



توظيف تقنيّ الاستشعار عن بُعد ونُظم المعلومات الجغرافية  
لتقييم مخاطر السيول في الجزء الأعلى من حوض  
وادي إبراهيم (مكة المكرمة)

---

إبراهيم عبدالله قائد درويش

---

أستاذ مساعد

كلية الآداب

جامعة اب/اليمن

ibra.dr2000@gmail.com

## توظيف تقنيّ الاستشعار عن بُعد ونُظم المعلومات الجغرافية لتقييم مخاطر السيول في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم (مكة المكرمة)

إبراهيم عبدالله قائد درويش

### الملخص

تتمثل المشكلة في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم بمدينة مكة المكرمة في تغير أغطية الأرض الطبيعية التي كانت بمثابة متنفس لمياه الفيضان إلى استعمالات عمرانية؛ وهو الأمر الذي أدى إلى تقليص زمن الاستجابة وسرعة تولد الجريان وتضاعف أحجام المياه واتساع المنطقة المعرضة لمخاطر الفيضانات. وبالتالي يهدف البحث إلى تقييم حجم ومخاطر السيول في الجزء الأعلى لحوض وادي إبراهيم، بإتباع منهجية مصلحة صيانة التربة الأمريكية (CN)، وتعتمد هذه المنهجية في تقدير الجريان السطحي ومخاطره على أغطية واستعمالات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة والرطوبة المسبقة للتربة والأمطار/٢٤ ساعة، وتعتبر هذه الطريقة من أكثر طرق تقدير الجريان انتشاراً في الدراسات الهندسية ومشاريع إدارة الموارد الطبيعية في الولايات المتحدة الأمريكية، وتكمن أهميتها في التوصل إلى نتائج دقيقة في تقدير السيول ومخاطرها بما يمكّن المخطط وصانع القرار من اتباع كافة الطرق اللازمة لحماية المنشآت العمرانية في الأحواض الحضرية، ومنها حوض وادي إبراهيم، حيث توصلت النتائج إلى أن حجم الجريان في الحوض ٦٠٧٧٣٣٩ م<sup>٣</sup>، وبلغت ذروة التصريف ٦١٦,٤ م<sup>٣</sup>/ث، وكلاهما يشير إلى ضخامة كمية المياه التي يصرفها الحوض مقارنة بمساحته، ممّا يعني خطر السيول على المنشآت في الحوض.

الكلمات المفتاحية: مخاطر السيول؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ الاستشعار عن بُعد؛ حوض وادي إبراهيم؛ مكة المكرمة.

## Use Remote Sensing and GIS Technologies to Evaluation Flood Risks in the upper part of Wadi Ibrahim Basin (Mecca)

Ibrahim Abdullah Qaid Darwish

### Abstract

The problem of the upper part of Wadi Ibrahim Basin in the city of Makkah is a result of excessive urbanization of the land of the basin which once served as an outlet for water flooding. This change has led to reduction in the speed of water flow in the Wadi and to a substantial increase in the volume of water during water floods, thus increasing the size of land exposed to the risk of these floods. This research paper aims to assess the size and risks of flooding in the upper part of the basin using the American Soil Conservation Service (CN) methodology, which is one of the most widespread methods for estimating water flow in engineering studies and in natural resource management projects in the United States of America. The study seeks to arrive at accurate estimates of the floods and their risks, which will help planners and decision makers to utilize all necessary methods to protect all facilities in urban basins, including Wadi Ibrahim Basin. The study estimates that the volume of water flow in the basin is 60,77339 m<sup>3</sup>, and the peak of discharge is 616.4 m<sup>3</sup>/s. Both figures show the sizable amount of water that the basin drains compared to its area. This highlights the risk of floods on the facilities in the basin.

Keywords: Flooding Risk; Geographic Information Systems; Remote Sensing; Wadi Ibrahim Basin; Mecca.

طريقة CN لكشف أثر استعمالات الأرض على الجريان في حوض وادي الزرقاء في الأردن.

وحدد (Lawal, et al, 2008) المناطق المعرضة للسيول والفيضانات في حوض نهر بيرليس بماليزيا. ونموذج (Saber, 2008) الجريان السطحي في وادي أسيوط، باستخدام طريقة (SCS). وقدر (Al-Jabari, et al, 2009) الجريان السيلي باستخدام طريقة الأرقام المنحنية ونظم المعلومات الجغرافية. وقام (Reed, et al, 2009) ببناء قاعدة بيانات لتقدير عتبة الجريان السيلي في عدة أحواض بالولايات المتحدة.

وقام (Saber, et al, 2010) بمحاكاة فيضان النيل بطريقة (SCS). وقارن (Bhunya, et al, 2011) عدة نماذج لتقدير الجريان من بينهما طريقة (SCS). وقدر (Behzad, et al, 2012) الفيضانات المحتملة في حوض تاريكن باستخدام طريقة (SCS). واستخدمت (للحياني، ٢٠١٣) الاستشعار عن بعد لكشف أثر تغير المساحات المصمتة بمدينة مكة المكرمة وعلاقتها بمخاطر السيول. ودرس (Ozacar, 2013) تأثير التحضر في مخاطر الفيضانات في إسطنبول باستخدام طريقة (CN). وقارن (Sule, et al, 2013) بين (Snyders, SCS, Grays) في تقدير الجريان وقياس ذروة التصريف. وصمم (Nasiri, et al, 2014) نموذج باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لتقدير ذروة التصريف باستخدام طريقة (SCS). وقام (Banasik, et al, 2014) بتقدير منحنيات الجريان في الأحواض المائية الحضرية من سجلات الأمطار والسيول. وقدر (shafuan, 2015) الجريان السطحي لحوض نهر لكيلانان ماليزيا باستخدام طريقة (SCS)، واعتبرها الأنسب في تقدير الجريان واتخاذ التدابير اللازمة للتخفيف من آثارها.

وتطرق (Adrian, 2017) لرسم خرائط مخاطر الفيضانات بنهر بروت رومانيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. واستخدم (Darko, 2017) الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لرسم خرائط مخاطر الفيضانات وتقييمها في منطقة أكر الحضرية. وطور (Farahat, et al, 2017) خرائط الفيضانات باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد دراسة حالة وادي العريش بمصر. وراجع (Wang and Xie, 2018) تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في إدارة مخاطر الفيضانات.

وقدر (Youssef, et al, 2020) مخاطر الفيضانات المفاجئة على طريق سانت كاترين جنوب سيناء (مصر) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وتطرق (Hamid, 2020) للحساسية البيئية لمخاطر الفيضانات باستخدام تقنيات الجغرافيا المكانية. مشكلة البحث:

يمكن تلخيص مشكلة البحث في سرعة نمو سكان المدينة المقدسة وما ترتب عليه من تغيرات سريعة لأغذية الأرض الطبيعية بالذات الرواسب المفككة التي كانت بمثابة متنفس لمياه الفيضانات، وتحولها إلى استعمالات عمرانية وطرق ومواقف؛ ممّا يحول دون تسرب مياه الأمطار ويقلص من زمن الاستجابة، ويزيد

أثار تكرار الفيضانات وشدتها في السنوات الأخيرة تساؤلات حول مدى ارتباطها بتغير أغذية الأرض الطبيعية إلى استعمالات بشرية، وهو الأمر الذي أكدته عدة دراسات سابقة حيث أفادت أن تغير استخدام الأرض يتسبب في تكرار الفيضانات وعدم انتظامها. وتعتبر الفيضانات من أكثر الكوارث الطبيعية تدميراً في العالم، حيث أكدت منظمة الصحة العالمية عام ٢٠١٠ تأثيرها على ٩٩ مليون إنسان، وذكر جونكمان أن الفيضانات قتلت ١٠٠ ألف إنسان، وأثرت على ١,٤ مليار في العقد الأخير من القرن العشرين (Opolot, 2013: 1884).

وتواجه المناطق الجافة تحديات تتعلق بتحسين إدارة الأراضي المأهولة التي تخضع لضغوط هيدرولوجية شديدة، ويحدث توسع عمراني على حساب التضاريس التي تختلف في نظمها الاقتصادية والبيولوجية والهيدرولوجية، وتعد المناطق المنخفضة بمراوح الطمي وأحواض الوديان أكثر ملاءمة للتنمية الحضرية، وتحتوي في مخارج أحواض الصرف عادةً على موارد محتملة من الركام والرواسب الخام لمواد البناء، بالإضافة إلى المياه الجوفية التي تغذيها عواصف المطر والفيضانات العرضية (Herms, et al, 2021: 119).

ويختلف تأثير الفيضان المفاجئ في أحواض المناطق الحضرية، ويمكن أن يختلف التأثير في الحوض نفسه في أحداث مختلفة من الفيضانات اعتماداً على توهين التصريفات والرواسب المرتبطة بكل حدث، علاوة على ذلك فإن تعدي السمات الحضرية على طبقات الطمي يعزز من الجريان السطحي (El Bastawesy, et al, 2013: 2).

شهدت مدينة مكة المكرمة عبر التاريخ عدد من الفيضانات كان آخرها فيضان ٢٧/٤/٢٠٢١، ولا يعتمد نشوء الجريان السيلي وخصائصه وأخطاره في المدينة على كمية الأمطار، بمقدار ما يرتبط بسرعة تغير أغذية واستعمالات الأرض التي تختلف عن بعضها من حيث الفاقد بالتبخر والتسرب والتخزين والاستجابة للجريان، فضلاً عن تباين خصائص التربة ورطوبتها بين المناطق الجبلية ومجاري الأودية، مما يعني تباين إمكانيتها في الاحتفاظ بالماء وتفاعلها مع الأمطار الناتجة عن العواصف.

وبذلك عززت تغيرات أغذية الأرض الطبيعية وتحولها إلى منشآت عمرانية في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم من سرعة تولد الجريان، وتضاعف كميته وخطره بين مدة وأخرى، وتؤدي تغيرات كهذه إلى توسع المساحة المصمتة على هيئة شوارع وأرصفة وعمران وخرسانات إسمنتية، فضلاً عن مد شبكات الصرف الاصطناعية بمختلف أنواعها، وجميعها تقلل من كمية المياه التي تتسرب إلى أسفل التربة، ومن ثم تعزز من أحجام وخطر السيول.

#### أدبيات البحث:

قام (Sultan, 2002) ببناء نموذج هيدرولوجي لتقدير جريان الأودية في الصحراء الشرقية بمصر، باستخدام طريقة مصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS). وطبق (Shammout, 2003)

وتتضمن عملية المعالجة الارجاع الجغرافي والاقتطاع على حدود الحوض المائي وغيرها.

ج) بناء نظم المعلومات الجغرافية: تمثلت الخطوة التالية لمعالجة البيانات باشتقاق الطبقات المعلوماتية المطلوبة لتقدير أحجام السيول وأخطارها في الحوض والأحواض الفرعية واشتقاق شبكة التصريف والتضاريس والانحدار، والتصنيف الموجة لمريئة Spot، بالإضافة إلى اشتقاق طبقة النبات بمؤشر NDVI، وترقيم الخرائط للحصول على أغطية واستعمالات الأرض في الحوض، فضلاً عن ترقيم خريطتي الجيولوجيا والتربة لاشتقاق طبقة لمجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض.

د) تقدير حجم السيول وخطورها في الحوض: تم تقدير حجم السيول وخطورها في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم، من خلال تطبيق سلسلة المعادلات الخاصة بمصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS) كما يأتي:

١) اشتقاق قيم الأرقام المنحنية (CN) على مستوى الخلايا من جداول خاصة بمصلحة صيانة التربة الأمريكية حسب الحالة المعتدلة للرطوبة المسبقة للتربة (AMS-II)، ونتائج دمج طبقتي (Raster) أغطية الأرض، والمجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض، باستخدام دالة (Combine) ضمن ايقونة (Local) ببرنامج Arc map 10.5.

٢) حساب قيم الأرقام المنحنية الموزونة (CNS) على مستوى الأحواض الفرعية، وهي حاصل ضرب قيم منحنيات الجريان على مستوى الخلايا مع ما تمثله من مساحة الحوض، وتقسم النتيجة على ١٠٠. (USDA,1986: P.2-1).

معادلة رقم (١)

٣) حساب قيم معامل الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان (S) على مستويي الخلايا والأحواض الفرعية من خلال تطبيق المعادلة الآتية في برنامج Arc map 10.5.

USDA,TR-55,1986:2-1 (S= 1000/CN-10). معادلة رقم (٢)

وبما أن مدخلات النموذج الذي جاءت به مصلحة صيانة التربة الأمريكية بالبوصة تم إعادة صياغة المعادلة السابقة بما يتناسب مع المقاييس المترية من خلال ضرب الأرقام الثابتة في المعادلة في ٢٥,٤ لتحويلها من البوصة إلى ملم فأصبحت المعادلة السابقة بالصيغة الآتية:

معادلة رقم (٢-٢)  $S = 25400/CN - 254$  (غانم، ٢٠٠٨: ٣٤).

