

سبتمبر ٢٠٢٣

إصدار خاص



المجلة المصرية للتغير البيئي

دورية علمية محكمة تصدر عن الجمعية المصرية للتغيرات البيئية

رقم الترخيم الدولي للدوريات

ISSN 2090-228x

قواعد النشر

اسم المجلة:

The Egyptian Journal of
Environmental Change

جهة إصدار المجلة:

The Egyptian Society
of Environmental Change

فترات الإصدار:

تصدر نصف سنويا فى شهرى مارس وأكتوبر باللغات
العربية والإنجليزية و الفرنسية

أهداف المجلة:

تهتم بنشر البحوث والدراسات العلمية الأصيلة فى
الموضوعات ذات الصلة بالتغيرات البيئية فى أغلفة كوكب
الأرض باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية .

سياسة النشر:

- 1- لهيئة التحرير حق البت فى صلاحية البحث للتحكيم.
- 2- تخضع جميع البحوث التى يتم تقديمها للتحكيم من قبل
متخصصين من ذوى الخبرة والمكانة العلمية المتميزة.
- 3- لا تلتزم المجلة برد أصول البحوث المقدمة إليها فى حالة
قبولها للنشر وفى حالة عدم قبولها للنشر. من حق الباحث
استرداد بحثه.
- 4- يخطر رئيس التحرير مؤلف البحث بصلاحية البحث أو
عدم صلاحيته للنشر بأسرع وقت ممكن.
- 5- لا يجوز لأصحاب البحوث التى تنشر فى المجلة أن يعيدوا
نشرها أو جزء منها فى مؤلف أو مجلة أخرى إلا بعد موافقة
خطية من رئيس التحرير.

رسوم النشر:

1. رسم تحكيم البحث ما يقابل ٣٠٠ جنيها مصريا لاترد
فى حالة عدم قبول البحث.
2. يتكفل الباحث بمصروفات طباعة ونشر بحثه (محسوبة
على أساس مقاس الصفحة A4 Normal Margins
بمسافة بين السطور = ١,٥ ، خط Simplified Arabic

بهاشم ٣,١٨ سم من كل جانب و٢,٥٤ سم من أعلى
الصفحة وأسفلها).

٣. تضاف تكاليف طباعة الصفحات الملونة وأغلفة الأعداد
الخاصة عند طلبها .

قواعد النشر:

- تقبل البحوث المقدمة للنشر فى المجلة وفقاً للضوابط التالية:
- 1- ألا يكون البحث قد سبق نشره، أو حصل على موافقة
بالنشر فى مجلة أخرى أو نال به جائزة لدى أية جهة.
 - 2- ألا يزيد عدد صفحات البحث عن ٥٠ صفحة شاملة
الجدول والأشكال والمراجع باللغة العربية، ٢٥ صفحة باللغة
الإنجليزية ، ويمكن إصدار عدد خاص للبحث الذى تتجاوز
صفحاته العدد المحدد.
 - 3- لا يجوز سحب البحث بعد إقرار نشره فى المجلة.
 - 4- تقبل البحوث باللغة العربية أو الإنجليزية أو الفرنسية.
 - 5- يرفق كل باحث نبذة مختصرة عن سيرته الذاتية مبرزاً
أهم مؤلفاته بما لا يتجاوز (٥٠) كلمة.
 - 6- يحصل الباحث على ١٠ مستلآت من بحثه إضافة لنسخة
واحدة من المجلة.

قواعد كتابة الأوراق العلمية

أ- تعليمات عامة:

- 1- يقدم البحث من أصل ونسختين وتكون الكتابة على
مسافة ١,٥ وعلى ورق مقاس (A4) على وجه واحد من
الصفحة، وترقم الصفحات والجدول والأشكال ترقيماً
متسلسلاً. وتقدم الجداول والصور واللوحات على صفحات
مستقلة مع تحديد أماكن ظهورها فى المتن.
- 2- يتضمن البحث ملخص فى حدود ٢٠٠ كلمة توضح هدف
البحث وطريقته وأهم النتائج.
- 3- تتسق الكتابة تحت عناوين رئيسية هى المقدمة، وأهداف
الدراسة، وطرائق البحث ومناهجه، الدراسات السابقة،
والنتائج والمناقشة والخاتمة والتوصيات والمراجع.

ب- كتابة المراجع:

يشار إلى المراجع فى المتن باسم المؤلف وسنة النشر (داخل
قوسين) وترتب قائمة المراجع ترتيباً أبجدياً طبقاً لاسم
المؤلف ولسنوياً طبقاً للمؤلف الواحد، وبحيث يشمل كل مرجع

اسم المؤلف (أو المؤلفين) وسنة النشر وعنوان البحث ثم اسم وعاء النشر (الدورية) ورقم المجلد وأرقام الصفحات المنشور فيها البحث.

ج- الاختصارات والوحدات:

تختصر عناوين المجلات والدوريات طبقاً للقائمة العالمية للدوريات العلمية The World List of Scientific Periodicals وتستخدم الاختصارات المحددة دولياً بدلاً من كتابة الكلمات كاملة مثل: سم، مم، م. كم، سم ٢، مل، ملجم، كجم، % ... الخ.

د- الجداول والأشكال والصور:

يجب أن تكون الجداول والرسومات واللوحات مناسبة لمساحة الصف في صفحة المجلة على أن تكون الصور والأشكال واضحة التفاصيل ويكتب خلف كل شكل أو صورة بالقلم الرصاص عنوان مختصر للبحث ورقم الشكل المسلسل.

هـ- تعليمات الطباعة:

تتم الطباعة طبقاً للبرنامج IBM-MS World Latest Version نوع الخط Simplified Arabic وحجم الخط للعنوان الرئيسى ١٦ أسود Bold فى منتصف الصفحة وحجم ١٤ عادى للنص والحواشى، وذلك إذا كان البحث باللغة العربية. أو Times New Roman إذا كان البحث باللغة الإنجليزية على أن يكون حجم خط العنوان الرئيسى ١٤ أسود فى منتصف الصفحة وحجم الخط للنص والحواشى ١٢ عادى.

و- المراسلات:

رئيس تحرير المجلة ورئيس الجمعية المصرية للتغيرات البيئية:

أ.د. محمد مجدى تراب

هاتف: ٢٠١٠٠٢٦٠٣٢٥٠ +

قسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة دمنهور - مصر

website: <http://egjec.journals.ekb.eg>

المجلة المصرية للتغير البيئي

رئيس التحرير

أ.د. محمد مجدى تراب

هيئة التحرير

أ.د. أحمد البدوي الشريعي (نائب رئيس التحرير)

أ.د. أسماعيل يوسف إسماعيل (مساعد رئيس التحرير)

أ.د. لطفي كمال عزاز (مساعد رئيس التحرير)

أ.د. محمد محمود أبوعلي (مساعد رئيس التحرير للتدقيق اللغوي)

د. أحمد محمد حسين القناوي (عضو هيئة التحرير)

د. محمد علوات (عضو هيئة التحرير)

الهيئة الاستشارية

أ.د. أحمد البدوي الشريعي (كلية العلوم الإجتماعية، جامعة أم القرى)

أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل (كلية الآداب، جامعة المنوفية)

أ.د. صابر أمين دسوقي (كلية الآداب، جامعة بنها)

أ.د. عبدالفتاح صديق عبداللاه (كلية الآداب، جامعة عين شمس)

أ.د. علاء النهري (الهيئة القومية للإستشعار عن بعد وعلوم الفضاء)

أ.د. عزت زكي قادوس (كلية الآداب، جامعة الإسكندرية)

أ.د. لطفي كمال عزاز (كلية العلوم والآداب، جامعة القصيم)

أ.د. محمد الخزامي عزيز (كلية العلوم والآداب، جامعة القصيم)

أ.د. محمد نور الدين السبعواوي (كلية الآداب، جامعة المنيا)

أ.د. ناصر عبدالله الصالح (كلية العلوم الإجتماعية، جامعة أم القرى)

أ.د. نوارى سويهر (جامعة العلوم والتكنولوجيا، هواري بومدين)

النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي عرنة الأعلى بمدينة مكة المكرمة

إبراهيم بن محمد بن الياس الفالوذه

طالب دكتوراه بجامعة الملك سعود - قسم الجغرافيا

محاضر بجامعة أم القرى - قسم الجغرافيا

HYDROLOGICAL MODELING OF WADI URANAH BASIN IN MAKKAH ALMUKARRAMAH

Ibrahim bin Mohammed bin Elias

Al-Faloudha

Abstract

A hydrological model based on geographic information system was applied in this study. This hydrological model depends on three main pillars. The first pillar is digital elevation models which hydrological characteristics such as flow direction, flow accumulation and flow length can be extracted from the DEM. These hydrological characteristics and identifying runoff velocity in upper wadi Uranah basin were able to determine the time zones for rainfall in the basin. The second pillar is morphological characteristics such as land cover types and land use types. The area calculation of morphological characteristics produces the runoff coefficients for upper wadi Uranah basin before and after the huge urban expansion. The third pillar is fine resolution and calibrated TRMM data that are geographically distributed over entire the upper wadi Uranah basin, compared to rain stations that only represent the rainfall data on for specific boundary.

The integration of the three pillars gives the possibility to build the hydrological model. Then, from this hydrological model became possible to create hydrograph unit, the total discharge volume for each time zone, the total amount of rainfall for each time zone and the peak discharge of the runoff in which time zone it occurred. These measurements that extract from the hydrological model. In addition to, field measurements of engineering characteristics of the nineteen bridges located in the channel of the lower stream

النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي عرنة الأعلى بمدينة مكة المكرمة

إبراهيم بن محمد بن الياس الفالوده

طالب دكتوراه بجامعة الملك سعود - قسم الجغرافيا

محاضر بجامعة أم القرى - قسم الجغرافيا

الخلاصة:

في هذه الدراسة قُدم نموذج هيدرولوجي مبني على نظم المعلومات الجغرافية تعتمد مدخلاته على ثلاثة ركائز أساسية، الركيزة الأولى هي نماذج الارتفاعات الرقمية، والتي تستخرج منها الخصائص الهيدرولوجية مثل (طول الجريان، واتجاه الجريان، وتجمع الجريان)، ومع معرفة سرعة الجريان أمكننا تحديد النطاقات الزمنية بحوض وادي عرنة الأعلى، الركيزة الثانية هي الخصائص المورفولوجية مثل استخدامات الأراضي وأنواعها، والغطاء الأرضي وأنواعه، والتي من خلالها استخرجت معاملات الجريان بحوض وادي عرنة الأعلى قبل وبعد التوسع العمراني الضخم، الركيزة الثالثة هي بيانات TRMM المحسنة والمعايرة من خلال المحطات المناخية في منطقة الدراسة، والتي تتصف بتوزيعها الجغرافي على كامل الحوض، مقارنة بالمحطات المناخية أو المطرية التي تمثل المحيط الذي تقع به، ومن خلال تكامل هذه الركائز الثلاثة، تم بناء النموذج الهيدرولوجي لإنتاج منحني وحدة الهيدروجراف، وإجمالي حجم التصريف لكل نطاق زمني، وإجمالي كمية المطر الساقط لكل نطاق زمني، وكذلك معرفة ذروة التصريف للجريان السيلي وفي أي نطاق زمني حدث، ومن هذه القياسات المنتجة من النموذج الهيدرولوجي، ومن القياسات الميدانية لبعض الخصائص الهندسية للجسور التسعة عشر الواقعة بقناة المجرى الأسفل للحوض، أمكن تحديد كفاءة قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى باستخدام بيانات لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وعاصفتين تصميميتين، ومن خلال النموذج الهيدرولوجي تم معرفة حجم الموارد المائية وأهميتها في وضع الاستراتيجيات لإدارة الحصاد المائي بحوض وادي عرنة الأعلى بالاعتماد على بيانات لعدة عواصف مختارة.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الهيدرولوجية -- نظم المعلومات الجغرافية -- وحدة الهيدروجراف -- مرئيات القمر الصناعي (TRMM) - الخصائص الهيدرولوجية

والمناطق الكبيرة (Immerzeel, et al., 2009)، وتعد بيانات هطول الأمطار ذات الدقة المكانية والزمانية العالية مفتاح رئيسي لمتغيرات النموذج الهيدرولوجي، والتي يمكن أن توفر توصيفاً مفصلاً للتوزيع المكاني لكوارث السيول والجفاف، وتدقق الفتات الصخري والمياه، وما إلى ذلك. ولاستخدام هذه البيانات لابد من تحسين الدقة المكانية لمرئيات TRMM من الدقة المكانية المنخفضة نسبياً إلى الدقة المكانية العالية، وهناك عدة دراسات علمية اهتمت بهذا الجانب (Immerzeel, et al., 2009; Hunink, et al., 2014). ويتمثل إجراء تحسين الدقة المكانية في بناء علاقة للقياس بين المتغير المستهدف والمتغيرات المتحكممة والمتغيرات ذات التأثير به عند الدقة المكانية المنخفضة نسبياً للمتغير الهدف، ومن ثم تستخدم العلاقة المنشأة مع المتغيرات المتحكممة بدقة مكانية عالية لاسترداد متغير الهدف بالدقة العالية نفسها، كما استخدمت إجراءات تحسين الدقة المكانية على نطاق واسع في العديد من المجالات للحصول على المتغيرات بدقة مناسبة وعالية، مثل درجة حرارة سطح الأرض Land Surface Temperatures (LST) (Kustas, et al., 2003; Soil Moisture) (Zhan, et al., 2013)، ورطوبة التربة (Merlin, et al., 2009; Piles, et al., 2014)، بينما الدراسات حول تحسين الدقة المكانية لبيانات هطول الأمطار TRMM كانت بدرجات أقل.

وهنا سوف نتطرق إلى بعض طرق تحسين الدقة المكانية لبيانات مرئيات TRMM، لاستخدامها في تحسين بيانات مرئيات TRMM في منطقة دراستنا، ومن هذه الطرق قام إمبريزيل وزملاؤه (Immerzeel, et al., 2009) بالنظر إلى العلاقة الوثيقة بين مؤشر الغطاء النباتي للاختلاف المعياري (NDVI) وهطول الأمطار، أما جيا وزملاؤه (Jia, et al., 2011)، استخدم مزيجاً من NDVI ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في حوض Qaidam في الصين لتحسين الدقة المكانية لبيانات هطول الأمطار TRMM 3B43. أما هونيك وزملاؤه (Hunink, et al., 2014) فقد أجرى بحثاً حول تقدير هطول الأمطار المكاني بناء على متوسط هطول الأمطار الشهري المستند إلى NDVI و DEM و TRMM والملاحظات الميدانية في منطقة جبلية استوائية في الإكوادور. كذلك استخدم فانج وزملاؤه (Fang, et al., 2013) المنحدر واتجاه المنحدر وخشونة التضاريس المستخرجة من

of upper wadi Uranah basin were able to determine the efficiency of the downstream channel by using TRMM rainfall data for 24 October 2018 storm. Also, the efficiency of upper wadi Uranah basin downstream channel was tested by two design storms based on rainfall data of two stations. On the other hand, the hydrological model can determine the volume of the water resources which is extremely important for managing water harvesting in the upper wadi Uranah basin.

keywords: Hydrological modelling - GIS - Hydrograph unit - TRMM – Hydrological characters

1. المقدمة:

1.1. تهييد:

تؤدي الأمطار دوراً مهماً في عمليات الغلاف الجوي على نطاقات زمنية ومكانية مختلفة، وهي أحد عناصر الأرصاد الجوية الحاسمة في دراسة المناخ. ويعد هطول الأمطار قوة دافعة رئيسية في تغير المناخ العالمي، والدورة الهيدرولوجية، والبيئة الإيكولوجية، وهو أمر ذو أهمية كبيرة للري الزراعي، والوقاية من الكوارث، وأنشطة الإنتاج الأخرى (Langella, et al., 2010; Jia, et al., 2011). وللحصول على بيانات هطول الأمطار تعتمد الطريقة التقليدية بشكل كامل على البيانات المسجلة من محطات الأرصاد الموجودة في الموقع المراد دراسته أو في محيطه. ومع ذلك، تواجه هذه الطريقة تحديات في بعض المناطق التي لا توجد بها محطات قياس للمطر بشكل كثيف، وبخاصة في المناطق الجبلية والناثية.

ولذلك يتميز الاستشعار عن بعد بمزايا المسح الكامل للمنطقة قيد الدراسة بالكامل، والوصول إلى البيانات بسهولة، ومع تطور تكنولوجيا الاستشعار عن بعد، يمكن الكشف عن هطول الأمطار على نطاق إقليمي أو عالمي، باستخدام بيانات مرئيات القمر الصناعي (Tropical Rainfall Measuring Mission) (TRMM) مع دقة مكانية عالية نسبياً، واستخدمت عالمياً بشكل كبير خلال السنوات الأخيرة (Li, et al., 2012; Naumann, et al., 2012). ومع ذلك، فإن أفضل دقة مكانية لمنتج مرئية فضائية لـ TRMM هو ٢٥، ٠ درجة، وهذه الدقة منخفضة بالنسبة للحوض المحلي

٣.١: البعد المكاني للدراسة:

يقع حوض وادي عرنة الأعلى بين دائرتي عرض 20° 05' و 21° 20' شمالاً وخطي طول 39° 30' و 39° 50' شرقاً. وتقع منابعه العليا ناحية الشرق، عند حافة الجرف الانكساري شرق قرى الصدر القريبة من مرتفعات الشفا، ويتجه بشكل عام من الشرق إلى الغرب، أما من ناحية الغرب فسليلة المرتفعات الجبلية المكونة من جبل أسلع، والطارقي، والأحذب، وخشرب، والشعراء التي تفصله عن مدينة مكة المكرمة، حيث تبعد حافته الغربية ١٢ كم عن الحرم المكي الشريف (النفيعي، ٢٠١٠)، وله عدد من الروافد الرئيسية مثل وادي نعمان ووادي الشرائع. والأجزاء العليا من حوض تصريف وادي عرنة الأعلى تعد من أهم المناطق التي تحتوي على مصادر المياه القريبة من مدينة مكة المكرمة، وتقام على الوادي العديد من الزراعات التي تسد احتياجات سكان المنطقة. أما الأجزاء الجنوبية من حوض التصريف للوادي فهي فقيرة في مصادر المياه الجوفية، ومع ذلك فهناك ارتفاع في منسوب المياه الجوفية نتيجة التخلص من مخلفات الصرف الصحي في هذه الأجزاء مما ساعد على قيام السكان المحليين بحفر الآبار لاستخدامها في الرعي والزراعة، وهذا التلوث من مخلفات الصرف الصحي يساعد على نقل التلوث الجرثومي والكيماوي للمياه الجوفية فتصبح ملوثة، ولذلك فاستخدامها في الرعي والزراعة يشكل خطراً صحياً على الإنسان (الغامدي، ٢٠١٢).

وبسبب الزحف العمراني على معظم بطون الأودية التي تكون في الأساس مجعماً لمياه الأمطار والسيول، فقد تم البناء على مساحات كبيرة من وادي الشرائع وسفوح الجبال المتاخمة له. ومعظم تكوين هذه الجبال من صخور جرانيتية ودايوريت وصخور متحولة، وقد تأثرت هذه الجبال بالحركات الأرضية التي أدت إلى تكون الشروخ والفواصل ذات اتجاهات محددة ومختلفة من منطقة إلى أخرى (Alwash, et al., 1992)، وأسفر هذا الزحف العمراني إلى خلق مخاطر بيئية مثل إعاقة تصريف الجريان السيلي، وتغير وجهته، وزيادة حدته، هذا بالإضافة إلى أن تلك المنشآت العمرانية هي بحد ذاته عرضة للخطر نتيجة لموقعها في بطون الأودية.

أما بالنسبة لأنماط البناء الجيولوجي المتعددة داخل حوض وادي عرنة الأعلى التي تؤثر على الجريان السيلي، فيكون الجريان السيلي قوياً من حيث الكم والسرعة عندما تكون

نموذج الارتفاعات الرقمية DEM والرطوبة ودرجة الحرارة من محطات الأرصاد الجوية في معادلة الانحدار الخطي المتعدد لتلائم دالة الانحدار لتحسين الدقة المكانية لبيانات TRMM. وجميع الدراسات السابقة استندت إلى الانحدار العالمي الأساسي بين بيانات هطول الأمطار TRMM ومجموعة متنوعة من المتغيرات المساعدة.

وفي هذا البحث سوف نستخدم طريقة (Geographically Weighted Regression) لتحسين بيانات مرئيات TRMM لهطول الأمطار على المستوى الشهري، ومن ثم عمل النمذجة الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية لحوض وادي عرنة الأعلى، التي من خلالها يتم حساب ذروة التصريف وإجمالي التصريف وجميع الخصائص الهيدرولوجية للحوض مما يهدف إلى تقييم قدرة المجرى الرئيسي للتصريف للحد من الكوارث الطبيعية للسيول ووضع استراتيجيات محددة للحصاد المائي.

٢.١: وشكلة الدراسة:

النماذج الهيدرولوجية السابقة المستخدمة في تقدير خصائص الجريان بوادي عرنة (وحدة الهيدروجراف، ذروة التصريف، كمية الأمطار، عمق الجريان) اعتمدت على بيانات مناخية من محطات مطرية لا تقع في حوض الوادي، أو تمثل حيزاً مكانياً محدوداً إن وقعت داخل حوض وادي عرنة الأعلى، ولذلك فهذه البيانات تقتصر إلى تحديد التوزيع المكاني للعاصفة المطيرة وفترة هطولها على أنحاء حوض وادي عرنة الأعلى. بالإضافة إلى أن نتائج الدراسات السابقة لخصائص الجريان بوادي عرنة الناتجة من تطبيق تلك النماذج الهيدرولوجية لم يتم معايرتها.

ومن هذا المنطلق فسوف تعمل هذه الدراسة على تطوير منهجية لمحاولة سد بعض فجوات تلك النماذج الهيدرولوجية المطبقة سابقاً، من خلال تكامل بيانات صور الأقمار الصناعية TRMM مع بيانات المحطات المطرية، فضلاً عن تقدير معاملات الجريان باستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية لحوض وادي عرنة الأعلى من أجل تقدير خصائص الجريان (وحدة الهيدروجراف، ذروة التصريف، كمية الأمطار، عمق الجريان)، ثم معايرتها من القياسات الحقلية لآثار أعماق الجريان بقناة المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى.

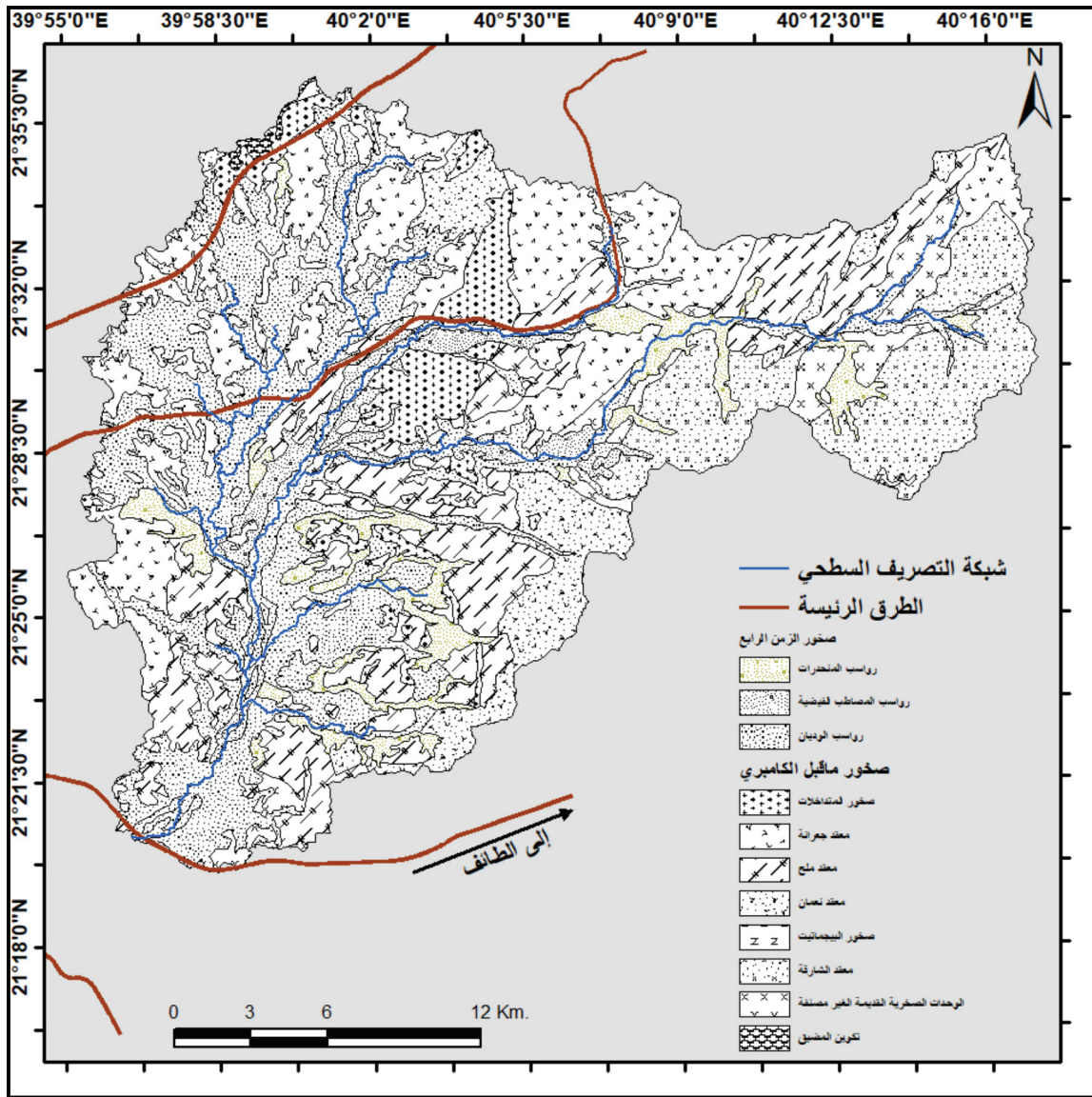
في تغذية المياه الجوفية. ولاستيعاب الجريان السيلي في منطقة الدراسة، فدراسة أنواع وخصائص الصخور تمثل أهمية عظمى. فصخور عصر ما قبل الكامبري تمثل النسبة الكبرى من حوض وادي عرنة الأعلى بشكل عام، أما أحواضه الفرعية فتفاوتت نسب صخور ما قبل الكامبري وصخور إرسابات الزمن الرابع من حوض لآخر، ولكن بشكل عام فالنسبة الأكبر غالباً ما تكون لصخور ما قبل الكامبري، ويتبين ذلك من خلال الجدول (١) المنشأ (من واقع الخريطة الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ المنتجة من قبل وزارة البترول والثروة المعدنية (Moore and Al-Rehaili, 1989). والأحواض المرقمة ليس لها اسم من واقع الخرائط الطبوغرافية.

الصخور كتلية وصلبة وغير مسامية، وتتصف هذه الصخور عادة بأنها وعرة وذات انحدار شديد، وكلما ازداد ارتفاعها ازدادت قوة الجريان أيضاً، وبما أنها غير مسامية وليست منفذة للمياه فمعدل الجريان السطحي يزداد بشكل كبير ويتضاءل الفقد بالتسريب، وعليه فنسبة الأمطار التي تتحول إلى جريان سيلي في المناطق التي تحتوي على تلك الصخور تتعاطم بشكل ملحوظ. أما الفتات الصخري والرسوبيات المتكونة من إرسابات الزمن الرابع فتكون طبيعة الجريان السيلي من حيث القوة والكم عكس ما يكونا عليه في حالة الصخور النارية، فالفتات الصخري والرسوبيات صخور مسامية ومنفذة للماء مما يؤدي إلى زيادة الفقد بالتسريب السطحي (Transmission loss) وبالتالي تقل معاملات الجريان ويضعف الجريان السيلي، وتكون ذات أهمية كبرى

جدول (١) مساحة ونسبة صخور ما قبل الكامبري، وصخور رسوبيات الزمن الرابع والزمن الثالث

الحوض	المساحة كم ^٢	صخور ما قبل الكامبري		صخور الزمن الثالث		صخور الزمن الرابع	
		النسبة (%)	المساحة كم ^٢	النسبة (%)	المساحة كم ^٢	النسبة (%)	المساحة كم ^٢
حوض وادي عرنة الأعلى	٦٢٩,٢	٦٣,٠	٣٩٦,٥	٠,٠	٠,٠	٢٣٢,٨	٣٧,٠
حوض البجيدي	١٨١,٩	٨١,٨	١٤٨,٨	٠,٠	٠,٠	٣٣,١	١٨,٢
حوض الشرائع	٨١,٩	٧٥,٧	٦٢,٠	٠,٠	٠,٠	٢٠,٠	٢٤,٤
حوض وادي مدرجة	٦٦,٥	٥٩,٦	٣٩,٦	٠,٠	٠,٠	٢٦,٩	٤٠,٥
حوض وادي المغمس (٥١٥)	٥٠,٥	٦٣,٦	٣٢,١	٠,٠	٠,٠	١٨,٣	٣٦,٣
حوض وادي كبكب	١٧,٥	٨٥,٠	١٤,٩	٠,٠	٠,٠	٢,٦	١٥,٠
حوض (٥١٤)	١٤,٦	٧٣,٥	١٠,٧	٠,٠	٠,٠	٣,٩	٢٦,٤
حوض (٤١٥)	٦,٩	٧٥,٥	٥,٢	٠,٠	٠,٠	١,٧	٢٤,٥
حوض (٤١٤)	٣,٦	٦٠,٤	٢,٢	٠,٠	٠,٠	١,٤	٣٩,٧
حوض (٤١٧)	١٩,٣	٥٠,١	٩,٧	٠,٠	٠,٠	٩,٧	٤٩,٩
حوض وادي البرود	٧٥,٧	٤٣,٨	٣٣,١	٠,٠	٠,٠	٤٢,٦	٥٦,٢
حوض وادي المغمس (٥١٢)	٣٠,٨	٣٨,٦	١١,٩	٠,٠	٠,٠	١٨,٩	٦١,٤
حوض وادي الضيقة	١٨,٦	٤٢,٩	٨,٠	٠,٠	٠,٠	١٠,٦	٥٧,١
حوض (٤١٢)	٥,٤	٢٥,١	١,٤	٠,٠	٠,٠	٤,١	٧٤,٩
حوض (٤١٨)	٤,٩	٤١,٣	٢,٠	٠,٠	٠,٠	٢,٩	٥٨,٧
حوض (٤١٣)	٤,٢	٣٥,٨	١,٥	٠,٠	٠,٠	٢,٧	٦٤,٤
حوض (٤١٦)	٢,٨	٤٥,٨	١,٣	٠,٠	٠,٠	١,٥	٥٤,٢

المصدر: إعداد الطالب اعتماداً على الخريطة الجيولوجية (Moore and Al-Rehaili, 1989)



شكل (١) خريطة توزيع الوحدات الجيولوجية الرئيسية في حوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الطالب اعتماداً على الخريطة الجيولوجية (Moore and Al-Rehaili, 1989)

الضيقة في غرب الحوض الرئيسي، ومجموع مساحتها في منطقة الدراسة تقدر بنحو ٨, ٢٤ كم (شكل:١).
 (٢) معقد شرقية (Sharqah Complex): تكون صخور الجابرو ذات الطبقات المتداخلة المكون الرئيسي لهذا المعقد، وتوجد به صخور الدايورائيت والبيروكسينيت، ويتمركز مقعد شرقية في الجزء الشرقي الجنوبي من حوض البجيدي الفرعي للحوض الرئيسي، ويشغل مساحة ٦, ٦٥ كم من حوض وادي عرنة الأعلى (شكل:١).
 (4) صخور البيجماتيت (Pegmatite rocks): توجد هذه الصخور بنسبة محدودة تقدر بنحو ٣٩٩, ٠ كم، في جنوب حوض البجيدي الفرعي، وهي عبارة عن متداخلات نارية (شكل:١).

• صخور ما قبل الكامبري (Precambrian rocks)

(١) تكوين المضيق (Al-Madiq Formation): تتألف من صخور بازلتية متحولة وفتات بركاني، وتشغل مساحة ١, ٤٧ كم، وتوجد في أقصى شمال حوض البرود الفرعي من حوض وادي عرنة الأعلى (شكل:١).
 (٢) الوحدات الصخرية القديمة غير المصنفة (Unclassified old rock units): يمثل هذا التصنيف في الحوض، الصخور الجرانيتية مثل الدايورائيت والتوناليت، بالإضافة إلى الصخور المتحولة أو شبه المتحولة القديمة، وتشغل جزءاً كبيراً من شمال وسط حوض البجيدي وبنسبة أقل في وسطه، كما توجد أيضاً في جنوب حوض وادي عرنة الأعلى، في الحوض الفرعي رقم (٤١٧)، وكذلك في حوض

الرابع، وأن هذا الاختلاف في نسب الصخور، يؤثر على قوة الجريان السيلي، وعلى معدل نفاذية المياه وتغذيتها لخزانات المياه الجوفية. ورسوبيات الزمن الرابع تشكلت على النحو الآتي:

(١) رواسب المنحدرات (Talus Deposits): تكونت هذه الرواسب أثناء عمليات التجوية، وتكتسي بطلاء داكن اللون مكون من أكاسيد الحديد والمنجنيز والقليل من الصلصال، وتوجد في أحواض البجيدي والشرايع والمغمس بشكل عام (شكل: ١) (حسين، ١٩٩٧).

(٢) رواسب المصاطب الفيضية (alluvial deposits): هي عبارة عن رواسب السهول الفيضية، وهي غير مصنفة، بالإضافة إلى اختلاطها برواسب أحواض التصريف الداخلية المتكونة من الغرين والرمل، وهي عبارة عن رمال خشنة مشتقة من صخور ما قبل الكامبري. وتنتشر بشكل عام في الأحواض الفرعية الشمالية، والشمالية الشرقية، والجنوبية من حوض وادي عرنة الأعلى (شكل: ١).

(٣) رواسب الأودية (Wadi alluvium): تتكون من حصى ورمل تختلف في الحجم والسمك والشكل من حوض إلى آخر، فتجدها في الأودية المنخفضة سميكة ومرتبطة ومكونة من حصى ورمل ناعم. بينما تأخذ في المرتفعات الجبيلة شكل الجلاميد والصخور المختلطة بالرمل. وبشكل عام فهي رواسب معتدلة التصنيف، وتسود في أحواض الشرايع والبجيدي، وكذلك في جنوب وجنوب شرق حوض وادي عرنة الأعلى وقتاته الرئيسية (شكل: ١).

وعند تحليل نسب صخور ما قبل الكامبري ورسوبيات الزمن الرابع في كل حوض (جدول: ١)، يتبين لنا أن هناك تفاوتاً في نصيب كل حوض فرعي من صخور ما قبل الكامبري الكتلية الصلبة ورسوبيات الزمن الرابع الفتاتية، وبنظرة تحليلية يمكن تمييز الأنواع المختلفة من الأحواض حسب نصيب كل منها من الصخور الكتلية والرسوبيات الفتاتية، فالقسم الأول (شكل: ٢) يضم ثمانية أحواض فرعية هي: حوض البجيدي، وحوض الشرايع، وحوض مدرجة، وحوض المغمس ٥١٥، وحوض كبكب، وحوض ٥١٤، وحوض ٤١٥، وحوض ٤١٤. وتزداد نسبة صخور ما قبل الكامبري عن ٦٠٪ من مساحة مسطحها، والباقي يشكل أقل من ٤٠٪ من إرسابات الزمن الرابع، وتبلغ مساحة صخور ما قبل الكامبري في هذه الأحواض الثمانية بنحو ٣١٥، ٢ كم، وهذا مؤشر واضح على

(٥) معقد نعمان (Numan complex): تتوزع صخور هذا المعقد في كل من شمال وسط حوض البجيدي الفرعي وكذلك شرقه بنسبة محدودة، وشمال حوض مدرجة الفرعي، بالإضافة إلى انتشاره في الأجزاء الجنوبية من حوض كبكب وحوض المغمس الفرعيين، وتتألف صخور هذا المعقد من صخور المونزوجرانيت الكتلية، وتقدر مساحتها الإجمالية في حوض وادي عرنة الأعلى بنحو ٣، ٤١ كم (شكل: ١).

(٦) معقد ملح (Milh Complex): تتألف صخور هذا المعقد من صخور التوناليت والدايوريت والجابرو، ومعقد ملح ينتشر بشكل واسع في أحواض عرنة الأعلى الفرعية، وتقدر مساحتها الإجمالية بنحو ٦، ١١١ كم (شكل: ١).

(٧) معقد جعرانة (Jarana complex): ينتشر في الأحواض الفرعية الشمالية، والأحواض الغربية، وهي أحواض البجيدي، ومدرجة، والشرايع، والبرود، والضيقة، وحوض (٤١٥)، وحوض (٥١٤)، وهي صخور نارية قديمة، وتعد أكبر مساحة لصخور ما قبل الكامبري بحوض وادي عرنة الأعلى بمساحة ٣، ١١٦ كم (شكل: ١).

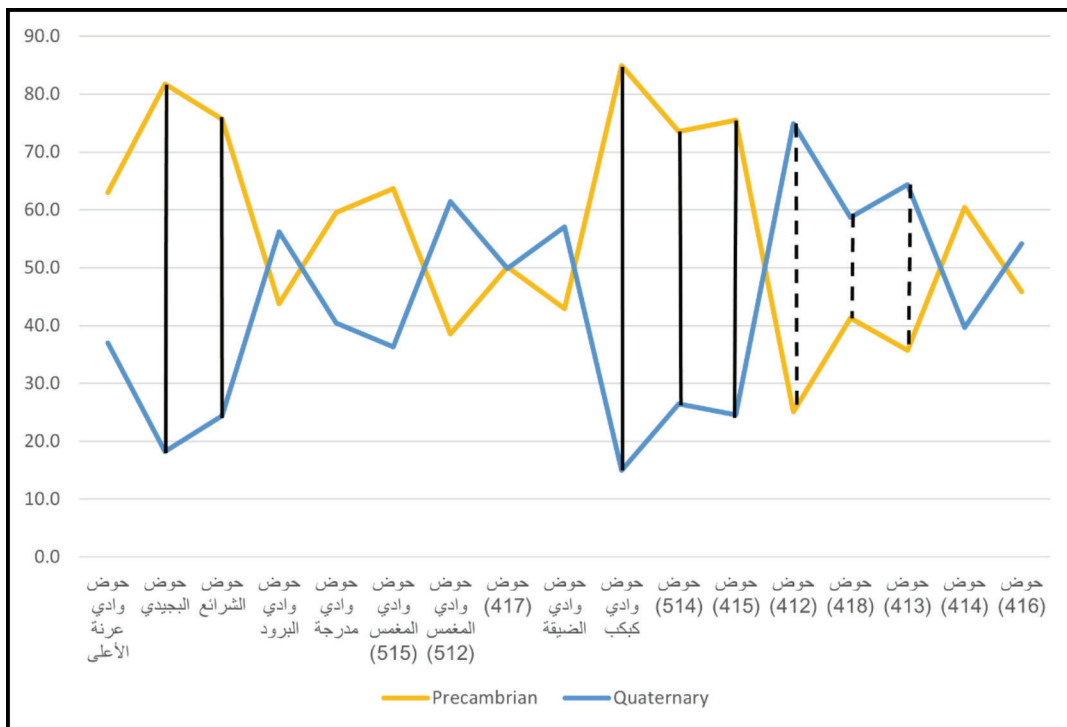
(٨) صخور المتداخلات اللاحقة للنشاط التكتوني (Post tectonic interfering rocks): تتألف هذه الصخور من خليط من صخور الجرانيت الكتلية والصلبة، وهي عبارة عن صخور متداخلة في الشقوق والصدوع الموجودة نتيجة العمليات التكتونية في شمال ووسط الحوض الرئيسي على شكل بقع كبيرة الحجم، أو على هيئة سدود مستطيلة في جنوب وسط الحوض، وتقدر مساحتها بنحو ٣٥ كم (شكل: ١).

• رسوبيات الزمن الرابع (Quaternary sediments)

نشأت رسوبيات الزمن الرابع الموجودة في بطون الأودية، أو على جانبي بطون الأودية إما نتيجة للجريان السيلي من الأمطار أو نتيجة لعمليات السفوح على المنحدرات الجبلية (Powers, et al., 1966)، وتشغل هذه الرسوبيات من الزمن الرابع مساحة ضخمة من إجمالي مساحة حوض وادي عرنة الأعلى تقدر بنحو ٢٢١ كم، إلا أن المدى المكاني لها يتراوح من حوض لآخر في الأحواض الفرعية. وهذه المساحة الضخمة تعطينا مؤشراً واضحاً على قوة عمليات النحت المائي الناتجة من الجريان السيلي على فترات زمنية بعيدة، وبما أن الأحواض الفرعية لحوض وادي عرنة الأعلى تختلف في نصيبها من صخور ما قبل الكامبري ورسوبيات الزمن

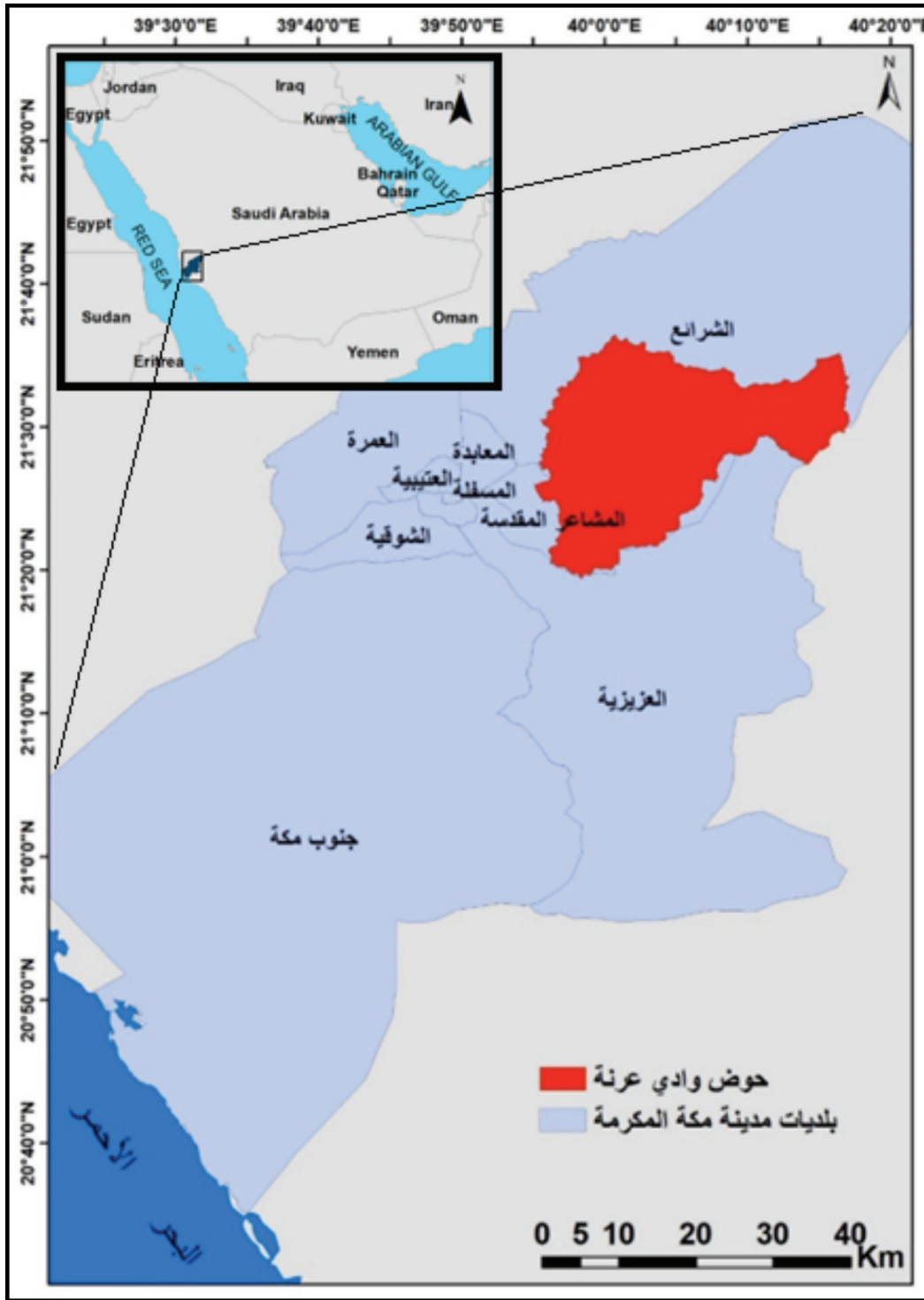
ولذلك يظهر أثرها على كميات الجريان السيلي السطحي (Overland flow) فوق الجبال والمنحدرات عند سقوط الأمطار، وأيضاً من خلال تحديد الزمن اللازم لتجمع المياه من السفوح إلى بطون الأودية وجريانه خلالها (Channel flow). ويتضح جلياً تأثير أنماط البناء الجيولوجي من خلال نشوء العديد من بطون الأودية والشعاب التي تقطع السلاسل الجبلية الفاصلة بين أودية أحواض الصرف المختلفة (Complex alluvial channel) التي تسمى بالممرات الطبيعية، مما أدى إلى تداخل واتصال هيدرولوجي بين هذه الأحواض المختلفة عبر هذه الممرات الطبيعية (Defunct channel)، ومما أدى أيضاً إلى تحويل مسارات تصريف الجريان السيلي إلى خطوط أخرى لوجود هذه التفرعات (Alwash, et al., 1986).

قوة هذه الأحواض الثمانية الفرعية في إنتاج جريان سيلي قوي. أما القسم الثاني (شكل: ٢)، فيضم سبعة أحواض فرعية هي: حوض وادي البرود، وحوض وادي المغمس ٥١٢، وحوض وادي الضيقة، وحوض ٤١٢، وحوض ٤١٨، وحوض ٤١٢، وحوض ٤١٦، وتزداد به نسب إرسابات الزمن الرابع عن ٥٥٪، مما يزيد من نفاذية الماء وتغذية المياه الجوفية ويقلل من قوة الجريان السيلي، وهناك حوض فرعي في منطقة وسط الحوض الرئيسي متقاربة النسب بين صخور ما قبل الكامبري وإرسابات الزمن الرابع (حوض ٤١٧).



شكل (١) خريطة توزيع الوحدات الجيولوجية الرئيسية في حوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الطالب اعتماداً على الخريطة الجيولوجية (Moore and Al-Rehaili, 1989)



شكل (٢) حوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الطالب اعتماداً على البيانات الرقمية المكانية لأمانة العاصمة المقدسة.

