العدد 14 مجلة دراسات في الإنسانيات والعلوم التربوية تموز 2026
No. 14 Journal of Studies in Humanities and Educational Sciences July 2026
Print ISSN 3006-3256 Online ISSN 3006-3264

توظيف تقنيات الجيوماتكس في نمذجة الجريان السطحي لحوض وادي كندك باستخدام نموذج Snyder

حسين علي رشيد
جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم الجغرافيا
Ahussein.alzoury@uomosul.edu.iq

الملخص :

يهدف البحث إلى توظيف تقنيات الجيوماتكس في نمذجة الجريان السطحي لحوض وادي كندك باستخدام نموذج Snyder، من خلال بناء قاعدة بيانات مكانية اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي وبيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. تناول البحث تحليل الخصائص الطبيعية والمورفومترية للحوض، وبيان أثرها في الاستجابة الهيدرولوجية، ولا سيما الارتفاع والانحدار والتربة والغطاء النباتي والمناخ. أظهرت النتائج أن مساحة الحوض بلغت 50.774 كم²، وطول المجرى الرئيس 14.568 كم، وكثافة التصريف 4.41 كم/كم²، وهي خصائص تدل على قابلية واضحة لتوليد الجريان السطحي عند توفر مطر فعال. كما بلغ زمن التركيز 3.64 ساعة، وزمن التباطؤ 3.064 ساعة، وزمن الذروة 3.3425 ساعة، في حين بلغ تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي 31.96 م³/ثا لكل 1 سم من المطر الفعال. وتؤكد النتائج أهمية تقنيات الجيوماتكس في دراسة الأحواض غير المرصودة وتقدير استجابتها الهيدرولوجية الأولية.

الكلمات المفتاحية: الجيوماتكس، الجريان السطحي، حوض وادي كندك، نموذج Snyder، نظم المعلومات الجغرافية.

pplication of Geomatics Techniques for Surface Runoff Modeling in the Kindak Valley Basin Using Snyder's Model

Hussein Ali Rasheed
University of Mosul / College of Education for Humanities / Department of Geography

Abstract

The study aims to employ geomatics techniques in modeling surface runoff in the Kindak Valley Basin using Snyder's Model, through building a spatial database based on the digital elevation model, remote sensing data, and geographic information systems. The study analyzed the natural and morphometric characteristics of the basin and examined their influence on hydrological response, particularly elevation, slope, soil, vegetation cover, and climate. The results showed that the basin area reached 50.774 km², the main stream length was 14.568 km, and drainage density was 4.41 km/km², indicating a clear potential for generating surface runoff when effective rainfall is available. The time of concentration was 3.64 hours, basin lag time was 3.064 hours, and time to peak was 3.3425 hours, while the peak discharge of the unit hydrograph reached 31.96 m³/s for each 1 cm of effective rainfall. The results confirm the importance of geomatics techniques in studying ungauged basins and estimating their initial hydrological response.

Keywords: Geomatics, Surface Runoff, Kindak Valley Basin, Snyder Model, Geographic Information Systems.

المقدمة :

تعد دراسة السيول والجريان السطحي وتقديرها من اهم الموضوعات في الجغرافية الطبيعية بشكل عام وفي الجغرافية الهيدرولوجية والتطبيقية بشكل خاص ، ولاسيما في الاحواض الوعرة والتي تنتشر في المناطق الجبلية والتي تتسم بتباين واضح في الارتفاع والانحدار وطبيعة السطح . حيث ان الاختلاف الكبير في خصائص الصخور والغطاء الارضي مع الامطار المركزة تؤدي الى تكوين جريان سطحي قد يكون سريعا داخل المجاري الرئيسية والفرعية، خصوصا في الاحواض الغير المرصودة التي تفتقر الى القياسات الهيدرومترية . ساهمت تقنيات الجيوماتكس وخصوصا نظم المعلومات الجغرافية وبيانات الاستشعار عن بعد في تطوير ودراسة الاحواض المائية من خلال قدرتها على اشتقاق حدود الاحواض وتحديد الشبكة التصريفية وحساب الخصائص المورفومترية وغيرها ما ساعد على امكانية انشاء قواعد بيانات مكانية يمكن اعتمادها في النمذجة الهيدرولوجية للاحواض المائية . يعد نموذج Snyder من النماذج المستخدمة في تقدير الهيدروغراف الوحدوي للاحواض المائية ، اذ يربط بين كل من الخصائص المورفومترية للحوض وبعض مؤشرات الاستجابة الهيدرولوجية ، مثل زمن التباطؤ وزمن الذروة وزمن التركيز وغيرها ... وانطلاقا من ذلك، هدف البحث الى توظيف تقنيات الجيوماتكس في نمذجة الجريان السطحي لحوض منطقة الدراسة والمتمثلة بحوض وادي كندك باستخدام نموذج Snyder، عبر بناء قاعدة بيانات مكانية للحوض، واستخراج خصائصه المورفومترية والهيدرولوجية، ثم اعتمادها في مدخلات اساسية لتقدير الاستجابة الهيدرولوجية الاولية للحوض، مع التاكيد على ان النتائج تبقى تقديرية وتحتاج الى معايرة ميدانية عند توفر قياسات فعلية للتصريف المائي .

مشكلة البحث:

١. هل تؤثر الخصائص الطبيعية والمورفومترية في تكوين الجريان السطحي في منطقة الدراسة؟
٢. هل بالامكان توظيف تقنيات الجيوماتكس في استخراج الخصائص المكانية والهيدرولوجية اللازمة لنمذجة الجريان السطحي في منطقة الدراسة ؟
٣. كيف يمكن ان يسهم نموذج Snyder في تفسير طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض وتقدير مؤشرات الجريان السطحي ؟

فرضية البحث :

١. للخصائص الطبيعية والمورفومترية تاثير واضح في الجريان السطحي ولاسيما الانحدار وطبيعة السطح وشكل الحوض ...
٢. بالامكان توظيف تقنيات الجيوماتكس في استخراج الخصائص المكانية والهيدرولوجية لنمذجة الجريان السطحي وبناء قاعدة بيانات مكانية رقمية لحوض وادي كندك .
٣. تساهم نتائج نموذج Snyder في تفسير طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض وتقدير مؤشرات الهيدروغراف الصناعي ، مثل زمن التباطؤ، وزمن الذروة ، وتصريف الذروة.

أهداف البحث :

١. بناء قاعدة بيانات مكانية للحوض اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي وأدوات التحليل الهيدرولوجي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.
٢. تحليل الخصائص الطبيعية والمورفومترية لحوض وادي كندك وبيان اثرها في حدوث الجريان السطحي.
٣. تقدير زمن التباطؤ، وزمن الذروة، وتصريف الذروة، وزمن الأساس للهيدروغراف وفق نموذج Snyder.
٤. إنتاج خرائط وجداول مكانية وكمية تساعد على فهم الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي كندك.

منهجية البحث :

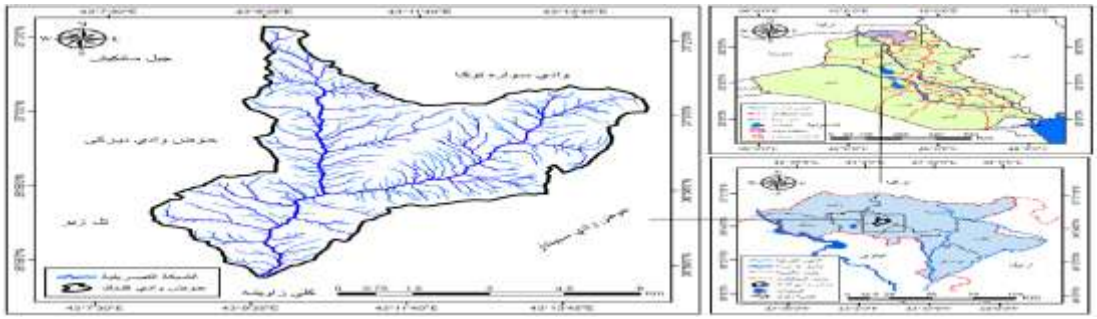
اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي التحليلي القائم على دمج تقنيات الجيوماتكس مع النمذجة الهيدرولوجية، وذلك من خلال بناء قاعدة بيانات مكانية لحوض وادي كندك باستخدام برامجيات نظم

المعلومات الجغرافية. كما جمعت المنهجية بين التحليل المكاني للبيانات الجغرافية والتحليل الهيدرولوجي الكمي بالاعتماد على المعادلات الرياضية الخاصة بانموذج Snyder، بهدف تقديم تقدير نموذجي أولي للجريان السطحي في الحوض .

حدود منطقة الدراسة :

تقع منطقة الدراسة والمتمثلة بحوض وادي كندك في قضاء دهوك في محافظة دهوك، بمساحة بلغت 50.77كم2، ومن (الخريطة 1) نجد ان الحوض يحده عدد من المظاهر والوحدات الطبيعية، فمن الشمال وادي سواره توكا ومن الشمال الشرقي جبل سبي اما من الشرق فيحده حوض وادي سبيندار والى الجنوب منه يوجد وادي زاويته ، اما الاجزاء الغربية فيحدها كل من تل زير و حوض وادي ديركى بالاضافة الى جبل مانكيش .يمتد الحوض فلكيًا بين دائرتي عرض 21.441" 02' 37° و 28.627" 55' 36° شمالا وبين خط طول 45.500" 14' 43° و 1.574" 08' 43° شرقاً.

الخريطة 1 : موقع منطقة الدراسة من محافظة دهوك و العراق



المصدر من عمل الباحث بالاعتماد على: وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية، بمقياس 1/1000000، لسنة 2012. ونموذج الارتفاع الرقمي DEM، وبرنامج ArcGis Pro 3.4.0.

