

النمذجة الهيدرولوجية للسيول في حوض وادي القرن شرق قفط بالصحراء الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

د. محمد إبراهيم محمد خطاب*
أ. مها كمال سليم**

الملخص:

يعد وادي القرن من الأحواض الرئيسية في صحراء مصر الشرقية، ويتألف من ثلاثة أحواض رئيسية، هي: الحمامات والقش وزيدون، و٢٦ حوضاً فرعياً، ويمتد في الحوض جزء من طريق قفط - القصير، ويتعمد عليه طريق القاهرة - أسوان الصحراوي الشرقي، ويوجد في الحوض العديد من المناطق العمرانية والأراضي الزراعية، وللحوض إمكانات واعدة للتنمية الاقتصادية والعمرانية، وتقع مساحة كبيرة منه ضمن مشروع المثلث الذهبي. ويدرس البحث النمذجة الهيدرولوجية للحوض، وذلك لتقدير كميات السيول المحتمل حدوثها عند فترات رجوع مختلفة، وتمت النمذجة عن طريق تطبيق نموذج HEC-HMS. وتم استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتوفير البيانات التي يحتاجها النموذج بدقة عالية، والمتمثلة في الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف، وتصنيف التربة والغطاء الأرضي، وحساب الغطاء النباتي، وتحديد المجموعات الهيدرولوجية للتربة، والمنحنى العددي CN، والمنحنى العددي الموزون لأحواض الروافد، وحساب زمني التركيز والتباطؤ، وتقدير عمق الأمطار، وإعداد العاصفة التصميمية، وتلى ذلك تحليل نتائج النموذج على حوض وادي القرن وأحواض الروافد، وشملت تقدير كمية السيول والتصريف وزمن الوصول لقمة التصريف، ثم التحليل الهيدرولوجي لمورفولوجي لتحديد درجات خطورة سيول أحواض الروافد، وقد قدرت الدراسة كمية السيول التي ستحدث في الحوض عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ و ١٢.٦ و ٢٦ و ٥٨.٤ مليون م^٣ على التوالي. وفي ضوء ذلك تم تقييم طرق الحماية الموجودة حالياً، ووضع مجموعات من المقترحات للاستفادة من مياه السيول ودرء أخطارها، وقد أوصت الدراسة بإنشاء سدين وحفر ثلاث بحيرات اصطناعية للاستفادة من مياه السيول والحماية من أخطاره.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٢) العدد (٧٧) يونيو ٢٠٢١، ص ص ١-٥٩)

الكلمات الدالة: وادي القرن، وادي الحمامات، السيول، النمذجة الهيدرولوجية، التحليل الهيدرولوجي، نموذج HEC - HMS، طريقة SCS-CN.

* أستاذ مساعد الجغرافيا الطبيعية، كلية الآداب - جامعة القاهرة.

** مدرس مساعد الجغرافيا الطبيعية، كلية الآداب - جامعة القاهرة.

للتواصل: e-mail: Khattab.mohammed80@gmail.com

المقدمة:

تعد دراسة السيول من الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية المهمة والمعقدة، وتحتاج إلى توفير كم كبير ومتنوع من البيانات، وقد مرت دراسة السيول مؤخرًا بتطورات كبيرة، وارتبط ذلك بتوفر وتنوع مصادر البيانات في ظل التطورات الكبيرة في الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية والنماذج الهيدرولوجية، وأصبح من الممكن محاكاة السيول في الطبيعة بدقة عالية، وبالتالي تقدير كمية الفوائد، وصافي الجريان، وكمية الرواسب المنقولة، وكذلك رصد القنوات النشطة للسيول، والمناطق المتضررة من السيول، ويساعد كل ذلك في وضع مجموعة من المقترحات لدرء خطر السيول والاستفادة من مياهها.

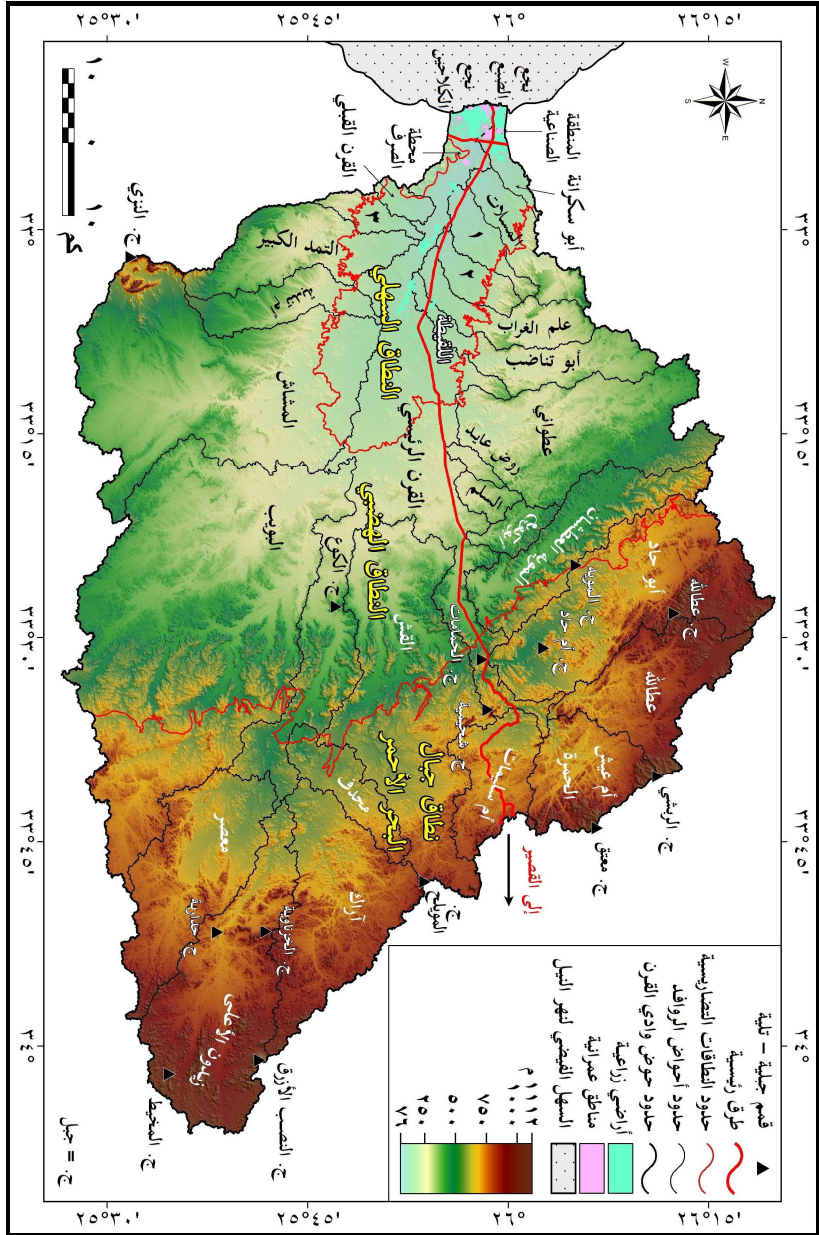
ويهتم هذا البحث بالنمذجة الهيدرولوجية لسيول حوض وادي القرن من خلال تطبيق نموذج HEC-HMS^(١)، واعتمدت الدراسة على الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتوفير البيانات التي يحتاجها النموذج، وقد روعي أن تكون هذه البيانات على درجة عالية من الدقة، وذلك لاستخدامها في تقدير كميات السيول المحتمل حدوثها عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، وكذلك في تحليل الخصائص الهيدرولوجية المختلفة لحوض وادي القرن وأحواض الروافد، وكذلك تحليل خريطة درجات خطورة السيول في أحواض الروافد، وبناءً عليه سيتم تقييم طرق الحماية الموجودة حالياً، ووضع مجموعات من المقترحات لدرء خطر السيول المستقبلية والاستفادة من مياهها.

ويقع حوض وادي القرن في صحراء مصر الشرقية، وينبع من جبال البحر الأحمر وهضبة العبادية الرملية في الشرق، ويصب في وادي النيل في الغرب عند قرية نجع الكلايين بالقرب من مدينة قفط بمحافظة قنا (شكل ١)، ويحده من الشمال أحواض القرية والسري والشيخ عطية، ومن الشرق أحواض القويح والعمباجي وأسل، ومن الجنوب أحواض عباد وحجازة والحجيات، ويمتد الحوض فلكياً بين دائرتي عرض ٣٤° ٢٦' ٢٥° و ٥٦° ١٩' ٢٦° شمالاً وبين خطي طول ٣١° ٥٠' ٣٢° و ٣١° ٠٦' ٣٤° شرقاً. وبهذا تبلغ جملة مساحته^(٢) ٧٢٣١.٥ كم^٢. وهو بذلك يعد من الأحواض الرئيسية في الصحراء الشرقية، ويتألف من ثلاثة أحواض رئيسية، هي: الحمامات والقش وزيدون، وتم تقسيمها إلى ٢٦ حوضاً فرعياً، وتتراوح رتب المجاري بالحوض بين الرتبتيين الأولى والعاشره تبعاً لتصنيف استريلر.

(١) اختصار مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام النمذجة الهيدرولوجية Hydrologic Engineering

.Center-Hydrologic Modeling System

(٢) اعتماداً على الاستخلاص الآلي للشبكات والأحواض من نموذج الارتفاع الرقمي ALOS-PALSAR.



شكل (١) : بعض الملامح الجغرافية العامة لحوض وادي القرن.

المصدر: اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي ALOS-PALSAR بدقة مكانية 12.5 م، والتصنيف الموجه المرئية الفضائية Sentinel-2 بتاريخ ٢٠ مايو ٢٠٢٠، والاستخلاص الآلي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS، والخرائط الطبوغرافية مقياس 1:٥٠,٠٠٠، والدراسة الميدانية.

وتتنوع الصخور الموجودة في الحوض بين الصخور النارية والمتحولة والرسوبية، وينقسم الحوض إلى ثلاثة نطاقات تضاريسية، وهي: نطاق جبال البحر الأحمر، ويشغل الجزء الشرقي من الحوض ويمثل ٤٠% من مساحة الحوض، ومن أهم جباله: معترك (١١١٢ م)، والنصب الأزرق (١٠٦٢ م)، والرشي (٩٩٦ م)، ويقطع الجبال عدد كبير من الصدوع العادية والديسرية والأفقية، كما تجري به أعداد كبيرة من الأودية، ويتمثل النطاق الثاني في النطاق الهضبي، والذي يشغل الجزئين الأوسط والغربي من الحوض، ويمثل ٥٠.٤% من مساحة الحوض، ويعد جزء من هضبة العباددة الرملية، ويتكون من صخور رسوبية معظمها من الحجر الرملي والطباشيري (الكريتاسي الأعلى)، والحجر الجيري (الباليوسين والإيوسين والبليوسين)، ويتميز الجزء الشرقي المجاور لجبال البحر الأحمر بوجود حافات خط صدع مرتبطة بتكون الأخدود الأفريقي العظيم، ويتسم سطح الهضبة بأنه سطح تعرية شبه مستو، وتنتشر فوقه القليل من التلال والهضبات المنعزلة، منها: جبل النزي (٧٦٣ م)، وجبل الكوع (٣٦٤ م)، وجبل القرن (٢١٢ م). ويقطع سطحها عدد كبير من الأودية، ويتمثل النطاق الثالث في النطاق السهلي والذي يشغل الجزء الأدنى من الحوض، ويمثل ٩.٦% من مساحته، ويتألف في الأساس من قاع الوادي الرئيسي والمروحة الفيضية للحوض والمراوح الفيضية لبعض أحواض الروافد التي تصب في هذا النطاق، ويتراوح ارتفاعه بين ٧٦ و ١٦٠ م، ويتسم سطحه بشبه الاستواء.

مشكلة الدراسة:

تقع مساحة كبيرة من حوض وادي القرن ضمن مشروع المثلث الذهبي، وللحوض إمكانات واعدة للتنمية الزراعية والعمرائية والتعدينية، كما يوجد حالياً في الحوض مناطق عمرانية وصناعية وزراعية، وهذه المناطق معرضة للسيول بشكل كبير، ومن هنا تتبع مشكلة الدراسة وتتمثل في مدى إمكانية تطبيق النمذجة الهيدرولوجية لسيول الحوض على فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، في ظل قلة تطبيق النماذج الهيدرولوجية الآلية في الدراسات الجيومورفولوجية، كما تتمثل مشكلة الدراسة في التعرف على مدى مساهمة تحليل الخريطة الهيدرولوجية لأخطار سيول أحواض الروافد، وبالتالي يمكن تقييم وسائل الحماية الموجودة حالياً، واقتراح وسائل أخرى لدرء أخطار السيول والاستفادة من مياهها، بما يساعد على التنمية المستقبلية والمستدامة للحوض.

تساؤلات الدراسة:

- ١- هل يمكن استخدام النمذجة الهيدرولوجية في محاكاة السيول في حوض وادي القرن؟
- ٢- ما أهم البيانات التي تحتاجها النمذجة الهيدرولوجية للسيول؟

- ٣- كيف يمكن تطبيق الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الهيدرولوجية في دراسة السيول؟
- ٣- هل يمكن أن يعطي تحليل النموذج الهيدرولوجي شبه التوزيعي نتائجاً جيدة لسيول حوض الدراسة؟
- ٤- ما أهم المتغيرات الهيدرولوجية التي يمكن أن تستخدم لتحديد درجات خطورة سيول أحواض الروافد؟
- ٥- ما مدى فاعلية طرق الحماية الحالية في مجابهة السيول والاستفادة من مياهها؟ وهل يمكن اقتراح مجموعة من الطرق الأخرى؟

أسباب اختيار موضوع ومنطقة الدراسة:

- ١- التكرارية المرتفعة لسيول الحوض وما يترتب عليها من أضرار، وآخرها سيل مايو ٢٠٢٠.
- ٢- عدم وجود دراسة جيومورفولوجية للسيول باستخدام النمذجة الهيدرولوجية الآلية.
- ٣- توفر العديد من مصادر البيانات مثل: بيانات الأمطار لفترة تصل إلى ٩٠ سنة، ونماذج الارتفاع الرقمية، ومرئيات فضائية متنوعة، بالإضافة إلى الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية.
- ٤- الإمكانيات الواعدة للتنمية في حوض وادي القرن باعتباره يمثل مساحة كبيرة من مشروع المثلث الذهبي.

أهداف الدراسة:

- ١- محاولة استخدام النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS لدراسة سيول الحوض لفترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة.
- ٢- توظيف الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في توفير البيانات عالية الدقة التي يحتاجها النموذج.
- ٣- محاولة تقييم نتائج خشونة رواسب بطون الأودية باستخدام المرئيات الفضائية الرادارية.
- ٤- تقييم الوضع الحالي لوسائل الحماية من خطر السيول، واقتراح مجموعة أخرى من الوسائل لدرء أخطار السيول والاستفادة من مياهها.

مناهج الدراسة وأساليبها:

اعتمدت الدراسة على أربعة مناهج رئيسية، تتمثل في المنهج الموضوعي حيث أن البحث يدرس موضوع النمذجة الهيدرولوجية للسيول، والمنهج الإقليمي حيث سيتم التطبيق على حوض وادي القرن، وللحوض حدود واضحة، وستعتمد الدراسة أيضاً على المنهج التطبيقي أو النفعي حيث

سيتم دراسة السيول بهدف درء أخطارها والاستفادة من مياهاها، كما سيتم استخدام ثلاثة أساليب هي: الكمي، والوصفي التحليلي، والكارتوجرافي.

مصادر الدراسة:

أ- الدراسات السابقة: تم دراسة حوض وادي القرن أو أجزاء منه في عدد من الدراسات الجيومورفولوجية، تتمثل في دراسة (الشيخ، ١٩٩٠) وكان من ضمن مناطق هذه الدراسة مصب حوض وادي القرن حتى خط كنتور ١٢٠ م، وكذلك تم دراسة أحواض وشبكات التصريف والظروف الهيدرولوجية، ودراسة (اسماعيل، ٢٠١٠) واهتم بالأشكال الأرضية الموجودة على طريق قفط - القصير، والأخطار المرتبطة بها، وكان من ضمنها السيول وحركة المواد، ودراسة (عبدالحليم، ٢٠١١) عن الأخطار الجيومورفولوجية على طول طريق قفط - القصير، وتناولت الخصائص الجغرافية العامة للحوض، ودرس أخطار التجوية وحركة المواد، وكذلك درس السيول ووضع مجموعة من المقترحات لدرء أخطارها، ودراسة (دندراوي، ٢٠١٣) ودرس فيها الجيومورفولوجيا التطبيقية لوادي النيل بين الأقصر وقنا، وذلك حتى خط كنتور ٢٠٠ م، ودراسة (درويش، ٢٠١٣) عن تنمية الهوامش النيلية - الصحراوية بمحافظة قنا والأقصر، وكان من ضمنها مساحة صغيرة من حوض الدراسة، وتجدر الإشارة إلى أن جميع الدراسات السابقة لم تدرس حوض وادي القرن بالتفصيل، ولم تطبق النماذج الهيدرولوجية الآلية لدراسة السيول، كما لم تهتم بتحليل الخريطة الهيدرولوجية لأخطار سيول أحواض الروافد، وكلها موضوعات تهتم بها الدراسة الحالية.

ب- الخرائط: اعتمدت الدراسة على مجموعة الخرائط الطبوغرافية إنتاج هيئة المساحة المصرية، مقياس ١: ٥٠٠.٠٠٠، عام ١٩٩٠، ويغطي الحوض ٢٢ لوحة، كما اعتمدت الدراسة على الخرائط الجيولوجية إنتاج هيئة المساحة الجيولوجية، مقياس ١: ٢٥٠.٠٠٠، عام ١٩٩٢، ويغطي الحوض لوحتان هما: القصير والبرامية، وقد تم ضبط إحداثيات جميع الخرائط ومسقتها وعمل موزايك لها.

ج- نماذج الارتفاع الرقمية: اعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي ALOS PALSAR، وهو أحدث النماذج المنشورة على الانترنت وأعلىها في الدقة المكانية ١٢.٥ م، وسيستخدم في الإستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف، وفي تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS.

د- المرئيات الفضائية وصور Google Earth: اعتمدت الدراسة على المرئية الفضائية Sentinel-2 وقد استخدمت في إجراء التصنيف الموجه للغطاء الأرضي، وحساب مؤشر النبات بدقة مكانية ١٠ م. كما تم استخدام المرئية الرادارية PALSAR بدقة مكانية ١٢.٥ م،

وذلك للاستخلاص الآلي لخشونة رواسب بطون الأودية، بالإضافة إلى استخدام الصور عالية الدقة المكانية في برنامج Google Earth.

و- **الدراسة الميدانية:** تم القيام بثلاث دراسات ميدانية، تمت الأولى من ٣-٧ فبراير ٢٠١٩، والثانية من ٢-٩ فبراير ٢٠٢٠، والثالثة من ١٢-٢٠ سبتمبر ٢٠٢٠، وتم خلالها دراسة الخصائص الجغرافية للحوض، والتحقق من دقة نتائج الاستخلاص الآلي لخشونة رواسب بطون الأودية من المرئية الرادارية PALSAR ومحاولة تقييم وسائل الحماية القائمة بالفعل، وتحديد مواقع الوسائل المقترحة للحماية المستقبلية وذلك لدرء خطر السيول من جهة والاستفادة من مياهها من جهة أخرى.

عناصر البحث:

- أولاً: تعريف النمذجة الهيدرولوجية وأنواعها.
- ثانياً: تطبيق النموذج الهيدرولوجي شبه التوزيعي HEC-HMS.
- ثالثاً: تحليل نتائج نموذج HEC-HMS على حوض وادي القرن وأحواض الروافد (كمية السيول - التصريف - زمن الوصول لقمة التصريف).
- رابعاً: التحليل الهيدروجيومورفولوجي لتحديد درجات خطورة سيول أحواض الروافد.
- خامساً: درء خطر السيول والاستفادة من مياهها.
- النتائج والتوصيات.

أولاً - تعريف النمذجة الهيدرولوجية وأنواعها :

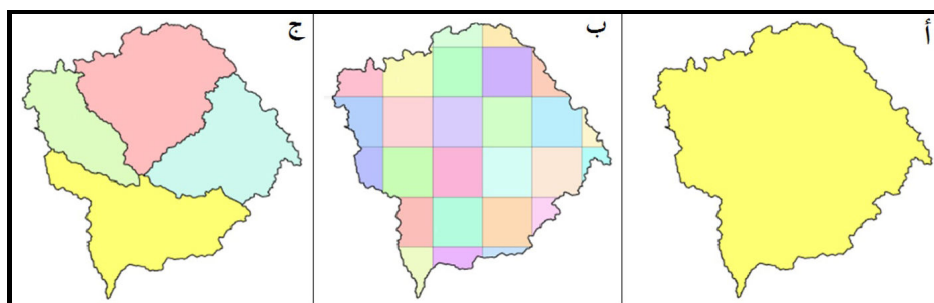
يقصد بالنمذجة الهيدرولوجية محاكاة لعمليات الجريان التي تحدث في أحواض التصريف مع أول لحظة لحدوث التساقط وحتى انتهاء الجريان، ويؤدي التعقيد الكبير في النظم الهيدرولوجية إلى صعوبة وصف ودراسة الخصائص الفعلية لبعض العمليات الهيدرولوجية في الطبيعة؛ ويرجع ذلك إلى ندرة القياسات الميدانية (Tulu, 2005, p. 9). ولذلك يتم اللجوء إلى النمذجة الهيدرولوجية والتي تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية (شكل ٢)، هي:

- أ- **النماذج الهيدرولوجية المدمجة Lumped:** يتم في هذه النماذج التعامل مع كل الحوض كوحدة واحدة، وبالتالي يتم حساب جميع المتغيرات الهيدرولوجية والخروج بقيمة واحدة تمثل المتوسط العام لحوض التصريف، ويعاب عليها أنها لا تعطي نتائج دقيقة في حالة الأحواض كبيرة المساحة وغير المتجانسة؛ وذلك لأنها لا توضح الاختلافات المكانية للخصائص الهيدروجيومورفولوجية،

بينما يمكن أن تعطي نتائج جيدة في حالة أحواض التصريف صغيرة المساحة وقليلة الاختلافات (Yao, et al., 1998, p. 163).

ب- **النماذج الهيدرولوجية التوزيعية Distributed**: تعتمد هذه النماذج على تقسيم الحوض إلى مجموعة من الخلايا، ويتم حساب البيانات على مستوى كل خلية، وبالتطبيق على كل طبقة من طبقات البيانات المستخدمة، وبالتالي تعتمد جميع الحسابات على كل الخلايا الموجودة في الحوض، ويصبح لكل خلية قيمة تؤثر في الخلايا المجاورة لها وتتأثر بها أيضاً، وترتبط دقة نتائج هذا النموذج بالدقة المكانية للبيانات المستخدمة، ويتطلب تنفيذ مثل هذه النماذج إلى حاسبات آلية ذات كفاءة عالية جداً، خاصة في نمذجة الأحواض كبيرة المساحة (Tulu, 2005, pp. 9-10).

