفاذية قليلة، إذ تعتبر من أضعف المجموعات الهيدرولوجية في عملية امتصاص المياه، حيث تكون نسبة التسرب بها منخفضة، وتنتشر هذه التربة في كثير من أجزاء الحوض بمساحة 361 كم² و بنسبة مئوية 21.34%، يعتبر هذا النوع من الترب هو المسؤول عن معظم عملية الجريان السطحي و خاصة أثناء سقوط الامطار الفجائية.

شكل (9) مجموعات التربة في حوض وادي بن وليد



المصدر: الباحثان بالاعتماد على الخريطة الرقمية للتربة في العالم، منظمة الأغذية والزراعة/ اليونسكو،

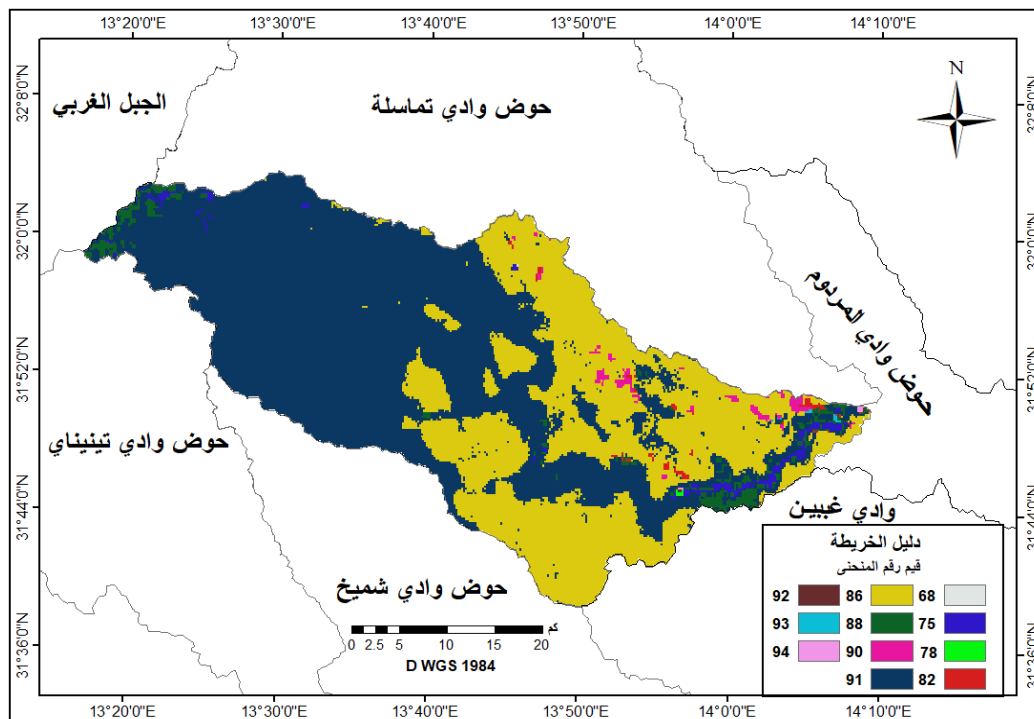
الإصدار 3.6، يناير، 2006، باستخدام برنامج ArcGIS

ثانياً: استخراج المنحنى الرقمي (Curve Number (CN):

تم استخراج خريطة أرقام المنحنى (Curve Number) لحوض وادي بن وليد كما هو موضح في شكل (10)، وذلك بالاعتماد على خريطة رقم المنحنى العالمية للحالة المتوسطة للرطوبة (Antecedent Moisture Condition II)، و التي تستند في إعدادها إلى منهجية خدمة حفظ التربة التابعة لوزارة الزراعة الأمريكية United States Department of Agriculture. وقد أظهرت نتائج التحليل وجود (11) قيمة مميزة لرقم المنحنى داخل حدود الحوض، تمثلت في القيم المبينة في شكل (10)، مما يعكس تباين الخصائص الهيدرولوجية للتربة واختلاف أنماط استخدامات الأراضي والغطاء النباتي ضمن منطقة الدراسة، يستخدم رقم المنحنى كمؤشر عددي لتقييم استجابة سطح الأرض للهطول المطري، حيث يجمع في طبيعته بين تأثيرات نوع التربة، ودرجة نفاذيتها، وطبيعة الغطاء النباتي، وكثافته، وتعتمد طريقة رقم المنحنى (SCS-CN) على مجموعة من المعادلات الرياضية التي تربط بين كمية الأمطار الساقطة وخصائص السطح لتقدير حجم الجريان السطحي، وذلك بالاستناد إلى المعلومات المتوفرة حول هيدرولوجية التربة واستخدامات الأراضي (SCS, 1972)، وتتراوح قيم رقم المنحنى بين (0 – 100)، حيث تشير القيم المنخفضة إلى قدرة عالية على التسرب وانخفاض الجريان السطحي، في حين تعكس القيم المرتفعة انخفاض النفاذية وزيادة احتمالية تولد الجريان السطحي، وبناءً على ذلك فإن القيم المستخلصة لحوض وادي بن وليد تدل على سيادة خصائص سطحية تميل إلى إنتاج جريان سطحي متوسط إلى مرتفع، وهو ما يتوافق مع طبيعة البيئات شبه

الجافة (NRCS, 2004)، أظهرت دراسة تربة الحوض أن قيمة رقم المنحنى الموزون للحوض بلغت (95.8)، وهو ما يعكس سيادة الترب ضعيفة النفاذية وقلة الغطاء النباتي (التمثلة في الترب العارية ذات النفاذية القليلة)، حيث تشير هذه القيم إلى أن نسبة كبيرة من الهطول المطري تتحول مباشرة إلى جريان سطحي، مما يفسر خطورة الفيضانات في الحوض.