٢. أسئلة الدراسة:

١. ما التوزيع المكاني والزمني للعواصف المطيرة وكمياتها في حوض وادي عرنة الأعلى؟
٢. ما شدة التساقط المطرية المصاحبة للعواصف المطيرة في حوض وادي عرنة الأعلى؟
٣. كم تكون فترة هطول العواصف المطيرة وما مدى تأثيرها على الجريان السيلي؟
٤. ما مدى الوثوق بصلاحية بيانات الأمطار المحسنة المستخرجة من القمر الصناعي TRMM في عملية بناء النموذج الهيدرولوجي الموزع مكانياً القائم على نظم المعلومات الجغرافية في استخراج وحدة الهيدروجراف؟
٥. ما مدى تأثير الخصائص المورفولوجية في عمليات تقدير حساب ذروة التصريف وإجمالي كمية التصريف؟
٦. ما مدى إسهام التقديرات والحسابات المستخرجة من النموذج الهيدرولوجي في تعظيم الاستفادة من الحصاد المائي والحد من المخاطر السيلية على النطاق العمراني؟

٣. أهداف الدراسة:

- تهدف الدراسة لفهم وتقدير الخصائص الهيدرولوجية لحوض تصريف وادي عرنة الأعلى، الذي تبلغ مساحته الإجمالية ٦٢٩,٤٠ كم مربع، من خلال تناول ومعالجة وتحليل العوامل المؤثرة على الجريان السيلي من منظور جديد متكامل يشمل المحاور الآتية:
١. التوزيع المكاني والزمني للعواصف المطيرة وكمياتها في حوض وادي عرنة الأعلى.
 ٢. شدة التساقط المطرية المصاحبة للعواصف المطيرة في حوض وادي عرنة الأعلى.
 ٣. مدة هطول العواصف المطيرة وما مدى تأثيرها على الجريان السيلي.
 ٤. صلاحية بيانات الأمطار المحسنة المستخرجة من القمر الصناعي TRMM في عملية بناء النموذج الهيدرولوجي الموزع مكانياً القائم على نظم المعلومات الجغرافية في استخراج وحدة الهيدروجراف.
 ٥. تأثير الخصائص المورفولوجية في عمليات تقدير حساب ذروة التصريف وإجمالي كمية التصريف.
 ٥. إسهام التقديرات والحسابات المستخرجة من النموذج الهيدرولوجي في تعظيم الاستفادة من الحصاد المائي والحد

من المخاطر السيلية على النطاق العمراني.

٤. الدراسات السابقة:

يوجد العديد من الدراسات التي اهتمت بدراسة أحواض التصريف وتحليلاتها الهيدرولوجية باستخدام نماذج نظم المعلومات الجغرافية الهيدرولوجية، ومن هذه الدراسات، دراسة فريد ومصطفى (Fred and Mostafa,2008) حول نمذجة مخاطر السيول في المواقع المقدسة (وادي عرنة) في مكة المكرمة. وقد اعتمدت الدراسة على نموذج ارتفاعات رقمي مشتق من ترقيم الخرائط الإلكترونية، وتم استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل أكبر عاصفة مطيرة بشدة ٣٠ مم/ساعة، والموزعة على كامل الحوض ولفترة زمنية واحدة، وقد توصل الباحثان إلى أن تصريف الذروة يصل إلى نقطة القياس عند بداية عرفات بعد ١٢ ساعة من بداية العاصفة، وبحجم جريان يصل أقصاه إلى ٥٠٠ متر مكعب/ ثانية، وقد أغفلت الدراسة الفاقد أثناء الجريان والمعتمد على كل من مساحة القطاع العرضي للمجرى والخواص الطبيعية للرواسب الفتاتية ومن ثم معدل التسرب.

وفي دراسة هيفاء النفعي (٢٠١٠) حول تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأدنى لوادي عرنة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أشارت الباحثة إلى أن خصائص الحوض الطبيعية والبشرية قد أسهمت في رفع قيم الإصمات في الحوض وذلك بعد استخدام نموذج الأرقام المنحنية للجريان. كما أشارت إلى أنه من خلال تطبيق نموذج مخطط التصريف، فقد أمكن تحديد الأماكن الأكثر عرضة لمخاطر السيول حيث بلغت قمة التصريف ٤٠٩٦ متراً مكعباً/ثانية.

وقام علي الصبياني (Al-Subyani,2011) بدراسة السلوك الهيدرولوجي واحتمالية الفيضانات بعدد من الأحواض الجافة بمنطقة مكة المكرمة، حيث استخدم بيانات المحطات المناخية المرتبط بمواقعها مع المناطق الجبلية ومناطق المنحدرات الجبلية والمناطق الساحلية المعروفة بتهامة. وقد قام الباحث بحساب كميات المطر عند فترات رجوع مختلفة واختار تقدير إجمالي الكلي للجريان بتلك الأحواض بناء على كميات الأمطار الحالية وعند فترات رجوع ٥٠ عاماً و ١٠٠ عام. وكانت كمية الأمطار الكلية المحتمل سقوطها عند فترة رجوع ٥٠ عاماً هي ١٠٥ مم بالعام، وسينتج عن هذا جريان

وقام محمد البارودي (٢٠١٢) بتقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأسفل لوادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وخلال هذا البحث تم اشتقاق ودراسة الخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف مثل مساحة الأحواض، وانحدار الاستدارة، وشبكة التصريف المائي كمؤشرات للتعرف على مدى قدرة الأحواض على تكوين جريان سيلبي. وقد خلص الباحث من دراسة تلك الخصائص إلى أنه على الرغم مما تبدو عليه خصائص الحوض من قلة انحدار سطحه وارتفاع نسبة مساحات الرواسب الفتاتية المنفذة، إلا أن خصائصه الجيومورفولوجية والشكلية والتمثلة في تموضع روافده قرب المجرى الأسفل تؤدي دوراً مهماً في زمن تصريف الذروة، كما قام الباحث باستخدام القياسات الحقلية أثناء الجريان السيلبي المصاحب للعاصفة المطيرة في حوض وادي عرنة بتاريخ ١٢-٢-٢٠١٠، التي بدأت في الساعة ٤:٢٠ عصرًا حتى الساعة ٦:٢٠ مساءً، وهطل خلال تلك الفترة ٥٥ مم من الأمطار. وقد قام الباحث باختيار نقطة تلاقي وادي عرنة وبداية مشعر عرفة حيث الجريان المحدد في مجرى يبلغ اتساعه ١٢٠ متراً وارتفاعه ٤ أمتار، وباستخدام أبعاد المجرى عند نقطة القياس وسرعة الجريان والمحيط المبلل من الوادي عند تلك النقطة، تمكن من حساب حجم تدفق الذروة للسيول في وادي عرنة الذي يبلغ ٤٣١ متراً مكعباً/ثانية. وقد قام الباحث بحساب حجم تدفق الذروة بتطبيق أحد النماذج النظرية كنموذج سنايدر، ومقارنة هذا الحجم المقدر نظرياً بحجم تدفق الذروة المقاس أثناء السيل المصاحب لعاصفة فبراير ٢٠١٢. وقد تراوح تصريف الذروة الأقصى للسيول في وادي عرنة من ٦١ متراً مكعباً/ثانية إلى ٢١٧ متراً مكعباً/ثانية. وتعكس القيم القصوى المحسوبة من النموذج مبالغة كبيرة في جميع نتائج دراسات السيول التي اعتمدت تطبيق نموذج سنايدر دون تحديد قيمة معاملي تدفق الذروة وزمن تدفق الذروة. ولكن القياسات الحقلية المصاحبة للدراسة الهيدرولوجية لوادي عرنة لسيل فبراير مكنت الباحث من تحديد هذين العاملين مما أمكنه من حساب تصريف الذروة الأقصى لحوض وادي عرنة ويبلغ ٥٠٠,٧ متراً مكعباً/ثانية. كما قام جمعة داود وآخرون (Dawod et al., 2012) بإدماج البيانات الطبوغرافية، والمناخية، والجيولوجية، واستخدامات الأرض في برامج نظم المعلومات الجغرافية كي

كلي بوادي نعمان يصل إلى ١١,٦ مليون متر مكعب من المياه. وقدّر الباحث كمية الأمطار عند فترة رجوع ١٠٠ عام بحوالي ١١٦ مم، وسينتج هذا جريان كلي يصل إلى ١٢,٦ مليون متر مكعب بوادي نعمان. ونجد في هذه الدراسة أن الباحث دمج كلاً من وادي عرنة ووادي نعمان سوياً واعتبرهما حوض تصريف واحد، وأن الكميات المحسوبة تعبر عن الجريان الكلي في هذين الواديين. وقد تم التقدير بناءً على كميات الأمطار المصورة من محطات مناخية لا تقع أي منها داخل وادي عرنة أو نعمان بناءً على معاملات جريان مستدعاة من قياسات ببعض وديان جنوب غرب المملكة.

وتناولت دراسة سعد الغامدي (٢٠١٢) المخاطر المحتملة للسيول شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام تقنية الاستشعار عن البعد ونظم المعلومات الجغرافية، وقد هدفت الدراسة بالأساس إلى حساب ذروة التصريف في عموم منطقة الدراسة باستخدام معادلة تالبوت (Talbot) التي برر استخدامها أنها تراعي، دون غيرها، الجانب أو العوامل الجيومورفولوجية أثناء حساب ذروة التصريف للأودية، كما أن المعادلة لا زالت تستخدم بوزارة النقل بالمملكة العربية السعودية، وأشارت إليها وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان بالمملكة في بعض تقاريرها، والمعادلة محسنة من قبل (Quraishi and Al-Hassoun, 1996) لكي تتناسب مع الأقاليم المورفولوجية بالمملكة. وقد قام القرشي والحسون، بحساب معامل التصريف وذروة التصريف عند فترات رجوع مختلفة وتبين من القيم العالية لمعامل التصريف أن أسطح الأحواض الجزئية والكبيرة تميل لتكوين جريان سطحي قوي أكثر من ميلها لتسريب مياه الأمطار. وأن معامل التصريف هذا يرتبط بقوة بعنصري الارتفاع والانحدار أكثر من ارتباطه بعناصر مورفولوجية أخرى كالشكل والمساحة. وقد قام الباحثون أيضاً بحساب ذروة التصريف لأودية جزئية مختارة بوادي عرنة وبوادي نعمان وحساب ذروة التصريف أيضاً لكامل حوض وادي عرنة وكامل حوض وادي نعمان عند نقطة مخرج كل منهما - عند نقطة تلاقيهما بحي الحسينية. وتبين أن أحواض أودية المجاريش ورهجان وعلق، روافد وادي نعمان مضافاً إليها واديا الشرائع والبجيدي بوادي عرنة هي أكثر الأحواض الجزئية من حيث ذروة التصريف، حيث يمثل إجمالي ذروة التصريف لهذه الأودية ٦٥٪ من إجمالي ذروة التصريف من حوض وادي عرنة ونعمان.

جامعة أم القرى. وقد شملت تلك القياسات ارتفاع الجريان السيلي على مدار الساعة حتى بعد انتهاء الجريان السيلي. واستخدم الباحثان صور الأقمار الصناعية قبل وبعد حدوث السيل لتحديد القنوات النشيطة التي حدث بها الجريان وتلك التي لم يحدث بها جريان. كما تم رصد المكونات الجيولوجية للأحواض واستخدامات الأراضي لتقدير معامل الجريان السطحي، وقد استخدم الباحثان نموذج الارتفاعات الرقمي SRTM 90m لبناء منحنى وحدة الهيدروجراف المصاحب لسيل ٢٠-١٢-٢٠١٠م وكميات التصريف الناتجة عنه. وقد خلص الباحثان إلى أن إجمالي كمية التصريف بلغت ٧ مليون متر مكعب ووصلت ذروة التصريف إلى ٣٢٣ متراً مكعباً/ ثانية.

٥. الإجراءات المنهجية للدراسة:

١.٥: بيانات الدراسة:

١) البيانات الهنائية:

- بيانات محطات أرصاد جوية في منطقة الدراسة من المركز الوطني للأرصاد، وكذلك من وزارة البيئة والمياه والزراعة.

- بيانات القمر الصناعي TRMM من الموقع NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC).
<<https://mirador.gsfc.nasa.gov>>

٢) البيانات المساعدة: وتشمل جميع البيانات المطلوبة للمساعدة في إتمام الدراسة وهي:

- مرئيات للأقمار الصناعية لمنطقة الدراسة من القمر لاندسات ثمانية، من الموقع <<https://earthexplorer.usgs.gov>>

- خرائط جيولوجية للمنطقة بشكل عام، من هيئة المساحة الجيولوجية السعودية.

- خرائط طبوغرافية للمنطقة بشكل عام، من الهيئة العامة للمساحة

- نماذج الارتفاعات الرقمية ذات القدرة المكانية العالية (١٢,٥) ويمكن الحصول عليها من الموقع <<https://search.asf.alaska.edu>>

- استخدامات الأراضي تستخلص من مرئيات الأقمار الصناعية.

يستخدم طريقة الأرقام المنحنية لنمذجة خصائص السيول في ستة أودية بالحرم المكي الشريف، ومنها جزء من وادي عرنة الذي يحتوي على المجرى الرئيسي حتى التقائه بطريق مكة - الطائف. وباستخدام عاصفة ٥٠ عاما كفترة رجوع بشدة مطرية ٢٠٠ مم/ ساعة، فقد حددت الخصائص الهيدرولوجية للجزء المدروس من حوض وادي عرنة، حيث يصل عمق الجريان إلى ١٤٨,٨ مم، وذروة التصريف ١٥١٤ متراً مكعباً/ثانية، وزمن تركيز يصل إلى ١٧,٤ دقيقة، وفترة عاصفة تصل إلى ٥٦,٠ ساعة، وسرعة جريان تصل إلى ٦٨,٢٤م/ثانية، وإجمالي جريان سيلي يصل إلى ٢٩,٧٩ مليون متر مكعب.

وقام جمعة داود وآخرون (Dawod et al., 2013) بتقدير حجم ذروة التصريف للأودية السابق ذكرها في بحث جمعة وآخرون (Dawod et al., 2012) باستخدام نموذج الأرقام المنحنية، ونموذج الطريقة المنطقية، ونموذج نوح (Nouh, 1987)، ونموذج السبيعي (Al-Subai, 1992)، ونموذج فاركوهارسون وآخرون (Farquharson et al., 1992)، ونموذج تالبوت المعدل (Quraishi and Al-Hassoun, 1996). وقد قارن الباحثون نتائج تقدير حجم ذروة التصريف باستخدام هذه النماذج مع الأخذ في الاعتبار أن نتيجة الأرقام المنحنية هي القيمة المعتمدة للمقارنة، ويبدو من المقارنة المبدئية مدى التفاوت في حجم ذروة التصريف المحسوبة. ويصل أقل فرق بين قيمة حجم الذروة المحسوبة باستخدام الأرقام المنحنية والقيمة المحسوبة باستخدام المنهجية المنطقية إلى ٢٨٪. بينما يصل الفرق أحياناً إلى أقصاه في حالة تطبيق نموذج فاركوهارسون وآخرون (Farquharson et al., 1992). وقد عزا فريق البحث الاختلافات الكبيرة لأسباب عدة منها دقة البيانات المستخدمة في النماذج واختلاف البيانات المدخلة لكل نموذج على حدة، ومساحة أحواض التصريف قيد الدراسة واختلاف خصائص الوديان، وكذلك عدم الاعتماد على بيانات أمطار تعبر عن التغير المكاني لكميات الأمطار.

ونفذ البسطويسي وحبيب الله (٢٠١٣) دمج بيانات الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية والرصد الميداني للسيول لتقدير المعلومات الهيدرولوجية بوادي عرنة بمنطقة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة، ويعمل القياسات الميدانية للجريان السيلي في ٢٠-١٢-٢٠١٠م عند جسر

٣) البيانات الحقلية:

- القياسات الحقلية لأبعاد المجرى الرئيس لحوض وادي عرنة الأعلى مثل عرض الوادي وأعماق الفيضان من على جوانب الوادي وجسور الكباري المقامة على الوادي.
- قياس خشونة سطح قاع الوادي التي ستساعد في حساب سرعة الجريان من خلال معادلة ماننغ.

٢.٥: معالجة بيانات الدراسة:

١.٢.٥: مرئيات القمر الصناعي TRMM:

إن 7-TRMM 3B43 هي مهمة فضائية مشتركة بين الإدارة الوطنية للطيران والفضاء (NASA) بالولايات المتحدة الأمريكية و National Space Development (NASD) في اليابان، وهي مصممة لمراقبة ودراسة هطول الأمطار الاستوائية. وأطلق القمر الصناعي في ٢٧ نوفمبر ١٩٩٧. وتستخدم منظومة القمر الصناعي TRMM عدة أجهزة استشعارية لاستشعار الأمطار الساقطة وهي: (PR) Precipitation Radar وهو يعتبر أول أداة تستخدم لتوفير مخططات ثلاثية الأبعاد للعاصفة المطرية، وتبلغ دقته المكانية حوالي ٥ كم ومسطح عرض ٢٤٧ كم، ويوفر معلومات عن المطر والثلج من سطح الأرض إلى ارتفاع ٢٠ كم، وهو حساس لمعدلات المطر الخفيف التي تصل إلى ٠,٥ مم/ساعة. الجهاز الثاني TRMM Microwave Imager (TMI) وهو عبارة عن مستشعر ميكروويف سلبي يعتمد على جهاز الاستشعار (SSM/I) Special Sensor Microwave/Imager، ويقاس شدة الإشعاع عند ١٠,٧ و ١٩,٤ و ٢١,٢ و ٣٧ و ٨٥,٥ جيجا هرتز، وتبلغ دقته المكانية ١١ كم و ٨ كم عند ٢٧ جيجا هرتز ومسطح عرض ٨٧٨ كم، والجهاز الثالث Visible Infrared Scanner (VIRS)، وهو جهاز يستشعر الإشعاع في الأطوال الموجية المرئية والأشعة تحت الحمراء من ٠,٦٣ و ١,٦ و ١,٨ و ١٠,٨ و ١٢ ميكرومتر، وتبلغ دقته المكانية ٢,٤ كم وعرض مسطح يبلغ حوالي ٨٢٣ كم (MacRitchie, 2017). وتغطي بيانات 7-TRMM 3B43 من ٥٠ درجة جنوباً إلى خط عرض ٥٠ درجة شمالاً، وخط طول ١٨٠ درجة غرباً و ١٨٠ درجة شرقاً. وبيانات 7-TRMM 3B43 موجودة في تقويم زمني شهري ودقة مكانية ٠,٢٥ × ٠,٢٥ درجة. وتعالج بيانات منتج 4 على فترات شهرية باستخدام تحليل هطول الأمطار متعدد الأقمار الصناعية (TRMM TMPA)، ويجمع (TRMM TMPA) بين تقديرات هطول الأمطار المستقلة المتعددة

من صورة الموجات الدقيقة (TMI) (TRMM)، ومقياس إشعاع المسح بالموجات الدقيقة المتقدم لأنظمة مراقبة الأرض (AMSRE)، ومستشعر خاص لتصوير الميكروويف (SSM/I)، ومستشعر خاص لتصوير الميكروويف Imager/ (SSMIS) (Sounder)، ميكروويف متقدم وحدة السبر (AMSU)، مسبار رطوبة الميكروويف (MHS)، الأشعة تحت الحمراء الأرضية المدمجة المعدلة بالموجات الدقيقة (IR)، وتحليل مقياس المطر المتراكم شهرياً من المركز العالمي لعلم المناخ (GPCC). وتستفيد بيانات TMPA من المقاييس الدقيقة لإنشاء متوسطات مناسبة لتطبيق المستخدم، والذي يتمتع بأداء جيد على النطاقات الشهرية واليومية. وهناك المزيد من التفاصيل حول TMPA من خلال هذا المرجع (TRMM) (Huffman, et al., 2007). وتم تحميل بيانات 7-TRMM 3B43 مجاناً من قاعدة بيانات ناسا عن طريق الموقع الإلكتروني <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>.

٢.٢.٥: تحسين القدرة المكانية (Spatial Downscaling) لبيانات القمر الصناعي TRMM:

لتحسين القدرة المكانية لبيانات TRMM نحتاج إلى بيانات أخرى مساعدة تعمل كمتغيرات تابعة في عملية رفع الدقة المكانية المنخفضة إلى دقة مكانية عالية لبيانات TRMM، فلا بد من الحصول على بيانات SPOT-NDVI من منتجات SPOT VGT-S10 المتوفرة بدقة ١ كم من <http://www.spot-vegetation.com>، كذلك تم الحصول على بيانات SRTM DEM بدقة مكانية تبلغ ٩٠ م. وتمت إعادة تشكيل نموذج الارتفاعات الرقمية DEM البالغ ٩٠ م إلى الدقة المستهدفة (٠,٢٥ و ١ كم) باستخدام طريقة متوسط البيكسل (RESAMPLE) أثناء إجراءات القياس، وهي متوفرة على <http://www.nasa.gov>، كما تم الحصول على منتجات Terra-MODIS LST (MOD11A2) بدقة ١ كم من قاعدة بيانات ناسا <http://www.nasa.gov>، واستخدمت بيانات محطات الأرصاد للمملكة العربية السعودية وعددها ٢٧ محطة منتشرة في أرجاء المملكة للتحقق من نتائج البيانات المستخرجة من عملية تحسين الدقة المكانية لـ TRMM مع بيانات محطات المملكة ونسبة العلاقة بينهما من حيث قيم هطول الأمطار.

ومن المعلوم أن هطول الأمطار يتفاعل مع عوامل مختلفة، وبالتالي فإن اختيار المتغيرات المساعدة لتحسين الدقة

التقليدي بطريقة المربعات الصغرى العادية (OLS) على افتراض أن علاقة الانحدار بين المتغيرات (بيانات NDVI وبيانات LST والبيانات المستخرجة من DEM) والمتغير التابع (بيانات TRMM) تكون ثابتة في منطقة الدراسة بأكملها، وبما أن هطول الأمطار هو نتيجة تفاعل عوامل متعددة، فغالباً ما يحدث التباين المحلي في هطول الأمطار في مناطق تكون ٢ كم، أو أكبر (Immerzeel, et al., 1975 Orlanski, 2009). وفي الغالب يكون الهطول غير مستقر مكانياً ولا زمانياً، ولهذا فتمودج (OLS) لا يعكس الخصائص المكانية الحقيقية للمتغيرات في نموذج الانحدار المستخدم، ولهذا اقترح برونسدون وزملاؤه (Brunsdon, et al., 1998) طريقة الانحدار الجغرافي الموزون (GWR) التي يمكنها اكتشاف عدم التجانس المكاني عن طريق إدخال عامل الموقع الجغرافي في معادلة الانحدار.

ومن المعلوم أن هطول الأمطار يتفاعل مع عوامل مختلفة، وبالتالي فإن اختيار المتغيرات المساعدة لتحسين الدقة المكانية سيكون له تأثيرات كبيرة على النتائج. وأحد المتطلبات الحاسمة لإدراج أو اختيار متغير مساعد في إجراء تحسين الدقة المكانية هو أن هذا المتغير يجب أن يكون الحصول عليه بدقة مكانية عالية سهل، وجميع المتغيرات المساعدة التي اختيرت هي المتغيرات التي يمكن الحصول عليها من مرئيات الأقمار الصناعية بدقة ١ كم. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار عند اختيار المتغيرات المناسبة لتحسين الدقة المكانية، خصائص منطقة الدراسة؛ فحوض وادي عرنة الأعلى يقع إلى الغرب من مدينة مكة المكرمة وهي تعتبر منطقة قاحلة وشبه قاحلة نموذجية حيث يعتمد نمو الغطاء النباتي بشكل أساسي على هطول الأمطار في المنطقة، لذلك من المتوقع عموماً أنه كلما زاد هطول الأمطار ستكون قيم NDVI كبيرة، مما يشكل علاقة إيجابية وثيقة بين هطول الأمطار وNDVI. بالإضافة إلى ذلك، فإن نموذج الارتفاعات الرقمية DEM يستخرج منه (المنحدر والاتجاه) والموقع الجغرافي (خط العرض وخط الطول) لها تأثير كبير على هطول الأمطار في حوض وادي عرنة الأعلى. وعادة ما تحتوي المناطق الواقعة في خطوط العرض المنخفضة على درجة حرارة عالية، وتبخّر أعلى، ومحتوى بخار الماء أكبر بسبب المسافة القريبة من البحر، مما يؤدي إلى هطول أمطار غزيرة في منطقة الوادي، وبشكل عام، يزداد هطول الأمطار مع الارتفاع ويتناقص مع الاتجاه بسبب تأثير الرفع الطبوغرافي على تدفق الهواء (أحمد، ٢٠٠١)، وبالنسبة لبيانات LST أكدت الدراسات أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارة الهواء (Kawashima, et al., 2000)، وبالتالي قد تكون LST أيضاً مؤشراً جيداً على هطول الأمطار في المناطق المحلية من منطقة الدراسة. وعلاوة على ذلك، غالباً ما يتأثر نمو الغطاء النباتي بـ LST وهطول الأمطار مثل تأثير الجفاف على الغطاء النباتي. لذلك، فإن النظر في LST وإضافته في إجراءات تحسين الدقة المكانية يمكن أن يحسن في وصف التفاعلات المعقدة بين NDVI وهطول الأمطار خاصة على النطاق الشهري، والذي من المتوقع أن يجعل نتائج تحسين الدقة المكانية أكثر واقعية. ومن خلال هذه العوامل السابقة يمكن استخدام طريقة الانحدار الجغرافي الموزون (Geographically Weighted Regression) (GWR) لتحديد كل عامل فردي في مدى فائدته في عملية تحسين الدقة المكانية لبيانات TRMM (Chen, et al., 2015)). ولذلك أنشئ نموذج الانحدار

المكانية سيكون له تأثيرات كبيرة على النتائج. وأحد المتطلبات الحاسمة لإدراج أو اختيار متغير مساعد في إجراء تحسين الدقة المكانية هو أن هذا المتغير يجب أن يكون الحصول عليه بدقة مكانية عالية سهل، وجميع المتغيرات المساعدة التي اختيرت هي المتغيرات التي يمكن الحصول عليها من مرئيات الأقمار الصناعية بدقة ١ كم. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار عند اختيار المتغيرات المناسبة لتحسين الدقة المكانية، خصائص منطقة الدراسة؛ فحوض وادي عرنة الأعلى يقع إلى الغرب من مدينة مكة المكرمة وهي تعتبر منطقة قاحلة وشبه قاحلة نموذجية حيث يعتمد نمو الغطاء النباتي بشكل أساسي على هطول الأمطار في المنطقة، لذلك من المتوقع عموماً أنه كلما زاد هطول الأمطار ستكون قيم NDVI كبيرة، مما يشكل علاقة إيجابية وثيقة بين هطول الأمطار وNDVI. بالإضافة إلى ذلك، فإن نموذج الارتفاعات الرقمية DEM يستخرج منه (المنحدر والاتجاه) والموقع الجغرافي (خط العرض وخط الطول) لها تأثير كبير على هطول الأمطار في حوض وادي عرنة الأعلى. وعادة ما تحتوي المناطق الواقعة في خطوط العرض المنخفضة على درجة حرارة عالية، وتبخّر أعلى، ومحتوى بخار الماء أكبر بسبب المسافة القريبة من البحر، مما يؤدي إلى هطول أمطار غزيرة في منطقة الوادي، وبشكل عام، يزداد هطول الأمطار مع الارتفاع ويتناقص مع الاتجاه بسبب تأثير الرفع الطبوغرافي على تدفق الهواء (أحمد، ٢٠٠١)، وبالنسبة لبيانات LST أكدت الدراسات أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارة الهواء (Kawashima, et al., 2000)، وبالتالي قد تكون LST أيضاً مؤشراً جيداً على هطول الأمطار في المناطق المحلية من منطقة الدراسة. وعلاوة على ذلك، غالباً ما يتأثر نمو الغطاء النباتي بـ LST وهطول الأمطار مثل تأثير الجفاف على الغطاء النباتي. لذلك، فإن النظر في LST وإضافته في إجراءات تحسين الدقة المكانية يمكن أن يحسن في وصف التفاعلات المعقدة بين NDVI وهطول الأمطار خاصة على النطاق الشهري، والذي من المتوقع أن يجعل نتائج تحسين الدقة المكانية أكثر واقعية. ومن خلال هذه العوامل السابقة يمكن استخدام طريقة الانحدار الجغرافي الموزون (Geographically Weighted Regression) (GWR) لتحديد كل عامل فردي في مدى فائدته في عملية تحسين الدقة المكانية لبيانات TRMM (Chen, et al., 2015)). ولذلك أنشئ نموذج الانحدار

والمقارنة المباشرة (Point by Point) (PBP) بين القيمة الشهرية لهطول المطر الموجودة في المحطة من خلال موقعها الجغرافي والقيمة المقابلة لها في بيانات TRMM لهطول المطر بعد عملية resampling لبيانات TRMM وتوحيدها مع بيانات نموذج الارتفاع الرقمي ١٢,٥ م، أو عمل محيط لمنطقة تغطية المحطة لهطول الأمطار وأخذ المتوسط للقيم الموجودة داخل هذا المحيط ومقارنته بالقيمة الشهرية لبيانات TRMM. وتم الاعتماد على البيانات الشهرية لبيانات TRMM وذلك لقلّة الأمطار في منطقة الدراسة طوال السنة، فالقيمة الشهرية للمطر تمثل العاصفة المطرية التي يمكن أن تحدث في ساعة أو دقائق أو أيام متقطعة، وأيضا بسبب المحلية لهطول المطر، ولهذا فتجميع قيمة هذه الكميات لهطول الأمطار وأخذ القيمة الإجمالية لها خلال الشهر يمثل قيمة المطر الفعلي الذي حدث خلال هذا الشهر، والشكل (٤)، يوضح الفرق بين بيانات TRMM الشهرية للعاصفة المطرية، وبيانات TRMM اليومية أو بيانات ٢ ساعات للعاصفة المطرية، وكيف أن إيجاد العلاقة بين البيانات الشهرية لـ TRMM وبيانات ٢٧ محطة مناخية للمملكة العربية السعودية، يكون أكثر ارتباطاً، لانتشار وتنوع قيم البيانات الشهرية لـ TRMM أكبر من البيانات اليومية أو ٢ ساعات التي تتصف بياناتها بالمحلية وكثرة قيم الصفر المطلق.

ومن خلال تطبيق الإحصاء النطاقي على عاصفة يناير ٢٠١١، ومقارنتها مع بيانات ١٢ محطة مناخية، تبين أن معامل الارتباط (correlation coefficient)، يساوي ٠,٧٢ بالمقارنة المباشرة (PBP) بين قيم محطات الرصد المناخية وقيم عاصفة يناير ٢٠١١، وهذا يؤكد على أن العلاقة بين القيم قوية، ولزيادة التأكد من بيانات TRMM أخذ متوسط قيم الوحدات الخلوية (Pixels) المحيطة بالمحطة المناخية لبيانات TRMM للعاصفة، وأيضا مقارنتها ببيانات المحطات المناخية، فنجد أن معامل الارتباط يساوي ٠,٧١، وهو يكاد يكون مساوياً لمعامل الارتباط السابق (جدول: ٢) وشكل (٥).

بسبب تأثير الرفع الطبوغرافي على تدفق الهواء (أحمد، ٢٠٠١)، وبالنسبة لبيانات LST أكدت الدراسات أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارة الهواء (Kawashima, et al., 2000)، وبالتالي قد تكون LST أيضاً مؤشراً جيداً على هطول الأمطار في المناطق المحلية من منطقة الدراسة. وعلاوة على ذلك، غالباً ما يتأثر نمو الغطاء النباتي بـ LST وهطول الأمطار مثل تأثير الجفاف على الغطاء النباتي. لذلك، فإن النظر في LST وإضافته في إجراءات تحسين الدقة المكانية يمكن أن يحسن في وصف التفاعلات المعقدة بين NDVI وهطول الأمطار خاصة على النطاق الشهري، والذي من المتوقع أن يجعل نتائج تحسين الدقة المكانية أكثر واقعية. ومن خلال هذه العوامل السابقة يمكن استخدام طريقة الانحدار الجغرافي الموزون (Geographically Weighted Regression) (GWR) لتحديد كل عامل فردي في مدى فائدته في عملية تحسين الدقة المكانية لبيانات TRMM (Chen, et al., 2015)). ولذلك أنشئ نموذج الانحدار التقليدي بطريقة المربعات الصغرى العادية (OLS) على افتراض أن علاقة الانحدار بين المتغيرات (بيانات NDVI وبيانات LST والبيانات المستخرجة من DEM) والمتغير التابع (بيانات TRMM) تكون ثابتة في منطقة الدراسة بأكملها، وبما أن هطول الأمطار هو نتيجة تفاعل عوامل متعددة، فغالباً ما يحدث التباين المحلي في هطول الأمطار في مناطق تكون ٢ كم ٢، أو أكبر (Immerzeel, et al., 2009). وفي الغالب يكون الهطول غير مستقر مكانياً ولا زمانياً، ولهذا فنموذج (OLS) لا يعكس الخصائص المكانية الحقيقية للمتغيرات في نموذج الانحدار المستخدم، ولهذا اقترح برونسدون وزملاؤه (Brunsdon, et al., 1998) طريقة الانحدار الجغرافي الموزون (GWR) التي يمكنها اكتشاف عدم التجانس المكاني عن طريق إدخال عامل الموقع الجغرافي في معادلة الانحدار.

٣,٢,٥: التحقق من بيانات TRMM باستخدام الإحصاء النطاقي (Zonal Statistics)؛

لما سبق، استبعدنا خيار تحسين الدقة المكانية باستخدام هذه الطريقة، ولجأنا إلى لطريقة أخرى وهي إيجاد العلاقة بين بيانات المحطات المناخية وبيانات TRMM من خلال المقارنة بينهما باستخدام أداة Zonal Statistics as table،

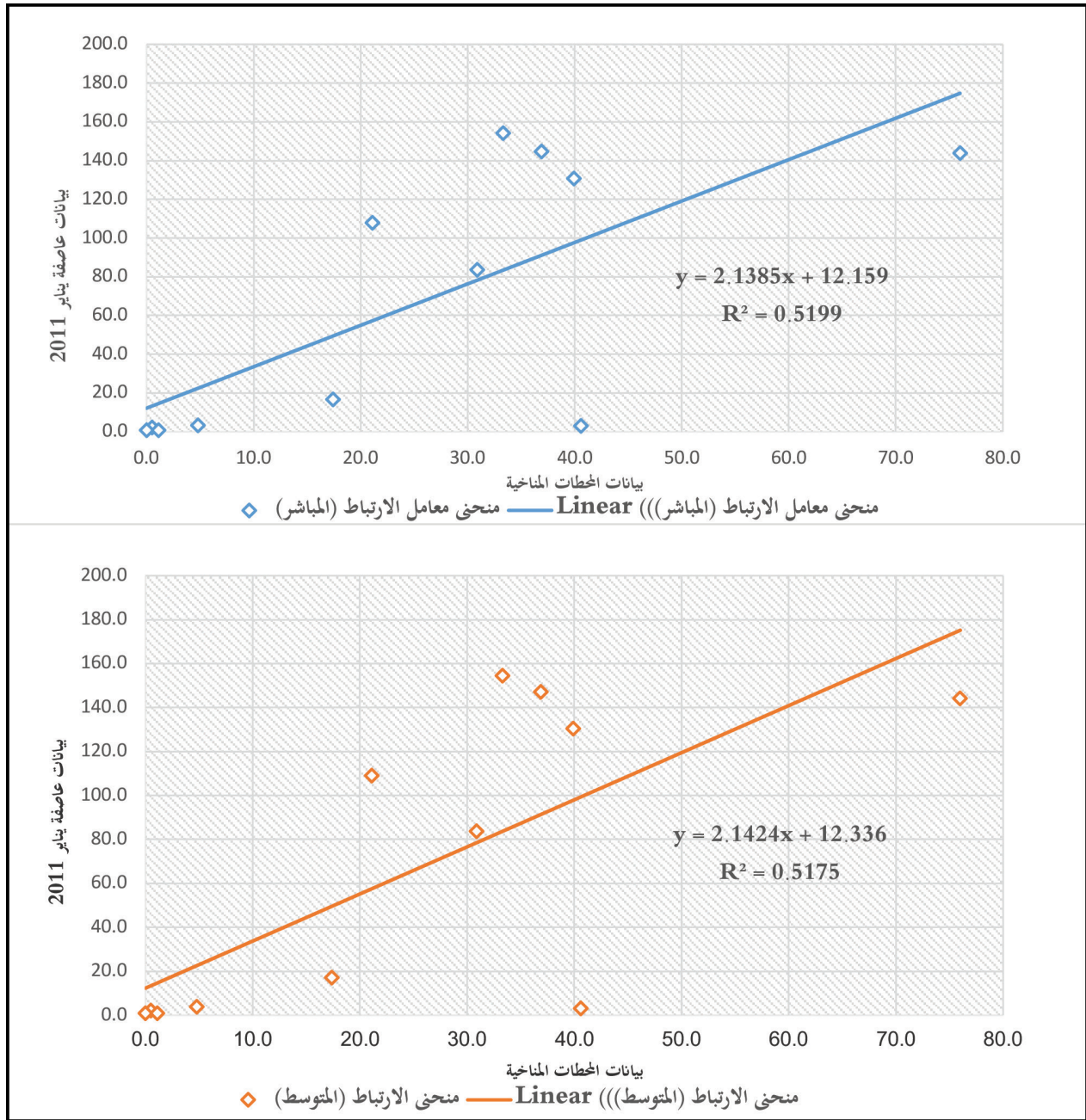
جدول (٢) معامل الارتباط لبيانات المحطات المناخية وبيانات TRMM لعاصفة يناير ٢٠١١

العدد	المحطة المناخية	بيانات المحطة (ملم)	بيانات TRMM (PBP) (ملم)	بيانات TRMM (متوسط محيطي) (ملم)
١	مكة (العابدية)	٣٠,٩	٨٣,٨	٨٣,٧
٢	مكة (العزيرية)	٣٩,٩	١٣٠,٨	١٣٠,٣
٣	مكة (أم الجود)	٣٦,٩	١٤٤,٧	١٤٧,٠
٤	مكة (الشرايع)	٣٣,٣	١٥٤,٣	١٥٤,٤
٥	مكة (ولي العهد)	٢١,١	١٠٨,٠	١٠٨,٩
٦	الطائف	١٧,٤	١٦,٩	١٧,٢
٧	جدة	٧٦,٠	١٤٣,٨	١٤٤,١
٨	الباحة	٠,٥	٢,٢	٢,١
٩	بيشة	٠,٠	٠,٨	٠,٨
١٠	المدينة المنورة	٤,٨	٣,٥	٣,٧
١١	ينبع	٤٠,٦	٣,٢	٣,٠
١٢	وادي الدوaser	١,١	٠,٨	٠,٩
معامل الارتباط			٠,٧٢١	٠,٧١٩

المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM لعاصفة يناير ٢٠١١.

وذلك بسبب أن بيانات TRMM للعواصف المستخلصة منها تساوي إلى حد كبير الطريقة الأولى، ومن خلال الجدول (٤) نجد أن معظم العواصف كان معامل الارتباط لها ذو قيمة عالية باستثناء عاصفة نوفمبر ٢٠٠٩، وأن متوسط معامل الارتباط للعواصف المختارة يساوي ٠,٧٢، ومن هنا يتضح قوة بيانات TRMM، وأفضلية استخدامها في عملية النمذجة الهيدرولوجية لأحواض الأودية في المناطق الجافة وتفوقها على بيانات المحطات المناخية من حيث التوزيع المكاني للبيانات.

كذلك طبق الإحصاء النطاقي على عاصفة أبريل ٢٠١٣، ومقارنتها مع بيانات ١٤ محطة مناخية، فتبين أن معامل الارتباط (correlation coefficient)، يساوي ٠,٩٢، بالمقارنة المباشرة (PBP) بين قيم محطات الرصد المناخية وقيم عاصفة أبريل ٢٠١٣، واتضح أن معامل الارتباط ارتفع وذلك بسبب زيادة المحطات المناخية المستخدمة للتحقق من بيانات العاصفة، كما أخذ متوسط قيم الوحدات الخلية (Pixels) المحيطة بالمحطة المناخية لبيانات TRMM للعاصفة، ومقارنتها ببيانات المحطات المناخية، فنجد أن معامل الارتباط يساوي ٠,٩٢، وهو مساو لمعامل الارتباط السابق مع اختلاف بسيط في بيانات العاصفة لكل محطة مناخية كما هو موضح في جدول (٣) وشكل (٦). وبعد ذلك طبق الإحصاء النطاقي على العواصف باستخدام المقارنة المباشرة (PBP) على الوحدات الخلية بين بيانات العواصف والمحطات المناخية لكل عاصفة (يناير ٢٠٠٥، ونوفمبر ٢٠٠٩، وفبراير ٢٠١٠، وديسمبر ٢٠١٠، وأكتوبر ٢٠١٢)، ولم تستخدم الطريقة الأخرى (المتوسط المحيطي)



شكل (٥) معامل الارتباط (المباشر) و(المتوسط) لبيانات المحطات المناخية وبيانات TRMM لعاصفة يناير ٢٠١١

المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM لعاصفة يناير ٢٠١١.

جدول (٣) معامل الارتباط لبيانات المحطات المناخية وبيانات TRMM لعاصفة أبريل ٢٠١٣

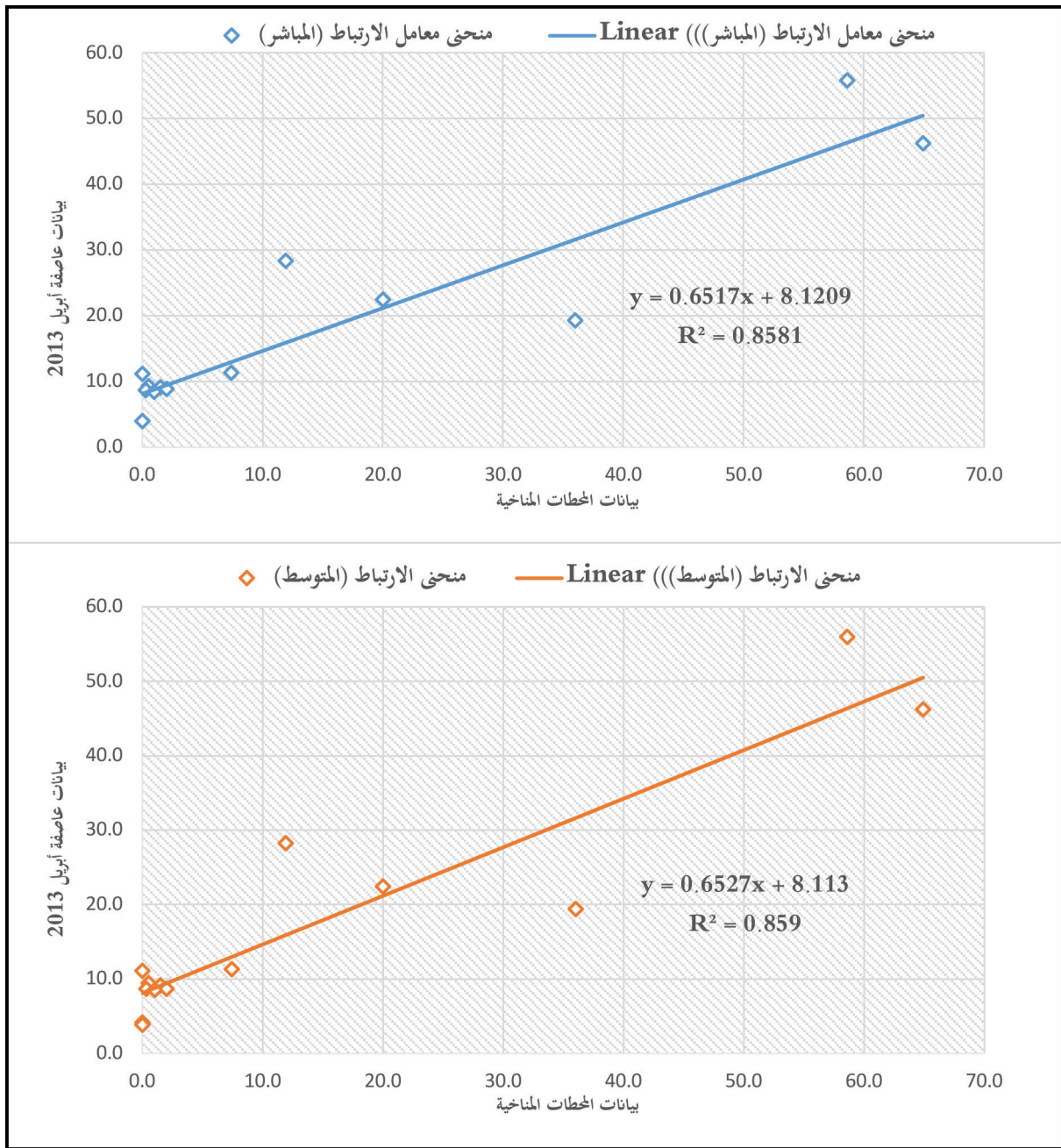
العدد	المحطة المناخية	بيانات المحطة (مم)	بيانات TRMM (PBP) (مم)	بيانات TRMM (متوسط محيطي) (مم)
١	مكة (العابدية)	٧,٤	١١,٣	١١,٣
٢	مكة (كدي)	٠,٥	٩,٣	٩,٤
٣	مكة (أم الجود)	١,٥	٩,١	٩,١
٤	مكة (الشرايع)	٠,٠	١١,١	١١,١
٥	مكة (ولي العهد)	٢,٠	٨,٨	٨,٧
٦	الطائف	٥٨,٦	٥٥,٨	٥٥,٩
٧	جدة	٠,٠	٤,٠	٤,١
٨	الباحة	١١,٩	٢٨,٣	٢٨,٢
٩	بيشة	٦٤,٩	٤٦,٢	٤٦,٢
١٠	المدينة المنورة	٢٠,٠	٢٢,٤	٢٢,٤
١١	ينبع	٠,٠	٤,٠	٣,٨
١٢	وادي الدواسر	٣٦,٠	١٩,٣	١٩,٤
١٣	مكة (النواريه)	٠,٣	٨,٧	٨,٧
١٤	مكة (التخصصي)	١,٠	٨,٤	٨,٥
	معامل الارتباط		٠,٩٢٢	٠,٩٢٢

المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM لعاصفة أبريل ٢٠١٣.

جدول (٤) معامل الارتباط (Correlation Coefficient) للعواصف المختارة

Point by Point (PBP) المقارنة المباشرة			
R ²	(Correlation Coefficient) معامل الارتباط	عدد المحطات المستخدمة	العاصفة
٠,٧٩	٠,٨٩	١٢	يناير ٢٠٠٥
٠,٠٩	٠,٣٠	١١	نوفمبر ٢٠٠٩
٠,٦٤	٠,٨٠	١١	فبراير ٢٠١٠
٠,٦٢	٠,٧٩	١٢	ديسمبر ٢٠١٠
٠,٥٢	٠,٧٢	١٢	يناير ٢٠١١
٠,٤٠	٠,٦٣	١٢	أكتوبر ٢٠١٢
٠,٨٦	٠,٩٢	١٤	أبريل ٢٠١٣
٠,٥٦	٠,٧٢		المتوسط

المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM للعواصف.



