تقدير خطر السيول شرقي مدينة مكة المكرمة بإستخدام تقنيتي الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

إعداد

أ.د. سعد أبوراس الغامدي

تقدير خطر السيول شرقي مدينة مكة المكرمة بإستخدام تقنيتي الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

إعداد
أ.د. سعد أبوراس الغامدي

الملخص:

تعد المنطقة الواقعة شرقي مدينة مكة المكرمة من أكثر المناطق المحيطة بالعاصمة المقدسة جذبا للأنشطة البشرية من مشاريع حكومية ومخططات سكنية وأراضٍ زراعية وغيرها من الأنشطة. في تلك المنطقة يقع مشعر عرفة الذي يجتمع على صعيده أكثر من مليوني حاج سنويا، وفيها المقر الرئيس لجامعة أم القرى، وفيها عشرات القرى والمخططات السكنية والمزارع وأنشطة أخرى متعددة كالاستراحات والمنتزهات وغيرها. إلا أن تلك المنطقة عرضة لسيول ١٨ واديا، هي مجموع الروافد الرئيسة لواديي نعمان وعرنة، وتلتقي حمولة جميع تلك الأودية في منطقة العابدية حيت تتموضع جامعة أم القرى.

وقد استخدمت في هذه الدراسة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لحساب معامل وذروة التصريف في معادلة تالبوت، وكذلك حساب عدد من المتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية لتقدير خطر السيول في تلك المنطقة.

وقد تبين من هذه الدراسة أن عدة عوامل طبيعية كالبناء الجيولوجي وانحدار السطح وفقر التغطية النباتية أدت إلى صماتة السطح مما جعل قيم معاملي التصريف والفيضان عاليتين، خاصة في حوض وادي نعمان، ومن ثم فإن معظم ما يتساقط من أمطار سيجري على السطح، وهو ما ينذر بمخاطر سيول محتملة خاصة في الجزء الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة حيث تتركز الأنشطة البشرية والتجمعات السكانية وحيث تتخذها طريقا حمولة ثمانية عشر واديا. وبالإضافة إلى العوامل السابقة، فقد أخذ في الحساب مجموعة من العوامل الأخرى ووجد أنها تسهم في زيادة مخاطر السيول كطول المجاري المائية خاصة مجاري الرتبة الأولى، وتكرارية المجرى، ومعدل طول مسافة الجريان السطحي، وذروة التصريف خاصة في حوض وادي نعمان والإدارة الجيدة الغائبة لأحواض التصريف. وبالاعتماد على التوزيع الجغرافي لذروة التصريف فقد تبين أن نحو ثلثي منطقة الدراسة معرضا لخطر السيول خاصة وأن جميع الأنشطة البشرية على تنوعها قد تمت في مجاري الأودية. وقد اختتمت الدراسة بعدد من الاقتراحات يمكن أن تحد من خطر السيول في منطقة الدراسة.

مقدمة:

تعاني البيئات الجافة وشبه الجافة من عددٍ من المشكلات البيئية التي يجب على المخططين وصانعي القرار الاهتمام بإيجاد حلول مناسبة لها. ويأتي في مقدمة تلك المشكلات خطر السيول كأحد المخاطر الطبيعية التي قد تصنف أحياناً في فئة الكوارث الطبيعية. وتبرز مخاطر السيول في مثل بيئة المملكة العربية السعودية كأحد العوامل التي تهدد البنى التحتية ومقومات البيئة الطبيعية، لما يعرف عن السيول في المملكة من فجائيتها وذروتها العالية، خاصة مع ما تشهده الأرض من تغيرات مناخية تؤدي إلى إحداث سيول عرمة. وليس الأمر قاصرا على القوة التدميرية للسيول على الأرواح والممتلكات المدنية، بل أن هذه السيول تؤدي إلى تلويث التربة والماء، وجرفٍ وتآكلٍ مستمر للتربة إلى أن ينتهي باضمحلال انتاجيتها.

ويتعاظم خطر السيول في المناطق الحضرية وتخومها بحكم تجمع عدد كبير من الناس في بقعة محدودة المساحة، مما قد يؤدي في حال حدوث سيول عرمة إلى حدوث وفيات وتشريد الآلاف وتدمير الممتلكات والبنى التحتية. وتبرز مدينة مكة المكرمة كإحدى مدن المملكة العربية السعودية المكتظة بالسكان والتي تشهد تنامياً عمرانياً في العقود الأخيرة، مما أنتج مئات من المخططات السكنية المعتمدة والعشوائية، خاصة على أطرافها. وتزامن مع هذا وقوع بعض هذه المخططات، وكذلك الحال بعض المنشآت العامة، في مجاري الأودية أو مناطق تجمع السيول مما ينذر بخطر محتمل قائم حتى تتم معالجته. وتمثل المنطقة الواقعة شرق مدينة مكة المكرمة واحدة من أكثر الأجزاء المحيطة بالمدينة أهمية ونمواً. ففي ذلك الجزء يقع مشعر عرفة الذي يجتمع في صعيده سنوياً قرابة ٣ ملايين نسمة، كذلك يمتد في ذلك الجزء أهم الطرق الشريانية بين مكة ومشعر عرفة، وبين مكة والطائف. وفي ذلك الجزء يقع مقر جامعة أم القرى بالعابدية، وحي العوالي العامر بالسكان، ومنطقة الحسينية ذات الأهمية الزراعية والسكنية. كما نما في ذلك الجزء

FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE EASTERN PART OF THE HOLY CITY OF MAKKAH USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Prof.Dr. Saad Abu Ras Al-Ghamdi

Abstract:

The area located eastern of The Holy City of Makkah considered as strategic and attractive site for human investments including government projects, residential zoned area, cultivated lands, and many other activities. In that area, there are the sacred site of Arafat where two millions are gathered every year, the main campus of Umm Al-Qura University (UQU), Alhosainiah town and villages. The area is considered to be at risk from flooding by 18 wadis which are the tributaries of Naaman and Oranah vallies. The loading of all tributaries converge in Alabediah where UQU resides.

In this study, geographic information system and remote sensing techniques were utilized to compute discharge coefficient and peak, and numbers of morphometric and hydrologic variables in order to assess flood risk.

It was concluded that the study area is at risk of flood due to several factors contribute to the surface imperviousness such as geologic structure, slope, and the scarcity of vegetation cover, which as a whole generate high value of the discharge and flood coefficients, particularly in the southwestern part of the study area where is most of the human activities are clustered. In addition to the mentioned factors, some other factor were consider and examined and found to be contributors also to flood hazards such as the length of stream particularly first order streams, stream frequency, the average length of runoff, peak discharge particularly in Wadi Naaman watershed, and poor watershed management. Several recommendations were suggested for better flood management in the area of study.

عدد كبير من الاستراحات والأنشطة المتعددة، بالإضافة لكثير من القرى والمخططات السكنية في حوض وادي عرنة بمنطقتي المغمس والوادي الأخضر.

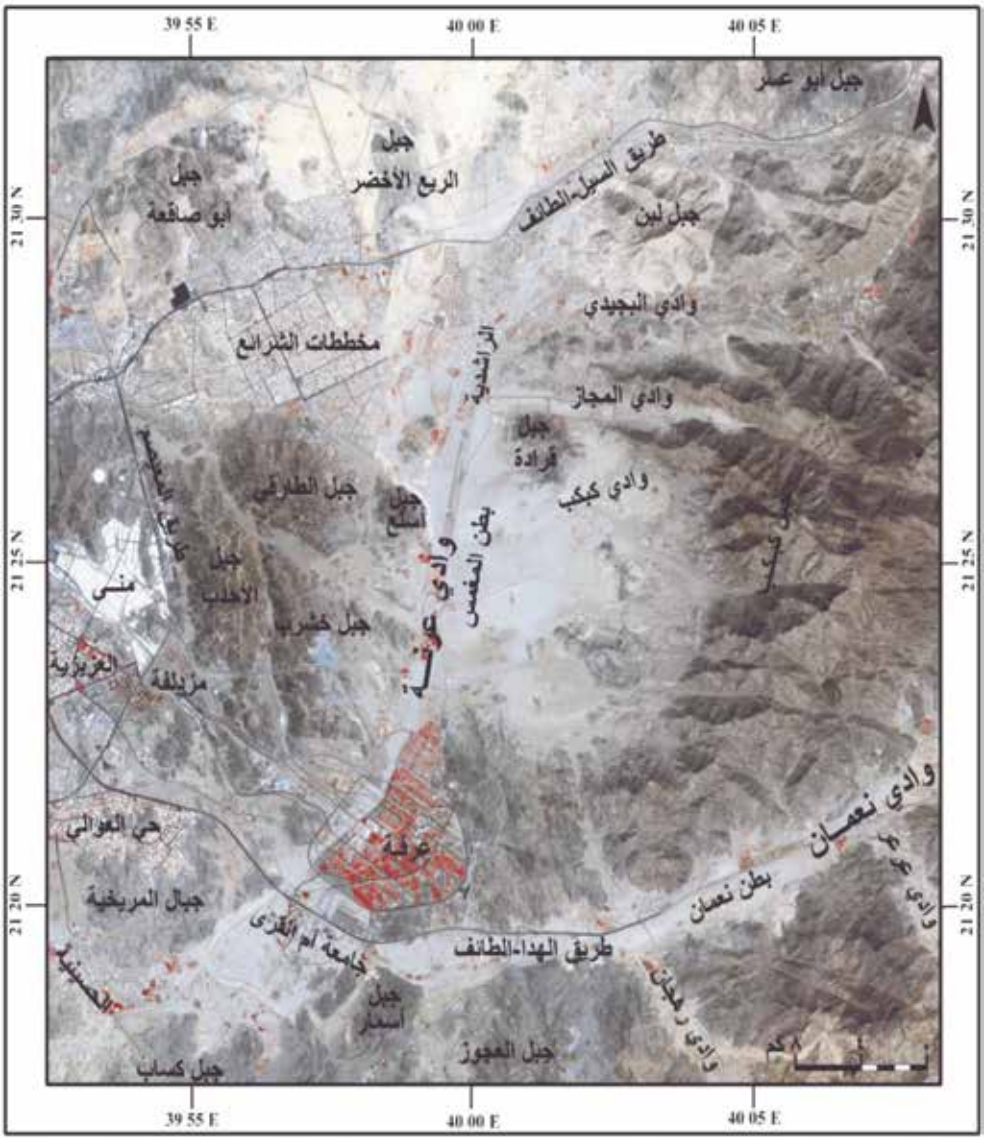
وتهدف هذه الدراسة إلى تحديد مناطق الخطر السيلي Potential flood hazard zones شرق مدينة مكة المكرمة من خلال توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems) (GIS والاستشعار عن بعد Remote Sensing.

موقع منطقة الدراسة وظروفها الطبيعية والبشرية:

الحدود المكانية للدراسة: تمتد منطقة الدراسة شرقي مدينة مكة المكرمة في منطقة مجاري سيول واديي نعمان ووادي عرنة (شكل رقم ١)، بين دائرتي عرض ١٨َ ٢١° إلى ٣٢َ ٢١° شمالا، وبين ٥٢َ ٣٩° إلى ٠٨َ ٤٠° شرقا. وبذلك فإنها تضم مساحة تقدر بنحو ٧٣٢ كم٢. وهي تضم بعض ضواحي مدينة مكة المكرمة المهمة كبعض مخططات الشرائع ومخططات الوادي الأخضر أو المغمس إجمالا)، بالإضافة إلى مشعر عرفة الذي يتدرج ارتفاعه ما بين ٣٤٠ م فوق مستوى سطح البحر في جبل الرحمة إلى ٢٨٩ م فوق مستوى سطح البحر في جزئه الجنوبي الغربي المتاخم لمجرى عرنة. كذلك توجد في هذه المنطقة المدينة الجامعية بالعابدية (متوسط ارتفاعها ٢٨٤ م فوق مستوى سطح البحر)، ومحطة السكة الحديد للمشعر الحرام بين عرفة ومنى، وكذلك فإن المنطقة المحصورة بين مخرج وادي المجيريش ومنطقة عرفة ينتشر فيها العديد من المخططات السكنية والاستراحات والأنشطة الزراعية، وتضم منطقة الدراسة أيضا عدداً من المنشآت السكنية القديمة والحديثة والأراضي الزراعية في منطقة الحسينية. وهذه المناطق إجمالاً هي البوابة الشرقية لمدينة مكة المكرمة التي تصلها بمنطقة الطائف ومن ثم المناطق الجنوبية والوسطى من المملكة. وبذلك فإن منطقة الدراسة تمثل أهمية حيوية بالغة لوجود الطرق السريعة المتمثلة في طريقي الكر – الطائف والسيل – الطائف، بالإضافة إلى المشعر الحرام في عرفة، والأنشطة البشرية الأخرى التي سبق ذكرها. على أنه في مرحلة الدراسة المورفومترية والهيدرولوجية سوف يتم العمل على كامل الحوض الأعلى لوادي عرنة والذي تقدر مساحته بنحو ١٤٠٠ كم٢، وذلك لأن مواقع عرفة والجامعة والحسينية في جنوب غرب منطقة الدراسة تنتهي إليها أودية الشرا ويعرج وعلق والمجيريش وعرعر ورهجان التي تكون وادي نعمان، وأودية الشرائع والبجيدي وكبكب وقرو وسعد وغيرها من الروافد التي تكون وادي عرنة. بالإضافة إلى أودية تنبع من جبل كساب وتلتقي بالمجرى الرئيس لوادي عرنة عند مدخل بلدة الحسينية. وبهذا فإن منطقة الدراسة محصورة من الناحية الغربية في شكل رقم (١) بحدود خط تقسيم المياه لوادي عرنة باعتبار تركيز هذه الدراسة على مخاطر السيول في المناطق الواقعة تحت تأثير واديي نعمان وعرنة، وعلى ذلك فإن أحياء العوالي وجنوب العزيزية ومنى والمعيصم وبعض أحياء الشرائع الظاهرة في شكل رقم (١) والتي لا تنصرف مياهها نحو المنطقة لن تكون موضوعا في هذه الدراسة.