ج- **النماذج الهيدرولوجية شبه التوزيعية Semi Distributed**: يجمع هذا النوع من النماذج بين النماذج المدمجة والنماذج التوزيعية؛ حيث يتم فيها تقسيم حوض التصريف إلى عدد من أحواض الروافد، ويتم حساب متوسط المتغيرات الجيولوجية والتضاريسية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية لكل حوض فرعي، وفي هذه الحالة فإن درجة تفاصيل المعلومات المشتقة من النموذج تعتمد أساساً على مساحة أحواض الروافد المستخدمة (Tulu, 2005, pp. 9-10). ويعد نموذج HEC-HMS من أشهر هذه النماذج وأكثرها استخداماً، وسيتم استخدامه في النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي القرن وأحواض الروافد البالغ عددها ٢٦ حوضاً، وذلك عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، وباستخدام السجل التاريخي للأمطار في محطات أرصاد قنا والأقصر والقصر خلال الفترة من ١٩٢٩-٢٠١٨، وذلك لتحديد قيم عمق المطر.



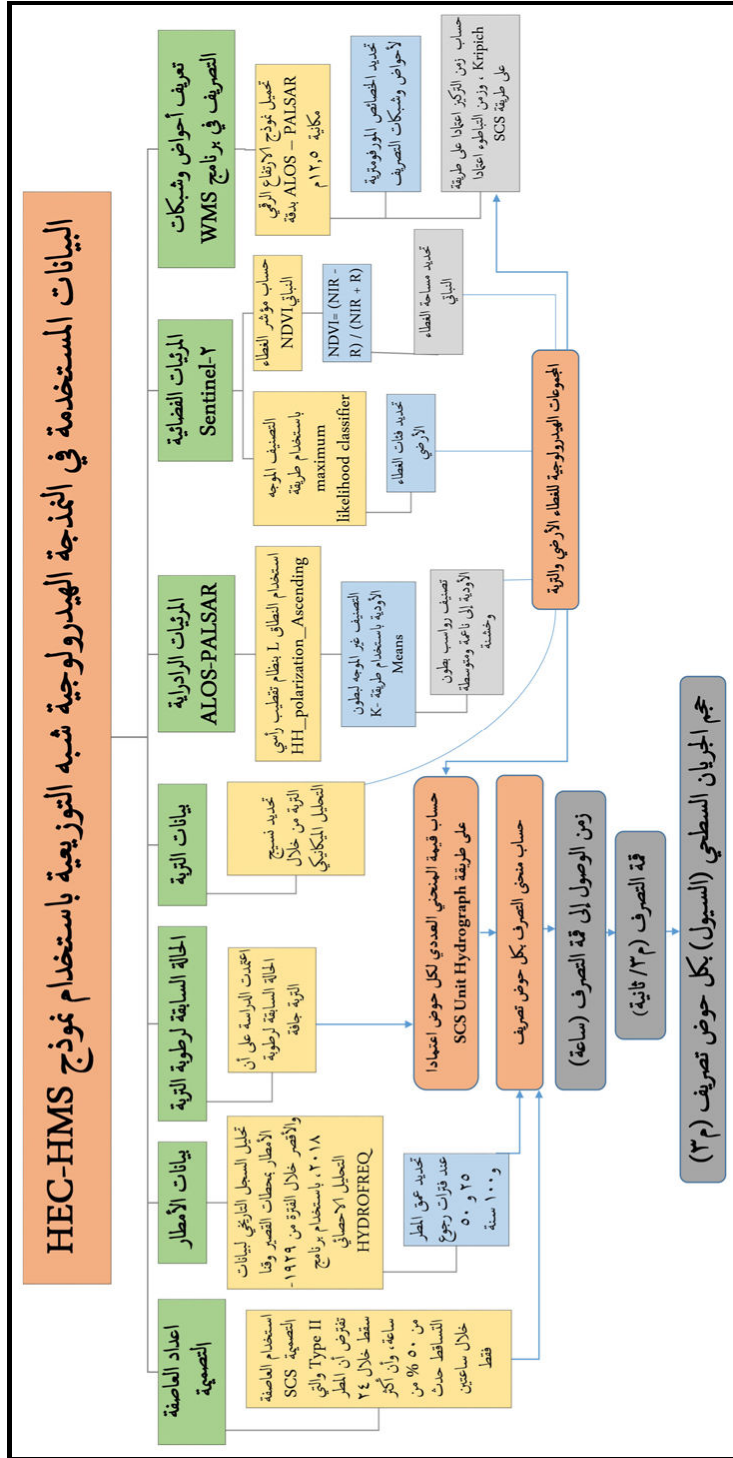
شكل (٢) : أنواع النماذج الهيدرولوجية (أ- المدمجة، ب- التوزيعية، ج- شبه التوزيعية).
Source: Wi, et al., 2015, p. 864.

ثانياً - تطبيق النموذج الهيدرولوجي شبه التوزيعي HEC-HMS :

يعد نموذج HEC-HMS أحد النماذج الهيدرولوجية شبه التوزيعية الشائعة الاستخدام، وقد تم تطويره بواسطة مركز الهندسة الهيدرولوجية التابع لسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي، وذلك لمحاكاة العمليات الهيدرولوجية الخاصة بالأمطار والجريان السطحي في أحواض التصريف (Scharffenberg, 2013, p. 1)، وتم اختيار هذا النموذج لعدة أسباب، تتمثل في أنه من النماذج الصالحة للتطبيق على المناطق الجافة وشبه الجافة، وله قدرة كبيرة على حساب العديد من المعاملات الهيدرولوجية على فترات رجوع يحددها المستخدم اعتماداً على السجل التاريخي لبيانات الأمطار، ومن أهم هذه المعاملات الهيدرولوجية: حساب منحنيات التصريف، وتقدير كمية الفواقد، وكمية التسرب في التربة، وكمية الجريان السطحي، وأقصى تصرف للسيول، وزمن الوصول لقمة التصريف وغيرها، ويتم ذلك إما اعتماداً على القياسات الميدانية للسيول، أو اعتماداً على طرق اصطناعية في حالة عدم توفر هذه القياسات، ويحتاج تطبيق هذا النموذج إلى توفير مجموعة كبيرة من البيانات، وتتوقف دقة نتائج النموذج على دقة وجودة البيانات المستخدمة، ويعرض شكل (٣) هذه البيانات، وهي كالتالي:

١) الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف:

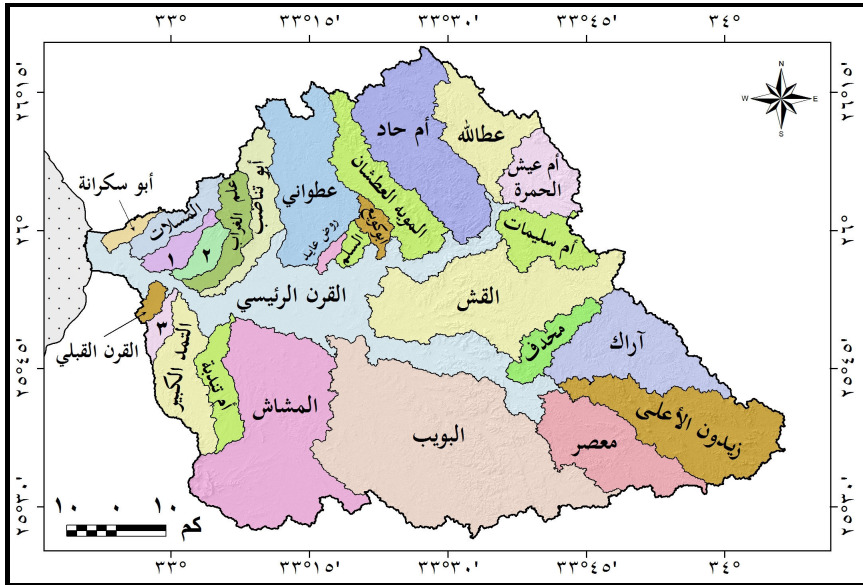
تم الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات تصريف حوض وادي القرن اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي ALOS PALSAR بدقة مكانية ١٢.٥ م، وللتأكد من دقة الاستخلاص الآلي تمت مقارنة نتائجه بصرياً مع الصور عالية الدقة المكانية في برنامج Google Earth، وبناءً عليه يوجد في الحوض ١٠٨٩٦٢ مجرى تتراوح رتبها بين الأولى والعاشر تبعاً لتصنيف استريلر، وتم تقسيم الحوض إلى ٢٦ حوضاً فرعياً بالإضافة إلى حوض وادي القرن الرئيسي. وقد تم التقسيم اعتماداً على شرطين: الأول أن يصب الرافد في الوادي الرئيسي، والثاني ألا تقل رتبة المجرى الرئيسي للرافد عن الرتبة الخامسة، وبناءً عليه تتمثل هذه الأحواض من الأكبر مساحة إلى الأصغر في: البويب، والمشاش، والقش، وأم حاد، وزيدون الأعلى، وعطواني، وآراك، ومعصر، والمويه العطشان، وعطاش، والتند الكبير، وأم عيش الحمراء، وأم سليمان، وأبو تناضب، وأم تننبة، وعلم الغراب، ومحدف، والمسلات، و١، و٢، وأبو كويج، و٣، والسلم، وأبو سكرانة، والقرن القبلي، وروض عايد، وجميعها تحمل أسماء على الخرائط الطبوغرافية فيما عدا ثلاثة أحواض تم إعطائها أرقام ١ و٢ و٣ كما في شكل (٤)، وقد تم حساب المعاملات المورفومترية لأحواض وشبكات التصريف بطريقة آلية في برنامج WMS.



شكل (٣) : البيانات المستخدمة في نمذجة سيول حوض الدراسة باستخدام نموذج HEC-HMS .

المصدر: من إعداد الباحثين اعتماداً على الخطوات البيانات التي تم استخدامها في تطبيق النموذج.





شكل (٤) : أحواض تصريف الروافد في حوض وادي القرن.

المصدر: اعتماداً على الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف من نموذج ALOS-PALSAR، وأسماء الأحواض من الخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 500,000.

٢) تصنيف التربة والغطاء الأرضي:

أ- تصنيف التربة:

يعد نسيج التربة من المعاملات المهمة التي تحدد مقدار التسرب، وبالتالي لها تأثير على كمية السيول، وتتوزع التربة بحوض الدراسة في بطون الأودية، وفي القطاع الأدنى من الحوض بمناطق السهول الحصوية والرملية والمراوح والمدرجات الفيضية والبلايات. وسيتم تصنيف نسيج التربة على مصدرين، الأول خاص بتربة القطاع الأدنى من الحوض، وستعتمد فيه الدراسة على الخريطة التفصيلية لنتائج دراسة (خطاب، وسليم، ٢٠٢١، تحت الطبع)، والتي تم فيها تقسيم نسيج تربة القطاع الأدنى من الحوض إلى أربع فئات، هي: الرملية، والرملية الطميية، والطينية الرملية، والطينية الرملية، وتبلغ مساحتها ٨.٧، و٣٠٠.١، و١٩٦.٥، و٢١ كم^٢ على التوالي، بإجمالي ٧.٣% من جملة مساحة الحوض. ويتمثل المصدر الثاني في استخدام المرئيات الرادارية PALSAR للتصنيف الآلي لنسيج التربة ببطون الأودية، وذلك بتطبيق الخطوات التالية:

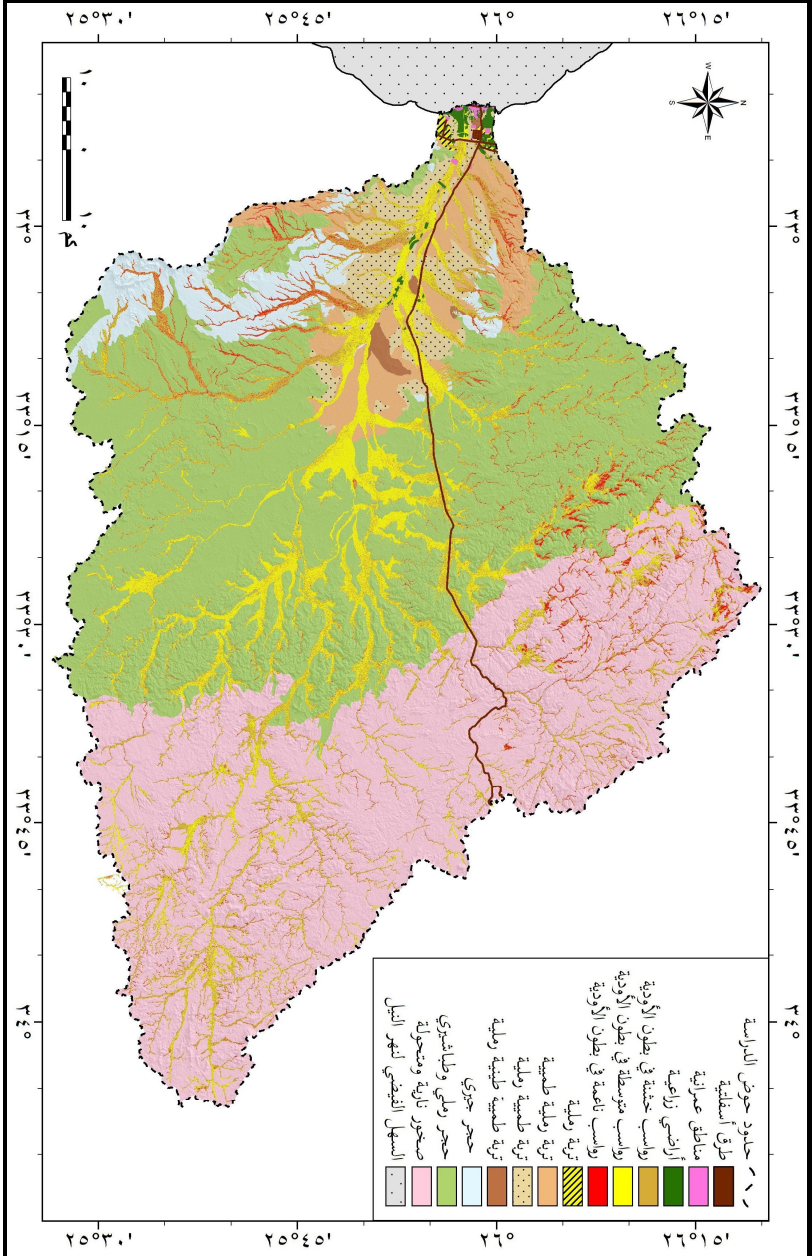
- استخدام طبقة بطون الأودية المستخلصة آلياً من التصنيف الموجه للمرئية الفضائية Sentinel-2، والتي تم استكمالها من الخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 500,000.
- الاعتماد على النطاق L في المرئية الرادارية PALSAR، وهذا النطاق بنظام تقطيب أفقي تصاعدي HH Polarization Ascending، وتم قص طبقة بطون الأودية من هذا النطاق.

- تطبيق التصنيف غير الموجه باستخدام طريقة K-Means للنطاق L، والتي تعتمد على تحديد عدد من نوايات التجميع (الفئات) بشكل عشوائي، ثم تحديد عضوية الخلايا بداخل كل نواة، ثم إعادة تحديد المكان الأمثل لنواة التجميع، يلي ذلك البدء في تكرارية التصنيف حتى الوصول إلى أقل مسافة بين البيانات ونواة التجميع، وتتوقف دقة هذه الطريقة على مجموعة من المحددات يحددها المستخدم وتتمثل في: عدد الفئات، عدد مرات التكرارية القصوى Maximum Iteration، وأقصى معامل للتقارب Convergence، وهو الحد الذي لا تتغير عنده الخلايا من فئة إلى أخرى (ENVI Help 5.1). وبالتالي ولضمان جودة نتائج التصنيف يجب التأكد من أن عملية التصنيف قد انتهت بالوصول إلى أقصى معامل للتقارب وليس الحد الأقصى للتكرارية، وذلك لأنه من الممكن أن يصل إلى أقصى حد للتكرار دون الوصول إلى أفضل تصنيف، لذلك يفضل عادة وضع قيمة تكرارية كبيرة تسمح بالوصول لأقصى معامل تقارب (٩٥%)، وللوصول إليه في حوض الدراسة تم استخدام تكرارية قصوى ١٠ مرات.

وبناءً على ما سبق تم تصنيف رواسب بطون الأودية إلى ثلاثة أنواع، هي: ناعمة ومتوسطة وخشنة كما في شكل (٥)، وتم التحقق من دقة النتائج ميدانياً بالمقارنة مع ٣٠ نقطة تحقق موزعة في الحوض، وتعرض صور (١-أ، ب، ج) نماذج لذلك. وقد خلصت الدراسة إلى أن جملة مساحة رواسب بطون الأودية الخشنة والمتوسطة والناعمة تبلغ ٥٨٥.٢ و ٥٤٤.٣ و ١١٣.١ كم^٢ على التوالي، بإجمالي ١٧.٢% من جملة مساحة الحوض.

ب- الغطاء الأرضي Land Cover :

يحتاج النموذج إلى تحديد أنواع الغطاء الأرضي، سواء كان طبيعياً (أنواع الصخور)، أم بشرياً (المناطق العمرانية والزراعية والطرق وغيرها)، وذلك لتأثير نوع الغطاء الأرضي على كمية الفوائد، وبالتالي على كمية السيول. وقد تم تصنيف الغطاء الأرضي اعتماداً على المرئية الفضائية Sentinel-2 بتاريخ ١٠ مايو ٢٠٢٠، وذلك من خلال تطبيق التصنيف الموجه باستخدام طريقة Maximum Likelihood Classifier، وتعتمد هذه الطريقة في التصنيف على حساب مدى احتمالية وقوع الخلية المراد تصنيفها بالقرب من متوسط الفئات المختلفة المحددة اعتماداً على البيانات المستخرجة من مواقع التدريب Training Sites، ويتم تخصيص الفئة المناسبة اعتماداً على أعلى نتيجة احتمالات من بين الفئات المختلفة، ويتم ذلك من خلال حساب المتوسط المتجه ومصنوفة التباين لكل فئة باستخدام بيانات مواقع التدريب، ويتم حساب الاحتمالات لقيمة الخلية المراد تعيين فئتها، وبالتالي فإن كل الخلايا الموجودة في المرئية يتم تصنيفها (ENVI Help 5.1)، وقد تم تعريف فئات الغطاء الأرضي اعتماداً على الخرائط الجيولوجية مقياس ١: ٢٥٠.٠٠٠، لوحتي القصير والبرامية، وكذلك من خلال الدراسة الميدانية، وصور Google Earth. ويعرض شكل (٥) وجدول (١) نتائج التصنيف الموجه، ويلاحظ أن هناك تنوع كبير في فئات الغطاء الأرضي بحوض الدراسة، وهذه الفئات هي:



شكل (٥) : تصنيف العطاء الأرضي والتربة في حوض وادي القرن.

المصدر: اعتماداً على التصنيف الموجه للمزمنة الفضائية Sentinel-2، والتصنيف غير الموجه للمزمنة الرادارية PALSAR، ونتائج التحليل الميكانيكي والكيميائي للتربة في القطاع الأدنى من الحوض.



صورة (١) : نماذج للتحقق الميداني من خشونة الرواسب المستخلصة من المرئيات الرادارية PALSAR، أ- الرواسب الخشنة في وادي القرن الرئيسي، ب- الرواسب المتوسطة في وادي آراك، ج- الرواسب الناعمة في وادي الحمامات.

جدول (١) : التربة والغطاء الأرضي والمجموعات الهيدرولوجية والمنحنى العددي في الحوض.

المساحة (%)	المساحة (كم ^٢)	قيمة CN	المجموعة الهيدرولوجية للتربة	أنواع التربة والغطاء الأرضي
٠.٠٣	٢.٢	٩٤	D	الطرق
٠.١	٦.٣	٩٤	D	المناطق العمرانية
٠.٢٦	١٨.٨	٤٢	A	المناطق الزراعية
٨.١	٥٨٥.٢	٤٢	A	الرواسب الحصوية الخشنة ببطون الأودية
٧.٥	٥٤٤.٣	٤٢	A	الرواسب الحصوية المتوسطة ببطون الأودية
١.٦	١١٣.١	٥٩	B	الرواسب الناعمة ببطون الأودية
٠.١٢	٨.٧	٤٢	A	التربة الرملية
٤.٢	٣٠٠.١	٤٢	A	التربة الرملية الطميية
٢.٧	١٩٦.٥	٥٩	B	التربة الطميية الرملية
٠.٢٩	٢١	٧٠	C	التربة الطميية الطينية الرملية
٣.٧	٢٧٠.٤	٩٥	D	الصخور الجيرية
٣٦.٧	٢٦٥٣.٢	٧٠	C	الصخور الرملية والطباشيرية الكريتاسية
٣٤.٧	٢٥١١.٩	٩٥	D	الصخور النارية والمتحولة

المصدر: اعتمادًا على تطبيق معادلات طريقة SCS-CN على حوض الدراسة.

- **الصخور النارية والمتحولة:** توجد في جبال البحر الأحمر بالجزء الشرقي من الحوض، وذلك في أحواض أم حاد، وعطائه، وأم سليمان، وأم عيش الحمراء، ومحدف، وأراك، وزيدون الأعلى، ومعصر، ومنايع وادي القش والبويب، ومن أهم الصخور الموجودة بالحوض صخور: الأوفيوليت، والجرانوديورايت، ورسوبيات الحمادات المتحولة، وفلسيت ما بعد الحمادات، والجرانيت الحديث، وتبلغ مساحتها ٢٥١١.٩ كم^٢ (٣٤.٧% من مساحة الحوض).
- **صخور الحجر الرملي والحجر الطباشيري:** تبلغ مساحتها ٢٦٥٣.٢ كم^٢ (٣٦.٧% من مساحة الحوض)، وتوجد في هضبة العبايدة الرملية، وذلك في أحواض المويه العطشان، وعطواني، والسلم، وروض عايد، وأبو تناضب، والمشاش، وفي مساحات كبيرة من حوضي القش والبويب، وترجع هذه الصخور إلى الكريتاسي الأعلى، ومن أهم التكوينات هي: النوبة والقصير وضوي والداخلية.

- **صخور الحجر الجيري:** توجد في القطاع الأدنى من الحوض، وتشغل مساحات مختلفة في أحواض: أم تندبة، والمشاش، والتمد الكبير، وترجع هذه الصخور إلى الباليوسين والإيوسين والبليوسين، ومن أهم التكوينات هي: طروان وطيبة وإسنا، وتبلغ مساحتها ٢٧٠.٤ كم^٢ (٣.٧% من مساحة الحوض).
- **المناطق العمرانية:** تبلغ مساحتها ٦.٣ كم^٢ (٠.١ كم^٢)، وتتمثل في نجعي الكلاحين والضبع والمنطقة الصناعية بقط بالقرب من المصب، وقرية اللقيطة على مسافة ٣٥ كم من المصب.
- **المناطق الزراعية:** تتوزع في مناطق الاستصلاح الزراعي في القطاع الأدنى بالحوض، وفي منطقة اللقيطة، وتبلغ مساحتها ١٨.٨ كم^٢ (٠.٢٦ كم^٢).
- **الطرق المرصوفة:** تتمثل في طريق قفط - القصير ويبلغ طوله ١٨٠ كم، منها ١٠١ كم في داخل حوض الدراسة، وكذلك يوجد جزء من طريق القاهرة - أسوان الصحراوي الشرقي، وعدد من الطرق المرصوفة القصيرة، وقد بلغت مساحته ٢.٢ كم^٢ (٠.٠٣% من مساحة الحوض).