حيث S الإمكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، CN الأرقام المنحنية المستنبطة بمطابقة أغطية الأرض مع المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب الحالة المعتدلة لرطوبة التربة.

٤) حساب قيم معامل الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان (Ia) على مستويي الخلايا والأحواض الفرعية بتطبيق المعادلة.

معادلة رقم (٣)  $Ia = 0.2S$  (Gheith, 2002: 46).

حيث Ia المستخلصات الأولية (تسرب - تبخر)، و S خمس قيمة إمكانية التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء.

من سرعة الجريان، ويعزز من أحجام الجريان والمناطق المعرضة لخطورها؛ لاسيما أن مناطق انتشار العمران في المناطق المحصورة بين الجبال، وبالتالي ليست هناك دراسات سابقة تتصدى لمشكلة البحث في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم بالطريقة التي جاءت بها هذه الدراسة.

#### أهمية البحث:

تنبع أهمية الموضوع من موقع حوض وادي إبراهيم ضمن المناطق الجافة التي تتصف أمطارها بهطول كمية كبيرة خلال مدة قصيرة؛ لذا أتبع البحث منهجية تدرجت من تقييم عمق وحجم الجريان على مستويي الخلايا والأحواض الفرعية في الجزء الأعلى من الحوض، إلى تقييم مدى خطورتها بمؤشر ذروة تصريف السيل م<sup>٣</sup>/ث، لاسيما أن مجرى الوادي في جزئه الأدنى تتجمع المياه من أحواض فرعية الحرم المكي الشريف، وهو الأمر الذي قد يشكل خطر وتهديد على حياه زوار بيت الله الحرام من الحجاج والمعتمرين والمصلين، فضلاً عن وقوع بعض المنشآت العمرانية في بطن الوادي الرئيس ومخارج الأودية الفرعية حيث تتركز أخطار السيول، بسبب تدفق المياه المناسبة من المرتفعات العليا للحوض نحوها، ويعتبر الحوض مصدراً رئيساً لتغذية المياه الجوفية لبئر زمزم، ممّا يتطلب الإبقاء على جزءٍ من الأغطية الطبيعية في مجرى الوادي لتغذية مياه البئر والتخفيف من مخاطر الفيضان.

#### أهداف البحث:

- ١) تقدير عمق الجريان على مستوى الخلايا والأحواض الفرعية في الحوض.
- ٢) تقدير حجم الجريان السطحي على مستوى الخلايا والأحواض الفرعية في الحوض.
- ٣) تقدير ذروة التصريف لكل حوض من الأحواض الفرعية.

#### منهجية البحث:

تعد طريقة منحنى الأرقام إحدى طرق نمذجة علاقة المطر بالجريان، وتدرس كل عنصر يدخل في تحوّل المطر إلى جريان دراسة تفصيلية. وعليه اتبع البحث منهج التحليل المكاني للمرتبات والخرائط لبناء قاعدة بيانات لأغطية واستعمالات الأرض في الحوض تمهيداً لإجراء القياسات، وتطبيق المعادلات لتقدير السيول، وإنتاج خرائط رقمية لأخطاره في الحوض، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية التي تتصف بكونها أفضل الطرق العلمية في التحليل.

(E. Smith, 2010: 15). وبذلك مرت المنهجية بالخطوات الآتية:

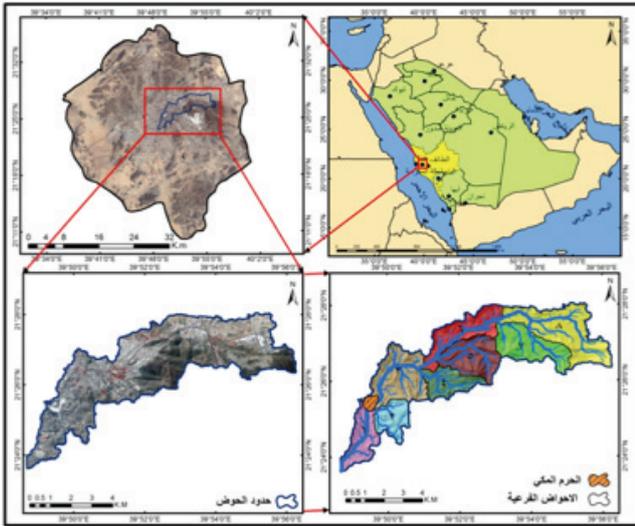
أ) جمع البيانات: تتمثل البيانات التي تم جمعها لتناول موضوع البحث بنموذج ارتفاع رقمي دقة مكانية ١٠ م، ومريئة القمر الصناعي Spot بدقة ٥ م، وخريطتي التركيب الجيولوجي والتربة، وبيانات الحرارة والأمطار.

ب) معالجة البيانات: أي تهيئة البيانات التي تم جمعها لتكون صالحة للاستخدام عند بناء نظم المعلومات الجغرافية،

حيث  $T_c$  زمن التركيز بالدقيقة، و  $S$  مساحة الحوض، و  $I$  معدل الانحدار (%). التي تم الحصول عليها من نموذج الارتفاع الرقمي.

منطقة البحث:

يقع الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم مكانياً شكل (١) بمدينة مكة المكرمة غرب المملكة، و فلكياً بين دائرتي عرض ٢٣:٥٥:٢٣:٢١ - ٢٠:٢١:٢٨:٢١ شمالاً، و خطي طول ٣٠:٤٨:٣٩ - ٢٠:٥٦:٣٩ شرقاً بمساحة ٣٦,٧ كم<sup>2</sup>، و يعتبر أحد أهم أودية مدينة مكة المكرمة، و يستمد المياه من عدة مرتفعات، تحيط به كجبل الطارقي شرق الحوض و جبال الوديعه والضباع والنور و ذاخر شمال الحوض، و تغذي الحوض من الجنوب مرتفعات جبال ثبير و خذمة و كدي و الكعبة و قيقعان و عمر و أجياد و جبل ابو قيس. و يأخذ المجرى شكل قوس يصرف أودية الغسالة و الخنساء و المعابدة و بعد مروره بالحرم الشريف يصل المسفلة و النكاسة، و يلتقي برافد وادي طوى (مرزا و البارودي، ٢٠٠٥: ٢٠٨).



شكل رقم (١) موقع منطقة البحث

مناقشة النتائج:

أولاً - محددات الجريان السطحي في الحوض:

أ) التركيب الجيولوجي:

تتصف جيولوجية الحوض شكل (٢) بسيادة ستة تراكيب جيولوجية أكبرها الرواسب المختلطة بمساحة ١١,٣٨ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٠,٩% من مساحة الحوض، و تختلف في شكلها و حجمها من مكان لآخر، حيث تعرف برواسب المدرجات و الركام في أعالي الوديان قليلة السمك من الحصى و الجلاميد المختلطة بالرمل، و تعرف بالرواسب المختلطة، متوسطة السمك و الحجم في أواسط الأودية، و تعرف برواسب المروج الفيضية، و تتسم بسمكها و نعومتها في مخارج الأودية، و تعد الرواسب من مناطق متنفسات الفيضانات. و يأتي في المرتبة الثانية معقد جعرانه بمساحة بلغت ٩,٩ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢٦,٨٦% من مساحة الحوض، و يتكون من

(٥) تقدير مدة رجوع المطر او متوسط عدد السنوات التي من الممكن أن تتكرر عندها العاصفة المطرية بالقوة نفسها أو أشد منها بمعادلة Weibull كما يأتي:

$$m/T = (n + 1) \quad \text{معادلة رقم (٤)}$$

(أبو سمور و زميله، ١٩٩٩: ٦٩).

حيث  $T$  مدة الرجوع بالسنوات،  $n$  عدد السنوات التي يتوفر لها البيانات،  $m$  ترتيب العام الذي حدثت عنده قيمة الفيضان الأكبر بعد إعادة ترتيب البيانات المتاحة تنازلياً.

(٦) تقدير عمق الجريان السيلبي في الحوض على مستويي الخلايا و الأحواض الفرعية للعاصفة ١٩١ ملم / ٢٤ ساعة، و قد تم تطبيق معادلة تقدير عمق السطحي حسب طريقة SCS في برنامج نظم المعلومات الجغرافية كما يأتي:

$$Q = ((P - 0.2S)^2) / ((P + 0.8S)) \quad \text{معادلة رقم (٥)}$$

(USDA, TR-55, 1986: 2-1).

حيث  $Q$  عمق الجريان،  $P$  كمية الأمطار في العاصفة المطرية،  $I_a$  المستخلصات الأولية (تسرب - تبخر - نتج) قبل بدء الجريان،  $S$  إمكانية التربة في الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان.

(٧) تقدير حجم الجريان على مستويي الخلايا و الأحواض الفرعية لعاصفة ١٩١ ملم / ٢٤ ساعة من خلال تطبيق معادلة تقدير حجم الجريان.

$$QV = Q \times A \quad \text{معادلة رقم (٦)}$$

(داود و آخرون، ٢٠١٢: ٥).

حيث  $QV$  حجم الجريان،  $Q$  عمق الجريان ملم،  $A$  المساحة كم<sup>2</sup>.  
(٨) حساب زمن التركيز او زمن وصول قطرة المياه من أبعد نقطة في الحوض حتى المخرج بالمعادلة الآتية:

$$TC = 76.3 VS/VJ \quad \text{معادلة رقم (٧)}$$

(Jaton, 1980: 41)

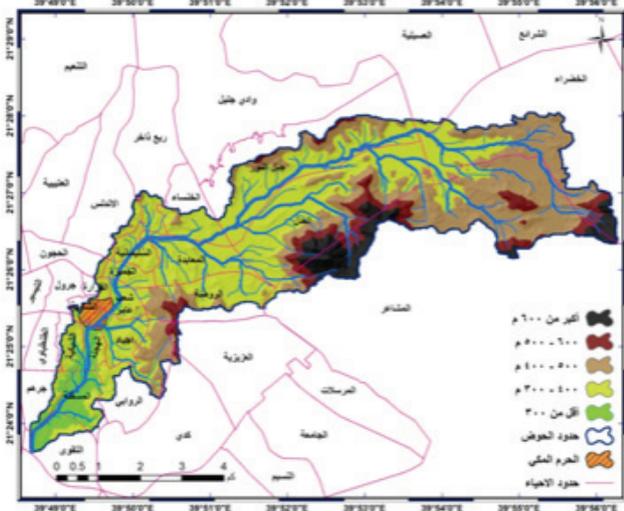
(٩) تقدير ذروة التصريف و تكمن الخطوة الأولى في حسابها بقياس زمن التركيز، ثم تحسب نسب قيم المستخلصات الأولية على كمية الأمطار المعتمدة ١٩١ ملم / ٢٤ ساعة، لمدة رجوع ٣٩ سنة، و بعدها يتم قياس قمة ذروة التصريف بتطبيق المعادلة الآتية:

$$Q_p = Q_u \times A_m \times Q \times F_p \quad \text{معادلة رقم (٨)}$$

(USDA, TR-55, 1986: 4-1).

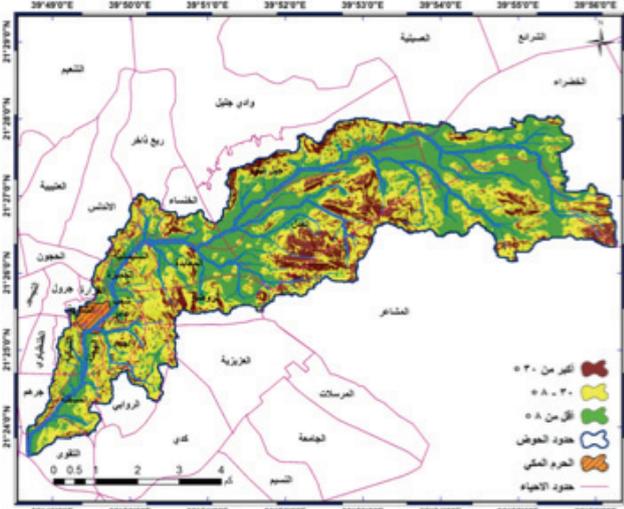
حيث  $Q_p$  تصريف الذروة متر مكعب/ثانية،  $A_m$  المساحة كم<sup>2</sup>،  $Q$  عمق الجريان ملم،  $F_p$  معامل البرك و المستنقعات، و  $Q_u$  وحدة تصريف الذروة م<sup>3</sup>، و يتم استنباط قيمتها من مخططات خاصة بدلالة زمن التركيز و قيمة  $p/I_a$  حسب شدة العاصفة. و نظراً لعدم إمكانية استنباط قيم  $Q_u$  من المخطط كون غالبية قيم  $p/I_a$  تقع خارج المدى (٠,٥ - ٠,١) لجأ البحث لحساب ذروة التصريف باستخدام الحاسبة الهيدرولوجية الإلكترونية على موقع البروفيسور بونس على الانترنت. <http://ponce.sdsu.edu> وهي عبارة عن سلسلة معادلات مصلحة صيانة التربة الأمريكية لحساب ذروة التصريف تطبق إلكترونياً (Ponce, 1989: 188-194).