اولا : الخصائص الطبيعية في منطقة الدراسة :

١. التكوينات والرواسب الجيولوجية

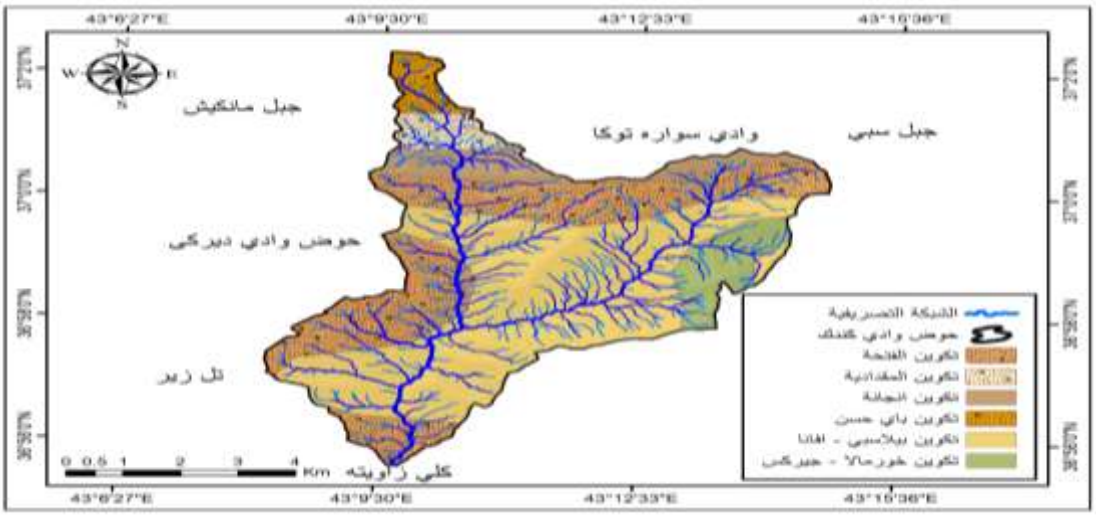
تظهر التكوينات الجيولوجية في حوض وادي كندك بتباين واضح من حيث العمر الجيولوجي، والبيئة الترسيبية، ومساحة الانتشار المكاني داخل الحوض. وتنتمي التكوينات الظاهرة جميعها إلى حقب الحياة الحديثة، وتحديدًا إلى الزمن الثالث. وتوضح (الخريطة 2) أن هذه التكوينات لا تتوزع بصورة منتظمة، بل تظهر على شكل نطاقات متداخلة وكالتالي :

أ- **تكوين بيلاسبي - أفانا** : ينتمي تكوين البيلاسبي الى الايوسين الاوسط – المتاخر (Othman & Al-Qayim, 2010) ، يعد هذا التكوين من اكثر التكوينات انتشارا في منطقة الدراسة ، حيث تبلغ مساحته 24.85 كم2، بما يمثل ما نسبته 48.95% من مساحة الحوض الكلية (الجدول1) . وينتشر في الأجزاء الوسطى والجنوبية والجنوبية الشرقية من الحوض .

ب- **تكوين الفتحة :** ياتي في المرتبة الثانية من حيث المساحة، إذ يشغل نحو 15.90 كم²، بنسبة تبلغ 31.32% من مساحة الحوض. ويظهر توزيعه المكاني بوضوح في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية، فضلًا عن امتدادات في الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من الحوض.

ت- تكوين انجانة : يشغل مساحة تبلغ نحو 3.48 كم²، أي ما يعادل 6.85% من مساحة الحوض، وهو من تكوينات المايوسين المتأخر ذات البيئة الترسيبية . ويظهر هذا التكوين ضمن نطاقات محدودة نسبيًا، ولا سيما في الجزء الشمالي الأوسط وبعض المواضع المتفرقة داخل الحوض.

خريطة (2) التكوينات الجيولوجية في حوض وادي كندك



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على خارطة العراق الجيولوجية، وزارة الصناعة والمعادن، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، 2000، ومعالجتها داخل.ArcGis Pro 3.4.0

ث - تكوين خورمالا - جيركس : يغطي هذا التكوين مساحة مقدارها نحو3.42 كم²، بنسبة 6.74% من مساحة الحوض. وينتمي هذا التكوين إلى الباليوسين–الإيوسين. ويتركز انتشاره في الجهة الشرقية والجنوبية الشرقية من الحوض، حيث يظهر على شكل نطاق واضح عند طرف الحوض الشرقي.

الجدول 1 : النسب والمساحات للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

التكوين الجيولوجي	العمر الجيولوجي	المساحة كم²	النسبة %
بيلاسبي - أفانا	الإيوسين الأوسط–المتأخر	24.85	48.95
الفتحة	المايوسين الأوسط	15.9	31.32
انجانة	المايوسين المتأخر	3.48	6.85
خورمالا - جيركس	الباليوسين–الإيوسين	3.42	6.74
المقدادية	المايوسين المتأخر–البلايوسين المبكر	1.7	3.34
باي حسن	البلايوسين	1.42	2.81
المجموع	—	50.77	100

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 2

ج - **تكوين المقدادية** : يرجع اصل هذا التكوين الى المايوسين المتاخر – البلايوسين المبكر، وفيظهر ضمن مساحة محدودة تبلغ نحو 1.70 كم²، تمثل 3.34% من مساحة حوض وادي كندك. وينتشر بصورة متفرقة ومحدودة داخل الحوض.

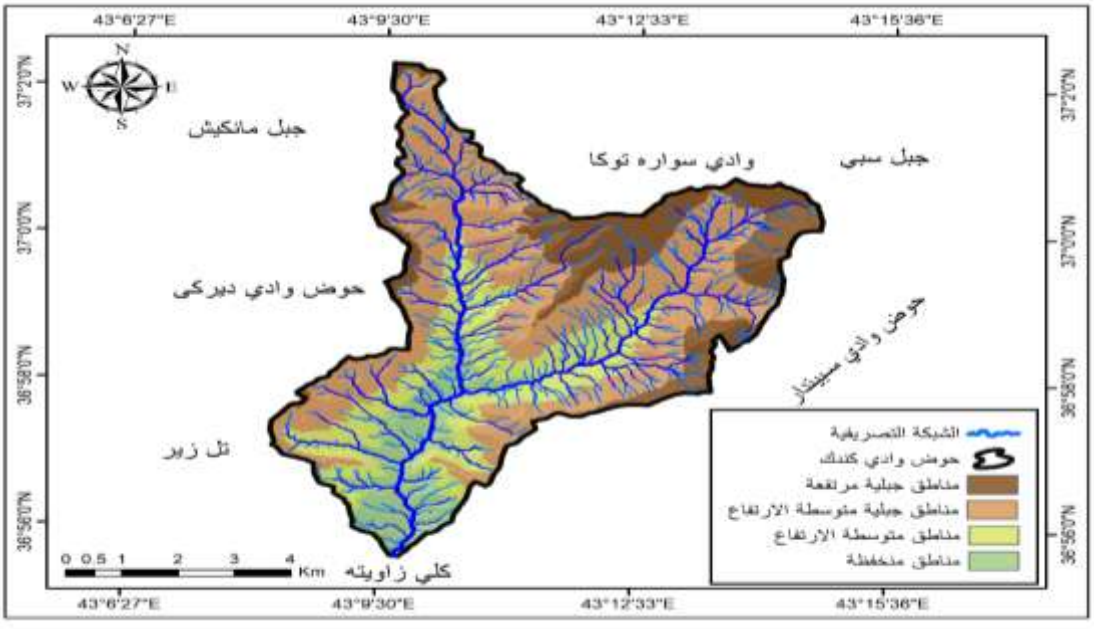
ح - تكوين باي حسن : أقل التكوينات انتشارًا في منطقة الدراسة، إذ لا تتجاوز مساحته 1.42 كم²، بما يعادل 2.81% من مساحة الحوض. ويعود هذا التكوين إلى البلايوسين. ويتركز في نطاق صغير شمالي الحوض، وعلى الرغم من قلة انتشاره الان ان وجوده يعطي تنوعا جيولوجيا في اجزاء الحوض العليا .

2- السطح والارتفاع

تُعد خصائص السطح والارتفاع من العوامل الطبيعية المهمة في تفسير الاستجابة الهيدرولوجية، إذ تؤثر الارتفاعات في اتجاه الجريان، ودرجة تقطع السطح، وسرعة انتقال المياه من الأجزاء العليا باتجاه المخرج. وقد أظهر نموذج الارتفاع الرقمي SRTM DEM، الذي يُعد من البيانات الطبوغرافية واسعة الاستخدام في الدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية (Farr et al., 2007)، بعد اقتطاعه بحدود الحوض أن الارتفاعات تتراوح بين 772 م عند الأجزاء المنخفضة و 1497 م في الأجزاء الجبلية المرتفعة. وبذلك يبلغ الفرق الرأسي داخل الحوض نحو 725 م (الخريطة 3) ويعكس هذا الفرق الارتفاعي طبيعة تضاريسية واضحة، تتدرج من مناطق منخفضة نسبيًا في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية إلى نطاقات جبلية مرتفعة في الأجزاء الشمالية والشرقية والشمالية الشرقية.

بعد إعادة تصنيف نموذج الارتفاع الرقمي إلى أربع فئات ارتفاعية، تبيّن أن فئة الارتفاع 1000–1200 م هي الأكثر انتشارًا داخل حوض وادي كندك، إذ بلغت مساحتها نحو 24.34 كم²، وبنسبة 47.93% من مساحة الحوض الكلية (الجدول2)، مما يدل على أن الطابع العام للحوض هو طابع جبلي متوسط الارتفاع. وتأتي بعدها فئة 900–1000 م بمساحة بلغت 10.63 كم²، وبنسبة 20.93%، وتمثل نطاقًا انتقاليًا بين الأجزاء المنخفضة والمرتفعة، وتسهم في توجيه الجريان نحو المجرى الرئيس. أما فئة الارتفاع 1200–1497 م فقد شغلت مساحة مقدارها 9.46 كم²، وبنسبة 18.62%، وتتركز غالبًا في الأجزاء الشمالية والشرقية والشمالية الشرقية، وهي تمثل مناطق منابع لكثير من المجاري الفرعية. في حين بلغت مساحة فئة 772–900 م نحو 6.36 كم²، أي 12.52% من مساحة الحوض، وتظهر قرب مخرج الحوض وفي الأجزاء التي تستقبل الجريان القادم من المرتفعات. وبذلك يعكس التوزيع الارتفاعي للحوض تدرجًا طبوغرافيًا واضحًا يؤثر في اتجاه الجريان وسرعة انتقاله نحو المصب.