شكل (10) قيم رقم المنحنى لحوض وادي بني وليد

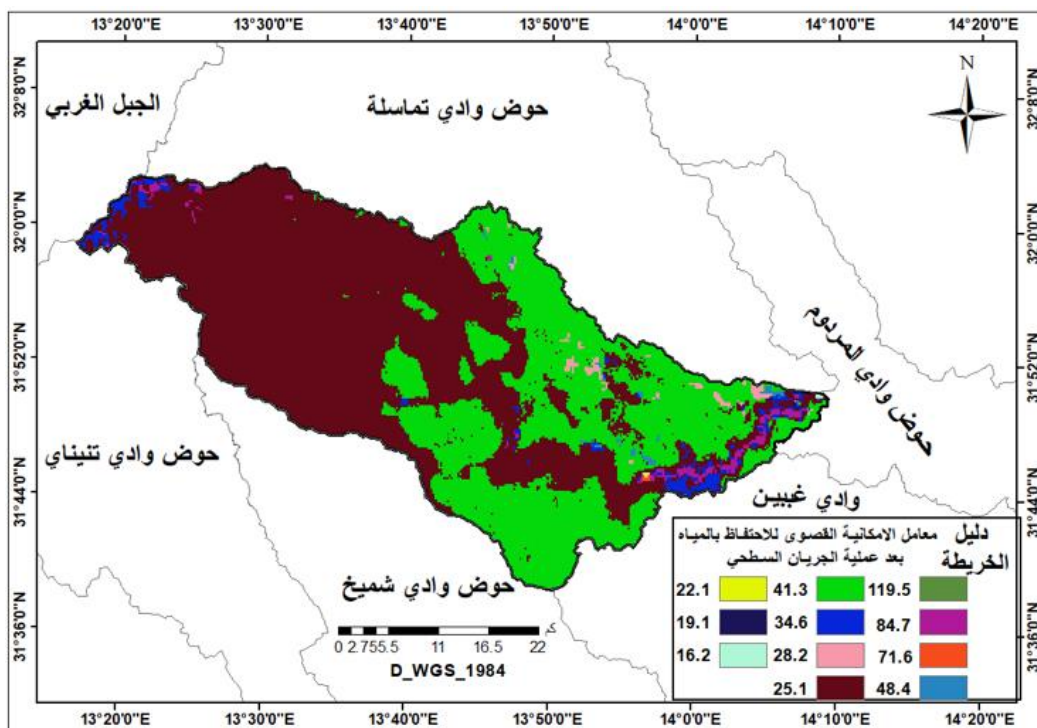


المصدر: الباحثان بالاعتماد على برنامج Arcgis

ثالثاً: حساب معامل الامكانية القصوى للاحتفاظ بالمياه بعد عملية الجريان السطحي (S):

يعكس معامل السعة التخزينية القصوى للتربة مقدر قدرتها على الاحتفاظ بالمياه بعد بدء الجريان السطحي، حيث يعبر عن قابلية التربة لامتصاص وتخزين المياه قبل وصولها إلى حالة التشبع. وتختلف هذه السعة تبعاً لنوع التربة وخصائصها الفيزيائية، خاصة النفاذية والبنية، إذ تقل قدرة التربة على التسرب تدريجياً مع استمرار الهطول إلى أن تصل إلى حالة شبه مشبعة يتزايد عندها الجريان السطحي بشكل ملحوظ، وهو ما يجعل هذا المعامل مؤشراً على سلوك التربة الهيدرولوجي بعد بدء الجريان (SCS, 1972)، حيث يتأثر بسمك طبقة التربة المشبعة بالماء بالإضافة إلى نوع التربة و مساميتها و نوع الغطاء النباتي و كثافته، إذ كلما اقتربت قيمة هذا المعامل من الصفر دلت على ضعف قابلية التربة للاحتفاظ بالماء قبل عمليات الجريان السطحي مما يؤدي إلى زيادة كمية المياه الجارية على السطح ويتم حسابه وفق المعادلة (3) والجدول (9) ببيان أن قيم (S) قد تراوحت ما بين (16.2 – 119.5 ملم) حيث تشير القيمة المنخفضة إلى قلة احتفاظ ترب هذه المناطق بالمياه الجارية وزيادة فرص توليد الجريان السطح، بينما تشير القيمة (119.5) إلى أقل المناطق قدرة على توليد الجريان السطحي، وحيث أن هذه المناطق صغيرة نسبياً إذ لا يتجاوز نسبة كل منهما (0.03 %) من مساحة الحوض الكلية، ولذا يقل تأثير كل منهما في تحليل طبيعة الجريان السطحي و بالتالي يمكن اعتماد القيمتين (25.1 ، 41.3 ملم)، والمحسوبة لقيم رقم المنحنى (91 ، 86)، والتي تساعد في عملية توليد

الجريان السطحي، إذ تبين من خلال الخريطة شكل (11) أن أغلب أجزاء الحوض يقع ضمن هذه القيم وهي الأكثر توزيعاً وانتشاراً ضمن منطقة الحوض وبمساحة ما بين (987.08، 630.79) كم² على التوالي. شكل (11) خريطة توزيع قيم معامل الامكانية القصوى للاحتفاظ بالمياه



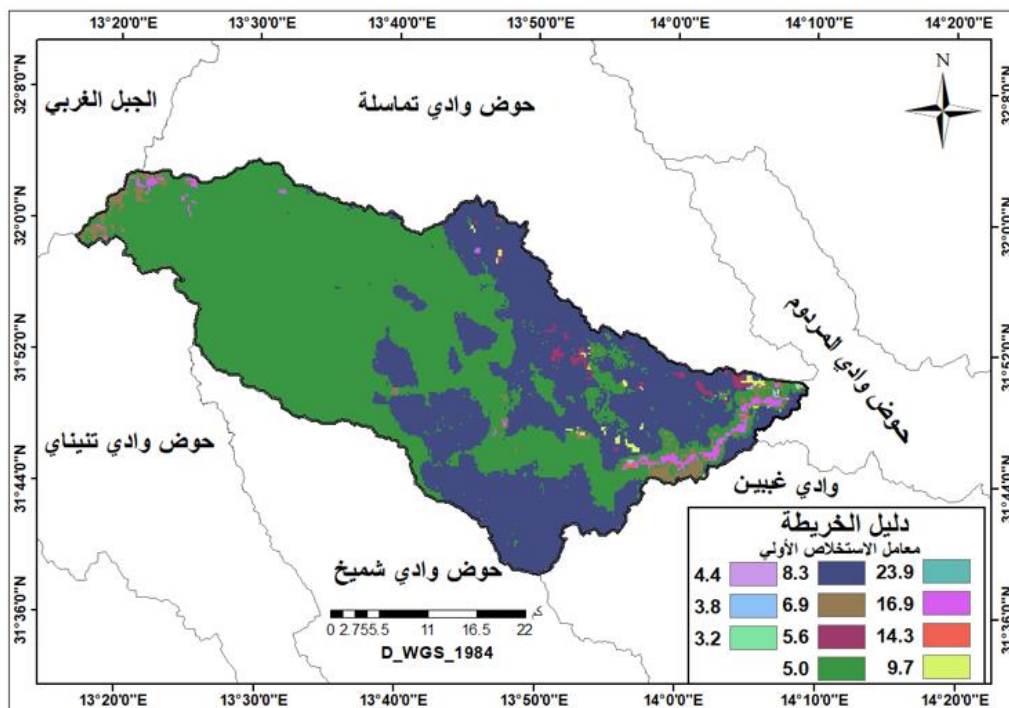
المصدر: الباحثان بالاعتماد على الجدول (9) وبرنامج Arc map

رابعاً: حساب معامل الاستخلاص الأولي (Ia):

