Dirasat, Human and Social Sciences, Volume 49, No. 5, 2022

Deanship of Scientific Research

Using Remote Sensing Techniques and Hydrological Models in Analyzing Water Drainage Systems Affecting Al-Kharj Governorate

Ahmed Kamal[1]*, Haya Al-Ogayell[2]

[1] Water Resources Research Centre.

[2] Princess Nourah Bint Abdulrahman University.

Received: 29/12/2021
Revised: 10/4/2021
Accepted: 11/7/2021
Published: 15/9/2022

* *Corresponding author:*
ahmed4geo@yahoo.com

Citation: Kamal, A., & Al-Ogayell, H. (2022). Using Remote Sensing Techniques and Hydrological Models in Analyzing Water Drainage Systems Affecting Al-Kharj Governorate. *Dirasat: Human and Social Sciences*, *49*(5), 315–338. https://doi.org/10.35516/hum.v49i5.2761

© 2022 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

The research investigates water drainage systems and identifying the flooding area in Al-Kharj, which is the confluence of the valleys of Hanifa, Al-Sulay, Al-Hannaya, Nasah, Al-Haytham, Al-Aqimi, and then Al-Sahba, with a total area 111,491km2, which may cause risks on the natural and human environment in Al-Kharj, whether through water accumulation and stagnation in Low-lying areas and the resulting environmental hazards, or as a result of their inundation on urban areas, causing destructive effects on lives and property.The methodology is based on analyzing the drainage systems affecting the city of Al-Kharj, which is product by many steps and multiple inputs that include the elements of the stage before the surface runoff occurred and then the stage during the runoff, where collecting the largest number of elements affecting each stage and the Methods of evaluation it, then counted and analyzed them to create a topographical and hydrologic model of the drainage systems and analyzed the expected rain condition at different recurring times, especially 100 years. The morphological analysis of the basins, comparing the results of the outputs of the (DEM), tracking the paths of the valleys through topographic maps, satellite visuals, and the field study revealed that there is a mismatch between the outputs due to the interruption of the valleys flow, either for natural or human reasons, as it actually affects only 8 basins with an area 16266.7km2, Hanifa basin consider the most nourished with a water volume 124.6million m3 and a discharge rate of 756.4m3/s.

Keywords: Geographic information systems; meteorology; morphology, Wadi Hanifa, flood hazards.

استخدام تقنيات الاستشعارعن بعد والنماذج الهيدرولوجية في تحليل نظم التصريف المائية المؤثرة على محافظة الخرج

أحمد كمال[1]، هيا العقيل[2]

[1] مركز البحوث الوطني للمصادر المائية

[2] جامعة الأميرة نورة بنت عبدالرحمن.

ملخّص

يهتم البحث بدراسة وتحليل نظم التصريف المائي وتحديد مناطق أخطار السيول على المناطق العمرانية بمحافظة الخرج التي تعد منطقة التقاء أودية حنيفة والسلي والحنايا ونساح والهياثم والعقيقي ثم السهباء بإجمالي مساحة نحو 111491كم^2، مما قد يسبب مخاطر على البيئة الطبيعية والبشرية بالمنطقة سواء من خلال تجمع المياه وركودها في المناطق المنخفضة وما ينتج عنها من أخطار بيئية أو بفعل غمرها للمناطق العمرانية مُسببةً أثار تدميرية على الأرواح والممتلكات. وتعتمد منهجية الدراسة على تحليل خارطة نظم التصريف المؤثرة في مدينة الخرج التي تعد نتاج العديد من خطوات ومدخلات متعددة تضم عناصر مرحلة ما قبل حدوث الجريان السطحي ثم عناصر مرحلة في أثناء الجريان؛ حيث سيتم تجميع أكبر قدر من العناصر المؤثرة على كل مرحلة ووسائل التحليل والتقييم المتنوعة لها، ثم حصرها وتحليلها لإنشاء نموذج طبوغرافي وهيدرولوجي لنظم التصريف وتحليل الحالة المطرية المتوقعة عند الأزمنة التكرارية المختلفة خاصة50 و100 عام. وقد تبين من التحليل المورفولوجي لأحواض التصريف ومقارنة نتائج مخرجات الDEM وتتبع مسارات الأودية عبر الخرائط الطبوغرافية والمرئيات الفضائية والدراسة الميدانية وجود عدم تطابق بين المخرجات لانقطاع سريان الأودية إما لأسباب طبيعية أو بشرية؛ حيث لا يؤثر فعليًا في محافظة الخرج سوى 8 أحواض بمساحة تقدر بنحو 16266.7كم^2، ويُعَدّ حوض وادي حنيفة أكثرها تغذية بحجم مياه يصل لنحو 124.6 مليون م^3 وبمعدل تصرف يبلغ 756.4م3/ث.

الكلمات الدالة: نظم المعلومات الجغرافية، المتيورولوجي، المورفولوجي، وادي حنيفة، أخطار السيول.

المقدمة:

يهتم البحث بتطبيق تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في دراسة وتحليل أحواض التصريف المؤثرة على المناطق العمرانية بمحافظة الخرج التي تعد منطقة التقاء أودية حنيفة والسلي والحنايا ونساح والهياثم والعقيقي ثم السهباء بإجمالي مساحة نحو111491 كم^2، مما قد يسبب مخاطر على البيئة الطبيعية والبشرية بالمنطقة سواء من خلال تجمع المياه وركودها في المناطق المنخفضة وما ينتج عنها من أخطار بيئية أو بفعل غمرها للمناطق العمرانية مُسببةً أثار تدميرية على الأرواح والممتلكات؛ حيث قد تأثرت منطقة الخرج بالعديد من السيول الخطيرة وفقًا لدراسة (فرحان الجعيدي، إقليم الخرج، 2019) أهمها تلك التي حدثت في مارس عام 1983 وبلغت كمية الأمطار الساقطة نحو 61.5 ملم وأدت إلى وفاة 4 أشخاص وتدمير في الممتلكات وعزل شمال الخرج عن جنوبها، ثم وصولًا لسيول فبراير عام 2017 التي وصلت كمية التساقط المطري بها نحو 80 ملم وأحدثت السيول تدميرًا في الممتلكات وقطعت الطرق في الدلم جنوب الخرج.

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في أخطار السيول المؤثرة على محافظة الخرج نظرًا إلى وقوعها في ملتقى العديد من مجاري الأودية المهمة مثل حنيفة والسلي ونساح والعقيقي وغيرها إضافة إلى أن الخرج منطقة سهلية مما يزيد من خطورة السيول وانتشارها.

أهداف الدراسة:

1- تحليل مدخلات ومخرجات النظام الهيدرولوجي المؤثر على محافظة الخرج.

2-الخروج بتحليلات دقيقة تفيد صانع القرار فيما يتعلق بهيدرولوجية محافظة الخرج.

منهجية الدراسة:

يعتمد البحث على منهجية إجراء مجموعة من التحليلات العلمية تفسر وتحلل الواقع الحالي للمنطقة والإمكانات المتاحة بها ثم تبني على ذلك في اختيار أفضل مواقع التنمية المستدامة والمدن الذكية المقترحة بالإضافة إلى مقترحات وحلول للتنمية تربط فعليًا بالواقع والبيئة المحلية للمنطقة، وأهم هذه المنهجيات:

أ- المنهج الوصفي لوصف ظاهرات منطقة الدراسة الطبيعية والبشرية وحصرها.

ب- المنهج التاريخي لدراسة وتأصيل الظاهرات المختلفة وأسباب نشأتها وتطورها حتى وصولها للوضع الحالي.

ت- المنهج التحليلي وسيهتم بتحليل الظواهر المتعددة بمنطقة الدراسة من أجل تقييمها وإدارتها وتنميتها مستقبلًا، وسيتم الاعتماد على مجموعة من الأدوات والإجراءات وعدد من التقنيات الحديثة أهمها ما يلي:-

1- تقنيات الاستشعار عن بعد عبر تحليل الصور الفضائية التي ترصد واقع منطقة الدراسة وتساهم في تحليل الموقع وأبعاده المكانية على نحو دقيق وشامل لكل مكونات البيئة الطبيعية خاصة الأودية والاستخدامات البشرية المختلفة.

2- العمل الحقلي وتحليل البيانات المتاحة للمنطقة؛ حيث يتم تجميع البيانات الطبوغرافية والجيولوجية ونماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) للتضاريس وبيانات الأمطار والغطاء السطحي واستخدامات الأراضي.

3- تحليل البيانات المقاسة واستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ حيث سيتم إجراء التحليلات المناخية والمورفولوجية ثم الهيدرولوجية وتكاملهم مع بيانات استخدامات الأراضي وتحديد مناطق انقطاع السريان المائي على مستوى الأحواض.

وقد تم الاستعانة بعدد من الأساليب التي تساهم في تحقيق أهداف الدراسة تتمثل في الأسلوب الكارتوجرافي والوصفي للظاهرات والكمي لتحليل الظاهرات المختلفة وتطبيق المعادلات الرياضية والإحصائية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والنماذج الهيدرولوجية لاستخلاص النتائج منها: كالتحليل الميتيورولوجي للأمطار، ثم التحليل المورفولوجي للأودية ومناطق تجمعات المياه، ثم التحليل الهيدرولوجي لحجوم وتصرفات المياه لحساب الجريان السطحي للأودية المؤثرة على منطقة الدراسة.

الدراسات السابقة:

تناولت محافظة الخرج والمناطق المجاورة لها العديد من الدراسات الجغرافية التي منها على سبيل المثال لا الحصر:-

- دراسة فرحان الجعيدي عام(2019 م) بعنوان (إقليم الخرج) ويمثل كتاب تناول فيه الخرج كأقليم جغرافي بوصفه أحد أهم السهول الفيضية في وسط شبه الجزيرة العربية استعرض فيه الخصائص الجغرافية للإقليم التي تشمل الجيولوجيا وأشكال سطح الأرض والسيول والمناخ والتربة والنبات

كما تناول الاحداث التاريخية المهمة التي شهدها الإقليم والخصائص الزمانية والمكانية وتأثيرها على السكان.

- دراسة مشاعل آل سعود (2014م) بعنوان (دراسة هيدرولوجية وادي السلي بمنطقة الرياض) تناولت من خلالها المكونات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية الرئيسة لوادي السلي في منطقة مشروع تطويره بالقرب من مدينة الرياض؛ حيث استخدمت طرق بحثية حديثة في استسقاء المعلومات والبيانات ومعالجتها، وانتهت إلى أهمية التحليل الهيدرولوجي للوصول إلى أفضل الأساليب العلمية لمساعدة صناع القرار على تنفيذ المشروعات التنموية وإلى احتياج منطقة السلي إلى دراسات مستقبلية أكثر تفصيلًا.

- قدم ناصر السعران عام (2009م) بحث بعنوان (تقييم أداء التقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج) استخدم فيه تقنية الاستحكام المتبادل لتقييم أداء العديد من الأساليب التحديدية والجيو إحصائية لتقدير سعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج التي تعد أهم منطقة زراعية في منطقة الرياض الإدارية، وانتهت الدراسة بنتائج تشير إلى استخدام تقنية الاستحكام المتبادل لأسباب منها أن الأساليب الجيواحصائية أفضل من الأساليب التحديدية في الدقة والتحيز وأن جميع أساليب الكرجنج تتميز بالدقة وقلة التحيز.

- دراسة فرحان الجعيدي عام (2008م) بعنوان(الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية علية في محافظة الخرج) عرضت هذه الدراسة التحليل التكراري للأمطار والتحليل المورفومتري وخصائص السيول للأحواض المغذية للسدود المقترحة على الأحواض العليا لوادي العين ووادي ماوان في منطقة علية بمحافظة الخرج. وتوصلت الدراسة إلى أن الخصائص الهيرومورفومترية لأحواض التصريف المغذية للسدود المقترحة والمتمثلة بأعالي وادي معين ووادي ماوان تتأثر بالتباينات المكانية والزمانية للأمطار من جهة ولطبيعة التكوينات الصخرية من جهة أخرى.

- دراسة فرحان الجعيدي عام (2007 م) بعنوان (مراقبة التغير في اتجاهات مجاري الأودية في سهل الخرج باستخدام بيانات الاستشعار ونظم المعلومات الجغرافية خلال الفترة من عام 1950-2006م)؛ حيث استخدمت الدراسة الاستشعار عن بعد بعدة تواريخ والخرائط الطبوغرافية لتحديد اتجاهات مجاري أودية سهل الخرج القديمة وأيضا اعتمدت على نظم المعلومات الجغرافية في مراقبة وتحديد تأثير التغير الحالي في اتجاهات الأودية وعلى استخدامات الأرضي لمدينة الخرج؛ وتوصلت الدراسة إلى أن جزء واسع من معالم أودية الخرج اختفت وطمست تماما خاصة وادي السيح نتيجة للتوسع العمراني والزراعي. وتمكنت الدراسة من تحديد امتداد وادي نساح الذي يعطى نموذجا للأودية المجررة بعد إزالة المعوقات الطبيعية المتمثلة بالكثبان الرملية.