خريطة (3) فئات الارتفاع في منطقة الدراسة



المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM DEM بدقة 30 م، باستخدام برنامج ArcGis Pro 3.4.0 .

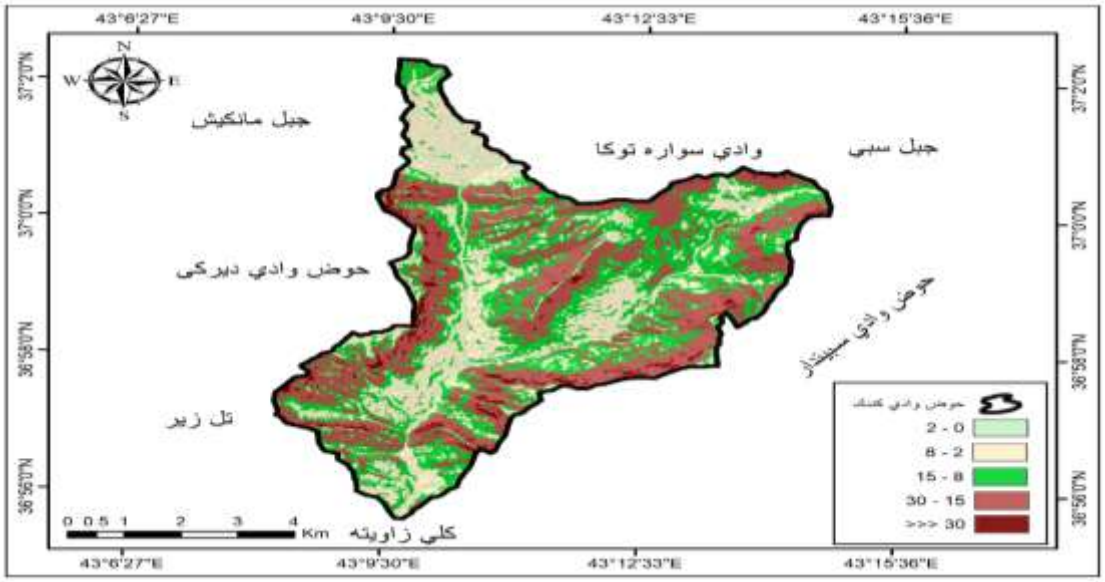
مدى الارتفاع بالمتر	التسمية	المساحة كم²	النسبة %
772–900م	مناطق منخفضة	6.36	12.52
900–1000م	مناطق متوسطة الارتفاع	10.63	20.93
1000–1200م	مناطق جبلية متوسطة الارتفاع	24.34	47.93
1200–1497م	مناطق جبلية مرتفعة	9.46	18.62
المجموع	—	**50.77**	**100**

الجدول 2 : النسب والمساحات لفئات الارتفاع في منطقة الدراسة

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 3

3- الانحدار يُقصد بالانحدار مقدار ميل سطح الأرض عن خط الأفق، أو درجة الميل بين نقطتين تختلفان في المنسوب، ويُعبّر عنه عادة بالدرجة أو بالنسبة المئوية (عبد الستار وكاظم، 2016). و يُعد الانحدار من أهم الخصائص التضاريسية المؤثرة في الجريان السطحي داخل الأحواض المائية، إذ يتحكم في سرعة حركة المياه فوق السطح، ودرجة تجمعها داخل المجاري، وقابلية السطح للتعرية . ومن (الخريطة 4 و الجدول 3) نجد ان فئة الانحدار الشديد 15–30% هي الأكثر انتشارًا داخل الحوض، إذ بلغت مساحتها نحو 18.59 كم²، بنسبة 36.64% من مساحة الحوض. وتأتي بعدها فئة الانحدار المتوسط 8–15% بمساحة16.34 كم²، وبنسبة 32.18%، ثم فئة الانحدار الضعيف 2–8% بمساحة 13.49 كم²، وبنسبة 26.58%. ، أما فئتا الانحدار المستوي إلى الضعيف جدًا 0–2%، والانحدار الشديد جدًا أكثر من 30%، فقد شغلتا مساحات محدودة بلغت 1.01 كم² و 1.33 كم²، وبنسبتي 1.99% و 2.61% على التوالي.وبصورة عامة، يتضح أن فئتي الانحدار المتوسط والشديد تشكلان معًا أكثر من ثلثي مساحة حوض وادي كندك، مما يدل على أن الحوض يمتلك طبيعة تضاريسية تساعد على تسريع الجريان السطحي ونقله باتجاه المجاري الرئيسة. كما أن تداخل الانحدارات الواضحة مع شبكة التصريف يجعل الانحدار عاملًا مهمًا في تفسير نتائج نموذج Snyder، ولا سيما ما يتعلق بزمن الاستجابة وزمن الذروة وتصريف الذروة.

خريطة 4 : فئات الانحدار في منطقة الدراسة



المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة 30 م، باستخدام برنامج ArcGis Pro 3.4.0

الجدول 3 : المساحات والنسب لفئات الانحدار في منطقة الدراسة .

مدى الانحدار %	التسمية	المساحة كم²	النسبة %
0–2	مستوٍ إلى ضعيف جدًا	1.01	1.99
2–8	انحدار ضعيف	13.49	26.58
8–15	انحدار متوسط	16.34	32.18
15–30	انحدار شديد	18.59	36.64
أكثر من 30	انحدار شديد جدًا	1.33	2.61
المجموع	—	**50.77**	**100**

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 4 .

4- التربة

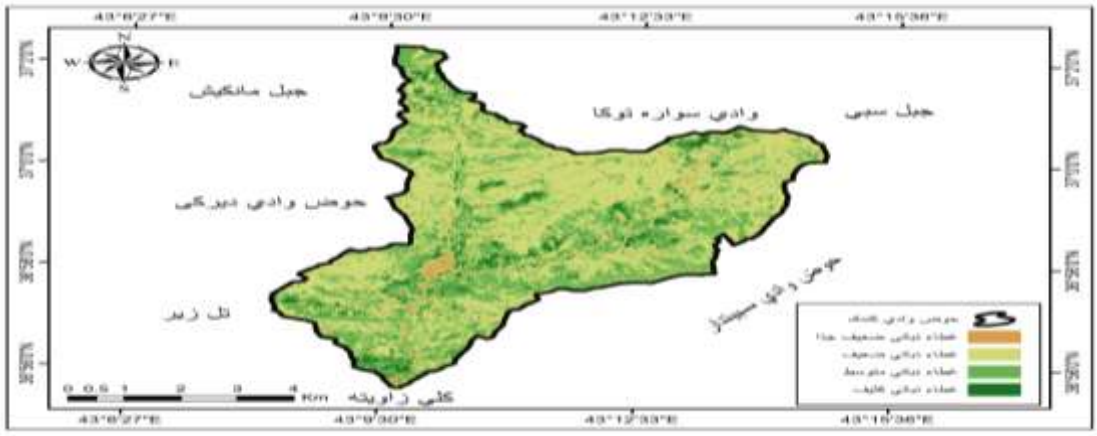
أظهرت نتائج مطابقة حوض وادي كندك مع خريطة تربة العراق بحسب تصنيف بيورنك1960 ,Buringh) أن الحوض يقع بالكامل ضمن صنف الأرض الوعرة المشققة الصخرية، إذ يغطي نحو 50.77 كم²، أي 100% من مساحة الحوض. ويعكس ذلك طبيعة السطح الجبلي والصخري، وضعف تطور التربة العميقة، مما يقلل نسبيًا من فرص الخزن والتسرب. وعلى الرغم من أن التربة لا تدخل مباشرة في معادلات نموذج Snyder، فإنها تمثل عاملًا تفسيريًا مهمًا لفهم قابلية الحوض على توليد الجريان السطحي عند توفر أمطار فعالة.

5- الغطاء النباتي

يُعد الغطاء النباتي من العوامل الطبيعية المؤثرة في الجريان السطحي داخل الأحواض المائية، إذ يسهم في اعتراض جزء من مياه الأمطار وتقليل سرعة الجريان وزيادة فرص التسرب النسبي. ولتحليل الغطاء النباتي في حوض وادي كندك، تم الاعتماد على مؤشر الفرق النباتي المعياري NDVI المستخرج من مرئيات Sentinel-2 للفترة بين 2026/3/1 و 2026/4/1، ومعالجته باستخدام منصة Google Earth Engine وبرنامج ArcGIS. وتُعد منصة Google Earth Engine من المنصات السحابية المهمة في التحليل الجيومكاني ومعالجة بيانات الاستشعار عن بعد، إذ تتيح الوصول إلى أرشيفات مكانية واسعة ومعالجتها على نطاقات مكانية كبيرة بكفاءة عالية (Gorelick et al., 2017).

أظهرت نتائج التصنيف أن فئة الغطاء النباتي الضعيف 0.10–0.30 هي الأكثر انتشارًا، إذ بلغت مساحتها نحو 28.84 كم²، بنسبة 56.78% من مساحة الحوض (الخريطة 5، الجدول 4)، مما يدل على أن الغطاء النباتي في الحوض يغلب عليه الضعف وعدم الاتصال المكاني. وتأتي بعدها فئة الغطاء النباتي المتوسط 0.30–0.50 بمساحة 18.06 كم²، وبنسبة 35.57%، وتظهر غالبًا في بقع ونطاقات متفرقة، ولا سيما قرب بعض المجاري والمناطق الأكثر رطوبة. أما فئة الغطاء النباتي الكثيف أكثر من 0.50 فقد شغلت مساحة محدودة بلغت 2.69 كم²، بنسبة 5.29%، في حين بلغت مساحة الغطاء النباتي الضعيف جدًا أو شبه الجرداء أقل من 0.10 نحو 1.20 كم²، بنسبة 2.36% من مساحة الحوض. وبصورة عامة، يشير هذا التوزيع إلى أن حوض وادي كندك يمتلك غطاءً نباتيًا غير كثيف في معظمه، وهو ما ينسجم مع طبيعته الجبلية والصخرية والانحدارية، ويدعم تفسير قابلية السطح لتوليد الجريان السطحي عند توفر أمطار فعالة، ولا سيما مع وجود الانحدارات المتوسطة والشديدة والترب الوعرة الصخرية.