من الحوض. وتضم الفئة الأخيرة المنطقة التي يقل ارتفاعها عن ٣٠٠ م بمخرج الحوض، بمساحة ٢,٣٣ ك م<sup>٢</sup>، بنسبة ٦,٣١٪ من إجمالي مساحة الحوض.



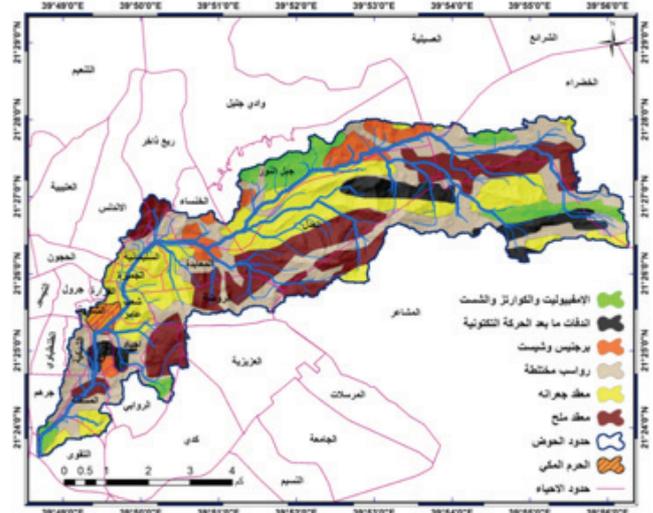
الشكل رقم (٣) تضايرس الحوض

ويؤثر الانحدار في الجريان من خلال تحديد زمن الاستجابة وسرعة تولد وحجم الجريان، حيث يتقلص زمن الاستجابة، وتزداد سرعة وحجم وخطر الجريان مع زيادة الانحدار والعكس، ويوضح شكل (٤) شدة الانحدار جنوب الحوض، وتتصف المناطق الوسطى تجاه المخرج بأنها منبسطة. وصنف انحدار تضاريس الحوض لثلاث فئات الأولى بالمناطق شديدة التقطع حيث تتجاوز درجات الانحدار ٣٠" جنوب وشمال الحوض بمساحة ٥,٣٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٤,٤٦٪ من مساحة الحوض. وتقع الثانية بمناطق انتشار التلال حيث يتراوح الانحدار بين ٨ - ٣٠" بمحاذاة الأولى حيث يقل التقطع، بمساحة ١٤,٨٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤٠,٣٤٪ من مساحة الحوض. وتقع الثالثة بمنطقة السهول التحتانية خفيفة التموج إلى المستوية وسط ومخرج الحوض جنوباً، حيث يقل الانحدار عن ٨"، بمساحة ١٦,٦٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤٥,٢٪ من مساحة الحوض.



الشكل رقم (٤) درجات الانحدار في الحوض

الهورنبلندتونالايت والتونالايت جرانودايورايت والبايوتايت هورنبلندتونالايت. (نجيم، ١٩٩١: ٣٧). ويعتبر من الصخور الجوفية التي لم تتعرض للتحويل إلا بصورة محدودة. (الحربي، ٢٠٠٧: ٥٨). وبعدها جاء معقد ملح بمساحة ٨,٢٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٢,٤١٪ من مساحة الحوض، وينتشر جنوب ووسط وشمال الحوض. ويتكون من الدايوراييت والكوارتزدايوراييت والدايوراييت والجابرو. (نجيم، ١٩٩١: ٤٠).



الشكل رقم (٢) جيولوجية الحوض

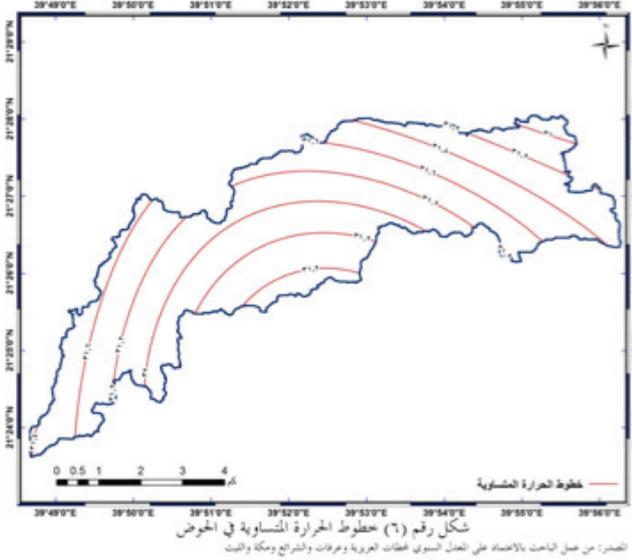
ومن ثم اندفاعات ما بعد الحركة التكتونية بمساحة ٢,٥٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦,٨٥٪ من مساحة الحوض، وتنتشر جنوب ووسط الحوض، وبعدها صخور الامفببوليت والكوارتز والشست بمساحة ٢,٧ ك م<sup>٢</sup>، بنسبة ٧,٣٣٪ من مساحة الحوض، وتنتشر شمال وجنوب الحوض، وأخيراً جاءت صخور البرجنيس والشست بمساحة ٢,٠٨ ك م<sup>٢</sup>، بنسبة ٥,٦٦٪ من مساحة الحوض، وتنتشر شمال الحوض، وتعتبر التراكيب الأربعة الأخيرة من أهم مناطق توليد الجريان السطحي.

#### (ب) تضاريس الحوض:

تتصف تضاريس الحوض بتنوعها بين جبال وهضاب وأراضي منبسطة، ويتراوح ارتفاع تضاريس الحوض بين ٢٥٩ - ٩٧٠ م فوق مستوى سطح البحر، ويتحكم الارتفاع في تباين كمية الأمطار والجريان، وصنفت تضاريس الحوض شكل (٣) إلى خمسة فئات تضم الأولى: المناطق التي يتجاوز ارتفاعها ٦٠٠ م وتقع جنوب الحوض، بمساحة ٢,٠٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥,٥٣٪ من مساحة الحوض. وتضم الفئة الثانية حيث يتراوح الارتفاع بين ٥٠٠ - ٦٠٠ م، وتقع بمحاذاة المناطق الأولى جنوب الحوض، بمساحة ٢,٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦,٧٩٪ من مساحة الحوض. وتضم الفئة الثالثة المنطقة التي يتراوح ارتفاعها بين ٤٠٠ - ٥٠٠ م، وتنتشر جنوب وشرق وشمال الحوض، بمساحة ١١,٢٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٠,٥٧٪ من مساحة الحوض. وتتضمن الفئة الرابعة المنطقة الواقعة بين ٤٠٠ - ٣٠٠ م بمساحة ١٨,٧٦ ك م<sup>٢</sup>، بنسبة ٥٠,٥٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وتقع في المنطقة الوسطى

## (ج) التربة:

ارتفاع المعدل السنوي لدرجات الحرارة في المنطقة الأقل ارتفاعاً شمال وغرب الحوض، وتنخفض الحرارة بالتدرج كلما اتجهنا جنوباً وشرقاً مع ارتفاع التضاريس، ومع ذلك لا توجد فروق كبيرة في توزيع درجات الحرارة في الحوض حيث لم يتجاوز المدى  $0,6^{\circ}\text{C}$ .



شكل رقم (٦) خطوط الحرارة المتساوية في الحوض

المصدر: من عمل الباحث بالأعداد على إعادة الاستناد، على التوزيع الطبيعي، وزارة الزراعة والري، ١٩٦٥

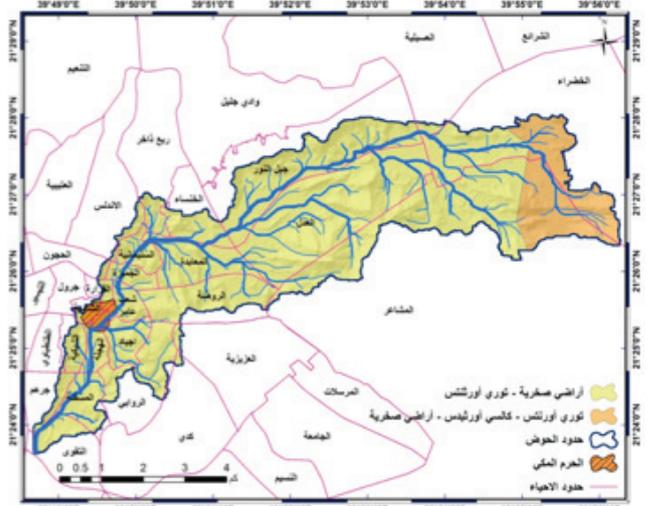
وتؤثر الأمطار في حجم وخطر الجريان من خلال مدة بقاء العاصفة وكمية الأمطار الناتجة عنها، وتتصف العلاقة بينهما بالطردية، وتتصف أمطار الحوض بالتذبذب، حيث بلغت كميتها عام ١٩٦٩ نحو ٣١٩ ملم، ولم تتجاوز ٣ ملم عام ١٩٨٠، وتتركز في فصلي الخريف والشتاء، بالذات أواخر الخريف وأوائل الشتاء، ويبلغ معدلها بشهر أكتوبر ١١,٤ ملم، ونوفمبر ٢٤ ملم، وديسمبر ٢٤ ملم، ويناير ١٦,٩ ملم.

وقد اعتمد البحث في اشتقاق خطوط الأمطار المتساوية على بيانات محطات أم القرى شمال الحوض ومكة غرب الحوض، وصلاح شمال شرق الحوض، وشداد والقرين ووادي نعمان والكر العلوي والسفلي ووادي محرم غرب الحوض. وبلغت المتوسطات السنوية للأمطار في هذه المحطات المناخية نحو ٨٧ ملم في محطة أم القرى، ٢٩ ملم في محطة مكة، ١٧٨ ملم في محطة شداد، ١٥٣ ملم في محطة القرين، ٢٠٣ ملم في محطة وادي نعمان، ١٩٤ ملم في محطة وادي محرم، ١٥٢ ملم في محطة صلاح، ١٧١ ملم في محطة الكر العلوي، ١٦٢ ملم في محطة الكر السفلي. (النفيعي، ٢٠١٠: ٨١).

وتشير نتائج استخدام خوارزمية Spline في اشتقاق خطوط الأمطار بالحوض شكل (٧) ارتفاع المتوسط السنوي لتوزيع الأمطار جنوب وشرق الحوض حيث ترتفع التضاريس، وينخفض المتوسط السنوي للأمطار بالتدرج كلما اتجهنا شمالاً وغرب الحوض.

تؤثر خصائص التربة كالمسك والنسيج في الجريان، فكلما زاد سمك التربة ونسيج حبيباتها زادت مدة الاستجابة، وقل حجم وخطر الجريان كما هو الحال بتربة مجاري الأودية والعكس، وبذلك يوضح شكل (٥) نوعين من التربة في الحوض تربة الأراضي الصخرية توري أورنتس بمساحة ٣٢,٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٨٨٪ من مساحة الحوض، وهي تربة ضحلة طموية حصوية تتكون من مراوح رسوبية لا تحتوي على أفاق تشخيصية، وتختلط البروزات الصخرية مع التربة اختلاطاً معقداً.

ويضم النوع الثاني تربة توري أورنتس كالسي أورثيدس أراضي صخرية، وتحتوي على ترب طموية حصوية وبعضها طموية رملية ورملية حصوية، وأغلبها طموية أو رملية، وتغطي ٤,٤ كم<sup>2</sup>، بنسبة ١٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وتتكون من ترب شديدة الانحدار وبروزات صخرية مزقتها مجاري أودية صغيرة متقطعة، وهي تربة ضحلة ومتوسطة العمق طموية وحصوية نفاذيتها متوسطة وقدرة احتفاظها بالماء منخفضة إلى متوسطة.