- دراسة عبدالرحمن النشوان عام (2004م) في رسالته للدكتوراه بعنوان (آثار التنمية في البيئة الطبيعية لحوض السهباء بمحافظة الخرج)؛ حيث تناولت الدراسة آثار التنمية في البيئة الطبيعية لحوض وادي السهباء من خلال ثلاثة محاور رئيسة هي: مصادر المياه والتربة والنبات الطبيعي ومدى تأثيرها بالتنمية المتمثلة في المشروعات الزراعية والعمرانية والصناعية بمحافظة الخرج؛ وخرجت الدراسة إلى أن مصادر المياه والتربة والنبات الطبيعي تأثرت سلبيًا بمشروعات التنمية التي نفذت في حوض وادي السهباء من خلال استنزاف جزء من مصادر المياه وانخفاض مستوى الماء الجوفي.

- قدمت نورة آل الشيخ عام (1995 م) بحث بعنوان (كفاءة الري وجدولة المياه في منطقة الخرج- المملكة العربية السعودية، دراسة حالة في جغرافية المياه) أشارت فيه إلى مناخ المنطقة وأثره على قلة الأمطار مما يحتم على المزارعين الاعتماد على الري للقيام بالنشاط الزراعي التي تضاعفت مساحته خلال الفترة من 1976م: 1991م معتمدة بصورة أساسية على المياه الجوفية القابلة للنضوب على الرغم من محدوديتها مما أدى إلى انخفاض منسوبها وتدني نوعيتها اضافة إلى استخدام الطرق التقليدية في الزراعة؛ وانتهت الدراسة بضرورة العمل الجاد لاتخاذ التدابير الملائمة لرفع كفاءة الري الحقلي في أسرع وقت ممكن وذلك للمحافظة على الثروة المائية الجوفية في المنطقة واستغلالها بصورة اقتصادية وفي نفس الوقت المحافظة على استمرارية الرقعة الزراعية الحالية في الخرج.

من خلال العرض السابق لبعض الدراسات الجغرافية والجيومورفولوجية للمنطقة وما حولها يتضح أن البحث الحالي يختلف عما سبق في أنه استعرض جميع الأحواض المؤثرة على الخرج بأسلوب فكرة النظام الذي يتيح دراسة جميع المتغيرات بهدف تحديد وتحليل مناطق أخطار السيول على المناطق العمرانية بالخرج التي تعد منطقة التقاء للأودية مما قد يسبب مخاطر على البيئة الطبيعية والبشرية بالمنطقة سواء من تجمع المياه وركودها في المناطق المنخفضة أو بفعل غمرها للمناطق العمرانية.

أولًا:- الموقع والعلاقات المكانية

تقع محافظة الخرج (السيح)[1] إداريًا بمنطقة الرياض جنوب مدينة الرياض بنحو 80 كم في منطقة صحراوية تعد ملتقى تجمع العديد من

[1] تعرف الخرج سابقًا بالسيح؛ وذلك لكون مياه العيون تفيض وتسيح على وجه الأرض بكميات كبيرة، وتعتبر حاليا عاصمة ومركز محافظة الخرج الإدارية والاقتصادية. http://www.alriyadh.com/1511613

الأودية التي تنساب عبر المنطقة، وتبلغ مساحة محافظة الخرج[2] نحو 1020كم^2 وتضم العديد من المنشآت الحيوية بجانب التجمعات السكنية مثل الجامعات ومحطة قطار الخرج والعديد من المنشآت الحكومية والاقتصادية الهامة، إضافة إلى العديد من المزارع والحدائق المنتشرة حول المدينة، وتقع المنطقة تقريبًا على ارتفاع 430م فوق منسوب سطح البحر، وتمتد بين دائرتي عرض 10" 17´24° و31" 47´23° شمالًا وبين خطي طول 37" 10´47° و35" 37´47° شرقًا شكل(1)، وقد ساعد موقع المنطقة القاري داخل يابسة شبه الجزيرة العربية ضمن الإقليم الصحراوي إلى ارتفاع درجات الحرارة ومعدلات الجفاف، وحدوث تطرف في سلوك ظاهرة التساقط المطري والجريان السيلي بالمنطقة خاصة عند العواصف المطيرة لزمن تكراري 100 عام.

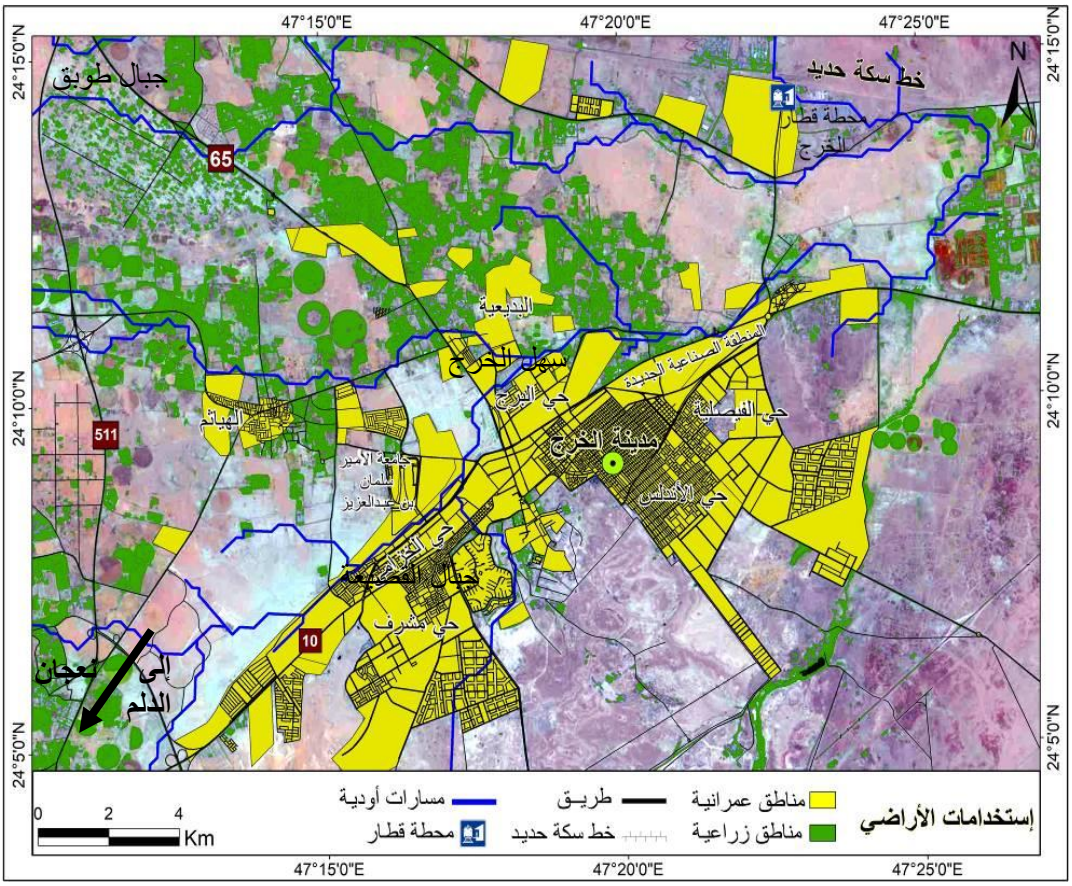
شكل(1) الموقع العام لمحافظة الخرج الو اقعة في منطقة الرياض الادارية في المملكة العربية السعودية

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على البيانات مفتوحة المصدر داخل برنامج ArcGIS.

ثانيًا: تحليل استخدامات الأراضي

تعد دراسة استخدامات الأراضي أحد ركائز دراسة الجريان السيلي وغمر المياه بمحافظة الخرج، ويوضح الشكل(2) استخدامات الأراضي بمحافظة الخرج عبر تحليل مرئية القمر الصناعي Sentinal 1 لمحافظة الخرج وعمل التصنيف المراقب لهاSupervised Classification أن مساحة المناطق الزراعية تبلغ نحو 80 كم^2 وحيز المناطق العمرانية نحو 105 كم^2 لمدينة الخرج والامتداد العمراني لها، ومن خلال توقيع مسارات الأودية على خارطة استخدام الأرضي يتضح مدى التعدي على مجاريها خاصة في المناطق الشمالية والغربية والجنوب الغربي من محافظة الخرج وإعاقة سريان المياه في مساراتها الطبيعية مما يسبب العديد من الأخطار في أثناء الجريان السيلي.

[2] تمثل مساحة الحدود الإدارية كاملة لمحافظة الخرج وليس مدينة الخرج فقط وفقًا للبيانات الرقمية بأمانة الرياض.

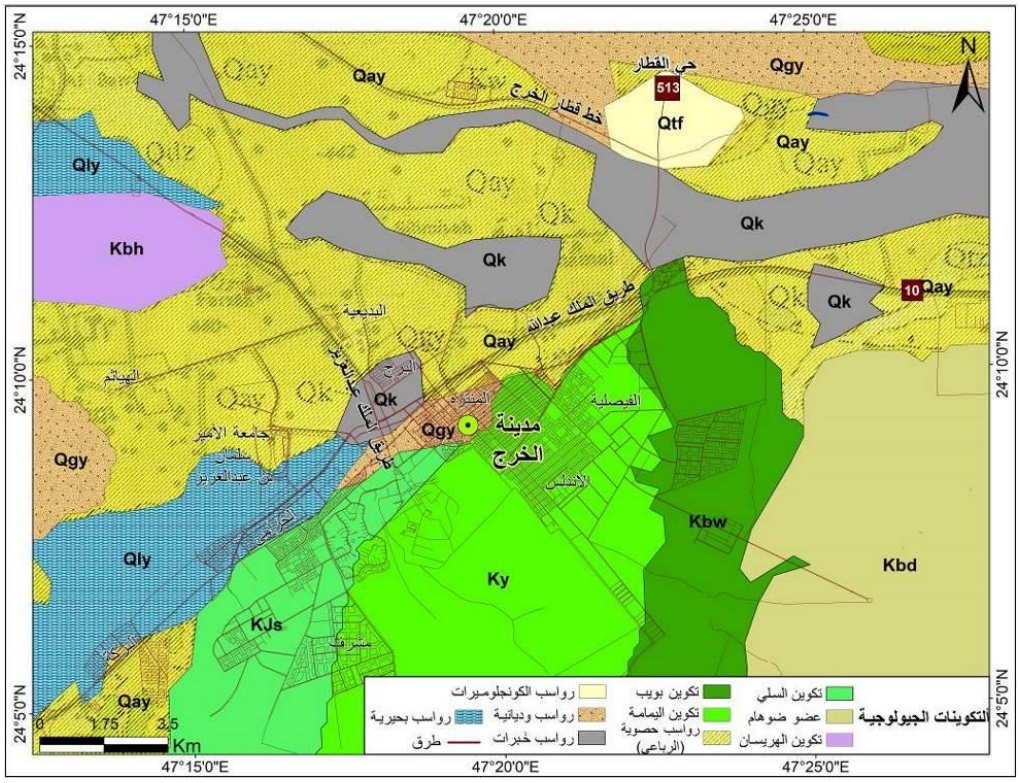


شكل (2) خارطة استخدامات الأراضي لمحافظة الخرج المستخرجة من مرئية القمر الصناعي Sentinal 1 بتاريخ 2019/6/27 م

المصدر: من إعداد الباحثين

ثالثًا: جيولوجية المنطقة:

تنتمي التكوينات الجيولوجية بمنطقة الخرج إلى إقليم الرف العربي الرسوبي التابع لحقبتي الحياة المتوسطة والحديثة؛ حيث تتمثل بصخور العصر الجوراسي الأعلى في الغرب والعصر الطباشيري الأسفل في الوسط وأبرز تكويناته "السلي واليمامة والبويب"، بينما تسود صخور الزمن الثالث والرابع التي تعود لعصر البالوسين والبلايستوسين على الجزء الشمالي والشرقي وأجزاء من وسط المنطقة وبالمراوح الفيضية ومجاري الأودية إجمالًا التي تقع في منطقة سهل الخرج؛ حيث تنتشر الرواسب الحصوية السطحية والكونجلوميرات والرواسب الوديانية والبحيرية ورواسب الخبرات، لتظهر في قيعان روافد حوض العقيلي بين مركزي الصحنة والهياثم وفي مناطق متفرقة من حوض نساح، إضافة إلى الكثبان الرملية التي تظهر على نحو متفرق وغير منتظم في سهل الخرج عند مراكز الهياثم ونعجان والدلم وإلى الجنوب من السهباء كما بالشكل(3) (Vaslet.D.,) & (70-D66.pp ,1966 ,et el., ,Powers.) (18-17.pp,1991,**et al**.، وتساهم تلك التكوينات؛ من حيث تنوع تركيبها وبيئاتها الترسيبية بجانب كون سهل الخرج ملتقى العديد من الأودية أن تستقبل التربة السطحية لكميات كبيرة من المياه وزيادة معدلات الجريان السطحي بالمنطقة.