الخريطة 5 : مؤشر الغطاء النباتي NDVI في منطقة الدراسة



المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على مرئيات Sentinel-2 ومعامل NDVI للفترة 2026/3/1–2026/4/1، باستخدام منصة Google Earth Engine وبرنامج ArcGis Pro 3.4.0 .

الجدول 4 : المساحات والنسب لمؤشر الغطاء النباتي NDVI في منطقة الدراسة

قيمة NDVI	نوع الغطاء النباتي	المساحة كم²	النسبة %
أقل من 0.10	غطاء نباتي ضعيف جدًا	1.2	2.36
0.10–0.30	غطاء نباتي ضعيف	28.84	56.78
0.30–0.50	غطاء نباتي متوسط	18.06	35.57
أكثر من 0.50	غطاء نباتي كثيف	2.69	5.29
المجموع	—	**50.78**	**100**

6- المناخ والموازنة المائية المناخية يُعد المناخ من العوامل الطبيعية المؤثرة في الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المائية، ولا سيما من خلال عناصر الأمطار والحرارة والتبخر، إذ تحدد هذه العناصر حجم المياه المتاحة للجريان السطحي، ودرجة الفقد المائي من سطح الحوض. ولغرض تحليل الخصائص المناخية لحوض وادي كندك، تم الاعتماد على بيانات CHIRPS لاستخراج الأمطار (Funk et al., 2015)، وبيانات ERA5-Land لاستخراج درجات الحرارة والتبخر الفعلي (Muñoz-Sabater et al., 2021)، وذلك للمدة 1995–2025، باستخدام منصة Google Earth Engine. وقد أُجريت الموازنة المائية المناخية البسيطة بالاعتماد على الفرق بين كمية الأمطار والتبخر الفعلي، لبيان أشهر الفائض والعجز المائي داخل الحوض.يتضح من جدول (5) ان المعدل السنوي للأمطار في حوض وادي كندك بلغ نحو 754.94 ملم، وتتركز معظمها خلال الشتاء وبداية الربيع، ولا سيما في كانون الثاني 147.63 ملم، وشباط 127.01 ملم، وآذار 122.35 ملم، في حين تكاد تنعدم خلال أشهر الصيف. أما المعدل السنوي للحرارة فقد بلغ 15.09°م، مع ارتفاع واضح خلال تموز وآب، مما يزيد من الفقد المائي صيفًا. وبلغ مجموع التبخر الفعلي السنوي نحو 586.04 ملم، وهو أقل من مجموع الأمطار، مما نتج عنه فائض مائي سنوي بلغ 168.90 ملم. وتتركز أشهر الفائض في كانون الأول وكانون الثاني وشباط وآذار، بينما يظهر العجز المائي في أشهر الصيف. وبذلك يتضح أن الجريان السطحي في الحوض ذو طابع موسمي، تزداد احتمالية حدوثه خلال أشهر الفائض المائي، ولا سيما في الشتاء وبداية الربيع.

جدول (5) المعدلات الشهرية للأمطار والحرارة والتبخر الفعلي والموازنة المائية في حوض وادي كندك للمدة 1995–2025

الشهر	الحرارة °م	الأمطار ملم/شهر	التبخر الفعلي	الموازنة المائية ملم

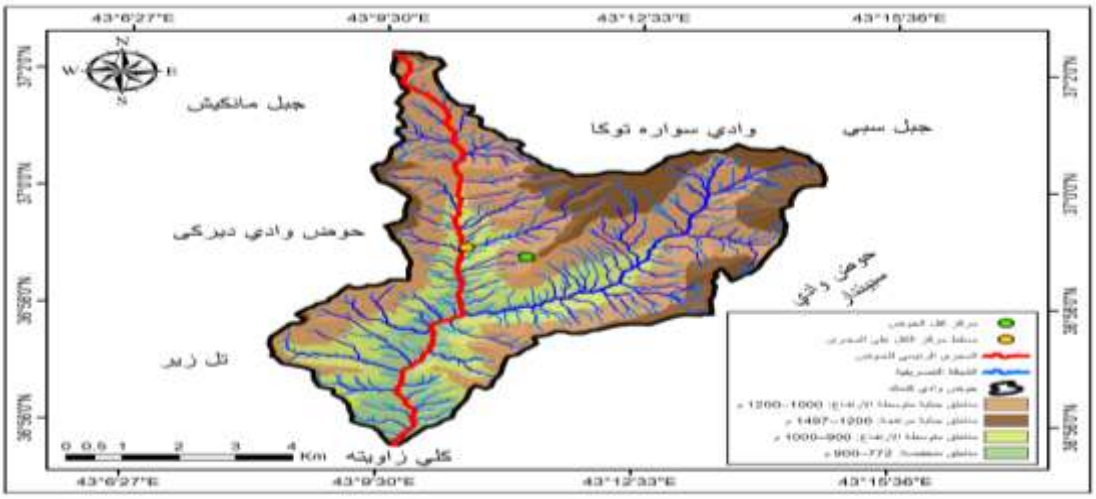
			ملم/شهر	
كانون الثاني	1.31	147.6	16.13	131.5
شباط	2.87	127	24.54	102.5
آذار	7.23	122.4	59.31	63.04
نيسان	12.78	92.41	93.06	-0.65
أيار	18.64	44.86	118.6	-73.8
حزيران	25.44	1.21	86.33	-85.1
تموز	29.57	0.03	55.88	-55.9
آب	29.16	0.01	36.9	-36.9
أيلول	24.03	0.09	23.17	-23.1
تشرين الأول	17.25	28.9	25.47	3.43
تشرين الثاني	9.15	70.3	27.16	43.14
كانون الأول	3.65	120.2	19.49	100.7
المعدل/المجموع السنوي	**15.09/معدل**	**754.9**	**586**	**168.9**

المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات CHIRPS للأمطار و ERA5-Land لدرجات الحرارة والتبخر الفعلي، للمدة 1995–2025، باستخدام منصة Google Earth Engine.

ثانيًا: توظيف تقنيات الجيوماتكس في بناء قاعدة بيانات الحوض

ركزت الدراسة على الاعتماد على تقنيات الجيوماتيكس في بناء قاعدة البيانات المكانية لحوض وادي كندك، حيث يمكن بواسطتها استخراج الخصائص الطبوغرافية والتصريفية اللازمة لتطبيق نموذج Snyder. وقد تم الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM DEM بدقة مكانية تقارب 30 م، ومعالجته داخل بيئة برنامجArcGIS ، بهدف اشتقاق عدد من القياسات المورفومترية والهيدرولوجية الأساسية التي تعتبر مدخلات مباشرة أو مساعدة في نمذجة الجريان السطحي. وتوضح (خريطة 6) قاعدة البيانات الطبوغرافية والتصريفية لحوض وادي كندك، نتج من بناء قاعدة البيانات الجيوماتيكية الحصول على مجموعة من القياسات الاساسية للحوض، إذ بلغت مساحة الحوض نحو 50.774 كم²، في حين بلغ محيطه 42.309 كم، وبلغ طول المجرى الرئيس 14.568 كم. كما بلغت المسافة من المصب إلى مسقط مركز ثقل الحوض على المجرى الرئيس 7.480 كم، وهي قيمة مهمة في تطبيق نموذج Snyder لأنها تمثل أحد المدخلات الرئيسة في حساب زمن التباطؤ والاستجابة الهيدرولوجية للحوض. أما مجموع أطوال المجاري المائية المستخرجة من الشبكة التصريفية المعتمدة فقد بلغ 223.736 كم، وبذلك بلغت كثافة التصريف نحو 4.41 كم/كم²، وهي قيمة تشير إلى تقطع واضح في سطح الحوض وقدرته على تجميع الجريان السطحي عند حدوث العواصف المطرية.

خريطة (6) قاعدة البيانات الطبوغرافية والتصريفية لحوض وادي كندك



المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM DEM بدقة 30 م، باستخدام برنامجArcGis Pro 3.4.0 .

كما أظهرت قاعدة البيانات أن أعلى ارتفاع في الحوض بلغ 1497 م، في حين بلغ أدنى ارتفاع 772 م، وبذلك يصل فرق الارتفاع إلى 725 م. ويدل هذا الفرق الارتفاعي، مع طول المجرى الرئيس، على وجود انحدار عام واضح يسهم في تسريع حركة المياه داخل الحوض وزيادة قابلية الاستجابة للجريان السطحي، ولا سيما في ظل سيادة الانحدارات المتوسطة والشديدة ووجود شبكة تصريفية متطورة نسبيًا. وبذلك وفرت تقنيات الجيوماتكس قاعدة مكانية دقيقة ومتكاملة مكنت من ربط الخصائص الطبوغرافية والتصريفية للحوض بمتطلبات نموذج Snyder، تمهيدًا لتطبيق النموذج وتحليل خصائص الهيدروغراف الناتج.

ثالثًا: الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية المعتمدة: تعد الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية من المدخلات الأساسية في تفسير استجابة الأحواض المائية للجريان السطحي، ولا سيما الخصائص المرتبطة مباشرة بتطبيق نموذج .Snyder لذلك ركزت الدراسة على مساحة الحوض، وطول المجرى الرئيس، والمسافة من المصب إلى مسقط مركز الثقل، فضلًا عن بعض الخصائص التصريفية والتضاريسية المساعدة. أظهرت نتائج القياس المكاني أن مساحة حوض وادي كندك بلغت 50.774 كم²، ومحيطه 42.309 كم، في حين بلغ طول المجرى الرئيس 14.568 كم (الجدول6). أما المسافة من المصب إلى مسقط مركز ثقل الحوض على المجرى الرئيس فقد بلغت 7.480 كم، وهي من القيم المهمة في حساب زمن التباطؤ وفق نموذج.Snyder ، كما بلغ مجموع أطوال المجاري المائية 223.736 كم، ووصلت الشبكة التصريفية إلى الرتبة الخامسة، في حين بلغت كثافة التصريف 4.41 كم/كم²، مما يدل على تطور الشبكة التصريفية وقدرتها على تجميع الجريان السطحي. وتراوح الارتفاع داخل الحوض بين 772 م و 1497 م، بفرق ارتفاعي بلغ 725 م، كما بلغ الانحدار العام التقريبي للمجرى الرئيس 49.77 م/كم، أي نحو 4.98%.