شكل (٦) معامل الارتباط (المباشر) و(المتوسط) لبيانات المحطات المناخية وبيانات TRMM لعاصفة أبريل ٢٠١٣

المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM لعاصفة أبريل ٢٠١٣

العشرين عاماً السابقة، بحيث تعطى كل صورة كمية المطر المجمع الشهرية الساقطة على جميع أجزاء الحوض خلال فترة العاصفة. وهذه العواصف مرتبة حسب السنة (عاصفة يناير ٢٠٠٥، عاصفة نوفمبر ٢٠٠٩، عاصفة فبراير ٢٠١٠، عاصفة ديسمبر ٢٠١٠، عاصفة يناير ٢٠١١، عاصفة أكتوبر ٢٠١٢، عاصفة أبريل ٢٠١٣) (جدول: ٥).

٤.٢.٥: نهائج من العواصف المطيرة التي صاحبها جريان سيلى بحوض وادي عرنة الأعلى:

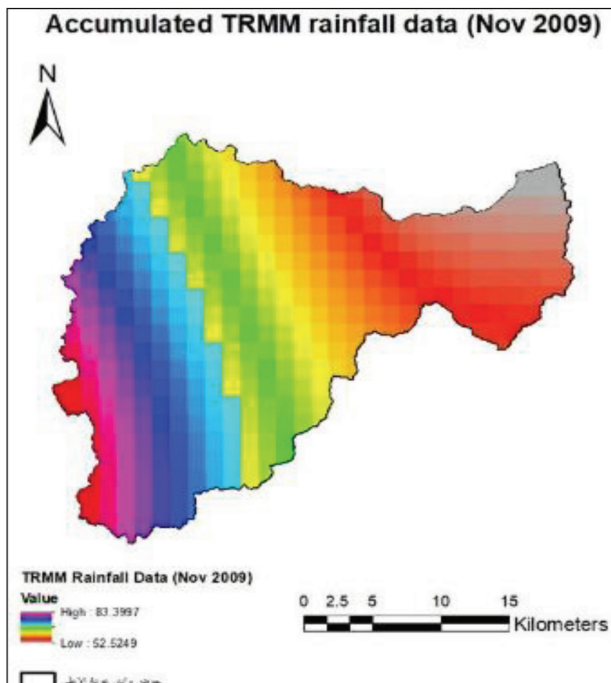
تعتبر شدة العواصف المطيرة وتوزيعها المكاني، وفترة هطولها عامل أساسي في فهم وتقدير الخصائص الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، وبالأخص لمعرفة حجم التصريف وذروة التصريف، ومن هنا تم الحصول على بيانات مرثيات القمر الصناعي TRMM لسبع عواصف مطيرة أحدثت جرياناً سيالياً بحوض وادي عرنة الأعلى خلال

جدول (٥) قائمة بيانات العواصف المطيرة سجلتها مرئيات TRMM الشهرية

م	تاريخ العاصفة	أقل قيمة للمطر (مم)	أعلى قيمة للمطر (مم)	المتوسط
١	٢٢ يناير ٢٠٠٥	٢٨,٩	٤٩,١	٢٩,٠
٢	٢٥ نوفمبر ٢٠٠٩	٥٢,٥	٨٣,٤	٦٨,٠
٣	١٣ فبراير ٢٠١٠	٣٦,٣	٨٧,٧	٦٢,٠
٤	٣٠ ديسمبر ٢٠١٠	٢١,٢	٣٢,٧	٢٧,٠
٥	٢٦ يناير ٢٠١١	٢٥	١٥٠	٨٧,٥
٦	٢١ أكتوبر ٢٠١٢	٢٤,١	٨١,٢	٥٢,٧
٧	٣٠ أبريل ٢٠١٣	١٠,٦	٣٦,٦	٢٣,٦
١٣	الصغرى	١٠,٦	٣٢,٧	٢١,٧
١٤	العظمى	٥٢,٥	١٥٠	١٠١,٣

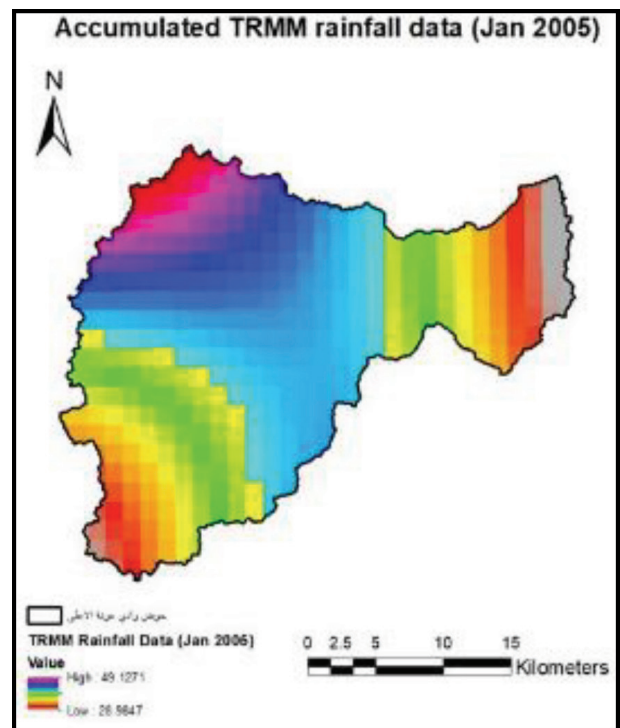
المصدر: بيانات الأمطار للمحطات المناخية، وبيانات TRMM لكل عاصفة مطيرة.

٢. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة نوفمبر ٢٠٠٩: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر نوفمبر من عام ٢٠٠٩ م في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٥٢,٥ ملم و ٨٣,٤ ملم، ويكون توزيعها المكاني على الحوض على النحو التالي: تتركز القيم العليا في الجزء الجنوبي الشرقي من الحوض، وتتابع الانتشار بدرجة أقل في شرقي الحوض، وتبدأ القيم في الانخفاض من وسط الحوض إلى أن تصل إلى القيم الصغرى في أقصى غربي الحوض (شكل: ٨).



شكل (٨) البيانات المجمعة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

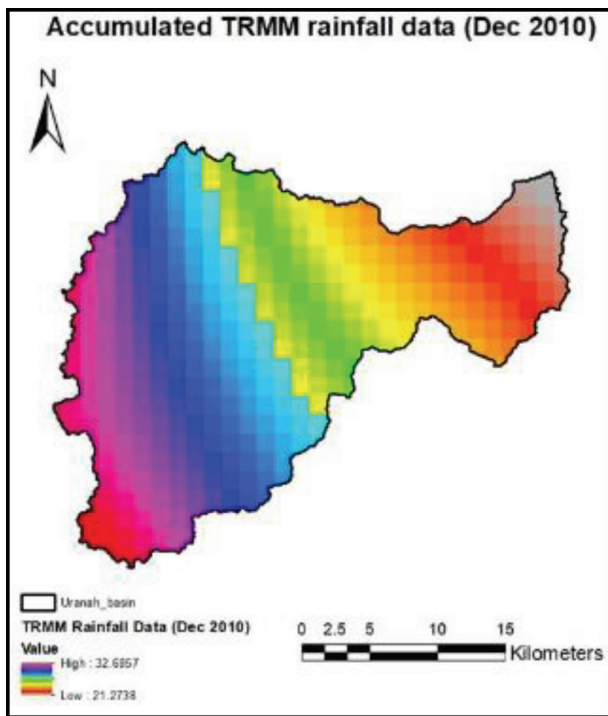
١. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة يناير ٢٠٠٥: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر يناير من عام ٢٠٠٥ م في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٢٨,٩ ملم و ٤٩,١ ملم، ويكون توزيعها المكاني على الحوض على النحو التالي: تتركز القيم العليا في وسط الحوض وأعلى القيم تكون في وسط شمالي الحوض، بينما نجد أن القيم الصغرى تنتشر في أقصى غربي الحوض، وكذلك في جنوب شرقي وجنوبي الحوض (شكل: ٧).



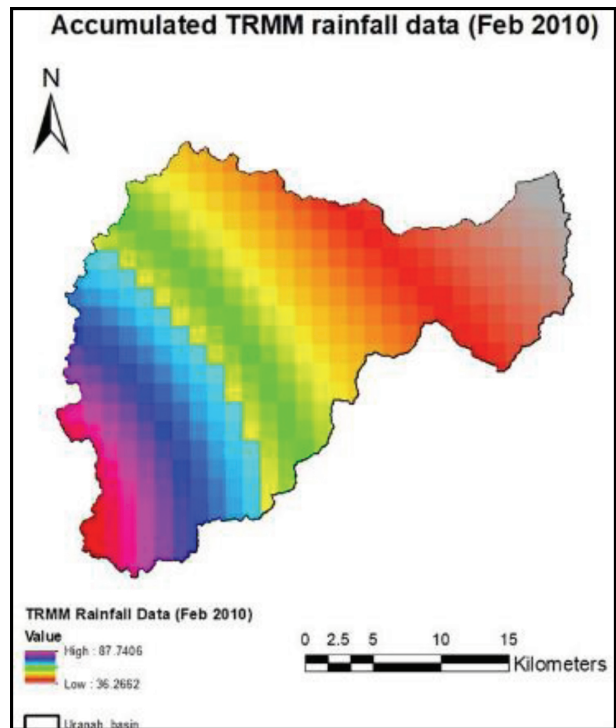
شكل (٧) البيانات المجمعة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

٤. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة ديسمبر ٢٠١٠:
 ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر ديسمبر من عام ٢٠١٠ م، في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٢, ٢١ ملم و ٧, ٢٢ ملم، وبخلاف العواصف السابقة اتضح أن المدى بين القيم منخفض جداً، وهذا يبين لنا أن هذه العاصفة صغيرة، ويكون توزيعها المكاني مشابه للعاصفة السابقة مع اختلاف كبير في كميات الأمطار المسجلة، فتركز القيم العليا في وسط الحوض وأعلى القيم تكون في وسط شمالي الحوض، بينما تنتشر القيم الدنيا في أقصى غربي الحوض، وكذلك في جنوب شرقي وجنوبي الحوض (شكل: ١٠).

٣. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة فبراير ٢٠١٠: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر فبراير من عام ٢٠١٠ م في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٢, ٣٦ ملم و ٧, ٨٧ ملم، ويكون توزيعها المكاني مشابهاً للعاصفة السابقة مع اختلاف بسيط في كميات الأمطار ذات القيم الصغرى، فيكون تركيز القيم العالية في الجزء الجنوبي الشرقي من الحوض، وتتابع الانتشار بدرجة أقل في شرقي الحوض، وتبدأ القيم في الانخفاض من وسط الحوض إلى أن تصل إلى القيم الدنيا في أقصى غرب الحوض (شكل: ٩).

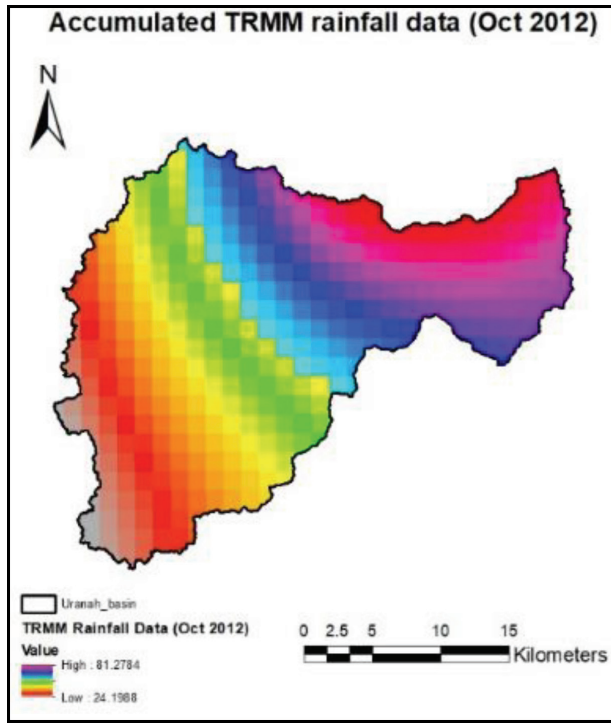


شكل (١٠) البيانات المجمعة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)



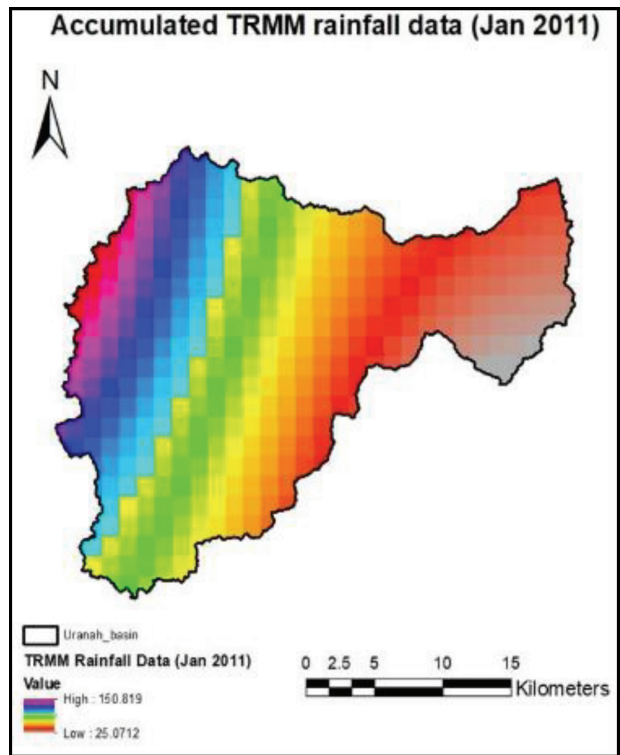
شكل (٩) البيانات المجمعة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

٦. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة أكتوبر ٢٠١٢: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر أكتوبر من عام ٢٠١٢ م في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٢, ٢٤ ملم و ٢, ٨١ ملم، ويكون توزيعها المكاني على الحوض مختلف تماماً عن العواصف السابقة، إذ يتضح أن تركيز القيم العليا من الهطول يكون في غربي الحوض بشكل كامل مع اتجاه ناحية وسط الحوض، بينما تكون القيم الوسطى منتشرة في أغلب منطقة وسط الحوض، وتبدأ قيم الهطول في الانخفاض ناحية شرقي وجنوبي الحوض (شكل: ١٢).



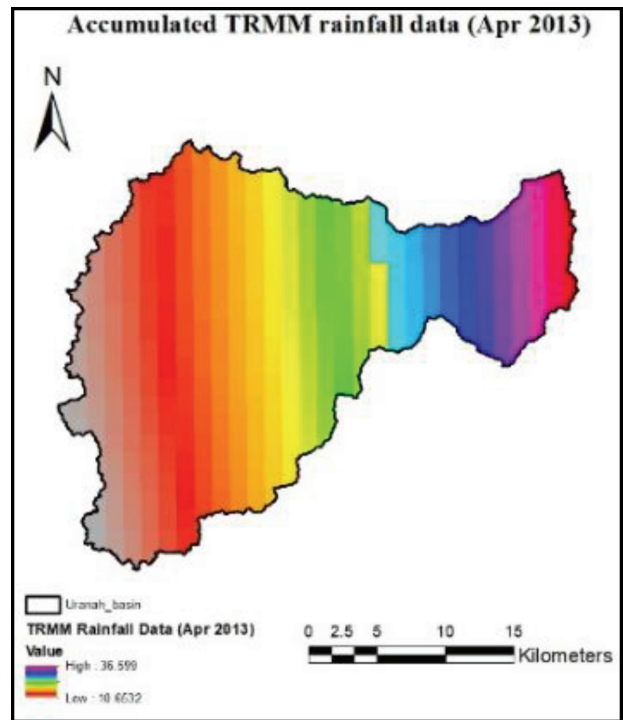
شكل (١٢) البيانات المجمعّة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

٥. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة يناير ٢٠١١: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر يناير من عام ٢٠١١ م، في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٢٥ ملم و ٨, ١٥٠ ملم، وهذه العاصفة يعظم الفرق في المدى بين قيمها العليا والدنيا، ويكون توزيعها المكاني على الحوض على النحو التالي: تتركز القيم العليا في الشمال الشرقي من الحوض، بينما نجد وسط الحوض تمثله القيم الوسطى، أما غربي الحوض فتسيطر عليه القيم الدنيا (شكل: ١١).



شكل (١١) البيانات المجمعّة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

٧. بيانات TRMM الشهرية لعاصفة أبريل ٢٠١٣: ظهر أن كميات الأمطار المستخرجة من بيانات TRMM الشهرية لشهر أبريل من عام ٢٠١٣ م في حوض وادي عرنة الأعلى تتراوح ما بين ٧,١٠ ملم و ٦,٣٦ ملم، وهي عاصفة متوسطة الحجم، ويكون توزيعها المكاني على الحوض على النحو التالي: تتركز قيم الهطول الكبرى في أقصى غرب الحوض، ومن ثم تبدأ قيم الهطول الوسطى في الانتشار في الوسط الغربي من الحوض، وأخيراً، تسيطر القيم الدنيا من الهطول على باقي أجزاء الحوض كما في شكل (١٣).



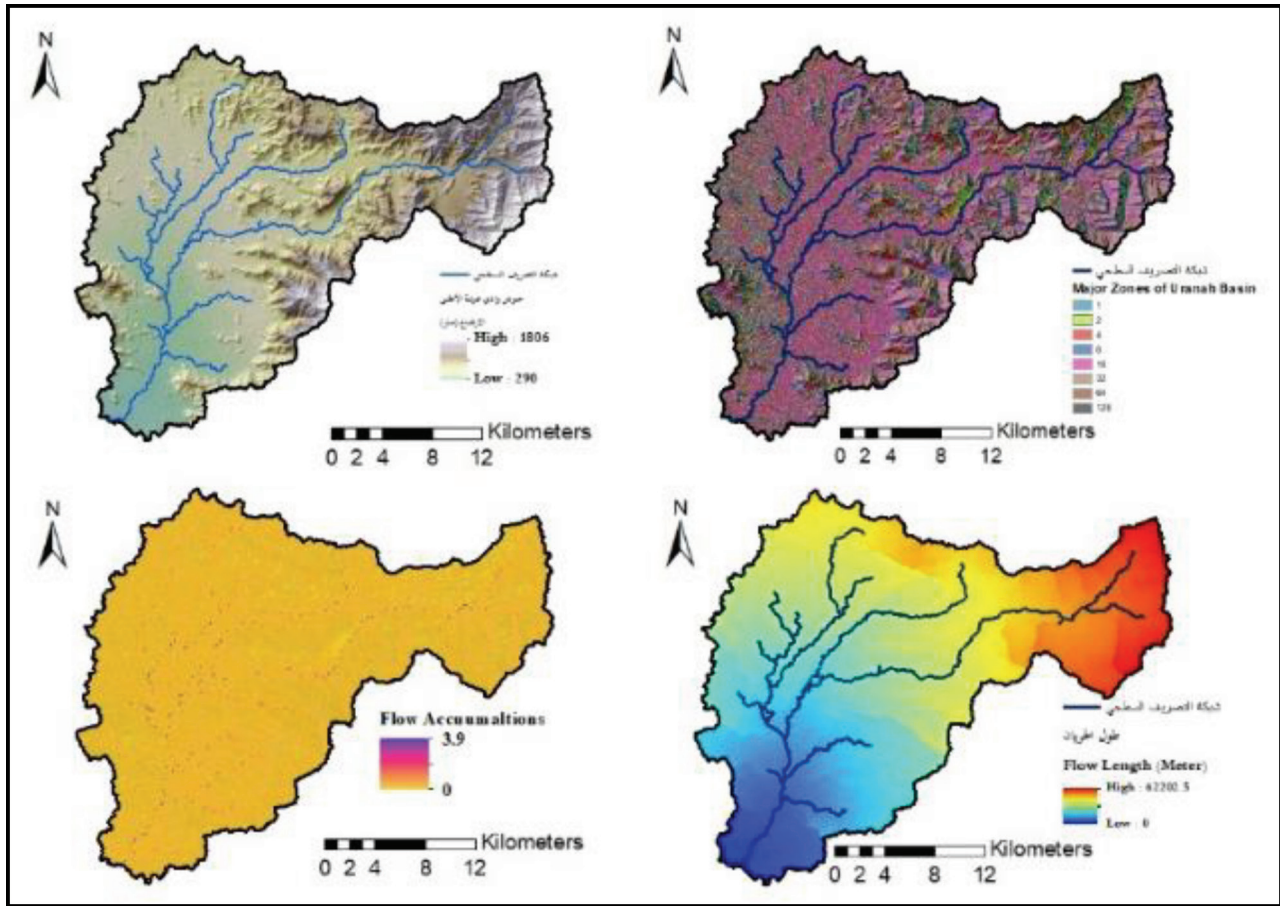
شكل (١٣) البيانات المجمعة الشهرية من مرئية TRMM المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات أمطار مرئية (TRMM)

٦.١: تحليل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي لاستخراج المعاملات الهيدرولوجية (Hydrologic Parameters).

في هذه الدراسة استخدمت بيانات نموذج الارتفاع الرقمي المستخرج من القمر الصناعي (STRM) الراداري، وتصل الدقة المكانية لهذا النموذج ٥,١٢ م (شكل: ١٤)، وقد حسنت خواص هذا النموذج بملء الفراغات التي يمكن أن تمثل خطأ أثناء استخراج المعايير الهيدرولوجية المختلفة من هذا النموذج عن طريق أداة (Fill)، ثم بعد ذلك استخدمت أداة (Flow Direction) لتحديد اتجاه الجريان وهي عبارة عن حساب تقدير أقصى انحدار من خلية ما إلى واحدة من الخلايا الثمانية المحيطة لتحديد اتجاه الجريان (Jenson and Domingue, 1988) ومن ثم إنتاج مخرج شبكي (Raster data) يحتوي على قيم اتجاهات الجريان الثمانية (شكل: ١٤). وبعد ذلك حدد تجمع الجريان السيلي (Flow Accumulation) وهو عبارة عن تجمع كل وحدة خلوية باستخدام قيم اتجاه الجريان المشتقة، للتعرف على عدد وحدات الخلايا التي يتجمع منها الجريان السيلي ليصب في وحدة خلوية ما (Jenson and Domingue, 1988) (شكل: ١٤)، وباستخدام اتجاه الجريان وتجمع الجريان يمكن استخراج منتج شبكي (Raster data) وهو طول الجريان، من خلال أداة (Flow length) وهو عبارة عن المسافة التي يقطعها الجريان من أي نقطة وحدة خلوية (Pixel) حتى يصل لنقطة المصب، وتعتبر آخر وحدة خلوية في حوض التصريف (شكل: ١٤) وكل هذه الأدوات التقنية المستخدمة موجودة تحت (Arc Toolbox Hydrology).

٦.٢ النهضة الهيدرولوجية لحوض وادي عرنة الأعلى:

أهم ما يميز بناء نموذج هيدرولوجي قائم على نظم المعلومات الجغرافية لحوض وادي عرنة الأعلى، هو معرفة التوزيع المكاني لكميات هطول الأمطار الناتجة من العواصف المطيرة، بالإضافة إلى تكامل هذا التوزيع المكاني مع خصائص المعاملات الهيدرولوجية لحوض التصريف وهي: اتجاه الجريان (Flow Direction) وتجمع الجريان (Flow Accumulation) وطول الجريان (Flow Length)، والتي يتم الحصول عليها من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). وفي سبيل تحقيق هذا الهدف استخدمت أدوات نظم المعلومات الجغرافية لإجراء بعض التحليلات المكانية (Spatial

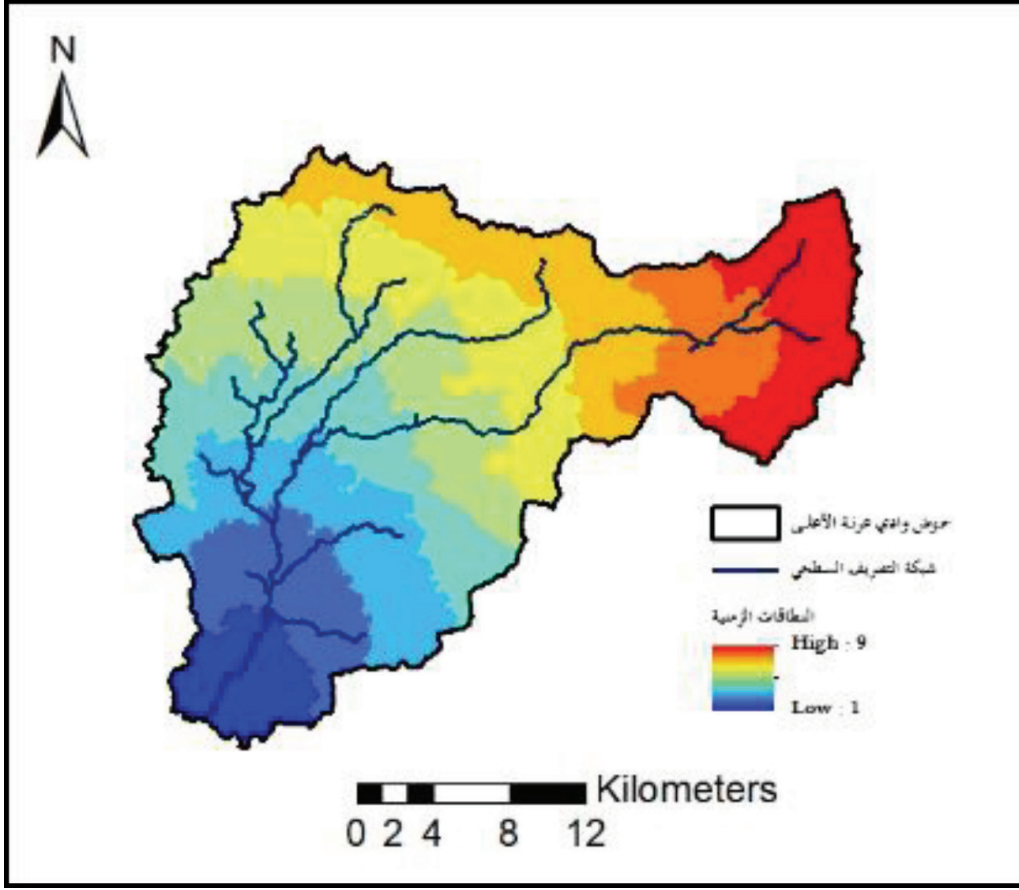


شكل (١٤) نموذج الارتفاع الرقمي والعوامل الهيدرولوجية المستخرجة منه لحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5m

تم حساب سرعة الجريان السيلي (البارودي، ٢٠١٠؛ بسطويسي، ٢٠١٢)، تستخدم هذه النطاقات الزمنية في حساب منحنيات التصريف للعواصف المطيرة في حال معرفة توزيع الأمطار ومعاملات الجريان السطحي لاستخدامات الأراضي والصخور والفتات الصخري المكون لبطن الأودية (Gheith and Sultan, 2002) Foody, et al., 2004. وهذا ما سوف يطبق على العواصف السابقة ذكرها.

وبعد ذلك عمل (Reclass) من خلال أداة (Reclass Raster) لطبقة طول الجريان (Flow Length) لتقسيم حوض التصريف إلى نطاقات زمنية (شكل: ١٥)، كل نطاق زمني يمثل الزمن اللازم لوصول مياه هذا النطاق إلى نقطة المصب، فمثلاً النطاق الأول تصل مياهه لنقطة المصب بعد ساعة من حدوث العاصفة وهكذا بالنسبة للنطاقات الزمنية الأخرى (شكل: ١٥) وبمعرفة مساحة الوحدة الخلوية لطبقة (Time Zones) وهي $12,5 \times 12,5 = 156,25$ م^٢ وعدد الوحدات الخلوية التي يحتويها كل نطاق زمني فمن الممكن حساب المساحة الكلية بالكيلومتر المربع، وبمعرفة سرعة الجريان والتي هي ٢م/ث حسب قياسات دراسات سابقة للحوض، والتي استخدمت طريقة (Manning method)، والتي تعتمد بالأساس على معدل انحدار المجرى، ومساحة المقطع العرضي، والمحيط المبلل للمجرى، وتحديد معامل خشونة القاع من جدول (Manning Roughness Coefficient Values) والذي كان ٠,٠٥٠، وعلى أساسه



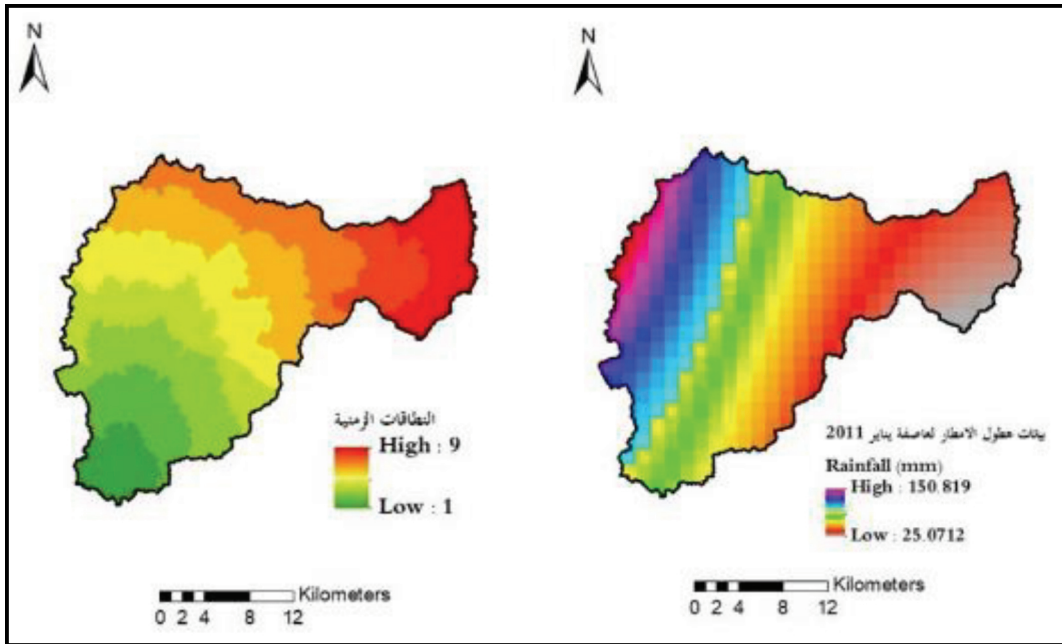
شكل (١٥) النطاقات الزمنية لحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5m

كل وحدة خلوية في النطاق الزمني يقابلها وحدة خلوية من مرثيات TRMM تحتوي على كمية هطول الأمطار المقابلة لها في كل عاصفة. ويوضح شكل (١٦) عاصفة يناير ٢٠١١ وفيه تطابق الوحدات الخلوية بين العاصفة والنطاق الزمني، ومن خلال معرفة مجموع الوحدات الخلوية الواقعة بكل نطاق زمني، ومساحة كل وحدة خلوية وما يقابلها من وحدات خلوية من مرثيات TRMM للعواصف المختارة، فمن الممكن حساب كميات هطول الأمطار الكلية التي سقطت فوق كل نطاق زمني كما هو موضح في شكل (١٧).

٢.٦: تكامل بيانات مرثيات (TRMM) للعواصف المستخدمة مع المعايير الهيدرولوجية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي:

استخدمت بيانات هذه العواصف (عاصفة يناير ٢٠٠٥، عاصفة نوفمبر ٢٠٠٩، عاصفة فبراير ٢٠١٠، عاصفة ديسمبر ٢٠١٠، عاصفة يناير ٢٠١١، عاصفة أكتوبر ٢٠١٢، عاصفة أبريل ٢٠١٣) لتتكامل بياناتها مكانياً مع النطاقات الزمنية المنتجة من المعاملات الهيدرولوجية المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي، وكان لازماً تصحيح مرثيات TRMM للعواصف المختارة هندسياً وتحسين الدقة المكانية لها، مع ضرورة أن تكون المرثيات المنتجة متوافقة من حيث مساحة الوحدات الخلوية مع صور النطاقات الزمنية للعواصف المختارة، وعمل ذلك لكل عاصفة من خلال أداة (Project Raster) وفيها اختيار المسقط المائل لمسقط صور النطاقات الزمنية، وكذلك اختيار حجم الوحدة الخلوية ١٢,٥ م، المائل لصور النطاقات الزمنية، وبذلك تصبح



شكل (١٦) النطاقات الزمنية ومرئية هطول الأمطار لعاصفة يناير ٢٠١١ لحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

كان تقريباً خالياً من استخدامات الأراضي للفترة الحالية، وبعد تطبيق الخطوات السابقة نفسها واعتماداً على مرئيات Quick Bird و Sentinel لعام ٢٠٢٢ حصل تغير كبير في استخدامات الأراضي داخل الحوض مما أدى إلى ارتفاع معامل الجريان إلى ٥٢٪، وجدول (٦) يوضح كيفية حساب معامل الجريان السطحي بحوض وادي عرنة الأعلى قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض.

ومن قيمة الجريان السيلبي يمكن حساب معدل ذروة التصريف حوض وادي عرنة وبناء منحني وحدة التصريف لكل العواصف المختارة، وعرض وشرح كل عاصفة بالتفصيل: **عاصفة يناير ٢٠٠٥**: حدثت تلك العاصفة في شهر يناير ٢٠٠٥، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢٨،٩ ملم إلى ٤٩،١ ملم، وبمتوسط ٣٩ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ١٨) فإنها تركزت في شمالي ووسط حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ٧)، ومن ثم فقد أنتج منحني ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ١٨)، ومن دراسة المنحني نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٢٤٣ م^٣/ث، بعد ست ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلبي ١٠٧٤٩،٩٤٦،٦ م^٣/

٣،٦: خصائص الجريان السيلبي الناتج عن بيانات العواصف الهطيرة المختارة عند الهصب الرئيسي:

في هذا الجزء سوف نستعرض كمية الأمطار الساقطة على كل نطاق زمني لكل عاصفة، وكذلك معرفة حجم الجريان السطحي لكل عاصفة، وأخيراً، تقدير ذروة التصريف لكل نطاق زمني، ومن ثم معرفة أعلى نطاق زمني وصلت له ذروة التصريف في حوض وادي عرنة الأعلى. ولتقدير الجريان السيلبي لكل نطاق زمني فقد استخدم معامل جريان يصل إلى ٤٢٪ من مقدار التساقط الكلي لكل نطاق زمني، وذلك استناداً على الحسابات التي عملت في حوض وادي عرنة الأعلى من خلال الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي للفترة الزمنية ١٩٧٠، المعتمد على مرئيات القمر الصناعي كورونا، ومن خلال معرفة قيم معاملات الجريان السطحي لأنواع الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي العالمية (Tsutsumi, et al., 2004; AED, 2011; Donahue, 2013; Ramachandra, et al., 2014).

وأخذ المتوسط بينهما وضرب معامل الجريان لنوع معين في مساحته في الحوض يعطينا معامل الجريان لهذا النوع وهكذا تستمر العملية لباقي الأنواع، ومن ثم نأخذ إجمالي مساحة الحوض ونقسمه على إجمالي معاملات الجريان لأنواع السطح في الوادي فيعطينا معامل الجريان داخل الحوض، وهذه الفترة الزمنية تعد مثالية بسبب أن حوض الوادي

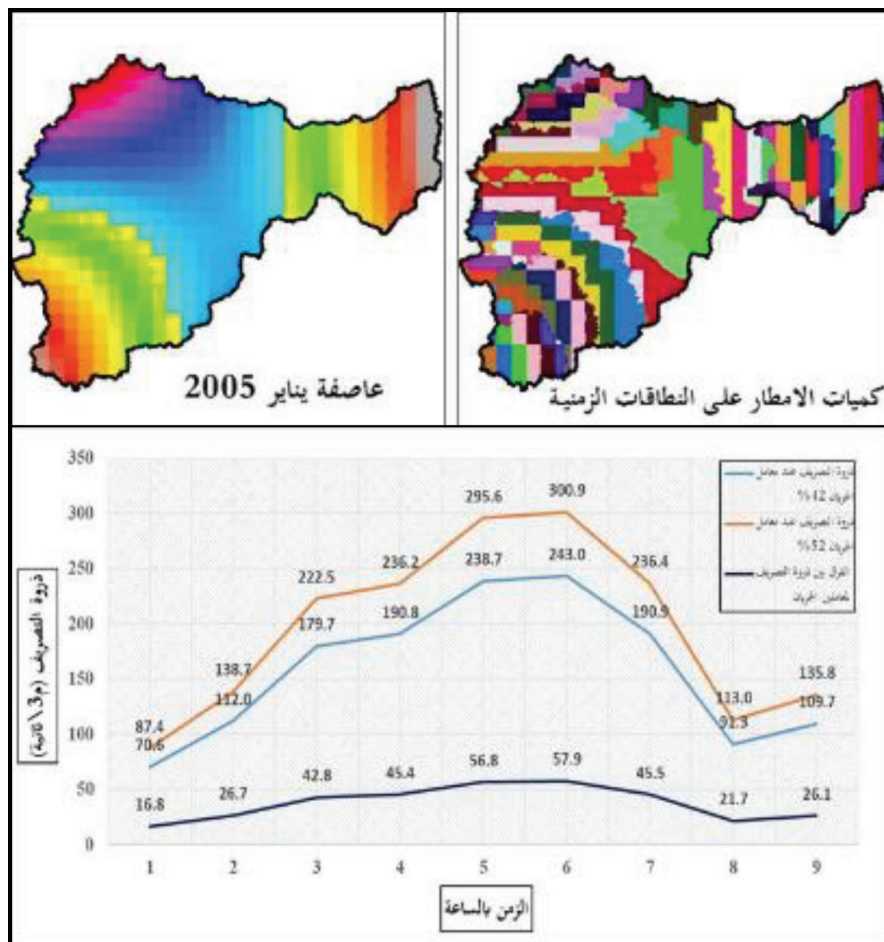
جدول (٦) معام الجريان لأنواع الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي لحوض وادي عرنة الأعلى قبل وبعد التوسع العمراني

معام الجريان للوضع الحالي	معام الجريان للوضع المبدئي	CiAi - Current	CiAi- Initial	مساحة النوع - الوضع الحالي 2022	مساحة النوع - المبدئي 1970	معام الجريان للنوع	نوع الغطاء الأرضي / استخدامات الأراضي
		٢٢٦,٨٦	٢٤٠,٠٦	٣٧٨,١٠	٤٠٠,١٠	٠,٦٠	منطقة جبال
		١٥,٧٠	٢٢,٦٥	١٥٧,٠٠	٢٢٦,٥٠	٠,١٠	الرواسب الفيضية
		٦٥,٩٣	٢,٦٦	٦٩,٤٠	٢,٨٠	٠,٩٥	المناطق السكنية (متوسطة إلى منخفضة الكثافة)
		١٣,٣٠	٠,٠٠	١٤,٠٠	٠,٠٠	٠,٩٥	شبكة الطرق
		٥,٤٥	٠,٠٠	١٠,٩٠	٠,٠٠	٠,٥٠	الأراضي الزراعية
٠,٥٢	٠,٤٢	٣٢٧,٢٤	٢٦٥,٣٧	٦٢٩,٤٠	٦٢٩,٤٠		الإجمالي

المصدر: بيانات مرئية كورونا لعام ١٩٧٠، ومرئيات Quick Bird و Sentinel لعام ٢٠٢٢

تأثير العمران بلغ ٥٧,٩ م/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٢,٤٤٦,٠١٨ م/٣ ساعة.

وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٣٠٠,٩ م/٣ ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٢,١٦٦,٦٠٠ م/٣ ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن



شكل (١٨) منحنى التصريف لعاصفة يناير ٢٠٠٥ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM لعاصفة يناير ٢٠٠٥

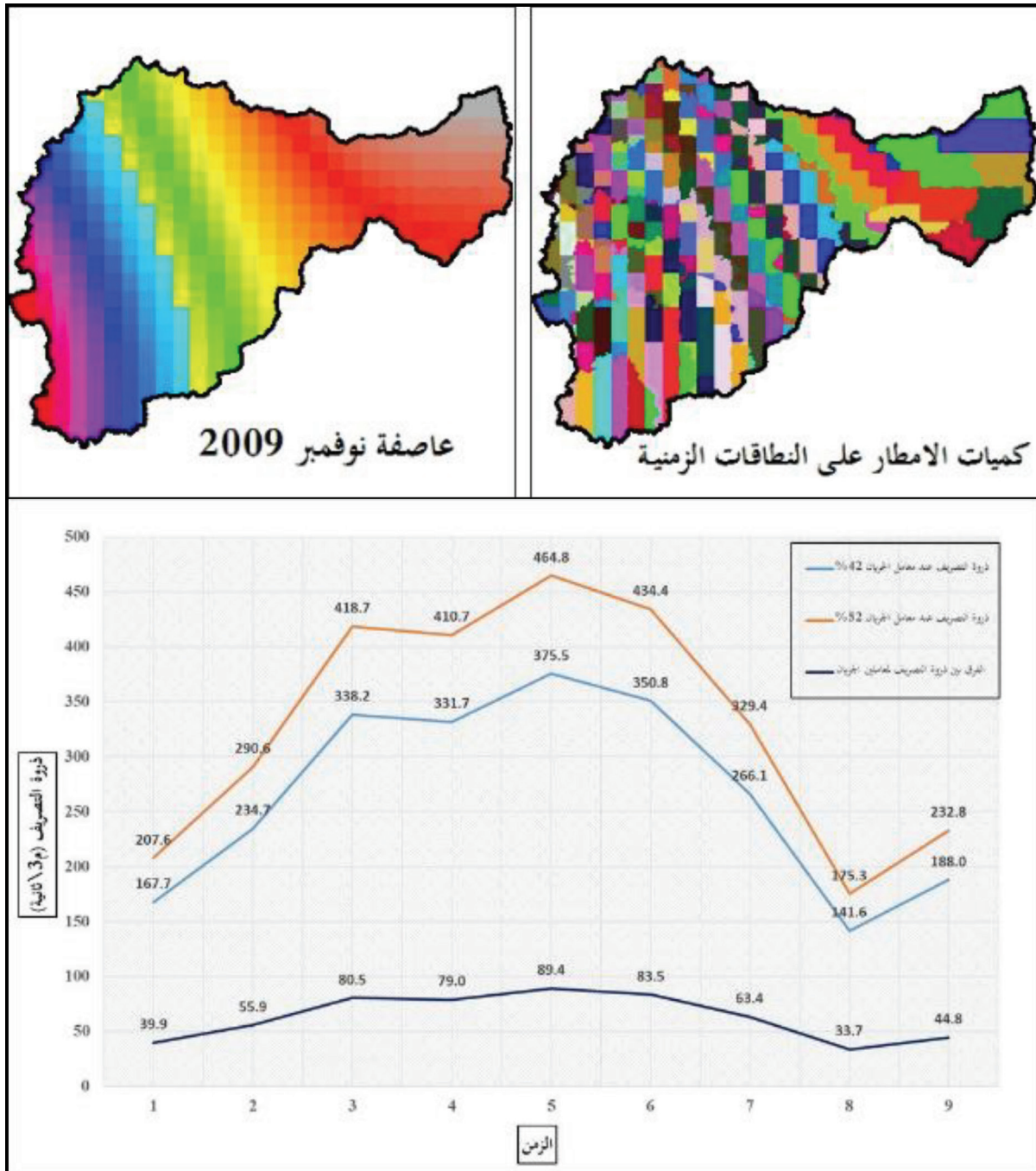
جدول (٧) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة يناير ٢٠٠٥

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
١٦,٨	١٢١,٠٠٥,١	٧٠,٦	٥٠٨,٢٢١,٤	٨٧,٤	٦٢٩,٢٢٦,٥	١,٢١٠,٠٥١,٠	٣٦,٩	١
٢٦,٧	١٩٢,٠٤٤,٩	١١٢,٠	٨٠٦,٥٨٨,٤	١٣٨,٧	٩٩٨,٦٣٣,٣	١,٩٢٠,٤٤٨,٦	٥٣,٦	٢
٤٢,٨	٣٠٨,٠٧٦,٤	١٧٩,٧	١,٢٩٣,٩٢٠,٧	٢٢٢,٥	١,٦٠١,٩٩٧,١	٣,٠٨٠,٧٦٣,٦	٨٠,٣	٣
٤٥,٤	٣٢٧,١٠٩,٢	١٩٠,٨	١,٣٧٣,٨٥٨,٥	٢٣٦,٢	١,٧٠٠,٩٦٧,٦	٣,٢٧١,٠٩١,٦	٨٠,٩	٤
٥٦,٨	٤٠٩,٢٨٤,٦	٢٣٨,٧	١,٧١٨,٩٩٥,٤	٢٩٥,٦	٢,١٢٨,٢٨٠,٠	٤,٠٩٢,٨٤٦,١	٩٦,٥	٥
٥٧,٩	٤١٦,٦٥٤,٠	٢٤٣,٠	١,٧٤٩,٩٤٦,٦	٣٠٠,٩	٢,١٦٦,٦٠٠,٦	٤,١٦٦,٥٣٩,٥	٩٦,٨	٦
٤٥,٥	٣٢٧,٢٩٦,٤	١٩٠,٩	١,٣٧٤,٦٤٥,٠	٢٣٦,٤	١,٧٠١,٩٤١,٤	٣,٢٧٢,٩٦٤,٢	٧٨,٨	٧
٢١,٧	١٥٦,٥٠٨,١	٩١,٣	٦٥٧,٣٣٤,٠	١١٣,٠	٨١٣,٨٤٢,١	١,٥٦٥,٠٨٠,٩	٤٤,٣	٨
٢٦,١	١٨٨,٠٣٩,٤	١٠٩,٧	٧٨٩,٧٦٥,٦	١٣٥,٨	٩٧٧,٨٠٥,٠	١,٨٨٠,٣٩٤,٢	٥٩,٧	٩
	٢,٤٤٦,٠١٨,٠		١٠,٢٧٣,٢٧٥,٥		١٢,٧١٩,٢٩٣,٤	٢٤,٤٦٠,١٧٩,٧	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٢٤٣,٠		٣٠٠,٩				ذروة التصريف

المصدر: بيانات هطول الأمطار من مرئيات (TRMM) لعاصفة يناير ٢٠٠٥

التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٢,٢٤٦,٨٨٣,٨ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٨,٨٨٣,٢٤٦,٨ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ٨٩,٤ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٩,٩٠٤,٥٩٠ م^٣/ساعة.