شكل رقم (٥) التربة في الحوض

المصدر: من عمل الباحث بالأعداد على إعادة الاستناد، على التوزيع الطبيعي، وزارة الزراعة والري، ١٩٦٥

## (د) الحرارة والأمطار:

رغم أهمية الحرارة في تحديد خصائص الجريان بالمناطق الجافة لكنها لا تعتبر عاملاً حدياً في تأثيرها على الجريان، بسبب أن أمطار المناطق الجافة تهطل على شكل زخات غزيرة بمدة قصيرة؛ لذا حاول البحث إعطاء صورة لتوزيع درجات الحرارة بالاعتماد على المعدل السنوي لعدة محطات مناخية تقع في محيط الحوض (العزيفية وعرفات والشرايع ومكة والليث). حيث بلغ المعدل السنوي لدرجة الحرارة في محطة مكة  $30,7^{\circ}\text{C}$ ، وبلغ  $32,7^{\circ}\text{C}$  في العزيفية، ونحو  $31,2^{\circ}\text{C}$  في عرفات، و  $31^{\circ}\text{C}$  في الليث، و  $29,5^{\circ}\text{C}$  في الشرايع. (علي، ١٤٣٤: ٦٥). وتظهر نتائج شكل (٦)

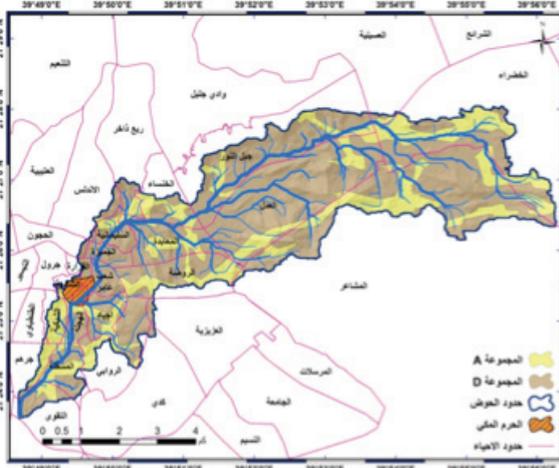
ثانياً - تقدير الجريان السطحي ومخاطره: لتقدير الجريان السطحي ومخاطره حسب منهجية مصلحة صيانة التربة الأمريكية (CN) ينبغي بعد تحديد أغطية واستعمالات الأرض التدرج في الخطوات الآتية:

(أ) المجموعات الهيدرولوجية للتربة:

ميزت مصلحة صيانة التربة الأمريكية بين أربع مجموعات (A, B, C, D)، وتعد المجموعتين A وD حدين متطرفين بالنسبة لنشوء الجريان السطحي، أما المجموعتان B وC فهما حالتان متوسطتان بالنسبة لنشوء الجريان السطحي. وتتأثر معدلات التسرب على نحو واسع جداً بنفاذية التربة السطحية وتحت السطحية، وصنفت التربة إلى هذه المجموعات وفقاً للحد الأدنى من معدل التسرب الذي يتم الحصول عليه من رطوبة التربة لمدة طويلة. (USDA, TR-55, 1986: 2-1).

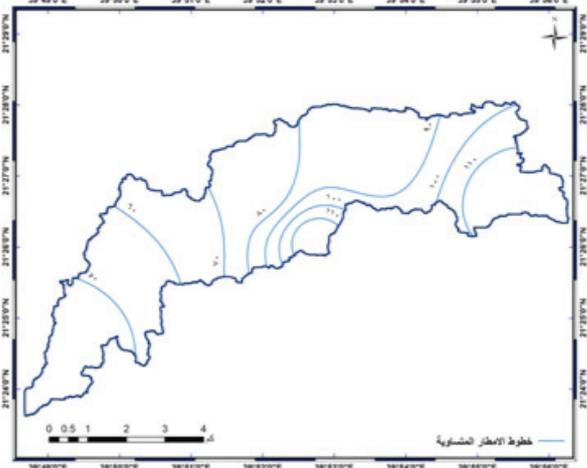
اشتق البحث طبقة المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض بمساعدة الخريطة الجيولوجية، وبعدها دمجت طبقة المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A, D) باستخدام وظيفة Merge في برنامج GIS، وإعادة تصنيف الطبقة الناتجة من أجل إعادة ترقيمها بأرقام تختلف عن أرقام أغطية واستعمالات الأرض، تمهيداً للخطوة التالية لتقدير الجريان، وهي استنباط قيم الأرقام المنحنية.

وتؤكد نتائج شكل (٩) أن المجموعة الهيدرولوجية للتربة D التي تتصف بقلّة نفاذية المياه وسرعة توليد الجريان تأتي في المرتبة الأولى بمساحة ٢٥,٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٦٩,١٣٪ من إجمالي مساحة الحوض، وتظهر ضمن صخور الامفيبوليت والكوارتز والشست والبرجنيس والشيسيت واندفاعات ما بعد الحركة التكتونية ومعقدي جعرانه وملح.



شكّل رقم (٩) المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض  
المصدر: من عمل الباحث بالاستناد على الخريطة الجيولوجية في الحوض

وتأتي المجموعة الهيدرولوجية للتربة A التي تتسم بالنفاذية العالية لمياه الأمطار وتأخر تولّد الجريان في المرتبة الثانية بمساحة بلغت ١١,٤ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٠,٨٧٪ من إجمالي مساحة الحوض، وتنتشر بمناطق انتشار الرواسب المختلطة في المناطق السهلية بين المرتفعات الجبلية.

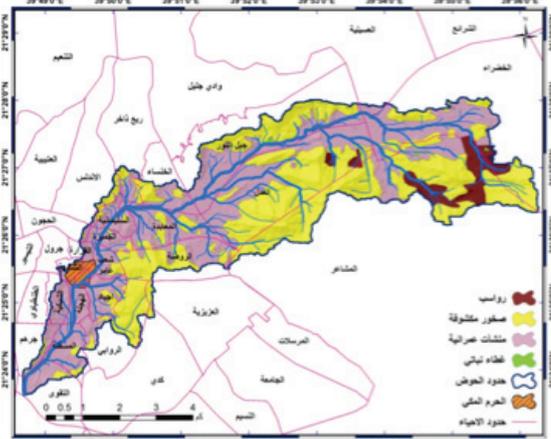


شكّل رقم (٧) خطوط الأمطار المتساوية في الحوض  
المصدر: من عمل الباحث بالاستناد على التعلّل السوي للخطات العروية وعمرات والارتفاع وسكّك والتمت وشذاه والقرن ووداي صناد والقرن ووداي صناد

(هـ) أغطية واستعمالات الأرض:

يطلق مفهوم أغطية الأرض على كل ما هو طبيعي كالصخور والرواسب والنبات، وهذه تؤثر في الجريان من خلال تسريب جزء كبير من مياه الأمطار، ممّا يؤدي إلى زيادة زمن الاستجابة وقلّة حجم وخطر الجريان، والعكس تماماً بمناطق استعمالات الأرض كمنشآت عمرانية وطرق ومواقف. وأشارت هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية لتعاظم حجم وخطر الجريان بعد تحول الأغطية الطبيعية لأسطح مصنّعة، تتكون من أسطح مرصوفة، وسقوف تمنع تسرب المياه، وتؤدي إلى سرعة تولد ونقل الجريان إلى القنوات المائية. (USGS, 2012: 10).

تظهر نتائج تصنيف مرئية Spot عام ٢٠١٥ م جي المنشآت العمرانية في المرتبة الأولى، بمساحة ١٩,٩١ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٤٨,٤٢٪ من مساحة الحوض، وبعدها الصخور المكشوفة بمساحة ١٦,٨٨ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٤٦٪ من مساحة الحوض، ثم الرواسب المفككة بمساحة ١,٨١ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٤,٩٣٪ من مساحة الحوض، وتلاها الغطاء النباتي بمساحة ٠,٠٩ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٠,٢٥٪ من مساحة الحوض. وتؤكد هذه النتائج اتساع مساحة الأراضي المصنّعة للمياه أي المناطق التي تتصف بسرعة الاستجابة للجريان السطحي بالذات المنشآت العمرانية والطرق، وانخفاض مساحة المنطقة التي تتصف بتأخر الاستجابة للجريان بالذات الرواسب والغطاء النباتي.



شكّل رقم (٨) استعمالات الأرض في الحوض  
المصدر: من عمل الباحث بالاستناد على مرئية الصور الفضائية

وتستحوذ قيمة الرقم (٩٨) وهي القيمة الأكثر استجابة لتوليد الجريان السيلي جدول (٢) على ١٧,٩١ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٤٨,٨٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، ممّا يعني أن ما يقارب نصف مساحة الحوض عبارة عن أراضٍ مصممة للمياه، وتغطي قيمة الرقم المنحني (٩٣) نحو ٤,٥٢ كم<sup>2</sup>، بنسبة ١٢,٣٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وقيمة الرقم المنحني ٩١ نحو ٠,٧٧ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢,٠٨٪ من إجمالي مساحة الحوض، وبالتالي تعتبر قيم الأرقام المنحنية العالية التي تتجاوز ٩٠ مسؤولة عن الجريان بنحو ٢٣,٢ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٦٣,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وهذا مؤشر على خطر السيول عقب العواصف المطرية.

جدول رقم (٢) خصائص الجريان السيلي على مستوى الخلايا في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم

CN	التكرار	المساحة كم <sup>2</sup>	النسبة	الاحتفاظ بالماء (S)	المنخصلات الأولية (Ia)	عمق الجريان (Q)	حجم الجريان (QV)
				ملم	ملم	ملم	م <sup>3</sup>
68	1	0.07	0.2	120	24	97	6870
76	1	1.05	2.85	80	16	120	125587
83	1	12.36	33.69	52	10	141	1740872
89	1	0.024	0.06	31	6	159	3687
91	1	0.77	2.08	25	5	164	125161
93	1	4.52	12.32	19	4	170	765920
98	2	17.91	48.82	5	1	185	3315257
الإجمالي	-	36.69	100	38	7.6	152	6077339

المصدر: من عمل الباحث.

في المقابل بلغت مساحة القيم التي تتصف بفقدان كمية أكبر من الأمطار، حيث بلغت مساحة قيمة الرقم (٨٣) نحو ١٢,٣٦ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٣,٦٩٪، وقيمة الرقم المنحني (٧٦) نحو ١,٠٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢,٨٥٪، والرقم (٦٨) نحو ٠,٠٧ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٠,٢٪، وقيمة الرقم (٨٩) نحو ٠,٠٢٤ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٠,٠٦٪ من إجمالي مساحة الحوض، وبذلك بلغ إجمالي مساحة القيم المنحنية التي تقل عن (٩٠) نحو ١٣,٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٦,٨٪ من إجمالي مساحة الحوض، وهو الأمر الذي يعني قلة كمية الفاقد بالتسرب أثناء هطول الأمطار، ممّا يعزز من مخاطر السيول على المنشآت العمرانية بالمناطق المنخفضة.

(ب) الأرقام المنحنية والمنحنية الموزونة:

الأرقام المنحنية طريقة تجريبية تتضمن سلسلة متصلة من معادلات تقدير الجريان وضعتها مصلحة صيانة التربة الأمريكية عام ١٩٨٦، بالاعتماد على أغطية واستعمالات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة، ويتطلب حساب الجريان تحديد قيم الأرقام المنحنية التي تتراوح بين ٠ - ١٠٠ من جداول أعدت من واقع آلاف القياسات للبيئات المختلفة في الولايات المتحدة اعتماداً على الرطوبة المسبقة للتربة.

وتعد قيم الأرقام المنحنية مؤشراً على مدى استجابة حوض الصرف للجريان، فالقيم المرتفعة تدل على الأسطح شديدة الصماتة (غير منفذة) للمياه Impervious surfaces، والأكثر قدرة على توليد جريان سطحي مرتفع، وتدل قيم الأرقام المنحنية المنخفضة على الأسطح غير المصمتة (المنفذة) للمياه Pervious Surfaces.

ومن بين واقع قياسات مصلحة صيانة التربة الأمريكية فيما يتعلق بالحالة المعتدلة لرطوبة التربة (AMS-II)، وجد أن قيم الأرقام المنحنية تتراوح بين صفر للأسطح غير المصمتة القادرة على تسريب كل ما تستقبله من أمطار، إلى القيمة ١٠٠ للأسطح التي تجري فيها مياه الأمطار مباشرة، وتوجد بين حدي الفئة قيمة الرقم المنحني المتوسطة ٥٠، وتعبّر عن الأسطح متوسطة الصماتة، أي حيث تتساوى معدلات تسرب مياه الأمطار مع الجريان السطحي.

تظهر نتائج الجدول (١) أن عدد قيم الأرقام المنحنية التي تعبر عن الأصمات في الحوض ٧ قيم فقط لأن القيمة (٩٨) تكررت لسمات هيدرولوجية مختلفة، وتتراوح هذه القيم بين ٦٨ للمناطق الأكثر نفاذية لمياه الأمطار إلى ٩٨ للمناطق الأقل تنفيذاً للمياه الأسرع توليداً للجريان، وبما أن قيم الأرقام المنحنية تتراوح بين ١ - ١٠٠ تشير الأرقام المنحنية بأنه لا يوجد رقم واحد يقل عن القيمة المتوسطة (٥٠).