وبذلك يتضح أن الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي كندك توفر أساسًا مكانيًا مهمًا لتطبيق نموذج Snyder، إذ تجمع بين مساحة محدودة نسبيًا، وتضرس واضح، وشبكة تصريفية متطورة، ومجرى رئيس ذي انحدار ملحوظ. وهذه الخصائص مجتمعة تشير إلى أن الحوض يمتلك قابلية واضحة لتوليد الجريان السطحي عند توفر أمطار كافية، ولا سيما خلال أشهر الفائض المائي التي تم تحديدها في الموازنة المائية المناخية.

جدول (6) الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية المعتمدة في تطبيق نموذج Snyder

الخصائص المورفومترية	الرمز	القيمة
مساحة الحوض	A	50.774كم²
محيط الحوض	P	42.309كم
طول المجرى الرئيس	L	14.568كم
المسافة من المصب إلى مسقط مركز الثقل	Lc	7.480كم
مجموع أطوال المجاري	ΣL	223.736كم
كثافة التصريف	Dd	4.41كم/كم²
أعلى رتبة نهرية	—	الخامسة
أعلى ارتفاع	Hmax	1497م
أدنى ارتفاع	Hmin	772م
فرق الارتفاع	H	725م
الانحدار العام للمجرى الرئيس	S	49.77م/كم

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على DEM ونتائج التحليل المكاني في.ArcGIS Pro 3.4.0

رابعًا: تطبيق نموذج Snyder في حوض وادي كندك

يُعد أنموذج Snyder من النماذج الهيدرولوجية المستخدمة في تقدير الهيدروغراف الوحدوي الصناعي للأحواض المائية، وخصوصًا في الأحواض التي تفتقر إلى قياسات مباشرة للتصريف. ويعتمد الأنموذج على الربط بين الخصائص المورفومترية للحوض وبعض مؤشرات الاستجابة الهيدرولوجية، مثل زمن التباطؤ، وتصريف الذروة، وزمن الأساس، إذ أشار دليل HEC-HMS Technical Reference Manualإلى أن Snyder اعتمد هذه العناصر بوصفها خصائص رئيسة في بناء الهيدروغراف الوحدوي الصناعي (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2026). وتدعم العديد من الدراسات أهمية دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نماذج الهيدروغرافات الوحدوية في دراسة الأحواض غير المرصودة، إذ أن نقص سجلات التصريف يجعل الهيدروغرافات الوحدوية الصناعية ضرورية في إدارة السيول والموارد المائية (Dawod and Koshak ,2011) .

وبعد بناء قاعدة البيانات الجيوماتيكية واستخراج الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، تم اختيار أنموذج Snyder لملاءمته للأحواض غير المرصودة هيدرومتريًا، ولاعتماده على متغيرات مكانية يمكن استخراجها من نظم المعلومات الجغرافية، مثل مساحة الحوض، وطول المجرى الرئيس، والمسافة من المصب إلى مسقط مركز الثقل، إلى جانب الخصائص الطبوغرافية والتصريفية المساعدة. وبناءً على ذلك، جرى تطبيق معادلات Snyder بصورة متسلسلة لتقدير مؤشرات الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، ولا سيما زمن التباطؤ، وزمن الذروة، وتصريف الذروة، وزمن الأساس، وربطها بطبيعة الحوض الجبلية والانحدارية وشبكته التصريفية التي وصلت إلى الرتبة الخامسة.

1 - زمن التركيز(Tc) Time of Concentration

يعتبر زمن التركيز من المؤشرات الهيدرولوجية المهمة في تحليل استجابة الأحواض المائية للعواصف المطرية، أهميته من كونه يحدد المدة التي يصبح عندها الحوض مساهمًا بكامل مساحته في توليد الجريان عند المخرج. وقد أشار (Grimaldi et al. 2012) إلى أن زمن التركيز لا يمتلك تعريفًا عمليًا واحدًا متفقًا عليه بشكل كامل في الأدبيات الهيدرولوجية، إلا أن أحد تعريفاته النظرية الشائعة يتمثل في الزمن الذي تستغرقه قطرة ماء للوصول إلى مخرج الحوض انطلاقًا من أبعد نقطة هيدرولوجية داخله . ويستخدم على نطاق واسع في نمذجة الهيدروغراف وتحليل مخاطر الجريان السطحي والفيضانات. ولكي نقوم بحساب زمن التركيز في حوض وادي كندك، تم الاعتماد على معادلة Giandotti، وهي من المعادلات التجريبية المستخدمة لتقدير زمن التركيز في الأحواض المائية اعتمادًا على مساحة الحوض، وطول المجرى الرئيس، والفرق بين متوسط ارتفاع الحوض وارتفاع المصب (Grimaldi et al. 2012) . وهي كالتالي:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

حيث إن:

Tc = زمن التركيز بالساعة A = مساحة الحوض بالكيلومتر المربع

L = طول المجرى الرئيس بالكيلومتر H = الفرق بين متوسط ارتفاع الحوض وارتفاع المصب بالمتر.

وبالاعتماد على قاعدة البيانات الجيوماتيكية لحوض وادي كندك، تم تحديد المتغيرات اللازمة لتطبيق معادلة Giandotti الخاصة بحساب زمن التركيز، وكما يوضحها (الجدول 6):

الجدول 6 : المتغيرات المعتمدة في حساب زمن التركيز لحوض وادي كندك

الرمز	A	L	متوسط ارتفاع الحوض	ارتفاع المصب	H
القيمة	50.77	14.57	1071	772	299.2

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على SRTM DEM بدقة 30 م، ونتائج برنامج ArcGIS Pro 3.4.0.

ومن الجدير بالذكر ان قيمة في المعادلة لا تمثل الفرق بين اعلى وادنى ارتفاع في الحوض ، انما تمثل الفرق بين متوسط ارتفاع الحوض وارتفاع المصب، وقد بلغت هذه القيمة 299.190 م .

وعند تطبيق معادلة Giandotti على القيم اعلاه، بلغت قيمة زمن التركيز في حوض وادي كندك 3.64 ساعة بما يعادل 218.34 دقيقة ، وتشير هذه القيمة إلى أن مياه الجريان السطحي تحتاج إلى ما يقارب ثلاث ساعات وأربعين دقيقة للوصول من أبعد نقطة هيدرولوجية في الحوض إلى المصب عند حدوث عاصفة مطرية فعالة قادرة على توليد الجريان. و تنسجم هذه النتيجة مع الخصائص الطبوغرافية والتصريفية للحوض، ولا سيما طبيعته الجبلية والانحدارية، ووجود شبكة تصريفية وصلت إلى الرتبة الخامسة، فضلًا عن كثافته التصريفية. وبذلك يمثل زمن التركيز خطوة أولى مهمة في تطبيق نموذج Snyder، لأنه يوضح الإطار الزمني العام لاستجابة الحوض قبل الانتقال إلى حساب زمن التباطؤ وبقية عناصر الهيدروغراف.

2 - زمن التباطؤ(tp) Basin Lag Time

يمثل زمن التباطؤ أحد المتغيرات الرئيسة في أنموذج Snyder، ويقصد به الفرق الزمني بين مركز المطر الفعال ووقت حدوث تصريف الذروة؛ لذلك فهو يعبّر عن سرعة استجابة الحوض للمطر أكثر من كونه زمن انتقال المياه من أبعد نقطة إلى المصب. وقد اشار (Bhunya et al, 2011) إلى أن طريقة Snyder تربط خصائص الحوض المورفومترية بزمن التباطؤ وتصريف الذروة وزمن الأساس للهيدروغراف الصناعي. ولغرض حساب زمن التباطؤ في حوض وادي كندك، تم اعتماد معادلة Snyder وكالتالي: (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2026).

$$tp = CCt(LLc)^{0.3}$$

tp = زمن التباطؤ C = ثابت تحويل الوحدات ويساوي 0.75 في النظام المتري Ct = معامل الحوض
L = طول المجرى الرئيس Lc = المسافة من المصب إلى مسقط مركز الثقل على المجرى الرئيس

وبالاعتماد على قاعدة البيانات الجيوماتيكية لحوض وادي كندك، تم تحديد القيم اللازمة لتطبيق معادلة Snyder، وكما يوضحها (الجدول 7):

الجدول 7 : المتغيرات المعتمدة في حساب زمن التباطؤ لحوض وادي كندك

المتغير	L	Lc	C	Ct
القيمة	14.57	7.48	0.75	1

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على نتائج التحليل المكاني في برنامج ArcGIS Pro 3.4.0 ، ومعادلة Snyder

فيما يخص معامل الحوض Ct من أكثر عناصر معادلة Snyder حساسية، لأنه يُفضّل تحديده بالمعايرة اعتمادًا على بيانات أحواض مرصودة. وبسبب عدم توفر قياسات هيدرومترية مباشرة لحوض وادي كندك، تم اعتماد قيمة Ct = 1.00 بوصفها قيمة تقديرية محافظة، تتلاءم مع طبيعة الحوض الصغير نسبيًا والجبلي وذي الانحدارات الواضحة وشبكته التصريفية التي بلغت الرتبة الخامسة. وبتطبيق معادلة Snyder على القيم المعتمدة، بلغ زمن التباطؤ في حوض وادي كندك نحو 3.06 ساعة، اي ثلاث ساعات و اربع دقائق تقريبا بما يعادل 183.82 دقيقة. وتشير هذه القيمة إلى أن استجابة الحوض بين مركز المطر الفعال وذروة التصريف تقع ضمن مدى زمني متوسط نسبيًا، وتنسجم مع زمن التركيز المحسوب سابقًا والبالغ 3.64 ساعة، مما يعزز منطقية النتائج باعتماد معادلة Snyder وفق صيغة HEC-HMS ويمهد للانتقال إلى حساب زمن الذروة وبقية عناصر الهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك.