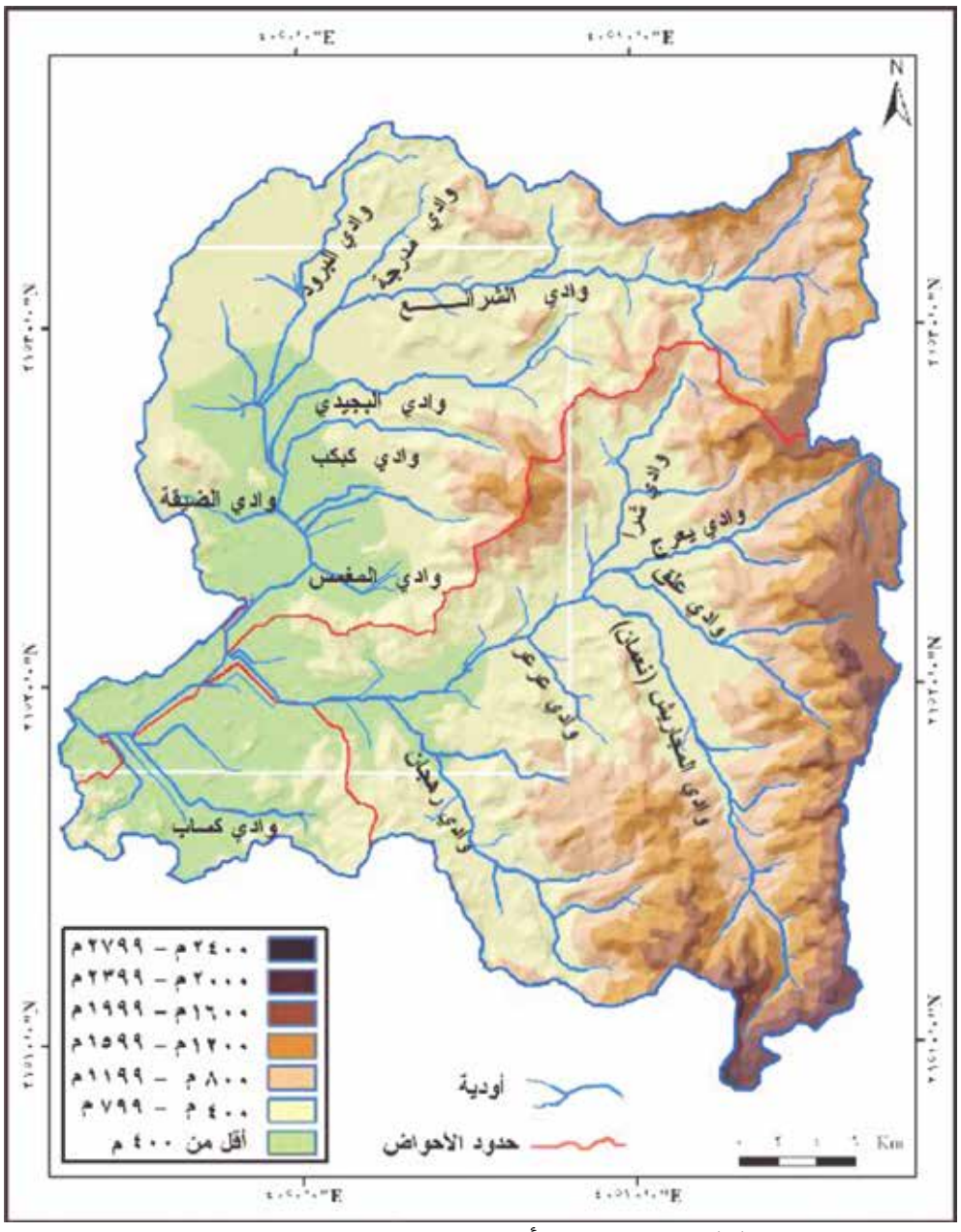
جيولوجية منطقة الدراسة: وفقا لمور والرحيلي (Moore and Al-Rehaili, 1989) فإن معظم صخور المنطقة تتألف من تكوينات معقدي ملح ونعمان Milh and Noman complexes. ويتوزع معقد ملح في جبل كساب والعجوز وبطن المغمس بالإضافة إلى المنحدرات الغربية من جبل كبكب. ويتألف هذا المعقد من تشكيلات من الصخور المتداخلة Intrusive rocks كالديورايت والجابرو. أما معقد نعمان فيتمثل في جبل كبكب ويتألف من بيوتاتيت مونزوجرانيتي متكتل إلى متورق، مع نيس ومونزوجرانيت في تموضعات أخرى. ويؤلف معقد جعرانة Juranah complex مجموعة جبال الطارقي وخشرب واسلع، ويتكون بصفة أساسية من هورنبلند وتالونايت وجرانوديورايت. وفي مجاري الأودية توجد عموماً ارسابات وديانية wadi alluvial تتكون من رواسب خشنة رملية وحصوية، هذا بالإضافة إلى رواسب مختلطة تالوسية وريحية Talus and Aeolian deposits.

تضاريس المنطقة: تقف جبال كبكب في شرقي منطقة الدراسة كأهم معالم سطحها، ويبلغ ارتفاعها ١٧٣٦ م فوق مستوى سطح البحر، ويقابلها في الناحية الأخرى مجموعة جبال أهمها أسلع وخشرب والطارقي والأحدب (انظر شكل رقم١). وينحصر بين هذه الجبال شرقاً وغرباً وادي عرنة المنحدر جنوبا من جبال كبكب ولبن والبجيدي والشرائع،



شكل رقم (١). معالم منطقة الدراسة (مرئية مركبة زائفة التلوين).

ويخترق الوادي منطقة الراشدية فبطن المغمس ليدخل منطقة عرفة بمحاذاة حدودها الغربية، ثم يلامس الطرف الغربي من الجامعة مع انحناءته نحو الجنوب الغربي ليخترق منطقة الحسينية على ارتفاع ٢٥٠ م في أقصى جنوب غربي منطقة الدراسة. وأهم روافد هذا الوادي أودية قرو وسعد وكبكب والبجيدي والشرائع. وفي جنوب منطقة الدراسية يجري وادي نعمان الكبير بمحاذاة الطرف الجنوبي لجبال كبكب حيث يخترق الحرم الجامعي لجامعة أم القرى ويلتقي بوادي عرنة في أعالي الحسينية جنوب غرب الجامعة على ارتفاع ٣٠٠ م فوق مستوى سطح البحر. ويرفد هذا الوادي عدد من الروافد أهمها أودية رهجان وعرعر والمجاريش وعلق ويعرج والشرا وجميعها تبدأ من جبل نعمان وكرا. ويعد الجزء الجنوبي الغربي على وجه الخصوص من منطقة الدراسة مسرحاً للعمليات المائية لواديي نعمان وعرنة وروافدهما (شكل رقم ٢). ويبدأ وادي نعمان من منابع عدة في أعالي جبال الكر (كرا) وشعار وسحار وتفتان، وأعلاها قمة جرف سفيان على ارتفاع ٢٥٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، كما تبدأ روافد وادي عرنة من جبال عدة أهمها تفتان (١٧٥٠م) وكبكب (١٧٣٦ م). وبجانب هذين الواديين، هناك عدة أودية منبعها جبل كساب وأسمار والعجوز جنوب منطقة الدراسة.



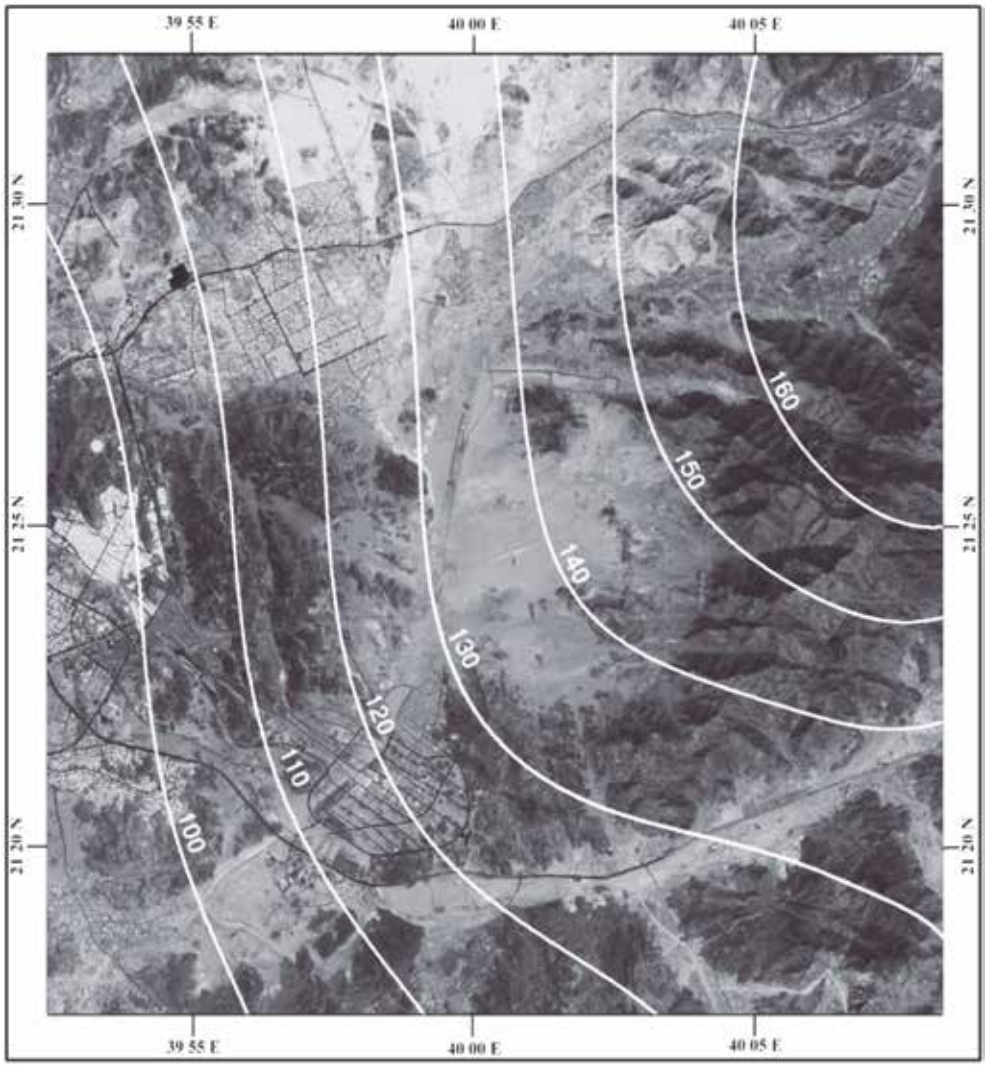
شكل رقم (٢). شبكة مجاري الأودية التي تصرف سيولها منطقة الدراسة.