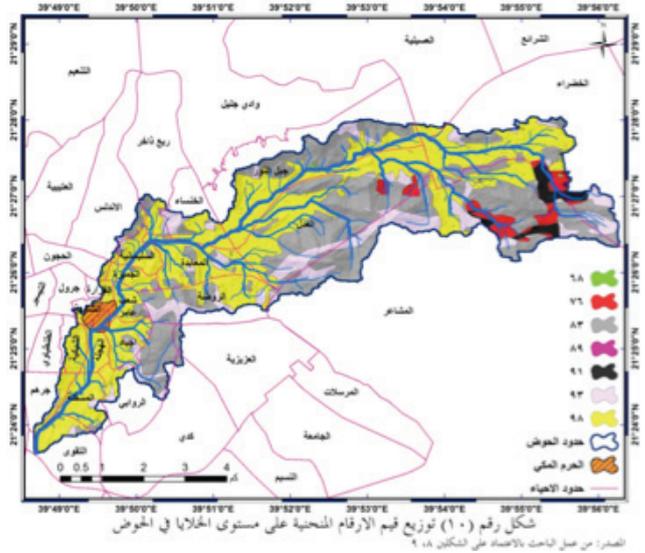
جدول رقم (١) قيم الأرقام المنحنية بعد مطابقة أغطية واستعمالات الأرض مع المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض.

المجموعة الهيدرولوجية للتربة	SCS TR 55 Table		نوع أغطية واستعمالات الأرض
	D	A	
98	98	Paved Parking Lots, Roofs, Driveways, Etc	عمران
89	68	Pasture, grassland, or range-poor condition	نبات مبعثر
91	76	Gravel(including right-of-way)	إرسابات مفككة
93	83	Paved Open Ditches	صخور مكشوفة (جبال)

المصدر: USDA, 1986 (Tables-2-a-b-d).

في المقابل يتطلب تحديد المناطق المهددة بأخطار السيول، وتلك التي تقع في مأمن من أخطارها الكشف عن قيم CNs الموزونة على مستوى الأحواض الفرعية، وتكمن أهميتها في كشف التباين بين الأحواض التي تتصف بسيادة استعمالات الأرض العمرانية، وتتسم بارتفاع الأصمات الذي يؤدي إلى تحول معظم الهطول إلى جريان، والأحواض التي تتصف بسيادة أغطية الأرض الطبيعية، وتتسم بتسريب جزء كبير من مياه الأمطار، وتساعد على تأخر تولد الجريان السيلي وتقلل من أخطاره.

توضح نتائج جدول (٣) أن أدنى قيمة لمنحنيات الجريان الموزونة على مستوى الأحواض الفرعية بلغت (٨٨) في الحوض (٧)، وتعد هذه القيمة أكبر من أدنى قيمة CN مسجلة على مستوى الخلايا (٦٨)، كما بلغت أعلى قيمة لمنحنيات الأرقام الموزونة (٩٧) في الحوض (١)، ومع ذلك تعدّ هذه القيمة أقل من أعلى قيمة CN مسجلة على مستوى الخلايا (٩٨).



جدول رقم (٣) خصائص الجريان السيلي على مستوى الأحواض الفرعية في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم

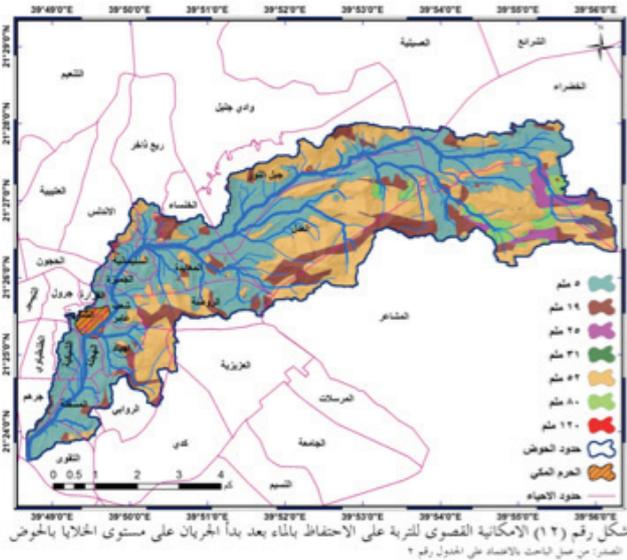
رقم الحوض	المساحة كم <sup>2</sup>	الأرقام المنحنية الموزونة CNs	الاحتفاظ بالماء ملم (S)	المستخلصات الأولية (Ia)	عمق الجريان ملم (Q)	حجم الجريان 3م (QV)	الانحدار (%)	زمن التركيز (Ch) دقيقة	ذروة التصريف (QP) م <sup>3</sup> /ث
1	3.35	97	8	2	182	614194	22	30	132.2
2	2.53	90	28	6	161	409571	35	21	90.23
3	6	94	16	3	173	1044830	27	36	193
4	2.99	92	22	4	167	500984	26	26	105.6
5	4.64	89	31	6	158	734114	39	26	144
6	4.43	92	22	4	167	741549	26	31	141.7
7	4.86	88	35	7	155	755622	27	32	129.1
8	7.91	91	25	5	164	1306070	19	49	189.4
الإجمالي	36.7	92	22	4	167	6106934	26	91	616.4

المصدر: من عمل الباحث.

السيول على المنشآت العمرانية مهما كانت كمية الأمطار الناتجة عن العاصفة المطرية، لاسيما عند هطول الأمطار على كل مساحة الحوض.

وبصورة عامة تعدّ قيم الأرقام المنحنية الموزونة على مستوى الأحواض الفرعية مرتفعة جداً، مما يعني ارتفاع نسبة الأصمات وسرعة استجابة الأحواض الفرعية للجريان، مما يعكس خطر

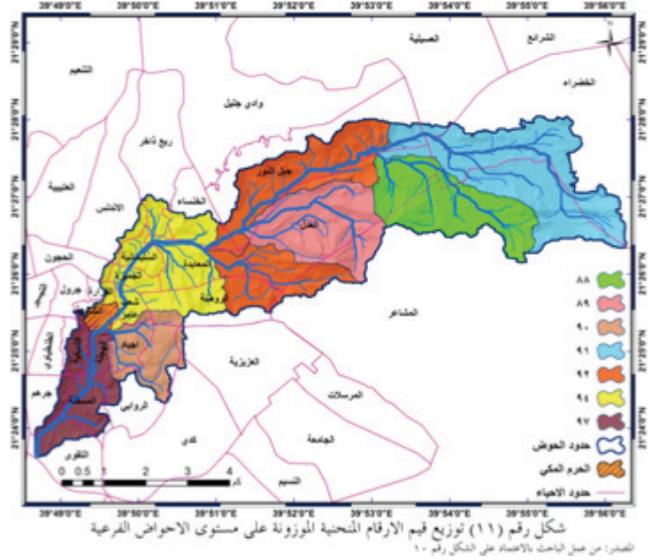
وتدل قيم معامل الإمكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء، ومتوسط قيمة المعامل على مستوى الخلايا في الحوض (٣٨) ملم على ابتعادها عن قيمة وسيط معامل الإمكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء حسب مصلحة صيانة التربة (٢٥٤) ملم، ممّا يعني مدى ضعف الإمكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالمياه في السطح بعد بدء الجريان، وسرعة استجابة سطح الحوض للجريان مهما كانت كمية الأمطار الناتجة عن الأمطار. ويوضح شكل (١٢) تباين توزيع قيم إمكانية احتفاظ التربة بالماء على مستوى الخلايا، وتبرز القيم المرتفعة التي تعبر عن المناطق الأكثر قدرة على حفظ المياه على السطح، وتأخر نشأة الجريان السيلبي في أكثر الأجزاء مسامية وسط وشرق وجنوب الحوض، حيث يسود النبات والرواسب ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة A. وتظهر القيم المنخفضة إمكانية التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء في الأسطح الأكثر قدرة على توليد الجريان لأية عاصفة كانت بالمنطقة الوسطي من الحوض حيث العمران والطرق.



في المقابل تظهر نتائج جدول (٣) أن أدنى قيمة لإمكانية التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان على مستوى الأحواض الفرعية (٨) ملم في الحوض (١)، وتعد هذه القيمة أعلى من أدنى قيمة لإمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء على مستوى الخلايا (٥) ملم.

وسجلت أعلى قيمة لإمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء على مستوى الأحواض الفرعية (٣٥) ملم في الحوض رقم (٧)، ويقع هذا الحوض حيث توجد أغطية الأرض الطبيعية، وتعد هذه القيمة أقل من أعلى قيمة لإمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء على مستوى الخلايا (١٢٠) ملم.

ويوضح شكل (١٣) وجود علاقة ارتباط عكسية بين توزيع الإمكانية القصوى للتربة الاحتفاظ بالماء واستعمالات الأرض مجالي الطرق والعمران، وعلاقة ارتباط طردية مع أغطية الأرض الطبيعية، بمعنى آخر تقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء حيث



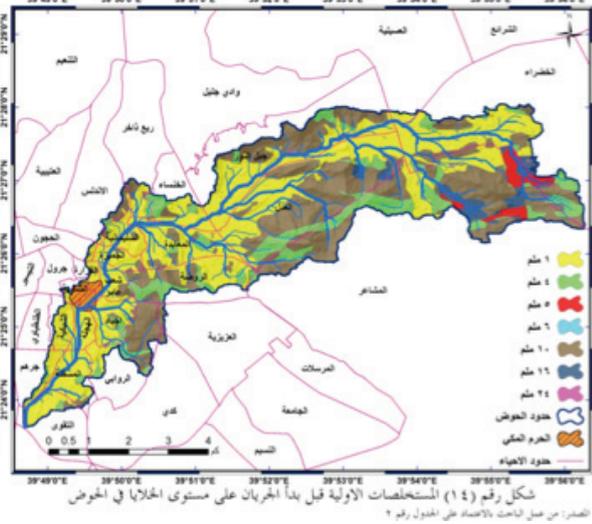
(ج) احتفاظ التربة بالماء بعد بدء الجريان:

يعبر هذا المعامل عن مدى إمكانية التربة القصوى على حفظ المياه بعد بدء الجريان السطحي، ويعتبر هذا المعامل أحد أهم مدخلات تقدير أحجام السيول حسب طريقة مصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS). ويصف هذا المعامل التربة المشبعة بالماء تماماً بعد بدء الجريان السطحي، أي بعد توقف عملية التسرب، ويختلف سمك التربة المشبعة بالماء تبعاً لنوع التربة ومدى قدرتها على امتصاص المياه أثناء موجة المطر، وبالتالي فإن هذا المعامل له علاقة بنوع التربة، وهو ما ينعكس من خلال قيم الأرقام المنحنية. (USDA, 1986: 2-1).

وتدل قيم هذا المعامل القريبة من الصفر على تدني إمكانية التربة في الاحتفاظ بالماء على السطح بعد بدء الجريان؛ مما يؤدي إلى ارتفاع كمية المياه الجارية على السطح، فيما يتماثل معدل احتفاظ التربة بالماء مع معدل المياه الجارية على السطح إذا كانت قيمة معامل الاحتفاظ بالماء قريبة من ٢٥٤ ملم، وهي قيمة الوسيط للمعامل S، وترتفع إمكانية التربة في حفظ الماء على السطح كلما زادت قيم S عن الوسيط؛ ممّا يؤدي إلى انخفاض كمية الجريان السطحي (النفيعي، ٢٠١٠: ١٠٣).

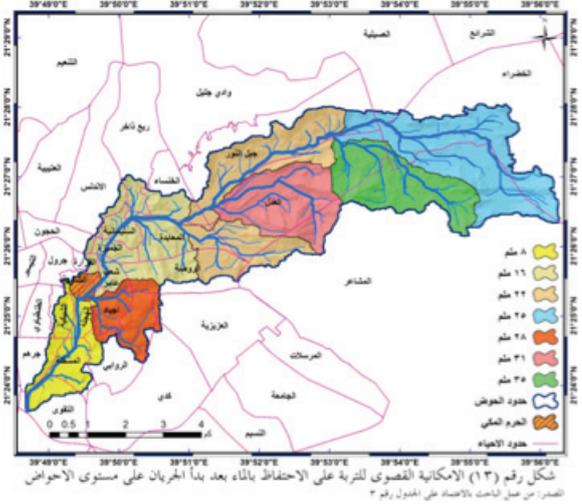
وتعد قيم معامل احتفاظ التربة بالماء واحدة من محصلات توزيع قيم الأرقام المنحنية للجريان التي تعد محصلة تباين أغطية واستعمالات الأرض، والمجموعات الهيدرولوجية للتربة، وبالتالي تتسم علاقة إمكانية التربة القصوى بالاحتفاظ بالماء بمنحنيات الجريان بالعكسية، حيث بلغت العلاقة بينهما - ١، وهي علاقة عكسية تامة بين المتغيرين أي كلما زادت الأرقام المنحنية قلت قيم معامل احتفاظ التربة بالماء بعد بدء الجريان بنسبة ١٠٠٪ والعكس. وتظهر نتائج الجدول السابق (٢) أن معاملات احتفاظ التربة بالماء في الحوض تراوحت بين ١٢٠ ملم للمناطق الأكثر قدرة على حفظ المياه على السطح، إلى ٥ ملم في المناطق الأقل قدرة على حفظ الماء بالسطح، وتعكس القيمة الأولى مدى قدرة التربة على تسريب المياه، وضعف نشأة الجريان السيلبي، وتعكس الثانية قدرة التربة على توليد الجريان وأخطاره.