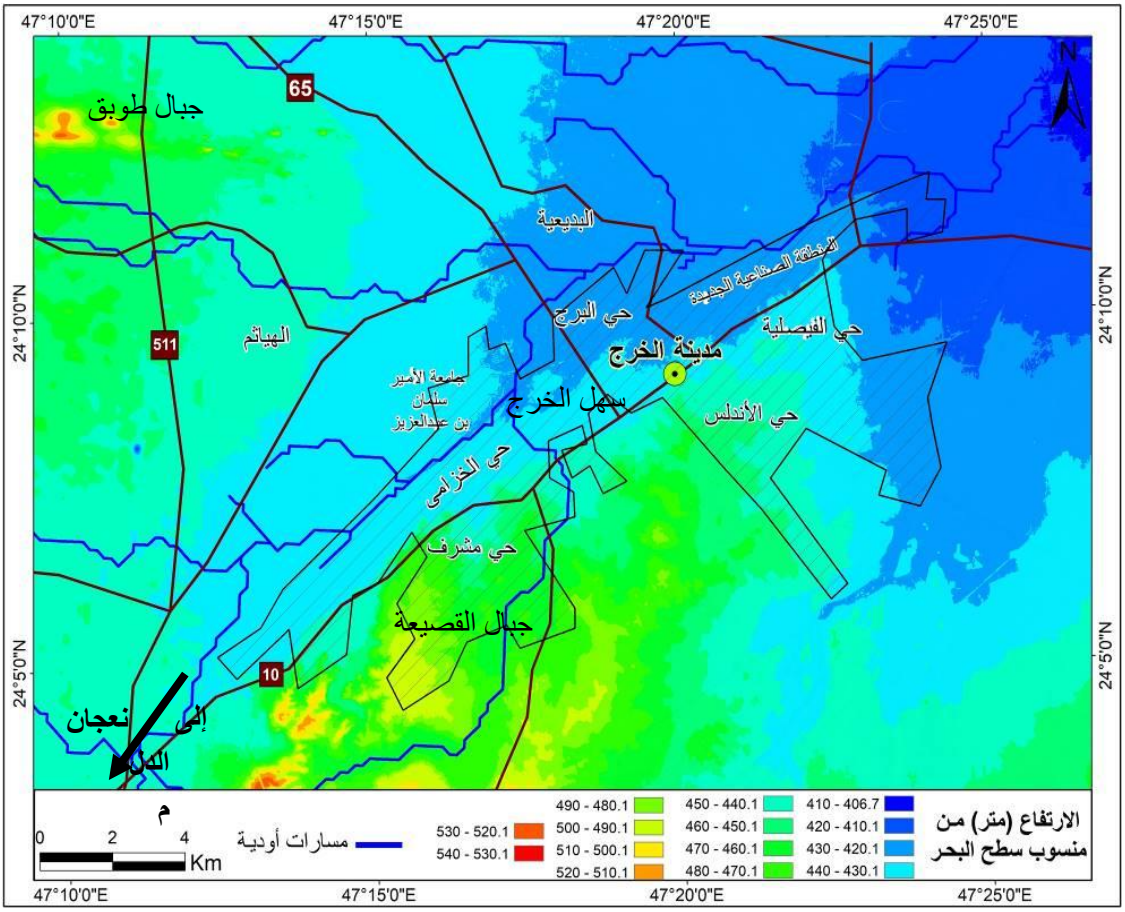


شكل(3) جيولوجية منطقة الخرج

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على الخريطة الجيولوجية لمنطقة الخرج مقياس 1: 250000

- **التحليل المورفولوجي لمنطقة الدراسة وأحواض التصريف المؤثرة عليها**

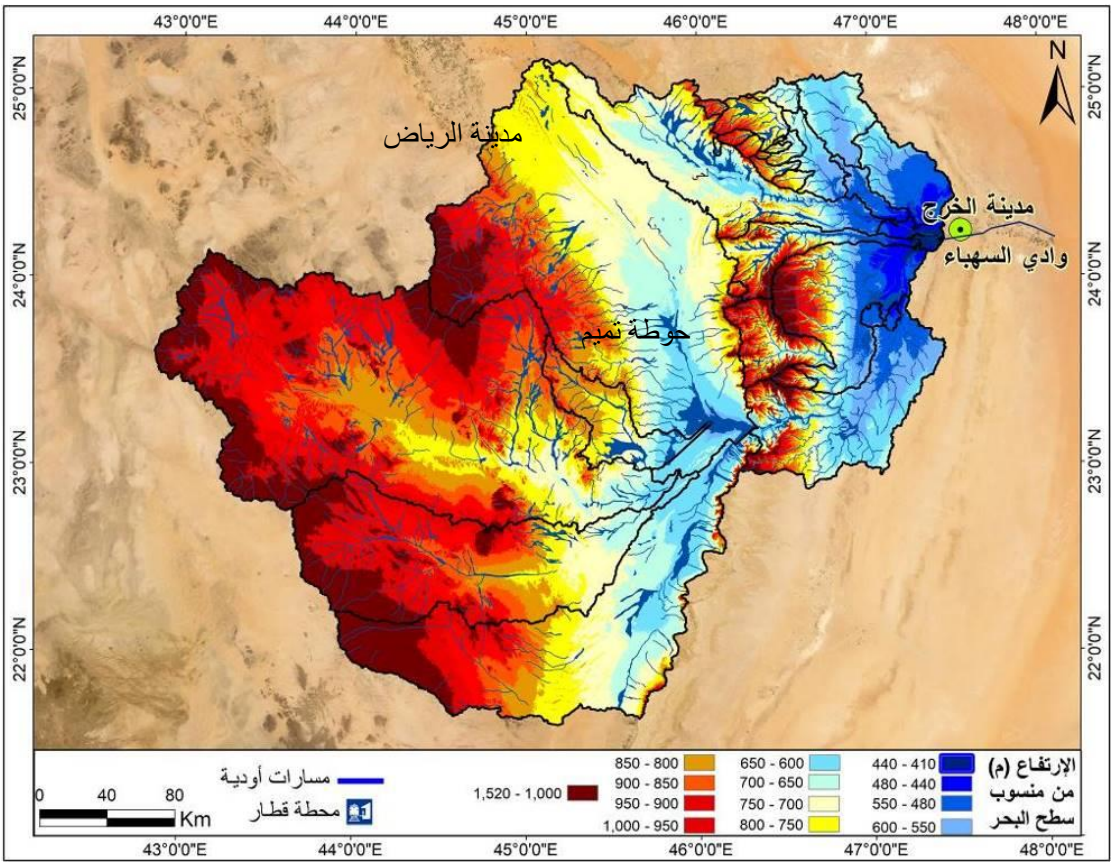
تقع محافظة الخرج في منطقة شبه سهلية تتراوح مناسيبها ما بين 410: 450م فوق سطح البحر، ويفصلها عن جبال طويق غربًا منطقة شبه سهلية تمتد لنحو 18كم حتى نهاية محافظة الخرج شرقًا وينساب عبرها وادي نساح من الغرب للشرق نحو الخرج، ويقع جنوبها منطقة جبل القصيعة ويتدرج ارتفاعه لنحو 530م فوق منسوب سطح البحر وتنحدر منها بعض الأودية الفرعية أهمها وادي أبا الذر الذي يرفد وادي السهباء شرق الخرج عند منسوب 425م، وتقع معظم الكتلة العمرانية للمحافظة إلى الشمال من جبال القصيعة السابقة مباشرة، كما يمتد النطاق السهلي للمحافظة شمالًا؛ حيث ينساب وادي حنيفة في النطاق الفاصل بين محافظة الخرج جنوبًا ومحطة القطار شمالًا، ويوضح الشكل(4) مناسيب سطح الأرض لمحافظة الخرج من خلال نموذج الارتفاع الرقمي"ASTER "DEM دقة 1م إضافة إلى الخريطة الطبوغرافية مقياس 50000 كما يلى:



شكل رقم(4): نموذج الارتفاعات الرقميDEM لمحافظة الخرج

المصدر: من إعداد الباحثين المستخرجة نموذج الارتفاع الرقمي دقة 1م من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

بينما مورفولوجية أحواض التصريف المؤثرة على محافظة الخرج فقد تم تحليل نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) للقمر ALOS PALSAR دقة 12م للخلية إضافة إلى المرئيات الفضائية الحديثة للقمرSentinal1 دقة 10م والخرائط الطبوغرافية متعددة المقاييس كما هو موضح في الشكل(5)، وعليه تم تحديد 8 أحواض رئيسية مؤثرة على المنطقة وذلك في الحالة الطبيعية بدون التدخلات البشرية يبلغ مساحتها 111654.5كم^2، بينما يزداد عددها إلى 33 حوض وذلك في حالة التدخلات البشرية نتيجة بناء السدود وعددها 17 سدًا (https://app.mewa.gov.sa/DailyRainsNews/Rain_Dams.aspx) تؤثر في تدفقات الأودية حتى مخرجها نحو محافظة الخرج منها أحواض فرعية تقع في المنابع الشمالية والجنوبية لأحواض التصريف الرئيسية؛ حيث حجزت المياه أمامها من السريان نحو المصب مما أدى لإنفصال أحواض المنابع عن النطاق الأوسط والأدنى للأودية وتقلص مساحة تجميع المياه وبالتالي تقلص أعداد الأحواض المؤثرة فعليًا على محافظة الخرج إلى 8 أحواض تبلغ مساحتها 16266.7 كم^2.



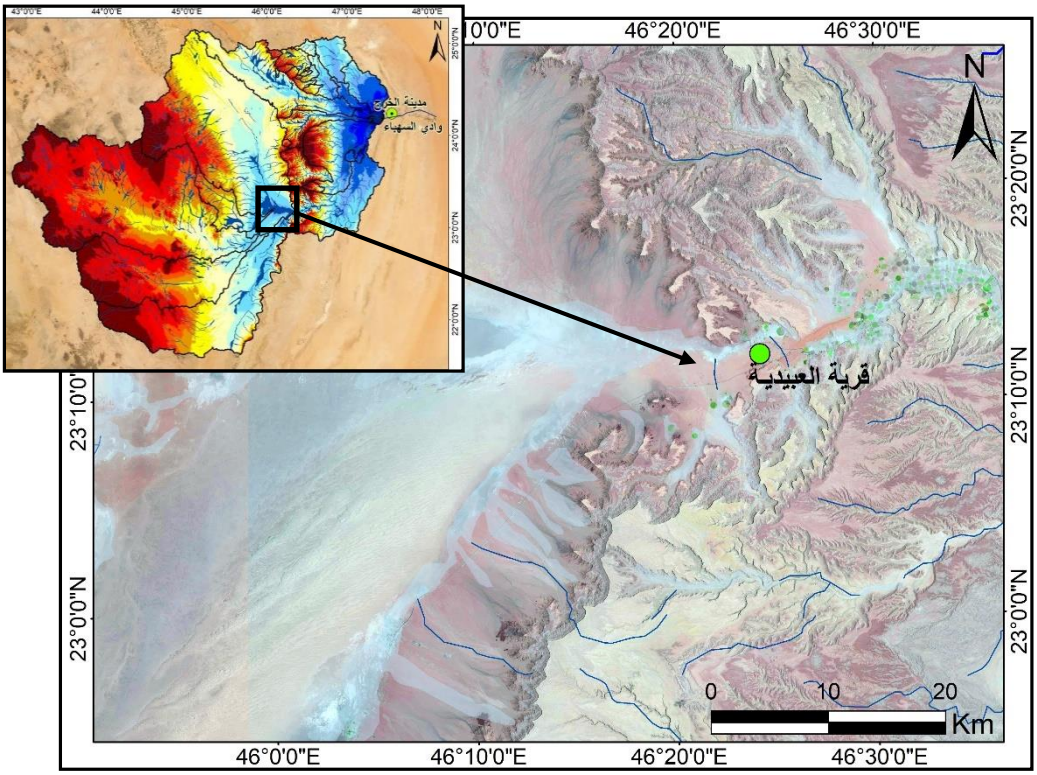
شكل(5): تضاريس أحواض التصريف المستخرجة من نموذج الارتفاعات الرقميDEM

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي للقمر AlOSPALSAR دقة 12م

أوضح تحليل المرئية Sentinal-1 للأحواض وجود عدد من مناطق انقطاع السريان المائي ويعود ذلك لأسباب متعددة وهي:-

أ- الأسباب الطبيعية

1- منطقة فياض تتجمع بها المياه بين قريتي أبورمل والربواء غربًا ومركزي حفائر ابن رعدان والعبيدية شرقًا وتبلغ مساحتها نحو 200 كم^2 كما بالشكل(6)، وعندما يفيض منها المياه يتم احتجازها في منطقة خانقية أمام الطريق الممتد عرضيًا عند مركز العبيدية الواقعة بين هضبتين مرتفعتين في منطقة يبلغ عرضها نحو 2 كم؛ حيث أدى انخفاضها عما حولها إلى زحف وهبوط الكثبان الرملية وتراكمها شرق قرية العبيدية وانقطاع سريان المياه القادمة من الغرب نحو الشرق والشمال الشرقي نحو محافظة الخرج، لينقطع اتصال هذه الأحواض البالغ مساحتها 79648.5كم^2 عن الأحواض التي تليها شمالا وعدم تأثير مائيتها عليها.