الأحوال المناخية: بتحليل بيانات المحطات المناخية والمطرية وبالنظر إلى موقع منطقة الدراسة بالنسبة لدوائر العرض، فإن منطقة الدراسة تقع في النطاق المداري الجاف، حيث يبلغ معدل الحرارة السنوي في المنطقة ٣١° م، ويزيد معدل درجة الحرارة في الصيف عن هذا إلى ٣٦° م في أشهر الصيف، بينما يقل المعدل في الشتاء إلى ٢٥° م. ولا تزيد معدلات الرطوبة النسبية السنوية في الحوض عن ٤٥٪، وهي تزيد في فصل الشتاء عنها في الصيف بفارق ١٥٪ تقريبا. وتؤثر المرتفعات الجبلية شرق المنطقة في كل من عاملي الحرارة والرطوبة النسبية، فيبلغ المعدل السنوي للحرارة في مرتفعات كبكب ٢٢° م، وترتفع الرطوبة النسبية إلى أكثر من ٧٠٪. وبالنسبة للأمطار فإنها ربيعية خريفية في معظمها، وأقل معدلات التساقط تكون في فصل الصيف. ويبلغ معدل التساقط في الحوض ١٢٧ ملم، وللعامل التضاريسي دوره في خلق التباين في معدلات التساقط في الحوض، فنجد أن معدلات التساقط تقل باتجاهنا من المرتفعات الجبلية العالية في شمال شرق المنطقة التي يبلغ التساقط فيها نحو ١٦٧ ملم إلى الجنوب الغربي لمنطقة الدراسة التي يبلغ معدل التساقط فيها نحو ٨٩ ملم (شكل رقم ٣). وتتصف أمطار منطقة الدراسة بأنها فجائية وغير منتظمة الهطول في وقتها أو في كميتها، كما تمتاز بشدتها أحياناً التي تُحدث كثيرا من الأضرار وقد تؤدي إلى وفيات. ويتركز خطر هذه السيول في

معظمه كما هو معروف في مخارج أودية البجيدي والشرائع في حوض وادي عرنة، ومن ثم الجزء الجنوبي من منطقة عرفة بمحاذاة حرم جامعة أم القرى. كذلك فإن السيول القادمة من أعالي جبال نعمان تلتقي مع السيول المنصبة من وادي عرنة لتصب جميعها في منطقة الحسينية.

المظاهر البشرية في منطقة الدراسة: كانت هذه المنطقة منذ ما قبل الإسلام ظهيراً زراعياً ومائيا لمدينة مكة المكرمة. ومن المعروف أن المشروع المائي للسيدة زبيدة لسقيا الحجاج المسمى بعين زبيدة كان يمر بمنطقة الدراسة ويستقي ماؤه من أعلى جبال الكر. وقد قدر أن المحفور من الآبار في وادي نعمان وحده نحو ١٠٠٠ بئر (الدخيل وآخرون، ١٤١٨ هـ)، بل إن عرفة مشهورة منذ القدم ببركها وآبارها التي كانت لسقيا الحجاج وغسلهم، وقد كانت منطقة الدراسة إلى عهد قريب ذات نشاط زراعي واضح سواء في حوض وادي نعمان أم في حوض وادي عرنة، ولكن حدثت تبدلات خلال العقود الأخيرة بسبب عمليات التوسعة المستمرة للحرم المكي الشريف والذي تبعه نزوح الساكنين من قلب المنطقة المركزية لمدينة مكة المكرمة نحو أطراف المدينة، وتحت زيادة ضغط النازحين في أطراف المدينة فقد بدأ

الاتجاه نحو بطون الأودية المجاورة كعرنة ونعمان. وكمثال فإن مخططات الشرائع قد أعتمد معظمها بعد عام ١٤٠٠ هـ ، وكانت شبه خاوية حتى عام ١٤١٠ هـ باستثناء حي شرائع المجاهدين، والآن يناهز عدد سكانها ١٠٠٠٠٠ نسمة. وقد وجد الغامدي (٢٠٠١) أن ما تقدر مساحته بنحو ٣٠٠٠٠٠ مليون متر مربع من الأراضي الزراعية في وادي عرنة عام ١٩٩٢ م قد تحولت إلى أراضٍ طينية جافة غير مزروعة بحلول عام ١٩٩٨ م. والأمر نفسه حدث للأراضي الزراعية المشهور بها حوض وادي نعمان في أسفل واديي



شكل رقم (٣). توزيع الأمطار في منطقة الدراسة.

المجاريش ورهجان بالإضافة إلى خبت نعمان والعابدية والحسينية. لقد أصبحت اليوم أراضي مشاريع ومخططات سكنية واستراحات وجففت الأراضي الزراعية وحولت إلى مخططات بعضها عشوائي وبعضها منتظم والبقية أصبحت أرضا بورا لا يميزها إلا سياجاتها الشجرية انتظاراً لتوزيعها كمخططات سكنية.

ولتحديد الغطاءات الأرضية land covers وحساب مساحاتها في منطقة الدراسة، فقد صنفت مرئية سبوت لعام ٢٠٠٨ م مع الاستعانة بصور كويك بيرد للنطاق المرئي من موقع جوجل إيرث كتحديث لما استجد من منشآت بعد ذلك التاريخ، بالإضافة للخريطة الجيولوجية للمنطقة، ونتائج المراجعة لفئات التصنيف حقليا، حيث تبين أن نحو ٥٢٪ من منطقة الدراسة جبال جرداء، وأن نحو ٢٠٪ منها تغطيها رواسب خشنة مفككة، كما تغطي الرواسب الفيضية والريحية الناعمة نحو ٢٢٪، أما النباتات فتغطي ما يزيد على ٥٪ من منطقة الدراسة، وأكثر من نصف هذا الغطاء النباتي مزارع ومشاريع تشجير، والبقية نباتات جبلية فقيرة، أما النسبة الباقية (٠،٠٥٪) فهي منشآت حضرية والتي على الرغم من نسبتها الضيئلة إلا أنها تكتسب أهمية قصوى فهي محطة الرحلات اليومية لعشرات الآلاف من طلاب جامعة أم القرى، وتجمع الملايين من الحجاج في يوم التاسع من ذي الحجة، بالإضافة إلى ساكني الأودية والجبال من سكان القرى. وعلى هذا يمكن أن يعطينا هذا التصنيف لغطاءات الأرض فكرة عن قسوة البيئة في منطقة الدراسة، لهذا كانت التجمعات البشرية في نقطة التقاء الأودية حيث تتسع المناطق المستوية التي تعبرها المسالك والدروب منذ القدم، وحيث تحتفظ الرواسب بقدر كاف من الماء المنصب إليها من المرتفعات البعيدة، ولذلك يردد سكان المنطقة قولاً قديما وهو أن سيول المنطقة بلا مطر.

وفي هذه المنطقة يقع المشعر الحرام في صعيد عرفة حيث يجتمع على صعيده في يوم واحد أكثر من مليوني حاج. كذلك يقابل مشعر عرفة المقر الرئيس لجامعة أم القرى في العابدية، وليس ايضا ببعيد عن عرفات جنوبا موقع محطة قطار المشاعر والمنشآت المتعلقة فيها من مبان إدارية ومستودعات. وتقع جنوب غرب منطقة الدراسة بلدة الحسينية وقراها التي لا تبعد عن جامعة أم القرى وعرفة سوى ثلاثة كيلومترات. ويمتد على جانبي طريق مكة-الهدا كثير من المخططات السكنية الإستراحات والمزارع بالإضافة إلى مقرات بعض الشركات. وترتبط عرفة بطريق مكة-السيل عن طريق وادي المغمس، الذي تقع على جانبيه عشرات المزارع والاستراحات والمخططات السكنية. ومما سبق نرى أن منطقة الدراسة آهلة بالسكان وبالأنشطة البشرية المتنوعة، وهي الآن محط أنظار كثير من المستثمرين في مجالات الترفيه والتخطيط السكني.

حوادث السيول وآثارها في منطقة الدراسة:

هناك كثير من من الإشارات التاريخية لحوادث السيول في واديي نعمان وعرنة (الأزرقي، ١٩٧٨)، وحديثا عرفت منطقة الدراسة سيولاً عديدة تفاوتت في شدتها، وقد يبلغ التساقط في ٢٤ ساعة أكثر من ١٠٠ ملم كما حدث في سيل السبت الموافق ١٤٢٤/٩/٢٤ هـ حيث بلغ التساقط في الأحياء الشرقية من العاصمة المقدسة نحو ١١٣ ملم في فترة ٩٠ دقيقة (إدارة الدفاع المدني بالعاصمة المقدسة، ١٤٢٥ هـ)، بل إنه قد سجل تساقط في محطة شداد المطرية الواقعة في حوض وادي نعمان بما مقداره ١٩٢ ملم في يوم واحد بتاريخ ١٤١٨/١١/٨ ه. وقد يتوافق سقوط الأمطار مع وقفة عرفة حيث يتجمع الملايين في صعيد عرفة، فقد سقطت كمية أمطار بلغت ٤٥ ملم في فترة ١٤٠ دقيقة على مشعر عرفة بتاريخ ١٤٢٥/١٢/١٢ هـ، بينما كان التساقط في منى في ذات اليوم نحو ٦٨ ملم (إدارة الدفاع المدني بالعاصمة المقدسة، ١٤٢٥ هـ). وكان آخر هذه السيول سيل يوم الخميس ١٤٣٢/١/٢٤ هـ الذي ذهب ضحيته أب وثلاثة من أبنائه في وادي البجيدي عندما جرف السيل مركبتهم على الرغم من أن موجة المطر لم تزد كميتها عن ٢٥ ملم وفق تقارير الدفاع المدني. ويظهر أن وادي البجيدي تحديدا له تاريخ متكرر في حوادث الوفيات نتيجة السيول، فقد توفي أحدهم أيضا في نفس الوادي ضحية سيل حدث في عام ١٤٢٤ هـ. ومن الملاحظ أن ذلك السيل يقدم من ناحية وادي عرنة فيصبح محاذيا لمقر جامعة أم القرى تماما (شكل رقم٤)، ومن ناحية وادي نعمان فإن السيل يتعامد مباشرة على مقر الجامعة وإن كان سد الجامعة يواجه ثقل ذلك بدءا.

منهج الدراسة:

تعتمد هذه الدراسة بشكل عام على حساب ذروة التصريف Peak discharge في عموم منطقة الدراسة بتطبيق معادلة تالبوت A.N. Talbot. وهناك كثير من الحلول الرياضية التجريبية Mathematical empirical methods مثل الحل المنطقي Rational method وطريقة الأرقام المنحنية لمصلحة صيانة التربة الأمريكية SCS- Runoff curve numbers، ولكن مثل هذه الحلول طورت في مناطق ذات غطاء نباتي جيد متنوع له دوره المهم في الجريان السطحي، هذا بالإضافة إلى تركيزها على غطاءات الأرض النباتية فإنها أيضا تدخل في حساباتها استعمالات الأرض المختلفة مع إهمال واضح للعامل الجيومورفولوجي، بينما ركز تالبوت في منهجه على البعد الجيومورفولجي، لذلك فإن طريقة تالبوت قد تكون أكثر ملاءمة للتطبيق في هذه الدراسة بحكم خلو المنطقة من غطاء نباتي مؤثر في منتجات عمليتي التسرب والجريان السطحي، حيث يتصف الغطاء النباتي في منطقة الدراسة بفقره الشديد، كذلك فإن منطقة الدراسة ليست ذات كثافة سكنية مؤثرة، ولا تصل المنشآت على الأرض من مبانٍ بما في ذلك جامعة أم القرى إلى ١٪ من مساحة منطقة الدراسة.