يساعد على سرعة تولد الجريان، بينما يصبح معدل الاستخلاص الأولي مساوياً لمعدل المياه الجارية على السطح إذا كانت قيمة الوسيط للمعامل ٥٠,٨ ملم، وإذا ارتفعت قيمة المعدل عن قيمة الوسيط للاستخلاص الأولي دلّ على فقدان كميات أعلى من الأمطار، ممّا يؤدي إلى انخفاض كمية المياه الجارية على السطح. توضح نتائج شكل (١٤) أن قيم المستخلصات الأولية (Ia) على مستوى كل خلية في الحوض تتراوح بين ١ ملم لأقل فاقد أولي لمياه الأمطار، إلى ٢٤ ملم كأعلى فاقد أولي لمياه العواصف المطرية، وبلغ المتوسط على مستوى الخلايا ٧,٦ ملم، وبذلك فإن جميع القيم المحسوبة تعتبر أقل من قيمة وسيط Ia البالغة ٥٠,٨ ملم حسب مصلحة صيانة التربة، ويتوافق توزيع الخلايا التي ترتفع فيها قيم المستخلصات الأولية مع مناطق انتشار النبات والرواسب والصخور، والعكس في الجزء الأعظم من الحوض، وتخفض القيم عن ١٠ ملم حيث المنشآت العمرانية والطرق، وبالتالي يشير وضع الحوض عموماً إلى ضعف إمكانته استيعاب مياه الأمطار، فضلاً عن انخفاض نسبة الفوائد، وسرعة تولد كميات كبيرة من المياه التي قد ينجم عنها أخطار لا قدر الله.



وتؤكد نتائج شكل (١٥) المستخلصات الأولية (Ia) على مستوى الأحواض الفرعية أن أقل فاقد لمياه الأمطار قبل بدء الجريان ٢ ملم في الحوض (١)، ويعد هذا الحوض من أكثر الأحواض إسهاماً في تغذية الجريان في الحوض، وسجلت أعلى الفوائد لمياه العواصف المطرية ٧ ملم في الحوض (٧) حيث تسود الأغشية الطبيعية. وبلغ معدل قيم المستخلصات الأولية على مستوى الحوض ٤ ملم، وتقل معاملات الاستخلاص الأولي عن متوسط الحوض في حوضين، بنسبة ٢٥٪ من إجمالي عدد الأحواض، وهذا مؤشر على مدى ضعف إمكانية هذه الأحواض على استيعاب مياه الأمطار، فضلاً عن انخفاض نسبة الفوائد، وسرعة تولد كميات كبيرة من المياه وشدة خطرها، لاسيما عند تغطية العاصفة المطرية لكل أجزاء الحوض، ويزيد معدل الفاقد عن متوسط الحوض في أربعة أحواض، بنسبة ٥٠٪ من إجمالي عدد الأحواض، وتقع هذه الأحواض شكل (١٥) شرق وجنوب الحوض.

الطرق والأنفاق والأسطح والاستراحات والمنشآت العمرانية، وترتفع حيث ينتشر النبات والرواسب الصخرية. وتؤكد نتائج مقارنة قيم إمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء على مستوى الأحواض الفرعية بمتوسط الحوض (٢٢) ملم أن أربعة أحواض فرعية بنسبة ٥٠٪ من إجمالي عددها تتجاوز قيم إمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء متوسط الحوض، وتقع هذه الأحواض شكل (١٣) شرق ووسط وجنوب الحوض. وتخفض قيم إمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان عن متوسط الحوض بحوضين، بنسبة ٢٥٪ من إجمالي عدد الأحواض، وتقع هذه الأحواض حيث ينتشر العمران بمخرج الحوض، وتتساوى قيم إمكانية التربة القصوى الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان مع متوسط الحوض في الحوضين (٤، ٦).



#### د) المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان:

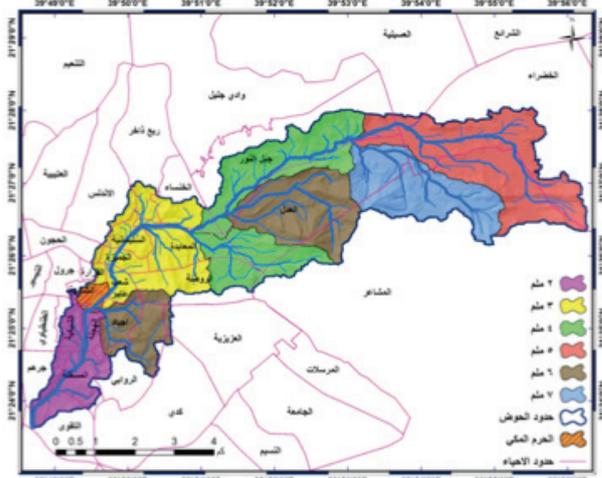
يقصد بالمستخلصات الأولية معدلات الفاقد من مياه الأمطار بالتبخر أو التسرب أو الاستقبال بالنباتات أو التجميع السطحي وغيرها، وترتبط بأغطية واستعمالات الأرض، وخصائص وحالة التربة، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان. وتعكس قيمة معامل الاستخلاص الأولي (Ia) مقدار الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان بواسطة ما يعترضه النبات من مياه الأمطار، وتلك المياه التي تتجمع في المنخفضات على السطح أو عن طريق التبخر (USDA, 1986, 2-1).

وتساوي قيمة معامل الاستخلاص الأولي حسب مصلحة صيانة التربة الأمريكية قيمة إمكانية القصوى للتربة الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي، ورغم أن نتائج معامل الاستخلاص الأولي ترتبط بمعامل إمكانية القصوى للتربة الاحتفاظ بالماء، وهي التي تعتمد في الأساس على قيم الأرقام المنحنية، فإن علاقة الفوائد الأولية بمنحنيات الجريان تكون عكسية، أي أن فوائد المياه بالتسرب تقل كلما زادت المساحة غير المنفذة للمياه والعكس، وتتصف علاقة المستخلصات الأولية مع إمكانية التربة الاحتفاظ بالمياه بعد بدء الجريان بالطردية.

ويستدل من القيم المنخفضة للمستخلصات الأولية التي تقترب من الصفر على قلة الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان؛ مما

وبلغت قيم الأرقام المنحنية التي يقل فيها عمق الجريان عن متوسط الحوض (١٥٢) ملم ثلاثة قيم، بنسبة ٤٢,٩٪ من إجمالي عددها على مستوى الخلايا، بمساحة ١٣,٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٦,٨٪ من إجمالي مساحة الحوض، ويتطابق توزيعها مع الأغشية الطبيعية حيث الغطاء النباتي والرواسب. وبلغت عدد القيم التي تتجاوز متوسط الحوض أربعة قيم، بنسبة ٥٧,١٪ من إجمالي عددها على مستوى الخلايا، بمساحة ٢٣,١٩ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٦٣,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وعند ربط خريطتي أغشية واستعمالات الأرض وعمق الجريان السيلي على مستوى الخلايا، يتضح مدى تطابق توزيع قيم عمق الجريان السيلي التي تتجاوز متوسط الحوض مع الطرق والعمران وسط وغرب الحوض، وأجزاء من المرتفعات الجبلية حيث تنتشر المجموعة الهيدرولوجية للتربة D.

في المقابل توضح نتائج الجدول السابق (٣) أن عمق الجريان على مستوى الحوض ١٦٧ ملم، بنسبة ٨٧,٤٪ من إجمالي مياه الأمطار، وتعد هذه القيمة أعلى من متوسط عمق الجريان على مستوى الخلايا في الحوض؛ لأنها أخذت على مستوى الأرقام المنحنية الموزونة، وهي عبارة عن متوسطات لقيم منحنيات الجريان على مستوى الخلايا بكل حوض فرعي، ويعد هذا التقدير معقولاً في ظل سعة مساحة الأسطح الكتيمة غير المنفذة لمياه الأمطار. ويتباين عمق الجريان السيلي على مستوى الأحواض الفرعية شكل (١٧)، حيث برزت أدنى قيمة لعمق الجريان (١٥٥) ملم، بنسبة ٨١٪ من كمية أمطار العاصفة متطابقة مع الرقم المنحني الموزون (٨٨) في الحوض (٧)، وبلغ عدد الأحواض التي يقل فيها عمق الجريان عن متوسط الحوض (١٦٧) ملم أربعة أحواض، بنسبة ٥٠٪ من إجمالي عدد الأحواض، بمساحة ١٩,٩٤ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٥٤,٣٪ من إجمالي مساحة الحوض، ويكاد يتطابق توزيع قيم عمق الجريان التي تقل عن متوسط الحوض مع الأغشية الطبيعية شرق الحوض.

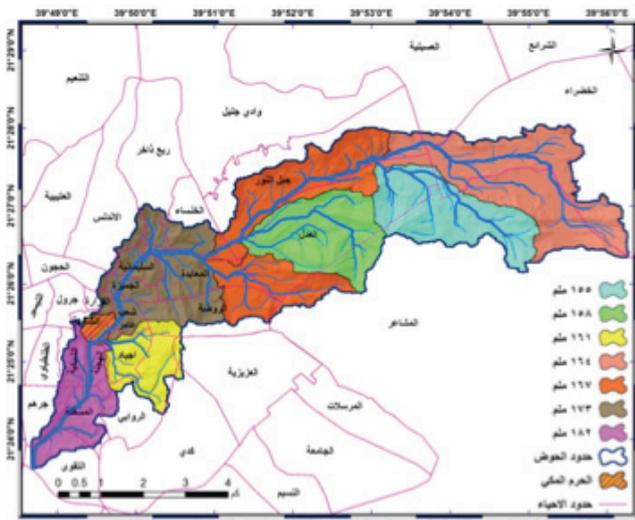


الشكل رقم (١٥) المستخلصات الأولية قبل بدأ الجريان على مستوى الأحواض الفرعية  
المصدر: من عمل الباحث بالأعداد على الجدول رقم ٣

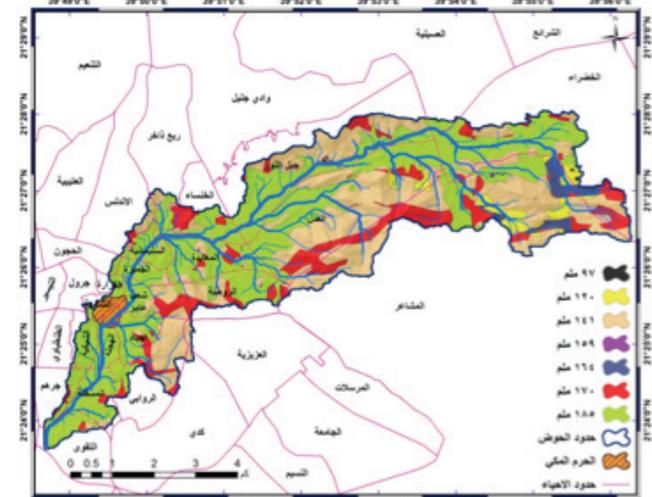
### ه) عمق الجريان السطحي:

لما كانت المحطات مناخية لا توجد داخل الحوض، فقد تم تقدير عمق وحجم الجريان وتدفق ذروة التصريف في الجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم بالاعتماد على أقوى العواصف المطرية اليومية التي سجلت في محطة القرين التي تبعد بنحو ٢٠,١ كم جنوب شرق الحوض. وبلغت كمية الأمطار خلال ٢٤ ساعة ١٩١ ملم بتاريخ ١٩٩٨/٣/٧ م. (النفيعي، ٢٠١٠: ١١٥). وتوضح نتائج جدول (٢) السابق أن عمق الجريان السيلي على مستوى الخلايا في الحوض بلغ ١٥٢ ملم، بنسبة ٨٠٪ من إجمالي أمطار العاصفة تجري على شكل سيول، ويعد هذا التقدير معقولاً لاسيما أن أكثر من نصف مساحة الحوض عبارة عن أسطح كتيمة غير منفذة لمياه الأمطار.