٣) حساب مؤشر الغطاء النباتي NDVI :

تؤثر مساحة الغطاء النباتي ونوعه على مقدار الفاقد بالتبخير - النتح، وقد أورد تقرير قسم الزراعة بالولايات المتحدة (USDA, 1986, pp. 2-8) جدولاً به أربع فئات من النباتات في المناطق الجافة وشبه الجافة، وتختلف هذه الفئات فيما بينها تبعاً لكثافة النبات ونوعه، وقد تبين من تحليل المرئيات الفضائية والدراسة الميدانية أن النباتات الموجودة في الحوض عبارة عن أعشاب ونباتات وشجيرات متناثرة توجد في بطون الأودية، والمناطق الزراعية بالحوض.

وقد تم تحديد مناطق الغطاء النباتي اعتماداً على مرئيتين من نوع Sentinel-2، وقد تم استخدام البرنامج SNAP لإجراء التصحيح الراديومتري لتجنب وجود أي أخطاء في القيم الانعكاسية للخلايا المرئية، وما لذلك من تأثير سلبي على دقة النتائج، وتلى ذلك مطابقة المدرج التكراري للمرئيتين، ثم حساب مؤشر NDVI اعتماداً على القناتين الطيفيتين الثامنة والرابعة؛ حيث تقيس القناة الرابعة الأشعاع الكهرومغناطيسي في نطاق الأشعة المرئية الحمراء، وتقيس القناة الثامنة الأشعاع الكهرومغناطيسي في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وتتساوى الدقة المكانية للقناتين (١٠ م)، ويتم اختيار هذه النطاقات من المرئية الفضائية Sentinel-2؛ حيث يكون للنبات امتصاص شديد جداً في نطاق الأشعة الحمراء، وانعكاس شديد جداً في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة، ولذلك يتم استخدامهما في حساب مؤشر النبات، وذلك من خلال المعادلة التالية (Entezari, et al., 2019, p. 328):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

حيث أن:

$NDVI =$ مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي.

$R =$ القناة الطيفية الحمراء، ولها طول موجي من 0.6 - 0.7 ميكرومتر.

$NIR =$ القناة الطيفية تحت الحمراء القريبة، ولها طول موجي من 0.7 - 1.1 ميكرومتر.

وقد توفر نتيجة ذلك طبقة شبكية توضح التوزيع الجغرافي للنبات في حوض الدراسة، وقد اتضح من تحليل هذه الطبقة وجود انخفاض كبير في كثافة الغطاء النباتي؛ حيث بلغت نسبة مساحة النبات 1.8% من جملة مساحة الحوض، وبالتالي يقع حوض الدراسة ضمن فئة المناطق الصحراوية ذات الغطاء النباتي الفقير (أقل من 30%)، وتضم نباتات وشجيرات متناثرة. وبالتالي سوف يتم استخدام قيم المنحنى العددي CN بناءً على هذه النتيجة؛ حيث تختلف قيم المنحنى العددي باختلاف كثافة الغطاء النباتي ونوعه.

٤) تحديد المجموعات الهيدرولوجية للتربة وتحديد قيمة المنحنى العددي CN:

وضع قسم الزراعة بالولايات المتحدة USDA أربع مجموعات هيدرولوجية للتربة، وذلك تبعاً لتأثير نسيج التربة على الجريان السطحي، وتأخذ كل مجموعة قيم منحنى عددي خاص بها، هذا بالإضافة إلى قيم المنحنى العددي الخاص بنوع الغطاء الأرضي، وتتراوح قيم المنحنى العددي CN بين (صفر - 100)، وتوجد علاقة عكسية بين النفاذية وقيم المنحنى العددي، حيث أن الأسطح غير المنفذة للمياه أو قليلة النفاذية تأخذ قيم منحنى عددي مرتفعة، وهي أسطح قادرة على توليد الجريان السطحي، أما الأسطح المنفذة للمياه أو المرتفعة النفاذية فتأخذ قيم منحنى عددي منخفضة، حيث تتسرب المياه خلالها، وبالتالي فهي ذات قدرة منخفضة على توليد الجريان السطحي (USDA, 1986, pp. 2-2). ويمكن عرض هذه المجموعات كما يلي:

- **المجموعة الهيدرولوجية A:** تمثل المناطق التي يقل فيها الجريان السطحي، ويرتفع بها معدل التسرب بشكل كبير، وهي بذلك تمثل خزان مياه جوفي جيد، وتتكون في الأساس من الرمل والحصى، الأمر الذي يؤدي إلى تسرب المياه داخل التربة، وتتميز تربتها بنسيج رملي، وطمبي رملي، ولهذا النوع من التريبات معدل نقل عالي للمياه أكبر من 0.76 سم/ساعة (Maidment, 1993, p. 5.25, 9.22). وتوجد هذه المجموعة في حوض الدراسة في الرواسب المتوسطة والخشنة في بطون الأودية، وفي التربة الرملية والرملية الطميية (جدول 1).

- **المجموعة الهيدرولوجية B:** يتسم هذا النوع بمعدل تسرب عالي نسبياً، وجريان سطحي منخفض نسبياً، وتوجد في التربة ذات النسيج الناعم إلى متوسط الخشونة، كما هو الحال في التربة الطميية الرملية، والطينية. ويتراوح معدل انتقال المياه داخل هذه التربة بين ٠.٣٨-٠.٧٦ سم/ساعة (Maidment, 1993, p. 5.25, 9.22)، وتوجد هذه المجموعة في حوض الدراسة في التربة الطميية الرملية، والتي تتمثل في المدرجات الفيضية السفلى وفي الرواسب الناعمة في بطون الأودية (جدول ٢).
- **المجموعة الهيدرولوجية C:** تتسم تربة هذه المجموعة بمعدل تسرب منخفض نسبياً، وجريان سطحي مرتفع إلى حد ما، وتوجد في التربة ذات النسيج المتوسط النعومة إلى الناعم، كما هو الحال في التربة الطميية الطينية الرملية. ويتراوح معدل انتقال الماء داخل هذا النوع من التربة ٠.١٣ - ٠.٣٨ سم/ساعة (Maidment, 1993, p. 5.25, 9.22)، ويسود هذا النوع في حوض الدراسة بالتربة الطميية الطينية الرملية، وذلك في تربة المدرجات الفيضية العليا بالحوض، وكذلك في مناطق صخور الحجر الرملي والحجر الطباشيري.
- **المجموعة الهيدرولوجية D:** تضم المناطق التي تتسم بأقل معدل تسرب وأعلى جريان سطحي، ويسود هذا النوع في المناطق غير المنفذة للمياه، مثل التربة ذات النسيج الناعم كالتربة الطميية الطينية، والطينية السلتية، والطينية الرملية، والطينية، والصلتية، والطينية. ويتسم انتقال المياه داخل هذه المجموعة بأنه ضعيف جداً، ويتراوح معدله بين صفر - ٠.١٣ سم/ساعة (Maidment, 1993, p. 5.25, 9.22). ويوجد هذا النوع في مناطق الصخور النارية والمتحولة، وصخور الحجر الجيري، بالإضافة إلى الطرق المرصوفة والمناطق العمرانية.

ومن الجدير بالذكر أن قيم المنحنى العددي التي وضعتها مصلحة صيانة التربة الأمريكية للمناطق الجافة وشبه الجافة تفترض أن الحالة السابقة لرطوبة التربة معتدلة، ونظراً لوقوع حوض الدراسة ضمن المناطق الجافة، فإنه سيتم تطبيق معادلة رياضية لتحويل قيم CN من الحالة المعتدلة إلى الحالة الجافة، لما لذلك من تأثير كبير على قيم الفواقد التي تحدث في التربة من خلال التسرب.

$$CN_I = \frac{42 \times CN_{II}}{10 - (0.058 \times CN_{II})}$$

حيث أن: CN_I = قيمة المنحنى العددي لحالة التربة الجافة، و CN_{II} = قيمة المنحنى العددي لحالة التربة المعتدلة (Rawat & Singh, 2017, p. 237).

جدول (٢) : الخصائص الهيدرولوجية لأحواض الروافد الفرعية باستخدام نموذج HEC-HMS.

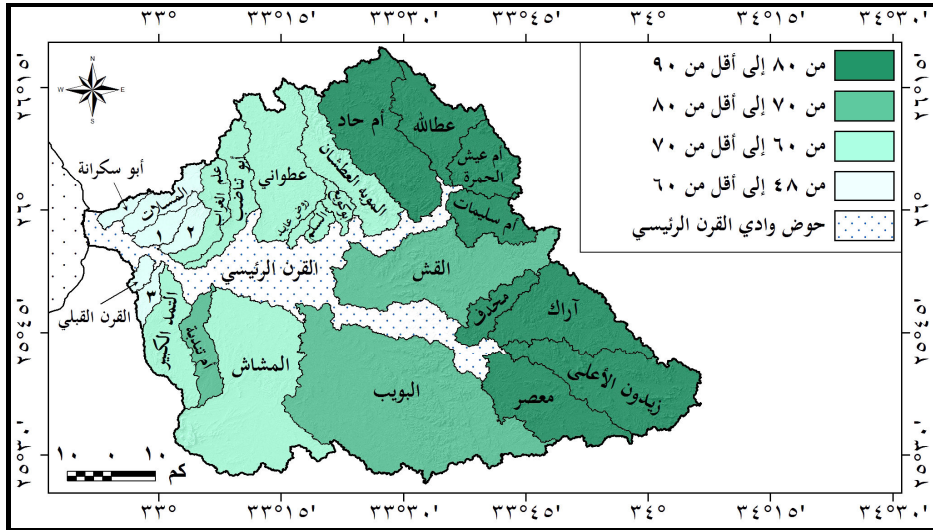
الحوض	المساحة (كم ^٢)	قيمة المنحنى العدي الموزون	زمن التركيز (ساعة)	زمن التباطؤ (ساعة)	أقصى تدفق للسيول (م ^٣ /ثانية)	حجم السيول (ألف م ^٣)	زمن الوصول لأقصى تصرف (ساعة)
البويب	١١٨٠	٧١.٢	٢٨.٣٥	١٣.٠٤	٦٨.٣	٤٦٦٩.	٢٩.١٥
المشاش	٧٥٩.١	٦٨.٥	١٩.٣٥	١٤.٧	٢٩	٢٠٦٨.	٣١.٥
القش	٥٨٣.٢	٧٩.٥	١١.٩	٧.٠٩	١٣٢.٨	٥١٩٢.	٢٠.٣
أم حاد	٤٥٨.٠	٨٤.٣	٩.٩	٥.٩٢	١٦٥.٨	٥٦١١.	١٨.٤٥
زيدون الأعلى	٤٤٨.٧	٨٦.٩	٨.٠٦	٤.٦٢	٢٨٥.٧	٧٧٩٢.	١٧
عطواني	٣٨٦.٤	٦٨.٨٦	١٧.٤٣	١٠.٦٣	٢٠.١	١٢١٠	٢٦.٣
أراك	٣٥٥.٧	٨٩.٩	٤.٣٧	٣.٥٨	٣٠٠.١	٧٢١٢.	١٤.٥٥
معصر	٣٢٣.١	٨٧.٦	٥.٩٩	٤.٣٣	٢١٩.٣	٥٩٧٥.	١٦.٤٥
المويه	٢٤٠.٧	٦٦.٦٨	١٦.٧٩	٧.١٥	١٠.٥	٥٥٠.٢	٢٣.١٥
عطا الله	٢٣٤	٨٨.٩	٤.٣٥	٣.٠٤	٢٠٤.٦	٤٦٨٧.	١٤.٥
التمد الكبير	٢٠٠.٤	٦٨.٩	١٠.٢١	٩.٧١١	١٠.١	٦٠١.٥	٢٥.٤٥
أم عيش	١٧٣.٦	٨٨.٩	٢.٠٩	١.٧٦	٢٥١.٨	٣٥٥٩.	١٣.٤٥
أم سليمان	١٥١.٤	٨٩.٦	٣.٥٤	٢.٦١	١٦٥.٣	٣١٠.١	١٤.٤٥
أبوتناضب	١٤٩.٩	٦٥.٩	١٧.٨٥	١١.٣٥	٤.٥	٢٨٦.٤	٢٨.٤٥
أم تنديبة	١١٥.٨	٧٩.٥	٧.٤	٦.٩١	٣٢.١	١١٢٧.	٢٠.١٥
علم الغراب	١١٣.٦	٦١.٥	١٤.٥٧	١٠.٨٩	٢.٧	١٦٦.٩	٢٨.٤٥
محدف	١٠٣.٢	٨٨.٩	٤.٤٧	٣.١٨	٨٩.١	١٤٦٧.	١٤.٤٥
المسلات	٩٩.٠	٤٩.٥	١٣.٤٣	١١.٩	٠.١	٦	٣٤
وادي ١	٥٩.٩	٤٨.٥	١٠.١٢	١١.٨	٠.٠٧	٣.٧	٣٤.١٥
وادي ٢	٥٤.١	٥٦.٣	٧.٢٥	٧.٤١	٠.١١	٤.٤	٢٩
أبو كويح	٤٣.٦	٦٨.٧	٦.٩٤	٣.٣٤	٣.٧	١٣٥.٢	١٧
وادي ٣	٤٠.١	٥٤.٩	٩.٢٢	٩.١٧	٠.٠١٦	٠.٧	٣٢
السلم	٣٢.٣	٦٦.٩	٥.٢٨	٣.٧٥	١.٩٥	٨٠.٦	١٨.١٥
أبوسكرانة	٣٠.٤	٤٩.٩	٧.٥٤	٩.٧٦	٠.١٣٥	٦.٩	٣٠.١٥
القرن القبلي	٢٥.٩	٥٨.١٥	٧.٠٧	٦.٥٢	٠.١٥	٦.١	٢٧.١٥
روض عايد	١٦.٩	٦٦.٨	٣.٥	٣.١	٠.٥٥	٢١.٢	١٧.١٥
الانحراف	٢٧٠	١٣.٨	٦.١	٣.٧	١٠١.٨	٢٥٦٣.	٦.٩
المتوسط	٢٤٥.٣	٧١.٤	٩.٩	٧.٢	٧٦.٩	٢١٣٦.	٢٢.٩
نسبية	١١٠.١	١٩.٣	٦٢.٢	٥٢	١٣٢.٤	١٢٠	٣٠.٤

المصدر: اعتماداً على نتائج المعادلات والبيانات الواردة في المتن، ونتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.

وكانت أرقام قيمة المنحنى العددي CN للحالة المعتدلة لرطوبة التربة هي: ٩٨ و ٨٥ و ٧٧ و ٦٣ للمجموعات الهيدرولوجية للتربة A و B و C و D على التوالي، وتطبيق المعادلة السابقة تم تعديل أرقام المنحنى العددي CN لتصبح ٩٤ و ٧٠ و ٥٩ و ٤٢ على التوالي لكل نوع من المجموعات الهيدرولوجية للتربة، وتم وضع النتائج في جدول (١).

(٥) تحديد قيم المنحنى العددي الموزون لأحوض الروافد:

يحتاج تطبيق النموذج الهيدرولوجي شبه التوزيعي HEC-HMS إلى حساب قيمة المنحنى العددي الموزون لكل حوض من أحوض الروافد، وقد تم حسابها باستخدام برنامج WMS، وعرضت النتائج في جدول (٢) وشكل (٦)، وقد تراوحت قيم المنحنى العددي الموزون في أحوض الروافد بين ٤٨.٥ و ٨٩.٩ في حوضي ١ وأراك على التوالي، بمتوسط ٧١.٤، وانحراف معياري ١٣.٨، ونسبة اختلاف ٢٠%، والأحوض التي تسجل قيم منحنى عددي موزون مرتفعة القيمة هي الأحوض التي ستقل بها كمية الفواقد ويحدث بها أقصى جريان سطحي، وهو ما ينطبق على أحوض الجزء الشرقي بجبال البحر الأحمر، ويحدث العكس في حالة القيم المنخفضة للمنحنى العددي والتي تزداد بها كمية الفواقد ويقفل بها الجريان السطحي إلى أقصى درجة، وقد سجل ذلك في الأحوض التي تقع بالجزء الأدنى من الحوض، حيث أن معظمها تتكون من رواسب الزمن الرابع عالية التسرب، ويقع بينهما أحواض جمعت بين صخور منفذة وأخرى متوسطة إلى قليلة النفاذية.



شكل (٦) : قيم المنحنى العددي الموزون في أحوض روافد الدراسة.

المصدر: اعتمادًا على بيانات جدول (٢).

٦ حساب زمن التركيز:

يقصد بزمن التركيز الفترة الزمنية بين بداية سقوط الأمطار على أبعد نقطة في محيط الحوض وحتى وصولها إلى المصب على هيئة سيول، ولوقت التركيز أهمية كبيرة في تقدير قمة منحنى التصريف المائي، كما أن له أهمية كبيرة في تحديد طرق درء خطر السيول (Fang, et al., 2008, p. 202)، وتوجد علاقة عكسية بين زمن التركيز ودرجة خطورة السيل، فكلما انخفض زمن التركيز زادت سرعة التدفق المائي وارتفعت درجة خطورة السيل والعكس صحيح. وتتعدد الطرق التي يمكن من خلالها حساب زمن التركيز في برنامج WMS، وسيتم الاعتماد على معادلة (Kirpich, 1940) الخاصة بالمناطق الجبلية، ويعتمد حساب هذه المعادلة على طول المجرى الرئيسي، ودرجة انحداره، بالإضافة إلى قيمة المنحنى العددي لكل حوض من أحواض الروافد، وذلك كما يلي:

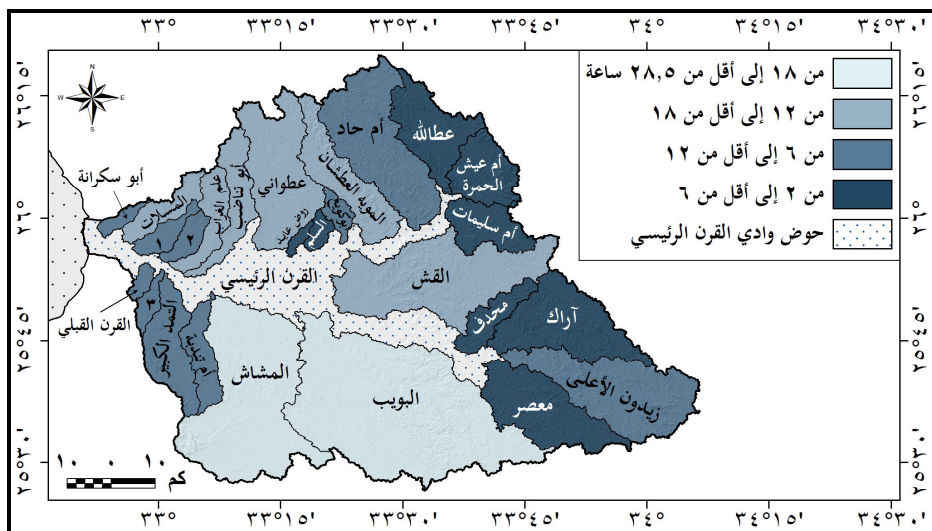
$$Ct = 1 + ((80 - CN) * 0.04) \quad (\text{المعادلة ١})$$

$$T_c = m * 0.00013 * (L^{0.77} / S^{0.385}) * Ct \quad (\text{المعادلة ٢})$$

حيث أن: Ct = معامل زمن التركيز، و CN = قيمة المنحنى العددي لحوض التصريف الفرعي، و T_c = زمن التركيز، و M = معامل نوع الأرض ويعوض عنه بالقيمة (١)، و L = طول المجرى الرئيسي بالقدم، و S = انحدار المجرى الرئيسي.

ويلاحظ من جدول (٢) وشكل (٧) أن زمن التركيز في حوض وادي القرن يبلغ ٣٦.٨ ساعة، وتتراوح قيمه في أحواض الروافد بين ٢.٠٩ في حوض وادي أم عيش الحمرة، و ٢٨ ساعة في حوض وادي البويب، بمتوسط ٩.٨ ساعة، وانحراف معياري ٦.١٥ ساعة، ونسبة اختلاف ٦٢%، ويدل ما سبق على وجود تباين في قيم زمن التركيز بين أحواض الروافد، ويرجع ذلك إلى تأثير زمن التركيز بعدة متغيرات هي:

- **مساحة الحوض:** حيث سجلت الدراسة علاقة ارتباط طردية (٠.٦٧) بين زمن التركيز ومساحة الحوض، وبالتالي كلما زادت مساحة الحوض زاد طول المجرى الرئيسي، وبالتالي يأخذ السيل وقتًا أطول للوصول إلى مصب الحوض، ونتيجة لذلك سجلت أعلى قيم تركيز في حوضي البويب والمشاش؛ حيث أنهما أكبر أحواض الروافد مساحة.
- **انحدار سطح الحوض:** حيث سجلت الدراسة علاقة ارتباط عكسية بين درجة انحدار سطح الحوض وزمن التركيز، فكلما زادت درجة انحدار سطح الحوض قل زمن التركيز والعكس صحيح، ولذلك سجلت أحواض الروافد الموجودة في جبال البحر الأحمر مثل أحواض: عطاش، وآراك، وأم عيش الحمرة، وأم سليمان، ومعصر أقل قيم لزمن التركيز؛ حيث أن أسطحها أشد انحدارًا.



شكل (٧) : زمن التركيز في أحواض تصريف الدراسة.

المصدر: اعتمادًا على بيانات جدول (٢).

- **شكل الحوض:** يؤثر شكل الحوض في زمن التركيز تأثيرًا كبيرًا؛ حيث يزيد زمن التركيز في الأحواض التي يميل شكلها إلى الشكل الطولي لأن هذا يزيد من طول المسافة التي تقطعها مياه السيول، بينما يقل في الأحواض التي تقترب من الشكل المستدير حيث تكون المسافة أقصر، فالشكل الطولي يؤدي إلى زيادة طول المجرى الرئيسي، كما هو واضح في حوض أبو تناضب، الذي على الرغم من صغر مساحته إلا أنه سجل زمن تركيز يقترب من الذي سجل في الأحواض الكبيرة في المساحة.
- **نوع الصخور والتربة:** فكلما قل مقدار التسرب في التربة قل زمن التركيز، وبالتالي زادت درجة خطورة سيول الحوض، وهو ما ينطبق على الأحواض التي تقع في جبال البحر الأحمر؛ حيث توجد الصخور النارية والمتحولة التي يقل بها التسرب بوضوح، بينما حدث العكس في حوضي البويب والمشاش حيث تتكشف صخور الحجر الرملي والطباشيري في مساحات كبيرة منهما على السطح.