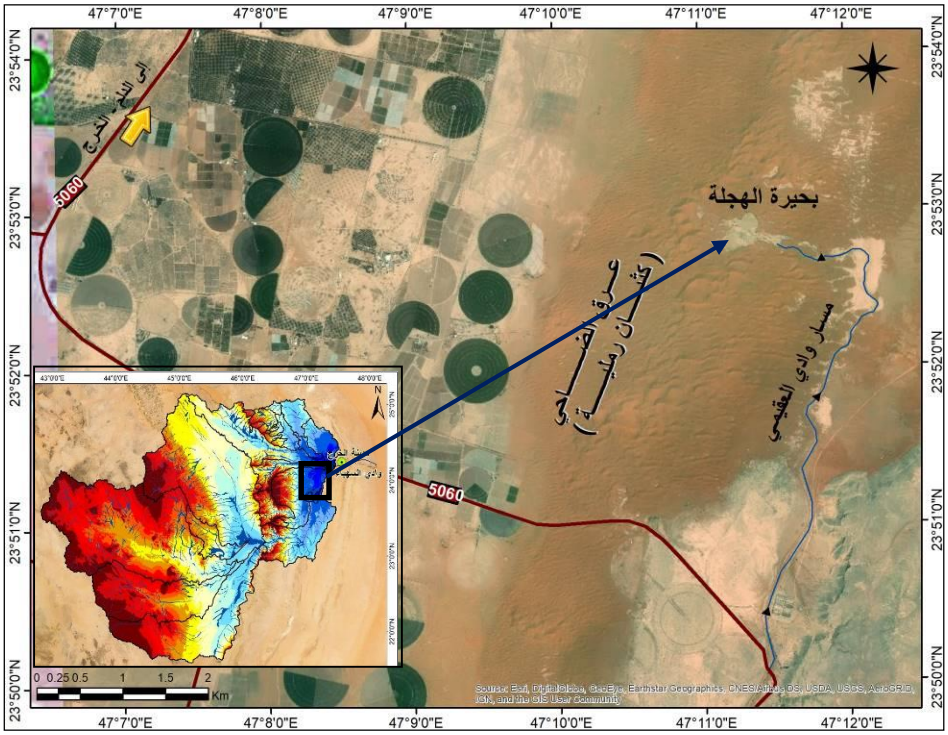


شكل(6): منطقة انقطاع السريان المائي عند قرية العبيدية جنوبًا وفقًا لمرئية الفضائية Sentinal1 المصدر: من إعداد الباحثين المستخرجة من مرئية القمر الصناعي Sentinal 1

2- بحيرة هجلة الدلم الواقعة بكثبان "عرق الضاحي" جنوب شرق مركز الدلم بنحو 11 كم؛ حيث تتجمع بها مياه وادي العقيمي الذي ترفده مياه الأودية الجنوبية وتلك المنسابة شرق مركز العبيدية صورة (1)؛ حيث أوضحت نتائج تحليل المرئيات الفضائية عدم مطابقة نتائج استخراج شبكة التصريف من الـ DEM التي أوضحت استمرار وادي العقيمي اتجاه الشمال نحو الخرج وهذا ما يخالف نتائج الزيارات الميدانية والمرئيات الفضائية للمنطقة، لينقطع اتصال هذه الأحواض الجنوبية البالغ مساحتها 6234.6 كم^2 عن الأحواض التي تليها شمالًا وعدم تأثير مائيتها على محافظة الخرج، ليبلغ إجمالي المساحة التي خرجت من أحواض التصريف نحو 85,641.1 كم^2 بما يعادل 76.5% من إجمالي مساحة أحواض التي تم استنتاجها من الـ DEM شكل (7).

صورة(1): صورة فوتوغرافية لمنطقة بحيرة الهجلة جنوب شرق الدلم

المصدر: https://twitter.com/tqqs/status/985089435594317826/photo/3



شكل(7): منطقة انقطاع السريان المائي عند بحيرة الهجلة جنوب شرق الدلم.

المصدر: من إعداد الباحثين المستخرجة من مرئية القمر الصناعي Sentinal 1.

ب- الأسباب البشرية

تتمثل أهم الأسباب البشرية المؤثرة في تحديد مورفولوجية أحواض التصريف في أعمال الحماية لدرء أخطار السيول مثل السدود والبحيرات الصناعية وكذلك استخدامات الأراضي وأهمها الطرق التي لا تراعي مسارات الأودية وتتعدى عليها وتمنع سريان المياه في مساراتها الطبيعية وأهمها:-

1- السُدود: تم تحديد عدد 17 سدًا لتخزين المياه يقع منها عدد 14 سدًا في النطاق الشمالي لأحواض التصريف ضمن حدود مدينة الرياض، بينما يقع عدد 3 سدود جنوب غرب محافظة الخرج هي سدود(الجفير- الحلوة- حوطة تميم)، ويبلغ إجمالي مساحة الأحواض الفرعية أمام هذه السدود نحو 6934.1 كم^2 الصورتان(2، 3)

2- الطُرُق: ساهم الامتداد العرضي للطريق رقم(5060) الموضح بالشكل رقم(4) والواقع جنوب الدلم بنحو 12كم وممتد في مواجهة الأودية القادمة من الجنوب بطول 9كم وعدم وجود عبارات تصريف سيول عليه أدى لمنع سريان مياه الأحواض الجنوبية باتجاه الشمال وقد تم تحديد حوضين مائيين يقدر مساحتهما 242كم^2.

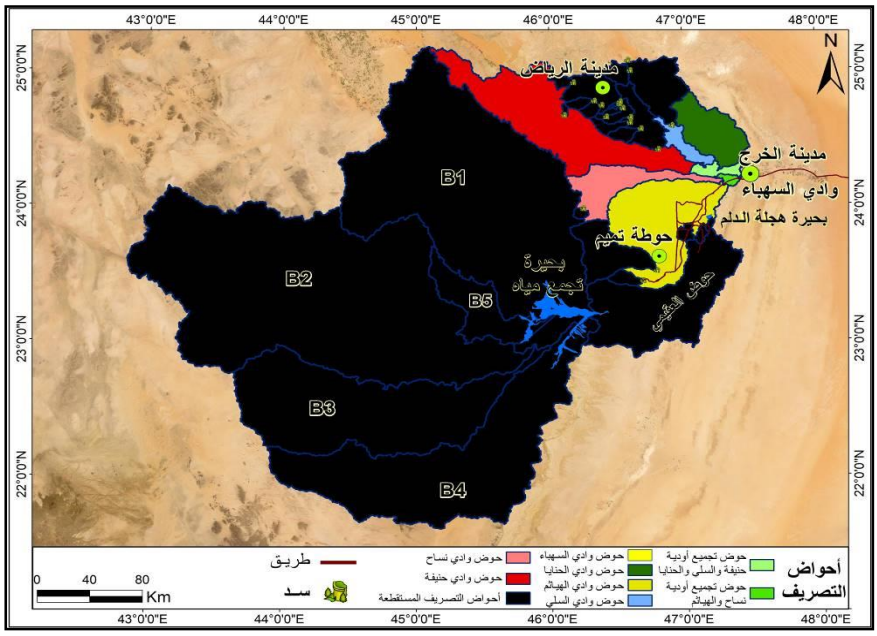
ليبلغ إجمالي المساحة المقتطعة من أحواض التصريف بسبب العوامل الطبيعية والبشرية نحو 92,817.2 كم^2 بما يعادل 83.1% من مساحة أحواض التصريف التي جرى استخراجها من الDEM.

صورة(2): سد حوطة تميم جنوبًا[1] صورة(3): سد وادي حنيفة بالرياض شمالًا[2]

المصدر: 1- https://twitter.com/alhotanet/status/822874453541580800/photo/3 2-https://ar.wikipedia.org/wiki/سد_وادي_حنيفة

بعد معايرة نتائج الDEM ومخرجاته لأحواض التصريف من برنامج التحليل الهيدرولوجي WMS ومعايرتها بنتائج الصور الفضائية وتحليل العوامل

البشرية والطبيعية المؤثرة في انقطاع سريان المياه من أحواض التصريف فقد تم تمثيل الأحواض التي لا تؤثر في المنطقة باللون الاسود بينما باقي الاحواض وعددها 8 أحواض هي المؤثرة فعليا في الوقت الراهن على محافظة الخرج شكل(8).



شكل(8): أحواض التصريف المؤثرة على الخرج والأحواض التي انقطع سريان المياه منها

المصدر: من إعداد الباحثين والمستخرجة من مرئية القمر الصناعي Sentinal 1

رابعًا: التحليل الإحصائي لبيانات الأمطار

تم تجميع بيانات محطات الأمطار المتاحة في نطاق أحواض التصريف المؤثرة على منطقة الدراسة وتحديد نطاقات التأثير لها بواسطة طريقة Thiessen Method (D. Han and M. Bray, 2006, p.1)، ويبلغ عدد المحطات المتاحة التي تشمل نطاقاتها أحواض التصريف 12 محطة كما هو موضح في الشكل(9) والجدول(1) الذي يوضح أقصى قيم مطر يومي على مدار العام للبيانات المتاحة للمحطات في الفترة بين عامي 1382هـ إلى 1440هـ

جدول(1): بيانات محطات الأمطار المؤثرة على منطقة الدراسة ونطاقات تأثيرها

م	محطة قياس الأمطار	مساحة نطاق تأثير المحطة	%	أقصى عمق مطريومي (مم)	من تاريخ	الى تاريخ
1	الدوادمى	1965.09	1.75	75.5	30 –11 -1384	24 –8 -1439
2	شقراء	4396.1	3.91	98.5	11 –6 -1384	12 –9 -1440
3	الخرج	5110.13	4.54	100	14 –11 -1389	8 –8 -1439
4	حوطة بنى تميم	6719.63	5.97	73	1 –12 -1384	15 –9 -1440
5	عروى الدوادمى	6753.14	6.00	90.1	1 –12 -1384	1 –3 -1427
6	عفيف	8163.28	7.26	142.8	27 –10 -1384	25 –2 -1440
7	الرياض	8802.28	7.83	51.5	16 –12 -1382	10 –6 -1440
8	القويعية	9984.35	8.88	62.4	19 –6 -1383	26 –2 -1438
9	الحريق	10048.9	8.93	70	24 –11 -1383	22 –8 -1440
10	الرين	11912.5	10.59	111.1	20 –8 -1383	16 –3 -1440
11	الهدار	12620.8	11.22	72	30 –9 -1385	14 –9 -1440
12	صبحاء	25992.6	23.11	52	17 –6 -1383	24 –4 -1423
الإجمالي		**112468.8**	**100**	**Max= 42.8**	**16 –12 -1382**	**14 –9 -1440**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات وزارة البيئة والمياه والزراعة السعودية، والهيئة العامة للأرصاد والبيئة.

تم التحليل الإحصائي لحساب قيم المطر القصوى التي تسقط على كل حوض مؤثر على منطقة الدراسة كما في الخطوات التالية والجدول(2):

1- تحديد أقصى عمق مطر يومي لكل محطة على مدار سنوات الدراسة المتاحة.

2- تحديد مساحة نطاق تأثير كل محطة على أحواض التصريف المؤثرة على منطقة الدراسة، واستنتاج النسبة المئوية لمساحة كل حوض من مساحة النطاق.

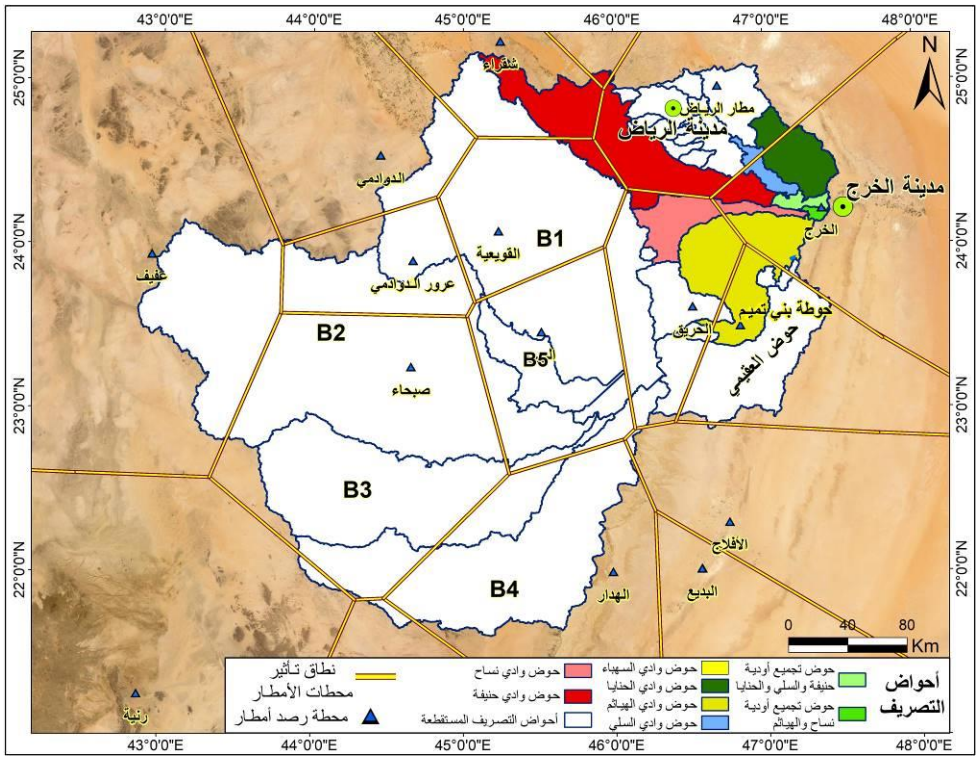
3- ضرب قيمة أقصى عمق مطر يومي لكل محطة في النسبة المئوية لمساحة تأثير المحطة وقسمتها على 100٪ لاستخراج الوزن النسبي لقيم التساقط المؤثرة على الحوض.