٢. عاصفة نوفمبر ٢٠٠٩: حدثت تلك العاصفة في شهر نوفمبر ٢٠٠٩، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٥٢,٥ ملم إلى ٨٢,٤ ملم، وبمتوسط ٦٨ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ١٩) فإنها تركزت في شرقي وجزء من وسط حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ٨)، ومن ثم فقد أنتج منحني ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ١٩)، ومن دراسة المنحني نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٥,٣٧٥ م^٣/ث، بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٣,٢٥٢,٧٠٣,٢٥٢ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة



شكل (١٩) منحنى التصريف لعاصفة نوفمبر ٢٠٠٩ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM

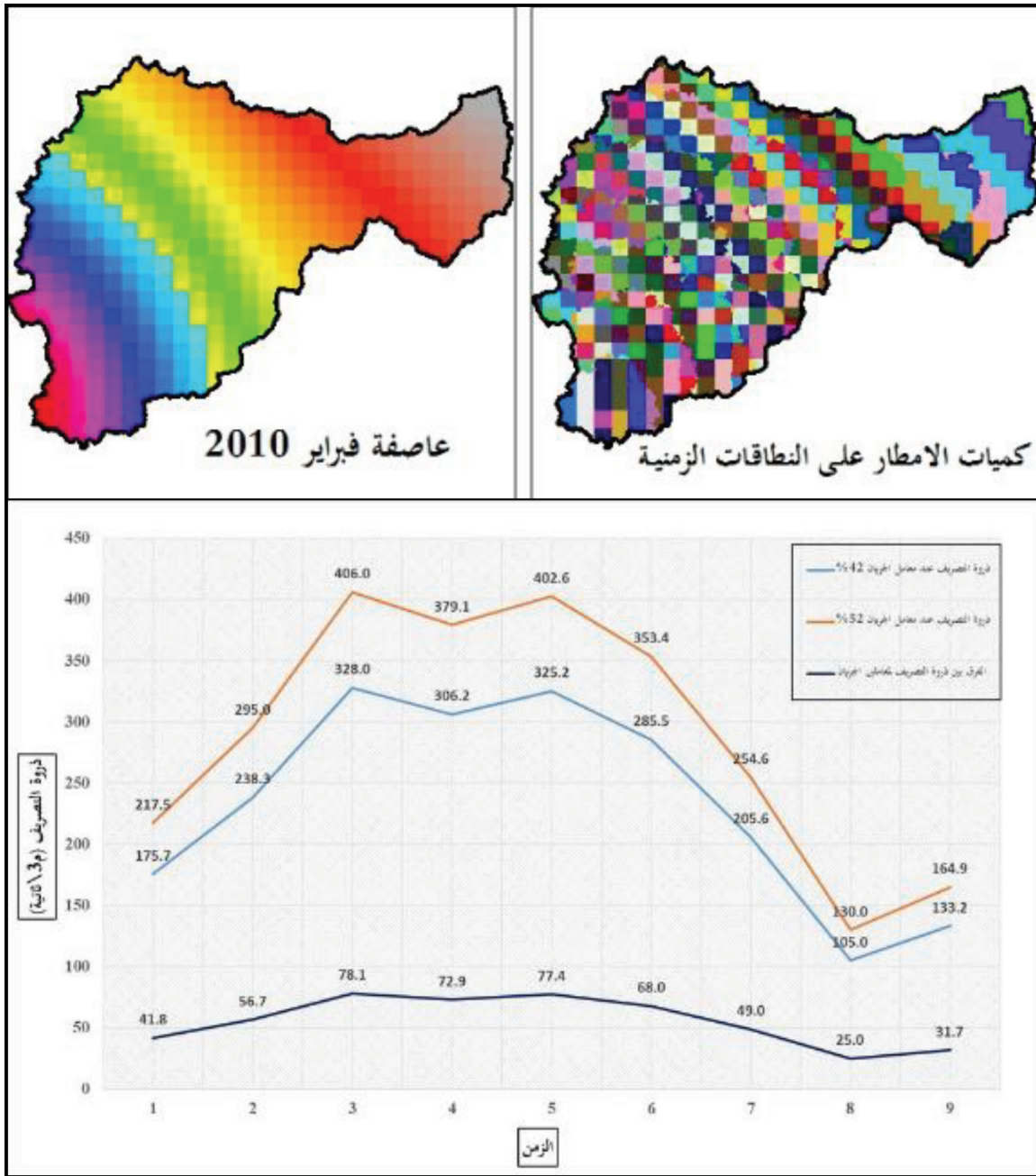
جدول (٨) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة نوفمبر ٢٠٠٩

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٣٩,٩	٢٨٧,٥١٤,٧	١٦٧,٧	١.٢٠٧.٥٦١,٦	٢٠٧,٦	١.٤٩٥.٠٧٦,٣	٢.٨٧٥.١٤٦,٧	٣٦,٩	١
٥٥,٩	٤٠٢.٤٢١,٤	٢٣٤,٧	١.٦٩٠.١٦٩,٧	٢٩٠,٦	٢.٠٩٢.٥٩١,١	٤.٠٢٤.٢١٣,٦	٥٣,٦	٢
٨٠,٥	٥٧٩.٧٨٥,٦	٣٣٨,٢	٢.٤٣٥.٠٩٩,٤	٤١٨,٧	٢.٠١٤.٨٨٤,٩	٥.٧٩٧.٨٥٥,٦	٨٠,٣	٣
٧٩,٠	٥٦٨.٥٩٣,١	٣٣١,٧	٢.٣٨٨.٠٩١,١	٤١٠,٧	٢.٩٥٦.٦٨٤,٢	٥.٦٨٥.٩٣١,١	٨٠,٩	٤
٨٩,٤	٦٤٣.٦٣١,٥	٣٧٥,٥	٢.٧٠٣.٢٥٢,٣	٤٦٤,٨	٢.٣٤٦.٨٨٣,٨	٦.٤٣٦.٣١٥,٠	٩٦,٥	٥
٨٣,٥	٦٠١.٤٥٠,٥	٣٥٠,٨	٢.٥٢٦.٠٩٢,٠	٤٣٤,٤	٢.١٢٧.٥٤٢,٥	٦.٠١٤.٥٠٤,٨	٩٦,٨	٦
٦٣,٤	٤٥٦.١٢٥,٦	٢٦٦,١	١.٩١٥.٧٢٧,٧	٣٢٩,٤	٢.٣٧١.٨٥٣,٣	٤.٥٦١.٢٥٦,٤	٧٨,٨	٧
٣٣,٧	٢٤٢.٧٦٩,٠	١٤١,٦	١.٠١٩.٦٢٩,٨	١٧٥,٣	١.٢٦٢.٣٩٨,٨	٢.٤٢٧.٦٩٠,٠	٤٤,٣	٨
٤٤,٨	٣٢٢.٢٩٩,٦	١٨٨,٠	١.٣٥٢.٦٥٨,٢	٢٣٢,٨	١.٦٧٥.٩٥٧,٨	٣.٢٢٢.٩٩٥,٨	٥٩,٧	٩
	٤.١٠٤.٥٩٠,٩		١٧.٢٣٩.٢٨١,٨		٢١.٢٤٣.٨٧٢,٧	٤١.٠٤٥.٩٠٩,٠	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٣٧٥,٥		٤٦٤,٨				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM

بإجمالي كمية جريان سيلي ٤,٤٦٤,٤٦٤,٩٢٢ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ١,٧٨ م/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني قد بلغ ٩,٤٠٣,٤٠٤,٦٠٤ م^٣/ساعة.

٣. عاصفة فبراير ٢٠١٠: حدثت تلك العاصفة في شهر فبراير ٢٠١٠، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٣,٢ ملم إلى ٧,٨٧ ملم، وبمتوسط ٦٢ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٠) فإنها تركزت في جنوب شرق وشرق حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ٩)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٠)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٣٢٨ م^٣/ث، بعد ثلاث ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٧,٢٥٩,٣٦١,٢٥٩ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٤٠٦ م^٣/ث،



شكل (٢٠) منحنى التصريف لعاصفة فبراير ٢٠١٠ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

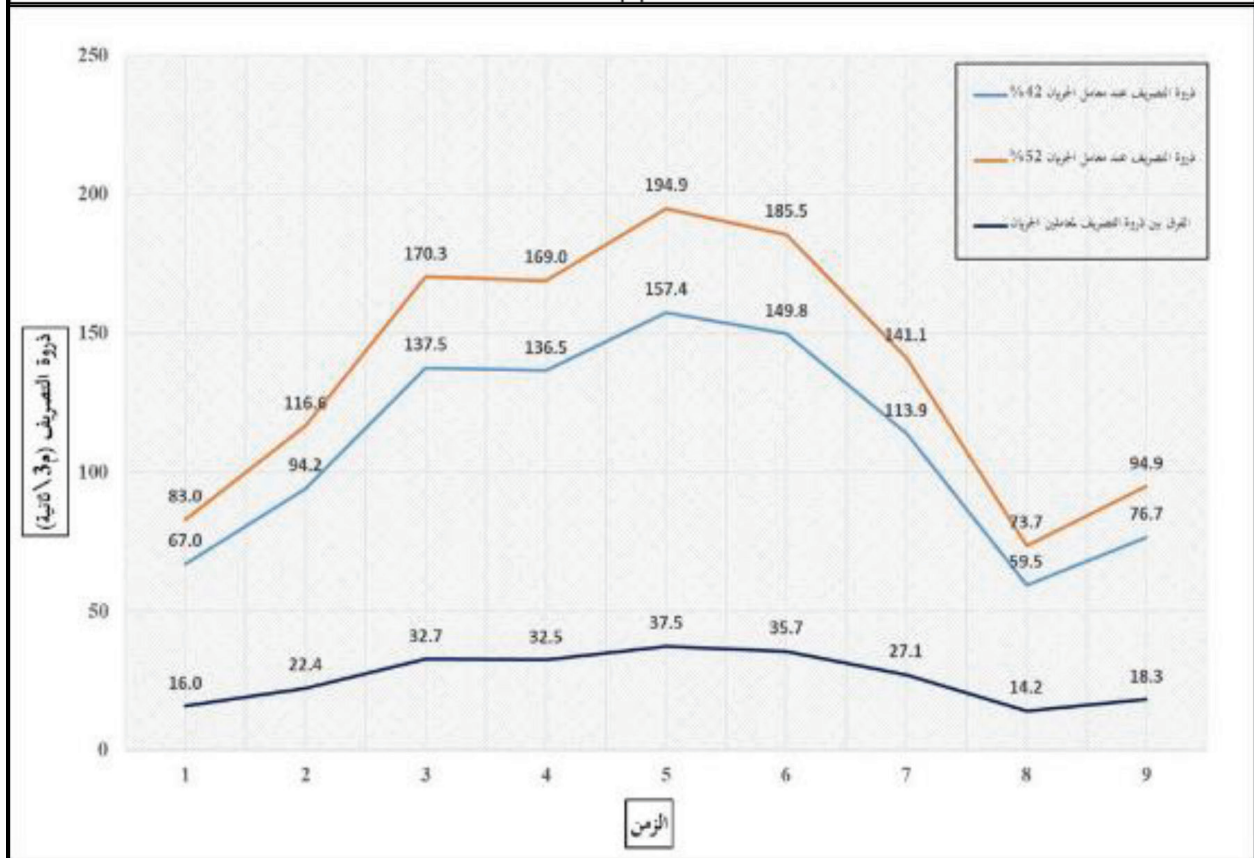
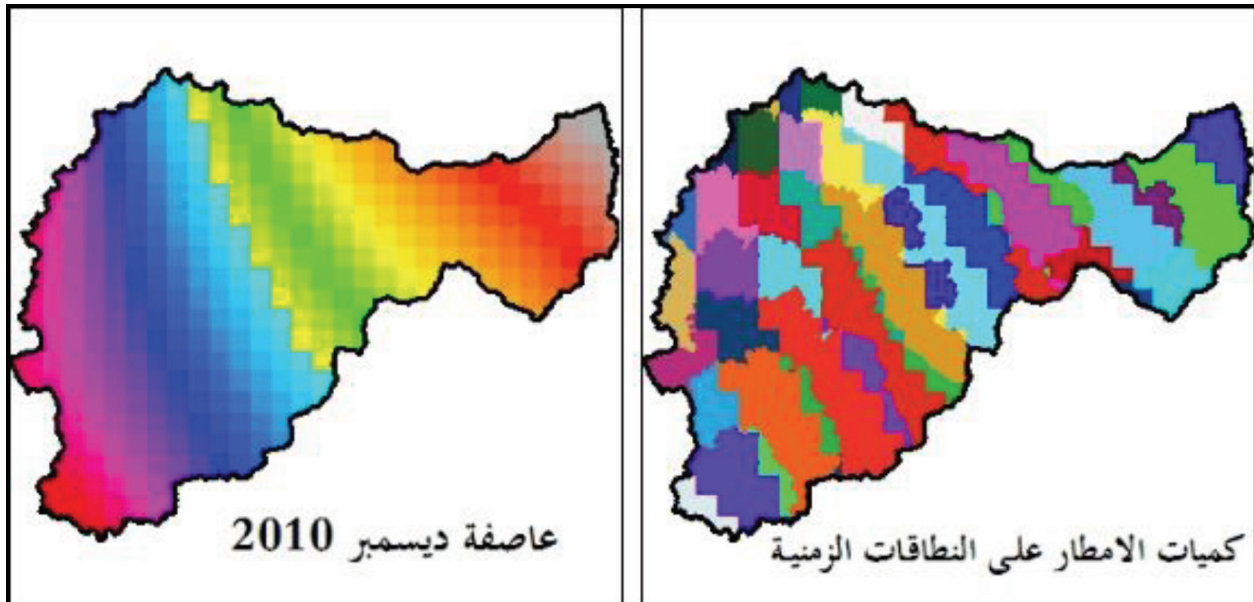
جدول (٩) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة فبراير ٢٠١٠

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٤١,٨	٣٠١,١٩١,٤	١٧٥,٧	١.٢٦٥.٠٠٤,٠	٢١٧,٥	١.٥٦٦.١٩٥,٥	٣.٠١١.٩١٤,٤	٣٦,٩	١
٥٦,٧	٤٠٨.٤٤٥,٣	٢٢٨,٣	١.٧١٥.٤٧٠,٤	٢٩٥,٠	٢.١٢٣.٩١٥,٧	٤.٠٨٤.٤٥٣,٣	٥٣,٦	٢
٧٨,١	٥٦٢.٢٠٤,٧	٣٢٨,٠	٢.٣٦١.٢٥٩,٧	٤٠٦,٠	٢.٩٢٣.٤٦٤,٤	٥.٦٢٢.٠٤٦,٩	٨٠,٣	٣
٧٢,٩	٥٢٤.٩٢٠,٠	٣٠٦,٢	٢.٢٠٤.٦٦٤,١	٣٧٩,١	٢.٧٢٩.٥٨٤,٢	٥.٢٤٩.٢٠٠,٣	٨٠,٩	٤
٧٧,٤	٥٥٧.٤٤٧,٤	٣٢٥,٢	٢.٣٤١.٢٧٨,٩	٤٠٢,٦	٢.٨٩٨.٧٢٦,٣	٥.٥٧٤.٤٧٣,٦	٩٦,٥	٥
٦٨,٠	٤٨٩.٣٥٠,٢	٢٨٥,٥	٢.٠٥٥.٢٧٠,٨	٣٥٣,٤	٢.٥٤٤.٦٢١,٠	٤.٨٩٣.٥٠١,٩	٩٦,٨	٦
٤٩,٠	٣٥٢.٥٢٣,٣	٢٠٥,٦	١.٤٨٠.٥٩٧,٧	٢٥٤,٦	١.٨٣٣.١٢١,٠	٣.٥٢٥.٢٣٢,٧	٧٨,٨	٧
٢٥,٠	١٧٩.٩٩٨,٨	١٠٥,٠	٧٥٥.٩٩٤,٨	١٣٠,٠	٩٣٥.٩٩٣,٦	١.٧٩٩.٩٨٧,٧	٤٤,٣	٨
٣١,٧	٢٢٨.٢٢٢,٨	١٣٣,٢	٩٥٨.٩٥٥,٨	١٦٤,٩	١.١٨٧.٢٧٨,٦	٢.٢٨٣.٢٢٨,١	٥٩,٧	٩
	٣.٦٠٤.٤٠٣,٩		١٥.١٢٨.٤٩٦,٣		١٨.٧٤٢.٩٠٠,١	٣٦.٠٤٤.٠٣٨,٧	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٣٢٨,٠		٤٠٦,٠				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

١,٤٠٣,٤٧٤,٣ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ١٩٤,٩ م^٣/ث، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ٣٧,٥ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني قد بلغ ١,٧٠١,٦٧٦,٥ م^٣/ساعة.

٤. عاصفة ديسمبر ٢٠١٠: حدثت تلك العاصفة في شهر ديسمبر ٢٠١٠، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢١,٢ ملم إلى ٢٢,٧ ملم، وبمتوسط ٢٧ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢١) فإنها تركزت في شرقي ووسط حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٠)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدروجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢١)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٤,٤ م^٣/ث، بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٤,٤ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني



شكل (٢١) منحنى التصريف لعاصفة ديسمبر ٢٠١٠ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

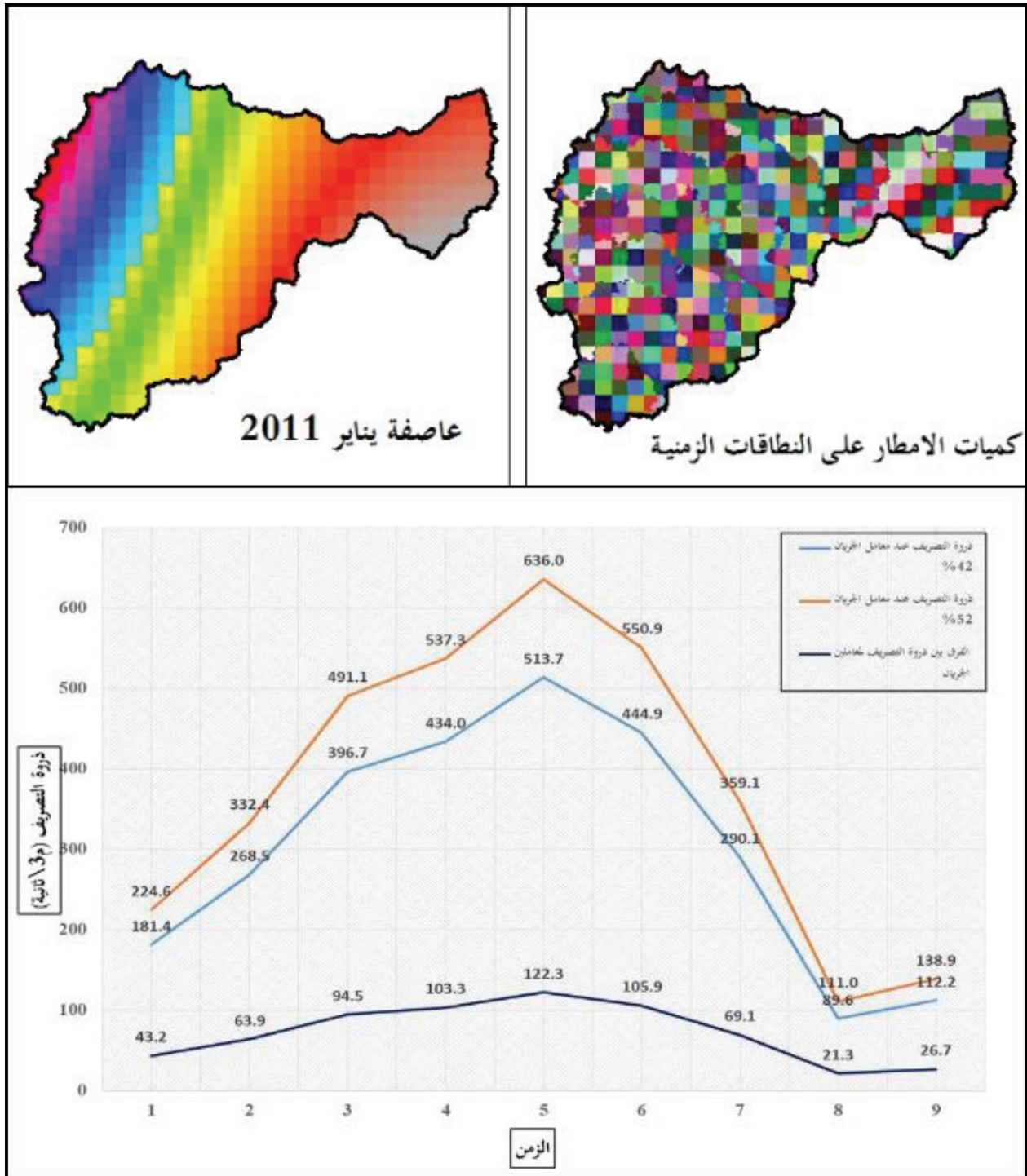
جدول (١٠) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة ديسمبر ٢٠١٠

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
١٦,٠	١١٤,٩٢٣,١	٦٧,٠	٤٨٢,٦٧٧,٢	٨٣,٠	٥٩٧,٦٠٠,٣	١,١٤٩,٢٣١,٤	٣٦,٩	١
٢٢,٤	١٦١,٤٨٠,٦	٩٤,٢	٦٧٨,٢١٨,٤	١١٦,٦	٨٣٩,٦٩٨,٩	١,٦١٤,٨٠٥,٦	٥٣,٦	٢
٣٢,٧	٢٣٥,٧٥٧,٨	١٣٧,٥	٩٩٠,١٨٢,٩	١٧٠,٣	١,٢٢٥,٩٤٠,٨	٢,٣٥٧,٥٧٨,٤	٨٠,٣	٣
٣٢,٥	٢٣٤,٠٠٨,٤	١٣٦,٥	٩٨٢,٨٣٥,٤	١٦٩,٠	١,٢١٦,٨٤٣,٨	٢,٣٤٠,٠٨٤,٢	٨٠,٩	٤
٣٧,٥	٢٦٩,٨٩٨,٩	١٥٧,٤	١,١٣٣,٥٧٥,٤	١٩٤,٩	١,٤٠٣,٤٧٤,٣	٢,٦٩٨,٩٨٩,١	٩٦,٥	٥
٣٥,٧	٢٥٦,٨٥٨,٥	١٤٩,٨	١,٠٧٨,٨٠٥,٧	١٨٥,٥	١,٣٣٥,٦٦٤,٢	٢,٥٦٨,٥٨٥,٠	٩٦,٨	٦
٢٧,١	١٩٥,٣٢١,٥	١١٣,٩	٨٢٠,٣٥٠,٥	١٤١,١	١,٠١٥,٦٧٢,٠	١,٩٥٣,٢١٥,٥	٧٨,٨	٧
١٤,٢	١٠١,٩٨٥,٨	٥٩,٥	٤٢٨,٣٤٠,٥	٧٣,٧	٥٣٠,٣٢٦,٣	١,٠١٩,٨٥٨,٣	٤٤,٣	٨
١٨,٣	١٣١,٤٤١,٨	٧٦,٧	٥٥٢,٠٥٥,٥	٩٤,٩	٦٨٣,٤٩٧,٣	١,٣١٤,٤١٧,٨	٥٩,٧	٩
	١,٧٠١,٦٧٦,٥		٧,١٤٧,٠٤١,٤		٨,٨٤٨,٧١٧,٩	١٧,٠١٦,٧٦٥,٣	٦٢٧,٨	الإجمالي
		١٥٧,٤		١٩٤,٩				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

بإجمالي كمية جريان سيلي ٤,٥٧٩,٥٠٨,٨ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ١٢٢,٣ م/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني قد بلغ ٤,٦٨١,٨١٣,٥ م^٣/ساعة.

٥. عاصفة يناير ٢٠١١: حدثت تلك العاصفة في شهر يناير ٢٠١١، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢٥ ملم إلى ١٥٠ ملم، وبمتوسط ٨٧,٥ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٢) فإنها تركزت في شمال شرقي حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١١)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٢)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٥١٣,٧ م^٣/ث، بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٣,٦٩٨,٨٣٤ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٦٣٦ م^٣/ث،



شكل (٢٢) منحنى التصريف لعاصفة يناير ٢٠١١ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

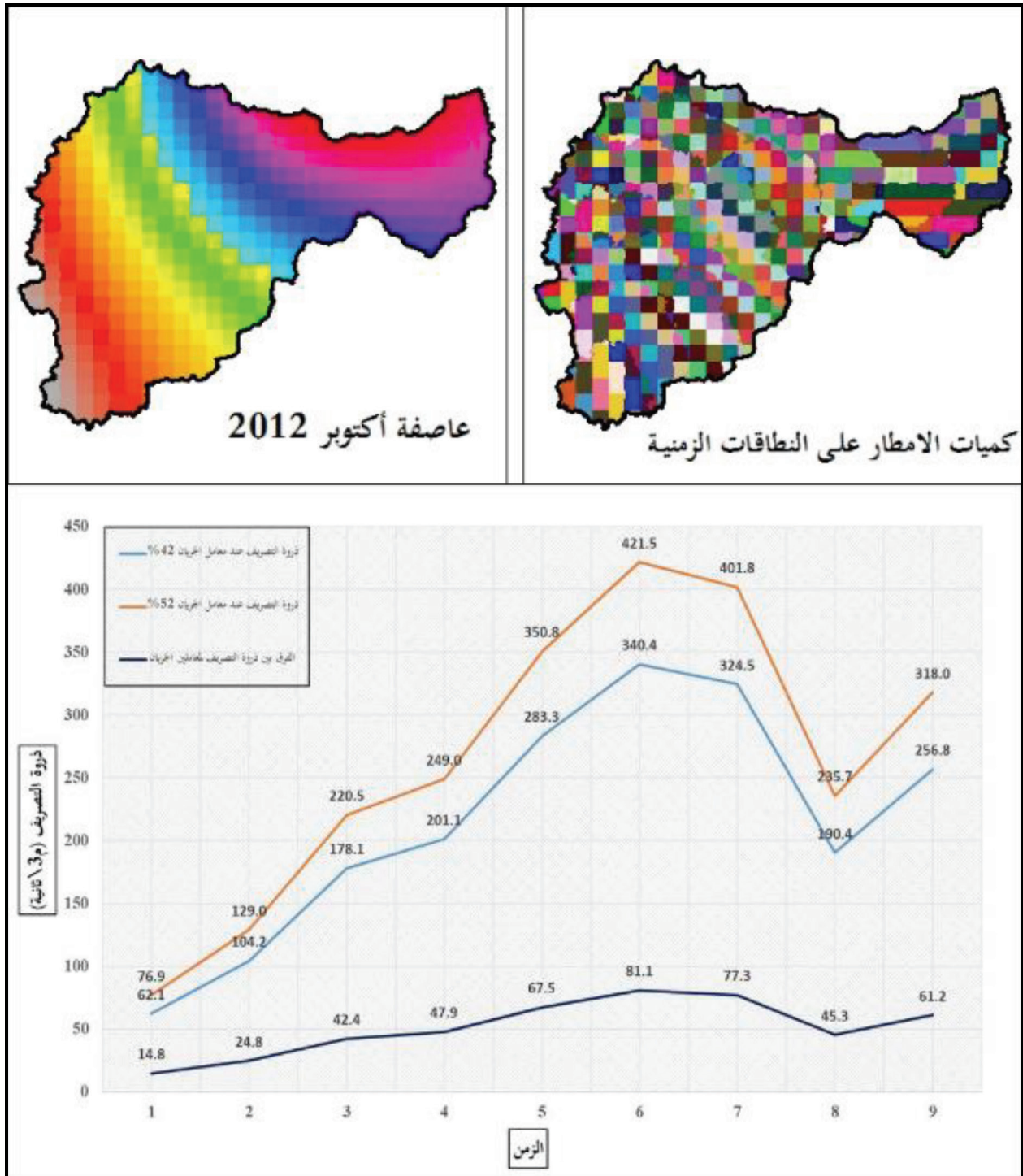
جدول (١١) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة يناير ٢٠١١

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٤٣,٢	٣١٠,٩٧٧,٠	١٨١,٤	١.٣٠٦.١٠٣,٢	٢٢٤,٦	١.٦١٧.٠٨٠,٢	٣.١٠٩.٧٦٩,٧	٣٦,٩	١
٦٣,٩	٤٦٠,٢٢٥,٢	٢٦٨,٥	١.٩٣٢.٩٤٦,١	٣٣٢,٤	٢.٣٩٣.١٧١,٢	٤.٦٠٢.٢٥٢,٥	٥٣,٦	٢
٩٤,٥	٦٨٠,٠٤٨,٧	٣٩٦,٧	٢.٨٥٦.٢٠٤,٤	٤٩١,١	٢.٥٣٦.٢٥٣,٠	٦.٨٠٠.٤٨٦,٦	٨٠,٣	٣
١٠٣,٣	٧٤٣.٩٣٥,٥	٤٣٤,٠	٢.١٢٤.٥٢٩,٢	٥٣٧,٣	٢.٨٦٨.٤٦٤,٨	٧.٤٣٩.٣٥٥,٣	٨٠,٩	٤
١٢٢,٣	٨٨٠.٦٧٤,٨	٥١٣,٧	٢.٦٩٨.٨٣٤,٠	٦٣٦,٠	٤.٥٧٩.٥٠٨,٨	٨.٨٠٦.٧٤٧,٧	٩٦,٥	٥
١٠٥,٩	٧٦٢.٧٥٥,٥	٤٤٤,٩	٢.٢٠٣.٥٧٣,٠	٥٥٠,٩	٢.٩٦٦.٣٢٨,٥	٧.٦٢٧.٥٥٤,٨	٩٦,٨	٦
٦٩,١	٤٩٧.٢٧٨,٩	٢٩٠,١	٢.٠٨٨.٥٧١,٥	٣٥٩,١	٢.٥٨٥.٨٥٠,٥	٤.٩٧٢.٧٨٩,٤	٧٨,٨	٧
٢١,٣	١٥٢.٦٢٤,٣	٨٩,٦	٦٤٥.٢٢٢,١	١١١,٠	٧٩٨.٨٤٦,٤	١.٥٣٦.٢٤٣,١	٤٤,٣	٨
٢٦,٧	١٩٢.٢٩٣,٦	١١٢,٢	٨٠٧.٦٣٣,٢	١٣٨,٩	٩٩٩.٩٢٦,٩	١.٩٢٢.٩٢٦,٣	٥٩,٧	٩
	٤.٦٨١.٨١٢,٥		١٩.٦٦٣.٦١٦,٨		٢٤.٣٤٥.٤٣٠,٢	٤٦.٨١٨.١٣٥,٣	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٥١٣,٧		٦٣٦,٠				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

٣,٠٢٤,٦٠٥ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٣,٠٢٤,٦٠٥ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران قد بلغ ١,٨١ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني قد بلغ ٣,٢٢٧,٤١٢,٩ م^٣/ساعة.

٦. عاصفة أكتوبر : حدثت تلك العاصفة في شهر أكتوبر ٢٠١٢، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢٤ ملم إلى ٨١,٢ ملم، وبمتوسط ٥٢,٧ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٣) فإنها تركزت في غربي وشمال غربي حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٢)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٣)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٣٤٠,٤ م^٣/ث، بعد ست ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٢,٤٥١,٠٢٧,١ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني



شكل (٢٣) منحنى التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٢ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

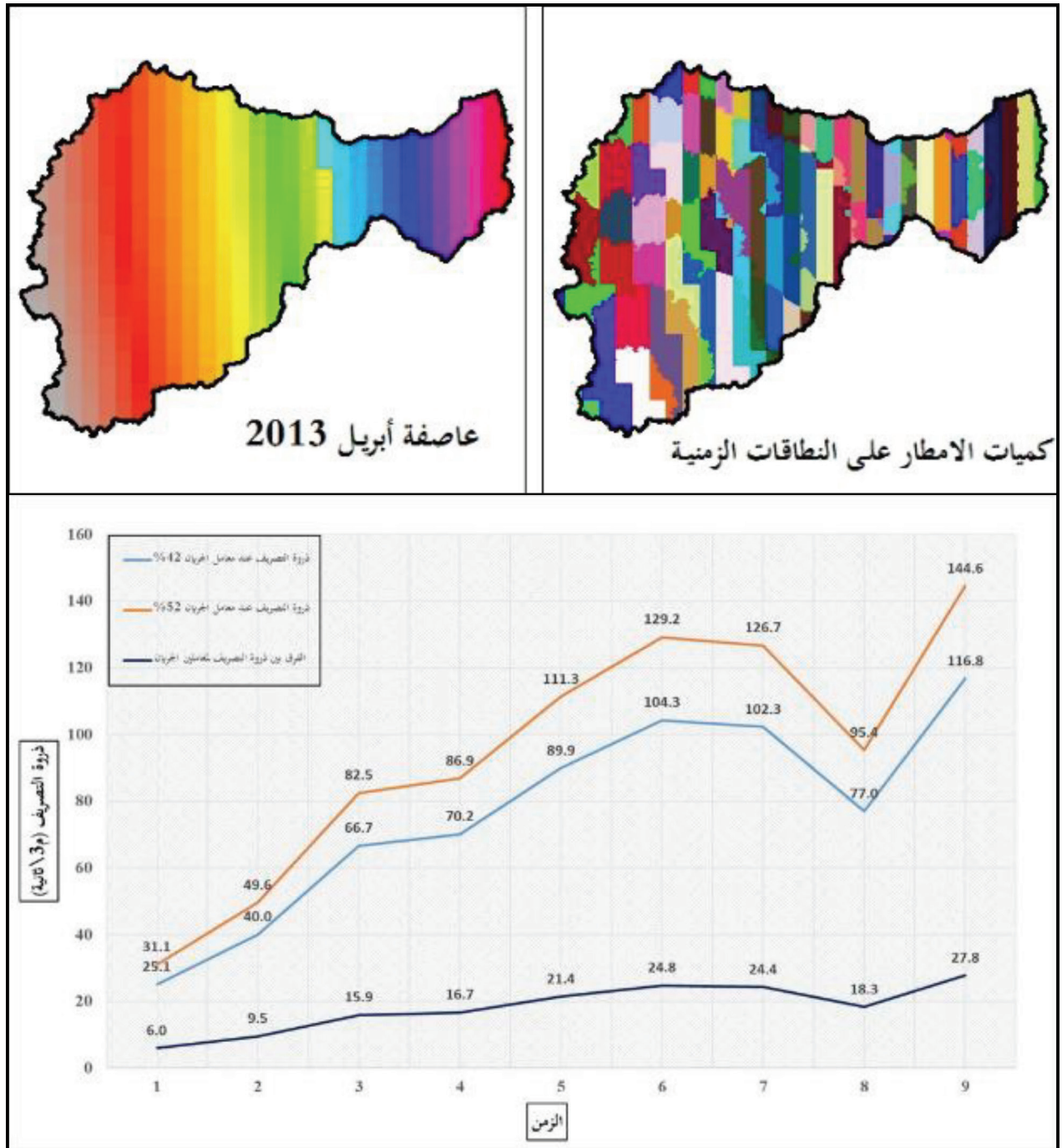
جدول (١٢) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٢

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
١٤,٨	١٠٦.٤٩٩,٩	٦٢,١	٤٤٧.٢٩٩,٥	٧٦,٩	٥٥٣.٧٩٩,٤	١.٠٦٤.٩٩٨,٩	٣٦,٩	١
٢٤,٨	١٧٨.٥٧٣,٧	١٠٤,٢	٧٥٠.٠٠٩,٦	١٢٩,٠	٩٢٨.٥٨٣,٣	١.٧٨٥.٧٣٧,٢	٥٣,٦	٢
٤٢,٤	٣٠٥.٣٣٧,٦	١٧٨,١	١.٢٨٢.٤١٧,٨	٢٢٠,٥	١.٥٨٧.٧٥٥,٤	٣.٠٥٣.٣٧٥,٨	٨٠,٣	٣
٤٧,٩	٣٤٤.٧٣٨,٨	٢٠١,١	١.٤٤٧.٩٠٣,١	٢٤٩,٠	١.٧٩٢.٦٤٢,٠	٣.٤٤٧.٣٨٨,٤	٨٠,٩	٤
٦٧,٥	٤٨٥.٦٦٧,٠	٢٨٣,٣	٢.٠٣٩.٨٠١,٤	٣٥٠,٨	٢.٥٢٥.٤٦٨,٤	٤.٨٥٦.٦٧٠,٠	٩٦,٥	٥
٨١,١	٥٨٣.٥٧٧,٩	٣٤٠,٤	٢.٤٥١.٠٣٧,١	٤٢١,٥	٣.٠٣٤.٦٠٥,٠	٥.٨٣٥.٧٧٨,٨	٩٦,٨	٦
٧٧,٣	٥٥٦.٣٣٢,١	٣٢٤,٥	٢.٣٣٦.٥٩٤,٧	٤٠١,٨	٢.٨٩٢.٩٢٦,٧	٥.٥٦٢.٣٢٠,٦	٧٨,٨	٧
٤٥,٣	٣٢٦.٣٧٢,٥	١٩٠,٤	١.٣٧٠.٧٦٤,٣	٢٣٥,٧	١.٦٩٧.١٣٦,٨	٣.٢٦٢.٧٢٤,٥	٤٤,٣	٨
٦١,٢	٤٤٠.٣١٣,٥	٢٥٦,٨	١.٨٤٩.٣١٦,٨	٣١٨,٠	٢.٢٨٩.٦٣٠,٣	٤.٤٠٣.١٣٥,٢	٥٩,٧	٩
	٣.٣٢٧.٤١٢,٩		١٣.٩٧٥.١٣٤,٣		١٧.٣٠٢.٥٤٧,٣	٣٣.٢٧٤.١٢٩,٣	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٣٤٠,٨		٤٢١,٥				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

١٢٩,٢ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ١,١٥٣,٩٣٠ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ٨,٢٤ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٠,٩٥٩,١٨٦ م^٣/ساعة. ولكن هذه العاصفة اختلفت عن كل العواصف من حيث إن تركيز هطول الأمطار للعاصفة كان في النطاق الزمني التاسع أي عند منبع الحوض ومن ثم انخفضت الكمية تدريجياً إلى أن صعدت مرة أخرى في النطاق الزمني السادس ولهذا اعتبرنا أن النطاق السادس هو ذروة التصريف للعاصفة.

٧. عاصفة أبريل ٢٠١٣: حدثت لك العاصفة في شهر أبريل ٢٠١٣، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٦,١٠ ملم إلى ٦,٣٦ ملم، وبمتوسط ٦,٢٣ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٤) فإنها تركزت في أقصى غربي حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٣)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٤)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٣,١٠٤ م^٣/ث، بعد ست ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٥,٢٧٧,٧٥١ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني



شكل (٢٤) منحنى التصريف لعاصفة أبريل ٢٠١٣ بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

جدول (١٣) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة أبريل ٢٠١٣

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٦,٠	٤٣.٠٠٩,١	٢٥,١	١٨٠.٦٣٨,٢	٣١,١	٢٢٣.٦٤٧,٣	٤٣٠.٠٩١,٠	٣٦,٩	١
٩,٥	٦٨.٦٥٠,٦	٤٠,٠	٢٨٨.٣٣٢,٤	٤٩,٦	٣٥٦.٩٨٢,٩	٦٨٦.٥٠٥,٦	٥٣,٦	٢
١٥,٩	١١٤.٢٨٩,١	٦٦,٧	٤٨٠.٠١٤,٣	٨٢,٥	٥٩٤.٣٠٣,٤	١.١٤٢.٨٩١,٢	٨٠,٣	٣
١٦,٧	١٢٠.٢٦٠,٧	٧٠,٢	٥٠٥.٠٩٤,٩	٨٦,٩	٦٢٥.٣٥٥,٦	١.٢٠٢.٦٠٦,٩	٨٠,٩	٤
٢١,٤	١٥٤.١٧٣,٥	٨٩,٩	٦٤٧.٥٢٨,٦	١١١,٣	٨٠١.٧٠٢,٠	١.٥٤١.٧٣٤,٧	٩٦,٥	٥
٢٤,٨	١٧٨.٨٧٥,٦	١٠٤,٣	٧٥١.٢٧٧,٥	١٢٩,٢	٩٣٠.١٥٣,١	١.٧٨٨.٧٥٥,٩	٩٦,٨	٦
٢٤,٤	١٧٥.٤٠٨,٦	١٠٢,٣	٧٣٦.٧١٦,١	١٢٦,٧	٩١٢.١٢٤,٧	١.٧٥٤.٠٨٥,٩	٧٨,٨	٧
١٨,٣	١٣٢.٠٧٢,١	٧٧,٠	٥٥٤.٧٠٢,٨	٩٥,٤	٦٨٦.٧٧٤,٩	١.٣٢٠.٧٢١,٠	٤٤,٣	٨
٢٧,٨	٢٠٠.٢١٩,٨	١١٦,٨	٨٤٠.٩٢٣,٠	١٤٤,٦	١.٠٤١.١٤٢,٨	٢.٠٠٢.١٩٧,٦	٥٩,٧	٩
	١.١٨٦.٩٥٩,٠		٤.٩٨٥.٢٢٧,٧		٦.١٧٢.١٨٦,٧	١١.٨٦٩.٥٨٩,٨	٦٢٧,٨	الإجمالي
		١٠٤,٣		١٢٩,٢				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

٤.٦: الاختلافات بين العواصف المختارة على حوض وادي عرنة الأعلى:

ومن خلال الجدول (١٤) نجد أن أكبر عاصفة مطرية هطلت على حوض وادي عرنة الأعلى، عاصفة يناير ٢٠١١ بإجمالي كمية مطر تقدر ٢,١٣٥,٨١٨,٤٦ م^٣، كذلك، كمية الهطول لعاصفة نوفمبر ٢٠٠٩ توازي أكبر عاصفة على الحوض ولكن بنسبة اقل، بينما نجد أن عواصف فبراير ٢٠١٠، و أكتوبر ٢٠١٢ تتراوح إجمالي كمية الأمطار الساقطة ما بين ٢٣ مليون م^٣ إلى ٣٦ مليون م^٣، أما عواصف يناير ٢٠٠٥ وديسمبر ٢٠١٠ فتتراوح قيم الهطول ما بين ١٧ مليون م^٣ إلى ٢٤ مليون م^٣، بينما اصغر عاصفة كانت عاصفة أبريل ٢٠١٣ بإجمالي كمية مطر تقدر ٨,٥٨٩,٨٦٩,١١ م^٣. كذلك يوضح الجدول (١٣) الاختلافات بين كميات الجريان السيلي للعواصف التي تعتمد أصلاً على كمية المطر الإجمالي الساقط على الحوض، إذ إن عاصفة يناير ٢٠١١ قد بلغت كمية الجريان السيلي قبل العمران عند ١٩ مليون م^٣/ساعة، بينما ازدادت كمية الجريان السيلي بعد العمران إلى ٢٤ مليون م^٣/ساعة، وهذا يوضح مدى تأثير عامل استخدامات

الأراضي في عملية تضخيم قيمة الجريان السيلي، وهكذا تنخفض قيمة الجريان السيلي سواء كان قبل أم بعد العمران كلما انخفضت قيم المطر الإجمالي للعاصفة، فعاصفة أبريل ٢٠١٣، كان الجريان السيلي بها قبل العمران يقدر ٤,٩ مليون م^٣/ساعة، بينما بعد العمران أصبح ٦ مليون م^٣/ساعة. أما من حيث النطاق الزمني الذي تصل فيه العاصفة زمنياً لذروة التصريف، فنجد أن ثلاثاً من العواصف وصلت لذروة التصريف خلال ست ساعات من حدوث العاصفة وهي: عاصفة أكتوبر ٢٠١٢، وعاصفة يناير ٢٠٠٥، وعاصفة أبريل ٢٠١٣، بينما الثلاث الأخرى (عواصف يناير ٢٠١١، ونوفمبر ٢٠٠٩، وديسمبر ٢٠١٠) حدثت ذروة التصريف بها بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة، والاستثناء الوحيد هو لعاصفة فبراير ٢٠١٠، التي وصلت ذروة التصريف بها بعد ثلاث ساعات من حدوث العاصفة.

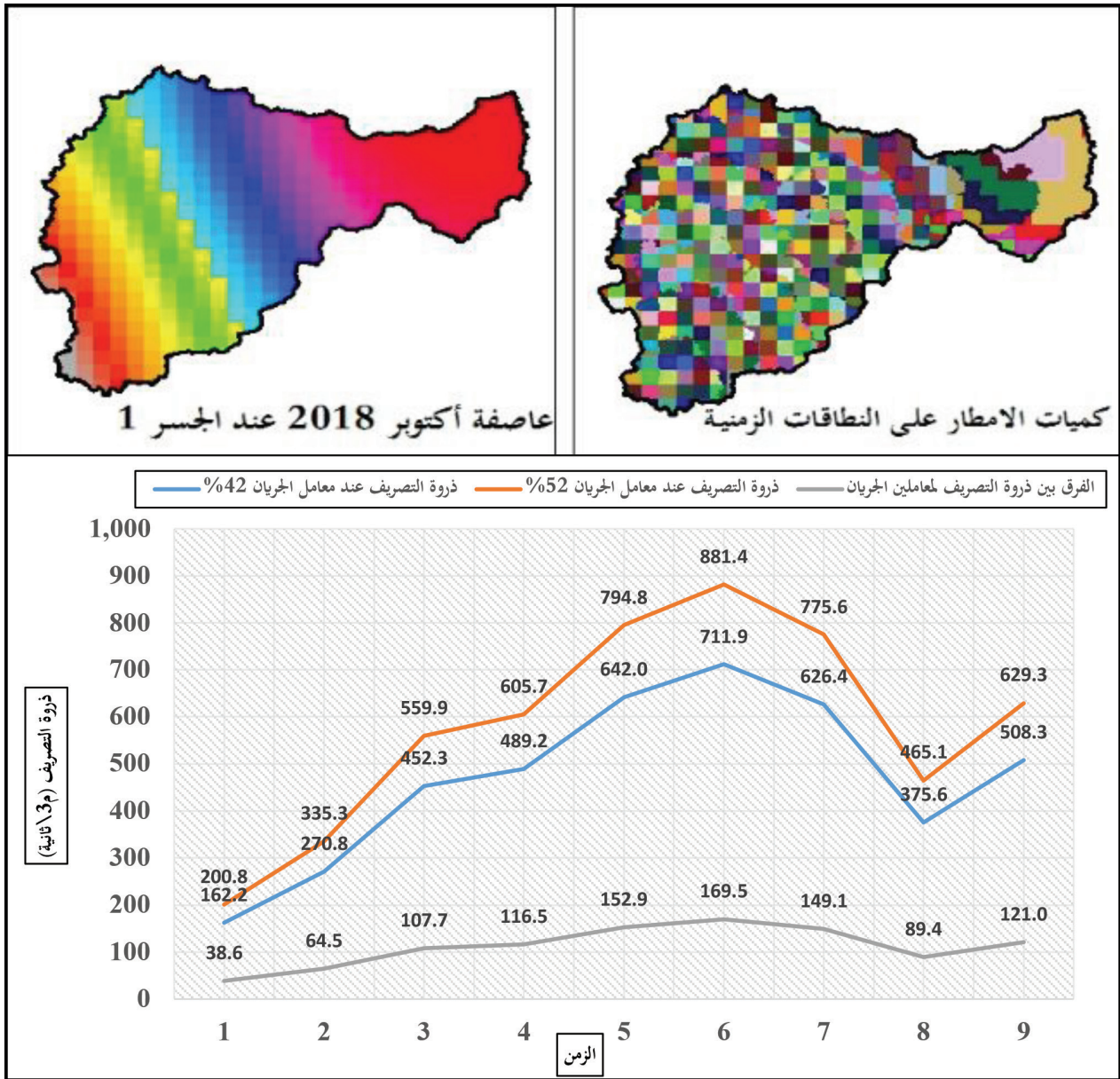
جدول (١٤) المقارنة بين بيانات العواصف المختارة بحوض وادي عرنة الأعلى

النطاق الزمني لذروة التصريف	إجمالي الجريان السيلي بعد العمران (م ^٣ /ساعة)	إجمالي الجريان السيلي قبل العمران (م ^٣ /ساعة)	إجمالي كمية المطر للحوض (م ^٣)	العاصفة
٥	٢٤.٣٤٥.٤٣٠,٣	١٩.٦٦٣.٦١٦,٨	٤٦.٨١٨.١٣٥,٣	يناير ٢٠١١
٥	٢١.٣٤٣.٨٧٢,٧	١٧.٢٣٩.٢٨١,٨	٤١.٠٤٥.٩٠٩,٠	نوفمبر ٢٠٠٩
٣	١٨.٧٤٢.٩٠٠,١	١٥.١٣٨.٤٩٦,٣	٣٦.٠٤٤.٠٣٨,٧	فبراير ٢٠١٠
٦	١٧.٣٠٢.٥٤٧,٣	١٣.٩٧٥.١٣٤,٣	٣٣.٢٧٤.١٢٩,٣	أكتوبر ٢٠١٢
٦	١٢.٧١٩.٢٩٣,٤	١٠.٢٧٣.٢٧٥,٥	٢٤.٤٦٠.١٧٩,٧	يناير ٢٠٠٥
٥	٨.٨٤٨.٧١٧,٩	٧.١٤٧.٠٤١,٤	١٧.٠١٦.٧٦٥,٣	ديسمبر ٢٠١٠
٦	٦.١٧٢.١٨٦,٧	٤.٩٨٥.٢٢٧,٧	١١.٨٦٩.٥٨٩,٨	أبريل ٢٠١٣

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و للعواصف المختارة.