3 - مدة المطر القياسية Standard Rainfall Duration (tr)

تعتبر مدة المطر القياسية Standard Rainfall Duration (tr) من العناصر الأساسية في بناء الهيدروغراف الصناعي وفق أنموذجSnyder ، إذ ترتبط بزمن التباطؤ المحسوب للحوض، وتُستخدم لتحديد مدة المطر الفعال التي يُبنى عليها الهيدروغراف القياسي. وقد أشار (Singh et al, 2014) إلى أن معادلات Snyder تكون صالحة لمدة المطر الفعال القياسية أو مدة الوحدة عندما تكون هذه المدة

مساوية إلى زمن التباطؤ مقسومًا على 5.5. كما أوضح دليل HEC-HMS Technical Reference Manual أن الهيدروغراف القياسي في أنموذج Snyder هو الهيدروغراف الذي تكون فيه مدة المطر الفعال tr مرتبطة بزمن التباطؤ tp وفق العلاقة نفسها (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2026)، وكما يأتي:

$$t_r = \frac{t_p}{5.5}$$

يمثل الرقم 5.5 معاملًا تجريبيًا في أنموذج Snyder يربط بين زمن التباطؤ tp ومدة المطر القياسية tr، وكلاهما يُقاس بالساعة. وبعد تطبيق المعادلة، بلغت مدة المطر القياسية في حوض وادي كندك 0.56 ساعة أي ما يعادل 33.44 دقيقة وتدل هذه القيمة الى هذه القيمة إلى أن الهيدروغراف القياسي للحوض يُبنى على مطر فعال قصير المدة نسبيًا، بما يتلاءم مع صغر مساحة الحوض وطبيعته الانحدارية وشبكته التصريفية. كما تُعد هذه القيمة ضرورية للانتقال إلى حساب زمن الذروة، لارتباطه بكل من زمن التباطؤ ومدة المطر القياسية.

4 - زمن الذروة(Time to Peak (Tp

يشير زمن الذروة الى الزمن اللازم لوصول الهيدروغراف الى اعلى قيمة للتصريف بعد بداية المطر الفعال ، وهو أحد العناصر المهمة في تحليل الهيدروغراف الصناعي، وتكمن أهمية هذا المتغير في أنه يحدد اللحظة الزمنية التي يبلغ عندها الجريان السطحي أقصى استجابة له داخل الحوض، لذلك يُعد مؤشرًا أساسيًا في تفسير سرعة الاستجابة الهيدرولوجية وتقدير خطر الجريان السيلي. وقد أوضح دليل HEC-HMS Technical Reference Manual أن زمن التباطؤ في نموذج Snyder يمثل الفرق الزمني بين مركز كتلة المطر الفعال ووقت حدوث تصريف الذروة. ويحسب بالمعادلة التالية:

$$T_P = tp + \frac{tr}{2}$$

إذ إن:

Tp = زمن الذروة بالساعة. **tp** = زمن التباطؤ بالساعة. **tr** = مدة المطر القياسية بالساعة.

بالاعتماد على النتائج السابقة، والتي بلغ زمن التباطؤ 3.064 ساعة، و بلغت مدة المطر القياسية 0.557 ساعة، أي إن نصفها يساوي 0.279 ساعة . وبذلك بلغ زمن الذروة نحو 3.34 ساعة، أي ما يعادل 200.55 دقيقة. وتشير هذه القيمة إلى أن الهيدروغراف الصناعي للحوض يصل إلى أعلى تصريف بعد نحو ثلاث ساعات وعشرين دقيقة من بداية المطر الفعال. وهي نتيجة دقيقة ومنطقية تؤكد ان زمن الذروة يزيد عن زمن التباطؤ بمقدار نصف مدة المطر القياسية فقط وهو ما ينسجم مع طبيعة الحوض الجبلية والانحدارية وشبكته التصريفية. وبذلك تمثل قيمة Tp = 3.34 ساعة أساسًا مهمًا للانتقال إلى حساب تصريف الذروة وبقية خصائص الهيدروغراف الصناعي.

5 - تصريف الذروة(Peak Discharge (Qp

يعد تصريف الذروة أحد أهم عناصر الهيدروغراف الصناعي في أنموذج Snyder، إذ يعبّر عن أعلى قيمة للتصريف يصل إليها الحوض نتيجة مطر فعال معياري. وتكمن أهمية هذا المتغير في كونه يوضح القدرة القصوى المتوقعة للجريان السطحي عند مخرج الحوض، لذلك يُعد من المؤشرات الأساسية في تقييم الاستجابة الهيدرولوجية ومناقشة احتمالية الجريان السيلي. وقد أوضح (U.S. Army Corps of Engineers, 1994) في دليل Flood-Runoff Analysis, EM 1110-2-1417 . أن طريقة Snyder توفر معادلات لتحديد خصائص الهيدروغراف الوحدوي مباشرة، ومنها تصريف الذروة وزمن الأساس، ويتم حساب تصريف الذروة بالمعادلة التالية :

$$qp = 640\ x\ \frac{Cp}{tp}$$

إذ إن qp يمثل تصريف الذروة لكل وحدة مساحة، و Cp معامل تصريف الذروة، و tp زمن التباطؤ بالساعة. ولأغراض التطبيق في هذه الدراسة، وبما أن بيانات الحوض معتمدة بالنظام المتري، تم استخدام

الصيغة المترية المكافئة لحساب تصريف الذروة الكلي للهيدروغراف الوحدوي الناتج عن مطر فعال مقداره 1 سم، وكما يأتي:

$$Qp = 2.755\ x\ \frac{Cp * A}{tp}$$

إذ إن Qp يمثل تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي بالمتر المكعب/ثانية، و A مساحة الحوض بالكيلومتر المربع، و 2.755 ثابت التحويل المتري المكافئ لصيغة Snyder الأصلية .ويُعد معامل Cp من المعاملات الحساسة في أنموذجSnyder ، إذ يُفضّل تحديده بالمعايرة اعتمادًا على بيانات أحواض مرصودة في المنطقة نفسها. وبما أن حوض وادي كندك غير مرصود هيدرومتريًا، فقد تم اعتماد قيمة Cp = 0.70 بوصفها قيمة تقديرية ضمن النطاق المقبول، ومنسجمة مع طبيعة الحوض الصغير نسبيًا والجبلي وذي الاستجابة الهيدرولوجية المتوسطة إلى السريعة، فضلًا عن انسجامها مع قيمة Ct = 1.00المعتمدة سابقًا في حساب زمن التباطؤ. وبالاعتماد على قاعدة البيانات الجيوماتيكية ونتائج الفقرات السابقة، تم اعتماد القيم الآتية لحساب تصريف الذروة: مساحة الحوض A = 50.774 كم²، وزمن التباطؤ tp = 3.064 ساعة، ومعامل تصريف الذروة Cp = 0.70. . وبعد تطبيق المعادلة بلغ تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي في حوض وادي كندك نحو 31.96 م³/ثا لكل 1 سم من المطر الفعال. ولا تمثل هذه القيمة تصريف عاصفة مطرية فعلية محددة، وإنما تمثل تصريف الذروة النظري للهيدروغراف الوحدوي الناتج عن مطر فعال قياسي مقداره 1 سم موزع على مساحة الحوض وضمن مدة المطر القياسية المحسوبة سابقًا. وتشير هذه القيمة إلى أن الحوض يمتلك قابلية واضحة على توليد جريان سطحي مؤثر عند توفر مطر فعال، وهو ما ينسجم مع خصائصه الطبيعية والمورفومترية.

6 - زمن الأساس للهيدروغراف(Time Base (Tb

يمثل زمن الأساس للهيدروغراف (Tb) المدة الزمنية الكلية التي يستغرقها الهيدروغراف الصناعي منذ بداية الجريان السطحي الناتج عن المطر الفعال وحتى عودة التصريف تدريجيًا إلى مستوى قريب من التصريف الصفري أو الجريان القاعدي. ويُعد هذا المتغير من العناصر المهمة في تحليل شكل الهيدروغراف، لأنه لا يقتصر على لحظة الوصول إلى الذروة، بل يشمل مرحلتي الارتفاع والانخفاض التدريجي للتصريف.

وقد أشار دليل HEC-HMS TRM إلى أن Snyder عدّ كلًا من زمن التباطؤ tp، وتصريف الذروة qp، وزمن الأساس الكلي للهيدروغراف من الخصائص الرئيسة في بناء الهيدروغراف الصناعي. كما أوضح Singh et al. (2014) أن طريقة Snyder تربط خصائص الحوض بزمن التباطؤ وتصريف الذروة وزمن الأساس، كما وضحوا علاقة حساب زمن الأساس اعتمادًا على زمن التباطؤ. وبذلك يُستخدم زمن الأساس لتحديد الامتداد الزمني الكامل للهيدروغراف، أي الفترة التي يستمر خلالها أثر الجريان السطحي المباشر بعد انتهاء المطر الفعال، ويُحسب في التطبيقات التقليدية لنموذج Snyder وفق العلاقة الآتية:

$$\mathbf{Tb} = 3 + \frac{\mathbf{tp}}{8}$$

إذ إن:

Tb = زمن الأساس للهيدروغراف بالأيام. **tp** = زمن التباطؤ بالساعات.

وتعني هذه العلاقة أن زمن الأساس لا يُحسب من مساحة الحوض مباشرة، وإنما يُشتق من زمن التباطؤ، لأن زمن التباطؤ يعبر عن سرعة استجابة الحوض بين مركز المطر الفعال وذروة التصريف. وكلما زاد زمن التباطؤ، امتد زمن الأساس، والعكس صحيح. وبعد تطبيق المعادلة بلغ زمن الأساس للهيدروغراف الصناعي في حوض وادي كندك نحو 3.38 يوم، أي ما يعادل 81.19 ساعة (ألجدول 8). وتمثل هذه القيمة الامتداد الزمني الكلي النظري للهيدروغراف الوحدوي، بما في ذلك الجزء المتجه نحو الانخفاض الطويل بعد تصريف الذروة. أما الاستجابة الحرجة للحوض فتظهر في الجزء الأول من الهيدروغراف، ولا سيما حول زمن الذروة المحسوب سابقًا والبالغ 3.34 ساعة. وتشير قيمة زمن الأساس إلى أن الهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك يتميز بذروة مبكرة نسبيًا يعقبها انخفاض

تدريجي طويل، وهو نمط شائع في الهيدروغرافات الصناعية التي تُبنى وفق علاقات Snyder. وتنسجم هذه النتيجة مع طبيعة الحوض من حيث صغر المساحة نسبيًا وسرعة الاستجابة الأولية، مقابل استمرار الجزء الانخفاضي للهيدروغراف لفترة أطول، وهو ما يعكس بقاء جزء من الجريان السطحي في مرحلة الانحسار بعد وصول التصريف إلى الذروة.