4- جمع ناتج قيم الوزن النسبي لكل نطاق محطة مؤثر على الحوض للحصول على الوزن النسبي الإجمالي لقيمة المطر المؤثرة على كامل حوض التصريف.

جدول(2): التحليل الإحصائي والتوزيع المكاني لقيم المطر القصوى التي سقطت في نطاق المحطات المؤثرة على أحواض تصريف خلال فترات الرصد

حوض التصريف	نطاق محطة الأمطار		مساحة النطاق المتأثر في الحوض من المحطة (كم^2)	%	أقصى عمق مطر يومي (مم)	الوزن النسبي للمحطة (مم)
1- وادي السلي	الخرج		379.5132	15.51	100	15.51
	الرياض		2066.876	84.49	51.5	43.51
الإجمالي			**2446.389**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**59.02**
2- وادي الحنايا	الخرج		1511.665	77.58	100	77.58
	مطار الرياض		436.7578	22.42	51.5	11.54
الإجمالي			1948.423	**100.00**	**الوزن النسبي**	**89.13**
3- وادي حنيفة	الخرج		613.4356	6.50	100	6.50
	الرياض		5822.257	61.66	51.5	31.75
	الحريق		251.8921	2.67	70	1.87
	شقراء		2270.099	24.04	98.5	23.68
	القويعية		485.5384	5.14	62.4	3.21
الإجمالي			9443.222	**100.00**	**الوزن النسبي**	**67.00**
4- وادي نساح	الخرج		378.2298	19.19	100	19.19
	الحريق		1592.74	80.81	70	56.57
الإجمالي			**1888.83**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**76.01**
5- حوض أودية (أبوحنيفة- السلي-الحنايا)	الخرج	منطقة سهل الخرج	329.04	**100**	**100**	100
6- حوض أودية (نساح- الهياثم)			116.36	**100**	**100**	100
7- السهباء			3.56	**100**	**100**	100
8- وادي الهياثم والعقيمي (أحواض الأودية الجنوبية)	الدوادمي		1949.932	2.05	75.5	1.55
	شقراء		2078.275	2.19	98.5	2.15
	عروي الدوادمي		6726.543	7.08	90.1	6.38
	عفيف		8081.648	8.50	142.8	12.14
	القويعية		9498.814	9.99	62.4	6.24
	الرين		11912.3	12.53	111.1	13.92
	الهدار		12457.03	13.11	72	9.44
	صبحاء		25973.14	27.32	52	14.21
	الخرج		6553.22	6.89	73	5.03
الإجمالي			**95052.93**	**100.00**	**المتوسط**	**78.80**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات الجدول(1).



شكل(9): نطاقات محطات الأمطار المؤثرة على أحواض التصريف

المصدر: من إعداد الباحثين المستخرجة من مرئية القمر الصناعي Sentinal 1

بناءًا على نتائج الجدول(2) والعلاقة المتبادلة ما بين نطاقات التأثير للمحطات وأقصى عمق مطر يومي بها على مدار العام تم تحليل الوزن النسبي لأقصى كمية مطر يومي ساقطة على كل حوض تصريف بالمنطقة، ووفقًا للتحليل الإحصائي لبيانات الأمطار تبين أن الوزن النسبي لأقصى كمية مطر سقطت على أحواض منطقة الدراسة بالترتيب هي أولًا أحواض منطقة سهل الخرج الثلاثة ثم يليهم وادي الحنايا ثم أحواض الأودية الجنوبية التي تضم العقيمي والهياثم ثم وادي نساح ثم وادي السلي ثم كامل وادي حنيفة حتى مخرجه جنوبًا عند الخرج.

- التحليل الإحصائي والتوزيع المكاني لقيم المطر القصوى للعاصفة التصميمية المحتملة عند زمن تكراري 100 عامًا في نطاق المحطات المؤثرة على المنطقة

وفقًا للتحليل المورفولوجي لأحواض التصريف وتحديد مواقع السدود وأعمال الحماية تم تحديد أحواض التصريف المؤثرة فعليًا على المنطقة ونطاقات المحطات التي تضمها، تم إجراء التحليل الإحصائي لأقصى قيم مطر يومي واستخدام التوزيعات الاحتمالية المختلفة لبرنامج التحليل الإحصائيHYFRAN واختبارها للحصول على قيمة أقصى عمق مطر يومي عند الأزمنة التكرارية المختلفة، واختيار أفضل توزيع احتمالي يصف البيانات المسجلة بأعلى دقة ممكنة والتنبؤ بالعاصفة التصميمية المناظرة لاحتمال حدوثها عند أزمنة تكرارية مختلفة. وقد تم اختيار الزمن التكراري 100 عامًا الذي يمثل أقصى تساقط مطري محتمل خلال 100 عام كما موضح بالجدول(3-4).

جدول(3): التوزيع الإحصائي لمحطات رصد الأمطار عند زمن تكراري 100 عامًا

المحطة	الرياض	الخرج	الحريق	القويعية	شقراء	صبحاء	حوطة بني تميم
أقصى مطر يومي (مم)	51.5	100	70.0	62.4	98.5	52.0	73.0
التوزيع الإحصائي	عمق المطر التصميمي (مم) عند زمن تكراري 100 عامًا						
GEV	50.7	116	88.9	98.4	83.7	54.5	105.0
Log-Normal	59.5	64.1	56.7	59.6	79.6	45.0	95.7
Exponential	81.0	28.6	41.1	31.0	105.0	34.2	73.7

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات الجدول (1) وتحليلات برنامج hyfiran الإحصائية.

بناءًا على نتائج الجدول(3) الذي يوضح محطات رصد الأمطار المؤثرة فعليًا على أحواض التصريف بعد إستبعاد مساحات المنابع العليا من الأودية التي تم حجز مياهها بواسطة السدود وأعمال الحماية المختلفة، وتحديد أحواض منطقة الدراسة في الوضع الراهن واختيار أفضل توزيع يمثل البيانات المسجلة بالمنطقة، جرى استخدام التوزيع الإحصائي Log-Normal لكل من محطتي(الرياض وحوطة بني تميم)، وتوزيع Exponential لمحطة (شقراء)، وتوزيع GEV "General Extream Value" لمحطات (الخرج-الحريق-القويعية- صبحاء)؛ حيث تمثل نتائج التوزيعات هذه أفضل توزيع إحصائي Best fit يتناسب مع القيم القصوى للأمطار على المحطات خلال سنوات الرصد وكذلك أعلى احتمالية لحدوث عاصفة تمثل القيمة القصوى المحتملة عند 100 عام، وبناءً على نتائج التحليل الإحصائي لكل محطة سيتم الاعتماد على هذه النتائج في تحديد الوزن النسبي لكل حوض تصريف عند زمن تكراري 100 عام ومن ثم استخدام هذه القيم في التحليل الهيدرولوجي لاحقًا للتنبؤ بالتصرفات القصوى وحجوم المياه للسيول المحتمل حدوثها مستقبلًا.

يوضح الجدول(4) التحليل الإحصائي والمكاني لقيم المطر القصوى عند زمن تكراري 100 عام كما يلي:

جدول(4): التحليل الإحصائي والتوزيع المكاني لقيم المطر القصوى المحتملة عند زمن تكراري 100 عام في نطاق المحطات المؤثرة على أحواض تصريف المنطقة

حوض التصريف	نطاق محطة الأمطار		مساحة النطاق المتأثر في الحوض من المحطة (كم^2)	%	أقصى عمق مطر (مم) لزمن تكراري 100 عام	الوزن النسبي للمحطة (مم)
1- وادي السلي	الخرج		379.5132	68.70	116	79.69
	الرياض		172.9169	31.30	59.5	18.62
الإجمالي			**552.4301**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**98.31**
2- وادي الحنايا	الخرج		1511.37	77.58	116	89.99
	الرياض		436.7578	22.42	59.5	13.34
الإجمالي			**1948.128**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**103.33**
3- وادي حنيفة	الخرج		609.9335	9.41	116	10.91
	الرياض		2867.451	44.22	59.5	26.31
	الحريق		251.8921	3.88	88.9	3.45
	شقراء		2270.099	35.01	105	36.76
	القويعية		485.5384	7.49	98.4	7.37
الإجمالي			**6484.914**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**84.80**
4- وادي نساح	الخرج		378.2298	20.02	116	23.23
	الحريق		1510.6	79.98	88.9	71.10
الإجمالي			**1888.83**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**76.01**
5- وادي الهياثم	الخرج		1385.669	28.38	116	32.93
	الحريق		1849.293	37.88	88.9	33.68
	حوطة بني تميم		1646.799	33.73	95.7	32.28
الإجمالي			**4881.761**	**100.00**	**الوزن النسبي**	**98.89**
6- حوض أودية (حنيفة-السلي-الحنايا)	الخرج	منطقة سهل الخرج	329.04	**100**	**116**	**116**
7-حوض أودية(نساح-الهياثم)			116.36	**100**	**116**	**116**
8- السهباء			3.56	**100**	**116**	**116**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات الجدول (1).

بناءًا على نتائج الجدول(4) تم تحليل أقصى عمق مطر يومي محتمل عند زمن تكراري 100 عامًا والوزن النسبي لكل محطة في نطاق أحواض التصريف وهي بالترتيب كأكثر غزارة مطرية (أحواض سهل الخرج الثلاثة- وادي الحنايا- وادي الهياثم- وادي السلي- وادي نساح- وادي حنيفة بعد استبعاد المنابع العليا له).

ثالثًا: الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف

جرى استخدام النموذج الهيدرولوجي (WMS 10) المتوافق مع برنامج(Arc GIS) في دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف عن طريق تحليل نموذج الارتفاع الرقمي(ALOS PALSAR) دقة 12.5م، وإدخال عدد من المدخلات الرئيسية للنموذج وهي(قيمة المطر- قيمة رقم المنحنى) ثم تحديد معادلات كل من (زمن التركيز- زمن التأخير) المناسبتين لطبيعة المنطقة، وعليه جرى استخراج عدد 17 مُعامل مورفومتري وهيدرولوجي للأحواض كما بالجدول (5).