وقد طور تالبوت أثناء عمله في جامعة إلينوي بالولايات المتحدة الأمريكية معادلته لحساب ذروة التصريف (الجريان الأقصى). وقد أحدثت تحسينات مستمرة على تلك المعادلة مع مرور الزمن، وبالرغم من قدمها إلا أنها لا زالت تستخدم إلى اليوم، فوزارة المواصلات في المملكة العربية السعودية تعتمد استخدام صيغة محسنة من تلك المعادلة (Quraishi and Al-Hassoun, 1996)، كذلك فإن وزارة الشئون البلدية والقروية في المملكة أشارت إليها كثيرا في بعض تقاريرها، ومع ذلك فإن التطبيق لمعادلة تالبوت على عموم الأقاليم الجغرافية في المملكة دون النظر إلى اختلاف خصائص السطح قد ينتج عنه إما مبالغة أو بخس في القيمة المستخرجة لذروة التصريف. لذلك فقد طور قريشي وحسون معاملاً للتصحيح أضيف إلى المعادلة وهي الصيغة التي استخدمت في هذه الدراسة (Quraishi and Al-Hassoun, 1996)، وهي على النحو الآتي:

$$Q=(KCAnRfFf)m$$

حيث Q تمثل ذروة التصريف (م٣/ث)

K تمثل ثابت تتراوح قيمته بين ٠،٥٥٨ للأحواض المتوسطة، و ٣،٥٦١ للأحواض الكبيرة، و ١٠،١٦٦ للأحواض الإقليمية. والأحواض الصغيرة هي التي تقل مساحتها عن ٤٠٠ هكتار، والمتوسطة هي التي تتراوح مساحتها بين ٤٠٠ إلى ١٢٥٨، والكبيرة تتراوح مساحتهابين ١٢٥٨ و٣٥٩٤٤ هكتار، أما الإقليمية فهي التي تزيد مساحتها عن ٣٥٩٤٤ هكتار.

شكل رقم (٤). السيل جنبا إلى جنب مع مقر جامعة أم القرى في العابدية.

C **معامل التصريف، وهو ناتج ثلاثة معاملات أخرى وهي:** C1 معامل حالة التضرس، C2 وهو معامل انحدار السطح، C3 وهو معامل شكل حوض التصريف. ويبين جدول رقم (٢) قيم هذه المعاملات.

An مساحة حوض التصريف مرفوعا لمعامل ثابت ذو قيمة مختلفة تبعا لمساحة الحوض وهي ٠,٤٠ ، ٠,٥٠ ، ٠,٧٥ للأحواض المتوسطة والكبيرة والإقليمية على التوالي.

Rf عامل المطر، ويتراوح بين قيمة ١,٥ للأحواض المتوسطة، وقيمة ١,٤ للأحواض الكبيرة والإقليمية.

Ff وهو عامل التكرار اعتمادا على فترة الرجوع المرغوب فيها، ومتوسطها قيمة واحد صحيح لفترة رجوع ٢٥ عاما.

m معامل تصحيح طور ليتفق وحالة بعض الأقاليم الجغرافية في المملكة العربية السعودية، وتتراوح قيمت بين ٠,٩٦ و ١,١.

مصادر البيانات: اعتمدت هذه الدراسة على بيانات من مصادر شتى، **وهي بصورة موجزة على النحو الآتي:**

١- بيانات الرصد المناخي لمحطتي أم الجود وأم القرى، بالإضافة إلى بيانات اثنتي عشرة محطة مطرية ومناخية شاملة (انظر جدول رقم ١).

٢- خرائط جيولوجية وجغرافية لمنطقة الدراسة. صادرة عن إدارة المساحة الجوية بوزارة البترول والثروة المعدنية لعام ١٩٧٠ م.

٣- بيانات رقمية تشتمل على نموذج ارتفاع رقمي DEM بدقة تمييز ٣٠ م يغطي كامل منطقة الدراسة، بالإضافة إلى بيانات نموذج ارتفاع رقمي بدقة تمييز ٥ م تغطي جزءاً كبيراً من منطقة الدراسة، كذلك توفرت للباحث بيانات القمر الفرنسي SPOT-5 لعامي ٢٠٠٨ و ٢٠٠٥، وبيانات الراسم الموضوعي

Thematic Mapper (TM)

المحمول على القمر الصناعي الأمريكي لعام ١٩٨٦ و١٩٩٥ و٢٠٠١.

جدول رقم (١)، بيانات المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة.

اسم المحطة	نوع المحطة	خط الطول	خط العرض	الارتفاع
مكة (أم الجود)	شاملة	٥٠ ٣٩	٢٠ ٢٢	٣١٠
مكة (أم القرى)	شاملة	٥١ ٣٩	٢١ ٢٤	٣٢٥
شداد	مطرية	٠١ ٤٠	٢٠ ٢١	٣٨٠
الفرين	مطرية	٠٧ ٤٠	٢٢ ٢١	٥٢٠
نعمان	مطرية	٠٩ ٤٠	٢٦ ٢١	٥٢٠
صلاح	مطرية	٠٦ ٤٠	٣٩ ٢١	٥٧٠
الكر السفلى	مطرية	١٢ ٤٠	٢١ ٢١	٧٢٠
الكر العلوي	مطرية	١٣ ٤٠	٢١ ٢١	٩١٠
السيل الكبير	شاملة	٢٥ ٤٠	٣٧ ٢١	١٢٣٠
حمي سيسد	شاملة	٣٠ ٤٠	١٨ ٢١	١٥٠٠
الطائف	شاملة	٢٧ ٤٠	٢٤ ٢١	١٥٣٠
بقران	مطرية	٣٩ ٤٠	٠٨ ٢١	١٦٥٠
الطائف٢	مطرية	٢٤ ٤٠	١٧ ٢١	١٦٨٠
وادي محرم	مطرية	١٩ ٤٠	٢٠١ ٢١	١٨٧٠

معالجة البيانات وتحليلها: صممت هذه الدراسة لتحليل مخاطر السيول في منطقة الدراسة على وجهين:

الأول: التحليل الكمي وفيه يتم حساب ذروة التصريف في منطقة الدراسة عن طريق معادلة تالبوت وتحديد مناطق الخطر السيلي بناء على تصنيف مخرجات المعادلة اعتمادا على توظيف نظم المعلومات الجغرافية لذلك الغرض. لذلك فإن البيانات المتعلقة بالتساقط ونموذج الارتفاع الرقمي كانا هما المدخلات الرئيسة في برنامج ArcGIS، حيث استخدمت إضافة TauDem لتحديد الأحواض المائية التي تصرف مياهها في منطقة الدراسة واستخراج شبكات التصريف المائي، وكذلك لاستخراج معامل C بعناصره الثلاثة سواء لكل خلية في الحوض أو للأحواض الجزئية. كذلك حسبت مساحة الأحواض الكلية والجزئية في الحوض، بالإضافة إلى معالجة بيانات التساقط لكل خلية ولكل حوض جزئي على حدة.كذلك استخدم في هذه الدراسة بعض الحلول التجريبية empirical methods لمعرفة التباين بين أجزاء الدراسة في خصائص الجريان السطحي. ومن ذلك حساب زمن التركيز time of concentration وهو الوقت الذي يقتضي الأمطار الساقطة في أبعد نقطة في المنابع العليا من الحوض للوصول إلى مخرجه، وهي ما تعرف بالاستجابة المائية للحوض، وكلما كان زمن التركيز أصغر كلما دل ذلك على إمكانية حدوث فيضانات، والعكس بالعكس، وقد تم تبني طريقة كيربيتش (Blanco-Canqui and Lal, 2011) لحساب زمن التركيز على النحو الآتي:

$$t_c = 0{,}02\ L^{0{,}77}\ S^{-0{,}385}$$

حيث tc زمن التركيز بالدقائق

L أقصى طول المجرى الرئيس للحوض من منبعه إلى مصبه

S متوسط انحدار المجرى المائي (٪)

كذلك استخدمت طريقة جاتون (Jaton, 1980) لحساب سرعة الجريان السطحي على النحو التالي:

$$V = L / 3.6\ TC$$

حيث V سرعة الجريان السطحي (م٣/ث)، و L طول المجرى الرئيس بالمتر، وتمثل TC زمن التركيز بالثانية.

كذلك فإن بعض الباحثين (مرزا والبارودي، ٢٠٠٥) يستخدمون معادلة مبسطة لحساب معامل الفيضان، هي على النحو الآتي:

معامل الفيضان= تكرارية مجاري الرتبة الأولى * كثافة التصريف العامة للحوض

وقد استخدمت هذه المعادلة كاستدلال وصفي للمقارنة بين أنظمة التصريف الكبرى في منطقة الدراسة من حيث قابليتها لإحداث فيضان. فمن المعروف أن كثافة التصريف ذات ارتباط موجب مع مخاطر السيول (Altin and Altin, 2011)، كذلك فإن تنامي عدد مجاري الرتبة الأولى يؤدي إلى تفلطح أعلى الحوض وكبر المساحة التجميعية مقارنة بوسط الحوض وأدناه (الغامدي ، ٢٠٠٦ م) مما يؤدي بالتالي إلى ضغط على قنوات التصريف في القطاعين الأوسط والأدنى مما ينتج عنه فيضانات، لذلك فإن هذين العاملين مجتمعين قد يعطيان مؤشرا على احتمال حدوث فيضان كدليل مقارنة بين أحواض متجاورة.

الثاني: التحليل النوعي أو الوصفي: من الملاحظات الميدانية للباحث في المراحل الأولية من هذه الدراسة، تبين أن كثيرا من الأنشطة البشرية في الحوض قد تتعارض مع الجريان الطبيعي للسيول أو مع خطط الجهات المختصة في صرف السيول ودرء خطرها. لذلك فإن بيانات المرئيات الفضائية استخدمت لتحديد استعمالات الأرض وغطاءاتها في منطقة الدراسة، ثم إدخالها كطبقات في برنامج ArcGIS لتحديد تداخل المجاري الطبيعية للأودية مع الأنشطة البشرية الراهنة، هذا بالإضافة إلى ما تم جمعه من الملاحظات الميدانية التي لها قيمتها في تتبع بعض الظاهرات، خاصة البشرية منها، المؤثرة في تصريف السيول بمنطقة الدراسة.

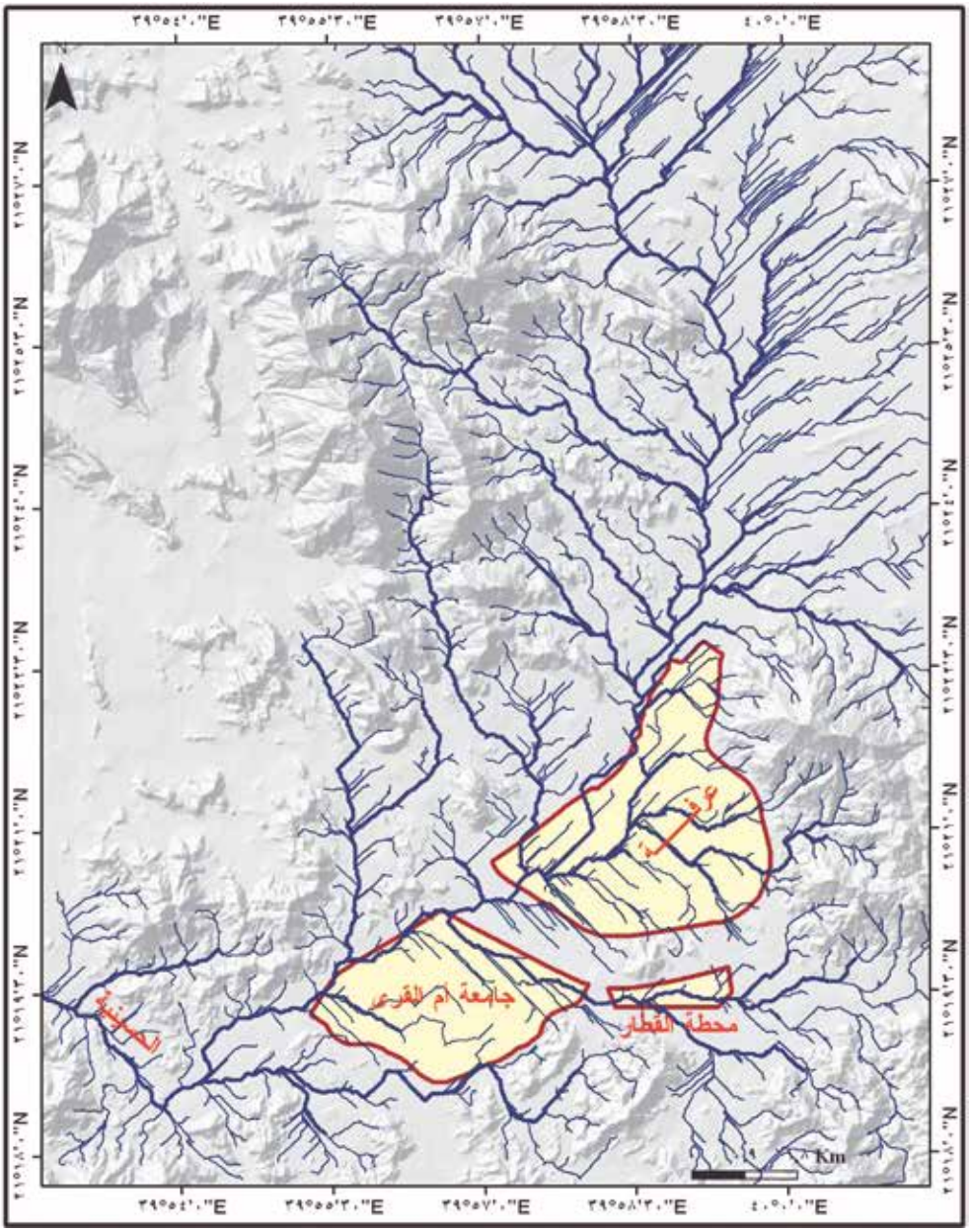
نتائج الدراسة:

أولا: نظام الجريان السطحي في منطقة الدراسة:

بتحليل نموذج الارتفاع الرقمي فقد تبين للباحث أن منطقة الدراسة تعتبر مصرفا للسيول القادمة من ودايي نعمان وعرنة بجميع روافدهما، بالإضافة إلى مجموعة من الأودية التي تصب مجاريها في منطقة الدراسة قادمة من جبال كساب والعجوز وأسمار (شكل رقم ٥). أي أن العمل الهيدرولوجي السطحي في منطقة الدراسة هو نتاج ١٨ حوضا مائيا جزئيا من الأحواض الكبيرة والإقليمية وفقاً لتصنيف تالبوت للأحواض المائية من حيث المساحة، وجميعها تصرف مياهها من خلال منطقة الدراسة. وأكبر هذه الأحواض الجزئية مساحة هو وادي الشرائع الذي تبلغ مساحته ٣٥٩ كم٢، وترفده أودية الصدر وجدعان ومدرجة

والبرود وأم ليلى. ويبلغ مجموع مساحة جميع الأحواض الجزئية ١٤٢٩ كم٢. وفي هذه الدراسة خُصص للأحواض الجزئية الحسابات الكمية لمعامل التصريف وذروة التصريف وفق نموذج تالبوت، وذلك باعتبار ما قد يكون من تباين بين الأحواض الجزئية في درجة مخاطر السيول. أما أنظمة التصريف الكبرى في المنطقة فقد درست علاقتها بمخاطر السيول كدراسة مقارنة استنادا إلى بعض العوامل التي يمكن اعتباراها مؤشرات وصفية دالة كبعض المتغيرات المورفومترية وسرعة الجريان السطحي وزمن التركيز ومعامل الفيضان.

ويمكن تقسيم هذه الأحواض إلى ثلاث مجموعات كبيرة كما اتضح ذلك في شكل رقم (٢)، وهي: نظام أودية حوض وادي نعمان بمساحة تجميعية قدرها ٧١٢ كم٢، وتبلغ كثافة التصريف drainage density في هذا النظام ٢،١٥ كم/كم٢، وتكرارية المجري 5,93 stream frequency مجرى/كم٢، ويبلغ معدل طول المجاري في الحوض ٣٦٣ م مما يستنتج منه سرعة التغذية في المجاري الرئيسة وقت سقوط الأمطار. وتبلغ المساحة التجميعية لأودية حوض ودي عرنة ٦١١ كم٢، وبكثافة تصريف ٢،٢٦ كم/كم٢، وبمعدل تكرارية مجرى ٦،٢٤ مجرى/كم٢، ويكاد يتماثل معدل طول



شكل رقم (٥). مجاري شبكة التصريف التي تتفق مع حدود منطقة الدراسة، ومنه يتبين بوضوح أن الجزء الجنوبي الأوسط والغربي من منطقة الدراسة عبارة عن مصرف للسيول القادم معظمها من خارج المنطقة.

المجاري لكلا حوضي نعمان وعرنة إذ يبلغ في عرنة ٣٦١ م. وتبلغ المساحة التجميعية لحوض كساب ٩١ كم٢، وبكثافة تصريفية تبلغ ١،٩٤ كم/كم٢، ومعدل تكرارية المجرى فيه ٢،٤٣ كم/كم٢ ، ومعدل طول مجاريه ٨١٣ م، وذلك لغلبة النظام الصدعي في تشكيل بنيته. وهذه الأحواض مجتمعة تكون الحوض الأعلى لوادي عرنة الذي يتابع سيره غربا بعد تجاوزه الحسينية حتى يصب في البحر الأحمر. وقد وجد أن كثافة التصريف ذات علاقة موجبة بمخاطر الفيضان (Schumm, 1977)، ويظهر من قيم كثافة التصريف التي هي ملخص للبنية الجيولوجية والتركيب الصخري والعامل المناخي، أن حوض وادي عرنة أكثر عرضة للسيول الشديدة من غيره من أحواض منطقة الدراسة، ويدعم هذا قيمة تكرارية المجرى لحوض وادي عرنة التي هي أعلى من قيم الأحواض الأخرى في منطقة الدراسة.

وبنظر لما يسمى بالجريان السطحي runoff أو overland flow على أنه ذلك الجريان الغطائي على المنحدرات قبل أن يدخل الماء إلى مجرى محدد الصفات. وقصر مسافة الجريان السطحي دليل على سرعة وصول الماء إلى المجاري الناقلة له إلى المخرج وعدم فقد نسبة كبيرة منه نتيجة التسرب داخل التربة أو التبخر، ومن ثم فإنه كلما قلت تلك المسافة عظم شأن الجريان السيلي في الحوض من حيث سرعة التدفق وكميته، ولهذا فإنه يمكن النظر إلى هذه المسافة كمؤشر على الخطر السيلي المحتمل. ويبلغ معدل طول الجريان السطحي في حوض وادي عرنة ٤٢٢ م، يليه حوض وادي نعمان بمعدل مسافة ٤٦٠ م، وأخيرا حوض وادي كساب بمعدل ٧٢٢ م. وعلى ذلك فإنه من الواضح أن وادي عرنة يمثل خطرا سيليا أعظم من بقية الأودية الأخرى في منطقة الدراسة بناء على هذا العامل. بل أننا نجد أهمية هذا العامل في تباين قيمته في حوض وادي عرنة نفسه، فعلى سبيل المثال، تكررت حوادث الوفيات في وادي البجيدي نتيجة جرف السيول للمركبات ولم نجد سجلاً كهذا في وادي الشرائع المجاور، مع أن وادي الشرائع من الرتبة السادسة ويمثل نحو ٥٩٪ من حوض وادي عرنة، بينما نجد أن حوض البجيدي من الرتبة الرابعة ولا يمثل إلا نحو ربع مساحة حوض وادي الشرائع، ولكن معدل مسافة الجريان السطحي فيه ٤٢١ م بينما هو في وادي الشرائع ٦٧١ م.

وبحساب سرعة الجريان السطحي (جدول رقم ٢)، فقد تبين أن سرعة الجريان أعلى في الأحواض الجزئية لوادي نعمان التي بلغ معدلها ٥٤ م٣/ث، ومن بينها كان التدفق السيلي أسرع في وادي المجاريش (٠،٧٥م٣/ث) مقارنة ببقية الأحواض الجزئية في عموم أنظمة التصريف في منطقة الدراسة. ولا يقل كثيرا وادي عرنة عن ذلك، إذ بلغت سرعة الجريان السطحي في أحواضه الجزئية ٤٥ م٣/ث. ولعل ذلك يعود إلى عامل الانحدار بشكل أساسي في هذين الحوضين، فقد وجدت علاقة موجبة قوية (٠,٩١) بين سرعة الجريان وعامل الانحدار لجميع الأحواض الجزئية، لذلك فمن المقبول أن يكون الجريان السطحي في أودية عرنة الذي يبلغ معدل انحدارها ١٩٪ أبطأ منه في أودية نعمان التي يبلغ معدل انحدارها ٢٦٪. أما حوض كساب فقد بلغت فيه قيمة الجريان السطحي المحسوبة ٣٤ م٣/ث، وبذلك فهو بعيد عن المتوسط العام لحوضي نعمان وعرنة الذي يبلغ ٥٠ م٣/ث.

ويتفاوت زمن التركيز لهذه الأحواض تبعاً لشكل الحوض ومساحته وانحداره، ومن الملاحظ من خلال جدول رقم (٢) أن وادي الشرائع الذي يشكل معظم الحوض الأعلى لوادي عرنة ذو استجابة مائية أبطأ من جميع الأحواض الأخرى في المنطقة لاستطالة الحوض وبعد منابعه العليا عن مخرجه وكبر مساحته، ويتفق ذلك مع ما وُجد في هذه الدراسة من علاقة موجبة قوية بين زمن التركيز ومساحة الحوض (٠,٩١)، وعلاقة موجبة قوية أيضا (٠,٩٢) بين زمن التركيز وطول المجرى الرئيس. والعكس من ذلك نجد أن وادي عرعر القريب من عرفة وجامعة أم القرى ذو استجابة مائية أسرع بمقارنة الأحواض الأخرى في وادي نعمان، نتيجة اندماجيته compactness وصغر مساحته، مع أنه أقل انحداراً من الحوضين المجاورين له (المجاريش ورهجان). ويمكن القول إجمالا أنه لو حدث تساقط بنفس الكمية على أعالي حوضي نعمان وعرنة فإن سيول وادي نعمان ستصل إلى منطقة عرفة والجامعة قبل وصول سيول وادي عرنة.

وبحساب معامل الفيضان لكل من هذه الأنظمة التصريفية فقد تبين أن حوض وادي عرنة ذو قيمة أعلى في معامل الفيضان مقارنة بالأنظمة التصريفية الأخرى، فقد كانت قيمة معامل الفيضان لحوض وادي عرنة ١٦,٥٠، تلاه

جدول رقم (٢). بعض خصائص الأحواض المائية التي تصرف مياهها في منطقة الدراسة.

الحوض الجزئي	المساحة (كم٢)	معدل الإرتفاع (م)	متوسط الانحدار ٪	متوسط العرض (كم)	متوسط الطول (كم)	زمن التركيز (دقيقة)	سرعة الجريان م/ث
شرا	٩٣,١	٨٦١	٢٤	٧,٤	١٢,٥	١٥٣	٠,٥١
علق	١٤٠,٨	١٣٠٩	٢٧	٩,٥	١٠,٩	١٦٩	٠,٥٦
المجاريش	١٧٦,٧	١٢٦٢	٣٢	٦,٦	٢٥,٨	٢٢٢	٠,٦٦
عرعر	٣١,٥	٦٨٧	٢٣	٣,٥	٦,٤	١٠٤	٠,٤٤
رهجان	١٥٠,٣	٨٥٥	٢٦	٩,٦	١٧,١	١٩٢	٠,٥٧
بطن نعمان	١١٩,٤	٥٠٠	١٥	٦,٠	١٥,١	٢١٧	٠,٤٥
كساب	٩٠,٩	٣٧٠	٩	٨,٠	١٣,١	٢١٤	٠,٣٤
أدنى عرنة	٤٣,٥	٣٥٩	٧	٥,٣	٧,٥	١٨٨	٠,٢٩
الضيقة	٢٠,٨	٤٥٨	١٦	٢,٩	٧,٧	١٠٥	٠,٣٧
المغمس	٢٩,٤	٤٩٢	١٧	٣,٨	٦,٣	١٠٩	٠,٣٩
كبكب	٥٦,٩	٦٠٦	١٩	٥,١	٨,٦	١٤٥	٠,٤٥
البجيدي	١٠١,٠	٦٠٥	١٨	٤,٦	١٧,٤	٢١٨	٠,٤٩
الشرائع	٣٥٨,٩	٧٢٩	١٦	٩,٧	٢٩,٨	٣٦١	٠,٥٤

حوض وادي نعمان بقيمة ١٤,٩٠، ثم حوض كساب بقيمة ٨,٩٠. وعلى هذا فإنه يمكن لنا أن نضع حوض وادي كساب خارج منطقة التعرض لخطر السيول، غير أنه لا يجب أن نغفل التقاء هذا الوادي في مخرجه مع واديي عرنة ونعمان في منطقة تجميعية واحدة لمياه السيول، وهي منطقة الحسينية.