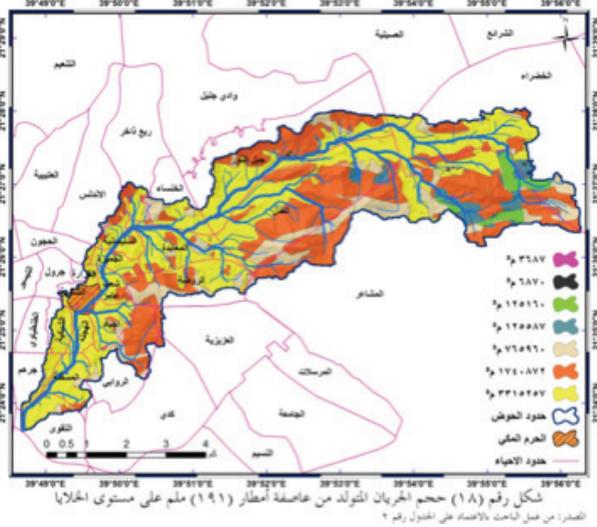
ويوضح شكل (١٦) تباين عمق الجريان على مستوى الخلايا في الحوض، حيث برز أدنى عمق للجريان نحو (٩٧) ملم، بنسبة ٥١٪ من إجمالي أمطار العاصفة متطابقاً مع قيمة الرقم المنحني (٦٨)، وبلغت أعلى قيمة لعمق الجريان ١٨٥ ملم، بنسبة ٩٧٪ من كمية أمطار العاصفة حيث الرقم المنحني (٩٨) الذي يمثل المنشآت والطرق والمواقف وسط الحوض.



الشكل رقم (١٧) عمق الجريان المتولد من عاصفة أمطار (١٩٩١) ملم على مستوى الأحواض الفرعية  
المصدر: من عمل الباحث بالأعداد على الجدول رقم ٣



الشكل رقم (١٦) عمق الجريان المتولد من عاصفة أمطار (١٩٩١) ملم على مستوى الخلايا في الحوض  
المصدر: من عمل الباحث بالأعداد على الجدول رقم ٣



وبرزت أعلى قيمة لحجم الجريان السيلي للعاصفة نفسها ٣٣١٥٢٥٧ م<sup>3</sup>، بنسبة ٥٤,٥٦٪ من إجمالي حجم الجريان للحوض متطابقة مع الرقم المنحني (٩٨) الذي يعد أكثرها صماتة، وتغطي ٤٨,٨٪ من إجمالي مساحة الحوض، وبلغت عدد قيم الأرقام المنحنية التي يقل فيها حجم الجريان عن متوسط الحوض ٨٦٨١٩١ م<sup>3</sup> أربع قيم، بنسبة ٥٧,١٪ من إجمالي عدد القيم، بمساحة ١,٩٢ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٥,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، ويتطابق توزيع قيم الأرقام المنحنية التي يقل فيها حجم الجريان عن المتوسط مع توزيع الأغشية الطبيعية.

في المقابل يتطابق توزيع قيم أحجام الجريان السيلي التي تتجاوز المتوسط مع استعمالات الأرض العمرانية والطرق والكباري والمواقف، ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة A, D، والرواسب والصخور ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة D، ورغم أن عدد قيم الأرقام المنحنية التي يتجاوز فيها حجم الجريان متوسط الحوض ثلاثة قيم، بنسبة ٤٢,٩٪ من الإجمالي، فإنها تغطي مساحة ٣٤,٧٧ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٩٤,٨٪ من إجمالي مساحة الحوض.

في المقابل تظهر نتائج جدول (٣) سابقاً تقدير أحجام الجريان على مستوى الأحواض الفرعية أن إجمالي حجم الجريان في الحوض ٧٦٣٣٦٧ م<sup>3</sup>، بمتوسط على مستوى الأحواض الفرعية ٧٦٣٣٦٧ م<sup>3</sup>، ويرجع سبب التباين المحدود لحجم الجريان على مستوى الأحواض الفرعية إلى أن تقدير الجريان في هذه الحالة يعتمد على قيم CNs (الموزونة)، وهي عبارة عن متوسطات لقيم منحنيات الجريان على مستوى الخلايا بكل حوض فرعي، بينما يعتمد تقدير حجم الجريان في الخلايا على قيم CN (العادية).

وتتباين أحجام الجريان شكل (١٩) على مستوى الأحواض الفرعية، حيث برز أعلى حجم للجريان (١٣٠٦٠٧٠) م<sup>3</sup>، بنسبة ٢١,٤٪ من إجمالي حجم الجريان لعاصفة المطر ١٩١ ملم/ساعة في الحوض (٨)، ويرجع ذلك إلى أن مساحته التي بلغت ٧,٩١ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢١,٦٪ من إجمالي مساحة الحوض، وبلغ عدد الأحواض التي تجاوز حجم الجريان فيها المتوسط ٧٦٣٣٦٧ م<sup>3</sup> حوضين، بنسبة ٢٥٪ من إجمالي عدد الأحواض، تغطي مساحة ١٣,٩١ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٣٧,٩٪ من إجمالي مساحة الحوض.

وتوضح نتائج الجدول السابق (٣) أن أعلى عمق جريان على مستوى الأحواض الفرعية بلغ ١٨٢ ملم، بنسبة ٩٥,٣٪ من كمية أمطار العاصفة تجري على هيئة سيول في الحوض (١)، حيث تبلغ قيمة الرقم المنحني الموزون (٩٧)، ويتصف هذا الحوض بتغطية المنشآت العمرانية والطرق والكباري، وبالتالي هناك تطابق بين خريطة توزيع أرقام منحنيات الجريان الموزونة، وخريطة توزيع عمق الجريان على مستوى الأحواض الفرعية.

وبلغ عدد الأحواض التي يزيد فيها عمق الجريان عن متوسط الحوض حوضين، بنسبة ٢٥٪ من الإجمالي، بمساحة بلغت ٩,٣٥ كم<sup>2</sup>، بنسبة ٢٥,٤٧٪ من إجمالي مساحة الحوض، ويكاد يتطابق توزيع قيم عمق الجريان التي تتجاوز متوسط الحوض مع الاستعمالات العمرانية والطرق والأنفاق، في حين تتساوى قيمة متوسط عمق الجريان للحوض في الحوضين (٤، ٦).

#### و) حجم الجريان السطحي:

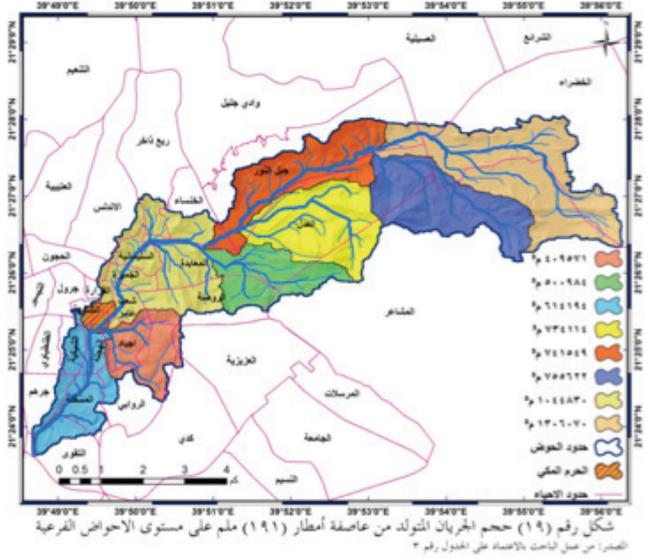
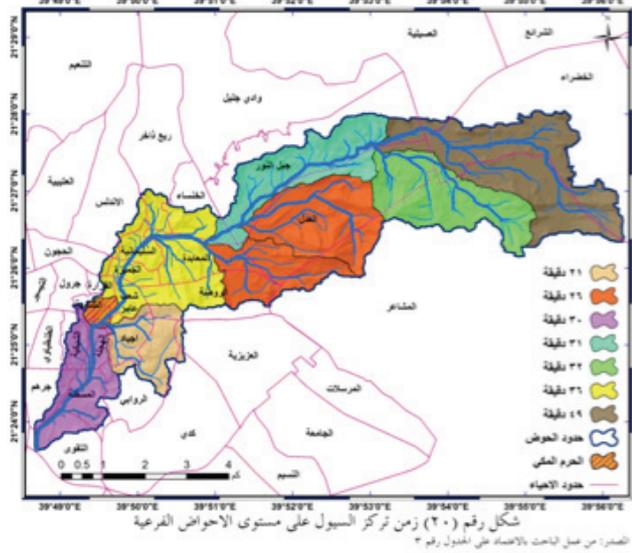
يعبر حجم الجريان عن العلاقة بين عمق الجريان والمساحة، سواءً أكانت على مستوى الخلايا أم على مستوى الأحواض، ويساوي إجمالي الأمطار المتساقطة مطروحاً منها احتفاظ التربة بالماء والمياه المتسربة عبر التربة والصخور، وتنبع أهمية تقديره في تحديد مناطق توليد الجريان، وأماكن الخطر وتصنيفها حسب درجات الخطورة، ويعد حجم الجريان أحد الحسابات المائية التي تركز عليها دراسة المصائد المائية لتحديد أماكن السدود التي يمكن أن تسهم في درء أخطار السيول، والاستفادة من مياه هذه السدود في تغذية المياه الجوفية.

ويساعد تقدير حجم الجريان في تحديد المناطق الأكثر تضرراً من غمر مياه الفيضان، وتحديد المواقع المناسبة لعمل مصاطب صناعية تحد من سرعة الجريان، وتخمين أنسب المواقع المحتملة لآبار المياه، وتظهر نتائج الجدول (٢) أن حجم جريان السيول على مستوى الخلايا في الحوض بلغ ٦٠٧٧٣٣٩ م<sup>3</sup>، ومن الحقائق الأخر التي يمكن أن ندرجها من نتائج تقدير أحجام الجريان هي تناسبه تناسباً طردياً مع قيم الأرقام المنحنية، أي كلما ارتفعت هذه القيم وزادت مساحتها زاد حجم جريان السيول والعكس.

وتتباين أحجام الجريان المتولد من هذه العاصفة على مستوى الخلايا بين أجزاء الحوض شكل (١٨) بسبب تباين الأرقام المنحنية ومساحتها، وعليه برز أدنى حجم للجريان (٦٨٧٠) م<sup>3</sup>، بنسبة ٠,١٢٪ من إجمالي حجم الجريان في الحوض متطابقاً مع قيمة الرقم المنحني (٦٨)، وهذا يعكس صغر المساحة التي تمثلها هذه القيمة، ومدى قدرتها على تسريب كمية كبيرة من مياه الأمطار.

من خطر المياه المنصرفة عند مخرج الحوض، وقد بلغت قيمة المتوسط الحسابي لزمن تركيز المياه في الحوض ٣١ دقيقة، والانحراف المعياري ٧,٩ دقيقة.

وتوضح نتائج شكل (٢٠) تباين توزيع زمن تركيز المياه على مستوى الأحواض الفرعية، حيث بلغ أعلى زمن تركيز المياه الجريان ٤٩ دقيقة في الحوض (٨) الذي يتصف بشكل المستطيل، ويعد هذا الحوض من أكثر الأحواض توليداً للجريان بسبب مساحته الكبيرة، وقد برز أدنى زمن لتركيز المياه ٢١ دقيقة في الحوض (٢)، ويرجع ذلك إلى انحدار سطح الحوض.



وبرز أقل حجم للجريان على مستوى الأحواض الفرعية في الحوض (٢)  $٤٠٩٥٧١ \text{ م}^٣$ ، بنسبة ٦,٧٪ من إجمالي حجم الجريان المتولد من هذه العاصفة، وبلغ عدد الأحواض التي يقل فيها حجم الجريان عن المتوسط ستة أحواض فرعية، بنسبة ٧٥٪ من الإجمالي، بمساحة ٢٢,٧٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، ويتطابق توزيع أحجام الجريان التي تقل عن متوسط الحوض مع الأحواض الصغيرة المساحة التي تغطي بالغطاء النباتي والرواسب.

#### ي) ذروة تصريف الجريان السطحي:

تشير ذروة التصريف إلى كمية المياه التي تخرج من مخرج الحوض م<sup>٣</sup>/ث، ويظهر شكل (٢٠) تباين توزيع ذروة تصريف السيول على مستوى الأحواض الفرعية، ويرتبط هذا التباين بتباين توزيع المساحات المصمطة بين الأحواض وتباين توزيع مساحة الأحواض الفرعية.

وبذلك بلغت قيمة ذروة التصريف للجزء الأعلى من حوض وادي إبراهيم جدول (٣) السابق نحو ٦١٦,٤ م<sup>٣</sup>/ث، وبالتالي تبلغ كمية المياه التي يمكن للحوض أن يصرفها من مخرجه نحو ١١٠٩٥٢٠ م<sup>٣</sup>/ث خلال نصف ساعة، ونحو ٢٢١٩٠٤٠ م<sup>٣</sup>/ث خلال ساعة واحدة، وتعتبر هذه الكمية كبيرة مقارنة بمساحة الحوض، وترتبط هذه الكمية الكبيرة من المياه بنوعية استعمالات الأرض التي تتسم بالصماتة في غالبية أجزاء الحوض.