الجدول 8 : المتغيرات المعتمدة في حساب زمن الأساس للهيدروغراف في حوض وادي كندك

المتغير	زمن التباطؤ	معامل العلاقة في نموذج Snyder	معامل قسمة زمن التباطؤ	زمن الأساس	زمن الأساس
الرمز	tp	—	—	Tb	Tb
القيمة	3.064	3	8	3.383	81.19

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج تطبيق أنموذج.Snyder

7 - سرعة الجريان السطحي Surface Runoff Velocity

تعتبر سرعة الجريان السطحي من المؤشرات المساعدة في تفسير طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، إذ تعبّر عن معدل انتقال مياه الجريان على امتداد المسار الرئيس باتجاه المصب. ولا تمثل هذه القيمة سرعة لحظية ثابتة للجريان داخل المجرى، لأن سرعة المياه تتغير تبعًا للانحدار، وشكل المقطع، وخشونة السطح، وكمية التصريف، وخصائص الغطاء الأرضي، وإنما تمثل سرعة متوسطة تقديرية لانتقال الجريان من أبعد نقطة هيدرولوجية في الحوض إلى مخرجه.

وبما أن زمن التركيز يمثل الزمن اللازم لوصول الجريان من أبعد نقطة هيدرولوجية في الحوض إلى المصب، فإن سرعة الجريان السطحي المتوسطة يمكن اشتقاقها من العلاقة بين طول المجرى الرئيس وزمن التركيز. (Grimaldi et al. 2012) وتحسب سرعة الجريان السطحي كما يأتي:

$$V = \frac{L}{Tc}$$

إذ إن: V = سرعة الجريان السطحي المتوسطة

L = طول المجرى الرئيس بالكيلومتر. Tc = زمن التركيز بالساعة.

وبعد تطبيق القياسات التي استخرجناها سابقا مع معادلة سرعة الجريان السطحي اتضح ان قيمة سرعة الجريان السطحي المتوسطة بلغت 1.11 م/ثانية وتمثل هذه القيمة مؤشرا متوسطا تقديريا ، لا سرعة فعلية ثابتة في جميع اجزاء المجرى, لأن السرعة الحقيقية تتغير تبعًا لشدة المطر، والانحدار، وعمق الجريان، وخشونة القناة. أن حوض وادي كندك يمتلك قابلية واضحة على نقل مياه الجريان باتجاه المصب خلال مدة قصيرة نسبيًا، وهو ما ينسجم مع طبيعته الجبلية والانحدارية، وبذلك تدعم هذه القيمة تفسير زمن التركيز وزمن الذروة، وتوضح طبيعة الاستجابة السريعة نسبيًا للحوض عند توفر مطر فعال.

8 - حصائص الهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك وفق نموذجSnyder

بعد استكمال حساب المتغيرات الزمنية والتصريفية المرتبطة بتطبيق نموذجSnyder ، أمكن تحديد الخصائص الرئيسة للهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك. وتمثل هذه الخصائص خلاصة النتائج الهيدرولوجية المستخرجة من قاعدة البيانات الجيوماتيكية للحوض، وتكمن أهمية هذه المرحلة في أنها تجمع القيم المتفرقة التي تم حسابها في الفقرات السابقة ضمن إطار واحد يوضح طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية المتوقعة للحوض عند تعرضه لمطر فعال.

اعتمد بناء الهيدروغراف الصناعي على مفهوم الهيدروغراف الوحدوي في نموذج Snyder، أي أن تصريف الذروة المحسوب يمثل استجابة الحوض لمطر فعال مقداره 1 سم موزع بصورة منتظمة على مساحة الحوض خلال مدة المطر القياسية. وبذلك فإن قيمة تصريف الذروة لا تمثل تصريف عاصفة مطرية فعلية محددة، وإنما تمثل تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي الصناعي، الذي يمكن استخدامه لاحقًا أساسًا لتقدير استجابة الحوض لعواصف مطرية مختلفة عند توفر قيم المطر الفعال أو العاصفة التصميمية. ويوضح (الجدول 9) الخصائص الرئيسة للهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك وفق نموذج Snyder:

الجدول 9 : الخصائص الرئيسة للهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك وفق نموذجSnyder

المتغير	الرمز	القيمة	وحدة القياس
مساحة الحوض	A	50.77	كم^2
طول المجرى الرئيس	L	14.57	كم
المسافة من المصب إلى مسقط مركز ثقل الحوض	Lc	7.48	كم
زمن التركيز	Tc	3.64	ساعة
زمن التباطؤ	tp	3.064	ساعة
مدة المطر القياسية	tr	0.557	ساعة
مدة المطر القياسية	tr	33.44	دقيقة
زمن الذروة	Tp	3.343	ساعة
زمن الذروة	Tp	200.6	دقيقة
تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي	Qp	31.96	م^3/ثا لكل 1سم مطر فعال
زمن الأساس	Tb	3.383	يوم
زمن الأساس	Tb	81.19	ساعة
سرعة الجريان السطحي المتوسطة	V	4	كم/ساعة
سرعة الجريان السطحي المتوسطة	V	1.11	م/ثانية

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على نتائج التحليل المكاني في برنامجArcGIS Pro 3.4.0 ، ونتائج تطبيق معادلات نموذج.Snyder

توضح القيم الواردة في الجدول اعلاه أن حوض وادي كندك يمتلك استجابة هيدرولوجية متوسطة إلى سريعة نسبيًا، إذ بلغ زمن الذروة نحو 3.34 ساعة من بداية المطر الفعال، وهو زمن يعكس أثر المساحة المحدودة للحوض وطبيعته الجبلية والانحدارية. كما أن زمن التباطؤ البالغ 3.064 ساعة يوضح أن الحوض يحتاج إلى مدة محدودة نسبيًا بين مركز المطر الفعال وبلوغ تصريف الذروة، بما ينسجم مع كثافة الشبكة التصريفية ووضوح الانحدارات داخله. أما تصريف الذروة فقد بلغ 31.96 م^3/ثا ويمثل تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي الناتج عن 1 سم من المطر الفعال، كما يعبر زمن الأساس البالغ 81.19 ساعة إلى الامتداد النظري الكامل للهيدروغراف، و يعبر عن مرحلة الانخفاض التدريجي بعد الذروة.

وبناءً على هذه الخصائص، يمكن تمثيل الهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك بثلاث نقاط رئيسة: بداية الجريان عند الزمن صفر وتصريف صفر، ونقطة الذروة عند 3.34 ساعة و 31.96 م^3/ثا، ثم نهاية الهيدروغراف عند زمن الأساس 81.19 ساعة وتصريف قريب من الصفر. ويمثل هذا الشكل الاتجاه العام لاستجابة الحوض

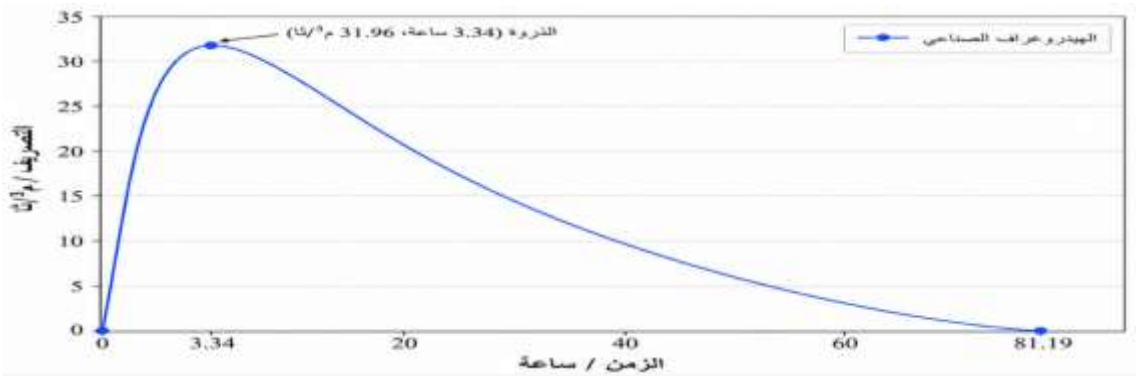
9- التمثيل البياني للهيدروغراف الصناعي وتحليله

يوضح (الشكل 1) التمثيل البياني للهيدروغراف الصناعي لحوض وادي كندك وفق أنموذج Snyder، اعتمادًا على القيم الزمنية والتصريفية التي استنتجناها من معادلات الفقرات السابقة . وقد بُني هذا التمثيل على ثلاث نقاط رئيسة تمثل بداية الاستجابة، وذروة التصريف، ونهاية الامتداد الزمني النظري للهيدروغراف؛ إذ يبدأ الهيدروغراف عند الزمن صفر وبتصريف مقداره صفر، ثم يرتفع تدريجيًا حتى يبلغ ذروته عند زمن 3.34 ساعة وبتصريف مقداره 31.96 م^3/ثا، ثم ينخفض تدريجيًا حتى يصل إلى نهاية زمن الأساس البالغ 81.19 ساعة. ويعكس الجزء الصاعد من المنحنى استجابة هيدرولوجية واضحة وسريعة نسبيًا، وهو ما يرتبط بطبيعة الحوض الجبلية والانحدارية، وصغر مساحته نسبيًا، وتطور شبكته التصريفية. كما تسهم خصائص السطح، وخصوصا سيادة الأراضي الوعرة المشققة الصخرية وضعف الغطاء النباتي في أجزاء واسعة من الحوض، في تقليل فرص الخزن والتسرب النسبي، وزيادة قابلية السطح لتوليد الجريان عند توفر مطر فعال. أما الجزء الهابط من الهيدروغراف فيمتد حتى نهاية زمن الأساس، ويمثل الذيل الانخفاضي النظري للهيدروغراف الصناعي بعد بلوغ الذروة. ويرتبط هذا الامتداد بتصريف المياه تدريجيًا عبر الشبكة التصريفية التي بلغت رتبتها النهرية الخامسة، وبكثافة تصريفية مقدارها 4.41 كم/كم^2. ولا يعني امتداد الذيل الانخفاضي استمرار خطر

الجريان السيلي طوال زمن الأساس، بل يشير إلى الامتداد النظري الكامل للهيدروغراف بعد انتهاء مرحلة الصعود والوصول إلى الذروة .