ومما سبق فإنه يمكن القول أن مصادر الخطر السيلي من حوض وادي نعمان هي أعظم من مصادر الخطر من وادي عرنة بناء على خصائص التدفق السيلي المستنبطة من عدة متغيرات، خاصة عاملا زمن التركيز وسرعة الجريان السطحي، إلا أن معامل الفيضان يظهر خطورة السيول القادمة من وادي عرنة بناء على المتغيرات المورفومترية التي تدخل في حساب هذا المعامل. ومع ذلك نجد أن التنمية العمرانية والأنشطة البشرية المتنوعة أكثر تركيزا في المجرى الأدنى لوادي نعمان، وفي الجزء الأعلى من وادي عرنة في المخططات السكنية المنظمة في أحياء الشرائع ٢ و ٤ و ١٣ و ١٥ والراشدية ٢، على أن هذه العوامل لا تكفي لوحدها في الحكم على درجة مخاطر السيول، فهناك عوامل أخرى تتداخل مع هذا من بينها عوامل بشرية ضيقت مجاري السيول أو أحدثت تغييرا في مجاريها الطبيعية.

حساب معامل التصريف وذروته:

لحساب معامل التصريف (C) وما يتبعه من حساب لذروة التصريف (Q) تبعاً لنموذج تالبوت فإنه من اللازم العمل على احواض التصريف منفردة ثم مجتمعة، وكذلك حساب ذروة التصريف لدى بعض النقاط المهمة ذات الكثافة السكانية الدائمة أو الموسمية كسد الجامعة، ومدخل عرفة الشمالي المواجه وادي عرنة، وبلدة الحسينية باعتبارها مصرف كل الأودية، وهذا بدوره يستدعي حساب معامل التصريف وذروة التصريف بناء على وحدة الخلية pixel unit.

وقد حُسبت قيم معامل التصريف (C) لجميع الأحواض الجزئية وكذلك أيضا على مستوى الخلية (جدول رقم ٣)، فوجد أن أعلى قيمة سجلت لخلية في منطقة الدراسة كانت ١،١، وأقل قيمة كانت ٠،٥، وبلغ متوسط قيم هذا المعامل ٠،٧٥، على أن المتوسط يرتفع قليلا في حدود منطقة الدراسة المبينة في شكل رقم (١) حيث بلغ ٠،٨٧. وهذه القيم العالية لمعامل C تعني أن منطقة الدراسة وما يحيط بها لا تساعد بنيتها الجيولوجية وتركيبها الصخري وغطاءتها الأرضية على تسريب الماء إلى التربة، وأن معظم التساقط يجري

على السطح، وهنا مكمن الخطورة إذ ترتبط مخاطر السيول دائما بالعلاقة بين التسرب والجريان، وحيثما تكون نسبة التسرب أقل من نسبة الجريان السطحي فإن مخاطر السيول أعظم. ومعامل C هنا أشبه بمعامل CN في نموذج الأرقام المنحنية Runoff Curve Numbers، وبمعامل C في الحل المنطقي Rational Method، وجميعها تعتمد على نسبة الإصمات imperviousness، غير أن معامل C في نموذج تالبوت أدق تفصيلا فيما يتعلق بطبيعة الجريان المائي على السطح اعتمادا على البنية والعمل الجيومورفولوجي.

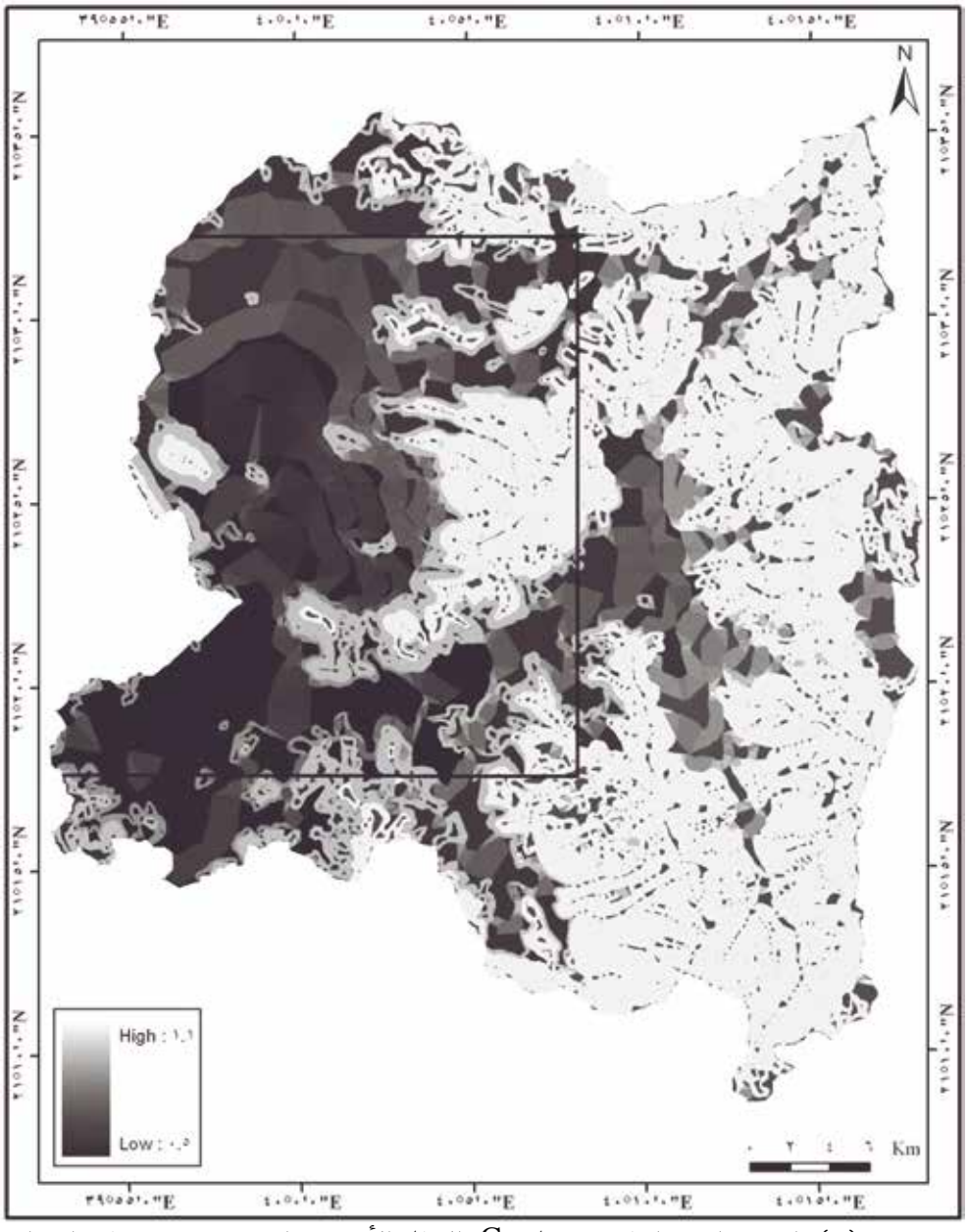
وقد أظهر حساب معامل ارتباط بيرسون علاقة قوية موجبة بين قيم معامل C وبين كل من عنصري الانحدار والارتفاع (٠،٨٨ و ٠،٨٥ على التوالي)، بينما كانت ضعيفة مع عاملي الشكل والمساحة. ومن خلال جدول رقم (٣) يتبين أن أعلى قيم هذا المعامل هي للأحواض الجزئية الواقعة في حوض وادي نعمان. ومن الملاحظ أن ثلاثة من هذه الأحواض تلتقي في منطقة شداد أسفل منطقة الكر، وهي ذات قيم عالية لمعامل التصريف التي بلغ معدلها ٠,٩٢ وهي قيمة عالية جدا، بل أن معدل معامل التصريف لعموم حوض وادي نعمان يبلغ ٠،٨٧ وهي ذات دلالة على أن جل ما يتساقط من أمطار على حوض وادي نعمان يجري على السطح مباشرة، ويزيد تأثير ذلك عندما تلتقي ثلاثة أودية

جدول رقم (٣). معامل التصريف وذروته المحسوبة وفقا لمعادلة تالبوت المعدلة

	قيمة معامل C	ذروة التصريف لفترة رجوع ١٠ سنوات (م٣/ث)	ذروة التصريف لفترة رجوع ٢٥ سنة (م٣/ث)	ذروة التصريف لفترة رجوع ٥٠ سنة (م٣/ث)	ذروة التصريف لفترة رجوع ١٠٠ سنة (م٣/ث)
وادي شرا	٠,٩٥	٢٩٣,١	٣٦٦,٤	٤٣٩,٧	٥١٣
وادي علق	٠,٩٩	٤٤٣،٣	٥٥٤,١	٦٦٤,٩	٧٧٥,٧
وادي المجاريش	٠,٨٥	٥٥٦،٣	٦٩٥,٤	٨٣٤,٥	٩٧٣,٦
وادي عرعر	٠,٨٧	٩٩,٢	١٢٤	١٤٨,٨	١٧٣,٦
وادي رهجان	٠,٨٩	٤٧٣,٢	٥٩١,٥	٧٠٩,٨	٨٢٨,١
بطن نعمان	٠,٧٠	٣٧٥,٩	٤٦٩,٩	٥٦٣,٩	٦٥٧,٩
حوض نعمان الكلي	٠,٨٧	٢٢٤١	٢٨٠١,٣	٣٣٦١,٦	٣٩٢١,٨
وادي كساب	٠،٦٢	١٧٥,٤	٢١٩,٢	٢٦٣	٣٠٦,٩
أدنى عرنة	٠،٦١	١١٧,٤	١٤٦,٧	١٧٦	٢٠٥,٤
وادي المغمس	٠,٧٢	٩٨,٨	١٢٣,٥	١٤٨,٢	١٧٢,٩
وادي الضيقة	٠,٧٦	٦٩,٩	٨٧,٤	١٠٤,٩	١٢٢,٤
وادي كبكب	٠,٧٥	١٩١,٣	٢٣٩,١	٢٨٦,٩	٣٣٤,٧
وادي البجيدي	٠,٦٨	٣٣٩,٥	٤٢٤,٤	٥٠٩,٣	٥٩٤,٢
وادي الشرائع	٠,٧٢	١١٩٩,٨	١٤٩٩,٧	١٧٩٩,٦	٢٠٩٩,٦
حوض عرنة الكلي	٠,٧١	٢٠١٦,٦	٢٥٢٠,٨	٣٠٢٥	٣٥٢٩,١
سد الجامعة	٠,٨٧	٢٢٨٥,٢	٢٨٥٦,٥	٣٤٢٧,٨	٣٩٩٩,١
بلدة الحسينية	٠,٨٧	٤٤٣٣	٥٥٤١,٣	٦٦٤٩,٦	٧٧٥٧,٨

شديدة الانحدار في نقطة واحدة تقريبا بمنطقة شداد أسفل منطقة الكر، ولا يخفف من وطأة السيل سوى بطء الانحدار في بطن وادي نعمان واتساع الوادي.

ويمكن النظر أيضا إلى قيم C على أنها مؤشر يستخدم لتحديد مناطق مصدر الخطر السيلي point source وكذلك تلك المناطق عرضة للخطر. فحيث ترتفع قيم معامل C توجه الجهود إليها لتخفيف حدة الجريان، وحيث تقل قيمة C في المناطق الأكثر انخفاضا توجه الجهود للتحكم في مناطق تجمع السيول وإيجاد وسائل لتفريق Diverging شعب الجريان وابتكار مصارف جديدة. ويبين شكل رقم (٦) التوزيع الجغرافي لقيم معامل التصريف في الأحواض المائية التي تصرف مياهها خلال منطقة الدراسة، وقد استخدم في ذلك التوزيع التدرج الرمادي gray tone ليسهل التمييز بين مناطق نشوء الخطر وهي كل المناطق ذات التدرج اللوني الفاتح، وبين المناطق الواقعة تحت عرضة الخطر وهي ذات التدرج الرمادي الداكن أو كما تعرف بالأوعية sinks، أو مناطق سير وتجمع السيول. وعلى ذلك يمكن القول بأن الأجزاء الجنوبية الغربية من منطقة الدراسة هي الأكثر عرضة لخطر السيول ، وهي ذات التجمعات السكانية والبنى التحتية المطورة في عرفات والعابدية والحسينية. كذلك فإن المجرى الأسفل لوادي عرنة أو كما يسمى احيانا بطريق الوادي الأخضر الذي يبدأ من حي الراشدية ٢ باتجاه



شكل رقم (٦). التوزيع الجغرافي لقيم معامل C. الإطار الأسود يتوافق مع حدود منطقة الدراسة.