(٧) حساب زمن التباطؤ:

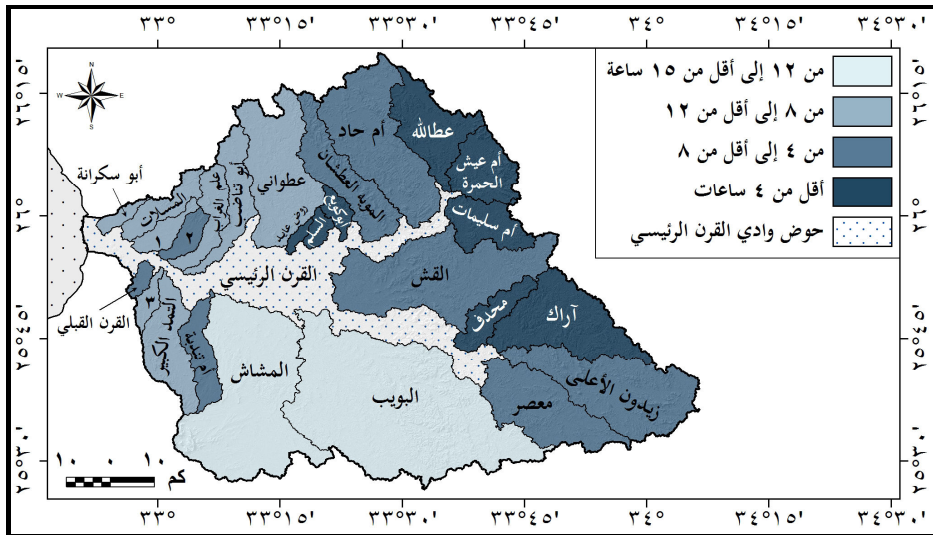
يقصد به الفترة الزمنية اللازمة للانتقال بين مركز قمة منحني هطول المطر إلى مركز قمة منحني التصريف المائي (Ancona, et al., 2014, p. 943). وبالتالي فإن له أهمية كبيرة عند تحديد طرق درء خطر السيول، وعامة كلما كان زمن التباطؤ قصيرًا كلما ارتفعت درجة خطورة الجريان السيلبي؛ حيث لا يوجد متسع من الوقت لاتخاذ التدابير اللازمة لمواجهة خطر السيول، ومن ثم توجد علاقة عكسية بين

زمن التباطؤ ودرجة خطورة السيل. وتتعدد الطرق المستخدمة في حساب زمن التباطؤ في برنامج WMS، وستعتمد الدراسة على طريقة مصلحة صيانة التربة الأمريكية SCS، وذلك لأنها تأخذ في الاعتبار نوع التربة والغطاء الأرضي، وتحديد مقدار الفوائد الذي يحدث في كل نوع منها قبل تولد الجريان السيلي، مما يجعلها من أفضل الطرق لحساب معامل التباطؤ، وذلك من خلال المعادلة التالية:

$$T_{LAG} = L^{0.8} \frac{(S + 1)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}}$$

حيث أن: T_{LAG} = زمن التباطؤ بالساعة، و L = طول المجرى الرئيسي بالقدم، و Y = نسبة انحدار سطح الحوض %، و S = الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء في التربة، وتشير القيم المنخفضة لها على ضعف إمكانية سطح التربة في الاحتفاظ بالماء مما يساعد على زيادة كمية المياه المتاحة للجريان السطحي، ويحدث العكس في حالة القيم المرتفعة.

وتبعاً لجدول (٢) وشكل (٨) يبلغ زمن التباطؤ في حوض الدراسة ١٩.٥ ساعة، وتراوحت القيم في أحواض الروافد بين ١.٧٦ ساعة في حوض وادي أم عيش الحمرة، و ١٤.٧ ساعة في حوض وادي المشاش، بمتوسط ٧.٢ ساعة، وانحراف معياري ٣.٧٥ ساعة، ونسبة الاختلاف ٥٢ %، ويدل ذلك على وجود اختلافات متوسطة إلى حد كبير بين أحواض الروافد في مقدار الوقت المستغرق للوصول من قمة المطر إلى قمة الجريان السطحي، ويرجع ذلك إلى سببين، هما:



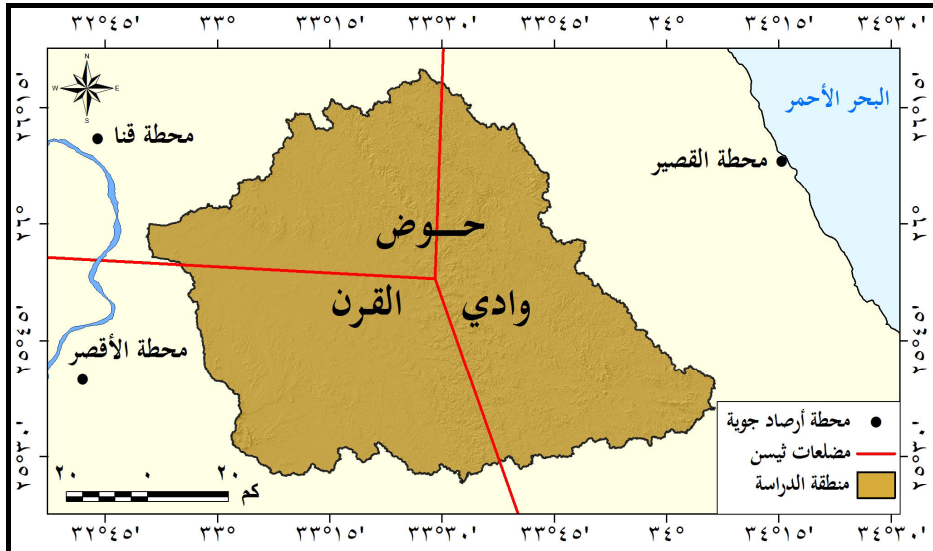
شكل (٨) : زمن التباطؤ في أحواض تصريف الدراسة.

المصدر: اعتماداً على بيانات (جدول ٢).

- **انحدار سطح الحوض:** حيث توجد علاقة ارتباط عكسية بين انحدار سطح الحوض وزمن التباطؤ، ونتيجة لذلك يلاحظ أن حوضي أم عيش الحمرة وأم سليمان هما أشد أحواض الروافد انحدارًا وأقلها في زمن التباطؤ.
- **قيمة المنحنى العددي:** حيث توجد علاقة عكسية بين قيم المنحنى العددي وزمن التباطؤ، فكلما زادت قيم المنحنى العددي انخفض التسرب وانخفض زمن التباطؤ والعكس، ونتيجة لذلك يلاحظ أن أقل قيم زمن تباطؤ قد سجلت في الأحواض التي تقع في المناطق ذات الصخور النارية والمتحولة.

(٨) تقدير عمق الأمطار:

تم تحديد محطات الأرصاد المؤثرة على حوض الدراسة بتطبيق طريقة مضلعات ثيسن Theissen لحساب نسبة تأثير كل محطة على أجزاء الحوض، وكذلك الخروج بقيمة واحدة تمثل قيمة المطر لكل الحوض، وتم التطبيق باستخدام برنامج Arc GIS 10.3، وقد تبين أن هناك ثلاث محطات أرصاد جوية مؤثرة على الحوض، وهي: قنا والأقصر والقصير، وأوضح تطبيق طريقة مضلعات ثيسن أن نسبة تأثيرها على حوض الدراسة بلغت ٢٦ و ٣٦ و ٣٨% على التوالي (شكل ٩ وجدول ٣).



شكل (٩): تطبيق طريقة مضلعات ثيسن لتحديد المحطات المؤثرة على حوض الدراسة.

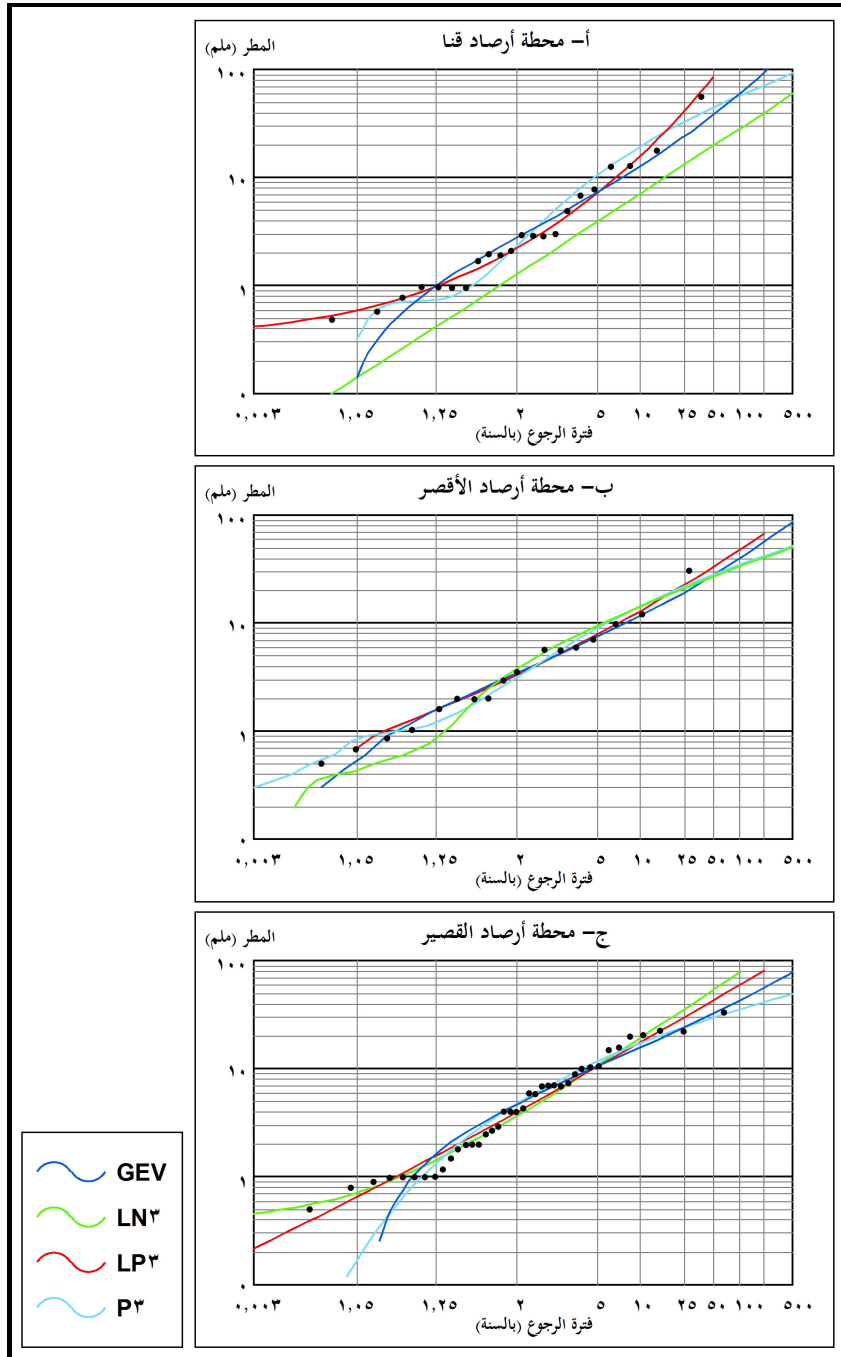
جدول (٣) : نتائج تطبيق طريقة مضلعات ثيسن والتحليل الإحصائي لتحديد عمق المطر (ملم).

محطة الأرصاد	سنوات التسجيل	التأثير على الحوض %	عمق المطر (ملم) عند فترات رجوع		
			سنة ٢٥	سنة ٥٠	سنة ١٠٠
قنا	٢٠١٨-١٩٣٥	٢٦	٢٤.٢	٣٨.٣	٦٠
الأقصر	٢٠١٨-١٩٣٩	٣٦	١٩.٥	٢٧.٩	٣٦
القصر	٢٠١٨-١٩٢٩	٣٨	٢٤.٥	٣٠	٣٩.٦
حوض الدراسة		١٠٠	٢٢.٧	٣١.٤	٤٣.٦

المصدر: اعتماداً على تطبيق طريقة مضلعات ثيسن على محطات الأرصاد الجوية المؤثرة على حوض الدراسة، وتم الحصول على بيانات المطر من معهد بحوث الموارد المائية التابع لوزارة الموارد المائية والري.

ولتقدير كمية الأمطار الساقطة على الحوض لفترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، تم تجميع بيانات الأمطار المسجلة في المحطات الثلاث، وهي بيانات لتسجيلات يومية متقطعة خلال الفترة من ١٩٢٩-٢٠١٨، وقد تم استخدام البرنامج الإحصائي HYDROFREQ لإجراء التحليل الإحصائي لهذه البيانات، بهدف تحديد أقصى قيم للأمطار اليومية عند فترات الرجوع المذكورة، وقد تم تجربة أربع طرق للتوزيع الإحصائي الاحتمالي لاختيار التوزيع المناسب لبيانات أمطار محطات أرصاد الدراسة، وتمثل الطرق التي تم تجربتها في: طريقة General Extreme Value (GEV)، وطريقة Log Normal Type III (LN3)، وطريقة Log Person Type III (LP3)، وطريقة Person Type III (p3). وتم الاعتماد على التوزيع الإحصائي الاحتمالي لطريقة GEV لبيانات محطتي قنا والقصر، وعلى التوزيع الاحتمالي من طريقة P3 في بيانات محطة القصر، وذلك لأنهما أظهرتا أفضل توزيع لبيانات أمطار محطات الأرصاد المؤثرة على الحوض.

ويوضح جدول (٣) وشكل (١٠) نتائج التحليل الإحصائي، وسوف تعتمد الدراسة على ثلاث فترات رجوع هي: ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، وبلغت قيم الأمطار في محطة أرصاد قنا ٢٤.٢ و ٣٨.٣ و ٦٠ ملم على التوالي، وفي محطة أرصاد الأقصر ١٩.٥ و ٢٧.٩ و ٣٦ ملم على التوالي، وفي محطة القصر ٢٤.٥ و ٣٠ و ٣٩.٦ ملم على التوالي. وتبين من تطبيق طريقة مضلعات ثيسن أن عمق المطر في الحوض يبلغ ٢٢.٧ و ٣١.٤ و ٤٣.٦ ملم عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة على التوالي.



شكل (١٠) : منحنيات التوزيعات الإحصائية الإحتمالية لمحطات الأرصاد الجوية الثلاث القريبة

من حوض الدراسة، وذلك باستخدام طرق GEV, LN3, LP3 & P3.

(٩) إعداد العاصفة التصميمية:

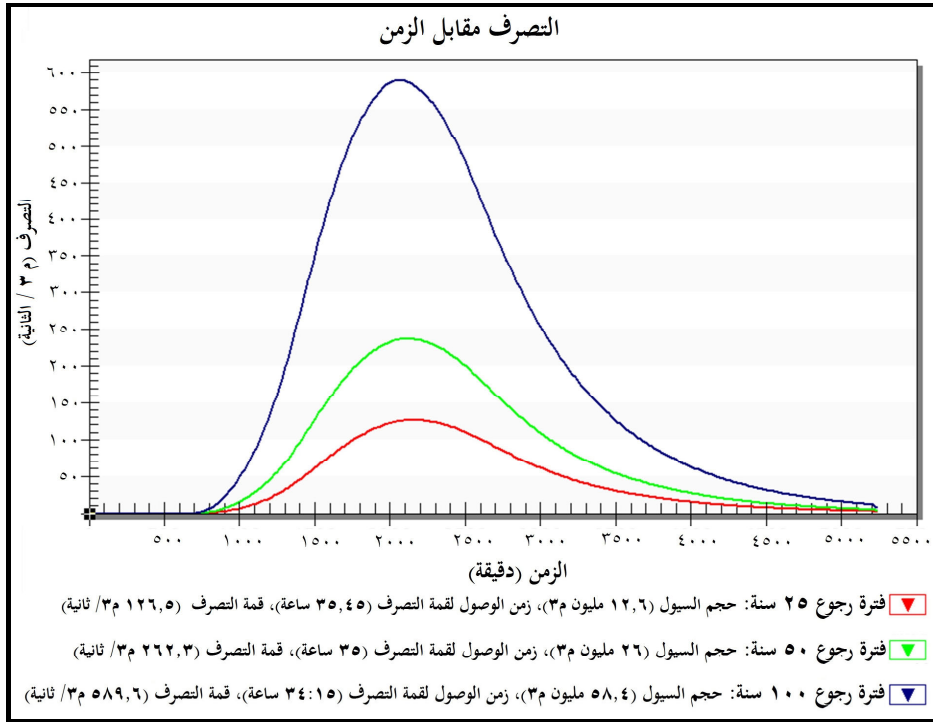
نظرًا لعدم توفر قياسات فعلية عن السيول التي حدثت في حوض الدراسة، فإنه يمكن استخدام بعض الطرق الاصطناعية لتطبيق النموذج الهيدرولوجي، واستخراج منحنيات التصريف في كل حوض من أحواض الروافد، ثم لحوض وادي القرن ككل؛ وذلك بهدف اقتراح عدد من أعمال الحماية لدرء خطر السيول عن الأنشطة البشرية، وعامة تعتمد هذه الطرق الاصطناعية على حسابات العاصفة التصميمية التي وضعتها مصلحة صيانة التربة الأمريكية SCS عن التوزيع الزمني لهطول الأمطار. وتفترض هذه الحسابات وجود أربعة توزيعات محتملة لكافة العواصف المطرية في حال عدم توفر قياسات فعلية، وستعتمد الدراسة في تصميم العاصفة على النوع المخصص للمناطق الجافة وشبه الجافة، والمعروف باسم SCS – Type II، ويفترض هذا النوع أن المطر يسقط خلال ٢٤ ساعة، وأن أكثر من ٥٠% من التساقط يحدث خلال ساعتين (USDA, 2015, p. 46)، ويتم توزيع المطر في العاصفة التصميمية اعتمادًا على أقصى عمق للمطر، والذي تم استخلاصه من التحليل الإحصائي الإجمالي للسجل التاريخي للأمطار المسجل في محطات أرصاد قنا والأقصر والقصير، وذلك عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، والواردة في جدول (٣).

ثالثًا - تحليل نتائج نموذج على حوض وادي القرن وعلى أحواض الروافد (كمية السيول - التصريف - زمن الوصول لقمة التصريف) :

(١) تحليل نتائج النموذج على حوض وادي القرن:

تم تطبيق النموذج الهيدرولوجي على كل حوض الدراسة، وذلك للمقارنة بين منحنيات التصريف عند فترات الرجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة (شكل ١١)، ويلاحظ من قراءة الشكل أنه في حالة فترة رجوع ٢٥ سنة، تم تقدير كمية السيول بـ ١٢.٦ مليون م^٣، وتقدير أقصى تصرف بـ ١٢٦.٥ م^٣/ثانية، وتقدير زمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٥.٧٥ ساعة. وفي حالة فترة رجوع ٥٠ سنة تم تقدير كمية السيول بـ ٢٦ مليون م^٣، وتقدير أقصى تصرف بـ ٢٦٢.٣ م^٣/ثانية، وتقدير زمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٥ ساعة. وفي حالة فترة رجوع ١٠٠ سنة فإن كمية السيول تقدر بـ ٥٨.٤ مليون م^٣، وتقدير أقصى تصرف بـ ٥٨٩.٦ م^٣/ثانية، وتقدير زمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٤.١٥ ساعة.

ونتيجة لذلك ستعتمد الدراسة على بيانات فترة رجوع ١٠٠ سنة لدراسة السيول في أحواض الروافد، وذلك بهدف اقتراح أعمال حماية تتناسب مع أقصى تصرف محتمل عند فترة رجوع ١٠٠ سنة، ومن الجدير بالذكر أن العاصفة التصميمية لفترة الرجوع ١٠٠ سنة لا تعني أنها تحدث كل ١٠٠ سنة، ولكن يمكن حدوثها في أي وقت وعلى فترات متتالية، بالإضافة إلى أنه قد تحدث عواصف مطرية تزيد شدتها على شدة العاصفة المستخدمة، وعادة ما يتم تصميم منشآت الحماية لمجابهة السيول اعتمادًا على فترة رجوع ١٠٠ سنة، لأن استخدام فترات رجوع أكبر من ذلك سيؤدي إلى ارتفاع قيمة التكلفة للأعمال الصناعية المقترحة للحماية مما يعوق تنفيذها.



شكل (١١) : منحني التصرف للسيول المحتملة في كامل حوض الدراسة

عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة باستخدام نموذج HEC-1 .

المصدر: اعتمادًا على تطبيق نموذج HEC-HMS.

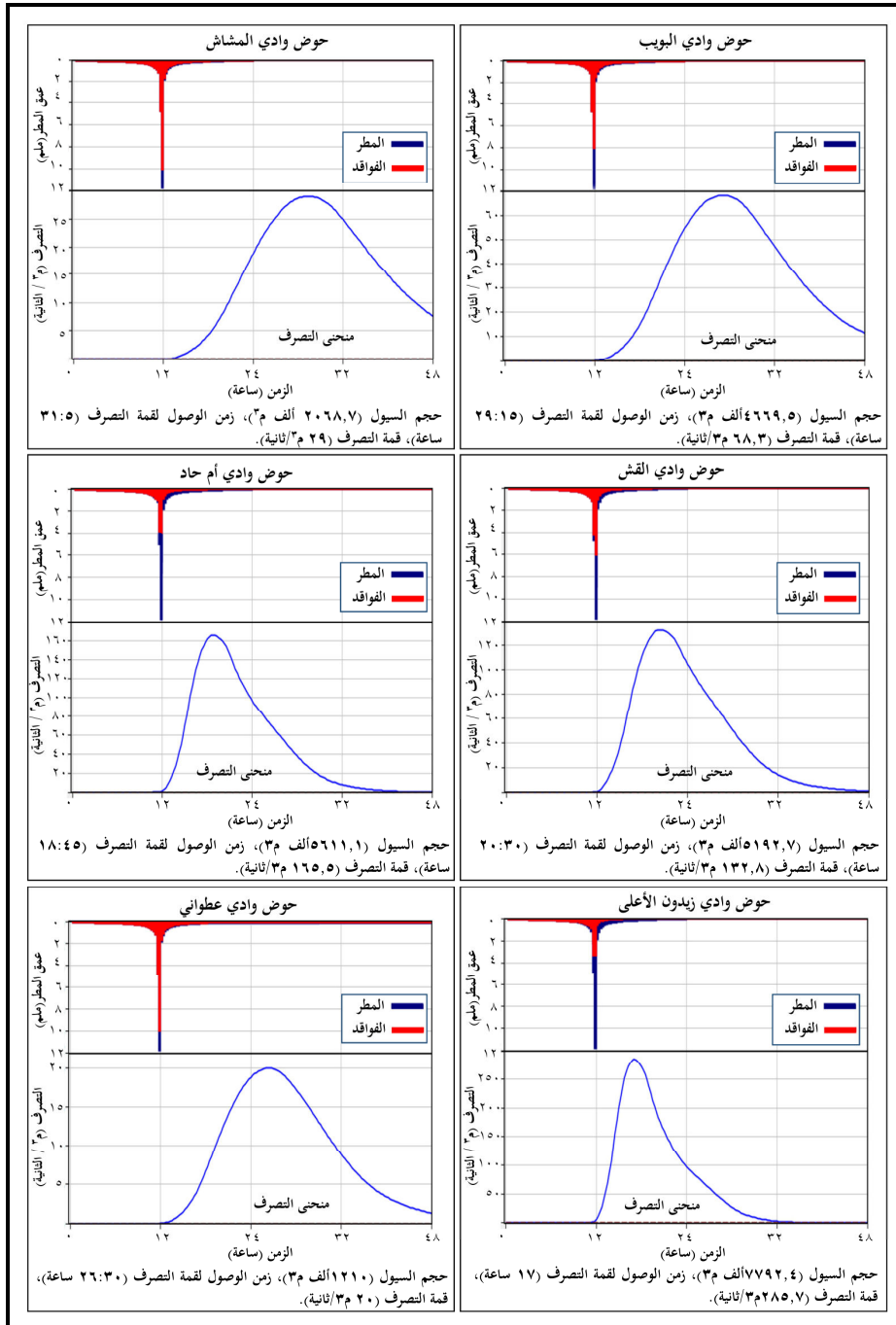
٢) تحليل نتائج النموذج على أحواض الروافد عند فترة رجوع ١٠٠ سنة:

تم تطبيق نموذج HEC-HMS على أحواض الروافد عند فترة رجوع ١٠٠ سنة، وعرضت

نتائجه في جدول (٢)، وأشكال (١٢ أ-هـ)، ويمكن شرح النتائج على النحو التالي:

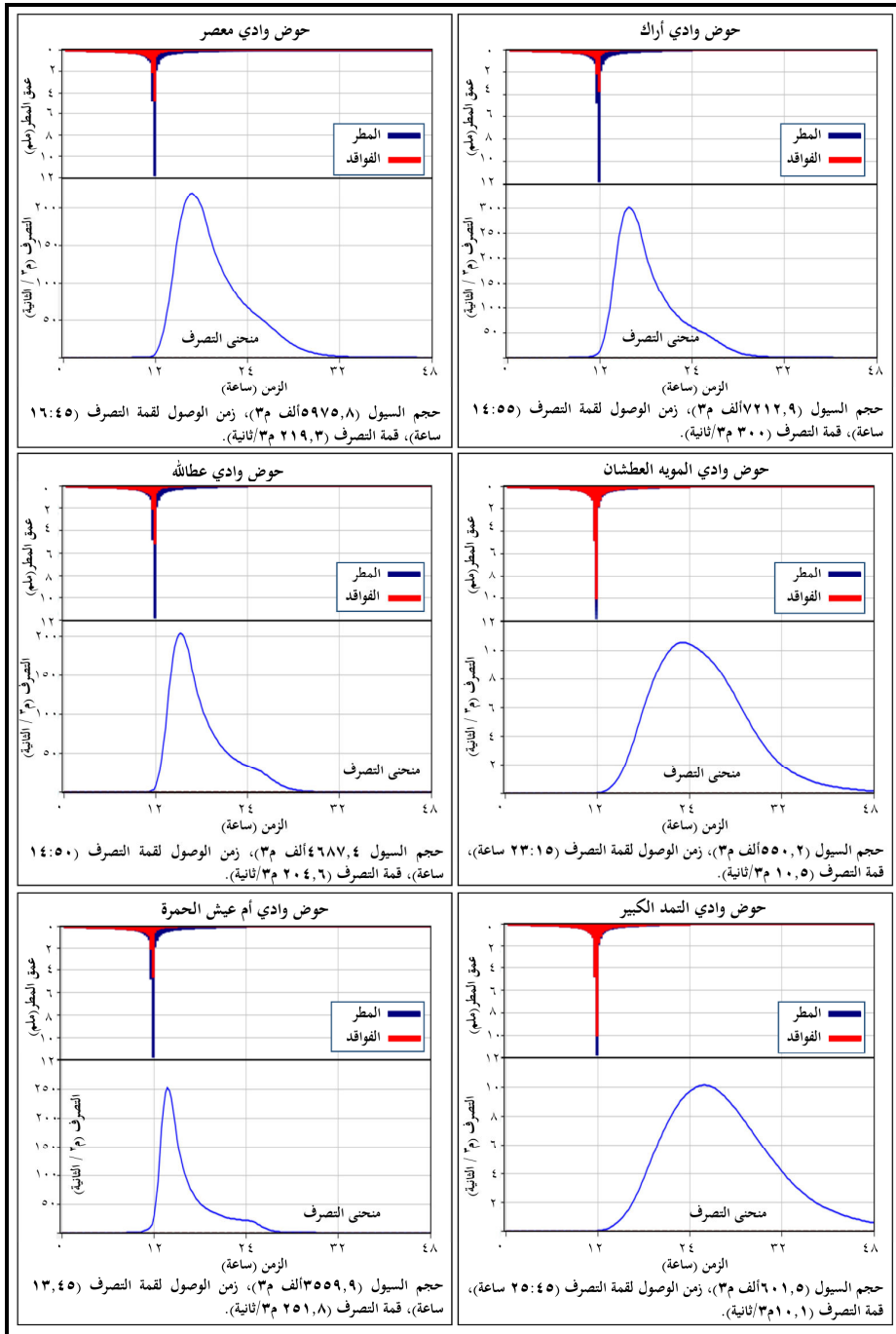
أ- تقدير حجم السيول المتوقع في أحواض الروافد:

يتراوح حجم السيول المتوقع في أحواض الروافد بين ٠.٧ - ٧٧٩٢.٤ ألف م^٣ وذلك في حوضي ٣ وزيديون الأعلى على التوالي، بمتوسط ٢١٣٦.٤ ألف م^٣، وانحراف معياري ٢٥٦٣.٤ ألف م^٣، ونسبة اختلاف ١٢٠%، ويدل ذلك على وجود اختلافات كبيرة في حجم السيول المتوقعة عند فترة رجوع ١٠٠ سنة، ويمكن تقسيم أحواض الروافد إلى خمس فئات تبعًا لحجم السيول (شكل ١٣-أ)، ويمكن دراستها على النحو التالي:



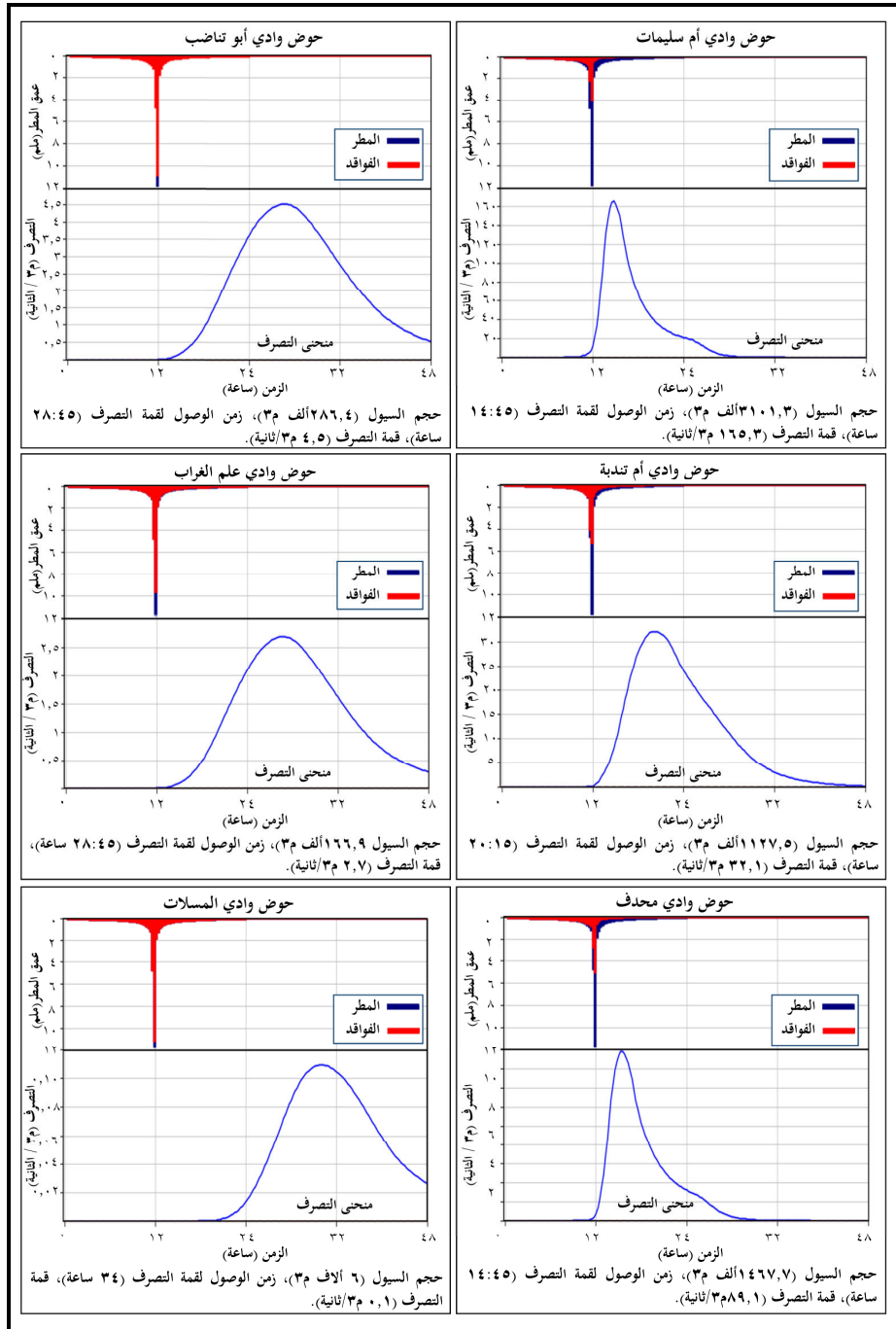
شكل (١٢-أ) : منحنيات تصريف أحواض روافد وادي القرن عند فترة رجوع ١٠٠ سنة.

المصدر: اعتماداً على نتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.



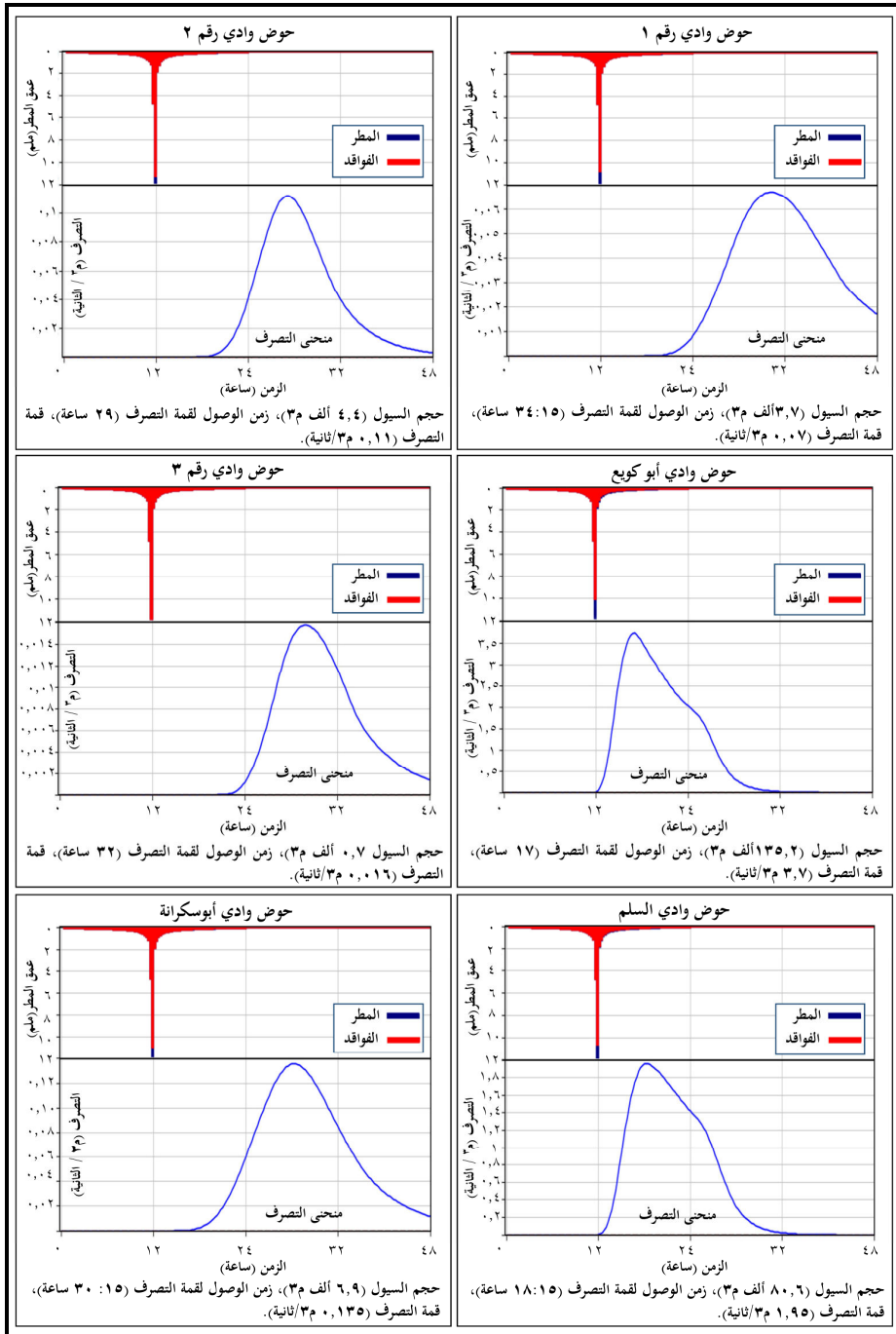
شكل (١٢-ب) : منحنيات تصريف أحواض روافد وادي القرن عند فترة رجوع ١٠٠ سنة.

المصدر: اعتماداً على نتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.



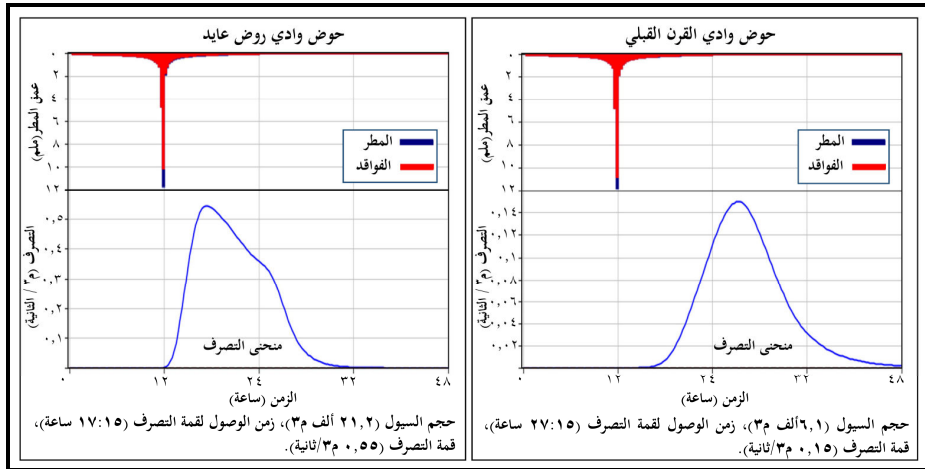
شكل (١٢-ج) : منحنيات تصريف أحواض روافد وادي القرن عند فترة رجوع ١٠٠ سنة.

المصدر: اعتماداً على نتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.



شكل (١٢-د) : منحنيات تصريف أحواض روافد وادي القرن عند فترة رجوع ١٠٠ سنة.

المصدر: اعتمادًا على نتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.



شكل (١٢-هـ) : منحنيات تصريف أحواض روافد وادي القرن عند فترة رجوع ١٠٠ سنة.

المصدر: اعتماداً على نتائج تطبيق نموذج HEC-HMS.

- أحواض يزيد حجم سيولها المتوقع على ٦٠٠٠ ألف م^٣: تشمل حوضي زيدون الأعلى وأراك، وهذه الأحواض ليست أكبر أحواض الروافد مساحة؛ حيث يمثل الحوضان ٣٧ و ٣١% على التوالي من جملة مساحة حوض البويب أكبر أحواض الروافد مساحة، ويرجع السبب الرئيسي لتسجيل هذين الحوضين لأعلى حجم سيول إلى ارتفاع قيم المنحنى العددي الموزون بهما، والتي بلغت ٨٧ و ٩٠ على التوالي، مما يشير الي قلة الفواقد بشكل كبير عند سقوط الأمطار، هذا بالإضافة إلى وقوع هذين الحوضين في نطاق جبال البحر الأحمر؛ وبالتالي يتسم سطحهما بشدة الانحدار ومن ثم انخفاض قيمة زمن التباطؤ، بما يساعد على وصول المياه لمصب الحوضين بشكل أسرع.
- أحواض يتراوح حجم سيولها المتوقع (من ٤٥٠٠ - أقل من ٦٠٠٠ ألف م^٣): تشمل هذه الفئة خمسة أحواض تتسم معظمها بكون مساحتها وهي: معصر، وأم حاد، والقش، وعطالله، والبويب، وتقترب خصائص أول ثلاثة أحواض من خصائص أحواض الفئة السابقة، أما حوض وادي البويب فإنه يرجع إلى كونه أكبر أحواض الروافد مساحة، وتتنوع خصائصه الجيومورفولوجية تنوعاً كبيراً.
- أحواض يتراوح حجم سيولها المتوقع (من ٣٠٠٠ - أقل من ٤٥٠٠ ألف م^٣): تضم حوضين فقط هما: أم عيش الحمرة وأم سليمان، وتتسم هذه الأحواض بشدة انحدار سطحها، وارتفاع قيم المنحنى العددي الموزون بها، وبقلة زمن التباطؤ، وأدى صغر مساحتها إلى تسجيلها حجم سيول متوسط.
- أحواض يتراوح حجم سيولها المتوقع (من ١٥٠٠ - ٣٠٠٠ ألف م^٣): تضم فقط حوض وادي المشاش، ثاني أكبر أحواض الروافد مساحة، ويرجع انخفاض الجريان السطحي به إلى

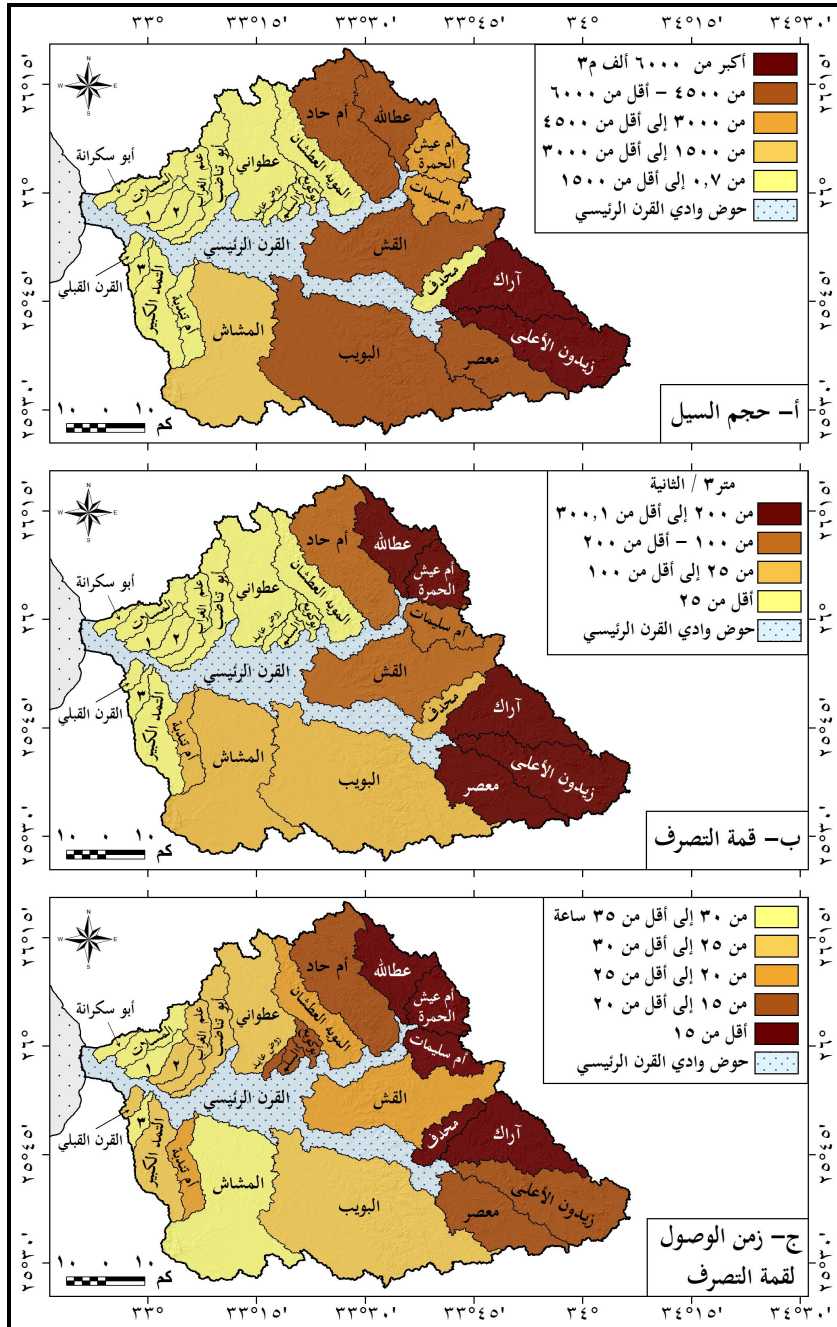
انخفاض قيمة المنحنى العددي الموزون (٦٦.٧)، وبالتالي فإن جزءاً كبيراً من مياه الأمطار الساقطة يتسرب إلى التربة، هذا بالإضافة إلى قلة انحدار سطح الحوض.

- أحواض يقل حجم سيولها المتوقع عن ١٥٠٠ ألف م^٣: تعد هذه الفئة هي الشائعة بين أحواض روافد الدراسة، حيث تضم ١٦ حوضاً بنسبة ٦٢% من جملة أعداد أحواض الروافد، وتمثل مجتمعة ١١% من جملة سيول أحواض الروافد؛ ويرجع ذلك إلى صغر مساحتها، وقلة انحدار سطحها، وزيادة زمن التباطؤ، بالإضافة إلى انخفاض قيم المنحنى العددي الموزون المسجل في معظمها، وهذه الأحواض هي: محدف، وعطواني، وأم تندبة، والتمد الكبير، والمويه العطشان، وأبو تناضب، وعلم الغراب، وأبو كويج، والسلم، وروض عايد، وأبو سكرانة، والقرن القبلي، والمسلات، وأحواض ١، و٢، و٣.

ب- تقدير قمة التصرف (م^٣/ثانية):

يعد هذا المعامل من المعاملات الهيدرولوجية المهمة؛ فكلما زاد تصرف السيل في الحوض كلما زادت قدرته على النحت والنقل، وبالتالي ارتفعت درجة خطورة السيل، ويلاحظ من قراءة جدول (٢) أن قيم أقصى تصرف للسيول تتباين في أحواض الروافد من حوض إلى آخر؛ حيث تراوحت بين ٠.٠١٦ م^٣/ثانية في حوض رقم ٣، و ٣٠٠ م^٣/ثانية في حوض وادي أراك، بمتوسط ٧٦.٩ م^٣/ثانية، وانحراف معياري ١٠١.٨ م^٣/ثانية، وبلغت نسبة الاختلاف ١٣٢.٤%، مما يدل على وجود اختلافات كبيرة في أقصى تصرف للسيول بأحواض الروافد، ويمكن تقسيم أحواض الروافد تبعاً لذلك إلى أربع فئات، يعرضها شكل (١٣-ب)، هي:

- أحواض تتراوح قمة تصرف سيولها (من ٢٠٠ - ٣٠٠ م^٣/ثانية): تضم خمسة أحواض تقع جميعها في المنابع العليا للحوض، وهي: عطالله، وأم عيش الحمرة، وأراك، وزيدون الأعلى، ومعصر.
- أحواض تتراوح قمة تصرف سيولها (من ١٠٠ - أقل من ٢٠٠ م^٣/ثانية): تضم ثلاثة أحواض تقع جميعها أيضاً في المنابع العليا للحوض، وهي: القش، وأم حاد، وأم سليمان.
- أحواض تتراوح قمة تصرف سيولها (من ٢٥ - أقل من ١٠٠ م^٣/ثانية): تشتمل على ثلاثة أحواض هي: البويب، والمشاش، ومحدف، وأم تندبة.
- أحواض تقل قمة تصرف سيولها عن ٢٥ م^٣/ثانية: تعد هذه الفئة هي الشائعة في أحواض روافد الدراسة، حيث تضم ١٤ حوضاً بنسبة ٥٤% من جملة أعداد أحواض الروافد، وهذه الأحواض هي: المسلات، و١، و٢، و٣، وأبو سكرانة، والقرن القبلي، والسلم، وعلم الغراب، وأبو كويج، وأبو تناضب، والتمد الكبير، والمويه العطشان، وعطواني، ويبلغ متوسط قمة تصرف سيول هذه الأحواض ٣.٩ م^٣/ثانية.