أشار (الساعدي والجابري، 2018) إلى أن معامل الاستخلاص الأولي (Initial Abstraction) يعكس مقدار الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي عن طريق التبخر أو التسرب أو ما تعترضه النباتات من مياه الأمطار قبل تحولها إلى جريان سطحي، وقد بين (USDA-NRCS, 2004) أن معامل الاستخلاص الأولي يشكل أحد أهم العناصر في تقدير كمية الجريان السطحي، وله علاقة بدء الجريان السطحي مما يساعد على سرعة توليد الجريان السطحي، وتشير نتائج تحليل هذا المعامل إلى وجود (11) قيمة ضمن نطاق يتراوح بين (3.2 – 23.9 ملم)، وهو ما يعكس تبايناً واضحاً في الخصائص الهيدرولوجية داخل حوض وادي بن وليد، وتُعد القيمة (5) المبينة في الجدول (9) الأكثر تأثيراً من الناحية الهيدرولوجية، نظراً لسيطرتها على أكبر مساحة من الحوض، بينما بمعامل السعة التخزينية حيث يستدل من القيم المنخفضة للاستخلاص الأولي والتي تقترب من الصفر على قلة الفاقد من مياه الأمطار قبل يصبح معدل الاستخلاص مساوياً لمعدل المياه الجارية على السطح إذا ما بلغت قيمة الوسيط للمعامل (Ia) (50.8 ملم)، أما عند ارتفاع قيمة (Ia) عن قيمة الوسيط دل على فقدان كميات أكبر من الأمطار وبالتالي انخفاض كمية المياه الجارية على السطح، حُسبت قيمة Ia وفقاً للمعادلة (2)، حيث بلغت (11) قيمة تتراوح بين (3.2 – 23.9 ملم)، حيث تُعد القيمة (5) جدول (9) الأكثر تأثيراً هيدرولوجياً لسيطرتها على أكبر مساحة (987 كم²) شكل (12)، ما يجعلها العامل الحاسم في سلوك الجريان داخل الحوض، ويعني ذلك أن الاستجابة الهيدرولوجية العامة للحوض ترتبط بدرجة كبيرة بخصائص هذه الفئة المسيطرة، حيث تؤثر بشكل مباشر في معدلات التسرب والتخزين الأولي

للمياه، ومن تم في حجم وسرعة الجريان السطحي، وفي سياق تقييم مخاطر الفيضانات، فإن سيادة هذه القيمة تشير إلى أن الحوض يمتلك قدرة محدودة نسبياً على الهطولات المطرية، خاصة ذات الشدة العالية، كما أن التباين بين القيم الدنيا والعليا للمعامل يعكس وجود استيعاب مياه الأمطار قبل بدء الجريان، مما يؤدي إلى تسارع تولد الجريان الهطولات المطرية، خاصة ذات الشدة العالية، كما أن التباين بين القيم الدنيا والعليا للمعامل يعكس وجود مناطق متفاوتة الاستجابة داخل الحوض، إلا أن سيطرة القيمة (5) مكانياً تعني أن سلوك الحوض يميل نحو الاستجابة السريعة نسبياً، مما يرفع من احتمالية حدوث ذروات جريان مرتفعة خلال فترات قصيرة، وهو ما يمثل مؤشراً مهماً على زيادة مخاطر الفيضانات.

شكل (12) خريطة توزيع قيم معامل الاستخلاص لحوض وادي بني وليد



المصدر: الباحثان بالاعتماد على بيانات جدول (9) وبرنامج Arcmap

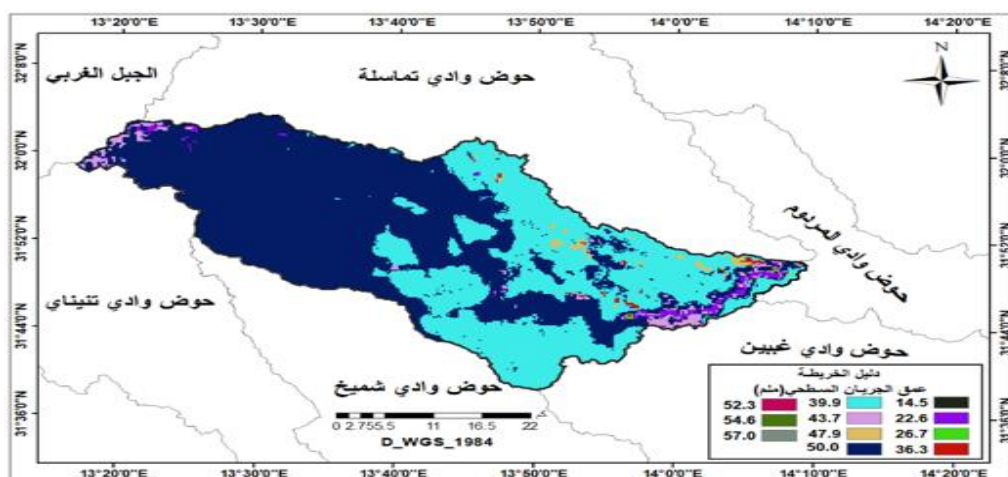
خامساً: تقدير عمق الجريان السطحي:

يقصد بعمق الجريان السطحي هو ذلك الجزء الناتج عن مياه الأمطار ويفوق القدرة الامتصاصية للتربة بعد التشبع، حيث تتحرك المياه وفق جيومورفولوجية السطح والانحدار إلى أن يصل إلى المجاري المائية كما أشار (حميد، 2016) إلى أن عمق الجريان السطحي يعبر عن خلاصة تفاعل موجة مطرية معينة مع مكونات خصائص حوض التصريف المائي، فمع اختلاف الغطاء الأرضي ومقدار نفاذية تربة الحوض المائي يختلف عمق الجريان السطحي (النفيعي، 2010)، حيث يعتبر رقم المنحنى (CN) هو العنصر المتحكم في تباين هذا العمق بين أجزاء الحوض جدول (9)، ومن خلال ما تبين من معطيات الحوض الطبيعية والتي تعكس قيم كل من (Ia, S, CN) فقد تم تقدير عمق الجريان السطحي لحوض

وادي بن وليد اعتماداً على قيمة رقم المنحنى الموزون (CN_w) بالإضافة إلى متوسط عمق الهطول لأعلى شدة مطرية ليوم واحد حدث لموسم مطري خلال الفترة (2011 – 2021)، حيث بلغت قيمة عمق الجريان السطحي للحوض 61.6 ملم كما هي مبينة بالجدول (11)، في حين تباينت أعماق الجريان السطحي الفعلية

بين أجزاء الحوض تبعاً لاختلاف مساحات ورقم المنحنى وادي بن وليد اعتماداً على قيمة رقم المنحنى الموزون (CN_w) بالإضافة إلى متوسط عمق الهطول لأعلى شدة مطرية ليوم واحد حدثت لموسم مطري خلال الفترة (2011 – 2021)، حيث بلغت قيمة عمق الجريان السطحي للحوض 61.6 ملم كما هي مبينة بالجدول (11)، في حين تباينت أعماق الجريان السطحي الفعلية بين أجزاء الحوض تبعاً لاختلاف مساحات ورقم المنحنى داخل حدود حوض الوادي، حيث تراوحت الأعماق بين (14.5 – 57 ملم) جدول (9)، إلا أن العمق 50 ملم هو الأكثر تأثيراً هيدرولوجياً، حيث يغطي الجزء الممثل لهذا العمق حوالي 987 كم² بنسبة 58% من المساحة الكلية للحوض، يعزز موقع هذه المساحة ضمن المناطق الأكثر ارتفاعاً في الحوض من تأثيرها المباشر على عملية الجريان السطحي، كما أظهرت الخريطة الموضحة في الشكل (13) أن هذا العمق من الهطول تركّز بشكل أساسي في المناطق المرتفعة الواقعة في الجزء الشمالي الغربي من الحوض، ونتيجة لذلك بلغ حجم الجريان السطحي المتولد من هذه المساحة والمتدفق نحو مجرى الوادي حوالي 49395262 م³ من المياه.