١.٥.٦: خصائص الجريان السيلي لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ عند الهصب الرئيسي (الجسر أ):

حدثت تلك العاصفة في شهر أكتوبر ٢٠١٨، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٦٦,٩ ملم إلى ١٤٧,٣ ملم، وبمتوسط ١٠٧,٢ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٥) فإنها تركزت في أقصى شمال غرب حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر (أ)، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٥)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدروجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٥)، ومن دراسة المنحنى فإن ذروة التصريف قد بلغت ٧١١,٩ م^٣/ث، بعد ست ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٥,١٢٥,٨١٨,٩ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٨٨١,٤ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٦,٢٤٦,٢٥١,٩ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات فتأثير العمران قد بلغ ١٦٩,٥ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٧,٢٦٦,٤٢٤,٩ م^٣/ساعة.



شكل (٢٥) منحنى ذروة التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ بحوض وادي عرنة الأعلى عند المصب الرئيسي المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

جدول (١٥) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ عند المصب الرئيسي

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (كم ^٢)	النطاق الزمني
٣٨,٦	٢٧٨.٠٨٤,٥	١٦٢,٢	١.١٦٧.٩٥٤,٧	٢٠٠,٨	١.٤٤٦.٠٣٩,٢	٢.٧٨٠.٨٤٤,٥	٣٦,٩	١
٦٤,٥	٤٦٤.٣١٢,٠	٢٧٠,٨	١.٩٥٠.١١٠,٣	٣٣٥,٣	٢.٤١٤.٤٢٢,٣	٤.٦٤٣.١١٩,٨	٥٣,٦	٢
١٠٧,٧	٧٧٥.٣٠٩,٩	٤٥٢,٣	٣.٢٥٦.٣٠١,٧	٥٥٩,٩	٤.٠٣١.٦١١,٧	٧.٧٥٣.٠٩٩,٤	٨٠,٣	٣
١١٦,٥	٨٣٨.٦٣٩,٥	٤٨٩,٢	٣.٥٢٢.٢٨٥,٩	٦٠٥,٧	٤.٣٦٠.٩٢٥,٤	٨.٣٨٦.٣٩٥,٠	٨٠,٩	٤
١٥٢,٩	١.١٠٠.٥٢١,٣	٦٤٢,٠	٤.٦٢٢.١٨٩,٤	٧٩٤,٨	٥.٧٢٢.٧١٠,٧	١١.٠٠٥.٢١٢,٨	٩٦,٥	٥
١٦٩,٥	١.٢٢٠.٤٣٣,١	٧١١,٩	٥.١٢٥.٨١٨,٩	٨٨١,٤	٦.٣٤٦.٢٥١,٩	١٢.٢٠٤.٣٣٠,٦	٩٦,٨	٦
١٤٩,١	١.٠٧٣.٨٥٥,٤	٦٢٦,٤	٤.٥١٠.١٩٢,٦	٧٧٥,٦	٥.٥٨٤.٠٤٨,٠	١٠.٧٣٨.٥٥٣,٩	٧٨,٨	٧
٨٩,٤	٦٤٣.٩٥٧,٧	٣٧٥,٦	٢.٧٠٤.٦٢٢,٤	٤٦٥,١	٣.٣٤٨.٥٨٠,١	٦.٤٣٩.٥٧٧,٢	٤٤,٣	٨
١٢١,٠	٨٧١.٣١١,٦	٥٠٨,٣	٣.٦٥٩.٥٠٨,٦	٦٢٩,٣	٤.٥٣٠.٨٢٠,٢	٨.٧١٣.١١٥,٨	٥٩,٧	٩
	٧.٢٦٦.٤٢٤,٩		٣٠.٥١٨.٩٨٤,٦		٣٧.٧٨٥.٤٠٩,٥	٧٢.٦٦٤.٢٤٩,١	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٧١١,٩		٦٣٦,٠				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

أنهما متقاربتين في كميات هطول الأمطار فلا بد أيضاً أن تكون قيم الجريان السيلي لهما متقاربة، وبعد التحقق من بيانات العاصفة الشهرية لأكتوبر ٢٠١٨، تم اختيار بيانات TRMM اليومية لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وعلى أساسها تم التحقق والمعايرة لاحقاً عند المصب الأول وهو الجسر (١) ومقارنتها بأثر السيول الموجود على أعمدة الجسر، وكذلك مقارنة بيانات العاصفة عند الجسر (١٩) مع أثر السيول الموجودة على أعمدته، حيث إن أثر السيول الموجود على الجسور يعود لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وهي العاصفة الوحيدة التي تمكنا من التحقق ومعايرة صحة النموذج الهيدرولوجي المستخدم، وأن قيم ذروة التصريف تطابق أو على الأقل تماثل قيم أثر السيول على أعمدة الجسور.

٢.٥.٦: خصائص الجريان السيلي لعاصفتي يناير ٢٠١١ وأكتوبر ٢٠١٨ عند مصب الجسر ١٩:

اختيرت عاصفة يناير ٢٠١١، لعدة أسباب أهمها هي عاصفة مطرية ضخمة وذات أمطار غطت حوض وادي عرنة الأعلى ١٥٠ ملم، وثانياً، لأن بيانات العاصفة من TRMM تم التحقق منها عن طريق محطات الرصد المناخية المتوفرة، وثالثاً، هي مشابهة لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ من حيث قوة هطول أمطار العاصفة ١٤٧ ملم، وحيث إننا لا نملك سجلات لمحطات الرصد المناخية لعدد كافٍ للتحقق من بيانات هذه العاصفة فقد استخدمنا عاصفة يناير ٢٠١١، لهذا الغرض، وسوف نستعرض الخصائص الهيدرولوجية للعاصفتين عند مصب الجسر ١٩، بمعنى أنه تم تغير مصب حوض وادي عرنة الأعلى من عند جسر (١) (كوبري جامعة أم القرى) إلى الجسر (١٩) وهو أول كوبري في مشعر عرفة من ناحية الشمال (شكل: ٢٦)، والمسافة بين المصبين تصل إلى ٦,٤٠ كم، والسبب لإجراء هذا التغير هو التأكد من صحة بيانات TRMM لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨، ويتم ذلك من خلال التقارب في قيم خصائص الجريان السيلي، فبينما

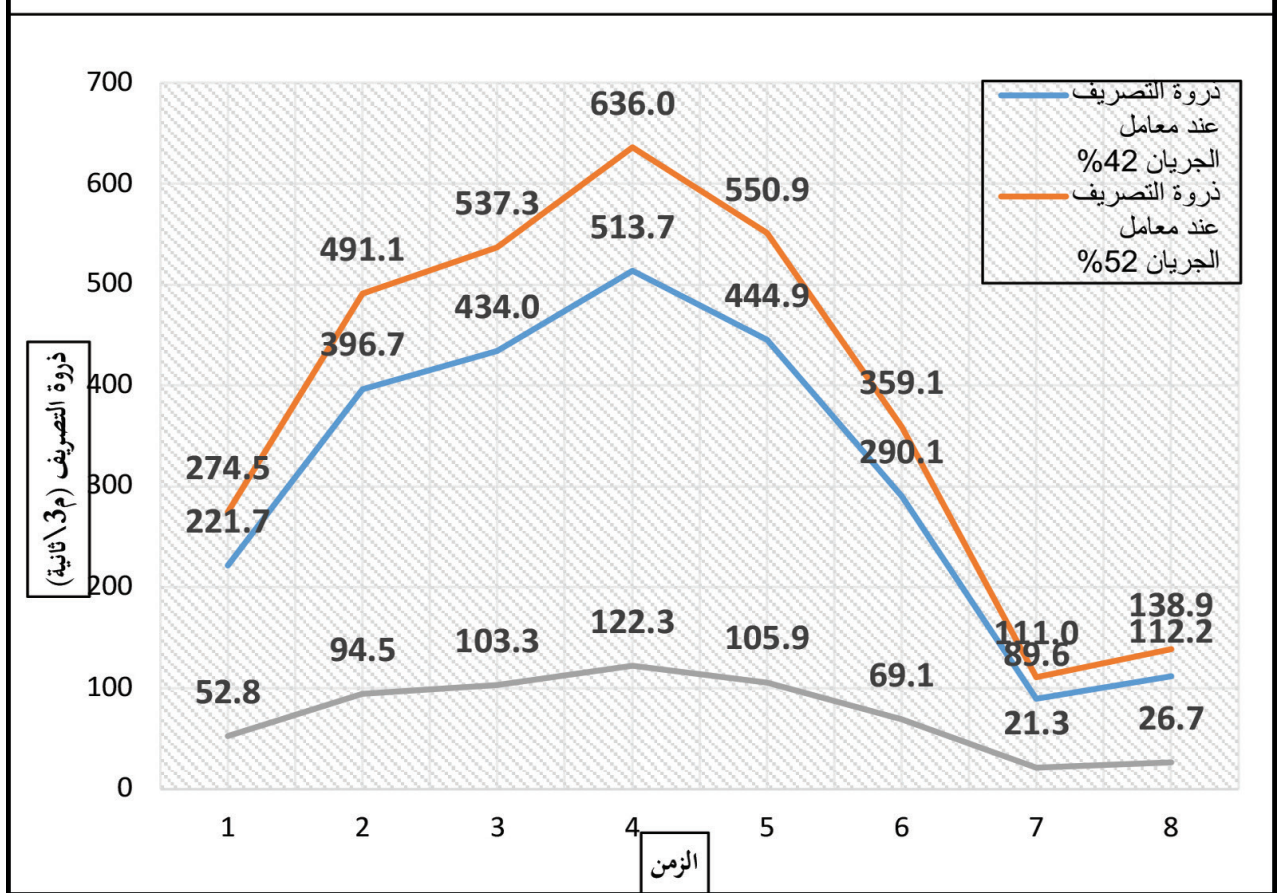
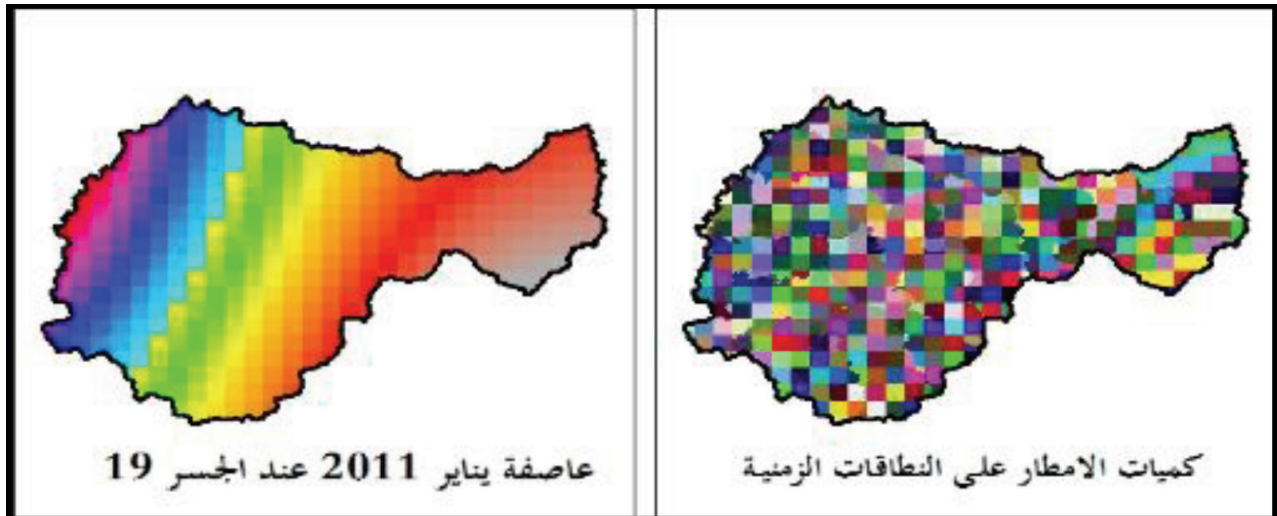


شكل (٢٦) مرئية فضائية توضح موقع ١٩ جسراً في داخل حدود حوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على Google Earth Pro.

٦٣٦ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلبي ٣، ٤٧٠، ٤٠٥٧٩ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات فتأثير العمران بلغ ٣، ١٢٢ م/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلبي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٣، ٧٢٠، ٢٩٠، ٤ م^٣/ساعة، والملاحظ أنه لا يوجد اختلاف بين بيانات العاصفة سواء عند مصب الرئيسي (جسر ١) أو عند مصب جسر (١٩)، وهذا يعود إلى أن إسهام الجبلين الواقعين على طرفي مشعر عرفة في عملية الجريان السيلبي ليست كبيرة.

١. عاصفة يناير ٢٠١١ : حدثت تلك العاصفة في شهر يناير ٢٠١١، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢٥ ملم إلى ١٥٠ ملم، وبمتوسط ٨٧،٥ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل ٢٧) فإنها تركزت في شمال شرقي حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر (١٩)، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٦)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدروجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٧). ومن دراسة المنحنى اتضح أن ذروة التصريف قد بلغت ٧، ٥١٣ م^٣/ث بعد أربع ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلبي ٩، ٨٠٢، ٦٩٨، ٢ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني



شكل (٢٧) منحنى ذروة التصريف لعاصفة يناير ٢٠١١ بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر (١٩)

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

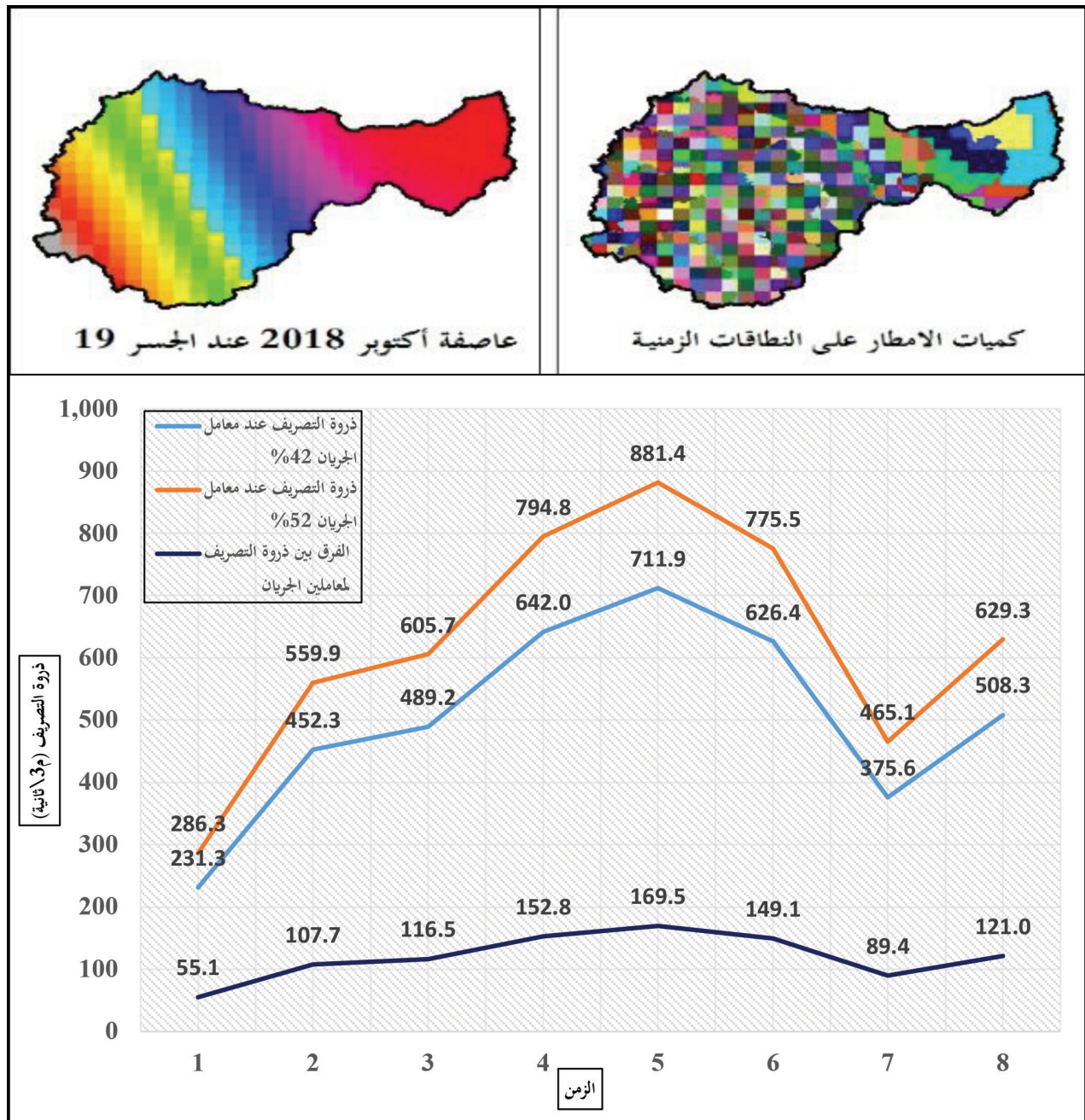
جدول (١٦) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة يناير ٢٠١١ عند الجسر (١٩)

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٥٢,٨	٢٨٠,١٤١,٦	٢٢١,٧	١,٥٩٦,٥٩٤,٩	٢٧٤,٥	١,٩٧٦,٧٣٦,٥	٢,٨٠١,٤١٦,٤	٤٤,٩	١
٩٤,٥	٦٨٠,٠٤٢,٣	٣٩٦,٧	٢,٨٥٦,١٧٧,٨	٤٩١,١	٢,٥٣٦,٢٢٠,٢	٦,٨٠٠,٤٢٣,٤	٨٠,٣	٢
١٠٣,٣	٧٤٢,٩٣٣,٦	٤٣٤,٠	٢,١٢٤,٥٢١,٠	٥٣٧,٣	٢,٨٦٨,٤٥٤,٥	٧,٤٣٩,٣٣٥,٦	٨٠,٩	٣
١٢٢,٣	٨٨٠,٦٦٧,٤	٥١٣,٧	٢,٦٩٨,٨٠٢,٩	٦٣٦,٠	٤,٥٧٩,٤٧٠,٢	٨,٨٠٦,٦٧٣,٦	٩٦,٥	٤
١٠٥,٩	٧٦٢,٧٥٣,٣	٤٤٤,٩	٢,٢٠٣,٥٦٣,٨	٥٥٠,٩	٢,٩٦٦,٣١٧,١	٧,٦٢٧,٥٣٣,٠	٩٦,٨	٥
٦٩,١	٤٩٧,٢٦٤,٧	٢٩٠,١	٢,٠٨٨,٥١١,٨	٣٥٩,١	٢,٥٨٥,٧٧٦,٥	٤,٩٧٢,٦٤٧,٢	٧٨,٨	٦
٢١,٣	١٥٢,٦٢٣,٧	٨٩,٦	٦٤٥,٢١٩,٦	١١١,٠	٧٩٨,٨٤٣,٣	١,٥٣٦,٢٣٧,٠	٤٤,٣	٧
٢٦,٧	١٩٢,٢٩٣,٦	١١٢,٢	٨٠٧,٦٣٣,٢	١٣٨,٩	٩٩٩,٩٢٦,٩	١,٩٢٢,٩٣٦,٣	٥٩,٧	٨
	٤,٢٩٠,٧٢٠,٣		١٨,٠٢١,٠٢٥,١		٢٢,٣١١,٧٤٥,٣	٤٢,٩٠٧,٢٠٢,٥	٥٨٢,٣	الإجمالي
		٥١٣,٧		٦٣٦,٠				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

الناتج من التوسع العمراني ٤، ٨٨١ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٥، ٦,٢٤٦,٢٤٣ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات فتأثير العمران قد بلغ ٥، ١٦٩ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٤، ٤٢٨,٤٢٠ م^٣/ساعة. والملاحظ أنه لا يوجد اختلاف بين بيانات العاصفة سواء عند مصب الرئيسي (جسر ١) أم عند مصب جسر (١٩) وهذا يعود إلى أن إسهام الجبلين الواقعين على طرفي مشعر عرفة في عملية الجريان السيلي ليست كبيرة، وإنما فقط حدثت زحزحة لوقت الذروة فبدلاً من الوصول لوقت الذروة بعد ست ساعات من حدوث العاصفة، أصبح وقت الذروة بعد خمس ساعات، مما يؤكد على صحة النموذج الهيدرولوجي المستخدم.

٢. عاصفة أكتوبر ٢٠١٨: حدثت تلك العاصفة في شهر أكتوبر ٢٠١٨، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٦٦,٩ ملم إلى ١٤٧,٣ ملم، وبمتوسط ١٠٧,٢ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل ٢٨) فإنها تركزت في أقصى شمال غرب حوض وادي عرنة الأعلى، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر (١٩)، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٧)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدروجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٨)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٩، ٧١١ م^٣/ث بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ٥، ١٢٥,٨١٢ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي



شكل (٢٨) منحنى التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر (١٩)

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

جدول (١٧) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر (١٩)

الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٤٢	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م ^٣ /ساعة) %٥٢	كمية المطر (م ^٣)	المساحة (م ^٢)	النطاق الزمني
٥٥,١	٢٩٦.٤٣٦,٠	٢٣١,٣	١.٦٦٥.٠٣١,٢	٢٨٦,٣	٢.٠٦١.٤٦٧,٢	٢.٩٦٤.٣٦٠,٠	٤٤,٩	١
١٠٧,٧	٧٧٥.٣٠٥,٢	٤٥٢,٣	٢.٢٥٦.٢٨١,٨	٥٥٩,٩	٤.٠٣١.٥٨٧,٠	٧.٧٥٢.٠٥١,٩	٨٠,٣	٢
١١٦,٥	٨٣٨.٦٣٨,٤	٤٨٩,٢	٢.٥٢٢.٢٨١,١	٦٠٥,٧	٤.٣٦٠.٩١٩,٥	٨.٣٨٦.٣٨٣,٦	٨٠,٩	٣
١٥٢,٨	١.١٠٠.٥١٥,١	٦٤٢,٠	٤.٦٢٢.١٦٣,٥	٧٩٤,٨	٥.٧٢٢.٦٧٨,٦	١١.٠٠٥.١٥١,١	٩٦,٥	٤
١٦٩,٥	١.٢٢٠.٤٣١,٤	٧١١,٩	٥.١٢٥.٨١٢,٠	٨٨١,٤	٦.٣٤٦.٢٤٣,٥	١٢.٢٠٤.٣١٤,٤	٩٦,٨	٥
١٤٩,١	١.٠٧٣.٨٣٥,٣	٦٢٦,٤	٤.٥١٠.١٠٨,١	٧٧٥,٥	٥.٥٨٢.٩٤٣,٤	١٠.٧٣٨.٣٥٢,٧	٧٨,٨	٦
٨٩,٤	٦٤٢.٩٥٥,٤	٣٧٥,٦	٢.٧٠٤.٦١٢,٨	٤٦٥,١	٢.٣٤٨.٥٦٨,٢	٦.٤٣٩.٥٥٤,٢	٤٤,٣	٧
١٢١,٠	٨٧١.٣١١,٦	٥٠٨,٣	٢.٦٥٩.٥٠٨,٦	٦٢٩,٣	٤.٥٣٠.٨٢٠,٢	٨.٧١٣.١١٥,٨	٥٩,٧	٨
	٦.٩٢٠.٤٢٨,٤		٢٩.٠٦٥.٧٩٩,١		٢٥.٩٨٦.٢٢٧,٥	٦٩.٢٠٤.٢٨٣,٦	٥٨٢,٣	الإجمالي
		٧١١,٩		٨٨١,٤				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

م^٣/ث بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ١.٨٠٩.٩٧٦,٠ م^٣/ساعة، وقد بلغت ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٣١١,٢ م^٣/ث، بإجمالي كمية جريان سيلي ٢.٢٤٠.٩٢٢,٦ م^٣/ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران بلغ ٥٩,٩ م^٣/ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني قد بلغ ٢.٨٣١.٧٣٤,٠ م^٣/ساعة.

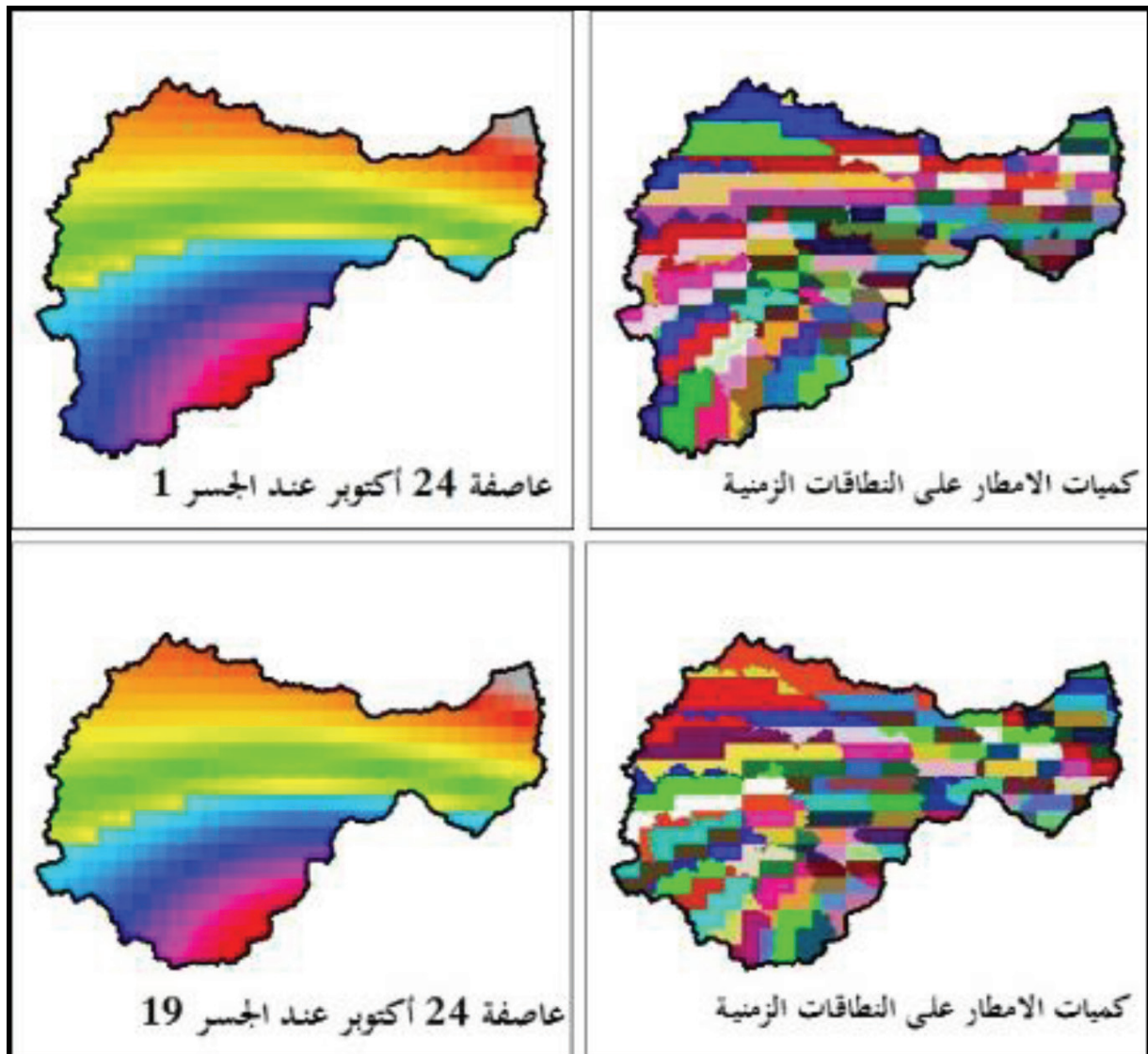
وكذلك عند حساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر (١٩)، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٨)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٢٨). ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٢٥١,١ م^٣/ث بعد أربع ساعات من حدوث العاصفة قبل التوسع العمراني، بإجمالي كمية جريان سيلي ١.٨٠٩.٩١٤,٥ م^٣/ساعة، وقد بلغت

٦.٦: خصائص الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر (١) والجسر (١٩):

حدثت هذه العاصفة في يوم ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وقد تراوحت كمية الأمطار بها من ٢٥ ملم إلى ٥٤,٩ ملم، وبمتوسط ٤٥ ملم، وكما يبدو من التوزيع المكاني للعاصفة (شكل: ٢٩) فإنها تركزت في جنوب وسط حوض وادي عرنة الأعلى، والاختلاف بين بيانات هذه العاصفة وبيانات العاصفة الشهرية لأكتوبر ٢٠١٨، هو أن بيانات العاصفة الشهرية تجميع لكل كميات هطول الأمطار خلال شهر كامل، بينما بيانات العاصفة اليومية تمثل البيانات التي سقطت خلال ٢٤ ساعة فقط، وبحساب كميات الأمطار التي سقطت على النطاقات الزمنية عند مصب جسر (١)، فقد أمكن تقدير كمية الجريان المتوقعة في كل نطاق باستخدام معامل الجريان قبل وبعد التوسع العمراني داخل الحوض (جدول: ١٨)، ومن ثم فقد أنتج منحنى ذروة الهيدرولوجراف للعاصفة قبل وبعد التوسع العمراني (شكل: ٣٠)، ومن دراسة المنحنى نجد أن ذروة التصريف قد بلغت ٢٥١,٤

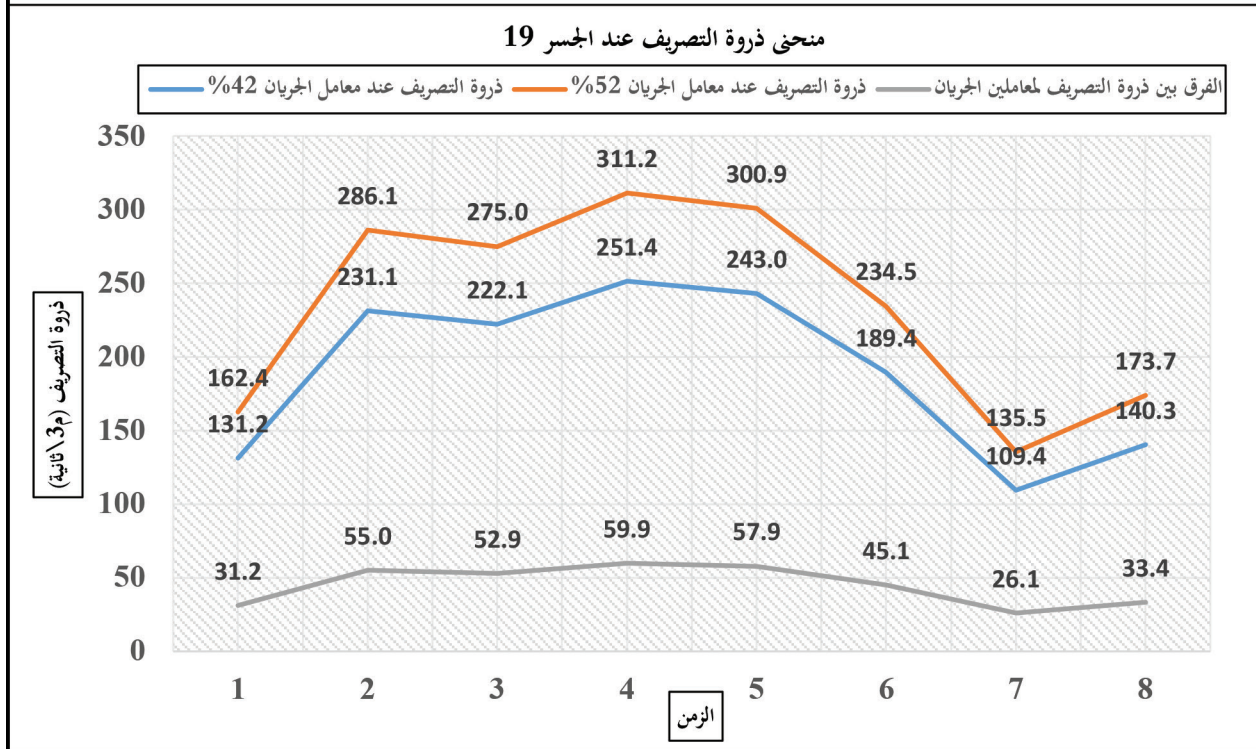
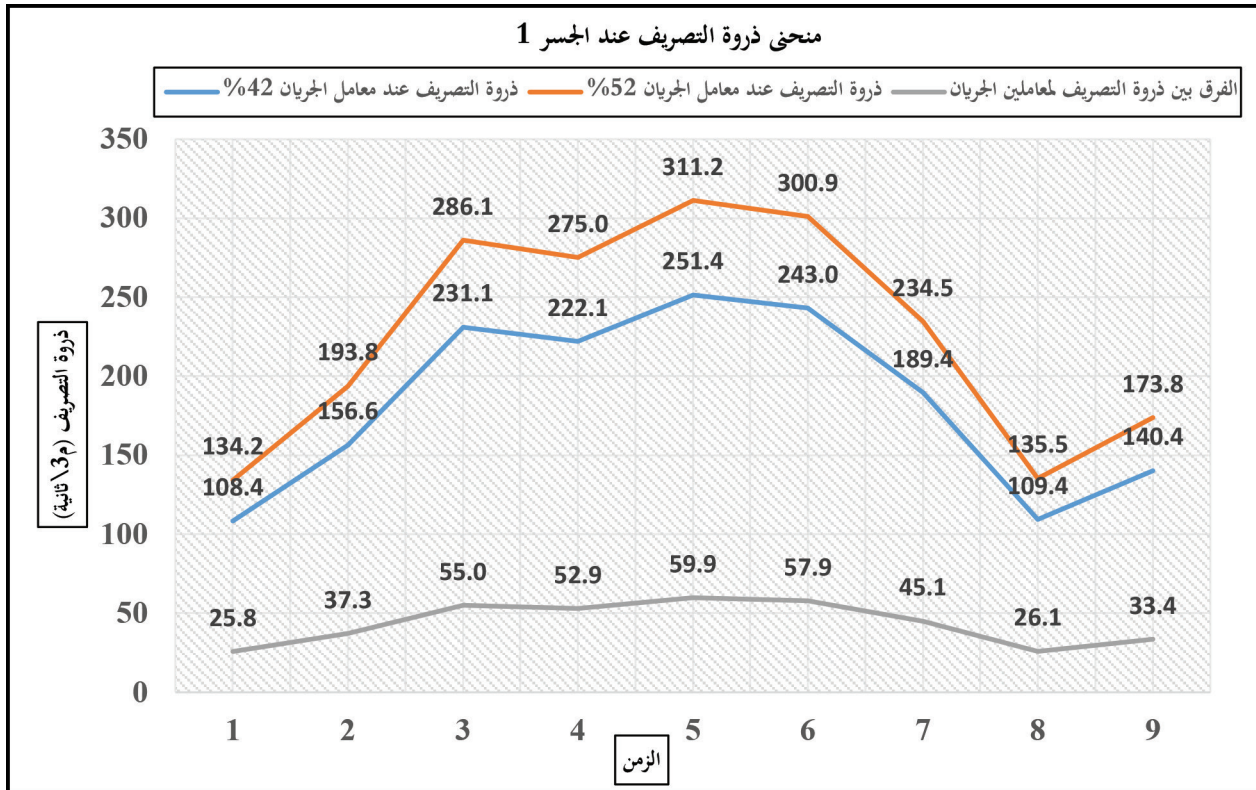
عرفة في عملية الجريان السيلي ليست كبيرة، وإنما فقط حدثت زحزحة لوقت الذروة فبدلاً من الوصول لوقت الذروة بعد خمس ساعات من حدوث العاصفة، أصبح وقت الذروة بعد أربع ساعات، بالإضافة إلى اختلاف المسافة التي يقطعها الجريان للوصول إلى المخرج، حيث تزيد في حالة المخرج الواقع عند الجسر رقم (١) وتتناقص كلما اتجهنا إلى المخرج الواقع عند الجسر ١٩، بما يزيد عن ٦ كم.

ذروة التصريف في الوضع الحالي الناتج من التوسع العمراني ٢٠١١، ٢ م/٣ ث، بإجمالي كمية جريان سيلبي ٥، ٨٤٦، ٢٤٠، ٢٠٢ م/٣ ساعة، وبمقارنة المنحنيات نجد أن تأثير العمران قد بلغ ٩، ٥٩ م/٣ ث، وأن الفرق الإجمالي لكمية الجريان السيلي قبل وبعد التوسع العمراني بلغ ٦، ٠٩٩، ٦٠٢، ٢ م/٣ ساعة. والملاحظ أنه لا يوجد اختلاف بين بيانات العاصفة سواء عند المصب الرئيسي (جسر ١) أو عند مصب جسر (١٩) وهذا يعود إلى أن إسهام الجبلين الواقعين على طرفي مشعر



شكل (٢٩) عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر (١ و١٩)

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m



شكل (٣٠) منحنيات ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر (١ و ١٩)

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

جدول (١٨) النطاقات الزمنية وكميات الأمطار وكميات التصريف وذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر (١ و ١٩)

خصائص الجريان لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر ١								
الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م/٣م) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م/٣م) %٤٢	ذروة التصريف (م/٣م) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م/٣م) %٥٢	كمية المطر (م)	المساحة (كم ^٢)	النطاق الزمني
٢٥,٨	١٨٥.٨٣٣,٥	١٠٨,٤	٧٨٠.٥٠٠,٧	١٣٤,٢	٩٦٦.٣٣٤,٢	١.٨٥٨.٣٣٥,٠	٣٦,٩	١
٣٧,٣	٢٦٨.٣٩٢,٩	١٥٦,٦	١.١٢٧.٣٥٠,٣	١٩٣,٨	١.٣٩٥.٦٤٣,٢	٢.٦٨٣.٩٢٩,٢	٥٣,٦	٢
٥٥,٠	٣٩٦.٢٠٤,٣	٢٣١,١	١.٦٦٤.٠٥٨,٢	٢٨٦,١	٢.٠٦٠.٢٦٢,٥	٣.٩٦٢.٠٤٣,٣	٨٠,٣	٣
٥٢,٩	٣٨٠.٧٤٦,١	٢٢٢,١	١.٥٩٩.١٣٣,٧	٢٧٥,٠	١.٩٧٩.٨٧٩,٨	٣.٨٠٧.٤٦١,١	٨٠,٩	٤
٥٩,٩	٤٣٠.٩٤٦,٧	٢٥١,٤	١.٨٠٩.٩٧٦,٠	٣١١,٢	٢.٣٤٠.٩٢٢,٦	٤.٣٠٩.٤٦٦,٦	٩٦,٥	٥
٥٧,٩	٤١٦.٦٥٠,٩	٢٤٣,٠	١.٧٤٩.٩٣٣,٦	٣٠٠,٩	٢.١٦٦.٥٨٤,٥	٤.١٦٦.٥٠٨,٦	٩٦,٨	٦
٤٥,١	٣٢٤.٧٤٠,٣	١٨٩,٤	١.٣٦٣.٩٠٩,٤	٢٣٤,٥	١.٦٨٨.٦٤٩,٧	٣.٢٤٧.٤٠٣,٣	٧٨,٨	٧
٢٦,١	١٨٧.٥٩٧,٥	١٠٩,٤	٧٨٧.٩٠٩,٧	١٣٥,٥	٩٧٥.٥٠٧,٢	١.٨٧٥.٩٧٥,٥	٤٤,٣	٨
٣٣,٤	٢٤٠.٦٢١,٨	١٤٠,٤	١.٠١٠.٦١١,٤	١٧٣,٨	١.٢٥١.٢٣٣,١	٢.٤٠٦.٢١٧,٥	٥٩,٧	٩
	٢.٨٣١.٧٣٤,٠		١١.٨٩٣.٢٨٢,٨		١٤.٧٢٥.٠١٦,٨	٢٨.٣١٧.٣٤٠,٠	٦٢٧,٨	الإجمالي
		٢٥١,٤		٣١١,٢				ذروة التصريف

خصائص الجريان لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر ١٩								
الفرق بين ذروة التصريف	إجمالي فرق كمية الجريان السطحي	ذروة التصريف (م/٣م) %٤٢	كمية الجريان السيلي (م/٣م) %٤٢	ذروة التصريف (م/٣م) %٥٢	كمية الجريان السيلي (م/٣م) %٥٢	كمية المطر (م)	المساحة (كم ^٢)	النطاق الزمني
٣١,٢	٢٢٤.٨٨٠,٥	١٣١,٢	٩٤٤.٤٩٨,٣	١٦٢,٤	١.١٦٩.٣٧٨,٨	٢.٢٤٨.٨٠٥,٥	٤٤,٩	١
٥٥,٠	٣٩٦.١٦٣,٧	٢٣١,١	١.٦٦٣.٨٨٧,٤	٢٨٦,١	٢.٠٦٠.٠٥١,٠	٣.٩٦١.٦٣٦,٦	٨٠,٣	٢
٥٢,٩	٣٨٠.٧١٠,٧	٢٢٢,١	١.٥٩٨.٩٨٤,٨	٢٧٥,٠	١.٩٧٩.٦٩٥,٥	٣.٨٠٧.١٠٦,٧	٨٠,٩	٣
٥٩,٩	٤٣٠.٩٣٢,٠	٢٥١,٤	١.٨٠٩.٩١٤,٥	٣١١,٢	٢.٣٤٠.٨٤٦,٥	٤.٣٠٩.٣٢٠,٢	٩٦,٥	٤
٥٧,٩	٤١٦.٦٢٤,٧	٢٤٣,٠	١.٧٤٩.٨٣٣,٦	٣٠٠,٩	٢.١٦٦.٤٤٨,٣	٤.١٦٦.٢٤٦,٧	٩٦,٨	٥
٤٥,١	٣٢٤.٦٩١,٣	١٨٩,٤	١.٣٦٣.٧٠٣,٣	٢٣٤,٥	١.٦٨٨.٣٩٤,٥	٣.٢٤٦.٩١٢,٥	٧٨,٨	٦
٢٦,١	١٨٧.٥٨٢,٧	١٠٩,٤	٧٨٧.٨٤٧,٢	١٣٥,٥	٩٧٥.٤٢٩,٨	١.٨٧٥.٨٣٦,٦	٤٤,٣	٧
٣٣,٤	٢٤٠.٥١٤,٢	١٤٠,٣	١.٠١٠.١٥٩,٥	١٧٣,٧	١.٢٥٠.٦٧٣,٧	٢.٤٠٥.١٤١,٧	٥٩,٧	٨
	٢.٦٠٢.٠٩٩,٦		١٠.٩٢٨.٨١٨,٥		١٣.٥٣٠.٩١٨,١	٢٦.٠٢٠.٩٩٦,٤	٥٨٢,٣	الإجمالي
		٢٥١,٤		٣١١,٢				ذروة التصريف

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية TRMM و DEM 12.5m

٧,٦: خصائص الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى لعاصفة تصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام:

حسبت كمية الأمطار المقدرة للعاصفة التصميمية على الفترة الزمنية التي تغطيها بيانات الأمطار الصادرة من المحطات المناخية، وعلى طول فترة الرجوع سواء كانت ١٠ أو ٢٥ أم ٥٠ أم ١٠٠ عام، فنجد أن دراسة قطب (٢٠١٠) قد حسبت كميات هطول الأمطار لعواصف تصميمية ذات فترة رجوع ١٠٠ عام في حوض وادي عرنة، وقدر أنها ١٤٤,٧ ملم، باستخدام المحطات المناخية التالية (J113، و J204، و J205) بوادي نعمان، و (TA205، TA106، و TA209) بالطائف والشفا، كذلك دراسة الصبياني (٢٠١١)، قدر كميات هطول الأمطار لعاصفة تصميمية خلال فترة رجوع ١٠٠ عام بأنها ١١٦ ملم، باستخدام بيانات محطة مناخية (J205) بالكر، ومحطتان مناخيتين بالطائف هما (TA206، و TA109)، أما دراسة داوود وآخرون (٢٠١٢) فقد حسبت كمية هطول الأمطار من خلال عاصفة تصميمية لفترة رجوع ٥٠ عام، ووجدت أنها تصل إلى ٢٠٠ ملم باستخدام محطة أم الجود المناخية بمكة المكرمة. ومن خلال عمل عاصفة تصميمية حسبت كمية هطول الأمطار

لفترة رجوع ١٠٠ عام بناء على محطة أم الجود بمكة المكرمة والتي تتوفر بياناتها لدينا من عام ١٩٨٥ إلى ٢٠١٣، وقد وصلت كمية الأمطار إلى ١٠٩ ملم، هذه المحطة تقع بعيداً عن حوض وادي عرنة الأعلى ولا تمثل بشكل مباشر الأمطار الساقطة على الحوض، ولذلك اختيرت المحطة المناخية التي تقع في مدينة الطائف وهي تعتبر محطة مناخية مهمة، وذلك بسبب وقوعها في منابع حوض وادي عرنة الأعلى، فتأثير كميات الأمطار المسجلة من المحطة له تأثير كبير على كميات الجريان السيلي الذي يحدث في الحوض، ومن خلال البيانات المسجلة لهطول الأمطار في المحطة المناخية بالطائف والمتوفرة لدينا من عام ١٩٧٧ إلى ٢٠١٣، صمم عمل عاصفة تصميمية، وحساب كمية هطول الأمطار لفترة رجوع ١٠٠ عام، وقد وصلت كمية الأمطار الساقطة إلى ١٤٧,٧٤ ملم. ويوضح جدول (١٩) كميات الأمطار الساقطة المقدرة من عواصف تصميمية لترات رجوع مختلفة بناء على محطات مناخية متعددة.