شكل (١٣) : تقدير حجم السيل وقمة التصريف وزمن الوصول لقمة التصريف

في أحواض تصريف الدراسة.

المصدر: اعتمادًا على بيانات جدول (٢).

ويلاحظ من التوزيع السابق أن قمة تصرف السيول لا ترتبط بمساحة الحوض؛ حيث أن الأحواض التي سجلت أعلى قيم تقع في الفئة الأولى هي أحواض صغيرة المساحة، بينما وقعت أكبر الأحواض مساحة في الفئة الثالثة، وبهذا يمكن القول بأن العامل الرئيسي المتحكم في أقصى تصرف للسيول هو نوع التربة والغطاء الأرضي، والذي يحدد كمية المياه المتسربة، بالإضافة إلى عامل الانحدار، فكلما اشتد الانحدار كلما ساعد ذلك على زيادة سرعة تصرف المياه بكميات أكبر.

ج- تقدير زمن الوصول إلى قمة منحنى التصرف (ذروة السيل):

يقصد به الفترة الزمنية اللازمة لوصول قمة منحنى التصرف من منبع الوادي إلى مصبه. ويلاحظ من قراءة جدول (٢) أن القيم تتراوح بين ١٣.٤٥ ساعة في حوض وادي أم عيش الحمرة، و ٣٤.١٥ ساعة في حوض ١، بمتوسط ٢٢.٩ ساعة وانحراف معياري ٦.٩ ساعة، ونسبة اختلاف ٣٠.٤%، ويدل ذلك على وجود اختلافات متوسطة بين أحواض الروافد، ولذا يمكن تصنيفها إلى خمس فئات تبعاً لزمن وصولها إلى قمة منحنى التصرف (شكل ١٣-ج)، وهي:

- أحواض يقل زمن وصولها إلى قمة تصرف السيل عن ١٥ ساعة: تضم خمسة أحواض تقع في المنابع العليا لحوض وادي القرن، وهي: أم عيش الحمرة، وأم سليمان، وعطالله، ومحدف، وأراك. وتتسم هذه الأحواض بشدة انحدار سطحها، مما يساعد على سرعة وصولها لقمة منحنى التصرف، ومن ثم ترتفع درجة خطورتها، هذا بالإضافة إلى وقوعها في نطاق الصخور النارية والمتحولة، وارتفاع قيم المنحنى العددي الموزون لأحواضها؛ وبالتالي قلة كمية المياه المتسربة.

- أحواض يتراوح زمن وصولها إلى قمة تصرف السيل (من ١٥ - أقل من ٢٠ ساعة): تضم ستة أحواض، هي: معصر، وزيدون الأعلى، وأبو كويح، وروض عايد، والسلم، وأم حاد.

- أحواض يتراوح زمن وصولها إلى قمة تصرف السيل (من ٢٠ - أقل من ٢٥ ساعة): تشتمل ثلاثة أحواض، هي: أم تندبة، والقش، والمويه العطشان.

- أحواض يتراوح زمن وصولها إلى قمة تصرف السيل (من ٢٥ - أقل من ٣٠ ساعة): تضم ستة أحواض، هي: التمد الكبير، وعطواني، والقرن القبلي، وأبو تناضب، وعلم الغراب، وحوض ٢، والبويب. ويلاحظ أن جميعها أحواض صغيرة المساحة فيما عدا حوض وادي البويب أكبر أحواض الروافد مساحة؛ ويرجع سبب وقوعها في نفس الفئة هو أن الأحواض صغيرة المساحة تتسم بانحدارات قليلة، ورقم منحنى عددي موزون منخفض، لذلك تأخذ وقتاً

طويلاً لوصولها إلى قمة منحني تصرف السيل، بينما حوض البويب فيتنس بانحدارات متوسطة، وتقع منابعه في الصخور النارية والمتحولة بجبال البحر الأحمر، وله قيمة منحني عددي موزون أعلى، ويرجع وجوده في هذه الفئة إلى زيادة طول مجراه الرئيسي، وبالتالي زيادة الوقت اللازم لوصول السيل إلى قمة تصرفه عند المصب.

- أحواض يتراوح زمن وصولها إلى قمة تصرف السيل (من ٣٠ - أقل من ٣٥ ساعة): تشمل على خمسة أحواض، هي: أبو سكرانة، والمشاش، وحوض ٣، والمسلات، وحوض ١، وتتسم هذه الأحواض بانحدارات قليلة، وقيم منحني عددي موزون منخفضة (من ٤٩.٥ - ٦٨)، وبالتالي زيادة كمية المياه المتسربة، وبهذا تقل خطورة سيول هذه الأحواض.

ويلاحظ من التوزيع السابق أن هناك عاملين رئيسيين مؤثرين في زمن الوصول إلى قمة منحني تصرف السيل، العامل الأول: يتمثل في الانحدار، فالعلاقة بين زمن الوصول إلى قمة منحني تصرف السيل والانحدار علاقة عكسية، فكلما زاد الانحدار قل الوقت المطلوب للوصول إلى قمة منحني تصرف السيل بسبب سرعة التدفق، والعكس في الأحواض التي يتسم سطحها بانحدارات قليلة. ويتمثل العامل الثاني في قيمة المنحني العددي الموزون لكل حوض تصريف، فالأحواض التي تتسم بارتفاع قيمة المنحني العددي الموزون، تتسم بقلة المياه المتسربة، وبالتالي زيادة كمية المياه السطحية المتدفقة.

رابعاً - التحليل الهيدروجيوميورفولوجي لتحديد درجات خطورة السيول في أحواض الرواند :

توجد العديد من التصنيفات لتحديد درجات خطورة السيول، واعتمدت هذه التصنيفات على بعض المعاملات المورفومترية والهيدرولوجية والتضاريسية والجيولوجية، ومن أهم الدراسات التي قدمت في هذا المجال دراسات (الشامي، ١٩٩٥، ص ص ٦٤-٦٦)، و(موسى، ٢٠٠٠، ص ١٩٤)، و(البهناوي، ٢٠٠٣، ص ص ٢٦١-٢٦٢)، ولكل تصنيف من التصنيفات المستخدمة في الدراسات السابقة مميزات وعيوبه. وقد ظهر في العديد من الدراسات الحديثة تصنيفاً جديداً يعتمد على استخدام عدد كبير من المعاملات المورفومترية والهيدرولوجية، ويعطي هذا التصنيف نتائجاً أكثر دقة، ومن أهم هذه الدراسات (Omran, et al., 2011, p. 9; Shi, 2014,) (pp. 36-37; Alrikabi, 2015, p. 1596).

ويمكن تحديد درجات خطورة سيول أحواض تصريف الدراسة اعتماداً على المعاملات والهيدرولوجية، وقد أشار Alrikabi إلى اختلاف وحدات قياس هذه المعاملات بعضها عن بعض، فبعض المعاملات ترتبط طردياً مع درجة خطورة سيول الحوض، والبعض الآخر يرتبط عكسياً، ولكي يتم استخدام جميع هذه المعاملات في تحديد خطورة سيول الأحواض لابد أن يتم ضبط وحدات قياسها عن طريق تحويلها إلى درجات معيارية؛ حيث لا يمكن جمع قيم معاملات ذات وحدات قياس متنوعة، ولذلك يجب توحيد قيم هذه المعاملات في قيم ذات وحدات قياس مناسبة، وتتراوح القيم التي يأخذها كل معامل بين صفر و ١ (Alrikabi, 2015, p. 1596).

وبناءً عليه يتم وضع المعاملات المستخدمة في مجموعتين تبعاً لطبيعة علاقة الارتباط التي تربط بين قيم المعامل ودرجة خطورة السيل. وتضم المجموعة الأولى المعاملات التي ترتبط طردياً مع درجة خطورة السيل، بينما تضم المجموعة الثانية المعاملات التي ترتبط عكسياً مع درجة خطورة السيل (Shi, 2014, p. 36). وقد تم في الدراسة الحالية تحليل ٦ معاملات هيدرولوجية، و ١٥ معاملاً مورفومترياً (جدولي ٢ و ٤)، وتلى ذلك تطبيق واحدة من المعادلتين التاليتين، بحيث تم تطبيق المعادلة الأولى مع المجموعة الأولى من المعاملات، بينما تم تطبيق المعادلة الثانية مع المجموعة الثانية من المعاملات:

$$x' = x - \min(x) / \max(x) - \min(x) \quad \text{معادلة (١)}$$

$$x' = 1 - [x - \min(x) / \max(x) - \min(x)] \quad \text{معادلة (٢)}$$

(Shi, 2014, pp. 36-37)

حيث أن:

$$x' = \text{الدرجة المعيارية للمعامل المورفومتري،}$$

$$x = \text{المعامل المورفومتري للحوض الفرعي (الرافد)،}$$

$$\min(x) = \text{أقل قيمة مسجلة للمعامل المورفومتري في الأحواض الفرعية (الروافد)،}$$

$$\max(x) = \text{أكبر قيمة مسجلة للمعامل المورفومتري في الأحواض الفرعية (الروافد).}$$

جدول (٤-أ) : المعاملات المورفومترية لأحواض وشبكات تصريف الدراسة.

متوسط درجة انحدار الحوض	قيمة الوعورة	التضاريس النسبية	التضاريس القصى (م)	معامل الشكل	معامل الاستدارة	معامل الاستطالة	المساحة (كم ^٢)	الحوض
٦.٨	٢.٧	٠.٢٢	٤٩٤	٠.٣١	٠.٣	٠.٣٦	١١٨٠	البويب
٤.٢	٣.٩١	٠.٤	٦٦٤	٠.٣٩	٠.٣٤	٠.٠٤	٧٥٩	المشاش
٨.٢	٢.٩٣	٠.٣٨	٦٤١	٠.٢٦	٠.٢٦	٠.٣٢	٥٨٣	القش
١٠.١	٢.٤٠	٠.٤٢	٥٣٦	٠.٣	٠.٣٦	٠.٣٥	٤٥٨	أم حاد
١٠.٩	٣.١٦	٠.٥١	٦٨٣	٠.٢٤	٠.٣٢	٠.٣١	٤٤٩	زيدون الأعلى
٥.٣	١.٧٦	٠.٢٨	٣٢٤	٠.٣٠	٠.٣٥	٠.٣٥	٣٨٦	عطواني
١٠	٢.٢٢	٠.٤٢	٤٨٣	٠.٣٦	٠.٣٣	٠.٣٨	٣٥٦	أراك
٧.٣٧٦	١.٩٧	٠.٣٨	٤٢٤	٠.٢٦	٠.٣٢	٠.٣٢	٣٢٣	معصر
١٠.٤	١.٤٢	٠.٣١	٣٢٤	٠.١٧	٠.٢٧	٠.٣٠	٢٤١	المويه العطشان
١٠.٥	٢.٦٢	٠.٦	٥٧٨	٠.٢٦	٠.٣١	٠.٣٢	٢٣٤	عطالله
٤.١	٣.٣٦	٠.٦٩	٥٦٩	٠.١٩	٠.٣٧	٠.٢٧	٢٠٠	التمد الكبير
١٢.٧	٣.١	١.١١	٦٩١	٠.٦٣	٠.٥٦	٠.٥	١٧٤	أم عيش الحمراء
٨.٢	٢.٠٤	٠.٦٥	٤٤٢	٠.٤٣	٠.٤١	٠.٤٢	١٥١	أم سليمان
٣.٩	١.٢٦	٠.٢٢	٢١٨	٠.١٢	٠.٢٠	٠.٢٢	١٥٠	أبوتناضب
٣.٤	١.٧٣	٠.٣٩	٢٨٥	٠.١٥	٠.٢٧	٠.٢٤	١١٦	أم تندبة
٣.٩	١.٤٩	٠.٣٨	٢٦٣	٠.١٩	٠.٣	٠.٢٧	١١٤	علم الغراب
٧.٥	١.٢٩	٠.٤١	٢٨٠	٠.٢	٠.٢٨	٠.٢٨	١٠٣	محدف
٤.٢	١.٦٣	٠.٤٥	٢٧٨	٠.١٨	٠.٣٣	٠.٢٧	٩٩	المسلات
٢.٧	١.٣٤	٠.٥	٢٢٢	٠.٢١	٠.٣٧	٠.٢٩	٦٠	وادي ١
٣.٢	١.٠٦	٠.٤٢	١٧٤	٠.٠٩	٠.٣٩	٠.١٩	٥٤	وادي ٢
٩.١	٠.٩	٠.٥٢	١٨٠	٠.٢٤	٠.٤٥	٠.٣١	٤٤	أبو كويج
٢.٩	٠.٩٨	٠.٤١	١٥٧	٠.١٦	٠.٣٤	٠.٢٥	٤٠	وادي ٣
٥	٠.٦٣	٠.٤٤	١١٤	٠.٣٤	٠.٥٩	٠.٣٧	٣٢	السلم
٢.٥	١.٠٤	٠.٥٤	١٧٣	٠.١٧	٠.٣٨	٠.٢٦	٣٠	أبوسكرانة
٢.٩	٠.٥٦	٠.٤	٩٧	٠.٣٢	٠.٥٦	٠.٣٦	٢٦	القرن القلي
٤	٠.٥٧	٠.٥١	١١٩	٠.١٨	٠.٣٩	٠.٢٧	١٧	روض عايد

المصدر: اعتماداً على الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف باستخدام برنامج WMS.

جدول (٤-ب) : استكمال المعاملات المورفومترية لأحواض وشبكات تصريف الدراسة.

متوسط درجة انحدار المجاري	تكرار المجاري	كثافة التصريف	إجمالي المجاري أطول (كم)	التشعب	إجمالي المجاري أعداد (مجرى)	المرحلة الجيومورفولوجية	الحوض
٣.٩	١٥.٤	٥.٥	٦٤٥٢.٣	٣.١١	١٨١٨٤	٠.٤٦	البويب
٣.٥	١٥.٥	٥.٩	٤٤٦٤.٥	٤	١١٧٤٣	٠.٣١	المشاش
٥.٥	١٥.١	٤.٦	٢٦٦٣.٥	٣.١٤	٨٧٨٣	٠.٤١	القش
٦.٧	١٤.٦	٤.٥	٢٠٤٩.٣	٣.٥٨	٦٧٠٣	٠.٤٩	أم حاد
٧.٢	١٥.١	٤.٦	٢٠٧٤.٧	٣.٩١	٦٧٧٠	٠.٤٤	زيدون الأعلى
٣.٢	١٥.٢	٥.٤	٢١٠٣.٢	٣.٥٩	٥٨٦٥	٠.٤٨	عطواني
٦.٢	١٥.٢	٤.٦	١٦٣١.٨	٢.٩٣	٥٤٠٦	٠.٤٦	أراك
٦.١	١٤.٩	٤.٧	١٥٠٣.١	٣.٣٧	٤٨٢٧	٠.٤٧	معصر
٥.٦	١٤.٦	٤.٤	١٠٥٥.٨	٤.٣٦	٣٥٢٠	٠.٤٩	المويه العطشان
٦.٩	١٤.٦	٤.٥	١٠٥٩	٣.١٩	٣٤٢٥	٠.٤١	عطالله
٣.٢	١٤.٢	٥.٩	١١٨٢.٧	٤	٢٨٣٧	٠.٣٤	التمد الكبير
١١.٧	١٤.٣	٤.٥	٧٧٩.١	٣	٢٤٨١	٠.٣٣	أم عيش الحمرة
٦.٥	١٥	٤.٦	٦٩٨.٥	٢.٩٨	٢٢٦٨	٠.٤	أم سليمان
٢.٢	١٥.٩	٥.٨	٨٦٧.٥	٣.٩	٢٣٧٧	٠.٦٤	أبوتناضب
٢.٤	١٣.٨	٦.١	٧٠٣.٣	٣.٧	١٥٩٣	٠.٤٣	أم تندبة
٢.٣	١٤.٧	٥.٧	٦٤٢.٩	٣.٦	١٦٧٠	٠.٤٣	علم الغراب
٥.٣	١٥.٢	٤.٦	٤٧٤.٨	٣.٧	١٥٦٨	٠.٦٣	محدف
٢.٩	١٤.٤	٥.٩	٥٧٩.٤	٣.٤	١٤٢٧	٠.٤٥	المسلات
١.٦	١٥.٤	٦.٠	٣٦٢.٣	٣.٢	٩٢٤	٠.٣٣	وادي ١
١.٩	١٤.٨	٦.١	٣٢٨.١	٤.٢	٨٠٠	٠.٤٢	وادي ٢
٤.٧	١٣.٩	٥.٠	٢١٨.٢	٤.٢	٦٠٧	٠.٦١	أبو كويح
١.٩٩	١٥.٦	٦.٢	٢٥٠.٦	٣.١	٦٢٥	٠.٤٧	وادي ٣
٢.٦	١٤.٥	٥.٥	١٧٧.٢	٣.٥	٤٦٧	٠.٤٨	السلم
١.٨	١٦.٠	٦.٠	١٨١.٨	٣.٥	٤٨٦	٠.٣٢	أبوسكرانة
١.٨	١٥.٥	٥.٨	١٤٩.١	٣.٣	٤٠١	٠.٤٧	القرن القبلي
١.٩	١٥.١	٤.٨	٨٠.٥	٣.٣	٢٥٦	٠.٤٣	روض عايد

المصدر: اعتمادًا على الاستخلاص الآلي لأحواض وشبكات التصريف باستخدام برنامج WMS.

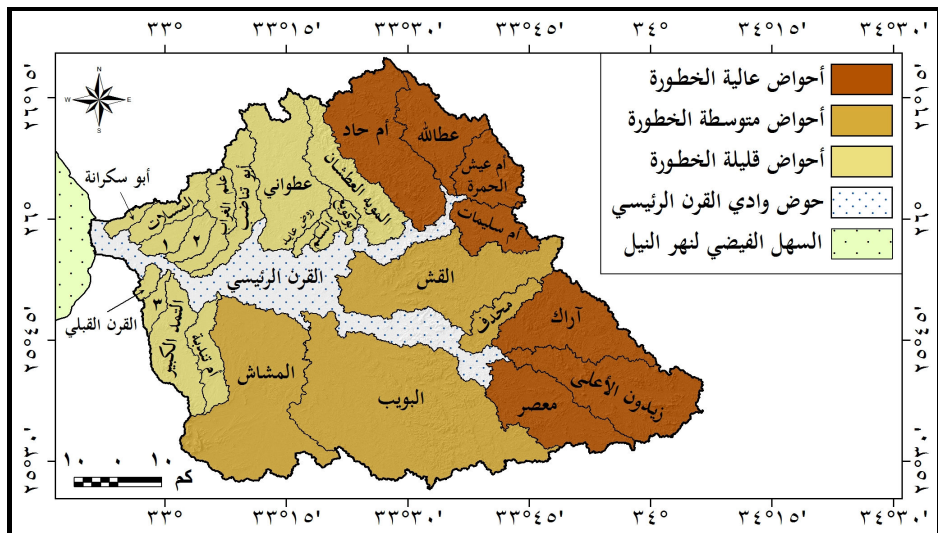
وتم تطبيق المعادلة الأولى مع معاملات: المساحة، ونسبة الاستدارة، والتضاريس القصى، ومعامل الشكل، والتضاريس النسبية، وقيمة والوعورة، ومتوسط درجة انحدار سطح الحوض، والمرحلة الجيومورفولوجية، وقيمة المنحنى العددي الموزون، وإجمالي أعداد وأطوال المجاري، وكثافة التصريف، وتكرار المجاري، ومتوسط درجة انحدار المجاري، وحجم السيل، وأقصى تصرف، بينما تم تطبيق المعادلة الثانية مع معاملات نسبة الاستطالة، ومتوسط نسبة التشعب، وزمن التركيز، وزمن التباطؤ، وزمن الوصول لقمة منحنى التصريف. ويتم بعد ذلك تجميع جميع القيم المستخرجة من المعادلتين (١ و ٢) بطريقة حسابية لكل حوض فرعي، ثم تحديد درجات خطورة الأحواض الفرعية. وكلما ارتفعت القيم المسجلة في الحوض كلما كانت السيول التي تجري به على درجة عالية من الخطورة والعكس صحيح (Omran, et al., 2011, P. 9). وتم تجميع القيم المعيارية لكل حوض من أحواض الروافد، وتراوحت القيم المعيارية بين ٥.١٦ في حوض رقم ٢، و ١٢.٥٨ في حوض أم عيش الحمراء، بمتوسط ٨.١١، وانحراف معياري ٢.٤، ونسبة اختلاف ٢٩.٧%، وقد تم تقسيم الفارق بين أعلى وأقل قيمة معيارية مسجلة إلى ثلاث فئات تبعاً لدرجة خطورة السيول، كما هو واضح في شكل (١٤)، وهي:

- **أحواض عالية الخطورة (من ١٠.١ - أقل من ١٢.٥٨):** تضم سبعة أحواض هي من الأعلى خطورة إلى الأقل، أحواض: أم عيش الحمراء، وزيدون الأعلى، وأراك، وعطاش، وأم حاد، وأم سليمان، ومعصر، وبالتالي تشمل هذه الفئة جميع الأحواض الموجودة في المنابع العليا للحوض، وذلك في نطاق جبال البحر الأحمر فقط، وتتألف من الصخور النارية والمتحولة، وتتسم هذه الأحواض بشدة انحدار سطحها ومجاريها، وانخفاض قيم معاملي زمن التباطؤ وزمن التركيز، كما تتسم بارتفاع قيم المنحنى العددي الموزون، وبالتالي قلة التسرب، وارتفاع احتمالية حدوث السيول، ويلاحظ من قراءة شكل (١٤) أن هذه الأحواض سجلت أقل كميات فواقد، وقد أدت كل الخصائص السابقة إلى وقوع هذه الأحواض في هذه فئة الأحواض مرتفعة الخطورة.

- **أحواض متوسطة الخطورة (من ٧.٦٣ - أقل من ١٠.١):** تضم أربعة أحواض، هي: من الأعلى خطورة إلى الأقل، أحواض: البويب، والقش، المشاش، ومحدف، ويلاحظ أن أول ثلاثة أحواض بالفئة تمثل أكبر أحواض الروافد مساحة، وبها تنوع للصخور ما بين النارية والمتحولة والرسوبية، ويرجع السبب الرئيسي لعدم وقوعها في الفئة السابقة أنها سجلت قيم منحنى عددي موزون متوسطة، بالإضافة إلى أنها أحواض متوسطة في درجة الانحدار ومعظم قيم المعاملات الهيدرولوجية، بينما يلاحظ أن حوض محدف صغير المساحة والأبعاد، وقليل في أعداد المجاري وأطوالها، وتقل به كمية السيول المحتملة، ولكنه يتألف في الأساس من

الصخور النارية والمتحولة، وبالتالي تشتد درجة انحدار سطحه، وترتفع به قيمة المنحنى العددي الموزون، وبالتالي نقل كمية الفواقد.