شكل (13) التوزيع المكاني لأعماق الجريان السطحي



المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (9) وبرنامج Arc map

جدول (9) يوضح قيم معامل الامكانية القصوى والاستخلاص الاولي وعمق الجريان لحوض الوادي

النسبة المئوية %	المساحة (كم ²)	عمق الجريان (Q ملم)	معامل الاستخلاص	قيم (S ملم)	CN	
0.0027	0.05	14.5	23.9	119.5	68	1
1.0077	17.05	22.6	16.9	84.7	75	2
0.0272	0.46	26.7	14.3	71.6	78	3
0.3422	5.79	36.3	9.7	48.4	82	4
37.2807	630.79	39.9	8.3	41.3	86	5
2.1783	36.86	43.7	6.9	34.6	88	6
0.7306	12.36	47.9	5.6	28.2	90	7
58.3383	987.08	50.0	5.0	25.1	91	8
0.0136	0.23	52.3	4.4	22.1	92	9
0.0462	0.78	54.6	3.8	19.1	93	10
0.0326	0.55	57.0	3.2	16.2	94	11

المصدر: الباحثان بالاعتماد على الخريطة شكل (4) باستخدام GIS

سادساً: حساب حجم الجريان السطحي:

يعبر حجم الجريان السطحي Surface Runoff Volume عن مجموع الجريان إلى مساحة حوض التصريف، حيث يعتبر من أهم الحسابات للعديد من الدراسات الهيدرولوجية كمواقع إنشاء السدود ومصائد المياه والتعرف على المناطق الأكثر عرضة للغمر المائي، وبتطبيق المعادلة (4) على حوض وادي بن وليد بناءً على عمق الجريان السطحي المستخرج وفق البيانات الأولية لحوض وادي بن وليد فقد بلغ حجم الجريان السطحي له (104198438 م³) كما مبين في بيانات الجدول (10)

جدول (10) يبين عمق وحجم الجريان السطحي الناتج عن (73.44) ملم مطر

رقم المنحنى (CN _w)	إمكانية الاحتفاظ بالماء (S) ملم	معامل الاستخلاص الأولي (Ia) ملم	عمق الجريان السطحي (ملم)	حجم الجريان السطحي (QV) م ³
95.8	11.1	2.2	61.6	104198438

المصدر: الباحثان بالاعتماد على المعادلات (1، 2، 3)

سيناريوهات الهطول المطري وتحليل حساسية الجريان السطحي:

من أجل تقييم استجابة الحوض المائي للتغيرات في شدة وكمية الهطول المطري، واعتماداً على الخصائص الطبيعية والهيدرولوجية للحوض وادي بن وليد، تم تبني منهجية تحليلية تقوم على تمثيل الاستجابة الهيدرولوجية تحت سيناريوهات مطرية متعددة، ويتيح هذا الأسلوب مقارنة تأثير اختلاف أعماق الهطول على الجريان السطحي وزمن التركيز وقم التصريف، بما يعكس سلوك الحوض في حالات مطرية متدرجة الشدة، ويسهم هذا الطرح في توفير إطار تحليلي متكامل لفهم تطور المنحنيات الزمنية للتصرف ومنحنيات الوحدة، وقد تم تلخيص المعادلات الهيدرولوجية المعتمدة في تقدير زمن التركيز وقم التصريف ضمن الجدول (11).

جدول (11) المعادلات الهيدرولوجية المستخدمة في تقدير زمن التركيز

ت	اسم المعادلة	الصيغة الرياضية	المرجع
1	Kirpich	$T_c = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385}$	Kirpich (1940)
2	California (USBR)	$T_c = 0.87 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$	California Culverts Practice (1942)
3	Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$	Giandotti (1934)
4	Scalar (SCS Lag)	$T_c = 0.6 tLag$	Soil Conservation Service (1972)

حيث: T_c : زمن التركيز (ساعة)، L : طول المجرى الرئيسي (متر)، S : الانحدار الطولي، A : مساحة الحوض (كم²)
 H : فرق الارتفاع (متر)، Y : متوسط الانحدار (%)

المصدر: الباحثان اعتماداً على مراجع زمن التركيز المعتمدة في الأدبيات العلمية

Kirpich (1940), Giandotti (1934), California Division of Highways (1942), Soil Conservation Service (1972).

وأظهرت نتائج التحليل الهيدرولوجي لحوض وادي بن وليد، أن هناك استجابة سريعة وقوية لهطول الأمطار في جميع السيناريوهات المطرية المعتمدة جدول (12)، كما بينت النتائج أن زيادة عمق الهطول المطري من 50 إلى 150 ملم أدت إلى زيادة غير خطية في قمم التصريف، حيث ارتفعت من 1301 م³/ث إلى 4616 م³/ث، وهو ما يعكس سيادة الجريان السطحي على حساب التسرب، كما أظهرت المقارنة بين معادلات زمن التركيز اختلافاً واضحاً في زمن الاستجابة الهيدرولوجية، حيث تراوح زمن التركيز بين 16.63 ساعة إلى 37.42 ساعة، وانعكس ذلك مباشرة على قيم التصريف.

جدول (12) النتائج الهيدرولوجية للسيناريوهات المطرية

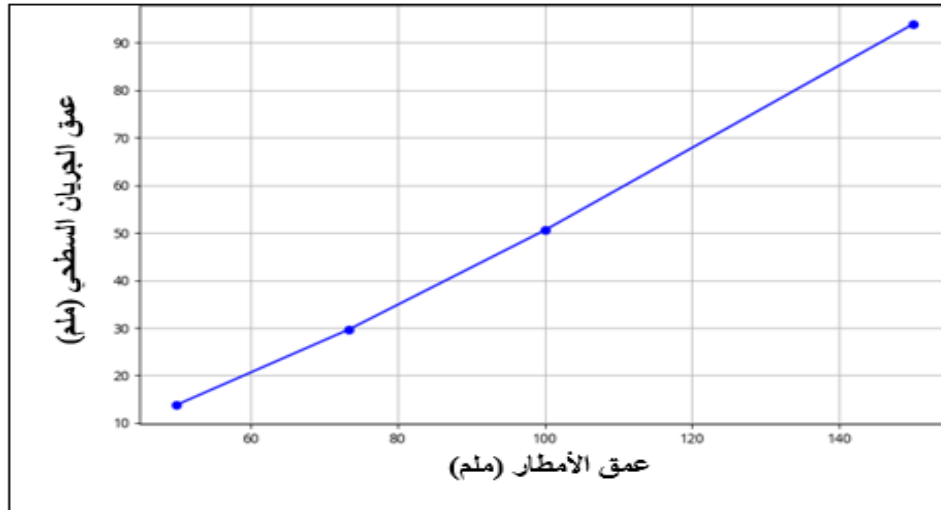
السيناريو	عمق المطر (مم)	عمق الجريان (مم)	زمن التركيز (ساعة)	المعادلة المستخدمة	قيمة التصريف للعاصفة م ³ /ث	قيمة تصريف الوحدة م ³ /ث
الأول	50	13.8	16.63	Kirpich	1301	33.59
الثاني	73.44	29.7	16.63	California	2068	33.59
الثالث	100	50.54	20.66	Giandotti	2948	27.29
الرابع	150	93.88	37.42	Scalar	4616	15.33

المصدر: إعداد الباحث بالاستناد إلى المعالجة الهيدرولوجية للبيانات المطرية وخصائص الحوض

العلاقة بين الأمطار وعمق الجريان السطحي:

يوضح الشكل (14) العلاقة المباشرة بين عمق الأمطار وعمق الجريان السطحي مع زيادة عمق الأمطار، حيث يزداد عمق الجريان السطحي بشكل ملحوظ، مما يؤكد على أهمية كمية الأمطار في تحديد حجم الفيضانات المحتملة.