وبذلك يوضح الشكل أن توقيت الذروة وقيمتها يمثلان المؤشرين الأهم في تفسير الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، ولا سيما عند دراسة احتمالية الجريان السيلي وإدارة مخاطر السيول وحصاد المياه. ويجب التأكيد على أن الشكل يمثل هيدروغرافًا صناعيًا وحدويًا ناتجًا عن مطر فعال مقداره 1 سم موزع على مساحة الحوض، ولا يمثل هيدروغراف عاصفة مطرية فعلية محددة؛ لذلك تُفهم قيمة تصريف الذروة البالغة 31.96 م³/ثا بوصفها تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي وفق أنموذج Snyder.

الشكل 1 : التمثيل البياني للهيدروغراف الصناعي الوحدوي لحوض وادي كندك وفق نموذجSnyder



المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على نتائج تطبيق نموذج.Snyder

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج الدراسة أن حوض وادي كندك يمتلك خصائص طبيعية ومورفومترية تساعد على توليد الجريان السطحي عند توفر مطر فعال، بلغت مساحة الحوض 50.774 كم²، وطول المجرى الرئيس 14.568 كم، في حين بلغت كثافة التصريف 4.41 كم/كم²، وهي قيمة تعكس قدرة الشبكة المائية على تجميع الجريان ونقله باتجاه المصب. ووضحت الخصائص الطبوغرافية أن الحوض يتسم بتباين ارتفاعي واضح، إذ تراوح الارتفاع بين 772 م و 1497 م، مع سيادة فئات الانحدار المتوسطة والشديدة في مساحة واسعة من الحوض، مما يعزز سرعة انتقال الجريان السطحي. أما مناخيًا، فقد بلغ مجموع الأمطار السنوية 754.94 ملم، مقابل تبخر فعلي بلغ 586.04 ملم، وبفائض مائي سنوي قدره 168.90 ملم، تركز معظمه في أشهر الشتاء وبداية الربيع، وهي الفترة الأكثر قابلية لحدوث الجريان السطحي. ومن المهم ان نذكر ان تقنيات الجيوماتكس اسهمت بشكل كبير في الدراسة من خلال بناء قاعدة بيانات مكانية للحوض، شملت حدوده، ومجراه الرئيس، ومركز ثقله، وشبكته التصريفية، وخصائصه الطبوغرافية والمناخية. وقد وفّرت هذه البيانات الأساس اللازم لتطبيق أنموذج Snyder في حوض غير مرصود هيدرومتريًا، مما يبرز أهمية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في تعويض نقص القياسات الميدانية المباشرة.

أوضحت نتائج أنموذج Snyder أن زمن التركيز بلغ 3.64 ساعة، وزمن التباطؤ 3.064 ساعة، ومدة المطر القياسية 0.557 ساعة، في حين بلغ زمن الذروة 3.3425 ساعة. وتدل هذه القيم على أن الحوض يستجيب للمطر الفعال خلال مدة قصيرة إلى متوسطة نسبيًا. كما بلغ تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي 31.96 م³/ثا لكل 1 سم من المطر الفعال، وهي قيمة تعكس قابلية الحوض لإنتاج جريان سطحي مؤثر عند توفر ظروف مطرية مناسبة. أما زمن الأساس للهيدروغراف فقد بلغ 81.19 ساعة، وهو يمثل الامتداد الزمني النظري للهيدروغراف الصناعي حتى عودة التصريف إلى مستوى قريب من الصفر أو الجريان القاعدي. وتوضح مقارنة زمن الذروة بزمن الأساس أن الحوض يبلغ ذروته خلال مدة قصيرة نسبيًا، ثم يتبع ذلك انخفاض تدريجي طويل في التصريف، وهو ما ظهر في التمثيل البياني للهيدروغراف الصناعي

الاستنتاجات.

١. أظهرت الدراسة أن تقنيات الجيوماتكس وفرت قاعدة بيانات مكانية فعالة لحوض وادي كندك، وأسهمت في استخراج المتغيرات اللازمة لتطبيق أنموذج Snyder في حوض غير مرصود هيدرومتريًا.
٢. يتسم حوض وادي كندك بطبيعة جبلية وانحدارية واضحة، وهو ما يعزز قابلية الحوض لتوليد الجريان السطحي عند توفر مطر فعال.
٣. بلغت مساحة الحوض 50.774 كم²، وطول المجرى الرئيس 14.568 كم، وكثافة التصريف 4.41 كم/كم²، وهي خصائص تدل على تطور الشبكة التصريفية وقدرتها على تجميع الجريان ونقله باتجاه المصب.
٤. أظهرت الموازنة المائية وجود فائض مائي سنوي بلغ نحو 168.90 ملم، تركز في أشهر الشتاء وبداية الربيع، وهي الفترة الأكثر قابلية لحدوث الجريان السطحي.
٥. بيّنت نتائج أنموذج Snyder أن زمن التركيز بلغ 3.64 ساعة، وزمن التباطؤ 3.064 ساعة، وزمن الذروة 3.3425 ساعة، مما يشير إلى استجابة هيدرولوجية قصيرة إلى متوسطة نسبيًا.
٦. بلغ تصريف الذروة للهيدروغراف الوحدوي 31.96 م³/ثا لكل 1 سم من المطر الفعال، وهو ما يعكس قابلية الحوض لإنتاج جريان سطحي مؤثر عند توفر أمطار فعالة.
٧. بلغ زمن الأساس للهيدروغراف 81.19 ساعة، وهو يمثل الامتداد الزمني النظري للهيدروغراف الصناعي، ولا يعني استمرار الخطر السيلي طوال هذه المدة.
٨. تؤكد النتائج أن دمج أنموذج Snyder مع تقنيات الجيوماتكس يمثل أداة مناسبة لتقدير الاستجابة الهيدرولوجية الأولية للأحواض غير المرصودة، مع ضرورة التعامل مع النتائج بوصفها تقديرية وتحتاج إلى معايرة ميدانية عند توفر بيانات التصريف.

التوصيات

١. ضرورة إنشاء محطة رصد هيدرومترية قرب مخرج حوض وادي كندك لقياس التصريف الفعلي والتحقق من نتائج النمذجة. واعتماد بيانات مطرية عالية الدقة زمانيًا ومكانيًا في الدراسات اللاحقة، ولا سيما بيانات العواصف المطرية القصيرة والشديدة.
٢. توجيه الجهات المسؤولة للاهتمام بالأجزاء ذات الانحدارات العالية والغطاء النباتي الضعيف داخل الحوض، لأنها أكثر قابلية للمساهمة في توليد الجريان السطحي.
٣. اقتراح دراسة مواقع مناسبة لحصاد المياه أو إنشاء منشآت صغيرة لتقليل سرعة الجريان والحد من الفقد المائي باتجاه المصب.
٤. تطوير الدراسة مستقبلًا من خلال إدخال عواصف تصميمية وحساب المطر الفعال باستخدام نماذج مناسبة مثل SCS-CN، مع إمكانية استخدام برنامج HEC-HMS لإنتاج هيدروغرافات تفصيلية ومقارنتها بنتائج أنموذج Snyder.
٥. تحديث قاعدة البيانات الجيوماتيكية للحوض بصورة دورية بالاعتماد على مرئيات فضائية حديثة ونماذج ارتفاع رقمية أعلى دقة.
٦. توسيع الدراسة مستقبلًا لتشمل أحواضًا مجاورة، بهدف مقارنة الاستجابة الهيدرولوجية وبناء تصور مكاني أوسع لمخاطر الجريان السطحي في المنطقة.

قائمة المصادر والمراجع :

- عبد الستار، أحمد، وكاظم، حسين. (2016). خطر السيول في وادي مركة سور في أربيل العراقية: دراسة هيدرومورفومترية تطبيقية. مجلة الفنون والأدب وعلوم الإنسانيات والاجتماع، (8)، 220.
- Buringh, P. (1960). *Soils and soil conditions in Iraq*. Ministry of Agriculture, Baghdad.
- Bhunya, P. K., Panda, S. N., & Goel, M. K. (2011). Synthetic unit hydrograph methods: A critical review. *The Open Hydrology Journal*, 5, 1–8. https://doi.org/10.2174/1874378101105010001

- Dawod, G. M., & Koshak, N. A. (2011). Developing GIS-based unit hydrographs for flood management in Makkah metropolitan area, Saudi Arabia. *Journal of Geographic Information System, 3*, 153–159. https://doi.org/10.4236/jgis.2011.32012
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics, 45*(2), RG2004. https://doi.org/10.1029/2005RG000183
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data, 2*, 150066. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031
- Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F., & Porfiri, M. (2012). Time of concentration: A paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal, 57*(2), 217–228. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.644244
- Iraq Geological Survey. (2000). *Geological map of Iraq, scale 1:1,000,000*. State Company of Geological Survey and Mining, Ministry of Industry and Minerals, Iraq.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., & Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data, 13*, 4349–4383. https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021
- Othman, D. H., & Al-Qayim, B. A. (2010). Lithofacies association, dolomitization, and potentiality of the Pila Spi Formation, Taq Taq oil field, Kurdistan Region, NE Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 6*(2), 95–114.
- Singh, P. K., Mishra, S. K., & Jain, M. K. (2014). A review of the synthetic unit hydrograph: From the empirical UH to advanced geomorphological methods. *Hydrological Sciences Journal, 59*(2), 239–261. https://doi.org/10.1080/02626667.2013.870664
- U.S. Army Corps of Engineers. (1994). *Flood-runoff analysis* (Engineer Manual EM 1110-2-1417). Department of the Army. https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1417.pdf

❖ U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2026). Snyder unit hydrograph model. In *HEC-HMS Technical Reference Manual*. https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/transform/snyder-unit-hydrograph-model