جدول (١٩) كميات الأمطار الساقطة المقدرة من عدة عواصف تصميمية

الباحث	المحطة المستخدمة	فترة الرجوع	كمية المطر للعاصفة التصميمية (ملم)
قطب (٢٠١٠)	(J113، J204، J205) بوادي نعمان	١٠٠	١٤٤,٧
	(TA205، TA106، TA209) بالطائف والشفا		
الصبياني (٢٠١١)	(J205) بالكر طريق الهدا	١٠٠	١١٦
	(TA206، TA109) بالطائف		
داوود وآخرون (٢٠١٢)	محطة أم الجود بمكة	٥٠	٢٠٠
الفالوذه (الدراسة الحالية)	محطة أم الجود بمكة	١٠٠	١٠٩,١٦
	محطة الطائف	١٠٠	١٤٧,٧٤

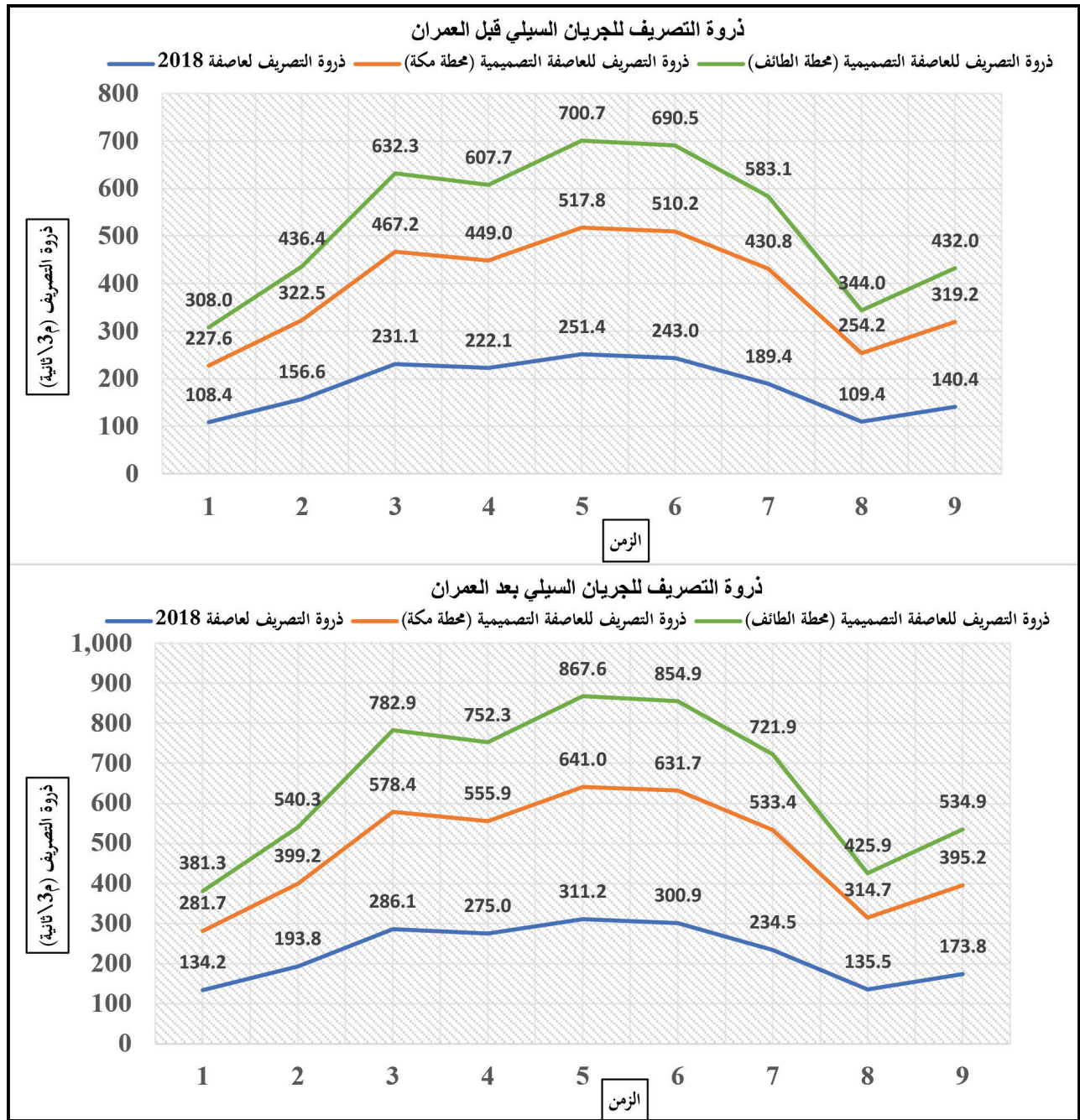
المصدر: الدراسات السابقة، وإعداد الباحث اعتماداً على بيانات محطة أم الجود ومحطة الطائف المناخية

الجريان السيلي. ويمثل شكل (٢١) منحنيات ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ مقارنة بالعاصفتين التصميميتين لفترة رجوع ١٠٠ عام، ومن هنا فالفارق الكبير بين بيانات مرئية عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ والعاصفتين التصميميتين لفترة رجوع ١٠٠ عام يعنى أن تساقط المطر على حوض وادي عرنة الأعلى، لو وصل إلى الكميات على التوالي ١٠٩ و١٤٧ ملم، فإن الجريان السيلي للحوض في الوضع الحالي سوف يصل إلى ضعف الكمية في حالة العاصفة التصميمية الأولى المبنية على بيانات محطة مكة المكرمة، بينما سوف يصل إلى ضعف الكمية في حالة العاصفة التصميمية الثانية المبنية على بيانات محطة الطائف، وبالتالي سوف تشكل هذه الكميات خطراً على استخدامات الأراضي والمجتمع البشري في الحوض (جدول: ٢٠).

وبتطبيق هذه القيم على النموذج الهيدرولوجي المبنى على نظم المعلومات الجغرافية المستخدم، فقد وجد أن أكثر كمية تصريف بحوض وادي عرنة الأعلى قبل العمران، تصل إلى ٧٠٠,٧ م^٣/ساعة، ما يعادل ذروة تصريف ٧,٠٤٥,٣٩٣ م^٣/ث، بينما ترتفع القيم بعد العمران إلى ٥,٦٧٧,٦٧٧ م^٣/ث، لعاصفة ٦ م^٣/ساعة، ما يعادل ذروة تصريف ٦,٨٦٧ م^٣/ث، لعاصفة تصميمية مدتها ١٠٠ عام، ويتساقط منها ١٤٧,٧٤ ملم من الأمطار باستخدام بيانات محطة الطائف، أما لو استخدمنا بيانات محطة مكة المكرمة، فقد نجد أن القيم تنخفض إلى ٥,٨٦٧,٨٦٧ م^٣/ساعة، ما يعادل ذروة تصريف ٨,٥١٧ م^٣/ث، قبل العمران بحوض وادي الأعلى، بينما القيم تزداد إلى ٤,٦١٥,٤٥٥ م^٣/ساعة، ما يعادل ذروة تصريف ٦٤١ م^٣/ث، بعد العمران بحوض وادي عرنة الأعلى لعاصفة تصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام، بتساقط مطر يصل إلى ١٠٩,١٦ ملم، وذلك بعد مرور خمس ساعات من بدء

جدول (٢٠) خصائص الجريان من واقع بيانات أمطار مرئية TRMM لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ ومقاربتها وكميات أمطار العواصف التصميمية لمائة عام.

حوض وادي عرنة الأعلى				
بيانات كميات الأمطار	ذروة التصريف قبل العمران (م ^٣ /ثانية)	الجريان السيلي قبل العمران (م ^٣ /ساعة)	ذروة التصريف بعد العمران (م ^٣ /ثانية)	الجريان السيلي بعد العمران (م ^٣ /ساعة)
عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ (٥٤ ملم)	٢٥١,٤	١,٨٠٩,٩٧٦,٠	٣١١,٢	٢,٢٤٠,٩٢٢,٦
العاصفة التصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام (محطة مكة المكرمة) (١٠٩,١٦ ملم)	٥١٧,٨	٢,٧٢٧,٨٦٧,٥	٦٤١,٠	٤,٦١٥,٤٥٥,٠
العاصفة التصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام (محطة الطائف) (١٤٧,٧٤ ملم)	٧٠٠,٧	٥,٠٤٥,٣٩٣,٤	٨٦٧,٦	٦,٢٤٦,٦٧٧,٥



شكل (٣١) منحنيات ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ والعواصف التصميمية قبل وبعد العمران

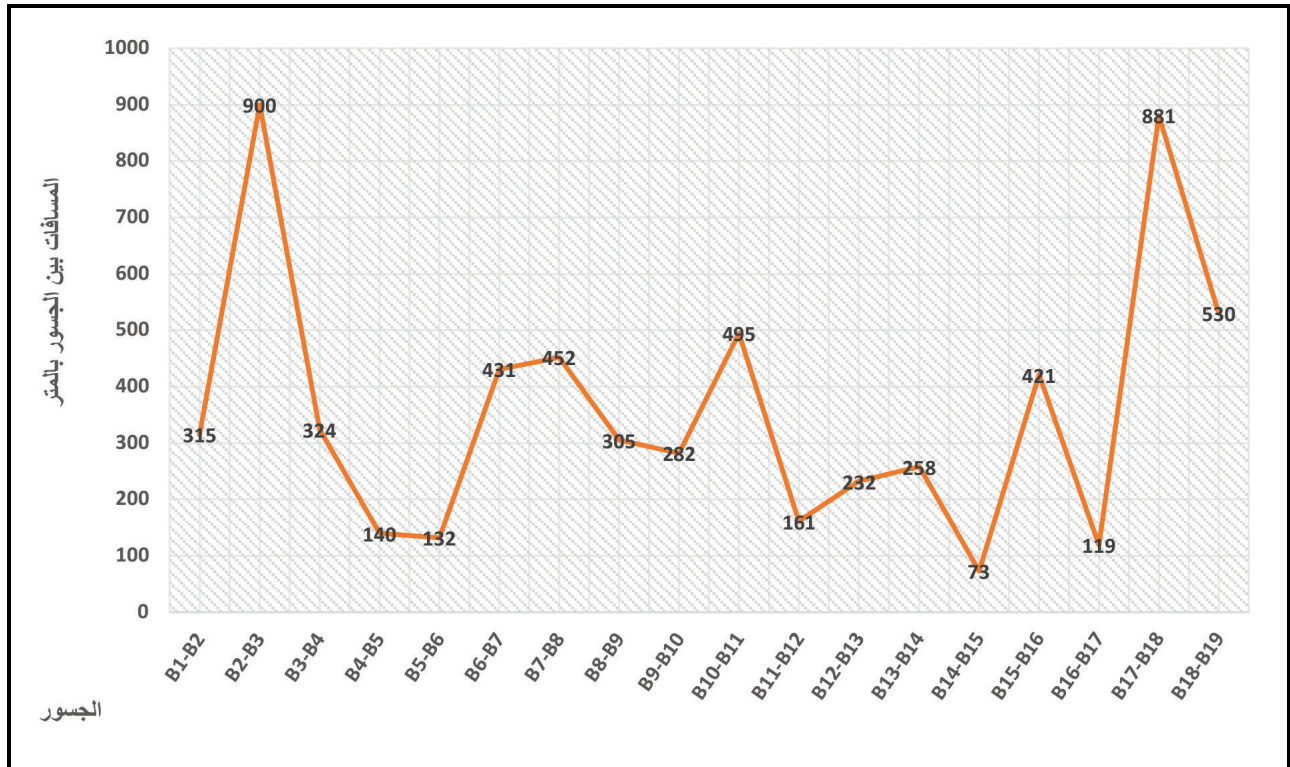
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات عاصفة ٢٠١٨، وبيانات محطة أم الجود، ومحطة الطائف المناخية.

موضحة في جدول (٢١). وتمتد هذه الجسور التسعة عشر على طول المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى، والذي يبلغ طوله نحو ٦,٤٠ كم، ومن هنا يمكننا التعرف على بعض الخصائص المكانية لهذه الجسور، التي من الممكن أن يكون لها تأثير على الجريان السيلي بالمجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى. وهذه الخصائص كالتالي:

١. المسافات بين الجسور: تختلف المسافات بين الجسور، فنجد أن أطول مسافة تكون ما بين الجسر رقم ٢ والجسر رقم ٣، وتصل إلى ٩٠٠ م، بينما أقصر مسافة تكون ما بين الجسر ١٤ والجسر ١٥، وتصل إلى ٧٣ م، ويوضح شكل (٢٢) تباين المسافات بين الجسور.

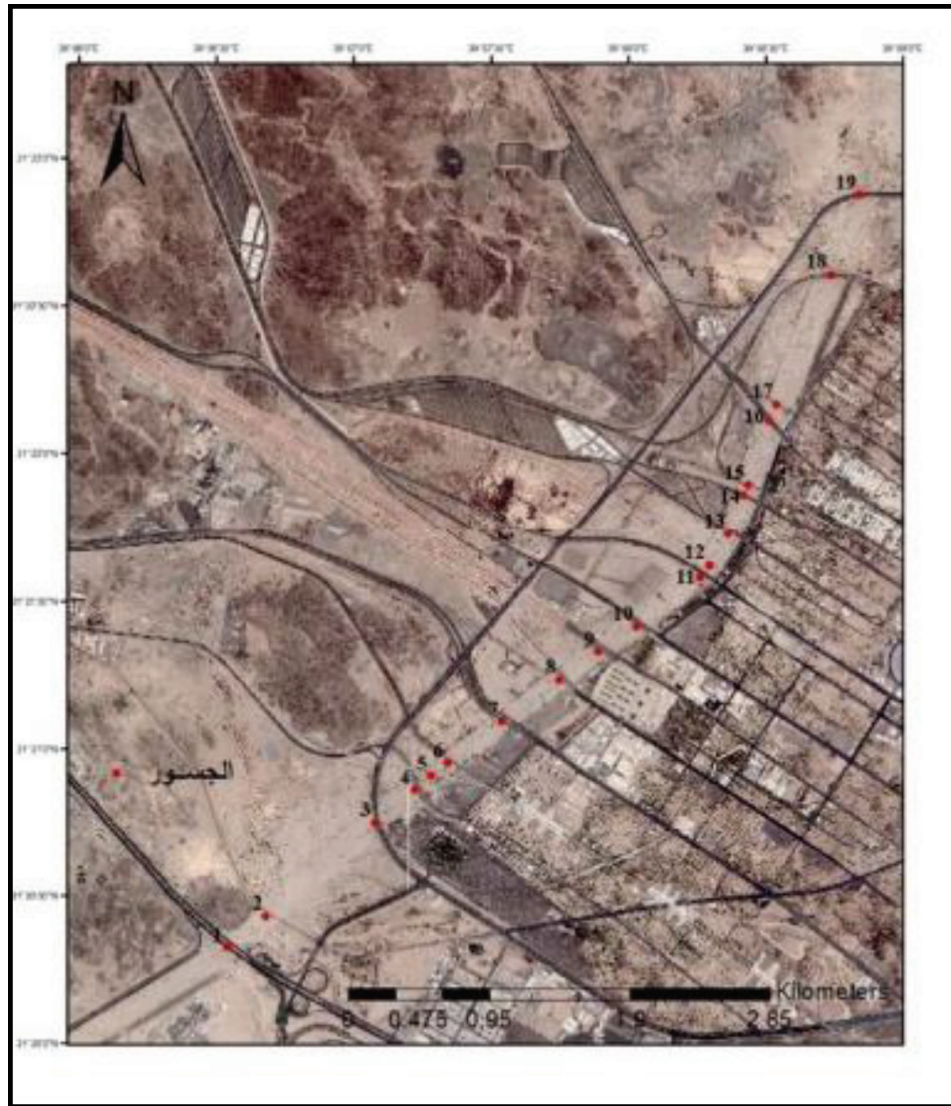
٨.٦ خصائص الجريان بالمجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى من واقع القياسات والمشاهدات الميدانية:

من خلال القياسات الميدانية التي أجريت على الجسور الواقعة في مشعر عرفات، الذي يقع في المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى، فنجد أن عدد الجسور بلغ تسعة عشر جسراً (شكل: ٢٢)، وقد اعتبرنا أن الجسر المقام على طريق مكة - الهدا، الذي يجاور جامعة أم القرى، هو الجسر رقم ١، وعلى هذا تم ترقيم الجسور التي تليه باتجاه عكس جريان السيل، الجسر رقم ٢ هو الجسر بعده وهكذا إلى أن نصل إلى الجسر رقم ١٩ الذي يقع في شمالي مشعر عرفات. ولكل جسر عملت بعض القياسات مثل عدد المحاور التي تحمل كل جسر، وعدد الأعمدة بكل محور، والمسافة بين كل محور بالمتر، وعرض الأعمدة بالمحاور بالمتر، وارتفاع الجسر، وقياس أثر عمق آخر السيول التي حدثت على أعمدة الجسور وهو عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وقياسات أخرى



شكل (٢٢) تباين المسافات بين الجسور على طول المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)



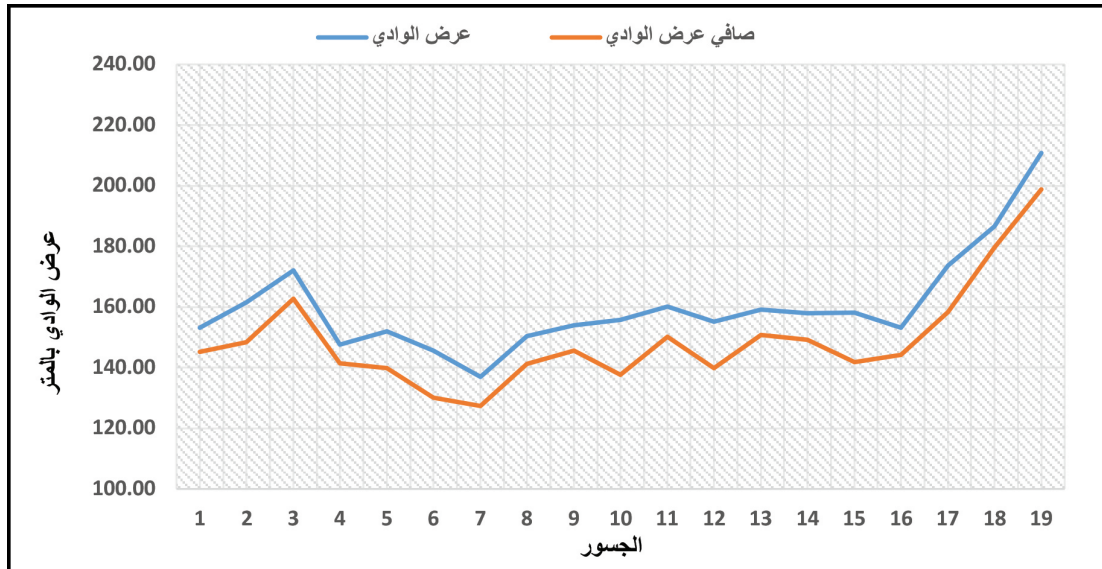
شكل (٢٣) الجسور التسعة عشر وترقيمها بداية من جسر مكة - الهدا وحتى الجسر التاسع عشر شمال مشعر عرفة

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئية Quick bird

عدد المحاور تحت الجسور نقص عرض الوادي الحقيقي للجريان السيلي، حيث إن كل جسر يحمله عدد من المحاور والتي تتألف من أعمدة تختلف هي الأخرى في شكلها وعرضها من محاور جسر إلى محاور جسر آخر. ولحساب عرض الوادي الصافي لكل جسر، فإن عرض الأعمدة يضرب في عددها ثم يطرح الناتج من عرض المجرى الذي يتم حسابه قبل الجسر مباشرة، فينتج صافي عرض الوادي عند كل جسر، والذي يسمح بمرور الجريان السيلي (جدول: ٢١). ولهذا فأقصر عرض لمجرى الوادي عند الجسر ٧ ويصل إلى ١٣٧ م، وأقصى عرض لمجرى الوادي عند الجسر ١٩ ويصل إلى ٢١٠ م (شكل: ٢٤).

٢. عدد المحاور الحاملة للجسور: يتباين عدد المحاور الحاملة للجسور، فنجد أن الجسرين (٤-١٦) عدد محاورهما ٦، ثم هناك ستة جسور (٢، ٨، ٩، ١٣، ١٤، ١٨) عدد محاورها ٧، ثم أربعة جسور (١، ٥، ٧، ١١) عدد محاورها ٨، ثم جسر (١٩) عدد محاوره ١٠، ثم جسر (١٠) وعدد محاوره ١٢، ثم خمسة جسور (٢، ٦، ١٢، ١٥، ١٧) عدد محاورها ٢٢، ويكون تأثير المحور في عرضه، فهو يعد حاجزاً للجريان السيلي أثناء مروره من تحت الجسر.

٣. عرض مجرى الوادي عند كل جسر: يشكل طول الجسر على المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى أهمية كبرى، وذلك بسبب تأثيره على عرض الوادي الحقيقي قبل كل جسر، مما يؤثر على الجريان السيلي بالمجرى، فكلما زاد



شكل (٢٤) عرض مجرى الوادي، وصافي عرض مجرى الوادي قبل كل جسر

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)

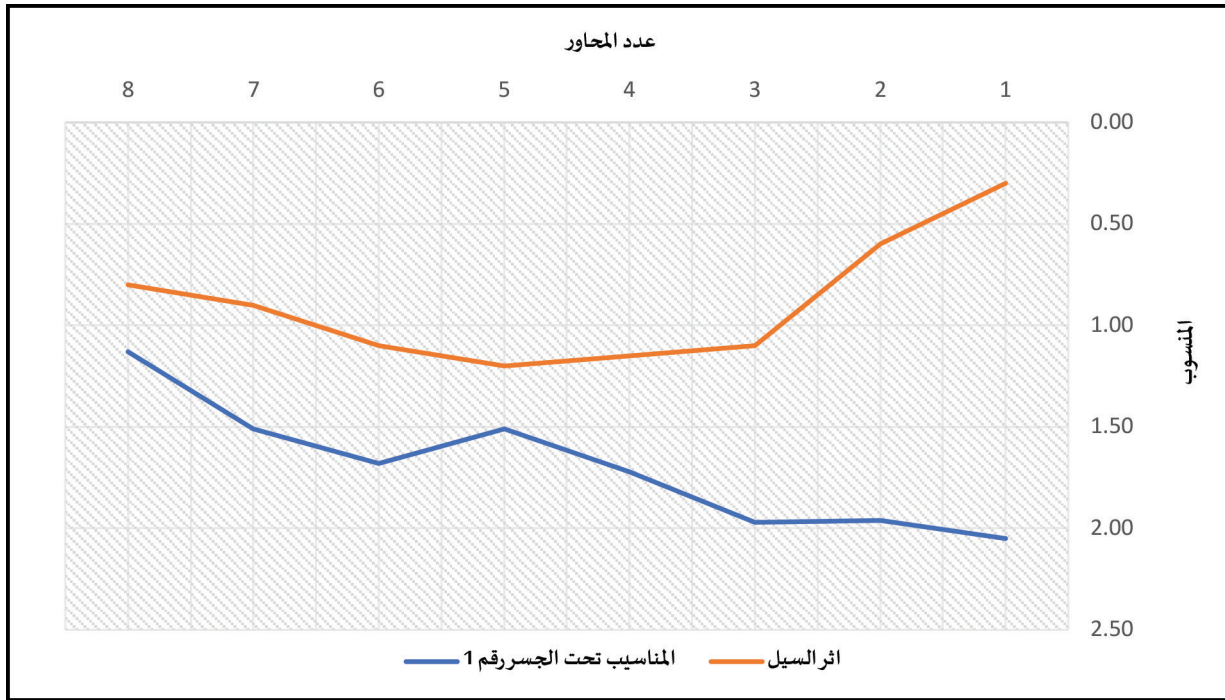
جدول (٢١) القياسات التي رصدت عند كل جسر

رقم الجسر	وصف الجسر	عدد المحاور	المسافة بين المحورين (م)	عرض العמוד (م)	ارتفاع الجسر (م)	متوسط أثر السيل (م)	أعلى قيمة لأثر السيل (م)	رقم المحور لأعلى قيمة لأثر السيل	إجمالي عرض المحاور	عرض الوادي	صافي عرض الوادي
١	جسر طريق الهدا مكة	٨	٢٣,٠٠	١,٠٠	٢,٤٣	١,١٠	١,٦٨	٥	٨,٠٠	١٥٣,٢٥	١٤٥,٢٥
٢	....	٢٢	٦,٨٠	٠,٦٠	١,٧٠	١,٠٠	١,٣٠	١٥	١٣,٢٠	١٦١,٦٠	١٤٨,٤٠
٣	....	٧	٢١,٣٠	١,٣٥	٣,١٠	١,٠٠	١,٢٧	٦	٩,٤٥	١٧٢,٠٧	١٦٢,٦٢
٤	....	٦	٢٤,٥٠	١,٠٠	٣,١٠	١,٤٥	١,٧٠	٤	٦,٠٠	١٤٧,٥٢	١٤١,٥٢
٥	جسر قطار المشاعر	٨	٢٤,٧٠	١,٥٠	٨,٠٠	١,١٠	١,٢٠	٧	١٢,٠٠	١٥١,٩١	١٣٩,٩١
٦	....	٢٢	٧,٠٠	٠,٧٠	٣,٤٠	١,٢٠	١,٤٨	١١	١٥,٤٠	١٤٥,٥٧	١٣٠,١٧
٧	طريق ٤٤	٨	٢٠,٠٠	١,٢٠	٣,٧٠	١,٢٠	١,٣٨	٤	٩,٦٠	١٣٦,٩٦	١٢٧,٣٦
٨	جسر مشاة	٧	٢٠,٠٠	١,٣٠	٢,٧٠	١,٠٠	١,٤٠	٧	٩,١٠	١٥٠,٤١	١٤١,٣١
٩	جسر مشاة	٧	١٩,٧٠	١,٢٠	٣,٨٠	١,٢٠	١,٥٠	٦	٨,٤٠	١٥٤,٠٠	١٤٥,٦٠
١٠	....	١٢	١٤,٠٠	١,٥٠	٢,٤٣	١,١٠	١,٤٠	٥	١٨,٠٠	١٥٥,٧٠	١٣٧,٧٠
١١	....	٨	٢٠,٠٠	١,٢٥	٥,١٠	١,١٠	١,٣٠	٢	١٠,٠٠	١٦٠,١٨	١٥٠,١٨
١٢	....	٢٢	٧,٠٠	٠,٧٠	٤,٠٠	١,١٠	١,٤٠	١٩	١٥,٤٠	١٥٥,١٨	١٣٩,٧٨
١٣	....	٧	٢٠,٨٠	١,٢٠	٥,٣٠	١,٠٠	١,١٥	٦	٨,٤٠	١٥٩,٢١	١٥٠,٨١
١٤	....	٧	٢٠,٠٠	١,٢٥	٥,١٥	١,٠٠	١,٠٠	٥	٨,٧٥	١٥٧,٨٩	١٤٩,١٤
١٥	....	٢٢	٧,٠٠	٠,٧٥	٤,٠٠	١,١٠	١,١٠	١١	١٦,٥٠	١٥٨,٢٣	١٤١,٧٣
١٦	....	٦	٢٩,٠٠	١,٥٠	٣,٣٠	١,٠٠	١,١٥	١	٩,٠٠	١٥٣,٢٤	١٤٤,٢٤
١٧	....	٢٢	٧,٠٠	٠,٧٠	٤,٠٠	١,٠٠	١,٠٠	١١	١٥,٤٠	١٧٣,٦٤	١٥٨,٢٤
١٨	....	٧	٢٤,١٠	١,٠٠	٤,٠٠	١,١٥	١,٣٥	٣	٧,٠٠	١٨٦,٥٧	١٧٩,٥٧
١٩	....	١٠	٢٠,٥٠	١,٢٠	٤,٧٥	١,٣٠	١,٦٥	٧	١٢,٠٠	٢١٠,٧٨	١٩٨,٧٨

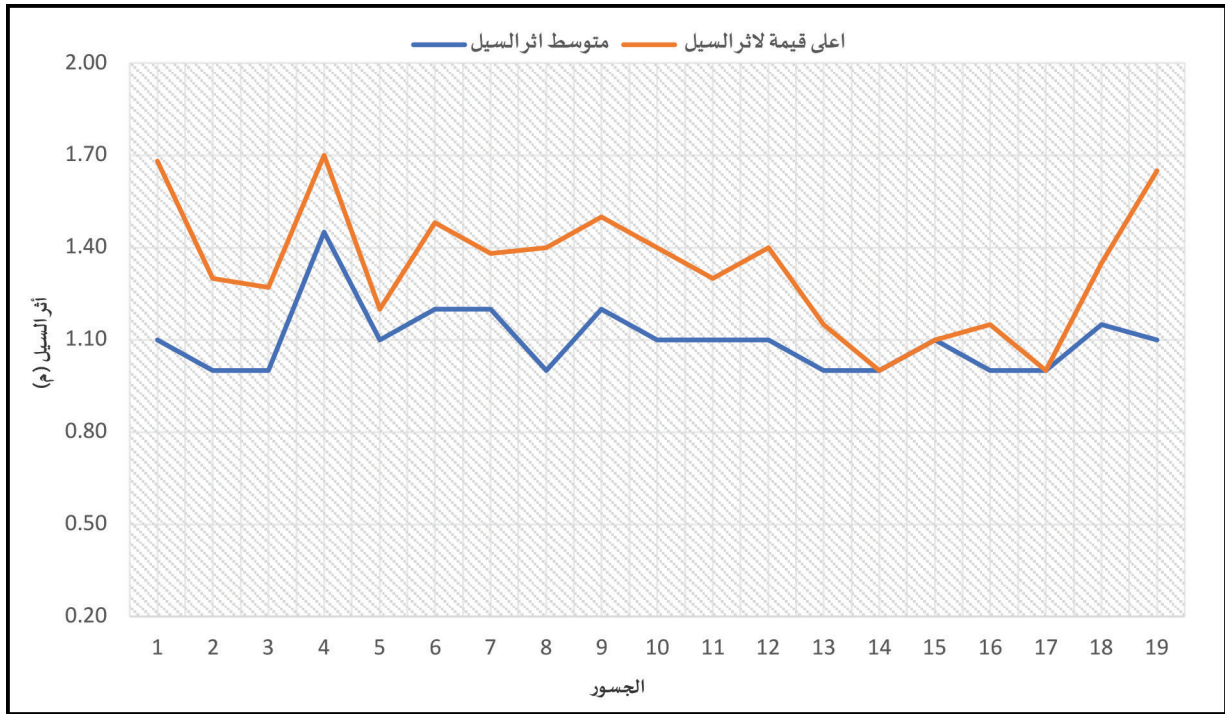
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro) والقياس الميداني.

٤. اختلاف مناسيب بطن قناة المجرى الأسفل عند كل جسر: من خلال القياسات الميدانية لقناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، قيست مناسيب بطن قناة المجرى الأسفل للحوض عند كل جسر من خلال قياس سقف المحور لتحديد منسوب وشكل بطن قناة المجرى الأسفل عند كل جسر، مثال على ذلك، تم قياس الجسر رقم ١ بداية من سقف المحور الأول من جهة الشمال (مكة) باتجاه الجنوب (الطائف) وتم ترقيم كل محور على هذا الأساس، والجسر رقم ١ يحتوي على ثمانية محاور، فيصبح لدينا ثمانية قياسات عند كل محور، ومن هنا نستطيع بناء شكل بياني يوضح شكل المناسيب عند كل محور، ومن ذلك يتبين لنا مكان قوة الجريان السيلي في قناة الوادي فكلما زاد ارتفاع سقف المحور عن الأرض، كان النحت الرأسي للجريان السيلي للأرض أعلى، كذلك عند كل محور يوجد عامود، ومن خلال هذا العامود تم قياس أثر السيل، وتختلف كذلك

قيم أثر السيل عند كل عامود، ويعود هذا الاختلاف إلى كمية الجريان السيلي عند مروره من تحت الجسر والجزء الذي يتجمع عنده (جدول: ٢١). فعلى سبيل المثال، كذلك نجد أن قيمة أثر السيل عند العامود الأول تساوي ٣٠ سم، بينما عند العامود الخامس تساوي ٢٠ م، وعند العامود الثامن تساوي ٨٠ سم، وحدث تجمع المياه عند العامود الخامس وسط القناة عند الجسر الأول (شكل: ٣٥، وجدول: ٢٢). وقد كررت هذه القياسات الميدانية على الجسور الثمانية عشر الواقعة على قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى. والجدير بالذكر أن النحت الرأسي للجريان السيلي يختلف عند كل جسر فتارة يكون في الوسط وتارة أخرى في الأطراف وهكذا، وهذا يعود إلى المسار الذي يسلكه السيل في القناة، ويوضح شكل (٣٦) متوسط أثر السيل عند كل جسر مقارنة بأعلى أثر للسيل عند كل جسر.



شكل (٣٥) مناسيب بطن قناة المجرى الأسفل، وأثر السيل بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر رقم ١ المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية.



شكل (٣٦) المقارنة بين متوسط أثر السيل عند ١٩ جسر، وأعلى قيمة لأثر السيل عند ١٩ جسر
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية.

جدول (٢٢) قياسات مناسبة بطن قناة المجرى الأسفل، وأثر السيل بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر رقم ١

الجسر رقم (١) كوبري الجامعة			
الترتيب	الأعمدة	القياس من سقف المحور (م)	أثر السيل (م)
١	العامود ١	٢,٠٥	٠,٣٠
٢	العامود ٢	١,٩٦	٠,٦٠
٣	العامود ٣	١,٩٧	١,١٠
٤	العامود ٤	١,٧٢	١,١٥
٥	العامود ٥	١,٥١	١,٢٠
٦	العامود ٦	١,٦٨	١,١٠
٧	العامود ٧	١,٥١	٠,٩٠
٨	العامود ٨	١,١٣	٠,٨٠
	المتوسط		٠,٨٩
	أعلى قيمة		١,٢٠

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية.

٩.٦: تحليل النتائج:

لأهمية حوض وادي عرنة الأعلى الجغرافية والاجتماعية والدينية، تعددت الدراسات التي ركزت على تقدير أحجام الجريان السيلي، وتقدير ذروة التصريف، ويوضح جدول (٢٢) هذه الدراسات، وتباينها الكبير في قيم الجريان السيلي وذروة التصريف بحوض وادي عرنة الأعلى، فبدأت بدراسة أيديا بركنز (Idea Perkins, 1982) عند ذروة تصريف لحوض وادي عرنة الأعلى ١٨٦٦ م^٣/ث، ثم انخفضت إلى ٥٠٠ م^٣/ث للحوض في دراسة فريد ومصطفى (Fred and Mustafa, 2008)، ثم ازدادت في دراسة قطب (٢٠١٠) إلى ٣٧٢١ م^٣/ث، وازدادت في دراسة النفيعي (٢٠١٠) إلى ٤٠٩٦ م^٣/ث، بعد ذلك وتناقصت إلى ٣٥٢٩ م^٣/ث بحوض وادي عرنة الأعلى في دراسة الغامدي (٢٠١٢)، أما دراسة داوود وآخرون (٢٠١٢) فقدرت ذروة التصريف عند ١٥١٤ م^٣/ث بكمية تساقط ٢٠٠ ملم لفترة رجوع ٥٠ عام، وهذه التقديرات مبالغ في بعض الشيء، مقارنة بنتائج ذروة التصريف لنهر النيل الأزرق عند هطول أمطار بلغت كميتها ٢٦١ ملم ومعامل جريان ١٨٪ فقد بلغت ذروة التصريف من الفترة ١٩٦١ إلى ١٩٩٠ م^٣/ث (Conway, 2000). ومع ذلك توجد دراسات سابقة ذات تقديرات متوسطة وأكثر تماثلاً، فنجد أن دراسة البارودي (٢٠١٢)، تقدر ذروة التصريف بحوض وادي عرنة الأعلى بنحو ٤٢١ م^٣/ث، وقد استخدم نموذج سنايدر وطريقة الأرقام المنحنية، وعمل قياسات حقلية لمقطع عرضي عند بداية مشعر عرفات وبلغ عرض هذا المجرى ١٣٠ م وارتفاعه ٤ م، على عاصفة ١٣ فبراير ٢٠١٠، التي بلغت كمية أمطارها ٥٥ ملم، وبالمثل قامت دراسة البسطويسي (٢١٠٣) بتحديد ذروة التصريف بحوض وادي عرنة عند ٣٢٢ م^٣/ث، باستخدام نظم المعلومات الهيدرولوجي على عاصفة ٣٠ ديسمبر ٢٠١٠ والتي بلغت كمية الأمطار بها ٤٥ ملم.

وعند المقارنة لنتائج الدراسة الحالية لمتوسط العواصف المختارة، ولعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، بدراستي البارودي (٢٠١٢) والبسطويسي (٢٠١٢)، فنجد أن ذروة التصريف لمتوسط العواصف المختارة (جدول: ٢٤) بحوض وادي عرنة الأعلى عند معامل الجريان ٥٢٪ وهو الوضع الحالي للحوض بلغت ٤٢٩،٤ م^٣/ث، وباستخدام سرعة الجريان م^٣/ث المفترضة من دراسة البارودي (٢٠١٢)، وباستخدام

كمية ذروة التصريف لمتوسط العواصف المختارة، ٤٢٩،٤ م^٣/ث، فإن مساحة المقطع العرضي (A) الذي يتسع لكمية المياه هذه هو ٧،٧ ٢١٤ م^٢، وباستخدام صافي عرض الوادي من القياسات ٢،١٤٥ م عند جسر رقم ١ (كوبري الجامعة)، فبقسمة مساحة المقطع العرضي (A)، على ١٤٥،٣ م، نجد أن عمق الجريان يصل إلى ١،٥ م، وعمق الجريان الناتج من متوسط العواصف المختارة يرتفع بمقدار ٥٠ سم عن أثر السيل الموجود على العامود في الجسر رقم ١ (١ م)، والعائد لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، علماً بأن ذروة التصريف لمتوسط العواصف المختارة مقارنة لذروة التصريف في دراسة البارودي (٢٠١٢)، وبما أن أثر ارتفاع السيل الموجود على عامود الجسر رقم ١ يعود لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، فتم تطبيق هذه الحسابات على بيانات TRMM لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، عند مصبي جسر رقم ١ وجسر رقم ١٩، واتضح أن ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ بحوض وادي عرنة الأعلى عند معامل الجريان ٥٢٪ وهو الوضع الحالي للحوض قد بلغت ٢،٢ ٣١١ م^٣/ث، وهي نتيجة مقارنة لدراسة البسطويسي (٢٠١٢) من حيث ذروة التصريف، وباستخدام سرعة الجريان م^٣/ث المفترضة من دراسة البارودي (٢٠١٢)، وباستخدام كمية ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، ٢،٢ ٣١١ م^٣/ث، فإن مساحة المقطع العرضي (A) الذي يتسع لكمية المياه هذه هو ٦،٦ ١٥٥ م^٢، وباستخدام صافي عرض الوادي من القياسات ٢،١٤٥ م عند جسر رقم ١ (كوبري الجامعة)، وبقسمة مساحة المقطع العرضي (A)، على ١٤٥،٣ م، فنجد أن عمق الجريان يصل إلى ١،١ م، وأن عمق الجريان الناتج من الدراسة الحالية مقارب إلى أثر السيل الموجود على العامود في الجسر رقم ١ (١ م). وإذا استخدمنا كمية ذروة التصريف لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، ٢،٢ ٣١١ م^٣/ث، فإن مساحة المقطع العرضي (A) الذي يتسع لكمية المياه هذه هو ٦،٦ ١٥٥ م^٢، وباستخدام صافي عرض الوادي من القياسات ٨،٨ ١٩٨ م عند جسر رقم ١٩، فبقسمة مساحة المقطع العرضي (A)، على ٨،٨ ١٩٨ م، نجد أن عمق الجريان يصل إلى ٨،٠ م، وعمق الجريان الناتج من الدراسة الحالية مقارب إلى أثر السيل الموجود على العامود في الجسر رقم ١٩ (١،١ م). وكما ذكرنا سابقاً عند تحليل عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، أنه لا يوجد اختلاف في كميات ذروة التصريف عند

المصبين، وإنما فقط يحدث الاختلاف في الوصول إلى وقت ذروة التصريف، كما أن الفرق ما بين أثر السيل على العمود في الجسرين (١) و(١٩) قد انخفض إلى أقل من ٢٠ سم.

جدول (٢٢) أحجام وذروة التصريف بحوض وادي عرنة الأعلى من الدراسات السابقة

النموذج المستخدم	كمية المطر الإجمالي (م ^٢)	ذروة التصريف (م ^٣ /ثانية)	الحالة (Event)	كمية المطر الساقط (مم)	عاصفة تصميمية ٥٠ عام (مم)	عاصفة تصميمية ١٠٠ عام (مم)	المحطة المناخية	الدراسة العلمية
Curve Number	-	1866	-	-	-	-	-	Idea - Perkins 1982
GIS Modeling	-	500	30	-	-	-	-	Fred and Mustafa 2008
Curve Number	77	3721	-	190.6	-	144,7	Average ((Uranah	قطب ٢٠١٠
GIS	-	4096	-	-	-	-	-	التفيعي ٢٠١٠
The Gumbel's model	13.3	N/A	-	120	-	135.7	J205	الصبياني 2011
						100.2	TA206	
						110.4	TA109	
						116	Average	
Curve Number and Snyder Model	-	(1645) (1353)	-	-	124	144	Uranah	سيج للاستشارات الهندسية ٢٠١١
Talbot equation	-	3529	-	-	-	N/A	-	الفامدي ٢٠١٢
Curve Number	٨.29	1514	-	-	200	-	41030	داوود وآخرون ٢٠١٢
Snyder's Model	55.5	500.7	55	-	-	-	-	البارودي ٢٠١٢
GIS-Based Hydrological Modeling	7	333	45	-	-	-	-	البسطويسي ٢٠١٣
Curve Number	-	-	-	-	195	201	J113	Abdelkarim and Gaber, 2019
					141	141	TA109	
					155	196	J114	
					220	284	J205	

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الدراسات السابقة.

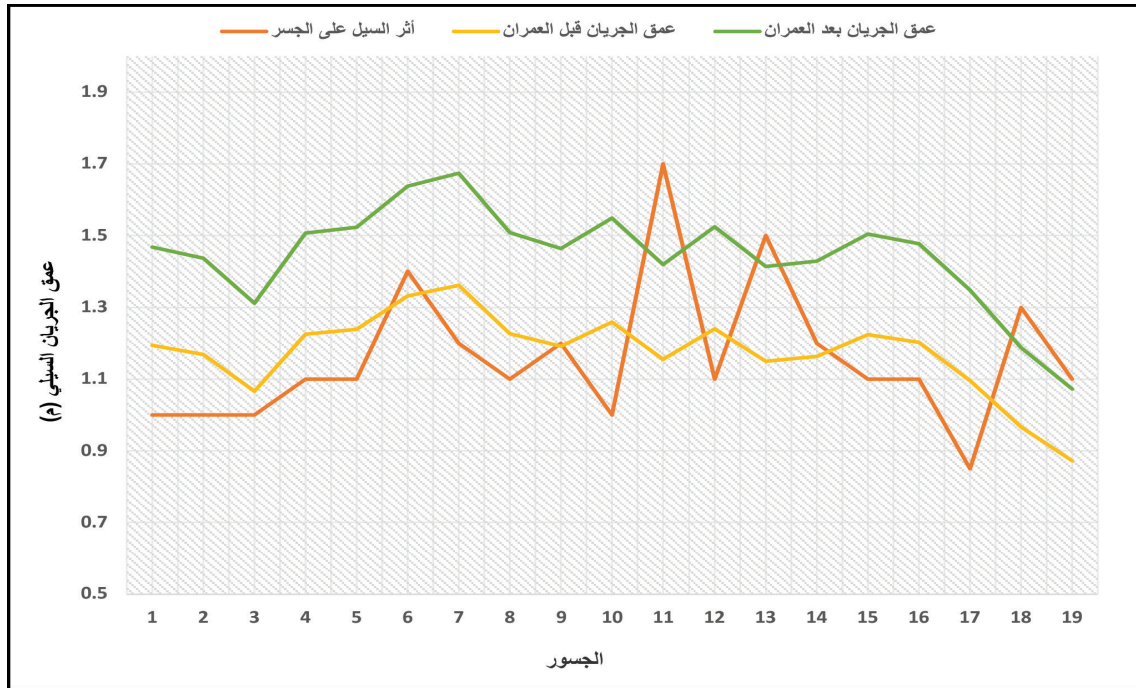
جدول (٢٤) متوسط ذروة التصريف للعواصف المختارة

العاصفة	كمية المطر عند زمن ذروة التصريف (م)	ذروة التصريف (م/٣م) قبل العمران	ذروة التصريف (م/٣م) بعد العمران
أكتوبر ٢٠١٨	١٢,٢٠٤,٣١٤,٤	٧١١,٩	٨٨١,٤
يناير ٢٠١١	٨,٨٠٦,٧٤٧,٧	٥١٣,٧	٦٣٦,٠
نوفمبر ٢٠٠٩	٦,٤٣٦,٣١٥,٠	٣٧٥,٥	٤٦٤,٨
فبراير ٢٠١٠	٥,٦٢٢,٠٤٦,٩	٣٢٨,٠	٤٠٦,٠
أكتوبر ٢٠١٢	٥,٨٣٥,٧٧٨,٨	٣٤٠,٤	٤٢١,٥
يناير ٢٠٠٥	٤,١٦٦,٥٣٩,٥	٢٤٣,٠	٣٠٠,٩
ديسمبر ٢٠١٠	٢,٦٩٨,٩٨٩,١	١٥٧,٤	١٩٤,٩
أبريل ٢٠١٣	١,٧٨٨,٧٥٥,٩	١٠٤,٣	١٢٩,٢
المتوسط		٣٤٦,٨	٤٢٩,٤

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات مرئيات العواصف.

يقبل عن ٤٠ سم، بينما عند مصب الجسر ١٩ تكاد تتساوى القيم فأثر السيل سجل ١,١ م، أما عمق الجريان لمتوسط ذروة التصريف للعواصف المختارة فسجلت ١,٠٧ في الوضع الحالي لحوض وادي عرنة الأعلى، وسبب ذلك هو عرض صايفي المجري الذي يختلف من جسر إلى آخر (جدول: ٢٥).

١. متوسط العواصف المختارة: وبتحديد سرعة الجريان وهي ٢م/ث (البارودي ٢٠١٢)، فتقدر سعة (مساحة المقطع العرضي) للمجري المائي المفترض لاستيعاب ذروة التصريف ب ٢١٤,٧ م^٢. وهذا يتوقف على مساحة صايفي عرض المجري الأسفل وعمقه كما هو موضح في شكل (٢٩)، بسبب تغير عرض المجري الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى قبل كل جسر، ومن خلال معرفة صايفي عرض المجري الأسفل قبل كل جسر أمكننا تحديد عمق الجريان السيلي عند التسعة عشر جسراً، وذلك بقسمة مساحة المقطع العرضي (٢١٤,٧ م^٢) على صايفي عرض مجري الوادي لكل جسر. ويوضح شكل (٣٧) مدى تغير عمق الجريان السيلي من جسر إلى آخر، ونجد أن أعلى عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ٧ حيث يصل إلى ١,٦٧ م، بينما أخفض عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ١٩ ويصل إلى ١,٠٧ م. وهذه التقديرات تعد مقارنة إلى حد بعيد لارتفاع أثر سيل ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ للقياسات الميدانية التي تمت عند كل جسر، حيث تراوحت ما بين ٠,٩ م إلى ١,٧ م. وإضافة على ذلك فقد طبقنا هذه المنهجية السابقة على الوضع السابق لحوض وادي عرنة الأعلى (قبل العمران) بافتراض وجود الجسور التسعة عشر في تلك الحقبة الزمنية، والملاحظ أن الفرق بين أثر السيل وعمق الجريان عند مصب الجسر ١



شكل (٢٧) عمق الجريان السيلي لمتوسط العواصف المختارة عند الجسور التسعة عشر على المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات مرئيات العواصف المختارة.