الجنوب عبر بطن المغمس وحتى عرفة هو أيضا من ضمن الأجزاء المعرضة لخطر السيول، وقد قدمنا سابقا بأن هذه المناطق هي مسار الطرق السريعة واتجاه التنمية العمرانية في العقد الأخير متمثلاً في المخططات السكنية والاستراحات بالإضافة إلى المزارع والأنشطة البشرية الأخرى.

ويبين أيضا جدول رقم (٣) قيم ذروة التصريف المحسوبة لبعض الأحواض الجزئية التي تتخذ منطقة الدراسة مسارا لها، وكذلك ذروة التصريف المحسوبة لوادي نعمان وحوض وادي عرنة، وبعض النقاط المهمة في منطقة الدراسة، وذلك لعدد من فترات الرجوع تبدأ بعشر سنوات وتنتهي بمائة سنة.

وقد وجد من خلال هذه الدراسة أن هناك علاقة موجبة قوية (٠,٩٨) بين ذروة التصريف ومساحة الحوض، وذلك مفهوم بحكم القاعدة الجيومورفولوجية التي تحكم بزيادة كمية المياه المتصرفة في الحوض مع زيادة مساحته (Chorley, 1971)، ولقوة العلاقة الموجبة مورفومتريا بين المساحة التجميعية للحوض وبين طول المجرى الرئيس، فإن هناك علاقة موجبة قوية بين ذروة التصريف والمساحة بلغت ٠,٩٥. كذلك فإن هناك علاقة قوية موجبة بين سرعة الجريان وبين ذروة التصريف، وكذلك الحال بين زمن التركيز وبين ذروة التصريف. وبالرغم من أهمية حساب ذروة التصريف في تصميم السدود وقنوات التصريف ومعرفة القوة التدميرية للسيول عموما، إلا أن هذه العلاقات المذكورة آنفا نافعة كمؤشرات لخطر السيول في أحواض لم تحسب لها ذروات التصريف.

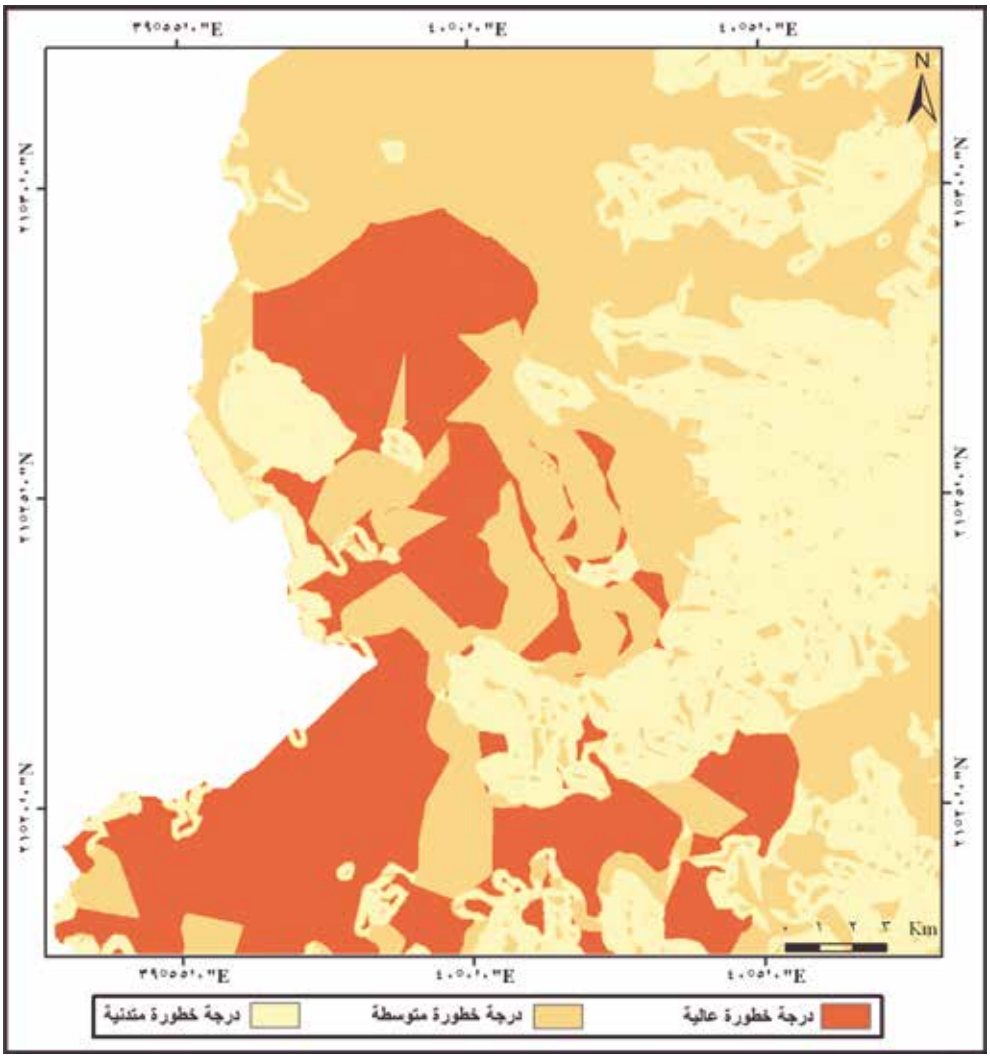
ومن الواضح تماما من خلال شكل رقم (٥) أن مشعر عرفة يستقبل السيول القادمة من حوض وادي عرنة، ومن ثم فإن القيمة المحسوبة لذروة التصريف في الحوض الكلي لوادي عرنة هي نفسها لمشعر عرفة. ويظهر أن وادي عرنة في أدناه كان يخترق طبيعيا منطقة الحرم الجامعي، إلا أن مجاري سيول عرنة عند دخول منطقة عرفة قد وجهت في طريق محدد وصرفت عن الجامعة. وبهذا فإن الجامعة عرضة فقط لخطر السيل القادم من حوض وادي نعمان، ولهذا وُضع سد الجامعة في مواجهته كخط حماية أول، وهو ما اتبع في هذه الدراسة لحساب ذروة التصريف عند موقع السد تماما. غير أن تلك السيول الآتية من حوضي نعمان وعرنة يجتمعان في نقطة جنوب غرب الجامعة وأعلى بلدة الحسينية في مدخلها تماما. وقد سهلت مشاريع السيول القائمة حول مشعر عرفة والجامعة في زيادة تركيز دفق السيول على البلدة. ولهذا كانت بلدة الحسينية من ناحية طبيعية صرفة وبتأثير عوامل بشرية أخرى هي أكثر جزء في منطقة الدراسة مهدد بأضرار السيول.

وباعتبار ٢٥ سنة كفترة رجوع return period فإن ذروة التصريف حسبت أولاً لنقطة المخرج outlet غرب الحسينية لجميع الأحواض التي تنتهي إلى تلك النقطة، ووجد أن ذروة التصريف بلغت ٥٨١٦ م٣/ث في تلك النقطة، مع وجود بعض التفاوت، فبعض الخلايا سجلت ٦٦٧١ م٣/ث كقيمة قصوى، وبعض الخلايا الأخرى سجلت ٣٠٣٢ م٣/ث كقيمة دنيا لذروة التصريف. وعلى مستوى الأحواض الكبرى، بلغ مجمل ذروة التصريف للأحواض الستة الجزئية التي تكون حوض وادي نعمان ٢٨٠١ م٣/ث، بينما كان ذلك لمجمل أحواض وادي عرنة ٢٥٢١ م٣/ث. ويمكن القول بأن أحواض أودية المجاريش ورهجان والشرائع تصب في الجزء الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة نحو نصف التصريف الكلي، ولو أضفنا إليها واديا علق والبجيدي لأرتفعت هذه النسبة إلى نحو ٦٥٪. ولهذا يجب أن توجه الجهود لهذه الأودية الخمسة تحديدا لتخفيف خطر السيول قبل أن تجتمع في المناطق التي أشير إليها قبلا، ويمكن أن تقام مشاريع عديدة حول عرفة والجامعة ومناطق التجمعات السكانية الأخرى، ولكنها ستظل قاصرة إن لم توجه مشاريع درء خطر السيول نحو مجاري تلك الأودية في أعلاها. وتكمن أهمية قيم ذروة التصريف الواردة في الجدول إلى ضرورة الأخذ بها عند بناء أي تصاميم هندسية من سدود أو قنوات صرف أو عبارات أو جسور وما إلى ذلك وفق فترة رجوع محددة. وهذه القيم كما أسلفنا قد حسبت لكل خلية في الحوض، لذلك فإن هذه الدراسة وفرت قاعدة بيانات تفصيلية لقيم التدفق القصوى اللازم اعتبارها لدى إقامة مشروع عند أي نقطة في منطقة الدراسة.

وقد صنفت درجة خطر السيول في منطقة الدراسة بناء على قيم ذروة التصريف باستخدام نقطة القطع الطبيعي natural break إلى ثلاث درجات: خطورة عالية ومتوسطة ومتدنية (شكل رقم ٧). وتمثل المناطق الأشد عرضة لمخاطر السيول ما نسبته ٢٥٪ من منطقة الدراسة، وهي تتركز في جنوب غرب منطقة الدراسة وأجزاء من غربها، في معظم

منطقة مشعر عرفة وكامل الحرم الجامعي وبلدة الحسينية، بالإضافة إلى الجزء الأدنى من وادي نعمان من بعد وادي عرعر، كذلك تمثلت تلك الفئة الخطرة في المخططات السكنية المنظمة في الراشدية ١ والراشدية ٢ وأجزاء من مخططي ٢ و ٣ وكامل مخطط ٤ وامتداداته باتجاه وادي عرنة في مخططات ١٣ و ١٥، بالإضافة إلى أجزاء من بطن الغمس. وبذلك فإن هذه الفئة المعرضة لأخطار السيول تشمل كل المناطق الحيوية تقريبا في منطقة الدراسة من حيث البنى التحتية والاستيطان البشري. أما المنطقة المتوسطة الخطورة فتشمل نحو ٤٠٪ من منطقة الدراسة في بطون الأودية والشعاب والمناطق المستوية، ومن المناطق التي تتمثل فيها هذه الفئة حي شرائع المجاهدين وهو أقدم أحياء الشرائع ومن أكثرها كثافة سكانية، وكذلك مخططا ٥ و ١ في الشرائع، وعلى طول مجرى وادي الشرائع في أعلاه نزولا حتى مخطط الراشدية ١، وعلى امتداد وادي البجيدي وأجزاء من وادي كبكب. أما المناطق التي تعتبر آمنة من خطر السيول فهي المرتفعات الجبلية عموما. ولزيادة الإيضاح فإن شكل رقم (٨) يبين مواقع بعض استعمالات الأرض المهمة في الفئات التي تم تحديدها لتصنيف مخاطر السيول.

هذا التصنيف الذي سبق هو تصنيف طبيعي بحت قد تتداخل معه العوامل البشرية فتغيره، فبعض المناطق التي صنفت بأنها معرضة لخطر السيول بدرجة عالية قد تتحول درجتها إلى متوسطة أو دون ذلك متى كانت هناك تشجير على نحو واسع ووسائل حماية فاعلة ودرء لخطر السيول من تصميم الإنسان، كذلك يمكن أن تكون هناك مناطق متوسطة الخطورة وتتحول إلى مناطق عالية الخطورة بفعل تدخل الإنسان.



شكل رقم (٧). توزيع فئات خطر السيول وفقا لذروة التصريف.