جدول(5): المُعاملات المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف المستخرجة من برنامج (WMS)

الحوض	المساحة (كم2)	الميول (م/م)	أقصى طول لمسار المياه (م)	ميل أقصى طول لمسار المياه (م/م)	أطول مسار للوادي (م)	ميل أطول مسار للوادي (م/م)	طول الحوض (كم)	معامل الشكل
حنيفة	6545.170	0.032883	285720.85	0.0011543	278692.42	0.001154	231860.39	0.122
نساح	**1888.830**	**0.073436**	**154799.41**	**0.0042755**	**148805.30**	**0.003165**	**121413.34**	**0.128**
الهياثم	4883.330	0.040806	155939.11	0.0042019	147842.05	0.002886	109089.32	0.41
السلي الادنى	**552.430**	**0.022745**	**77069.05**	**0.0022876**	**69557.78**	**0.001977**	**55509.28**	**0.17**
الحنايا	1951.400	0.012551	96731.79	0.0025783	88171.99	0.002135	68539.33	0.415
حنيفة-السلي-الحنايا	**329.100**	**0.011978**	**55973.00**	**0.0028390**	**47330.36**	**0.001238**	**38462.97**	**0.222**
نساح- الهياثم	116.400	0.006890	27093.61	0.0011885	18002.44	0.000709	19437.08	0.31
السهباء	**3.567**	**0.005142**	**3667.13**	**0.0020216**	**2218.60**	**-0.001301**	**2416.61**	**0.611**
الحوض	**معدل التصرف (م٣/ث)**	**زمن التصرف (دقيقة)**	**حجم المياه (م٣)**	**معدل المطر (مم)**	**رقم المنحنى**	**زمن التركيز (ساعة)**	**زمن التأخير (ساعة)**	**منسوب متوسط الحوض(م)**
حنيفة	756.436	4350.0	124646701.50	4350.0	70.0	95.501	57.30	705.96
نساح	**294.112**	**2280.0**	**34069042.80**	**2280.0**	**70.0**	**39.138**	**23.48**	**778.38**
الهياثم	676.070	2805.0	97773582.60	2805.0	70.0	52.812	31.69	687.73
السلي الادنى	**206.784**	**2310.0**	**24369134.40**	**2310.0**	**82.0**	**40.253**	**24.15**	**531.97**
الحنايا	299.786	3270.0	48611935.80	3270.0	69.0	64.992	38.99	547.20
حنيفة-السلى-الحنايا	**144.714**	**2400.0**	**17962578.00**	**2400.0**	**82.0**	**42.947**	**25.77**	**456.91**
نساح- الهياثم	76.335	1965.0	7357311.90	1965.0	86.0	31.689	19.01	431.54
السهباء	**7.535**	**1005.0**	**225093.60**	**1005.0**	**86.0**	**7.407**	**4.44**	**417.17**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على نتائج التحليل المورفومتري والهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS

يتضح مما سبق عدد من خصائص أحواض التصريف؛ حيث سيتم عرض أهمها كما يلي:

1- مساحة الأحواض

يتضح من تحليل مساحات الأحواض أن إجمالي مساحتها المؤثرة فعليًا على محافظة الخرج تبلغ 16270.23 كم^2؛ ويُعَدّ حوض وادي حنيفة أكبر الأحواض بمساحة تقدر بنحو 6545.2 كم^2 ويليه بالترتيب كل من أحواض(الهياثم– الحنايا- نساح- السلي الأدنى- حوض تجميع أودية حنيفة والسلي والحنايا- حوض تجميع نساح والهياثم- السهباء).

2- ميول الأحواض

يوضح الجدول(6) نتائج قيم نسب الانحدار المستخرجة من برنامج (WMS) وتصنيفها وفقًا لتقسيم "Young" حيث يتضح أن عدد 4 أحواض (الحنايا- السهباء– حوض تجميع نساح والهياثم- حوض تجميع حنيفة والسلي والحنايا) تقع ضمن الفئات الأقل من (0.02 م/م أو 2٪) وهي معدلات انحدار ضعيفة، بينما نجد أن عدد 3 أحواض (حنيفة- الهياثم- السلي الأدنى) تتراوح معدلات الانحدار بها بين (0.02 م/م: 0.05 م/م) لتعد أحواض معتدلة الانحدارات، بينما أكثر الأحواض انحدارا هو (وادي نساح) ويبلغ معدل انحداره 0.073 م/م ويدخل في فئة الانحدارات المتوسطة، ليتضح أن معظم الأحواض معدل سرعة جريان المياه عبرها متوسطة وأنها تمر بمرحلة النضج من دورتها التحاتية.

جدول(6): تصنيف أحواض التصريف وفقًا لنسبة الانحدار

الفئة / معدل الانحدار(م/م)	العدد	٪	المتوسط
صفر – 0.02	4	50	**0.019**
0.05 – 0.02	3	37.5	**0.035**
0.10 – 0.05	1	12.5	**0.073**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS.

3- أقصى طول مسار للمياه عبر الحوض

يتضح من الجدول(5) أن أطول مسار للمياه من المنبع للمصب لوادي حنيفة ويبلغ 285.7 كم ويليه واديي(الهياثم ونساح) بأطوال 156كم و155كم على التوالي، ثم يليهم الأحواض بأطوال تتراوح بين 50: 100كم وهي (الحنايا- السلي الأدنى- حوض تجميع حنيفة والسلي والحنايا) بالترتيب، ثم الأحواض أقل من 50كم وهي (حوض تجميع نساح والهياثم- السهباء) بالترتيب ويقعان بالكامل داخل محافظة الخرج، ليتضح طول رحلة جريان المياه من المنابع حتى مخرجها وتعرضها للفواقد في أثناء سريانها وإنخفاض صافي الجريان لها خاصة مع ميولها الضعيفة والمتوسطة.

4- معامل الشكل Form Factor

يعد معامل الشكل مقياسًا مهما يوضح مدي تناسق وانتظام الشكل العام للحوض، وقد قام (**Horton ,1932 ,pp. 353**) بوضع معادلة لتحديد شكل الحوض؛ حيث إن اقترب الناتج من (1) صحيح يعني أن الحوض أقرب إلى الشكل المتناسق وإذا انخفض نحو الصفر فهو أقرب لعدم التناسق, معتمدًا في ذلك على العلاقة بين متغيرين هما المساحة وطول الحوض كما توضحه المعادلة التالية:

$$\text{معامل الشكل} = \frac{\text{مساحة الحوض كم}^2}{(\text{طول الحوض})^2}$$

جدول(7): تصنيف أحواض التصريف وفقًا لمعامل الشكل

الحوض	المساحة (كم^2)	الطول (كم)	معامل الشكل
وادي السهباء	3.57	2.42	0.611
نساح - الهياثم	116.40	19.44	0.31
وادي نساح	1888.83	121.41	0.128
حوض السلي الأدنى	552.43	55.51	0.17
حنيفة-السلي-الحنايا	329.10	38.46	0.222
وادي الهياثم	4883.33	109.09	0.41
وادي الحنايا	1951.40	68.54	0.415
وادي حنيفة	6545.17	231.86	0.122

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف باستخدام برنامج WMS

يوضح الجدول(7) أن معظم الأحواض معامل الشكل لها أقل من 0,5 مما يدل على أن قيمها تنخفض نحو الصفر مما يدل أنها أحواض غير منتظمة الشكل وهذا يمكن تفسيره بسبب العوامل الطبيعية والتدخلات البشرية التي أثرت في مورفولوجية الأحواض كما ذكر سابقًا؛ حيث مواقع البحيرات والسدود وانقطاع اتصال العديد من منابع الأحواض عن باقي الحوض وتغير مورفولوجيته عما كان عليه سابقًا وبالتالي تغير شكل الحوض إلى شكل غير منتظم كما أوضحته نتائج معامل الشكل.

5- قيمة رقم منحنى السريان"CN" Curve Number

جرى استخدام أحد الطرق واسعة الانتشار لتقدير كميات الفواقد بالتسرب وتسمى رقم المنحنى Curve Number (CN) وتعتمد على نوعية التربة (Soil Type)وتصنيفها الجيولوجي؛ من حيث نوع الرواسب والصخور ودرجة تشققها، والنسبة المئوية التي يشغلها كل نوع بالنسبة لمساحة حوض التصريف واستخدامات الأراضي به ومنها يتم تحديد قيمة الـ CN المكافئة لها كما هو موضح في الجدول(8).

ويتضح من تطبيق نتائج الجدول(8) على أحواض التصريف التي تقع في منطقة يغلب عليها الرواسب الوديانية وترتفع بها معدلات الفواقد المائية، إضافة إلى وجود

عدد من الطرق الأسفلتية، وتحسبًا للتوسعات العمرانية في المستقبل سيتم تحديد قيم رقم المنحنى لكل حوض تصريف وذلك بحساب رقم المنحنى المتوسط (Average CN) للحوض وذلك بتحديد مساحات الأراضي ذات الخصائص المختلفة وتحديد رقم المنحنى (CN) المُناظر لكل مساحة(Ai) وقسمته على إجمالي المساحة وذلك باستخدام معادلة (K.X. Soulis and J.D. Valiantzas. 2012. P 3):-

رقم المنحنى= مجموع (رقم المنحنى لمنطقة * مساحة المنطقة) / مساحة حوض التصريف

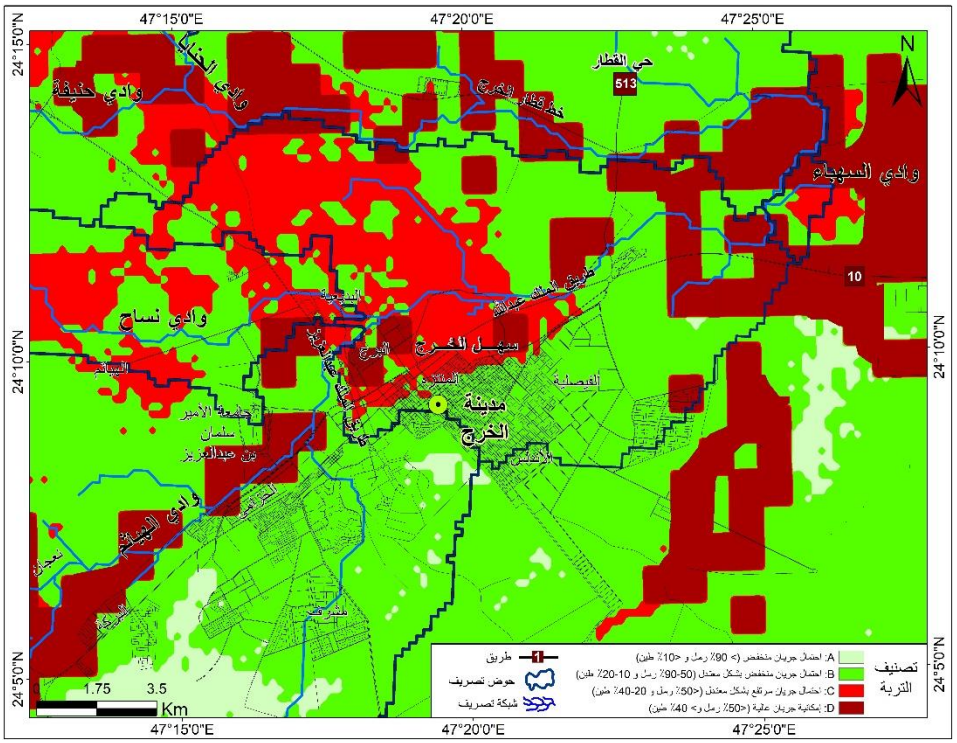
الجدول (8) قيم رقم المنحنى حسب نوعية التربة واستخدام الأرض للمناطق المختلفة

Use Description on Input Screen		Description and Curve Numbers from TR-55					
		Cover Description		Curve Number for Hydrologic Soil Group			
		Cover Type and Hydrologic Condition	% Impervious Areas	A	B	C	D
1	Agricultural	Row Crops - Staight Rows + Crop Residue Cover- Good Condition (1)		64	75	82	85
2	Commercial	Urban Districts: Commerical and Business	85	89	92	94	95
3	Forest	Woods (2) - Good Condit ion		30	55	70	77
4	Grass/Pasture	Pasture, Grassland, or Range(3) - Good Condition		39	61	74	80
5	High Density Residential	Residential districts by average lot size: 1/8 acre or less	65	77	85	90	92
6	Industrial	Urban district: Industrial	72	81	88	91	93
7	Low Density Residential	Residential districts by average lot size: 1/2 acre lot	25	54	70	80	85
8	Open Spaces	Open Space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) (4) Fair Condition (grass cover 50% to 70%)		49	69	79	84
9	Parking and Paved Spaces	Impervious areas: Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)	100	98	98	98	98
10	Residential 1/8 acre	Residential districts by average lot size: 1/8 acre or less	65	77	85	90	92
11	Residential 1/4 acre	Residential districts by average lot size: 1/4 acre	38	61	75	83	87
12	Residential 1/3 acre	Residential districts by average lot size: 1/3 acre	30	57	72	81	86
13	Residential 1/2 acre	Residential districts by average lot size: 1/2 acre	25	54	70	80	85
14	Residential 1 acre	Residential districts by average lot size: 1 acre	20	51	68	79	84
15	Residential 2 acres	Residential districts by average lot size: 2 acre	12	46	65	77	82
16	Water/ Wetlands	Water Bodies, Lakes, Ponds, Wetlands	100	100	100	100	100

The Source: Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, Technical, Release 55, June 1986.

يتضح من مقارنة قيم الجدول السابق مع نتائج تحليل المرئيات الفضائية وخريطة استخدامات الأرض شكل(2) والخريطة الجيولوجية شكل(3)

والشكل (10) الذي يوضح تصنيف التربةومدى إحتمالية الجريان المائي بها ليتبين أن معظم الأحواض تقع بمناطق مفتوحة صحراوية ذات رواسب وديانية تنتشر في مجاريها كما في أحواض (حنيفة-نساح-الهياثم- الحنايا)، ومن ثم تم تطبيق قيم رقم المنحنى الموضحة بالجدول(8) والملائمة لبيئة المنطقة ثم إدخالها للنموذج (WMS)؛ حيث جرى استخدام قيم رقم المنحنى (69) و(70) لهذه الأحواض، كما توجد بعض الأحواض تقع داخل المنطقة الحضرية لمحافظة الخرج وأخرى تتداخل مساحات منها بالمدينة والمناطق الزراعية حولها وهي(السلي الأدنى- حوض تجميع حنيفة والسلي والحنايا- حوض تجميع نساح والهياثم– السهباء)؛ حيث ترتفع بها معدلات الجريان السطحي لتندرج ضمن الفئتين(1 و12) وعليه استخدمت قيمة رقم المنحنى (82) و(86) لتلك الأحواض، وتم توضيح تلك المعاملات بالجدول(5) واستخدامها في حسابات النموذج الهيدرولوجي(WMS).