جدول (٢٥) عمق الجريان السيلي عند الجسور التسعة عشر لمتوسط العواصف المختارة

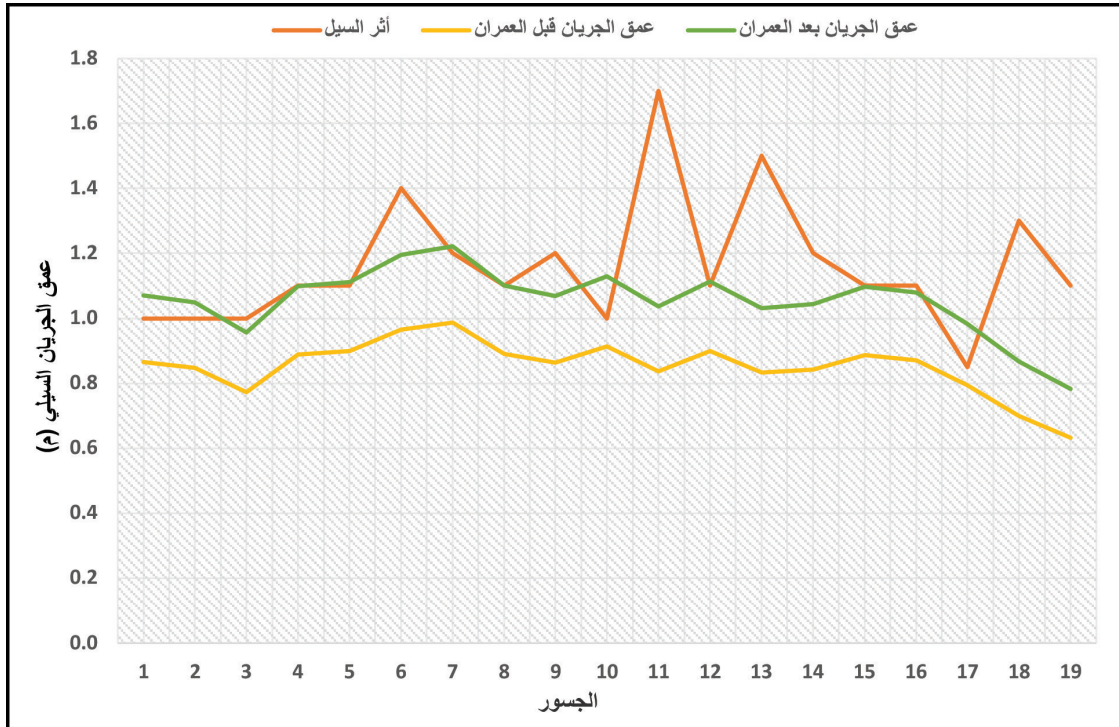
متوسط ذروة التصريف للعواصف		صايف عرض الوادي	عرض الوادي	أثر السيل على الجسر	ارتفاع الجسور	رقم الجسر
عمق الجريان بعد العمران	عمق الجريان قبل العمران					
١,٤٧	١,١٩	١٤٥,٣	١٥٣,٣	١,١٠	٢,٤	١
١,٤٤	١,١٧	١٤٨,٤	١٦١,٦	١,٠٠	١,٧	٢
١,٣١	١,٠٧	١٦٢,٦	١٧٢,١	١,٠٠	٣,١	٣
١,٥١	١,٢٣	١٤١,٥	١٤٧,٥	١,٤٥	٣,١	٤
١,٥٢	١,٢٤	١٣٩,٩	١٥١,٩	١,١٠	٨,٠	٥
١,٦٤	١,٣٣	١٣٠,٢	١٤٥,٦	١,٢٠	٣,٤	٦
١,٦٧	١,٣٦	١٢٧,٤	١٢٧,٠	١,٢٠	٣,٧	٧
١,٥١	١,٢٣	١٤١,٣	١٥٠,٤	١,٠٠	٢,٧	٨
١,٤٦	١,١٩	١٤٥,٦	١٥٤,٠	١,٢٠	٣,٨	٩
١,٥٥	١,٢٦	١٣٧,٧	١٥٥,٧	١,١٠	٢,٤	١٠
١,٤٢	١,١٥	١٥٠,٢	١٦٠,٢	١,١٠	٥,١	١١
١,٥٣	١,٢٤	١٣٩,٨	١٥٥,٢	١,١٠	٤,٠	١٢
١,٤١	١,١٥	١٥٠,٨	١٥٩,٢	١,٠٠	٥,٣	١٣
١,٤٣	١,١٦	١٤٩,١	١٥٧,٩	١,٠٠	٥,٢	١٤
١,٥٠	١,٢٢	١٤١,٧	١٥٨,٢	١,١٠	٤,٠	١٥
١,٤٨	١,٢٠	١٤٤,٢	١٥٣,٢	١,٠٠	٣,٣	١٦
١,٣٥	١,١٠	١٥٨,٢	١٧٣,٦	١,٠٠	٤,٠	١٧
١,١٩	٠,٩٧	١٧٩,٦	١٨٦,٦	١,١٥	٤,٠	١٨
١,٠٧	٠,٨٧	١٩٨,٨	٢١٠,٨	١,١٠	٤,٨	١٩

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات مرئيات العواصف المختارة.

٢. عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسر رقم ١ (كوبري الجامعة)

والجسر رقم ١٩ : وبتحديد سرعة الجريان وهي ٢م/ث (البارودي ٢٠١٢)، فتقدر سعة (مساحة المقطع العرضي) للمجرى المائي المفترض لاستيعاب ذروة التصريف ١٥٥,٦ م^٢، وهذا يتوقف على مساحة صايف عرض المجرى الأسفل وعمقه كما هو موضح في شكل (٢٩)، بسبب تغير عرض المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى قبل كل جسر، ومن خلال معرفة صايف عرض المجرى الأسفل قبل كل جسر أمكننا تحديد عمق الجريان السيلي عند التسعة عشر جسراً، وذلك بقسمة مساحة المقطع العرضي (١٥٥,٥ م^٢) على صايف عرض مجرى الوادي لكل جسر، ويوضح شكل (٢٨) مدى تغير عمق الجريان السيلي من جسر إلى آخر، فنجد أن أعلى عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ٧ يصل إلى ١,٢٢ م، بينما أخفض عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ١٩ يصل إلى ٠,٧٨ م، وهذه التقديرات تعتبر مقارنة لارتفاع أثر السيل للقياسات الميدانية التي تمت عند كل جسر، حيث تراوحت ما بين ١ م إلى ١,٧ م، مما يدل على أن دراسة الخصائص الهيدرولوجية باستخدام هذه المنهجية، اعتماداً على بيانات TRMM لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ قد قاربت بشكل كبير القياسات الميدانية،

وبالتالي عبرت عن خصائص الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى. وإضافة على ذلك فقد طبقنا هذه المنهجية السابقة على الوضع السابق لحوض وادي عرنة الأعلى (قبل العمران) بافتراض وجود الجسور التسعة عشر في تلك الحقبة الزمنية، فتبين لنا أن عمق الجريان ينخفض بنحو ٢٠ سم، وهذا يوضح مدى قوة تأثير استخدامات الأراضي على الجريان السيلي (جدول: ٢٦)، وهذا يؤكد أن دراسة الجريان السيلي باستخدام النموذج الهيدرولوجي المبني على نظم المعلومات الجغرافية، والذي بدوره يعتمد على التوزيع المكاني للخصائص الهيدرولوجية المستخلصة من نموذج الارتفاع الرقمي كطول الجريان، واتجاه الجريان، وتجمع الجريان، وباستخدام بيانات المرئيات التي تحتوي على وحدات خلوية كل وحدة تحمل قيمة لكميات هطول الأمطار، وبتكامل هذه المرئيات مع الخصائص الهيدرولوجية أنتجت خرائط رقمية تحتوي على نطاقات زمنية بمساحات محددة يمكن قياسها وتحديد أبعادها، وقياس كميات الهطول عليها، ومن ثم تحديد معاملات الجريان السيلي، فأصبح بالإمكان بناء منحني هيدروجرافي لتحديد كميات الجريان السيلي بحسب النطاق الزمني، ومن ثم تحديد حجم الجريان وقيمة ذروة التصريف (شكل: ٣٩).



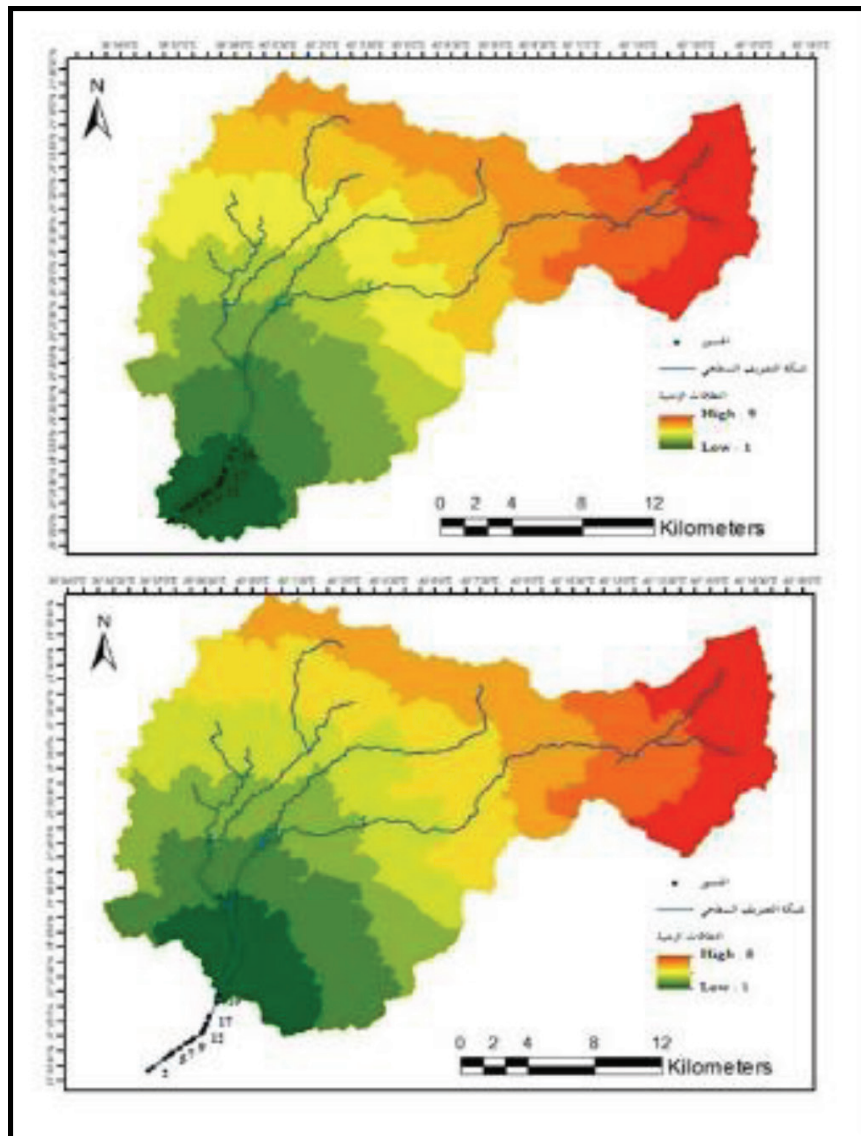
شكل (٢٨) عمق الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ عند الجسور التسعة عشر على المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات مرئية لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨.

جدول (٢٦) عمق الجريان السيلي عند الجسور التسعة عشر لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨

عاصفة ٢٤ أكتوبر عند الجسر (١) و (١٩)		صايفي عرض الوادي	عرض الوادي	أثر السيل على الجسر	ارتفاع الجسور	رقم الجسر
عمق الجريان بعد العمران	عمق الجريان قبل العمران					
١,١	٠,٩	١٤٥,٣	١٥٣,٣	١,١٠	٢,٤	١
١,٠	٠,٨	١٤٨,٤	١٦١,٦	١,٠٠	١,٧	٢
١,٠	٠,٨	١٦٢,٦	١٧٢,١	١,٠٠	٣,١	٣
١,١	٠,٩	١٤١,٥	١٤٧,٥	١,٤٥	٣,١	٤
١,١	٠,٩	١٣٩,٩	١٥١,٩	١,١٠	٨,٠	٥
١,٢	١,٠	١٣٠,٢	١٤٥,٦	١,٢٠	٣,٤	٦
١,٢	١,٠	١٢٧,٤	١٣٧,٠	١,٢٠	٣,٧	٧
١,١	٠,٩	١٤١,٣	١٥٠,٤	١,٠٠	٢,٧	٨
١,١	٠,٩	١٤٥,٦	١٥٤,٠	١,٢٠	٣,٨	٩
١,١	٠,٩	١٣٧,٧	١٥٥,٧	١,١٠	٢,٤	١٠
١,٠	٠,٨	١٥٠,٢	١٦٠,٢	١,١٠	٥,١	١١
١,١	٠,٩	١٣٩,٨	١٥٥,٢	١,١٠	٤,٠	١٢
١,٠	٠,٨	١٥٠,٨	١٥٩,٢	١,٠٠	٥,٣	١٣
١,٠	٠,٨	١٤٩,١	١٥٧,٩	١,٠٠	٥,٢	١٤
١,١	٠,٩	١٤١,٧	١٥٨,٢	١,١٠	٤,٠	١٥
١,١	٠,٩	١٤٤,٢	١٥٣,٢	١,٠٠	٣,٣	١٦
١,٠	٠,٨	١٥٨,٢	١٧٣,٦	١,٠٠	٤,٠	١٧
٠,٩	٠,٧	١٧٩,٦	١٨٦,٦	١,١٥	٤,٠	١٨
٠,٨	٠,٦	١٩٨,٨	٢١٠,٨	١,١٠	٤,٨	١٩

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات مرئية عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨.



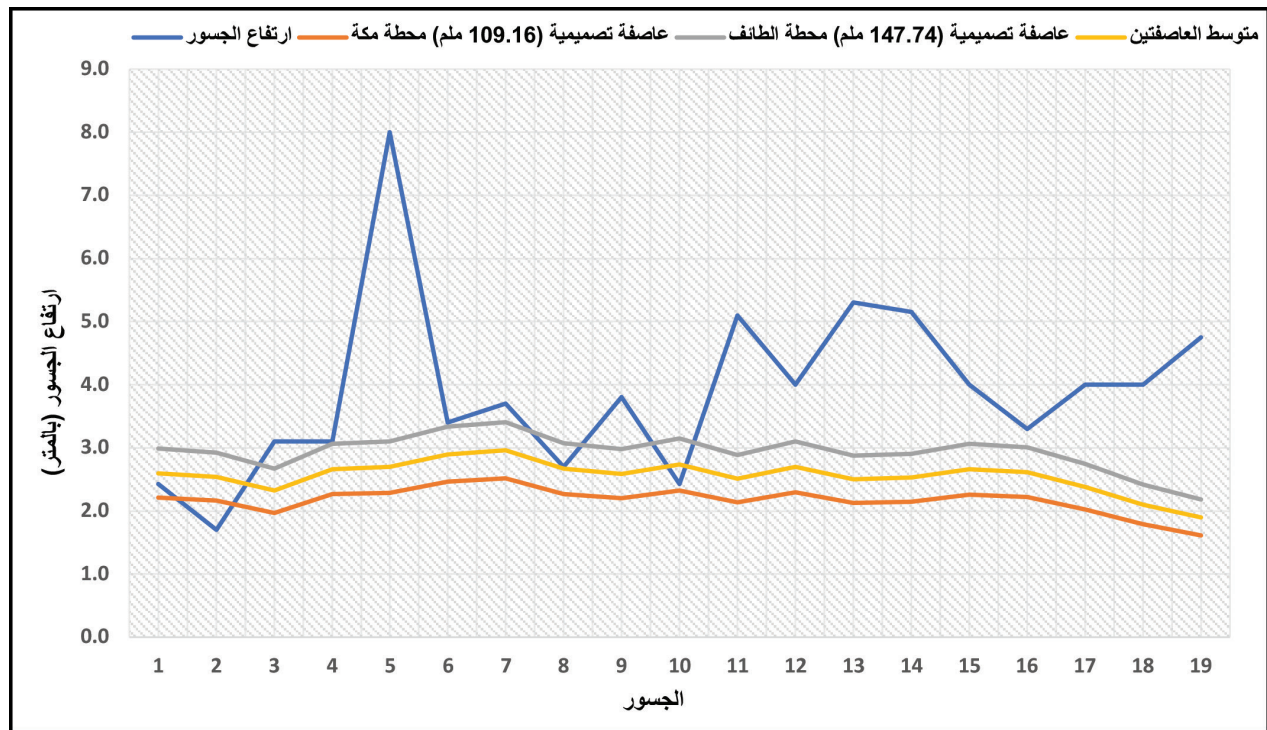
شكل (٢٩) النطاقات الزمنية بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسر رقم ١ والجسر رقم ١٩
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5m

تحديد عمق الجريان السيلي عند التسعة عشر جسراً، وذلك بقسمة مساحة المقطع العرضي (٥، ٢٢٠م) على صافي عرض مجرى الوادي لكل جسر، ويوضح شكل (٤٠) مدى تغير عمق الجريان السيلي من جسر إلى آخر، فأعلى عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ٧ يصل إلى ٢، ٥٢ م، بينما أخفض عمق للجريان السيلي عند الجسر رقم ١٩ يصل إلى ١، ٦١ م، وبمتوسط عام لعمق الجريان يصل إلى ٢، ١٧ م، كما يتبين لنا أن الجريان السيلي عند الجسر رقم ٢ سوف يرتفع فوق الجسر بنحو نصف متر؛ أي أنه يشكل كارثة على الجسر رقم ٢. أما العاصفة الثانية، فبياناتها مبنية على محطة الطائف المناخية، وتصل كمية المطر إلى ١٤٧، ٧٤ ملم، وذروة تصريف تقدر بنحو ٦، ٨٦٧ م^٣/ث، وعلى هذا فتقدر سعة (مساحة

٣. عاصفة تصويمية لفترة رجوع ١٠٠ عام: حدد عمق الجريان السيلي بالمجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى على أساس عاصفتين تصميميتين لفترة رجوع مئة عام، العاصفة الأولى، مبنية على بيانات محطة مكة المكرمة المناخية بمقدار كمية مطر تصل إلى ١٠٩، ١٦ ملم، ومن بيانات هذه العاصفة اتضح أن ذروة التصريف وصلت إلى ٦٤١ م^٣/ث في الوضع الحالي للحوض، فتقدر سعة (مساحة المقطع العرضي) للمجرى المائي المفترض لاستيعاب ذروة التصريف بـ ٢٢٠، ٥ م، وهذا يتوقف على مساحة صافي عرض المجرى الأسفل وعمقه كما هو موضح في شكل (٢٩)، بسبب تغير عرض المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى قبل كل جسر، ومن خلال معرفة صافي عرض المجرى الأسفل قبل كل جسر أمكننا

السييلي بالمجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، كذلك إذا أخذنا متوسط مساحة المقطع العرضي للعاصفتين، الذي يساوي ١٥، ٣٧٧ م^٢، وقسمناها على صافي عرض الوادي لكل جسر، فسوف يتراوح عمق الجريان السييلي من أعلى عمق عند الجسر رقم ٧ بمقدار ٩، ٢ م، وأخفض عمق جريان عند الجسر رقم ١٩ بمقدار ٩، ١ م، ومتوسط عام ٢، ٥٦ م، بينما الجسور المتضررة من هذه العاصفة تكون مطابقة للجسور المتضررة من العاصفة التصميمية المبنية على بيانات محطة الطائف باختلاف قيم عمق الجريان السييلي عند كل جسر (جدول: ٢٧).

المقطع العرضي) للمجرى المائي المفترض لاستيعاب ذروة التصريف ٨، ٢٤٣٣ م^٣، وهذا يتوقف على مساحة صافي عرض المجرى الأسفل وعمقه كما هو موضح في شكل (٢٩)، بسبب تغير عرض المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى قبل كل جسر، ومن خلال معرفة صافي عرض المجرى الأسفل قبل كل جسر أمكننا تحديد عمق الجريان السييلي عند التسعة عشر جسراً، وذلك بقسمة مساحة المقطع العرضي (٨، ٢٤٣٣ م^٣) على صافي عرض مجرى الوادي لكل جسر. ويوضح شكل (٤٠) مدى تغير عمق الجريان السييلي من جسر إلى آخر، فأعلى عمق للجريان السييلي عند الجسر رقم ٧ يصل إلى ٨، ٤١ م، بينما أخفض عمق للجريان السييلي عند الجسر رقم ١٩ يصل إلى ٢، ١٨ م، وبمتوسط عام لعمق الجريان يصل إلى ٢، ٩٤ م، وفي هذه العاصفة التصميمية سوف يرتفع الجريان السييلي فوق الجسر رقم ١ بمقدار ٥٩ سم، والجسر رقم ٢ بمقدار ٢٢، ١ م، والجسر رقم ٨ بمقدار ٣٧ سم، والجسر رقم ١٠ بمقدار ٧٥ سم. ونلاحظ من هذا أنه عند زيادة كمية المطر، ازداد عدد الجسور التي سوف تتضرر من الجريان



شكل (٤٠) عمق الجريان السييلي لعاصفتين تصميميتين لفترة رجوع مئة عام عند الجسور التسعة عشر على المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات العاصفتين التصميميتين.

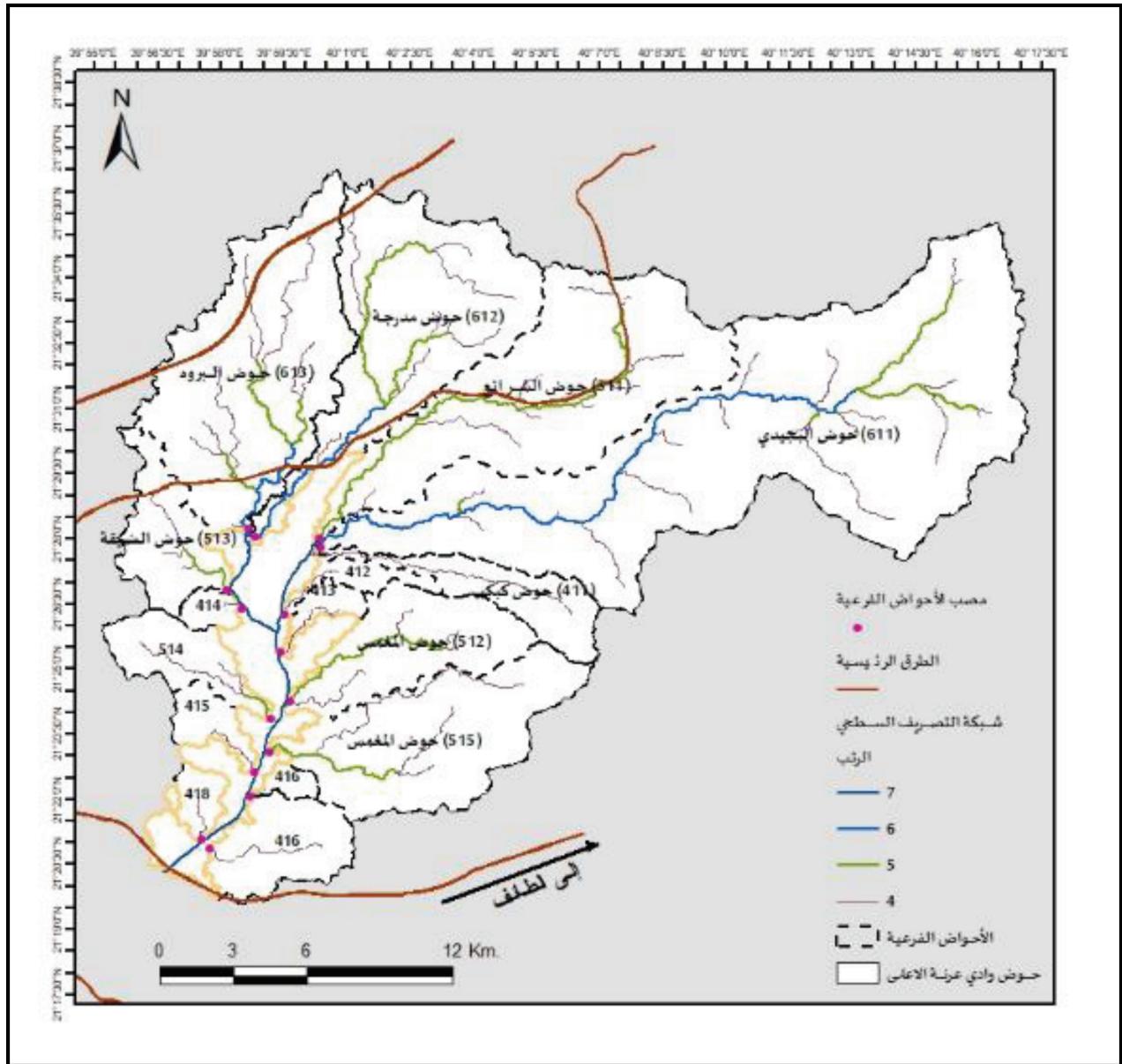
جدول (٢٧) عمق الجريان السيلي عند الجسور التسعة عشر للعاصفتين التصميميتين

متوسط العاصفتين		عاصفة تصميمية (١٤٧,٧٤ ملم) محطة الطائف	عاصفة تصميمية (١٠٩,١٦ ملم) محطة مكة	رقم الجسر	ارتفاع الجسور	عرض الوادي	صايف عرض الوادي	عمق الجريان بعد العمران	عمق الجريان بعد العمران	عمق الجريان بعد العمران
٢,٦٠	٢,٩٩	٢,٢١	١٤٥,٣	١	٢,٤	١٥٣,٣	١٤٥,٣	٢,٢١	٢,٩٩	٢,٦٠
٢,٥٤	٢,٩٢	٢,١٦	١٤٨,٤	٢	١,٧	١٦١,٦	١٤٨,٤	٢,١٦	٢,٩٢	٢,٥٤
٢,٣٢	٢,٦٧	١,٩٧	١٦٢,٦	٣	٣,١	١٧٢,١	١٦٢,٦	١,٩٧	٢,٦٧	٢,٣٢
٢,٦٦	٣,٠٧	٢,٢٦	١٤١,٥	٤	٣,١	١٤٧,٥	١٤١,٥	٢,٢٦	٣,٠٧	٢,٦٦
٢,٧٠	٣,١٠	٢,٢٩	١٣٩,٩	٥	٨,٠	١٥١,٩	١٣٩,٩	٢,٢٩	٣,١٠	٢,٧٠
٢,٩٠	٣,٣٣	٢,٤٦	١٣٠,٢	٦	٣,٤	١٤٥,٦	١٣٠,٢	٢,٤٦	٣,٣٣	٢,٩٠
٢,٩٦	٣,٤١	٢,٥٢	١٢٧,٤	٧	٣,٧	١٣٧,٠	١٢٧,٤	٢,٥٢	٣,٤١	٢,٩٦
٢,٦٧	٣,٠٧	٢,٢٧	١٤١,٣	٨	٢,٧	١٥٠,٤	١٤١,٣	٢,٢٧	٣,٠٧	٢,٦٧
٢,٥٩	٢,٩٨	٢,٢٠	١٤٥,٦	٩	٣,٨	١٥٤,٠	١٤٥,٦	٢,٢٠	٢,٩٨	٢,٥٩
٢,٧٤	٣,١٥	٢,٣٣	١٣٧,٧	١٠	٢,٤	١٥٥,٧	١٣٧,٧	٢,٣٣	٣,١٥	٢,٧٤
٢,٥١	٢,٨٩	٢,١٣	١٥٠,٢	١١	٥,١	١٦٠,٢	١٥٠,٢	٢,١٣	٢,٨٩	٢,٥١
٢,٧٠	٣,١٠	٢,٢٩	١٣٩,٨	١٢	٤,٠	١٥٥,٢	١٣٩,٨	٢,٢٩	٣,١٠	٢,٧٠
٢,٥٠	٢,٨٨	٢,١٣	١٥٠,٨	١٣	٥,٣	١٥٩,٢	١٥٠,٨	٢,١٣	٢,٨٨	٢,٥٠
٢,٥٣	٢,٩١	٢,١٥	١٤٩,١	١٤	٥,٢	١٥٧,٩	١٤٩,١	٢,١٥	٢,٩١	٢,٥٣
٢,٦٦	٣,٠٦	٢,٢٦	١٤١,٧	١٥	٤,٠	١٥٨,٢	١٤١,٧	٢,٢٦	٣,٠٦	٢,٦٦
٢,٦١	٣,٠١	٢,٢٢	١٤٤,٢	١٦	٣,٣	١٥٣,٢	١٤٤,٢	٢,٢٢	٣,٠١	٢,٦١
٢,٣٨	٢,٧٤	٢,٠٣	١٥٨,٢	١٧	٤,٠	١٧٣,٦	١٥٨,٢	٢,٠٣	٢,٧٤	٢,٣٨
٢,١٠	٢,٤٢	١,٧٨	١٧٩,٦	١٨	٤,٠	١٨٦,٦	١٧٩,٦	١,٧٨	٢,٤٢	٢,١٠
١,٩٠	٢,١٨	١,٦١	١٩٨,٨	١٩	٤,٨	٢١٠,٨	١٩٨,٨	١,٦١	٢,١٨	١,٩٠

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات العاصفتين التصميميتين.

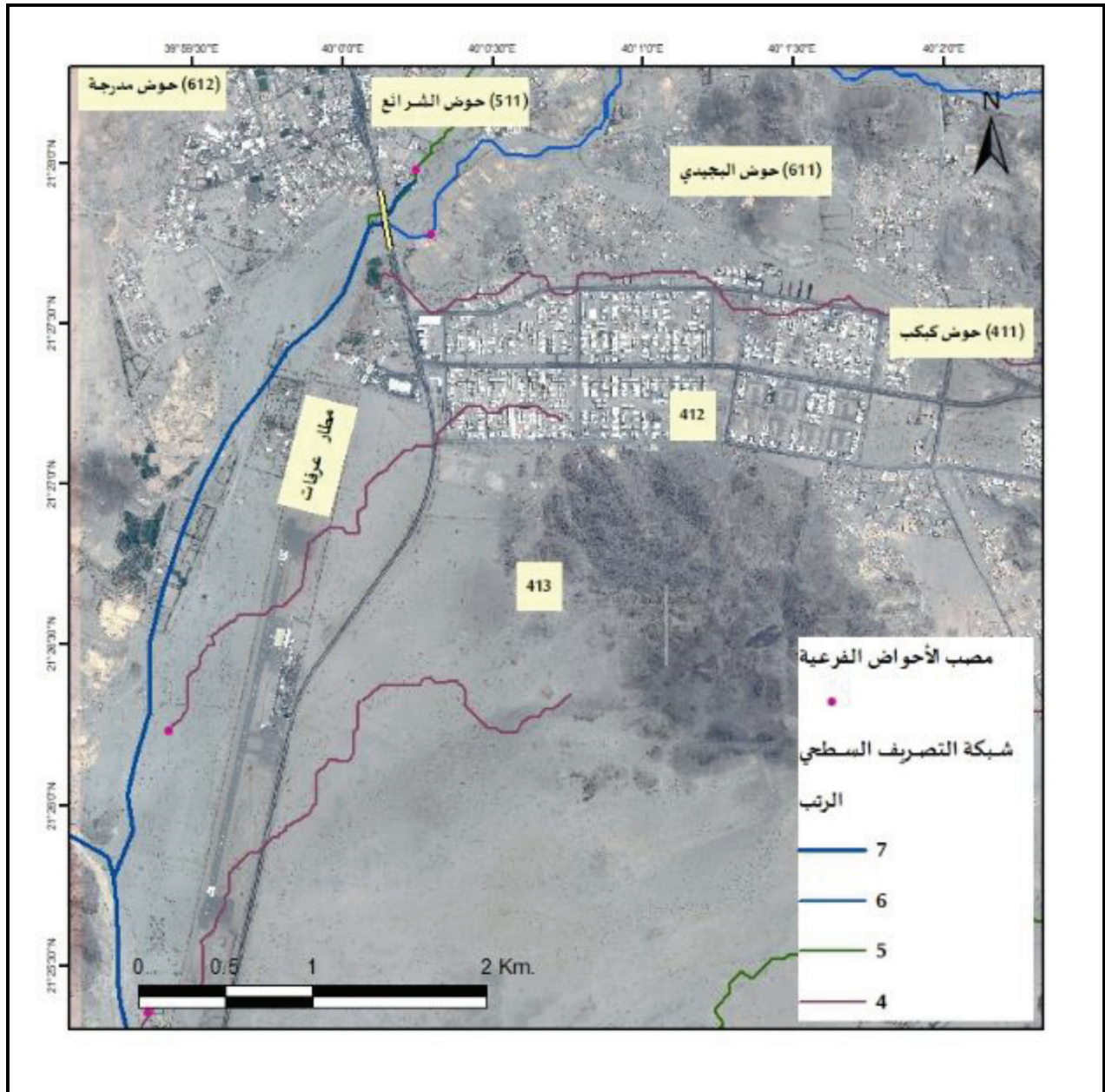
أن هذا الجزء من المنطقة الأولى (من عند مصبي حوض البجيدي، وحوض الشرائع حتى نهاية الفرع الشمالي الشرقي عند الوادي الرئيسي) تحتاج لمشاريع حكومية تخفف من آثار الجريان السيلي على المنطقة. أما في منطقة الفرع الشمالي الغربي، فهناك تداير قائمة للتخفيف من آثار السيول على هذا الجزء، ومنها القناة الصناعية البديلة المشيدة لتصريف مياه الجريان السيلي الوافدة من حوض وادي مدرجة، ويوضح شكل (٤٣) موقع القناة، وتبدأ من طريق السيل شمال مدينة الملك عبد العزيز الرياضية بالشرائع، وتسير بمحاذاة شمال شرق حي الراشدية بشكل مائل إلى الجنوب الغربي حتى نهاية حي الراشدية مقابل جبل الطارقي، وعند هذه النقطة يلتقى معها مجرى حوض وادي الضيقة، وهي قناة صناعية تعد بديلاً للقناة الطبيعية التي كانت تخترق حي الراشدية، وتشكل تهديداً على استخدامات الأراضي داخل الحي بجريان السيلي.

١.٩.٦: تقييم السيول بحوض وادي عرنة الأعلى: يشمل حوض وادي عرنة الأعلى على ثلاث مناطق رئيسية، المنطقة الأولى تضم الفرع الشمالي الشرقي، والفرع الشمالي الغربي للحوض، والمنطقة الثانية هي منطقة التقاء الفرع الشمالي الشرقي مع الفرع الشمالي الغربي في وادي رئيسي بوسط حوض وادي عرنة الأعلى، والمنطقة الثالثة هي المجرى الأسفل من الوادي المدعم بجوائط مائلة من الخرسانة. ويوضح شكل (٤١)، المنطقة الأولى التي تضم في شمالها وشمالي شرقها، حوض وادي البجيدي، وحوض وادي الشرائع، ويصب كلاً من الحوضين عند مصبين محاذيين لبعض في وسط حوض وادي عرنة الأعلى، ومن عند مصبي حوض وادي البجيدي وحوض الشرائع حتى التقائهما بالوادي الرئيسي يبلغ طول هذا الفرع الشمالي الشرقي مسافة ٤ كم، وخلال هذا المسافة يرفد الفرع الشمالي الشرقي أحواض من الرتبة الخامسة والرابعة مثل حوض وادي كبكب، أما في الشمال والشمال الغربي فهناك حوض وادي مدرجة، وحوض وادي البرود، اللذان لهما مصبان متجاوران، ومن عند المصبين يتكون الفرع الشمالي الغربي الذي يصب في الوادي الرئيسي في وسط حوض وادي عرنة الأعلى، وطوله ٥ كم. كما أن هناك عدة روافد لهذا الفرع مثل حوض الضيقة (شكل: ٤١)، وتشغل هذه الأحواض نحو ثلث مساحة حوض وادي عرنة الأعلى، ويشكل تلاصق مخارج المياه لهذه الأحواض الأربعة فرصة لتجمع أكبر لمياه الجريان السيلي في أوقات متقاربة، مما يجعل كميات تجمع المياه تزداد في الفرع الشمالي الشرقي والشمالي الغربي للوادي، وتصل في أوقات متقاربة للوادي الرئيسي في وسط حوض وادي عرنة الأعلى. ومن خلال شكل (٤٢) فالتقاء الجريان السيلي لحوض وادي البجيدي وحوض وادي الشرائع أثناء الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ يحدث عند تقاطع الفرع الشمالي مع طريق مشعر عرفات - الشرائع المجهز بعبارات مياه السيول، والشكل يوضح أثر الجريان السيلي النشط الذي شغل المقطع العرضي للفرع الشمالي الشرقي، كذلك يرى من الشكل (٤٢) مستتعات المياه خلف السد والعبارات، وهذا يؤكد قوة الجريان السيلي للعاصفة، والجدير بالذكر أن حوض كبكب وهو حوض صغير مقارنة بحوض البجيدي أو حوض الشرائع، مع ذلك فهو يملك القدرة على إنتاج جريان سيلي قوي باستطاعته تهديد المنشآت الحيوية واستخدامات الأراضي داخل حوض وادي عرنة الأعلى. ولهذا يمكننا أن نستنتج



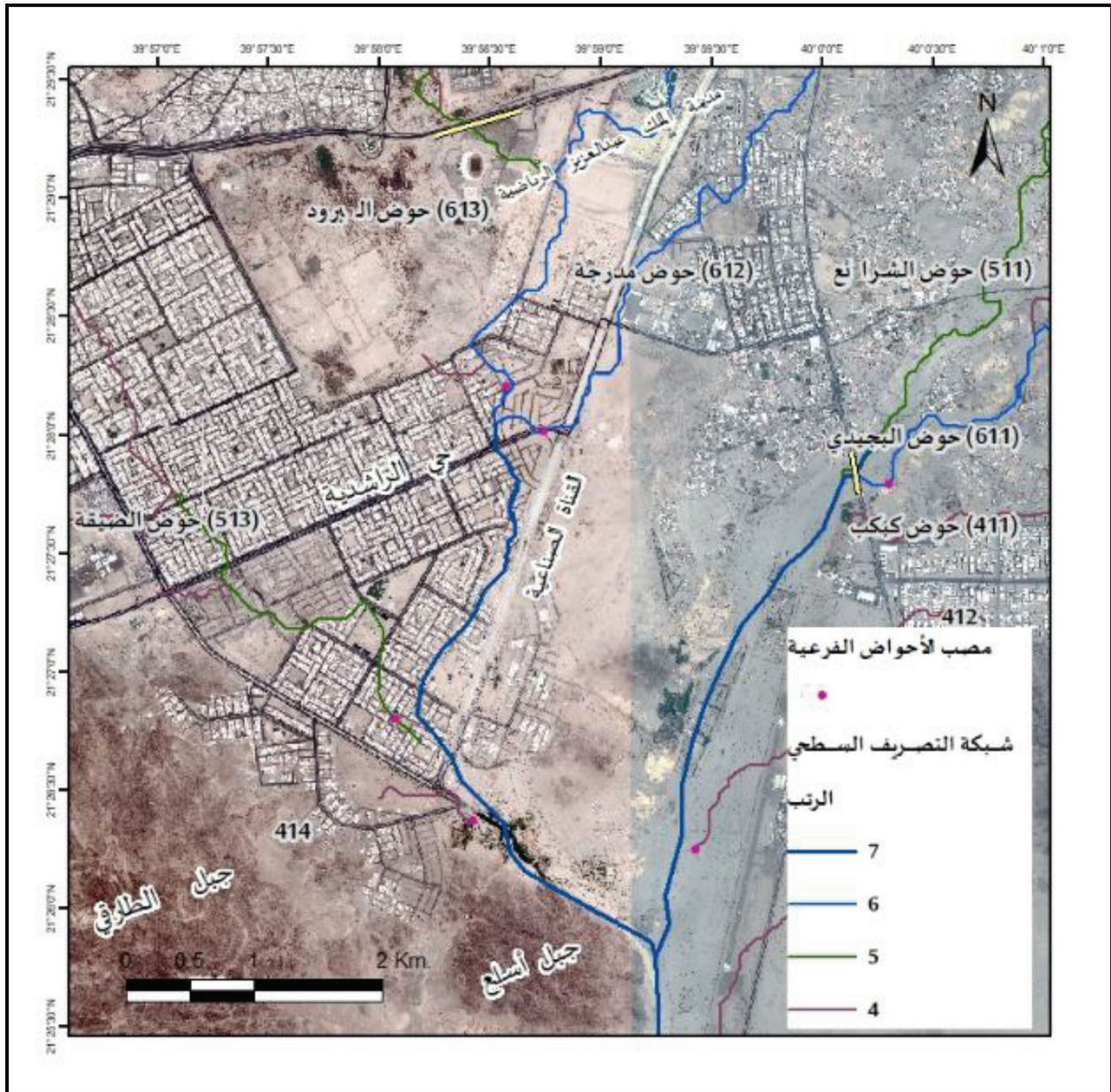
شكل (٤١) أحواض التصريف الفرعية بحوض وادي عرنة الأعلى وعلاقتها المكانية بالوادي الرئيس ومناطقه الثلاثة

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5



شكل (٤٢) التقاء مصبي وادي البجيدي ووادي الشرائع لبيدأ الفرع الشمالي الشرقي من الوادي الرئيسي

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5



شكل (٤٢) التقاء مصبي وادي البرود ووادي مدرجة لتكوين الفرع الشمالي الغربي، واستبداله بالقناة الصناعية

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات DEM 12.5

٢.٩.٦: كفاءة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى والجسور ١٩ لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨:

كان عمق الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، يتراوح ما بين ٠,٧٨ م إلى ١,٢٢ م وبمتوسط ١,٠٥ م على طول قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، ومن خلال القياسات الميدانية وجدنا أن ارتفاع حواجز قناة المجرى الأسفل عند الجسر رقم ١٩ تصل إلى ٤ م، وارتفاع الحاجز الخرساني عند الجسر رقم ١ إلى ٢,٨٥ م، ولهذا نجد أن سعة قناة المجرى استطاعت استيعاب الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، باستثناء المنطقة التي خلف وبعد الجسر رقم ٢ على يسار قناة المجرى الأسفل قبل الجسر رقم ١ (شكل: ٤٤)، والسبب في ذلك انعدام الحواجز الإسمنتية على الجوانب في ذلك الجزء من المجرى، بالإضافة إلى انخفاض ارتفاع الجسر رقم ٢ (١,٧ م)، وبما أن عمق الجريان السيلي المقدر من العاصفة يصل إلى ١,٠٥ م، آثار السيل المرصودة من القياس الميداني ١ م، نشاهد أن هذه القيم لعمق الجريان السيلي تقل عن ارتفاع الجسر المقاس ميدانياً، فنستنتج أن الجسر رقم ٢، يملك القدرة على استيعاب الجريان السيلي من عاصفة أكتوبر ٢٠١٨، إلا أن هذه القيم لعمق الجريان السيلي المقدر من خلال منحني التصريف وقياس أبعاد قناة المجرى الأسفل مرهونة بدقة البيانات المدخلة في تقدير عمق الجريان السيلي، فمن الممكن أن تزيد أو تنقص هذه القيم إذا أدخلت بيانات أخرى للنموذج الهيدرولوجي المبني على نظم المعلومات الجغرافية المستخدم في الدراسة، وبما أن الفارق بين القيمة المقدر لعمق الجريان السيلي في النموذج لا تكاد تذكر على جسر رقم ٢، فإن الفارق بين قيم عمق الجريان السيلي للجسور الأخرى، وآثار السيل المرصودة من الميدان قد ترتفع (جدول: ٢٨)، ويرجع السبب في ذلك إلى قيمة آثار السيل المقاسة من الميدان تختلف من موقع إلى آخر تحت الجسر، ومن محور إلى محور آخر في الجسر نفسه، كما تختلف مناسيب بطن المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى من موقع إلى آخر، وكذلك تختلف من محور إلى آخر تحت الجسر نفسه (شكل: ٤٥)، بالإضافة إلى اختلاف عدد المحاور تحت الجسر، وعدد الأعمدة في كل محور، فعلى سبيل المثال، فالجسر رقم ٢ يصل عدد محاوره إلى ٢٢ محوراً، مما يجعلها تعمل مصدات وعوائق للجريان السيلي، وأيضاً لا ننسى الحواجز الخرسانية التي تضعها بعض الجهات الحكومية

بعد ذلك يندمج الفرع الشمالي الشرقي الطبيعي بالفرع الشمالي الغربي الصناعي شرق جبل أسلع وغرب منطقة المغمس في الوادي الرئيسي لحوض وادي عرنة الأعلى مما يشكل المنطقة الثانية، وتستقبل هذه المنطقة أكبر كميات الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى قبل مشعر عرفات؛ أي أنه يستقبل مياه الجريان السيلي لنحو ٧٠٪ من مساحة حوض وادي عرنة الأعلى الإجمالية، وذلك قبل حساب أحواض التصريف لمنطقة المغمس وروافدها من الشرق، بالإضافة إلى أحد أودية جبل الطارقي وجبل الأحذب بالغرب، فبحساب كميات الجريان السيلي لهذه الأودية تصل نسبة التصريف للجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى إلى أكبر من ٨٥٪ من مساحة الحوض الإجمالية، وهذا يفسر ازدياد عرض الوادي الرئيسي، نتيجة لكمية مياه الجريان السيلي المستقبل من الأحواض العليا بحوض وادي عرنة الأعلى، وذلك قبل دخوله المجرى الأسفل المدعم بالحواجز الإسمنتية في المنطقة الثالثة.

المنطقة الثالثة تمثل المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى والذي يصل طوله إلى ما يزيد عن ٦,٤ كم، ويبدأ هذا المجرى الأسفل من نهاية منطقة المغمس وبداية حدود مشعر عرفات في الشمال ويستمر حتى جسر رقم ١ (كوبري الجامعة) على طريق مكة - الهدا بالجنوب الغربي لمشعر عرفات، ويحيط بقناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى حواجز خرسانية، أما عرض القناة فتارة يتسع في مواقع ويضيق في مواقع أخرى، كذلك يتقاطع مع القناة تسعة عشر جسراً معظمها للمركبات والقلّة للمشاة وذلك لتيسير نقل الحجاج من وإلى مشعر عرفات خلال أشهر الحج، وقد شرحت تفاصيل خصائص الجسور، وخصائص الجريان السيلي في القناة سابقاً لعدة عواصف مختلفة، ولعاصفتين تصميميتين لفترة رجوع مئة عام، ولكن في هذا الجزء من الدراسة نستعرض مدى كفاءة هذا المجرى الأسفل لاستيعاب خصائص الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ والعاصفتين التصميميتين لفترة رجوع مئة عام.