شكل (14) العلاقة بين عمق الأمطار وعمق الجريان السطحي



المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (12)

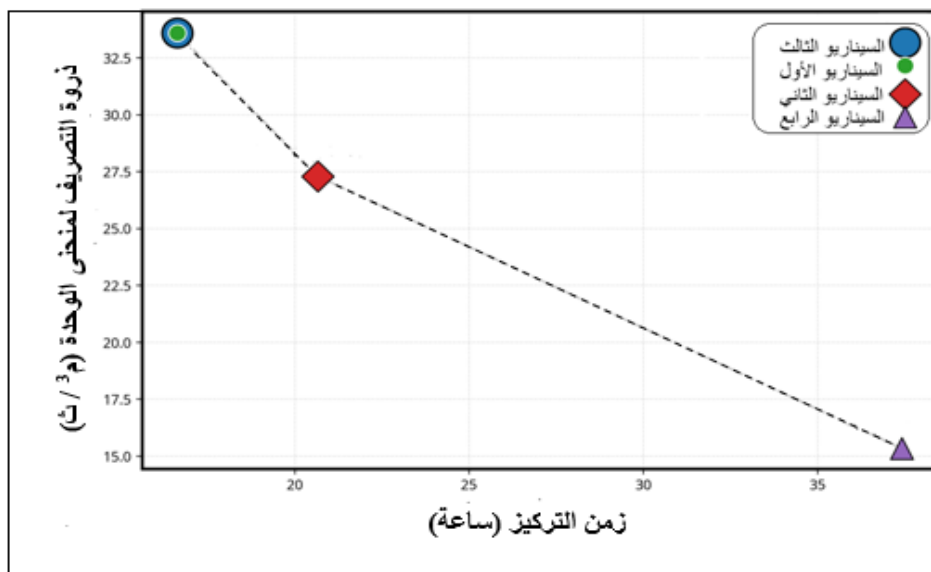
وأظهرت نتائج سيناريوهات الهطول المطري أن عمق الجريان السطحي يزداد بمعدل متسارع مع زيادة عمق المطر وهو ما يعكس الطبيعة الغير خطية للعلاقة بين المطر والجريان في الأحواض ذات القابلية العالية للجريان السطحي، كما تشير القيم المحسوبة إلى أن الجريان السطحي يتراوح بين قيم محدودة عند السيناريوهات المطرية الضعيفة، ليصل إلى مستويات مرتفعة جداً عند الأمطار الغزيرة، حيث تقترب نسبة التحويل المائي من الوحدة، ما يدل على تشبع شبه كامل للحوض.

عند تحويل عمق الجريان إلى حجم مكافئ، يتضح أن الحوض ينتج ملايين الأمتار المكعبة من المياه الجارية حتى عند أمطار متوسطة الشدة، بينما تتجاوز الأحجام المتولدة خلال السيناريوهات الغزيرة عتبات حرجة يمكن أن تشكل خطراً فيضانياً حقيقياً، حيث يعكس هذا السلوك التأثير المشترك لكل من المساحة الكبيرة للحوض بالإضافة إلى ارتفاع رقم المنحنى والانحدار الطبوغرافي المتدرج.

ذروة التصريف وزمن التركيز:

يُظهر شكل (15) العلاقة بين زمن التركيز وذروة التصريف مع تمييز واضح لكافة السيناريوهات الأربعة، حيث يلاحظ أن السيناريو هين الأول والثاني يتطابقان تماماً في كل من زمن التركيز (16.63 ساعة) وذروة التصريف (33.59 متر مكعب / ثانية)، مما يعكس انطباقاً هيدرولوجياً كاملاً بينهما في هذه المعلمات، وقد تم

تمثل هذا الانطباق بنقطتين متداخلتين (نقطة داخل الأخرى)، بينما يُظهر السيناريو الثالث والرابع خصائص مختلفة، مما يشير إلى الدور الحاسم لسرعة وصول لمياه إلى المجر الرئيسي في تحديد شدة الفيضان. شكل (15) العلاقة بين ذروة التصريف وزمن التركيز

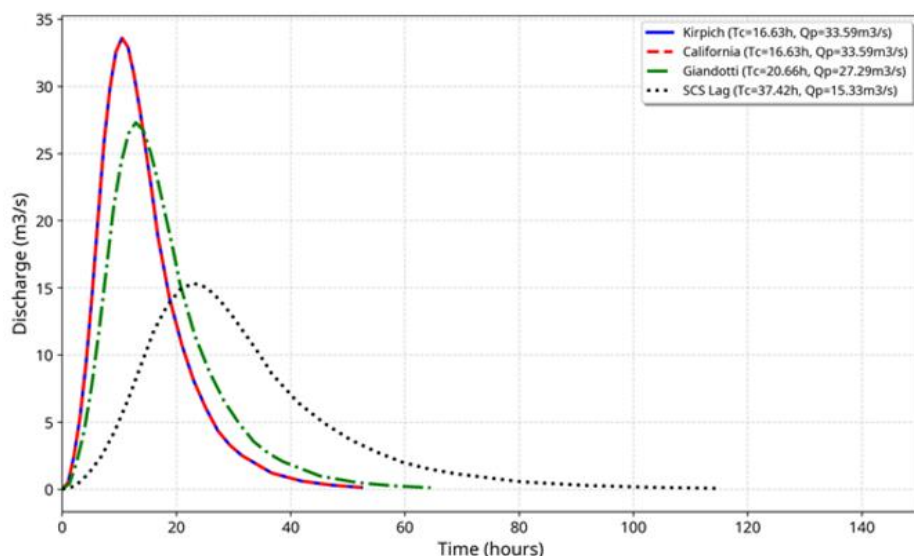


المصدر: الباحثان اعتماداً على الجدول (12)

مقارنة منحنيات الوحدة:

يمثل كل منحني، شكل (16)، استجابة الحوض لـ 1 ملم من عمق الجريان السطحي الزائد. حيث تؤكد الأشكال الأربعة العلاقة العكسية بين زمن التركيز وتصريف قمة الذروة، فكلما كان المنحني أكثر انحداراً وارتفاعاً كما نتج عن معادلتَي كيربيتش وكاليفورنيا، كان زمن التركيز أقصر مع ارتفاع حاد في ذروة التصريف، مما يعني أن الحوض يجمع المياه بسرعة كبيرة، وهو المؤشر الهيدرولوجي الرئيسي على خطر الفيضان السريع في الحوض.