ويشير شكل (٢٠) إلى تباين توزيع ذروة التصريف على مستوى الأحواض الفرعية، حيث بلغت أعلى ذروة تصريف في الحوض (٣) بنحو ١٩٣ م<sup>٣</sup>/ث حيث قيمة الرقم المنحني (٩٤)، ويعد من أكبر الأحواض بالمساحة، إذ تشكل مساحته نحو ١٦,٣٪ من إجمالي مساحة الحوض، وجاء في المرتبة الثانية الحوض (٨) بنحو ١٨٩,٤ م<sup>٣</sup>/ث، ويأتي هذا الحوض بالمرتبة الأولى بالمساحة.

#### ط) زمن تركيز الجريان:

يقصد بزمن التركيز المدة الزمنية اللازمة لوصول قطرة الماء من أبعد نقطة في الحوض حتى مخرج الحوض، ويرتبط زمن التركيز بعدة متغيرات مكانية كانحدار سطح الأرض المؤثر في سرعة الجريان، وتعرج وطول المجرى، وأطوال المجاري، وكمية الفواقد بالتسرب، وخشونة قاع المجرى، وكثافة التصريف وغيرها، ويعد من المؤشرات الهامة في تحديد أماكن الخطر السيلبي، فكلما قل زمن التركيز زاد خطر الفيضان والعكس.

لا تقصر أهمية حساب زمن التركيز في تحديد مكامن أخطار السيول، بل يعدُّ عنصرًا أساسيًا لحساب ذروة التصريف؛ حيث يتم استخلاص قيم  $Q_u$  (ذروة التصريف) من مخططات تابعة لمصلحة صيانة التربة الأمريكية إذا كانت واقعة ضمن مديات كل حالة من حالات شدة المطر بدلالة متغيري زمن التركيز، ونسبة معامل الاستخلاص الأولي (Ia) على كمية الأمطار حسب شدة العاصفة المطرية، وحسب زمن التركيز بالاعتماد على متغيري مساحة الأحواض الفرعية (S)، ومعدل الانحدار (J).

تظهر نتائج تطبيق معادلة زمن التركيز بالجدول (٣) السابق أن زمن التركيز على مستوى الحوض ٩١ دقيقة، أي ما يعادل ساعة ونصف، وهذا مؤشر على أن هناك إمكانية للإنذار المبكر

## النتائج:

٤) رفع جاهزية الدفاع المدني أثناء هطول الأمطار بالذات عند مخارج الأحواض الفرعية بصورة عامة، وفي مصب الحوض بصورة خاصة.

٥) الحد من التوسعات العمرانية بمخارج الأحواض الفرعية والمناطق المنخفضة التي كانت سابقاً مجاري مياه السيول.

## المراجع

الحربي، نوير (٢٠٠٧). النمذجة الالية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية دراسة من منظور جيومورفولوجي، رسالة ماجستير غير منشورة في الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، السعودية. أبو سمور، حسن؛ الخطيب، حامد، (١٩٩٩). جغرافية الموارد المائية، الطبعة الأولى، الأردن، دار صفاء.

داود، جمعة، وآخرون (٢٠١٢). تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية، مجلة إيجي ماتكس، العدد، ٣، ١-١٣.

علي، سامي (٢٠١٣). خصائص درجة الحرارة في مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة «دراسة في المناخ الحضري»، رسالة ماجستير غير منشورة في الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، السعودية.

غانم، عبد النور (٢٠٠٨). أسباب الفيضانات في المناطق الجافة وشبه الجافة وأساليب السيطرة عليها... دراسة حالة «فيضانات مدينة معبر في اليمن»، ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، العدد، ٥، ٣٠-٣٧.

الليثاني، زينب (٢٠١٣). استخدام تقنية الاستشعار عن بعد لدراسة تأثير التغير في المساحات المصمتة بمدينة مكة المكرمة وعلاقتها بالمخاطر السيلية، رسالة ماجستير غير منشورة في الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، السعودية.

مرزا، معراج؛ والبارودي، محمد (٢٠٠٥). السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، عدد خاص بمناسبة اختيار مكة المكرمة عاصمة للثقافة الإسلامية، ١٧٥-٢٦٤.

المملكة العربية السعودية، (١٩٨٦). الخريطة الجيولوجية لمربع مكة، السعودية، الرياض، هيئة المساحة الجيولوجية.

المملكة العربية السعودية، (١٩٨٦). الخريطة العامة للتربة، الرياض، وزارة الزراعة والمياه.

نجيم، رقية (١٩٩١). البيئة الطبيعية لمكة المكرمة دراسة في الجغرافيا الطبيعية لمنطقة الحرم الشريف، رسالة ماجستير غير منشورة في الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، السعودية.

النفيعي، هيفاء (٢٠١٠). تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة في الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، السعودية.

١) تسيطر المنشآت العمرانية التي تتسم بسرعة تولد الجريان على ١٩,٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤٨,٤٪، والأغطية الطبيعية المتوسطة التوليد للجريان (الصخور والرواسب) على ١٨,٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥٠,٩٪، والغطاء النباتي الأقل توليداً للجريان على ٠,٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٥٪ من مساحة الحوض.

٢) تستحوذ المجموعة الهيدرولوجية للتربة D التي تتصف بقلّة نفاذيتها لمياه الأمطار وسرعة توليد الجريان على ٢٥,٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٩,١٪، والمجموعة الهيدرولوجية للتربة A التي تتصف بنفاذية عالية لمياه الأمطار، وتأخر تولد الجريان ١١,٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٠,٩٪ من إجمالي مساحة الحوض.

٣) تتسم غالبية مساحة الحوض بالصماتة لمياه الأمطار، حيث بلغت مساحة قيم الأرقام المنحنية التي تتجاوز القيمة ٩٠ نحو ٢٣,٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٣,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض؛ ممّا يعنى تحوّل غالبية الأمطار لجريان سطحي، وبالتالي شدة خطرها مهما كانت كمية الأمطار.

٤) قلة معاملات احتفاظ التربة بالماء بعد بدء الجريان ومعاملات المستخلصات الأولية عن المتوسطات التي حددتها مصلحة صيانة التربة؛ ممّا يعنى محدودية قدرة الحوض على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، وقلّة الفواقد قبل بدأ الجريان، وكلاهما مؤثر على خطورة الفيضانات في الحوض.

٥) بلغ عمق الجريان على مستوى الخلايا ١٥٢ ملم، بنسبة ٧٩,٦٪ من مياه العاصفة، وعمقها على مستوى الأحواض ١٦٧ ملم، بنسبة ٨٧,٤٪ من مياه العاصفة تتحول إلى جريان، مما يشير إلى خطر الفيضان في الحوض.

٦) بلغ حجم الجريان السطحي في الحوض على مستوى الخلايا ٦٠٧٧٣٣٩ م<sup>٣</sup>، وبلغ على مستوى الأحواض ٦١٠٦٩٣٤ م<sup>٣</sup>، ممّا يعنى ضخامة حجم المياه مقارنة بمساحة الحوض.

٧) بلغت ذروة التصريف للحوض ٦١٦,٤ م<sup>٣</sup>/ث، بمعنى أن كمية ما يصرفه الحوض من مخرجه نحو ١١٠٩٥٢٠ م<sup>٣</sup>/ث خلال نصف ساعة، ونحو ٢٢١٩٠٤٠ م<sup>٣</sup>/ث خلال ساعة واحدة.

## التوصيات:

١) توجيه توسع المنشآت البشرية نحو مناطق انتشار المجموعة الهيدرولوجية للتربة D، والحد من توسعها بمناطق انتشار المجموعة الهيدرولوجية للتربة A التي تعدّ من متنفسات الفيضانات.

٢) المحافظة على الغطاء الرسوبي بدرجة أساسية والصخري بصورة عامة في أعالي الحوض؛ كونهما يعدان من المتنفسات المتوسطة النفاذية للفيضان بالذات الرواسب.

٣) التوسع في عملية التشجير في الحوض عامة وفي أعالي الحوض بصورة خاصة؛ بغرض الحد من كمية المياه المتدفقة من هذه المناطق نحو مناطق انتشار المنشآت السكنية والطرق في المنطقة السهلية وسط الحوض وعند مخرجه.

- De Surface Et Debits des Crues. Ecole. Polytechnique. Institute De Genine Rural. Lausanne, France.
- Nasiri.A, Alipur.H. (2014): Determination the Curve Number Catchment by Using GIS and Remote Sensing, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, Vol, 8, 342-345.
- Opolot. E: (2013), Application of Remote Sensing and Geographical Information Systems in Flood Management: A Review, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Vol, 6(10), 1884-1894.
- Ozacar, B. G. (2013): Impacts of Urbanization on Flood and Soil Erosion Hazards in Istanbul, Turkey, Doctor of Philosophy, University of Arizona, United State.
- Ponce, V. M., (1989): Engineering Hydrology, Principles and Practices, Prentice Hall.  
http://ponce.sdsu.edu
- Saber, M. Hamaguchi, T. Kojiri, t. (2008): Surface runoff Modeling of Ephemeral Streams Considering Homogenization Theory in Arid Regions, Wadi Assiut in Egypt, Annuals of Disas. Prev, Inst, Kyoto University, No. 51, 769-783.
- Saber. M, Hamaguchi. T, Kojiri. T, Tanaka. k: (2010), Flash flooding simulation using hydrological molding of wadi of basins at Nile River based of satellite remote sensing data, Annuals of disas. Prev. Res. Inst, Kyouo Univ., No, 53, 683-698.
- Shafuan, M.F.A. (2015): Runoff Estimation Using SCS CN Method For Kelantan River Basin, Conference: International Conference on Water Resources, Langkawi, Malaysia, 1-11.
- Sule.B.F, Alabi.S.A. (2013): Application of synthetic unit hydrograph methods toconstruct storm hydrographs, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 5(11), 639-647.
- USDA, TRR-55, (1986): Urban Hydrology for small watersheds, June.
- USDA, (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation planning With the Revised Universal Soil loss Equation (RUSLE), Issued January, United State.
- USGS, (2012) Estimating Basin Lagtime and Hydrograph-Timing Indexes Used to Characterize Storm flows for Runoff-Quality Analysis, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, United State.
- Wang. X, Xie. H: (2018), A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management, Water, Vol, 10, issu, 608, 1-11.
- Youssef. A, Pradhan. B, Hassan. A. M: (2020), Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery, Environ Earth Sci, Vol, 62, 611-623.
- Adrian. R: (2017), Flood hazard monitoring using gis and remote sensing observations, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 12, No. 2, 329 - 334.
- AL-Jabari, S. Abu Sharkh, M. Al-Mimi, Z. (2009): Estimation of Runoff For Agricultural Watershed Using SCS Curve Number And GIS, IWTC, 13, 1213-1229.
- Banasink.K, Krajewki.A, Sikorska.A, Hejduk.L. (2014): Curve number estimation for a small urban catchment 2 from recorded rainfall-runoff events, Archives of Environmental Protection, Vol. 40, No. 3, 75-86.
- Behzad.A, Sarvati.M.R, Moghimi.E. (2012): Estimating Flood Potential Emphasizing on Geomorphologic Characteristics in Tarikn Basin Using the SCS Method, European Journal of Experimental Biology, Issn: 2248 -9215.
- Bhunya.P.K, Panda.S.N, Goel.M.K. (2011): Synthetic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review, India, The Open Hydrology Journal, Vol, 5, 1-8.
- Darko. P. A: (2017), Remote Sensing and Geographic Information Systems for Flood Risk Mapping and Near Real-time Flooding Extent Assessment in the Greater Accra Metropolitan Area, Degree project in the built environment, second cycle, 30 credits Stockholm, Sweden.
- E. Smith, Gregory, (2010): Development of A Flash Flood Potential Index Using Physiographic Data Sets Within A Geographic Information System, A thesis Unpublished submitted as requirements for the degree of Geography, College of Social & Behavioral Science, University of Utah, United State.
- El Bastawesy. M, Habeebullah. T, Balkhair. K, Ascoura. I: (2013), Modelling flash floods in arid urbanized area: Makkah (Saudi Arabia). Secheresse, Vol, 24, 1-11.
- Farahat. M.S, Elmoustafa. A. M, Hasan. A. A, 2017, Developing Flash Floods Inundation Maps Using Remote Sensing Data, a Case Study: Wadi AL-Arish, Sinai, Egypt, American Journal of Engineering Research (AJER), Vol,6, Issue-5,172-181.
- Gheith, H. Sultan, M. (2002): Construction of hydrologic model for estimating Wadi runoff and groundwater recharge in the Eastren Desert, Egypt, Journal of Hydrology, Vol, 263(1-4), 36-55.
- Hamid. H. A, Wenlong. W, Qiaomin. L: (2020), Environmental sensitivity of flash flood hazard using geospatial techniques, Global J. Environ. Sci. Manage, Vol, 6 (1), 31-46.
- Hermas. E, Gaber. A, El Bastawesy. M: (2021), Application of remote sensing and GIS for assessing and proposing mitigation measures in flood-affected urban areas, Egypt, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol, 24 , 119-130.
- Jaton, J.F. (1980): Hydrologic De Surface: Ecoulement