٢. عند طرح عمق الجريان لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، من ارتفاعات الجسور التسعة عشر (جدول ٢٨)، نجد أن بعض الجسور تنخفض ارتفاعاتها إلى أقل من مترين، مثل الجسر رقم ٢ (٠,٦٥ م)، والجسر رقم ١٠ (١,٢٠ م)، والجسر رقم ١ (١,٣٦ م) والجسر رقم ٨ (١,٦٠ م).
٣. الناتج من ذلك أن الجسر رقم ٢ مخاطر الجريان السيلي عليه قد تكون كبيرة أو مؤثرة في حالة مطرية مشابه لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وأيضاً حالة الجسور ١، و٨، و١٠، لا بد من أخذها بالاعتبار.

تحت الجسور لمنع التهريب في فترة الحج، ومن ثم تظل هذه الحواجز موجودة طول السنة ولا تزال، فتؤثر في عملية الجريان السيلي، وتؤدي أيضاً إلى تراكم المياه (شكل: ٤٦)، بالإضافة إلى عامل آخر ينطبق على الجسر رقم ٢، وبقيّة الجسور على قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، وهو وجود استخدامات للأراضي داخل القناة مثل غرف مبنية قديمة، وغرف محولات الكهرباء، وغرف تفتيش بارزة، وأيضاً بعض الغطاء النباتي الكثيف في أنحاء القناة. ويوضح شكل (٤٧) مدى كفاءة الجسور لاستيعاب عمق الجريان السيلي المصاحب لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، مع عدة نقاط:
١. يعتبر الجسر رقم ٢، أقل الجسور ارتفاعاً (١,٧٠ م)، بينما الجسر رقم ١٣ (٥,٣٠ م) وبمعدل ٣,٧ م للجسور الثمانية عشر، يستثنى من ذلك جسر رقم ٥ (قطار المشاعر) لارتفاعه ٨ م.

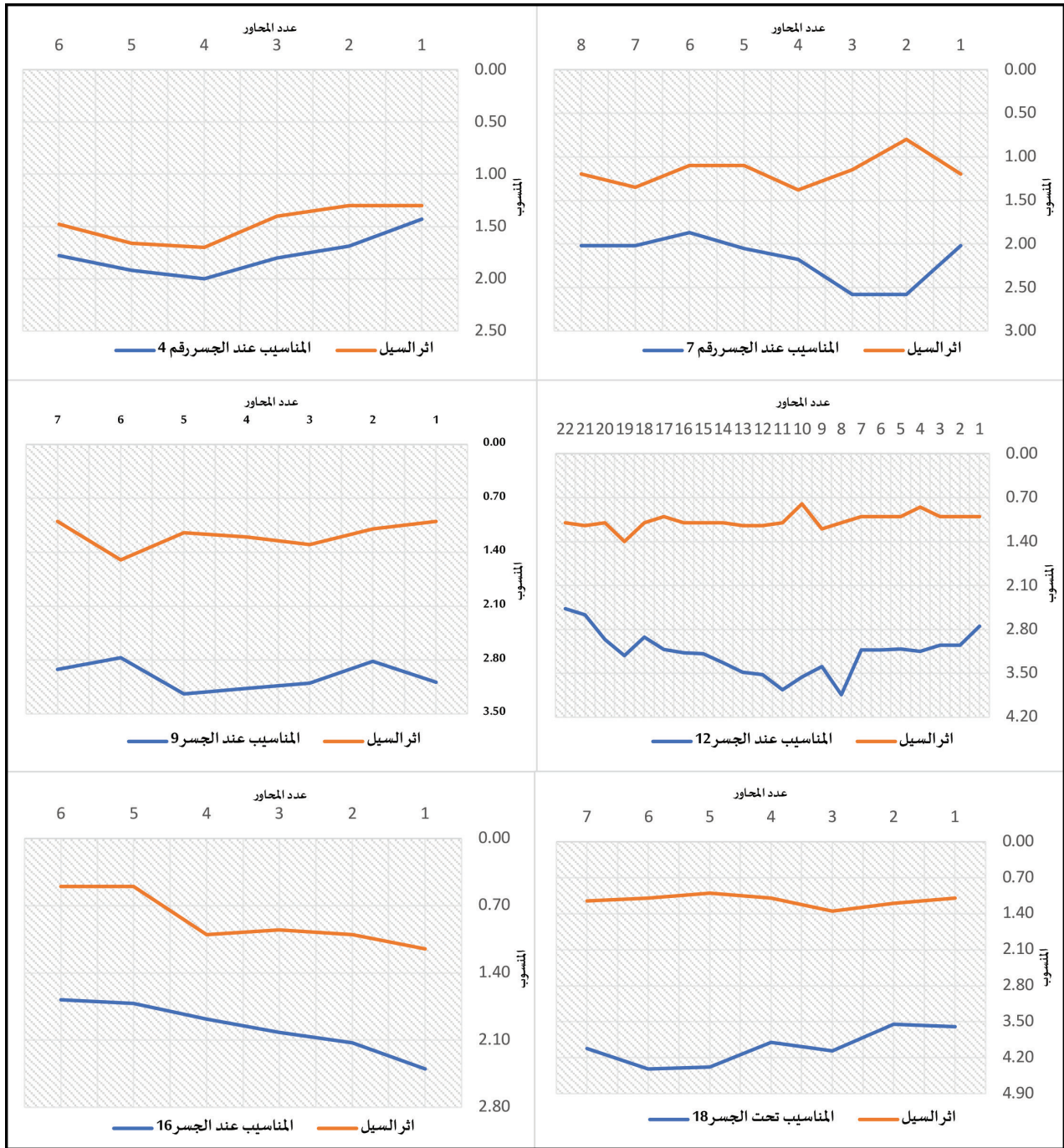


شكل (٤٤) الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨ في المنطقة (جسر رقم ٢) التي لا يوجد بها حواجز إسمنتية على جوانب المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى قبل جسر رقم ١
المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على (Google earth pro)

جدول (٢٨) خصائص الجسور الخاصة بالجريان السيلي وعمق الجريان لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨،
والعاصفتين التصميميتين لفترة رجوع ١٠٠ عام

ارتفاع الجسر المتبقي من العاصفة التصميمية (محطة الطائف)	ارتفاع الجسر المتبقي من العاصفة التصميمية (محطة مكة)	ارتفاع الجسر المتبقي من عمق الجريان لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨	عمق الجريان لعاصفة تصميمية محطة الطائف	عمق الجريان لعاصفة تصميمية (محطة مكة)	عمق الجريان عاصفة (٢٤ أكتوبر ٢٠١٨)	أثر السيل (م)	ارتفاع الجسر (م)	صافي عرض الوادي	الجسر
٠,٥٦-	٠,٢٢	١,٣٦	٢,٩٩	٢,٢١	١,٠٧	١,١٠	٢,٤٣	١٤٥,٢٥	١
١,٢٢-	٠,٤٦-	٠,٦٥	٢,٩٢	٢,١٦	١,٠٥	١,٠٠	١,٧٠	١٤٨,٤٠	٢
٠,٤٣	١,١٣	٢,١٤	٢,٦٧	١,٩٧	٠,٩٦	١,٠٠	٣,١٠	١٦٢,٦٢	٣
٠,٠٣	٠,٨٤	٢,٠٠	٣,٠٧	٢,٢٦	١,١٠	١,٤٥	٣,١٠	١٤١,٥٢	٤
٤,٩٠	٥,٧١	٦,٨٩	٣,١٠	٢,٢٩	١,١١	١,١٠	٨,٠٠	١٣٩,٩١	٥
٠,٠٧	٠,٩٤	٢,٢٠	٣,٣٣	٢,٤٦	١,٢٠	١,٢٠	٣,٤٠	١٣٠,١٧	٦
٠,٢٩	١,١٨	٢,٤٨	٣,٤١	٢,٥٢	١,٢٢	١,٢٠	٣,٧٠	١٢٧,٣٦	٧
٠,٣٧-	٠,٤٣	١,٦٠	٣,٠٧	٢,٢٧	١,١٠	١,٠٠	٢,٧٠	١٤١,٣١	٨
٠,٨٢	١,٦٠	٢,٧٣	٢,٩٨	٢,٢٠	١,٠٧	١,٢٠	٣,٨٠	١٤٥,٦٠	٩
٠,٧٢-	٠,١٠	١,٣٠	٣,١٥	٢,٣٣	١,١٣	١,١٠	٢,٤٣	١٣٧,٧٠	١٠
٢,٢١	٢,٩٧	٤,٠٦	٢,٨٩	٢,١٣	١,٠٤	١,١٠	٥,١٠	١٥٠,١٨	١١
٠,٩٠	١,٧١	٢,٨٩	٣,١٠	٢,٢٩	١,١١	١,١٠	٤,٠٠	١٣٩,٧٨	١٢
٢,٤٢	٣,١٧	٤,٢٧	٢,٨٨	٢,١٣	١,٠٣	١,٠٠	٥,٣٠	١٥٠,٨١	١٣
٢,٢٤	٣,٠٠	٤,١١	٢,٩١	٢,١٥	١,٠٤	١,٠٠	٥,١٥	١٤٩,١٤	١٤
٠,٩٤	١,٧٤	٢,٩٠	٣,٠٦	٢,٢٦	١,١٠	١,١٠	٤,٠٠	١٤١,٧٣	١٥
٠,٢٩	١,٠٨	٢,٢٢	٣,٠١	٢,٢٢	١,٠٨	١,٠٠	٣,٣٠	١٤٤,٢٤	١٦
١,٢٦	١,٩٧	٣,٠٢	٢,٧٤	٢,٠٣	٠,٩٨	١,٠٠	٤,٠٠	١٥٨,٢٤	١٧
١,٥٨	٢,٢٢	٣,١٣	٢,٤٢	١,٧٨	٠,٨٧	١,١٥	٤,٠٠	١٧٩,٥٧	١٨
٢,٥٧	٣,١٤	٣,٩٧	٢,١٨	١,٦١	٠,٧٨	١,١٠	٤,٧٥	١٩٨,٧٨	١٩

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات العواصف



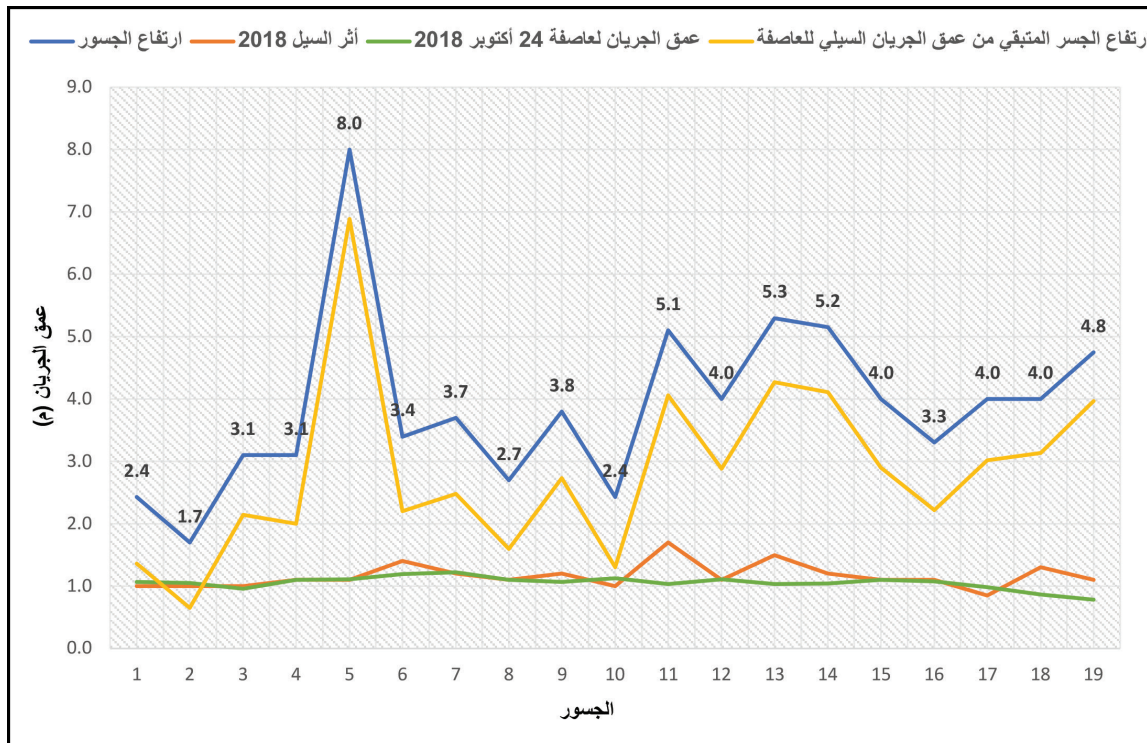
شكل (٤٥) اختلاف مناسيب بطن المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى عند الجسور

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية



شكل (٤٦) صور توضح بعض الإرسابات، والمصدات، والعوائق المختلفة تحت وحول الجسور

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على التصوير الفوتوغرافي في منطقة الدراسة



شكل (٤٧) عمق الجريان السيلي لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وارتفاع أثر السيل، وارتفاع الجسور، المتبقي من ارتفاع الجسور بعد خصم عمق الجريان للعاصفة

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات مرئية عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨

الارتفاع عند الجسر رقم ١، كما تنعدم الحواجز في منطقة ما قبل الجسر رقم ٢ وما بعده، أما فيما يخص الجسور المقامة على القناة فقد لوحظ الآتي:

١. عند طرح عمق الجريان للعاصفة التصميمية لمحطة مكة المكرمة، من ارتفاعات الجسور التسعة عشر (شكل: ٤٨)، فإن الجسر رقم ٢ سوف تغمره مياه الجريان السيلي، بينما الجسور ١٠، ١١، ٨، ٤، ٦، ١٦، ٣، ٧، تنخفض ارتفاعاتها إلى أقل من متر ونصف، والناتج من ذلك أن الجسر رقم ٢ غمرته المياه، والجسور السابقة في حالة خطر شديدة نتيجة لحالة مطرية تصميمية بكمية مطر تفوق ١٠٠ ملم.

٢. عند طرح عمق الجريان للعاصفة التصميمية لمحطة الطائف، من ارتفاعات الجسور التسعة عشر (شكل: ٤٨)، نجد أن عدة جسور سوف تغمرها مياه الجريان السيلي وهي ٢، ١٠، ١، ٨، ٤، بينما الجسور ٦، ١٦، ٧، ٣، ٩، ١٢، ١٥، ١٧، تنخفض ارتفاعاتها إلى أقل من متر ونصف، والناتج من ذلك أن الجسر رقم ٢ غمرته المياه، والجسور السابقة في حالة خطر شديدة جداً، نتيجة لحالة مطرية تصميمية بكمية مطر تفوق ١٤٨ ملم.

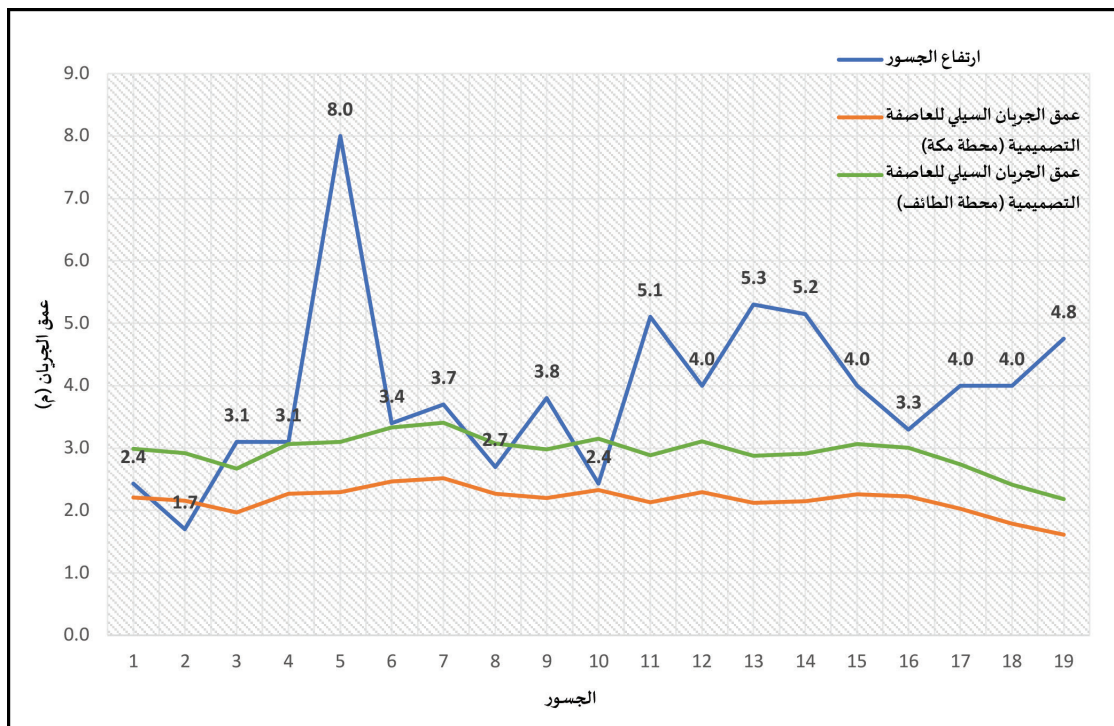
٣,٩,٦: كفاءة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى والجسور ١٩ في حالة عاصفة تصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام:

عُملت عاصفتان تصميميتان لفترة رجوع مئة عام، لحوض وادي عرنة الأعلى، الأولى مبنية على بيانات محطة مكة المكرمة بكمية مطر تصل إلى ١٠٩,١٦ ملم، والثانية مبنية على بيانات محطة الطائف بكمية مطر تصل إلى ١٤٧,٧٤ ملم، ولهذا سوف نستعرض عمق الجريان عند العاصفتين التصميميتين، ففي حالة العاصفة التصميمية لمحطة مكة المكرمة، فأعلى عمق للجريان يصل إلى ٢,٥٢ م عند الجسر رقم ٧، بينما أن أخفض عمق يصل إلى ١,٥٠ م عند الجسر ١٩، وبمتوسط عام يصل إلى ٢,١٧، أما في حالة العاصفة التصميمية لمحطة الطائف، فأعلى عمق للجريان السيلي يصل إلى ٣,٤١ م عند الجسر رقم ٧، بينما أن أخفض عمق للجريان السيلي يصل إلى ٢,١٨ م عند الجسر رقم ١٩، وبمتوسط عام يصل إلى ٢,٩٤ م (جدول: ٢٨)، ومن هنا فإن الحواجز الإسمنتية المقامة على جانبي المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، يجب أن تقاس بشكل دقيق، وأن تكون على كامل جوانب القناة إلى ما بعد الجسر رقم ١ بارتفاع ٤ م، وهذا موجود على الواقع ولكن ليس على كامل القناة إذ يقل

التي غطت أنحاء حوض وادي عرنة الأعلى، ومتوسط كمية الجريان السيلي من البيانات الشهرية للعواصف المختارة، وهذا يدل على قوة هذه العاصفة التي من الممكن أن تحدث في المستقبل، ومن خلال تطبيق النموذج الهيدرولوجي المبني على نظم المعلومات الجغرافية على العاصفتين التصميميتين لفترة رجوع ١٠٠ عام، نجد أن قيمة الجريان السيلي قد ارتفعت إلى ٢٧،١٩٦،١٨٥،٣١ م^٣، اعتماداً على بيانات محطة مكة المكرمة المناخية، و٦٤،٤٦٣،٦٨٧،٥١ م^٣، اعتماداً على بيانات محطة الطائف المناخية، وعلى ضوء هذه التقديرات، فيجب الاهتمام بعمل دراسات تفصيلية لوضع إستراتيجيات فعالة لإدارة الحصاد المائي بحوض وادي عرنة الأعلى، إذ لا بد من توفر دراسات تفصيلية لبنية وتركيب الصخور في الأحواض الفرعية داخل الحوض، ودراسات تفصيلية عن الكسور والصدوع والفوالق التي لها تأثير على مسارات المياه في داخل الصخور، وتتدخل في تحديد شكل الخزانات الجوفية بالأحواض الفرعية بحوض وادي عرنة الأعلى، بالإضافة إلى دراسات عن الخزانات الجوفية في الرواسب الفيضية في بطون الأودية الرئيسية، وأخيراً دراسات تقييم المواقع ومعرفة الأفضل لإنشاء السدود على الأودية الرئيسية للأحواض الفرعية لحوض وادي عرنة الأعلى.

٤.٩.٦: الموارد المائية بحوض وادي عرنة الأعلى:

تعد كميات الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى وأحواضه الفرعية مصدراً مهماً للموارد المائية العذبة، التي من الممكن استغلالها في الإسهام بتطوير عجلة التنمية داخل الحوض، فعوضاً عن اعتبارها مصدراً لمخاطر السيول فقط، على استخدامات الأراضي والمرافق الحيوية داخل الحوض، فيمكن عمل دراسات تفصيلية في كيفية تطوير الحصاد المائي في داخل حوض وادي عرنة الأعلى، ومن خلال النمذجة الهيدرولوجية التي طبقت على البيانات الشهرية للعواصف المختارة أو البيانات اليومية لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨. ويوضح جدول (٢٩) كميات المطر الإجمالية التي سقطت على الحوض، وكميات الجريان السيلي الإجمالية في الوضع الحالي للحوض عند معامل الجريان المحسوب ٥٢٪، إذ إن أعلى كمية جريان سيلي بالنسبة للبيانات الشهرية كان لعاصفة أكتوبر ٢٠١٨ بمقدار ٥١،٤٠٩،٧٨٥،٣٧ م^٣ وأقل جريان سيلي في نفس فئة البيانات كان لعاصفة أبريل ٢٠١٣ بمقدار ٦،١٧٢،١٨٦،٧٠ م^٣، وبمتوسط عام للجريان السيلي لبيانات العواصف الشهرية ١٨،٤٠٧،٥٤٤،٧٥ م^٣، أما على مستوى البيانات اليومية لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، فكانت كمية الجريان السيلي تساوي ١٤،٧٢٥،٠١٦،٨٠ م^٣، ونلاحظ أن الفارق قليل بين كمية الجريان السيلي لهذه العاصفة الاستثنائية



شكل (٤٨) عمق الجريان السيلي للعاصفتين التصميميتين لبيانات محطة مكة المناخية، ومحطة الطائف المناخية المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياس من (Google Earth Pro)، والقياس الميداني، وبيانات العاصفتين التصميميتين.

جدول (٢٩) كمية المطر وإجمالي الجريان السيلبي للعواصف المختارة للدراسة، والعاصفتين التصميميتين

العاصفة	نوع البيانات	كمية المطر الإجمالي (م٣)	حجم التصريف الإجمالي (م٣)
عاصفة يناير ٢٠٠٥	شهري	٢٤،٤٦٠،١٧٩،٧١	١٢،٧١٩،٢٩٣،٤٥
عاصفة نوفمبر ٢٠٠٩	شهري	٤١،٠٤٥،٩٠٩،٠٣	٢١،٣٤٣،٨٧٢،٧٠
عاصفة فبراير ٢٠١٠	شهري	٣٦،٠٤٤،٠٣٨،٧١	١٨،٧٤٢،٩٠٠،١٣
عاصفة ديسمبر ٢٠١٠	شهري	١٧،٠١٦،٧٦٥،٢٧	٨،٨٤٨،٧١٧،٩٤
عاصفة يناير ٢٠١١	شهري	٤٦،٨١٨،١٣٥،٢٨	٢٤،٣٤٥،٤٣٠،٣٥
عاصفة أكتوبر ٢٠١٢	شهري	٣٣،٢٧٤،١٢٩،٣٤	١٧،٣٠٢،٥٤٧،٢٦
عاصفة أبريل ٢٠١٣	شهري	١١،٨٦٩،٥٨٩،٨٠	٦،١٧٢،١٨٦،٧٠
عاصفة أكتوبر ٢٠١٨	شهري	٧٢،٦٦٤،٢٤٩،٠٦	٣٧،٧٨٥،٤٠٩،٥١
عاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨	يومية	٢٨،٣١٧،٣٤٠،٠٠	١٤،٧٢٥،٠١٦،٨٠
العاصفة التصميمية (١٠٩، ١٦) محطة مكة	تصميمية	٥٩،٩٧١،٥٣١،٣٠	٣١،١٨٥،١٩٦،٢٧
العاصفة التصميمية (١٤٧، ٧٤) محطة الطائف	تصميمية	٩٩،٣٩٨،٩٦٨،٥٤	٥١،٦٨٧،٤٦٣،٦٤

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات TRMM للعواصف

٧. النتائج:

من أهم النتائج التي توصلت لها هذه الدراسة:

١. اتضح أن عملية تحسين الدقة المكانية لبيانات TRMM للعواصف المطيرة الشهرية، باستخدام طريقة (GWR) تحتاج إلى عدد أكبر من المحطات المناخية الموجودة في المملكة العربية السعودية، لإيجاد ارتباط وعلاقة وتحقق المعايرة بين المحطات المناخية وبيانات TRMM للعواصف المطيرة على مستوى مساحة المملكة العربية السعودية كاملة.
٢. تحسين بيانات TRMM للعواصف المطيرة الشهرية، باستخدام طريقة الإحصاء النطاقي، عن طريق المقارنة المباشرة، أو طريقة أخذ المتوسط للقيم من محيط لمنطقة التغطية للمحطة المناخية، وقد اتضحت قوة الارتباط والعلاقة بين بيانات المحطات المناخية، وبيانات TRMM للعواصف المطيرة الشهرية المختارة، التي يصل متوسط معامل الارتباط لبيانات العواصف المطيرة إلى أكثر من ٧٠٪.
٣. من خلال دراسة بيانات العواصف المختارة، تبين أن التوزيع المكاني للعاصفة داخل حوض وادي عرنة الأعلى يختلف من عاصفة إلى أخرى، فمناطق تركيز العاصفة تارة تكون في شمالي الحوض في عاصفة، أو جنوبيه في عاصفة أخرى، وهكذا، فبيانات TRMM للعواصف المختارة موزعة جغرافياً على الحوض، بحيث يمكن تتبع مناطق شدة وقلة التساقط داخل حوض وادي عرنة الأعلى.

وقد اتضح لنا أن استخدام النماذج الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية لدراسة الجريان السطحي بحوض وادي عرنة الأعلى، والتي تعتمد بدورها على التوزيع المكاني للسعات الهيدرولوجية مثل طول الجريان السطحي واتجاه الجريان، وتحديد تجمع الجريان المستخرجة من نماذج الارتفاعات الرقمية، وباستخدام بيانات مرثيات TRMM التي تتميز بقيم هطول الأمطار بها بالتوزيع الجغرافي لكل وحدة خلوية، ومن خلال الجمع بين هذه المرثيات والخصائص الهيدرولوجية، وإنشاء خرائط رقمية تحتوي على نطاقات زمنية محددة يمكن قياسها وتحديد أبعادها، وقياس كميات الأمطار، ومن ثم تحديد كميات الجريان السيلبي من خلال تحديد معاملات الجريان المبنية على قياسات أنواع المكونات المورفولوجية بحوض وادي عرنة الأعلى، أصبح بالإمكان بناء منحى هيدرولوجي لتحديد كميات الجريان السيلبي حسب النطاق الزمني، ومن ثم تحديد حجم الجريان السيلبي وقيمة ذروة التصريف، ومنها يحسب عمق الجريان السيلبي. ومن خلال معرفة عمق الجريان السيلبي ومقارنته بآثار السيول الموجودة على الجسور التسعة عشر التي قيست خصائصها ميدانياً، يمكن قياس كفاءة قناة المجرى الأسفل لحوض وادي عرنة الأعلى، بالإضافة لتحديد كميات الموارد المائية داخل الحوض التي على أساسها توضع خطط فعالة لإدارة الحصاد المائي بالحوض.

تشكل عائقاً أمام الجريان السيلي.

١٠. ظهر أن كفاءة قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى يمكن أن تتعرض للمخاطر والكوارث المادية، بافتراض هطول أمطار من عاصفة تصميمية لفترة رجوع ١٠٠ عام، بكمية مطر تتجاوز ١١٠ ملم.

١١. تبين أن متوسط إجمالي كميات الجريان السيلي من بيانات العواصف المطيرة المختارة للدراسة بحوض وادي عرنة الأعلى يصل إلى ١٨,٤٠٧,٥٤٥ م^٣، وهي كمية ضخمة يمكن الاستفادة منها موارد مائية بحوض وادي عرنة الأعلى.

١٢. إدارة الحصاد المائي بحوض وادي عرنة الأعلى يعتمد على كميات المياه العذبة في الحوض، والتي تم تقديرها من خلال بيانات العواصف المطيرة المختارة للكمية الإجمالية للجريان السيلي، والتي على أساسها يمكن عمل دراسات تفصيلية للحصاد المائي، ووضع إستراتيجيات وخطط للحفاظ على مياه الجريان السيلي.

٧.١: التوصيات:

اتضح من دراسة الخصائص الهيدرولوجية، ومن ثم تقييم خصائص الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى من خلال النمذجة الهيدرولوجية للحوض في هذه الدراسة، نجد أن حوض وادي عرنة الأعلى يعد مصدراً جيداً للمياه العذبة، بالإضافة إلى ذلك فمخاطر كوارث السيول محتملة على استخدامات الأراضي داخل الحوض، وعلى هذا نشير إلى جملة من التوصيات التي يمكن أن تساعد في إجراءات التخفيف من مخاطر الجريان السيلي، وكذلك في وضع إستراتيجيات مناسبة للحصاد المائي، وهي على النحو التالي:

١. إنشاء شبكة كبيرة من المحطات المطرية أو المناخية في جميع أنحاء حوض وادي عرنة الأعلى لقياس كميات الهطول، وإنشاء محطات هيدرولوجية عند مصبات الأحواض الفرعية، لأخذ القياسات الهيدرولوجية المتعلقة بسرعة وارتفاع الجريان السيلي المتدفقة في أوقات متقاربة إلى قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، بالإضافة إلى فائدتها في تحقيق ومعايرة بيانات مرئيات الأقمار الصناعية الخاصة ببيانات الأمطار، وتعظيم قاعدة البيانات المطرية الحالية للدراسات المناخية والهيدرولوجية المستقبلية.

٢. عمل دراسات تفصيلية باستخدام بيانات نماذج الارتفاع الرقمي مع بيانات الأقمار الصناعية المحسنة والمعايرة

٤. من خلال دراسة بيانات العواصف المختارة، تبين أن قيم هطول الأمطار لكل عاصفة تختلف عن الأخرى من حيث أقل قيمة للمطر، وأعلى قيمة للمطر، مما يؤثر على قيم المتوسط لكل عاصفة، وهذا يؤكد أن درجة شدة التساقط تختلف من عاصفة إلى أخرى، فكلما كانت قيمة المتوسط مرتفعة، دل ذلك على قوة العاصفة المطرية.

٥. من خلال تكامل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية، وبيانات TRMM للعواصف المختارة، حددت النطاقات الزمنية للعواصف، والتي من خلالها يمكن تحديد الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى ذروة التصريف، ورأينا أن كل عاصفة يختلف نطاقها الزمني في الوصول إلى ذروة التصريف، فمثلاً هناك عواصف تصل إلى ذروة التصريف بعد ثلاث ساعات من بدء العاصفة، وعواصف أخرى بعد خمس ساعات وهكذا، وتكمن أهمية ذروة التصريف والنطاق الزمني لها في أنها القيمة التي على أساسها يحدد عمق الجريان السيلي.

٦. تبين أن تأثير الخصائص المورفولوجية بحوض وادي عرنة الأعلى كبير من حيث حساب معامل الجريان السيلي، إذ إن معامل الجريان السيلي قبل العمران (الوضع المبدئي) للحوض يصل إلى ٤٢٪، بينما ارتفع معامل الجريان السيلي إلى ٥٢٪ بعد التوسع العمراني (الوضع الحالي) في حوض وادي عرنة الأعلى.

٧. اتضح أن مصبات الأحواض الفرعية للأودية الأربعة الرئيسية (البجدي، والشرايع، ومدرجة، والبرود) كلها تتقارب، وملاصقة لبعضها البعض، مما يشكل فرصة أكبر لتجمع الجريان السيلي في أوقات متقاربة.

٨. تبين أن منطقة وسط حوض وادي عرنة الأعلى تستقبل كمية الجريان السيلي لأكثر من ٨٥٪ من مساحة إجمالي الحوض، والتي تصب في قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى.

٩. تبين أن كفاءة قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، تعتمد على عدة عوامل وهي، الحواجز الإسمنتية على جوانب القناة والتي تختلف ارتفاعاتها من بداية القناة إلى نهايتها وتتراوح ما بين ٢,٨٠ م إلى ٤ م، والجسور التسعة عشر المقامة على طول امتداد القناة الذي يصل إلى أكثر من ٦ كم، واختلاف ارتفاعات الجسور التسعة عشر من أقل ارتفاع ١,٧٠ م إلى أعلى ارتفاع ٨ م، واستخدامات الأراضي داخل القناة، بالإضافة إلى المصادر والعوائق المختلفة التي

٨. الخاتمة:

في هذه الدراسة قدم نموذج هيدرولوجي مبني على نظم المعلومات الجغرافية تعتمد مدخلاته على ثلاثة أركان رئيسية، الركن الأول هو نماذج الارتفاعات الرقمية، والتي تستخرج منها الخصائص الهيدرولوجية مثل (طول الجريان، واتجاه الجريان، وتجمع الجريان)، ومع معرفة سرعة الجريان أمكننا تحديد النطاقات الزمنية بحوض وادي عرنة الأعلى، والركن الثاني هو الخصائص المورفولوجية مثل استخدامات الأراضي وأنواعها، والغطاء الأرضي وأنواعه، والتي من خلالها استخرجت معاملات الجريان بحوض وادي عرنة الأعلى قبل وبعد التوسع العمراني الضخم، والركن الثالث هو هطول الأمطار، وهنا استخدمت بيانات TRMM المحسنة والمعايرة من خلال المحطات المناخية في منطقة الدراسة، التي تتصف بتوزيعها الجغرافي على كامل الحوض، مقارنة بالمحطات المناخية أو المطرية التي تمثل المحيط الذي تقع به، ومن خلال كل هذه المدخلات وتكاملها مع بعض، جرى بناء النموذج الهيدرولوجي لإنتاج منحني وحدة الهيدروجراف، وإجمالي حجم التصريف لكل نطاق زمني، وإجمالي التصريف للنطاقات الزمنية، وكذلك معرفة ذروة التصريف للجريان السيلي وفي أي نطاق زمني، ومن هذه القياسات المنتجة من النموذج الهيدرولوجي، ومن القياسات الميدانية لبعض الخصائص الهندسية للجسور التسعة عشر الواقعة بقناة المجرى الأسفل للحوض، أمكن تحديد كفاءة قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى باستخدام بيانات لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، وعاصفتين تصميميتين، ومن خلال النموذج الهيدرولوجي تم معرفة حجم الموارد المائية وأهميتها في وضع الاستراتيجيات لإدارة الحصاد المائي بحوض وادي عرنة الأعلى بالاعتماد على بيانات لعدة عواصف مختارة. ومن خلال نتائج النموذج الهيدرولوجي المبني على نظم المعلومات الجغرافية المطبق على حوض وادي عرنة الأعلى، اتضح أن أهداف الدراسة المقترحة قد أنجزت وحققت بشكل جيد والحمد لله، وأن بيانات TRMM المحسنة والمعايرة يمكن الاعتماد عليها من خلال النموذج الهيدرولوجي في تقدير خصائص الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى، ومع معايرة ومقارنة قيم عمق الجريان الناتج من بيانات لعاصفة ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، ومع القياسات الميدانية لآثار السيل لآخر سيل في قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى

للأحواض الفرعية داخل حوض وادي عرنة الأعلى يمكن أن ترفع الدقة في تقديرات خصائص الجريان السيلي للأحواض الفرعية التي تشكل حوض وادي عرنة الأعلى الرئيسي.

٣. عمل دراسات تفصيلية تحليلية لمعاملات الجريان السيلي بحوض وادي عرنة الأعلى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتحديد قيم معاملات الجريان السيلي لكل من الغطاء الصخري والنباتي، واستخدامات الأراضي بشكل أكثر تفصيلاً، وذلك لتحديد قيمة معامل الجريان السيلي بدقة أكثر تعبير عن الواقع.

٤. إنشاء نظام إنذار مبكر في كل الأحياء العمرانية للتنبيه من العواصف المطيرة قبل حدوثها، لتفادي أخطارها على السكان والممتلكات.

٥. ينتج عن حوض وادي عرنة الأعلى عند حدوث المطر كميات ضخمة من الجريان السيلي، التي لا بد من وضع إستراتيجيات واضحة ومحكمة لإدارة الحصاد المائي داخل الحوض، وذلك عن طريق إجراء دراسات تفصيلية لتحديد المواقع الأمثل لحصاد المياه بالحوض.

٦. تتطلب كميات الجريان السيلي الضخمة القادمة من الأحواض الفرعية العليا التي تستقبلها المنطقة الواقعة من جنوب مطار مشعر عرفات إلى حدود بداية مشعر عرفات بجوار حوضي المغمس قبل دخول قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى إجراءات هندسية لرفع كفاءة إيصالها بسلاسة للقناة، والابتعاد عن التوسع العمراني داخل حوضي المغمس، لأنه يزيد من كميات الجريان السيلي في المنطقة.

٧. تكملة الحواجز الخرسانية في الجزء الأخير من قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى (ما بين الجسر الثالث باتجاه الجسر الأول).

٨. الصيانة الدورية لقناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى، بإزالة العوائق، والمصدات الخرسانية، واستخدامات الأراضي، ورواسب السيول من قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى لما لها من تأثير في إعاقه تصريف الجريان السيلي بسبب ضيق اتساع المقطع العرضي في بعض مناطق القناة، مما يشكل خطراً على الجسور المقامة على قناة المجرى الأسفل بحوض وادي عرنة الأعلى.

عمل (تأمين جامعة أم القرى من مخاطر السيول الفرص والتحديات) جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
- النضيعي، هيفاء. محمد. (٢٠١٠). تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

المراجع باللغة الإنجليزية:

- * **Abdelkarim, A., & Gaber, A. F.** (2019). Flood risk assessment of the Wadi Nu'man Basin, Mecca, Saudi Arabia (During the Period, 1988–2019) based on the integration of geomatics and hydraulic modeling: a case study. *Water*, 11(9), 1887.
- * **Al-Subai, K** (1992) Erosion-sedimentation and seismic considerations to dam sitting in the central Tihamat Asir region. Ph. D dissertation, Faculty of Earth Science, King Abdulaziz University, Saudi Arabia.
- * **Al-Subyani, A. M.** (2011). Hydrologic behavior and flood probability for selected arid basins in Makkah area, western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, V. (4), 817 – 824.
- * **Alwash, M.A. and Zakir, F.A.R.** (1992) Tectonic analysis of the Jeddah Taif area on the basis of LANDSAT satellite data. *Journal of African Earth Sciences (and The Middle East)*, 15: 293-301.
- * **Alwash, M.A., Zaidi, S.M.S. and Terhalle, U.** (1986). Description of arid geomorphic features using landsat-TM data and ground truth information (Wadi Fatima, Kingdom of Saudi Arabia). *Catena*, 13: 277-293.
- * **Brunsdon, C., Fotheringham, S., & Charlton, M.** (1998). Geographically weighted regression. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 47(3), 431-443.
- * **Chen, C., Zhao, S., Duan, Z., & Qin, Z.** (2015). An improved spatial downscaling pro-

في ٢٤ أكتوبر ٢٠١٨، على أعمدة الجسور التسعة عشر، تبين أن الفرق بين القيم لا يتجاوز ٢٠ سم بين عمق الجريان وأثر السيل، مما يدل على صحة ودقة النموذج وقربه من القياسات الميدانية، التي تعبر عن واقع السيل الذي حدث في تلك الفترة الزمنية.

المراجع:

المراجع باللغة العربية:

- أحمد، ب. ا. ي.، ومرزا، م. ن. (٢٠٠١). أحوال الطقس والمناخ في الشتاء بمكة المكرمة (الأولى، ص ١٨٠). المملكة العربية السعودية: معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج بجامعة أم القرى.
- أيديا بيركنز، (١٩٨٢). "خلاصة الأعمال المدنية - أيديا بيركنز آند ويل - ذو القعدة ١٤٠٨ هـ".
- البارودي، محمد. سعيد. (٢٠١٢). تقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأدنى لوادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد ٤٨.
- البسطويسي، محمد. عبد الغفار، وحبیب الله، تركي. محمد. (٢٠١٢). دمج بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية والرصد الميداني للسيول لتقدير المعاملات الهيدرولوجية بوادي عرنة بمنطقة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة. مجلة الملك عبد العزيز: علوم الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة، م ٢٤ ع ٢، ص ٤٩ - ٧٤.
- حسين، عبد العزيز عبد القادر (١٩٩٧). معجم المصطلحات الجيولوجية. مركز العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.
- حسين، مصر. للاستشارات. الهندسية. (٢٠١١). " UMM Al-Qura Flood Protection and Networks Design" صفر ١٤٢٢ هـ.
- الغامدي، سعد. أبو راس. (٢٠١٢). المخاطر المحتملة للسيول شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام تقنيتي الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية. مشروع بحثي مدعوم من معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي (رقم ٤٣١٠٦٠٠١).
- قطب، سعود، الوقداني، عبد الله، الفقي، عمرو، عويقة، حاتم. (٢٠١٠). دراسة درأ أخطار السيول عن الحرم الجامعي لجامعة أم القرى بالعابدية بمكة المكرمة، ورشة

E. F. (2007). The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology*, 8(1), 38-55.

***Hunink**, J. E., Immerzeel, W. W., & Droogers, P. (2014). A High-resolution Precipitation 2-step mapping Procedure (HiP2P): Development and application to a tropical mountainous area. *Remote Sensing of Environment*, 140, 179-188.

***Immerzeel**, W. W., Rutten, M. M., & Droogers, P. (2009). Spatial downscaling of TRMM precipitation using vegetative response on the Iberian Peninsula. *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 362-370.

***Jenson**, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.

***Jia**, S., Zhu, W., Lü, A., & Yan, T. (2011). A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. *Remote sensing of Environment*, 115(12), 3069-3079.

***Kawashima**, S., Ishida, T., Minomura, M., & Miwa, T. (2000). Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 39(9), 1570-1579.

***Kustas**, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C., & French, A. N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship. *Remote sensing of environment*, 85(4), 429-440.

***Langella**, G., Basile, A., Bonfante, A., & Terribile, F. (2010). High-resolution space-time rainfall analysis using integrated ANN inference systems. *Journal of hydrology*, 387(3-4), 328-342.

cedure for TRMM 3B43 precipitation product using geographically weighted regression. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(9), 4592-4604.

***Conway**, D. (2000). The climate and hydrology of the Upper Blue Nile River. *Geographical Journal*, 166(1), 49-62.

***Donahue**, W. F. (2013). Determining appropriate nutrient and sediment loading coefficients for modeling effects of changes in landuse and landcover in Alberta watersheds. *Water Matters*.

***Dawod**, G., Mirza, N. M., Al-Ghamdi, K. (2012). GIS-Based estimation of flood hazard impacts on road network in Makkah city, Saudi Arabia. *Environnemental Earth Sciences*, V. (67), 2205 – 2215.

***Fang**, J., Du, J., Xu, W., Shi, P., Li, M., & Ming, X. (2013). Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area. *Advances in Water Resources*, 61, 42-50.

***Farquharson**, K, Meigh R, Sutcliffe V (1992) Regional flood frequency analysis in arid and semi-arid areas. *J Hydrol* 138 (3–4):487–501

***Foody**, G. M., Ghoneim, E. M., & Arnell, N. W. (2004). Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. *Journal of Hydrology*, 292(1-4), 48-58.

***Fred E**, Mostafa B (2008) Flood risk modeling for holy sites in Makkah. In: Proceedings of the symposium on national GIS application in Saudi Arabia, Al-Kober City, Saudi Arabia.

***Gheith**, H., & Sultan, M. (2002). Construction of a hydrologic model for estimating Wadi runoff and groundwater recharge in the Eastern Desert, Egypt. *Journal of Hydrology*, 263(1-4), 36-55.

***Huffman**, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... & Stocker,

Remote Sensing, 7(9), 3845-3857.

***Powers**, R. W., Ramirez, L. F., Redmond, C. D., & Elberg, E. L. (1966). Geology of the Arabian Peninsula: (p. 147). United States Department of the Interior, Geological Survey.

***Quraishi**, A., Al-Hassoun, S. (1996). Use of Talbot formula for estimating peak discharge in Saudi Arabia. Journal of King Abdulaziz University-Engineering Sciences 8:73-85.

***Ramachandra**, T. V., Nagar, N., Vinay, S., & Aithal, B. H. (2014, September). Modelling hydrologic regime of Lakshmanatirtha watershed, Cauvery River. In 2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference-South Asia Satellite (GHTC-SAS) (pp. 64-71). IEEE.

***Tsutsumi**, A., Jinno, K., & Berndtsson, R. (2004). Surface and subsurface water balance estimation by the groundwater recharge model and a 3-D two-phase flow model/Estimation de bilan hydrologique de surface et de subsurface à l'aide de modèles de recharge de nappe et d'écoulement diphasique 3-D. Hydrological Sciences Journal, 49(2).

***Zhan**, W., Chen, Y., Zhou, J., Wang, J., Liu, W., Voogt, J., ... & Li, J. (2013). Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: Literature survey, taxonomy, issues, and caveats. Remote Sensing of Environment, 131, 119-139.

مواقع الإنترنت:

AED Design Requirements: Hydrology Studies - United States Army. (2011, February). Retrieved February 18, 2023, from

<https://www.tad.usace.army.mil/Portals/53/docs/TAA/AEDDesignRequirements/AED%20Design%20Requirements-%20Hydrology%20Studies_Feb-11.pdf>

***Li**, X. H., Zhang, Q., & Xu, C. Y. (2012). Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang Lake basin. Journal of Hydrology, 426, 28-38.

***MacRitchie**, K. (2017, July 6). README Document for the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) Version 7. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. Retrieved August 10, 2023, from https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/TRMM_L3/TRMM_3B43/doc/README.TRMM_V7.pdf.

***Merlin**, O., Al Bitar, A., Walker, J. P., & Kerr, Y. (2009). A sequential model for disaggregating near-surface soil moisture observations using multi-resolution thermal sensors. Remote Sensing of Environment, 113(10), 2275-2284.

***Moore**, T.A. and Al-Rehaili, M.H. (1989) Geologic Map of Makkah Quadrangle, Sheet 21D, Kingdom of Saudi Arabia: DGMR. Geoscience Map GM-107C, 1:250,000 Scale.

***Naumann**, G., Barbosa, P., Carrao, H., Singleton, A., & Vogt, J. (2012). Monitoring drought conditions and their uncertainties in Africa using TRMM data. Journal of Applied meteorology and Climatology, 51(10), 1867-1874.

***Nouh**, M. A. (1987). Analysis of rainfall in the south-west region of Saudi Arabia. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 83(1), 339-349.

***Orlanski**, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bulletin of the American Meteorological Society, 527-530.

***Piles**, M., Sánchez, N., Vall-llossera, M., Camps, A., Martínez-Fernández, J., Martínez, J., & González-Gambau, V. (2014). A downscaling approach for SMOS land observations: Evaluation of high-resolution soil moisture maps over the Iberian Peninsula. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Re-