شكل (16): العلاقة العكسية بين أزمنة التركيز وتصريف منحني الوحدة



المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (12)

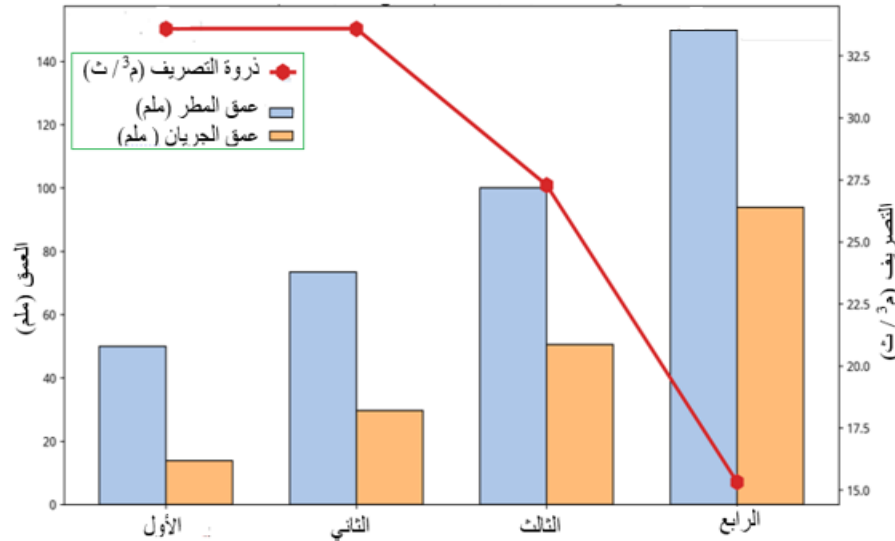
التفسير الهندسي والهيدرولوجي:

يظهر التباين الكبير في قيم أزمنة التركيز شكل (17) أن اختيار الطريقة له تأثير حاسم على ذروة التصريف، حيث أعطت الطرق المعتمدة على الخصائص الفيزيائية للحوض فقط (كيربيتش و كاليفورنيا) اقل قيم لزمن التركيز وأعلى بالنسبة لذروة التصريف، مما يمثل السيناريو الأكثر حرجاً من الناحية الهندسية، في المقابل أعطت طريقة SCS Lag أعلى قيمة لزمن التركيز، حيث تأخذ في الاعتبار قيم رقم المنحنى المرتفع الذي يعكس خصائص السطح، ولذا يجب على المصممين الهندسيين الأخذ بالاعتبار القيمة الأقل لزمن التركيز (16.63 ساعة) لضمان تصميم أكثر تحفظاً و أماناً ضد الفيضانات.

مقارنة السيناريوهات الهيدرولوجية:

لسيناريوهات الأمطار يقدم الشكل (18) مقارنة شاملة بين السيناريوهات الأربعة من حيث عمق الأمطار وعمق الجريان السطحي وذروة التصريف، حيث يتضح من خلاله أن عمق المطر (150 ملم) ينتج أكبر عمق للجريان السطحي بينما يمثل السيناريو هان الأول والثاني أعلى ذروة تصريف على الرغم من عمق الأمطار الأقل، وذلك بسبب أن زمن التركيز الفعال للحوض، كان متطابقاً أو متقارباً جداً وهذا يعني أن الحوض يستجيب للحدث المطري بنفس السرعة و الكفاءة في تجميع المياه وبالتالي فإن التفاعل بين عمق الهطول الفعال وخصائص الحوض وزمن التركيز قد أدى إلى إنتاج نفس قمة التصريف ونفس زمن الوصول إليها، مما يؤكد على الأهمية البالغة لزمن التركيز كعامل حاسم في تحديد الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المائية.

شكل(18) مقارنة هيدرولوجية لسيناريوهات الامطار الأربعة



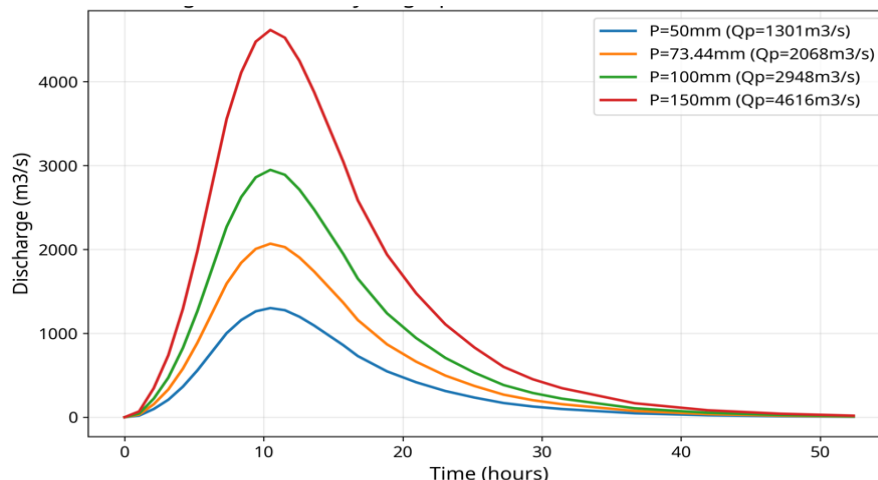
المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (12)

تحليل منحنيات التصريف المائي وتأثير عمق الهطول:

تُظهر المنحنيات الزمنية للتصرف المائي شكل(19) زيادة حادة في التصريف الأقصى مع زيادة عمق المطر، مما يعكس حساسية عالية للحوض تجاه كمية الأمطار الساقطة، ومن خلال السيناريو المرجعي الذي يبلغ فيه عمق الهطول (73.44 ملم) تم تسجيل قمة تصريف بلغت 2068 م³/ث، هذه القيمة تمثل نقطة مرجعية حاسمة في تقييم القدرة الاستيعابية للبنية التحتية، حيث أظهر المنحنى الزمني للتصرف شكل (20) ارتفاعاً حاداً في قيمة التصريف.

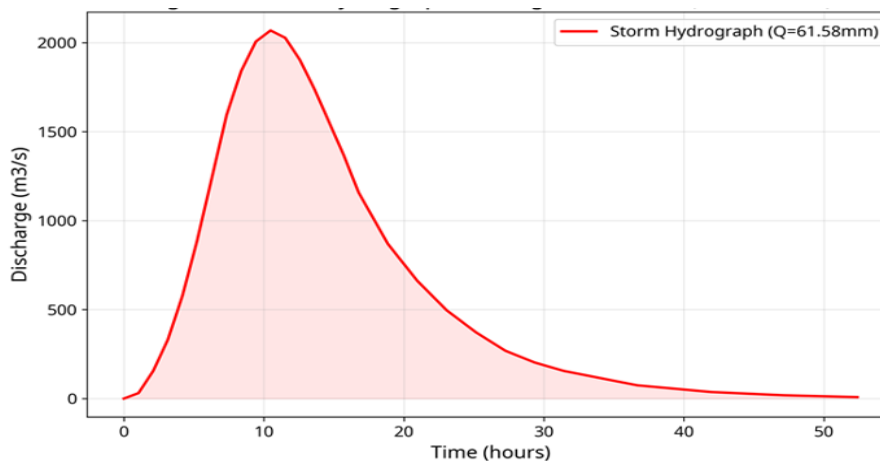
من الملاحظ أن زمن الوصول إلى قمة التصريف يظل متقارباً في جميع السيناريوهات، مما يشير إلى أن الحوض يتميز باستجابة سريعة للأمطار، وهي خاصية مميزة للفيضانات المفاجئة وبالتالي تزيد من خطورة الفيضانات وتأثيرها على المناطق الحضرية والريفية على حد سواء.