شكل(10) خريطة تصنيف التربة لمنطقة الخرج

المصدر: اعتمادًا على بيانات وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) إدارة خدمة صيانة الموارد الطبيعية (NRCS)

زمن التأخير Lag Time

هو الزمن الفاصل بين بداية سقوط المطر وحتى حدوث الجريان السطحي ويمثل الوقت الذي ترتفع فيه معدلات التبخر والتسرب(**أحمد سالم صالح، 1999، ص35**). ويتم حساب زمن التأخير بعدد من المعادلات منها (**أحمد سالم صالح, 1999, ص 86**) ويتم حسابها كما يلي:

زمن التأخير^{3} = Kl × (مساحة الحوض^{0,3}) / (متوسط الانحدار/ كثافة التصريف)

جرى استخدام برنامج (WMS) في تطبيق معادلة زمن التأخير التي تعد أحد المعادلات التي يحللها، كما يضم عدد من المعاملات التي تناسب الأقاليم المختلفة، وتم اختيار طريقة (**SCS Method**) الملائمة لطبيعة المنطقة وبها سيتم حساب زمن التأخير للأحواض واستخراج النتائج بطريقة آلية داخل البرنامج.

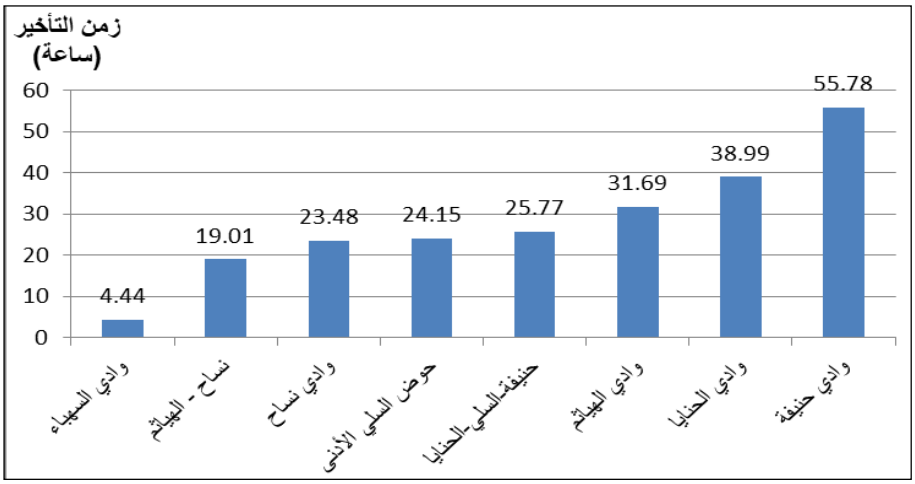
والمعادلة التي طبقها البرنامج وتتناسب مع طبيعة إقليم منطقة الدراسة هي:

Lag Time = L^0.8 * ((((1000/CN)-10) + 1)^0.7) / (1900*sqrt(Y))

ويوضح الشكل(11) نتائج حسابات زمن التأخير للأحواض كما يلي:-

---

^{3}Kl = معامل ثابت مقداره 0,25 للسطوح الرملية والحصوية، و0,4 للسطوح الجيرية, 0,38 لمناطق الأودية النهرية, 0,72 لمناطق سفوح الجبال, 1,2 للمناطق الجبلية في نطاقات الأنهار.



شكل(11): تصنيف أحواض التصريف وفقًا لزمن التأخير

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات النموذج الهيدرولوجي(WMS) الموضحة بالجدول(5).

يتضح مما سبق أن وادي حنيفة يعد أكثر الأودية التي تتأخر بها بداية الجريان منذ بداية تساقط المطر على الحوض ليصل نحو 55.78 ساعة ثم يليه أودية(الحنايا- الهياثم- حنيفة والسلي والحنايا- السلي الأدنى- نساح- نساح والهياثم- السهباء) على التوالي، ليتضح أن معظم الأودية ما عدا "السهباء" يزداد بها زمن التأخر للمياه، ويرجع ذلك لكبر مساحة الأحواض ونوع التربة السطحية بها ذات الرواسب الوديانية وكثرة الشقوق والفواصل في المنابع العليا مما أدى إلى زيادة معدل الفواقد بها وطول الفترة اللازمة لحدوث الجريان المائي لأحواض التصريف.

6- زمن التركيز Time of Concentration

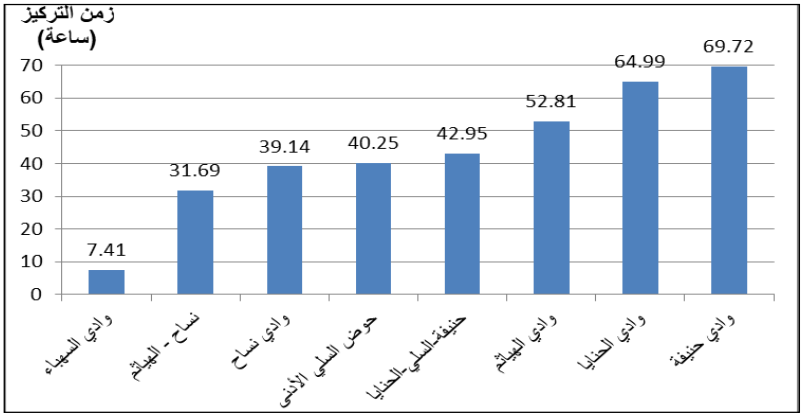
هو الفترة الزمنية اللازمة لانتقال المياه من أبعد نقطة على محيط الحوض حتى مصبه (**إبراهيم سيد البكري، 2005، ص 256**).

جرى استخدام مخرجات برنامج (WMS) في تحديد زمن التركيز، ويضم عدد من المعاملات تناسب الأسطح المختلفة التي تنساب عليها المجاري، وقد تم اختيار طريقة(**Kirpich Method for overland flow on bare earth**) حيث تعد أنسب المعاملات داخل معادلة زمن التركيز التي تتوافق مع طبيعة المنطقة الصحراوية الجافة التي تنساب عبرها أحواض التصريف، وعليه سيتم حساب زمن التركيز وفقًا لهذه الطريقة آليًا بالبرنامج كما هو موضح في المعادلة الأتية:

Time of Concentration (hrs)[4]= m * 0.00013 * (L^0.77/S^0.385)

ويوضح الشكل(12) نتائج حسابات زمن التركيز للأحواض كما يلي:-

[4] **Ct** معامل ثابت= 0,04*(80-CN)+1 , **CN**= معامل منحنى السريان الذي تم تحديده وهو 80 , **m** معامل ثابت= 1,0 وهو المعامل الخاص بالأراضي الجافة , **L**= طول "overland flow" (م), **S**= متوسط إنحدار المجرى الرئيسي من المنبع للمصب (م/م).



شكل (12): تصنيف أحواض التصريف وفقًا لزمن التركيز

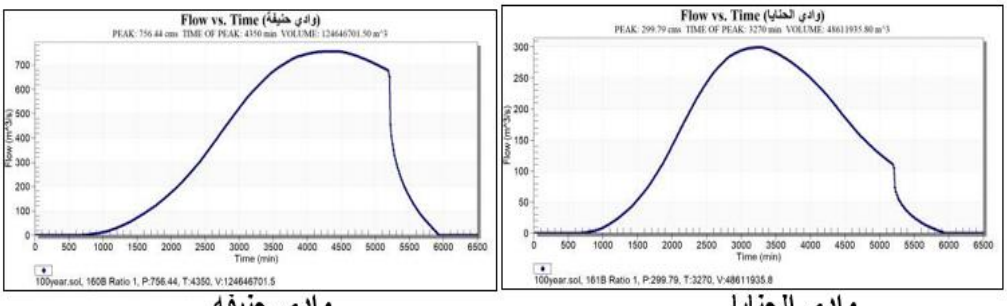
المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات النموذج الهيدرولوجي(WMS) الموضحة بالجدول (5).

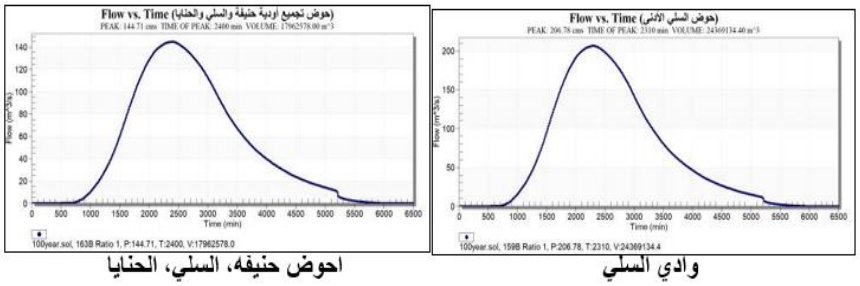
يتضح مما سبق أن وادي حنيفة يعد أكثر الأودية التي يطول بها زمن التركيز للمياه لتصل إلى 69.72 ساعة من بداية الجريان المائي في المنابع حتى وصولها لمخرجها عند منطقة الدراسة، ثم يليه أودية(الحنايا-الهيائم- حنيفة والسلي والحنايا- السلي الأدنى- نساح- نساح والهيائم- السهباء) على التوالي، ليتضح أن معظم الأودية ما عدا "السهباء" يطول بها زمن التركيز للمياه، ويرجع ذلك لأن معظم الأحواض تتميز بالامتداد الطولي وتباعد المسافة ما بين المنابع والمصب إضافة إلى معدل الانحدار البطيء للأحواض كما موضح بالجدول(5) مما أدى إلى إزدياد فترة انتقال المياه ما بين المنبع والمصب.

7- تحليل الجريان السطحي

وفقًا لما تم حسابه سابقًا من مدخلات للنموذج الهيدرولوجي وهي معدلات التساقط المطري وزمن التركيز والتأخير ورقم المنحنى CN، وبناءً عليه تم حساب أهم مخرجات النموذج للجريان السطحي وهو هيدروجراف Hydrograph منحنى التصرف ويشمل حساب حجم الجريان المائي"m^3" (V)[5] ومعدل التصرف"m^3/s" (P)[6] وزمن تصريف المياه ووصولها لذروتها "min" (T)[7].

ويوضح الشكلين (13: 14) مخرجات النموذج الهيدرولوجي(WMS) لأحواض التصريف في شكل هيدروجراف التصرف عند زمن تكراري 100 عامًا التي تعبر عن حجوم المياه ومعدلات تدفقها وزمن تصريفها ثم يوضح الجدول(9) ملخص نتائج تحليل هيدروجراف التصرف للأحواض، بينما توضح الأشكال(15)و(16) خرائط توزيع حجوم المياه ومعدلات التصرف على مستوى الأحواض عند زمن تكراري 100 عامًا اعتمادًا على مخرجات النموذج الهيدرولوجي(WMS).

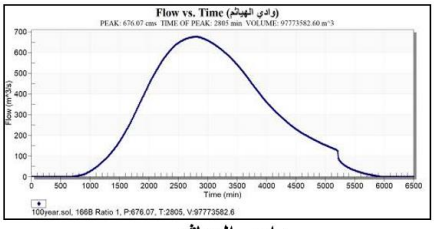




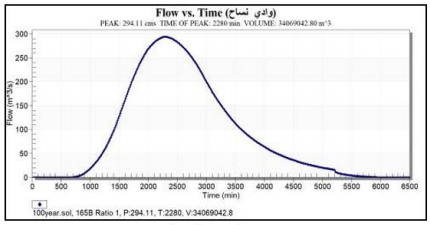
[5] **حجم الجريان المائي**: يعبر

[6] **معدلات التصرف**: تعبر عن ا

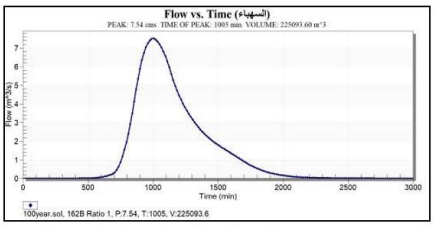
[7] **زمن التصريف**: يعبر عن ا



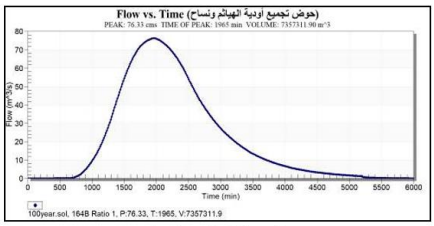
وادي الهياثم



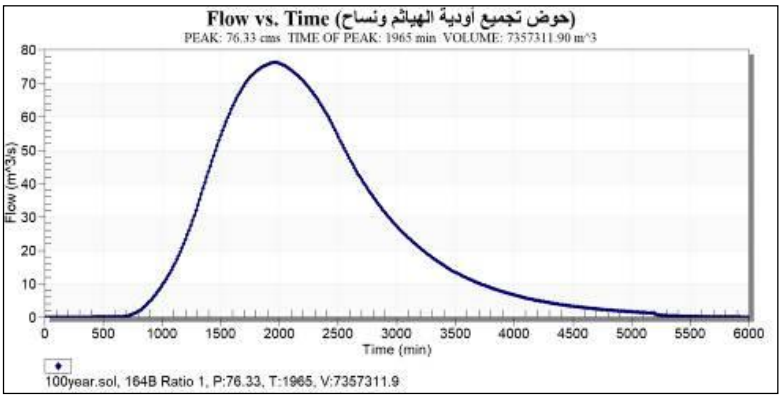
وادي نساح



وادي السهباء

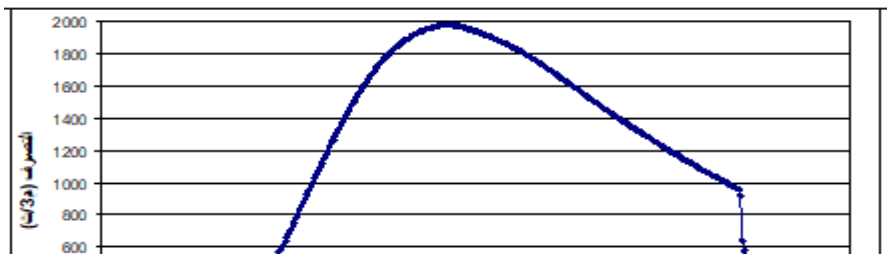


حوضي الهياثم ونساح



حوض السهباء

شكل(13): هيدروجراف التصرف لأحواض محافظة الخرج لزمن تكراري 100 عامًا



شكل(14): هيدروجراف إجمالي معدلات التصرف لأحواض التصريف عند شرق محافظة الخرج لزمن تكراري 100 عامًا