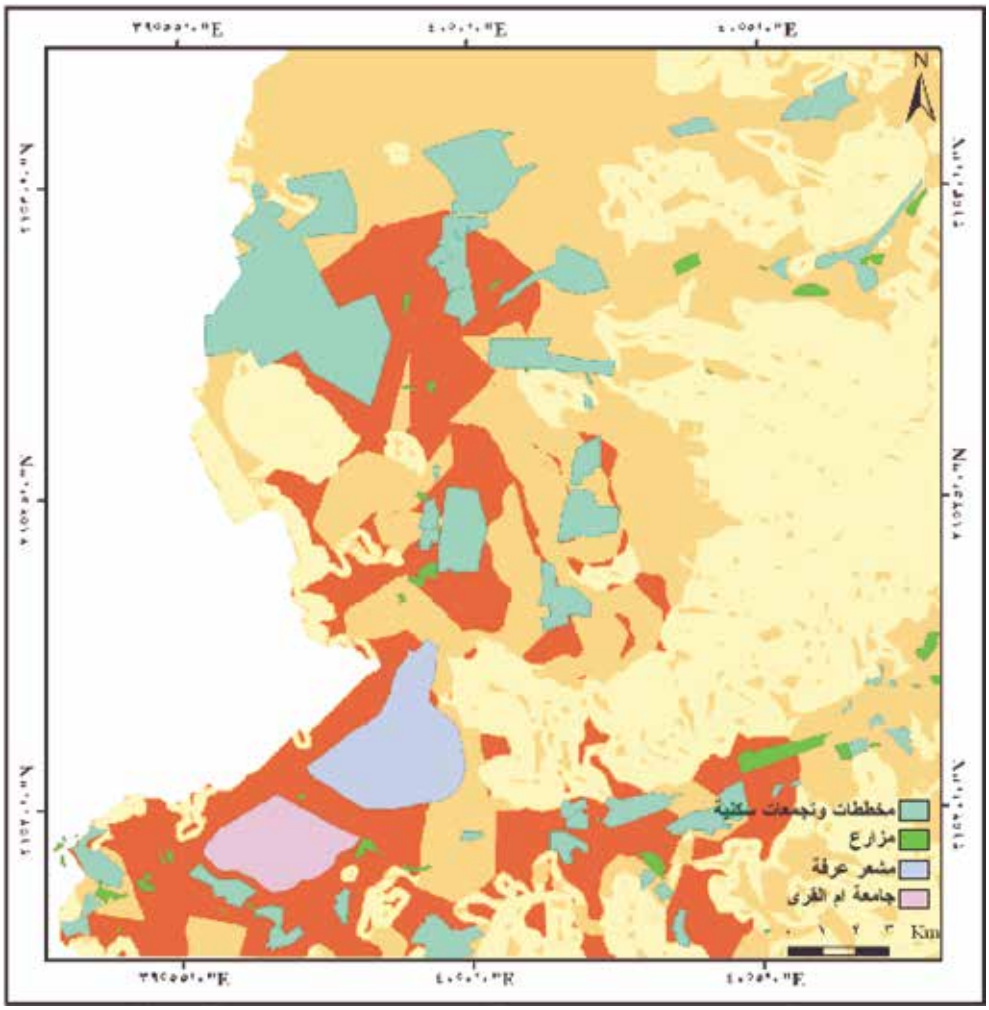
النتائج والتوصيات:

١- إن منطقة الدراسة إجمالا هي المستجمع الذي تصرف فيه ثمانية عشر واديا مياهها فيه، وتعد مناطق مشعر عرفة ومقر الجامعة بالعابدية وبلدة الحسينية وقراها هي نقطة التقاء هذه الأودية جميعا لتصب كامل حمولتها فيها، لذلك كانت هذه المنطقة منذ مئات السنين مسرحا للسيول الجارفة التي دونتها كتب التاريخ.

٢- تظافرت مجموعة من العوامل الطبيعية على جعل منطقة الدراسة ذات مخاطر سيول عالية من أهمها النسبة العالية لصماتة السطح، ودرجة انحدار المجاري وقصرها والفقر الشديد في التغطية النباتية، وكان لهذا جميعه انعكاساته على سرعة الجريان وزمن التركيز وارتفاع قيم معاملي التصريف والفيضان.

٣- يتضح من هذه الدراسة أن حوضي وادي نعمان وعرنة عرضة لمخاطر السيول بدرجات متقاربة خاصة في الجزء الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة حيث صنفت مخاطر السيول فيها على أنها عالية في نحو ربع مساحة منطقة الدراسة. وإذا أضفنا إلى ذلك المناطق المتوسطة الخطورة من حيث التعرض لكوارث السيول فإن نحو ثلثي منطقة الدراسة لديها احتمالات التعرض لأضرار نتيجة جرف وتدمير السيول للمنشآت والبنى التحتية وقد يطال ذلك ايضا النفوس. وهناك شواهد عديدة في حوضي وادي عرنة ونعمان على جرف وتدمير السيول، وشاهد أيضا على أن عبارات السيول تحت الطرق لم تصمم وفق الطاقة القصوى لأي سيل محتمل وهو ما لوحظ ميدانيا خلال سيل شهر محرم من عام ١٤٣٢ هـ في حوض وادي عرنة.

٤- لوحظ أن مناطق الخطر السيلي العالي تتقاطع مع مناطق الجذب السكاني من مخططات سكنية وأراض زراعية واستثمارات سياحية ومشاريع حكومية، وذلك يعود إلى استواء الأرض النسبي وانخفاضها عما يجاورها من



شكل رقم (٨). تقاطع استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة مع فئات خطر السيول.

مناطق مرتفعة متضرسة، بالإضافة إلى توفر الماء في تلك المناطق، وهذه عوامل جذب قديمة منذ صدر الإسلام. ومن الملاحظ أن المخططات السكنية المعتمدة تتقاطع مع نطاقات المخاطر العالية للسيول مع إجازة رخص البناء فيها من قبل أمانة العاصمة، وهو ما يطرح التساؤل حول غياب تطبيق دراسات أولية تتعلق بمدى تعرض المخططات المقدمة للاعتماد لخطر السيول وألا تتم إجازتها إلا بعد اعتمادها من قبل الدفاع المدني، خاصة وأن بعض تلك المخططات السكنية تقع مباشرة في مجاري السيول كمخطط الراشدية.

٥- مع أن مشعر عرفة يقع في مواجهة السيول القادمة من وادي عرنة إلا أنه يرتفع عن المجرى الطبيعي للوادي، وقد تمت العناية بقنوات صرف السيول بعيدا عن المشعر باتجاه منطقتي العابدية والحسينية بمحاذاة غرب الجامعة، كذلك يدخل في أعلاه جزء من تفرعات المجرى الطبيعي لوادي نعمان والتي تعود في سيرها نحو سور حرم الجامعة. أما جامعة أم القرى فهي في مواجهة مباشرة مع سيول وادي نعمان، غير أن سد الجامعة يحمي مقرات الجامعة وهو خط دفاع أول عنها في مواجهة السيول، بالإضافة إلى عمل الجامعة على عدد من المشاريع الإضافية الداعمة، خاصة تلك القناة التحويلية للسيل باتجاه بلدة الحسينية، وكان لذلك أثره الفعال في حماية مقرات الجامعة من مخاطر السيول.

وتقترح هذه الدراسة بعض التوصيات التي يمكن لها أن تساعد في حماية المناطق الآهلة ومشاريع البنى التحتية من خطر السيول على النحو الآتي:

أ- منع البناء في مجاري الأودية ومناطق تجمعات السيول، وجعل حرم لكل مجرى لا يمكن التعدي عليه مع إزالة التعديات الراهنة. كذلك يجب أن يكون هناك دراسة ملزمة لمخاطر السيول بذرواتها وتجمعاتها تقدم مع كل مشروع يقدم لجهات الاختصاص للحصول على رخصة بناء. وينبغي اجراء عدد من الدراسات العلمية لتقصي التأثيرات السلبية لتداخلات الإنسان التي ضاعفت من خطر السيول في منطقة الدراسة والخلوص بتوصيات ومقترحات للأخذ بها من قبل الجهات الحكومية ذات العلاقة.

ب- أن منطقة الدراسة ذات تجمع سكاني ونشاط استثماري وبنى تحتية بالإضافة إلى مشعر عرفة الذي يجتمع فيه ملايين الحجاج يوم عرفة، ومقر جامعة أم القرى الذي يقصده يوميا عشرات الألوف من الطلاب والأساتذة والموظفين، لذلك فإن البناء في مجاري الأودية أمر قد حصل ولم يبق إلا توفير أقصى سبل الحماية من مصارف وقنوات تحويلية وسدود ركامية صغيرة وأحواض تجميع صغيرة وغير ذلك من الوسائل والسبل التي تضاف إلى ما سبق إنجازه من قبل الجهات ذات العلاقة كوزارة النقل وأمانة العاصمة وجامعة أم القرى، غير أن تبني خطةً كذلك لحصاد المياه في أعلى وادي المغمس وفي منطقة شداد وفي وسط وادي المجاريش ستساعد كثيرا في الاستفادة من المياه في سقيا الناس والمزارع وفي التشجير لإبطاء السيول وتمكينها من تغذية الخزانات الجوفية وفي الوقت نفسه لاستقطاع جزء من السيول الهادرة باتجاه منطقة الخطر في أدنى حوضي نعمان وعرنة.

ج- خُطط لسيلي أودية نعمان وعرنة ألا يجتمعا إلا بعد جامعة أم القرى باتجاه شرق بلدة الحسينية في أعلاها، ومن ثم فإن البلدة وضعت في مواجهة السيول المجتمعة المقدرة ذروة تصريفها في فتة رجوع ٢٥ عاما بنحو ٦٠٠٠ م٣/ث وهو ما يحتم على جهات الاختصاص العمل على إنشاء قنوات لصرف السيول وتحويلها بعيدا عن بلدة وقرى الحسينية بالإضافة إلى تصميم وسائل كفيلة بتبطئة السيول قبل وصولوها إلى تلك القرى.

د- ينبغي التخطيط لمشاريع درء خطر السيول من مصارف وحواجز وقنوات وسدود وأحواض تجميعية وحصاد مائي وغيرها في القطاعات العليا أو الوسطى للأودية وليس على تخوم المناطق المستهدفة بخطر السيول، وقد لاحظ الباحث قلة المشاريع المنفذة للحماية من مخاطر السيول، فأودية عرعر ورهجان وعلق وشرا وكبكب والشرائع ومدركة والبرود تخلو من مشاريع سيول باستثناء مشروع واحد لصرف السيول غير مكتمل التنفيذ في الشرائع وآخر كسد ركامي في حوض وادي البجيدي، وقد نتج من هذه الدراسة اعتمادا على ذروة التضريف أن خمسة أودية تتمثل بها مخاطر أكثر من غيرها وهي المجاريش وعلق ورهجان والشرائع والبجيدي وهي ما ينبغي أن توجه إليها مشاريع درء خطر السيول عوضا عن انتظار السيول حتى تصل إلى مناطق عرفة والعابدية والحسينية.

المراجع العربية:

- الأزرقي، أبو الوليد محمد، ١٩٧٨، أخبار مكة وما جاء فيها من الآثار والأخبار، بيروت.

- الغامدي، سعد (٢٠٠١)، اكتشاف التغير باستخدام البيانات الرقمية للأقمار الصناعية: دراسة تطبيقية على مدينة مكة المكرمة وما حولها. مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، عدد (١): ٦٢-٧٩.

- الغامدي، سعد (٢٠٠٦)، توظيف نظم المعلومات الجغرافية في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية: دراسة حالة وادي ذرى في المملكة العربية السعودية، رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٣١٧.

- الدخيل، عبدالرحمن، حمدي صادق، محمد السعيد، ١٤١٨ هـ. موارد المياه في جنوب مكة المكرمة، مركز فقيه للأبحاث والتطوير. مكة المكرمة.

- إدارة الدفاع المدني بالعاصمة المقدسة (١٤٢٥ هـ)، تقرير عن الأمطار والسيول التي شهدتها العاصمة المقدسة يوم السبت الموافق ١٢ ذو الحجة ١٤٢٥هـ. مكة المكرمة.

- مرزا، معراج و محمد البارودي (١٤٢٦ هـ)، السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، عدد خاص، ص ١٧٥-ص ٢٦٤ .

المراجع الأجنبية:

Altın T. and B. Altın (2011). Drainage Morphometry and its Influence on

- Landforms in Volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. The 2nd

- International Geography Symposium GEOMED 2010, Procedia

- Social and Behavioral Sciences 19 (2011) 732–740.

- Blanco-Canqui and Lal (2011). Principles of Soil Conservation And

- Management. Springer, New York.

- Chorley, R. and B. Kennedy (1971). Physical Geography: A System Approach. Prentice Hall Int. Inc. London.

- Jaton, J. (1980). Hydrologic De surface (1 ere partie) : Ecoulement De

- Surface Et Debits des crues. Ecole. Polytechnique. Institute De Genine Rural. Lausanne.

- Moore, T. and M. Al-Rehaili (1989). Explanatory notes to the geologic map of The Makkah quadrangle, Sheet 21D. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Jeddah, The Kingdom of Saudi Arabia.

- Quraishi A. and S. Al-Hassoun (1996). Use of Talbot Formula for Estimating

- Peak Discharge in Saudi Arabia. JKAU :ng. Sci. J. vol. 8, pp. 73-84.

- Schumm, S., (1997), The Fluvial System, Jhon Wiley & Sons, Inc. USA.