شكل (19): المنحنى الزمني للتصريف للعاصفة المطرية لـ (بناءً على عمق الهطول لسيناريوهات الأربعة)



المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (12)

شكل (20): المنحنى الزمني للتصريف للعاصفة المطرية لـ (عمق هطول (المرجعي) 73.44 ملم و زمن تركيز 16.63 ساعة)



المصدر: الباحثان بالاعتماد على جدول (12) وبرنامج

التفسير الهيدرولوجي والهيدروليكي:

1. التفسير الهيدرولوجي:

تُظهر الاستجابة الهيدرولوجية للحوض أن جزءاً كبيراً من مياه الأمطار يتحول بسرعة إلى جريان سطحي، مما يدل على معامل جريان مرتفع، حيث كل زيادة في عمق الهطول تؤدي إلى زيادة غير خطية في قمة التصريف، وهذا يعني أن حجم المياه الكلي المتدفق يزداد بشكل كبير مع كل ملليمتر إضافي من الأمطار، هذه الزيادة في الجريان السطحي تزيد من طاقة التدفق، مما يعزز قدرة المياه على فصل ونقل حبيبات التربة، خاصة في المناطق ذات الميول الحادة أو الغطاء النباتي المتدهور، مما يؤدي إلى تفاقم مشكلة انجراف التربة.

2. التفسير الهيدروليكي:

تعتبر قمة التصريف البالغة 2068 م / 3 ث حداً تصميمياً حرجاً للمنشآت الهيدروليكية، أي تجاوز لهذه القيمة يمكن أن يؤدي إلى ظاهرة الفيضان فوق الضفاف، حيث تتجاوز المياه قدرة القنوات والمنشآت على استيعابها وتنتشر في المناطق المحيطة، مسبباً أضرار هيكلية وانهيارات في الطرق ولذلك تتطلب هذه القيمة أن تكون كافة المنشآت الهيدروليكية المتمثلة في (الجسور، العبارات، وقنوات التحويل) مصممة بسعة لا تقل عن هذه القيمة مع إضافة هامش أمان إضافي.

الاستنتاجات والدلالات التطبيقية (Conclusions and Implications):

تُبرز هذه الدراسة أن الاستجابة الهيدرولوجية لحوض وادي بن وليد تُحكم بتفاعل معقد بين الخصائص المورفومترية للحوض، ولا سيما الانحدار وزمن التركيز، وبين خصائص العواصف المطرية من حيث العمق و الشدة، وقد أظهرت النتائج أن سيادة الانحدارات الضعيفة إلى المتوسطة تمنح الحوض قدرة تنظيمية نسبية للجريان السطحي، تنعكس في قيم زمن تركيز مرتفعة نسبياً وانخفاض قمم التصريف في الحالات الاعتيادية، غير أن هذه القدرة التنظيمية تتراجع بشكل ملحوظ عند التعرض لعواصف مطرية شديدة حيث تؤدي الهطولات التي تتجاوز 100 ملم إلى توليد قمم تصريف عالية، بغض النظر عن طول زمن التركيز، ويشير ذلك إلى وجود سلوك غير خطي في استجابة الحوض، يتمثل في انتقاله المفاجئ من نظام منظم للجريان إلى نظام عالي الخطورة الفيضانية خلال العواصف القصوى.

ومن منظور تطبيقي، تؤكد هذه النتائج أن إدارة مخاطر الفيضانات في حوض وادي بن وليد لا يمكن أن تعتمد على الخصائص المورفومترية وحدها أو على المتوسطات المطرية، بل تستوجب تبني مقاربة قائمة على تحليل السيناريوهات القصوى، وتبرز أهمية اعتماد العواصف ذات الأعماق الكبيرة كحالات تصميمية حرجة عند تخطيط منشآت الحماية من السيول وتحديد مناسيب الأمان للبنية التحتية، كما تُظهر الدراسة أن المناطق ذات الانحدارات القوية، رغم محدودية مساحتها داخل الحوض، تمثل عناصر تحكم رئيسية في توليد الجريان السطحي السريع، ما يجعلها أولويات مكانية للتدخلات الهندسية وإجراءات الحد من المخاطر، ويؤكد ذلك ضرورة دمج التحليل المورفومتري مع النمذجة الهيدرولوجية للعواصف في دعم التخطيط العمراني وإدارة الموارد المائية في الأحواض شبه الجافة، و ختاماً تسهم هذه الدراسة في توفير إطار علمي يمكن الاستناد إليه لفهم السلوك الفيضاني المحتمل لحوض وادي بن وليد، كما توفر أساساً عملياً لتطوير استراتيجيات مستدامة لإدارة مخاطر الفيضانات، بما يحقق التوازن بين متطلبات التنمية وحماية الأرواح والبنية التحتية، كما تُظهر النتائج أن مساهمة التغذية الجوفية تصبح محدودة نسبياً خلال الأحداث المطرية الكبيرة، نتيجة سيطرة الجريان السطحي على الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، ويبين شكل منحنى العلاقة بين الهطول وعمق الجريان أن المنحنى يتخذ اتجاهًا تصاعدياً منتظماً، مما يشير إلى تناقص نفاذية السطح تدريجياً مع ازدياد درجة التشبع، دون ظهور انعطافات حادة، وهو ما يعكس غياب تغيرات مفاجئة في الخصائص الفيزيائية لسطح الحوض

الدلالات الهندسية والبيئية للنتائج:

تحمل النتائج دلالات مهمة للتخطيط الهندسي وإدارة الموارد المائية، تشير إلى أن:

- البنية التصريفية الحالية قد لا تكون كافية لاستيعاب الجريان الناتج عن الامطار الغريزة.
- احتمالية حدوث فيضانات خاطفة مرتفعة، خاصة في المناطق الواقعة أسفل الحوض.
- مساهمة التغذية الجوفية تصبح محدودة نسبياً عند الأمطار الكبيرة بسبب سيطرة الجريان السطحي.

- من خلال شكل منحني العلاقة بين الهطول وعمق الجريان، تبين أن المنحنى صاعد بشكل منتظم، وبالتالي فهو يشير إلى تناقص نفاذية السطح مع زيادة التشبع، بالإضافة إلى عدم وجود نقاط انعطاف حادة، ما يشير إلى انعدام وجود تغير مفاجئ في خصائص السطح (مثل تشكل قشرة سطحية فجأة).
 - يبدأ التشبع بالظهور من الأمطار المتوسطة (50 – 75 ملم).
 - بعد حوالي 100 ملم يبدأ السطح بإنتاج جريان كبير ويقرب من المطر نفسه. مما يدل على قلة قيم الفواقد وتشبع التربة بالكامل وبالتالي ازدياد متسارع لحجم المياه المتدفقة عن طرق الجريان السطحي.
- النتائج المتعلقة بالانحدار وعلاقته بالفيضانات في وادي بن وليد:**

- تشير النتائج إلى أن المناطق ذات الانحدارات المنخفضة (0 - 3) تسهم في إبطاء حركة الجريان السطحي وزيادة معدلات التسرب، مما يؤدي إلى تقليل ذروة التصريف، إلا أنه قد تشهد تجمعاً مائياً موضعياً، في المقابل تتركز الانحدارات المتوسطة إلى الشديدة (5 - 33.7) في أجزاء واسعة من الحوض، وهو ما يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان السطحي وتقليل زمن التركيز، وبالتالي رفع شدة الاستجابة الهيدرولوجية أثناء العواصف التي تتراوح انحداراتها بين (8 - 33.7) تمثل النطاق الأكثر عرضة لحدوث السيول المفاجئة. حيث تتزايد قدرة الجريان على نقل الرواسب
- التوصيات:**