- أحواض قليلة الخطورة (من ٥.١٦ - أقل من ٧.٦٣): تضم ١٥ حوضاً (٥٧.٧ % من جملة أعداد أحواض الروافد)، وهذه الأحواض من الأعلى خطورة إلى الأقل: التمد الكبير، وعطواني، وأبو كويح، والسلم، وأم تندبة، والمويه العطشان، وأبو تناضب، والقرن القبلي، وروض عايد، وحوض ٣، وعلم الغراب، والمسلات، وأبو سكرانة، وحوض ١، وحوض ٢. وتنتم هذه الأحواض بانحدارات هينة، وارتفاع زمني التباطؤ والتركيز، مما يشير إلى أن مياه السيول تستغرق وقتاً طويلاً للوصول إلى المصب، بالإضافة إلى انخفاض قيم المنحنى العددي الموزون، بسبب وقوع معظمها ضمن المجموعات الهيدرولوجية للتربة A & B، وبالتالي يسجل بها أعلى تسرب وأقل جريان سطحي؛ حيث يتسرب جزء كبير من مياه المطر إلى باطن الأرض، ويؤكد ذلك شكل (١٤)، والذي يتضح منه أن هذه الأحواض سجلت أعلى فواقد للمطر وأقل جريان سطحي، وبالتالي فإن هذه الفئة على قدر كبير من الأهمية لأن هناك احتمالات مرتفعة جداً لوجود المياه الجوفية في هذه الأحواض؛ ويزيد من هذه الاحتمالات وجود هذه الأحواض في نطاق صخور الحجر الرملي بهضبة العبادة الغنية بخزانات المياه الجوفية، وبالتالي فإن هذه المناطق هي أفضل المناطق للتوسع في عمليات التنمية المختلفة، وخاصة التنمية الزراعية، ويزيد من ذلك أنها أقل أحواض الروافد خطورة.



شكل (١٤) : خريطة فئات درجات خطورة سيول أحواض روافد الدراسة.

المصدر: اعتماداً على نتائج تطبيق المعادلتين الواردتين في المتن على ٢١ معاملاً هيدروجيومورفولوجياً.

خامساً - درء خطر السيول والاستفادة من مياهها :

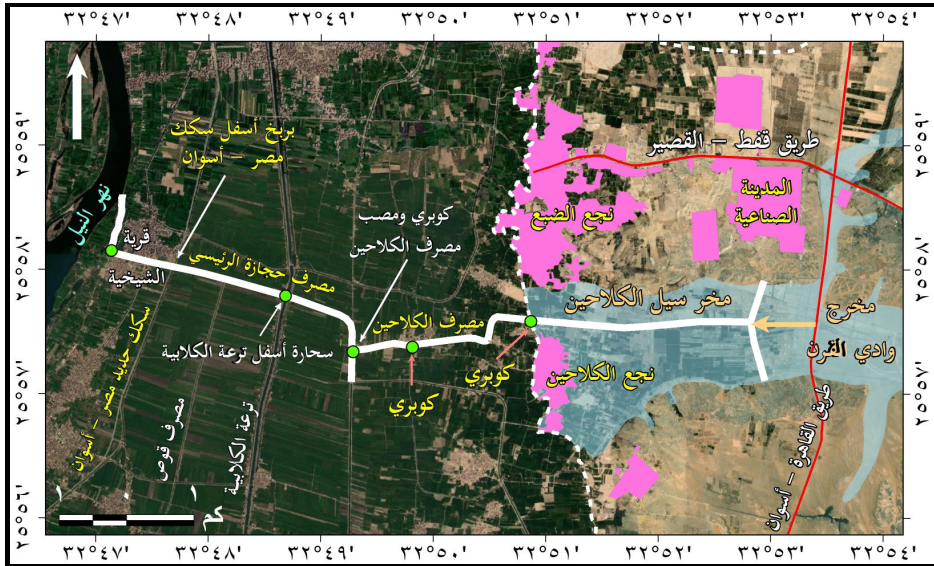
تؤدي الجريانات السيلية في مصر إلى العديد من الخسائر في الأرواح والممتلكات والبنية التحتية، كما يتم إهدار معظم مياه السيول دون الاستفادة منها، وذلك على الرغم من الحاجة الماسة إليها، وفي ضوء ذلك تحاول الدراسة الحالية وضع عدة مقترحات لدرء خطر سيول الحوض، وكذلك محاولة الاستفادة من مياه السيول في العديد من أوجه التنمية في الحوض.

ويوجد في حوض وادي القرن العديد من الأنشطة البشرية؛ حيث يرتبط به طريقي قفط - القصر والقاهرة - أسوان الصحراوي الشرقي، كما يوجد عند المصب المنطقة السكنية والأراضي الزراعية لنجعي الكلايين والضبع، وقرية اللقيطة التي تبعد بنحو ٣٥ كم عن مصب الحوض، وهناك أيضًا المنطقة الصناعية لمدينة قفط، ومحطة الصرف الصحي لمدينة قفط، وتقع معظم هذه الأنشطة والاستخدامات البشرية في القنوات النشطة للسيول فيما عدا المنطقة الصناعية والمنطقة السكنية لنجعي الضبع، وسيتم دراسة هذا الجزء من البحث من خلال عرض وسائل الحماية المقامة حاليًا، ثم عرض وسائل الحماية المقترحة من الدراسة، وذلك اعتمادًا على نتائج النمذجة الهيدرولوجية وخريطة درجات الخطورة لأحواض الدراسة، بما يساعد في درء خطر السيول والاستفادة من مياهها، وذلك على النحو التالي:

(١) وسائل الحماية المقامة حاليًا في الحوض:

أ- مخر سيل الكلايين:

تم إنشاؤه في عام ١٩٩٤ وذلك عقب التدمير الذي حدث عند مصب حوض القرن بعد سيول ٢ نوفمبر ١٩٩٤، ويبدأ المخر عند مصب وادي القرن وذلك إلى الشرق من قرية الكلايين بنحو ٣.٥ كم، ويلاحظ من قراءة شكل (١٥) أن المخر يأخذ شكل حرف T؛ حيث تتعامد بدايته على القناة النشطة لسيول وادي القرن بطول ١.٦ كم، وذلك بهدف تجميع مياه السيول وتوجيهها إلى المخر الأساسي الذي يمتد من الشرق إلى الغرب بطول ٣.٥ كم ليصل إلى مصرف الكلايين، ومنه إلى مصرف حجازة ثم إلى نهر النيل وقد لوحظ أثناء الدراسة الميدانية أن معظم جوانب المخر لا توجد بها تغطية وأجزاء قليلة منها تم تكسيته بالدبش والمونة، كما لوحظ قيام الأهالي بتغطية جوانب المخر بمخلفات البناء والأراضي الزراعية، كما سجل وجود بعض النباتات الطبيعية ومخلفات البناء ومخلفات الأراضي الزراعية في عدة قطاعات من المخر، مما يتطلب معه ضرورة القيام بالتنظيف المستمر للمخر كما في الصورتين (٢ أ، ب).



شكل (١٥) : مسار مخر سبيل الكلايين.

المصدر: اعتمادًا على الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٢٥.٠٠٠ و ١: ٥٠.٠٠٠، وبرنامج Google Earth Pro.



صورة (٢) : مخر سبيل الكلايين. أ- قبل التقائه مع مصرف الكلايين (ناظرًا صوب الشرق)، ب- عند مخرج وادي القرن على الهامش الصحراوي (ناظرًا صوب الشمال).

وعندما تم إنشاء المخر في عام ١٩٩٤ كانت قمة تصرفه تبلغ ٢٥ م^٣/ثانية، وفي عام ٢٠٠٣ قام معهد بحوث الموارد المائية التابع لوزارة الموارد المائية والري بأعمال رفع مساحي لمخر السيل والمناطق التي يصب بها، وذلك لتطوير المخر ليستوعب قمة تصرف تبلغ ١٤٠ م^٣/ثانية، ولكن اتضح أن هناك بعض الأعمال الهندسية التي تعوق هذا التطوير، وتتمثل في سحارة مصرف حجازة أسفل ترعة الكلاية وطريق القاهرة - أسوان، وبربخ مصرف حجازة أسفل كوبرى خط السكك الحديدية القاهرة - أسوان، ومصعب مصرف حجازة في نهر النيل، والذي يقع عند قرية الشيخية، ومما يستلزمه من أعمال حماية أو توسعه بطريقة لا تؤثر على المساكن المجاورة كما هو واضح في شكل (١٥).

وتقف هذه الأعمال الهندسية كحجر عثرة أمام زيادة قمة تصرف الحوض على ٢٥ م^٣/ثانية (معهد بحوث الموارد المائية، ٢٠٠٣، ص ٣)، وبناءً على ما خلصت إليه الدراسة الحالية، فإن مخر سيل الكلايين لن يستوعب معظم كمية التصرف عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، والتي تم عرضها في جزء سابق، وبالتالي تصبح هناك خطورة كبيرة على الأراضي الزراعية والأرواح والممتلكات في نجع الكلايين، ومن الممكن أن تتعرض هذه المناطق للتدمير الكامل كما حدث في سيول ١٩٩٤، وذلك لعدم قدرة المخر على استيعاب المياه المتدفقة من الحوض، الأمر الذي يستوجب معه إقامة عمليات حماية على أحواض الروافد الخطيرة، وبالتالي تقليل تصرف السيل عند مصب الحوض، وبالتالي استيعاب المخر بخصائصه الحالية لباقي مياه السيول.

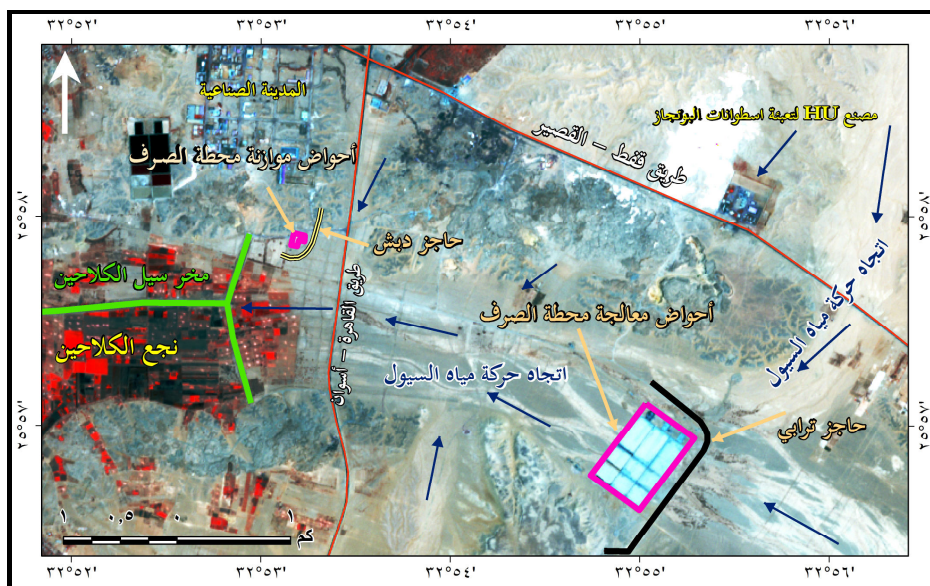
ب- حواجز توجيه لحماية محطة الصرف الصحي لمدينة قفط:

تقع محطة الصرف الصحي لمدينة قفط في القناة النشطة لسيول وادي القرن (شكل ١٦) وتتكون المحطة من جزئين يتمثل الأول في عدد من أحواض الموازنة التي توجد في القناة النشطة لسيول وادي القرن عند مصب وادي أبو سكرانة، ويتمثل الجزء الثاني في أحواض المعالجة التي توجد أيضاً فوق القناة النشطة لسيول وادي القرن (شكل ١٦)، وتعد محطة الصرف الصحي في قفط واحدة من مشروعات البنية التحتية التي تحتاج إلى الحماية من خطر السيول، ولذلك قام معهد بحوث الموارد المائية في عام ٢٠١٠ بإعداد دراسة لوضع أفضل السبل لحماية المحطة من خطر السيول، وتم وضع بعض المقترحات البسيطة لحماية المحطة، وقد روعي أن يكون تنفيذ هذه المقترحات بأقل تكلفة اقتصادية، وتتمثل هذه المقترحات في:

- إنشاء حاجز توجيه ترابي لحماية أحواض المعالجة بطول ٢.٢ كم وارتفاع ٢ م، على أن يتكون الحاجز من رواسب قاع الوادي، مع تطعيمها بنسبة أحجار لا تزيد على ٢٠%، ثم تكسيته لضمان عدم حدوث نحر، مع مراعاة التطهير المستمر للوادي أمام وخلف الحاجز.

- إنشاء حاجز توجيه آخر بطول ٢٨٠ م وارتفاع ١.٢٥ م، وتكسيته بالديش والمونة، وذلك لحماية أحواض الموازنة التابعة لمحطة الصرف (تقرير معهد بحوث الموارد المائية، ٢٠١٠، ص ٢٤). وقد تبين أثناء الدراسة الميدانية ومن خلال فحص المرئيات الفضائية Sentinel-2 في ١٠ مايو ٢٠٢٠ أن المقترحات السابقة تم تنفيذها بالفعل وبنفس الأطوال المذكورة في تقرير عام ٢٠١٠، كما هو واضح في شكل (١٦).

وترى الدراسة أن هذه الحواجز يمكن أن تحمي المحطة من خطر السيول، ولكنها لم تراعى باقي الاستخدامات البشرية الواقعة خلف هذه الحواجز، والمتمثلة منطقة الاستصلاح الزراعي الواقعة بين المحطة ومخر سبل الكلاحين، وكذلك طريق القاهرة - أسوان الصحراوي الشرقي.

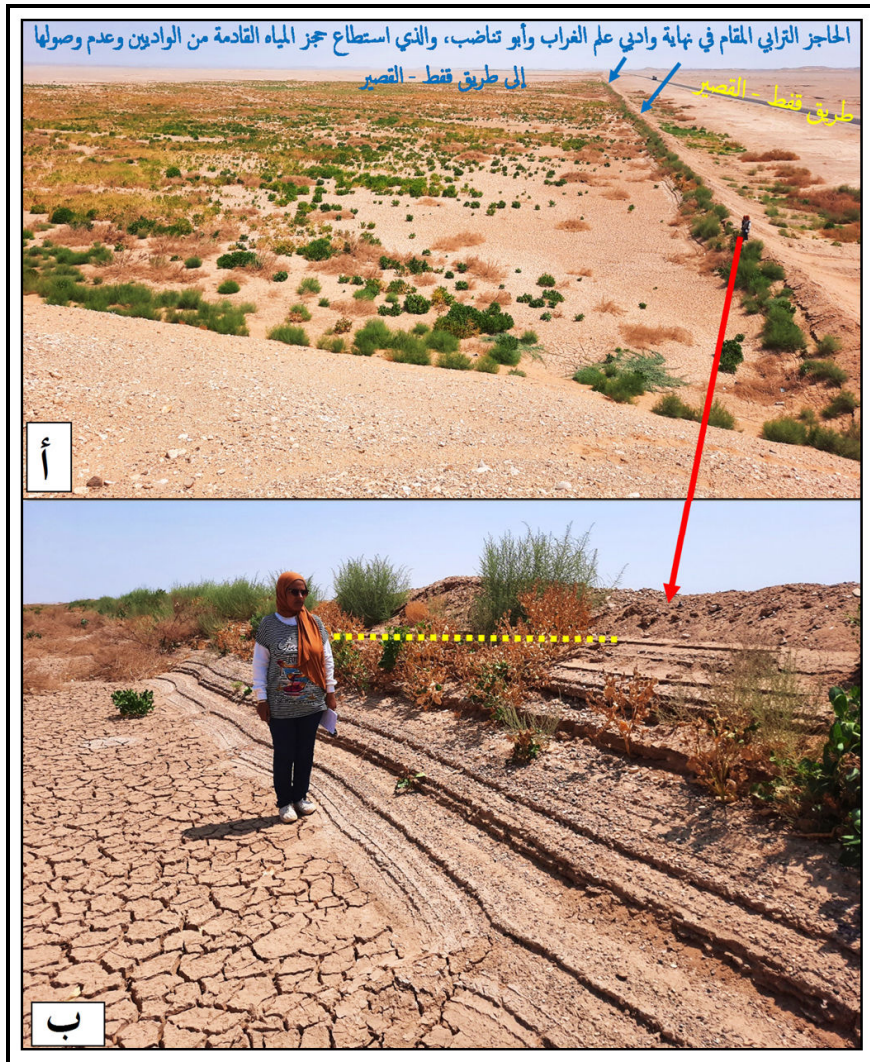


شكل (١٦) : الحواجز المقامة لحماية أحواض المعالجة والموازنة الخاصة بمحطة الصرف الصحي بقفط.

ج- الحواجز الترابية:

لوحظ أثناء الدراسة الميدانية وتحليل المرئيات الفضائية وجود العديد من الحواجز الترابية الممتدة عمودياً على محور امتداد القطاعات الطولية لبعض الأودية المتعامدة على طريق قفط - القصير، ويتراوح ارتفاع هذه الحواجز بين ١.٥ - ٢ م، وقد سجلت هذه الحواجز في العديد من الأودية مثل عطاءه وأبو تناضب وعلم الغرب، وتجدر الإشارة إلى أن هذه الحواجز قد تعمل على

حجز الجريانات السيلية الضعيفة، بينما ستكون غير كافية لحماية الطريق من خطر السيول القوية، وظهر في صورة (٣) إحدى البلايات المتخلفة عن بركة لسيل ١٧ مايو ٢٠٢٠، وقد تجمعت في هذا المكان بسبب وجود الحواجز الترابية، وتم قياس مساحة من المرئية الفضائية Landsat-8 بتاريخ ٢٠ مايو ٢٠٢٠ بلغت مساحتها ٢٦٣٦٠٨ م^٢، وتبعاً للقياسات الميدانية بلغ مستوى المياه بها نحو ١.٣ م، وبالتالي بلغت جملة المياه بها نحو ٣٨٠ ألف م^٣.



صورة (٣) : أ- البلايا المتخلفة عن جفاف بركة السيول المتكونة عقب سيل ١٧ مايو ٢٠٢٠، وتوجد خلف الحاجز الترابي عند مصب وادي علم الغراب، ب- مستويات ارتفاع المياه بالبركة ومرحل جفافها (ناظرًا صوب الشرق).

٢) أعمال الحماية المقترحة:

تبين من خلال دراسة أعمال الحماية المقامة حالياً في الحوض، أنها غير كافية لحماية المناطق العمرانية والأنشطة الاقتصادية الموجودة داخل الحوض؛ حيث لا توجد أي أعمال حماية في منطقة اللقيطة، على الرغم من وجود مساحات كبيرة من أراضي الاستصلاح الزراعي في قاع مجرى وادي القرن الرئيسي، هذا بالإضافة إلى عدم وجود أعمال حماية للمناطق العمرانية والأراضي الزراعية في نجع الكلاحين سوى مخر سيل الكلاحين، وقد أوضحت الدراسة أن خصائص المخر الحالية لا تجعله قادراً على درء خطر السيول القوية، وهناك العديد من الصعوبات التي تجعل هناك استحالة لرفع كفاءة هذا المخر، وبناءً عليه تضع الدراسة الحالية عدداً من المقترحات التي تأخذ في اعتبارها النقاط السابقة، بالإضافة إلى حماية طريق قفط - القصير، وكذلك الاستفادة من مياه السيول في عمليات التتمية بالحوض، وخاصة التتمية الزراعية، كما روعي أن تكون بتكلفة مالية منخفضة، بما يساعد على تنفيذ المقترحات، وذلك على النحو التالي:

أ- بناء سددين لحماية طريق قفط - القصير وتقليل كمية المياه المتجهة إلى المصب:

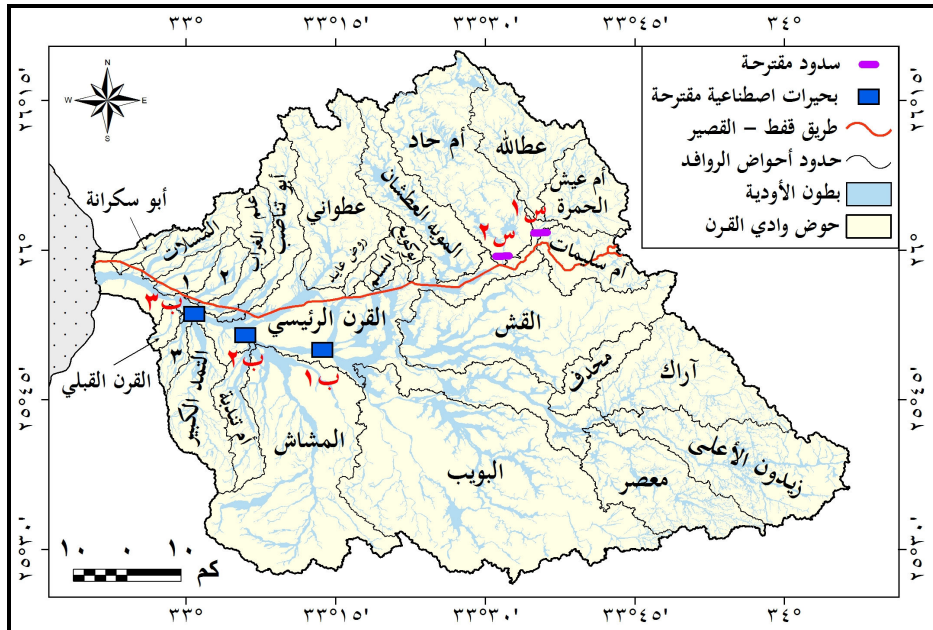
يعد طريق قفط - القصير من الطرق العرضية الرئيسية والتاريخية في الصحراء الشرقية، ويربط هذا الطريق بين مدينة القصير في الشرق، ومدينة قفط في الغرب، ويبلغ طوله ١٨٠ كم، ويمتد الطريق في القطاعات الطولية لوادي العمباجي والقرن، ويبلغ طول قطاعه في حوض الدراسة ١٠١ كم، ويبلغ اتساعه ٦ م، مع وجود أكتاف ترابية أو خرسانية بعرض يتراوح بين ١ - ٣ م من كل جانب، ويتكون الطريق من اتجاهين بدون جزيرة وسطى، وتتعامد على الطريق في حوض الدراسة العديد من الأودية التي تأتي من ناحية الشمال، وبالتالي فإن الطريق معرض لأخطار الجريانات السيلية، وكثيراً ما يحدث انقطاع لأجزاء من الطريق بواسطة السيول خاصة في المنابع العليا للحوض، وذلك لارتفاع درجة خطورة الأحواض التي تتعامد معه في منابع حوض وادي القرن، وهذه الأحواض تأتي بتصرفات عالية، ولا توجد أي أعمال إعاقة لمنع وصول المياه إلى الطريق، وتتمثل هذه الأحواض في: أم حاد، وعطالله، وأم عيش الحمرة، ويبلغ حجم السيول التي ستجري بها عند فترة رجوع ١٠٠ سنة ٥٦١١ و٤٦٨٧ و٣٥٦٠ ألف م^٣ على التوالي.

وقد أمكن من خلال تحليل المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية والدراسة الميدانية اقتراح إقامة سددين لحجز وتخزين مياه السيول، وحماية طريق قفط - القصير، وتقليل كمية المياه الواصلة إلى المصب، ويمكن عرض السددين كما يلي (شكل ١٧):

١. **السد الأول (س ١):** يقع بعد إتقاء وادي عطالله وأم عيش الحمرة وقبل اتصالهم بوادي القرن الرئيسي بنحو ٢ كم، ويتسم هذا القطاع من الوادي بالضيق والجوانب المرتفعة شديدة الانحدار، كما يبلغ اتساعه نحو ١٢٥ م، وبالتالي هناك إمكانية لإقامة سدود الحماية عليه وحجز المياه أمامها بتكلفة منخفضة.