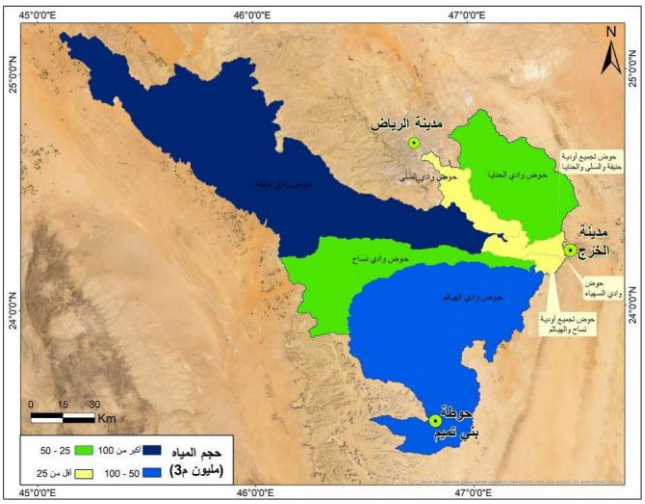
يوضح الجدول(10) ملخص نتائج حسابات النموذج الهيدرولوجي لأحواض التصريف التي تنتهي عند محافظة الخرج كما يلي:-

جدول(9) خصائص الجريان المائي لأحواض التصريف المؤثرة على محافظة الخرج

اسم الحوض	حجم الجريان (مليون م^3)	معدل التصرف (م^3/ث)	زمن التصرف (دقيقة)
حنيفة	124.647	756.44	4350
السلى الأدنى	24.369	206.78	2310
الحنايا	48.612	300.00	3270
تجميع أودية حنيفة والسلى والحنايا	17.963	144.71	2400
الهياثم	97.774	676.07	2805
نساح	34.069	249.11	2280
تجميع أودية الهياثم ونساح	7.357	76.33	1965
السهباء	0.225	7.54	1005
الإجمالي	**355.016**	أقصى تصرف	ذروة زمن التدفق
		1983.35	**2820**

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على بيانات مخرجات النموذج الهيدرولوجي(WMS).

يوضح الشكلين(14 و15) توزيع حجوم المياه وتصرفاتها للأحواض كما يلي:-



شكل(15) توزيع حجوم المياه لأحواض التصريف المؤثرة على الخرج

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) داخل النموذج الهيدرولوجيWMS

شكل(16) توزيع معدلات تصرف المياه لأحواض التصريف المؤثرة على الخرج

المصدر: من إعداد الباحثين اعتمادًا على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) داخل النموذج الهيدرولوجيWMS

توضح نتائج الحسابات الهيدرولوجية لأحواض التصريف عند عاصفة زمن تكراري 100 عامًا الجدول (9) والأشكال (15 و16) أن حوض وادي حنيفة هو أكثر الأحواض تغذية لمحافظة الخرج؛ حيث يبلغ حجم المياه التي تستقبلها منه نحو 124.647 مليون م^3 ومعدل التصرف يبلغ 756.4 م^3/ث وتبلغ ذروة هذه التدفقات بعد 4350 دقيقة من بداية الجريان نظرًا إلى امتداد الحوض لمسافة 232كم من المنبع للمصب ومعدل انحداره البطيء نسبيًا مما أدى لطول المدة الزمنية حتى وصول ذروته محافظة الخرج، ثم يليه كل من أحواض(الهياثم- الحنايا- نساح- السلي الأدنى- حوض تجميع أودية حنيفة والسلي والحنايا- حوض تجميع أودية الهياثم ونساح- السهباء) على التوالي.

وتوضح نتائج الحسابات الهيدرولوجية أن إجمالي حجوم المياه التي تستقبلها محافظة الخرج تبلغ 242.843 مليون م^3 ومعدل التصرف يبلغ 1983.4 م^3/ث وتبلغ ذروة هذه التدفقات بعد 2820 دقيقة من بداية الجريان كما موضح بالشكلين (12 -13).

النتائج

- أوضح تحليل مرئية القمر Sentinal1 والتصنيف المراقب لها Supervised Classification أن مساحة المناطق الزراعية بالخرج تبلغ نحو 80كم^2 وحيز المناطق العمرانية نحو 105كم^2 وتتعرض تلك المناطق لأخطار السيول خلال مواسم تساقط الأمطار نظرًا إلى طبيعة المنطقة السهلية في سهل الخرج.
- تبين من خلال دراسة التحليل المورفولوجي لأحواض التصريف المؤثرة على الخرج ومقارنة نتائج مخرجات الـ(DEM) لأحواض التصريف مع تتبع مساراتها عبر الخرائط الطبوغرافية والمرئيات الفضائية وجود عدم تطابق بين المخرجات؛ حيث أفادت الدراسة الميدانية وتحليل المرئيات الفضائية في تتبع مسارات الأودية ومناطق انقطاع السريان بها التي نتجت عن أسباب طبيعية وأخرى بشرية، ليبلغ أعداد الأحواض المؤثرة فعليًا على محافظة الخرج 8 أحواض تبلغ مساحتها 16266.7كم^2 مقارنة بالمساحة التي جرى استخراجها من الDEM مباشرة قبل تعديله لمحاكاة الواقع وتبلغ 111654.5كم^2.
- بإجراء التحليل الإحصائي لبيانات أمطار المحطات المؤثرة في أحواض التصريف وعددها 12 محطة، تبين أن الفترة ما بين أواخر أكتوبر ومنتصف مايو تعد من أكثر الشهور التي تتعرض لها منطقة الخرج خلالها للأمطار وخطر السيول بنسبة 65% مقارنة بباقي الشهور.
- اتضح من التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف عند عاصفة زمن تكراري 100 عامًا أن حوض وادي حنيفة أكثر الأحواض تغذية لمحافظة الخرج؛ حيث يبلغ حجم مياهه نحو 124.6 مليون م^3 ومعدل التصرف 756.4 م^3/ث، ثم يليه كل من أحواض(الهياثم- الحنايا- نساح- السلي الأدنى- حوض تجميع أودية حنيفة والسلي والحنايا- حوض تجميع أودية الهياثم ونساح- السهباء) على التوالي، ويبلغ إجمالي حجوم المياه التي تستقبلها محافظة الخرج 242.843 مليون م^3.

التوصيات

1- تصميم نظام الإنذار المبكر المقترح للتحذير من أخطار السيول.

2- تنفيذ أعمال الحماية المقترحة التي تشمل إنشاء بحيرات تهدئة خارج المدينة ويكون لها أسوار خارجية ولوحات استرشادية يمنع الدخول إليها، مع تحديد مسارات الأودية الخارجة منها في مسارات محددة للتحكم في المياه حتى مخرجها نحو وادي السهباء الرئيسي شرق الخرج.

3- تصميم قطاعات تصميمية للأودية لاستيعاب التصرفات المائية المنسابة إليها في نطاق محافظة الخرج.

4- فتح مسارات الأودية التي تم التعدي عليها في نطاق محافظة الخرج وإزالة التعديات عليها لضمان انسياب المياه في مساراتها الطبيعية.

5- تصميم لوحات إرشادية إلكترونية عند المناطق الحرجة المعرضة للغمر وربطها بمناسيب البحيرات ومواقع قياس التصرفات والمطر خارج المحافظة.

6- تصميم تطبيق GIS للهاتف النقال ونظام GIS Dashboard خاص بمنظومة الإنذار المبكر للمتابعة اليومية لحالة التصرفات والأمطار بالأودية.

المصادروالمراجع

إبراهيم سيد البكري(2005م)، "السيول وأخطارها علي ساحل البحر الأحمر فيما بين وادي الأسنود وفالق الوعر"، دراسة جيومورفولوجية تطبيقية، رسالة ماجستير، قسم الجغرافية، كلية البنات، جامعة عين شمس.

الجعيدي، فرحان) 2005م)، "استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج"، الجمعية الجغرافية السعودية، العدد(71)، الرياض.

الجعيدي، فرحان، (2007م)، "مراقبة التغير في اتجاهات مجاري الأودية في سهل الخرج باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خلال الفترة من عام 1950-2006 م"، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، جامعة الكويت، الكويت العدد (127).

الجعيدي، فرحان، (2008 م)، "الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية علية في محافظة الخرج، الجمعية الجغرافية السعودية، العدد(84) الرياض.

الجعيدي، فرحان(2019م)، " إقليم الخرج" الطبعة الأولى، مكتبة الملك فهد الوطنية.

آل سعود، مشاعل،(1996 م): "التحليل المورفومتري لشبكة التصريف السطحي بحوض وادي نساح"، رسالة الدكتوراه، قسم الجغرافيا، جامعة الملك سعود.

آل سعود، مشاعل، (2014م): "دراسة هيدرولوجية وادي السلي بمنطقة الرياض" الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض.

آل سعود، مشاعل، (2017م): "دراسة الأنظمة الهيدرولوجية للسيول المتصلة بمحافظات منطقة الرياض" الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض.

آل الشيخ، نورة (1995م): " كفاءة الري وجدولة المياه في منطقة الخرج- المملكة العربية السعودية - دراسة حالة في جغرافية المياه "الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.

القاضي، ابتسام(2017م)، "استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في دراسة تأثير التوسع العمراني على الأراضي الزراعية: حالة مدينة الخرج- المملكة العربية السعودية"، مجلة الجمعية المصرية للتغيرات البيئية، المجلد السابع(العدد الثاني)، الاسكندرية.

السعران، ناصر(2009م):"تقييم أداء التقدير البيئي المكاني لسعة الماء التاح في ترب منطقة الخرج " الجمعية الجغرافية السعودية، العدد 86، الرياض، المملكة العربية السعودية.

بوروبة، محمد فضيل والجعيدي، فرحان(2008م)" تقدير تدفق الذروة للسيول من بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية"، مركز البحوث,كلية الآداب، جامعة الملك سعود، العدد(121).

References

Han, D.and Bray, M. 2006. Automated Thiessen polygon generation, Journal of Spatial Hydrology, 9(2).

Horton. R. E., 1945. "Erosional Development of Streams their Drainage Basin" Hydrological Approach to Quantitative Morphology " Geol. Soc. Amer-Bull., vol. 56.

Horton, R. E, 1932. "Drainage Basin characteristics", Transactions of the American Geophysical Union, 13,

Miller, A. W. & Nelson,E. J. (2010). Hydrologic evaluation of flood flows from a burned watershed", WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 133, 5- Powers, R.W., Ramirez, L.F., Redmond, C.D., and Elberg, E.L., Jr., " Geology of the Arabian peninsula: Sedimentary geology of Saudi Arabia": U.S.

Geological Survey Professional Paper, 1966. 560-D, 147 p., 14 fig., 1 table, 10 pl.

Vaslet, D., M.S. Al-Muallem, S.S. Maddah, J.-M. Brosse, J., Fourniguet, J.-P. Breton and Y.-M. Le Nindre: " Explanatory notes to the geologic map of the Ar Riyadh Quadrangle, Kingdom of Saudi Arabia". Geoscience map GM-121, scale 1:250,000, sheet 24I. Deputy Ministry for Mineral Resources, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Kingdom of Saudi Arabia. 54 p. 1991.