استناداً إلى ما أشارت به النتائج المحسوبة من سيناريوهات الأمطار المختلفة، وقيم الجريان السطحي المقابلة لها، ورقم المنحنى المحسوب وفق خصائص التربة والغطاء الأرضي، إضافة إلى أشكال المنحنيات الناتجة إلى مجموعة من الاستنتاجات التي يمكن البناء عليها في صياغة توصيات عملية لإدارة الجريان السطحي والتقليل من مخاطر الفيضانات، ويمكن تلخيص أهم التوصيات في النقاط الآتية:

1. تُظهر النتائج أن قيم الجريان السطحي ترتفع بشكل ملحوظ في السيناريوهات ذات الأمطار المتوسطة والمرتفعة، خصوصاً مع رقم المنحنى العالي، ما يشير إلى ضعف قدرة التربة على التسرب، لذلك يُوصى بالآتي:

- تحديد المناطق ذات قيم رقم المنحنى المرتفعة عبر خرائط الاستخدام الأرضي والتربة.
 - تعزيز تغطية الغطاء النباتي للحد من الجريان وزيادة الترشيح.
 - تعزيز البنية التصريفية في المناطق الحرجة أسفل الحوض لتقليل مخاطر الفيضانات.
2. إجراء نمذجة هيدرولوجية ديناميكية تأخذ في الاعتبار التوزيع الزمني للمطر بدل من الاعتماد على العمق الكلي فقط.
3. تحسين إدارة المناطق الحرجة ذات القابلية العالية للجريان.
4. تعزيز البنية التحتية للحماية من الفيضانات.
5. تُظهر نتائج المنحنى الزمني للتصرف وزمن التركيز أن الفيضانات قد تصل بسرعة نسبياً إلى مخرج الحوض، وبناءً على ذلك يُوصى بالآتي:
- إنشاء حواجز تحويل وتباطؤ لتقليل الذروة وخفض سرعة وصول المياه.
 - تحسين مجاري الأودية وتنظيفها بانتظام لزيادة سعتها وتصريفها الطبيعي.
6. تطوير نظام إنذار مبكر يعتمد على قيم التصريف وزمن التركيز، ونظراً لقصر زمن التركيز المحسوب فإن موجة الفيضان قد تتشكل وتتقدم بسرعة لذا توصي الدراسة بإنشاء نظام مراقبة لحظي لمعدلات الأمطار وتحديد عتبة للإنذار المبكر بالإضافة لربط النظام بفرق الطوارئ في بلدية بن وليد.
8. تعزيز حصاد المياه والاستفادة من الجريان السطحي.
9. اعتماد إجراءات حصاد المياه في السيناريوهات المطرية المتوسطة لتعظيم الاستفادة من الفواقد الممكنة.

10. تحديث رقم المنحنى دورياً بناءً على تغيرات استخدامات الأراضي.
11. دمج نتائج هذه السيناريوهات مع دراسات التغير المناخي لتقييم السلوك المستقبلي.

المراجع:

1. الرياني، عبدالرحمن أحمد حميدة و المدني، عبد الحكيم مسعود و خمّاج، أحمد إبراهيم، (2019)، تقدير الجريان السطحي لبعض أحواض الأودية في شمال غرب ليبيا، المجلة الليبية للعلوم الزراعية 24 (1)، 18-37.
2. عاشور، عبد الونيس عبد العزيز، (2022)، تقدير حجم الجريان السطحي بحوض وادي درنة بالتكامل بين تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ونموذج SCS-CN، مجلة العلوم الصرفة و التطبيقية.
3. بن طاهر، لبنى سليمان خليفة، (2024)، التحليل الهيدرولوجي لموتمري لحوض وادي الباب، جنوب غرب الجبل الأخضر – ليبيا، بالتكامل بين نموذج (SCS) وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، مجلة الجامعة الأسمرية للعلوم الإسلامية، مجلد 9، عدد(3)، 96-120.
4. محمد، عقيلة سعد ميلاد، (2017)، تحليل الخصائص الموفومترية لحوض وادي بن وليد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، كلية الأدب، قسم الجغرافيا مجلة جامعة بن وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية، المجلد (2)، العدد (3).
5. مركز البحوث الصناعية، خريطة ليبيا الجيولوجية، لوحة بن وليد، الكتيب التفسيري طرابلس 1977، ص14
6. النفيعي، هيفاء محمد، (2010)، تقدير الجريان السطحي ومخاطرة السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
7. وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي. (2005). أساسيات علم التربة، القاهرة: مركز البحوث
8. الساعدي، حسين كريم والجابري، أمال هادي (2018)، النمذجة المكانية للحصاد المائي في حوض وادي عرعر غرب العراق باستعمال تقنية GIS، مجلة أبحاث البصرة للعلوم الإنسانية، العدد (3ب)، المجلد(43).
9. حميد، دلي خلف (2016)، التحليل المكاني لتقدير حجم الجريان السطحي باستخدام SCS.
10. تقرير شركة جفلي، (1974)، دراسة مصادر المياه في منطقة (زليت، مصراتة، تاورغاء، جزء من بن وليد) 1974 ف.
11. مركز البحوث الصناعية، (1977)، خريطة ليبيا الجيولوجية، لوحة بن وليد، الكتيب التفسيري، طرابلس، ص14.
12. الهيئة العامة للمياه. (1992). تقرير الموارد المائية في ليبيا (1990 – 2000)، طرابلس، ليبيا.

ثانياً المراجع الأجنبية

1. FAO – UNESCO. (1998). Soil Map of the World: Revised Legend. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations
2. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). The nature and properties of Soils (15 th ed). Pearson Education Limited.
3. Soil Science Division Staff, (2017), Soil Survey manual, Washington, DC: United States Department of Agriculture (USDA).
4. Young, A. (1972). Slopes. Oliver & Boyd.
5. Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and Contributing areas in grid digital elevation models. Water Resources Research, 33(2), 309 – 319.
6. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.(1986), Urban Hydrology for Small Watersheds echnical Rellase No. 55). (TR-55). Washington, DC.
7. USDA-NRCS. (2012). Soiiil survey manual. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.
8. FAO & UNEESCO. (1998). World Reference Base for Soil Resources. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
9. USDA-NRCS.(2004). National engineering handbook, part 630: Hydrology.9. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). Guidelines for Soil description (4 th ed). Rome, Italy: FAO.
11. United States Department of Agriculture (USDA). Soil survey laboratory methods manual (Soil Survey Investigations Report No. 42). Washington, DC: USDA.
12. United States Soil Conservation Service (SCS). (1972). National engineering handbook. Section 4- Hydrology. Washington's, dc: U. S. Department of Agriculture.

13. Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, 10(6), 362.
14. California Division of Highways. (1942). California culvert practice. Sacramento. CA: Department of public works.
15. Soil Conservation Service. (1972). National Engineering Handbook, Section 4:Hydrology. Washington, DC: USDA.
16. Natural Resources Conservation Service (NRCS). (2004).). National engineering Handbook: part 630: Hydrology. Washington's, dc: United. States Department of Agriculture.
17. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W (1988). Applied hydrology. New York: McGraw-Hill.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JLABW** and/or the editor(s). **JLABW** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.