٢. **السد الثاني (س ٢):** يقع بالقرب من مصب وادي أم حاد، وذلك قبل التقائه بوادي القرن الرئيسي بنحو ٤٠٠ م، ويتسم هذا القطاع من الوادي بأنه محدد بجوانب مرتفعة وشديدة الانحدار، كما لا يزيد اتساعه على ١٥ م، مما يقلل من تكلفة إنشاء السد، ويقع أمام هذا الجزء منطقة أكثر اتساعاً يمكنها أن تستوعب كميات كبيرة من السيول.

وعلى الرغم من وجود أحواض أخرى تقع في المنابع العليا بالحوض، ولها قمم تصرف سيول أعلى من المقدر في الأحواض السابقة، ومن أهمها: زيدون الأعلى، ومعصر، وآراك، إلا أن الدراسة الحالية لا تقترح إقامة أي سدود عليها، وذلك لأنها في مناطق تخلو من أي استخدامات بشرية.



شكل (١٧) : طرق الحماية المقترحة لدرء خطر السيول عن الأنشطة البشرية بحوض الدراسة.
المصدر: اعتماداً على تحليل المرنثيات الفضائية والخرائط الطبوغرافية والدراسة الميدانية، ونتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض الروافد.

ب- البحيرات الاصطناعية:

يلاحظ من قراءة شكل (١٧)، أن أحواض تصريف زيدون الأعلى ومعصر وآراك ومحدف تلتقي بعضها مع بعض في وادي زيدون الرئيسي، وذلك في منطقة خالية من أي استخدامات بشرية، وبعيدة تمامًا عن طريق فقط - القصير، ويسير وادي زيدون الرئيسي لمسافة تبلغ ٤٠ كم، ثم يلتقي مع وادي القش والبويب، وذلك في منطقة شبه سهلية فوق هضبة العبايدة الرملية وإلى الشرق من قرية اللقيطة بنحو ٢٠ كم، ويتسم الوادي الرئيسي في هذا القطاع بالاتساع الكبير، وعدم وجود جوانب واضحة، وبالتالي لا يمكن بناء سد لحجز سيول هذه الأحواض، ويحدث نفس الأمر أيضًا عند إلتقاء وادي المشاش وأم تندبة مع الوادي الرئيسي إلى الجنوب مباشرة من قرية اللقيطة، ويتكرر الوضع للمرة الثالثة عند إلتقاء وادي التمد الكبير ورقم ٣ إلى الغرب من قرية اللقيطة بنحو ١٢ كم.

وفي ضوء ذلك ترى الدراسة أنه من الأفضل حفر ثلاث بحيرات اصطناعية (ب ١، ٢، ٣) عند المناطق الثلاث التي تلتقي عندها الأحواض السابقة مع وادي القرن الرئيسي، وأن تكون هذه البحيرات على مسافة ليست كبيرة من طريق فقط - القصير (شكل ١٧)، بما يساعد في تقليل تكلفة الإنشاء، وكذلك المتابعة والصيانة المستمرة، وسوف تساعد هذه البحيرات على تخزين كميات كبيرة من مياه السيول، ومن هنا يمكن الاستفادة منها في التنمية وخاصة التنمية الزراعية، كما أنه سيساعد في إعادة تغذية خزانات المياه الجوفية، بالإضافة إلى درء خطر السيول عن المناطق العمرانية والأنشطة البشرية الموجودة في القطاع الأدنى من الحوض.

بناءً على تحليل عدد من المرئيات الفضائية في تواريخ متعددة من عام ١٩٨٧ إلى ٢٠٢٠، تم تحديد المجاري النشطة التي جرت بها السيول السابقة، ومعروف من الناحية الجيومورفولوجية أن هذه المجاري النشطة تمثل أعماق الأجزاء في المجرى الرئيسي، وبالتالي ستركز بها جريان المياه في السيول التالية، ما لم تحدث تدخلات بشرية غير مدروسة، ولذا تم اختيار مواقع هذه البحيرات الثلاث في المواقع المحددة على شكل (١٧)، ويمكن دراستها على النحو التالي:

- **البحيرة الأولى (ب ١):** تقترح الدراسة إنشاء بحيرة عند إلتقاء أودية القش والبويب وزيدون الرئيسي، وهذا الموضع سيخدم عمليات التنمية الزراعية في منطقة الدراسة بشكل كبير، حيث توجد في هذا الموضع مساحات كبيرة من الأراضي القابلة للاستصلاح الزراعي، كما توجد إمكانات عالية للمياه الجوفية.
- **البحيرة الثانية (ب ٢):** تقترح الدراسة إنشاء بحيرة عند إلتقاء وادي المشاش وأم تندبة، ويمكن الاستفادة من مياه هذه البحيرة في عمليات التنمية الزراعية في منطقة اللقيطة.

- **البحيرة الثالثة (ب ٣):** تقترح الدراسة إنشاء بحيرة عند إلتقاء واديي التمد الكبير ورقم ٣، وتعد هذه البحيرة أقرب البحيرات إلى نجع الكلاحين، وبالتالي يمكن استغلال مياهها في عمليات التنمية، هذا فضلا على إعادة تغذية الخزان الجوفي.

ج- طريق قفط - القصير :

تعرضت أجزاء من طريق قفط - القصير للنحت بواسطة الجريانات السيالية السابقة (صورة ٤)، وقد اتضح من خلال الدراسة الميدانية أن هناك قطاعات تم تعديل مسار الطريق بها (صورة ٥-أ)، وذلك لكي يتعد عن مصب أحد الروافد، وهناك قطاعات ثانية ينخفض فيها منسوب الطريق إلى مستوى قريب من منسوب قاع الوادي، وخاصة في القطاعات العرضية الضيقة، وهناك قطاعات تالفة يرتفع فيها مستوى الطريق بمقدار ١-٣ م عن منسوب قاع الوادي، ولوحظ في القطاعات الأخيرة أن عملية رفع مستوى الطريق نتج عنها تكون مجموعة من الحفر كبيرة المساحة على جانبي الطريق، ولوحظ أن هذه الحفر تمثلت بمياه السيول (صورة ٥-ب).



صورة (٤) : تعرض أجزاء من طريق قفط - القصير للتقويض السفلي والسقوط،

ناظرًا صوب الشمال الغربي.



صورة (٥) : أ- تعديل جزء من مسار طريق قفط - القصير لتجنب خطر السيول، ب- إحدى الحفر كبيرة المساحة المتاخمة للطريق، وقد أخذت رواسيها لرفع مستوى الطريق، ج- جزء من طريق قفط - القصير في أحد القطاعات العرضية الضيقة بالوادي، ويلاحظ وجود الأكتاف الخرسانية لحماية الطريق من السيول.

وقد سجلت الدراسة الميدانية تركيز عمليات التقويض السفلي والقطع في القطاعات التي يرتفع فيها مستوى الطريق عن منسوب قاع الوادي، وقد تم في بعض القطاعات تخفيض مستوى الطريق كما في صورة (٥-ج)، ولذا تضع الدراسة مقترحين لذلك، بالنسبة للمقترح الأول تتفق الدراسة مع اقتراح تقرير (العتر وآخرون، ١٩٩٧، ص ٧٢) في أن يتم تخفيض منسوب الطريق إلى مستوى قريب من منسوب المجرى، وبالتالي ستتدفق السيول فوق الطريق فيما يعرف باسم الاجتياز بدون معابر، وذلك مع مراعاة التطهير المستمر لهذه الأجزاء بمجرد عبور السيول من فوقها. وبالنسبة للمقترح الثاني ترى الدراسة أن تترك الأجزاء المرتفعة كما هي على أن يتم تقوية الأكتاف الترابية للطريق بطبقة من الأسمنت المسلح الصلبة، لمقاومة النحت والقطع، وإنشاء مخرات سيول من المفتتات الصخرية الموجودة في الوادي، وهي طريقة مستخدمة في العديد من الأودية في طريق شرم الشيخ - نويبع في جنوب سيناء.

النتائج والتوصيات:

(١) النتائج:

- توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج، يمكن عرض أهمها فيما يلي:
- ١- يعد حوض وادي القرن من الأحواض الرئيسية في صحراء مصر الشرقية، وتوجد في الحوض العديد من الاستخدامات الزراعية والعمرائية والصناعية، وترتفع تكرارية حدوث السيول بالحوض، مما يتطلب معها اقتراح عدة وسائل لدرء أخطارها والاستفادة من مياهاها، خاصة وأن مساحة كبيرة من الحوض تقع ضمن المثلث الذهبي.
 - ٢- يحتاج تطبيق نموذج HEC-HMS إلى توفير مجموعة كبيرة من البيانات، ويمكن حاليًا توفير هذه البيانات بدقة عالية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.
 - ٣- يمكن استخدام المرئية الرادارية ALOS PALSAR في الاستخلاص الآلي لخشونة رواسب بطون الأودية، وتتسم نتائجها بأنها على درجة عالية من الدقة.
 - ٤- يعطي استخدام النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS مجموعة من النتائج الهيدرولوجية لفترات رجوع متعددة، بما يساعد على اقتراح بعض الوسائل لدرء خطر السيول والاستفادة من مياهاها.
 - ٥- بلغ زمن التركيز في حوض وادي القرن ٣٦.٨ ساعة، وتتراوح القيم في أحواض الروافد بين ٢.٠٩ و ٢٨ ساعة، بمتوسط ٩.٨ ساعة، وانحراف معياري ٦.١٥ ساعة، وترجع هذه الاختلافات إلى تأثير المساحة وانحدار سطح الحوض وشكل الحوض ونوع الصخور والترية.

- ٦- بلغ زمن التباطؤ في حوض وادي القرن ١٩.٥ ساعة، وتتراوح القيم في أحواض الروافد بين ١.٧٦ و ١٤.٧ ساعة، بمتوسط ٧.٢ ساعة، وانحراف معياري ٣.٧٥ ساعة، وترجع الاختلافات إلى تأثير انحدار سطح الحوض، وقيمة المنحنى العددي.
- ٧- بلغ متوسط عمق المطر المقدر على حوض الدراسة عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة ٢٢.٧ و ٣١.٤ و ٤٣.٦ ملم على التوالي.
- ٨- خلص تطبيق نموذج HEC-HMS على حوض وادي القرن إلى أنه عند فترة رجوع ٢٥ سنة، تم تقدير كمية السيول بـ ١٢.٦ مليون م^٣، وأقصى تصرف بـ ١٢٦.٥ م^٣/ثانية، وزمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٥.٧٥ ساعة، وعند فترة رجوع ٥٠ سنة تم تقدير كمية السيول بـ ٢٦ مليون م^٣، وأقصى تصرف بـ ٢٦٢.٣ م^٣/ثانية، وزمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٥ ساعة، وعند فترة رجوع ١٠٠ سنة تم تقدير كمية السيول بـ ٥٨.٤ مليون م^٣، وأقصى تصرف بـ ٥٨٩.٦ م^٣/ثانية، وزمن الوصول لقمة التصريف بـ ٣٤.١٥ ساعة.
- ٩- خلص تطبيق نموذج HEC-HMS على أحواض الروافد عند فترة رجوع ١٠٠ سنة إلى أن حجم السيول يتراوح بين ٠.٧-٧٧٩٢.٤ ألف م^٣، بمتوسط ٢١٣٦.٤ ألف م^٣، وتتراوح قيم أقصى تصرف للسيول في أحواض الروافد حيث تراوحت بين ٠.١٦-٣٠٠ م^٣/ثانية، وتتراوح قيم زمن الوصول لقمة التصريف بين ١٣.٤٥ و ٣٤.١٥ ساعة.
- ١٠- خلص التحليل الهيدروجيومورفولوجي إلى وقوع أحواض الروافد في ثلاث فئات تبعاً لدرجة خطورتها، وهي: أحواض مرتفعة الخطورة وتضم ٧ أحواض، وأحواض متوسطة الخطورة وتضم ٧ أحواض، وأحواض منخفضة الخطورة وتضم ١٥ حوضاً.
- ١١- إن طرق الحماية الموجودة حالياً في حوض وادي القرن غير كافية لدرء خطر السيول عند فترات رجوع ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة، وتقف بعض الاستخدامات القائمة حالياً في الحوض كعائق أمام تطوير وسائل الحماية الموجودة حالياً.

(٢) التوصيات:

توصي الدراسة بمجموعة من التوصيات، وهي:

- ١- التوسع في استخدام النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS في الدراسات الجيومورفولوجية في مصر.
- ٢- استخدام نموذج الارتفاع الرقمي ALOS PALSAR بدقة مكانية ١٢.٥ م في الدراسات الهيدروجيومورفولوجية. نتائج على درجة عالية من الدقة سواء في استخلاص أحواض وشبكات التصريف أو في النمذجة الهيدرولوجية.

- ٣- الاعتماد على المرئية الرادارية PALSAR في التعرف على نسيج التربة، وذلك للأودية غير المتوفر لها خرائط نسيج التربة، وأوضحت الدراسة ارتفاع دقة هذه نتائج هذه المرئية.
- ٤- ضرورة إنشاء سدّين أحدهما على وادي عطالله والثاني على وادي أم حاد، وذلك لدرء خطر السيول عن طريق قفط - القصير، ولتقليل كمية السيول التي تصل إلى مصب الحوض.
- ٥- بناء على الخصائص الجيومورفولوجية للقطاع الأدنى لحوض وادي القرن، توصي الدراسة بإنشاء ثلاث بحيرات اصطناعية لدرء خطر السيول وتخزين المياه لأغراض التنمية، البحيرة الأولى (ب١) عند إنقاء أودية القش والبويب وزيدون الرئيسي، والبحيرة الثانية (ب٢) عند إنقاء وادي المشاش وأم تندبة، والبحيرة الثالثة (ب٣) عند إنقاء وادي التمد الكبير ورقم (٣).

المصادر والمراجع

أولاً : المصادر.

١ - الخرائط الطبوغرافية: مقياس رسم ١: ٥٠.٠٠٠، عام ١٩٩١، إنتاج الهيئة المصرية للمساحة بالتعاون مع الوكالة الفنلندية للتنمية الدولية، لوحات: البراهمة - نقع البشارية - جبل عطاءه - الفواخير - جبل أم خرس - جبل الشحيمية - وادي القش - اللقيطة - قوص - جبل النزي - وادي المشاش - وادي منيح - بئر منيح - جبل الخزاوية - جبل السباعي - بئر الجندي - جبل الشلول - شمال وادي الباتور - وادي أم تندبة - جبل سمنة - بئر الجدامي - بئر القرية.

٢ - الخرائط الجيولوجية:

1. Ministry of Industry and Mineral Resources, the Egyptian Geological Survey and Mining Authority. Geologic Map of Al Qusayr Quadrangle & Geologic Map of Wadi Al Barramiyah Quadrangle, Egypt, Egypt, 1: 250.000. 1992.
2. Ministry of Industry and Mineral Resources, the Egyptian Geological Survey and Mining Authority. Geologic Map of Qena Quadrangle & Geologic Map of Luxor Quadrangle, Egypt, 1: 100.000. 2006.

٣ - المرئيات الفضائية:

1. Landsat-8, OLI: 11 Bands, Path 174, Row 42 & Path 175, Row42. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
2. Sentinel-2: 13 Bands, L1C_T36RVP_A & L1C_T36RWP_A & L1C_T36RWQ_A. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
3. PALSAR,

٤ - نموذج الارتفاع الرقمي ALOS-PALSAR بدقة مكانية ١٢.٥ م.

1. ALOS PALSAR: L-band, HH-polarization, Ascending Orbit, 2007-2008.
2. AP_07582_FBD_F0490_RT1, AP_07582_FBD_F0500_RT1, AP_07582_FBD_F0510_RT1, AP_10689_FBS_F0490_RT1, AP_24780_FBD_F0500_RT1, AP_24780_FBD_F0510_RT1. <https://www.asf.alaska.edu/>

ثانياً : المراجع العربية.

١. البهنساوي، أحمد محرم، ٢٠٠٣، "النظم البيئية بالساحل الشرقي لسيناء دراسة جغرافية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
٢. الشامي، إبراهيم زكريا، ١٩٩٥، "التحكم في السيول والاستفادة من مياهها ودرء أخطارها"، ندوة المياه في الوطن العربي، المجلد الأول، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

٣. العتر، حسن على وآخرون، ١٩٩٧، "السيول ووسائل مجابهة مخاطرها على مدن ساحل البحر الأحمر بالأراضي المصرية"، الهيئة القومية للاستشعار من البعد وعلوم الفضاء، سلسلة المطبوعات الخاصة رقم ١.
٤. اسماعيل، ضياء صبري، ٢٠١٠، "الظواهر الجيومورفولوجية وأخطارها على منطقة طريق قفط - القصير"، رسالة دكتوراة غير منشورة، جامعة طنطا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
٥. الشيخ، أحمد أحمد محمد، ١٩٩٠، "الحافة الشرقية لوادي نهر النيل ما بين مصب وادي قنا وخنق السلسلة - دراسة جيومورفولوجية"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
٦. خطاب، محمد إبراهيم وسليم، مها كمال، ٢٠٢١، الخصائص الجيومورفولوجية وإمكانات التنمية الزراعية في حوض وادي القرن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد ٥٢، العدد ٧٧ (تحت الطبع).
٧. درويش، زمزم مرعي، ٢٠١٣، "تنمية الهوامش النيلية الصحراوية بمحافظة قنا والأقصر - باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة جنوب الوادي، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
٨. دندراوي، محمد الراوي، ٢٠١٤، "الجيومورفولوجيا التطبيقية لوادي النيل فيما بين الأقصر وقنا - باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، رسالة دكتوراة غير منشورة، جامعة جنوب الوادي، كلية الآداب، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية.
٩. عبدالحليم، محمود عبدالراضي، ٢٠١١، "الأخطار الجيومورفولوجية على طول طريق قفط- القصير - دراسة جيومورفولوجية"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة المنيا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
١٠. موسى، عواد حامد، ٢٠٠٠، "السيول في أودية خليج العقبة في مصر - دراسة جغرافية"، رسالة دكتوراة غير منشورة، جامعة المنوفية، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
١١. معهد بحوث الموارد المائية، ٢٠٠٣، "حماية منطقة الكلايين من أخطار السيول - محافظة قنا"، وزارة الموارد المائية والري، المركز القومي لبحوث المياه.
١٢. معهد بحوث الموارد المائية، ٢٠١٠، "حماية محطة صرف فقط من أخطار السيول - محافظة قنا"، وزارة الموارد المائية والري، المركز القومي لبحوث المياه.

ثالثاً: المراجع الأجنبية.

1. Alrikabi, A., Elmewafey, M., Beshr, A., & Elnaggar, A., 2015, "Using GIS based Morphometry Estimation of Flood Hazard Impacts on Desert Roads in South Sinai, Egypt". *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6, Issue 7, July, pp. 1593-1599.

2. Ancona, M., Corradi, N., Dellacasa, A., Delzanno, G., Dugelay, J. L., Federici, B., Gourbesville, P., Guerrini, G., La Camera, A., Rosso, P., Stephens, J., Tacchella, A. & Zolezzi, G., 2014, "On the Design of an Intelligent Sensor Network for Flash Flood Monitoring, Diagnosis and Management in Urban Areas". Position Paper, *Procedia Computer Science*, Science Direct, Vol. 32, pp. 941-946.
3. Entezari, M., Esmaeily, A. & Niazmardi, S., 2019, "Estimation of Soil Moisture and Earth's Surface Temperature Using Landsat8 Satellite Data", *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII, pp. 327-330.
4. Fang, X., Thompson, D., Cleveland, T., Pradhan, P., & Malla. R., 2008, "Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 134, No. 2, pp. 202-211.
5. Maidment, D.R., 1993, "Handbook of Hydrology", McGraw-Hill, Texas, USA.
6. Omran, A., Schroder, D., El-Rayes, A. & Geriexh, M., 2011, "Flood Hazard Assessment in Wadi Dahab - Egypt based on basin morphometry Using GIS techniques", *GI Forum Symposium and Exhibit Applied Geoinformatics*, Salzburg, Austria, Wichman. PP. 1-11.
7. Rawat, K., Singh, S., 2017, "Estimation of surface runoff from semi-arid ungauged agricultural watershed using SCS-CN method and Earth Observation Data Sets". *Water Conservation Science and Engineering*, Vol. 1, pp. 233-247. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0016-4>.
8. Scharffenberg, W., 2013, "Hydrologic modeling system HEC HMS user's manual", Version 4, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Washington.
9. Shi, Q., 2014, "Flood hazard assessment along the western regions of Saudi Arabia using GIS-based morphometry and remote sensing techniques". Unpublished M.Sc., University of Mainz.
10. Tulu, M., 2005, "SRTM DEM suitability in runoff studies". Unpublished M.Sc., International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, Netherlands.
11. USDA, 1986, "Soil Conservation Service - Urban hydrology for small watershed", Technical releases 55, 2nd, US Dept. of Agriculture, Washington.
12. USDA, 2015, "Soil Conservation Service storm rainfall depth and distribution, Chapter 4.
13. Wi, S., Yang, Y., Steinschneider, S., Khalil, A. & Brown. C., 2015, "Calibration approaches for distributed hydrologic models in poorly gaged basins - Implication for streamflow projections under climate change". *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 19, pp.857-876.
14. Yao, H., Hashino, M., Terakawa, A., & Suzuki, T., 1998, "Comparison of Distributed and Lumped Hydrogeological Models". *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JECE, Vol. 42, pp. 163-168.

**Hydrological Modeling of Flash Floods in Wadi Al-Qarn Basin,
East of Qift - Eastern Desert, Egypt
“Using Remote Sensing and Geographical Information Systems”**

**Mohammed Ibrahim Mohammed Khattab
Maha Kamal Selim**

ABSTRACT

The Wadi Al-Qarn is one of the main basins in the eastern desert of Egypt. It consists of three main basins: Hammamat, Al-Qash and Zaidoun and 26 sub-basins. Part of Qift – Quseir road extends in the basin, and Cairo - Aswan Eastern desert road perpendicularly to the wadi. There are many urban areas and cultivated lands in the basin, and the basin has promising potential for economic and urban development. Moreover, a large area of the basin it is located within the Golden Triangle project. The research studies the hydrological modeling of the basin, in order to estimate the amounts of flash floods that may occur at different return periods. The modeling was prepared by applying the HEC-HMS model. Remote sensing and geographic information systems were used to provide the data needed by the model with high accuracy. This data represented in the automated extraction of drainage basins and networks, soil classification, land covers, vegetation cover, soil hydrological groups, curve number, weighted curve numbers of sub-basins, time of concentration, lag time rainfall depth, and preparation of design storm. Then the research deals with analysis of the model results on the wadi Al-Qarn and its sub-basins. Moreover, the research estimated the amount of flash floods, basin discharge and peak discharge. Furthermore, the research focuses on the hydrogeomorphological analysis to determine the degrees of risk of flash floods of the sub-basins. The study estimated also the amount of flash floods that will occur in the basin at the return periods of 25, 50 and 100 years, and it reaches 12.6, 26 and 58.4 million m³ respectively. The current study reassesses the existing protective engineering measures in the study area, and it recommends constructing; two dams and three artificial lakes to benefit from the flash floods water and ward off their dangers.

Key Words: Wadi Al Qarn, Wadi Al Hammamat, Flash Floods, Hydrological Modeling, Hydrogeomorphological Analysis, HEC–HMS & SCS-CN Method.